

高等学校教材

# 城市生态规划概论

焦 胜 曾光明 曹麻茹 等编著  
苏小康 张盼月 魏春雨



化学工业出版社  
教材出版中心

·北京·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

城市生态规划概论/焦胜等编著. —北京: 化学工业出版社, 2005. 10  
高等学校教材  
ISBN 7-5025-7727-0

I. 城… II. 焦… III. 城市环境: 生态环境-环境规划-概论-高等学校-教材 IV. X21

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 117809 号

---

高等学校教材

城市生态规划概论

焦胜 曾光明 曹麻茹 等编著  
苏小康 张盼月 魏春雨

责任编辑: 王文峡

文字编辑: 温建斌

责任校对: 周梦华

封面设计: 于兵

\*

化学工业出版社 出版发行  
教材出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询: (010) 64982530

(010) 64918013

购书传真: (010) 64982630

<http://www.cip.com.cn>

\*

新华书店北京发行所经销

北京云浩印刷有限责任公司印装

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 16 $\frac{3}{4}$  字数 405 千字

2006 年 1 月第 1 版 2006 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-7727-0

定价: 29.00 元

---

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

# 编 著 人 员

焦 胜	曾光明	曹麻茹	周建飞
魏春雨	李忠武	苏小康	张盼月
何 静	蒋晓云	王玲玲	熊 樱
曹小娟	朱 华	黄丹莲	朱 舟
李 倩	杨 馥		

(以上按各章编写人员顺序排列)

# 序

城市是社会生产力发展到一定阶段的产物，是人类文明的象征之一。城市的发展从最早原始社会氏族制度下“用石墙、城楼、雉堞围绕着石造或砖造的城市”到古罗马帝国及盛唐时代的长安，再到现代大城市、城市群，已经有上万年的历史。然而，在城市的发展过程中，特别是近代工业革命以来，由于人口的集聚、城市化的快速发展带来了大量的环境问题，这又严重地制约了城市的进一步发展。如何解决这些环境问题并使城市能够继续保持繁荣、使城市可持续发展，已经成为了国内外学者的研究热点。在这样的前提下，生态城市的概念应运而生。

在国家环境保护总局的指导下，中国国内正在进行大规模的生态示范区建设，目前全国一些高校和科研机构已经或正在编制多个生态示范区规划，主要包括生态县、生态市以及生态省的建设规划，但是纵观这些规划，感觉缺少一个统一的理论和逻辑体系，往往是各家有各家做法，因此非常有必要有一本能够全面指导生态规划编制的理论书籍，使生态规划的编制进一步规范化。

2001年底，湖南大学等单位受国家环境保护总局以及长沙市政府委托，承担长沙生态市建设规划，经过两年多的努力，于2003年通过了由国家环境保护总局组织的专家论证，成为第一家通过生态市建设规划论证的省会城市（该规划于同年在长沙市人大通过立法并颁布实施）。该书的各位作者都是该项目的主要研究人员，全过程参加了该项目的规划研究工作，并在此之后的数年里，主持或参与了数十项生态城市规划的科研、教学工作，在该领域研究上积累了一定的经验，发表了大量的相关研究论文，这些为本书的编撰打下了较坚实的基础。

非常高兴看到《城市生态规划概论》一书即将出版，该书各位作者本着严谨、求实的态度，从一个新的视角对生态规划作了新的阐释：主要从城市生态规划的发展、特点、主要理论、方法以及相关的规划内容等多个方面，通过案例的形式进行了深入地剖析，该书的出版能够为我国生态规划的编制提供理论和方法上的指导。我们希望该书的出版能够为中国城市生态规划的建设以及城市生态规划的研究贡献一定的力量。

是为序。

李鸿亮

乙酉年夏日于麓山脚下

# 前 言

随着城市环境问题的日益严重，环境保护越来越受到城市规划专业的重视，这意味着国内以物质性规划为主体的城市规划学科，必须向更加综合性的学科转变。联合国环境规划署（UNEP）认为城市环境问题主要由三方面原因造成：城市规划、城市管理以及城市本身发展带来的环境问题。城市生态规划作为针对城市环境问题的宏观控制性规划，是城市规划发展的一个新阶段，以及城市可持续发展的主要内容之一，对于城市生态、社会经济复合系统的可持续发展有着重要的意义。

城市生态规划是以生态学的理论为指导，对城市的社会、经济、技术和生态环境进行全面的综合规划，以便充分有效和科学合理地利用各种资源条件，促进城市生态系统的良性循环，使社会经济能够持续稳定地发展，为城市居民创造舒适、优美、清洁、安全的生产和生活环境。

城市生态规划在国内外尚处于探索阶段，其理论体系和方法至今没有定论。本书是作者总结近年来在生态规划教学经验和生态规划应用研究基础上编写而成。全书共分 12 章。第 1 章分析了国内外城市主要的生态环境问题、城市环境可持续发展的 3 个阶段、城市环境问题与政策的关系，集中阐述了城市生态规划研究的目的与意义，以及城市生态规划由来、概念与发展。第 2 章定性定量相结合地研究了城市生态规划的学科基础，如城市生态学、人类生态学、城市规划学、可持续发展理论的主要理论，以及这些理论在城市生态规划中的应用。尤其详尽分析城市生态规划的两个基础学科——城市生态学与城市规划的相互影响过程：古典阶段、现代阶段以及后现代阶段。从而从理论层面进一步总结出以可持续发展为指导思想，以复杂性理论为理论基础的生态规划新模式，初步确定城市生态规划研究的方法论。第 3 章主要介绍城市生态规划的两大主要方法：因子生态学法和景观生态学法在城市生态规划中的应用以及实际的操作步骤。第 4 章至第 10 章介绍了确定了城市生态规划研究的主要内容、城市生态规划编制的一般程序。主要从城市复合生态系统的辨识方法、城市生态承载力（生态足迹）的评估、城市生态功能分区、城市扩展地的适宜性分析、生态经济建设、生态社会建设、生态社区建设、城市绿地系统生态规划等 7 个层面，探讨了城市生态规划编制各个阶段的主要内容与成果。第 11 章和第 12 章分析了国内外城市复杂性、生态系统复杂性和资源环境系统复杂性等课题的研究进展，详尽分析了城市生态系统具有非线性和不确定性的特征，探讨了复杂性理论在城市生态规划中的研究进展。例如城市复杂性模型（特别是几种景观生态学模型）在城市生态系统空间模拟的应用，并初步从理论上和实践上探讨了复杂性（不确定性）理论在城市生态规划以及小城镇生态规划中的应用。

全书力求理论与实践相结合，反映生态规划的研究成果。本书是高等院校环境学、资源环境与城乡规划管理、城市规划等有关专业本科生及研究生的教材，同时也可作为环境保护、国土资源、城市规划与管理等相关部门的研究与技术人员的参考书。

本书由焦胜、曾光明、曹麻茹等编著。各章的编写人员如下：第1章、第2章，焦胜；第3章，焦胜、曾光明、曹麻茹、周建飞；第4章，何静、蒋晓云、王玲玲、焦胜、魏春雨、李忠武；第5章，熊樱、周建飞、焦胜、魏春雨；第6章，曹小娟、焦胜、朱华、曾光明、苏小康；第7章，王玲玲、黄丹莲、朱舟、曾光明；第8章，李倩、曾光明、曹麻茹、张盼月；第9章，焦胜、周建飞、曾光明、曹麻茹；第10章，杨馥、焦胜、曾光明、曹麻茹；第11章、第12章，焦胜、曾光明、曹麻茹。

由于作者水平有限，书中缺点和错误在所难免，敬请有关专家及广大读者批评指正。

编者

2005年7月

# 目 录

<b>第1章 绪论</b> .....	1
1.1 城市环境可持续发展的研究进展 .....	1
1.1.1 环境与发展 .....	1
1.1.2 城市环境可持续发展的研究进展 .....	3
1.1.3 城市可持续发展主要的政策行动 .....	6
1.1.4 城市环境可持续发展研究面临的问题 .....	8
1.2 城市生态规划的由来、演化与发展 .....	9
1.2.1 城市生态规划的由来 .....	10
1.2.2 城市生态规划的概念与发展 .....	10
1.2.3 我国城市生态规划研究进展 .....	13
1.2.4 城市生态规划的主要特点 .....	15
1.3 城市生态规划是城市规划发展的新阶段 .....	16
1.3.1 城市规划的发展现状与面临问题 .....	16
1.3.2 城市规划生态学化的三个发展阶段 .....	19
1.3.3 城市生态规划与城市规划的关系 .....	27
1.4 城市生态规划的特点 .....	31
参考文献 .....	32
思考题 .....	34
<b>第2章 城市生态规划的理论基础</b> .....	35
2.1 人类生态学理论 .....	37
2.1.1 古典人类生态学理论 .....	37
2.1.2 现代人类生态学理论 .....	38
2.2 城市生态学理论 .....	39
2.2.1 城市生态学的概念 .....	39
2.2.2 城市生态学主要理论 .....	40
2.2.3 城市生态学研究内容的发展趋势 .....	47
2.2.4 城市生态学与人类生态学的比较思考 .....	48
2.3 可持续发展理论 .....	49
参考文献 .....	50
思考题 .....	51
<b>第3章 城市生态规划的主要方法</b> .....	52
3.1 因子生态学的方法 .....	52

3.1.1	因子生态学理论	52
3.1.2	因子生态分析法的方法和步骤	52
3.1.3	因子生态分析在城市生态规划中的应用	53
3.1.4	因子生态学方法的缺陷	56
3.2	景观生态学的方法	56
3.2.1	概述	56
3.2.2	城市生态系统的景观功能分析与宏观景观调控	58
	参考文献	60
	思考题	61
<b>第4章</b>	<b>城市复合生态系统辨识</b>	<b>62</b>
4.1	概述	62
4.1.1	城市生态系统的概念与特征	62
4.1.2	城市生态系统的特征	63
4.1.3	城市生态系统的组成要素与结构	65
4.1.4	城市复合生态系统的基本概念与内容	69
4.2	城市生态系统的辨识与评估（生态评估的基本方法）	74
4.2.1	建立指标体系	74
4.2.2	评价指标体系确定的原则	75
4.2.3	建立指标体系的方法	75
4.3	指标权重的确定	78
4.3.1	主成分分析法赋权的原理	78
4.3.2	主成分赋权法与专家打分赋权法的有机结合	79
4.4	层次分析法	79
4.5	城市生态系统状况评价的简单模型	80
4.5.1	生态特征指标法对城市生态系统状况的评估	80
4.5.2	途径：导出特征指标	80
4.5.3	指标的运用	85
4.5.4	结果	86
4.5.5	讨论	87
	参考文献	89
	思考题	90
<b>第5章</b>	<b>城市生态承载力与城市生态足迹</b>	<b>91</b>
5.1	概述	91
5.1.1	可持续发展的一般评估方法	91
5.1.2	现有的可持续发展指标的种类	92
5.1.3	可持续发展指标的量化方法	92
5.2	环境承载力、资源承载力和生态承载力	92
5.2.1	忽略环境的影响会给城市经济带来的影响及承载力的提出	92
5.2.2	环境承载力	93
5.3	生态足迹	100

5.3.1	提出及概念 .....	100
5.3.2	生态足迹的事实基础 .....	101
5.3.3	生态足迹分析的主要内容 .....	101
5.3.4	城市生态足迹计量分析方法 .....	103
5.4	城市区域生态评价 .....	106
5.4.1	区域生态评价 .....	106
5.4.2	区域生态足迹风险评价 .....	108
	参考文献 .....	109
	思考题 .....	110
<b>第6章</b>	<b>城市生态功能分区 .....</b>	<b>111</b>
6.1	基本概念 .....	111
6.1.1	生态分区 .....	111
6.1.2	城市生态功能分区 .....	112
6.2	生态功能分区的主要方法 .....	117
6.2.1	生态适宜性分析 .....	117
6.2.2	生态敏感性分析 .....	119
6.2.3	生态系统服务功能分区 .....	122
6.2.4	生态功能分区 .....	122
6.3	城市扩展地的适用性分析 .....	124
6.3.1	确定目标 .....	124
6.3.2	明确建成区地域范围 .....	125
6.4	实例分析——以长沙市生态分区为例 .....	125
6.4.1	长沙市城市建设用地适宜度分区 .....	125
6.4.2	生态敏感性分区 .....	133
6.4.3	生态系统服务功能分区 .....	133
6.4.4	生态功能分区 .....	134
	参考文献 .....	134
	思考题 .....	134
<b>第7章</b>	<b>生态经济建设规划 .....</b>	<b>135</b>
7.1	概述 .....	135
7.2	主要内容 .....	136
7.2.1	充分考虑城市生态环境特征，调整产业布局 .....	136
7.2.2	缩短科技转化为生产力的周期，提高经济增长中的技术含量 .....	137
7.2.3	大力发展绿色产业，注重企业生态经济效益 .....	137
7.2.4	实现清洁生产和提倡文明消费 .....	137
7.2.5	提高资源再生和综合利用水平 .....	138
7.3	产业结构调整规划 .....	138
7.3.1	经济发展总量规划 .....	139
7.3.2	产业结构调整 .....	139
7.3.3	农业结构调整 .....	140

7.3.4	产业结构调整 .....	141
7.3.5	第三产业结构调整 .....	142
7.4	新型生态产业设计 .....	143
7.4.1	生态产业的概念和特点 .....	143
7.4.2	新型生态产业设计 .....	145
	参考文献 .....	153
	思考题 .....	153
<b>第8章</b>	<b>生态社会建设规划</b> .....	154
8.1	概述 .....	154
8.2	城市人口适宜容量规划 .....	155
8.2.1	人口总量预测 .....	156
8.2.2	人口控制对策 .....	158
8.2.3	人口区域分布动态规律辨识 .....	158
8.3	科技发展规划 .....	163
8.3.1	综述 .....	163
8.3.2	指导思想与咨询原则 .....	164
8.3.3	科技发展的主要方向与投资重点领域 .....	164
8.3.4	完善相关政策法规,创造良好的科技发展环境 .....	165
8.4	小城镇生态规划 .....	166
8.4.1	小城镇规划 .....	166
8.4.2	小城镇生态规划 .....	167
	参考文献 .....	168
	思考题 .....	169
<b>第9章</b>	<b>生态社区建设</b> .....	170
9.1	生态社区的内涵、特点与功能 .....	170
9.1.1	生态社区概念的产生 .....	170
9.1.2	生态社区概念的内涵 .....	170
9.1.3	生态社区的特点 .....	171
9.1.4	生态社区的功能 .....	172
9.2	生态社区建设规划的原则 .....	172
9.3	生态社区规划的内容与目标体系 .....	173
9.3.1	生态社区环境建设目标体系 .....	173
9.3.2	生态社区经济建设目标体系 .....	174
9.3.3	生态社区文化建设目标体系 .....	174
9.4	生态社区的设计方法 .....	174
9.4.1	社区生态设计的趋向 .....	174
9.4.2	社区生态设计的尺度 .....	174
9.4.3	社区生态设计的实体要素 .....	175
9.5	生态社区的实践类型 .....	175
9.5.1	城市型生态社区 .....	175

9.5.2 郊区型生态社区 .....	175
9.5.3 村落型生态社区 .....	177
9.6 生态社区的实施机制 .....	177
9.7 案例研究——浙江省温岭市生态居住小区详细规划 .....	178
9.7.1 项目背景 .....	178
9.7.2 现状诊断 .....	178
9.7.3 总体规划设计构思 .....	179
9.7.4 生态规划设计 .....	180
9.7.5 生态指标体系建构 .....	183
参考文献 .....	186
思考题 .....	186
<b>第10章 城市绿地系统生态规划</b> .....	<b>187</b>
10.1 概述 .....	187
10.1.1 城市绿地系统的分类 .....	187
10.1.2 城市绿地系统规划的生态问题 .....	188
10.1.3 城市绿地系统生态规划的目标 .....	189
10.1.4 规划的原则和依据 .....	189
10.2 城市绿地系统的生态恢复 .....	190
10.2.1 忍耐和弹性 .....	190
10.2.2 主要方法 .....	192
10.2.3 地下水平衡对城市绿地系统的影响 .....	192
10.2.4 绿地系统的规划布局 .....	192
10.3 绿地规划评价指标体系 .....	196
10.4 城市绿地系统的景观生态学研究 .....	197
10.4.1 城市景观要素的基本类型 .....	197
10.4.2 景观多样性与景观异质性 .....	198
10.4.3 生物多样性 .....	199
10.4.4 景观多样性与物种多样性的关系 .....	199
10.5 城市绿色廊道网络 .....	201
10.5.1 城市绿色廊道概述 .....	201
10.5.2 城市绿色廊道的分类 .....	201
10.5.3 城市绿色廊道的规划设计 .....	202
10.6 城市绿地系统的再开发研究 .....	205
10.6.1 城市绿地系统发展现状 .....	205
10.6.2 复合开发模式——可持续发展是原则 .....	205
10.7 城市滨水区绿地系统的研究 .....	206
10.7.1 河流廊道的规划设计 .....	206
10.7.2 城市滨水区绿地系统的复合开发 .....	207
参考文献 .....	208
思考题 .....	209

<b>第 11 章 城市生态规划的复杂性研究</b> .....	210
11.1 城市生态规划的工作程序和主要内容 .....	210
11.1.1 城市生态规划的工作程序 .....	210
11.1.2 城市生态规划的主要内容 .....	212
11.2 复杂性概述 .....	215
11.2.1 复杂系统的特征 .....	216
11.2.2 复杂系统的研究对象 .....	216
11.2.3 复杂性研究的主要理论与方法 .....	216
11.3 城市生态规划的复杂性研究 .....	220
11.3.1 “规划中的复杂性”研究 .....	221
11.3.2 “规划的复杂性”研究 .....	227
11.4 城市生态规划的不确定性研究 .....	228
11.4.1 概述 .....	228
11.4.2 不确定性的定义与分类 .....	228
11.4.3 城市生态规划中的不确定性分析 .....	229
11.4.4 城市生态规划的不确定性研究 .....	230
11.4.5 小城镇生态规划的不确定性研究 .....	233
参考文献 .....	235
思考题 .....	238
<b>第 12 章 城市生态系统的复杂性模型</b> .....	239
12.1 城市模型的发展现状与面临的问题 .....	239
12.2 城市生态系统的景观复杂性模型 .....	241
12.3 空间生态系统过程模型在城市生态系统中的研究与应用 .....	241
12.3.1 城市生态系统模型的概念 .....	241
12.3.2 城市生态系统模型面临的复杂性问题 .....	242
12.3.3 空间生态系统过程模型的应用 .....	242
12.4 基于自组织理论的城市资源与环境系统模型 .....	244
12.4.1 城市资源与环境系统中的自组织过程 .....	246
12.4.2 变量的选取 .....	246
12.4.3 城市资源与环境系统协调控制模型体系 .....	247
12.5 实例研究——湖南省城镇生活垃圾总量预测 .....	249
12.5.1 城镇生活垃圾总量影响因素分析 .....	249
12.5.2 模型的建立 .....	249
12.5.3 参数的确定 .....	250
12.5.4 湖南省城镇生活垃圾总量预测 .....	251
12.6 小结 .....	252
参考文献 .....	253
思考题 .....	253

# 第 1 章

## 绪 论

### 1.1 城市环境可持续发展的研究进展

#### 1.1.1 环境与发展

可持续发展思想，即从全球范围对人类社会发展与环境问题之间的平衡的关注始于 20 世纪 50 年代。它的形成经历了相当长的历史过程。在过去的年代里，以前一些通常被认为完全互不相干的东西被组合在一起以揭示这个未来的世界景象。1972 年在斯德哥尔摩召开联合国人类环境大会。这次会议使环境成为国际性重大问题，形成了“斯德哥尔摩协作精神”，在这一精神里，发达国家和发展中国家找到了解决相互之间强烈分歧的途径。这标志着现代环境主义的形成，从 1972 年到现在，环境与发展逐渐融合，主要分为三个阶段。

##### 1.1.1.1 20 世纪 50~70 年代：现代环境主义形成

20 世纪 50~70 年代，人们在经济增长、城市化、人口、资源所形成的环境压力下，对增长等于发展的简单模式产生怀疑并展开讨论。1962 年，美国生物学家莱切尔·卡逊（Rachel Carson）发表了一部引起很大轰动的环境科普著作《寂寞的春天》，作者描绘了一幅由于农药污染所带来的可怕景象，惊呼人们将会失去“春光明媚的春天”。该书在国际上引起巨大的轰动，许多专家和学者展开了在发展观念上的争论。10 年后，著名的美国学者巴巴拉·沃德（Barbara Ward）和雷内·杜波斯（Rene Dubos）的享誉很高的《只有一个地球》问世，把人类生存与环境的认识推向一个新境界——可持续发展。在 20 世纪

70年代早期，人们主要关注生物环境，诸如野生生物管理、土壤保护、水污染、土地退化和荒漠化，而人被认为是这些问题的根源。罗马俱乐部在其出版的《增长的极限》（Dennis L. Meadows 等，2001）一书中分析了5个因素——人口、农业生产、自然资源、工业生产和环境污染。它的主要结论是：明确提出“持续增长”和“合理的、持久的均衡发展”的概念。这个阶段的重大事件包括联合国人类环境大会、联合国环境规划署的成立、多边环境协议的签署等。

1972年在斯德哥尔摩人类环境会议上通过的《人类环境宣言》提出，可持续发展的主要内容是：

① 人类既有享受环境资源与空间的权利，又负有为当代人类及其后代保护和改善环境的义务；

② 为了维护当代人类及其后代人的利益，地球上的任何资源都应精心规划，合理利用，如尽可能利用可再生资源，而节约利用不可再生资源；

③ 人类负有保护野生动植物及其栖息环境的义务；

④ 为保证各生态系统不致受到严重的和不可挽回的危害，应停止以超过环境净化能力的浓度排放有害物质或余热。

#### 1.1.1.2 20世纪80年代：定义可持续发展

这一阶段最值得关注的是世界政治格局的巨大变化，与此同时，消除贫困是一个挑战性的问题，因为发展中国家人口在不断增加，而且这些贫困人口很多现在生活在城市里。随着城市人口的增加，城市基础设施面临很大的压力，无法应付需求。

20世纪80年代，一些环境方面的新问题和新情况出现，如臭氧层空洞、物种灭绝等。环境与发展之间的紧密联系变得越来越清晰，联合国年报发表了《世界资源宪章》以引起对物种和生态系统内在价值的关注。与此同时20世纪80年代发生了一系列的灾难，例如1984年印度博帕尔碳化物工厂的泄漏事件，1986年前苏联乌克兰共和国切尔诺贝利核泄漏事件，1989年Exxon Valdez超级油轮5000万升石油泄漏事件，使人们在对环境及其与健康之间关系的认识上打上了深刻的烙印。

上面提到的事件说明环境问题是系统的，解决它们需要长期的战略和联合的行动，包括很多国家和社会团体的参与。这在《世界资源保护战略》（WCS）中得到了体现，其中的一个核心文件对后斯德哥尔摩时代的环境主义进行了重新定义。这一战略在1980年由联合国国际自然与自然资源保护联盟（IUCN）发起，强调解决环境问题需要长期的努力，同时还要把环境与发展目标结合起来。

1983年世界环境与发展委员会（WCED）把可持续发展定义为“满足现代人的需求但不损害后代满足其需求的能力”，使发展成为环境的一部分。

20世纪80年代是可持续发展思想萌芽以及逐渐走向成熟的阶段，为90年代可持续发展在政策、技术等层面的运用奠定了基础。

#### 1.1.1.3 20世纪90年代：实施可持续发展

伴随着不断加速的全球化趋势，尤其是在技术和贸易的全球化，20世纪90年代以追求深化理解可持续发展的概念和意义为特征。人们深刻地认识到全球环境问题需要来自全球的努力来解决。

在学术研究层次上，20世纪80年代思想被具体现实化了，人们对这些环境和社会问题的责任不断增强，这些已然成为一些国际性的事件而备受瞩目。

1992年巴西里约热内卢联合国环境与发展大会（UNCED 或称地球首脑会议）提出了《21世纪议程》，可持续发展概念得到与会者的共识与承认，这标志着环境的可持续发展进入实施性阶段。

这一年代发生的重大事件有：地球首脑会议的召开、《21世纪议程》的签署、全球环境基金的成立、可持续发展委员会的成立、企业介入可持续发展等，为社会、经济和环境的可持续发展打下了坚实的基础。

可持续发展是世界和中国21世纪发展经济的主题，它的核心是实现环境、资源与社会的协调发展。

环境与发展的三个阶段，可以认为是环境问题认识不断成熟的阶段。诸大建称这个阶段是由浅绿色向深绿色的环境观念转变的过程，前者建立在环境与发展分裂的基础上；而后者则要求将环境与发展进行整合性思考，这是20世纪80年代，特别是90年代以来第二次环境运动的主题。

诸大建认为：“浅绿色的环境观念，较多地关注对各种环境问题的描述和渲染它们的严重影响，而深绿色的环境观念则重在探究环境问题产生的经济社会原因以及在此基础上的解决途径；浅绿色的环境观念，常常散发着对人类未来的悲观甚至反发展的消极意识，而深绿色的环境观念则张扬环境与发展双赢的积极态度；浅绿色的环境观念偏重从技术层面讨论问题，而深绿色的环境观念强调从技术到体制和文化的全方位透视和多学科的研究。概言之，浅绿色的环境观念就环境论环境，较少探究工业文明方式的调整或补充；而深绿色的环境观念，洞察到环境问题的病因藏匿于工业文明的发展理念和生活方式之中，要求从发展的机制上防止、堵截环境问题的发生，因此它更崇尚人类文明的创新和变革。”

“区别浅绿色的环境概念与深绿色的环境概念，对中国现代化的未来实践是重要的。当前我国社会各阶层对环境问题已经变得日益关注。但关注的后面可以看出存在着绿色程度的差异”，诸大建认为，“如果总是停留在不触及旧的经济社会发展方式的基础上号召人们去被动地应对环境，那么环境问题不但不可能从根源上得到防止和解决，而且会在整个发展过程中不断重现甚至持续恶化。这就是浅绿色的环境概念实际上对中国现代化无所积极意义的理由，这也是不能把一切标榜为‘绿色’的理念、学说、宣传都认为是对发展有益的理由”。

可持续发展作为一个词语本身，早已经深入人心，但很多时候实施环境的可持续发展，理想和现实之间存在很大的差距，很多时候面临局部利益与整体利益、近期利益与长远利益的矛盾问题，在21世纪，中国不能重蹈西方国家工业化过程中“先污染后治理、先破坏后恢复”的老路，环境与发展双赢是惟一的选择，但必须认识到环境可持续发展存在的复杂性、艰巨性以及长期性，必须首先实现由浅绿色向深绿色的环境观念的转变。尤其在实践阶段，例如城市生态规划的制定与执行过程中，必须认识其重要性。

## 1.1.2 城市环境可持续发展的研究进展

### 1.1.2.1 城市可持续发展的含义及其特征

1987年联合国世界环境与发展委员会（WECD）在《我们共同的未来》报告中，第一次对可持续发展做了全面详细的阐述，并给出了人们普遍接受的定义。1992年联合国环境与发展大会通过了《里约宣言》、《21世纪议程》等纲领性文件，体现了当代人类社会可持续发展的新思想，树立了环境与经济、社会发展的新观点，使可持续发展成为全球的共同行动战略。

依据可持续发展的定义和内容，城市可持续发展是指在一定的时空尺度上，以长期持续

的城市增长及其结构进化，实现高度发展的城市化和现代化，从而满足当代城市的现实需要，又满足未来城市的发展需要，就宏观而言，城市可持续发展是指一个地区的城市在数量上的持续增长，最终实现城乡一体化；就微观而言，城市可持续发展是指城市在规模（人口、用地、生产）、结构、等级、功能等方面的持续变化与扩大，以实现城市结构的持续性转变。总而言之，城市可持续发展是城市数量、规模和结构由小到大、由低级到高级、由不协调到协调、由非可持续到可持续的变化过程。

城市是一个由社会、经济、环境三个基本要素之间通过相互作用、相互依赖、相互制约而构成的紧密联系的复杂系统，其中，社会子系统是由提高人的素质和实现人口再生产为目的的社会服务体系构成，主要功能是处理人与人之间的关系，解决人自身的发展，保持合理的人口再生产，促进物质文明和精神文明的不断提高；经济子系统是由经济组织、经济体制、经济实体、经济产业等要素构成，主要功能是保证物质产品的生产满足人的物质生产和精神生活的需要；环境子系统是由自然环境、人工环境等要素构成，环境通过自然再生产过程，并以其物流和能流等功能，直接或间接地满足人们日益增长的生态需要，据此，对城市系统发展而言，环境可持续性为基础，经济可持续性是条件，社会可持续性是目的，这三者的协调发展是可持续性的关键，由此可见，可持续性城市发展的基本特征，表示城市系统的发展过程受到某种干扰时具备的一种通过自身的改造不断保持或改善其组织机制的优化能力，是以其稳定性和协调性为必要的动态变化过程。

#### 1.1.2.2 城市可持续发展的主要内容

1992年联合国环境与发展大会制定的《21世纪议程》，对世界城市的可持续发展给予了特别的关注，城市可持续发展的内容主要包括以下内容。

(1) 城市可持续发展的重要性和目标 城市（包括特大城市）的继续存在和发展，越来越和生态环境密切相关，发达国家的城市消费方式和生产的废物排放越来越破坏着人类的生存环境。发展中国家的城市均面临着强大的人口压力和对环境的污染，世界城市的发展意味着人口的大量集中，对自然资源消耗的过多过快增长，对地球生态环境压力的加重。因此，城市和可持续发展组成了一对矛盾，未来的要求是协调这对矛盾，探求城市的可持续发展道路。

全球《21世纪议程》提出未来世界城市可持续发展的目标是：改善城市社会、经济和环境；改善城市居民的生活环境与工作质量。

《中国21世纪议程》主要内容与人类住区的可持续发展见图1.1。

##### (2) 城市可持续发展的重要领域和措施

① 向全体居民提供适当住房。

② 改善居住区的管理，其中包括：改善城市管理；加强城市数据信息系统的建设；鼓励中等城市的发展。

③ 促进可持续的土地利用规划和管理。

④ 加强环境基础设施，大多数发展中国家的城市，由于缺乏城市环境基础设施，导致环境恶化。《21世纪议程》指出：到2025年为所有住区提供充分的环境基础设施。

⑤ 促进人类住区可持续的能源和运输系统建设。

在城市能源方面，有三大政策：增加能源生产，降低生产成本；提高能源利用率，减少环境污染；促进可再生能源的利用。

在运输系统方面，有如下主要措施：城市土地利用与运输规划相结合，减少运输需求的

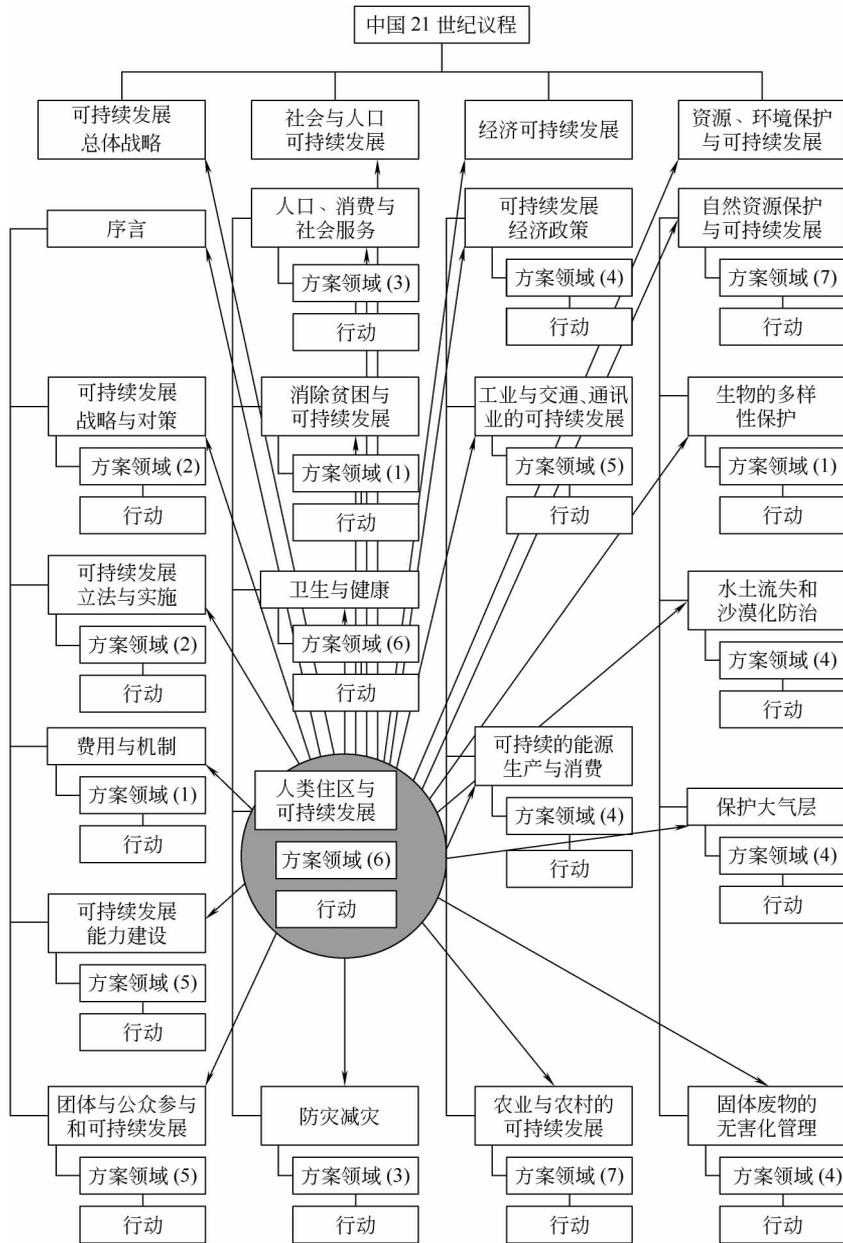


图 1.1 《中国 21 世纪议程》主要内容与人类住区的可持续发展  
(图片来自《中国 21 世纪议程》)

发展模式；发展公共交通；鼓励非机动车运输方式，包括发展自行车；改善交通管理。

⑥ 改进防灾减灾规划和管理，主要措施有：提高防灾减灾意识，加强早期预警系统建设；制定灾前规划；完善组织灾后恢复和重建。

⑦ 促进可持续的建筑业活动，包括采用经济上、环境上合理的节制材料、节能材料和管理措施，严格建筑业土地利用规划和政策，尽量利用当地规划做建材等。

### 1.1.2.3 中国城市环境可持续发展的研究进展

自 1973 年以来（1971 年中国重返联合国以后），中国城市环境保护大体上经历了工业污染的点源治理、污染综合防治和城市环境综合整治三个发展阶段。

① 点源治理阶段，大致是 1973~1978 年。主要工作包括：锅炉改造、消烟除尘、控制大气污染；工业“三废”综合利用和主要污染物的净化处理。

② 污染综合防治阶段，大致是 1979~1983 年，一些城市区域的污染治理已经初见成效。

③ 城市环境综合整治阶段，大致是从 1984 年开始，把工业污染防治与城市基础设施建设有机结合起来，由单纯治理向调整产业结构和城市布局转变。1984 年 10 月，中共中央《关于经济体制改革的决定》中明确指出：“城市政府应当集中力量做好城市的规划、建设和管理，加强各种公用设施的建设，进行环境的综合整治”。因此，城市环境综合整治成为城市政府的一项主要职责。

1988 年 9 月，国务院环境保护委员会做出了《关于开展城市环境综合整治定量考核的决定》，标志着中国城市环境管理工作发生了由定性到定量、由经验到科学的根本性转变。自 1989 年起，国家对 46 个环境保护重点城市进行城市环境综合整治定量考核，各省、自治区也分别对辖区内的城市进行了考核，目前考核城市已达到 610 个。在 1995 年我国政府颁布的《中国 21 世纪议程》里，如图 1.1 所示，把可持续发展战略作为国民经济和社会发展中长期计划的重要指导方针。1997 年，中国国家环境保护局为组织实施《国家环境保护“九五”计划和 2010 年远景目标》提出城市环境保护“要建成若干个经济快速发展、环境清洁优美、生态良性循环的示范城市”，探索在城市实施可持续发展战略的有效途径，决定在全国范围内开展创建国家环境保护模范城市活动。

当前，中国城市环境保护逐步确立了以人为本的指导思想，城市环境综合整治正向着城市生态建设与环境质量全面改善的新阶段迈进。在今后的一段时间里，中国城市环境保护的基本思路是：以促进人与自然的和谐发展为目标，以创造良好的人居环境为中心，在新的城市化高潮中，结合产业结构和城市规划布局的调整，进一步加强城市环境基础设施建设，全面改善城市环境质量，从而提升城市可持续发展的综合实力。

城市可持续发展在中国的实施当前，中国的城市环境保护正在发生着两个根本性转变：一是从工业污染治理转变为工业与生活污染治理并重；二是从环境综合整治转变污染治理（减污）与生态补偿（增容）并重。从根本上讲，城市环境保护就是围绕保障城市的可持续发展而进行的。

### 1.1.3 城市可持续发展主要的政策行动

传统处理城市环境问题往往采取一种“先破坏后恢复，先污染后治理”的末端处理模式，随着可持续发展研究的深入，人们发现城市生态环境很多时候是不可恢复的。因此避免发生这种不可逆变化的最有效办法，就是将生态环境脆弱地区，尤其是生态系统的边缘区或不同生态系统的演替区域，划分为生态保护区，而在那些建设区内或者尽量将城市开发与建设控制在生态环境系统所能够承受的范围以内。为达到这一目的，人们通过城市可持续发展的政策行动、制定环境保护相关法律法规、建立城市环境保护管理体系、针对城市整体的生态系统进行规划，建设前期的环境评价、普及城市可持续发展教育、建立城市环境保护信息库等措施，力求实现城市的可持续发展。在 20 世纪 90 年代，很多国家、地区、城市还提出建设“生态”城市的目标，进一步推动了城市环境可持续发展的进程。

如果目前以及未来将面临的城市环境问题没有得到解决，将引发 21 世纪主要的环境危机，它们的出现是由于缺乏有力的措施，尤其是能够及时根据出现的问题制定相关政策的机制。城市环境问题的解决最终取决于地区、国家甚至世界范围内的政策行动。

城市环境问题主要包括两个方面：目前面临急需解决的，以及未来将面临的环境问题。要解决环境问题，未来的行动将集中于如下 4 个关键领域。

① 填补知识空白，包括环境数据和信息、政策绩效、贸易与环境间的联系、国际金融与环境等；

② 抓住根本原因，包括补贴、能源消耗、生产技术等；

③ 采取综合行动，包括主流思想、综合管理、国际协调；

④ 动员行动：包括人、社会团体和非政府组织、私有部门、国家政府、国际组织。

应用于城市环境问题上面，主要包括以下几个方面。

(1) 针对主要城市环境问题的替代政策的选择 中国城市主要环境问题包括空气污染与水污染。中国不同地区存在极大的差异性，很多城市存在越来越严重的空气污染问题。中国的北京和上海是世界上颗粒物含量最高的 15 个城市之一，如表 1.1 所示。在许多城市，这些污染物在空气中的浓度超过了世界卫生组织的标准。

表 1.1 亚洲 11 个城市的空气质量（根据 GEO2000）

城 市	SO <sub>2</sub>	SPM	Pb	CO	城 市	SO <sub>2</sub>	SPM	Pb	CO
曼谷	•	•••	••	•	马尼拉	•	•••	••	•
北京	•••	•••	•	•	孟买	•	•••	•	•
加尔各答	•	•••	•	•	汉城	•••	•••	•	•
德里	•	•••	•	•	上海	••	•••	•	•
雅加达	•	•••	••	••	东京	•	•	•	•
卡拉奇	•	•••	•••	•					

注：•••为严重污染问题，比 WHO 标准远超出 100%；••为中度污染，超出 WHO 标准达 100；•为轻污染，通常满足 WHO 标准，或时不时地超过一小部分。

而在未来 30 年间，预计中国所在的亚太地区大多数国家的空气污染将显著增加。另外酸沉降也会逐渐成为问题。如果按照现在的模式发展下去，截至 2030 年，亚太地区的二氧化碳排放量将比 1990 年增加 3 倍；而氮氧化物的排放量则增加 2 倍。除了大范围日益加剧的城市空气污染，酸沉降也越来越成为棘手的问题，中国东南部的大片地区，预计到 2020 年将会有高浓度的酸沉降。

可以用来替代的政策的选择包括：清洁技术的传播，提倡非机动车和公共交通，燃料转换和提高能源效率，以及所有这些措施的结合（清洁技术、提高交通效率和燃料转换）。燃料的转换需要注意适应中国的国情，与其他政策相结合，到 2030 年燃料的转换可以将二氧化碳的排放降低到 1990 年的水平以下，并将氮氧化物排放的增长控制在 40% 以内。研究表明，中国所采用的将环境压力降低至可持续水平的技术切实可行，不过仍需要一定的资本确保必要的改革在政治和财政上可行。

(2) 城市人口问题的对策 中国人口问题主要是来自于农村人口城市化带来的巨大压力，要实现农村人口向城市的迁移并完成人口的转化，必然要求城市提供充足的就业岗位和必要的生活基础设施。中国实施城市化的途径是将农村人口引向大中城市，还是农村小城镇？大城市进一步扩大，可以预计，交通拥挤、水与空气污染、基础设施不足等城市环境问题将增加。而大城市本身的吸力比较薄弱，大多数城市基础设施欠债很多，很难解决庞大的农村剩余劳动力问题，中国政府主要采取两种策略：①控制乡村向城市迁移的办法，力图减少大城市的生长；②将发展小城镇确立为中国城市化的主导战略和吸收消化农业剩余劳动力的主要途径。

值得关注的是，在将发展小城镇作为渐进式城市化策略的过程中，应如何使城市规划方面真正有效防止小城镇发展经历像珠江三角洲的小城镇群那样“先污染后治理，先破坏后恢复”的城市工业化老路？

(3) 环境保护政策法规 对于政策建议和政策制定的成功与否进行定量评价，并非易事，需要处理以下 4 个问题：

环境问题是否在“在书面上”得以充分的论述？

这些意图是否已经实施？

实施后是否对环境有正面影响？

这些影响是否足够？

根据《全球环境展望》，政策反应包括 8 类政策：多边环境协议（MEA）和非约束性文件；法律与机构；经济手段；工业和新技术，包括清洁生产、生态效率和生态设计；环境行动资金；公众参与；环境信息和教育；社会政策。

最近中国政府努力执行环境法律和法规并完成了一部综合性的环境保护法，该法律的重点是贯彻执行法律条文，确定了责任和法律职责，并对违反者加以处罚。

(4) 环境模范城市与生态城市建设 一些城市，例如大连、厦门、张家港、深圳、威海等，建设环境模范城市、生态城市等，代表中国城市的新趋势。这些城市正在做出巨大努力，在经济发展中，强调城市环境规划与污染治理。自 1995 年起，国家环保总局先后批准了 150 多个省、地、县为国家生态示范区建设试点，全国生态城市建设工作开展迅猛，如上海等地。

除了以上几个主要方面，关于环境问题的替代政策还包括普及环境保护教育、城市环境综合管理等方面。

#### 1.1.4 城市环境可持续发展研究面临的问题

Franco Archibugi 的《生态城市与城市影响》一书中，认为城市发展对区域与全球环境产生了极大的影响，但城市的这种影响却一直没有引起足够的重视。直到近年，将环境问题与城市问题直接联系起来加以考虑在学术界还是不太明确的。

他认为，20 世纪 60 年代末在发达国家率先出现了规模很大的民众环境保护运动，这一运动在 20 世纪 80~90 年代已经形成全球性的浪潮，代表了环境发展历史上的一个转折点。但是，城市环境、城市环境的衰退问题以及城市环境对区域环境的重要影响却是直到几年前，才与世界性的环境运动发生密切的联系，城市环境才被直截了当地提到了议事日程。近年来，对都市环境衰退问题的关注已经越来越强烈。

以往对城市环境问题关注不够，在世界范围内可以找到许多佐证。如欧洲经济共同体（European Economic Community）发布的欧洲共同体的若干四年环境计划（1973~1976 年，1977~1981 年，1982~1986 年和 1987~1992 年）中都没有提到城市。

这些计划忽视这样一个事实：城市是一个特殊的需要加以精心保护和组织的环境实体。在以上这些环境计划中，环境保护的对象被认为仅仅是一些自然环境要素所组成的，譬如绿色空间、大气、植物群和动物群以及一般的自然景观。

Franco Archibugi 认为，这些仅仅是一些影响城市的自然环境因素，并不是影响城市环境的全部要素。此外，Franco Archibugi 指出美国在 1969~1971 年提出的联邦环境政策对都市环境问题也没有表示出官方的关注甚至没有表示出对这一问题进行研究的兴趣，事实上城市环境问题已经被分割成许多零碎的片段，以进行分析和评价，而整体性的综合研究则比

较缺乏。

在另外一些国家也或多或少发生着同样的事情。如欧洲一些国家和其他发达国家的多年环境规划 (multi year plans for the environment) 都不包括任何有关城市环境的特定的内容。例如荷兰、日本、法国、英国、加拿大等。有一个例外, 就是意大利的 10 年环境规划 (1992 年), 这一规划包含了一些有关城市环境的特定内容。

尽管我国有关部门早有这样的论断: 中国的环境污染是以城市环境污染为中心的, 但在中国也存在着对城市环境施加给区域及国家人居环境质量的影响和作用认识不足的问题。如: 从 1999 年国务院通过的《全国生态环境规划》所公布的内容来看, 涉及城市生态环境问题的内容相对较少, 这种现象已经引起了我国不少城市规划学者们的关注。

Franco Archibugi 在书中还对环境问题的根源从一个新颖的视角进行了探讨, 他尖锐地指出, 目前虽然人们普遍性地关注环境问题, 但其角度和视野并不准确: 主要集中在一些产生污染和破坏自然环境的因素和对产生的结果的测度上。人们从来没有考虑到, 大多数严重污染和自然环境衰退的根源来自城市本身 (城市是一个对环境有着危害的因素, 是一个对生态系统起着干扰作用的因素, 大多数的空气污染来自城市交通, 大多数的水污染和土壤污染来自产生于城市的固体和液体废弃物), 来自不适当的城市规划 (bad planning)、不适当的城市管理 (bad management of the city) 及城市与环境不相协调的发展。他指出: 环境危机和城市规划之间的紧密关系未得到充分的重视和正确的认识。

Franco Archibugi 认为, 不适当的城市规划和城市管理的第一个牺牲品是都市环境——自然环境 (水、大气、绿色空间等) 和社会文化环境 (social-cultural environment, 包括都市景观文化遗产、社区等)。Franco Archibugi 探讨了不适当的城市规划、不合理的区域规划和混乱的城市管理产生的原因。他指出: 所有这些现象发生的根源在于城市的空间布局和城市功能在区域中分布的不平衡。

从 Franco Archibugi 的观点来看, 城市环境可持续发展的落实, 主要有两方面: ①对城市规划与环境危机之间的密切关系予以充分的重视与正确的认识; ②对城市规划及其相关内容进行必需的调整。

## 1.2 城市生态规划的由来、演化与发展

城市环境问题主要与以下要素有关: 城市规划、城市管理、城市本身以及与环境不相协调的发展。从因果关系来看, 城市本身以及与环境不相协调的发展是城市环境问题产生的基本原因, 而如果所采用的城市管理与城市规划模式或方案不当, 会导致基本的环境问题拖延并且更加难以解决, 甚至会产生新的环境问题。UNEP (联合国环境规划署) 认为城市环境可持续发展最终取决于从地区、国家甚至世界范围内的政策行动, 也就是城市的管理行为。但有人指出联合国对于环境问题的对策过于偏重从政策层面予以解决, 但从城市可持续发展的实践情况来看, 政策法规距离环境问题的最终解决之间, 需要解决两个问题: ①与环境保护相关的政策法规如何更为有效地与具体的环境问题解决相衔接; ②如何确保这些环境政策法规的思想在具体环境问题解决过程中的贯彻执行。就目前情况来看, 由于种种不确定因素的存在, 使城市环境问题的解决差强人意, 因此环境法研究学者们一致认为, 如何有效的执行已经颁布的环境法是中国乃至国际社会普遍存在的共同问题。

有人认为城市规划作为城市管理的一部分, 主要任务是使抽象的政策法规更加专业化以

及具体化，从而转化为指导城市建设以及环境工程项目的规范、原则、理论、方法。城市规划本身可以说是城市政策的具体化，应该发挥规划在政策与具体实施之间良好的中介作用。而城市生态规划是城市规划发展的一个较新的热点，它区别于传统的城市规划，也不同于环境规划，前者针对城市环境保护以及生态建设虽然有专门的章节，但只是侧重于提出具体环境污染治理的工程项目，以及环境保护与发展一些基本的原则与方法，没有深入研究城市环境问题的产生原因与对策；后者虽然是解决具体的环境问题，但由于受专业限制，对超出环保部门范畴的问题缺乏有效的对策与方法。相对而言，城市生态规划是一种针对城市环境问题的宏观控制性规划。本书在下面章节拟从解决城市环境问题的宏观层面出发，探讨城市生态规划的理论与方法。

### 1.2.1 城市生态规划的由来

人类早期朴素的生态学思想有着较长的历史。中国古代的“风水”思想就提倡“人之居处，宜以大地山河为主”，主张与自然融为一体，筑屋建房之前，必须“相上尝水”，观察基地环境，使居住点与自然山水有机结合。古希腊哲学家柏拉图的“理想国”，古罗马建筑师维特鲁威的“理想城”，16世纪中摩尔的“乌托邦”，欧文的“新协和村”都含有一定的生态学的哲理。19世纪工业在城市的迅速发展导致城市布局开始出现混乱，进而引起了一系列的城市社会与环境问题，许多大城市进行了城市改建的社会实践。巴黎在1852年开始的改建体现了朴素的生态思想在城市规划中的运用。1898年英国人 Howard 提出的田园城市理论影响深远。由人工构筑物与自然景观（指包围城市的绿带与农村景观及城市内部大量的绿地与开阔地）组成的所谓“田园城市”实质上就是从城市规划与建设中寻求与自然协调的一种探索。在他的倡导下，英国曾有过试验，如 Letchworth 和 Welwyn 就是由 Howard 设计的田园城市，但由于田园城市理论与社会现实距离较大，该理论在实践中并未取得预期的结果。Howard 的理论开创了城市规划与城市经济、城市环境绿化等问题相结合的新阶段，对后来城市生态规划理论的研究与发展起了很大作用。

### 1.2.2 城市生态规划的概念与发展

#### 1.2.2.1 城市生态规划理论的繁荣

虽然国际上正式提出城市生态规划概念的时间还不长，但其学术思想的探讨却有着悠久的历史渊源。古希腊哲学家柏拉图提出过“理想国”的设想，古罗马建筑师维特鲁威（M. Vitruvius）在《建筑师》中总结了希腊、伊达拉里亚和罗马城市的建设经验，对城市选址、城市形态与规划布局等提出了精辟的见解，把对健康、生活的考虑融会到对自然条件的选择与建筑物的设计中。文艺复兴时期的建筑师阿尔伯蒂、费拉锐特、斯卡莫齐等人师承维特鲁威，发展了“理想城市”的理论。16世纪英国摩尔（T. More）的“乌托邦”，18~19世纪傅里叶的“法郎基”，欧文（Rowen）的“新协和村”，西班牙索里亚（A. Soria）的“线状城”等设想中都蕴含有一定的城市生态规划哲理。

真正意义上的城市生态规划产生于20世纪之初，生态学已完成其自身的独立过程，形成了一门独立的学科。20世纪20年代芝加哥人类生态学派创始人 Park 提出了城市生态学。城市生态规划也就在城市生态学理论与生态学思想广泛传播的大氛围中得到了发展。20世纪初规划实践的要求和规划方法的发展也促进了城市生态规划的发展。

这个时期涌现了一大批对城市生态规划理论发展作出了重要贡献的著名学者，其中 Geddes 的生态规划思想影响甚远。Geddes 在他《Cities in Evolution》一书将生态学原理应用于城市的环境、市政、卫生等综合规划研究中。他的目标是将自然引入城市，强调在规划

过程中，通过充分认识与了解自然环境条件，根据自然的潜力与制约制定与自然和谐的规划方案。此外，Sarrinen的“有机疏散理论”和芝加哥人类生态学派关于城市景观、功能、绿地系统方面的生态规划理论都为后来城市生态规划的发展奠定了基础。20世纪初，美国芝加哥学派所开创的人类生态学研究促进了生态学思想在城市规划领域的应用与发展。其代表人物Park于1916年发表了《城市：关于城市环境中人类行为研究的几点意见》的著名论文，将生物群落学的原理和观点用于研究城市社会并取得了可喜的成果，并在后来的社会实践中得到发展。1923年美国区域规划协会成立，作为其主要成员的Mackaye和Mumford是以生态学为基础的区域与城市规划的强烈支持者。此外，在Howard的“田园城市”理论的基础上，Unwin于1922年出版了《卫星城市的建设》，正式提出了“卫星城镇”的概念。Wright在1945年提出了“广亩城市”的理论。20世纪初是城市生态规划发展的第一个高潮。但这个时期的城市规划虽然有生态规划思想的应用，却很少使用生态学的学科语言。此外这一时期的城市生态规划理论也带有很明显的“自然决定论”的色彩。

#### 1.2.2.2 城市生态规划的实践

20世纪初将生态学思想融于城市规划的方法与实践也有了很大发展，英国田园城市运动、美国区域规划协会的工作都对城市生态规划方法与操作进行了较深入的探讨。始于1893年的芝加哥“城市美化运动”(City Beautiful Movement)可以视为城市生态规划的代表作。

美国区域规划协会的规划工作主要集中在城乡最优单元，相互作用及自然保护上。此外，Tugwell的新社区建设影响也很大。在规划方法上，这个时期的显著贡献是创立了地图叠加法及其在城市规划中的应用，使后来McHarg的生态适宜度分析方法的实际操作成为可能。

#### 1.2.2.3 城市生态规划的发展

20世纪60年代至今仍在高涨的环境运动与生态系统理论为人们认识环境危机的生态学本质提供了理论基础。尤其是70年代可持续发展思想的引入，使城市生态规划走向第二个发展高潮。在20世纪60年代城市生态规划的复苏与发展中，美国景观设计师Ian L. McHarg和他的同事为现代城市生态规划的发展奠定了基础。在他1969年出版的《Design With Nature》中，McHarg提出了城市与区域土地利用生态规划方法的基本思路，并通过案例研究，对生态规划的工作流程及应用方法作了较全面的探讨。McHarg的生态规划框架对后来的城市生态规划影响很大。20世纪70年代以后的许多规划工作大多遵循这一思路展开的，并将这个框架称之为“McHarg方法”。1971年联合国教科文组织开展了一项国际性的研究计划“人和生物圈计划”(MAB)，提出了从生态学角度来研究城市的项目，明确指出应该将城市作为一个生态系统来进行研究，并开始了国际性的协作，许多大城市，如华盛顿、堪培拉、莫斯科、柏林、法兰克福、布达佩斯、东京、香港、北京、天津、长沙、上海等都进行了生态规划的研究。20世纪70年代，Mazur和Ruzicha等景观生态学家的研究工作逐步发展并形成了比较完整的景观生态规划的理论方法，并使之成为国土规划的一项基础性研究工作。20世纪70年代以来的城市与区域生态规划更多的将生态系统学说与景观生态学的新成果应用于规划之中，景观生态规划在此过程中也有了新的发展。现在，景观生态规划的理论与方法已经渗透到了城市生态规划的各个方面。20世纪70年代以来，随着计算机技术的高度发展以及地理信息系统(GIS)的广泛应用，城市生态规划逐渐从定性向定量分析和模拟方向发展，从单项规划向综合规划方向发展，更加侧重基于城市生态对策规划

研究。城市生态对策规划是基于城市生态系统理论，试图用系统分析的方法与控制论原理，在分析系统各要素的变换及其对整个系统影响的基础上做出决策规划，在理论研究与实践的过程中出现了各种规划模型，如灵敏度模型、多目标规划模型、泛目标规划模型、系统动力学方法等，对于处理复杂系统内部要素之间的变动关系及在决策中预测系统的发展趋势有较好的辅助作用。目前，许多科学家都致力于城市生态规划模型的定量化研究，而作为其基础的对于城市化所产生的生态影响的定量研究也是目前的研究热点。Whitford 等提出了一个城市生态影响量化的简单模型，主要考虑地面温度、水文、碳存储和生物多样性的变化，并已成功地应用于英国 Merseys 地区的城市规划中，在理论上，更多地应用现代生态学的新成果，从强调人对环境的适应，偏重分析生态适宜度转向对生态系统，尤其是人类生态系统的结构与功能以及它们与人类活动关系的整体探讨。城市生态规划从建立在生态学基础上的城市规划到城市发展的“生态化”和“可持续性”，进而走向建设可持续发展的生态城市，生态城市是城市生态规划的方向。

#### 1.2.2.4 城市生态规划的新阶段——生态城市

生态城市的概念是人们在寻求城市的可持续发展的过程中诞生的，它代表了国际城市的发展方向。生态城市规划可以看成是复合生态系统观念在各层次的城市及其区域规划中的体现。20 世纪 80 年代，前苏联生态学家 Yanitsky 第一次提出了生态城 (ecopolis) 的思想。他认为生态城是一种理想城市模式，其中技术与自然充分融合，人的创造力和生产力得到最大限度的发挥，居民的身心健康和环境质量得到最大限度的保护，物质、能量、信息高效利用，生态良性循环的一种理想栖境。联合国教科文组织的 MAB 报告 (1984 年) 提出了生态城规划的五项原则是：生态保护策略 (包括自然保护，动、植物区系及资源保护和污染防治)；生态基础设施 (自然景观和腹地对城市的持久支持能力)；居民的生活标准；文化历史的保护；将自然融入城市。1975 年，美国生态学家 Register 和他的朋友们在 Berkley 成立了“城市生态 (urbanecology)”组织，这是一个以“重建城市和自然的平衡 (rebuid cities in balance with nature)”为目标的非赢利性组织，从那时起，该组织在 Berkley 参与了一系列的生态建设活动。为了进一步促进生态城市规划与建设的理论研究与实践，该组织从 1990 年开始组织召开了四届生态城市国际会议。这四届生态城市国际会议和有关人居环境的各种生态建设会议使得生态城市规划、建设的理念得到更多的普及。Register 认为生态城市即生态健康的城市，是紧凑、充满活力、节能并与自然和谐共存的聚居地，并于 1990 年提出了“生态结构革命”的 10 项计划。此后，生态城市的研究与示范建设逐步成为全球城市研究的热点，目前全球有许多城市正在按生态城市目标进行规划与建设，如印度的班加罗尔、巴西的库里蒂巴和桑托斯市、澳大利亚的怀阿拉市、新西兰的怀塔克尔市、丹麦的哥本哈根、美国的克利夫兰和波特兰都市区等，我国的许多城市也开展了生态城市规划与建设的研究和实践。生态城市规划是生态城市建设的前提与基础，因此对其进行系统的研究也是十分有必要的，国内外在生态城市的理论研究与实践基础上也积累了不少这方面的经验。它主要包括以下几个方面：建立科学合理的评价指标体系和规划目标；城市与区域规划相结合，使城市与其影响区域共生、共发展；城市和区域产业布局的调整规划和生态功能区划及匹配；分层次规划与复合生态系统综合规划相结合；城市空间利用规划与生态规划、社会经济发展规划综合考虑；生态城市规划管理机制研究。

第二届和第三届生态城市国际会议提出了指导各国建设生态城市的具体行动计划，即国际生态重建计划。该计划得到了各国生态城市建设者的一致赞同，主要内容包括：重构城

市，停止城市的无序蔓延；改造传统的村庄、小城镇和农村地区；修复自然环境和具生产能力的生产系统；根据能源保护和回收垃圾的要求来设计城市；建立步行、自行车和公共交通为导向的交通体系；停止对小汽车交通的各种补贴政策；为生态重建努力提供强大的经济鼓励措施；为生态开发建立各种层次的政府管理机构。上述几点是生态城市规划建设理念的集中体现。

### 1.2.3 我国城市生态规划研究进展

在国内，在 20 世纪 90 年代中后期开始至今不到十年的时间里，城市生态规划的研究在理论与方法上取得了迅猛的发展。为解决环境问题而产生，其针对对象、研究范围以及方法受到环境问题未来发展趋势、政策法规的转变以及城市其他相关环境治理方法的影响与制约，具有明显的阶段性与时代特征。这其中有力因素（城市社会经济发展以及人们生活的推动）以及内部原因（城市环境研究的宏观发展）。

(1) 外因 城市生态规划研究的发展推动的外部原因主要有两方面。

① 社会经济原因 由于自中国改革开放以来，发展经济一直是中国大部分城市的主要战略，在“发展就是硬道理”的总策略下，其他方面的发展必须要与经济发展相协调，也可以理解为不阻碍经济发展的前提下才能得到发展，这是现阶段不可否认的事实，在研究城市生态规划产生、发展的背景时，不可能脱离这个时代的大背景单独来谈。

城市生态规划作为一门应用性学科，必须与实践紧密结合，因此其发展很大程度上得益于 20 世纪 90 年代以来中国的生态城市建设的迅猛发展，而后者与城市经济发展密切相关。一方面，随着世界范围内城市化进程的加速，我国的城市化水平也进入了一个空前发展的阶段。城市建设和经济开发正以前所未有的规模展开，取得了巨大成就。工业化迅速发展，在促进城市经济发展的同时，也为城市以及周边非城市化地区带来了大量的环境污染以及生态破坏问题。尤其在一些城市的建设和发展中，存在不少注重短期经济效益、忽视长期环境效益和城市形象的行为，盲目照搬，千城一面，缺乏远景规划。因此，如何避免将城市发展建立在生态环境污染与破坏和缺乏城市设计的基础上，减少“生态负债”，是我国在新一轮城市建设热潮中所必须避免的。另一方面，随着人们经济水平的提高，对发展的理解也有了更全面的理解：除了经济条件以外，城市生态环境质量也成为生活水平的一项重要指标，被给予了更高关注。除此之外，很多城市都将引进外资作为推动城市经济发展的重要战略，而投资环境是外资投入的考察重点之一，这投资环境包括自然环境以及居住生活质量。但很多时候，经济发展与社会和谐、环境保护是互相矛盾，并且这种矛盾日益尖锐，城市生态规划的主要目的正是为了实现城市经济、社会、生态环境的协调发展，为真正意义上解决城市环境问题提出了一种新的可能。在这样的形势下，对于城市生态规划的研究尤为重要。

② 政策的转变 城市生态规划作为一种具体的决策，主要为政府提供建议，从政府决策的层面而言，人们对城市环境问题研究的深入导致了政策法规转向如何保障城市可持续发展的具体实施。产生于国际环境法律条约发展的环境法律法规，特别是中国政府签署《里约宣言》以及《21 世纪议程》可持续发展条约以及多项国际环境公约，以及 2002 年第一部《环境法》的颁布等，都充分体现了政府对环境问题的重视，这些对城市生态规划研究有很大的促进作用。

(2) 内因 内因主要是环境问题研究以及城市规划学科相关研究的发展。

① 环境科学研究的“合纵连横” 环境科学在产生伊始，其发展就呈现出与其他学科领域类似的两种趋势，可用战国时代的“连横、合纵”相比拟，如图 1.2 所示。

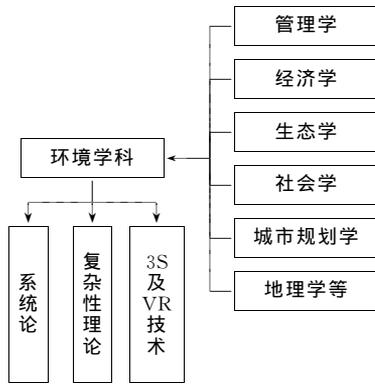


图 1.2 环境学科的发展趋势

“连横”：一方面，环境科学与生态学、管理学、经济学、地理学、政治学、城市规划学以及哲学等融合的趋势，对环境科学的理论与实践研究在定性角度趋向更加综合与全面；

“合纵”：另一种趋势是环境科学日益远离传统环境工程学，运用最新的系统论、复杂性等理论，借助计算机 3S、VR 等技术的快速发展，日益数理化、模型化、技术化，在纵深方向深入地研究环境科学的运行规律以及量化过程。

而环境学科最终的发展趋势是“连横”、“合纵”的结合，即在全面系统认识环境科学的本质、发展规律以后（定性），最终利用数学模型将其量化，并不断根据反馈加以调整的研究方法，是环境学科发展的趋势。

② 城市规划学科相关研究的发展 环境以及规划研究者认识到城市生态环境问题与城市复杂系统，与经济、社会其他问题密切相关，单从传统的城市规划或者环境保护本身无法根本解决这个问题，传统意义从环境入手的城市发展模式理论如“花园城市”、“卫生城市”、“山水城市”等都未曾研究过也无法包含的。对于环境问题研究而言，呈现以下几点主要趋势：注意全球性问题、以整体观念剖析环境问题、扩大生态学原理的应用范围、提高环境监测的效率。这些趋势改变了以大气、水、土壤、生物等自然介质来划分环境的做法，要求环境科学从环境整体出发，实行跨学科合作，进行系统分析，以宏观和微观相结合的方法进行研究。而城市规划也处于转型期，由具体的实体规划转向关注经济规划和环境规划转型，再向社会规划、文化规划和生态规划理念转变。

我国城市生态规划的研究与实践起步于 20 世纪 80 年代。虽起步较晚，但发展很快，研究者们力图将现代生态学的理论、国际城市生态规划研究与实践的新成果与我国国情相结合，提出了一些具有自身特色的理论和方法，在城市生态规划的实践方面也取得一定的成绩。

1984 年我国生态学家马世骏等提出了“社会-经济-自然复合生态系统的理论”。这一理论不仅丰富了城市与区域生态规划的内容，而且为实现社会、经济、环境的持续发展提供了行之有效的的方法论。在此基础上，王如松对城市生态规划进行了深入的研究，提出了泛目标生态规划方法。我国学者孔繁德等认为：城市生态规划的出发点和归宿点是促进和保持城市生态系统的良性循环。要改善城市生态系统的状态就必须从调整城市生态系统的结构入手，而合理布局则是调控城市生态系统结构的关键环节，因此合理布局应当成为城市生态规划的首要内容。杨本津等根据承德市生态规划实践，提出城市与区域生态（环境）规划包括人口控制规划、土地利用规划、环境质量规划和生态景观规划。王祥荣认为，城市生态规划的目的是在生态学原理的指导下，将自然与人工生态要素按照人的意志进行有序的组合，保证各项建设的合理布局，能动地调控人与自然、人与环境的关系，并给出了一套城市生态规划的工作程序。在生态城市规划建设方面，钱学森从中国古诗词、山水画、古园林建筑中吸取灵感，提出了“山水城市”的概念，与生态城市一样，山水城市的概念追求的也是人与自然在物质和精神两方面的高度和谐，可以说山水城市是有中国特色的生态城市的一种提法。许多学者都对生态城市的规划提出了自己的观点。胡俊认为，生态城市观强调通过扩大自然生态

容量、调整经济生态结构、控制社会生态规模和提高系统自组织性等一系列规划手段，来促进城市经济、社会、环境协调发展。黄光宇等从生态导向的整体规划、生态城市的总体规划对策、生态城市功能区规划设计对策和生态城市建筑空间环境设计对策四个方面提出了生态城市的规划设计方法。宋永昌、盛学良等都在各自研究的基础上提出了生态城市的指标体系和评价方法。

目前很多城市，如威海市、上海市、广州市、昆明市、长沙市、扬州市等许多城市都先后提出建设生态城市的宏伟目标。上海市政府 1999 年决定争取用 15 年左右时间将上海基本建成清洁、优美、舒适的生态城市。

#### 1.2.4 城市生态规划的主要特点

##### 1.2.4.1 城市生态规划是城市发展到一定阶段的产物

城市生态规划是城市规划发展的一个过程。

具体而言，城市生态规划产生的原因主要有以下几点。

① 城市环境问题开始得到广泛的重视。

② 人们认识到城市环境问题不是简单的技术问题所能解决，而更可能通过社会、经济等方面来综合予以解决。

③ 传统用来解决城市环境问题的办法（如城市管理、城市规划）失效（当然并不是完全失效，城市生态规划作为规划类型的一种，在一些基本规律性方面与其他专业规划具有共通之处，一些基本方法还必须借鉴城市规划的方法，特别是处理城市复杂问题的经验方面）。

##### 1.2.4.2 城市生态规划是城市生态学与城市规划结合的产物

人们认识到传统的规划方法如城市规划、环境规划等不能有效地解决城市环境问题，因此将生态学应用到城市规划中，城市生态规划理论与方法是建立在城市规划与城市生态学的实践基础上的，在发展过程中不断得到其他相关学科的补充与完善。

##### 1.2.4.3 城市生态规划的本质与目的

城市生态规划是一门应用性的学科，针对目前必须寻找一种有效的途径与方法，以解决实际问题为主，而不是过于追求理论的完整性，笔者认为目前最有效的途径是紧扣住城市生态规划的本质以及目的。

（1）城市生态规划的本质 首先城市生态规划在本质上属于城市规划的一种类型，主要任务除了的现状分析基础上，结合各种经验，运用相关学科的理论与方法，对现状进行分析以外，更重要的是对未来的预测与规划，这有别于其他科学。城市生态规划是对现有城市管理以及城市规划的一种补充，而不是完全取而代之，因此研究城市生态规划，首先必须研究现有城市生态系统以及城市规划面临的具体问题及其发展趋势。而对于城市生态规划的另一学科基础——城市生态学，以及相关的城市经济学、城市地理学等，在予以重视的前提下，也必须清醒地认识到这些学科目前主要侧重于对过去以及现状的研究与评价，对于未来的预测除了在较小的范围，例如城市交通或者城市环境变化等领域发挥着重要作用以外，在广泛涉及到城市其他如经济、政治领域的层面上的复杂环境问题时，因为种种复杂性与不确定性的影响而大大影响着可操作性。在很多时候其结果可靠性甚至还不如城市规划师依靠经验做出的规划。因此今后城市生态规划的研究重点，一方面必须借助城市规划积累的经验，另一方面，必须重视城市环境问题的复杂性与不确定性研究。

城市生态规划是一种宏观控制性规划，这包含两个层面的含义。

① 城市生态规划属于城市总体规划，必须在城市总体规划以及国民经济和社会发展计划

的指导下编制城市生态规划；

② 城市生态规划也有别于其他的专项规划，必须从宏观以及微观两个层面认识、研究、解决城市环境问题。

(2) 城市生态规划的目的 城市生态规划的目的是：从自然要素的规律出发，分析其发展演变规律，在此基础上确定人类如何进行社会经济生产和生活，有效地开发、利用、保护这些自然资源要素，促进社会经济和生态环境的协调发展，最终使得整个区域和城市实现可持续发展。

由此可见城市生态规划的根本目的，即作为政策法规与解决具体环境问题之间的联系纽带，但根据目前的现实情况，由于监测不均衡、数据质量差或数据残缺以及缺乏指标和有关政策执行前后环境状况的连续报告和数据等问题。尤其因为缺乏合适的机制、方法或标准来确定究竟是哪项政策促进环境状况的哪种变化。因此城市生态规划目前距离可操作性还有一定的距离。从技术层面比较科学与系统地解决具体的城市环境问题，这一点在目前的环境工程领域已经做得比较好，而城市生态规划的现阶段目标，作者认为应该从解决具体的问题入手，例如虽然一些环境问题在技术上完全能够得以解决，在现实中却因为种种社会、经济原因无法落实。那么研究这些问题产生的原因，并对政策、法规以及具体的操作双方提出建设性的意见，促进二者的交流与合作，使城市环境问题最终得以解决。

## 1.3 城市生态规划是城市规划发展的新阶段

### 1.3.1 城市规划的发展现状与面临问题

城市规划与其他学科的区别在于，城市规划的应用性更强、研究范围更广泛。城市规划以城市土地使用与空间系统为对象。城市土地使用聚集了大量作用关系，这就为对城市土地使用进行多方位、多学科的研究提供了可能性和必然性。因此，城市规划和管理应该是其他城市学科共同的应用方向。

若依据各门学科中人和自然的关系所占的重要性差异，对几门与城市规划关系比较密切的、研究城市的学科进行排列，城市生态学和城市社会学各据一端，生态学以自然关系作为研究对象，社会学则研究人际的社会关系，城市规划处于两个极端之间。在城市规划的自然环境（物质空间）决定论者看来，它更偏重生态学一端；而对于社会文化决定论者看来，它应该偏向社会学一端。前者在 20 世纪 60 年代一直是城市规划领域的主流思想，但 20 世纪 60 年代后的发展更倾向于后者，如图 1.3 所示。在 20 世纪 90 年代以来，即 1.1.2.3 谈到的可持续发展的实施阶段，这两个极端有相互结合的趋势，其中最典型的也就是城市社会、自然与经济复合生态系统、指标体系等理论与方法在城市规划实践的应用。

由于城市规划以及相关学科本身，尤其是理论体系的建构也处于不断的调整与完善的过程中，如果城市生态规划的理论与实践不能结合城市规划以及其他学科的最新研究成果，那么其应用性也将大打折扣。因此，密切关注城市规划及其他学科面临的最新研究动态，是增强城市生态规划可操作性的一个重要保障。

#### 1.3.1.1 国外研究现状以及发展趋势

国内外一些学者对目前国内城市规划主要存在的问题进行了相关研究。

吴志强介绍西方城市规划理论发展历程，并介绍几种主要的规划理论方法，如理性综合规划观、渐进式规划观、倡导式规划观、规划的政治经济观、新自由主义经济观、后现代主

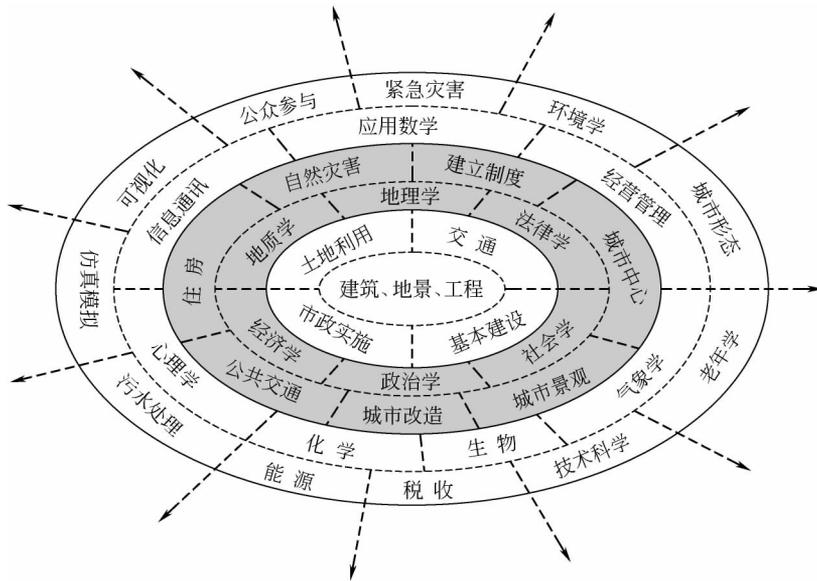


图 1.3 城市规划学科的发展分析图（黄亚平，2003）

第一圈，早期的发展：1900~1940 年；第二圈，中期的发展：1940~1965 年；第三圈，近期的发展：1965 年至今

义规划观等。并总结了这些理论对中国的启迪，主要有以下四个方面。

- ① 城市规划在社会主义市场经济下探求社会公正与效率的手段与方法；
- ② 如何在城市规划中变专家决定、领导决定的阶段，转化为公众参与的形式；
- ③ 在宏观政治经济架构下保证社会、经济的可持续发展；
- ④ 规划师需要专业构成多元化，需要掌握规划作为一种政府干预的手段，以及一种有机的社会过程中的许多知识技能。

于海漪等通过对近现代城市规划历史的回顾与分析，以 L. 劳丹的“研究传统”概念反思其发展，对近百年的近现代城市规划理论进行归纳总结（如表 1.2 所示），将其划分为三个研究传统：19 世纪末、20 世纪初的理论发展初期，其主要内容是“规划中的理论”；20 世纪 60 年代的重要转变期，其核心理论是“程序的理论”，以及 20 世纪末的可持续发展时期，其核心理论是人居环境科学。在此基础上，提出了关于城市规划学科的简单框架体系示意，如图 1.4 所示。

表 1.2 城市规划理论研究的阶段性（根据黄明华等，2001）

编号	时间区间	研究范围	规划模式	进步性
I	20 世纪初~60 年代	城市	线性模式-终极蓝图式	研究传统产生
II	20 世纪 60~80 年代	区域	系统化-程序式	多学科交叉综合
III	20 世纪 80 年代~21 世纪初	人居环境	网络化	多学科融贯统一

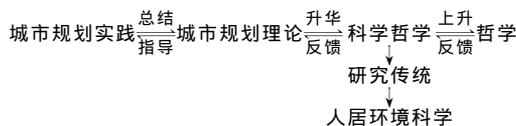


图 1.4 城市规划学科简单框架体系示意（根据黄明华等，2001）

方澜等在《战后西方城市规划理论的流变》一文中总结战后西方城市规划思想的几个重要转变。

① 城市规划从“物质形体设计”转变到崇尚系统分析方法 (systematic analysis) 的理性决策过程 (rational process of decision making) 的科学性规划。

② 规划从“蓝图式”实质性规划逐步变为“过程中”规划, 经过 70~80 年代的发展, 诸多学者认为城市规划师不仅仅只是扮演有一技之长的专业人员角色, 而应该从技术性角色到“管理者”和“联络者”通过自己的主观意识和价值体系来进行城市规划; 规划的这种技术性角色应该转变到在公共事务中, 扮演汇集群众意见和协调不同利益团体的角色。后来的“联络性规划” (communicative planning) 以及“倡导性规划” (advocacy planning) 等就是在对城市规划的反省中出现的城市规划新思路。

③ 以后现代主义规划思潮占主导地位的多元论规划思潮对现代主义的城市规划思想起了很大的冲击, 使得“城市规划思想处于划时代的转变时期”。

### 1.3.1.2 国内研究现状以及发展趋势

随着国内改革开放以来城市的迅猛发展, 也带来了环境、交通以及很多社会问题, 这些问题涉及面之广, 远远超过传统城市规划理论的研究范围。在这种情况下, 一些国外城市规划理论被引进, 使国内城市规划理论界不断完善的同时也逐渐在转型, 《雅典宪章》、《马丘比丘宪章》和《华沙宣言》先后成为城市规划理论发展中的 3 个里程碑, 使城市规划逐步从以建筑学为主发展到以城市功能的协调发展与公共工程建设为主, 进而转入以环境建设为主。随着中国市场经济体制的形成, 现代城市规划还运用了西方弹性理论和滚动规划理论。弹性理论指出在规划的时间与空间上应该预留城市发展用地, 使城市能够承受发展的可变性; 滚动规划理论指出规划应该在短时间 (5~10 年) 内不断更新与完善。

但总的来说, 中国城市规划研究现状存在一些问题。首先, 中国传统的城市规划理论带有明显计划经济色彩, 制定城市总体规划的重要依据是“国民经济和社会发展 5 年计划”。城市规划的实施长期遵循国家对城市建设与发展的指令性计划, 国内关于城市规划理论研究也主要是以形态为主的物质性规划, 其方案的制定与实施主要受国家宏观政策和地方政府关于经济和社会发展需求的制约, 缺乏不同社区人群和非公有制经济组织的利益; 偏重经济效益, 而忽视了生态效益和社会效益的整体发挥。具体表现一方面城市规划注重经济发展与产业布局, 忽视生态建设; 另一方面, 城市规划重视城市功能区划分, 而忽视社会区域分析。沈清基认为传统的城市规划偏重于城市的经济和社会发展, 偏重于城市土地利用, 而未将城市生态环境的发展建设列为其重要的规划内容。因此, 一定程度上导致了城市规划的局限性和非适宜性。长期以来, 传统的城市规划理论受国民经济计划调控体系的限制, 使城市规划处于固定的模式, 忽略城市的不确定性, 对城市发展缺乏预见性, 产生诸多问题。城市规划中的环境保护规划专题自设立以来就处于治理环境“末端”处理的被动地位, 很少进行城市生态方面的研究并主动阻止城市生态问题的发生。并未在环境建设中采纳任何生态学理论, 使得宏观意义上的生态建设在城市规划中只承担环境保护的小角色。由于城市规划在生态建设上缺乏理论指导, 使城市生态问题不断加剧, 城市规划理论亟待补充。

总结国内外城市规划研究的现状以及发展趋势, 可以看出, 我国城市规划正处于转型的过渡时期。西方多种思潮对国内规划理论的冲击, 使整个规划理论界开始了反思和重新探索。在数学模型基础上提出的城市系统论, 逐步引导整个城市规划往更加理性、更加科学的方向发展。但同时对城市发展战略和城市设计的重视, 也使整个城市规划朝着科学和艺术两

个不同的领域方向发展。在实践中探讨城市规划人员在规划中的作用，强调公众的参与、政府的引导和规划人员的协调作用，是国内规划理论中“城市管治”的核心，政府的控制行为逐步减弱，更加注重实际中公众的需求。

多元化、可持续发展等理论对城市规划影响很大，甚至有学者提出城市生态规划是城市规划的发展方向，城市规划正在生态学化等，例如沈清基认为“城市规划的生态学化，既是与大多数学科的生态学化的趋势相一致所需，也是解决城市问题（包括城市生态与环境问题）的需要，更是城市可持续发展的需要；同时，也是丰富、发展、完善城市规划学科的需要。城市规划学科的生态学化，对于城市发展和城市规划学科，均具有重要的意义。城市规划的生态学化并不是取消或代替城市规划，城市规划作为一门独立的学科是不可代替的”。他认为城市规划的生态学化应该包括城市发展战略以及城市规划思维的生态学化等方面。

### 1.3.2 城市规划生态学化的三个发展阶段

前面谈到，城市规划理论的指导思想发展在 20 世纪 40 年代经历了三个阶段：20 世纪 60 年代以前以城市规划的自然环境（物质空间）决定论为主；而 60 年代以后社会文化决定论者为主，但到 90 年代这两种极端理论有相互融合的趋势。在时间上城市规划理论的几个发展阶段与城市环境可持续发展、城市生态学的理论发展的阶段性有着很大程度上的吻合。例如城市生态学正处于古典向现代城市生态学的过渡阶段，而可持续发展正是社会文化与自然生态理论融合的产物，因此城市可持续发展理论也是城市生态学、城市社会学等学科发展、综合的产物，而城市规划则不断受到这些学科的影响。这些理论都带有明显的时代特征。

有几个问题值得注意，首先，虽然不同时代的城市规划指导思想有主次之分，但就理论本身而言，例如本章讨论的生态思想在城市规划理论与实践的发展，虽然不一定能够一直占据学术研究的主流，却并不影响自身成为不断发展的连续过程，因此很有可能呈现出与城市规划研究主流并不完全吻合的轨迹，而且某种理论占据主流，并不一定是由于其相对于其他理论对学科的发展具有更大的优势，而是具有更复杂的社会、经济、意识形态等方面的原因，尤其是受到当时人们知识结构以及认识层面的局限性，因此具有很大的偶然性。其次，城市生态学、城市规划理论二者都处于不断发展的过程。那么在这种情况下，如何能够把握在不同时间段城市规划与城市生态学的相互影响呢？

二者应该看做基础型学科与应用型学科的对立关系，即理论→实践→理论的互动过程，城市生态学从城市现状以及城市规划的实践中发现问题，总结经验教训，并运用新理论、新方法、新技术，对这些问题进行相应的研究，总结其规律性，虽然研究结果本身受到时代局限也许并不完善，但还是能为城市规划提供必需的理论指导，但受这些理论指导的城市规划可以在实践中得到检验，从而将检验的结果反馈给城市生态学研究本身，这样周而复始的从理论到实践的循环，促使城市生态学与城市规划学科的共同发展。

城市生态学对城市规划的影响过程其实也可以分别概括为城市生态学与城市规划自身的发展过程。对此，刘贵利主要从研究方法以及产生的效果上将城市生态学分为两个阶段：古典城市生态学“注重对城市生态系统空间结构的成因”，因此只能表示对当时不同地区城市布局的归纳，远远不能起到对城市发展的预测作用；现代城市生态学的产生是“当在全球范围内发生了不可避免的城市生态危机以后，现代城市生态学家才把注意力转移到改良城市空间结构、建立城市发展机制、协调城市社会阶层的各种关系等方面”。

实际上，对现代城市生态学产生的原因的逻辑关系上，“城市生态危机”作为城市生态

学转型的外部原因，与“改良城市空间结构”的城市生态学理论发展的内部原因在时间上存在着“历时性”的差距。

首先，由于作为城市生态规划的前身，城市规划的任务是“人类为了在城市中维持公共生活的空间秩序而作的未来空间安排的意志”。简而言之，就是空间规划，因此“改良城市空间结构”从来就是城市规划（包括城市空间规划）的主要目的之一，只不过不同的时间与空间、不同的阶段，改良的效果不同而已。而“建立城市发展机制、协调城市社会阶层的各种关系”也是城市规划的基本任务之一，更是城市管理学、城市社会学研究的核心。如果按照刘贵利的观点，古典与现代城市生态学的区别主要在此，只能认为：古典城市生态学的研究受到专业等各方面条件限制，因此与城市规划学以及城市社会学相关联的一些重要部分还没有涉及，而现代城市生态学的产生是跨学科的结果，这与当时科学界的大环境有关，20世纪特别是60年代以来，随着系统科学等学科的发展，自然科学、社会科学很多相关学科的交叉融合成为一种趋势，关于城市的研究也同样如此。虽然“城市生态危机”是现代城市生态学产生的重要原因，但城市生态学的跨学科性质同样决定了其转向的必然性。

至少有两方面因素使20世纪60年代以前的“早期”城市生态学与现在人们所研究的城市生态学思想有着本质的差别：系统科学以及复杂性科学的发展以及可持续发展理论的提出。就这二者而言，对城市生态学的影响，进而作用于城市规划上，具有“历时性”的特征，从实际情况来看，系统科学的影响在前，可持续发展理论在后。因为系统科学只是科学思维方式的飞跃，而可持续发展却是“人类类本质”认识上的飞跃。就这一点而言，城市生态学的发展应该分为三个阶段：古典城市生态学、受系统科学影响下的现代城市生态学以及受可持续发展思想影响下的“后现代”城市生态学。这个与城市规划在20世纪的发展阶段是基本吻合的。

因此，与其将城市生态规划理论视为一个孤立发展的系统，不如将其纳入城市规划发展统一的框架中来讨论，具体而言，也就是城市生态学在城市规划理论与实践的影响过程，按照沈清基的说法，某种意义上可以将之称为城市规划的“生态学化”，但沈清基只谈到“生态学化”的结果，而未涉及“生态学化”的过程，对于后者，笔者认为也可分为三个阶段。

(1) 早期阶段 这一阶段城市规划正处在“物质形体设计”为主的阶段，生态思想的影响主要也体现在立足于从仿生学的角度，通过将城市简化为几个简单的“原型”等方式来描述城市形态以及构成机理。这些理想原型某种程度上是理解城市的必要途径，对城市规划的发展也起到很大的作用。在1960年一直是城市规划领域的主流思想。但终究只是在城市规划中比较表面化的生态思想的运用，而属于早期规划理论（planning theory）的范畴。

(2) 现代阶段——转型期 这一阶段有两个显著特征，一方面由于采用新理论、新技术、新方法，例如崇尚系统分析方法的理性决策过程，用来深化、完善以及实践早期阶段提出的城市规划思想；另一方面由于全球的环境问题以及核战争等带来整个人类的生存危机，促使可持续发展观念的产生，加上心理学以及复杂性科学的发展，使原来指导城市规划理论与实践研究的哲学观发生巨大变化，从而为新的哲学观指导下的城市规划奠定基础。

由于这两个方面都处于不断的发展与完善的过程中，真正意义上二者结合并共同作用于城市生态学进而城市规划，从而产生城市生态规划等学科，必然经历一个过程，而且将持续下去。认识到这一点，我们可以比较清楚地来区分城市规划、城市生态规划理论所处的阶段，这种差异不光是通过技术也是通过观念来区分的。

(3) 可持续发展阶段 由城市规划中的城市社会学与城市生态学的结合，理性决策同公

众参与共同结合，同时注重“规划的理论”与“规划中的理论”的理论与实践“多元”并存的阶段。

### 1.3.2.1 早期阶段

如果将前面列举的古典或者现代城市生态学理论与同一时期相对应的一些城市规划理论，如花园城市、带状城市、广亩城市或者阳光城市等相比较，从而发现二者密切的相互影响关系，比如“阳光城市”、“带状城市”可以归结为中心化理论，而分散化理论相对应的有号召建立“卫星城”的花园城市、赖特的广亩城市以及沙里宁的有机疏散等理论。从理论与实践的紧密联系这个层面而言，早期阶段与转型期是连为一体的。因为这些城市规划理论的一个重要特征是，往往最开始由于这些“城市发展模式只能表示对当时不同地区城市布局的归纳，远远不能起到对城市发展的预测作用”，只能作为一种“空想”出现，但随着科学技术以及经济等发展，最终都在实际的城市建设中得到应用，甚至在各方面条件都不成熟的条件下，这些理论也被运用到城市建设中。

也许跟它们的研究对象一般以城市的土地为主有关，这些理论都着重于对城市形态的研究。

凯文林奇将城市形态归纳为3种标准理论：作为仪典性中心的城市、作为机器模式的城市以及作为有机体的城市。如果将这些理论描述的城市形态进行归类，那么阳光城市、带状城市中心化理论应该归类于机器城市，而其他古典与现代的城市生态学理论的城市形态，以及花园城市、广亩城市都可归类为有机城市理论。

(1)“有机城市”理论 凯文·林奇认为这些有机城市理论的产生是在近两个世纪，其概念的产生“来源于18、19世纪生物学的兴起，它是对19世纪工业化的重压、巨大的城市以及技术空前发展等状况的一种反映方式”。“假如城市是一个有机体，那么它会有很多特点不同于机器模式，是一个具有明确界限和明确尺寸的自治个体，它具有自我平衡的动态特征，可以自我调节和自我组织，由不同的部分组成，但局部相互连接得非常紧密，相互之间没有明显的界限。整体功能大于局部等特征”。这种生物有机体的概念发生于18世纪，但在19世纪欧内斯特·郝克尔和郝伯特·斯潘瑟的作品中第一次完整地表述于人类聚落，在20世纪得到发展和运用，如帕特里克格德斯（Patrick Geddes）和继承者路易斯·芒福德（Lewis Mumford）；社会主义改革者爱本内泽·霍华德（Ebenezer Howard）等人，主要原则包括社区自治以及内部的邻里协作、社区的合适规模、不同场所和人的混合构成、聚落内部组织的等级性等特征。林奇认为“某些物质空间形态与这些思想相匹配，如：放射性的单元；绿化隔离带；很集中的中心区；自由和非几何型的布局；不规则和曲线的‘有机’形态；自然材料；适度的低密度住宅区；丰富的绿化空间等”。有机城市理论是“一个非常整体、自我支持的概念群，它最基本的价值标准在于社区、连贯性、健康、良好的功能组织、安全、温暖、平衡、不同局部的交互作用、有次序的循环、不断的发展、适宜的规模以及贴近‘自然’（也是指非人类）宇宙。对城市，它不仅是一个实在的原则，同时也部分解释了城市的起源和功能（或者说是对其功能的忽略才合适）。对城市规划有着深远的影响，目前还没有一个其他的理论能替代它的位置”。

霍华德（Ebenezer Howard）的花园城市理论是城市生态理论的鼻祖，按照他的理论模型1903年在建成的第一座花园城市莱契沃尔思（Letchworth），以及随后建成的韦林（Welwyn）和威顿肖威（Wythenshawe）。

在霍华德花园城市理论与实践的启发下，恩温（Raymond Unwin, 1863~1940年）提议

建设卫星城镇，并将其定义为一个经济上、社会上和文化上具有现代化城市性质的独立城市单位，但同时又从属于某个大城市的派生物。后来，卫星城镇被建设成为职能健全的独立城市，区域经济的发展点，为其本身周围的地区服务，又与中心城市相互作用，成为城镇体系中的一个组成部分，对流入大城市的人口起一定截流作用。

施泰因（Clarence Stein）根据佩里在 20 世纪 20 年代提出的邻里单位理论在规划设计手法上创立了雷德伯恩体系。其特点是：人车分离，绿地、住宅与人行步道有机地配置在一起。居住环境优美，居民出行安全。这种雷德伯恩体系几乎成了汽车时代建设住宅区的典范。

出于对现代城市环境的不满和工业化之前人与环境相对和谐状态的怀念，赖特（Frank Lloyd Wright）提出了广亩城市的设想。这是一个将集中城市重新分布在一个地区性方格网上的方案，实质上是反城市的。但 20 世纪五六十年代，美国的郊区化运动，使广亩城市的思想不断付诸规划实践。同样出于缓解城市过分集中所产生的各种弊端，沙里宁（E. Saarinen）提出了有机疏散理论。

生物学家格迪斯（Patrick Geddes）将生态学的原理和方法应用于城市问题的研究，以寻找决定现代城市成长和变化的动力。他提出城市规划的范围不应以行政边界为限，而应周密分析地域环境的潜力和限度对居住地布局形式与地方经济体系的影响关系。同时还预见到城市向郊外疏散，城镇将结合为巨大城镇集聚区（Urban agglomerations）的趋势，于是提出“城市规划势必将城市和乡村的规划都纳入进来，或者说成为城市地区的规划，即包括若干城镇和它们四周的影响范围”。

美国的芒福德（Lewis Mumford）继承和发扬了他的思想，主张人类社会与自然环境应在供求上相互取得平衡，并将社会传统作为赖以生存的第二种环境。用城市引力的范围来划分区域。强调把区域作为规划分析的主要单元，在地区生态极限内建立若干独立又互相关联的密度适中的社区，使其构成网络体系。芒福德还敲响了城市和小汽车蔓延的警钟。将荒野和风景视作一种生态资源，视为人类文明生活的靠山之一。提倡同等对待大地的每一个角落。这种同等不是用同一种手法而是因地制宜使区域维持人类文化的多样性和生活的多样性。在他设想的新的城市形态中，郊区具有生物学的优势，城市具有社会优势。

而凯文·林奇认为这种有机城市存在的问题是“我们的世界可能并不会按照有机体的模式来发展”。因为最核心的难点是这种（将城市与有机体）类比方法的本身。城市并不是生物体，只比机器略强一点，还甚至更差。城市自己并不会成长和变化，也不繁衍或修复自己，既不是自治的实体，也不通过生命循环来运转自己，或成为被感染的机体。城市并没有像动物器官那样，有一些被明确划分开的功能分部。那些粗制滥造的类比形态实在经不起推敲。例如把街道比作动脉，把公园比作肺等。然而，“更困难但更重要的是：去认识其中不恰当的地方，或者如何引导我们不假思索地切除贫民窟，以防止它们‘传染性’的蔓延；去寻找最合适的规模；阻隔持续不断的生长；不同功能的分区；努力维护绿化隔离带；控制中心区的蔓延等”。林奇提醒避免将这种在城市规划与建设中模拟有机体的方法成为一种教条：“在有些地方，有时这些举动是正当的，但是，判断其是否正当靠的是理由，而不是‘有机’，而后者常常被用来遮挡我们的视线”。

（2）“机器模式城市”理论 凯文·林奇认为“如果将城市想像成为一个实用的机器，那么一台机器的部分相互之间是可以变来变去。整个机器会发生变化，而且这些变化是有明确的预见性的，是顺着一些预先确定的轨迹而变化的。局部的稳定是固有的，但并不是在整

体上，局部是小的，明确的，而且经常会相互类似，相互的联系是机械的。整体是以加法的方式增长的，没有更广泛的涵义，只有每个局部的简单叠加。这台机器是真实的、功能的、‘冷漠’的，丝毫没有情感。除了规定的连接部分，这台机器的每个部分都是独立自主的”。

而“这个机器模式对于有些聚居体是非常有用的，诸如临时、须快速建成的或有单纯和实用目的的。我们见到的许多殖民地便是这样，其典型的目的就是迅速地掠夺土地与资源，并为此提供合适的通道（古罗马军营）。在此基础上还加上防御的目的，或者投机买卖土地的目的（美国的格网城市）。城市形态是使之得以实现和继续的手段，是达到其他更重要目标的台阶，是得以改变每个局部以及其关系而不怕产生其他后果的保障。几个简单的布局原则便可快速有效地处理那些新的、复杂的环境问题”。

“这种机器模式不是简单地应用格网布局，这种特殊的观点应该说在功能上反映了局部和整体的关系，这种模式体现了勒柯布西耶‘光辉城市’的思想，这种模式表明：一个城市是由很多小的、自治的、无区别的局部构成的，这些局部围合起来组成巨大的机器，这个机器有着不同的功能和运动”。同时这种理论在阿图若·苏瑞·美塔（Arturo Soria Mata）的带状城市形态以及米柳金（Miliutin）的理想城市都得以实现”。

这种“机器理论”有其优势所在，尤其是对快速与均等的空间分割，以及对于管理货物和人的流动。这种网格的布局形式（在二维和三维上）以及线性形态在特殊情况下具有很多非常有用的特点。再者，“对于理解复杂的实体，分解的分析方式是非常强大的策略”。

凯文·林奇认为这些优势伴随着对标准化的需求，融合的趋势强于隔离的趋势（中心化理论），是理想化而非人性的，在忽略了社会、心理、生态对于城市的影响以后，“作为基础概念的这座城市似乎是错误的”。

这些城市规划理论与方法，无论是同心圆的花园城市理论，还是卫星城、带状城市，广亩城市或者阳光城市，有一个共同特点，基本都由社会学家以及具有社会改良思想的建筑师，或者如张兵所言是“城市规划的自然环境（物质空间）决定论者”提出，主要立足于从机器美学或者仿生学的角度，通过将城市简化为几个简单的“原型”的方式来描述城市形态以及构成机理。这些理想“原型”某种程度上是理解城市的必要途径，对城市规划的发展也起到很大的作用，在1960年一直是城市规划领域的主流思想。但这些理论之间也存在巨大的分歧与争议，例如其中的代表理论阳光城市与广亩城市对待城市化是完全相反的两种观点，这一方面说明城市的复杂性与多样性特征，另一方面也表现出早期城市规划理论研究的局限性。

### 1.3.2.2 现代阶段——转型期

机器模式或者有机模式的的城市形态是早期生态思想影响下的城市规划方法的主要理论，它对于城市某些时间段的现状特征有较好的把握，但城市如何形成这样的形状，以及这种城市内部机制如何运作等方面就无能为力，张兵评论这些理论是规划理论的总体形态呈现出“在传统建筑决定论基础上散布一些社会科学”。与此同时，西方城市规划正好处于由“蓝图”式的规划变为“过程”性规划的转型期。20世纪60年代，系统方法、理性决策和控制论被引入到城市规划中来，宣告“物质形体设计”理念的城市规划主导地位的终结。1969年，麦柯劳林（Brain McLoughlin）的经典著作《系统方法在城市与区域规划中的应用》（Urban and regional planning: A systematical approach）的出版成为这个转变的一个重要标志。该书中论述的规划的标准理论（Normative theory）已经完全超出了物质形态的设计，强调的是理性的分析、结构的控制和系统的战略。那种把规划当作编制某一地区未来的

理想蓝图的旧概念被抛弃，代之而起的是把规划当作对某一地区的发展施加一系列连续管理和控制的新概念，并借助于寻求模拟发展过程的手段，使这种管理和控制得以实施。新的规划深受控制论、信息论和系统论的影响，其过程表述为“目标-连续的信息——各种有关未来的比较方案的预测和模拟—评价—选择—连续的过程”。在这一时期，研究传统的转变还体现在所研究的空间概念的拓展，随着城市化的不断发展，城市问题日益受到重视；同时，空间概念由过去单独的城市，转向由多个城市以及之间的乡村共同构成的城市区域。规划的内容也由单纯的物质空间规划，转向在区域的范围内进行全面的经济和社会、生态规划。于是城市规划学科由于社会学、心理学、环境学等多学科的交叉，而拓展成为一门高度综合的学科。

这个时期正好也是城市生态学的转型阶段，“当在全球范围内发生了不可避免的城市生态危机以后，现代城市生态学家才把注意力转移到改良城市空间结构、建立城市发展机制、协调城市社会阶层的各种关系等方面，其基本观点主要为：伴随城市发展的标志不应只局限在经济水平的提高，更应该重视社会的和谐和生态环境的保护，其主要目的是充实城市生态系统中所缺乏的自然生态功能，现代生态学家更注重城市生态系统的微观协调”。这些发展变化都影响到城市规划学科的生态学化过程：一些生态学家在控制论、信息论和系统论理论指导下，开始运用生态学原理对城市生态问题以及城市生态系统本身进行研究。这就发展到城市规划生态学化的第2阶段——理性决策过程。

20世纪60年代，美国景观生态学家麦克拉格（Mcharg. I. L）对土地的某种用途进行的规划发展了一整套的从土地适应性分析到土地利用的规划方法和技术，即叠加技术（“千层饼”模式）。这种规划以景观垂直生态过程的连续性为依据，标志着生态规划（Ecological Planning）的诞生。在《设计结合自然》一书中进一步阐述了他的生态规划思想，力图建立在城市生态平衡基础上的自然的人造环境。

系统理性的城市规划对传统的“物质形体设计”规划理念产生了很大的冲击。但是这种系统理性的城市规划理论却并没有长期独占城市规划理论的论坛。1977年斯格特（A. J. Scott）和罗维斯（S. T. Roweis）首先发难，他们发表了《城市规划的理论与实践》（Urban planning in the theory and practice）一文，针对大量计算机辅助的数理模型支持的理性分析，指出理性和系统规划理论、方法和内容虚无或者说是空洞（Emptiness），与其将其称为抽象的分析概念（Abstract analytical concept），还不如直接称为一种社会历史现象。1979年，卡黑斯（M. Camhis）的《规划理论与哲学》（Planning theory and philosophy）和索马斯（M. J. Thomas）的《A. Faludi的城市规划程序理论》（The procedural planning theory of A. Faludi）都对理性系统的规划理论和方法提出了责难，认为系统方法和理性决策过程“流放到政治经济学和社会学的边缘的角落”，影响了城市规划作用的发挥。

这个时代城市规划发生另外一件重大事件，那就是JANE JACOBS在纽约发动的反对SOHO区旧区改造的运动。JANE JACOBS被广泛地认为是城市规划从现代进入后现代的标志。所谓后现代，是包容以理性思维为标志的现代。但它反对理性思维一统天下，从那以后，城市规划开始了多元价值并存的时代。后现代时代规划区别与现代时代的更加重要的标志，是作规划的方法，发生了根本的变化：从专家作规划，到公众参与。

而20世纪60~70年代开始的环境与能源危机，使环境与发展问题被广泛重视，并最终演变为可持续发展思想，也深刻影响了城市规划的研究者与实践者。因此一方面是基于传统方法论基础上的规划技术的突飞猛进（系统思维对于传统的个体思维是一种突破，但基本还

是基于还原论基础上的，这一点在以下章节中将详细进行论述)，另一方面是规划者世界观的深刻转变，使这一时代呈现多种思维并存的局面，因此也可以称这个时代为城市规划的转型期。

### 1.3.2.3 理性决策过程向可持续发展思维过程的转变

20世纪80年代城市规划有两个重要的发展趋势：可持续发展理论以及复杂性科学理论与方法的运用。

(1) 可持续发展思想的影响 在20世纪80年代，人们发现环境保护主义思想和理论提出的20年间，城市环境问题反而变得日益严重，因此仅仅依靠理性决策过程来保护城市环境是远远不够的，这促使环境观念由浅绿色向深绿色转变，随着一些新理论与方法，例如环境承载力以及生态足迹等概念的引入，可持续发展思想从萌芽逐渐走向成熟，为20世纪90年代可持续发展在政策、技术等层面的运用奠定了基础。

可持续发展理论相比较以往有机城市理论，具有更合理、更全面、更明确的目的性，指出城市规划与设计应朝什么方向发展，规划设计的最终目的是为了什么。而以往有机城市理论作为可持续发展理论的基础，从生态、技术和历史等方面为其提供了较为详细的内容和思想上的探讨。

二者有着深远的渊源，一直发展到今天。主要体现在：作为科学技术方面的延续和作为生态环境、绿色人居环境空间的田园思想的延续。①从技术上讲，利用一些最新的理论与技术，例如复杂性理论、“3S”技术等为其理论提供具体的操作手段，即如何采用更合理的土地利用，使城市规划与设计达到持续发展的目的。②从生态上讲，概念上有了更新，以往田园城市、新城理论、广亩城市等为城市建设完善提出的一些原始构想，例如城市与乡村和谐发展、控制大城市规模等，缺乏实现的具体措施以及手段，而可持续发展为这些设想提供了有利的证据，并发展出了环境承载力、生态足迹、城市复合生态系统协调发展等一系列成熟具有可操作性的理论与方法，用以指导城市规划的实践。

(2) 复杂性科学的引入 虽然随着科学技术以及经济的快速发展，很多城市环境问题得到技术性的解决，但城市规划的理性决策过程存在着一些缺陷，不可避免地影响到这个阶段的城市生态规划，主要有两个方面：规划（决策）本身的问题，事实上没有绝对理性的规划（决策），在规划中价值判断是不可避免的；规划（决策）方法的缺陷，例如传统数学规划方法。

① 规划本身的缺陷 理性决策在城市规划中相对应部分就是“规划中的理论”，张兵认为“‘规划中的理论’试图采用自然科学的推理规则来解释城市规划的过程和预测城市的发展，调查—研究—规划方案之线性模式的典型表述是：只要获得足够的信息，经过严密的推理分析，就可以制定出一个‘科学的’规划。‘规划中的理论’不将城市规划的过程作为研究对象，这种规划理论缺乏对城市规划真实过程的认知、分析和解释，因而规划理论对规划实践的作用，即一种理论的社会价值的反映，便显得异常微弱。而恰恰是规划实践过程，真实反映城市规划与其试图加以控制和引导的城市发展过程之间的连续互动的关系。因此，在保留‘规划中的理论’的同时，需要建立与此传统相异但却互补的‘规划的理论’(theory of planning)，把城市规划的实际过程作为研究的对象，增强城市规划实践的作用。促进和改善规划对城市发展过程的认识，最终达到或进一步趋向理论与实践的结合”。

张兵所述的“规划的理论”将研究对象定位于城市规划实践过程，认为城市规划经过近百年的发展，已经形成一种在城市发展全景中，为了城市整体利益和公共利益，围绕城市

土地使用的分配和再分配而展开的跨越城市社会诸多系统的复杂而独立的活动过程，是一种社会运动、政府行为和职业技术三位一体的活动过程；认为“城市规划学科理论的核心应当是研究与城市土地使用相关的规划实践过程，即社会、政治、经济、技术全面意义上的城市规划主体行为规律以及城市规划与城市发展主客体关系的理论”，“理论要解决的中心问题是：城市规划在社会、经济、政治环境中能发挥什么样的作用”。“规划的理论”的研究对象是城市规划的实际过程，它的起点则是明确城市规划与城市发展之间主客互动的涵义。这里需要指出，“规划的理论”中所指的城市规划实践（planning praxis），不仅仅是城市规划师以及规划机构编制规划和建设管理的职能性的技术操作过程，而且还包含了规划师以及规划机构与城市发展的社会经济、政治环境之间的作用与反作用过程。换言之，城市规划实践特别指明了规划技术过程之外社会政治过程存在的意义。黄亚平博士从规划理论的分类及分析角度肯定了张兵博士的观点，他认为：从广义的城市规划理论涵义上看，“规划中的理论”以及“规划的理论”均是城市规划理论体系的组成部分，前者是有关城市发展的理论，是对城市的本质和规律的认识理论，它多偏重于“实证的”（positive）；后者是关于规划的理论，是对规划的本质和规律性的认识理论，它多偏重于“规范的”（normative）。但黄亚平认为，将城市规划的技术与方法归类于“规划中的理论”，与这类理论的本身特征存在着相悖之处。“规划中的理论”主要定位于有关城市发展规律的认识方面，它是关于城市客体的认识理论；而规划技术与方法主要是对城市规划过程中规律性内容的认识，无论是早期物质形态规划时期的“调查—分析—规划”的三段式编制模式，还是早期物质形态规划时期的“目标—连续的信息—预测与模拟—评价—连续的监督”的编制过程理论，都代表着一种使城市规划这一主体行为科学化、系统化的尝试。它主要偏重于规划主体规律的认识方面，因此，它更应该属于“规划的理论”。

“规划的理论”以及“规划中的理论”对城市生态规划理论体系的建构同样有效，它可以使城市生态规划这一新兴学科吸取城市规划的经验教训，避免被“专业本位主义”或者“技术至上”等思维定式所束缚。城市生态规划不仅仅关注规划的结果，同样关注规划的过程，如何保证规划结果得以实施，如何在制定规划时综合协调各方面不同的利益，认识到城市生态规划理论体系也是网状的结构，必须利用不同的分支，采用不同的方法来支撑城市生态规划的学科体系。具体而言是以城市生态规划主体为研究对象，并且涉及城市生态规划与城市生态系统保护的主客体关系的理论，例如如何在城市规划实施的过程中，落实环境污染治理以及生态保护的具体措施的相关规范理论。

② 规划方法的缺陷 传统城市规划决策所采用的方法，即“规划中的理论”，即试图采用自然科学的推理规则来解释城市规划的过程和预测城市的发展，就方法本身而言，也存在很多问题，例如“调查—研究—规划方案之线性模式的典型表述是：只要获得足够的信息，经过严密的推理分析，就可以制定出一个‘科学的’规划”。从实际情况看，规划所需的信息通常是残缺不全的，推理也无法保证其逻辑的严密性，再加上操作过程中的种种不确定性，使“科学的”规划成为一纸空文。

王如松认为：“规划问题是科学研究和管理工作中至今未彻底解决的一个复杂问题，传统数学规划方法是规划某些物理系统的好方法，但用于规划以人为中心的生态或社会系统却常常无能为力”。他认为主要原因是“传统数学规划的实质是把复杂的现实世界纳入数学家的模型框架内，把以人为中心的生态系统简化为以物为中心的物理系统，将多维的偏序空间映射为一维的全序空间，从而将一个基于众多假设的‘最优规划’结果强加给决策者，这正

是许多数学规划不能被决策者所接受的根本原因”。

“半个多世纪以来，数学方法在生态学、社会学等领域中得到了越来越广泛的应用，促进了这些学科方法论上的革命，但随着这些学科的深入发展，人们认识到现有的数学方法在解决复杂的社会生态问题时的局限性，面对复杂的社会及生态系统，现有的数学方法要么不实用：所需假设太多，缺乏真实性；要么不够用：用现存的数学方法难以描述和处理；要么不敢用：参数多、方法复杂，难以掌握而且缺乏普遍性。因此，半个世纪以来，数学方法在这些领域并没有取得突破性的进展，特别是当运用到城市这类复杂的人类生态系统时，其模型的真实性和普遍性都产生了问题”。

王如松等剖析了这种数学方法产生的背景、主要概念，产生于牛顿、伽利略的物理学，其中有两个基本的传统观念：首先是对自然定律时间的反演对称，即时间的可逆性，未来和过去没有区别，时间对于未来和过去总是同一尺度；其次，世界处于封闭的、惟一决定的因果链关系之中，这就是拉普拉斯那个有名的“神圣计算者”概念所包含的思想，即只要我们知道粒子的位置和速度，就惟一决定了它过去和未来的一切状态。他认为这种观念同生态学格格不入，“对于生态系统而言，由于存在竞争、选择和进化，它的时间概念只能是不可逆的，特别是以人为中心的城市复合生态系统来说，其复杂性、不确定性决定了我们不可能获得足够的微观信息来完全确定它未来的状态。已有的因果决定论的描述，也不足以解释发生在生态系统中的复杂的相互作用”。

在这种情况下，城市规划理论研究者开始从定量与定性相结合的角度来研究城市的复杂性问题，并试图在研究中将复杂性理论与可持续发展思想结合起来。

复杂性理论与系统理论是不同的。梁勤欧认为“复杂性科学是系统科学和非线性科学的进一步发展、充实和深化，是系统科学研究的最新前沿领域。如果说，系统科学是建立在系统的整体性、组织性、目的性研究的基础上的，非线性科学是建立在对系统非线性、不确定性、随机性基础上的，那么，复杂性科学是建立在系统复杂性、智能性和适应性研究基础上的。系统科学、非线性科学与复杂性科学在研究对象上基本一致，那就是相对于牛顿确定性简单系统而言的复杂系统”。

“面对还原论与整体论，物理学与生态学，经济学与环境学，工程学与生物学的矛盾，城市生态研究的方法论正在面临一场新的革命：从过程的量化走向关系的序化；从数学优化走向生态进化；从人工智能走向生态智能。人们通过测度城市复合生态系统的属性、过程、结构与功能去辨识系统的时（届际、代际、世际）、空（地域、流域、区域）、量（各种物质、能量代谢过程）、构（产业、体制、景观）及序（竞争、共生与自生序）的生态持续能力”。

这种城市复合生态系统理论区别于古典或者现代的城市生态学理论，按照诸大建的说法是“深绿色”的城市生态学理论。它开始于20世纪90年代全球实施可持续发展的应用阶段，可持续发展等生态导向的思想影响着城市规划的最核心内容，例如欧洲议会总体上要求一个持久的城市规划，并利用环境和生态来指导未来城市土地利用的原则。作为城市生态学的应用学科——城市生态规划，也应该与之匹配，按照后现代以及深绿色的理念来规划城市。

### 1.3.3 城市生态规划与城市规划的关系

正如1.2.1中提到，城市生态规划是在城市可持续发展的影响下产生的，比较城市规划与城市生态规划的关系，可以从二者与城市发展理论的关系来探讨。

城市发展理论是建构在城市这一客体发展的规律性认识的基础上，它是城市规划理论体系的重要组成部分之一。城市发展包含多方面内容，城市规划主要关注于其物质空间方面。张兵认为：“城市规划是一种服务于城市整体利益和公共利益，为了实现一套社会、经济、环境的综合长远目标，提供未来城市空间发展的战略，并借助合法权威通过对城市土地使用及其变化的控制，来调整未来城市空间发展复杂背景中特定问题的职业的社会活动过程，是城市管理的一种形式”。这一定义将城市规划视为在城市发展的过程中（环境）、提供空间发展战略（决策）、控制城市土地使用及其变化（实施）的决策-实施的连续统一体。一方面，以城市土地使用为核心的空间系统是规划决策-实施全过程围绕的焦点问题；另一方面，在推动城市和社会经济发展的行动中，城市规划也是通过城市空间决策及土地使用控制来发挥作用，即城市规划是通过城市土地变化以及空间发展政策来间接地对城市社会的改良以及经济的发展施加某种特定的影响。

而对于城市生态规划，联合国人与生物圈计划第 57 集报告指出：“生态城（乡）规划就是要从自然生态与社会心理两方面去创造一种能充分融合技术和自然的人类活动的最优环境，诱发人的创造精神和生产力，提供高的物质和文化生活水平”。王祥荣认为：“城市生态规划是与可持续发展概念相适应的一种规划方法，它将生态学的原理和城市总体规划、环境规划相结合，对城市生态系统的生态开发和生态建设提出合理的对策，从而达到正确处理人与自然、人与环境关系的目的”。因此，城市生态规划不同于传统的环境规划和经济规划，它是联系城市总体规划和环境规划及社会经济规划的桥梁，其科学内涵强调规划的能动性、协调性、整体性和层次性，其目标不再是传统意义上城市经济的发展，而追求社会的文明、经济的高效和生态环境的和谐。

由以上可知，城市规划的主要任务是综合研究和确定城市性质、规模和空间发展形态，统筹安排城市各项建设用地，合理配置城市各项基础设施，处理好远期发展与近期建设的关系，指导城市合理发展。城市生态规划则是通过对城市各项生态关系的布局与安排，协调城市人类与城市环境的关系，维护城市生态系统的平衡，实现城市的和谐、高效、持续发展。城市生态规划既和城市规划在诸多方面存在着一致性，又具有其本身的特点。

### 1.3.3.1 城市生态规划与城市规划的一致性

城市规划与城市生态规划相同之处，都是针对城市的规划，这种规划与其他关于城市研究的自然与社会学科最大的不同之处，就是它不仅仅是一门科学。一般科学研究，从时间的角度来说，都只能研究过去和现在，无法研究将来。研究过去，是科学的客观研究，因为你的研究并不参与到你所研究的客体的运动中。但是一旦试图用过去的“规律”来预测未来，则已经脱离了“科学研究”的轨道，而成为预测和规划。城市生态规划与城市规划的一致性主要有以下 3 点。

(1) 规划目标 城市生态规划和城市规划都致力于城市中人与自然的和谐共存，致力于城市经济、社会、环境三效益的统一，通过合理规划建设，追求人类的理想栖居，追求城市的可持续发展。

(2) 规划对象 “规划不单是人类社会管理的一种手段，而且是直接管理到人类与其生存环境的关系”。城市规划的对象主要是城市的土地和空间系统，即在城市土地使用基础上的各类城市组成要素的相互组成关系。城市生态规划的对象主要是城市中各种生态关系，但这种生态关系集中体现在以土地为基础的人与环境的关系，故有着相当程度的一致性。

(3) 规划地域范围 城市规划的区域整体观是规划界人所共知的。而对于城市生态规划

来说，城市生态问题的发生、发展和解决都离不开一定的区域，因此，城市生态规划也必须从整体出发，以广域空间背景为依据，在实际规划过程中以区域规划、总体规划和城镇体系（群）规划为指导。

#### 1.3.3.2 城市生态规划与城市规划的不同点

(1) 规划核心 城市生态规划的核心内容是城市生态系统中各种相互关联的生态关系的质量，虽然涉及城市空间结构以及政治经济因素、社会文化因素等，但其核心仍是集中反映在城市人类与城市环境的关系。即城市生态规划致力于城市各要素之间尤其城市人类与城市环境之间生态关系的改善。

(2) 规划原理和方法 城市生态规划以生态学理论和原则为基本指导，并运用生态学有关方法，与城市规划理论与方法相结合，将生态学应用于城市地域范围和规划学科领域。城市规划则有“规划的理论”和“规划中的理论”的多学科融合运用的原理与方法。

(3) 规划内容 城市规划不仅仅是针对土地和空间而进行的物质性规划，如今越来越多地与社会经济发展、公共政策与管理等联系在一起，具有规划内容的广泛性。城市生态规划则仍然紧紧围绕“生态”概念，是针对城市生态问题而进行的界定性地研究。

#### 1.3.3.3 城市生态规划与城市规划的关系

综上所述，城市生态规划与城市规划的关系可以概括为以下几点。

(1) 城市生态规划属于城市规划范畴中的专项规划范畴 在现有的城市规划体系框架内，城市总体规划是其他专项规划的基础，城市生态规划的编制必须以《国民经济和社会发展五年计划》以及《城市总体规划》作为基础。在区域规划、城市总体规划中，城市生态规划可作为其中的一个子项规划；而由于城市生态关系的关联性和复杂性，相对于其他专项规划而言，城市生态规划更具有综合性质，是一种宏观控制性规划，因此，也可专门针对城市生态问题进行专项研究并制定规划策略。

(2) 城市生态规划要以城市规划的理论与方法为指导 城市生态规划在遵循生态学基本原理的同时，也要遵循城市规划在城市性质、城市发展战略、城市建设方针等全局性规划战略与目标，并在规划中综合考虑城市规划对经济、社会、政策、交通、设施等的影响。

(3) 城市规划要借鉴和利用城市生态规划的思想 and 成果 黄亚平认为：“城市规划中的城市发展理论的获得，一方面需借助于其他城市学科的研究成果和方法，另一方面则来源于规划实践过程中形成的城市本体结构理论”。城市规划不应仅仅局限于传统的城市土地与空间利用规划模式和社会经济模式，也需要借鉴城市生态规划的尊重地域生态过程的核心思想，将社会、经济、生态综合考虑，土地、空间利用规划和社会经济规划要根据和体现城市本身的内在生态潜能和生态价值。沈清基认为：“城市规划的深化必须借助于城市生态规划，城市是集自然、经济、社会等于一体的复杂系统，城市既具有经济和社会特征，又不可忽视其生态特征。传统的城市规划偏重于城市的经济和社会发展，偏重于城市土地利用，而未将城市的生态环境发展与建设列入其重要的规划内容。因此，一定程度上导致了城市规划的局限性和非适宜性。城市规划要在人类进入生态文明的大背景下得到新的发展，要更好地在城市现代化进程和城市可持续发展进程中发挥更大的作用，极有必要吸收与借鉴生态学的理论与原理，吸收与借鉴城市生态规划的原理、方法。城市规划不能仅仅局限于传统的城市土地及空间利用规划模式，要借鉴生态规划的尊重地域生态过程的核心思想。土地利用规划和空间规划要根据和体现土地本身的内在生态潜能和生态价值。要将城市生态格局作为城市总体布局的最重要的依据之一”。

正如吴良镛先生所指出的那样，“城市规划不只是规划城市，还是落实环境保护与走可持续发展等基本国策的具体行动与积极措施之一”。

沈清基认为“从城市规划与生态学结合以及深化城市规划的角度，应在城市规划的各个环节和方面，引入城市生态规划的思想。如在城市规划调查阶段，引入生态调查，包括生态因子、生态关系等；在用地评价方面，引入城市土地的生态评价；在城市用地类型方面，引入和增加城市生态用地（如生态敏感区、生态控制区、生态功能区等）；在城市发展因素分析中，引入和进行多项生态分析，在城市功能认识上引入和增加城市的生态功能等。所有这些，都是城市规划深化应考虑的途径”。

（4）城市生态规划要吸取城市规划的经验教训 城市生态规划要吸取城市规划的经验教训，尤其是给自己准确定位，城市规划本身也在不断发展调整的过程中，因此城市生态规划应该密切关注其发展趋势，以便作出相应的调整：传统的城市规划是一个无所不包的百科全书式规划，一般在社会、经济、环境效益方面有一个完美的计划，但计划与最终结果是两回事。其最关键部分即如何落实这些目标等问题，在城市规划中并没有提供相应的保障，况且，这个保障也许是城市规划本身根本无法解决的。

城市生态规划所涉及的主要规划对象——城市的空间以及土地利用，永远都是城市各利益集团争夺的焦点，而城市生态规划，作为国家计划经济的一部分，首先是为经济而服务的，而经济发展，一直都是改革开放乃至今后很长一段时期内，中国大多数城市的主要战略，在这种情况下，城市生态规划提倡的社会、经济、生态系统协调发展，是与现在经济发展压倒一切的城市发展主要战略相冲突的，相对而言，社会与生态系统是弱势。在城市规划的过程中，往往发现很多城市规划的发展目标之间互相矛盾，而在发生矛盾时，往往最终是以城市政治、经济等方面拥有更大实力的一方最终取得胜利。具体来说，如果城市的经济发展与环境以及社会效益发生矛盾时，那么作为经济发展代表的城市强势集团的政府以及企业集团最终获胜是不言而喻的。如果规划不考虑到这种现实情况，完全忽略政府以及开发商的立场，那么无法保障规划实施，使规划成为一纸空文；如果完全顺从政府以及开发商的立场，那么就无法保障城市弱势的社会以及生态利益，这样是违背城市生态规划本意的。

这个矛盾问题其实是一直困扰城市规划的核心问题，就是规划的主要目标是保证城市系统的整体协调发展。但很多时候，规划中所描绘的社会、经济、生态系统协调发展的情况并未出现，相反却是经济发展与环境保护的两难境地的时候，保证原有规划有效实施就是不可能完成的任务，由此产生了规划的失效。这其中也折射出规划研究的盲点问题，城市规划文本中只涉及城市的结果，而不研究城市发展的过程以及城市规划有没有发生作用，如何在其中发生作用，为什么等问题。因此提倡城市生态规划理论研究也必须立足于“规划的理论”与“规划中的理论”两个方面，尤其是研究城市生态规划的实际过程。在目前城市环境污染治理以及生态保护相对于城市经济发展处于劣势的情况下，如何采取一种更趋灵活的策略，能尽量保障城市生态规划在现实的情况下解决一些具体问题，或者为未来留有余地。因此除了研究城市生态规划的功能理论以外，城市生态规划的规范理论、决策理论应该成为规划研究的重点。

这涉及城市生态规划的定位问题，首先，每个城市生态规划必须回答以下问题：城市存在哪些问题？这些问题哪些与城市生态有关？而城市生态规划在现实的情况下，能够解决哪些问题？城市生态规划是一种应用性学科，只是城市规划中的一个部分，其最重要的目的，还是要为现实及未来的城市发展以及面临问题提供咨询意见。因此必须认识到其主要目的为

了解决城市环境污染以及生态保护问题，不可能解决所有的城市问题，也不可能涵盖城市所有的领域，即便城市规划也无法做到这一点，因此这只是城市管理、城市政策的一个部分。

从城市规划的发展趋势来看，城市生态规划的定位至少包括以下原则。

① 规划的作用更多是一种建议性而不是指令性计划；

② 规划要立足于近期目标，中远期目标由于不确定因素太多，只能确定原则，而不能过于定性要求（弹性规划）；

③ 规划理论与实践都应该从现实出发，以最大可能解决能够解决的实际问题入手，而不是确定一个无法实现的理想框架；

④ 研究重点应该从目前偏重于规划的“功能理论”转向“功能理论”、“规范理论”与“决策理论”三者并重。

## 1.4 城市生态规划的特点

总结以上的研究成果，可以将城市生态规划的特点归纳为以下几点。

(1) 城市生态规划是城市发展到一定阶段的产物，是城市规划发展的一个过程。具体而言，城市生态规划产生的原因主要有以下几点。

① 城市环境问题开始得到广泛的重视；

② 人们认识到城市环境问题不是简单的技术问题所能解决，而更可能通过社会、经济等方面来综合予以解决；

③ 传统用来解决城市环境问题的办法（如城市管理、城市规划）失效（当然并不是完全失效，城市生态规划作为规划类型的一种，在一些基本规律性方面与其他专业规划具有共通之处，一些基本方法还必须借鉴城市规划的方法，特别是处理城市复杂问题的经验方面）。

(2) 城市生态规划是城市生态学与城市规划结合的产物。人们认识到传统的规划方法如城市规划、环境规划等不能有效地解决城市环境问题，因此将生态学应用到城市规划中，城市生态规划理论与方法是建立在城市规划与城市生态学的实践基础上的，在发展过程中不断得到其他相关学科的补充完善。

(3) 城市生态规划的目的是：从自然要素的规律出发，分析其发展演变规律，在此基础上确定人类如何进行社会经济生产和生活，有效地开发、利用、保护这些自然资源要素，促进社会经济和生态环境的协调发展，最终使得整个区域和城市实现可持续发展。

(4) 城市生态规划是一门应用性的学科，针对目前必须寻找一种有效的途径与方法，以解决实际问题为主，而不是过于追求理论的完整性，目前最有效的途径是紧扣住城市生态规划的本质以及目的。

① 城市生态规划的本质 首先城市生态规划在本质上属于城市规划的一种类型，主要任务除了的现状分析基础上，结合各种经验，运用相关学科的理论与方法，对现状进行分析以外，更重要的是对未来的预测与规划，这有别于其他科学。城市生态规划是对现有城市管理以及城市规划的一种补充，而不是完全取而代之，因此研究城市生态规划，首先必须研究现有城市生态系统以及城市规划面临的具体问题及其发展趋势。而对于城市生态规划的另一学科基础——城市生态学，以及相关的城市经济学、城市地理学等，在予以重视的前提下，也必须清醒地认识到这些学科目前主要侧重于对过去以及现状的研究与评价，对于未来的预测除了在较小的范围，例如城市交通或者城市环境变化等领域发挥着重要作用以外，在广泛

涉及城市其他如经济、政治领域层面上的复杂环境问题时，因为种种复杂性与不确定性的影响而大大影响着可操作性。在很多时候其结果可靠性甚至还不如城市规划师依靠经验做出的规划。因此今后城市生态规划的研究重点，一方面必须借助城市规划积累的经验，另一方面，必须重视城市环境问题的复杂性与不确定性研究。

城市生态规划是一种宏观控制性规划，这包含两个层面的意思：城市生态规划属于城市总体规划，必须在城市总体规划以及国民经济和社会发展规划的指导下编制城市生态规划；城市生态规划也有别于其他的专项规划，必须从宏观以及微观两个层面认识、研究、解决城市环境问题。

② 城市生态规划的目的 城市生态规划的根本目的，即作为政策法规与解决具体环境问题之间的联系纽带，但根据目前的现实情况，由于监测不均衡、数据质量差或数据残缺、缺乏指标和有关政策、缺乏执行前后环境状况的连续报告和数据等问题，尤其因为缺乏合适的机制、方法或标准来确定究竟是哪项政策促进环境状况的哪种变化，因此城市生态规划目前距离可操作性还有一定的距离。从技术层面比较科学与系统地解决具体的城市环境问题，这一点在目前的环境工程领域已经做得比较好，而城市生态规划的现阶段目标，作者认为应该从解决具体的问题入手，例如虽然一些环境问题在技术上完全能够得以解决，在现实中却因为种种社会、经济原因无法落实。那么研究这些问题产生的原因，并对政策、法规以及具体的操作双方提出建设性的意见，促进二者的交流与合作，使城市环境问题最终得以解决。

## 参 考 文 献

- 1 加勒特·哈丁. 生活在极限之内——生态学、经济学和人口禁忌. 戴星翼译, 上海: 上海译文出版社, 2001. 1~498
- 2 马世骏, 王如松. 复合生态系统与持续发展. 见: 何作麻, 张薰主编, 复杂性研究. 北京: 科学出版社, 1993. 239~250
- 3 Christensen K. Home Ecology. Colorado: Fulcrum Publishing, 1990. 1~354
- 4 Breuste J, Feldmann H, Uhlmann O. Urban Ecology, Springer-Verlag, Berlin, 1998. 1~71
- 5 国家环保局编. 中国环境保护 21 世纪议程. 北京: 中国环境科学出版社, 1994. 1~77
- 6 国家科委等编, 中国 21 世纪议程——21 世纪人口、环境与发展白皮书. 北京: 中国环境科学出版社, 1994. 1~191
- 7 刘卫东. 城市可持续发展研究. 同济大学学报, 1997, 8 (2): 33~38
- 8 沈清基. 城市可持续发展原则与城市生态建设. 城市规划汇刊, 1996, (5): 33~38
- 9 段小梅. 我国城市可持续发展中的环境问题. 城市问题, 2002, 6 (2): 48~52, 79
- 10 海热提, 涂尔孙, 王华东, 王立红等. 城市可持续发展的综合评价. 中国人口、资源与环境, 1997, 7 (2): 39~45
- 11 David Drakakis, Smith. Third cities: Sustainable urban development. Urban Studies, 1995, (32): 665~677
- 12 UNEP. GEO2000. Beijing: China Environmental Science Press, 1999. 11~14
- 13 UNPD. World Population Trends. www. Un. org, 2003-01-06
- 14 UNEP. The urban environment: facts and figures. UNEP Industry and Environment, 2000, 23 (2): 4~11
- 15 邹兵. 小城镇的制度变迁与政策分析. 北京: 中国建筑工业出版社, 2003. 183~214
- 16 Franco Archibugi. The Ecological City and the City Effect: Essays on the Urban Planning Requirements for the Sustainable City. Chicago: Athenaeum, 1997. 1~27
- 17 沈清基. 生态城市及其规划方法的探索——Franco Archibugi 的《生态城市和城市影响》一书评介. 城市规划汇刊, 2001, (2): 76~80
- 18 朱美荣. 跨世纪中国城市环境问题和城市环保战略思考. 经济地理, 1999, 19 (2): 76~81
- 19 董雅文, 魏永军. 中国的城市化与环境保护. 环境导报, 1997, (6): 6~9
- 20 覃子建. 我国城市环境问题及其对策. 中国人口、资源与环境, 2000, (10): 53~54
- 21 黄亚平. 城市空间理论与空间分析. 南京: 东南大学出版社, 2003. 101~110
- 22 吴人坚, 王祥荣, 戴流芳. 生态城市建设的原理与途径. 上海: 复旦大学出版社, 2000. 1~17
- 23 刘贵利. 城市生态规划的理论与方法. 第二版. 南京: 东南大学出版社, 2002. 1~201

- 24 吴伟, 陈功玉, 王浣尘等. 环境污染问题的博弈分析. 系统工程理论与实践, 2001, (10): 115~119
- 25 张庭伟. 1990年代中国城市空间结构的变化及其动力机制. 城市规划, 2001, (7): 7~14
- 26 王祥荣. 面向21世纪城市绿化发展的思路与对策——以上海为例. 城市环境与城市生态, 1999, 12(1): 60~63
- 27 Wang Xiang-Rong. Ecological planning and sustainable development: a case study of an urban development zone in Shanghai, China. International Journal of Sustainable Development and World Ecology, 1998, (3): 204~216
- 28 吴志强. 《百年西方城市规划理论史纲》导论. 城市规划汇刊, 2000, (2): 9~18
- 29 黄明华, 李建华, 孙立等. 生态思想在城市规划理论与实践中的发展——城市生长规划方法研究(II). 西安建筑科技大学学报, 2001, 33(3): 244~249
- 30 金经元. 芒福德和他的学术思想. 城市规划, 1995, (1): 51~56
- 31 麦柯劳林. 系统方法在城市与区域规划中的应用. 北京: 中国建筑工业出版社, 1988. 1~78
- 32 沈清基. 论城市规划的生态化——兼论城市规划与城市生态规划的关系. 规划师, 2000, 16(3): 5~9
- 33 王祥荣. 城市生态规划的概念、内涵与实证研究. 规划师, 2002, 18(4): 12~15
- 34 Scott A. M., S T Roweis. Urban planning in theory and practice reappraisal. Environment and Planning, 1977, (9): 107~119
- 35 Camhis. M. Planning Theory and Philosophy. London: Tavistock, 1979. 1~89
- 36 Thomas. M. The Procedural Planning. Theory of A. Faludi. Oxford: Pergamon, 1982. 13~25
- 37 张兵. 论城市规划实效评价的若干基本问题. 城市规划汇刊, 1998, (2): 1~11, 28
- 38 王如松, 迟计, 欧阳志云. 中小城镇可持续发展的生态整合方法. 北京: 气象出版社, 2001. 58~90
- 39 苗东升. 复杂性研究的现状与展望. 系统辩证学学报, 2001, 9(4): 3~9
- 40 McHarg I L. 设计结合自然. 芮经纬译. 北京: 中国建筑工业出版社, 1992. 1~208
- 41 梁勤欧. 城市土地利用系统复杂性研究. 信息技术与管理, 2003, 20(2): 40~43
- 42 王佐. 有机生长理论及思考——从有机生长理论到可持续发展理论. 清华大学学报, 1997, 12(2): 75~80
- 43 Wang Rusong, Lu Yonglong. Urban Ecological Development: Research and Application, Beijing: China Environmental Science Press, 1994. 243
- 44 冯向东. 论城市持续发展与绿色景观规划. 规划师, 1997, (2): 50~53, 64
- 45 周鸿. 人类生态学. 北京: 高等教育出版社, 2001. 1~260
- 46 欧阳志云, 王如松等. 生态规划——寻求区域持续发展的途径. 科学通报, 1996, 41(增刊): 47~67
- 47 焦胜, 曾光明, 何理等. 小城镇生态规划的不确定性分析. 城市环境与城市生态, 2003, 16(增刊): 43~45
- 48 于海漪. 近现代城市规划理论: 历史与反思. 华中建筑, 1999, 17(3): 116~118
- 49 方澜, 于涛方, 钱欣. 战后西方城市规划理论的流变. 城市问题, 2002, 105(1): 10~13
- 50 孙施文. 规划的本质意义及其困境. 城市规划汇刊, 1999, (2): 6~9
- 51 Geddes. Cities in Evolution: An Introduction to the Town Planning Movement and the Study of Civicism. New York: Howard Fertig, 1975. 36~49
- 52 沈清基. 城市生态与城市环境. 上海: 同济大学出版社, 1998. 137~138
- 53 钟晓青. 从田园城市、园林城市到生态城市. 生态科学, 1996, (1): 75~79
- 54 Park R.E. The City: Suggestions for the Investigation of Human Behavior in the Urban Environment. In: Park R. E. (eds). The City. Chicago: University of Chicago Press, 1925. 1~46
- 55 欧阳志云, 王如松. 生态规划的回顾与展望. 自然资源学报, 1995, 10(3): 203~215
- 56 王如松, 周启星, 胡聘. 城市生态调控方法. 北京: 气象出版社, 2000
- 57 Haughton G., Hunter C. Sustainable Cities. London: Jessica Kingsley Publishers, 1994
- 58 王祥荣. 上海浦东新区持续发展的环境评价及生态规划. 城市规划汇刊, 1995, (5): 46~50
- 59 Miller Z. Suburb: Neighborhood and Community in Forest Park, Ohio, 1935~1976. Knoxville. TN: University of Tennessee Press, 1981
- 60 McHarg I L. Design with Nature, Garden City. New York: Doubleday, 1969
- 61 Steiner F., Young G.L., Zube E.H. Ecological Planning: Retrospect and Prospect. Landscape, 1987, 6(2): 31~39
- 62 肖笃宁. 试论景观生态学的理论基础与方法论特点. 北京: 中国林业出版社, 1991. 13~26
- 63 李团军, 石铁矛, 肖笃宁. 大城市区域的景观生态规划理论与方法. 地理学与国土研究, 1999, 15(2): 52~55
- 64 全川. 城市生态规划的理论与方法. 环境导报, 1999, (3): 4~6
- 65 Whitford V., Ennos A.R., Handley J.F. City form and natural process indicators for the ecological performance of urban areas and their application to merseyside, UK. Landscape and Urban Planning, 2000, (57): 91~103
- 66 陈小卉, 陈逸伦. 关于生态城市的研究. 现代城市研究, 2001, (2): 21~24
- 67 Yanitsky O.N. Cities and Human Ecology. Social Problems of Man's Environment: Where We Live and Work. Moscow:

- Progress Publishers, 1981
- 68 Yanitsky ON. The City and Ecology. Moscow: Nauka, 1987
- 69 王如松. 城市生态学. 见: 马世骏. 现代生态学透视. 北京: 中国科学出版社, 1990
- 70 Roseland M. Dimensions of the Future: An Eco-city Overview. In: Roseland M. (ed). Eco-City Dimensions. Canada: New Society Publishers, 1997. 1~12
- 71 Roseland M. Dimensions of The Eco-city. Cities, 1997, 14 (4): 197~202
- 72 黄光宇. 中国生态城市规划与建设进展. 城市环境与城市生态, 2001, 14 (3): 6~8
- 73 黄肇义, 杨东援. 国内外生态城市理论研究综述. 城市规划, 2001, 25 (1): 59~66
- 74 The International Ecological Rebuilding Program. Village Wisdom/Future Cities. In: Register R. (eds). The Third International Eocity and Eovillage Conference. USA: Eco-city Builders, 1996. 204~205
- 75 马世骏, 王如松. 社会-经济-自然复合系统. 生态学报, 1984, 9 (1): 1~9
- 76 刘天齐, 孔繁德, 刘常海. 城市环境规划规范及方法指南. 北京: 中国环境科学出版社, 1992. 238~240
- 77 钱学森. 社会主义中国应建设山水城市. 城市问题, 1993, (3): 1
- 78 黄光宇, 陈勇. 生态城市概念及其规划设计方法研究. 城市规划, 1997, (6): 17~20
- 79 宋永昌, 戚仁海等. 生态城市的指标体系和评价方法. 城市环境与城市生态, 1999, 12 (5): 16~19
- 80 盛学良, 彭补拙, 王华. 生态城市指标体系研究. 环境导报, 2000, (5): 5~8
- 81 吴人坚. 建设有中国特色的生态城市. 环境导报, 2001 (3): 4~6
- 82 张杰. 论以社区为基础的城市小规模改造. 城市规划汇刊, 1999, (3): 64~67
- 83 王旭, 黄柯可. 城市社会的变迁. 北京: 中国社会科学出版社, 1998. 1~353
- 84 左玉辉. 环境系统工程导论. 南京: 南京大学出版社, 1985. 43~67
- 85 张兆清. 试论我国城市生态系统的可持续发展. 城市问题, 1998, (4): 4~8
- 86 石忆邵. 城市规模与城市病思辩. 城市规划汇刊, 1998, (5): 15~18
- 87 司金奎. 生态需要与发展的理论研究. 生态经济, 1996, (5): 6~10
- 88 章家恩, 徐琪. 现代生态学研究的几大热点问题透视. 地理科学进展, 1997, 16 (3): 29~37

## 思考题

1. 简述城市生态规划的概念与意义。
2. 简单列举城市生态规划的主要特点。
3. 概括城市生态规划的发展阶段以及各自阶段的特点。

## 第 2 章

# 城市生态规划的理论基础

目前，城市生态规划学科体系的建构尚处在起步阶段，从目前理论与实践的情况来看：城市生态规划是一门由多学科参与的应用性学科。与城市生态规划相关的学科很多，主要包括城市规划学、城市生态学、城市社会学和生态城市等理论，这些学科很多都是交叉学科，相互之间也有很多影响。由于从城市生态规划涉及的不同方面可以有不同的学科核心和学科体系，因此以上定义带来的问题是：参与的基础性学科与城市生态规划学科本身的关系是怎样的？

目前城市生态规划与基础学科之间关系的研究，很多时候没有考虑到这些基础学科本身处于不断调整与发展，以及相互影响的过程中，以静态的方法看待城市生态规划与基础学科的相互关系问题，容易出现以下问题。

① 在材料的选择上，往往接触到的都是各学科之间、甚至学科内部存在的很多重叠的浅层次基本概念，例如很多文章在论述城市生态规划、城市可持续发展以及生态城市这些不同理论产生的原因时，都不约而同谈到这些理论产生的外部原因，即城市环境污染以及生态破坏问题，但关于这些学科产生的内部原因，或者这些理论自身的发展规律论述较少，忽略了这些理论本身是特定历史、经济、社会、政治、科学技术等条件综合作用的产物，使人无法准确把握问题的关键所在；或者困惑于不同理论之间自相矛盾的地方而无所适从。

② 使这种相互关系的论述成为一种机械论世界观影响下的“编年史”：在这种世界观影响下，只强调事物发展的必然性，却否认偶然性与不确定性对事物发展的影响，因此往往不能准确把握城市生态规划

研究的关键所在，而导致“研究方面似乎围绕着一层神秘的面纱，这种神秘性似乎要使这一课题永远成为被研究的对象而不是试图去解决它们”。

因此在研究城市生态规划与基础学科之间的关系之前，首先必须确定城市生态规划研究的范畴框架，因为“范畴框架”（categorical framework）包含着人们对这个可理解世界的最基本的、一般性的预设，以及人们在其中的地位。而确定研究的范畴框架包含几个层面的意思。

（1）从“共时性”研究到“历时性”研究 由于在目前可以同时接触到各个学科不同历史时期产生的理论，因此没有考虑到理论在不同时期的发展变化，可以归结为一种“共时性”研究方法。这种研究往往只单纯地罗列这些基础学科的一些理论以及重要事件，而不考虑其对城市生态规划在时间、空间上的影响以及影响的程度、范围等方面的差异。实际上，每个理论的产生，都是特定历史、经济、社会、政治、科学技术等条件综合作用的产物，具有一定的时效性以及局限性，而且随着内部、外部条件的变化不断发展完善，呈现一种“历时性”的特征，因此必须将这些理论放到其产生的特定条件下研究才有意义。

理论研究的“历时性”特征还表现在基础理论与应用理论发展的不同步性。虽然从总的发展历程而言，基础理论与应用理论相互促进并构成一个整体。但就某个具体的历史阶段而言，基础理论与应用理论研究往往是不同步的，有时候基础型理论虽然已经发现城市环境问题的原因以及解决办法，但因缺乏社会、经济以及科技等外部因素的支持而无法在实践中得到应用推广，必须经过一段时间以后时机成熟才能在实际中开花结果，有时候由于种种原因，一些新的城市环境问题出现了，但相应的基础理论研究没有跟上，规划工作者或者主要依靠以往的经验，但这种方法很难对实际问题提出有效的解决方案，即产生所谓的“规划滞后”的问题；或者借助其他学科的一些理论来应急，势必使规划理论的总体形态呈现出“在传统建筑决定论基础上散布一些社会科学”的景象。

因此要准确地把握城市生态规划与基础学科二者的相互关系，必须重视理论的历时性特征。欧阳莹之认为，“作为一种历史性叙述，不仅仅是编年史，它不仅仅记录何时发生了什么事情，或者什么人提出了什么理论，而是必须通过与先前事件的关系，解释为什么会发生这样的事件，并通过将其置身于环境中而彰显其意义”。

根据以上观点，本文从“共时性”与“历时性”两个层面来认识二者的相互关系，将城市生态规划与其相关基础学科二者都视为城市科学研究的一个过程，讨论二者如何在发展历史过程中互相影响。

（2）作为一门应用学科理论，城市生态规划是基础理论学科与实践之间的桥梁，其研究的范畴与基础理论学科是不一样的。从性质来看，城市生态规划是关于城市生态系统及其规划的普遍的、系统化的理性认识，是理解城市生态系统发展和规划过程的知识形态，由于城市生态规划的性质，规划理论可分为两类：一种是实证理论，这类理论与自然科学的理论相似，它依据对现实的观察与提炼，忠实地反映和解释经验世界的现实活动，摆脱价值判断，并能根据仔细观察到的经验来修正自己；另一种是规范理论，这类理论根据不同的价值观，提出并解释在经验世界什么是应该的，什么是不应该的，并将自己的主观愿望融合在理论的要害和结构之中，这类理论不能放在现实社会中进行检验。而吴志强认为规划理论应该分为“规划中的理论（theory in planning）”以及“规划的理论（theory of planning）”，他认为：由于规划涉及的范围日益超越原来的物质形态设计，必须运用和借鉴其他成熟学科的知识，如经济学、社会学、生态学和政治学的理论，这些理论称之为“规划中的理论”，而“规划

的理论”则是规划自身及其过程规律的总结。

区分“规划中的理论”以及“规划的理论”对于城市生态规划意义重大。首先，它可以将诸如城市的生态问题研究以及城市生态规划问题研究的概念区分开。再者，由于认识到学科发展以及价值观的多元化存在，承认代表不同学科背景、不同价值观以及不同利益集团的理论之间的矛盾冲突是客观存在的。那么就能够更接近城市生态规划的本质：在规划中通过过程机制协调不同社会集团的利益，当然还包括人类与城市生态系统的协调问题。

刘贵利认为城市生态规划的主要理论除了城市规划的基本理论以外，还包括城市生态学、人类生态学、城市社会学以及可持续发展等理论。如果按照前面吴志强所言城市生态规划理论的类型来划分的话，前者应该属于“规划的理论”，而后者属于“规划中的理论”。从这一点而言，可以确定本章的研究重点：作为“规划的理论”的城市规划理论，重点探讨“规划自身及其过程规律”，而这种“规划自身及其过程规律”的总结当然必须放在与其他相关学科关系的发展演变中进行探讨才有意义。

## 2.1 人类生态学理论

人类生态学是研究人与其生存环境相互关系的科学，其任务是寻找人与自然发展的最优途径，解决当代人类面临的人口、粮食、能源、资源和环境等问题。

人类生态学是城市社会学的一个门派，它试图运用生态学在动植物世界所归纳出来的规律去分析人类社会。美国社会学家派克是第一个作出这种尝试的人。20世纪20~30年代中期是人类生态学派的全盛时期，除派克外，伯吉斯（W. Burgess）及健时（R. D. McKenzie）等学者都努力将生态学的原理应用到美国的城市社会研究之中。

人类生态学的思想根源来自欧洲。欧洲社会自工业化开展后起了重大变化，原来的乡镇郊区人口被吸引到市区工作，与此同时市区地域亦不断向乡郊拓展。城市的形成对人类生活的影响受到社会思想家们的关注，这些社会思想家包括韦伯、涂尔干、马克思、托尼士、斯密尔及史宝格勒等，他们就城市的起源、发展、分类、社会分工及城市心理等方面展开深入地探究。

### 2.1.1 古典人类生态学理论

就外部环境而言，20世纪初芝加哥城市人口急速增加、居住环境拥挤、城市设备不足、新移民融入社会等问题相继涌现，无疑营造了许多进行实验的机会。而就理论本身发展而言，可以认为人类生态学是生态学与社会学相结合的产物：生态学最初是生物学的术语，主要研究动植物间的环境及其与空间的联系，研究这些联系发生变化的原因和结果。19世纪、20世纪之交，达尔文的生存竞争理论风行美国学术界，派克也深受影响。他认为生态学规则十分契合城市结构发展、城市空间分布的规律，于是第一个将人类生态学引入城市社会研究。当然，他首先确定了人不同于动植物的前提。人类是有文化的，人类对城市土地空间的竞争不可能像动植物那样漫无限制，而受着习俗、法律的制约；通过象征性的交换、协商、理解和谦让，最后达到相互适应而不是相互毁灭。

明确上述前提后，派克指出，生物学规则同样适合于城市结构分析。

① 城市社会与生物界有相同的共生现象。共生是群体关系中个体相互独立又相互依存的状态。共生的基础是差异，城市越大，劳动分工越细，每个机构提供的服务越趋单一，个体之间的相互依赖程度则越高。在城市结构上的表现就是功能互补的机构往往分布在相互邻

近的地域内。

② 如同生物界一样，人类出于本能的驱动，必然寻找一席之地生存繁衍之地，于是在有限土地的使用上产生了激烈的竞争。派克认为这是决定城市结构、决定城市人口和机构地域分布的最重要因素。城市由许多功能不等、地租各异的地块组成。市中心功能最大，但地租也最高，这里只能由那些实力雄厚的大金融机构、商业集团占据。而贫穷的移民只能在功能小、地租低的贫民区居住。所以派克指出，城市人口和机构的地域分布并不是随意进行的，而是激烈竞争和适当选择的结果。

共生和竞争决定了城市结构的基本框架。但人口和机构的地域分布是经常变动的，健时用五个生态学概念来描述这种变动过程。

(1) 集中 集中主要指相同职能的机构向城市中枢地区汇聚，特别是对银行和商业来说，在城市中心区集中起来会极大促进业务发展。

(2) 分散 分散指人口和机构离开城市中心向城市外围迁移。20世纪40年代后美国城市人口和工商企业大规模向郊区搬迁就是例子。

(3) 隔离 由于竞争的结果，相同收入、种族、宗教等因素的人群或相同职能的机构聚集在一个特定区域，整个城市由一块块各具特色的地区组成，它们彼此分离，这就是隔离。美国各大城市普遍存在着与外界隔离的黑人聚居区和由外国移民组成的少数民族居住区。

(4) 侵入和接替 这是紧密联系的两个概念。如果一个群体离开它原来的居住地而进入另一群体的领域，便是侵入；当后来群体取代原有群体并实施对该地区的有效统治时，就形成了接替。

(5) 继承 最后一个生态过程是继承。所谓继承就是指一个从第一阶段到最后阶段完全改变了的人口类型或土地用途的过程。人类或动物、植物群的变化按一个循环形式进行，城市内的不同区域会经历不同的使用阶段，例如原先由经济条件好的人住的楼宇，当它们被重建或所在地段改变用途后，另一些类型的使用者又会出现。

总的来说，健时认为上述的生态过程是在一个大致既定的地理环境中运行不息的。

芝加哥学派的重要人物伯吉斯教授提出了一种引起广泛争论的同心圆地域假说（详情参见2.2.2.1）。

派克、健时与伯吉斯从理念到实践，试图将生态学的原理应用到人类社会，他们的努力在20世纪30年代达到一个高潮阶段。

### 2.1.2 现代人类生态学理论

韦伯从文化层面开拓了现代人类生态学。韦伯认为城市形态是一系列的特性，这些特性组成了不同城市的独特生活方式。这些特性的形成基于以下3种方式。

(1) 人口数量 由于大量人口集结于城市，人的背景变得多元化。而有类似背景的人在城市不同地域分隔而居，人与人之间的关系是表面化、无名化、过渡性、世故及理性的。这种分割及功利的人际关系，更进一步地会在社会专业化、分工化，以及通过代表去表达利益而制度化起来。

(2) 居住密度 另一个构成城市形态的因素是密度。当大量人口集中在有限的土地上，其分工程度便会加大，而社会构成也变得更加复杂。人与人之间的物理距离接近了，但关系却变得疏离。

(3) 差异性 最后一个构成城市形态的因素是差异性。由于城市人口自由流动，社会位

置不断转变，各类团体不断增加，导致城市的社会分层成网状及多样化。一个城市人基于其兴趣及需要，会属于不同组织的成员，每个成员身份代表着他性格的其中一面。城市的社会分层在大量生产模式及市场机制下更加巩固，人在城市中变得非社会人化，人的需要不会再被个别地满足，人被分类，其需要会以其所属大类中一般情况下之需要为标准。

自韦伯以后，现代人类生态学具有团体发展趋向，目的是要超越古典人类生态学家所提出的社会与动物、植物世界的框框，注入经济、文化及社会等因素。现代人类生态学派的发展可归纳为两个支派。一是新正统学派，该学派认为空间分布只是人类生态学所关注的一个元素，更重要的是人类生态学有兴趣研究城市人类怎样集体地适应环境，这是一个独特的过程，互相信赖、关键功能、分化及支配是分析这些的4项原则。而邓勤更进一步指出，人类生态系统是不断自我变化与调节适应的。要明白这些变化，可以从生态组合的4个元素入手，这4个元素是人口、组织、环境及科技。二是社会-文化学派，主要指出社会文化因素对城市土地运用模式的影响。

## 2.2 城市生态学理论

### 2.2.1 城市生态学的概念

用生态学指导城市规划以及城市生态学在城市发展建设与环境保护中的应用，使这两个研究领域产生交叉的部分——城市生态规划应运而生，对于新生的城市生态规划学科而言，城市规划已经有几百年的理论与实践经验，而城市发展建设的历史更是可以追溯到6000年前的古埃及王国，可以提供城市生态规划、城市发展建设系统的理论与方法指导，特别在研究与处理一些具体问题上，积累了丰富的经验；而城市生态学由于结合运用了很多新理论、新技术以及新方法。从城市生态系统这个全新的视角来研究城市，给城市研究带来了革命性的进展，从而为城市发展建设提供更科学的指导。

目前，城市生态学还没有一个比较成熟和完善的、为大家所公认的定义和理论体系。刘贵利认为“城市生态学是研究城市生态系统的结构功能以及其运动规律的整体性、动态代谢功能和物质能量循环规律等，并在这些基本规律指导下，探索城市发展中的生态问题，并依此规定城市人类活动的内容和范围，使城市生态系统的自律、自稳定和自循环能力加强，在某些方面更类似自然生态系统”。吴人坚等认为“城市生态学是研究人类居住区中的人以及社会同支持环境之间的相互作用机制以及这些机制如何决定城市的发生、发展的生态学科分支，它强调生态规律对人类活动的指导作用，重视城市生态系统的整体性、动态代谢功能和物质循环规律等，并在这些基本规律的指导下，探讨城市发展的生态问题，并依此规定城市人类活动的内容和范围”。王如松认为：生态资产、生态健康和生态服务功能是当前城市生态系统研究的热点。这些研究正逐渐形成几门城市可持续发展的应用生态学分支：一是产业生态学（industrial ecology），研究产业及流通、消费活动中资源、产品及废物的代谢规律和耦合方法，促进资源的有效利用和环境正面影响的生态建设方法；二是人居生态学（built ecology），研究按生态学原理将城市住宅、交通、基础设施及消费过程与自然生态系统融为一体，为城市居民提供适宜的人居环境（包括居室环境、交通环境和社区环境）并最大限度减少环境影响的生态学措施；三是城镇生命支持系统生态学（life support system ecology），研究城镇发展的区域生命支持系统的网络关联、景观格局、风水过程、生态秩序、生态基础设施及生态服务功能等，如图2.1所示。鲁敏等认为“所谓

城市生态学是以生态学的概念、理论和方法研究城市生态系统的结构、功能和行为的生态学分支学科”。

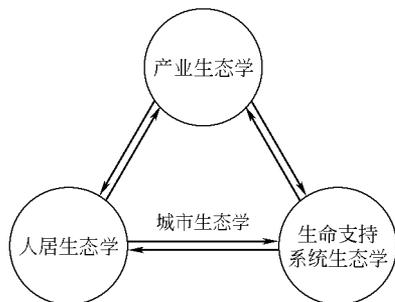


图 2.1 城市生态学的三个前沿领域 (王如松, 2000)

这些理论“都是以人类活动密集的城市为研究对象, 研究城市及其群体的发生、发展与自然、资源、环境之间相互作用的过程和规律的科学, 探讨其结构与功能和调节控制的生态学机理及方法, 并将其应用到城市规划、管理和建设中去, 为城市环境、经济的持续发展和居民生活质量的提高寻找对策和出路的科学”。

### 2.2.2 城市生态学主要理论

国内外一些学者从自己研究领域角度将城市生态学理论划分为不同类型, 刘贵利按时间顺序以及研究侧重点的不同将其分为古典城市生态学理论以及现代城市规划学理论; 吴人坚等按研究的领域分为城市生物生态、城市人类生态、城市生态系统生态、城市生态规划设计以及城市复合生态、可持续城市 5 种类型。王如松认为产业生态学、人居生态学以及城镇生命支持系统生态学代表城市生态学学术前沿领域。

#### 2.2.2.1 城市生态学理论的发展阶段

城市环境问题首先是一个社会问题, 为解决这些问题, 社会学家首先将生态学原理引入到研究城市与人类社会, 城市生态学的研究方法是 20 世纪 20 年代在美国的芝加哥学派的人类生态学研究形成的。芝加哥学派结合竞争、选择、迁移、支配等生态学的原理, 在城市研究中发展了自己独特的研究方法, 其空间观点以伯吉斯的同心圆城市模式和土地经济学家霍依特提出的扇形模式为代表。20 世纪 60 年代生态学研究的主题转为社会地域分析。社会地域分析理论的核心是以城市地域在原有的某种层次上能够进行分类的可能性为基础, 从而创立了自己的方法论。其后由于电脑的普及以及因子分析这一统计方法的应用, 用归纳法来说明城市结构的研究得到了进一步发展。随着以多种生态学的方法研究城市结构理论的出现, 传统的理论也就慢慢地不再为人们所重视了。20 世纪 70 年代初, 这类传统的生态学的研究逐渐降温, 因为这时人们已经认识到, 城市模型只靠技术和统计的一般化的分析无法深入认识城市发展的整个机制。而可持续发展思想的引入, 使城市生态学的研究进入了一个全新的阶段。

刘贵利将城市生态学理论按照时间顺序以及研究侧重点的不同划分为两个阶段——古典城市生态学理论以及现代城市规划学理论, 而 Daniel R. White 提出“后现代”城市生态学, 综合他们的观点, 可以将城市生态学发展归纳为三个阶段: 古典城市生态学 (1920~1940 年); 现代城市生态学 (1960~1970 年); 后现代城市生态学 (1970 年至今)。

(1) 古典城市生态学理论 古典生态学基础理论是由早期芝加哥大学的生态学家伯吉斯及其同道者所提出, 即“城市由多个社区单元组成, 每个社区的发展是受社会人的共生与竞争过程支配完成的, 进而推动城市的发展。其中, 共生关系是指在各种不同的人群或社区之间存在着相互依存的状态; 竞争关系是指城市范围内不同的人群或社区之间存在的对有限的资源和生存空间的争夺与冲突行为”。应用这些古典生态学理论, 许多城市生态学家建立了城市的生态模型, 其中具有代表性的是伯吉斯 (Burgess) 和他的同心圆地域假说、霍依特 (Hoyt) 的扇形模型、哈里斯 (Harris) 和厄尔曼 (Uрман) 的城市多核心理论, 如图 2.2、图 2.3、图 2.4 所示。

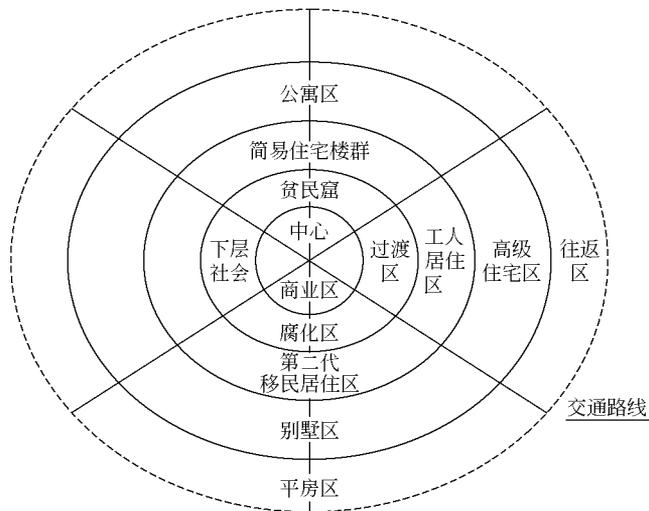


图 2.2 伯吉斯的同心圆地域假说

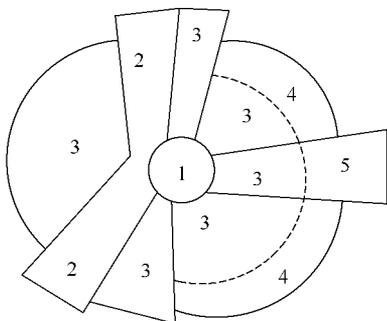


图 2.3 霍依特的扇形模型

1—中心商业区；2—工业区；3—底层  
阶级居住区；4—中层阶级居住区；  
5—上层阶级居住区

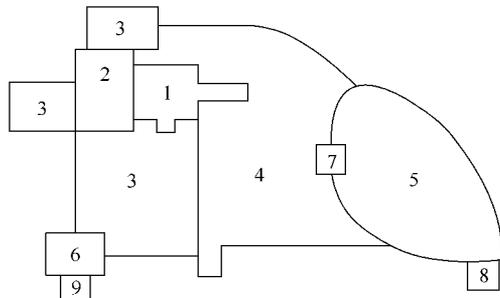


图 2.4 哈里斯-厄尔曼的城市多核心理论

1—中心商业区；2—轻工业区；3—低收入  
阶层居住区；4—中等收入阶层居住区；  
5—高收入阶层居住区；6—重工业区；  
7—异质商业区；8—郊区居住区；  
9—郊区工业区

通过对芝加哥城的分析，伯吉斯认为，城市结构如树的年轮一样，由一圈一圈的同心圆组成。在平面图上，以城市中心为圆心可画出五道不同半径的同心圆。第一环（即最里面的圈内）叫中心商业区，这是城市地理位置最优越的地方，只有实力雄厚的百货商店、官方机构、大型饭店才能在这里站稳脚跟。这里人口最密、流动性最大、商业最为繁华。第一环外面的第二环叫过渡区，这里聚集了黑人、移民、流浪汉和其他下层居民，还有工厂和仓库。第二环成为城市里房屋破败、世风腐化、犯罪率最高的地区。破落的第二环紧挨繁华的第一环看似荒谬，其实自有道理。因为第二环总是面临着第一环内商业势力向外扩张的压力，第二环的房产主既然明白他的房屋即将被第一环的人收买过去改作他用，他们自然对维修那里的房地产不感兴趣，年久失修，第二环的房屋逐渐损坏，只能出租给贫困居民和经济实力不强的工厂企业。第三环是工人住宅区，这里环境比第二环要好，但住房也相当简陋，居民主要是蓝领工人。第四环是中产阶级住区，白领阶层如专业技术人员、管理人员、小商人、职员住在这里，房屋以高级公寓和独门独院为主。第五环叫通勤区，这是城市最外围的

一环。上层和中上层社会的豪华郊外住宅坐落在这里，居民大多在城市中心区工作，他们使用通勤车票或使用自己的小汽车上下班往返于两地之间。

伯吉斯模式中两点值得注意。第一，随着居民社会经济地位的提高，其居住地离城市中心会越来越远，从中心商业区往外看，则依次是贫民区、蓝领工人区、中产阶级区和上层社会区。第二，城市地域存在着一种从中心逐渐向外扩张的趋势。当 A 环的人口和机构增加时，它必然要侵入它外围的 B 环，最终接替那里的人口和机构，而 B 环的人口和机构也肯定会向紧挨着的外一环地区侵入。结果，每一环的地域都会扩大，城市按照相对固定的五环模式向四周蔓延。伯吉斯同心圆五环模式为城市结构分析提供了一个简明的图案，虽过于简单，但通过它可一望而知各种不同人群和机构在城市的大致分布及其变化趋势。对此，一些批评家认为，伯吉斯将人类之间的关系描述成简单的生物关系具有不确切性，生物群体同人类世界不完全相符，生物群体由自然界调控，人类世界由习俗、法律、制度所限制，显然，伯吉斯忽视了人与人之间的感情，夸大了人与人之间的竞争程度。

在伯吉斯的 research 基础上，霍依特对照了大约 142 个城市，得出与伯吉斯不完全相同的结论，某些功能区表现出扇形的特征，如图 2.3。

按照霍依特的扇形假说，城市布局的形成主要基于以下 4 个方面的原因。

① 为节约原料成本或运输成本，工厂一般接近水源地布置，并沿铁路线发展，工厂区的分布表现出由核心向外扇形发散的特征。

② 由于工厂废气、废水和固体废物的排放，造成临近工厂区的环境恶化，地价降低，逐渐成为城市低收入阶层的居住区，由城市贫民窟、城郊村落及城市废弃地组成，其布局形式有圆形和扇形两种。

③ 中等收入阶层一般受其经济条件的影响而位于低收入阶层和高收入阶层的夹层。

④ 高收入阶层为满足优质的环境需求，往往住在远离工业区、地价较高的地段。同时，为躲避洪灾的威胁，高收入阶层会选择地势较高的地方居住。

对于霍依特的扇形模型理论，批评家们强调扇形的概念与边界模糊对城市的发展不具备充足的说服力。

哈里斯和厄尔曼通过对多种类型城市地域结构的研究发现，职业、地价、房租和环境等多种因素是导致城市布局模式的主要因素，于是他们提出了城市多核心理论（如图 2.4），即城市是由若干不连续的地域单元组成，每个地域单元存在一个核心。

哈里斯和厄尔曼认为，形成这种多核心布局模式的主要原因在于以下 4 个方面：①某些功能区的分布是由于对特定地域条件的特殊要求而形成的；②不同功能区的性质决定了相互之间的位置；③高收入阶层对居住环境的要求决定了他们居住的位置；④由于高收入阶层居住区的形成，高收入阶层会欢迎比较高档的小型商业区介入。

按照该理论的观点，互为利益关系的功能区在特定地域彼此强化，否则相互远离。

刘贵利指明了古典城市生态学的特点以及局限性所在，她认为“同心圆地域假说、扇形模型、城市多核心理论这 3 种古典城市生态学理论都或多或少地适应于不同城市某一时段的特征，遵循生态规则，建立多功能合作与分工的城市模式”，如表 2.1 所示。

而随着城市生态系统的发展，城市人群将发挥更大的能动作用，并非单纯体现在社会的生物生态学的基础上，3 种城市发展模式只能表示对当时不同地区城市布局的归纳，因而“远远不能起到对城市发展的预测作用，因此，现代城市生态学家探讨城市的方式有了显著的变化”。

(2) 现代城市生态学理论 受城市生态系统自发形成的影响, 古典城市生态学家往往注重对城市生态系统空间结构的成因。当在全球范围内发生了不可避免的城市生态危机以后, 现代城市生态学家才把注意力转移到改良城市空间结构、建立城市发展机制、协调城市社会阶层的各种关系等方面, 其基本观点主要为: 伴随城市发展的标志不应只局限在经济水平的提高, 更应该重视社会的和谐和生态环境的保护, 其主要目的是充实城市生态系统中所缺乏的自然生态功能, 现代生态学家更注重城市生态系统的微观协调。

近几年来, 许多以城市可持续发展和环境规划为主题的专题讨论会和学术会议相继召开, 其中对城市生态规划理论有指导意义的主要有以下 3 份项目报告。

- ① 城市发展的合理环境项目报告 (OECD15, 1990);
- ② 如何根除城市环境问题项目报告 (EC-Commission, 1990);
- ③ 城市多功能合作与分工项目报告 (ESUD, 1994), 其中提出应用于环境问题的生态设计模型 (如图 2.5 所示)。

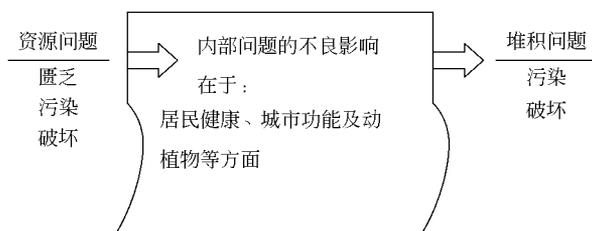


图 2.5 应用于环境问题的生态设计模型 (ESUD, 1994)

表 2.1 城市 3 种功能的划分 (刘贵利, 2002)

城市标志	负责的城市	有活力的城市	可参与性的城市
目标	流动方式	区域管理	参与者的角色
社会目标	产量与质量	有用性与诱人性	大众的和特殊的
生态问题	匮乏、污染和破坏	健康、功能和生物多样性的损失	疏远与漠不关心
生态城邦	可持续发展的管理及控制规划	区域的可持续利用及地方潜力规划	组织与生态有关的会议交流活动
研究焦点	资源链的管理	区域效益导向管理	目标群体的选择

在总结了这些项目报告的主要内容的基础上, 刘贵利将现代生态学理论思潮归纳为 4 种模式。

① 中心化理论 中心化理论认为, 服务于大区域的各种设施只有集中布置并且提高设施规模, 才能满足大区域的需求, 并且便于对废物的排除进行高标准的管理。该理论强调经济的规模效益, 即在大区域内建设大型的中心设施, 如电站、泵站、污水处理厂以及交通网络, 并设立专业部门负责管理各种设施。这种支持大城市的集聚的理论, 其起源是柯布西耶的阳光城市, 由此产生两方面的生态问题: 一方面是水、能量、物质或交通的供不应求; 另一方面是废水、转化的热能、废物及交通噪声问题的过剩。其解决方案是补充供应和消除过剩, 两种方案的矛盾使中心化论者处于进退两难的地步。此外, 这种难以调和的矛盾使受益于中心化便利设施的城市居民只感到供不应求, 而几乎看不到城市的排泄物流 (地下), 更不愿支付各项活动中追加的社会和环境成本, 造成对城市规划参与的积极性不高。

② 分散化理论 分散化理论认为, 中心化理论提出的解决方案没有从实质上解决环境问题, 而是转变了问题的形式或转移了问题的所在。因为污水处理厂留给居民的是污泥, 开辟新的机动车道未必能从长远角度解决交通拥挤问题。因此, 分散化理论提出: 环境问题主

要与居民的个人行为和工作单位活动形式有关，为从根本上防治环境问题，各项设施应该分散布置，对于城市密集地带的居民应该实施疏散措施，号召城市居民向人烟稀少的农村迁移，在农村建立自理家庭和生态村，并适应自建房屋、自种粮食、自理废物的自然生活方式。

但分散化理论将导致原始的、反城市化的生活和工作方式的形成，很难使享受城市文明的居民适应这种生活模式。而该理论试图建立的家庭式自足系统，需要集体的合作才能完成，但集体组织成员的共生又会导致挥霍更大的空间资源，增加了环境问题的覆盖面，与追求的生态型农村生活方式相背离。

③“三明治”理论 由于中心化理论从城市中转嫁了环境问题，分散化理论把居民从城市中移出，扩大了环境问题的覆盖面，扰乱了城市居民长期形成的生活方式，因此，珈玲提出了第三种理论——“三明治”理论或夹层学说。其顶层表示政府的决策层，具有权威性，其主要任务是为环境问题的防治创造技术、经济和管理条件，并提出一些以资源利用为导向的措施。领导层必须认真选择参与决策的群体，通过刺激或调节措施改革城市，使之适应不同生活方式和不同就业性质的居民群体。在顶层的指导下，底层表示对居民个体与群体的行为量度，号召他们节约水、能量和资源，减少废物的产生，并加强城市税费体系的管理，激发城市居民的参与意识。而夹层是以社区、城区和区域作为主要参与者指导完成某些相关的城市工程，如雨水储存工程与回收热能装置的设计工程、回收或二手货市场建立工程，以及设计安全的循环线路等。

④水网与交通网络的衔接理论 与珈玲的宏观调控理论不同的是，耐斯和玛尔等从微观调控的角度提出了城市的水网和交通网络衔接理论。他们认为城市的高速发展与基础设施的集约化利用将使城市建筑密度增加，并向高层发展，既影响了城市环境，又破坏了居民原有的生活方式和邻里关系。如果减少城市建设密度并阻止其向高层发展，必须将某些行业向郊区迁移，而这种做法又在区域水平上增加了人工生态系统的密度，不利于区域水平上生态系统的平衡。因此必须建立城市的水网和交通网的有效衔接方式。

交通网络，可看做城市高动力功能的承载者，如制造业、商业、旅游业以及农业都高度依赖交通设施来实现，此外交通网络还具有公共运输和机动车轨道的基本功能，支撑着高速运作的人类活动，并鼓舞或限制着居民的活动范畴。水网，可看作低动力功能的承载者，它担负着自然开发和保护基地以及安静的休闲地等一般功能，还具有为雨水提供流动与保存的空间、为居民提供城市用水、为城市绿地的可持续生长提供源泉等主要职能。水网包括任何形式的地表径流与地下径流，水网的合理设计有利于涵养水源、发挥地方的生态潜力。在此基础上耐斯和玛尔建立了简化的红-绿模型，如图 2.6 所示。

图 2.6 表明了一种介于城市绿色空间、居住空间和工作空间的相邻关系，以及水网与交通网络的有效衔接关系。这种布局有以下优点。

- ① 建立了可持续的土地空间布局模型；
- ② 有效地将水网与交通网络衔接起来；
- ③ 为城市与乡村规划提供了依据。

上述各种城市生态学理论强调建立鼓励公众参与的城市调控体系，在城市生态规划中要求注重发挥城市绿色空间与开敞空间的作用，合理安排并协调建筑物的相邻关系，有效连接交通网和水网，加强城市流的设计与控制，实现城市生态功能分工。

(3) 后现代城市生态学理论 后现代生态学是美国学者 Daniel R. White 1998 年出版的

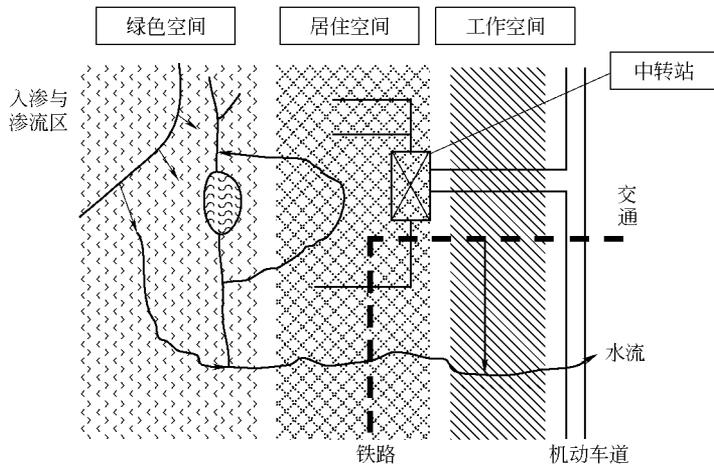


图 2.6 水网与交通网络体系构图 (刘贵利, 2002)

《Postmodern Ecology: Communication, Evolution and Play》一书中提出, 该书主要理论有以下几点。

① 通过对欧洲思想发展趋势的历史性进程的研究, 他认为, 欧洲思想的发展促成了工业文明的形成, 当前正在向“生态文明”的转折点发展。

② 关于生态学和后现代之间的关系, 尤其是生态学与后现代社会之间的关系论述。这带有鲜明的时代性, 例如他认为“应该在全球的尺度上考虑‘生态危机’(ecological crisis), 仅仅从人类的单边主义出发, 很少考虑其他生物。直接后果不仅对人类生存而且从技术角度而言, 都是灾难性的”。而对工业文明与自然之间的关系也作了尖锐的批评, 认为“惟一可供选择的是回归——即在后现代的阶段强调交流和对话”。

后现代城市生态学是后现代生态学在城市领域的应用。它的产生至少与以下两个原因密切相关: ①可持续发展研究的深入; ②复杂性科学在城市研究领域的运用与深化。

对于环境与能源危机, 20 世纪 70 年代“增长的极限”的警示让人类对于发展的概念有了全新的认识, 为 80 年代可持续发展思想的诞生奠定了基础。90 年代环境承载力、生态足迹等概念使可持续发展思想更加成熟。而 20 世纪城市研究领域所运用的理论与方法, 也经历了从机械性科学到系统科学再到复杂性科学的发展转变。在这两个方面的影响下, 后现代城市生态学呈现出与以往城市生态学截然不同的特征, 至少表现为以下几点。

① 把城市看做一个系统, 而不是个别事物的组合, 注重城市内部复合生态系统以及城市与周边地区的均衡发展, 强调城市生态环境承载能力, 以及城市人口需要耗费资源换算成的生态足迹对城市发展的制约作用。

② 认识到科学技术的局限性, 因此强调从全社会的角度来解决城市生态环境问题、强调研究中的交流对话、强调城市居民的参与与城市社区的自建等。

③ 认识到城市生态系统的复杂性, 以及现有理论与知识、获取资料的不足, 利用环境影响评估、生态风险评价等方法来降低城市开发建设中的不确定性可能产生的不利影响。

#### 2.2.2.2 城市生态研究的 5 个领域

吴人坚等认为, 目前城市生态学研究的主流在以下领域展开: 城市生物生态、城市人类生态、城市生态系统生态、城市生态规划设计以及城市复合生态、可持续城市。这些研究领域分别从不同的侧面和层次探讨和研究城市生态系统的组分、结构、功能及其演化规律。本

文选取其中的城市生态系统生态、可持续城市以及城市复合生态部分介绍。

(1) 城市生态系统生态 城市生态系统生态是运用生态系统观点和方法来考察城市动态与演化。它主要研究城市系统中物质、能量的代谢过程、格局以及其同城市地理资源条件和城市社会文化的关系。

(2) 城市复合生态系统 社会-经济-自然复合生态系统是 20 世纪 80 年代马世骏等中国生态学家提出指导我国城市与区域建设的科学理论。1987 年以来,王如松等应用这一观念,从社会-经济-自然复合生态系统、复合生态系统的动力学机制、控制论原理、关系模型 4 个方面发展了城市生态建设的方法论体系,形成了城市复合系统生态学的新领域。它包括生态规划、生态工程与生态管理。这些方法体系目前在城市规划和生态县、生态村镇建设中推广运用。

(3) 可持续城市 可持续城市是“可持续发展”在城市生态理论和实践中加以具体应用的学科分支。可持续城市指标研究是国际城市生态研究的热点之一。联合国可持续发展委员会(CSD)于 1995 年底从新的视角提出了一套可持续发展指标体系。该指标体系基于驱动力(压力)-状态-反应的系统学层面,来测度城市或区域发展的宏观动态行为。驱动力指标表明影响可持续发展的人类活动、过程和格局;状态指标反映可持续发展的程度;反应指标表明对可持续发展程度变化的政策等一系列的响应行动。指标体系分为社会、经济、环境、体制等 4 类,该委员会强调,指标体系是灵活的,不同国家应该根据其自身的优先发展需要、面临的问题和期望的目标来选用不同的指标值。

国际可持续城市建设计划(Sustainable Cities Programme)也是由联合国等国际组织的全球性可持续城市合作计划。该计划的组织和实施特点是:城市为主体,联络地方合作伙伴,以多边和双边的广泛协助和支持为基础,鼓励广泛的风险承担者参与,而非仅仅局限于总体规划;动态协调和强有力的反馈;自下而上的问题解决方式,而非自上而下的决策方式;动员一切地方资源潜力;建立外部支持的协调框架;对城市规划和管理的环境考虑;《21 世纪议程》的地方实行政策等。

总之,当前城市生态学在城市生态系统生态、城市复合生态系统等 5 个领域都取得一定的研究进展,研究领域比较广泛;采用了一些比较先进的研究方法,例如主要从定量的角度(监测、遥感、生物学调查、毒理实验等)到以定性为主的方法(社会、文化、心理);从环境到人、从心理到生理、从社会到自然、从个体到群体、从群落到景观等。城市生态研究与应用正在全球不同空间尺度和时间尺度上不断深化和完善。

### 2.2.2.3 城市生态学研究的 3 个前沿

(1) 城市人居生态学(Built ecology) 1996 年 6 月的土耳其联合国人居环境大会专门制定了人居环境议程,提出城市可持续发展的目标为:“将社会经济发展和环境保护相融合,在生态系统承载能力内去改变生产和消费方式、发展政策和生态格局,减少环境压力,促进有效的和持续的自然资源利用(水、土、气、生、林、能)。为所有居民,特别是贫困和弱小群组提供健康、安全、殷实的生活环境,减少人居环境的生态痕迹,使其与自然和文化遗产相和谐,同时对国家的可持续发展目标作出贡献。”

从可持续发展的口号走向生态建设的具体行动,这是当今国际城市人居生态研究的主流。研究对象主要集中在生态城(村、镇)、生态住宅、生态交通、生态代谢、生态能源、雨水资源利用、生态恢复以及生态产业的设计、规划、试验和管理的示范研究上。近年来,欧洲、美洲、大洋洲(如澳大利亚的 Halifa 和 Whyalla)和亚洲都涌现出一批生态示范社区

或村镇，示范的指标包括发达的生产力、先进的生产关系、满意的生活质量、良好的生命素质及和谐的生态秩序。

人类聚居地生态学研究围绕当前困扰城市各级部门的环境问题、交通问题、居住问题和生活质量问题，逐渐聚焦在 3m 目标：物质代谢（metabolism）、交通过程（mobility）和生态基础设施的维护（maintenance）；和 3I+3M 方法：影响评价（impact assessment）、关系整合（interaction synthesis）、体制调控（institutional regulation）、指标测度（measuring）、动态监控（monitoring）及系统模拟（modeling）上。

(2) 产业生态学（industrial ecology） 当今城市面临的挑战是产业转型，而产业转型的方法论基础就是产业生态学。它是一门研究社会生产活动中自然资源从源、流到汇的全代谢过程，组织管理体制以及生产、消费、调控行为的动力学机制、控制论方法及其与生命支持系统相互关系的系统科学。

王如松认为“产业生态学涉及宏观、中观、微观 3 个层次”，并认为“生态产业是按生态经济原理和知识经济规律组织起来的基于生态系统承载能力、具有高效的经济过程及和谐的生态功能的网络型、进化型产业”，如表 2.2 所示。

表 2.2 生态产业不同于传统产业的特点（王如松等，2002）

类别	特征
1. 横向耦合	不同工艺流程间存在横向耦合和资源共享,变污染负效益为资源正效益
2. 纵向闭合	从源到汇再到源的纵向耦合,集生产、流通、消费、回收、环境保护及能力建设于一体,第一、二、三产业在企业内部形成完备的功能组合
3. 区域耦合	厂内生产区与厂外相关的自然及人工环境构成产业生态系统或复合生态体,逐步实现有害污染物在系统内的全回收和向系统外的零排放
4. 功能导向	以企业对社会的服务功能而不是以产品或利润为经营目标,谋求工艺流程和产品的多样化
5. 柔性结合	灵活多样,面向功能的结构和体制,可随时根据环境的随机波动调整产品、产业结构及工艺流程
6. 软硬结合	配套的硬件、软件核心件研究与开发体系,配合默契的决策管理,工程技术和营销开发人员
7. 自我调节	以生态控制论为基础,能自我调节的决策管理机制、进化策略和完善的风险防范对策
8. 增加就业	合理安排和充分利用劳动力资源,增加而不是减少社会就业机会
9. 人类生态	工人一专多能,是产业过程自觉的设计者和调控者而不是机器的奴隶
10. 网络经济	内外信息及技术网络的畅通性、灵敏性、前沿性和高覆盖度

(3) 城镇生命支持系统生态学（life supporting system ecology） 城镇生命支持系统生态学的一个关键科学问题是生态影响评价。常用的评价方法有：H. T. Odum 提出的能值分析法（energy analysis），环境毒理和化学学会（SETAC）提出的物质代谢全过程的生命周期分析法（life cycle assessment），F. Vester 提出的基于反馈机制的生态控制论分析法（eco-cybernetics），Daily 等提出的生态系统服务功能和 Costanz 等人提出的自然资产评价法，以及 Boulding 等人提出的生态经济方法，W. Ree 等提出的基于土地利用的生态足迹法（ecological footprint），以及 Bartell, Sute 等的生态风险分析法、前景展望法（scenario，包括趋势外推、目标反演、替代方案和对照遴选等）。它们分别从能流、物流、信息流、资金流以及空间、时间尺度上评价和分析人类活动影响下的生态过程。

### 2.2.3 城市生态学研究内容的发展趋势

城市生态学发展趋势主要有以下 3 个方面。

① 城市与自然、资源、环境相互作用的具体机制方面应全面深入地展开，他认为“城市特征的多项性和自然资源环境的多因子性形成了一个相互作用网，产生了诸多节点，这些节点正是协调城市与自然、资源、环境相互关系的具体操作点，城市生态学应该深入地

探讨这些具体作用点，明确作用方式和强度，对城市的规划、建设、管理提供依据”。但目前从城市与自然、资源、环境相互作用的网状结构来看，城市生态学的研究尚有许多空白点，因此组织多方面的专家在个案上深入分析，在理论上概括研究是非常必要的，也是城市生态学发展所必不可少的基础。

② 将城市视为自然-经济-社会复合生态系统，认为“需在具体机制研究的基础上，更为精确地概述城市生态系统。综合分析，以下方面的研究是城市生态学工作者所应该关注的，结构和功能方面有：城市生态系统的能质链及其等级序列，不同类型能量之间的转换效率及其提高途径，物质循环的时空结构、模式及其有效性提高，以及由此而引起的货币流的格局与方式，物质、能量、货币之间的相互影响等”。

在系统科学的启发下，将城市视为一个生态系统，研究其结构、功能和调控机理方面，尚有许多空白之处，需要深入研究，同时也富有极大的挑战性。数据收集方面，资料整理方面，数学物理方法方面均具有不少困难，研究结果常常具有很强的或然性和在实践方面难以操作，也是城市生态学从系统角度深入研究所面临的巨大障碍，但是，从系统角度研究所得出的有战略性的指导对策具有非常强的实际意义。

③ 城市生态学应参与现代生态学最关心的领域的研究，现代生态学最关心的三个研究领域是可持续的生态系统、生物多样性保护、全球变化。可持续的生态系统研究方面，城市生态学应该从城市这一人口聚居生活方式出发，研究城市的生产生活与城市支持生态系统的可持续性，探讨城市系统对支持生态系统的胁迫和支持生态系统对城市的服务功能，开展风险分析与评估的研究，确定系统的最适宜持续生产能力、承受能力，探讨城市生态系统和城市支持生态系统的演替和衰退规律，提出建设的指导原则和技术方法。可以说，城市区域是一个典型的自然-社会-经济复合生态系统，探讨可持续发展的机理和综合调控途径是可持续生态系统研究不可缺少的重要一环。

生物多样性保护方面，应该从城市的发生和发展、城市的布局、城市居民生活质量的提高等方面探讨城市对生物多样性的影响，特别是城市发展对支持生态系统的胁迫导致生物多样性丧失的机制和过程，应加以分析，从城市发生和发展的角度提出保护生物多样性的对策和措施。

#### 2.2.4 城市生态学与人类生态学的比较思考

根据以上所述，一个理论的历史性叙述，应该讨论其与“先前事件的关系，解释为什么会发生这样的事件，并通过将其置身于环境中而彰显其意义”。

作为城市生态规划的主要基础学科，如果对城市生态学与人类生态学进行横向比较，将有助于了解其各自特点，更重要的，是从历时性的角度，回答诸如处于不同阶段的学科对城市生态规划有哪些影响这样的复杂问题。但全方位的横向比较无疑是一件浩大的工作，非本文所能承担，本文只尝试简单分析比较这两个学科得以分门别类的概念。

根据前面论述，两个学科的产生，古典城市生态学源自于城市布局、形态与动物、植物世界相类比的设想，而古典人类生态学源自于人类社会与动物、植物世界相类比的设想，二者研究对象不同（城市空间布局与城市土地，城市人类社会），而研究方法类似（用生态学原理类比）。

因此可以假设，这种类比的研究方法是当时运用生态学原理（古典生态学）研究城市的主要方法。这是完全可能的，原因如下。

① 二者所处的时代较接近，一些重要理论都是 20 世纪 20~40 年代之间提出的。

② 研究者背景相似，基本上都是由芝加哥学派社会学家以及生态学家为主，拥有相似的知识结构以及社会意识，尤其是伯吉斯同时作为两个领域早期的重要代表人物，他的同心圆地域假说明显受当时人类生态学思想影响下产生的。

了解了这一点，有助于在下面章节里面，讨论生态学对城市规划的影响时，作为前面提到的两个假设的重要证据。

① 城市生态规划是城市规划与城市生态学结合的产物；

② 城市生态规划的发展有着明显的历时性特征，它是特定历史、经济、社会、政治、科学技术等条件综合作用的产物，是城市规划的一个过程。

## 2.3 可持续发展理论

第1章谈到，可持续发展理论是城市生态规划的基本指导思想，对于可持续发展理论的理解使各国专家学者纷纷从不同的角度构建了可持续发展理论的框架，其中与城市规划和生态学理论结合比较紧密的、有代表性的主要有费利（Walter Firey）的资源利用理论、萨德勒（Saddler）的系统透视理论和杜思（Dorcey）的系统关系理论（如图 2.7、图 2.8 与图 2.9 所示）。此外，在一些国家的实践中，建立了关于可持续发展的模型，其中比较突出的有美国大草原农场重建的可持续社会发展模型、加拿大国际发展机构（CIDA）的可持续发展框架、汉可克的健康社区模型等。

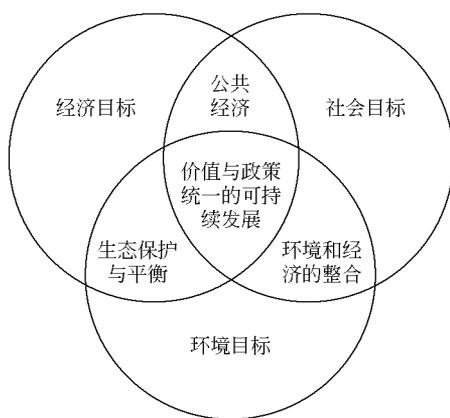


图 2.7 萨德勒的系统透视理论模型（刘贵利，2002）

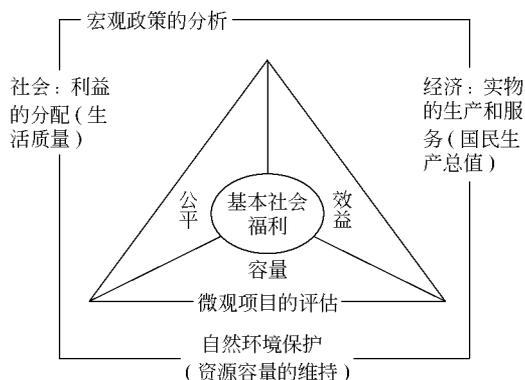


图 2.8 可持续发展的决策内容和标准（刘贵利，2002）

如图 2.7 所示，萨德勒将可持续发展描述为环境、经济和社会的整合。他认为可持续发展的主要目标是环境、经济和社会目标交叉点综合价值的体现，即：生态保护与平衡；环境和经济的整合；公共经济的发展。

图 2.8 是萨德勒所发展的可持续发展宏观政策决策系统和微观项目评估系统概念框架，其中，宏观政策决策系统主要包括环境（自然保护、资源可持续利用）、经济（生产、服务和国民生产总值）和社会（利益分配、生活质量）等内容；微观项目评估系统主要包括环境容量、经济效益、社会公平等内容。

图 2.9 所示的是杜思提出的系统关系理论的概念模型。在图 2.9（a）中，杜思提出在可持续发展中应考虑两种三元素系统：即直接相关的系统和间接相关的系统。在图 2.9（b）中，

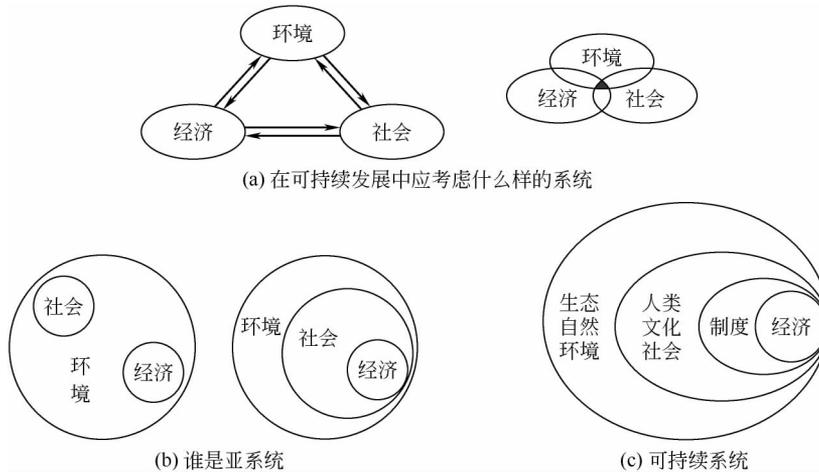


图 2.9 杜思对可持续发展的系统分析框架 (刘贵利, 2002)

杜思讨论了两种系统的包含关系：一种是社会系统和经济系统是环境系统中两个并列的子系统；另一种是社会系统是环境系统的亚系统，而经济系统又是社会系统的子系统。

因此，在图 2.9 (c) 中杜思提出一种可持续发展框架，在这个框架中他建立了一个复杂的、综合的巨系统，该系统的最高层是由自然和环境构成的自然生态系统，其亚系统的内容主要包括人类、文化和社会等内容。在亚系统内设计了两级子系统：一级子系统是体制和制度；二级子系统是经济。

## 参 考 文 献

- 1 吴人坚, 王祥荣, 戴流芳. 生态城市建设的原理与途径. 上海: 复旦大学出版社, 2000. 1~17
- 2 Franco Archibugi. The Ecological City and the City Effect; Essays on the Urban Planning Requirements for the Sustainable City. Chicago: Athenaenum, 1997. 1~272
- 3 欧阳莹之, 田宝国. 复杂系统理论基础. 上海: 上海科技教育出版社, 2000. 1~412
- 4 黄亚平. 城市空间理论与空间分析. 南京: 东南大学出版社, 2003. 101~110
- 5 吴志强. 《百年西方城市规划理论史纲》导论. 城市规划汇刊, 2000, (2): 9~18
- 6 刘贵利. 城市生态规划的理论与方法. 第二版. 南京: 东南大学出版社, 2002. 1~201
- 7 周鸿. 人类生态学. 北京: 高等教育出版社, 2001. 1~260
- 8 何培忠. 人类生态学的研究与发展. 国外社会科学, 1994, (2): 7~12
- 9 吴伟, 陈功玉, 王浣尘等. 环境污染问题的博弈分析. 系统工程理论与实践, 2001, (10): 115~119
- 10 鲁敏, 张月华, 胡彦成等. 城市生态学与城市生态环境研究进展. 沈阳农业大学学报, 2002, 33 (1): 76~81
- 11 阎水玉. 城市生态学学科定义、研究内容、研究方法的分析与探索. 生态科学, 2001, 20 (1): 96~105
- 12 王如松. 转型期城市生态学前沿研究进展. 生态学报, 2000, 20 (5): 830~840
- 13 沈清基. 自然与人类命运的深刻思考——Daniel R. White 的《后现代生态学》评价. 城市规划汇刊, 2003, 143 (1): 91~94
- 14 Burgess, Ernest W. The Growth of the City——An Introduction to a research project. Chicago: U of Chicago Press, 1925. 17~53
- 15 倪深海, 崔广柏. 可持续城市发展的生态原则及其对策. 中国人口、资源与环境, 2002, 12 (5): 63~64
- 16 马世骏, 王如松. 复合生态系统与持续发展. 见: 何祚麻, 张熹主编. 复杂性研究. 北京: 科学出版社, 1993. 239~250
- 17 Christensen K. Home Ecology. Colorado: Fulcrum Publishing, 1990. 1~354
- 18 Breuste J, Feldmann H, Uhlmann O. Urban Ecology. Berlin: Springer-Verlag, 1998. 1~714
- 19 Boulding K. Economics as an Ecological Science. In: Economics as a Science. New York: McGraw-Hill, 1970, 23~52
- 20 Rees W E and W ackernage M. Ecological Footprints and Appropriated Carrying Capacity: Measuring the Natural Cap-

- ital Requirements of the Human Economy. In: Investing in Natural Capital: The Ecological Economics Approach to Sustainable Development. Washington, DC: Island Press, 1994. 362~390
- 21 何炼成. 评《中国经济热点问题研究》. 经济地理, 2001, 21 (3): 286
- 22 刘贵利. 城市生态规划编制内容浅析. 规划师, 2001, 17 (6): 18~26
- 23 张杰. 论以社区为基础的城市小规模改造. 城市规划汇刊, 1999, (3): 64~67
- 24 王旭, 黄柯可. 城市社会的变迁. 北京: 中国社会科学出版社, 1998. 1~353
- 25 沈清基. 城市生态与城市环境. 上海: 同济大学出版社, 1998. 1~141
- 26 Jiao Sheng, Zeng Guang-ming, He Li. Uncertainty theories and methods for ecological planning of small sized towns, Uncertainty Analysis for Ecological Planning of Small Sized Towns. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2004, 14 (S1): 177~180

## 思考题

1. 分析比较古典城市生态学与现代城市生态学、后现代城市生态学三者的异同以及各自特点。
2. 对城市生态学与人类生态学进行比较后, 指出各自的特点。
3. 简述可持续发展理论的代表人物与其主要理论。

## 第 3 章

# 城市生态规划的主要方法

### 3.1 因子生态学的方法

#### 3.1.1 因子生态学理论

因子生态学 (index Ecology) 与景观生态学 (landscape Ecology) 理论是目前城市生态规划的两大基本理论, 该理论流行于 20 世纪 60 年代, 当时主要应用于城市居住结构分析。在因子分析中所应用的大多数变量是为了计算居住分异强度及居住分布的空间格局。在不同的城区所运用的因子生态学技术略有差别, 主要体现在变量的选取与统计方法的确定上。因子生态学分析方法是依靠多元统计技术方法来实现的, 其中主成分分析、因子分析、对应分析是在城市研究中最常采用的多元统计技术方法。因子生态学方法作为量度城市空间差异的主要方法之一, 在分析社会、经济、人口和居住特征的关系时, 起到了归纳总结的作用; 随着计算机技术的应用和计量地理学的发展, 因子生态学的研究更加方便实用, 逐渐形成了可靠的、有效的和高水平的城市空间布局结构的归纳总结方法。而不再局限于居住空间结构的分析, 而是同时考虑城市社会、经济以及生态复合系统的影响, 并同 GIS 等结合, 用于城市生态分区的划分以及城市生态评价指标体系的确定。

#### 3.1.2 因子生态分析法的方法和步骤

采用多个可量化、可图示、可表现在其他统计分析中的因素描述城市中各种复杂关系和空间格局的方法称为因子生态学方法, 它是一

种能够分辨城市社会群体变量和类似变化格局的总结或合成技术。因子生态学分类的基础是把因子维作为假设属性,即统计产生一系列混合变量,每一个独立变量解释综合差异中的一小部分。因子生态学的目标是辨别数据的主要差异,通常保留那些能反映数据更大比例的因素,即通过技术方法筛选变量,可通过加权辨析,如设定最小权重为1,其余可去除。因子生态学本质上是归纳性的,这与具有演绎性、严格特征的社会区分析有较大区别。其实质是采用因子分析模型来分析 $n$ 个基本空间单元的 $p$ 个社会、经济、人口和住房等变量,这些基本数据组成一个 $(n,p)$ 矩阵,将 $p$ 维的数据矩阵 $(n,p)$ 变换为 $r(r<p)$ 个因子( $r$ 维)的矩阵 $(n,r)$ ,通过从原始矩阵中消去线性相关的冗余信息,使得这 $r$ 个因子包含了原始数据的所有统计信息。因子生态学方法的操作步骤如下。

- ① 分析区域概况,界定研究问题,选择基本统计单元。
- ② 选取影响因子,设定符合条件的变量。
- ③ 数据变换以消除次要因素的干扰。
- ④ 标准化处理(比如数据标准差标准化),使数据具有统一的度量单位。
- ⑤ 建立相关系数矩阵进行变量的相关度量,其中,以 Pearson 的积矩相关度量最为普遍。
- ⑥ 确定统计分析方法、主成分分析或标准的因子分析方法,两者的主要区别是相关矩阵主对角线元素的处理。
- ⑦ 主成分或因子轴的变换,选择采用正交旋转或斜交旋转,使得因子载荷矩阵承载信息量更大,易于各类问题的筛选和研究。
- ⑧ 根据因子(主成分)得分进行分类,分类等级依情形而定(一般分值差越大,等级越多;反之亦然)。
- ⑨ 根据不同等级特征进行空间描述,按照分值总评结果确定属性,找出不同区域问题的主要根源,提出应对策略或规划方案。

因子生态学在国外的实际应用中已有一些尝试,我国在因子生态学领域也有所研究。虞蔚 1985 年对上海作过社会区研究。结果表明,造成上海市中心区社会差异的因子主要有两项:①人口聚集程度,表现为人口密度和土地使用紧凑度;②文化职业构成,主要涉及居民职业类型、受教育程度和居住条件。空间形态上,人口聚集呈现环状与多核心的综合;文化职业构成则呈明显的扇形分布。同时还揭示出上海城市内部存在一定程度的籍贯隔离现象。许学强、胡华颖等以广州市为例,采用因子生态分析方法对社会主义中国的城市是否存在社会空间的分异做了详细的分析论证,并于实践中揭示了广州社会区形成的机制。在广州社会区的研究中,选出 67 个变量进行主成分分析,得出 17 个主成分,归类命名后确定了形成广州社会区的主要因素:人口密集程度、科学文化水平、工人干部比重、房屋住宅质量、家庭人口构成等。并以此确定广州存在 5 个社会区,大致呈向东曳长的同心椭圆态势分布(参见图 3.1)。

郑静、许学强等运用因子分析、聚类分析方法对广州市中心区 1990 年人口普查数据进行了研究。从 9 类 47 个变量中抽取出 5 个形成广州市社会区类型的主因子,根据各主因子的得分,把广州市中心区划分为七类社会区,并把形成广州市社会空间分异现象的原因归结为五类。通过与 1985 年类似研究结果比较,发现广州市社会空间结构的分异现象更趋明显,具体反映在人口“外溢”、居住条件改善及新开发区的形成等方面。

### 3.1.3 因子生态分析在城市生态规划中的应用

因子生态分析方法在城市规划中的应用,多采用多因子叠加法,将两个以上的生态信息

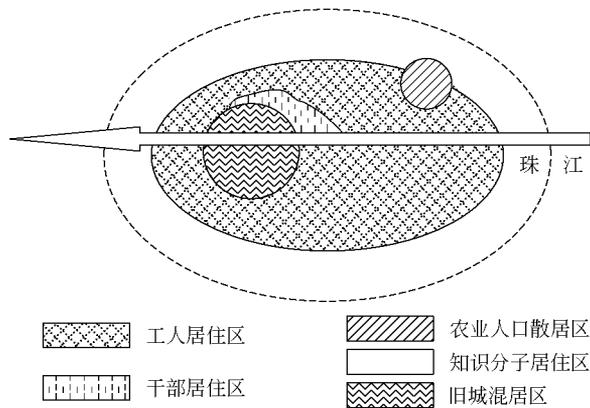


图 3.1 广州城市社会空间模式 (刘贵利, 2002)

叠合到一张图上, 构成复合图, 用以表示生态区域受各因素的影响而表现出变化的方向和程度。该法的特点是直观、形象、简单明了, 但不能做精确的定量评价, 城市总体规划或分区规划的方案确定中具有利用的优势。生态因子叠加的方法有两种: 一种是指标叠加法, 按各项生态因子的评价分析结果分别分等级, 再将各项指标值图示化, 分别将各单项生态因子图叠加; 另一种是生态因子剥离分级叠加法, 根据实际调查结果先在图上进行生态因子分级分区, 再叠加。前者以室内工作为主, 可操作性好, 可以较精确地进行定量评价, 但易于造成生态因子遗漏和权重确定困难等问题; 而后者以实地踏勘和室内工作相结合, 通过各项生态因子的剥离, 能够较形象地表示出分析结果, 但难以确定各因素的权重, 不利于将各因素标准处理或量化处理。实际运用中, 为发挥各自的优势, 弥补各自的不足, 可采用两法合一的方式。以城市居民社区的生态结构研究为例, 具体步骤如图 3.2 所示。

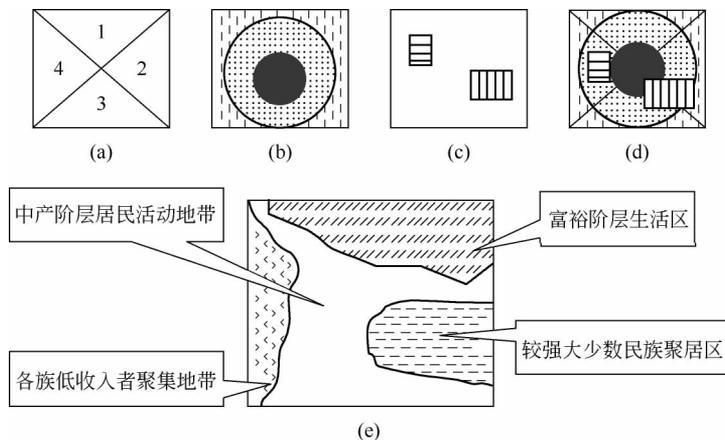


图 3.2 理想化的生态空间格局 (刘贵利, 2002)

- (a) 社会经济地位 (1~4 级, 从高到低, 设权重为 40%);
- (b) 家庭地位 (1~3 级, 从高到低, 设权重为 28%);
- (c) 种族地位 (设权重为 32%);
- (d) 城市马赛克 (城市镶嵌体, 即原始图叠加结果);
- (e) 城市社会初步分区方案, 由叠加图通过加权分析确定

通过各项指标的加权叠加, 可粗略描述出城市社区特征由以下 4 种居民结构组成。富裕阶层希望高质量的生活环境, 并且有强大的经济实力资助社区的各项服务职能, 社

会矛盾较小，在一定时期内维持着稳定、和谐的发展秩序，逐渐形成良性循环。

中产阶级是城市的基本人群，生活水平大众化，基本生活条件得到保障，为求生计和生活水平的进一步提高而处在竞争之中，社会矛盾也从竞争中产生，一般可在社会内部自行消除，难以激化。

较强大少数民族是指人口较多，人文历史悠久，具有某种个性化的民族特征，在城市社会中聚集成团并日益吸收同族人群，形成强大的异质社区，具有强烈的排他性，难以融入到城市社会中，因而表现出贫穷、落后，各种矛盾突出，极易激化而造成严重后果，是城市关注的主要社会问题发源地。

各族低收入者由各族中被遗弃者、竞争中失败者、少数民族、社会遗弃者组成，分散性和不团结性是该区的主要特征。居民生活质量差，生活没有任何保障。生存竞争激烈，社区矛盾突出，日益形成城市的“肿瘤”，如不及时“切除”，会“恶化”，形成恶性循环。

总之，通过上述因子生态学的实践研究，得出两个重要结论：一是在社会区域分析中，可以根据经济地位、家庭地位和种族推测社区结构差异；二是社会生态因素具有时间和空间两维性，时间特征表现在不同时期的因子生态结构的区别，空间分配分别依据不同的形状，如扇形区、环形区及簇状区。

因子生态分析法在城市生态规划中主要用于用地分析：城市用地评定的传统方法多采用分项图幅叠加分析法，它的缺陷在于指标的选取数量不宜过大，尤其是量化指标，指标总数以4个以下为宜，否则，影响评定结果的精度。最早将因子生态分析法应用于土地生态规划的人是美国生态学家麦克哈格，他的土地利用生态规划方法有三个主要步骤。

第一，生态因子的调查。麦克哈格认为合理利用土地、使景观建筑更好地和自然相和谐而不破坏环境，就必须首先了解规划区内与土地有关的各种因素，如气象、水文、土壤、植被、地质、地理、土地利用及社会和文化等“生态决定因素”。麦克哈格进行里士满林大路选线方案研究时采用以下生态决定因素：①工程要求因素，如坡度、基岩、土壤基础、侵蚀敏感度和土壤排水特征；②对生命和财产产生威胁的区域，如飓风袭击时易遭受水淹的地区；③自然和社会价值、过程评价因素，如水源、森林、野生动植物、历史、游憩、居住和地价等因素。

第二，生态因子的分析和综合。将各生态因子分级（一般分成三级），在相同比例的图上以同一种颜色（由浅到深三个层次）表示，形成包括坡度图、土壤类型图、易冲蚀程度图、野生动植物图、游憩价值图等在内的单因子图，叠加形成复合图。

第三，土地适宜性分析。由单因子图叠加形成的综合图可以区分出具有不同生态意义的地块，每一地块都暗示最佳的土地利用。有的地块生态上极为敏感、景观独特，宜保持原貌而成为保护区；有的生态敏感性较低、植被意义不大又有适合开发的地块，可以进行如工业区、商业区的开发。

上述地图叠加法实际上是一种等权相加的方法。现实情况中，影响地块利用方向的因素很多、作用也不相同，因此等权相加显然也是不全面的。但在当时只能做到这一步。发达国家的生态学家们在麦克哈格的基础上，借助电子计算机技术以及地理信息系统数据库软件，对地理空间数据进行采集、存储、管理、分析处理和信息输出的地理信息系统出现以后，可对单因子进行非等权叠加，使这一方法更加完善。

国内一些学者也进行了一定的研究，刘贵利、顾朝林在常德市城市用地适宜性分析中广泛选取可量化指标，初步运用了融因子生态学分析方法、景观生态学方法及生态图法于一体

的生态系统理论与方法，并且在城区生态环境容量允许的条件下提出一些指导城市近期发展的定量指标。蒋菊生、谢贵水等利用综合主导因子的生态分类方法将美万生态村的土地分为4个土地类型区，9个土地类型，最后从美万村的实际出发，探讨了合理利用土地的途径。

#### 3.1.4 因子生态学方法的缺陷

刘贵利认为采用因子生态学方法研究城市居住分异结构表现出以下缺点。

① 这种特定的研究方式所得出的结论无统一标准，并且不明晰。例如，如果选用块状街区而非统计区，那么所选取的因素与其相关的空间格局可能会存在一些差异。同样，研究结论可能会受到不同类型因素分析的影响，以及不同类型的直交和斜交的影响，甚至同种类型的因素分析针对各种问题也会产生不同的结果。

② 因子生态学是一种纯描述型的分析形式，不能解释形成城市马赛克的过程。如果研究其形成过程一般包括调查居民的流动。宏观上，古典生态学家将这类概念称为入侵和延续以助于理解居民的流动；微观上，将居民流动界定在个人选择行为结构中。此外，还包括对城市住房市场运作的详细调查及其中间媒介物的特殊强调，如房地产代理机构和财政机构。

③ 因子生态学方法进行的社会区域分析并不总是构成完整社区，这些社区是统一的区域而不是功能区。也就是说，对于一定变量来说它们是近似同质的，如收入、教育和家庭规模。但是它们可能不具备高度的、内在的相互作用。如果需要量度内在的相互作用程度，应将重点放在与工作区域、朋友们和俱乐部等相关的活动格局，社会区域并非总是与行为特征相关。

针对因子生态学的缺点，可将其理论与方法应用于单职能的社区或单一功能区研究，如异质社区或城市居住区的研究。

### 3.2 景观生态学的方法

景观生态学是在地理学与生态学相互渗透的基础上所形成的交叉研究学科。它研究人与地理景观的关系，强调人对景观开发利用的同时要取得高效而和谐后果。所谓高效是指社会的经济效益（如产量、产值）；和谐是指人类的开发利用活动能够按生态规律办事，既要维护自然资源的持续利用，也要为人类提供优质的生活环境。

#### 3.2.1 概述

景观生态学是在地理学与生态学相互渗透的基础上形成的交叉研究学科。运用景观生态学理论进行城市生态系统的研究，一般分为两种模式：一种模式从景观生态学的基本概念出发，即作为一门研究景观生物群落与主要环境条件之间错综复杂的因果反馈关系的学科，认为城市是由不同性质、不同功能的景观要素——基质、廊道、缀块构成的景观，因此应该以城市景观为研究主体；另一种模式认为人是城市生态系统的主体，因此景观生态学应该以人为研究主体，研究人与城市地理景观之间的关系，强调人对景观开发利用的同时要取得高效而和谐后果。景观生态学在城市生态系统的应用必须包括两个内容：景观生态评价与宏观景观调控。这两类方法各有侧重，前者倾向于对城市生态系统的保护，而后者则更强调保护与开发相结合的模式。

致力于景观生态学在城市生态系统的研究，将生态原则与景观规划相结合，使城市与自然相融合，创造性地利用景观，使城市环境变得自然而适于居住，一直是 I. L. McHarg 与 C. A. Smyser 及 M. Hough 等生态学家追求的目标，在他们所进行的景观规划中也已在自觉

或不自觉地运用了一些生态学原理。如著名的城市规划和生态学家 McHarg 以协调人类与自然的冲突为指导思想，运用生态规划的方法，与同事在美国做了大量的规划与研究，如明尼阿波利斯中心区、斯塔腾岛、华盛顿特区、巴尔的摩内巷、下曼哈顿以及乌德兰兹新城等规划，它们已成为生态规划设计中应用景观生态原则的典范。

但很快人们就发现了前人所做的生态规划模式的弊端，最突出的有两点：①这一模式只强调城市生态系统的垂直自然过程（即发生在某一景观单元内的生态关系），而忽视了水平生态过程（即发生在景观单元之间的生态流）；②这一模式强调人类活动和土地利用规划的自然决定论，规划除了认识自然过程就是适应自然过程。而这在一般情况下是不现实的，景观规划过程是个可辩护的过程，而不是自然决定论的过程，它必须考虑决策者的行为。随着景观生态学的发展，对景观的水平生态过程的研究逐渐加深，特别是整体论的景观生态学的整合思想的引入，为城市生态规划研究带来了新的理论和方法。

陈波认为与传统的生态规划模式相比，以整体论的景观生态学原则为指导的城市生态规划有几个突出的优点：①不像经典生态学里面抽象的生态系统概念，景观生态学使用“景观”这一有形的实体作为研究的对象，这就使景观设计师可以从宏观上把握对象的特性；②景观生态学的整体观点代表这样一种基本的哲学体系，我们不能将它的各组割裂开来进行考察，这种整体的方法从根本上不同于以往在规划设计中常用的割裂的和分块的方法，如图 3.3 所示；③景观生态学的整体性观点使它不仅适合于生物和生态科学的研究，而且适合于社会学、经济学、文化科学等以人类为中心的领域（例如城市生态、社会经济复合系统）的研究。

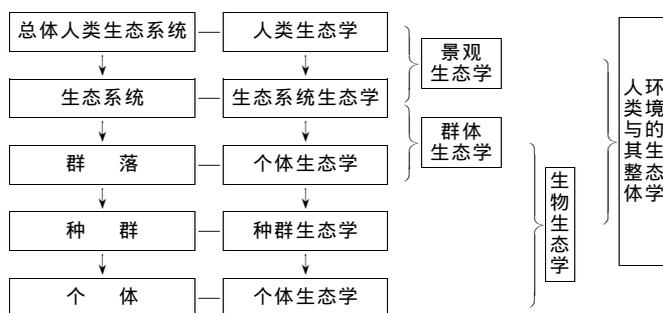


图 3.3 生态等级结构与相关学科（陈波等，2003）

韩荡从实践角度探讨了传统的景观生态学方法在城市生态系统研究中的缺陷，他认为“在景观生态学的传统景观分类研究中，一般将城市抽象为笼统的建设景观、文化景观、人工景观或称其城市景观，至于城市景观如何分类，则着墨甚少”，尤其这种笼统的分类不能反映城市生态系统的特征。韩荡认为“在土地利用规划和城市规划实践中，多从土地利用角度对城市景观进行分类。在我国，以建设部推行的城市用地分类和国土资源部（原国家土地管理局）推行的土地利用现状分类最为普遍，影响最大。其他分类均建立这两大分类基础之上，是其中某一种或两种分类的变形。国土资源部分类基本上侧重于非城市建设用地的分类，对建成区或市区景观关注较少，尤其强调（广义）农业景观的利益。例如，在传统的 8 类用地划分标准中，属于建成区景观的仅有两类，属于农用地范围的则多达 5 类。显然，对农业地位相对不高的城市景观而言，该分类并不能充分体现城市生态系统的特征，而且对农业利益的过分强调也不利于城市社会经济和各项建设事业的发展”。“然而，该分类却将非城

市建设用地视为‘其他’而简单处理，不能如实反映城市景观的实际比例，而且忽视了城市生态系统的完整性，割裂了建成区、市区景观与外围非城市建设景观之间复杂的生态联系——水平生态过程，在实践中很容易导致城市建设的无休止扩张和城市整体生态环境的持续破坏”。

因此，韩荡提出“基于景观生态学理论的城市景观分类”，认为“人在城市中的社会经济活动是景观中主要的生态活动，它塑造并维持了高度异质性的城市景观，并使后者承担着远远复杂于自然和农业景观的城市功能。人类的活动亦会对城市景观产生负面的‘干扰’，而这种干扰往往具有不可逆性”，并以此为依据，在理论上将一般的城市景观划分为建设景观、旅游休闲景观、农业景观、环境景观和水体景观五大类。

### 3.2.2 城市生态系统的景观功能分析与宏观景观调控

宏观景观调控即对城市景观功能和稳定性的分析。根据景观生态评价结果，按各个不同特征的景观区分别分析主要问题、现状特征及其有利发展方向，从而从宏观角度确定各个生态景观区的控制、维持和发展的具体方案。宏观景观调控主要内容包括组成因子的适宜性分析、生态环境或生态系统恢复能力分析、生态系统的抗干扰或抗退化能力分析、生态流态源的持久性和通达性分析（能流是否畅通无阻，物流能否畅通和循环）、生态系统开放性分析（与周边生态系统的交流渠道是否畅通）等。其中，与城市生态规划相关的内容主要包括以下几方面。

#### 3.2.2.1 完善和优化景观结构

模地、廊道和嵌块体为构成景观生态结构的三要素。

其中，模地包括景观的面积、边界和位置，有宏观和微观之分。宏观上的模地以巨型的生态系统为主，包括城市群、城市、乡村和行政区；微观上的模地包括街区、学校、医院、机关等占据一定地域面积的组织。由于景观模地由多种景观要素组成，具有生态系统特征。因此表现出有机性、连续性和发展性等特征；另外，由于景观模地是各种景观要素的载体，因此具有土地系统的特征，如位置固定性、边界过渡性、景观的惟一性等。

廊道，顾名思义，是指狭长和带状的景观，包括河流、道路等景观内容。

嵌块体指景观综合体中具有突出功能的块状景观，如公园、苗圃、市场、功能区等。

模地-廊道-嵌块体有机结合形成生动的立体景观，分别承担生态环境孕育、生态平衡的维持、生态信息的存储、传递和聚散等功能。景观生态学原则要求充分发挥景观三要素的综合功能，补充薄弱环节。

根据景观生态学原则，完善和优化景观结构的主要方法是：考察景观结构的灰色值，疏通景观廊道；增强嵌块体的节点功能，建立充分的嵌块体和廊道系统，使城市景观结构趋于合理。“集聚间有离析”是一种城市优化景观格局，即将土地分类集聚，并在开发区和建成区内保留小的自然斑块，同时沿主要的自然边界地带分布一些人类活动的“飞地”，为城市居民提供游览度假和隐居机会。例如在城市绿色生态景观体系的设计中，首先要选择合理的、功能重要的和位置明显的景观均质单元作为景观嵌块体，以街道和河流作为承载行道树和绿化带的主要廊道，使各嵌块体和绿廊把城市中每一处公园、林地、街角绿地、庭院、河流、湖泊和丘岗等自然或人工单元相互沟通并纳入生态景观体系，发挥各景观生态单元之长而去其短，最终建立一个丰富、高效、和谐且具有自约束能力的生态景观结构体系。

#### 3.2.2.2 生态系统的抗干扰或抗退化能力分析

由于城市景观体系既是承载人群、组织和社区的人类生态系统，又是包含自然生态要素

的自然生态系统，它是一个复杂的、开放的、综合的巨生态系统，在其自行生长、成熟和演化过程中，来自内部和外部的干扰因素很多，景观生态系统也因此面临着结构破坏和功能退化的严重后果，所以，增强景观生态系统的抵御能力十分重要和必要。

在城市自然环境中，地势要素具有十分重要的功能。地势高低不平且绵延相连的山体走势有利于城市小气候的形成。影响城市小气候环境的基本地形，可分为丘（岗、墩）、山脊、山坡、冲沟、谷地、阶地、河漫地等，这些地形基本单元伴生着相对独立的自然生态特点。延续的山脊和矮山岭在较大范围内改变风向。垭口则形成大大高于平均风速的气流，这类地形的顶部为分水岭地区，属于不同的汇水区域，自然排水具有多向性且径流量小，同时具有风大、易风化及水土流失等特点。表 3.1 为不同地形共生的生态特点。分析不同的地形及与之相伴的小气候特点，可更合理地分布建筑、绿地等设施。

表 3.1 不同地形共生的生态特点（韩荡，2003）

地 形	升高的地势			平坦的地势	下降的地势			
	丘、丘顶	垭口	山脊	坡(台)地	谷地	盆地	冲地	河漫地
风态	改变风向	大风区	改向加速,中等背风	顺坡风/涡风/背风	谷地风		顺沟风	水路风
温度	偏高易降	中等易降	热	谷地逆温	中等	低	低	低
湿度	湿度小,易干旱	小	湿度小,干旱	中等	大	中等	大	最大
日照	时间长	阴影早,时间长	时间长	向阳坡多,背阳坡少	阴影早,差异大	差异大	阴影早,时间短	
雨量				迎风雨多,背风雨少				
地面水	多向径流小	径流小	多向径流小	径流大且冲刷严重	汇水易淤积	最易淤积	受侵蚀	洪涝洪泛
土壤	易流失	易流失	易流失	较易流失			最易流失	
动物生境	差	差	差	一般	好	好	好	好
植被多样性	单一	单一	单一	较多样	多样	多样		多样

城市生态系统的抗干扰或抗退化能力分析的结果就是要建立一种城市景观免疫系统，增加城市景观的生态交流和融合功能，舍弃简单机械的以视觉观赏为主的景观设计方法，而代之以多元化、多样性的形式，追求整体功能效果的设计方法。

### 3.2.2.3 生态环境或生态系统的恢复

生态环境或生态系统的恢复是针对遭受破坏的、闲置的或废弃的环境。对这类系统的恢复一般要经历 3 个阶段：一是系统考察，即对需恢复的生态环境进行现状、成因和破坏程度等的考察，确定不合理的开发利用方式及解决或控制的方法；二是系统恢复力探析，包括对遭受不同程度影响的生态系统恢复力的分析，如因采矿、重工业和大型水利工程引发的生态环境的破坏，是对生态系统结构的破坏，而因施工、挖掘和废弃物闲置引发的生态环境破坏，则是对生态系统部分功能的损失；三是系统的重新定位，通过前两个阶段的工作报告，判断研究对象的恢复方向和进一步的开发方式。对于遭受严重的生态系统结构破坏的地区，应建立相应的补偿机制涵养生态环境，如封山育林保护山体生态环境、固岸清淤挖障以涵养

水体、通过改良和治理严重污染基地而建立长期恢复生物栖息地的计划。对于生态功能受到抑制的地区，应立即停止破坏性活动，建立监测机制。改善生态环境，如通过污染控制改善城市生态环境质量，通过城市边缘区用地布局控制城市拓展的盲目性和对郊区生态系统的破坏性。例如，镶嵌于城市中的部分山体环境遭受破坏，会形成人为灾害的隐患。山体植被遭破坏后基岩易露头，使山坡的稳定性降低而易于发生崩塌滑坡等山地灾害、对山陆结合地带造成极大的破坏。此外，山体植被的损坏，则会使地表集流时间缩短，径流增大，表土被冲刷流失，地表稳定性下降，容易引发滑坡落石、水质浊度高、地下水位下降以及破坏城市市政设施等自然灾害。

#### 3.2.2.4 保护生态环境敏感区

生态环境敏感区主要指具有突出生态特征和潜在灾害的地区，又称脆弱的生态环境。它一般位于两种（或多种）生态环境的过渡地带，景观内容复杂，并且差异性显著，互相干扰能力巨大。这类区域主要指海涂环境、水网环境、山陆结合带和贫民窟等地。依据生态环境的敏感程度，可分为两种：一种是单向性生态环境敏感区，即两种生态环境的共存关系以包含为主，如城市内部的湿地、湖泊、山丘和河网等区域，被包含的生态环境为敏感区，敏感度较高，易于被同化，这种敏感区在我国已经所剩无几，是保护的重点；另一种是双向性生态环境敏感区，即两种或多种生态环境的交叉区域，如山陆结合地带、海岸滩涂区、河岸地带、河流入海口等。敏感区较低，在不同生态环境的相持下会维持很长的时间，在城市的发展中急需引导其向良性的方向发展。

生态环境敏感区的生态景观特征十分突出，极易因人类不当的开发活动而被破坏，其后果难以补救。对这类区域的保护，应根据不同的景观内容而区别对待。环境敏感区具体又可分为生态敏感区、文化景观敏感区、资源生产敏感区和自然灾害敏感区。其中，生态敏感区包括城市的河流水系、滨水地区、岗丘区及珍稀动植物群落等，对这类区域的保护应从划定范围、加强宣传教育、控制人类活动内容、改善环境条件等方面着手进行；文化景观敏感区指具有特殊或重要历史、文化价值的地区，如历史古迹、纪念性街道、文化交流中心等，对于这类区域的保护应注重对建筑物的修缮和文化氛围的加强；资源生产敏感区主要指水源涵养、新鲜空气补充、土壤保护区等，该区的保护不仅要加强管理，还要明确其特殊功能，并建立及时的质量监测系统；自然灾害敏感区包括可能发生洪灾的滨水区、地质不稳定地区和空气污染严重区等，这类区域的管理应以建立迅速的监测系统和防护系统为主。

## 参考文献

- 1 刘贵利. 城市生态规划的理论与方法. 第二版. 南京: 东南大学出版社, 2002. 1~201
- 2 虞蔚. 城市社会空间结构的研究与规划. 城市规划, 1986, (6): 25~28
- 3 许学强, 胡华颖, 叶嘉安. 广州市社会空间结构的因子生态分析. 地理学报, 1989, 44 (4): 385~396
- 4 郑静, 许学强, 陈浩光. 广州市社会空间的因子生态再分析. 地理研究, 1995, 14 (2): 15~26
- 5 McHarg I L. 设计结合自然. 北京: 中国建筑工业出版社, 1992. 1~208
- 6 刘贵利, 顾朝林. 生态系统理论与方法在城市用地评定中的应用——以湖南省常德市为例. 城市规划汇刊, 2000 (4): 11~16
- 7 蒋菊生, 谢贵水, 王岳坤. 美万生态村土地分类及其合理利用的研究. 热带农业科学, 1994, (1): 45~48
- 8 张庭伟. 1990年代中国城市空间结构的变化及其动力机制. 城市规划, 2001, 25 (7): 7~14
- 9 陈波, 包志毅. 整体论的景观生态学原则在景观规划设计中的应用. 规划师, 2003, 19 (3): 60~63
- 10 韩荡. 城市景观生态分类——以深圳市为例. 城市环境与城市生态, 2003, 16 (2) 50~52
- 11 俞孔坚. 景观: 文化、生态与感知. 北京: 科学出版社, 1998

## 思考题

1. 城市生态规划的宏观景观调控主要包括哪些方面内容？
2. 列举因子生态学的主要方法。
3. 因子生态学方法存在哪些缺陷？

## 第 4 章

# 城市复合生态系统辨识

### 4.1 概述

#### 4.1.1 城市生态系统的概念与特征

国内外很多研究学者都对城市生态系统进行定义，例如吴人坚等认为“城市生态系统是一个以人为中心的社会、经济与自然复合构成的生态系统”。王克英、STRAMS 认为“城市生态系统，既是以城市为中心、自然生态系统为基础、人的需要为目标的自然再生产和经济再生产相交织的经济生态系统，又是在城市范围内以人为主体的生命子系统、社会子系统和环境子系统等共同构成的有机生态巨系统”。王发曾则认为“城市生态系统是以城市人群为主体，以城市次生自然要素、自然资源和人工物质要素、精神要素为环境，并与一定范围的区域保持密切联系的复杂人类生态系统”。

这些观点虽然侧重点不同，但基本上都认为：城市人群本身具有双重属性，既属于城市社会系统与经济系统，同时又属于自然系统，而且在这两个领域中，人都占据统治地位。这种性质导致城市生态系统与自然界巨大的差异性。

关于研究城市生态系统的目的，刘贵利的观点比较有代表性：“通过研究城市内部子系统之间各种有机联系，掌握城市生态系统的演变规律及其影响因素，对城市生态系统的现状进行评价，提出切实可行的生态规划方案，创造一个适宜居住的城市人居环境”。在城市生态系统的演变过程中，“逻辑性与随机性在不可预知的、动态的混合状态中

铸成了生物竞争行为的多样性和多层次性”，而且加入了人类社会这个更复杂更具有随机性的系统。20 世纪下半叶无论在理论还是实践上，人们试图通过研究城市发展规律来指导城市规划实践，但都遇到重大挫折，究其原因很大程度上是因为城市发展不仅具有规律性，而是随机性与规律性的并存。这一点也是我们在城市生态规划研究中必须吸取的教训，因而我们首先通过简单回顾城市生态系统概念的发展来加深对这个问题的理解。

城市生态系统是城市生态学研究发展到一定历史阶段的产物，总结早期古典城市生态学和人类生态学学者们及受他们的理论影响的城市规划学家们的理论，对城市从生态学的研究主要停留在对城市总体空间形态的形象描述，或者内部组织与“机器”或者“生物有机体”的类比上。这个时候并没有所谓“城市生态系统”的概念。真正意义上的“城市生态系统研究”，是随着系统科学等学科的发展，以及城市生态学跨学科研究的不断深化，使城市生态学从对空间形态“简单的类比”的“孤立”研究阶段上升到可以从“改良城市空间结构、建立城市发展机制、协调城市社会阶层的各种关系等方面”的“系统”研究阶段。

但城市生态系统概念本身也经历了一个发展的过程。虽然从系统的角度来研究城市生态问题，标志着技术与方法上产生了巨大的飞跃，但 19 世纪 60 年代在对城市生态系统的本质的认识层面上，与早期阶段认为城市是“机器”或者“有机物”的理论没有本质的区别；即人与城市其他部分之间仍然是割裂与对立的关系。这个阶段一些城市研究者（例如芒福德等提出人与城市其他部分、城乡之间的融合关系等理论，对城市规划影响很大，但在当时并没有得到城市科学研究领域的广泛认同，也缺乏具体的实践方法），至少从理论与实践结合上，人与城市自然系统的割裂关系并没有得到根本性的改变；在 20 世纪下半叶，由于在城市的统治受到接踵而至的环境问题、社会问题的打击，人类开始在哲学层面上深刻反思自然界与人类命运、环境与发展的关系问题，而反思的最重要结果就是可持续发展思想的提出，就对城市的理解而言，最重大的转变就是将人对城市自然生态系统的主宰地位，转变为将人视为后者的一部分，从此对城市生态系统的研究成为与人的命运息息相关的重要课题，Danial R. White 认为“不存在没有伦理意义和政治意义的真正的革命”。“后现代”城市生态学与现代城市生态学之间最大的区别就在于前者否认价值观的完全中立，而在研究时必须具有明显价值取向的“生态伦理观”，例如必须将保护城市弱势群体以及在城市中处于弱势地位的传统文​​化以及自然生态环境等视为己任。另外，根据“后现代”生态学的观点，人虽然在城市生态系统中处于中心地位，但不应该是手握城市生态系统命运的所谓“公正”的仲裁者，而是负责对话、交流、协调、平衡的联系人。明白这两点对于城市生态系统的研究非常重要。

因此，根据以上观点，城市生态系统研究的目的应该补充以下内容。

① 了解城市生态系统现有理论与方法的局限性，以及利用这些知识与手段做力所能及的事。例如在重视系统整体研究的同时，从生态系统中可能产生“短板”效应的薄弱环节入手，来解决城市生态环境问题，而不是构筑貌似完美但内容空洞的系统模型。

② 在研究城市生态系统发展的规律性时必须考虑随机性的影响，为未来可能的失败后果做好充分的准备（生态风险评价）。

③ 重视研究手段的多样化，重视研究过程中的“交流”与“对话”，从专家规划转向“参与性”规划。

#### 4.1.2 城市生态系统的特征

城市生态系统是一个结构复杂、功能多样、庞大开放的自然-社会-经济复合人工生态系

统，与自然系统相比，有许多不同的特征。

#### 4.1.2.1 城市生态系统是高度人工化的生态系统

城市生态系统是通过人的劳动和智慧创造出来的，人工控制对该系统的存在与发展起着决定性作用。城市生态系统中最大的特点就是以人为主体，城市居民无论从数量上，还是从分布密度上都远远多于自然生态系统。目前，全球城市的占地面积约为地球总面积的0.3%，但其中却聚集了世界总人口的40%。人口高度集中，在城市中人类占据了绝大部分空间，而其他生物的种类和数量都很少，绿色植物、各种营养级的野生生物及作为“还原者”的微生物等生物种群都在人类的“威胁”下从城市中消退。在自然生态系统中，食物链上各营养级的生物产量呈金字塔递减，如图4.1所示。而在城市生态系统中，人类作为城市生态系统中消费的主体，远远超过作为初级生产者的绿色植物的数量。刘贵利认为“绿色植物的生产难以满足人类日益增长的需求，城市自然环境难以分解各种废弃物，人类在城市生态系统中不得不同时担负生产、消费和分解等多种功能，城市生态系统的消费有机物和生产的物质来源——植物呈倒金字塔结构”，如图4.2所示，这是就城市系统内部而言。其实，从整个区域环境的角度来看，人类主要担负转移物质、能量、信息的功能，即从城市外部环境引入大量的能量与物质，而将废水、废气、废渣异地分解。

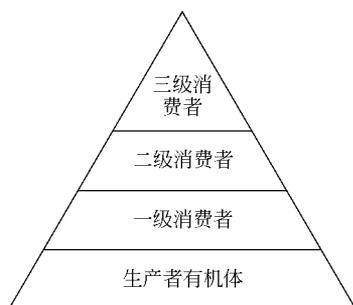


图 4.1 自然生态系统中的生态金字塔

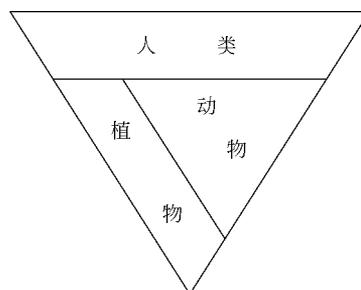


图 4.2 城市生态系统中的生态金字塔

在城市生态系统中，由于人类的频繁活动，人类对自然环境的干预最强烈，自然景观变化也最大。除了大气环流、大地地貌景观类型基本保持原来自然特征外，其余的自然因素都发生不同程度的变化，而且这种变化通常是不可逆的。城市区域集中了大量的工矿企业、城市居民住宅、工商业、行政、文化娱乐等建筑物和道路、桥梁等，人类的生产生活活动消耗了大量的能源和物资，伴随形成大量的废物，城市成为污染最严重的地区。“与人类活动强度相比，动物的活动强度微乎其微，使城市生态系统的平衡状态主要依靠人力来维持”。

#### 4.1.2.2 城市生态系统是开放的非自律生态系统

城市生态系统是一类非自律系统。处于良性循环的自然生态系统，其形成结构和营养结构比较协调，只要输入太阳能，依靠系统内部的物质循环、能量交换和信息传递，就可以维持各种生物的生存，并能保持生物生存环境的良好质量，使生态系统能够持续发展，此类系统称为自律系统。而城市生态系统中，生产者不仅数量少，而且其作用也发生了改变。城市中的植物，主要任务不是向城市居民提供食物，已变为美化景观、消除污染和净化空气等。城市生态系统内，大量的能量与物质需要从其他生态系统（如农业、森林、湖泊、矿山、海洋等系统）人为地输入；另外，城市生态系统内部经过生产消费和生活消费所排出的废物，往往不能就地由分解者进行分解，需要异地分解。在城市生态系统中，适于分解者生存并发挥其功能的环境也发生巨大变化，城市中排出的各种工业、生活废弃物，绝大部分要依靠人

为的技术手段处理或利用其系统的自净能力，才能完成还原过程。因此，城市生态系统的能量变换与物质循环是开放式的非自律系统。

#### 4.1.2.3 城市生态系统是多层次、多功能的复杂而脆弱的生态系统

城市是流量多、容量大、密度高、运转快的复杂开放巨系统，无论在时间还是空间范畴都具有高度发展的特点。城市生态系统包含的子系统很多，涉及的领域也很广泛，各个子系统之间的关系错综复杂。城市生态系统可划分为以下 3 个层次：生物（人）-自然（环境）系统、工业-经济系统、文化-社会系统。各层次系统内部各自有不同的子系统，成为城市生态系统的二级、三级乃至更多的亚生态系统，各个亚生态系统内部以及系统之间都发生着能量流、物质流和信息流的交换，因此城市生态系统是巨型与复杂的。

随着城市生产的不断发展和人民生活水平的提高，对于资源、能源的需求越来越多，同时也有大量的产品和需要处理的废弃物排出。因此，城市内部和城市与外界便形成了定向的而实质上是循环的交通运输流和相应的人才、货物、电力、给排水、燃料输送等的流动网络，城市也正是依靠这些连续不断的“生态流”的流动而生存，一旦缺少某一个环节，都会引起多个系统的失调，成为无序的混乱状态，所以，城市生态系统是一个脆弱的生态系统。

#### 4.1.3 城市生态系统的组成要素与结构

##### 4.1.3.1 城市生态系统的要素

就现有文献来看，城市生态系统的组成要素及其分类的提法不下十几种，而其中最具权威的，是 20 世纪 80 年代初，马世骏、王如松等中国生态学家在总结了以整体、协调、循环、自生为核心的生态控制论原理的基础上，提出的社会-经济-自然复合生态系统的理论。它指出可持续发展问题的实质是以人为主体的生命与其栖居劳作环境、物质生产环境以及社会文化环境间关系的协调发展，它们在一起构成了社会-经济-自然复合生态系统。这种观点将城市生态系统分为自然生态、经济生态和社会生态 3 个子系统，每个子系统由若干要素组成。不难看出，其精神实质是一种大生态系统观、广义生态系统观，即把整个城市当作一个巨大的生态系统，自然要素、经济要素、社会要素无不与生态问题息息相关。按这种组成方式去分析城市生态系统，对于从整体上研究城市的生态机理和进行城市生态建设，确实不无益处。

城市生态系统的组成要素是城市生态规划研究的重点与难点，其在城市生态规划中相对应是城市复合生态系统指标体系，就笔者目前的研究而言：一是指标数量大、关系复杂，要素（指标）内部以及指标之间具有非常复杂的关系（如图 4.3）；二是不确定性因素太多，

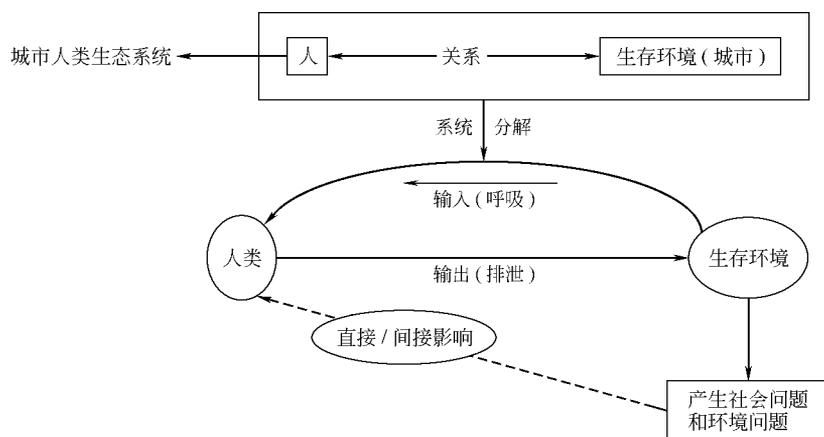


图 4.3 城市人类生态系统组成要素基本关系简图

城市生态系统本身的不确定性以及研究方法本身的不确定性，使研究难度很大（本文将在后面的章节详细论述），尤其是涉及社会、经济子系统的要素时更是如此。因此在因子的选择时，“交流”与“对话”显得尤为重要，问卷调查是一种较好的形式。

#### 4.1.3.2 城市生态系统的结构

(1) 城市生态系统结构的特点 城市亦可被看做是城市居民与其周围环境组成的一种特殊的人工生态系统，是人们创造的一个自然-经济-社会复合系统，它的组成结构包括自然生态亚系统和社会经济生态亚系统。自然生态亚系统包括生物部分（动物、植物、微生物）与非生物部分（能源、生活物质）。社会经济生态亚系统中，生物部分主要是人，非生物部分则主要是人工建筑系统及工业技术等。

严格来讲，城市是当地自然环境的一部分，它本身并非一个完整的、自我稳定的生态系统。但按照现代生态学观点，城市也具有自然生态系统的基本特征，同时有一定的特殊性，如图 4.4 所示。

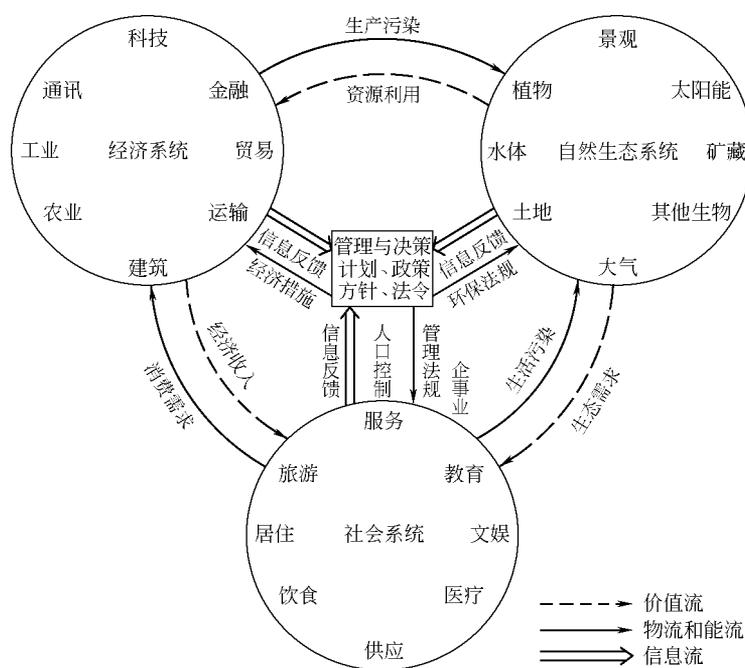


图 4.4 城市生态系统的组成结构（王发曾，1997）

① 在自然生态系统中是以绿色植物为中心，其自然生态营养关系呈金字塔形，而城市生态系统的情况截然不同，生态金字塔以人为核心呈现出不稳定的倒置状态。

② 能流、物流量大。城市是个巨大的开放系统，其能量与物质的输入、输出密度高且周转快，对整个生态环境产生着很大影响。

③ 系统依赖性大。与自然生态系统相比，城市生态系统中物种多样性减少，能量流动与物质循环方式、途径都发生改变，使系统自我调节能力小，其稳定性主要取决于社会经济亚系统的调控能力和调控水平。可见解决好人、建筑、环境的关系对于城市生态系统的稳定起很大作用。

(2) 城市生态系统结构的构成 王发曾认为城市生态系统的结构组建有 4 种方式：①食物链结构；②资源利用链结构；③生命-环境相互作用结构（如图 4.5 所示）；④要素空间组

合结构。城市生态系统组成要素的空间排列组合有两种基本形式，一为圈层式结构，一为镶嵌式结构。圈层式结构（图 4.6）以市中心为核心，市区生命系统为外圈。这种自然形成的自内向外呈同心圈状展示的空间结构形态体现了生命系统与各种环境要素的内在联系，是人类生存的中心聚居倾向和广域关联倾向的必然结果。王发曾认为“这 4 种结构形态间不是树枝状的并列、分支关系，而是立体网络状的互相联系、互相渗透的关系，是你中有我、我中有他的关系。交通运输和信息传递所发挥的纽带与神经中枢作用将它们结合为一个完整的结构体系，其复杂性使城市生态系统的功能发挥表现出‘多维、多面、多渠道’的特点”。

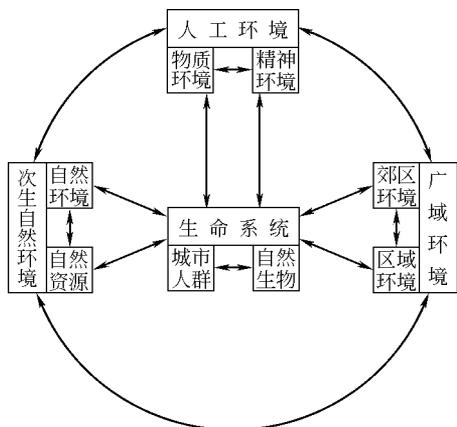


图 4.5 城市生态系统的生命-环境相互作用结构

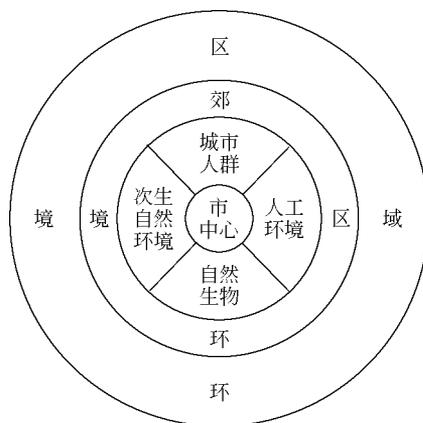


图 4.6 城市生态系统空间组合的圈层式结构

杨京平认为城市生态系统由生物系统和非生物系统组成，人作为城市生态系统中的主要消费者和主宰者，参与城市生态系统的物质和能量循环与流动，受自然规律制约，同时受到社会经济规律的制约。人工控制对城市生态系统的发展和演变起着决定性的作用。因此城市生态系统的主体是以人为中心的非生物系统，它由人工物质系统、环境物质系统与环能源系统构成，如图 4.7 所示。

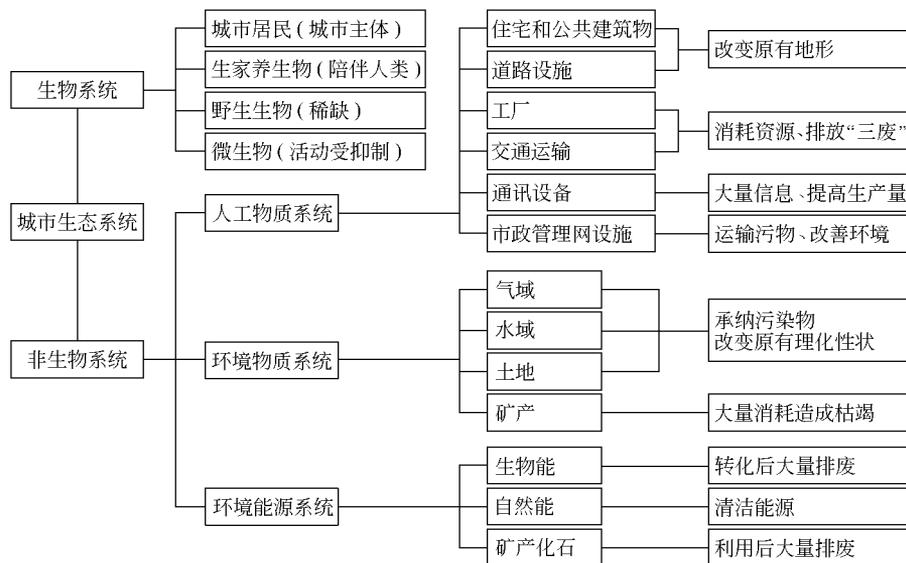


图 4.7 城市生态系统的组成与构成 (Wu R J, etc, 2000)

刘贵利认为城市生态系统结构是人类生态系统在自然生态系统基础上演化形成，具有城市社会结构和城市空间结构的特点：城市社会结构包括个人、家庭、邻里、社区4个层级，具有紧密结合性、层次性以及相对稳定性的特点；城市空间结构表现在点、线、面形成的城市空间网络系统方面。笔者同意这种划分，但其中关于城市社会结构的描述，是西方城市研究者们根据欧美城市发展情况总结出来的模式，跟目前中国城市社会结构还存在一定的差距。

何孟常认为，工业文明的经济模式，带来人口拥挤、交通堵塞、环境污染等，这些问题的出现使人类不得不另辟蹊径，于是兼顾人口、社会环境和资源的持续发展、注重复合生态整体效益发展的模式应运而生。

20世纪70年代联合国教科文组织在其发起的“人与生物圈（MAB）”计划研究过程中提出生态城市的概念，这一崭新的城市概念和发展模式一提出，就受到全球的广泛关注。

20世纪80年代中期，中国生态学奠基人马世骏院士等提出了社会、经济、自然复合生态系统，指出辨识社会、经济、自然之间复杂的耦合关系，从技术、体制、行为方面去调控生产、生活与生态服务功能，将生态学原理运用到产业、社区及景观设计、规划与建设中去，这对于经济、社会和环境协调发展有重要意义。进入90年代，城市生态学已成为城市可持续发展以及制定《21世纪议程》的科学基础。总之，城市生态系统是城市生态学研究发展到一定历史阶段的产物，回顾上一章，总结早期古典城市生态学以及人类生态学学者们、受他们理论影响的城市规划学家们的理论，对城市从生态学的研究主要停留在对城市总体空间形态的形象描述，或者内部组织与“机器”或者“生物有机体”的类比上。这个时候还没有所谓“城市生态系统”的概念。真正意义上的“城市生态系统研究”，是随着系统科学等学科的发展，以及城市生态学跨学科研究的不断深化，使城市生态学从对空间形态“简单的类比”的“孤立”研究阶段上升到可以从“改良城市空间结构、建立城市发展机制、协调城市社会阶层的各种关系等方面”的“系统”研究阶段。

但城市生态系统概念本身也经历了一个发展的过程：虽然从系统的角度来研究城市生态问题，标志着技术与方法上产生了巨大的飞跃，但19世纪60年代到70年代阶段在对城市生态系统本质的认识层面上，与早期阶段认为城市是“机器”或者“有机物”的理论没有本质的区别：人与城市其他部分仍然是割裂与对立的关系。这个阶段一些城市研究者，例如芒福德等提出人与城市其他部分、城乡之间的融合关系等理论，对城市规划影响很大，但在当时并没有得到城市科学研究领域的广泛认同，也缺乏具体的实践方法，至少从理论与实践结合上，人与城市自然系统的割裂关系并没有得到根本性的改变；在20世纪下半叶，由于在城市这两个领域的统治受到接踵而至的环境问题、社会问题的打击，人类开始在哲学层面上深刻反思自然界与人类命运、环境与发展的关系问题，而反思的最重要结果就是可持续发展思想的提出，就对城市理解而言，最重大的转变就是将人对城市自然生态系统的主宰地位，转变为将人视为后者的一部分，从此对城市生态系统的研究成为与人的命运息息相关的重要课题。

#### 4.1.3.3 城市生态系统与一般的自然生态系统不同

严格来讲，城市是当地自然环境的一部分，它本身并非一个完整的、自我稳定的生态系统。但按照现代生态学观点，城市也具有自然生态系统的基本特征，同时有一定的特殊性。纵观我国城市生态方面的研究，都能把城市在其研究范围内当成一个生态系统来看待，但是其中大多数所研究的“城市生态系统”一般只是单一的生态子系统（以人口为主）、经济子

系统（以物流、能流等资源为主）或自然生态子系统（以生物及非生物环境为主）。实际上城市作为一个复杂的、动态的人工生态系统，既有其自然地理属性和经济属性，也有其社会文化属性，对于这一点应予以充分的重视。城市生态系统既具有一般的自然生态系统的特征，即生物群落和周围环境的相互关系，以及物质循环、能量流动和自我调节的能力，但它又同时受到社会生产力、生产关系以及与之相联系的上层建筑所制约，使得自我调节能力变得很弱，而与一般的自然生态系统不同。

在自然生态系统中是以绿色植物为中心，其自然生态营养关系呈金字塔形，而城市生态系统的情况截然不同，生态金字塔以人为核心呈现出稳定的倒置状态。它是城市人群与周围环境相互作用、相互影响而形成的网络系统，从时空观来看，城市是人类生产、生活、文化、社交等活动的载体，从功能和本质观来看，它是一个经济实体、社会实体、科学文化实体和自然实体的有机统一体，从城市的生物观来看，它又是一个具有生长、发育、成熟、衰老的生命有机体。

#### 4.1.4 城市复合生态系统的基本概念与内容

##### 4.1.4.1 基本概念

城市复合生态系统的概念最早是生态学家马世骏和王如松于 20 世纪 80 年代中期提出的，他们认为：城市生态系统是由自然生态系统、文化生态系统、社会生态系统、经济生态系统共同构成的复合生态系统。城市是以人为主体的人工生态系统，同时它也是由自然-经济-社会 3 个子系统所构成的复合生态系统。在自然-经济-社会这个复合生态系统中，自然生态系统是城市发展的基础，经济生态系统是城市发展的动力，社会生态系统是城市发展的目的，城市的健康发展不是取决于某一个子系统的发展，只有 3 个子系统构成一种最佳的耦合状态，健康发展，城市生态系统才是稳定的。即只有使经济发达、社会繁荣、生态保护三者高度和谐，才能保证生态系统的结构、功能最优化，人口流、能量流、信息流的通畅。总之，生态城市所要寻求的就是各个子系统在复合巨系统整体协调下的发展，其发展状态是稳固和增效的。

图 4.4 显示了社会、经济、自然复合生态系统的结构耦合关系。其自然子系统由土（土壤、土地和景观）、金（矿物质和营养物）、火（能和光、大气和气候）、水（水资源和水环境）、木（植物、动物和微生物）等五行相生相克的基本关系所组成，为生物地球化学转换过程和以太阳能为基础的能量转化过程所主导。复合生态系统的经济子系统由生产者、流通者、消费者、还原者和调控者等 5 类功能实体间相辅相成的基本关系耦合而成，由商品流和价值流所主导。复合生态系统的社会子系统由社会的知识网、体制网和文化网等三类功能网络间错综复杂的系统关系组成，由体制网和信息流所主导。3 个系统通过生态流和生态场在一定的时空尺度上耦合，形成一定的生态格局和生态秩序。

而在城市生态系统中，人起着重要的支配作用，这一点与自然生态系统明显不同。在自然生态系统中，能量的最终来源是太阳能，在物质方面则可以通过生物地球化学循环而达到自给自足。城市生态系统就不同了，它所需要的大部分能量和物质，都需要从其他生态系统（如农田生态系统、森林生态系统、草原生态系统、湖泊生态系统、海洋生态系统）人为地输入。同时，城市中人类在生产活动和日常生活中所产生的大量废物，由于不能完全在本系统内分解和再利用，必须输送到其他生态系统中去。由此可见，城市生态系统对其他生态系统具有很大的依赖性，因而也是非常脆弱的生态系统。由于城市生态系统需要从其他生态系统中输入大量的物质和能量，同时又将大量废物排放到其他生态系统中去，它就必然会对其

他生态系统造成强大的冲击和干扰。如果人们在城市的建设和发展过程中，不能按照生态学规律办事，就很可能破坏其他生态系统的生态平衡，并且最终会影响到城市自身的生存和发展。

#### 4.1.4.2 主要内容

(1) 城市复合生态系统 城市复合生态系统主要包括 3 个子系统。

① 社会子系统 该系统包括人口的生物学结构和人口的社会经济学结构两方面。前者又可分为年龄结构和性别结构。后者从经济学角度可分为城乡人口构成、劳动力结构和职业结构三方面。而从社会学角度则可分为人口素质构成、人口收入构成和人口消费构成三方面。

② 经济子系统 一般可将经济子系统结构分成所有制结构、产业结构、投资结构、就业结构、企业结构和产业结构等几个方面。产业结构可再分为第一产业、第二产业和第三产业。第一产业又可分为种植业、林业、牧业、副业和渔业等。第二产业又可分为轻工业和重工业。第三产业可分为建筑业、运输业、邮电业和商业等。

③ 自然子系统 该系统由土地资源、水资源、生物资源和矿产资源等几个方面组成。土地资源包括农田、人工林、厂地、道路、宅基地等类型。生物资源又可分为森林、草地、水生生物等资源。水资源包括地表水、地下水和土壤水分等。矿产资源可分为化石能源、金属矿产等类型。

城市生态系统是一个结构复杂、功能多样、庞大开放的自然-经济-社会复合人工生态系统，与自然系统相比，有许多不同的特征。

① 城市复合生态系统是人工生态系统，是以人的行动为主导、自然环境为依托、资源流动为命脉、社会体制为经络的系统。

城市生态系统是通过人的劳动和智慧创造出来的，人工控制对该系统的存在与发展起着决定性作用。城市生态系统中最大的特点就是以人为主体，城市居民无论从数量上，还是从分布密度上都远远多于自然生态系统。目前，全球城市的占地面积约为地球总面积的 0.3%，但其中却聚集了世界总人口的 40%。人口高度集中，在城市中人类占据了绝大部分空间，而其他生物的种类和数量都很少，绿色植物、各种营养级的野生生物及作为“还原者”的微生物等生物种群都在人类的“威胁”下从城市中消退。在自然生态系统中，食物链上各营养级的生物产量呈金字塔递减，如图 4.1 所示。而在城市生态系统中，人类作为城市生态系统中消费的主体，远远超过作为初级生产者的绿色植物的数量。刘贵利认为“绿色植物的生产难以满足人类日益增长的需求，城市自然环境难以分解各种废弃物，人类在城市生态系统中不得不同时担负生产、消费和分解等多种功能，城市生态系统的消费有机物和生产的物质来源——植物呈倒金字塔结构”，如图 4.2 所示。这是就城市系统内部而言，其实，从整个区域环境的角度来看，人类主要担负转移物质、能量、信息的功能，即从城市外部环境引入大量的能量与物质，而将废水、废气、废渣异地分解。

在城市生态系统中，由于人类的频繁活动，人类对自然环境的干预最强烈，自然景观变化也最大。除了大气环流、大地地貌景观类型基本保持原来自然特征外，其余的自然因素都发生了不同程度的变化，而且这种变化通常是不可逆的。城市区域集中了大量的工矿企业、城市居民住宅、工商业、行政、文化娱乐等建筑物和道路、桥梁等，人类的生产生活活动消耗了大量的能源和物资，伴随形成大量的废弃物，城市成为污染最严重的地区。“与人类活动强度相比，动物的活动强度微乎其微，使城市生态系统的平衡状态主要依靠人力来维持。”

② 城市复合生态系统是开放的非自律生态系统。

城市生态系统是一类非自律系统。处于良性循环的自然生态系统，其形成结构和营养结构比较协调，只要输入太阳能，依靠系统内部的物质循环、能量交换和信息传递，就可以维持各种生物的生存，并能保持生物生存环境的良好质量，使生态系统能够持续发展，此类系统称为自律系统。而城市生态系统中，生产者不仅数量少，而且其作用也发生了改变。城市中的植物，主要任务不是向城市居民提供食物，已变为美化景观、消除污染和净化空气等。城市生态系统中，大量的能量与物质需要从其他生态系统（如农业、森林、湖泊、矿山、海洋等系统）人为地输入；另外，城市生态系统内部经过生产消费和生活消费所排出的废物，往往不能就地由分解者进行分解，需要异地分解。在城市生态系统中，适于分解者生存并发挥其功能的环境也发生巨大变化，城市中排出各种工业、生活废弃物，绝大部分要依靠人为的技术手段处理或利用其系统的自净能力，才能完成还原过程。因此，城市生态系统的能量变换与物质循环是开放式的非自律系统。

③ 城市复合生态系统是多层次、多功能的复杂而脆弱的生态系统。

城市是流量多、容量大、密度高、运转快的复杂开放巨系统，无论在时间还是空间范畴都具有高度发展的特点。城市生态系统包含的子系统很多，涉及的领域也很广泛，各个子系统之间的关系错综复杂。城市生态系统可划分为以下 3 个层次：生物（人）-自然（环境）系统；工业-经济系统；文化-社会系统。各层次子系统内部各自有不同的子系统，成为城市生态系统的二级、三级乃至更多的亚生态系统，各个亚生态系统内部以及系统之间都发生着能量流、物质流和信息流的交换，因此城市生态系统是巨型与复杂的。

随着城市生产的不断发展和人民生活水平的提高，对于资源、能源的需求越来越多，同时也有大量的产品和需要处理的废弃物排出。因此，城市内部和城市与外界便形成了定向的而实质上是循环的交通运输流和相应的人才、货物、电力、给排水、燃料输送等的流动网络，城市也正是依靠这些连续不断的“生态流”的流动而生存，一旦缺少某一个环节，都会引起多个系统的失调，成为无序的混乱状态，所以，城市生态系统是一个脆弱的生态系统。

(2) 城市生态承载系统 生态系统的功能是指系统内生物与环境相互作用过程中，所发挥的创造物质、自身消耗和维护生态环境质量的功效。城市生态系统要维持运转，城市系统内部、系统与外界之间必须进行物质与能量的交换，一般认为主要包括能量流、物质流以及信息流 3 大部分。

王发曾认为城市生态系统有生产、消费和还原 3 种基本功能。

① 生产功能：生物性生产和非生物性生产 生产是城市生态系统中生物利用营养物质、原材料物质和能量产生新物质与精神并固定能量的功能，即所谓的“同化过程”。该功能有生物性生产和社会性生产两种形式，城市内所有生物（包括人）都能进行生物性生产，绿色植物通过光合作用进行初级生产，绿色植物以后各营养级上的生物通过摄食低级营养物质进行次级生产。生物性生产环节按食物链展开，生产的结果是发育自身、繁衍后代。人的生物性生产具有突出的社会性，其食物来源广而且大多经过加工，其自身发育周期长且除身体发育外还有智力发育。

只有城市人群才能进行社会性生产。此种生产包括物质生产和精神生产，前者以创造社会物质财富、满足人的物质消费为目的，由少量第一产业人口从事农业、采掘业生产，大量第二产业人口从事加工业生产，部分第三产业人口从事产品流通与服务；后者以创造社会精神财富，完善和丰富人的精神世界为目的，由部分第三产业人口从事教育以造就人才，从事

科技以提高物质生产能力，从事文化以传播文明，从事管理以建立秩序等。物质生产通过资源利用链进行，精神生产则是在物质生产实践的基础上，通过人对客观世界的感知（实际上是一种生命-环境相互作用效应）进行的。

城市生态系统的生物性生产不同于自然生态系统之处在于生产的人工化，如人工栽培、人工饲养、人工培育等，因而生产效率较高；社会性生产不同于其他人工生态系统之处在于其生产的密集化，如技术密集、资金密集、规模密集等，因而生产效率很高。

② 生活功能 随着物质生活的丰富，城市居民的生活需求也在变化，从最基本的物质需求、能量需求到空间需求和信息需求。

③ 还原功能：自然净化功能、人工调节功能 还原是城市生态系统内各组成要素发挥自身机理协调生命-环境相互关系，增强生态系统稳定性与良性循环能力的功能。该功能有自然还原与人工还原两种形式。自然还原由生物的分解作用和自然要素的净化作用完成。动植物与微生物通过碎裂、混合、改变物理结构、摄食、排泄和酶作用等，将复杂有机物分解为简单有机物和  $\text{CO}_2$ 、 $\text{O}_2$ 、矿物质等无机物，并将其归还环境，从而使生物与环境间物质与能量交换得以正常进行。

分解还原实际上是生产、消费过程中的伴生物，在生物的新陈代谢机能中发挥着重要作用。大气环流对有毒、有害气体和尘埃的扩散，流动水体对废液、废渣的稀释与搬运，土壤对废液、废渣的吸收与分解，以及绿色植物对污染物的监测、吸收、过滤与阻隔等自然净化作用，是还原城市次生自然环境的物理、化学结构、预防、抑制，减轻环境污染的重要因素。

提高人的生态意识，约束人的不理性行为，采取生物措施与工程措施以预防环境突变，实乃城市生态系统的重要生存保证，也是现代城市规划的重要内容。与自然还原相比，人工还原是生态系统还原功能的主导。人在发挥还原功能的同时，应注意不断调整生态系统的各种结构关系，尤其要不断完善生命-环境相互作用结构和要素空间组合结构，这样，人工还原功能才能以适当的途径、合理的方式和较高的效率进行。另外王祥荣还提出除了这三大功能外，还有生态流功能，包括物质流、能量流、信息流（营养信息、物理信息、化学信息和行为信息）、人口流、资金流等。

(3) 城市生态承载力 城市生态系统与自然生态系统一样，有着自我维持和自我调节能力，在不受到强大的外力和人为干扰的情况下或者说在可自我调节的范围内，城市生态系统可保持自我平衡的能力。但如果系统受到干扰，且当干扰超过系统可调节能力或可承载力范围后，则系统平衡被打破，系统开始瓦解。在巨大的生态系统中，物质循环和能量流转的相互作用能建立一种自校稳态机制（self-correction homeostasis）而无需外界控制，但城市生态系统的承载能力是有限的，当系统承载力超出限度后，系统便发生变化，稳态被打破，当然这一变化也是渐进的。

城市生态承载力具有以下特点。

① 客观存在性 虽然城市生态系统与自然生态系统一样，有着自我维持和自我调节能力，但这种自我维持和自我调节能力是有限的，是固定的，城市生态承载力是一种客观存在。

② 运动变化性 城市生态系统的平衡状态不是一个绝对的平衡、稳定的状态，只是相对的，在一定的范围内变化。如果系统的一种稳态被打破，那么系统会变化到另一个新的平衡状态，城市生态承载力也发生相应的变化。

城市生态承载力有两层涵义：一层涵义是指生态系统的自我维持与自我调控能力，以及自然子系统的供容能力，为生态承载力的支持部分；第二层涵义是指生态系统内社会、经济子系统的发展能力，为生态承载力的压力部分。

具体来说，城市生态承载力包括以下几部分。

① 资源承载力 城市生态系统中的资源包括了土地资源、水资源、生物资源、能源、矿产资源等，有可再生资源 and 不可再生资源。资源承载力的大小取决于资源的丰富度、人类对资源的需求（数量和质量）程度以及人类对资源的开发利用方式等。同时资源承载力是城市生态承载力的基本条件。

② 环境承载力（约束条件） 环境承载力是指城市生态环境对污染物的容纳能力，它影响着人类的经济社会活动。要提高环境承载力需要通过立法制定出一系列的环境法律、标准来规范、限制排污行为，作为环境污染治理与预防和环境管理的依据，同时还要加大力度通过改变人类的生产、生活方式来预防和治理污染了的环境。环境承载力是城市生态承载力的一大约束条件。

③ 人口承载力 世界人口在最近三百年里大幅增长，目前已超过 50 亿，比一百多年前的全球人口翻了一番，而且这种增长势头还在继续保持。而其中有超过一半的人口居住在城市。但是城市对人口的承载能力是非常有限的，因此城市人口承载力也是城市生态系统的制约条件。

总的说来，由于自然界的自我调节能力，维持了生态系统中的物质和能量的动态平衡，而城市的发展改变了地区的物质、能量流动方向和数量，失去了原来的平衡造成环境污染。在形态结构上，城市的物理环境发生了很大的改变，从而破坏了自然调节净化机能；在营养结构方面，改变了原自然生态系统的营养级关系，人为因素起着主导作用；在生态关系上，人和自然、经济、社会 and 还原功能相互依赖，形成有机复合系统。城市生态系统的调节能力主要取决于系统中的人口、资源、经济、社会、环境的内部以及相互之间能否协调。

#### 4.1.4.3 生态战略目标

在城市生态系统中，一方面城市居民有强烈要求改善居住、工作、娱乐环境的需要，另一方面城市以及周边地区的承载能力有限，那么如何协调生态承载力支持部分与压力部分的这种矛盾呢？

联合国环境规划署提出的战略是“人们通过城市可持续发展的政策行动、制定环境保护相关法律法规、建立城市环境保护管理体系、针对城市整体的生态系统进行规划，建设前期的环境评价、普及城市可持续发展教育、建立城市环境保护信息库等措施”，予以解决。

按照城市复合生态系统由社会、经济、自然 3 个子系统组成，那么相应地可以把一个复合系统的城市的生态战略目标细化如下。

##### （1）社会生态战略目标

① 合理配置资源，具体指标包括人均生活用水量、用电量、气化率和万人商业网点数等。

② 加强基础设施建设，具体指标包括人均铺装道路面积、人均居住面积、万人病床数。

③ 提高教育科技水平，具体指标包括高等教育入学率、研究、发展经费占 GDP 的比重、科教投入占 GDP 的比重。

④ 提高社会保障水平，具体指标包括失业率、社会保险综合参保率、刑事案件发生率。

⑤ 加强信息化水平，具体指标包括信息化综合指标、人均信息消费占总消费的比重、

因特网上网人数。

#### (2) 经济生态战略目标

- ① 提高经济水平，主要指标是提高人均 GDP。
- ② 增强经济效益，具体指标包括单位 GDP 增长所需的能耗、水耗、物耗。
- ③ 优化经济结构，具体指标包括第三产业占 GDP 比例、高新技术产品产值占工业总产值比重、信息产业增加值占 GDP 比重、科学技术进步对 GDP 贡献率。
- ④ 控制人口，具体指标包括人口密度、自然增长率、贫困人口比例等。

#### (3) 自然生态战略目标

- ① 提高城市绿化，具体指标包括森林覆盖率、人均公共绿地面积、绿化覆盖率和自然保护区覆盖率等。
- ② 提高环境质量，具体指标包括环境综合指标、城市空气质量、饮用水源地水质、噪声达标区覆盖率、烟尘控制区、公众对环境质量的满意度。
- ③ 加强环境治理，具体指标包括环境保护投资占 GDP 比例、城镇生活垃圾无害化处理率、城镇生活污水集中处理率、工业污水排放达标率、废气处理率、废物综合利用率等。

另外值得强调的一点是，城市复合生态系统的建设也是面向全民参与的生态建设。因此要让更多的公众参与（具体包括环境决策参与、环境监督参与、环境投资参与和个人环境行为等方面）和对公众进行教育。通过可持续发展素质教育，普及宣传可持续发展的思想以及环境承载力、生态足迹的重要性以及紧迫性，使广大市民正确认识城市生态系统的功能以及自身的使命。依靠人的精神动力，以精神文化的追求抑制对物质享受的无限渴望，从而转移城市生态系统的矛盾。

## 4.2 城市生态系统的辨识与评估（生态评估的基本方法）

### 4.2.1 建立指标体系

(1) 目的和意义 对于每一个区域系统，总有一系列可被观测到的属性（指标），一组属性往往只能反映系统某个方面的性质，因此在城市的环境保护与生态建设中，必须建立相应的指标体系：①通过建立指标体系，构建评估信息系统，对城市生态环境状况和规划的落实进行评价；②通过建立指标体系，动态监测城市生态环境的编号趋势，揭示社会、经济、人口和生态环境之间的相互关系和矛盾，分析矛盾产生的原因，为政府部门制定今后的城市总体发展战略、调整产业结构等相互的宏观管理和决策提供信息支持；③利用指标体系，引导政府贯彻落实可持续发展和建设生态城市的思想，督促生态环境保护规划的实施；④建立指标体系，有利于进行国际间和地区简单比较，尤其是有助于借鉴国际上生态城市建设的先进思想和理念。

#### (2) 基本原则

- ① 科学性 指标体系必须建立在科学的基础上，能充分反映城市生态环境保护与建设的内在机制，指标的物理意义明确，测算统计方法科学规范，保证评估结果的真实性与客观性。
- ② 代表性 城市生态系统的结构复杂，具有多种功能，要求选用的指标最能反映城市生态环境保护的主要状态与特征，同时，定性与定量指标相结合。
- ③ 层次性 即根据不同的评价需要和详尽程度分层分级。

④ 阶段性 充分考虑城市发展的阶段性，对于各指标确定分阶段实施的目标值。

⑤ 可操作性与可比性 考虑、数据的可获得性，建立的指标体系简明清晰，容易操作并易于理解；指标尽可能采用国际上通用的名称、概念与计算方法，有利于和国内外相似城市或地区的比较。

⑥ 动态性 城市的生态环境保护与建设是一个长期和动态的过程，所建立的指标体系应该能反映这一过程，指标体系应具有一定的灵活性，为将来增加或改变某些单项指标提供“接口”。

⑦ 规划目标与指标体系相结合 即将总体目标分解、形成分目标与子目标，与相应的指标集对应。

#### 4.2.2 评价指标体系确定的原则

(1) 代表性原则 评价指标的确定要具有一定的代表性，要确定反映生态环境的现状及变化特征。

(2) 综合性原则 要全面衡量所考虑的诸多环境因素，进行综合分析和评价。

(3) 系统性原则 应确定相应的评价层次，就各个评价指标按系统论的观点进行考虑，构成完整的评价指标体系。

(4) 获得性原则。

#### 4.2.3 建立指标体系的方法

(1) 专家咨询法（特尔斐法） 基于专家群体的知识、智慧、经验、直觉、推理、偏好和价值观的特尔斐法是专家评定的典型方法。特尔斐法是美国兰德公司的专家们在 1964 年提出来的，后来又有一些变形。下面介绍的是经典的特尔斐法实施步骤，适用于决策、预测或技术咨询。

第一步：提出问题。即提出要做出决策、进行预测或技术咨询的问题。

第二步：选择并确定专家组成人员。专家组成员要求具有广泛的代表性，一般包括自然科学家、技术专家、行政干部、管理专家等；对提出的问题要比较熟悉，有较丰富的知识和经验，有较高的权威性；人数以 20~50 人为宜。

第三步：制定第一个咨询表，并散发给专家组成员。制定的表格要求简明扼要，填表方式简单，最好能用数字或英文字母表示成员的评估意见。

第四步：收集第一个咨询表，并进行分析。需要把成员们提出的意见进行筛选、分类、归纳和整理。归并那些相似的，删除那些对特定的目的不重要的意见，并且理清这些方案或事件之间的关系，以准确的技术语言、简洁的方式制订一份方案或事件的一览表，使成员易于阅读。

第五步：制订第二个咨询表，并散发给专家组成员。

组织者把第一轮整理的一览表（第二个咨询表）再发给各专家，开始特尔斐法的第二轮咨询。这轮除了要求反应人对一览表中列的条目继续发表补充意见外，更主要的是要求他们对表中的每个方案或事件做出评估。如对于决策问题，一般要求选择最优方案或对所有方案按其优良性排序。

第六步：收集第二个咨询表，并对数据进行统计处理。

组织者把专家对第二个咨询表反应的意见收集起来，进行数据的统计处理，再制订第三个咨询表。采用的统计方法有四分位点-平均值-方差法，它们都能表示数据的分散程度。在第三个咨询表中除了统计的结果外，还应当把对成员提出的意见所作的说明作一小结，这

样，这个表就高度概括了专家第二轮的信息。

第七步：制订第三个咨询表，并散发给专家组成员。

组织者把第三个咨询表散发给专家组成员，要求他们审阅统计的结果，了解分歧的意见及各种意见的主要理由，再对方案或事件做出新的评估。专家们可根据总体意见的倾向（以平均值表示）、分散程度（以方差表示）和评估的各种意见及其主要理由修改自己前一轮的评估。

第八步：收集第三个咨询表，并对新的数据进行统计处理。

组织者把第三个咨询表收集到的意见进行处理，即重新计算方案或事件的平均值、方差和四分位点，对成员间的辩论做出小结。至此，完成了特尔斐法的第三轮，并为第四轮准备了第四个咨询表。

第九步：准备最好的报告。

第九步进行第四轮咨询，它只不过是第三轮的重复，在第四轮之末收集和整理第四个咨询表的结果。

(2) 层次分析法 (AHP 法) 层次分析法 (AHP) 是美国著名运筹学家 A. L. Saaty 于 20 世纪 70 年代提出的。层次分析法体现了人类决策思维的基本特征：分解、判断、综合，并以它的简洁性、实用性、适应性和系统性得到了世界各国广泛的应用，引起了数学界和经济学界的高度重视，在目前所有确定指标权重的方法中，是一种比较科学合理、简单易行的方法。

层次分析法是在结构模型的基础上，通过矩阵的演算，使定性分析和定量分析相结合的一种评价和决策的方法。此法是通过系统分析把复杂问题分解成有序的递阶层次结构，如果将综合评价指标体系分为目标层、准则层、指标层三层，并对各层的相关因素进行两两比较，判断各因素的相对重要性给予定量，进行一致性检验，以确定评价指标的权重，具体步骤如下。

第一步：建立指标体系。

第二步：构造判断矩阵与层次单排序。以 A-B 的判断矩阵为例说明计算过程（见表 4.1）。

表 4.1 A-B 的判断矩阵及所求特征向量  $W_{B_i}$  (权值) (V. Whitford, etc, 2003)

A	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	B <sub>4</sub>	$W_{B_i}$
B <sub>1</sub>	1	3	1	2	0.37425
B <sub>2</sub>	1/3	1	1/3	1	0.13675
B <sub>3</sub>	1/3	3	1	3	0.33000
B <sub>4</sub>	1/2	1	1/3	1	0.15600

注：1—一样重要；2—稍微重要；3—很重要。

判断矩阵的最大特征根。

$$AW = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 1 & 2 \\ 1/3 & 1 & 1/3 & 1 \\ 1/3 & 3 & 1 & 3 \\ 1/2 & 1 & 1/3 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.37425 \\ 0.13675 \\ 0.33300 \\ 0.15600 \end{bmatrix} \quad \lambda_{\max} = \sum_{i=1}^4 \frac{(AW)_i}{nW_i} = 3.871 \quad (4.1)$$

一致性检验。以 CI 值作为度量判断矩阵偏离一致性的指标。

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = \frac{3.824 - 4}{3} = -0.043 \quad (4.2)$$

RI 为判断一致性的平均随机一致性指标, 查表得  $RI=0.89$ , 随机一致性比例为  $CR=\frac{CI}{RI}=0.048<0.1$  表示 A-B 的判断矩阵具完全一致性, 其他矩阵的求解及检验亦按以上方法进行, 构造相应的  $B_1-C$ 、 $B_2-C$ 、 $B_3-C$ 、 $B_4-C$  判断矩阵, 得相应的特征根  $[c_{i1}, c_{i2}, c_{i3}, c_{i4}, c_{i5}, c_{i7}, c_{i9}]$ 。

第三步: 层次总排序。层次总排序就是 C 层的相对重要性排序权值, 即层次单排序权值的加权组合, 即把  $[0.37425, 0.13675, 0.33000, 0.15600]$  乘以由一致性检验所得的 C 的特征根  $[C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6, C_7, C_8]^T$ , 然后将其归一化后得 C 的标准权重  $W_i[0.235, 0.215, 0.096, 0.103, 0.108, 0.078, 0.075, 0.090]$  C 层对 A 层的总排序权值。

第四步: 单因素评分和综合评价。单因素评分是就单因素归一化处理, 即将某指标所对应的各地区或各时间段的评分值除以其累加值。综合评价即将单因素的评分值乘以各因素的权值相加。因素的评分值乘以各因素的权值。

$$P_i = \sum_{j=1}^n C_{ij} \times W_{ij} \quad (4.3)$$

式中,  $C_{ij}$  为归一后的标准化数据;  $W_{ij}$  为权值。

得出各地区 (或各时段) 的  $P_i$  值, 进行比较, 然后确定各种等级 [16, 19]。

(3) 主成分分析法 主成分分析法是一种基于数据统计的分析方法, 有严格的数学证明, 它是目前筛选、简化指标体系的典型方法。主成分分析法的工作目标, 就是要在力保数据信息丢失最小的原则下, 对高维变量空间进行降维处理: 即在保证数据信息损失最小的前提下, 经线性变换和舍弃一小部分信息, 以少数的综合变量取代原始采用的多维变量。

设原变量为  $x_1, x_2, \dots, x_J$ , 主成分分析后得到的新变量为  $z_1, z_2, \dots, z_m$ , 均是  $x_1, x_2, \dots, x_J$  的线性组合 ( $m < J$ )。变量  $z_1, z_2, \dots, z_m$  构成的坐标系是在原坐标系经平移和正交旋转后得到的, 称  $z_1, z_2, \dots, z_m$  张成的空间为  $m$  维主超平面。在主超平面上, 第一主分量  $z_1$  对应于数据变异最大的方向, 对于  $z_2, \dots, z_m$ , 依次有  $V(z_1) \geq V(z_2) \geq \dots \geq V(z_m)$ , 因此,  $z_1$  是携带原数据信息最多的一维变量, 而  $m$  维主超平面是保留原始数据信息量最大的  $m$  维子空间。

主成分分析的步骤如下。

① 数据的标准化处理。

$$y_{ij} = \frac{x_{ij} - x_j}{S_j} \quad i=1, 2, \dots, I; j=1, 2, \dots, J \quad (4.4)$$

$x_{ij}$  为第  $i$  个分区第  $j$  个指标的值,  $x_j, S_j$  为第  $j$  个指标的样本均值和样本标准差。

② 计算数据表  $(y_{ij})_{I \times J}$  的相关矩阵  $R$ 。

③ 求  $R$  的  $J$  个特征值:  $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_J$ , 以及对应的特征向量  $u_1, u_2, \dots, u_J$ , 它们标准正交,  $u_1, u_2, \dots, u_J$  称为主轴。

④ 求主成分。

$$z_k = \sum_{j=1}^J u_j x_j \quad j=1, 2, \dots, J; k=1, 2, \dots, J \quad (4.5)$$

⑤ 精度分析: 一个  $m$  维主超平面究竟以多大的精度来近似替代原变量系统以确保尽可

能多的数据信息，可以通过求累计贡献率  $E$  来判断  $E = \frac{\sum_{k=1}^m \lambda_k}{\sum_{j=1}^p \lambda_j}$ ，如取  $E > 80\%$  的最小  $m$ ，则可得主超平面的维数  $m$ ，从而可对  $m$  个主成分进行综合分析。

### 4.3 指标权重的确定

权重是对指标相对重要性的量度，指标权重的确定是进行系统综合评价的基础。常见的指标权重确定方法有很多，如定性经验的特尔斐法、基于数据统计处理的主成分分析法以及定性定量相结合的层次分析法等。

#### 4.3.1 主成分分析法赋权的原理

(1) 设对某一评价对象进行评价时，原始数据表中样本数为  $n$ ，指标数为  $p$ ，则观测样本矩阵为：

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1p} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2p} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{np} \end{bmatrix}$$

式中， $n$  为样本个数； $p$  为指标个数。

在实际应用中，为了消除原变量量纲、数量级的不同带来的影响，通常对各变量作标准化变换，变换公式为：

$$x_{ij}^* = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{S_j^2} \quad (i=1,2,\dots,n; j=1,2,\dots,p) \quad (4.6)$$

式中， $\bar{x}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ij}$ ； $S_j^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)^2$  ( $i=1,2,\dots,p$ )。

经过变换后的数据均值为 0，方差为 1。

(2) 求指标数据的相关矩阵

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1p} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2p} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{np} \end{bmatrix}$$

$R$  为对称矩阵，经标准化处理后的数据的相关系数可简化为： $r_{ij} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n x_{1i} x_{ij}$  ( $i, j = 1, 2, \dots, p$ )

(3) 求  $R$  的特征根  $\lambda_k$  ( $k=1, 2, \dots, p$ ) 和相应的特征向量  $I_k$  ( $k=1, 2, \dots, p$ )，将特征根依大小顺序排列： $\lambda_1 > \lambda_2 > \dots > \lambda_p$ ，其相应的特征向量记为  $I_1, I_2, \dots, I_p$ ，则第  $k$  个主成分的方差贡献率为  $\beta_k = \lambda_k \left( \sum_{i=1}^p \lambda_i \right)^{-1}$ ，前  $k$  个主成分的累计贡献率为  $\sum_{i=1}^k \lambda_i \left( \sum_{i=1}^p \lambda_i \right)^{-1}$ 。

(4) 选择  $m$  个主成分，实际中通常所取使得累计贡献率达到 85% 以上，即

$$\sum_{i=1}^m \lambda_i \left( \sum_{i=1}^p \lambda_i \right)^{-1} \geq 85\%。$$

(5) 前  $m$  个主成分对总体方差的贡献矩阵  $A = (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m)$ , 同时得到各指标在前  $m$  个主成分上的贡献矩阵  $L = (I_1, I_2, \dots, I_m)$ , 则各指标对总体方差的贡献率矩阵  $F$  可由下式求出  $F = A \times L = (f_1, f_2, \dots, f_p)$ , 则  $F$  中各元素的值即为相应指标的权重。

#### 4.3.2 主成分赋权法与专家打分赋权法的有机结合

依照上述过程计算出来的各指标的权数, 是根据各项指标值的变异程度来确定的, 它由原始数据所提供的信息计算得出, 这种赋权方法确定出的指标权重反映企业自身的经营特征, 是一种富有个性化的指标权重, 同时能够保证指标定权过程中的客观性。但从评估本身的意义来看, 依照数据离差的分布所确定的指标权重并不必然体现指标在系统评估中的实际地位, 而主观赋权法则能很好地弥补这一不足之处。因此主客观赋权法的有机结合将会是指标定权最理想的方法。对主成分赋权法予以改进, 即将专家打分法与主成分分析法结合起来确定权重, 具体方法如下。

(1) 给定初始的样本矩阵  $X_{n \times p} = (x_1, x_2, \dots, x_p)$ , 对原始数据进行标准化处理, 得到数据矩阵  $X = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_p^*)$ , 则  $\forall j = 1, 2, \dots, p, \text{var}(x_j^*) = 1$ 。

(2) 利用专家打分法, 根据专家的经验判断, 对指标变量  $x_1, x_2, \dots, x_p$  在实际评估中的重要程度进行打分, 分别赋予权数  $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_p$ , 得到一个新数据表  $X_{n \times p} = [(1 + \alpha_1)x_1^*, (1 + \alpha_2)x_2^*, \dots, (1 + \alpha_p)x_p^*]$ 。这时  $\forall j = 1, 2, \dots, p; \text{var}[(1 + \alpha_j)x_j^*] = (1 + \alpha_j)^2 \text{var}(x_j^*) = (1 + \alpha_j)^2$ 。

(3) 对  $X_{n \times p}$  中的指标数据进行主成分分析, 方法同前面介绍的主成分分析赋权原理。

这样, 从评估本身的意义对系统中重要的变量赋予更大的权数, 这些指标变量的变差被相应拉长, 于是在求主成分及确定指标权重时, 这些指标得到更多的重视, 实现了主客观赋权方法的有机结合, 从而使确定的指标权重更为理想。

## 4.4 层次分析法

(1) 明确问题。

(2) 建立递阶层次: 将问题分为若干组成部分或元素, 按照属性的不同把这些元素分成若干组, 每一组构成一个层次, 层次之间互不相交。同一层次的元素作为准则, 对下层次的全部或部分元素起支配作用, 同时它又受上一层次元素的支配, 因而形成了自上而下的逐层支配关系的递阶层次结构形式。

(3) 构成比较判断矩阵: 在建立递阶层次结构之后, 假定上一层次元素  $A_k$  作为准则, 且对下一层次元素  $C_1, C_2, \dots, C_n$  有支配关系, 聘请一些经验丰富、学识渊博的专家, 针对  $A_k$  两个元素  $C_i$  和  $C_j$  哪一个重要, 重要程度以数量表示出来。这里取 1、3、5、7、9, 含意是, 1 表示  $C_i$  和  $C_j$  一样重要; 3 表示  $C_i$  比  $C_j$  稍微重要; 5 表示  $C_i$  比  $C_j$  重要; 7 表示  $C_i$  比  $C_j$  重要得多; 9 表示  $C_i$  比  $C_j$  特别重要。反之,  $C_j$  比  $C_i$  的判断数为  $C_i$  比  $C_j$  的判断数的倒数。由这些数值作为矩阵中的元素, 而构成两两元素比较的差别矩阵。

由于人们对客观事物的认识存在一定的片面性, 获得的判断矩阵一般不具有 consistency。但是只有当判断矩阵具有完全一致性和满意一致性时, 用层次分析法才有效。

层次单排序: 在准则  $A_k$  下,  $n$  个元素  $C_1, C_2, \dots, C_n$  排序权重计算, 可以求解判断

矩阵  $C$  的最大特征根  $\lambda_{\max}$ ，并满足关系式： $CW = \lambda_{\max}W$ ，其中  $W$  为对应  $\lambda_{\max}$  特征向量，其分量  $W_i (i=1, 2, \dots, n)$  为对应元素  $C_1, C_2, \dots, C_n$  在准则  $A_k$  下单排序的权值。对于  $n$  阶判断矩阵，其最大特征根为单根，且  $\lambda_{\max} \geq n$ ，当  $\lambda_{\max} = n$ ，其余特征根均为 0 时，则  $A$  具有完全一致性。检验判断矩阵的一致性，需计算一致性指标： $CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$ 。

当  $CI$  时，判断矩阵具有完全一致性，反之亦然。

$RI$  为判断矩阵的评价随机一致性指标，判断矩阵的一致性指标  $CI$  值与同阶评价随机一致性指标  $RI$  值之比称为判断矩阵的随机一致性比例，即  $CR = \frac{CI}{RI}$ 。当  $CR < 0.10$  时，则判断矩阵有满意的一致性。否则，重新判断，直到满意。

## 4.5 城市生态系统状况评价的简单模型

### 4.5.1 生态特征指标法对城市生态系统状况的评估

V. Whitford 等于 2003 年选取四种简单的、能用来量化有害生态效应的生态特征指标，它们是地表温度、水文、碳储存量和吸收量以及生物多样性。通过近来的研究，这些指标得到了发展并已制定，只需很少的输入信息，就能简单地运用。而所需最主要的信息就是各类表面覆盖物的百分比率。相对于自然形态，城市由于被各种建筑物、道路、花园、公园占据着，其环境发生了明显的改变，因此，可生产的区域大块缩小。环境如此大的变化当然会改变城市生态。四个主要的改变结果被识别出来，并被各个领域的工作者广泛地研究。

首先，城市化影响了气候，城市往往比周围的乡下要热，产生了城市热环岛效应。其次，城市影响了水文，更多的水从城市里流入小溪、河流而流失。再次，城市是  $CO_2$  的惟一生产源，从而导致元素碳储存量降低。最后，城市生物多样性的贫乏已被广泛地关注了。如果人们想要将来的城市更有持续性，必须学会怎样将这些生态影响降至最低，不管是在整个区域乃至全球范围，还是在局部范围。只有如此，城市才能更具有吸引力，使人们乐于居住在此。

城市规划者和景观设计师都非常明白这些原则。然而，规划师们如果想要使城市化的影响最小化，他们首先应该能够量化它们。下文主要有两个方面的目的：导出四个能够量化由于城市化引发的四个主要生态危害的特征指标；测试这些指标，通过用它们来比较英国四个地区（在默西塞德郡）的生态特征。资料显示，这四个地区由于城市化程度不同而有着明显的贫富差异。

从一开始起，城市规划者和景观设计师们就能阅读到各类专题期刊如气象学、水文学、植物栽培以及生态学，各种各样的模型也极其复杂，需要输入大量的变量，并且还需要进行复杂的数学分析。而目的是找出并制定城市规划的模型，以便城市规划者和景观设计师们能够加以利用。选择的模型必须能导出简单容易解释的数字，并且只需最少的输入信息。事实上，人们对一个地区差不多是惟一必须了解的资料可以在航空摄影中找到，即各种土地覆盖物面积的百分率：建筑物、道路、各种不同的植被以及裸露的土壤。

### 4.5.2 途径：导出特征指标

#### 4.5.2.1 气候

(1) 城市化和气候 城市化对于气候的一个影响就是从建筑物和汽车中排放出来的热量

直接使周围环境升温，这种影响在比较寒冷天气里特别显著，结果就能产生一种“冬季热环岛”（如图 4.8），这种影响一般被认为是城市居民有益的。

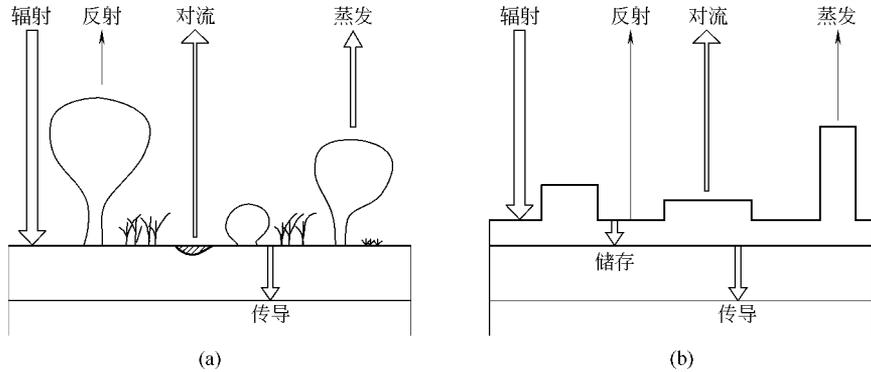


图 4.8 城市化影响到城市能量的传送，导致出现城市热环岛现象 (V. Whitford, etc, 2003)

(a) 农村地区的情形；(b) 有大片建筑物覆盖的城市区域的情形  
 (城市地表能量反射比农村要少，从地表水或植被蒸发而散失能量亦少，更多的能量在白天被储存起来，而在晚上辐射到大气中。)

城市化对于气候所造成的更多有害的影响出现在夏季，这是能量交换过程发生变化的结果。由于大片的建筑物与道路具有较高的热量储存率，而其反射率却较低，所以，在夏天，能量储备快速提升，因此，更多的热量在白天储存起来，而在晚上又辐射到大气中；同时，土地植被面积减少导致由于土壤水分蒸发而产生的能量损失降低，这些的结果就是产生了“夏季热环岛”。这使得城市居民的生活极不舒服（特别在炎热天气时），也增加了空调的需求。

关于城市化对单个要素发生作用的、又反过来改变气候的影响效果，人们做了很多的研究检测。举个例子来说，Terjung 和 Louie 指出：通过增加有效的吸收面积，高大建筑的存在能降低其有效的反射率，从而直接导致城市升温。然而，在郊区和大多数建筑物不高的欧洲城市里，这就不再是一个重要的因素而被忽视了。同样的，Brest 统计了城市表面最高的反射率，并与植被地区作了对比；Oke et. al、Tso 计算了建筑环境中增加的热储存量；还有 Oke、Tso、Nichol、Kawashima 都量化了城市化中对流和蒸发产生的能量损耗各占比例的变化，这些都导致了热量的消耗减少。

然而，土地覆盖物的变化对城市气候产生积累的影响最好用一种模型来进行调查研究，一旦知道了城市表面成分，我们就可以用这种模型预测出城市的温度。不幸的是，城市化对气温（地上温度）的影响很难用模型预测出来，因为地上温度不可预测，它受到风速和风向的影响，所以，气候模型主要用来计算地表温度。

(2) 气候指标 对于气候指标，我们选择发展并定制了 Tso 制作的的城市气候模型，根据其表面温度  $T_o$ ，这种模型可以表达出一个地区地表的能量平衡，可以使任何非线性的等式线性化，同时得出一组新的联立方程。这个模型的主要原理如图 4.9 所示，可以得出简单的即时能量平衡等式。

$$R = H + LE + G + J \tag{4.7}$$

式中， $R$  是射向地球表面的纯辐射，等于太阳光辐射减去射向大气中的长波反辐射， $R$  在正午时为最大值，而在夜晚是负数； $H$  是通过对流的热函流量； $LE$  是蒸发引起的潜在热

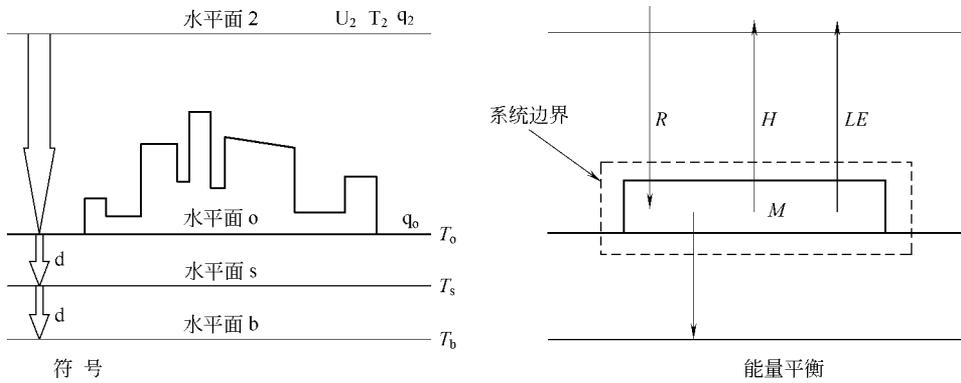


图 4.9 能量平衡模型的框架 (V. Whitford, etc, 2003)

(通过计算机程序反复运算与能量流动相关的线性联立方程, 我们可以得到地表温度  $T_0$ , 可计算出来的热量是辐射  $R$ 、热焓流量  $H$ 、潜在热流量  $LE$  和传导到土壤中的热量  $G$ , 能量亦可被储存在建筑物或道路中, 计作  $M$ 。)

流量, 两者都从边界层转移能量到上一层——第二水平层, 在这个水平层里, 我们假设温度、风速恒定, 并有着特定的湿度; 两种形式的热流量都随地表温度的升高而增加, 而后者还随绿化空间的增加而增加, 应为绿化空间的增加可以增加水蒸发面积, 而且使得近地表的相对湿度也随之增加;  $G$  表示传导热流量, 热量传送到土壤中, 通过中间层  $s$  传送到更低层  $b$ , 这种热流量同样随着地表温度的升高而增加;  $J$  是储存在混凝土或其他建筑环境中的热量, 它随着温度变化速率增加, 随建筑环境面积增加, 从而随混凝土质量增加。

输入两个线性联立微分方程到一个反复计算的、可用分析方法解答方程的电脑模型中, 我们最终可以得到城市地表温度。这样马上可以得到地表温度  $T_0$  和中间土壤层温度  $T_s$ 。

可清楚地看到, 模型解决方法依靠两个方面: 模型的气象和自然参数, 还有绿化环境和建筑环境的相对数量。Tso 的模型起初本来是运用在吉隆坡的, 修改了其中的气象参数, 以便它们能运用到利物浦。为了得到气象参数, 可采用一个合理的“平均”值: 从英国气象部门所得的 1995 年 8 月 16 日的气象信息 (可访问网站 <http://www.badc.rl.ac.uk> 得到)。那天天气的特征是一个典型英国炎热夏天所具备极高气压的天气系统。对于每单位建筑环境的建筑质量, 模型用了 Tso 用过的同一个数字:  $777\text{kg}/\text{m}^2$ 。

最后输入的参数是三类迥异的地表覆盖类型的相对面积, 这三种类型是: 建筑环境、裸露土壤、绿化空间。土壤由于没有混凝土而不储存热量, 除了这个以外, 它的输入参数都与建筑环境的类似。而绿化空间的参数由于绿化空间所有地区都有水的蒸发而格外不同。对于真实城市地区, 模型中的条件必须根据三种覆盖类型的相对面积来衡量。

#### 4.5.2.2 水文

(1) 城市化与水文 城市化对水文的主要影响是由于植被 (如树林、草地) 的减少、城市结构 (如大厦、道路) 变得更不具备可渗透性而造成的。在暴雨期间和雨后, 以上因素分别改变了影响降水最终归宿的几个方面 (如图 4.10)。

由于依靠雨水来湿润自己的植被减少了, 更多的雨水没被拦截就直接落到地面。同时, 不管在暴雨期间还是雨后, 水分的蒸发量都降低了, 因为城市中可以蒸发水分的植被逐渐消退。因此, 更多的雨水落到就近的地表, 流入了排水沟、下水道、河流。这样会提高河峰, 进而增加洪水暴发的可能性, 以及侵蚀堤岸, 后果非常严重。

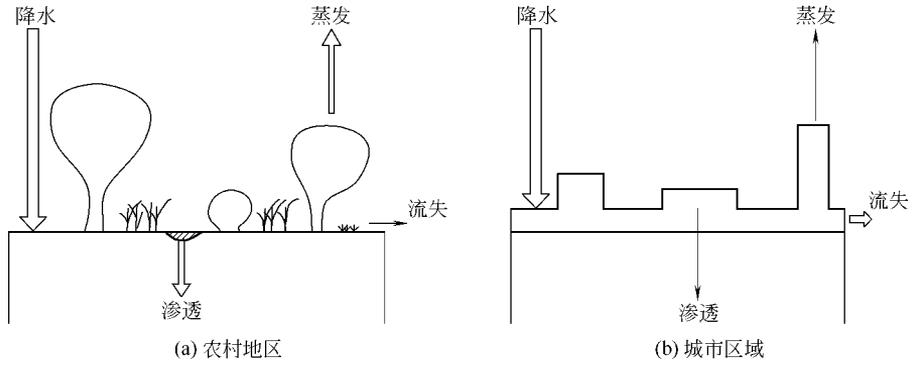


图 4.10 城市化对水文的影响 (V. Whitford, etc, 2003)

[对比农村地区 (a) 和城市区域 (b)，可以看到：由于城市不渗透的结构，渗透到土壤中的雨水减少了。同样，由于绿化空间的减少，蒸发作用及蒸发的水分也减少了。因此，更多的雨水通过地表径流而流失。]

由于城市化造成的雨水大量仓促地涌入城市各个集水处，集水处的反应发生了变化。这种变化的反应毫不奇怪地被广泛研究，也促成了许多雨水流失模型的发展。然而不幸的是，需要过多信息量的计算机模型大多数很复杂，从而抑制了其在研究中的作用。但是，它们之间都存在着一些共同的要素，如：需要知道土壤类型、集水处的湿润程度和在集水处中不渗透面积的百分比。对于决定城市集水处的水流失系数，最后这个变量显示出了其至关重要的作用。而且，在任何城市化研究模型中，它也一定是个极其重要的要素。下面将介绍一种把不可渗透面积作为一个主要的输入参数的方法。

(2) 水文指标 选择一个雨水流失系数作为特征指标，这个指标能够最容易地显示出城市化对水文的影响。这个方法被 SCS 采用过，然后被 Pandit 和 Gopalakrishnan 改进。此方法起源于关于降水归宿的理论以及在众多小分水岭上的试验研究得出的结果。把它们组合起来，可以得到水流失量 ( $P_e$ ) 的方程式：

$$P_e = (P - 0.2S)^2 / (P + 0.8S) \quad (4.8)$$

式中， $P$  是降水量， $S$  是集水处的最大潜在承载量 ( $S$  越大则水流失量越小)， $S$  可由下面的表达式计算出来：

$$S = 2540 / CN - 25.4 \quad (4.9)$$

CN 是特殊类型分水岭的曲线数字 (curve number)，可由试验得到。对于不渗透的地表和水表面  $CN=100$ ，所以  $S=0$ ；对于可渗透性地表， $CN < 100$ ，则  $S$  为正数。为了适应于以前的标准土壤潮湿条件，美国水土保持局根据土对水的吸附度 (决定于土壤类型) 以及土地利用或地表覆盖状况制作了曲线数字的表格。这些曲线数字可以修改从而适应干旱的或湿润的土壤条件。

对于一个有很多覆盖物的区域来说，如果土壤类型和各种土地利用的覆盖物的百分比都知道了，就可以算出曲线数字。一旦知道了曲线数字，我们便可很容易得到水流失量，然后再算出特定暴雨中的水流失系数。对于我们的特征指标，我们根据以前的标准土壤潮湿条件选择在降水量为 12mm 的暴雨中检验水流失系数  $P_e/P$ ，因为这种大雨在英格兰西北部很典型。通过在 1:50000 的漂流地图 (drift map) (《大不列颠地质勘查》第 96、97 页) 查找到每个地点的位置并浏览地图 (drift)，可为当地土壤类型制定出模型，可以推断出对于每一种漂流类型 (drift type) 的土壤 (soil association)。并可根据 SCS 的土壤类型分类而分类。

地表覆盖物被分类成一种 SCS 指定的类型。

#### 4.5.2.3 固碳

(1) 城市化和固碳 城市化的第三个主要影响是提高了元素碳的发散,这是由于为了加热和运输而增加使用能源造成的。树木的种植与生长能将这种影响改善到一定程度。在冬天,树木掩蔽建筑而减少其热量消耗;在夏天,树木直接的遮蔽和蒸发水分散热都能使建筑内变得凉爽。此外,树木可直接储存元素碳,并在其生长时,活跃地吸收元素碳。

不幸的是,碳发散比率很难与土地覆盖信息挂上钩,能量消耗的降低也不容易和树木的覆盖面积联系起来。尽管如此,城市树木对碳的储存量和吸收率非常有必要进行研究,因为它们都与树木覆盖面积息息相关。当然,影响它们的还有其他因素,幼树与老树相比,就有较低的生物量(碳储存量)和较高的吸收率。不过,最近很多研究调查了树木接收矿物燃料燃烧产生的碳的潜力,调查大都围绕着农村树林和森林的相同年龄段的树木而进行。然而,近来有一些研究已将目光集中芝加哥周围和生长在城市中的树木,而这些树木的年龄段都是参差不齐的。

(2) 碳储存量、吸收率的指标 由于在英国找不到任何同等意义的数字,只好求助于 Rowntree 和 Nowak 在芝加哥对城市树木进行研究的所得数据来研究我们的指标。他们提供了一种方法,可以很容易地估计出一年内每单位面积的树冠所吸收和储存的碳量。他们首先估计出城市树林中树木的平均直径分类,然后再统计单位面积树木的数量。为了完成这个,他们采用了提出的关于宽叶树直径与树冠面积的关系式,采用了源于 Winer. et. al 的宽叶树和针叶树树冠展开的比例,并假定在芝加哥 75% 的树是宽叶树,而 25% 是针叶树。接下来,他们运用 Wenger 的单位面积生物总数量等式计算出树木的总湿重(包括地上、地下部分)。最后估计宽叶树和针叶树干湿重比例分别为 60% 和 46%,而碳的储存量是总生物数量的干重的 45%,他们得出了碳的储存量。将以上过程简化后可得到下面的简易方程式:

$$\text{碳储存量}(\text{t}/\text{hm}^2) = 1.063 \times \text{树覆盖百分比} \quad (4.10)$$

为了得到碳吸收量,Rowntree 和 Nowak 不得不统计了净初级生产力。他们使用了 Fleming 导出的树的年龄与直径的关系式,来计算所有不同尺寸级别的树每年的生长量,同时,采用适当的直径分类,就可估计出生物数量的聚集量。最后,得出每年碳的吸收量,如下面的简单表达式。

$$\text{碳吸收量}(\text{t}/\text{hm}^2 \text{ 年}) = 8.275 \times 10^{-3} \times \text{树覆盖百分比} \quad (4.11)$$

因此,要计算城市地区的碳储存量和吸收量,惟一需要输入的数据是树覆盖百分比。

#### 4.5.2.4 生物多样性

(1) 城市化和生物多样性 城市化对生物多样性有很多非常复杂的影响。周围的建筑区域不仅仅将绿化空间分割成小的缀块,而且使其内部也发生了变化,产生了几种不同的生物栖息地类型。因此,栖息地内部(a多样性)和栖息地之间(b多样性)两者都被改变。缀块间的连通性也将被改变。不幸的是,关于城市生物多样性的研究还几乎没有开展,但是由于其重要性,生态学理论提出:大的缀块尺寸、高连通性的廊道、高密度的小缀块以及长的边界线都会增加物种多样性,然而,这整个是假定在其他条件相等的情况下。因此,多样性与一个生物栖息地的物理特征、生物学特征有着很复杂的联系,和前面介绍的不大可能是一回事。所以,任何仅仅基于土地覆盖信息的生物多样性的指标都可能非常粗糙。不过,它也许可以作为一个特殊场所的潜在多样性做出指示。

(2) 生物多样性的指标 由于城区的复杂性,而且城市多样性问题混合了 a、b 两种多

样性，所以根据像生物地理学（只考虑一种多样性）那样的理论就直接定义一个指标似乎不太合适。生物多样性的指标应该考虑生物栖息地的范围及其空间特征两个方面的因素。正基于此，需要提出多个指标。

第一个是绿化空间总面积  $PT$ ，这抓住了关于缀块尺寸对生物多样性的重要性的实质，而且与绿化空间延伸可增加鸟类多样性的事实相符。

第二个是异质合并的尺度，它的形式可以由一个等式表达出来，这个等式最初来自于：

$$D = -\sum 5(P_i \times \log_2 P_i) \quad i=1,2,\dots,5 \quad (4.12)$$

其中， $P_1$  是裸露土地与草皮的比例， $P_2$  是粗糙牧草地和草本植物的比例， $P_3$  是灌木丛的比例， $P_4$  是树的比例， $P_5$  是建筑环境的比例。

这本来是 Shannon-Weiner 多样性指标，可应用到各种生物的生存环境（缀块类型）而非各种类的数量。Forman 采用了相同的方法，他注意到栖息地（缀块类型）分布越平均，这个指标就越大。

第三个可能的多样性指标虽然已经产生了，但由于其所需数据难以采集而没有应用过。这个指标检验的是绿化空间的连通性，它与连接数量相反。只有当此指标较大时，系统才是一个连通的系统，其取值在  $0\sim 1$  之间。Forman 将它定义为：

$$G = \frac{\text{连接数量}}{\text{最大可能的连接数量}} = \frac{L}{3 \times (V-2)} \quad (4.13)$$

其中， $L$  为连通数量， $V$  为节点数量。

也有可能将两个或更多的单个指标合并起来运用，创造一个合并指标。

#### 4.5.3 指标的运用

##### 4.5.3.1 地区的描述

选择来检验这些指标可能效用的地方是位于英国默西塞德郡的居民住宅区。Sekliziotis 已经根据红外航空外貌照片为这个地区的表面覆盖状况制作了地图。他选择了 11 个  $0.25\text{km}^2$  的方块，在每个上设置了一个  $20\text{m} \times 20\text{m}$  的栅格，并用立体照相机在每个方块上记录了 625 组数据。根据他自己的分类体系记录了每个方块的土地使用情况。他记录了 16 种土地覆盖类型（见表 4.2）。

表 4.2 对于不同指标，覆盖类型的分类，转化于 Sekliziotis (1980)  
独创的覆盖类型 (V. Whitford, etc, 2003)

覆盖类型	水文	固碳	生物多样性
(1) 建筑物	(1) 建造	(1) 铺路、屋顶等	(5) 建造
(2) 沥青/混凝土	(1) 建造	(1) 铺路、屋顶等	(5) 建造
(3) 桥面	(1) 建造	(1) 铺路、屋顶等	(5) 建造
(4) 垃圾	(2) 裸土	(2) 街道：污垢	(1) 裸土和草皮
(5) 水	(3) 蒸发	(3) 水	
(6) 裸土	(2) 裸土	(2) 街道：污垢	(1) 裸土和草皮
(7) 种植草皮	(3) 蒸发	(4) 优质牧场	(1) 裸土和草皮
(8) 杂草	(3) 蒸发	(5) 草地	(2) 杂草和草本植物
(9) 野草	(3) 蒸发	(5) 草地	(2) 杂草和草本植物
(10) 小灌木丛	(3) 蒸发	(6) 树：低覆盖	(3) 灌木
(11) 灌木丛	(3) 蒸发	(6) 树：低覆盖	(3) 灌木
(12) 树	(3) 蒸发	(7) 树：高覆盖	(4) 树
(13) 花丛	(3) 蒸发	(8) 可耕种地	(2) 杂草和草本植物
(14) 蔬菜	(3) 蒸发	(8) 可耕种地	(2) 杂草和草本植物
(15) 可耕农作物	(3) 蒸发	(8) 可耕种地	(2) 杂草和草本植物
(16) 其他	(2) 裸土	(2) 街道：污垢	(1) 裸土和草皮

为了研究指标，四块差异明显的样本方块被挑选出来，用来调查并比较不同土地利用和覆盖模式对于各种环境特征指标的影响。Sherdley 公园是一个富足的地区，主要由第二次世界大战前那种半隔离式的房子组成，有很大的绿化空间（大多数是草地，还有一些树）。Claughton 地区有很多维多利亚时期的别墅，草地相对少些，但有更多的树木。在比较贫瘠的两个区域中，Wayertree 主要是一些有露台的房子，几乎没有绿化空间，只有一些裸露的土地；而苏格兰大道地区是一个由低矮平房组成的工业区，草地相对多些。这两个地区的树木覆盖率都不高。

#### 4.5.3.2 生态指标的计算

Seklizioti 的表面覆盖类型不能直接符合生态特征指标所要求的分类，所以有必要转化它们，见表 4.2。

那么，将土地覆盖信息输到相应的模型中，每个地区的 4 种生态指标都能一一算出。见表 4.3。

表 4.3 四个不同地区各种覆盖类型的覆盖率，可用来计算生态特征指标

覆盖类型(Sekliziotis,1980)	Sherdley Park	Claughton	Wavertree	Scotland Road
(1)建筑物	20.6	27.5	46.4	30.4
(2)沥青/混凝土	23.0	21.2	32.0	35.2
(3)桥面	0.4	0.3	0.0	0.2
(4)垃圾	0.1	0.0	0.1	0.0
(5)水	0.2	0.0	0.0	0.0
(6)裸土	3.5	6.6	8.2	11.1
(7)种植草皮	23.2	10.2	1.6	8.7
(8)杂草	9.4	2.1	4.5	5.7
(9)野草	2.0	6.1	2.9	5.4
(10)小灌木丛	1.4	2.1	1.0	2.8
(11)灌木丛	3.0	4.4	1.3	0.3
(12)树	10.7	15.8	0.9	0.3
(13)花丛	0.2	0.4	0.0	0.0
(14)蔬菜	2.4	3.3	0.0	0.0
(15)可耕农作物	0.0	0.0	0.0	0.0
(16)其他	0.0	0.0	0.9	0.0
总计				
建筑环境	44.0	49.0	78.4	65.8
绿化空间	52.4	43.4	12.2	33.1
树木覆盖	10.7	15.8	0.9	0.3
裸露土壤	3.5	6.6	8.2	11.1

#### 4.5.4 结果

这四个地区的生态指标都存在着显著的差别。而这些指标与地方贫富、绿化空间比例有着密切的关联，如图 4.11 所示。

比较富有地区 Sherdley Park 和 Claughton，所有生态指标都显示了其更好的生态特征，其最高最低气温都较低（图 4.12），水流失系数比较小（图 4.13），有着更高的碳储存量和吸收率（图 4.14），绿化空间的多样性和总面积也较高。而较贫瘠的地区 Wavertree 和 Scotland Road 直接受当地低比例、低品质的绿化空间影响而呈现了不好的生态特征。在这里，品质指景观构造。

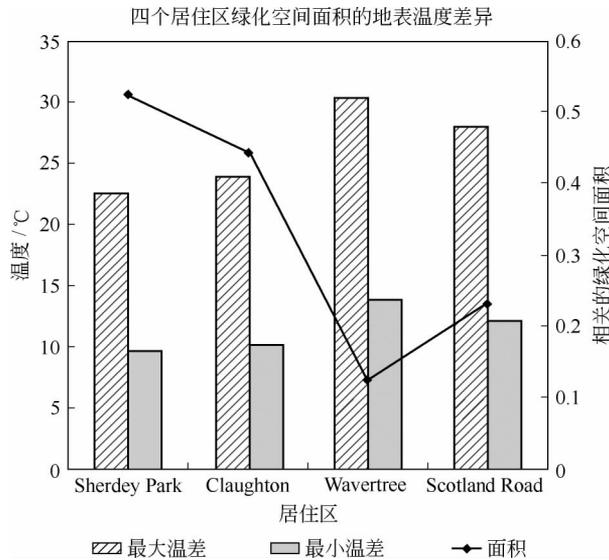


图 4.11 对比四个居住区的气候指标 (V. Whitford, etc, 2003)

(可以看到, 这与所在地绿化空间的相对面积密切相关。在贫困、绿化空间小的地区, Wavertree 和 Scotland Road, 其最高气温、最低气温都较高, 而其他两个绿化空间大的地区则温度较低。它们之间的温差可达 7°C。)

#### 4.5.5 讨论

这些特征指标好像相对易于运用。一旦推导出其表达式, 加上为特别城市地区收集到的数据资料, 它们将很容易计算出, 并能提供可以直接比较各个地区的简单数值。就目前城市地区的资料, 它们似乎也能提供有可比性的数值。的确, 根据指标得出的植被情况良好与贫乏地区间的地表温差和 Pauleit 与 Duhme 为七月的慕尼黑实际测出的数据非常相近。气候指标算出植被覆盖率分别为 15% 和 50% 的地区正午温差大约是 7.8°C, 而 Pauleit 和 Duhme 所测得结果大概是 6.8°C。

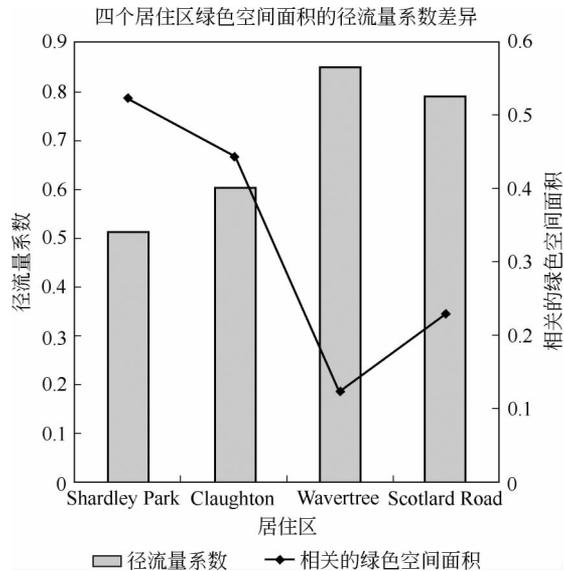


图 4.12 对比四个居住区的水文指标 (V. Whitford, etc, 2003)

(可以看到, 这同样与所在地绿化空间的相对面积密切相关。绿化空间最小的地区 Wavertree 和绿化空间最大的地区 Sherdley Park 相比, 前者水流失系数比后者高出 0.3。)

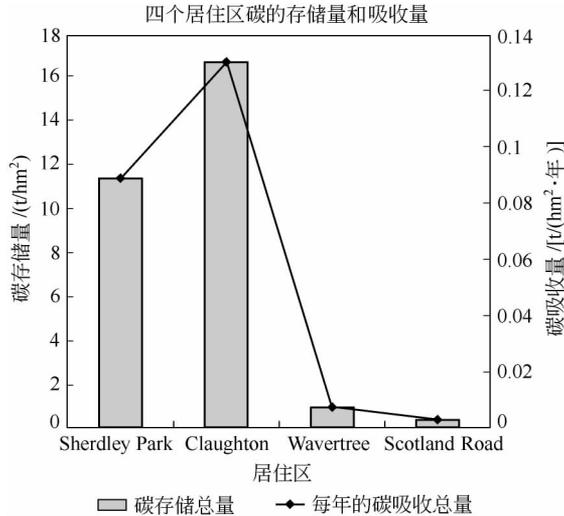


图 4.13 对比四个居住区的含碳指标 (V. Whitford, etc, 2003)  
 (可以看到, 树林茂密的、有着林荫大道的 Claughton 地区与几乎没有什么树的 Scotland Road 地区之间有着很大的区别)

当然, 在研究中虽然运用了这些指标, 但它们还没有通过比较真实数据和预测数据来进行完全的检验。然而推导出这些指标所依据的模型的最初创作者们肯定已经验证过了。那么, 指标是否实用的问题将在实践研究中得到解决。其潜在误差的一个来源无疑是其自身设定的资料信息, Sekliziotis 估计对于表面覆盖物的分类的误差为 0.3%。很显然, 当一个地区分割成很多小缀块而明显的边界线又较少时, 误差会变得特别高。

不过, 这个研究的结果是显著的。主要影响生态特征指标的明显是绿化空间的比例, 特别是树木的覆盖率。第二个清楚的趋势就是越富足的地区生态特征就越好, 这也许是由于其较高的绿化比例, 而较高的绿化比例反过来与其较低的房屋密度有关。

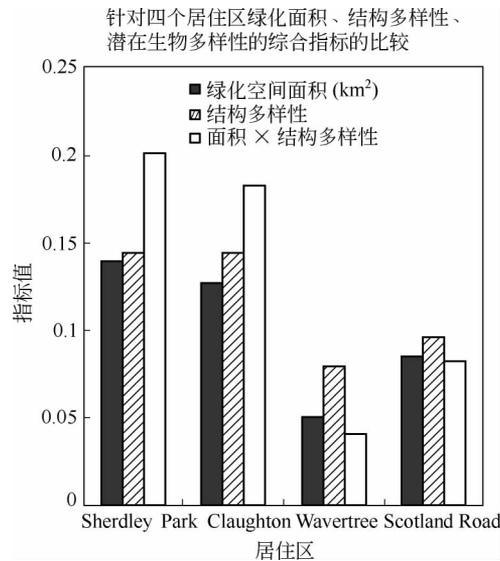


图 4.14 对比四个居住区的绿地环境和建筑环境的多样性指标 (V. Whitford, etc, 2003)  
 (可以看到, 它们都毫不意外地与地区绿化空间以及地区富足程度密切相关。  
 富足地区与贫瘠地区相比, 数字上大概相差了一倍。)

因此, 这个研究结果表明在城市环境中, 通过植被覆盖特别是树木的数量可确定住宅区和商业区现有类型的生态特征, 从而可以决定怎样塑造各种各样的城市。同时, 研究结果也说明特征指标能被证明是一个有用的规划手段, 它们能直接比较现实和虚拟的城市地区, 这样如果可以确切地知道被提议的发展计划将怎样改变地表覆盖, 这些指标将可潜在地用到预测它们的生态影响, 并通过运用了生态学理论的城市设计可减轻发展带来的消极影响。这也可帮助人们预测像英国、Swindon 那样城市快速的扩张在将来发展中将如何影响其生态特征。

在里约热内卢召开的“地球首脑会议”中通过的《21 世纪议程》里详细制定了可持续发展的原理。作为参与国之一的英国政府在该协议上面签了字。英国的可持续发展策略认为地方环境质量非常重要, 且地方当局扮演着关键的角色, 地方当局可通过有效的城市规划、公共运输来提供可持续发展。不过, 过了下一个 20 年, 由于组建的家庭将会长足增加, 特别是在英格兰地区, 这将给可持续发展带来不良影响。

研究结果说明全局水平的城市生态特征和局部水平的生态特征之间必然会有一个平衡。减轻一个城市在全局水平的损害最明显的方法是让城市变得更为紧凑, 因为这样可降低建筑环境的总面积。正是这个方法, 最近在英国被 UTF 所提倡, UTF 是一个在城市重建和设计方面为政府提供意见的组织。城市应该设计得更加紧凑, 连接着并支撑着一定范围的多姿多彩的区域。

英国的政策特别提倡为了建造更持续的发展模式, 新的发展应主要集中在现有的城市地区中。不幸的是, 虽然如此, 这样的紧凑城市在局部上的生态环境可能会比较差, 因为其植被覆盖率往往较低。就像 UTF 和其他组织所论证的, 如果设计得好, 城市浓缩的消极结果在一定程度上会有所改进。然而, 面对这样的矛盾时, 这暗示着人们必须研究改善城市环境的新颖方法。可通过发展屋顶植草, 多种植攀爬植物或建造更多的像伦敦时尚广场那样种植广阔树木的社区公园来增加城市植被覆盖; 或者可以开发吸能率低的建筑材料或更有渗透性的铺石道路。而生态特征指标将能预测这些方法的功效, 从而在建设真正的可持续城市的挑战中将证明它是一个有效的工具。

## 参 考 文 献

- 1 吴人坚, 王祥荣, 戴流芳. 生态城市建设的原理与途径. 上海: 复旦大学出版社, 2000. 1~17
- 2 刘毅. 扬州, 绍兴, 长沙首批通过生态市建设规划论证. <http://www.people.com.cn>, 2003-8-28
- 3 王克英, 朱铁臻. 城市生态经济知识全书. 北京: 经济科学出版社, 1998. 1~66
- 4 Stearns F, Montag T. The urban ecosystem: The holistic approach. New York: McGraw-Hill, 1974. 238
- 5 王发曾. 城市生态系统基本理论问题辨析. 城市规划汇刊, 1997, (1): 15~20
- 6 高吉喜. 可持续发展理论探索——生态承载力理论、方法与应用. 北京: 中国环境科学出版社, 2001. 1~31
- 7 郑世英. 城市生态系统的特征. 生物学通报, 2001, 36 (5): 8
- 8 马世骏, 王如松. 社会-经济-自然复合生态系统. 生态学报, 1984, 4 (1): 1~9
- 9 王如松, 周鸿等. 人与生态学. 昆明: 云南人民出版社, 2004
- 10 Wu R J, Wang X R, Dai L F. Theories and methods of building of eco-city. Shanghai: Fudan University Press, 2000
- 11 罗上华, 马蔚纯, 王祥荣等. 城市环境保护规划于生态建设指标体系实证. 生态学报, 2003, 1: 45~55
- 12 林卫东, 樊振辉, 杨毅等. 南方小流域开发生态质量评价指标体系研究. 广西农学报, 2002, 增刊: 36~42
- 13 毕晓丽, 洪伟. 生态环境综合评价方法的研究进展. 农业系统科学与综合研究, 2001, 17 (2): 122~126
- 14 陈晓剑, 梁梁编著. 系统评价方法及应用. 北京: 中国科学技术大学出版社, 1993
- 15 王寿兵, 吴人坚, 焦必方. 乡镇企业环境经济综合评价指标体系. 上海环境科学, 1998, 17 (5): 21~24
- 16 吴国庆, 杨良山. 浙江生态环境区域类型划分及其建设. 生态经济, 2000, 3: 25~29
- 17 钱争鸣, 陈伟彦. 我国工业经济效益指标评价与主成分分析的实证研究. 统计研究, 1999, (7): 23~26
- 18 Douglas. The Urban Environment. London: Edward Arnold, 1983

- 19 Bridgeman, H Warner, R Dodson, J. Urban Biophysical Environments. Melbourne (Australia): Oxford University Press, 1985
- 20 Oke, T R, Kalanda, B D, Steyn, D G. Parameterization of heat-storage in urban areas. Urban Ecol, 1981, 5: 45~54
- 21 Oke, T R. The energetic basis of the urban heat island. Q J Roy Met Soc, 1982, 108: 1~24
- 22 Tso, C P. A survey of urban heat island studies in two tropical cities. Atmos Environ. 1996, 30: 507~519
- 23 Terjung, W H, Louie, S. A climatic model of urban energy budgets. Geogr Anal. 1974, 21: 341~367
- 24 Tso, C P. Analytical solutions to the near-neutral atmospheric surface energy balance with and without heat storage for urban climatological studies. J. Appl. Met, 1991, 30: 413~424
- 25 Nichol, J E. A GIS-based approach to microclimate monitoring in Singapore's high-rise housing estates. Photo-gramm Eng Rem S, 1994, 60: 1225~1232
- 26 Kawashima S. Relation between vegetation, surface temperature and surface composition in the Tokyo region during winter. Rem. Sens. Environ, 1994, 50: 52~60
- 27 Whitford V. Ecological Indicators for Assessment of Urban Development. M Sc Thesis, Manchester: University of Manchester, 1998
- 28 Finch J, et al. The application of the remote sensing to estimate land cover for urban drainage catchment modelling. J Inst Water Environ Manage, 1989, 3: 558~561
- 29 Huber W, Dickinson R. Storm Water Management Model User's Manual. Georgia: US Environmental Protection Agency, 1988
- 30 Driver N, Troutman, B. Regression models for estimating urban storm run-off quality and quantity in the United States. J Hydrol, 1989, 109: 221~236
- 31 Soil Conservation Service. SCS National Engineering Handbook. Washington DC: US Department of Agriculture, 1972
- 32 Pandit A, Gopalakrishnan, G. Estimation of annual storm run-off coefficients by continuous simulation. J Irr Drainage Eng, 1996, 122: 211~220
- 33 Chow, V T, et al. Applied Hydrology. New York: McGraw Hill, 1988
- 34 Hall, M J. Urban Hydrology. London: Elsevier Applied Science, 1984
- 35 Nowak, D J. Atmospheric carbon reduction by urban trees. forests in removing atmospheric carbon dioxide. J Arbor, 1993, 17: 269~275
- 36 Turner, D P, Koerber, G J. A carbon budget for forests of the coterminous United States. Ecol Appl, 1995, 5: 421~436
- 37 McPherson, E G, Nowak, D J, Rowntree, R. A. Chicago's Urban Forest Ecosystem: Results of the Chicago Urban Forest Climate Project. Radnor : US Department of Agriculture, PA, 1994
- 38 Fleming, L E. Growth estimates of street trees in Central New Jersey. Rutgers: The University of New Jersey, 1988
- 39 Winer, A. M. , et al. Investigation of the Role of Natural Hydrocarbons in Photochemical Smog Formation in California. CA: California Air Resources Board, 1983
- 40 Wenger, K F. Forestry Handbook. New York: Wiley, 1984
- 41 Forman, R. T. Land Mosaics: The Ecology of Landscapes and Regions. Cambridge : Cambridge University Press, 1995
- 42 Begon, M, Harper, J L. Townsend, C R Ecology: Individuals, Populations and Communities. Oxford: Blackwell Science, 1990
- 43 Beeby, A. Applying Ecology. London : Chapman and Hall, 1993
- 44 Handley, J F. Nature in the urban environment. In: Grove, Cresswell (Eds. ), City Landscape. London: Butterworths, 1988. 47~59
- 45 Sekliziotis, S. A Survey of Urban Open Space Using Colour Infra-red Aerial Photographs. Ph. D Thesis, Aston: University of Aston, 1980
- 46 Her Majesty's Government. A Better Quality of Life: A Strategy for Sustainable Development for the United Kingdom CM 4345, London: Department of the Environment Transport and the Regions, 1999
- 47 Urban Task Force. Towards an Urban Renaissance: Department of the Environment. London: Transport and the Regions, 1999

## 思考题

1. 简单介绍城市生态系统的特征。
2. 简单介绍城市生态评估的一般方法。

### 5.1 概述

#### 5.1.1 可持续发展的一般评估方法

1972年,《增长的极限》报告预示了经济的高速发展必将带来经济的最终崩溃,引发了人类对于经济发展形式的思考。同年,联合国“人类环境会议”正式号召各国要高度重视环境问题。会议提出的《人类环境宣言》中:“人类的定居和城市化工作必须加以规划,以避免对环境的不良影响,并为大家取得社会、经济和环境三方面的最大利益”;“为了当代人和后代人,保护和改善人类环境已成为人类紧迫的目标,它必须同世界经济与发展这个目标同步协调地发展”。发展与环境的重要性开始受到人们的重视。1987年,世界环境与发展委员会发表了《我们共同的未来》报告,提出可持续发展的模式。可持续发展的思想是指要求人们放弃传统的高消耗、高增长、高污染的粗放型生产方式和高消费的生活方式。在一定的空间范围内,人类的发展有一定的阈值,只有在阈值范围内的发展才是合理的,超过阈值的发展具有不可持续性,最终导致环境与经济的双重损失。

为了衡量发展的可持续性及其程度,必须确立可持续发展指标体系。1992年联合国环境与发展大会上通过了《里约宣言》和《21世纪议程》等重要文件,号召各国、国际组织和非政府组织建立和运用可持续发展的指标体系,可持续发展的度量研究已日益成为一些国际组织、国家政府以及专家学者关注或研讨的主题。可持续发展指标

一般都是通过对环境、经济和社会系统的评价来反映一定政策的影响。

### 5.1.2 现有的可持续发展指标的种类

可持续发展指标体系是一个庞大的体系，为了反映环境与发展之间的关系，各个国家、部门提出了不同的衡量指标。这些指标体系及其计算方法主要可以分为三类。

(1) 以系统理论和方法为指导构建的指标体系 如：联合国可持续发展委员会(UNCSD)建立的“驱动力-状态-相应”(DSR)指标体系；Prescott Allen提出的“可持续性的晴雨表”模型；中国科学院可持续发展研究组提出的“中国可持续发展指标体系”等。

(2) 以环境货币化估值的指标体系 如：绿色GDP、EPD。绿色GDP是指用以衡量各国扣除自然资产损失后新创造的真实国民财富的总量核算指标。EPD是指在国内生产总值中扣除生产资本的消耗，得到国内生产净值(NDP)的同时，再扣除自然资本消耗，得到经环境调整的国内生产净值，也称绿色国内生产净值(EDP)，这就是联合国综合环境与经济核算体系的核心指标。所以这几者的关系可这样来表示： $EDP < NDP < GDP$ 。从增长率来说，当环境成本的增长快于GDP的增长时，EDP和绿色GDP的增长将低于GDP的增长。“国家财富”、可持续经济福利指数(ISEW)、真实发展指标(GPI)也属于环境货币估值化的指标体系。

(3) 以生物物理量衡量的指标 以生物物理量衡量的指标是最能反映环境与经济发展关系的指标。可持续发展主要处理经济系统和生态系统之间的关系，需要研究人类活动是否仍然处在生态系统的承载能力范围之内。该类指标有环境承载力指标体系、生态足迹等。

### 5.1.3 可持续发展指标的量化方法

可持续发展指标体系是一个庞大的体系，必须顾及经济、环境和社会三个方面。为了确定具体的衡量指标，必须借助一定的方法加以确定和量化。以下几种方法是较为常用的方法。

(1) 层次分析法 定性与定量结合的多目标决策分析方法。先将复杂的评价对象分成若干个方面，对每一个方面都确立一定的目标、分析内容和分析方法。

(2) 熵值法 将影响评价对象的主要指标按照一定的顺序(如时间)列出，根据每项指标的差距赋予权重，差距大的权重也大。即根据指标的无序性判断其对评价对象的影响程度。

(3) 灰色关联度分析法 用于在一系列指标体系中筛选主要的度量指标，保留重要的，舍弃次要的，合并同类者。在比较几个对象的可持续性时，可以用筛选的指标对它们进行评价，并根据结果予以排序。

(4) 相对分析法 依据一定的标准，通过区域内自然条件测定和发展状况判定该区域是否按照标准既定的发展方向。如果是，则认为其具有可持续性；如果不是，则认为其是不可持续的。

## 5.2 环境承载力、资源承载力和生态承载力

### 5.2.1 忽略环境的影响会给城市经济带来的影响及承载力的提出

城市是经济发展的主要载体，也是环境矛盾最为尖锐的区域。城市人口的高度集中，带来了对资源的过度消耗，不但引发了交通拥挤、空气污染、污水处理、垃圾堆积等一系列具体的城市问题，还带来了没有限制的增长、饮用水与卫生设施不足、水灾和地面下沉等区域

性灾害。城市的环境问题还表现在由于居住拥挤、公园绿地减少所引起的生活质量下降上，这种质量的持续下降最终会导致城市的衰落。为了应付以上的城市化现象，城市环境保护问题已被提到城市规划的议程上来，世界各国的规划工作者已普遍认识到，以形态环境为基本对象的城市规划，与环境保护有紧密联系。只有在城市规划中考虑环境问题，才可以从根本上防止环境的进一步恶化，并有利于环境的逐步改善。

虽然环境对城市的影响已经逐渐受到人们的重视，但仍然存在一些问题。例如许多国家已开始大规模投资建设生活用水保障设施、固体废物处理装置等。城市地区能够提供更多的就业机会和更好的教育与医疗服务条件，但是却发现越来越难以提供支持人类健康与福利的物质基础设施。

20世纪70年代初，著名的罗马俱乐部提交的题为《增长的极限》的研究报告是对全球人口承载容量及相关资源、环境问题进行了最具有广泛影响力的一次深入探讨。1977年，联合国粮农组织（FAO）开始进行发展中国家土地的潜在人口承载能力的研究工作。20世纪80年代初开展的资源承载容量的研究，是一项考虑把人口、资源、环境的相互作用引入发展规划的探索性成果。

## 5.2.2 环境承载力

### 5.2.2.1 环境承载力的概念和特点

环境承载力（environmental bearing capacity）的科学定义可表述为：在某一时期，某种状态或条件下，某地区的环境所能承受的人类活动作用的阈值。可表示某一环境状态和结构在不发生对人类生存发展有害变化的前提下对所能承受的人类社会作用在规模、强度和速度上的限制，是环境的基本属性。环境承载力所要研究的环境是指以人类社会为中心的外部世界，环境系统的组成要素有各大气组成物、水、土壤、各种生物以及人类生存所处的近地空间与各种人工构筑物，它们分别构成了大气环境、水环境，土壤环境以及城市环境等要素子系统。环境系统的结构指环境系统各要素之间的联系和相互作用方式，包括各环境要素的存储量及其有规律的运动变化。如果从人类系统选取与环境最为相关的社会子系统与经济子系统，则其与环境系统的相互关系如图5.1所示。

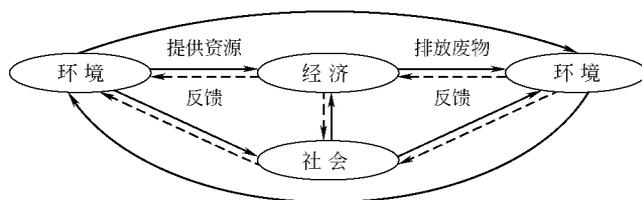


图 5.1 环境系统与人类社会、经济系统的相互作用（唐剑武等，1998）

环境承载力的理论研究与计算方法已经较成熟，在研究中不但考虑量的约束，还考虑了质的影响，同时将社会经济要素纳入承载体系中。这一阶段的研究特点主要表现在以下几方面。

- ① 增加了对社会经济因素的描述；
- ② 既考虑了量的约束，也考虑了质的影响；
- ③ 计量方法基本上还限于构建指数的方法；
- ④ 对于承载对象总是单一考虑（或人口，或经济），很少有将二者综合起来进行计算；
- ⑤ 由于研究目的与内容的不同，出现很多易混淆的概念，如环境容量、环境人口容量、

环境承载力等；

⑥ 承载力作用方式总是通过间接指标进行表达（或人口，或经济），而掩盖了承载基体与承载对象之间复杂的作用关系。

研究环境系统的功能要运用综合的、统计的思维，即研究环境系统结构的宏观表现。再引入环境状态的概念，环境状态是环境系统结构和功能在某一时刻的表现形态，它可以用一系列参量来宏观描述。环境系统作为开放系统，处于不断变化中，依靠太阳能输入，在与人类系统的相互作用中维持低熵状态，其进化方程可以表示为：

$$E = N(H, S, t) + R(t) \quad (5.1)$$

式中， $H$  为人类系统的干扰参量； $S$  为自身的状态向量； $R$  为随机性的涨落； $t$  为时间。这是一个含有确定性的向量函数  $N$  与随机性的向量函数  $R$  的方程。

如果忽略随机性的涨落  $R$ ，设法将人类的干扰作用  $H$  并入状态向量  $S$  之内，认为某一时刻环境系统的状态是环境系统自身运动规律和人类活动共同作用的结果，则：

$$E = N(S, t) \quad (5.2)$$

此时环境系统的状态参量包括环境要素的作用  $O$ 、人类的作用  $H$ ，即

$$S = S(O, H) \quad (5.3)$$

因为人类系统与环境系统的作用是相互的，所以人类系统对环境系统的作用，即人类系统从环境系统获取资源并向其排放废弃物等可以用环境系统承受人类系统的这一作用来描述。实际上，这一作用也是环境系统功能的外在表现，用环境承载量和环境承载力来表示。

要将环境承载力运用于实际工作，需要将其量化。环境承载力是环境系统固有功能的体现，它不仅与环境系统本身的结构有关，还与外界（人类社会经济活动）的输入、输出有关。若将环境承载力  $EBC$  看成一个函数，那么它至少包含三个自变量：时间（ $T$ ）、空间（ $S$ ）、人类经济行为的规模与方向（ $B$ ）：

$$EBC = f(T, S, B) \quad (5.4)$$

在一定时刻上、在一定的区域范围内，可以将环境系统自身的固有特征视为定值，则环境承载力随人类经济行为规模与方向的变化而变化。

针对不同的经济行为方向和环保投入水平，可以画出环境承载力和环境承载量随经济规模的变化图（图 5.2）。图中曲线  $EBC_1$ 、 $EBC_2$ 、 $EBC_n$  表示不同的环保投入水平下的环境承载力；曲线  $EBQ_1$ 、 $EBQ_2$ 、 $EBQ_m$  表示不同的经济行为方向的环境承载量；交点  $C_{ij}$  ( $i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m$ ) 及其相应的经济规模 ( $C_{011} \dots$ ) 表示某一经济行为方向和环保投入水平下的环境承载力和环境承载量平衡点及其对应的最佳经济规模。

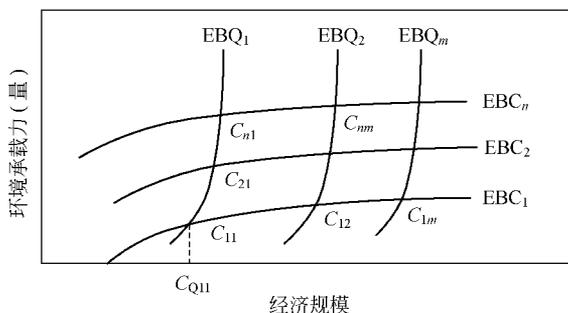


图 5.2 环境承载力和环境承载量变化示意（唐剑武等，1998）

环境承载力的特征表现为时间性、区域性及与人类社会经济行为的相关性。不同的时刻、不同的地点、不同经济行为的作用力，具有不同的环境承载力。环境承载力既是一个客观的表现环境特征的量，又与人类的主观经济行为息息相关。

### 5.2.2.2 环境承载力的量化模型

以上给出的是环境承载力的概念模型，为了得到量化值，使其具有可操作性，必须通过具体的环境承载力指标体系来间接地表达某一区域的环境承载力。由于环境承载力表现了环境与社会、经济的关系，可以将环境承载力视为一个多维向量，其子向量可以分为三类。

自然资源供给类指标，如水资源、土地资源、生物资源等；

社会条件支持类指标，如经济实力、公用设施、交通条件等；

污染承受能力类指标，如污染物的迁移、扩散和转化能力，绿化状况等。

(1) 环境承载率 环境承载 EBQ 表示不同的经济行为方向的环境承载量，作为一定经济条件下的环境因子，可用污染承受类指标，可用  $\text{SO}_2$ 、TSP、COD、总 P 浓度、噪声等表示；EBC 表示相应经济规模下一定环保投资水平下的环境承载力，作为社会条件类的指标，可用单位绿地面积人群数、单位居住面积人群数等来表示。在给出 EBQ 和 EBC 的各项指标值后，引入环境承载率 EBR ( $\text{EBR} = \text{EBQ}/\text{EBC}$ ) 来进行评价：当  $\text{EBR} > 1$ ，表明环境承载量超出环境承载力阈值，即超载，将可能引发相应的环境问题。

(2) 环境承载力的矢量模型 如果要对人类社会行为作用方向相同的  $m$  个地区的环境承载力进行比较。不妨设此  $m$  个地区的环境承载力为： $E_j, j=1, 2, \dots, m$ 。再设每个环境承载力由  $n$  个分量组成，即有： $E_j = (E_{1j}, E_{2j}, E_{3j}, \dots, E_{nj})$ 。进行归一化处理， $\bar{E}_j = (\bar{E}_{1j}, \bar{E}_{2j}, \bar{E}_{3j}, \dots, \bar{E}_{nj})$ 。其中  $\bar{E} = (\bar{E}_{1j}, \bar{E}_{2j}, \bar{E}_{3j}, \dots, \bar{E}_{nj})$ 。这样，第  $j$  个环境承载力的大小可以用归一化后的矢量的模来表示，即

$$|\bar{E}_j| = \sqrt{\sum_{i=1}^n \bar{E}_{ij}^2} \quad (5.5)$$

这里，视每一分量的权重是一样的。若引入权重  $\lambda_i (i=1, 2, \dots, n)$ ，则

$$|\bar{E}_j| = \sqrt{\sum_{i=1}^n (\lambda_i \bar{E}_{ij}^2)} \quad (5.6)$$

### 5.2.2.3 环境承载力的应用实践

环境承载力作为衡量社会经济与发展是否匹配的重要尺度，可从产业结构与环境承载力是否匹配，布局是否能提高环境承载力等角度来考察。同样，利用区域环境承载力研究的结果调整人类经济发展行为，是环境科学对社会经济发展的重要贡献之一。将环境承载力理论应用于区域环境规划、生产布局及经济结构的调整上，取得了较满意的结果。

在实例研究中，初步通过不同地区（实例 5.1）和不同的人类政策行为（实例 5.2）的环境承载力间的比较来阐明环境承载力的概念和应用方法。

#### 【实例 5.1】湄洲湾开发区环境规划

湄洲湾开发区位于福建省中部沿海，这里具有作为国际中转海港的位置条件。目前规划区大致划为秀屿、肖厝和东吴三个规划小区，以及东岭等一些待开发区。本课题应用环境承载力，通过比较秀屿、肖厝、东吴和东岭 4 个区的环境承载力大小，来确定各自的产业结构和生产力布局。初步选择 5 项指标作为环境承载力的 5 个分量来比较 4 个规划小区的环境承载力大小：大气环境质量类，水环境质量类，水生生态稳定性类（以不出现赤湖为界），水资源类，土地资源类。

根据环境承载力的表述, 分别得到 4 个小区的环境承载力

$$E_j = (E_{1j}, E_{2j}, E_{3j}, E_{4j}, E_{5j}) \quad j=1, 2, 3, 4. \quad (5.7)$$

秀屿区:  $E_1 = (0.247, 0.040, 0.20, 0.132, 0.075)$

东吴区:  $E_2 = (0.253, 0.325, 0.20, 0.132, 0.201)$

肖厝区:  $E_3 = (0.246, 0.237, 0.20, 0.312, 0.287)$

东岭区:  $E_4 = (0.254, 0.397, 0.40, 0.424, 0.437)$

因此, 得到各规划小区的环境承载力综合值(模)为: 秀屿: 0.033; 东吴: 0.087; 肖厝: 0.11; 东岭: 0.16。综合分析上述环境承载力的具体数据, 提出经济布局上的建议: 秀屿区不宜作为工业发展区; 东吴区宜发展港口、火电厂等; 肖厝区可以发展石油炼制、石化与海洋化工; 东岭区有供发展重工业的环境条件。

### 【实例 5.2】 临淄地区水环境规划

在临淄地区的水环境规划中, 进一步用环境承载力理论研究了在不同的人类政策行为作用下环境承载力的大小比较。

假设一个地区在制定经济发展规划时, 有  $m$  个政策, 其实施结果就有  $m$  个水环境承载力, 假设此  $m$  个水环境承载力为  $E_j, j=1, 2, \dots, m$ , 若每个水环境承载力又由  $n$  个具体指标所确定的分量组成, 即有:  $E_j = (E_{1j}, E_{2j}, E_{3j}, \dots, E_{nj})$ 。同理, 第  $j$  个水环境承载力的大小可以用归一化后的矢量的模来表示, 即

$$|\vec{E}_j| = \sqrt{\sum_{i=1}^n \vec{E}_{ij}^2} \quad (5.8)$$

基于城市水环境承载力指标的水资源和水污染这两大内容, 初步选定 9 个与它们有密切关系且针对我国国情的具体指标。这些指标不仅是水环境系统本身的结构组成与人类社会经济活动之间的相互作用的表现, 而且都和水环境承载力的大小成正比关系, 其中包括以下几项。

- ① 人均工业产值;
- ② 城市化水平(城市非农业人口/总人口)的倒数;
- ③ 工业固定资产产出率(工业产值/工业固定资产);
- ④ 单位水资源消耗量的工业产值(工业产值/工业取水量);
- ⑤ 单位水资源消耗量的农灌面积(每亩浇灌地用水量);
- ⑥ 可供水量与总用水量之比;
- ⑦ 污水处理投资占工业投资之比;
- ⑧ 污水处理率;
- ⑨ 单位 COD 排放量的工业产值(工业产值/工业 COD 总排放量)。

根据上述水环境承载力的具体指标, 可计算本地区同一时期在不同的发展政策下水环境承载力的各个分量  $E_{ij}$ 。进行归一化处理, 得到的综合指数就可以比较该区域的水环境承载力, 并为水环境与经济发展的综合协调对策提供理论依据。本研究应用系统动力学的方法建立了临淄区水资源与水污染的动态预测与决策模型。根据预测结果, 选择 2010 年体现水环境与经济发展关系的 7 个对策(包括现行政策  $j=1, 2, \dots, 7$ ), 按照前述 9 项指标(即  $i=1, 2, \dots, 9$ ), 计算出 2010 年每一发展对策下的水环境承载力的 9 个分量  $E_{ij} (i=1, 2, \dots, 9, j=1, 2, \dots, 7)$  以及综合值(见表 5.1)。

表 5.1 2010 年临淄区在不同发展策略下水环境承载力各分量及综合值 (唐剑武等, 1998)

水环境承载力	原始策略	策略 1	策略 2	策略 3	策略 4	策略 5	综合策略
分量 1	0.152	0.140	0.139	0.137	0.137	0.139	0.156
分量 2	0.142	0.143	0.143	0.143	0.143	0.143	0.143
分量 3	0.142	0.143	0.143	0.142	0.142	0.143	0.145
分量 4	0.121	0.214	0.121	0.121	0.121	0.121	0.181
分量 5	0.111	0.111	0.222	0.111	0.111	0.111	0.223
分量 6	0.112	0.216	0.128	0.122	0.122	0.152	0.148
分量 7	0.111	0.111	0.111	0.111	0.222	0.111	0.223
分量 8	0.142	0.155	0.131	0.133	0.133	0.130	0.176
分量 9	0.114	0.205	0.114	0.114	0.114	0.114	0.159
综合值	0.385	0.494	0.428	0.426	0.391	0.391	0.526

从表 5.1 中可以看出, 若本区按现行政策发展, 到 2010 年其水环境承载力最小。按照综合策略运行, 未来水环境承载力可以逐步提高, 使水环境与经济建设的矛盾 (诸如供水短缺、水污染加重等) 在发展中得到缓和或控制, 为持续发展指明道路。针对本区实际情况, 提高污水回用率及污水资源化程度, 减少工业取水量及提高工业重复用水率, 改善农业种植结构及灌溉技术, 削减工业废水中的污染物浓度等是亟待解决的主要问题。

#### 5.2.2.4 区域环境承载力

区域环境承载力以区域社会经济-区域环境结构系统为研究对象, 一方面研究环境系统的微观结构、特征和功能, 另一方面研究区域社会经济活动的方向、规模。把两个方面结合起来, 以量化手段表征出两个方面的协调程度, 就是区域环境承载力研究的目的。

为了更加客观和科学地反映出一定时期内区域环境系统对区域社会经济活动的承受能力的实际情况, 更好地反映区域环境质量状况, 可以用区域环境承载力饱和度的概念和计量模型。所谓区域环境承载力饱和度是指在某一区域范围内, 在某一时期区域环境承载力指标体系中各项指标所代表的在该状态下的取值与各项指标理想状态下取上限值的比值。即

$$P_x = E_x / E_m \quad (5.9)$$

式中  $P_x$  —— 区域环境承载力指标体系中某一指标饱和度;

$E_x$  —— 区域环境承载力指标体系中某一指标的取值;

$E_m$  —— 区域环境承载力指标体系中某一指标的上限值。

为了从区域环境系统的整体性来分析区域环境承载力研究的结构大小变化情况, 还需求取区域综合环境承载力饱和度。区域环境承载力饱和度反映了区域社会经济活动不是一种没有制约因素的永无止境的过程, 实际上最大的制约因素是通过区域环境承载力表征出来。

区域环境承载力研究的结构指标体系中的指标因子既要相互联系, 又要相互独立, 可以分为发展类变量指标因子  $D_i = (D_1, D_2, D_3, \dots, D_n)$  和限制类变量因子  $R_j = (R_1, R_2, R_3, \dots, R_m)$ 。

其中,  $D_i (i=1, 2, 3, \dots, n)$  和  $R_j (j=1, 2, 3, \dots, m)$  分别代表两类指标因子中的各个元素。两类指标所构成的  $m+n$  维空间矢量, 综合表征了区域环境承载力, 当统一量纲后,  $m+n$  维空间矢量模型的大小即是区域环境承载力的大小。

由于区域环境系统中各个要素是相互联系、相互影响的, 所以在分析区域环境承载力大小的同时, 应该弄清各项指标对区域环境承载力影响程度的大小, 进行关联度分析。可以采用灰色关联度的方法建立区域环境承载力的计量模型。步骤如下。

(1) 先确定各项指标不同年份的实测值，作为比较数据列

$$X_{i(j)} = \{x_{i(j)}\} (i=1, 2, \dots, N; j=1, 2, \dots, n) \quad (5.10)$$

再根据区域环境目标，确定各项指标的上限值作为参考数据列，然后按灰色关联度计量公式，可以求出各项指标的灰色关联度。

(2) 按各指标关联度由大到小进行排序，从而得到各项指标对区域环境承载力研究的结构影响程度的大小。

(3) 将原始灰色系统中的数据作累加生成数，建立一个微分方程模型求解，然后再做累减生成数，预测数据列发展趋势。建立的微分方程即灰色预测模型 (GM)，GM (1, 1) 是其中的一类。

(4) 根据已有的各项指标若干年份的原始数据，构成指标体系中各项指标的数据序列。

$$X_j^{(0)}(i) = \{x_j^{(0)}(i)\} \quad (5.11)$$

式中， $i=1, 2, 3, \dots, n$ ;  $j=1, 2, 3, \dots, m$ ;  $i$  代表年份， $j$  代表指标数。按照 GM(1,1) 模型，即可预测到相应年份各项指标的数据值。

(5) 设有区域  $i$  选取  $m+n$  个指标  $E_j$  ( $j=m+n$ ;  $m$  为发展类变量指标个数， $n$  为限制类变量指标个数)，单项指标区域环境承载力大小为空间矢量  $E_i$  的模。 $E_i$  是  $j$  维空间上一个矢量。

$$E_i = (E_{i1}, E_{i2}, E_{i3}, \dots, E_{m+n}) \quad (5.12)$$

进行归一化处理：

$$\begin{aligned} \tilde{E}_{ij} &= E_{ij} / \sqrt{\sum_{j=1}^{m+n} E_{ij}^2} \\ \tilde{E}_i &= (\tilde{E}_{i1}, \tilde{E}_{i2}, \tilde{E}_{i3}, \dots, \tilde{E}_{im+n}) \end{aligned}$$

考虑各项指标的权重后，可以求得  $\tilde{E}_{ij}$ ，其模型为：

$$|\tilde{E}_i| = \sqrt{\sum_{j=1}^{m+n} (\tilde{E}_{ij} \cdot W_{ij})^2}$$

其中， $W_{ij}$  为区域上第  $j$  项指标的权重值。

当各种指标取上限值时，区域环境承载力就是这种状态下的理想值，用  $\tilde{E}_{i\max}$  表示，即有：

$$|\tilde{E}_{i\max}| = \sqrt{\sum_{j=1}^{m+n} (\tilde{E}_{ij\max} \cdot W_{ij})^2}$$

其中

$$\tilde{E}_{ij\max} = \tilde{E}_{ij\max} / \sqrt{\sum_{j=1}^{m+n} \tilde{E}_{ij\max}^2}$$

综合考虑各项指标后，按如下模型可求得区域综合环境承载力饱和度。

$$P = \left\{ \sum_{j=1}^{m+n} \left[ \left( \frac{\tilde{E}_{ij}}{\sum_{j=1}^{m+n} \tilde{E}_{ij}} \right) / \left( \frac{\tilde{E}_{ij\max}}{\sum_{j=1}^{m+n} \tilde{E}_{ij\max}} \right) \right]^2 \right\}^{\frac{1}{2}}$$

其中， $P$  表示区域综合环境承载力饱和度。

### 【实例 5.3】上海市浦东新区 5 个开发小区区域环境承载力分析

按照以上研究方法，彭再德等对上海市浦东新区 5 个开发小区区域环境承载力进行了分析研究。共选取区域人口总数、区域  $\text{SO}_2$  年排放量、区域  $\text{BOD}_5$  日排放量、区域  $\text{NH}_3\text{-N}$  日排放量、工业用地面积、居住用地面积、绿化用地面积、人均道路总长度 8 项指标组成浦东

新区区域环境承载力指标体系；再根据 1988~1992 年各项指标的实测值，在确定了各个指标的权重值后，求出了各项指标的灰色关联度及 1995 年和 2000 年的区域综合环境承载力和区域综合环境承载力饱和度值，结果如表 5.2、表 5.3。

表 5.2 5 个开发小区 8 项指标灰色关联度（彭再德等，1997）

指 标	外高桥-高桥	陆家嘴-花木	庆宁寺-金桥	北蔡-张江	周家渡-六里
总人口数量	0.7791	0.7536	0.7939	0.7082	0.6156
SO <sub>2</sub> 年排放量	0.7177	0.7157	0.7202	0.7015	0.7200
BOD <sub>5</sub> 日排放量	0.6465	0.6456	0.6450	—	0.6436
NH <sub>3</sub> -N 日排放量	0.6455	0.6454	0.6432	—	0.6125
工业用地面积	0.6368	0.5982	0.6714	0.6517	0.6126
居住用地面积	0.5973	0.6368	0.6570	0.7176	0.7277
绿化用地面积	0.7125	0.7326	0.6665	0.6220	0.7435
人均道路总长度	0.7746	0.7803	0.7323	0.7743	0.7290

表 5.3 5 个开发小区区域环境承载力及区域环境承载力饱和度预测值（彭再德等，1997）

区 域	年 份	$E_i$	$E_{i\max}$	$P_i$
外高桥-高桥	1995	0.18	0.23	0.78
	2000	0.19		0.83
陆家嘴-花木	1995	0.13	0.23	0.56
	2000	0.15		0.65
庆宁寺-金桥	1995	0.15	0.25	0.50
	2000	0.17		0.73
北蔡-张江	1995	0.16	0.24	0.67
	2000	0.19		0.79
周家渡-六里	1995	0.09	0.24	0.37
	2000	0.16		0.67

注： $E_i$  是指区域  $i$  的区域综合环境承载力； $E_{i\max}$  是指区域  $i$  的最大区域综合环境承载力； $P_i$  是指区域  $i$  在某一时期区域综合环境承载力饱和度。

#### 5.2.2.5 资源承载力

资源承载力研究针对人类社会发展过程中出现和各种资源问题从人地关系角度提出了具有指导意义的解决方法，为区域人口规划及适度人口计算提供了一定科学依据。这一研究阶段的特点主要表现在以下几方面。

- ① 承载对象从生物种群过渡到人口，研究更具有现实意义。
- ② 从供需平衡角度研究人口与资源的关系，有助于在一定时期、一定地区对人口规模与资源利用方式进行适当调控。
- ③ 传统的土地资源承载力研究，对土地资源的内涵理解不够全面，未考虑人类长期活动的影响。
- ④ 传统的资源承载力研究将所研究区域看作一个封闭系统，得出的结论有一定的片面性。
- ⑤ 在资源承载力研究中，对生活水平问题理解片面，一般只将满足一定生活水平下的食物消费作为人口容量的衡量标准，但人口增长不只限于单纯的食物供应，尤其是随着生活水平标准越来越高，除了衣食住行外，人们将环境质量也作为一种基本的生存需求。

#### 5.2.2.6 生态承载力

生态系统承载力（简称生态承载力）的研究是从环境（资源）承载力研究的基础上发展

起来的，是较综合性的研究。

自然生态承载力是自然体系调节能力的客观反映。然而，自然体系的这种维持能力和调节能力是有一定限度的，也就是有一个最大容载量（承载力），超过最大容载量，自然体系将失去维持平衡的能力，遭到毁灭或濒于灭绝，由高一级别的自然体系（如绿洲）降为低一级别的自然体系（如荒漠）。

生态承载力不同于载畜量和土地承载力，后两者只是众多生态因素中的一部分或是某一组分，它们的演化过程虽然也存在强弱不同的生物过程，但仍然强烈地体现着简单的受条件约束的特征，可以通过对草被产量需求或换算成热能计算出来。

生态承载力由于受众多因素和不同时空条件制约，直接模拟计算十分困难。但是，特定生态地理区域内第一性生产者的生产能力是在一个中心位置上下波动的，而这个生产力是可以测定的，同时可与背景（或本底）数据进行比较。偏离中心位置的某一数值可视为该区域生态系统承载力的阈值，这种偏离一般是由于内外干扰使某一自然体系变化（上升或下降）成为另一等级的自然体系。因此可以通过对自然植被净第一性生产力的估测确定该区域生态承载力的指示值。同时通过实测，判定现状生态环境质量偏离本底数据的程度，以此作为自然体系生态承载力的指标，并据此确定区域的开发类型和强度。

城市生态系统较自然生态系统更为复杂，是不能只靠自然体系调节能力能够完成的。作为人口大量集中的城市，人类充分利用自然资源为己服务，重视经济建设和工业发展，忽视自然资源的有限性。随着物质生活的飞速发展，人类逐渐意识到环境对人类的反作用力，特别是可持续发展思想的提出，反映区域城市经济发展对自然环境影响程度的城市生态承载力呼之欲出。如何衡量经济发展对自然环境的影响程度？怎样体现自然资源对经济发展的支持限度？这都是城市生态承载力应该回答的问题。Wackernagel 等人在 1992 年提出并在 1996 年由 Wackernagel 完善的生态足迹模型是目前较能全面反映人类与生态的相互关系的。它通过测定现今人类为了维持自身生存而利用自然的量来评估人类对生态系统的影响。以城市作为整体区域研究生态承载力具有可行性和优势性。

① 作为生产力集中的区域，城市是整个国家经济发展的核心。同时，城市又是人口最密集，对自然环境索取最大，回报最少的区域。城市生态承载力的研究以持续发展为目的，人类与生态的协调发展将导致经济的进一步发展。

② 基于现今阶段城市管理职能的规范与细化，与其他不发达区域相比，记录经济发展和城市资源环境状况的各类统计数据更加完善，城市生态承载力的计算能得出有效的结果。

## 5.3 生态足迹

### 5.3.1 提出及概念

生态足迹（ecological footprint）最早是由加拿大生态经济学家 William Rees 等在 1992 年提出，并由其博士生 Wackernagel 从 1996 年开始完善的。

关于生态足迹（ecological footprint）的概念，最初 William Rees 将其形象地比喻为“一只负载着人类与人类所创造的城市、工厂……的巨脚踏在地球上留下的脚印”；Wackernagel 于 1996 年进一步提出生态足迹的概念，其定义是：任何已知人口（某个人、一个城市或一个国家）的生态足迹是生产这些人口所消费的所有资源和吸纳这些人口所产生的所有废弃物所需要的生物生产土地的总面积和水资源量。将一个地区和国家的资源、能源消费同

自己所拥有的生态能力进行比较，能判断一个国家或地区的发展是否处于生态承载力的范围内，是否具有安全性。

### 5.3.2 生态足迹的事实基础

生态足迹概念的提出以及生态足迹分析法的应用都基于以下两个基本事实。

① 人类能够确定自身所消费的绝大多数资源及其所产生的废弃物；

② 这些资源和废弃物大部分能够被转换为相应的具有生产力和生物量的生物生产性土地或水域。

生态足迹分析通过跟踪国家或区域的能源和资源消费，将它们转化为提供这种物质流所必需的生物生产土地面积，并同国家和区域范围所能提供的这种生物生产土地面积进行比较，来判断一个国家或区域的生产消费活动是否处于当地生态系统承载力范围内，是否具有安全性。

### 5.3.3 生态足迹分析的主要内容

#### 5.3.3.1 度量基础

(1) 生态生产性土地 “生态生产性土地”是生态足迹分析法为各类自然资本提供的统一度量基础。生态生产也称生物生产，是指生态系统中的生物从外界环境中吸收生命过程所必需的物质和能量转化为新的物质，从而实现物质和能量的积累。生态生产是自然资本产生自然收入的原因。自然资本产生自然收入的能力由生态生产力 (ecological productivity) 衡量。生态生产力越大，说明某种自然资本的生命支持能力越强。由于自然资本总是与一定的地球表面相联系，因此生态足迹分析用生态生产性土地的概念来代表自然资本。所谓生态生产性土地 (ecologically productive area) 是指具有生态生产能力的土地或水体。这种替换极大地简化了对自然资本的统计，并且各类土地之间总比各种繁杂的自然资本项目之间容易建立等价关系，从而方便于计算自然资本的总量。事实上，生态足迹分析法的所有指标都是基于生态生产性土地这一概念而定义的。根据生产力大小的差异，地球表面的生态生产性土地可分为 6 大类。

① 化石能源地 (fossil energy land) 生态足迹分析法强调资源的再生性。从理论上讲，为了保证自然资本总量不减少，人们应该储备一定量的土地来补偿因化石能源的消耗而损失的自然资本的量。但实际情况是，人们并没有做这样的保留。所以，从这个角度来看，人们现在是在直接消费资本。

② 可耕地 (arable land) 从生态分析来看，可耕地是所有生态生产性土地中生产力最大的一类：它所能积聚的生物量是最多的。根据联合国粮农组织 (FAO) 的报告，目前世界上几乎所有最好的可耕地，大约 13.5 亿平方公里，都已处于耕种的状态；并且每年其中大约 100 万平方公里的土地又因土质严重恶化而遭废耕。这意味着，今天世界上平均每个人所能得到的可耕地面积已不足  $0.25\text{km}^2$  了。

③ 牧草地 (pasture) 即适用于发展畜牧业的土地。全球目前大约有 33.5 亿平方公里的牧草地，折合人均约  $0.6\text{km}^2$ 。绝大多数牧草地在生产力上远不及可耕地，不仅是因为它们积累生物量的潜力不如可耕地，也因为由植物能量转化到动物能量过程存在着著名的 1/10 率，使得实际上可为人所用的生化能的量减少了。

④ 森林 (forest) 指可产出木材产品的人造林或天然林。当然，森林还具有其他许多功能，如防风固沙、涵养水源、改善气候、保护物种多样性等。全球现有森林约 34.4 亿平方公里，相当于人均  $0.6\text{km}^2$  的面积。目前，除了少数偏远的、难以进入的密林地区外，大

多数森林的生态生产力并不高。此外，牧草地的扩充已经成为森林面积减少的主要原因之一。

⑤ 建成地 (built-up areas) 包括各类人居设施及道路所占用的土地。这类土地的世界人均占有量现已接近  $0.03\text{km}^2$ 。由于人类的大部分建成地位于地球最肥沃的土地上，建成地对可耕地的减少具有不可推卸的责任。

⑥ 海洋 (sea) 海洋覆盖了地球上 366 亿平方公里的面积，相当于人均  $6\text{km}^2$ 。但是，海洋里 95% 的生态生产量归功于这  $6\text{km}^2$  中的大约  $0.5\text{km}^2$ ，它是海洋中所能给予人类最慷慨的量了。由于人们喜欢吃的鱼在食物链中排位较高，人类实际能从海洋中获取的食物是比较有限的。具体说来，这  $0.5\text{km}^2$  大约每年能提供鱼 18kg，而其中仅有 12kg 能最后落在人们的饭桌上，其所能保证的仅是人类卡路里摄入量的 1.5%。

(2) 全球生态标杆 根据上面对各类生态性土地的分析，可知现在全球人均对各类生态性土地的拥有量分别为： $0\text{km}^2$  化石能源地、 $0.25\text{km}^2$  可耕地、 $0.6\text{km}^2$  牧草地、 $0.6\text{km}^2$  林地、 $0.03\text{km}^2$  建成地及  $0.5\text{km}^2$  海洋面积。考虑到各类土地之间生产力的差异，分别赋予它们 1.1、2.8、0.5、1.1、2.8、0.2 的权重，然后将上述值加权求和，得到人均拥有约  $1.8\text{km}^2$  生态土地的一个结果。根据世界环境与发展委员会 (WCED) 的报告，至少有 12% 的生态容量需要被保存，以保护生物多样性，这意味着在人均  $1.8\text{km}^2$  拥有量中需扣除约  $0.2\text{km}^2$  土地来供给地球上其他生物生存所需。这样能为人所使用的土地面积只剩下  $1.6\text{km}^2/\text{人}$ 。这个  $1.6\text{km}^2$  的土地即是所谓的“全球生态标杆” (global ecological benchmark) 的值。可见，全球生态标杆实际上是全球人均总生态承载力，衡量的是人均全球总生态容量。

### 5.3.3.2 指标体系

在生态生产性土地的概念基础上，生态足迹研究者建立了一系列指标来计量人地系统间自然资本的供需情况和可持续程度。

(1) 生态容量与生态承载力 传统研究中所采用的生态承载力 (ecological capacity) 以人口计量为基础，它反映在不损害区域生产力的前提下，一个区域有限的资源能供养的最大人口数。然而，在现实世界中，贸易、技术进步、地区之间迥异的消费模式等因素不断地向这个基于人口的“生态承载力”指标功能发出挑战。人们认识到人类对环境的影响不仅取决于人口本身的规模，而且也取决于人均对环境的影响规模，因此单从其中一个方面来衡量生态容量是不准确的。

Hardin 在 1991 年进一步明确定义生态容量为在不损害有关生态系统的生产力和功能完整的前提下，可无限持续的最大资源利用和废物产生率。生态足迹研究者接受了 Hardin 的思想，并将一个地区所能提供给人类的生态生产性土地的面积总和定义为该地区的生态承载力，以表征该地区生态容量。

(2) 人类负荷与生态足迹 人类负荷 (human load) 指的就是人类对环境的影响规模，正如前面所提到的，它由人口自身规模和人均对环境的影响规模共同决定。

生态足迹分析法用生态足迹来衡量人类负荷。它的设计思路是：人类要维持生存必需消费各种产品、资源和服务，人类的每一项最终消费的量都追溯到提供生产该消费所需的原始物质与能量的生态生产性土地的面积。所以，人类系统的所有消费理论上都可以折算成相应的生态生产性土地的面积。在一定技术条件下，要维持某一物质消费水平下的某一人口的持续生存必需的生态生产性土地的面积即为生态足迹，它既是既定技术条件和消费水平下，特

定人口对环境的影响规模，又代表既定技术条件和消费水平下，特定人口持续生存下去而对环境提出的需求。在前一种意义上，生态足迹衡量的是人口目前所占用的生态容量；从后一种意义讲，生态足迹衡量的是人口未来需要的生态容量。由于考虑了人均消费水平和技术水平，生态足迹涵盖了人口规模与人均对环境的影响力。

(3) 生态赤字/盈余 一个地区的生态承载力小于生态足迹时，出现生态赤字 (ecological deficit)，其大小等于生态足迹减去生态承载力的余数；生态承载力大于生态足迹时，则产生生态盈余 (ecological remainder)，其大小等于生态承载力减去生态足迹的余数。生态赤字表明该地区的人类负荷超过了其生态容量，要满足其人口在现有生活水平下的消费需求，该地区要么从地区之外进口欠缺的资源以平衡生态足迹，要么通过消耗自然资本来弥补收入供给流量的不足。这两种情况都说明地区发展模式处于相对不可持续状态，其不可持续的程度用生态赤字来衡量。相反，生态盈余表明该地区的生态容量足以支持其人类负荷，地区内自然资本的收入流大于人口消费的需求流，地区自然资本总量有可能得到增加，地区的生态容量有望扩大，该地区消费模式具相对可持续性，可持续程度用生态盈余来衡量。

(4) 全球赤字/盈余 假定地球上人人具有同等的利用资源的权利，那么各地区可利用的生态容量就可以定义为其人口与全球生态标杆的乘积。因此，如果一个地区人均生态足迹高于全球生态标杆，即该地区对环境的影响规模超过其按照公平原则所分摊的可利用的生态容量，因而产生赤字。这种赤字称为该地区的全球生态赤字 (global deficit)。相反，如果人均生态足迹低于全球生态标杆，即该地区对环境的影响规模低于其按照公平原则所分摊的可利用的生态容量，因而产生盈余。这种盈余称为全球盈余 (global remainder)。全球赤字用于测度地区发展不可持续程度，全球盈余用来衡量可持续程度。

### 5.3.4 城市生态足迹计量分析方法

#### 5.3.4.1 生态足迹模型

生态足迹模型是一种计算人类的生态消费、衡量生态可持续的测量工具，在某种程度上可以认为它是测量生态可持续性的生态底线的衡量标准，是国家地区自然资产核算的一种廉价而快速的计算框架。它根据一定的人口和经济规模，计算维持资源消费和废弃物的吸收所需要的尚未生产的土地面积，这个指标是理解和解释可持续发展等诸多方面的一个综合指标。运用生态足迹模型的计算结果，可以将生态足迹的现实需求与自然能够提供的生态服务的实际供给两个方面进行量化比较，可以反映人类是否生存于自然系统的生态承载力范围内，从而能够定量衡量人类对自然生态系统的影响，这也是人类要维持自然生态系统的良性循环、实现可持续发展所必须知道的。

#### 5.3.4.2 城市生态足迹计量方法

生态足迹计量分析的重点是生态足迹计算。按照数据的获取方式，计算一个地区的生态足迹通常有两种方法。第一种是自下而上法，即通过发放调查问卷、查阅统计资料等方式先获得人均的各种消费数据；第二种方法是自上而下法，根据地区性或全国性的统计资料查取地区各消费项目的有关总量数据，再结合人口数得到人均的消费量值。无论哪种方法，生态足迹的计算都遵循以下 5 个步骤和具体方法。

第一步，计算各主要消费项目的人均年消费量值。

① 划分消费项目 Wackernagel 在 1997 年计算 52 个国家和地区的生态足迹时，将消费分为消费性能源和食物，而在 1998 年对智利首都圣地亚哥的研究中将消费分为粮食及木材消费、能源消费和日常用品消费等项目。

② 计算区域第  $i$  项年消费总量，计算公式为：消费 = 产出 + 进口 - 出口。

③ 计算第  $i$  项的人均年消费量值 ( $C_i$ , kg)。

第二步，计算为了生产各种消费项目人均占用的生态生产性土地面积。

利用生产力数据，将各项资源或产品的消费折算为实际生态生产性土地的面积，即实际生态足迹的各项组分。设生产第  $i$  项消费项目人均占用的实际生态生产性土地面积为  $A_i$  (km<sup>2</sup>/人)，其计算公式如下。

$$A_i = C_i / P_i$$

其中  $P_i$  为相应的生态生产性土地生产第  $i$  项消费项目的年平均生产力 (kg/km<sup>2</sup>)。

第三步，计算生态足迹。

① 汇总生产各种消费项目人均占用的各类生态生产性土地，即生态足迹组分。

② 计算等价因子 ( $\gamma$ )。6 类生态生产性土地的生态生产力是存在差异的。等价因子就是一个使不同类型的生态生产性土地转化为在生态生产力上等价的系数。其计算公式为：

$$\text{某类生态生产性土地的等价因子} = \frac{\text{全球该类生态生产性土地的平均生态生产力}}{\text{全球所有各类生态生产性土地的平均生态生产力}}$$

③ 计算人均占用的各类生态生产性土地等价量。

④ 求各类人均生态足迹的总和 (ef)：

$$ef = \sum \gamma A_i$$

⑤ 计算地区总人口 ( $N$ ) 的总生态足迹 (EF)：

$$EF = N \times (ef)$$

第四步，计算生态容量。

① 计算各类生态生产性土地的面积。

② 计算生产力系数。

由于同类生态生产性土地的生产力在不同国家和地区之间是存在差异的，因而各国各地区同类生态生产性土地的实际面积是不能直接进行对比的。生产力系数就是一个将各国各地区同类生态生产性土地转化为可比面积的参数，是一个国家或地区某类土地的平均生产力与世界同类平均生产力的比率。例如，加拿大牧地的生产力系数等于 2.04，表明相同面积条件下加拿大的牧地生产力要比世界平均的牧地生产力高出 104%。

③ 计算各类人均生态容量。其计算公式为：

$$\text{某类人均生态容量} = \text{各类生态生产性土地的面积} \times \text{等价因子} \times \text{生产力系数}$$

④ 总计各类人均生态容量，求得总的人均生态容量。

第五步，计算生态盈余（或赤字）和全球生态盈余（或赤字）。

### 5.3.4.3 应用实例

#### 【实例 5.4】 中国生态足迹计算

以 Wackernagel 和 Rees 提出的生态足迹计算方法为理论依据，采用联合国粮农组织有关生物资源 1993 年的世界平均产量资料来处理生物资源生产面积的折算。考虑到增加大气中 CO<sub>2</sub> 的浓度将是不可持续发展，在计算中采用的是估计吸收 CO<sub>2</sub> 排放所需要的土地面积来处理能源用地，数据来自 Wackernagel 的国家足迹报告及附盘。依据上述基本数据，按照前述的计算方法，将中国的土地利用类型划分为耕地、草地、林地、建筑用地、化石能源用地和水域（表 5.4）。因资料的原因，在 1999 年分省的足迹计算中未考虑水域的利用。

表 5.4 中国 1999 年生态足迹计算汇总表 (徐中民等, 2002; 徐中民等, 2003)

人均生态足迹				人均生态承载力			
土地类型	人均面积 /(hm <sup>2</sup> /人)	均衡因子	均衡面积 /(hm <sup>2</sup> /人)	土地类型	人均面积 /(hm <sup>2</sup> /人)	均衡因子	均衡面积 /(hm <sup>2</sup> /人)
耕地	0.1008	2.8	0.2832	耕地	0.103	1.66	0.480
草地	0.6276	0.5	0.3138	草地	0.318	0.19	0.030
森林	0.0206	1.1	0.0226	森林	0.209	0.91	0.209
化石能源用地	0.5752	1.1	0.6328	CO <sub>2</sub> 吸收	0.000	0.00	0.000
建筑用地	0.0109	2.8	0.0306	建筑用地	0.010	1.66	0.047
海洋	0.2172	0.2	0.0434	海洋	0.037	1.00	0.007
总足迹需求量			1.3254	生态承载力			0.773
				生物多样性保 护面积(-12%)			0.093
				总供给面积			0.680

注: 计算资料来自《中国统计年鉴(2000)》, 由于四舍五入的关系, 表中计算数据存在一定的误差。

就全球的平均生产能力来看, 按 1999 年中国 12.59 亿人计算, 中国人均生态足迹为 1.326hm<sup>2</sup>, 而人均生态承载力为 0.681hm<sup>2</sup>, 人均赤字为 0.645hm<sup>2</sup>, 中国的生态足迹已经超出其生态承载力的 94%。与世界 1997 年人均生态承载力 2hm<sup>2</sup> (已扣除 12% 的生物多样性保护面积) 相比, 中国的人均生态足迹占全球人均生态承载力的 66%。1999 年中国的生态承载力仅相当于其生态足迹的 51%。从资源利用的角度来看, 能源用地占整个生态足迹的 48%, 生态足迹分析中的能源用地代表了在可持续方式下支持当前的能源消费所需要的土地面积, 反映中国的经济结构中工业生产已经占据较高的比例。由于目前还没有证据表明有哪个国家专门拿出土地用于 CO<sub>2</sub> 的吸收, 因此, 高的能源消费通常意味着高的生态赤字, 这也是中国高生态赤字的原因之一。尽管中国人均生态足迹比较小, 但由于人口总量大, 因而总的生态足迹很大, 对环境的影响也大, 中国人的总生态足迹为 1668.87hm<sup>2</sup>, 为现有国土面积的 1.74 倍, 人均超支了 0.64hm<sup>2</sup>, 这表明我国的人地关系已经十分紧张。同 Wackernagel(1999) 计算的中国 1997 年的人均生态足迹 1.12hm<sup>2</sup> 相比, 我国的人均生态足迹增加了 0.125hm<sup>2</sup>, 生态承载力减少了 0.119hm<sup>2</sup>。本研究中得出的中国人均生态足迹增加的原因可以归结为: 人口的增加; 可利用土地资源的减少; 人们消费商品数量的增加。

【实例 5.5】甘肃省 1998 年生态足迹计算

表 5.5 是甘肃省 1998 年生态足迹的计算结果, 由生态足迹的需求和能供给的生物生产

表 5.5 甘肃省 1998 年生态足迹计算的总结 (张志强等, 2001; 徐中民等, 2000)

土地类型	生态足迹的需求			土地类型	生态足迹的供给(生态承载力)		
	总面积 /(hm <sup>2</sup> /人)	均衡因子	均衡面积 /(hm <sup>2</sup> /人)		总面积 /(hm <sup>2</sup> /人)	均衡因子	均衡面积 /(hm <sup>2</sup> /人)
耕地	0.374	2.8	1.047	耕地	0.138	1.49	0.206
草地	0.012	0.5	0.006	草地	0.660	2.19	1.446
林地	0.431	1.1	0.474	林地	0.169	0.80	0.135
石化能源	0.569	1.1	0.626	CO <sub>2</sub> 吸收	0.000	0.00	0.000
建筑用地	0.013	2.8	0.037	建筑用地	0.040	1.49	0.060
总需求足迹			2.190	总供给面积			1.847
				生物多样性保 护面积(-12%)			0.222
				总的可利用足迹			1.625

注: 建筑面积取世界平均水平, 由于四舍五入, 表中统计数据存在一定的误差。

土地面积（生态承载力）两部分组成。由于单位面积耕地、化石燃料土地、牧草地、林地等的生物生产能力差异很大，为了使计算结果转化为一个可比较的标准，有必要在每种生物生产面积前乘上一个均衡因子（权重），以转化为统一的、可比较的生物生产面积。均衡因子的选取来自世界各国生态足迹的报告。在供给方由于各国或地区的各种生物生产面积的产出差异很大，在转化成生物生产面积时分别乘了一个产出因子。如甘肃省耕地面积的产出因子取为 1.49，表明甘肃省耕地的生物产出率是世界平均水平的 1.49 倍（依据文献中对中国生态足迹的计算取值）。同时出于谨慎性考虑，在甘肃省生态承载力计算时扣除了 12% 的生物多样性保护面积。

由以上计算可得，1998 年甘肃省的人均生态足迹为  $2.190\text{hm}^2$ ，而实际生态承载力为  $1.626\text{hm}^2$ ，人均生态赤字为  $0.564\text{hm}^2$ 。生态赤字的存在表明人类对自然的影响超出了其生态承载能力的范围。从甘肃省 1998 年生态足迹的计算过程来看，由于进出口贸易量不大，因而进出口贸易对生态足迹的影响并不大，因此只能是通过消耗自然资本存量来弥补生态承载力的不足，因此，可认为甘肃省的发展模式处于一种不可持续的状态。在甘肃省生态足迹的计算中发现还存在如下几个问题：①不同类型能源消费量在转换成生物生产土地面积时，需要综合考虑其能源密度、能源携带量等，计算较为烦琐且转换中存在误差；②在计算生态承载力时，各种生物生产土地面积的统计数据的准确性十分重要，如草地面积的统计数据将产出率极低的荒漠草原与产出率较高的湿地草场相提并论并简单相加，使草原的面积数据偏大，导致计算结果相应偏大；③不同类型土地的均衡因子和产出因子数值对生态足迹的最终计算结果影响很大，因此其数值的选取显得十分重要，而在目前国际上的有关应用研究中主要是依据有限的统计结果和经验来选取，因而其数据难免不够准确。

同时因资料的原因，目前还不能确定国民经济系统中各种商品中水资源的含量，所以在计算生态足迹时未能包括人类利用水资源的生态足迹。而人类对水资源的利用是干旱内陆地区自然资源消耗的最重要组成部分。已有研究表明甘肃省现状水平年水资源的利用已接近其可利用的极限水资源量；同时由于生态足迹模型的设计侧重于生态承载力方面，而忽略经济、社会、技术和环境方面的一些可持续发展的根本问题（如西北干旱地区突出的沙漠化侵蚀耕地面积问题）。因此可以认为上述分析结果是一种较乐观的估计，甘肃省的人均生态足迹赤字比  $0.564\text{hm}^2$  要大。

甘肃省生态足迹赤字存在主要因为对自然资源的过度利用造成，是否可以在不降低人们生活水平的前提下，减少生态足迹的需求呢？结论是肯定的，通常有如下 3 种方法：①采用高新技术，提高自然资源单位面积的生物产量；②高效利用现有资源存量；③改变人们的生产和生活消费方式，建立资源节约型的社会生产和消费体系。

## 5.4 城市区域生态评价

### 5.4.1 区域生态评价

#### 5.4.1.1 区域生态评价指标体系

城市综合体系是由自然子系统、经济子系统、社会子系统构成。各个子系统内和子系统之间存在着物流、能流和信息流的生态网络结构关系。生态化水平高的城市，其系统表现为结构合理，功能高效和关系协调。因此，建立一个生态化水平评价指标体系应当包括结构指标、功能指标和关系协调度指标 3 个方面，每个方面指标内含多个指标项目，这样就构成

一个 3 层次评价指标体系（如图 5.3）。

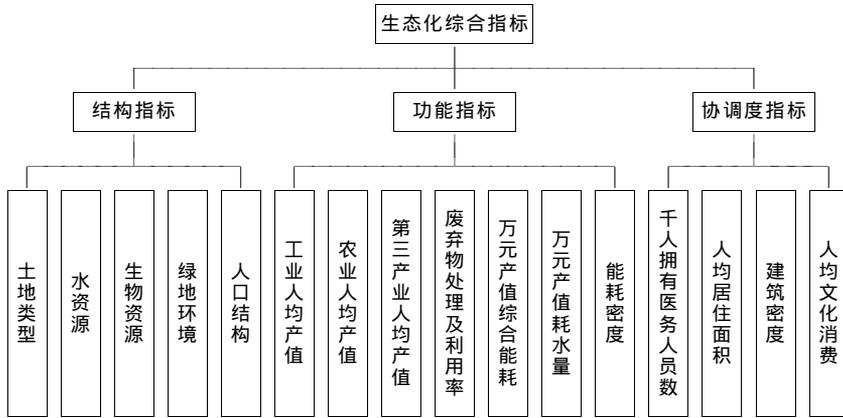


图 5.3 3 层次评价指标体系（李宏文等，2003）

#### 5.4.1.2 区域生态评价方法

目前对城市生态系统作综合评价的方法有主成分分析法、综合指数法、模糊聚类评价法和层次分析法。这里给出多元统计方法的主成分分析法对城市生态系统做综合评价。

(1) 主成分分析法 第一步，原始数据预处理。

设  $n$  个城镇， $p$  个指标的观测样本矩阵为

$$X = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1p} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2p} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{np} \end{pmatrix}$$

将原始数据进行正向化处理。若某项指标的数值越大，表明生态化程度越高时，则用其原来的数据，即  $y_{ij} = x_{ij}$ ，若某项指标的数值越大，表明生态化程度越低，则令  $y_{ij} = -x_{ij}$ ， $x_{ij}$  为第  $i$  个城镇第  $j$  个指标的数值。

将  $y_{ij}$  数据进行标准化处理：

$$x'_{ij} = \frac{y_{ij} - \bar{y}_j}{s_j^2} (i=1, 2, \dots, p)$$

其中， $\bar{y}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_{ij}$ ， $s_j^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_{ij} - \bar{y}_j)^2$

第二步，计算相关系数矩阵 ( $R$ )。

用雅可比方法求特征方程  $[R - \lambda I] = 0$  的  $p$  个非负特征值  $\lambda_1 > \lambda_2 > \cdots > \lambda_p \geq 0$  的相应的特征向量为：

$$C^{(i)} = [C_1^{(i)}, C_2^{(i)}, \dots, C_p^{(i)}] (i=1, 2, \dots, p)$$

且：

$$C^{(i)} \cdot C^{(j)} = \sum_{k=1}^p C_k^{(i)} \cdot C_k^{(j)} = \begin{cases} 1 (i=j) \\ 0 (i \neq j) \end{cases}$$

于是得到  $p$  个新因子，新因子  $z_1, z_2, \dots, z_p$  之间相互正交，并且它们的方差是递减的，每个新因子中各变量的系数反映了各变量对新因子作用的大小。第  $i$  个因子的方差贡献

率为：

$$a_i = \lambda / \sum_{i=1}^p \lambda_i$$

其大小反映了第  $i$  个因子保留原信息的多少，衡量第  $i$  个因子的重要性。

第三步，综合评价。

以方差贡献率  $a_i$  作为权数对各自新因子进行线性加权，即

$$F = a_1 z_1 + a_2 z_2 + \dots + a_p z_p$$

计算各城镇得分大小  $F_i$ 。也可以选择前  $m$  个 ( $m < p$ ) 新因子，使累计方差贡献率超过某一标准，如使

$$a = \sum_{i=1}^p a_i \geq 0.85$$

这样前  $m$  个新因子基本上保留了原来的信息，然后加权求和

$$F = a_1 z_1 + a_2 z_2 + \dots + a_m z_m$$

计算各城镇得分大小  $F_i$ 。这样计算的结果，避免了主观确定权数，而是从信息量和系统效应角度来确定权重。根据  $F_i$  的数值从大到小排序，分成等距五组，即 5 个等级：生态化高，生态化较高，生态化一般，生态化较低，生态化低。统计每组所包含的城镇，即可以给出每组相应的分级评语。

#### 5.4.1.3 区域生态风险评价

生态风险 (ecological risk) 是指一个种群、生态系统或整个景观的正常功能受外界胁迫，从而在目前和将来减小该系统内部某些要素或其本身的健康、生产力、遗传结构、经济价值和美学价值的可能性。

生态风险评价 (ecological risk assessment) 是环境风险评价的重要组成部分。它是指受一个或多个胁迫因素影响后，对不利的生态后果出现的可能性进行的评估。随着新技术和新方法的应用，生态风险评价的研究领域迅速扩展。早期的生态风险评价主要是针对人类健康而言的，也就是人类健康风险评价。主要评价化学污染物进入水体后通过食物链的传递，最终可能对人类造成的影响。对于生态风险评价的预测评价除了要对当前的环境状况进行实时跟踪监测外，还需考虑对各种不同组织水平的生物效应。包括个体或亚个体水平，以及种群和群落水平的指标。要能明确地回答以下问题：什么污染物进入了环境和生物个体，浓度如何；污染物是否引起相应的细胞学、遗传学或生化反应；生物个体本身是否受到急性或慢性的生物学损害；细胞和分子水平上的反应是否与个体相关，是否会引起种群、群落或生态系统上的连锁反应等。

#### 5.4.2 区域生态足迹风险评价

城市区域生态足迹计算人类消费和自然生产能力的可持续性，因此，对于城市区域生态足迹的风险评价要涉及自然生产能力的风险评价和人类活动的风险评价。

##### 5.4.2.1 生态环境系统引起的风险评价

生态系统的风险评价主要针对影响生态生产能力的确定性灾害事件进行评价。评价的主要内容包括生物工程、生态入侵引起的风险评价。

不可否认，生物技术对人类健康做出了巨大贡献，如人类利用转基因的大肠杆菌生产人工胰岛素用于治疗糖尿病；此外，基因工程药物和基因治疗业也为人类彻底医治各种疑难病症带来了希望。但是，转基因植物对人体的副作用也是存在的。如美国 Monsanto 公司生产

的抗杀虫剂转基因大豆中含有一种类似雌激素的化学物质，人食用后会对人体荷尔蒙有一定影响，导致生殖器官异常，免疫系统发生障碍。对于生物技术引起的生态风险主要用分子生物学和生化技术进行评价。进行生态风险评价的影响分析应从物种水平、种群水平、生态系统水平上来分析。

生态入侵是指将外源生物引入本地区，种群迅速蔓延失控，造成其他土著种类濒临灭绝，并伴生其他严重危害的现象。关于生态入侵引起的生态灾难，最典型的的就是澳大利亚的兔子成灾事件和我国云南滇池的水葫芦爆发事件。侵入物种通过改变环境条件和资源的可利用性而对本地物种产生致命影响，不仅使生物多样性减少，而且使系统的能量流动、物质循环等功能受到影响，严重者会导致整个生态系统的崩溃。物种层次的生态风险评价是生态系统风险评价的基础，所以引种前应先作详细的调查分析，分析引入物种的表型或生理特征及入侵能力、繁殖能力、竞争能力、生态学影响等，测定其适合度、种群增加速度，还应该对本地环境有关方面进行描述（包括栖息地的类型、当地动植物的生物多样性、植被覆盖度、主要的相互作用过程、自然或人为干扰情况以及气候和土壤条件等）。将上述各方面的资料与数据综合起来，用描述和图解或模型的形式来表示判断风险度和或然率。也可以并入一些主要参数来做模型用于包括随机成分在内的危险程度的判断。

#### 5.4.2.2 人类活动的风险评价

人类活动对于生态的破坏造成的生态灾难或生态报复，这方面的教训是深刻的。美国的黑风暴已被人们熟知。我国近年来西部及北部地区的沙尘暴出现越来越频繁，与人类乱砍滥伐有密切关系。近年来，我国东南沿海地区小城镇发展极为迅速，也出现了一些不良的生态后果。城镇化过程是一个受经济增长刺激和工业化发展催化的人口聚集过程。在这个过程中，由于原有的农业生态系统迅速被城镇生态系统所替代，不可避免地出现一些不利于乡村城市化持续发展的负效应，包括局部气候变化，生物多样性指数下降和城镇生态系统有害物种种类与浓度增加，以及由此导致的癌症、高血压和肥胖症等疾病的发病率上升。可见，城镇化过程是有风险代价的。根据城市生态学原理，针对城镇化过程的基本要素，采用变量相关方法，从原因到结果或反之逐个加以回归分析或定量比较，在癌症发病率与城镇化水平（包括区域人口密度、城镇居住人口、居民人口、年龄、性别和工业产值等）的关系，高血压发病率与城镇人口聚集和交通发展的关系以及城镇化水平与有害物浓度和循环量增加的关系等3个方面对城镇化过程的生态风险做出定量评价。

## 参 考 文 献

- 1 王如松. 资源、环境与产业转型的复合生态管理. 系统工程理论与实践, 2003, (2): 125~132, 138
- 2 张坤民, 温宗国, 杜斌. 指标: 监测城市生态可持续发展的重要手段. 环境保护, 2003, (4): 8~12
- 3 诸大建. 作为政策工具的可持续发展. 世界环境, 2002, (3): 11~15
- 4 徐中民, 张志强. 可持续发展定量研究的几种新方法评介. 中国人口、资源与环境, 2000, 10 (2): 60~64
- 5 乔家君, 许叔明. 区域可持续发展度量方法比较分析. 地域研究与开发, 2003, 22 (4): 9~12
- 6 唐剑武, 叶文虎. 环境承载力的本质及其定量化初步研究. 中国环境科学, 1998, 18 (3): 227~230
- 7 唐剑武, 郭怀成, 叶文虎. 环境承载力及其在环境规划中的初步应用. 中国环境科学, 1997, 17 (1): 6~9
- 8 崔凤军. 环境承载力初探. 中国人口、资源与环境, 1995, 5 (1): 76~80
- 9 彭再德, 杨凯, 王云. 区域环境承载力研究方法初探. 中国环境科学, 1996, 16 (1): 6~10
- 10 杨开忠, 杨咏, 陈洁. 生态足迹分析理论与方法. 地球科学进展, 2000, 15 (6): 630~636
- 11 巢新向, 梁留科, 丁彦彦. 可持续发展定量评价的生态足迹分析方法. 自然杂志, 2004, 25 (6): 335~339
- 12 张志强, 徐中民, 程国栋. 生态足迹的概念及计算模型. 生态经济, 2000, (10): 8~10

- 13 易光斌, 董瑞斌. 生态足迹的理论及其应用. 江西科学, 2003, 21 (3): 260~264
- 14 王万茂, 李俊梅. 规划持续性的生态足迹分析法. 国土经济, 2001, (6): 16~18
- 15 曹伟. 生态足迹分析方法与城市生态安全. 规划师, 2003, 19 (1): 20~24
- 16 王书华, 毛汉英, 王忠静. 生态足迹研究的国内外近期进展. 自然资源学报, 2002, 7 (6): 776~782
- 17 徐中民, 陈东景, 张志强. 中国 1999 年的生态足迹分析. 土壤学报, 2002, 39 (3): 441~445
- 18 徐中民, 张志强, 程国栋. 中国 1999 年生态足迹计算及发展能力分析. 应用生态学报, 2003, 14 (2): 280~285
- 19 张志强, 徐中民, 程国栋. 中国西部 12 省(区、市)的生态足迹. 地理学报, 2001, 56 (5): 599~610
- 20 徐中民, 张志强, 程国栋. 甘肃 1999 年生态足迹计算与分析. 地理学报, 2000, 55 (5): 607~616
- 21 胡新艳, 牛宝俊, 刘一明. 广东省的生态足迹与可持续发展研究. 上海环境科学, 2003, 22 (12): 926~1047
- 22 邓跃, 杨顺生. 四川省 2001 生态足迹分析. 上海环境科学, 2003, 22 (12): 926~1047
- 23 陈东景, 徐中民. 生态足迹理论在我国干旱区的应用与探讨. 干旱区地理, 2001, 24 (4): 305~309
- 24 李金平, 王志石. 澳门 2001 年生态足迹分析. 自然资源学报, 2003, 18 (2): 197~203
- 25 郭秀锐, 杨居荣, 毛显强. 城市生态足迹计算与分析——以广州为例. 地理研究, 2003, 22 (5): 654~662
- 26 赵秀勇, 缪旭波, 孙勤芳. 生态足迹分析法在生态持续发展定量研究中的应用——以南京市 1998 年的生态足迹计算为例. 农村生态环境, 2003, 19 (2): 58~60
- 27 白艳莹, 王效科, 欧阳志云等. 苏锡常地区生态足迹分析. 资源科学, 2003, 25 (6): 31~37
- 28 李宏文. 城市生态化水平的评价方法探讨. 生态学杂志, 2003, 22 (1): 66~68
- 29 韩丽, 曾添文. 生态风险评价的方法与管理简介. 重庆环境科学, 2001, 23 (3): 21~23
- 30 韩丽, 戴志军. 生态风险评价研究. 环境科学动态, 2001, (3): 7~10

## 思考题

1. 比较环境承载力、资源承载力和生态承载力三者的异同。
2. 简单介绍生态足迹计算的步骤和方法。

## 第 6 章

# 城市生态功能分区

### 6.1 基本概念

#### 6.1.1 生态分区

##### 6.1.1.1 概念

生态分区是自然地域的一种划分，是自然区划的一种。生态分区研究着眼于生态系统的时空异质性，宜选取较大的时空尺度，以便与研究的范围相对应，并使这种异质性的复杂结构得以充分展示。在生态分区研究中，不但重视由地域生态单元构成的等级系统，而且尤其强调这种等级系统通过一走向时空格局的显现，区分陆地生物圈及其一部分的各个地域生态单元，将其落实在具体的地表地段，给出它的地理位置和范围，即从定性、定量、定位这三个方面作出确定。其结果就是研究区域中由等级系统构成的空间镶嵌的生态单元结构格局，即为不同等级的区域生态系统的确定。

生态分区有以下几方面特点。

① 生态分区主要用于自然地域的一种划分，所以是自然区划的一种。由于涉及人类环境的许多问题，正向宏观尺度的研究拓展，向景观和区域研究延伸。生态系统单位和各等级区域生态系统的研究日益重要，而且被当作是为环境和经济建设服务的重要途径和桥梁。

② 区域生态系统具有时空异质性结构。生态分区所指的生态系统，是一种有明确空间范围并赋予一定等级地位的地域，而不是指一种任何大小的功能单位。当生态学的研究与应用涉及较大的空间范围

时，这种空间格局和生态分区的确定是不可缺少的基础。

③ 已有的自然区划研究大都侧重于空间结构特征。立足于生态学长期学术积累所确立的有关理论，可以在这个基础上前进一步，在生态分区中把空间结构格局与生态功能和生态过程结合起来，使所区分的地域单元既是空间镶嵌体系，又是有功能单元的意义。

#### 6.1.1.2 生态分区的等级单位

区域生态系统具有等级性，每一个地域生态单元，不论其居于哪一个等级，各自都具有生态一致性，即具有地域的生态特征共性，并以此区别于同一等级的其他地域生态单元。某一等级地域的生态一致性有它特定的内容，当把生态一致性理解为某种均质性时，这种均质即该地域内普遍具备的共同属性。一个地域生态单元内部具有明显的异质性，整个单元的生态一致性是其内部一致性的宏观背景，并渗透在地域内各种异质性实体之中，通过这些实体以不同的形式显现，对其间的时空生态过程起着重要的支配和调控作用。较低级次的地域生态单元，以共有的生态一致性联合为较高级次的地域生态单元。生态分区的目标即阐明生态系统的等级性，并将其与地域镶嵌格局结合起来，把均质性和异质性之间错综复杂和相互交织的联系，以不同等级的地域系统较为清晰地表达出来。

地带级的生态系统，其空间格局与大尺度的气候梯度格局相符合，它的空间范围即由大尺度的水热条件的复合空间场特征来界定，因此并不一定呈现为大致沿纬圈方向作带状延伸的态势。陆地生物圈中的任何地点，无论其地表起伏和地质结构如何复杂或简单，都存在大气候水热条件的复合空间场，所以都必然形成地带级的生态系统。

陆地生物圈最小的生态系统单位为生物地理群落，景观是生物地理群落的镶嵌体。景观内生物地理群落的镶嵌格局及与之有关的生态过程，属于景观生态学的主要研究内容。生态分区适宜于以景观为最基本的识别单元，以便与景观生态学的研究衔接。景观既是一种生态单位的等级，又是一种生态地域。景观形成的必备条件为：处于同一气候影响之下（同一生物气候带内）；内部有相似的地貌（土壤母质及现存地形）特征；受到干扰的方式（包括自然事件和人为事件）大体相似。景观内的生物地理群落有一定的类型组合和镶嵌格式，在同一景观内重复出现，并支配着物质、能量和物种交流的生态过程。景观是地带级生态系统内基本的异质性单元，景观及其组合在地带内重复出现的格局，构成了地带内的异质性结构。

居于地带级的区域生态系统与景观之间的生态分区单位，可以根据地带内部的景观异质性结构的实际状况予以确定。这种异质性结构的形成条件和空间格局通常都较为复杂，包括水平向的和垂直向的气候环境梯度和与之相对应的景观格局，还包括并不取决于生物气候条件而由地质、地貌和岩性所引起的景观异质性（即多顶级的）格局及其空间分布的不均匀性。这都决定了地带内部景观格式的明显差别，成为地带内部生态分区的主要根据，而且常需以若干等级的分区予以表示。

### 6.1.2 城市生态功能分区

#### 6.1.2.1 概念

对生态系统功能的认识，人们一般强调其生产功能和保护功能。其实，生态系统还存在着其他功能——供给功能、处置功能、抵制功能和保存功能，是生态系统生产功能和保护功能的基础。从生态系统角度可以将这些对生态系统维持和运行起重要作用的功能，称之为基本功能，而把对人类有突出意义的生产功能和保护功能称之为派生功能。生态系统的功能是生物与其环境通过长期的物质、能量交换而形成的。构成区域的地域结构不同，功能也不尽相同，为有效地制定各区域的生态发展目标和规划，必须按功能做区域划分。

为了维护区域生态安全,加强城市环境建设,增进城市居民身心健康,提高生态资源对城市发展的支持能力,在更高的水平上实现城市与自然的平衡,对城市生态资源进行综合评价,整合城市发展与生态资源的时空格局,成为实现城市可持续发展的基本途径。1992年联合国环境与发展大会后,许多国家和地区如美国编制的“南加利福尼亚城市区域土地利用及河流规划”(Land Use and Water Flow in the Southern California Urban Region 1996)、英国编制的“伦敦城市发展战略规划中的开敞空间、建筑环境、水环境”(Advanced Strategic Planning for London; Water Issues; Open Space and Leisure; The Built Environment 1994)、日本编制的东京湾都市地区的生态建设规划等都遵循了这一基本思路,国内北京、上海、广州、青岛等地也纷纷开展了不同类型的生态功能分区或生态建设规划。城市生态功能分区的作用在许多城市愈来愈受到重视,于是,城市生态功能分区的编制被愈来愈多地提上了议事日程。

城市生态功能分区是指根据城市及其周边相关区域生态环境要素、生态环境敏感性与生态服务功能空间分异规律,将城市及其周边相关区域划分成不同生态功能区的过程。其目的是为制定城市区域生态环境保护与建设规划、形成区域生态安全格局以及实现资源合理利用和各项生产合理布局提供科学依据。

城市生态功能分区不同于一般功能分区,强调发挥各分区生态要素的有利条件,将城市生态系统中各子系统构成一个有机统一整体。生态功能分区是进行生态规划的基础。生态功能分区是根据城市生态系统结构及其功能的特点,划分不同类型的单元,研究其结构、特点、环境污染、环境负荷,以及承载力等问题,综合考虑地区生态要素的现状、问题、发展趋势及生态适宜度,提出工业、农业、生活居住、对外交通、绿化、自然保护区等功能区的划分,以及大型生态工程布局的方案。充分发挥各分区生态要素的有利条件,及其对功能分区的反馈作用,将整个城镇构成协调有序的有机统一体,促使功能区生态要素朝良性方向发展。

#### 6.1.2.2 生态分区发展过程

以麦克哈格的“千层饼”模式为例。

说到麦克哈格(McHarg)的“千层饼”模式,不得不提到19世纪末20世纪初的著名景观设计师艾略特(F. liot)。1896年,艾略特在“植被和森林景色保护”的研究中,提出了“先调查后规划”的理论,将景观设计学从经验导向系统和科学。有学者认为,麦克哈格的“千层饼”模式就是此模式的翻版。

麦克哈格在《设计结合自然》书中,提出了土地适宜性的观点,并认为它由场地的历史、物理和生物过程这3个方面来确定。基于适应性原理,在每一自然地理区域内,由于气候、地质、水文及土壤条件的差异,通过漫长的演替过程,形成各自最适合的生物群落。麦克哈格认为,所有系统都追求一种生存与成功,这种状态可以描述为负熵—适应—健康,其对立面是正熵—不适应—病态。要达到这种状态,系统需要找到最适宜环境。因此,我们可以判别生态系统、机体和土地利用的合适环境,也就是由土地适宜性决定的人类最佳土地利用模式。这种环境或者模式,体现了最大效益-最小成本的法则。它使我们在最小投入的同时,达到生态、经济和社会的最佳效益。这一方法,分为如下3个步骤。

(1) 资源信息调查——确定生态因子 麦克哈格将场地的信息分为原始信息和派生信息两类。原始信息直接在场地内获得,是生态决定因子。基本项目有地理、地质、气候、水文、土壤、植被、野生生物、土地利用、人口、交通、文化、居民等(根据规划的目标,还

可以再增加其他有关项目)。

(2) 调查图的建立与重叠——生态因子的分析与综合 “生态因子”收集后, 根据具体情况把各因子分级别, 再以同一比例尺, 用不同色块表示在图上。然后根据具体项目的要求, 将相关的单因子分析图用叠加的技术进行分析和综合, 得到景观分析综合图。麦克哈格采用的方法, 是将单因子分析图拍成负片, 用负片进行重叠组合, 然后翻拍, 得到景观分析综合图。不过, 今天我们已能够利用 GIS 技术, 精确地完成地理数据的显示、制图、分析等一系列复杂的过程。

(3) 土地适宜性——生态规划的结果 单因子分析图叠加所产生的景观综合图, 逐步揭示了具有不同生态含义的区域, 每个区域都暗示了最佳的土地利用方式。同时, 麦克哈格还提出了土地利用群的概念, 也就是可以共存的土地利用方式。这一概念在一个矩阵表上完成, 矩阵的行与列是各种土地利用方式, 分析时, 检验矩阵表中行与列土地利用方式, 分析时, 检验矩阵表中行与列土地利用方式的兼容度。从该表中就可以确定优势的、共优的和亚优的土地利用方式, 最后绘制在现存和未来的土地利用图上。20 世纪 60 年代, 麦克哈格的“千层饼”模式名噪一时, 并一度成为景观规划的金科玉律。

### 6.1.2.3 城市生态功能分区的步骤

建立在土地适宜性分析和生态敏感性分析基础上的生态功能分区, 是城市生态管理的具体操作措施, 如图 6.1 所示。根据生态主功能和建设的需求, 生态功能分区可划分为不同的类型。如根据生态主导功能原则可划分为 4 大类: 一是重要的资源生产与资源保护区, 这是关系到人类生存的资源, 应作为优先和强制性的保护对象; 二是应保护和保留的自然景观或自然生态系统, 如自然保护区等; 三是为防止污染和自然灾害、维护区域环境和经济社会稳定的人工或自然生态系统, 如城市绿地与绿化带、防洪排涝区等; 四是消纳区域社会经济活动产生的废水、固体废物而设立的污水处理厂、纳污水域、垃圾填埋场等环境功能区。也可在生态系统健康评价的基础上, 根据建设需要(生态保护)的轻缓及环境资源特点分为生态恢复区、生态建设区及生态调控区三类。科学合理的生态功能分区是生态规划的关键一环。

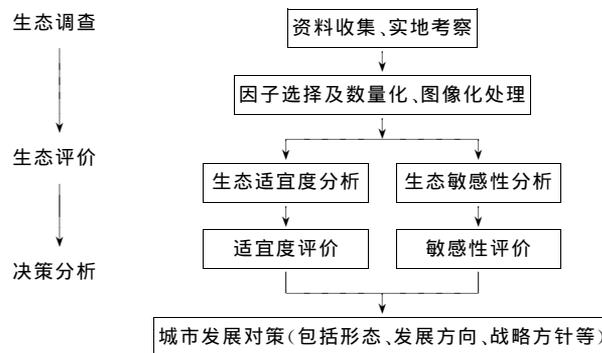


图 6.1 城市生态管理的具体操作措施

在生态功能分区中, 应特别注意对城市周边地区环境问题的研究。工业化和城市化过程对土地、水和生物资源的利用不可避免地改变了城市周边地区的物质流动与能量循环, 带来土地恶化、水质下降、生物多样性破坏等一系列环境问题。在沿海经济快速发展地区这一问题尤其突出。因此, 应注意土地利用方式的转变机制, 特别是工业用地、城市住宅用地和休

闲绿地之间的竞争与平衡，城市周边生态系统的弹性研究。城市生态规划应明确建成区及其周围的生态支持系统，遵循费用-效益最优原则，确定城市适宜扩展的方向与规模，并调控城市社会经济发展的速度、广度及限度。

城市生态功能分区的方法主要包括以下 4 方面内容：

- ① 城市扩展用地的适用性分析；
- ② 城市敏感性分析；
- ③ 生态系统服务功能分区；
- ④ 生态功能分区。

#### 6.1.2.4 城市生态功能分区原则

(1) 坚持自然属性为主，兼顾社会属性原则 在城市复合生态系统中经济结构、技术结构、资源利用方式是短时段作用因子，社会文化、价值观念、行为方式、人口资源结构是中时段作用因子，而城市的地理环境、自然资源则是长时段作用因子。在三种作用因子中长时段作用因子是难以改变的，最好是适应它，所以我们采取的一般方式是通过克服中、短时段作用因子来改善城市发展条件，实现城市可持续发展，因此城市功能分区必须以自然属性为主，根据城市自然环境特征，合理安排使用功能，首先应当考虑结构与功能的一致性，然后才考虑尽可能满足现实生产和生活需要，这与现存的环境因素功能区划有明显区别，表现在前者以自然属性划分使用功能，后者则是以使用功能来划分环境功能。

(2) 坚持整体性原则 城市生态系统是开放性非自律的，是一个“不独立和不完善的生态系统”，城市正常运行需要从外界输入大量的物流和能流，同时需要向外界输出产品（原料）和排放大量废物。城市生态系统的非独立性，决定了城市功能分区要坚持整体性原则，不仅要考虑市区内自然环境的特征性、相似性和连续性，还要考虑城市与城市外缘生态系统的联系，建立生态缓冲带和后备生态构架。城市生态功能分区不仅要坚持城市内部生态系统结构使用的合理性，还要坚持城市与城市内外部生态系统连通互补的关系和支撑作用。

(3) 坚持保护生态系统多样性，维护生态系统稳定性原则 城市生态系统是经人为改造的人工生态系统。城市的形成和发展不仅使城市中原有的自然生态结构发生剧烈变化，而且大量人工技术的输入改变了原有生态系统的形态结构，使自然生态系统趋于单一化，降低了城市生态系统的自我调节能力，使城市生态系统变得脆弱。因此，城市生态功能分区要坚持保护城市生态系统结构多样性原则，以求提高城市生态功能的稳定性。

(4) 坚持注重保护资源，着眼长远利用原则 城市生态环境、生态资产和生态服务功能构成了城市持续发展的机会和风险，生态资产保护、生态服务功能强化是城市建设的一项重要内容，而城市生态功能分区又是合理利用和保护生态资产、强化生态服务功能必不可少的条件。对于新型城市规划建设而言，城市生态功能分区比较容易做到生态结构与生态功能相匹配，做到保护并合理利用城市自然生态结构，强化生态服务功能。而对于已形成或发展中的城市，由于城市原有的自然环境、生态结构已被破坏或已被不合理占用，实现城市生态结构与生态功能相匹配就比较困难了。因此开展城市生态功能分区，必须从城市可持续动态发展，注重保护资源，着眼长远利用角度出发，以期通过分区工作找出现实存在的城市生态结构与生态功能不相匹配的症结，然后逐步进行恢复调整。调整的一般原则是：对于自然资源使用不当的功能，按照远近结合原则，从实际出发提出逐步改造计划；对于自然资源的潜在利用功能，应给予特别关注；对于自然资源的竞争利用功能，应保证主功能发挥的需要。

#### 6.1.2.5 生态分区必要性

城市是以人为主体，由社会、经济和自然构成的复合生态系统。城市生态系统通过能量流动、物质循环和信息传递实现城市的生产、生活和还原三大功能，其中生产功能为社会提供丰富的物质和信息产品；生活功能为市民提供舒适的栖息环境和便捷的生活条件；还原功能为城乡资源永续利用和社会、经济与环境协调发展提供保证。在城市生态系统中，生产、生活和还原三大功能分别有如下的特点：生产功能——能流、物流高强度密集，空间利用率高，系统输入、输出量大；生活功能——土地利用率高，人口高密度聚集，高强度消费，环境污染承载负荷大；还原功能——系统开放性非自律，消除环境污染既需要自然净化，更需要人工调节。

生态学原理表明，对于任何一个城市，良好的生态功能作用都必须依靠其相应的城市生态结构，而城市结构是否合理、城市的功能与结构是否相匹配主要体现在城市生态功能分区上，因此城市生态功能分区对于科学合理地利利用自然环境资源，维护城市生态稳定，保持城市生态系统良性循环，促进城市社会、经济协调发展具有特别重要的作用。

#### 6.1.2.6 生态分区类型

为强化城市生态系统的生产功能、生活功能和还原功能，城市生态功能分区可划分为如下几种类型。

(1) 重要资源保护区 对于城市的社会、经济发展具有特别重要功能作用的自然资源，应予以强制性保护。诸如饮用水水源地、农业保护地、特产保护地、城市生态保护区、防护绿地等。

(2) 自然景观保护区 自然景观是城市不可再生的特有资源，对城市的形象和凝聚力意义重大。诸如自然荒地、自然保护区、特殊环境（珍稀濒危动植物的栖息地）、湿地、地质、遗迹、历史文化遗迹、名胜古迹、风景旅游区、公园等。

(3) 防污防灾区 对城市生态安全起到重要作用。诸如集中绿地、绿色隔离带、防护林带、排洪防涝（行洪河道）区、地质灾害防护区等。

(4) 污染物消纳区 对城市的还原功能具有重要作用，多处于市区边缘地带。诸如污水处理区、垃圾处置场、纳污水域等。

(5) 工业交通区 对城市生产功能起重要作用且交通运输方便区。诸如工业区、仓储区、港口码头、车站及其运输交通枢纽等。

(6) 商贸区 对城市生活功能起重要作用。诸如商业区、贸易区、金融、市场和农副产品交易集散地等。

(7) 居住区 居住社区、住宅小区、科技、文化、教育、卫生及其相应生活服务功能区等。

#### 6.1.2.7 生态分区内容和方法

城市生态功能分区不同于传统的环境要素的功能区划，对城市生态功能起决定作用的是城市的自然资源和环境特征，因此城市生态功能分区首先要对城市区域生态环境进行认真调查，对城市生态系统、资源态势及城市社会、经济和自然复合生态系统进行综合分析评价，在此基础上，遵循城市生态学原理和城市生态功能与城市生态结构相匹配的原则，将城市划分为生态功能不同的区域。

(1) 城市生态环境调查 调查范围主要是市区、城市化外缘和生态相关区。调查内容包括自然系统、社会系统和经济系统。

① 自然系统：地理地质、水与水资源、植被与动物、气候、土壤、土地资源、矿产资源、海岸海洋、特殊（稀有）资源、区域特殊生态系统、区域生态环境问题、区域自然灾害、区域污染危害、区域生态系统演替等。

② 社会系统：人口与人口规划、人类聚落、社会供应、医疗卫生、文化教育和行政管理等。

③ 经济系统：产业结构、生产力布局、流通服务、污染物处理、物流能流强度等。

(2) 城市生态系统分析 城市生态系统分析为进行生态功能分区，建立生态功能区保护目标提供科学依据，生态系统分析主要包括生态结构、生态过程和生态功能分析。

① 生态结构：生态系统类型、分布以及生态结构特征。

② 生态过程：生态运行过程（物流与能流），区内生态系统之间联系与作用，区内外生态系统关联与作用。

③ 生态功能：包括生态系统的生产功能和环境功能，主要是分析城市可持续发展的生态功能需求，评价生态系统对这种需求的满足度。

(3) 城市资源态势分析 城市区域资源态势分析主要内容包括：资源种类、资源优势、资源利用合理性、生物资源生产潜力、土地资源潜力、城市可持续发展供需、特殊和特有资源。分析基本原则是优先考虑生存资源的保护和可持续利用，保护稀缺资源，保护资源的稀有和特殊用途，可再生资源用养结合采补平衡。

(4) 城市社会、经济和自然复合生态系统综合分析 综合分析主要内容有：①生态环境的人口和经济承载力分析；②土地利用适宜度分析；③生态环境与资源的相关性分析；④生态环境与社会经济发展协调性分析；⑤生态环境敏感性分析。

## 6.2 生态功能分区的主要方法

### 6.2.1 生态适宜性分析

#### 6.2.1.1 含义

适宜性分析是生态规划的核心，其目标是根据区域自然资源与环境性能，根据发展要求与资源利用要求，划分资源与环境的适宜性等级。

城市用地生态适宜度分析，就是从生态学角度，根据城市各项建设的生态学需求（生态平衡、建立良好协调的生态关系的要求），分析城市土地质量（包括自然因素和社会经济因素的共同作用）的供给能否满足城市发展的需求，给出城市土地质量能够满足生态学需求程度上的评价和空间布局意向，刘贵利从景观生态评价，也就是空间结构分析的角度，以城市用地适宜性评价为目标，建立评价指标体系层图。图 6.2、表 6.1 所示为城市用地适宜性评价系统结构示意图。

生态适宜性分析可针对各类发展用地自身要求而制定该用地适宜性评价体系标准，从而分析对该类用地适宜的用地模式，也可针对城市整体发展而研究其生态适宜性模式，从而得出总体较优的生态发展模式。这里我们选择生态适宜性为例，首先在长沙市域自然生态因素和城市用地结构的分析基础上确定生态因子；根据长沙市城市发展情况，在 3S 技术的支持下，本规划选取坡度、地基承载力、植被类型、土壤渗透性、地表水、居民点用地程度、景观价值等 7 项评价因子，然后对生态因子进行单项处理，即单因子评价（表 6.2）；最后对单因子分析结果加权、叠加，得出综合性的生态适宜性成果，再给予综合评价，如图 6.2 所示。

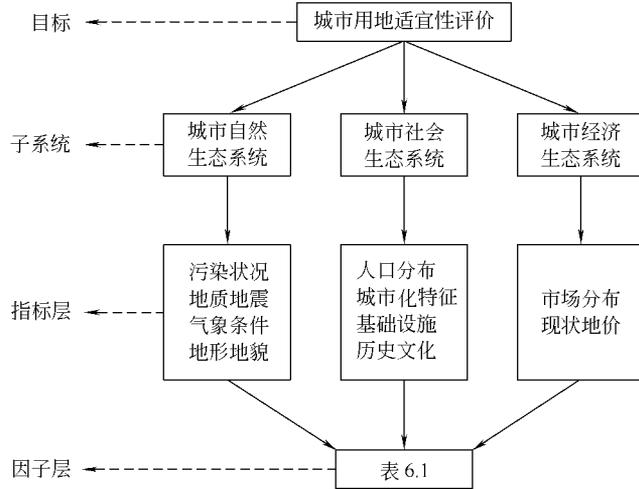


图 6.2 城市用地适宜性评价系统结构示意图 (欧阳志云等, 1995)

表 6.1 各因子组成内容统计表

因子	成分	因子	成分
污染状况	大气污染、水污染、噪声污染、固体废物污染	基础设施	道路通达性、交通便捷度、人防分布
地质地震	断裂带、地基承受力	市场分布	市场间距
地形地貌	坡度与高程	历史文化	历史文化遗存
人口分布	人口密度	现状地价	土地现状评估价格
城市化特征	城市化水平		

表 6.2 划分土地适宜度评价因子分级标准及权重

编号	评价因子	属性	评价值	权重
1	坡度	<5%	5	0.15
		5%~20%	3	
		>20%	1	
2	地基承载力	承载力大	5	0.10
		承载力中等	3	
		承载力小	1	
3	土壤生产性	生产力低	5	0.10
		生产力中等	3	
		生产力高	1	
4	植被	旱地, 无自然植被区	5	0.15
		荒山灌木草丛区	3	
		自然密林、果林	1	
5	土壤渗透性	渗透性小	5	0.10
		渗透性中等	3	
		渗透性大	1	
6	地表水	小水塘及无水区	5	0.10
		灌溉渠及大水塘	3	
		支流、溪流及其影响区	1	
7	居民点用地程度	<5%	5	0.12
		5%~30%	3	
		>30%	1	
8	景观价值	人文、自然景观价值低	5	0.18
		人文、自然景观价值中等	3	
		人文、自然景观价值高	1	

### 6.2.1.2 生态适宜性分析方法

(1) 地图重叠法 地图重叠法是一种形象直观,可以将社会、自然环境等不同量纲的因素进行综合系统分析的一种土地使用生态适宜性的分析方法。其缺点是:重叠法实质上是等权相加方法,而实际上各个因素的作用是不相等的;当分析因子增加后,用不同的深浅颜色表示适宜等级并进行重叠的方法相当烦琐,并且很难辨别综合图上不同深浅颜色之间的细微差别。

(2) 因子加权评分法 因子加权评分法的基本原理与地图重叠法的原理相似。加权求和的方法克服了地图重叠法中等权相加的缺点,以及地图重叠法中的烦琐的照相制图过程,同时避免了对阴影辨别的技术困难。加权求和法另一重要优点是适宜应用计算机,这也是近年来该方法被广泛运用的原因。但是不论是地图重叠法还是加权求和法,从数学角度上讲,要求各个因子应该是独立的,而实际上许多因子是相互联系、相互影响的。为了克服这一缺陷,专家们又发展了一种新方法,称为“生态因子组合法”。

(3) 生态因子组合法 生态因子组合法可以分为层次组合法和非层次组合法。层次组合法首先用一组组合因子去判断土地的适宜度等级,然后,将这组因子看做一个单独的新因子与其他因子进行组合判断土地的适宜度,这种按一定层次组合的方法便是层次组合法,相反,则为非层次组合法。显然,非层次组合法适用于判断因子较少的情况,而当因子过多时,采用层次组合法要方便得多。但不管采用层次组合法还是非层次组合法,首先需要专家建立一套复杂而完整的组合因子和判断准则,这是运用生态因子组合法关键的一步,也是较为困难的一步。

### 6.2.2 生态敏感性分析

生态敏感性分析是指在不损失或不降低环境质量的情况下,生态因子对外界压力或外界干扰适应的能力。

相对生态适宜度分析而言,生态敏感性分析是从另一个侧面来分析城市用地选择的稳定性,是从否定与批判的角度来实现对城市生态系统的保护,是指在不损失或不降低环境后果的情况下,生态因子对外界压力或外界干扰适应的能力。生态敏感性是各学科、各政府职能部门用于管理措施制定的主要考虑内容,只不过是表述方法不同,如土地管理部门对于基本农田保护区的划定是对于达到一定社会发展目标的人类生存的社会敏感性以及环境敏感性最后界限的划定。而基本农田保护区在城市建设中起着一票否决的地位,故在研究中对该项因子单列,与最敏感的因子采用同一表达方式。为保证自然资源的永续利用与可持续发展,协调开发与保护的矛盾,规划选择土壤渗透性、植被类型、地表水、坡度、景观特殊价值5个因子作为生态敏感性分区的评价因子,用5、3、1三级表示某种评价因子敏感性大小,根据各评价因子对土地生态敏感性程度的高低赋予不同的权重。分级标准及权重如表6.3所示。

#### 6.2.2.1 城市生态敏感度含义

生态敏感性是生态学中为了研究自然生态因子提出来的,是一个综合的概念,用于城市研究以后,将城市中的社会生态、人文生态等都纳入研究的范畴。城市生态敏感性来自于城市中斑块或廊道的重要性、独特性与其周围本底的差异性。而提及城市生态敏感度是针对城市生态因子(要素)而言的,城市生态因子的敏感度越高,该因子的城市生态位越低,城市要素功能的可能发挥程度越大,城市要素的保护价值也越大,保护等级越高。也就是说城市生态敏感度是指城市中不同的生态要素对人类活动的承载能力。

表 6.3 划分土地生态敏感性评价因子分级标准及权重

编号	评价因子	评价标准	分级	敏感性评价	权重
1	土壤渗透性	保护地下水回复、减少对地下水、土壤的污染	渗透性高 渗透性中等 渗透性低	5 3 1	0.1
2	植被类型	景观游憩,生物多样性,环境改善,水土流失	密林、立体种植果园 一般果园,灌木草丛区 农地及其他	5 3 1	0.3
3	地表水	景观游憩,野生生物环境,污染敏感性	溪流及其影响区 大水塘,灌溉渠 其他	5 3 1	0.1
4	坡度	水土流失,土壤侵蚀	>20% 5%~20% <5%	5 3 1	0.2
5	特殊价值	生态保护、美学价值、历史文化价值、娱乐价值	价值高 价值中等 价值一般	5 3 1	0.3

各个城市生态敏感度之间的相互作用具有互斥性。也就是说,在某一区域中各种生态因子同时作用时,其综合的生态敏感度取决于敏感程度最高的生态因子,即生态敏感度高的生态因子排斥生态敏感度低的因子,使其失去作用。城市综合生态敏感度的取值通过表 6.4 来说明(以 2 个因子为例)。

表 6.4 2 因子的城市综合生态敏感度评价结果

综合生态敏感度		生态因子 1			
		敏感	较敏感	较不敏感	不敏感
生态因子 2	敏感	敏感	敏感	敏感	敏感
	较敏感	敏感	较敏感	较敏感	较敏感
	较不敏感	敏感	较敏感	较不敏感	较不敏感
	不敏感	敏感	较敏感	较不敏感	不敏感

生态敏感度与不同生态要素自身的“再生性”有关。这里的再生性既指自然生态环境因子的再生性,又指社会生态因子、人文生态因子等非自然生态因子的可恢复性。

生态敏感度与城市各种活动本身的性质有关,也就是与这些活动的破坏性有关。城市中常见的破坏活动主要有:破坏地表土壤、破坏水资源、化学物质污染、建筑占地、交通占地、人口集散等。那么,不同的生态要素的敏感度与它密切相关的破坏活动的强度有关。

城市生态因子的敏感度是城市更新与旧城改造中的基本依据,即依据城市生态因子的敏感度来指导城市更新中谁先谁后,谁轻谁重。

### 6.2.2.2 城市生态敏感度分析的理论基础

城市的发展或是均匀的或是非均匀的,但无论对于哪一种城市,城市中一些功能点、线、面对于城市生态过程都有着不同的重要性。其中有一些点,如公园、广场、建筑、景点等;线,如景观廊道、主要公路、铁路等;面,如历史街区、中心区、开发区等对控制城市发展的生态过程起着关键性的作用。这些点、线、面及其空间连接结构构成了城市生态的安全格局(security patterns,简称 SP),在不受任何外力的情况下,城市生态的安全格局是稳定的,但是对于一个发展的城市,总会有一些影响城市生态 SP 的因素存在,当这些因素发生作用的时候,SP 就会发生变化,由于不同因素的不同作用程度,其对城市生态的影响

也不同，即不同因素对城市的生态敏感度不同。那么，要对城市生态敏感度进行分析，首先要能对城市要素进行战略性的组分识别。

下面以城市中心区为例，介绍一个典型的生态 SP 包含以下几个城市组分：①源：现存的中心区设施，是城市向外扩张与维持的元点；②缓冲区：环绕源的周边地区，是相对中心扩散的低阻力区；③源间连接：相邻两源之间最易联系的低阻力通道；④辐射道：由源向外围城市辐射的低阻力通道；⑤战略点：对沟通相邻源之间联系有关键意义的“跳板”。利用这一理论支持生态因子边界的确定、敏感性缓冲区的判别。其中，在缓冲区的判别过程中，缓冲区的各等值阻力线是具有同样发展门槛值的曲线。这些曲线就是生态因子敏感度的界线。在研究中，根据生态敏感性与适应性的门槛值将整个阻力面分为敏感、较敏感、较不敏感、不敏感 4 个等级。其含义分别如下。

- ① 敏感：生态环境因子承受永久性、不可恢复的影响。
- ② 较敏感：生态环境因子可承受较长时间的影响。
- ③ 较不敏感：生态环境因子可承受较短时间的影响。
- ④ 不敏感：生态环境因子基本不受任何影响。

#### 6.2.2.3 生态敏感度分析技术路线

(1) 选择城市生态因子 从城市生态学的组成来看，它包括城市自然生态学、城市社会生态学和城市经济生态学等几个方面，因而城市生态学实际上可以认为是由三个部分组成的复杂生态系统，所以有时也将复杂生态系统学纳入城市生态学的范畴。为了反映研究的代表性和典型性，本研究选取不同组成部分中的部分因子来研究。选择的生态因子有：水域、植被、气温、道路交通、城市建成区和人口迁居。这些因子集中体现了各种生态因子对城市生态敏感度的影响，具有一定的代表性。

(2) 各种生态因子不同敏感度的边界划定 鉴于以上各城市生态因子的特点不同，采用不同的方法进行分析，从而划定各个城市生态因子的边界及其敏感性缓冲区。对于水域、植被、道路交通和城市建成区的生态敏感度边界的划分，首先利用卫星影像制作假彩色影像，然后在此基础上制作仅包含以上 4 种生态要素的城市土地利用分类图。最后依次根据不同生态因子的对城市生态的作用划分缓冲区的等值曲线，并划分为敏感、较敏感、较不敏感、不敏感 4 个等级，即生态因子生态敏感度分布图。其技术路线如图 6.3 所示。

对于气温这一生态因子来说，最有效的方法是采用热红外影像来进行分析，由于这方面数据的缺乏，因而采用上面得到的基于四种城市生态因子的土地分类图，根据不同因子对城市气温的影响对城市气温进行分析，并根据不同的等温度线划定气温的生态敏感度分布图。对于人口迁居这一城市社会生态学的生态因子必须结合城市相关的社会资料进行分析，从而划定不同的人口迁居的敏感度区域，得到人口迁居敏感度分布图。

(3) 城市生态因子敏感度的量化 对于以上得到的城市生态敏感度分布图，如果用敏感、较敏感、较不敏感、不敏感这些模糊的概念进行分级，要进行空间的相关分析就比较困难，因此就必须先对这些模糊概念进行量化。由于各种不同生态因子的相互作用具有互斥性，为了体现这一特点和保证分析结果的可读性，设计了一种量化方法，即将不同的等级用不同的数字表示（如表 6.5 所示）。称量化以后的生态敏感度为生态敏感值。因此对于各个生态因子，其生态敏感值低一级的所有值的总和也不会比其上级高，叠加区域中只要有一个高等级区域，就可保证叠加之后的数值仍在高等级区域中，而不会越级。

(4) 空间的叠加分析和敏感度评价图 得到了不同生态因子的生态敏感值分布图，利用

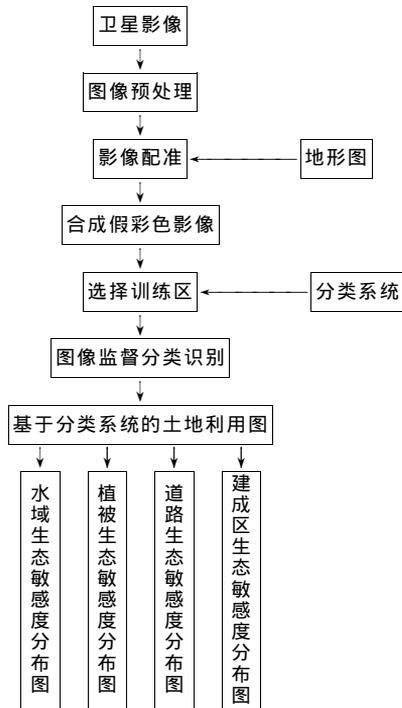


图 6.3 制作生态因子敏感度分布图的技术路线

表 6.5 生态敏感度不同等级的量化对照表

等 级	指 标
敏感	10000
较敏感	1000
较不敏感	100

表 6.6 生态敏感度评价图分级对照表

指 标	等 级
10	不敏感
>10000	敏感
<10000	较敏感
<1000	较不敏感
<100	不敏感

GIS 软件的空间叠加分析功能将所有的分布图进行叠加，从而得到综合的城市敏感度分布图。该评价图中的每一个多边形的值是原来各生态因子在该多边形区域的生态敏感值的和，将具有这些值的多边形通过表 6.6 再转换为不同的等级，并用颜色加以区分形成城市生态敏感度评价图。

### 6.2.3 生态系统服务功能分区

生态系统服务功能指由自然系统的生境、物种、生物学性状、性质和生态过程所产生的物质及其所维持的良好生活环境对人类的服务性能，其和生态过程紧密联系在一起，均为生态系统的重要属性之一。在野外生态调查和室内资料分析的基础上，对不同生态系统生态服务功能单元及价值大小进行评估，然后根据对各生态系统服务功能价值的客观评价，按生态系统服务功能的重要性标准将生态系统分为最重要、重要、一般、不重要 4 个类型。

### 6.2.4 生态功能分区

#### 6.2.4.1 生态功能分区含义

生态环境分区是指从区域（流域或城市）的整体观点出发，根据自然环境特征和社会经济发展状况，把特定的空间划分为不同环境单元的方法。近年来，随着对生态环境及其功能以及生态过程研究的深入，国内开始生态功能分区的工作。所谓生态功能分区是根据区域生态环境要素、生态环境敏感性与生态服务功能空间分异规律，将区域划分成不同生态功能区的过程。其目的是为制定区域生态环境保护与建设、维护区域生态安全、资源合理利用与工农业生产布局、保育区域生态环境提供科学依据，并为环境管理部门和决策部门提供管理信息与管理手段。

生态功能分区不同于地学、气候学的自然区划，也不同于动植物区系分类，更不同于农、林、牧、水等部门的社会经济发展区划。生态环境分区的任务是通过分区划片揭示出环

境功能区在形成、演变、本底、容量（或承载力）、敏感性、脆弱性和保护方向等方面的差异性。生态环境分区是生态环境规划的重要组成部分，其基础是规划前期的生态环境调查和生态环境质量评价工作。其内容包括：生态环境现状评价、生态环境敏感性评价、生态服务功能重要性评价以及生态功能分区方案和对各生态功能区概述。根据 2002 年国务院西部地区开发领导小组办公室、国家环境保护总局发布的《生态功能区划暂行规程》，为满足宏观指导与分级管理的需要，首先应从宏观上以自然气候、地理特点划分自然生态区，即生态功能分区的一级分区进行分析；然后依据生态系统类型与生态系统服务功能类型划分生态亚区；最后根据生态服务功能重要性、生态环境敏感性与生态环境问题划分生态功能区。

生态功能分区强调发挥各分区生态要素的有利条件，将城市生态系统中各子系统构成一个有机统一整体。生态功能分区是进行生态规划的基础。生态功能分区是根据城市生态系统结构及其功能的特点，划分不同类型的单元，研究其结构、特点、环境污染、环境负荷，以及承载力等问题，综合考虑地区生态要素的现状、问题、发展趋势及生态适宜度，提出工业、农业、生活居住、对外交通、绿化、自然保护区等功能区的划分，以及大型生态工程布局的方案。充分发挥各分区生态要素的有利条件，及其对功能分区的反馈作用，将整个城市构成协调有序的有机统一体，促使功能区生态要素朝良性方向发展。

#### 6.2.4.2 生态功能分区的原则

生态功能分区规划应遵循下列原则。

(1) 生态原则 有利于保持城市的生态平衡，促进生态良性循环，维护物种多样性。有利于综合防治污染，有利于保护环境，使区域内的环境容量得以充分利用而又不超出环境的承载能力。

① 生态结构一致性原则 生态系统结构指生态类型在水平方向上的组合方式和相互作用方式，结构一致性决定了利用方式的一致性。

② 生态功能一致性原则 按生态区的主导功能进行功能区划分是生态功能分区的重要依据。一方面是为了保护生物的多样性，对不同的生物资源进行多重利用；另一方面是为了解决既要生产又要保护自然的矛盾。

③ 生态建设模式的一致性原则 自然结构相同的生态区，其生态建设的项目可能有差异，而只有保证每个生态建设区的生态建设模式一致，才容易实施，达到统一的目标。

④ 生态建设分区等级统一性原则 生态建设分区是一种等级系统，在进行生态规划时必须考虑全局生态建设的总目标及城市应承担的任务，城市生态区中低级区划又应与高级区划相统一。

(2) 区域原则 把城市周围的农村地区也包括进来，强调城乡空间融合，把城区与城域视为一个整体。

(3) 系统原则 社会、经济、自然 3 个子系统有机结合起来，使整体效益最高，实现社会、经济、自然三者复合的永续发展。

#### 6.2.4.3 生态功能分区的指标

根据生态建设分区的原则，选取生态要素特征、生态问题、生态结构和经济水平 4 种指标进行分区。生态要素特征指标是指各景观类型（乔木林、灌木林、疏林高覆盖草地、疏林中覆盖草地、疏林低覆盖草地、丘陵台地旱田、平原旱田、未利用地、盐碱地、湿地）分布及其占整个生态系统面积的百分比。生态问题指标指整个生态功能区中主要的生态和环境问题。经济指标是以各县（市）的人均收入、人口密度和人均耕地面积表示。

生态结构选用类型重要值 ( $I$ )、嵌块体密度 ( $D$ )、嵌块体平均面积 ( $K$ ) 三项指标, 对各生态建设区的空间结构进行分析, 以确定各生态区的特点。

(1) 类型重要值

$$I = SL/SQ$$

式中,  $I$  为类型重要值;  $SL$  为区域中某一类型面积,  $\text{hm}^2$ ;  $SQ$  为建设区总面积,  $\text{hm}^2$ 。

(2) 嵌块体密度

$$D = N/SQ$$

式中,  $D$  为生态区内一类嵌块体密度, 个/ $\text{km}^2$ ;  $N$  为区内该类嵌块体的总数, 个;  $SQ$  为小区总面积。

(3) 嵌块体平均面积

$$K = \left( \sum_{i=1}^n S_i \right) / n$$

式中,  $K$  为生态区内一类嵌块体平均面积,  $\text{hm}^2/\text{个}$ ;  $n$  为区内该类嵌块体的总数, 个;  $S_i$  为各嵌块体面积。

#### 6.2.4.4 生态功能分区的方法

(1) 数据收集与处理 研究采用的基础资料包括遥感信息 TM 影像、地形图、降水、积温、土壤及社会、经济统计数据等。首先在 GIS 图像软件支持下对 TM 影像进行几何纠正、坐标变换等处理。然后采用人机交互判读, 获取土地覆盖、植被指数和植被覆盖度等信息; 同时将其他基础资料数字化; 使用统一的比例尺和坐标系统, 建立城市生态环境基础数据库。

(2) 确定生态稳定性类型 生态系统稳定性评价是对系统质量与其发展阶段的一种评价, 对一个区域内不同稳定程度的生态系统类型进行分析, 可为区域生态建设模式与生态规划建立提供立论依据。在 GIS 软件下对生态地形、土壤侵蚀强度和不同利用水平的景观类型图进行叠加分析, 确定其稳定性及其空间分布。

(3) 生态功能分区 根据各市县(区)生态、经济指标和主要生态问题、生态结构差异, 确定不同的生态区功能缺损的类型。不稳定的生态类型占的比例高, 且其不稳定的生态类型以退化林地、疏林低覆盖草地和未利用地为主的生态区, 其生产功能低下, 这类生态区应强调其保护功能。而不稳定生态类型生态区, 其存在的主要生态障碍是抵御能力差, 抗干扰的能力低, 因此阻断外界的干扰或尽量减少干扰的次数和强度是生态建设的主要方向。

## 6.3 城市扩展地的适用性分析

城市扩展用地主要指城市发展所需的建设用地, 这部分建设用地位于城市近郊, 不仅介于城市生态系统与农田生态系统之间, 还成为建设用地与农用地争夺的焦点区域, 所以城市扩展用地的适用性分析应运用科学合理的方法。运用城市景观生态学和生态图法相结合的方法, 编制城市扩展用地适用性分析的程序如图 6.4 所示。

城市扩展用地适用性分析是在城市生态环境分区基础上提出的专项规划, 其主要内容分别介绍如下。

### 6.3.1 确定目标

城市扩展用地适用性分析的主要目标是: 全面评价研究对象城郊农用地或预留用地的生

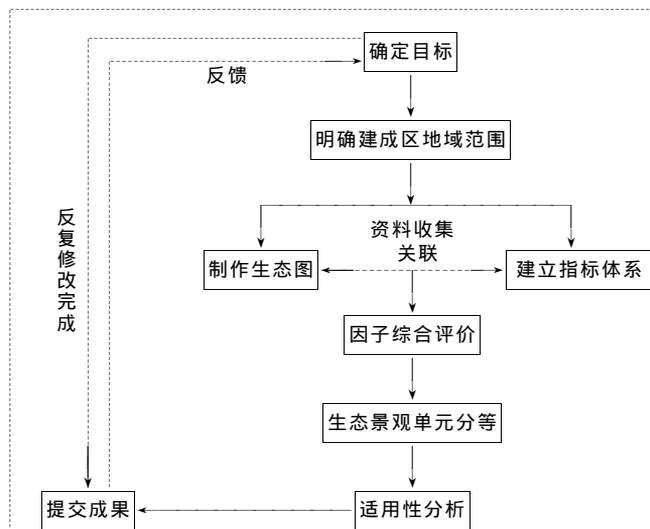


图 6.4 城市扩展用地适用性分析的编制

态条件，结合建设条件分析各类用地用作建设的可能性和合理性，进一步提出城市的扩展方向及建设内容的控制范围，为城市总体规划的顺利实施服务。

### 6.3.2 明确建成区地域范围

城市扩展用地适用性分析的范围应在城市建成区的外围，所以应首先确定建成区的地域范围，主要采用两种方法：图幅叠加确定法和观察定位法。

(1) 图幅叠加确定法 图幅叠加确定法即充分利用历版城市规划图、最新地形图、最新航卫地图等图幅，进行多幅叠加，初步圈出建成区的范围。该范围的确定一般应注意以下 4 点。

- ① 排除村庄用地的干扰，避免将近郊的村庄用地划入城市建成区范围，为此各种图幅的比例尺要求差距较大。
- ② 初步圈出的建成区范围应略大于叠加的结果。
- ③ 绘制边线时应避免 90 度转向，尽量采用平滑的曲线。
- ④ 初步的范围要求标在有坐标的地形图上。

(2) 观察定位法 观察定位法是在图幅叠加确定范围的基础上进行的实地考察，主要包括观察和定位两个步骤。观察是通过调研员的实地验线完成的，一般不需逐点进行，可选择下列几种：城市对外交通干线的城市入口处；过境公路在研究对象处设立的站点；城郊大型基础设施，如变电站、公益墓地、污水处理场等地；城郊自然障碍，如山脉、湖泊、河流和海域等地。定位是在观察的基础上修缮建成的范围界限，根据观察点验线的结果在地形图上定位，此外，对于有自然障碍的城郊，应以自然障碍与建成区的交界线为主；对于无自然障碍的平原郊区，还应协同地方知情人员确定建成区范围，最后完成画有建成区范围的地形图，作为工作底图。

## 6.4 实例分析——以长沙市生态分区为例

### 6.4.1 长沙市城市建设用地适宜度分区

基于 3S 技术，选取坡度、地基承载力、植被类型、土壤渗透性、地表水、居民点用地

程度、景观价值等评价因子，把长沙市的土地分为很适宜用地、适宜用地、基本适宜用地、不适宜用地和很不适宜用地 5 个类型，建立长沙市发展建设用地适宜度模型，提出土地合理配置、有序开发的措施与方案。

#### 6.4.1.1 软件系统和基本图件

美国环境研究所 (ESRI) 开发的 pcARC/INFO Version8.1GIS 软件；

EDRAS8.5 遥感图像处理软件；

长沙市遥感影像；

长沙市土壤类型图；

长沙市森林植被图；

长沙市行政区域图；

长沙市水功能区划图；

1:25 万长沙市数字地形图。

#### 6.4.1.2 生态调查

(1) 地形地貌 长沙市地势是东西高、中部低。湘江由南至北贯穿长沙市中部，所有水系都汇入湘江，向北入洞庭湖。东部有大围山、连云山，大围山主峰七星岭海拔 1607.9m，为本地区最高点。西部有浏山、七里山，主峰海拔 1070.8m。

(2) 地质 地层有元古界冷家溪群、板溪群；下古生界震旦系、寒武系、奥陶系、志留系；上古生界泥盆系、石炭系、二迭系、三迭系；中生界侏罗系、白垩系；新生界第三系、第四系。其中志留系、侏罗系、第三系发育不全，元古界及第四系分布最为广泛；自西向东岩浆岩类型较多，且以酸性花岗岩为主。

(3) 矿产 长沙市矿产资源丰富，有大型矿床 3 处、中型矿床 5 处、小型核算床 14 处、矿点 170 多处，矿化点 44 处，主要分布于宁乡县和浏阳市。

(4) 土地利用现状与动态分析 长沙市土地利用程度较高，未利用土地面积较少，11819.5km<sup>2</sup> 的国土面积的 96.23% 已被利用。长沙市土地利用变化动态如表 6.7，耕地面积变化如表 6.8 所示。

表 6.7 长沙市土地利用变化动态/km<sup>2</sup>

年 份	林 地	耕 地	居民及工矿用地	草 地	水 域	未利用地
1986 年	5637.55	2838.59	709.24	197.56	709.42	1570.12
2000 年	5931.06	2856.19	1043.74	342.28	906.28	564.36

注：表 6.7~表 6.26 引自长沙市统计年鉴，1998~2002。

表 6.8 长沙市耕地面积变化动态/km<sup>2</sup>

年 份	总 面 积	水 田	旱 地
1986 年	2838.59	2506.30	332.29
2000 年	2856.19	2554.71	279.12
变化率	0.62%	1.93%	-16.00%

(5) 森林资源与变化动态 长沙市林业用地变化动态、林业资源变化动态、天然林变化动态、林分各龄组面积变化动态分别如表 6.9、表 6.10、表 6.11、表 6.12 所示。

(6) 草地资源 1986 年长沙市草地总面积为 2496.00km<sup>2</sup>，其中 91.19% 为天然草地。畜牧业不成规模，草地实际载畜量仅为 8.2 万个羊单位，低于理论载畜量 76.5 万个羊单位。

表 6.9 长沙市林业用地变化动态/km<sup>2</sup>

项 目	林业用地	有林地	疏林地	灌木林地	未成林地	当年造林地
第四次清查	6166.49	4686.18	358.72	219.01	256.93	346.47
第五次清查	6104.38	5506.05	114.89	217.31	99.32	6.90
变化值	-62.11	819.87	-243.43	-1.70	-156.61	-339.57

表 6.10 长沙市林业资源变化动态/km<sup>2</sup>

项 目	用材林	防护林	薪炭林	特用林	经济林	竹 林
第四次清查	2958.03	120.76	272.34	34.14	983.00	316.91
第五次清查	4240.58	87.68	47.32	17.46	763.86	348.15
变化值	1282.55	-33.08	-225.02	16.68	219.14	31.24

表 6.11 长沙市天然林面积变化动态/km<sup>2</sup>

项 目	总面积	用材林	防护林	薪炭林	特用林
第四次清查	2378.39	2006.24	90.21	262.74	20.20
第五次清查	3158.44	3037.19	78.52	36.82	6.91
变化值	780.05	1030.95	-11.69	-225.92	-13.29

表 6.12 长沙市林分各龄组面积变化动态/km<sup>2</sup>

项 目	林分总面积	幼龄林	中龄林	近熟林	成熟林
第四次清查	3386.27	2660.80	518.71	76.07	130.69
第五次清查	4393.04	3140.42	1061.52	134.37	56.72
变化值	1007.77	479.62	542.81	58.3	-73.97

(7) 地表水资源 2000 年地表水总用水量为  $1821.60 \times 10^4 \text{ m}^3$ ，地下水实际开采量较低，1996 年和 2000 年分别为  $60 \times 10^4 \text{ m}^3$  和  $40 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。湘江水源水质达标率自 1990 年至 2000 年均在 95% 左右，局部江段偶有属 IV、V 类水质的情况，主要污染物为粪大肠菌群、石油类、总汞及氨氮（2000 年）。

长沙市现有小型以上水库 11 座，总库容为  $214457 \times 10^4 \text{ m}^3$ ，面积  $32.99 \text{ km}^2$ ，其中 6 座  $14.84 \text{ km}^2$ ，因水产养殖滥施农肥，已呈轻至中度富营养化状况。

(8) 湿地生态 长沙市的主要湿地在望城县。

(9) 生态多样性 长沙市有 48 种一级、二级保护植物，占全国总数的 18.9%，其中一级保护植物 7 种，占总数的 13.5%；二级保护植物 41 种，占总数的 20.3%。

长沙市有 33 种一级、二级保护动物，占全国总数的 12.9%，其中一级保护动物 6 种，占总数的 9.4%，二级保护动物 27 种，占总数的 16.8%。

(10) 外来物种对长沙市生态系统的影响 长沙市生态系统受外来影响较少。

(11) 矿产资源开发利用状况 长沙市矿产资源较丰富，主要为磷矿、石膏矿和黄铁矿，在全市工业总产值中所占比重不大，1986 年为 3.56%，2000 年为 0.63%，呈下滑趋势。

(12) 农村生态环境现状 农用化学品使用及污染情况：2000 年长沙市农药使用量达 8546t，生物农药占使用量的 36.8%。2000 年全市 100% 的耕地施用了农药，平均施用量达  $29.93 \text{ kg/hm}^2$ 。2000 年与 1986 年相比，施用折纯总量增加了 57.13%，已达到 14.33 万吨，其中以氮肥所占比例最大。长沙市所有耕地均施用了化肥，平均施用量由 1986 年的  $321.20 \text{ kg/hm}^2$  增至 2000 年的  $464 \text{ kg/hm}^2$ ，生物肥料施用量很少，仅占化肥施用总量的 0.08%，由于养鱼，向水域中投放化学肥料的现象较普遍。

2000年长沙市农膜使用量为3704t, 13.4%的耕地使用了农膜, 单位耕地面积农膜使用量达到97.04kg/hm<sup>2</sup>。

(13) 秸秆利用、畜禽养殖及农村能源结构 长沙市秸秆综合利用情况较差, 部分秸秆由于采用露天焚烧方式, 造成局部地区空气污染, 严重时影响飞机飞行。

(14) 畜禽养殖污染与处理情况 长沙市1990年和2000年畜禽粪尿年产量分别为726.07万吨和842.78万吨, 其直接排放量分别约占7.43%及36.60%, 综合利用量分别约占92.5%和76.27%。

#### (15) 城镇生态环境

① 城镇建设基本概况 至2000年, 长沙市城镇总数为79个, 其中特大省会城市1个(长沙市), 县级市1个(浏阳市), 乡级镇77个。在建制镇中有县城3个(长沙县星沙镇, 望城县高塘岭镇, 宁乡县玉潭镇)。城市化水平为28.49%, 城镇密度为0.668个/百平方公里。

#### ② 城市空气质量现状

a. 空气 长沙市城市空气仍属煤烟型污染, 二氧化硫、降尘和总悬浮颗粒物为主要污染物, 环境空气超过三级标准。

长沙市二氧化硫污染总体上呈波动下降趋势, 但无显著变化, 总悬浮颗粒物呈逐步递减下降趋势; 氮氧化物则逐年上升; 降尘污染无明显变化趋势。总体空气质量基本稳定, 长沙市1996~2000年二氧化硫、总悬浮物、氮氧化物、降尘、空气综合污染指数变化趋势分别如表6.13、表6.14、表6.15、表6.16、表6.17所示。

表 6.13 长沙市 1996~2000 年二氧化硫变化动态

时 间	1996 年	1997 年	1998 年	1999 年	2000 年
均值	0.125	0.111	0.130	0.115	0.116
超标值	29.8	24.4	32.9	27.2	26.4

表 6.14 长沙市 1996~2000 年总悬浮物变化动态

时 间	1996 年	1997 年	1998 年	1999 年	2000 年
均值	0.238	0.226	0.228	0.203	0.179
超标值	26.5	22.6	23.6	16.6	11.6

表 6.15 长沙市 1996~2000 年氮氧化物变化动态

时 间	1996 年	1997 年	1998 年	1999 年	2000 年
均值	0.041	0.039	0.043	0.052	0.056
超标值	2.1	2.1	4.5	6.8	1.0

表 6.16 长沙市 1996~2000 年降尘变化动态

时 间	1996 年	1997 年	1998 年	1999 年	2000 年
均值	13.422	12.647	14.160	13.650	13.481
超标值	82.6	76.6	81.0	92.9	86.8

表 6.17 长沙市 1996~2000 年空气综合污染变化动态

时 间	1996 年	1997 年	1998 年	1999 年	2000 年
P1	4.08	3.76	4.17	3.98	3.95
P2	6.56	6.17	6.75	6.51	6.45

注: P1 为 SO<sub>2</sub>、TSP、NO<sub>x</sub> 3 项统计结果; P2 为 SO<sub>2</sub>、TSP、NO<sub>x</sub>、降尘 4 项统计结果。

b. 酸雨 长沙市的酸雨范围广、频率高、降水 pH 值低，属严重的酸雨区之一。2000 年度酸雨频率为 48.73%，pH 年均值为 4.70、最小值为 3.56。降水中阴离子以  $\text{SO}_4^{2-}$  为主，阳离子以  $\text{Ca}^{2+}$  为主，为典型的硫酸型污染，二氧化硫是主要的致酸前体物。酸雨污染冬、春较夏、秋严重，市区污染大于郊区，时间上与本市大气中  $\text{SO}_2$  污染分布相吻合，且与局部大气污染密切相关。1996~2000 年长沙市酸雨年际变化如表 6.18 所示。“九五”期间长沙市酸雨污染以 1996 年、1997 年为高峰期，酸雨频率高达 97% 以上，pH 年均值低于 3.5。1998 年起 pH 年均值逐年回升，酸雨频率连年下降，到 2000 年 pH 年均值较 1996 年上升了 1.28，酸雨频率下降了 49.27 个百分点，酸雨污染呈现下降趋势。

表 6.18 长沙市 1996~2000 年 pH 值和酸雨频率变化动态

时 间	1996 年	1997 年	1998 年	1999 年	2000 年
pH 年均值	3.42	3.74	4.54	4.56	4.70
酸雨频率	98.0	97.3	76.1	68.8	48.7

③ 城市水质现状 长沙市湘江段水环境质量较差，以粪大肠菌群、石油类、氨氮、总磷污染为主要特征，常年出现超标现象，且超标率大于 20%，近十年平均超标率分别为 89.3%、40.0%、29.0%、24.9%。14 项主要监测污染物（悬浮物、高锰酸盐指数、生化需氧量、化学需氧量、氨氮、亚硝酸盐氮、挥发酚、总汞、六价铬、总镉、总铅、总磷、石油类、非离子氮）十年来污染物分担率排序趋于一致，其平均分担率如表 6.19 所示。

表 6.19 湘江长沙段主要污染物分担率/%

石油类	总 磷	汞	氨 氮	非离子氮	COD	BOD	其 他
21.7	14.0	10.0	16.3	7.30	6.80	4.80	20.2

湘江长沙段除总大肠菌群常年超标外，同时三大主要污染物为石油类、氨氮、总磷，三者累计污染分担率为 51%；其次为汞、非离子氮、 $\text{COD}_{\text{Mn}}$ 、 $\text{BOD}_5$ ，7 项累计污染分担率为 80.0%。

湘江水质沿程变化如表 6.20 所示，入境断面暮云市水质最差，下游次之，中段相对最好。主要污染物中石油类浓度上游高于下游，而氨氮和总磷，出、入境断面高于中程，且出境高于入境（如表 6.21 所示），说明造成湘江长沙段水质污染的两大主要来源为：上游工业、生活废水输入和本市生活污水排放。上游城市工业废水输入及过往船只机油泄漏等原因，造成石油类超标现象较严重，而生活污水是造成总大肠菌群、氨氮、总磷等污染的主要原因。

表 6.20 湘江长沙段水质综合污染指数 (P) 沿程变化动态 (10 年均值)

断 面	暮云市	猴子石	五一桥	三汊矶	乔 口
指数	6.9	6.0	4.8	6.2	6.1

表 6.21 湘江长沙段水质综合污染物沿程变化动态 (10 年均值)

断 面	暮云市	猴子石	五一桥	三汊矶	乔 口
石油类/(mg/L)	0.087	0.056	0.047	0.048	0.050
总磷/(mg/L)	0.082	0.072	0.061	0.100	0.087
$\text{NH}_3\text{-N}/(\text{mg/L})$	0.44	0.41	0.39	0.52	0.49

湘江长沙段水质一季度（枯水期）最差，三季度（丰水期）相对最好。

湘江长沙段年均综合污染指数变化如表 6.22 所示，从表可知“九五”期间明显高于“八五”时期。主要污染物中石油类浓度上升趋势明显，“九五”期间明显高于“八五”期间，从 1996 年起，年均值都超过国家地面水三类标准，超标率高达 56%~63%，而氨氮和总磷呈波动状，有增加趋势，1999 年氨氮年均值为十年最大值，比十年均值 0.46mg/L 高 0.26mg/L，水质略有下降。

表 6.22 湘江长沙段年均综合污染指数变化动态

年代	1990 年	1991 年	1992 年	1993 年	1994 年	1995 年	1996 年	1997 年	1998 年	1999 年
指数	0.44	0.45	0.40	0.39	0.40	0.32	0.47	0.55	0.46	0.55

④ 城市声环境 长沙市城市噪声处于中等污染水平。1996~2000 年长沙市交通噪声变化动态如表 6.23 所示，1996~1998 年全市交通干线噪声平均值在 72.0~73.0dB (A) 之间，1999 年降至 70.7dB (A)，2000 年又降低至 69.8dB (A)。其根本原因是除了随着绕城环线的全线通车，市内道路车流量有所降低外，1999 年 9 月 21 日长沙市政府发布通告，在市区内主要道路禁止机动车鸣笛，收到了显著效果。

表 6.23 长沙市交通噪声变化动态

时 间	1996 年	1997 年	1998 年	1999 年	2000 年
LeqdB(A)	72.3	72.0	73.0	70.7	69.8

从 1996~2000 年，长沙市区域环境噪声下降缓慢，5 年内共下降 1.2dB (A)，区域噪声变化动态如表 6.24 所示。

表 6.24 长沙市区域环境噪声变化动态

时 间	1996 年	1997 年	1998 年	1999 年	2000 年
LeqdB(A)	54.4	54.2	54.1	53.4	53.2

1996~2000 年长沙市区暴露在不同等效声级下的面积分布如表 6.25 所示，其中 51~55dB(A) 区间的面积最大，五年平均占总监测面积的 43.48%，小于 60dB(A) 的面积有 91.33%，说明长沙市大多数区域噪声低于 GB 3096—93《中华人民共和国城市区域环境噪声标准》中规定的 2 类区（居住、商业、工业混杂区）标准，基本上适于居住。1996~2000 年长沙市噪声大于 55dB(A) 的面积，在逐年减少，说明市区环境噪声在逐年改善（表 6.26）。

表 6.25 长沙市区暴露在不同等效声级下的面积比率/%

LeqdB(A)	36~40	41~45	46~50	51~55	56~60	61~65	66~70	71~75
1996 年	0.7	2.8	24.6	37.5	22.9	8.3	2.4	0.7
1997 年	0.7	0.7	23.3	46.2	19.1	8.3	1.7	
1998 年	0.7	2.8	21.2	46.1	19.1	9.4	1.7	
1999 年	0.7	4.5	24.6	43.1	19.8	6.3	1.0	
2000 年		2.1	26.7	46.5	22.6	2.4	1.7	
平均值	0.7	2.6	23.9	43.5	20.7	6.9	1.7	0.7

表 6.26 长沙市 55dB(A) 以上城区面积变化动态

时 间	1996 年	1997 年	1998 年	1999 年	2000 年
LeqdB(A)	24.8	21.0	21.8	19.5	19.3

⑤ 城镇污染控制 随着城市化进程的加快、城市人口的增长、规模的扩大，长沙市城市污水与垃圾的产生量也在增大。2000 年生活垃圾排放总量为 80.9 万吨，大部分为填埋处理；生活污水排放总量为 29130.4 万吨，仅有 3668 万吨（12.59%）得到了有效处理。至 2000 年长沙市污水处理厂只有 2 个，通过多年的努力，城镇污染虽然初见成效，但由于城市环保设施建设远不能适应城镇发展的需求，污染防治任务仍很艰巨。城市环境综合整治定量考核制度的执行和城市工业污染物排放总量控制的实施，长沙市空气环境质量基本稳定，SO<sub>2</sub> 的污染总体上略呈减弱趋势，噪声污染有所改善。但是由于城市污水、垃圾收集和工程远远落后于城市的发展，导致生活污水对地表水的污染突出，城市垃圾和“白色污染”较严重，交通的发展使 NO<sub>x</sub> 的污染逐年加重。

#### 6.4.1.3 生态环境变化影响分析

(1) 森林生态系统 长沙市森林结构、树种结构、年龄结构不合理，纯林较多，抗病虫害能力差，由于在短期内森林结构难以恢复原生水平，致使森林植被蓄水保土、防风固沙、调节气候、净化空气和防洪减灾等生态服务功能减弱，不能有效地控制水土流失，导致地力衰退，林地生产力不高。

(2) 水污染 长沙市水资源时空分布不均和水质污染将加剧水资源短缺，给社会、经济发展造成危害。长沙市虽然地处湘江中下游，水资源相对较为丰富，但随着社会和经济的发展、人口的增长、城市化水平的提高，对水的需求日益增加，在部分区域水资源的供需矛盾将日益突出、水污染日趋严重。一是地区及季节性水资源匮乏，影响正常的生产、生活。二是湘江水污染的影响对城市饮用水造成威胁。水资源的区域性、季节性不足和污染将会制约长沙市社会、经济的可持续发展。

(3) 农业生态环境形势严峻、污染影响面广

① 农药、化肥 长沙市农药、化肥的施用量较大，并呈上升趋势。农药、化肥的大量施用，严重污染了农产品，使品质下降，直接危害了人体健康。据 2000 年和 2001 年上半年对长沙大型农产品批发市场的蔬菜污染情况进行了抽样检查，共抽取 7 批 62 个样品，有 50 个样品超标，综合超标率达 80.6%，其中农药残留超标 39.7%，铅、铬等金属超标达 46.7%，硝酸盐、亚硝酸盐超标率 43.2%。特别是 5~10 月份，蔬菜污染更加突出，五一节蔬菜综合超标率达到 83.4%；国庆节蔬菜综合超标率达到 91.2%。茶叶农药残留污染严重，大部分不符合欧盟等发达地区标准，畜禽样品中激素类物质污染残留超标现象严重。

农药、化肥的广泛使用，蛇和蚯蚓明显减少，许多病虫鼠类的天敌消失，农作物对农药的依赖性越来越强。同时，化肥的使用，一定程度上造成了土壤物理性质恶化、土壤板结、肥力下降，这样又不得不多使用农药和化肥，进一步造成产品和生态环境的污染。而氮肥、磷肥的过量施用，残余部分向水体转移，加上局部地区直接向水体滥施农肥，从而加剧对水体污染，结果使局部水体已呈富营养化。此外，畜禽粪尿污染影响不容忽视，2000 年全市畜禽粪便年排放量约 300 万吨。

② 残留农膜 长沙市农膜使用量较大，2000 年，农膜使用量为 3704t，13.4% 的耕地使用了农膜，单位耕地农膜使用率达 9704kg/hm<sup>2</sup>，废弃农膜并未得到及时回收处理，从而

改变了土壤的物理性状，污染土壤，影响农作物的发育。

#### 6.4.1.4 主要生态环境问题成因

长沙市生态环境问题：①森林质量不高，森林生态效益低；②河流、湖泊水质污染较为普遍，水域生态功能下降；③农药、化肥及农膜的大量使用，农业生态安全难以保证；④人为因素。

(1) 社会因素 长沙市人均耕地面积低于全国同期人均耕地水平，而且其他各种自然承载压力增加。

(2) 经济因素 随着人口的增长和经济的发展，经济的非持续性发展是主要生态环境问题的直接原因之一。农业方面，依靠农药、化肥的大量施用来增产增收，有机肥的施用比例则逐渐减少；渔业方面，滥施化肥，导致局部水体富营养化；林业方面，历史上除了国有林业企业砍伐天然林资源外，林区的毁林开荒，乱砍滥伐现象严重。

(3) 法制政策管理因素 湖南省为保护全省的生态环境，相继制定了不少的有关生态环境保护法规，但目前尚未形成一个较完善的生态保护法规体系，不能完全满足生态环境保护的要求。

#### 6.4.1.5 生态环境保护对策及建议

加强领导，强化宣传教育，提高全民生态环境保护意识。

加强法制建设，强化生态保护监督力度，促进生态保护工作的法制化。

坚持走可持续发展道路，促进生态环境形势的根本好转。

加强科研支持能力，完善生态环境监测体系。

制定和实施生态保护规划和生态保护行动计划。

完善环境经济政策，增加生态保护投入。

#### 6.4.1.6 评价因子的选择

根据野外生态调查资料和收集的图件资料，依据对土地利用方式影响的显著性及资料和可利用性筛选出坡度、地基承载力、土壤生产性、植被、土壤渗透性、地表水、居民点用地程度、景观价值 8 个评价因子。

#### 6.4.1.7 单因子生态适宜度分级标准及其权重

用 5、3、1 三级表示某种评价因子对某种土地利用适宜的高低，根据各评价因子对土地利用方式的影响程度赋予不同的权重。

#### 6.4.1.8 单因子叠加获得综合适宜度，制定综合适宜度分级标准，绘制综合评价图

依据评价因子分级标准作出单因子分析图，并对单因子评价结果进行叠加，单因子叠加采用加权因子法评价。根据评价值分级标准、权重，综合评价值在 1.0（不适宜）~6.0（适宜）之间，然后将综合生态适宜度分为很适宜、适宜、基本适宜、不适宜、很不适宜 5 级。

对 8 个评价因子加权叠加，根据上述分级标准，对综合适宜度叠加结果进行处理，划分出最适宜用地、适宜用地、基本适宜用地、不宜用地和不可用地 5 类用地，从而建立城市发展用地适宜度模型。依据城市发展用地适宜度模型，为土地合理配置、有序开发提供科学依据，使得城市发展更趋合理。

长沙市各类用地比率为：最适宜用地 3716.21km<sup>2</sup>，占总用地的 31.42%；适宜用地 2197.99km<sup>2</sup>，占总用地的 18.58%；基本适宜用地 2476.89km<sup>2</sup>，占总用地的 20.94%；不适宜用地 2807.25km<sup>2</sup>，占总用地的 23.74%；很不适宜用地 628.38km<sup>2</sup>，占总用地的 6.31%，最适宜用地、适宜用地、基本适宜用地共计 8391.09km<sup>2</sup>，占总用地的 70.92%，

说明长沙市适宜开发的土地较多。

#### 6.4.2 生态敏感性分区

为保证自然资源的永续利用与可持续发展,协调开发与保护的矛盾,基于3S技术,把土壤渗透性、植被类型、地表水、坡度、特殊价值5个因子作为生态敏感性分区的评价因子,用5、3、1三级表示某种评价因子,根据各评价因子对土地生态敏感性高低的影响程度赋予不同的权重。对5个评价因子叠加,根据综合评价价值把生态敏感区分为最敏感区、敏感区、低敏感区、不敏感区4个类型。

长沙市各类用地比率为:最敏感区2860.99km<sup>2</sup>,占总用地的24.19%;敏感区3177.47km<sup>2</sup>,占总用地的26.87%;低敏感区2156.08km<sup>2</sup>,占总用地的18.23%;不敏感区3632.23km<sup>2</sup>,占总用地的30.71%;不敏感区和低敏感区5788.31km<sup>2</sup>,占总面积的48.94%,说明长沙市开发、发展用地的潜力很大。

#### 6.4.3 生态系统服务功能分区

在野外生态调查和室内资料分析的基础上,对长沙市的不同生态系统生态服务功能单元及价值大小进行评估,按生态系统服务功能重要性标准将生态系统分为最重要、重要、一般、不重要4个类型。

##### 6.4.3.1 最重要生态系统服务功能区

最重要生态系统服务功能区分为以下几个部分,总面积为3773.44km<sup>2</sup>,占总面积的31.91%,该区域为重点保护区域,不能作为城市发展用地。

(1) 浏阳河源头及水源涵养林生态服务功能区 浏阳河全长共222km,流域面积3211km<sup>2</sup>,流经浏阳市、长沙市共40个乡镇。该生态功能保护区主要指浏阳河源头至大溪河、小溪河交汇处的杨潭乡(现高坪乡)、双江口河段(浏阳河上游)的流域面积,包括大小溪河、大围山自然保护区(省级)以及规划作为长沙市第二供水水源地的株树桥水库(供水流量6.94m<sup>3</sup>/s,日供水量60×10<sup>4</sup>m<sup>3</sup>)。

(2) 洩水源头及洩山水源涵养林生态服务功能区 洩水全长144km,流域面积2430km<sup>2</sup>。该生态服务功能区主要为自洩水源头开始到黄材水库的上游河段,主要包括洩水的南北两个源头、洩山自然风景区以及黄材水库,整体服务功能区面积在200km<sup>2</sup>左右。

(3) 捞刀河源头生态服务功能区 捞刀河全长141km,流域面积2543km<sup>2</sup>。该源头保护区主要指捞刀河上游从浏阳市石柱峰到永安镇的河段以及在望城县境内的支流(金井河)所在的流域面积。

(4) 黑麋峰水源涵养林生态服务功能区 黑麋峰海拔590.5m,总面积约50km<sup>2</sup>,其森林覆盖率达73.9%,是湘江沿岸的重要水源涵养林。

(5) 长沙市市区生态屏障服务功能区 这里主要指长沙市市区周围的一些植被比较茂盛、覆盖度比较高的区域,主要为长沙市区的进一步发展提供了生态方面的屏障。具体包括望城县东部、北部以及长沙县西部的林地。

##### 6.4.3.2 重要生态系统服务功能区

重要生态系统服务功能区主要包括浏阳市、宁乡县、长沙县的草地、山区的耕地(水田和旱地)。长沙市重要生态系统服务功能区面积为4851.96km<sup>2</sup>,占总面积的41.03%,可适度发展为城市用地,但要慎重使用。

##### 6.4.3.3 一般重要生态系统服务功能区

长沙市一般重要生态系统服务功能区面积为3156.65km<sup>2</sup>,占总面积的26.69%,表明

城市发展用地潜力较大。

#### 6.4.3.4 不重要生态系统服务功能区

长沙市不重要生态系统服务功能区面积为 43.05km<sup>2</sup>，占总面积的 0.36%，这也就表明该区域的土地利用程度非常高，和实际情况基本一致。

#### 6.4.4 生态功能分区

综合生态系统的敏感性分区和生态服务功能分区的成果，结合长沙市的自然地理和社会经济条件，按其重要性将长沙市划分为 5 个类型的生态功能分区，即 I 类区、II 类区、III 类区、IV 类区、V 类区。基于生态敏感性分区和生态服务功能分区结果，在 GIS 等技术的支持下，对长沙市土地进行生态功能分区，分区结果为 I 类区面积为 14.58km<sup>2</sup>，占总面积的 0.12%；II 类区面积为 4056.01km<sup>2</sup>，占总面积的 34.33%；III 类区面积为 1610.42km<sup>2</sup>，占总面积的 13.64%；IV 类区面积为 3091.67km<sup>2</sup>，占总面积的 26.18%；V 类区面积为 3038.93km<sup>2</sup>，占总面积的 26.73%。长沙市生态功能分区规划图如图 6.5 所示。

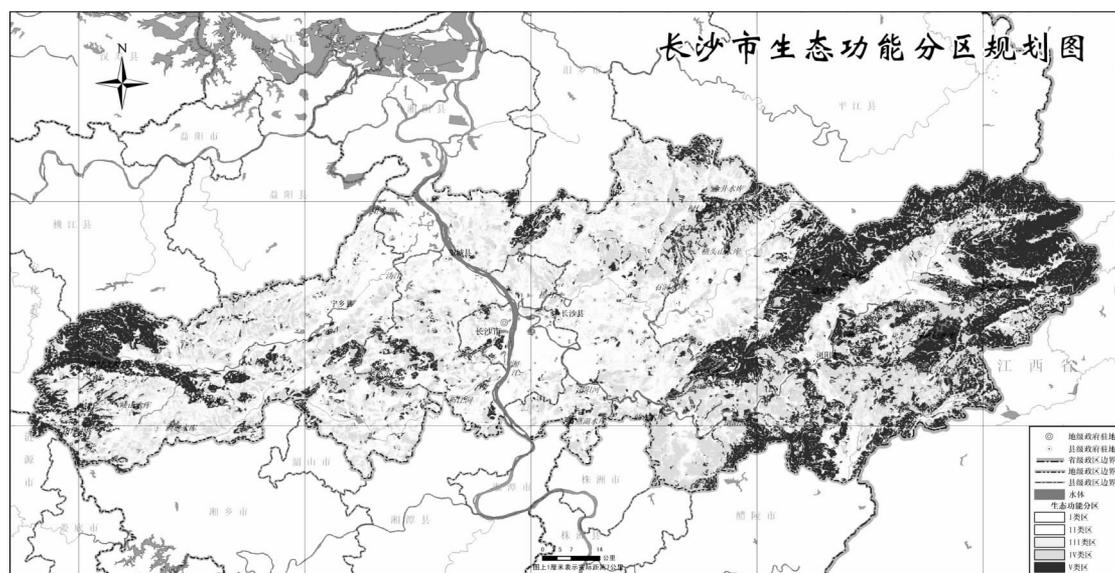


图 6.5 长沙市生态功能分区规划图

## 参考文献

- 1 杨一光. 云南省综合自然区划. 北京: 高等教育出版社, 1991.97~250
- 2 杨一光. 试论生态分区的概念、等级单位和划分依据. 云南大学学报(自然科学版), 1994, 16(3): 189~194
- 3 McHarg I L. 设计结合自然. 北京: 中国建筑工业出版社, 1992.1~208
- 4 欧阳志云, 王如松等. 生态规划的回顾与展望. 自然资源学报, 1995, 10(3): 204~215

## 思考题

1. 简单介绍生态敏感性分区的方法。
2. 简单论述城市扩展地的适用性分析方法。

## 第 7 章

# 生态经济建设规划

### 7.1 概述

生态经济是可持续发展的重要途径，是建设生态城市的必要条件。生态经济倡导在物质不断循环利用的基础上，彻底改变单项流动的经济模式，把经济活动对生态环境的影响减低到尽可能小的程度。与发达国家相比，我国城市生态经济体系效益整体水平较低。研究表明，产业结构水平低、产业布局不合理、城市化进程缓慢以及生态环境脆弱是制约我国城市生态经济发展的主要阻力，很大程度上阻碍了中国城市的可持续发展。因此，应考虑城市特征，建立与社会环境、生态环境相协调的生态经济系统，从而推动城市经济、社会、自然与生态共同发展。

生态经济建设是在总结传统经济发展模式的基础上，以人类社会大系统的可持续发展理论为指导，运用生态学、生态经济学和系统科学原理来实施区域建设。生态经济建设不仅强调生态环境是人类经济活动的载体，同时认为生态环境为经济系统提供有限的生产要素。生态经济建设运用自然生态系统的动态平衡原理和物质转化、高效利用原理，来改造传统农业、传统工业和第三产业，进行产业结构调整，使自然系统、经济系统和社会系统有机结合，达到生态、经济和社会效益的最佳结合，实现环境、经济和社会的均衡协调发展，使城市发展走上可持续发展的道路。

生态经济建设规划研究的对象小到一个生产工艺，大到整个国民

经济的发展策略。城市生态经济建设规划涉及经济、环境和社会三大领域，强调在经济上追求尽可能多的价值，城市及周边地区的自然环境受到尽可能小的不良影响，尽可能多地增加就业机会，从而促进社会全面进步。本章主要从产业结构调整 and 新型产业的发展展开，介绍我国目前发展生态经济的具体措施。

## 7.2 主要内容

生态经济规划基于生态经济学原理中生态系统承载力理论，分析经济增长过程，确定资源的开发、运输和使用方法及在行业间的最佳配置比例。它通过纵向、横向和区域耦合，将生产、流通、消费、回收、环境保护和能力建设融为一体，使物质、能量能合理利用、高效产出，自然资源和生态服务功能不断积累，使传统粗放型经济增长方式逐渐转换成技术含量较高的集约型经济增长方式。

从规划内容上来说，生态经济建设规划包括生态产业结构调整规划、新型生态产业设计和基础设施建设规划，而每一个具体规划下面又有相应的子规划。这些规划形成紧凑的发展体系，如图 7.1 所示。

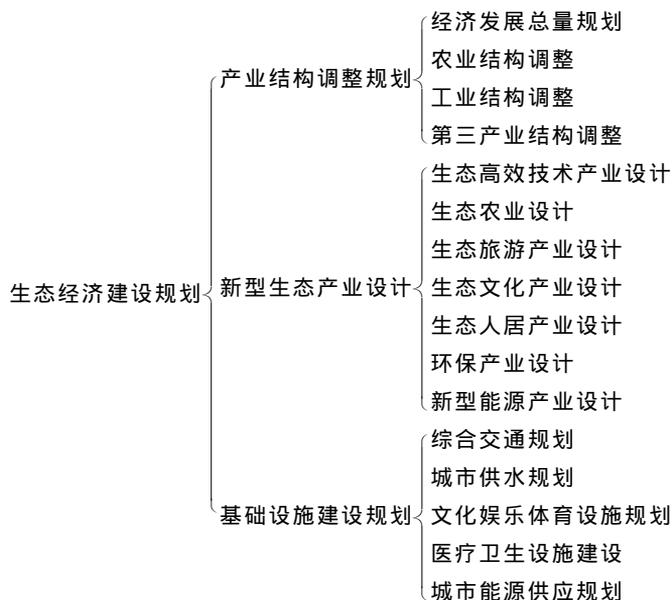


图 7.1 生态经济建设规划体系

按照城市生态控制论的理论，生态经济建设规划应从以下几个方面入手。

### 7.2.1 充分考虑城市生态环境特征，调整产业布局

考虑城市的地理位置、气候特征、资源分布等先天性条件是实施生态经济建设规划关键的一步，调整产业布局要因地制宜，应避免千屋一面、百城同貌。过去一些城市没有进行认真规划就仓促建设，忽略本地区特征，在经济规划上一味地上项目、盲目扩大单个产业的规模，结果导致各种资源的浪费，城市生态环境受到负面影响。对于中东部经济较发达城市，应充分利用发展速度快和经济基础强的优势，逐步调整产业布局。而对于经济发展缓慢的西部地区，结合其自然资源充足和发展后势强的特征，全面推动城市的生态经济建设。以农业为主的湖南省结合自身特色大力发展花卉业和旅游业。位于湘东地区的浏阳市、株洲市根据

现有的栽培习惯，重点培育绿化苗木、古桩盆景，将强红槭木的香化、防返青技术研究，创建品牌，同时在园林树种方面，大力培育、引进新的品种，推出了醴陵花卉容器品牌。

### 7.2.2 缩短科技转化为生产力的周期，提高经济增长中的技术含量

随着人类社会的不断进步，作为第一生产力的科学技术在整个经济发展过程中发挥着越来越重要的作用。研究科学技术特殊的发展规律、缩短科技成为生产力的周期是提高地区经济的必经之路。创建城市信息平台、鼓励新技术的研制和开发、提高劳动者的整体文化素质，是缩短科技与生产力之间转化周期的必经之路。传统的经济增长主要是依赖原材料和人力的大投入，既浪费了资源又对生态系统造成了一定程度的破坏，同样的经济增长幅度却付出了沉重的环境代价。加入 WTO 以后，我们面临众多机遇和挑战，同时人口众多、资源（特别是自然资源）短缺，如果仍继续采用传统的经济增长模式，将很难在国际经济舞台上找到一席之地。资料表明，发达国家单位 GDP 中的技术含量是发展中国家的几十倍甚至几百倍。扩大技术在经济增长中的贡献率，可以使我们在保护生态环境的同时快速发展经济，是城市生态经济建设规划中的关键步骤。

### 7.2.3 大力发展绿色产业，注重企业生态经济效益

作为低能耗、高产出、无污染、高效率的绿色产业，是发展生态经济的必然产物。建立产业间的生态链，即使一个产业的副产品或废物作为另一个产业的生产资源。在产业内部，降低单位产品能耗、物耗和水耗，使产品与材料的原料强度最小化，增加原材料的循环利用率，延长产品的使用寿命。结合地区特色，创造一批龙头企业，争取通过相关组织的质量认证、安全卫生认证，以取得进入国内、国际市场的资格和国内外消费者的信任，从而带动本地区整体经济水平的提高。由于大量成功企业的不断涌现，能够使企业在较短的时间，降低了单个产品的成本，从而造就了生产中的正外部效应，从根本上提高了整个行业的经济效益。在市场条件和环境条件允许的情况下，企业可以利用先进技术切断或减少更多的污染物排放，创造有助于企业发展的生态文化，提高企业整体员工的生态意识，在进料、生产、包装、运输、销售等环节中树立正确的经济价值观。作为新世纪的朝阳产业，绿色产业在我国将成为新的经济增长点。被称为“绿色电”的风力发电在内蒙古辉腾锡勒得到开发应用，称为内蒙古电力行业中最具特色的事业。对于汽车行业，可以开发使用电力和其他能源驱动的“绿色汽车”。为了适应人们亲近自然的需求心理，着重开发天然纺织品和天然日用品，比如“顶呱呱”、“益鑫泰”等一批知名品牌已经走入千家万户。

### 7.2.4 实现清洁生产和提倡文明消费

清洁生产是进行无废或少废生产的技术，它有两层含义，既要实现生产过程中无污染或少污染，又要保证产品在使用或最终丢弃过程中不对环境造成危害。自 1993 年初我国进行清洁生产以来，中央政府及很多地方政府在这方面投入了大量的人力和物力，取得了一定的成就。推动城市及周边地区清洁生产的工作重点是大力推动生态工业园区的建设，要根据城市已有环境污染综合治理的需要，将生态园区结构性污染与园区产业结构的调整结合起来，在企业之间推行高新技术，减少由粗放型发展模式导致的大量污染，控制小规模企业生产的污染量。对于那些污染严重又无后续发展能力的企业，要运用政府职能，进行转产或进行资产重组。比如，污染环境较严重的化工行业能源消耗量大，占全国一次性能源产量的 10%，因此清洁生产既可以减少有害污染物的排放，又可以增加经济效益，湖南湘江氮肥厂就是一个比较成功的例子。该厂从合成氨中回收有用化学物质，采用清洁生产后，可回收氨水 8000t，节煤 5000 多吨。

树立市民的环保意识，建立适于“可持续发展”的文明消费方式，一般模式是政府主导、社会参与，政府提倡在消费过程中尽可能地多利用，少排放，呼吁人们改变传统的高消费、高浪费的生活模式。意大利政府已经严禁生物降解包装物，法国政府投资用于发电厂的脱硫设施和先进的化学工艺，欧盟大量提倡使用无铅汽油。针对我国国情，政府可以建议市民多选择公共交通工具，建立征收汽车尾气排放费用制度，提倡使用可回收利用的生活用品，加大对塑料等不易降解产品使用的管理力度。对于企业而言，应制定严格排污管理条例，控制企业对资源尤其是一些不可再生资源的使用。

#### 7.2.5 提高资源再生和综合利用水平

众多自然资源（比如土地资源、水资源等）都不是取之不尽、用之不竭的，提高资源的再生和综合利用水平是发展生态经济的重要组成部分。对于生态城市的建设有很多现有措施可以选择，根据城市的经济特征，建立城市污水处理和中水回用系统，建设焚烧发电、烧制砌块、制成肥料等垃圾资源化综合利用系统。

目前国内在这方面取得了一定的成绩。我国较大的城市污水处理厂——天津市纪庄子污水处理厂采用渐减曝气活性污泥法污水二级处理工艺，处理能力达  $26 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ，服务面积  $3770 \times 10^4 \text{ m}^2$ ，服务人口 108 万，自投入运行以来，其处理水质均达设计要求，符合农灌标准，因此部分处理水已用于下游的农田灌溉，成功地解决了城市污水回收问题。国际组织援助建成的南京水阁有机垃圾填埋厂，利用有机垃圾的发酵技术产生大量气体，采用真空抽气加以负压状态回收得到甲烷进行发电，在保护了生态环境的同时，又获得了良好的经济效益。以上两例都对我们城市经济建设规划起到了很好的示范作用。

### 7.3 产业结构调整规划

产业结构是城市经济结构的主体，影响着城市生态系统的结构和功能。产业结构是人类作用于生态环境的主要环节，是产业系统内部各个部门或行业之间的比例配置。城市产业结构的不同比例对整个城市的社会经济发展和生态环境质量具有举足轻重的作用。作为发展中国家，我国城市的产业结构比例存在着一定的区域差异。经济发展较快的沿海、沿江地区第三产业的比重日益增加，但对于一些老的重工业城市整体比例失调，从而导致城市经济发展速度缓慢、生态环境恶劣，对城市的可持续发展造成负面影响。因此，调整不合理的产业布局、改善老城市的产业结构成为中国城市生态化进程中重要的源动力之一。

在经济转型时期，特别是可持续发展观念已深入人心的今天，如何调整原有的各个产业的内部结构，使经济增长与经济资源相协调，已成为各级政府和众多经济专家关注的焦点。他们在注重理论研究的同时，不忘实践性研究。研究资料表明对于城市生态经济建设规划，产业结构调整规划主要设计两个方面：产业结构和产业布局。

调整产业结构，形成以高新技术为指导、基础产业和制造业为支撑、服务产业全面发展的产业格局，应大力扶持绿色产业如信息技术产业、高新技术产业，加快改造高投入、低产出的传统产业，加强城市及周边基础设施建设，鼓励发展现代服务业。

城市产业布局应首先考虑城市的可持续发展，提高土地人均产出率，寻求立体发展产业的新方式。城市产业布局具体应遵循的原则为：产业布局符合城市的环保要求，根据风向风频等自然要素和环境条件，在生态适宜度大的地区设置工业区，排污较多的企业应设立在下风向区和取水水源的下游；综合考虑经济效益、社会效益与环境效益的协调发展，以城市整

体规划和城市环境保护规划为指导，根据城市实际情况，选择主导产业；既要有利于改善生态结构，促进生态良性循环，又要有利于发展经济，改善城市产业布局。

### 7.3.1 经济发展总量规划

进行生态城市的产业结构调整的前提，就是制定合理、安全、可行的发展经济总量规划。城市生态规划的经济总量规划同其他与之平行的经济发展规划相比，更注重结合生态效益，对于城市的生态环境给予了更多的关注。从规划过程来说，经济发展总量规划的来说分为两步。

#### 7.3.1.1 分析现状

从人均 GDP、产业结构及劳动就业结构等同指标体系相对应的几个方面对城市现阶段的工业化水平进行评价。当进行横向比较时，计算人均 GDP 有时就需要将人民币换算为美元，这里涉及美元与人民币之间的汇率如何确定。关于这一点，赞同国内学者的意见。在用钱纳里的阶段划分方法判断所处发展阶段时，必须考虑到以下两点：一是美元自身贬值可能对判断产生的影响；二是汇率法有可能低估发展中国家人均 GDP 水平的影响。为了剔除前一点的影响，可以把比较期的人均 GDP 换算为 1970 年的美元，或者把发展阶段划分的数量标准调整为比较期的美元。对于后一点的影响，可以考虑用人均 GDP 的购买力水平 (PPP) 加以补充分析。运用以上所述方法，对钱纳里判断发展阶段的指标进行调整 (见表 7.1)。

表 7.1 人均经济总量与经济发展阶段关系表

阶 段	初级产品生产阶段(1)	工业化初级阶段(2)	工业化中期阶段(3)	工业化后期阶段(4)	发达经济初级阶段(5)	发达经济高级阶段(6)
人均 GDP(1970 年,美元)	140~280	280~560	560~1120	1120~2100	2100~3360	3360~5040
人均 GDP(1980 年,美元)	300~600	600~1200	1200~2400	2400~4500	4500~7200	7200~10800
人均 GDP(1998 年,美元,汇率值)	530~1200	1200~2400	2400~4800	4800~9000	9000~16660	16600~22730
人均 GDP(1998 年,美元,购买力平均值)	1700~3010	3010~5350	5350~8590	8590~11530	11530~16850	16850~22730

同时对重点工业污染源统计资料评价城市经济环境协调发展现状。对于一个城市，要参考近年来的重点污染源企业，制定重点污染源工业环境污染统计表，统计表应包括企业个数、工业生产总产值、工业生产利润、环保设施固定资产原值、废气（水）排放量、万吨用水量、废气（水）处理率等指标。

#### 7.3.1.2 总量发展目标

根据规划城市的国民经济和社会发展纲要确定近期、远期发展的经济总量发展目标，可以遵循如下原则确定生态市经济发展总量目标：①参考已制定的城市国民经济和社会发展计划纲要中所确定的该市分阶段发展目标；②以所规划城市的经济发展现状为基础，结合其三大产业的分布特点，考察其发展潜力与趋势，增强目标的合理性与可操作性；③结合设定的生态市建设规划指标体系及发展适宜目标，根据《生态县、生态市及生态省考核验收标准（试行）》（国家环境保护总局）所提出的指标及《全国生态示范区考核标准》、《国家环境保护模范城市考核标准》中有关经济发展的指标，对城市经济发展提出总的要求与发展分阶段目标。

### 7.3.2 产业结构调整

合理的产业结构是生态城市经济发展的基础，针对我国城镇特点，产业结构调整应从以

下几个方面着手。

### 7.3.2.1 加快发展第二产业

第二产业是经济发展的重要源泉，发展第二产业倡导以高新技术产业为先导、以传统优势产业为基础，推动生态城市的工业化进程。

(1) 加快高新技术产业发展 加快发展高新技术产业，抢占产业发展制高点。规划建设健康发展的科技产业基地，引进一批国内外高新技术企业和高科技人才，培育自主研发机构和知识产权。加快研究开发新材料、新技术、新设备，引进国外一流技术和设备。大力支持电子信息和精细化工业的发展，培育新能源、新材料和光机电一体化等新兴产业。积极扶持民营科技园发展。

(2) 改造提升传统优势产业 用高新技术改造传统产业，强化产业改造对经济增长和结构升级的推动作用，跟踪国内外同行业和相关技术的发展趋势，适时调整和发布产业发展指南，引导资金投向，促进产业不断优化升级。

(3) 优化企业组织结构 鼓励企业以市场为导向，依靠优势互补，通过兼并、收购、重组、改制等手段加大资源整合力度，实施资本运营，发展一批集研究、开发、生产于一体的大型企业集团。

### 7.3.2.2 大力发展第三产业

推进第三产业的市场化和现代化，大力发展信息服务和现代物流业、振兴旅游业、稳步发展房地产业、提升中介和社区服务业，在社会事业和公用事业产业化进程中培育新的产业亮点。

### 7.3.2.3 巩固提高第一产业

加快农业结构调整，推进科技进步，加强基础设施建设，发展效益农业，搞活农产品加工流通，千方百计增加农民收入。首先提高农业科研机构的产学研相结合水平，加强基层农业技术综合推广体系建设，应用先进农业技术提高土地运营效益，加快对现有农产品加工企业的技术改造。其次应加快推进农业规模化生产，发展区域特色农业。鼓励和扶持以农产品加工储运为主的龙头企业，完善专业批发市场，提高农产品加工流通水平。推动企业与农户建立联合经营、风险共担的利益共同体，实行产加销一体化经营。最后应高标准搞好农业基础设施建设。

## 7.3.3 农业结构调整

### 7.3.3.1 农业产业结构调整遵循原则

农业产业化是小区域经济发展的基础，针对生态城市的特点，农业结构调整应遵循以下原则。

(1) 动态市场原则 产业结构必须与市场供求相协调是调整产业结构的基本要求。市场供求是随着经济发展水平和人们的收入水平不断变化的，农业产业结构调整必须要主动适应市场供求的变化。既要考虑现实供求，也要考虑潜在供求；既要考虑本地供求，也要考虑外地供求；既要考虑国内供求，也要考虑国际供求。

(2) 比较优势原则 在农业产业结构调整中，各地都应当根据自己的资源特点和生产经营、地理位置、环境条件等方面的比较优势，注重发展具有本地特色的产品，形成丰富多彩的生产格局，最大限度地满足人们多样化的需求。

(3) 主体自主原则 我们要充分尊重农民的生产经营自主权，政府只能通过制定和完善有关政策法规，提供信息、技术等各种服务，引导、帮助和支持农民调整农业产业结构。

(4) 效益统一原则 在农业产业结构的战略性调整中, 必须要坚持经济效益与社会效益、生态效益兼顾, 当前利益与长远利益相结合的统一性原则。

#### 7.3.3.2 农业产业结构调整的主要方向与策略方案

① 扶持重点企业, 利用龙头企业的带动性, 促进本地区经济发展。

② 根据市场经济对资源的配置要求, 加强养殖业、花卉种植业等经济农业的发展, 带动农业产业结构升级。

③ 加快品种改良和良种推广, 大力开发优质品种, 优化农产品品种结构, 全面提高农产品结构。

④ 考虑城市区域优势, 优化调整农业产业结构。沿海经济发达城市, 应把工作重点放在发展园艺产业、名特优水产品为主的养殖业、现代生物技术产业、农产品加工业等。位于粮、棉、油主产区的城市, 应着力发展适应加工需要的优质、专用品种, 调整畜禽品种结构, 特别注重推广水、肥、农药高效利用技术以降低农产品生产成本。属于西部生态脆弱区的城区, 提倡发展节水农业、生态农业和特色农业。

⑤ 加速发展农产品加工业, 健全和完善农业产业体系。

#### 7.3.4 工业结构调整

工业结构决定社会再生产的比例关系, 影响社会产品的供求关系, 影响一个国家和地区的经济效率, 关系到地区和企业的竞争力。按照城市可持续发展的要求, 应牢固树立新的工业发展观, 切实改变经济增长方式, 加强环境保护和生态建设工业, 因此应从以下主要方向对城市工业产业结构进行调整。

(1) 考虑工业污染对城市环境质量的影响, 优化工业发展布局 在工业发展布局上, 实行“五轮”并转、“五区”并动、兴工立市的战略。从战略上调整工业布局, 考虑工业污染对城市环境质量的影响, 并同产业结构优化升级和所有制的调整完善结合起来, 坚持有进有退, 有所为有所不为。通过工业布局, 实现宏观上定位, 微观上重塑。通过整合和提升, 实现以国有工业为内核、充分发挥其驱动力和牵引力; 以城镇集体工业为深层, 充分发挥其传导力和带动力; 以三资、民营、个体等工业为表层, 充分发挥其影响力和作用力的“五轮”并转的发展格局。

(2) 引导和促进支柱产业的发展, 实施集团战略, 优化企业组织结构, 重点扶持名牌产品, 提高市场竞争力和占有率 重点突出抓好电子信息、机电一体化、新材料等新兴产业, 实行大发展、大投入、大产出战略, 抢占未来产业发展的制高点。加大其企业重组和技术改造力度, 形成规模经济, 增强产业的集中度和关联度, 使之更好地发挥对经济发展的带动和支撑作用。依托现有基础和优势, 以市场为导向, 在收缩支柱产业发展的同时, 加快产品结构调整步伐。加大对名牌拳头产品的扶持力度, 通过集中投入和技术改造, 促使其上规模、上档次、上水平, 提高市场竞争力和占有率。与此同时, 还必须加大新产品的开发力度, 不断开发适应市场多层次需求的新产品和新品种, 促进名牌拳头产品的更新换代。围绕支柱产业和名牌拳头产品的发展, 按照市场经济规律, 引导和促进企业以资本为纽带, 通过兼并联合, 组建企业集团。坚决打破地区、行业、部门和所有制的限制, 推进国有资产的流动和重组, 对现有国有企业实施抓大放小的战略性改组。对企业集团的组建和发展实行优惠的扶持政策, 从各方面创造好的条件和环境。企业集团要按照现代企业制度要求, 制订正确的发展战略和经营策略, 建立和完善内部动作机制, 不断提高经营管理水平。与此同时, 要积极引导中小企业围绕名牌拳头产品和企业集团进行专业化分工协作, 推动中小企业向“小而专、

小而精、小而特”的方向发展。

(3) 加大技术更新改造投资、人力资本投资、研究开发投资的力度,增强企业的研究开发能力和市场竞争能力,促进传统工业的改造与提升。政府应给予更新改造投资以更多的支持,同时更主要的是创造和维持公平竞争的环境,刺激企业更多地投资于技术更新改造;要通过多种激励措施,调动企业科技人员和广大职工进行技术创新的主动性、积极性和创造性;要引导、鼓励企业建立多渠道、多层次的科技资金投入体系,确保逐年有所增长;促使企业在积极引进国外先进技术的同时,还必须注重在消化吸收中创新,充分发挥引进技术的放大效应;要加快培育技术市场,提高技术成果商品化和产业化程度,加快企业技术结构调整的步伐。

(4) 大力发展以信息产业为核心的高新技术产业群,优化资源配置。美国从20世纪80年代开始,就将劳动密集型产业转移到发展中国家,自己则集中财力、物力,大力发展高新技术产业。对我国来说,发展以信息科学技术为核心的高技术产业化,已成为推动城市经济发展的战略制高点。我们要选择一批关联度大的高新技术项目,集中力量加以扶持,尽快形成产业规模。

(5) 建立灵活、规范的投资融资体系。对于很多城市而言,资金的短缺成为制约产业结构调整瓶颈问题,因此必须建立健全投资融资机制,通过各种途径获取发展资金。要加大股份制改造的步伐,要通过组建企业集团盘活现有资产存量,在这里特别值得提出的是要设立城市产业投资基金和引进外资。

同时,政府应采取多种措施,营造较好的投资环境,吸引外资。政府应从培养技能潜力、改善交通状况、增强经济增长动力、降低企业成本、提高市民生活质量五方面入手,在改善投资硬环境,还要注重投资软环境的改善。如此,外资才会源源而来,生态城市的资源优势才会转变为现实的经济优势,从而优化产业结构。

### 7.3.5 第三产业结构调整

遵循生态系统“整体、协调、循环、再生”的指导思想,生态城市第三产业结构调整的主要方向与策略如下。

(1) 实施服务名牌战略,科学地选择和培育第三产业内部的主导行业。主导行业选择是第三产业结构战略性调整的核心与关键。在规划中,运用层次分析模型,在专家咨询的基础上构造第三产业主导行业优化结果。选择权重排在前几位的行业为城市第三产业发展的主导行业。

(2) 以市场化、产业化、社会化为方向,建立充满活力的第三产业自我发展机制。走产业化、社会化道路是发达国家发展第三产业的一条成功经验。城市第三产业结构的战略性调整也应借鉴这一成功经验,并切实做好以下三个方面的工作:一是严格筛选、正确区分第三产业中的非营利型和营利型两种性质的行业,对营利型行业实行彻底的产业化和社会化改革。对少数不适宜实行产业化经营的非营利型行业,由政府从财政收入中拨专款扶持其发展;对可实行产业化经营的行业,一律推向市场,使之从福利型、公益型、事业型向经营型转变,实行企业化管理,政府不再给予行政性拨款。除市场管理部门按照有关法律规定实施行业管理外,行政部门不再干预第三产业运行,也不准向第三产业摊派或变相摊派不合理费用,借此优化第三产业发展的宏观环境。二是对企事业单位和机关自办的服务性、福利性设施进行分离,实行市场化管理,逐步实现企事业单位和机关后勤服务及福利设施的社会化与产业化经营。三是鼓励实行股份制、集团经营、租赁、

承包、合资等多种经营形式，扶持企业集团发展，建立适应第三产业发展的企业组织形式和经营机制。

(3) 多渠道融资，继续保持对第三产业的高投入 政府对第三产业的投资占总投资的比重应不低于 70%。要利用国家重视基础设施建设的大好时机，争取国家更多的投资；要争取更多省级投资的倾斜投入；要遵循谁投资、谁受益的原则，积极招商引资，将第三产业发展实行充分的市场化经营；要建立并完善政府投资与民间投资的良性互动机制，最大限度地吸引民间投资参与第三产业发展。

## 7.4 新型生态产业设计

### 7.4.1 生态产业的概念和特点

#### 7.4.1.1 生态产业的概念

随着现代经济的高速发展和人口膨胀，生态系统变差，生态环境恶化，人类与生态环境出现严重对立，生态问题越来越严重，这成为限制经济发展，威胁人类生存不可忽视的方面。由此，人们的消费欲望不再仅仅只是物质需求和精神需求，而是还包括了生态需求。高层次的生态需求的满足，反映了人类本性，是人的本质力量的新的证明。要满足人类的生态消费，就必须培育良好的生态环境，开拓生态消费品。改变旧的传统产业发展方式，发展生态产业是达到这一目标最有效、最直接的途径。

所谓生态产业是按生态经济原理和知识经济规律组织起来的基于生态系统承载力、具有完整的生命周期、高效的经济过程及和谐的生态功能的网络型、进化型、复合型产业；是以生态学基本原理为指导，以生态系统中物质循环与能量转化的规律为依据，以“自然-社会-经济”整个生态系统的动态平衡为目标，以生物为劳动对象，以农业自然资源（土地资源、气候资源、水资源、生物资源）为劳动资料，以生物科学技术为劳动手段的经济部门。不同于传统产业，生态产业运作的基本单元是产业生态系统，它以环境为体、经济为用、生态为纲、文化为常。其主要包括以下部门。

(1) 主体部门——生态农业，主要包括生态林业、生态畜牧业与生态渔业等。

(2) 基础部门——生态工业，主要包括污水处理工程、垃圾处理工程与废品回收工程等。

(3) 支撑部门——生态信息业，主要包括资源卫星、气象卫星等。

(4) 应用部门——生态服务业，主要包括生态旅游、绿色产品业等。

#### 7.4.1.2 生态产业的特点

生态产业通过两个或两个以上的生产体系或环节之间的系统耦合，使物质、能量能多次利用、高效产出，资源环境能系统开发、持续利用。企业发展的多样性与优势度，开放度与自主度，力度与柔度，速度与稳定度达到有机结合，污染负效益变为正效益。其与传统产业相比较，具有显著特征（见表 7.2）。

(1) 生态产业是未来经济发展的必然趋势 长期以来，传统生产尤其是传统工业生产给生态环境造成了极大破坏，使人们误认为发展经济不得不破坏生态环境，是与保护生态环境相互对立的，这种状况是狭隘惟利生产方式所造成的结果，并不是必然的，也不是惟一的。而人类的进步，社会的发展，从本质上看，既是社会经济系统自身的进化，也是人类与环境关系的优化。

表 7.2 生态产业与传统产业的比较

类别	传统产业	生态产业
目标	单以利润、产品导向	综合效益、功能导向
结构	链式、刚性	网状、自适应型
规模化趋势	产业单一化、大型化	产业多样化、组合化
系统耦合关系	纵向、部门经济	横向、复合生态经济
功能	产品生产+环境影响	产品生产+社会服务+生态服务+能力建设
经济效益	局部效益高、整体效益低	长期效益高、整体效益大
废弃物	向环境排放、负效益	系统内资源化、正效益
调节控制	外部控制、正反馈为主	内部调节、正负反馈平衡
环境保护	末端治理、达标排放、高投入、低耗型	过程控制、寓环保于生产和消耗中、低投入、盈利型
社会效益	减少就业机会	增加就业机会
行为生态	被动、分工专门化、行为机械化	主动、一专多能、行为人性化
自然生态	厂内生产与厂外环境分离	与厂外相关环境组成生态复合体
稳定性	对外部依赖性强	抗外部干扰能力强
进化策略	更新换代难、代价大	协同进化快、代价小
可持续能力	低	高
决策管理机制	人治、自我调节能力弱	生态控制、自我调节能力强
研究与开发能力	低、封闭型	高、开放型
工业景观	灰色、破碎、反差大	绿色、和谐、生机勃勃

在人类充分认识了传统生产方式所造成的恶果，并充分认识生态演化规律以后，人类必将意识到狭隘惟利的传统发展方式是不符合人类的根本利益的，而选择扭转那种极端化的行为，选择有利于改善生态环境的新型生产方式，发展现代生态经济。

(2) 发展生态产业可以获得较高的投入回报 生态和经济可以统一起来，达到两者最优。一方面，经济效益可以与生态效益直接关联在一起。即人类可以在尊重生态规律的前提下，利用生态系统及其自运行，通过补充、完善某些要素，或改善生态系统内部及其与外部的联系，优化生态系统，并引导其为人类提供人们需要的产品，达到两个系统的耦合。而人类的投入只是补充某些生态要素，改善生态环境，从而形成并维持高效稳定的生态系统，使生态系统的能量流动和物质循环保持平衡，这比起人类重建整个生态系统的投入要小得多。同时，改善了生态系统能够产出更多的产品，从而提高经济效益。不论是人类组建生产系统，还是利用已有的自然系统，通过补充，改变成生产系统，均是为了取得产品或者收益，这是人类一切经济活动的原则，只是在生态产业中表现为生产性投入产出与对生态资源的投入补偿及其溢出的耦合，达到双优的结果。当然这一结果是采取了有利于生态环境的生态型生产，如果单纯为了经济利益而采取了对生态环境破坏的行为，则会导致两者俱差，这一点在实际中有许多体现。另一方面，对于经济效益与生态效益不直接关联，或者两者不相一致的生产，可以由整个社会或国家进行调整，对有利于生态环境的生产进行经济补偿（也包括对直接产生生态效益的生产进行补偿），提高其经济效益。而对那些不利于生态环境的生产征收其损害生态环境的社会成本，降低其所获得的经济收益。这样做也是人类自身调节生产的一种方式，因为，从整个社会长远发展来看，人类的生产活动所取得的效益应是整体效益，对企业来说，既包括企业的直接经济效益，也包括生态效益。有些生产具有生态效益，既有利于社会长期发展也使其他生产和个人享受生态效益，自然社会要对其进行补偿。相反，如果某些生产破坏生态环境，既不利于社会长期发展，也使人们深受其害，增大了生产的社会性成本，就应支出这一成本。由于生态效益大多呈现出公益性和外部性特点，对有些

生产来说,在市场经济中,其生态效益不能表现为企业直接的经济效益,使其只顾直接经济效益,不愿为生态效益而有损于经济效益,更不愿为此而投资,往往为了经济利益而破坏生态环境,这是狭隘惟利生产方式存在的经济根源。所以,必须对此进行社会调节,从而影响人们的生产选择。事实上,生态产业的发展也是科技革命与产业结构调整的结果。

(3) 发展生态产业与可持续发展是一致的 可持续发展主要是针对目前工业文明那种掠夺资源、破坏生态环境的短期行为,从长远发展上提出来的,其更多的是注重生态环境的重要性,经济发展理念的转变等。但是,在树立长远的发展观的基础上,则需要从生态系统的耗散结构和生产、产业发展的角度来定位,其结果就是发展生态产业。它同样强调对生态环境的保护和长远发展,但它更注重解决怎么做,发展什么的问题,从生产这一破坏生态环境的源头和根本上解决了可持续发展问题。而且,生态产业是在重新认识并定位生态环境的价值,从人类生产与生态环境的关联上提出来的,对评价各种经济活动、各个产业的生态功能具有现实操作意义。

#### 7.4.2 新型生态产业设计

##### 7.4.2.1 设计总原则

新型生态产业着眼于生态系统持续发展能力的整合,主张变环境投入为生态经济产出,促进生态资产与经济资产、生态基础设施与生产基础设施、生态服务功能与社会服务功能的平衡与协调发展。其创新表现在两方面:一是生态效率的创新,把产品的生产工艺改进得更好,以生态和经济上最合理的方式利用资源;二是生态效用创新,设计生态和经济上更合理的产品,以最大限度地满足社会需求。

新型生态产业通过两个或两个以上的生产体系或环节之间的系统耦合,使物质、能量多级利用、高效产出,资源、环境能系统开发、持续利用。其产出包括产品(物质产品、信息产品和人才产品)、服务(售前服务、售后服务和生态还原服务)和文化(企业文化、消费文化和认知文化)。针对生态经济建设规划而言,新型生态产业的组合、孵化及设计应根据整体、协调、循环、自生的生态控制论原理去系统设计、规划和调控人工生态系统的结构要素、工艺流程、信息反馈关系及控制机构,在系统范围内获取最高的经济效益和生态效益。

新型生态产业以对社会的服务功能而不是以产品为经营目标,将生产、流通、消费、回收、环境保护及能力建设纵向结合,将不同行业的生产工艺横向耦合,将生产基地与周边环境包括生物物质的第一性生产、社区发展和区域环境保护纳入生态产业园统一管理,谋求资源的高效利用、社会的充分就业和有害废弃物向系统外的零排放。它的总设计原则如下。

- (1) 横向耦合:不同工艺流程间的横向耦合及资源共享,变污染负效益为资源正效益。
- (2) 纵向闭合:从源到汇再到源的纵向耦合,集生产、流通、消费、回收、环境保护及能力建设为一体,第一、二、三产业在企业内部形成完备的功能组合,产品在其生命周期全过程实施系统管理。
- (3) 区域联合:厂内生产区与厂外相关的自然及人工环境构成空间一体化的产业生态系统或复合生态体,逐步实现废弃物在系统内的全回收和向系统外的零排放。
- (4) 社会整合:企业将社会的生产、流通、消费、回收、环境保护及能力建设功能融为一体,在提供生产功效的同时培育一种新型的社区文化并提供正向的生态服务。
- (5) 结构柔化:灵活多样、面向功能的生产结构、管理体制、进化策略和完善的风险防范对策,可随时根据资源、市场和外部环境的随机波动调整产品、产业结构及工艺流程。
- (6) 功能导向:以企业对社会的服务功能而不是以产品或产值为经营目标,产品只是企

业资产的一部分，通过其服务功能、社会信誉、更新程度的最优化来实现价值，并谋求工艺流程和产品的多样化。

(7) 人类生态与增加就业：劳动不只是一种成本，也是劳动者实现自身价值的一种享受，合理安排和充分利用劳动力资源，提高劳动生产率的结果是增加而不是减少就业机会，员工一专多能，是产业过程自觉的设计者和调控者，而不是机器的奴隶。

(8) 软硬结合：配套的软件和硬件研究开发体系，决策咨询体系，管理服务体系及人才培养体系，配合默契的决策管理、工程技术和营销开发人员。

(9) 信息网络：满足内外信息及技术网络的畅通性、灵敏性、前沿性和高覆盖度。

(10) 自我调节：以生态控制论为基础，能自我调节的决策管理机制、进化策略和完善的风险防范对策。

#### 7.4.2.2 设计的思路与方法

##### 7.4.2.2.1 生态农业设计

(1) 生态农业相关理论 生态农业是 1971 年正式提出的，英国的 Worthington 对生态农业首次下定义：“生态农业是生态上自我维持，低投入的，经济上有生命力的，目标在于不产生大的和长远的环境方面或伦理方面和审美方面不可接受的变化的小型农业系统”。

西方生态农业，主张顺应自然、保护自然、低投入，不用化肥、农药，减少机械使用，不再追求农产品的数量和经济收入，而是排斥现代科技的应用，极力强调生态环境安全、稳定，农业生产系统良性循环。我国生态农业从农业的持续与协调出发，充分吸收现代农业强调农产品数量、效益、规模，以及注重应用科学技术和现代化管理技术的特点，同时吸收西方生态农业在保护农业自然资源和環境，减少污染，降低化学能使用等方面的优点。因而具有自身的特点。

① 追求生态效益与经济效益的统一。中国的生态农业在提高生态效益的基础上提高经济效益，把提高生产力及效益作为基本目标。而西方生态农业更加注重生态的可持续性，对农业的产出与商品率并不关注。

② 现代科学与中国农业的传统经验相结合。中国的生态农业并不否定现代高新技术，并将废弃物处理技术、无土栽培技术、害虫综合防治技术等与中国传统农业重视有机肥投入和其他适用技术相结合，从而形成了多样的生态农业技术体系。而西方生态农业限制现代化技术的应用，特别强调生态学基础。

③ 自然调控与人工调控相结合。而西方生态农业则更注重自然调控，反对人为干预。

④ 综合性与区域性相结合。生态农业是一个综合农业生产体系，涵盖了农、林、牧、渔、加工、贸易等内容，具有综合性的特点，又因我国地域辽阔，因此，生态农业模式的建立强调根据地区特点，因地制宜。

从一般意义上讲，生态农业意味着环境友好的工业体系，是根据生态学与生态经济的原理，运用系统工程及现代科技方法组建起来的与自然生态系统协调发展的综合农业生产体系。根据我国国情，我国农业的生态经济建设应把农业生态经济的发展与农民的利益挂起钩来，这样，农民在利益动机的驱动下，也将积极发展农业生态经济。

(2) 生态农业设计方法 依据生态农业的设计原则，以提高整个系统的总体功能和综合效益为目标，以资源利用合理，主要物质和能量的多层次分级利用，系统能量转换率高等为原则，可从初级生产者、次级生产者、分解者、市场交换及补偿多个层次出发进行生态农业设计。我国山地多，因此在大多数地区应以山地型生态农业为主要模式，充分利用山地、丘

陵的生态环境特点和丰富的生物资源，以保持水土为重点，提高农民生活水平为关键。

① 针对植被保持得较好、且仍有原始森林分布的地区，宜以保护为主，搞好野生蔬菜的开发和野生动物的人工养殖。

② 针对一些植被较好，但树种单一、多为次生性植被的地区，设计、建设生态农业应一方面搞好植被保护，另一方面，进行树种的调整，增加经济林的面积，开发利用各种生物资源，从而提高农民收入。

③ 针对耕地区，坡耕地区必须搞好退耕还林、还草工程，同时注意增加农民利益，平缓耕地则搞好农田改造，提高优质高产田的比例，实施多种经营，实现农产品增值增收。

④ 针对沙漠化区域，由于其生态环境极为恶劣，因此必须以治理为主，即以恢复土层和植被为主，应选择一些耐旱耐瘠的植物，如花椒、紫茉莉、马尾松等，通过长期的努力使生态环境得以根本改善。

总之，应针对各地的现实状况与特色，根据生态产业设计原则合理地进行生态农业规划与设计，使农业内部第一产业和第二、三产业的比例得到进一步的优化调整，从而促进生态效益与社会经济效益协调发展。

#### 7.4.2.2.2 生态旅游产业设计

(1) 生态旅游产业相关理论 生态旅游是以自然生态环境为基础，以满足人们日益增长的回归自然、欣赏自然、认识自然和保护环境的需要为目的的一种新型经济活动。国际生态旅游协会认为，生态旅游具有保护自然环境和维系当地人民生活的双重重任。

生态旅游产业是以生态旅游资源为凭借，以旅游设施为基础，为生态旅游者的生态旅游活动创造便利条件并提供其所需商品和服务的综合性产业；是由众多部门和相关行业组成的向生态旅游者提供各种服务的社会综合体。它作为生态旅游系统中沟通生态旅游主体（生态旅游者）和生态旅游客体（生态旅游资源）之间的媒介，在推动生态旅游的发展方面起到了供给、组织和便利的作用。其相关行业包括：有关生态旅游“准备”的行业，如办理生态旅游咨询和预订业务的旅行社、出售旅游用品的商业、传播生态旅游及目的地的信息的信息业等；有关生态旅游“移动”的行业，如铁路、航空、汽车、雪橇等；有关生态旅游“逗留”的行业，如饮食业、旅馆业、娱乐业等。

(2) 生态旅游产业设计方法 生态旅游资源的开发、规划是一个复杂的系统工程，它涉及一个国家或地区的经济、资源、社会和环境等多方面的因素，需要各级政府机构、社会组织 and 公众的广泛参与和合作。因此，规划、设计生态旅游产业前宜建立生态旅游资源开发协调小组，制定具有指导意义的生态旅游资源开发规划和相应的生态旅游管理法规，使资源的开发纳入法制化、规范化的管理轨道，以促成生态与经济的双赢局面。同时，生态旅游产业的网点建设要配套，综合服务设施要跟上，否则，就难以发挥生态旅游项目的应有优势。故在规划、设计生态旅游产业时，必须分析生态旅游地的重要性，合理划分功能区，拟定适合动物栖息、植物生长、旅游者观光游览和居民居住的各种规划方案。且在规划、建设各种生态旅游点时，要充分体现生物（包括旅游者和居民）与环境的相融性，利用当地的生物资源，保护与发展生物多样性。此外，还要注意适度开发，限制环境容量界限，控制接待人数。具体说来，合理地设计生态旅游产业可从以下几个方面着手。

① 将生态旅游产业作为服务业的核心产业和龙头产业，加快旅游基础设施建设，进一步形成大旅游、大市场的发展格局。

② 立足资源优势，增加各方投入，面向市场需求，优化产品结构，确保生态旅游产品

在旅游市场上的魅力。

③ 应处理好保护与开发的矛盾。在保护中开发，在开发中保护，协调好各方面的经济利益关系，实现旅游资源的可持续利用，使生态旅游走可持续发展道路。

④ 增加政府投入，加强旅游基础设施建设，努力创造便捷、安全、卫生、舒适的旅游环境。

⑤ 设计中要考虑采取一定的科技手段，对生态旅游区的环境影响进行监测、评价，确定生态环境和旅游资源的承载力，为生态旅游资源开发利用中的保护和管理提供科学依据。

⑥ 生态旅游管理人员是整个过程的关键，是具体规划的实施者，必须加强技术培训，提高素质，以适应生态旅游产业的发展要求。

⑦ 同时还应加强自然资源持续利用的宣传教育，动员和鼓励当地居民和游客积极参与资源保护工作。

⑧ 最后，要对已开发的生态旅游目的地进行严格的目标管理，制定并健全环境保护和生态保护方面的法律法规，依法保护旅游环境，确保生态旅游产业按设计内容发展。

总之，设计要以保护旅游资源的永续利用，促进旅游业的持续发展为宗旨，适当开展生态服装、生态饭店、生态旅馆、生态交通等产业，促进生态经济的发展。

#### 7.4.2.2.3 生态文化产业发展设计

(1) 生态文化产业相关理论 文化本质上是人类对所处环境的一种社会生态适应。所谓生态文化，就是一种追求与自然生态系统和谐相处、协同进化的文化，反映了人类根本变化，其核心是建立一种与自然相和谐的价值观、道德观与伦理观。生态文化定位于生物与非生物之间的相互作用，因此，其文化要素比人性文化本身更加丰富多彩，内涵更加深厚，组成更加复杂。从总体上看，生态文化可以分为三大类，即形态要素、非形态要素和间形态要素。

生态文化强调人是自然界的一员，人类应发展、弘扬与自然和谐共处的思维方式、生产方式、生活方式和决策方式，并建立相应的社会保障机制。其认为地球资源是有限的，无论地球的自然价值量多么丰富，它总是以一定的自然物为载体，作为自然的属性和功能而存在，在物质循环和能量流动中形成；同时，自然价值的生成能力是有限的，资源并不是采之不尽、用之不竭的，尤其是石油、煤炭等不可再生资源，而人类利用自然资源维持自身生存、繁衍、发展的需要则是无限的。为了实现可持续发展，则需要人类树立正确资源观，其核心是建立一种低耗资源的节约型意识，以促进资源的节约，杜绝资源的浪费，降低资源的消耗、提高资源的利用率和单位资源的人口承载力，增强资源对国民经济发展的保证程度，以缓和资源的供需矛盾。生态文化产业则是运用知识生产力，以生态文化产品的生产、分配、交换和消费为轴线，通过文化产品的创造和传播，满足人民群众精神和生态文化需求的产业，它是专业文化、群众文化和生态文化的经济支撑。

(2) 生态文化产业设计方法 生态文化要求人们的消费心理由追求物质享受向崇尚自然、追求健康理性状态转变，即倡导符合生态要求，有利于环境保护，有利于消费者健康，有利于资源可持续利用，有利于经济可持续发展的消费方式。其基本思想是消费者从关心和维护生命安全、身体健康、生态环境、人类社会的永续发展出发，以强烈的环境意识对市场形成环保压力，从此引导企业生产和制造符合环境标准的产品，促进环境保护，以实现人类和环境和谐演进的目标。因此，为了生态文化的健康发展，生态文化产业的设计可从以下几方面着手。

① 设计前要充分了解群众的要求，并动员广大群众，参与建立新的社会价值观与新的生态道德体系。

② 应以尊重自然规律、人文规律和市场经济规律，以人为本、天人合一、历史文化命脉与现代文化、意识与行为相统一等为基本原则。

③ 需以进行全方位的环境与生态教育、培养健康的生态价值观和消费观为目的。

④ 应把可持续发展的指导思想作为设计之本，通过宣传、教育和培训，加强可持续发展的意识，促成可持续发展相适应的政策、法规和道德规范的建立。

⑤ 需注意制度资源的优化配置，考虑加强制度文化建设。

总之，紧密结合可持续发展思想是设计生态文化产业的关键点。

#### 7.4.2.2.4 生态人居产业设计

(1) 生态人居产业相关理论 生态人居，又称为绿色人居、绿色住宅、生态住宅或生态型住宅小区等，属于生态建筑范畴，是当今国际化城市发展的潮流和趋势，它以高新技术为先导，以可持续发展为战略，体现节约资源，减少污染，创造健康、舒适的居住环境以及与周围生态环境相融共生为原则。其内涵包括以下几方面：首先，从绿化上看，整个生态人居应是远看小区像“森林”，走进小区像“花园”；其不是一个独立的景观，而是应融入周围环境；其次，生态小区的环境质量应近似大自然的水准；此外，生态人居还必须在规划设计、规范管理、使用绿色能源、环境卫生等方面符合环境标准。

一般说来，生态人居产业就是与生态人居的生产和消费相关的有关部门的总称，包括人居生产和人居消费等门类。具体来讲，这一新型产业是由人居建设、人居开发经营、人居金融和中介服务部门等组成。

(2) 生态人居产业设计方法 生态人居的主人是生态人居活的灵魂，生态人居的“绿色生态”理念不仅要表现在人居环境上，更应深深植根于人居主人的意识中。然而国民的环保意识偏低正是生态人居产业发展面临的窘境。同时，生态人居产业所触及的不仅是建筑本身，还有一系列其他社会问题，理想中的生态人居模式与现实社会还存在较大差距，一系列政策、法规和技术措施也还有待完善。因此，在设计时应将可持续发展、以人为本、切合国情和社会公平原则作为建设优质人居产业的基本原则。总的说来，设计总原则是整体、协调、自生、循环。即需在结构上耦合多个环节，整合多种功能，充分展现其功能性、经济性、安全性、生态性、景观性、文化性、均好性、人（情感、社会）性、可持续性，从而有益于保护自然，促进可持续发展。具体可从以下几方面着手。

① 应使能源系统、营养系统、文化系统三者达到和谐统一。

② 应强调设计形态的动态与变化，而不是僵死的形式；强调设计的系统性，而不是单一目的自我表现；强调与环境的关系，而不是孤立地设置构筑物；强调环境科学、技术与文化艺术结合，而不是满足某些人对建设成就或象征性表达的片面追求。

③ 应体现“四性”：即可负担性，尽量降低造价，让老百姓买得起；可居住性，居住安全、舒适、健康；可适应性，可满足日常生活及将来的变化；可持续性，实现资源消耗最低，再生资源最多。

④ 以考虑生态人居对人体健康和舒适的影响及在建筑物全生命周期的每一个阶段中对自然环境的保护为基础，保护和再利用资源，保护和恢复当地生态系统，以创造舒适的社区，创造健康的人居，从而获得最大的经济效益。

⑤ 加强环境监测、认真治理污染、努力节约资源、加强园林绿化建设、大力提高人居

环境建设的科技含量等，且应具有足够的弹性以包容未来科技的应用与发展。

⑥ 应尽量节省能源、材料，减少对生物圈的破坏，加强对自然生态环境的保护。

⑦ 尽可能利用自然的方法创造出宜人的室内外空间环境，提高安全性，注意对使用者的关心，增强使用者与自然环境的沟通，使室内外小环境得到净化，改善小气候。

#### 7.4.2.2.5 环保产业设计

(1) 环保产业相关理论 旧环保产业是以防治污染、改善环境为目的所进行的各种生产经营活动。随着全球性产业结构调整向资源利用合理化、废物产生减量化、对环境无污染或少污染方向发展，环保产业得到了迅速发展，并逐渐引入了可持续发展思想。目前，新型环保产业在国际上有狭义和广义两种定义，狭义的环保产业是指为环境污染控制与减排、污染治理以及废弃物处理等方面提供设备和服务的行业，主要是相对于环境的“末端治理”而言。广义的环保产业既包括能源在测量、防治、限制及克服环境破坏方面生产与提供有关产品和服务的企业，还包括能够使污染排放和原材料消耗最小量化的清洁生产技术和产品。这种广义的定义是针对“产品生命周期”而言的，它包括产品的设计、生产、使用、废弃物的处理处置或循环使用等环节，也就是“从摇篮到坟墓”的生命全过程。简单说来，新型环保产业就是以实现环境可持续发展为目的所进行的各种生产经营活动。它包括四个方面：一是与自然资源开发和保护有关的生产服务企业；二是与节能降耗技术、减排及降低产品有害物质含量有关的技术研究开发、设备生产企业；三是废弃物的循环利用、处理处置技术的研究开发和设备生产企业；四是提供环境监测、污染治理等生产经营活动的企业。其分类见图 7.2。

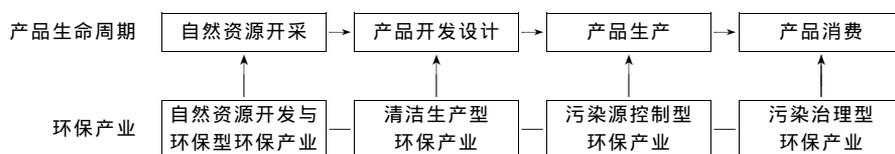


图 7.2 环保产业分类图

限于我国环保企业普遍弱小，技术创新和服务不足，加入 WTO 后，我国环保产业将会受到一定的冲击，但中外合资、外商独资环保企业的进入也必将加快我国环保产业的发展。因此，中外合作投资建设我国的环保产业将是一个趋势。从目前来看，一些环保产业的收益就是通过政府调节获得收益的。随着社会经济的充分发展，也随着人类对生态环境作用认识的逐步加深，这种调节将更有力，对生产的影响将更大。

(2) 环保产业设计方法 当前，环保产业存在的主要问题：一是管理体系不健全，缺乏政府的宏观调控和指导；二是结构不合理，技术装备落后，低水平重复建设现象严重，高技术含量的产品少，成套化、系列化、国产化水平低，一些急需的污染治理设备还没有自己的制造技术；三是环保产业市场混乱，地方保护、行业垄断现象严重，环保企业缺乏公平竞争的市场环境；四是企业规模小而分散；五是投入不足，融资渠道不畅；六是环保产业市场化机制还没有建立起来；七是环保产品和环境工程缺乏有效的质量监督。

针对这一系列问题，发展环保产业的指导思想是：认真贯彻落实可持续发展战略和科教兴国战略，坚持以市场为导向，以产品为龙头，以效益为中心，以企业为主体，以需求为动力，以质量为生命，实现经济效益与环境效益相统一的原则，逐步建立与社会主义市场经济体制相适应的环保产业宏观调控体系；建立与社会主义市场经济体制相适应的统一、开放、

竞争有序的环保产业市场体系和运行机制；建立与现代企业制度相适应的环保企业发展机制，不断提高污染防治能力，为环境保护提供良好的技术保障和物质基础，促使成为新的经济增长点。就各类环保产业的具体设计可从以下方面着手。

① 自然资源开发与保护型环保产业 目前，我国环境资源恶化的主要原因在于宏观管理力度不足、资金投入不够。在发展环保产业的战略上应采取以政府统筹规划、统一投资、统一管理为主的思路。在发展对策上，应随着我国经济实力的增强，以较快的速度加大资金投入，做好规划，并加强资金使用的管理；同时，可考虑采用经济与环境一体化核算制度（SEEA），促进国内生产总值（GDP）的增加；此外，还应优化存量，调整结构，促进环保产业规模化和集约化经营。

② 清洁生产型环保产业 清洁生产是通过资源的有效利用、稀缺资源的代用及资源的再利用，实现资源的节约和合理利用，在生产过程中，减少废弃物和污染物的产生和排放，以实现废弃物和污染物的减量化、资源化和无害化。从环境保护的角度看清洁生产型环保产业，主要包括研究、开发和在生产过程中采用先进的技术和设备，减少生产过程的“三废”排放量、提高资源和能源的利用率以及减少产品中有害物质含量等。

目前制约我国清洁生产型环保产业发展的主要因素是市场机制。因此，整体上应采取以企业为主体的发展战略，政府通过在政策和资金上加大对清洁生产技术创新的扶持力度，推进企业研究、发展和推广清洁生产技术、设备和洁净产品。同时，在我国应采取措施推进ISO 14000标准的实施，培育、发展和完善环保产业市场，规范市场秩序；此外，还应涉及质量技术监督方面，并组织建立环保产品标准体系，加强对环保产品质量监督管理，从而打破地方、行业保护，制止不正当竞争，建立一个开放、有序、公平竞争的市场环境和运行机制。

③ 污染源控制型环保产业 环境经济学理论认为，随着经济体系的逐步完善，政府职能的逐步转变，污染源控制服务更多地具有公共物品的特性，其投入将更多地依赖政府财政中的公共投入。但是，污染源控制型环保产业的产出功能具有两重性：一方面，保护环境是这类产业产出的公共物品功能；另一方面，它还同时具有为排污企业提供污染物处理的功能。因此，在经济发展的不同阶段，应采取不同的产业政策。

由于我国目前处于经济发展的初级阶段，在以后一个较长的时期内，应采取以政府投资为引导、政策为导向、企业为主体的发展战略，设计时需要依靠市场和政府的共同作用，通过各种行政和经济手段，引导社会上的科技、资金、管理等综合力量参与进来，形成“政府组织、部门牵头、企业出资”的新机制，为污染控制型环保产业提供市场化的条件，形成良好的积累和发展机制。而在经济发展的较高级阶段，由于其规模经济特征和溢出效应，在调整行政和经济政策的同时，考虑通过政府控股、收购等方式，由政府控制这部分产业，将其作为基础设施进行建设和管理，由政府来提供这部分公共物品的服务。

④ 污染治理型环保产业 目前，由于历史欠账多和经济发展快，我国的环境形势相当严峻，污染治理复杂、任务重，加上我国环保法律法规建设和环境保护技术的落后，经济实力较弱，我国环境面临继续恶化的危险。对污染处理型环保产业，应采取以政府为主体的发展战略，加紧建立和完善环保法律法规体系，加大执法力度，实施政府直接管制措施，严厉打击和制止各种有法不依、执法不严的行为，同时，中央及各级地方政府应制定和执行环境规划的目标，落实规划的资金投入，并改进各种环保资金的管理办法，切实承担起治理污染、改善环境质量的责任。此外，可考虑组织实施示范工程，加大重点领域关键技术开发和

重大技术装备国产化，提高环境设备成套化、系列化、国产化水平，提高企业技术创新能力。依靠技术进步，促进环保产业升级。

总之，各地区要加强对环保产业的领导，在机构改革中要理顺关系，切实担负起宏观调控部门牵头和组织协调的作用。要深入实际调查研究，在弄清本地区环保产业发展现状的基础上，提出本地区环保产业发展方向、对策措施，才能合理地设计该产业，着手编制环保产业发展规划，并根据本地区的实际情况确定工作重点。

#### 7.4.2.2.6 新型能源产业设计

(1) 新型能源产业相关理论 新能源和可再生能源的开发利用是我国能源发展战略的重要组成部分，对于改变我国能源结构、合理利用资源，解决边远地区农牧民用电，保护环境，促进经济社会可持续发展都具有十分重要的意义。加快我国新能源和可再生能源的发展，关键是加快其产业化发展的进程。因此，必须把新能源和可再生能源产业化发展作为工作重点。

我国能源赋存的基本特点是富煤、贫油、少气，这就决定了煤炭能源的重要地位。对于中国 21 世纪的能源战略，国家科技部部长徐冠华在 2002 年上海 APEC 会议上的讲话中讲得十分明确：“今后一段时期，煤炭仍将是我国的主要能源，面对目前石油资源紧缺和大气污染加重的双重压力，我们将在技术引进及消化吸收的基础上，大力发展清洁煤技术及其产业，重点开发和推广清洁煤发电技术、原煤液化技术等，实现煤炭技术发展的跨越，率先发展新型能源产业。”他要求在 21 世纪中国能源资源战略上，要积极运用高新技术武装和改造传统煤炭产业，促进煤炭产业结构的优化升级，将高科技含量的洁净煤技术全面注入煤炭深加工领域，并加强节能降耗和清洁生产技术的研究开发、引进和推广应用。可见，在相当长的时期内，利用高新技术资源与传统煤炭能源结合，走可持续发展之路是我国 21 世纪的能源核心战略之一。

(2) 新型能源产业设计方法 中国是世界上最大的能源生产和消费国之一，也是少数几个以煤为主要能源的国家之一，在能源生产和消费中，煤炭能源占到 75%，由其带来的环境问题日趋严重，中国政府已经决定在保持经济发展的基础上采取有力措施来解决环境与能源问题。针对此问题，国家经贸委制定了《2000 年至 2015 年新能源和可再生能源产业发展规划要点》，提出了中国新能源和可再生能源发展的战略目标。规划提出，到 2015 年，中国新能源和可再生能源的年开发量将达到 43Mt 标准煤，占中国当时能源消费总量的 2%，这等于每年少用 60Mt 煤炭，可减少排放二氧化碳近 30Mt，二氧化硫、氮氧化物和烟尘 2.10Mt。

目前，中国新能源和可再生能源年利用量大约为 3.00Mt 标准煤，仅占中国商品能源消费总量的 0.2%。故在制定能源政策、设计新型能源产业时，必须继续采取开发与节约并重的基本指导原则，把节能工作放在优先考虑的重要地位予以加强和发展。同时，努力开发适合中国国情的煤炭洁净利用新技术，也将是我国今后一段时间内面临的一个重要而亟待解决的问题。如：在中国煤电火力电厂集中的三北地区，应倾向于清洁煤技术和清洁煤电技术的深化研究和推广应用，鼓励煤炭资源的综合高效利用，要加快洗选煤、低硫煤使用和电厂脱硫工作等。在此基础上，还应积极发展核能发电技术；加速发展新能源和可再生能源技术；以及通过国际招标、风险勘探、成果共享的石油勘探国际合作；扩大原油生产能力和规模等。此外，也应加强对煤层气、天然气水合物等一类具有巨大潜在开发价值的新型能源的产业开发，以此改善中国不断恶化的环境状况，满足日益增长的经济对能源的需求。

总之，设计的基本思路是：以开发新型生态能源为前提，以加大引进和推广国际先进技术的力度、尽快改观能源效率低的局面为目的，以风力发电设备国产化为突破口，大力开发研究风能、普及和推广生态型的太阳能产品，以煤炭资源的综合高效利用为龙头，坚持技术进步，加强科学管理，集中优势，突出重点。从而，促使新能源和可再生能源产业生产上规模、技术上水平、产品上档次。

## 参 考 文 献

- 1 张坤. 循环经济理论与实践. 北京: 中国环境科学出版社, 2003
- 2 李长荣, 洪亚辉. 湖南省花卉生长的现状与发展策略. 湖南农业大学学报, 2003, 29 (6): 518~522
- 3 Arthur O'Sullivan. 城市经济学. 第四版. 北京: 中信出版社, 2003. 23~27
- 4 张淑群. 化工清洁生产. 化工环保, 1997, 17 (3): 151~152
- 5 杨爱华. 生态城市建设的实践与探索. 东岳论丛, 2003, 6 (24): 131~133
- 6 陈友华, 赵民. 城市规划概论. 上海: 上海科学技术文献出版社, 2000
- 7 梁成柱, 刘芳. 我国实施可持续发展战略面临的问题及对策. 经济与管理, 2003, (7): 15~16

## 思 考 题

1. 简述生态产业设计的方法。
2. 生态经济建设规划主要包含哪几方面内容？

## 第 8 章

# 生态社会建设规划

### 8.1 概述

生态社会建设规划是为建设生态社会提供宏观控制性的指导意见。国内外相关研究者认为生态社会是人类历史发展的必然产物。一些学者将人类社会（文明）的发展划分为三个阶段：农业社会—工业社会—生态社会，而任永堂认为应该有四个阶段：农业社会—工业社会—信息社会—生态社会，并从技术也就是生产力划分的“技术社会形态”角度加以验证。这些学者都认识到生态社会与以往社会历史阶段的本质区别，我国生态哲学家余谋昌认为：“如果把迄今的文化称为传统文化，那么可以分析它的许多特点。其中最根本的特点是，以人类中心主义为价值取向，以人统治自然为指导思想。”现代社会的信息技术和农业社会、工业社会的传统技术一样，都带有人类中心主义的文化特征。为了解决技术与生态的矛盾，消除人与自然的严重对抗，以新的人与自然协调发展的生态文化代替传统的文化在当代的信息社会中已经势在必行。这是继农业革命、工业革命、信息革命之后必然发生“生态革命”的内在原因，也是生态社会必然形成的根本原因。

沈清基提出与以往的文明（社会）时代相比，生态文明（社会）时代有以下几个新的特点。

① 在世界观上，它强调的是人类与自然的统一与和谐。它把人类和自然视为一个共存共荣的不可分割的有机整体，反对把人类与自然割裂开来的宗教神学和机械论的绝对人类中心主义。

② 在文明的内涵上，它强调“地球文明”与“人类文明”的统一与和谐。它把保持和发展一个文明的地球作为实现人类文明的先决条件，反对以牺牲地球文明为代价来实现人类文明的发展。

③ 在实践上，它强调经济、社会发展与环境的统一与协调。它把可持续发展作为自己的战略选择，摒弃片面追求经济效益而不顾生态效益的行为，反对以牺牲环境为代价来求得经济、社会的发展。

生态社会是可持续发展的重要目标。生态社会建设规划实质是一种社会规划，后者着眼于创造社会效益。社会效益是指在投入一定的劳动后，生产的各类产品能够满足人们物质、文化生活方面的需要程度，社会效益是由人们对物质和精神生活的满足程度这两类指标来衡量的。在城市生态规划中，生态社会建设的重点不仅仅是解决“人民日益增长的物质文化需要同落后的社会生产之间的矛盾”，而是必须考虑到如何协调生态环境、自然资源和经济社会发展之间的矛盾问题。因此人们物质文化需要的增长也必须满足可持续发展需要的，这是生态社会建设规划的关键所在之一。

生态社会一方面是生态环境建设与生态经济建设的目标，另一方面又是后者的保障，生态环境破坏的根本原因主要来自两个方面：①客观原因，因为社会需求的增长，尤其是巨大的人口基数（13亿人）以及每年一千多万的人口增长，以及人们物质水平提高，对资源环境造成巨大的压力，这种压力将长期存在；②主观原因，分为两个方面：观念方面，由于经济发展至上的战略指导思想、生态意识薄弱，不正确的消费观等原因造成的资源浪费与环境破坏；知识结构方面，例如传统的还原论思想指导下的规划理论与方法，无法科学全面地了解城市这个复杂巨系统，更谈不上正确指导其发展建设。对于客观方面，只能本着实事求是的原则，承认现实，并通过生态经济建设以及生态环境建设予以解决，如发展循环经济、通过发展节能（可再生能源）、环保的技术方法来调节、改善生态环境建设与降低能耗，至少延缓恶化的趋势；主观方面，一方面要大力普及生态社会的教育，提高人们的生态意识，建立良好的可持续的消费观，以及让人们认识到，发展不单单从GDP等指标发展速度的角度评价，而是实现经济社会生态的协调发展；知识结构的调整是在总结传统社会发展模式的基础上，以人类社会大系统的可持续发展理论为指导，运用生态学、生态社会学和系统科学原理来实施社会建设。

生态社会建设必须遵循科学性、全面性以及可操作性原则，一方面要运用最新的科技理论与技术，另一方面必须充分考虑到现阶段中国建设生态社会的客观条件与现实问题，合理规划，抓住重点，兼顾一般。根据国务院关于全面建设小康社会的目标，从“经济、民主、科教、文化、社会、人民生活”六个方面作为小康社会的建设目标，为现阶段生态社会建设提出了重要依据：生态社会建设主要解决问题应该包括生态社会相关知识的普及宣传教育、以及生态社会的技术与理论（包括适宜居住人口的模拟预测、发展生态科技、城市化过程中的可持续发展问题等）。因此，本章主要从人口适宜容量规划、科技发展规划以及小城镇生态规划、生态社区建设等几个角度，探讨生态社会建设的理论与方法。

## 8.2 城市人口适宜容量规划

适宜人口容量是指在某一特定区域内与自然资源和物质生产相适应的，并能产生最大社会效益的一定数量的人口。其目的在于解决人口增长、生产发展与资源有限性之间的矛盾，

并维持其间关系的平衡,促进社会的稳定发展。规划核心是自然系统的资源、环境与人口系统的生产、消费之间的平衡。

城市人口的增长、人口的积聚,是形成城市经济规模、提供足够的劳动力、市场的保障。但是城市人口的增长和积聚所带来的边际效益逐渐降低,而边际成本逐渐升高。城市人口过度增长,规模过度膨胀,带来管理的困难、运转的低效以及其他各种弊端。特别是环境污染、过度拥挤等问题,致使生活质量下降。如果发生恶性膨胀,就有可能突破资源承载力的极限。因此,寻找适当的均衡点是一项必要而困难的课题。

估算适宜人口容量的困难在于,由于从20世纪80年代开始的计划生育政策,城市人口的自然增长得到有效的控制,但城市的机械增长,即周边地区流动人口向少数几个大城市的聚集,成为城市人口增长的主要原因。而与此同时,农村剩余劳动力的转移问题,其实就是采用何种方式城市化的问题,是中国面临的严峻的社会问题。

根据中国现实情况,城市人口适宜容量必须从两方面来理解:①整体城市化的推进;②特定区域的人口控制。

葛永军等认为在测度和评价城市化水平高低时应该对人口城市化水平和城市人口绝对规模进行综合判断。“与流行的看法相反,中国的城市化水平与经济发展相适应的”,“中国城市的存量部分已经‘人满为患’,未来城市化的着力点应是城市的增量部分,包括现有城市规模的扩大和新城市的设置。应进行户籍制度、土地制度、创业制度等制度创新,为城市发展提供宽松的外部环境”。邹兵认为推进农村人口城市化的重点应该放在中小城市,特别是小城镇的发展上。应该将小城镇发展作为城市化的一个重要组成部分,为此提出“实施非均衡的小城镇发展战略”的观点。

综上所述,城市人口适宜容量规划的基本内容为:①根据可能性预测人口发展趋势;根据合理性由土地、能源条件预测人口的发展限制;由此确定城市近远期的适宜人口规模;②根据现状人口分布调查,提出城市(城区)人口密度调整意见;③有效控制城区机械增长的人口数量,并加强对流动人口的研究;④提出城市人口发展目标以及在规划期对城市发展的影响,包括人口的质量构成、年龄构成、劳动构成等。

### 8.2.1 人口总量预测

人类社会进入21世纪以后,经济全球化、信息化、知识经济时代的基因工程、克隆技术等社会科学和自然科学的发展,将对人口科学和人口管理带来革命性的影响。在这种情况下,准确认识和思考21世纪的人口形势和人口问题,对于从基本国情出发来判断社会经济发展所面临的机遇和挑战,理清人口研究的一些思路或许有一定的积极意义。其中人口总量问题仍然是人口问题当中的主要矛盾方面,人口总量的预测与控制在人口问题的解决中仍然排在首要地位。

传统的人口预测方法主要是逻辑斯蒂方程法、回归分析法、常微分方程法、动态预测法。

#### 8.2.1.1 人口变化的回归预测

回归分析在预测中有广泛的应用,人口总数对时间的一元线性回归数学模型用于人口预测时精度较高,计算简单且易于使用。

(1) 模型原理 首先假定一元线性回归模型为:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \varepsilon_i \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (8.1)$$

$\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n$  是独立同分布的随机变量,且每一个  $\varepsilon_i$  都服从  $N(0, \sigma^2)$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ 。其

中  $\beta_0$  和  $\beta_1$  是回归系数, 可利用最小二乘法来估算。构造平方和  $Q = \sum_{i=1}^n (y_i - \beta_0 - \beta_1 x_i)^2$  是误差平方和  $\sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2$ , 然后找使得  $Q$  达到最小值的  $\beta_0$  和  $\beta_1$  作为估计量, 利用多元函数求极值的方法解方程组:

$$\frac{\partial Q}{\partial \beta_0} = -2 \sum_{i=1}^n (y_i - \beta_0 - \beta_1 x_i) = 0 \quad (8.2)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial \beta_1} = -2 \sum_{i=1}^n x_i (y_i - \beta_0 - \beta_1 x_i) = 0 \quad (8.3)$$

用  $\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$ ,  $\bar{Y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$  分别表示  $x_i$ ,  $y_i$  的均值。

解得 
$$\hat{\beta}_0 = Y - \hat{\beta}_1 \bar{X} \quad (8.4)$$

$$\hat{\beta}_1 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})(y_i - \bar{Y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i y_i - n \bar{X} \bar{Y})}{\sum_{i=1}^n (x_i^2 - n \bar{X}^2)} \quad (8.5)$$

由此得到一元线性回归方程:

$$\hat{y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x \quad (8.6)$$

(2) 线性回归的显著性检验 检验  $H_0: \beta_1 = 0$  ( $H_1: \beta_1 \neq 0$ ), 计算方差。若回归系数效果显著, 则人口总数关于时间的线性关系显著, 模型对人口总数进行预测是可行的。

用此方法进行人口预测时, 要注意样本资料的选取, 注意与之相关的影响人口变动的主要因素是否有明显变化, 否则预测结果将会受到很大的限制。

### 8.2.1.2 总和生育率预测

总和生育率法具有原理清楚、可控性好、所需的数据较易取得等优点, 是目前人口预测中应用最为广泛、效果较好的方法。

总和生育法的基本原理是: 在计算出生人数时, 把总和生育率作为生育水平的控制变量; 在计算死亡时, 则以生命表作为精确描述死亡的数学模型。

按照该方法的原理, 确定以下的预测工作步骤。

第一步, 以某年, 如 1990 年人口普查年为基年, 计算出该年的完全生命表; 第二步, 以某个年份段如 1991~2000 年作为人口变动年, 分别测算出历年的一孩、二孩和多孩生育模式; 第三步, 利用第二步的测算推算 2000 年以后各年的总和生育率变化趋势; 第四步, 利用国家计生委发布的《CPPS 人口预测软件》进行人口自然增长情况的预测; 第五步, 考虑适当的人口机械增长比率进行人口总数的预测。

#### 【例】 总和生育率法预测长沙市人口

结合长沙市目前社会安定、生育政策稳定、计划生育得到有效控制的实际情况, 考虑未来人口机械增长的发展趋势, 确定如下的预测方案: 从 2000 年开始, 一孩和生育率继续小幅升高到 0.99, 随后稳定在这一水平; 二孩总和生育率稳步升高, 到 2015 年达到峰值 0.62 并保持稳定; 多孩总和生育率保持 0.0028 不变。三者之和的总和生育率到 2005 年为 1.35; 2010 年为 1.44; 2015 年为 1.61。人口机械增长率由 2000 年的 0.004 上升到 2004 年的

0.005, 随后小幅递增, 到 2015 年为 0.0061, 到 2020 为 0.0066。这样预测的结果是, 全长沙市 2005 年末总人口为 611.55 万; 2008 年末为 626.34 万; 2020 年为 697.07 万。

### 8.2.1.3 城市人口变动的影响因素

影响城市人口自然变动的主要因素是出生率和死亡率, 进一步的影响因素则是计划生育政策和医疗水平。

决定城市人口机械增长的主要因素是迁入率和迁出率。

### 8.2.2 人口控制对策

根据城市生态建设规划要求, 结合当前人口与计划生育工作中的突出矛盾和问题, 制订如下对策。

#### 8.2.2.1 推进计划生育依法治理步伐, 推动生态城市人口与计划生育工作迅速步入法制化、规范化的轨道

① 加快城市计划生育立法调研步伐, 迅即出台相应的《人口与计划生育管理办法》。

② 加快制定生态城市《流动人口计划生育管理工作实施办法》, 形成统一的流动人口计划生育综合管理模式。

③ 在土地、财税、户籍、企改、劳动、教育、医疗、就业等体制改革中, 制定有利于人口与计划生育工作的相关政策、措施。

#### 8.2.2.2 强化计划生育领导机制, 促进人口与计划生育工作综合治理, 齐抓共管

① 进一步加强计划生育党政领导责任的督查考核力度, 真正形成主要领导带队、相关部门参与、定量定性相结合、公开通报结果的检查机制。

② 就党政一把手对计划生育工作亲自抓、负总责提出具体标准, 形成中心组人口理论学习、计划生育工作常委(务)会专题研究以及把领导干部落实计划生育责任制的情况作为衡量政绩和选拔奖惩的重要内容, 作期内逐年考核、离任时进行审计等方面的制度。

#### 8.2.2.3 完善人口与计划生育利益导向和社会制约机制, 维护计划生育基本国策的严肃性

① 制定计划生育“一票否决”方面的操作细则。

② 由党委、政府组织有关部门对党员、干部违反计划生育政策处理不到位的情况进行一次专项清理; 对计划生育处罚难的问题制定相应的对策。

③ 迅速拿出专项资金解决独生子女保健费的拖欠问题, 妥善解决独生子女父母退休金增补 5% 的发放问题。

④ 着手研究适应社会主义市场经济条件的计划生育利益导向机制和激励机制, 制定针对计划生育家庭的奖励的优惠政策。

⑤ 设立人口与计划生育基金。

#### 8.2.2.4 加强计划生育基础建设, 保证人口与计划生育工作持续、稳定、健康发展

① 在即将开展的机构改革中, 保持计划生育机构和人员的相对稳定。

② 切实保证计划生育事业投入, 特别是乡、街一级的投入问题。

③ 规范劳动力市场的人才市场。

### 8.2.3 人口区域分布动态规律辨识

城市人口系统是城市系统中一个非常重要的子系统, 充分认识城市人口子系统的演变规律是城市系统分析、调控及规划的基础。在前人的研究中可对城市人口子系统的模拟预测已有相当的成就, 已建立如线性回归预测模型、LOGISTIC 模型、灰色动态预测模型及模糊

预测模型等相关模型，研究的成果对实际的人口增长规律有较好的反映，仍存在的不足是目前绝大多数已有的研究主要集中在模拟预测城市总人口随时间的变化，而对城市内部各区域人口的分异特征考虑不够。

正是基于这一点，考虑城市人口内部不同区域人口变化分异特征出发，依据耗散结构自组织过程建模思想，将城市人口区域之间的迁移耦合作用纳入到城市人口模拟预测模型中来，对城市人口时间序列及区域动态变化分异特征进行模拟研究。

### 8.2.3.1 城市人口系统辨识

城市人口系统是一个典型的远离平衡的开放的复杂系统，系统内外不断地进行着物质、能量及信息的交流，而在系统内部也不断的有物质、能量及信息的产生与消亡，系统的演化呈现出复杂的自组织特性。城市人口的增长主要由自然增长与机械增长两部分组成，自然增长由城市区域内人口的出生率与死亡率的差异引起，而机械增长主要由人口不同区域间的迁移引起。引起人口迁移的因素很多，主要有工作岗位、环境、居住条件及基础设施等。本文在建模过程中主要从宏观的角度出发，不考虑具体因素的作用，这大大简化了模型的形式及模型的解。

以一种较为理想的状态为出发点：①在可持续发展的要求下，城市系统人口的总量应该维持在城市资源承载力允许的条件下达到最大，以达到实现资源、环境与人口的高效协调发展的目的，即假定城市人口的总量保持不变，为常数；②城市人口与外部环境进行不断的交流，并假定城市系统内每个区域人口的流出率均相同；③城市人口区域之间有自由的迁入与迁出，即各区域内人口的增长一部分成为本区域的增长而另一部分流入其他区域。上述三个条件虽然较为理想化，但与实际还是比较贴近的。

### 8.2.3.2 城市人口区域分布自组织模型

(1) 模型的建立 在上述的假定条件下，可以用如下的非线性方程来描述城市人口区域分布动态变化：

$$\frac{dX_k(t)}{dt} = (A_k Q_k - D_k) X_k(t) + \sum_{l \neq k}^N \varphi_{kl} X_l(t) - \Omega X_k(t) \quad (8.7)$$

式中  $X_k(t)$ ——区域  $k$  内  $t$  时刻的人口数；

$A_k$ ——区域  $k$  内人口的增长率，包括自身的增长及城市系统外部（不包括城市系统内其他区域）的迁入；

$Q_k$ ——区域  $k$  内人口增长的有效率，即区域  $k$  内增长人口仍留在本区域的比率；

$D_k$ ——区域  $k$  内人口的死亡率；

$\varphi_{kl}$ ——区域  $l$  内人口向区域  $k$  的迁移率；

$\Omega$ ——城市系统人口的平均迁出率。

由式 (8.7) 可以看出，城市区域  $k$  内人口增长由迁入与自然增长引起，而减少由迁出与死亡引起。在现实情况中，城市人口区域之间的流动肯定是不均衡的，这在模型中由等式右边的第二项给予了描述。由以上所定义的量，可以得到总的迁移量满足以下关系：

$$\sum_k A_k (1 - Q_k) X_k = \sum_k \sum_l \varphi_{kl} X_l \quad (8.8)$$

由假设条件 (1) 给定条件：

$$\sum_k X_k = n \quad (8.9)$$

式中， $n$  为常数。由此可以得到整个城市人口迁出数量  $\Omega_0$  满足：

$$\Omega_0 = \sum_k (A_k - D_k) X_k(t) \quad (8.10)$$

为使研究问题不至过于复杂, 再次假设参数  $W_k$ 、 $\varphi_{lk}$  都是不随时间改变的 (其中:  $W_k = A_k Q_k - D_k$ ), 在这些近似条件下是有可能给出模型的确切解的。引入矩阵记号  $A$ ,  $A_{mk} = W_k \delta_{mk} + \varphi_{mk}$ , 其中:

$$\delta_{mk} = \begin{cases} 1 & m = k \\ 0 & m \neq k \end{cases}, \quad \text{令 } \varphi_{mm} = 0。$$

这样, 综合以上的方程, 可将式 (8.7) 改写为如下形式:

$$\frac{dX_m(t)}{dt} = \sum_k A_{mk} X_k(t) - \Omega X_m(t) \quad (8.11)$$

对方程式 (8.11) 在整个城市人口系统取和得:

$$0 = \sum_m \frac{dX_m(t)}{dt} = \sum_{m,k} A_{mk} X_k(t) - \sum_m \Omega X_m(t) \quad (8.12)$$

于是可得条件:

$$\Omega = \sum_{m,k} \frac{A_{mk} X_k(t)}{n} \quad (8.13)$$

最后, 得到了由式 (8.11) 和式 (8.13) 构成的城市人口区域分布自组织模型。

(2) 模型的求解 注意到即使在  $A_{mk}$  是常系数的情况下,  $\Omega$  因与所有的  $X_k(t)$  有关而是非线性的, 因此, 方程式 (8.11) 也是非线性的。为了使其易解, 此时认为  $A_{mk}$  与时间无关, 这样引入一套新变量  $Y_k(t)$ , 使得:

$$X_k(t) = Y_k(t) f(t) \quad (8.14)$$

式中,  $f(t) = \exp\left(-\int_0^t \Omega dt\right)$ , 式 (8.13) 现在化为:

$$\Omega = \frac{\sum_{m,k} A_{mk} Y_k(t)}{\sum_k Y_k(t)} \quad (8.15)$$

将式 (8.14) 代入式 (8.11) 可得:

$$\frac{dY_k(t)}{dt} = \sum_l A_{kl} Y_l(t) \quad (8.16)$$

同样在整个系统内求和, 利用式 (8.15) 可得:

$$\sum_k \frac{dY_k(t)}{dt} = \sum_{k,l} A_{kl} Y_l(t) = \Omega \sum_k Y_k(t) \quad (8.17)$$

积分可得:

$$\sum_k Y_k(t) = C \exp\left(\int_0^t \Omega dt\right) \quad (8.18)$$

其中  $C$  是积分常数, 代入  $f(t)$  及式 (8.9) 可以得出  $C=n$ 。最后得到:

$$\sum_k Y_k(t) = n \exp\left(\int_0^t \Omega dt\right) \quad (8.19)$$

$$X_k(t) = \frac{n Y_k(t)}{\sum_k Y_k(t)} \quad (8.20)$$

从以上的过程可以看出, 求解式 (8.11) 的问题由求解式 (8.16) 代替, 使得问题得到解决。而在这个替换过程中, 实际上对  $A_{kl}$  并没有附加任何要求, 所以即便是  $A_{kl}$  与时间有

关,也不影响上述方法的正确性。方程(8.16)是通常的一阶微分方程组,设其本征值 $\lambda_l$ 是不同的,无重根,则对应的本征矢 $q_{kl}$ 是惟一的,这与一般的城市区域人口分布实际情况相符,此时有解的一般形式:

$$Y_k(t) = \sum_l q_{kl} C_l \exp(\lambda_l t) \quad (8.21)$$

$$X_k(t) = \frac{n \sum_l q_{kl} C_l \exp(\lambda_l t)}{\sum_{k,l} q_{kl} C_l \exp(\lambda_l t)} \quad (8.22)$$

式中,常数 $C_l$ 可由初始条件给出。

### (3) 模型解的性质讨论

$$A_1 = \begin{bmatrix} 0.01 & 0.00001 & 0.00001 & 0.00001 \\ 0.001 & 0.02 & 0.0001 & 0.00001 \\ 0.00001 & 0.001 & 0.02 & 0.0001 \\ 0.00001 & 0.00001 & 0.00001 & 0.08 \end{bmatrix} \quad A_2 = \begin{bmatrix} 0.01 & 0.00001 & 0.00001 & 0.04 \\ 0.001 & 0.02 & 0.0001 & 0.04 \\ 0.00001 & 0.001 & 0.02 & 0.04 \\ 0.00001 & 0.00001 & 0.00001 & 0.08 \end{bmatrix}$$

以上给出了模型的解的一般形式。假定 $\varphi_{mk}$ 矩阵是对称的,则矩阵 $A_{mk} = W_k \delta_{mk} + \varphi_{mk}$ 是厄米的,此时所有的本征值是实的。若 $\varphi_{mk}$ 矩阵不是对称的,则矩阵 $A_{mk}$ 不是厄米的,某些本征值可以是复的,此时 $X_k(t)$ 可以随时间 $t$ 而谐振,当本征值实部大于0时系统的定态解不稳定。在城市人口系统中, $\varphi_{mk} > 0$ ,即 $\varphi_{mk}$ 的元都是非负的,但不一定对称,当 $W_k$ 相当大并起着主要作用时, $\lambda_l$ 解得实数;当 $A_{mk}$ 中的非对角元与 $W_k$ 的大小相当时, $\lambda_l$ 的解有可能取得复数。在应用中,主要研究稳定情况下的一些变化。下面给出一个简单的实例分析,设某一城市分四个区,初始条件为: $X_1(0)=200, X_2(0)=0, X_3(0)=0, X_4(0)=0$ (单位均为百万人),即初期城市只有主城区集中分布着大量的人口,其他区域的人口相比之下几乎为0,这是一种极端的情况,但在理论分析中更容易说明问题。主要讨论两种情况下的城市人口自组织动态变化情况:① $\varphi_{mk} \ll W_k$ ;② $\varphi_{14}, \varphi_{24}, \varphi_{34} \approx W_k$ ,而其他 $\varphi_{mk}$ 仍然为非常小的值。在这两种情况下均给出一个具体的 $A$ 如下。

图8.1、图8.2为分别对应于 $A_1$ 与 $A_2$ 而得到的城市区域人口动态演化曲线图。图8.1所示情况表明,区域D虽然初始值比较小,但由于其比其他区域有更高的增长率,使其在较长的时间范围内显示出高的选择值,成为一个优势区域。这种情况比较好地模拟了城市独立发展阶段。在城市独立发展阶段,区域D由于某种原因,人口增加的速度较快,大于周围地区从而逐渐形成一个新的城市中心区,而原来的城市中心则逐渐衰落。虽然每个区域的增长速率均为正,但由于区域间的非线性作用与系统内外的迁移作用,最终导致了城市中心的迁移。图8.2则较好地模拟了城市增长停滞阶段的情况:新形成的城市中心区域功能由于人口的增长而继续扩大,但由于居住拥挤、就业机会相对减少而其他区域吸引力的相对增强等原因,使得中心城市人口向其他区域的迁移率大大提高,达到几乎与增长率同一水平,这时中心城区人口与其他区域人口差距不是特别大,最终没有形成一个优势区域占绝对优势的局面。

#### 8.2.3.3 实例分析——长沙市区域人口动态演化模拟预测

长沙市为湖南省省会,全市现辖芙蓉、天心、岳麓、开福、雨花5个区和长沙、望城、宁乡3个县及浏阳市,总面积为11819.5km<sup>2</sup>。长沙市已成为全国非农业人口超百万的特大城市之一,2000年长沙市全市总人口583.19万人,其中非农业人口190.11万人,流动人

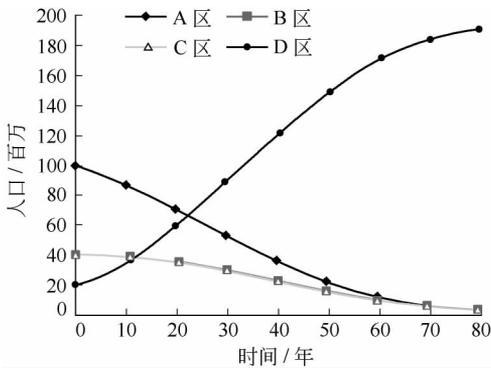


图 8.1 对应于  $A_{mk1}$  的城市区域人口动态演化图 (张启敏, 1995)

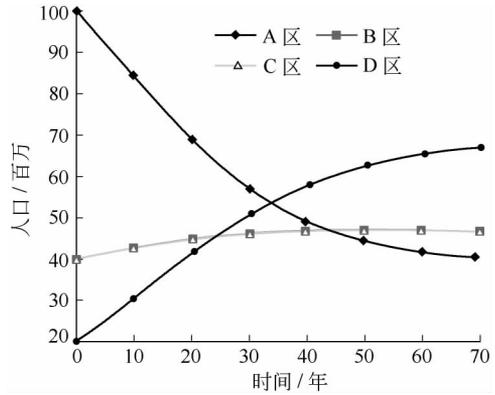


图 8.2 对应于  $A_{mk2}$  的城市区域人口动态演化图 (顾朝林, 蔡建明, 1999)

口 30 万人。

应用上述模型模拟预测长沙市区域人口动态演化情况, 将长沙市按上述 9 个区进行分析。根据《长沙统计年鉴 (2001)》所提供历史的数据, 运用四阶龙格库塔法计算区域人口的数值并与实际值相对照, 以最小二乘法确定目标的最优标准, 最后采用遗传算法对参数进行择优进化, 最后确定模型中适用于长沙市实际的  $A$  值。

按照长沙市目前的实际情况, 显然与模型的假设前提不太一致, 为此本文按照两种情况对长沙市区域人口动态变化进行模拟预测 (以 2000 年情景为基础): ①假设全长沙市总人口持续稳定在 2000 年的水平, 考察未来百年内长沙市区域人口动态演变情景; ②假设全长沙市总人口按 2000 年增长率持续增长, 考察未来百年内长沙市区域人口动态演变情景。图 8.3 与图 8.4 为对应情况①与情况②所得到的长沙市未来百年内城市区域人口动态变化曲线图。

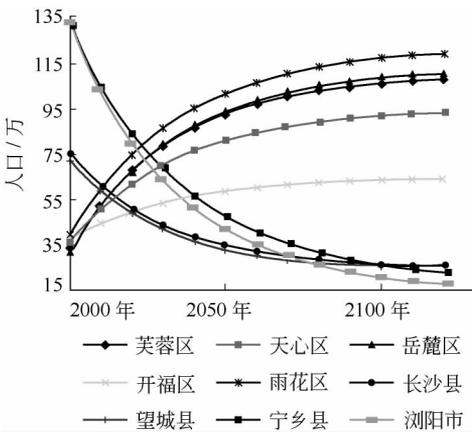


图 8.3 对应于情况①的长沙市区域人口动态演化预测图 (长沙市统计年鉴, 2001)

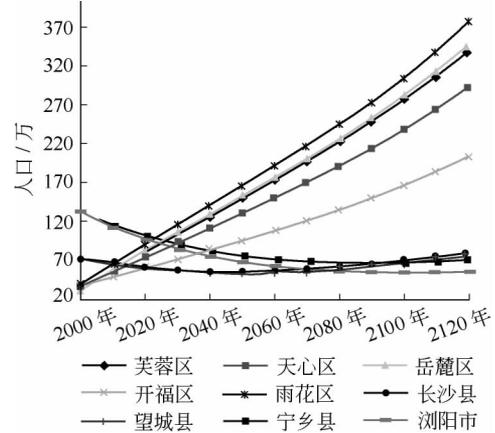


图 8.4 对应于情况②的长沙市区域人口动态演化预测图 (长沙市统计年鉴, 2001)

图 8.3 与图 8.4 中曲线的变化趋势共同表明了按当前的增长与迁移机制, 未来几十年内, 全长沙市的人口将主要向城市中心的 5 个区集中, 其中雨花区尤为突出。而开福区则相对来说吸引力稍弱。而长沙市中的其他 4 个县市, 由于吸引力不够, 人口会越来越稀薄, 但也不会一直降到零, 而是在很长的一段时间内维持在一个较低的水平或是有一点微弱的

增长。

按现状进行分析可知出现这种局面的主要原因是目前人口的迁移动力主要是为寻找工作岗位，而目前长沙市所创造的就业机会绝大部分集中在城市区域，因而城区的吸引力大大高于县市。若要改变此局面，系统内部的吸引力机制必须首先改变，例如当经济发展到一定水平，人口的迁移动力由单纯的寻找工作岗位到寻求适合自我发展的工作岗位、舒适的居住条件及高质量的生态环境等多方位的复合标准转变。

从图 8.3 与图 8.4 的差异来看，在情况①下，城市人口动态变化经过一段时间以后会逐步趋于稳定，而情况②下，城区人口会持续不断地增长并且增长的速率很大，在 22 世纪长沙市雨花区的人口会达到 380 万左右，这显然是不能承受的，而另一方面，四个县市的人口却均不到 70 万。如此看来，进一步控制人口的自然增长与限制外来人口的流入仍是长沙市人口政策中的重点，同时增大县市区域的吸引力以减轻主城区的人口负担也是当务之急。

## 8.3 科技发展规划

### 8.3.1 综述

虽然新中国成立后已有过 7 个科技发展规划，这些规划对中国科技的发展产生过重要的作用，但由于国家科技发展规划与编制工作发生了重大的变革，改变了多年来形成的规划与计划编制工作的基础，过去依靠部门编制科技发展规划与计划的支撑作用发生变化，导致我国科技发展规划与计划编制工作也存在着很多问题，成为 21 世纪阻碍我国科技进一步发展的瓶颈：①科技规划、计划编制队伍不稳定，编制工作呈现突击性；②科技规划、计划不能及时调整、滚动发展；科技规划与计划编制前期工作研究不充分；缺乏规划、计划实施的评价、监控系统，规划编制的程序应进一步标准化、规范化。

在这种情况下，科技发展的战略目标应该进行调整，崔振凤提出在前几个五年科技计划中，都以科技进步贡献率作为科技发展的战略目标。由于计算方法不一，数据统计口径不一，特别是贡献率的衡量标准不一，使得各地之间失去了可比性。显然，以此作为新世纪科技发展战略目标欠妥，因此应以实现科学技术现代化作为科技发展的战略目标之一。此外，产业结构升级以及转型是当前和今后一个时期内经济工作的核心任务，也是科技工作的中心任务。升级是指产业结构由现在的粗放发展转向集约发展，转型是指现在的追求经济最大发展而转向追求社会、经济、生态效益的综合平衡。实现生态产业化，培育形成若干个高新技术主导（支柱）产业，建立现代产业结构体系，提高产业的国际竞争力，应为科技发展的另一个战略目标。

葛永智认为我国政府应当借鉴发达国家的经验，通过干预和制定政策完善我国的国家创新体系。建设国家创新体系，政府首先应当制定我国阶段性和长远科技发展规划。

科技发展规划的主要内容包括以下几点。

① 指导思想（或称指导方针）——这是编制规划的基本出发点，最终目的在于解放和发展社会生产力。

② 战略目标（或称发展目标）——这是以后的发展方向。既要明确概括，又要切实可行；既要超前引导，鼓舞人心，又要实事求是，积极稳妥；既要反映出发展的质与量，又要突出体制特征，其中不乏鲜明的数据表述。

③ 主要任务（发展重点）——这是规划的主体与核心。既要突出重点，翔实描述，又要

统筹兼顾，合理布局。这里包括重点发展领域的确定，关键技术的选择及重大项目的安排等。要分类指导，体现国家产业政策、技术政策和优先发展部分，促进和引导产业产品结构调整，推动科技经济一体化进程，尽快形成适应社会主义市场经济的科技体制。

④ 基本政策与具体措施——这是实现上述目标，完成重点任务的政策保证与实施条件。既要宏观，又要具体；既强调主观努力，又不忽视客观环境的影响。

### 8.3.2 指导思想与咨询原则

城市科技发展的指导思想是：高举邓小平“科技是第一生产力”的伟大旗帜，深入贯彻“科教兴国”和“科教兴市”的战略，以提高人的素质和增强人的综合实力为根本，以创新体系的建设为支撑，以科技产业为依托，坚持“有所为，有所不为，集中力量办大事，重点突破”的原则，优化科技资源配置，增强城市持续创新能力、扩展科技产业规模、提升城市科技功能，实现超常规、跨越式的发展。

科技发展规划编制工作必须要有新的视野，要从传统的计划经济的思维定势中解放出来，力求站得高一些，望得远一些，注重坚持如下原则。

① 市场导向与宏观调控相结合的原则。体现社会主义市场经济体制下科技发展的新特点，以改革促发展，以科技促经济，加快科技引导经济社会一体化发展的步伐。

② 突出重点，有所为有所不为的原则。有选择有目标有重点地优先发展目前已具有一定优势，且有一定基础，对经济发展有重大带动作用或通用共性关键技术领域。集中优势，有限目标，重点突破，培育新兴产业和新的经济增长点，改变经济增长方式，带动经济社会发展。

③ 高起点、高效益、高目标、高水平原则。确定重点发展领域与关键技术选择，要跟踪新热点，立足高起点，追求高效益，实现高目标，努力达到高水平。

④ 科技投入的效益优化、高效利用原则。集中人财物力，保证重点，优先发展应用前景广阔、经济效益可观、又能充分发挥环境条件和资源优势的科技领域与相关技术，力争科技资金投入的高效收益。

⑤ 管理方法和服务功能的优化原则。推进矩阵式计划管理和信息网络化管理模式，用先进、科学的方法管理科技工作，服务科技事业。

⑥ 注重特色。以“特色”为导向，培育产业特色。

⑦ 力求跨越。以引进为主，引进与创新相结合，在引进中增强自主创新能力，实现技术创新能力的跨越。

### 8.3.3 科技发展的主要方向与投资重点领域

城市科学技术发展的主要方向与投资重点领域：尖端科学技术；人类共同面临的科学技术；自然灾害防治科学技术。

#### 8.3.3.1 尖端科学技术

(1) 信息和电子科学 在电子信息技术领域突出“两化一自”，即以彩管和计算机终端为主体的数字化显示器件、智能化 IC 卡及读写设备、具有自主知识产权的网络应用软件和事务管理软件的开发及产业化技术。

(2) 物质与材料科学 在物质与材料科学领域突出“三新一高”，即研究开发以镍氢、锂离子电池正、负极材料为主体的新型能源材料技术，以粉末冶金材料、纳米复合材料为主体的新型复合材料，以精细化工、工程建筑、农药中间体为主体的新型高分子材料技术，以超硬材料及表面处理制备为主体的高性能功能材料技术。

(3) 生命科学 在生命科学领域突出“两基两创”，即以基因工程药物、转基因动植物育种为主体，创新药物、创新动植物品种和种养技术。注重疑难疾病、社会化疾病的诊断与治疗；新药特药的研制、医疗技术水平的提高；关于促进增强身体和精神健康的技术研究与开发；关于对人体有害物质的预防措施、处理技术等。

(4) 先进制造技术 在先进制造技术领域突出“两智两新”，即开发应用智能工程机械、智能仪器仪表、新型数控机床和新型先进模具制造技术。

#### 8.3.3.2 人类共同面临的科学技术

(1) 自然资源保护 地球环境保护的科学技术、区域性公害的防治与区域自然环境、能源在运输、储存、消费等环节的有效利用技术和社会机制等方面的研究。

(2) 资源开发与利用 有效利用矿产资源等天然资源、资源勘测、开采与处理、天然资源及水资源循环利用、废弃物资源化、容易再利用产品生产的研究、资源管理系统等将是21世纪初研究的重点。

(3) 粮食持续生产 建造与粮食及其他农林水产品相关的稳定、持续的生产系统；提高育种、栽培、饲养、加工、流通等领域的技术含量。

#### 8.3.3.3 自然灾害防治科学技术

针对城市的不同重点研究自然灾害发生原理、预测、预防、恢复的技术，特别是对干旱、洪涝灾害、水土流失等自然灾害的防治科学与技术的研究。

#### 8.3.4 完善相关政策法规，创造良好的科技发展环境

(1) 建立科技工作领导制度和政策体系 切实落实党政一把手抓第一生产力的目标责任制，切实抓好对各区、部门党政一把手抓科技进步目标责任制的考核工作。建立重大技术创新与高新技术产业化项目领导联系制度，加强协调力度。建立重点产业发展办公室，强化对技术创新和高新技术产业化项目的协调和领导。

(2) 建立多层次、多渠道、高效益的科技投入体系 进一步加强政府对科技的投入。大力发展风险投资事业，采取有效措施，吸引海内外风险投资公司设立风险投资机构。鼓励上市公司、大企业、非银行金融机构和个人投资者及其他社会法人组建风险投资有限责任公司，形成风险投资机构群。进一步加强科技与金融机构的紧密联系，采取多种措施，吸引金融机构加大对科技项目的信贷投入，鼓励高新技术采取金融租赁、商业票据、信托、买方信贷、银团贷款等多种金融工具间接融资。

(3) 进一步加大科技对外开放力度 组织制定招商引资的技术和项目指南，通过多种渠道和方式主动与国内外大专院校、科研机构、大公司、大商会、大财团、风险投资基金建立联系，加大科技招商引资力度。积极选派科技人员、管理人员到国外培训、学习，加大智力的引进和交流的力度。以项目为载体，鼓励高等院校、大院大所、企业通过各种形式，加强研究开发的国际合作与交流。制定优惠政策，吸引跨国公司和国外科研开发机构设立分支机构。实施科技兴贸计划，大力促进高新技术产品出口。

(4) 改革科技管理体制 改革科技发展计划管理体系。根据加强技术创新和加速产业化的要求，建立以科技发展战略与技术预测研究计划为先导、技术创新与产业化专项计划为核心，科研开发环境建设和科技产业化环境建设计划为支撑的科技发展计划体系。强化科技进步奖励对技术创新与高新技术产业化的导向作用，对重大技术创新与高新技术产业化项目实行重奖。加强科技法制建设，完善科技法规体系，依法推进科技进步。

(5) 加强知识产权管理 建立全社会大专利管理体制；加强知识产权保护的宣传教育工

作和执法力度，提高全社会知识产权保护意识；加快科技成果管理体制改革的，营造有利于专利实施的政策环境；加强高新技术企业内部的知识产权管理工作；加快知识产权服务业发展，规范中介组织行为。

(6) 加强科学普及与科技宣传 加强科技普及工作，建设一批科普基地。努力增强市民的科技意识和提高科技素养。加强科技宣传，营造良好的舆论环境，大力宣传技术创新和高科技产业化取得的成就和涌现出的优秀人才及有关优惠政策，让各级领导和市民都来关心支持科技工作，开创科技工作新局面。

## 8.4 小城镇生态规划

### 8.4.1 小城镇规划

小城镇指县（县级市）所在城镇、县（县级市）区属镇及大城市的卫星镇。小城镇是城乡之间的“连接体”，在现代化进程中不仅有经济方面的辐射功能，又是一定的社会文明的载体，引导亿万农民融入城镇化的洪流，形成了一个小城镇建设的高潮。其快速发展是中国改革开放依赖城镇化进程的主要内容。

#### 8.4.1.1 小城镇建设的现状

根据中国村镇建设统计年报，在 1995 年至 2001 年间，中国建制镇总个数增加了 3047 个，总人口增加了 3684 万人，集镇减少 10706 个，人口减少 1032 万人。

#### 8.4.1.2 小城镇建设的原则

(1) 遵循与小城镇的规划建设和规划管理相结合 随着农村经济实力的增强，农民对生存环境和生活质量有了新的要求，因此小城镇建设也应有相应的新标准。

(2) 遵循与农村剩余劳动力转移相结合 农村改革和发展的根本目的在于提高农业劳动生产率，提高农民生活水平，要实现这一目标，只有大力发展小城镇，不断扩大其规模，才能带动小城镇的建设和发展。

(3) 遵循与乡镇企业发展相结合 乡镇企业的集中发展和小城镇建设，两者是互为因果、互相促进的。乡镇企业的集中发展，为小城镇提供了就业机会和物质条件；而小城镇的发展，则为乡镇企业发展提供了良好的地理位置和基础设施以及技术、人才等，促进乡镇企业的良性发展。

(4) 遵循与市场建设相结合 小城镇的发展要以人口集中为前提，以市场发展为条件。“以人兴市，以市兴镇，以镇促市”已成为小城镇建设与小城镇市场联结的重要条件。小城镇发展必须与市场建设相结合，要按照商品流通的特点，以及小城镇的位置和交通条件积极扩建各类市场。

(5) 遵循与农业工业化、现代化建设相结合 小城镇的建设和发展是实现工业化、现代化过程中的重要环节。要实现农村的工业化，必须以集镇发展为依托，这是工业发展的客观要求。

#### 8.4.1.3 小城镇建设中存在的问题

尽管改革开放以来，小城镇城镇化进程的步伐大大加快，但依然存在着许多矛盾和问题，突出表现在以下几点。

(1) 用地布局不尽合理 一是有些地区，部分征用的土地闲置，土地出让后又受批租年限的影响难以调整，因此造成土地资源的浪费。二是有些小城镇沿路线状发展，造成公路分

割城市，致使各项公共配套设施无法发挥应有的功能；另一方面，城市内人流、物流频繁地穿越公路对公路交通造成严重干扰。三是受先生产、再生活原则的影响，出现工业包围城市的格局，有的工业用地甚至占据了城区的中心位置，限制了城市合理、有序、协调发展。

(2) 城乡关系趋向模糊 由于小城镇便利的交通条件吸引了大量的资金建设城区配套区，使其土地得到优先开发，城与乡的关系趋于模糊。但由于行政体制的关系，缺乏必要的调控机制与措施，各小城镇之间及其与主城区之间出现产业同构、分工不明、重复建设等现象，造成小城镇之间维持良好的生态环境的绿色开敞空间不断遭到蚕食。

(3) 城镇实力偏弱 由于普遍规模偏小，城镇集聚能力和集聚效益不高，致使一些城镇的实力偏弱。

(4) 城镇化发展的调控力度不够 一是区域城镇体系的规划编制滞后。一些重要区域的城镇体系规划编制工作尚未展开。与此同时，由于区域规划尚无明确的法定地位和实施机制，致使原来已有的一些规划成果，往往只是停留在研究的层面上。二是区域性基础设施规划建设与城镇发展布局的关系不够协调。

(5) 城镇化道路依然不畅 受传统观念、传统体制和传统政策的制约，城镇对外来人口的管理，往往还沿袭过去的做法，致使隐性城镇人口的合法权益难以得到保障；城镇化过程中农村土地使用制度的改革不配套，劳动力市场并未完全冲破城乡分割的格局，进城农民的社会保障机制尚未建立起来。

(6) 环境保护意识淡薄，水资源污染严重 在相当一部分小城镇中，因为宣传不到位，居民对水资源现状以及严峻的供水形势不了解，造成认识上的偏差，普遍欠缺节水意识，城镇用水浪费严重。部分城镇工业和生活污水不经过处理，随意排放，严重污染水源。

#### 8.4.2 小城镇生态规划

##### 8.4.2.1 发展目标

小城镇生态规划的指导原则应严格服从《国民经济和社会发展第十个五年计划纲要》与城镇相应的总体规划要求，以实现城镇化过程中的社会经济、环境效益协调发展，确立目标如下。

(1) 构筑合理的城镇体系 遵循规律、因势利导、突出特色、注重实效，走多样化的城镇化道路。引导大、中、小城市与小城镇协调发展，逐步形成分工有序、功能互补、布局合理的城镇体系。

(2) 择优发展小城镇 坚持“政府引导、市场运作、重点突破、梯次推进”的方针，在重点小城镇之外还可选择 1~2 个基础条件好、区位优势、发展潜力大的建制镇进行重点建设。

(3) 加强城镇基础设施建设 以创造良好的人居环境为中心，加强城镇生态建设和污染治理，改善城镇环境。多渠道筹集建设资金，在政府引导下主要通过发挥市场机制作用建设小城镇，形成城镇建设投资主体多元化格局。

##### 8.4.2.2 原则

小城镇生态规划应该遵循：可持续发展的区域观；适当的生态承载力及弹性的可生长原则；适宜的人口容量、合理的土地利用、能源的多渠道开发、环境污染的有效防治、特色的保持与延续、合理的产业结构以及生态农业的积极推广。

##### 8.4.2.3 控制要点与管理措施

(1) 经济发展。主要从三个方面着手：一是乡镇企业向小城镇聚集；二是注意新的经济

增长点的培育与扶持；三是加速农村区域市场的建设。

(2) 园林绿地建设。城市绿化是城市形象建设的主要内容，是展示城市生命力的载体。近年来城市园林建设已引起各地政府的普遍关心和重视，小城镇绿化起步较晚，但作为城市绿化的重要组成部分，应当统筹兼顾，同步研究，以适应我国生态建设发展的需要。

小城镇绿化应遵循和把握三个方向性原则：一是绿化布局动静结合；二是苗木选择因地制宜；三是景观配置自然和谐。

(3) 居民素质建设。

(4) 思想观念转变。

(5) 管理体系建设。

#### 8.4.2.4 城乡一体化的新思路与发展方案

根据国内相关学者的分析，进入 20 世纪 90 年代以来，中国城市整体有向郊区化发展的趋势，这与国内外城镇总体发展趋势是吻合的，这也将是推动城乡一体化与小城镇发展的一个极其重要的因素，由于这种趋势的产生原因主要是城市的扩展、通勤条件的改善以及信息产业的飞速发展，特别是那些具有交通优势的小城镇作为大城市的卫星城，依托大城市率先发展起来，从而带动整个地区城市化的发展，最终填补了都市与小城镇的空缺，使之发展成为一个巨型的都市圈，因此从城市发展总体战略而言，应该有计划分步骤，首先发展具有区位、交通、资源优势的小城镇，由点→线→面的发展思路来实现城乡一体化。

## 参 考 文 献

- 1 孟宪俊，赵安启，张厚奎．试论生态社会的新伦理学——生态伦理学．西安建筑科技大学学报（社会科学版），2003，22（1）：330~34
- 2 任永堂．生态社会：信息社会之后的新型社会．科学技术与辩证法，1994，（6）：46~50
- 3 余谋昌．生态文化问题．自然辩证法研究，1989，（4）：1
- 4 沈清基．论城市规划的生态学化——兼论城市规划与城市生态规划的关系．规划师，2000，16（3）：5~9
- 5 沈清基．城市生态与城市环境．上海：同济大学出版社，1998.1~141
- 6 北京师范大学环境科学研究所．广州市城市生态可持续发展规划咨询报告（内部资料），2001
- 7 熊世伟，宁约敏．90年代特大城市发展及流动人口关系探析．上海理工大学学报，1998，30（4）：349~354
- 8 邹农俭．中国农村城市化研究．南宁：广西人民出版社，1998.98~99
- 9 葛永军，许学强，阎小培．中国城市化水平的综合判断．人文地理，2003，18（1）：49~52
- 10 邹兵．小城镇的制度变迁与政策分析．北京：中国建筑工业出版社，2003.185~214
- 11 欧阳莹之，田宝国．复杂系统理论基础．上海：上海科技教育出版社，2000.1~412
- 12 米红．青岛人口信息系统的应用分析．地球信息科学，2003，（1）：28~33
- 13 吴志强，姜楠．上海城市土地开发空间布局的特征．城市规划汇刊，2000，（4）：12~17
- 14 干建平，郑坚．我国人口普查的人类生物学研究．科技导报（北京），2001，（3）：0060~0062
- 15 孙施文，陈宏军．城市总体规划实施政策概要．城市规划汇刊，2001，（1）：7~13
- 16 姜启源．数学模型．北京：高等教育出版社，1997.178~187
- 17 李华中．Logistic 模型在人口预测中的应用．江苏石油化工学院学报，1998，10（2）：32~34
- 18 熊孟英．GM（1，1）在人口预测中的应用．河北大学学报（自然科学版），1995，15（2）：50~55
- 19 祝精美．规划人口的动态灰色预测．工科数学，1997，13（4）：20~23
- 20 张启敏．人口迁移的定量研究．宁夏大学学报，1995，16（1）：52~55
- 21 Pekalski, Andrzej. Model of population dynamics. Physica A: Statistical and Theoretical Physics, 1998, 252（3~4）：325~335
- 22 Wazwaz, A. M., Khuri, S. A. New ideas for solving size-structured population models. Applied Mathematics and Computation (New York), 1998, 93（1）：91~96
- 23 Wang, Wendi, Fergola, P., Tenneriello, C. Global attractivity of periodic solutions of population models. Journal of

- Mathematical Analysis and Applications, 1997, 211 (2): 498~511
- 24 顾朝林, 蔡建明. 中国大中城市流动人口迁移规律研究. 地理学报, 1999, 54 (3): 204~212
- 25 李如生. 非平衡态热力学和耗散结构. 北京: 清华大学出版社, 1986. 52~64
- 26 Wu, F. Linguistic cellular automata simulation approach for sustainable land development in a fast growing region. Computers, Environment and Urban Systems, 1996, 20 (6): 367~387
- 27 沈小峰, 胡岗, 姜璐. 耗散结构论. 上海: 上海人民出版社, 1987
- 28 长沙市统计局. 长沙统计年鉴 (内部资料). 长沙: 长沙市统计局, 2001
- 29 张文修, 梁怡. 遗传算法的数学基础. 西安: 西安交通大学出版社, 2000. 5
- 30 云庆夏等. 遗传算法和遗传规划: 一种搜索寻优技术. 北京: 冶金工业出版社, 1997. 4
- 31 刘家强. 21世纪中国人口问题透析. 人口研究, 2002, 26 (6): 1~6
- 32 郭志刚. 新形势下对中国人口发展的思考. 人口研究, 1997, (2): 3~8
- 33 付莹. 回归分析在人口预测中的应用. 辽宁高职学报, 2000, 2 (1): 56~58
- 34 胡维佳. 中国历次科技规划研究综述. 自然科学史研究, 2003, (22): 61~69
- 35 邱城, 赵韩. 新形势下我国科技发展规划与计划编制工作支撑体系探讨. 机电产品与创新, 2003, (1): 20~22
- 36 崔振凤. 关于编制“十五”科技发展规划若干重大问题的思考. 科学与科学技术管理, 2000, 1 (1): 29~30
- 37 葛永智. 政府在国家创新体系建设中的作用. 山东电大学报, 1999, (1): 24~26
- 38 刘元力. 科技规划工作的基本原则. 科学学研究, 1996, 14 (2), 51~53
- 39 科技发展规划. 宁波市对外科技合作网. www. cistc. gov. cn
- 40 孔艳杰, 隋舵. 对小城镇建设的理论思考. 学术交流, 2002, (2): 77~79
- 41 高淑春, 孙立业, 王利明. 对小城镇规划与建设的思考. 经济问题, 2002, (9): 29~30
- 42 王如松, 迟计, 欧阳志云. 中小城镇可持续发展的生态整合方法. 北京: 气象出版社, 2001. 58~90
- 43 陈晓浒, 马万华. 小城镇可持续发展指标体系初探. 城市研究, 1998, 69 (2): 39~42
- 44 王敬华, 乔忠, 刘革. 小城镇镇域生态功能分区规划浅析——以鹿泉市大河镇为例. 河北农业大学学报, 2002, 25 (4): 122~125

## 思考题

1. 城市人口适宜容量规划包含哪些基本内容。
2. 简述小城镇生态规划的控制要点和管理措施。

# 第 9 章

## 生态社区建设

### 9.1 生态社区的内涵、特点与功能

#### 9.1.1 生态社区概念的产生

第二届联合国人类住区会议（人居二）于 1996 年 6 月在伊斯坦布尔举行，会议的目标在于探讨两个具有同样全球性重要意义的主题，即“人人有适当的住房”（adequate shelter for all）和“城市化世界中的可持续人居住区发展”（sustainable human settlements in an urbanizing world）。而国际人居委员会机构认为：今后人类的居住地都要逐步改造成为当代和子孙后代持续发展的基地。就是要以人们可以承受，而又不影响生态平衡的方式来满足所有人类的居住要求。改善人类居住地的环境已经成为世界各国的普遍认识，并成为共同的奋斗纲领。

进入 21 世纪，我国人类居住地的建设也有较大的发展，对于社区建设，国家主管当局已提出“应把注重高质量的生态环境和住宅的质量放到（社区）规划的首位”的要求，表明了对社区生态质量的重视。

#### 9.1.2 生态社区概念的内涵

社区（community）这一名词源于拉丁语，德国的社会学家斐迪南·滕尼斯首先将它作为一个社会学的范畴来研究，认为“富有人情味、有共同价值观点、关系亲密的聚居于某一区域的社会共同体”就是社区。现在，社区被普遍认为是“一定地域内人类社会生活的共同体”，但是，社区不仅是一个简单的地域概念，它还涵盖了人与自然、人与社会的关系，被看作是社会-经济-自然三个子系统相结合的复合

生态系统。

狭义的社区概念是社会生态学研究的一个基本单位，R. D 麦肯齐在《人类社区研究的生态学方法》中将社区分为四类：① 基本服务社区，如农业村镇捕鱼、采矿、林业社区等；② 商业社区，在生活资料分配过程中实现次要功能的社区；③ 工业城镇，是商业制造中心制造占据支配其他功能的地位；④ 那些缺乏自身明确的经济基础的社区，在经济上依赖于外界其他社区，在商品的生产分配过程中不承担任何功能。

近年来，在社区的规划与建设中正逐渐运用生态学的原理和方法指导加强社区的生态性能。生态社区（ecological community）是在社区的概念基础上，以生态性能为主旨，以整体的环境观来组合相关的建设和管理要素，建设成为具有现代化环境水准和生活水准，且持续发展的人类居住地。这一概念强调环境对人的习惯养成作用和直接功能，由以自然生态为依托的体能养成，到适应信息社会的智能培育，把社区作为整体的复合结构加以考虑和营造；它还重视对人类居住地各种非自然物质构成环境的生态作用的认识，即重视住宅以及多层次生活活动区域的设施环境的作用。正如“社区”的概念具有广泛性一样，“生态社区”的含义也有可诠释性。建设生态社区的目标就是强化社区作为人类生存与发展的基地作用；加强社区的自组织自我调控能力，合理高效地利用物质能源与信息，提高生活质量的环境水准，充分适应社会再发展需要，最终从自然生态和社会心理两方面去创造一种能充分融合技术和自然的人类生活最优环境的人类居住地。

总体上，有关生态社区的理论与实践尚处于发展初期，在我国尤其如此。2001 年建设部颁布了《绿色生态住宅小区建设要点与技术导则》（试行），从能源、水、气、声、光、热、绿化、废气物管理与处理、绿色建筑材料系统等方面系统地提出和阐述了生态住区的技术标准，使我国的生态社区实践由原来的自发初始状态，走上了有章可循的发展轨道。随着我国可持续发展战略进程的深入，相信会有更多的社区加入生态实践的行列。

生态社区融合了社区的社会、文化、历史、经济、地域特征等因素，其建设目的是要通过调整人居环境生态系统内的生态因子和生态关系，使社区成为具有自然生态和人类生态、自然环境和人工环境、物质文明和精神文明高度统一、可持续发展的理想城市住区。

（1）生态经济学角度 生态社区的经济增长是可持续的，采用了“生态技术”，建立生态社区产业，实现物质生产、居民消费和社区生活的“生态化”，太阳能、水电、风能等绿色能源将成为主要的能源形式。

（2）生态社会学角度 生态社区的教育、科技、文化、道德、法律、管理体制等都将“生态化”。倡导生态价值观、生态伦理，人们有自觉的生态意识，建立有自觉保护环境，促进人类自身发展的机制，有公正、平等、安全、舒适的社会环境。

（3）城市规划角度 生态社区空间结构合理，基础设施完善，生态建筑、智能建筑和生命建筑广泛应用，人工环境与自然环境融合，因地制宜，天人合一。

（4）地理空间角度 生态社区符合城市规划和区域规划，与区域和城市融洽，生态社区是生态城市的一部分，它体现了所在城市的风貌和特质。

总之，生态社区是一个结构合理、功能稳定的社会-经济-环境复合生态系统。

### 9.1.3 生态社区的特点

生态社区与传统社区相比有本质的不同，主要有以下特点。

（1）和谐性 生态社区的和谐性，不仅反映在人与自然的关系到，自然与人共生，人类回归自然，亲近自然，自然融于社区，社区融于自然，更重要的是在人与人关系上，生态社

区能营造满足人类自身发展需求的环境，富有人情味，充满浓厚的文化气息，拥有强有力的互帮互助的群体，呈现出繁荣、生机和活力。生态社区当然不能缺少怡情悦目的绿色空间，但更需要良好的社会环境和和谐的人际关系，它们是培养人、塑造人的物质载体，是关心人、陶冶人的精神家园。

(2) 持续性 生态社区是以可持续发展为指导的，因而它能实现社区社会、经济、环境的可持续发展，即能够把和谐的社会关系延续下去，能够在取得社会效益和环境效益的同时推动经济发展，实现经济快速高质增长；能把社区自然环境作为社区公共资源得到永续利用。

(3) 整体性 生态社区不是单单追求环境优美或自身的繁荣，而是兼顾了社会、经济、环境三者的整体协调发展，社区生态化也不是某一方面的生态化，而是社区整体上的生态化，实现整体上的生态文明。

总之，生态社区是在社区各要素同步发展的基础上求得整体发展效果。

#### 9.1.4 生态社区的功能

与传统社区相比，生态社区突出的功能有以下方面。

(1) 环境保护功能 生态社区环境的生态化，对环境利用的生态原则，既使环境作为一种公共资源得到利用，又使环境受到保护。人们由于处在这样一个具有公共环境保护意识和生态伦理道德的社区中而热爱社区环境，义务维持，自觉加以保护。

(2) 生态调节功能 生态社区是一种复合生态系统，它除了生产和消费功能外，还具有资源持续供给的调节功能、环境持续容纳的调节功能、自然持续缓冲功能以及人类社会的自组织自调节功能。也正是这种功能使传统社区成为现代生态社区。

(3) 社区凝聚功能 生态社区是归属感和凝聚力很强的社区。社区内具有识别性的标志性建筑，供人们交往、休闲和娱乐的人性化公共空间，反映地域独特风格的类型多样的住房，令人赏心悦目的生态景观都会使人们愿意长期定居这里，产生“社区是我家”的归属感，而良好和谐的人际关系、平等公正的社会环境和安全稳定的社会秩序又使社区的凝聚力得以增强。

(4) 社会教化功能 生态社区体现了一种生态文明，优美舒适的生态环境，稳定安全的社区秩序，融洽团结的人际关系，以及亲近自然的氛围，都能在潜移默化中净化人的心灵，陶冶人的情感，升华人的思想境界。

## 9.2 生态社区建设规划的原则

生态社区规划就是运用生态理论，以可持续发展为目标，以工程措施和技术手段为支撑，对传统社区进行规划设计，以期使传统社区转变为真正的生态社区。生态社区人居环境是一个非常复杂的综合系统，是一个以人为主的生态系统，涉及社会经济、自然、文化、心理、行为、技术、制度等领域，人本思想决定了居民的个体需要和生态保护的要求，构成了生态社区规划应当遵循的原则。

① 尊重自然原则：建立正确的人与自然的关系，尊重自然，保护自然，尽量少地对原始自然环境进行变动。

② 软硬结合原则：既注重物质环境（硬）的生态规划、设计和塑造，以满足人的生理需要，又注重对社会人文环境精神领域（软）的改造和培育，以满足人的心理需求，二者不

可偏。

③ 因地制宜原则：巧妙利用自然地形地貌，就地取材，借用外部的河流、山冈、林木等景观，对环境进行规划和设计，最小限度地改变自然环境原本特征。

④ 经济性原则：对能源、资源的高效利用，减少各种资源的消耗，提倡 4R 原则，即减少使用 (reduce)、回收 (recover)、重复使用 (reuse) 和循环使用 (recycle)。

⑤ 公众参与原则：生态社区建设是一项涉及多方面的宏伟工程，需要发挥集体智慧和能动性，是生态社区的内在要求和实施的保证。

⑥ 安全性原则：社区环境设计不仅要考虑居民日常生活的安全，而且要考虑突发情况下的安全，如火灾、地震、洪水等，因此还要有防灾设施和避难场所。

⑦ 便利性原则：社区环境对居民提供的方便服务主要体现在社区的内外交通、内外系统关系、公共服务设施的配套和服务方式的便利程度上。

⑧ 舒适性原则：应保证社区环境阳光充足，空气清新，安静无噪声，宽阔的开敞空间和活动场地等。

## 9.3 生态社区规划的内容与目标体系

生态社区规划应是生态环境保护和经济社会发展相协调的综合规划，它能指导、规范生态社区的建设。生态社区规划的内容包括生态社区环境建设规划、生态社区经济建设规划和生态社区文化建设规划。具体建设内容与目标体系如下。

### 9.3.1 生态社区环境建设目标体系

包括建筑及周围环境设计、节能节水技术应用、小区规划、道路规划等方面。

(1) 绿化指标 该指标是衡量生态社区建设水平最重要的指标之一。除了绿地率达到一定指标外，还要以二氧化碳固定量来衡量生态效果。这一指标也鼓励植物的多层次混种绿化，以及对于屋顶、阳台及建筑立面绿化。

(2) 地面保水指标 欧美最新的生态防洪对策都规定建筑及社区地面必须保有储留雨水的功能，以吸收部分洪水，达到软性防洪目的。因此，本指标强调建筑基地渗水保水能力，尽量减少混凝土覆盖面积，采用自然排水系统，以利于雨水的渗透。

(3) 节水指标 此指标以开辟另类水资源（开源）与省水器具的使用（节流），作为节水的主要方法。目前，发达国家如德国、英国、新加坡等国通过各种节水措施，人均日用水量仅 140~150L，而上海的这一指标为 290L，正好是上述国家这一指标的一倍，节水潜力巨大。

(4) 节能指标 这是绿色建筑中最重要的评估指标。建筑物外墙的不同，可使空调、照明耗电量相差四五倍之多。因此应重视节能建筑的设计。通过空调系统、照明、白昼光利用、太阳能利用等途径节约能源的使用。

(5) 二氧化碳与废弃物减量指标 此指标鼓励应用轻量化的建筑结构，如使用钢构造建筑来减少砂石、砖等建材的使用。还提倡居家简朴的装潢设计，建材的回收利用，以达到节约能源、节省资源、减少废弃物与降低二氧化碳排放量的目的。

(6) 污水、垃圾处理指标 污水处理要求建设雨水、生活污水分流管道系统，一方面有利于雨水的回收利用，另一方面可减少污水的处理量。垃圾处理指垃圾的分类收集和资源的回收利用。

(7) 绿色交通指标 生态社区绿色交通规划应鼓励居民使用绿色交通,并以工程措施来改造道路空间和结构,如人车分流,设计步行可达的空间尺度,减少对小汽车的依赖,土地混合使用,实现商住一体等。此外还应宣传绿色交通观念,加强执法,确保发展绩效。

### 9.3.2 生态社区经济建设目标体系

生态经济规划的总体目标是资源的低消耗、环境的轻污染来取得经济的高速增长,并形成文明、科学的消费方式。为此,应用绿色消费科技和绿色生产科技,逐步改变能源结构(如取消燃煤式小炉和集中锅炉房,以天然气为燃料等),加速再生能源对石化能源的替代,应用水能、风能、生物能、太阳能等绿色能源;采用自然通风和自然采光,减少能源消耗;在社区内实行绿色生产(即清洁生产)、绿色管理(国际环境管理规范 ISO 14000 认证及生命周期评估),商业设施与工业设施在社区中共存等。

### 9.3.3 生态社区文化建设目标体系

为增强社区的归属感而建立标志性建筑、具有中心性的广场和对居民有魅力的开敞空间;建立配套齐全、布局合理的生态基础设施,创造便于各个年龄层次人群的生活环境;创造社区内就业机会,使社区具备多功能;把尽可能多的设施布置在步行可达的范围内;社区提供多样性、个性化的住宅;社区有商业活动、市民服务、文化活动、娱乐活动等集中的中心地区;鼓励居民参与社区建设,培育他们的社区意识等。

## 9.4 生态社区的设计方法

程世丹分析了生态社区的基本内涵,指出生态社区以可持续发展思想为指导,体现“人与自然和谐共生”的思想,具有整体性、长期性、地域性和参与性的特点,进而阐明社区生态设计的发展趋势、尺度和物质要素,最后探讨了生态社区的实践途径和实践类型。

生态社区的实践需要建立符合生态学规律的设计观与设计方法。生态原指生物与生物之间,以及生物与其环境之间的关系,将生态与社区相联系,意在关注社区中人与自然环境之间,以及人与社会环境之间的协调关系,以创造一种和谐、健康的社区环境。

### 9.4.1 社区生态设计的趋向

在规划方面,以 Duany、Plater Zyberk 和 Peter Calthorpe 为代表的“新城市主义”吸收了传统社区的优点,主张紧凑的、多功能的和步行交通为主的社区发展模式,并进行了成功的实践。20 世纪 90 年代以后,出现了大量有关可持续发展及设计的论述,其中许多尝试将各种生态设计的思想和方法整合成系统的理论,比较有代表的有 John Lyle 的“面向可持续发展的再生设计”,Sim Van Der Ryn 和 Stuart Cowan 合著的“生态设计”等。

总之,早期的生态设计以小规模、实验性、局部应用为特征,当今社区生态设计更着眼于一种整体的、长期的系统策略,注重汲取生态学、环境科学、社会生态学和经济学等学科的思想,寻求综合解决环境、社会、经济与社区发展之间关系的新方法。

### 9.4.2 社区生态设计的尺度

社区生态设计既包括较小尺度的物质环境的设计问题,也包括较大尺度的可持续政策的制定。现有的社区生态设计大致在三个层面上进行:一是建筑技术层面,包括改善能源使用效率,采用环保材料,运用非机械的气候适宜技术,使用可再生能源等;二是市政工程层面,包括中水系统、雨水的利用、生态的道路交通系统等;三是规划政策层面,包括采用紧凑的布局模式,通过多功能的土地使用方法和完善的服务设施创造可居性强的社区,提供可

负担的住宅，保护社区及周边的生态资源，促进区域发展等。

#### 9.4.3 社区生态设计的实体要素

实体要素是社区不同层面的生态设计的重要内容，也是定量评价生态社区的一个重要视角。为了便于操作与实施，社区生态设计通常是在一个整体的目标框架下，分成若干要素进行设计，较多被关注的要素有：场地、建筑、能源、交通、水和垃圾等。

这些要素也构成了社区功能运转的基础，它们之间联系紧密，相互影响，因而不同领域的职业合作与交流成为社区生态设计成功与否的关键。大多数生态社区实践涉及这些实体要素时，都考虑到环境、社会和经济方面的问题，以及三者之间的关系。

### 9.5 生态社区的实践类型

目前，各国或各地区的生态社区实践大都从可持续发展原则出发，根据各自的经济、社会、资源、环境等方面的条件和特点，采取因地制宜的生态策略。大体上，地理环境不同，环境尺度不同，社区生态实践的重点和形式也不大一样。由此，生态社区实践可以分为城市型生态社区、郊区型生态社区和村落型生态社区。

#### 9.5.1 城市型生态社区

城市人口在全球人口中的比重日趋增多，并且，城市已成为全球经济的主要集中地，也是全球资源和能源的主要消耗地，在很大意义上，城市的未来就是地球和人类的未来。从这个角度看，由于社区是城市的基本单元，因而，城市社区的生态实践具有特别重要的意义，它是进一步实现城市可持续发展的前提和基础。

城市社区面临的重大挑战之一是人口稠密、用地紧张，在这种情况下，紧凑型的社区成为城市发展的一种合乎逻辑的选择，它不仅可以节约土地，也提高了资源的使用效率，从而有利于城市的可持续发展，这对人多地少的亚洲城市尤其有意义。

社区认同感的培养也是重要考虑的因素，公共设施尽可能整合在一起，不同收入阶层被鼓励混合居住，住宅和商店的设计、建造在一个绿色建筑委员会的指导下进行。

国内对于可持续发展的城市住宅区进行了一些探讨，北京的北潞园小区在规划设计中，对保持可持续发展的生态环境进行了探讨。其主要出发点有六个方面：①增加大气洁净度，对小区内炊事和采暖的燃料以及燃具加以控制，沿城市干道设置宽阔的绿化带；②污水处理回收再利用，设置两个污水处理站，分别用于处理生活污水和雨水，处理后的污水可以用来冲洗道路、灌溉绿地、冲洗汽车等；③垃圾自行消纳，采用垃圾焚烧炉，使环境的污染控制到最小；④噪声控制，通过绿化、立体交通等方式隔绝噪声；⑤科学配置绿化，强调绿化对环境的保护功能；⑥节约能源，采用新型墙体材料和节能窗，尝试利用太阳能，发掘地热资源。

#### 9.5.2 郊区型生态社区

郊区环境中注重生态的社区实践以北美地区以及北欧较为活跃，比较有代表性的是“新城市主义”的郊区社区以及芬兰的生态邻里住宅区。

“新城市主义”的郊区社区是由建筑师所推动实施的社区理念，其核心人物是 Peter Calthorpe、Andres Duany、Eliza-beth、Plater Zyberk。针对美国郊区无序蔓延所带来的一系列问题，如密度过低，占用大量农业用地和自然开敞空间，市政设施投入大、利用率低，通勤时间与距离拉长，对私人小汽车交通过分依赖，从工业革命前的传统社区中汲取养分，

创造紧凑的、多功能的和步行交通为主的居住社区，以此重新设计郊区的发展模式。以亚利桑那州 Civano 社区为例，整个社区包括四个居住组团、一个商业中心和一些文化、办公及无污染的工业设施，35%的用地作为开放空间和自然绿地，半数居民和 2/3 的工作场所安排在距社区中心 5min 的步行距离内，形成一种紧凑的社区感和人性化的氛围，精心组织的绿化网络使这个沙漠地区的住区显得亲切宜人。

在该社区中，由于“新城市主义”设计师与生态技术专家成功的合作，可持续思想体现于更为广阔的领域。社区的建筑中运用了诸多生态技术，包括采用高效墙体保温隔热材料、双层玻璃窗；利用太阳能提供电力、热水和取暖；使用中水系统为花园浇灌、冲厕提供用水；采用可再生材料等。结果，Civano 社区的能源消耗比地方标准降低 50%，用水减少 65%，固体垃圾减少 90%，空气污染降低 40%。这表明基于生态设计的社区不仅技术可行，而且从长远看，将具有很强的市场竞争力。

芬兰的生态邻里住宅区是赫尔辛基城市和生态社区项目，该项目 1994 年在芬兰环境部、国家技术局和芬兰建筑师协会三方的推动下启动，包括在赫尔辛基的 Vikki 开发新建筑，在位于芬兰西海岸 Vaasa 的 Ristinummi 复兴郊区社区。Vikki 生态住区是政府部门、规划师、建筑师和建筑工人多年来合作的结果，其目的是在于通过建设业和财政部的合作，在芬兰建立支持生态的城市规划建设系统，并推动在专家辅导下高质量营造施工。Vikki 住宅区的生态评分系统举例见表 9.1。

表 9.1 Vikki 住宅区的生态评分系统举例（戴朝晖，2000）

分 项	权重	内 容	单 位	最低值	1p	2p
污 染	10	二氧化碳	kg/m <sup>2</sup>	3200(-20%)	2700	2200
		废水	L/(人·日)	125(-22%)	105	85
		施工建筑污染	kg/m <sup>2</sup>	18(-22%)	15	10
		家居污染	kg/m <sup>2</sup>	160(-20%)	140	120
		生态标志	材料		2	很多
自然 资源	8	热能	kW·h/m <sup>2</sup>	105(-34%)	85	65
		电能	kW·h/m <sup>2</sup>	45(-0%)	40	35
		主要能源	GJ/m <sup>2</sup>	30(-19%)	25	20
		机动的共同使用能源		标准	15%	好
健 康	6	室内气候		好		优秀
		危险湿度		标准	好	有创造性的
		噪声		标准	新标准	好
		通风维护 ÷ 日照效果		按设计		优秀
生物 多样性	4	可选择的地板设计		标准	15%	30%
		植物选择		按设计	好	优秀
食物 生产	2	暴风雨利用		按设计	好	有创造性的
		种植有益的植物		标准	1/3 有用	
食 物 生 产	2	表层土再利用		标准		
总 分						最大值

Vikki 生态邻里住宅区位于赫尔辛基东北部，占地 11.32km<sup>2</sup>，距市区 8km，距机场 20min 车程，有高速铁路连接瑞典，城市以公路交通为主，实验区周边是生态保护区，以科技园为中心，周围除了生态住宅区、木质结构公寓示范区，还有相应的公共设施，如儿童护理中心，综合学校，两个护理中心，一个地区商场和其他设施及生态公园。其中居住区 5 万人，科技大学城 6 万人。

Vikki 生态邻里住宅区是将生态理念、原则与实际工程长期结合的结果，1994~1995 年总体规划时，它的生态目标是建构完善的城市结构、密度、功能和经济性，避免使用不可再生能源和消耗未深加工的材料，保护生态系统，如土壤、植物区系与动物区系、防止废物、辐射以及噪声污染。规划竞赛的优胜方案将住宅区设计为各种功能结合的指状结构，具有开放的绿地空间、营养物和水可重复利用。

Vikki 生态邻里住宅区内的城市太阳能新建筑是由欧盟热能计划支持，使用太阳能及生态结构。它的独立的被称为 FORTUM AES 的太阳能系统和区域热网、能源监控系统相连，该系统的太阳能收集器在夏天产生的热能供应浴室下的循环供热系统。为改善建筑的保温，使用低温技术和外墙热绝缘技术。

自然通风可根据需要调节，夏季新鲜空气由北侧通过窗户上的通风板进入，冬季玻璃阳台和平台作为缓冲可以预热空气。建筑材料尽量选择可循环的低辐射材料，应用健康的木结构材料做露台。屋顶雨水通过沟渠进入类似湿地的渗水坑，与平衡水箱相联系，可抽取后再分配利用。住宅还强调健康的室内气候，建筑自身的可变性、适应性和经济性，建筑的全使用寿命以及周边环境的质量。

Vikki 住区在 2001 年出台了一个建造程序与房产的评估方法，并设计使用更简易的计算工具。环境部等机构制定了建筑的环境分级系统，除了环境问题（排放物、垃圾、自然资源、生物多样性），分级系统还包括健康方面（如室内空气质量）。

大部分的房屋根据生态标准，得分为 9.5~17.3 不等，也就是说项目的水平为生态态度极高。和传统房屋相比较，Vikki 的建筑只消耗普通建筑的一半多一点的能源和 2/3 的水。在未来的 50 年里，环境质量最高的方案要减少 50% 的 CO<sub>2</sub> 排放以及 50% 的垃圾。Vikki 大概 2/3 的建筑里使用了太阳能做家庭热水，太阳能接受器产生了所需热能的 15%。

### 9.5.3 村落型生态社区

村落型生态社区一般人口规模较小，拥有较多的自然资源，并且有适于耕作的农业用地，其生产、生活与社区内的自然资源密切相关，是一个较为独立的、自给自足的社会单元。村落型生态社区较多出现在乡村地区，也有发生在城镇和城市的乡村化地区。不同于一般农业村落的村民，村落型生态社区的成员在环境和社会方面具有较强的主动意识，社区活动参与程度较高，很多村落型生态社区的实践是由社区成员与农业、生态和建筑等方面的专家共同推动实施的。

村落型生态社区一方面应满足居民享受现代社会生活基础设施的服务功能，并具有培养、提高个人素质和为人们提供获取新的发展空间的机会，同时具有自我完善、自我协调的能力，具有良好的空间环境、社会组织形态及经济建设秩序。

在面积为 488hm<sup>2</sup> 的美国南加利福尼亚大维寺的海岛上，建起了 150 栋生态房屋，叫做生态村。在这里保留着原来的自然面貌，没有一个受到人为破坏的痕迹。设计者在建筑这些生态村时，用合住的方法替代了以前独住，但仍有独住的成分，如每家每户还是有自己的卧室、浴室和厨房等，但却有了更多的合住成分，如每 6~8 个住宅单元合用一个能源中心、一个煤气锅炉、一个家用热水器和一个通风系统等。能源的节约和环境的保护变得切实可行。据测算，这种生态村里的居民其能源用量仅为原居住地的五分之一。

## 9.6 生态社区的实施机制

Shiow. Kuo 认为要推进生态社区，则必须将法制和系统资源进行整合。Shiow. Kuo 针

对如何推进台湾生态社区的建设进行了探讨，在界定生态社区的概念以及描述城市社区和乡村发展现状的基础上，提出了推动生态社区建设的实施机制。它不仅需要政府和专业设计人员推动这一理念，也需要居民自愿参与和合作。同时，市民可以提供必要的帮助。在生态社区建设的初级阶段，规划机制的建立发挥着重要的作用。除了对早期运作机制的改革，其中包括促进政府部门间的协调合作，公共组织资源的整合和规则修正以外，市民组织和对普通人的宣传和鼓动作用也很重要，只要将以上机制进行整合，就可以产生足够的动力推动“生态社区”的实现。

## 9.7 案例研究——浙江省温岭市生态居住小区详细规划

### 9.7.1 项目背景

生态居住区 (ecological residential community) 在国外也常被称为可持续发展社区 (sustainable community)、绿色社区 (green community) 或健康社区 (health community)。所谓生态居住区就是根据生态学原理，通过综合运用建筑学、生态学及其他现代科学与技术手段，设计、组织住宅内外空间的资源和能源，尽可能地达到小区内部、内外部之间的环境平衡和循环使用，最高效、最少量地使用资源、能源，减少对环境的冲击，营造自然、和谐、健康、舒适的居住环境。

#### 9.7.1.1 项目概况

温岭市生态居住小区位于温岭市城市总体规划的东北分区，临近开发区产学研园区。基地周围有湖南等居民点，区位优势明显；区内有湖漫水库泄洪河道贯穿，区内水网密布，充分体现了江南水乡的特色，自然条件优越；基地西南侧有石夫人山景区，使居住区具有良好的景观效果。整块用地约 133 万平方米（合 2009 亩），基地内高差在 1m 左右，较为平坦，是一块较为理想的居住建设用地。总平面图见图 9.1。

#### 9.7.1.2 设计指导原则及思想

① 强调塑造有特色的城市空间与山水环境。立足高起点、高档次，延续城市主轴线及城市主要道路的空间序列等，并有所创新，形成有特色的城市节点。

② 考虑规划的创造性和前瞻性。运用景观生态学、恢复生态学等相关原理与方法，强调“绿色、节能”的设计理念，把绿色生态效益与节能经济效益有机结合起来，创造适宜的人居环境。

③ 充分考虑结合地形地貌。尊重保护城市原有的文脉及肌理，尤其是城市中极有保护价值的山水自然地理风貌。

### 9.7.2 现状诊断

在该规划中，由于基地现状主要为荒地，自然环境较好。为在建设过程中将场地干扰和破坏降到最低点，并且在项目完工后保留场地的重要自然过程，规划重点集中在小区土地集中利用上（如图 9.1 所示），通过一系列生态保护与景观规划对策，以达到以下目的。

① 实现住宅区集中、最大限度地保护区域内的自然排水通道（泄洪渠）和其他重要的自然资源。

② 植被设计对策应该使植物对水、肥料和维护需求最小化，并增加景观中的生物量。

③ 尽最大可能使能源、营养物质和水在景观中得到再生利用，以使其功效最大化，同时使这些资源的浪费最小化，通过开发安全并富有创新性的腐殖化堆肥和污水处理技术，从而最

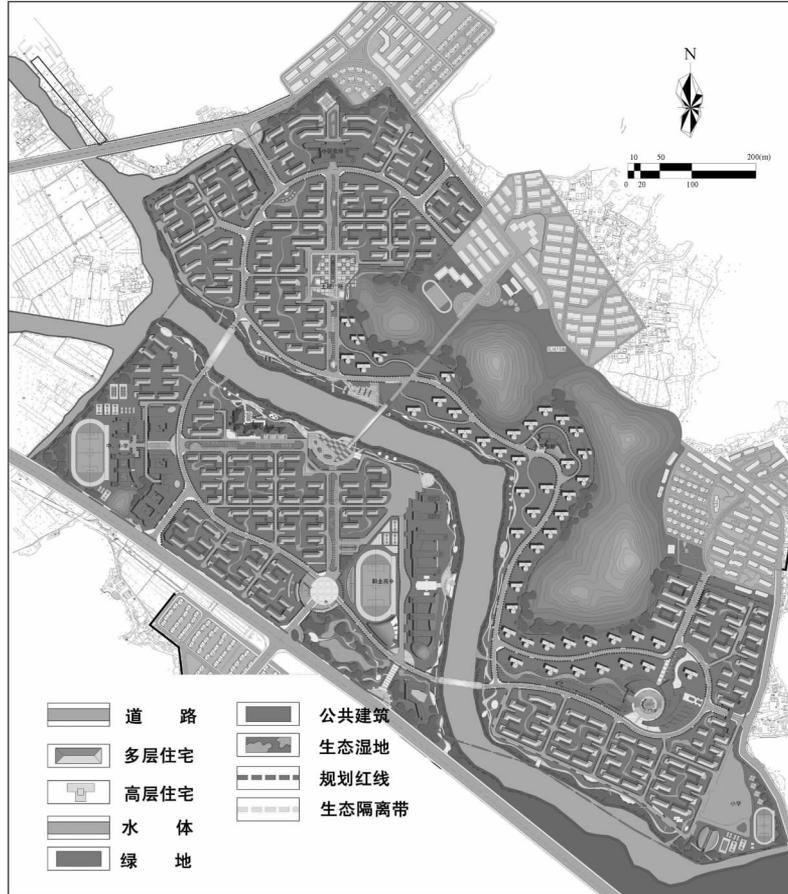


图 9.1 总平面图

大限度地利用景观中的绿色垃圾和生活污水资源，建立能源、环境的可持续发展与保护系统。

### 9.7.3 总体规划设计构思

(1) 生态敏感性分区 该规划遵循生态优先的原则，因此生态敏感性分区是土地利用规划的前提。主要采用以下的方法以确定基地内需要保护与建设的用地。

① 在建设场地选择中，选择与其他自然地块隔离的（主要是泄洪渠以及两侧的绿地）、具有较低栖息地价值的小斑块为城市开发用地。保留泄洪渠以及两侧的绿地以及山体周边用地等重要资源的完整性。

② 在布局设计方面保留、疏浚基地的自然排水通道，以保护水资源和调节排水，泄洪渠周围用植被缓冲带或其他水质管理技术加以保护。

③ 在场地开发中，尽最大可能保留弧线形以及相互交叉的场地边界，例如泄洪渠以及小山丘，以增加物种的多样性以及野生动物的使用率。

根据以上方法，最终结合主成分分析法以及 GIS 技术，将基地划分为生态敏感区（泄洪渠以及两侧 8m 的绿化带，禁止修建建筑物）、生态缓冲区（泄洪渠两侧 15~30m 区域，控制建筑密度 < 0.2）以及建设区。

(2) “细胞生长”理论 出于防御和交流的需要，人类最初的居住方式即为小范围的群居，人类社会也正是由此一步步进化整合而来。该设计将一个个有机的院落理解为细胞，院

落中的活动空间即为细胞核，绿化及水体为细胞质，而住宅则可理解为细胞壁。我们这种设想将交流空间和绿化理解为非常活跃的要害，并把它们视为最有生命力的因素，强调交往空间对人的积极作用，整个住区即是由许多个有生命力的细胞一级级整合发展而成。

(3) 分区分级 住区从总体布局上分为居住区—小区—细胞（院落）三级。通过对“细胞”个体空间的不断变化调整创造出丰富多彩、各具特色的院落，并将它们有机地组合在一起，以使整个住区达到整齐、有序的效果。

(4) 有机联系 对于各种功能空间联系的有机性，从以下几点进行考虑。

① 轴线 住区分为四个小区，小区间主要通过三条景观轴线联结。轴线宽度 30m，两边各为 6m 车行道，中央设 18m 步行绿化带，并结合旱地喷泉广场形成流动水系。

② 水空间 规划考虑结合基地内原有的丰富的水网，并将其适当调整，使得院落之间能够有机地结合起来。

③ 住宅的可识别性 院落的围合方式均是由同一种构图母题衍生变化而来，同时在住宅形式寻求一定的变化，例如屋顶、竖向绿化、阳台等，这样既能保证住宅院落形式的统一性，又能体现自身的特色，从而体现出住宅院落的可识别性。

#### 9.7.4 生态规划设计

在该规划中，一些城市生态规划的主要方法，如生态功能分区、生态绿地规划等运用到详细规划中，结合《绿色生态住宅技术导则》等理论，根据 IDEA-CIA 法，选择所有可能的场地规划方案，然后对水文、物种栖息地、物种迁移以及基础设施和交通所需要的能源的影响等多项指标进行评估，通过评估的结果，最终选择规划方案。最终的设计成果主要包括 3 大部分内容：生态技术、生态景观以及生态住宅，如图 9.2 所示。

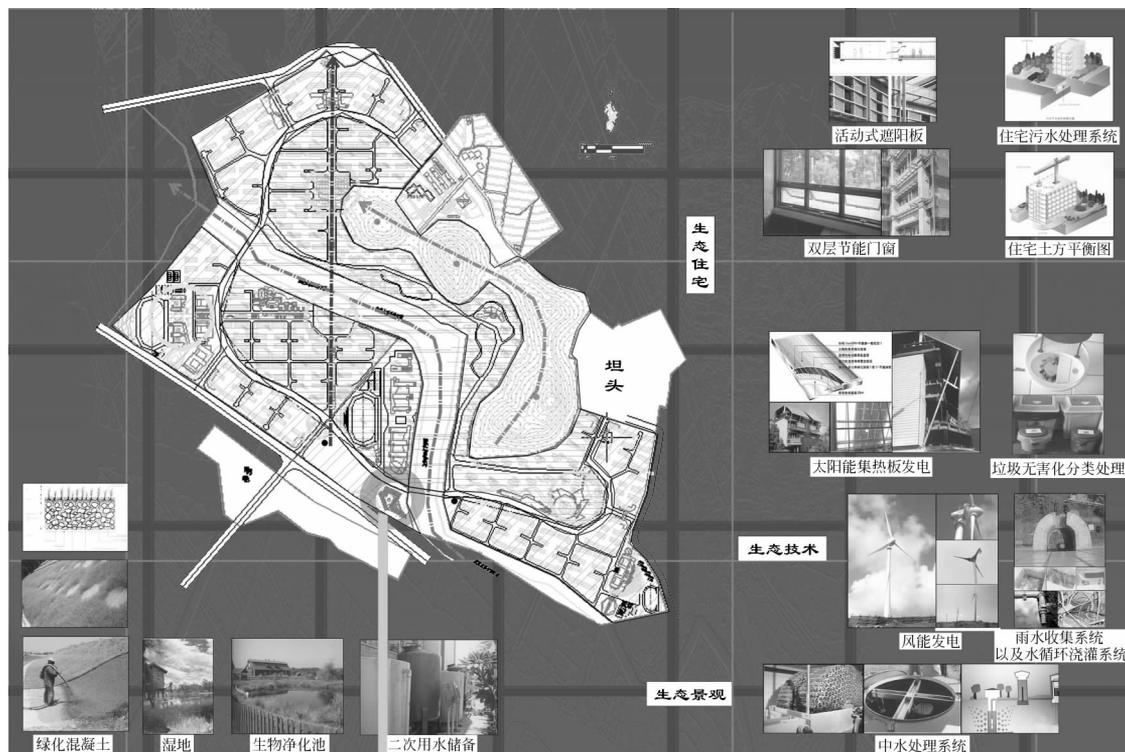


图 9.2 生态规划设计图

#### 9.7.4.1 生态技术

该小区生态技术包括绿色能源技术与绿色环保技术，以及相应配备的辅助能源系统，前者主要包括太阳能与风能收集、储存装置和热接收装置 3 个方面，而后者也包括 2 个方面：一般要求与环保技术要求。

##### (1) 绿色能源技术

① 太阳能集热板 太阳能发电主要是安装在屋顶的太阳能集热板，一般用于西向与南向坡屋顶，目前太阳能集热板的整合光电系统技术已臻成熟，应用也较为广泛，而且在成本上也具有竞争力。该住区在屋顶普遍采用太阳能热水系统，每户设计的热热水装置与屋顶太阳能热水系统相连接，并遵循以下原则。

a. 太阳能集热系统装置应与建筑物的立面设计相协调。

b. 太阳能集热系统的安装位置无遮挡，宜选在背风处，并有防雨、防潮措施；倾角、朝向应符合相关设计规范的要求。

c. 太阳能集热系统的管道布置应与住宅的给水设施配套，系统中的管道、阀门等配件应选用寿命长、抗老化、耐锈蚀的产品。

d. 太阳能集热系统的安装应牢靠，同时便于维护管理。

e. 利用太阳能光伏发电技术时，发电系统宜与小区的电网并网。

② 风能发电机 近海风能发电是全球绿色无污染能源的重要方向。从成本来看，绿色电力成本比一般电价稍贵，但由于国外有非常成功的推行经验，因此很多地产商积极购买绿色电力，市场前景看好。本小区结合小区的空间景观，合理布置 10 余座风力涡轮发电机，风力发电系统宜与小区的电网并网，年发电量争取在小区电力用电量的比例中不少于 2.5%。

按《绿色生态住宅技术导则》的要求，绿色能源的使用率将达到小区总能耗的 10%（折合成电能计算）。

##### (2) 绿色环保技术 绿色环保技术包括两个部分：一般要求与环保技术要求。

一般要求包括以下方面。

① 节水器具的使用率应达到 100%。

② 污水处理率应达到 100%，达标排放率必须达到 100%。

③ 应建立中水系统和雨水收集与利用系统，其使用量宜达到小区用水量的 30%。

④ 小区绿化、景观、洗车、道路喷洒、公共卫生等用水宜使用中水或雨水。

环保技术要求包括以下方面。

① 小型垃圾无害化处理 小型垃圾无害化处理包括两个步骤：a. 采用“中小型垃圾无害化处理的装置系统”，就地处理，就地消纳，做到对垃圾处理无害化，减量化，资源化；b. 按生活小区划分，把垃圾分类，归口回收，把生物垃圾经过科学处理，绿色垃圾和其他有机垃圾被用作复混肥堆肥，作为土壤补偿，例如经处理用作花木肥料取代化肥。

② 噪声污染处理 按《绿色生态住宅技术导则》规定，生态小区声环境应符合下列标准：白天 $\leq 45$ dB；夜间 $\leq 40$ dB。

该生态小区在规划设计时，对周边噪声源进行相应的测试分析，发现现状噪声主要来自基地南端的城市干道。而居住区噪声污染多半来自于道路交通噪声，为减少道路交通噪声对居住环境的干扰，一般采用以下几种方法。

- a. 路面材料，一般路面采用沥青玛蹄脂碎石路面（SWA）减少噪声效果最好。
- b. 设置禁止标志牌。
- c. 设置防声屏障（音障墙），一般为凹凸墙（上有蜂窝状小孔及垂直绿化），主要作为降低生活区噪声的吸音板，设置在小区边缘过境上。
- d. 植被隔音，在该小区规划中，主要采用植被的形式，选择合适树种、植株的密度、植被的宽度，可以达到吸纳声波、降低噪声的效果，种植植被遵循以下原则：矮乔木比高的乔木防噪声效果好；阔叶林比针叶林好；几条窄林带比一层稠密林带效果好。

③ 中水利用系统与节水设计 在室外设立污水处理再利用中水系统和雨水收集利用系统；室内外采用节水型器具，例如采用分离式马桶，将大小便分离处理的技术，采用水节能型的景观用水系统。

全面的节水设计。如使用低容量抽水马桶，全面推行节水龙头；家庭废水经处理用于冲厕；采用生活污水处理后回用的方式，生活污水经过中水站处理，用于小区内的清洁、绿化、洗车等，从而节约宝贵的水资源。

#### 9.7.4.2 生态景观

##### (1) 景观布局

① 景观绿化轴线 规划整体强调的是“三线两面多点”的综合布局形式。“三线”即为三条最重要的三条景观轴线；两面即为保留的泄洪河道和自然山体；多点即为住区内包括主题广场、保留湿地和文娱建筑在内的多个景观节点。规划希望通过这种复合的绿化景观系统能为住户营造一个人文与自然和谐统一的环境。

② 多层次的绿化布局 绿化布置形式强调多样化的立体格局。包括从住宅建筑（例如屋顶棚架、西墙面攀援植物和阳台花池等）及外部环境、河道的防护堤岸设计等，同时为保证物种的多样性，规划还单独考虑了一块湿地。

(2) 主要内容 生态景观规划主要包括以下内容：①自然生态系统与人工生态系统；②生态绿化走廊；③植被配置。

① 自然生态系统与人工生态系统 该社区与一般居住区存在最大的区别在于社区存在两套生态系统：以山水为主的自然生态系统与围绕其周围的人工生态系统，由此形成生态敏感区—生态缓冲区—主要建设区3个生态空间层次。

② 生态绿化走廊 生态廊道设计原则是其周围设置足够的缓冲区，以阻止来自相邻景观外来物种的侵略。缓冲区的宽度主要根据当地以及基地景观现状和侵入物种的分布机制而确定。设置两条主要生态廊道。

a. 河道生态廊道：以80m宽泄洪道以及周边10m的绿化带组成。

b. 生态核心廊道：主要由社区主干道以及两侧15m绿化带组成。主要具有以下功能：保证生物迁徙的通道；地面植被足够的宽度（>80m）可保证生物多样性；绿化以高大的乔木、灌木为主，水边温度可降5~10℃。

③ 植被配置 植被配置遵循以下原则。

a. 提高植被密度来提高生物量水平，注重植被的垂直绿化、遮阳、园林景观。

b. 种植设计力求优化植物的用水要求与当地气候条件之间的关系，一般多采用乡土植物。主要以本地生的乔木、灌木为主，如垂柳、香樟、水杉、合欢、银杏等。

c. 为减少肥料所带来的巨大蕴涵能量以及过度施肥造成水体的富营养化，必须尽量减少化肥的使用，特别是含有大量氮成分的混合肥料。

d. 考虑降低噪声，以适当的绿化形成减噪设施。

e. 控制步行区的风效，提高住宅区绿化率，垂直绿化，遮阳、减噪设施共同组成环境过滤器；在泄洪渠的护岸采用绿色混凝土，其为可植栽草皮、低矮植被的特殊混凝土。

④ 湿地生态系统 该住区在 3 号基地的南端保留一块的湿地，作为保留生物多样性以及生态环保科普教育的基地。湿地主要包括以下内容：一栋作为生态能源环保中心的建筑，以及面积为 4.5hm<sup>2</sup> 的湿地，以便成为保留乡土植物以及动植物的栖息地。

生态能源环保中心包括太阳能、风能发电中心、垃圾无害化处理中心、中水处理系统，湿地主要由池塘、溪流以及绿地组成。

#### 9.7.4.3 生态住宅

生态住宅包括两个方面：在兼顾住户居住舒适的前提下，提高住宅的生态安全与生态节能。绿色住宅注重使用保温材料与构造，提高建筑热环境性能。如在建筑物的内表面采用高性能的保温材料，高效节能玻璃等新型节能建材，从而对建筑物起保温隔热作用；采用外墙遮阳和屋顶隔热措施，控制建筑对热量的吸收，与自然通风降温手段配合，减少空调费用。从生态安全的角度而言，提倡绿色建材的选用，并提供相应的检测技术。

##### (1) 节能技术

① 门窗节能 门窗的节能约占建筑节能的 40% 左右，具有极其重要的地位。在该小区住宅中，在以下几方面考虑门窗节能。

a. 施工：建筑门窗全周边高性能密封技术。

b. 门窗窗型与保温隔热技术：选用高效节能玻璃等新型节能建材，如复合型门窗以及复合内开窗及多功能窗，考虑选用隔热高效节能豪华型铝合金窗和豪华型多功能门类产品。争取各种措施的节能效率能达到 50%。

② 活动式遮阳 采用活动式遮阳，使遮阳率达到 80%。活动式遮阳可根据季节变化，一天当中太阳的运动轨迹和天空的阴晴情况，调节遮阳板的角度。

(2) 绿色建材 在建筑施工期间，选择较少污染和较少浪费资源的生产方式，更多地采用环保材料，绿色材料。在建材选择方面，减少使用热带硬木，用塑料、再生铝材作代用品；注意材料的耐久性，如用花岗石铺地、水磨石地砖，减少材料的维护与更新；选择可再生型材料，重复利用资源；选择当地材料，减少运输能耗。绿色建材的安全性包括两个部分内容：健康建材产品标志，提供建筑材料检测技术，包括对墙体材（涂）料、家具、地板等的检测。减少二次装修，只准采用一次装修，可提供若干种室内装修的菜单供住户选择。

#### 9.7.5 生态指标体系建构

##### 9.7.5.1 生态居住区评价指标体系的建构

生态居住区的评价指标体系是在小康住宅示范小区的评价基础上的改进，同时引入弹性原则，增加定性的生态风险评价的项目，以及人均耗费能源对环境污染贡献率的阈值来减少其不确定性。

在构建温岭市生态居住小区评价指标体系时，为减少不确定性对指标体系的影响，结合规划的具体内容，按照弹性、层次性以及可操作性的原则，采用层次分析法，得出一个三层次的生态居住区评价指标体系，如图 9.3 所示。最高综合指标为生态居住区综合评价指标体系，用以评价生态居住区发展程度；向下逐层分解为体现该项指标的亚指标，第二级为生态

住宅、生态景观、生态技术、基础设施和社区管理、生态文化五大系统；直至最低层的单项评价指标 24 项（三级指标）。在生态居住区系统中选择典型生态影响因子，通过实地调查和模型研究等方法量化指标体系，建立典型生态居住区的指标阈值。所建立的典型生态居住区指标阈值反映了典型的生态居住区系统的特点，用以指导生态居住区规划。该评价指标阈值还可以为建立区域生态居住区规划标准或阈值提供科学基础和方法。

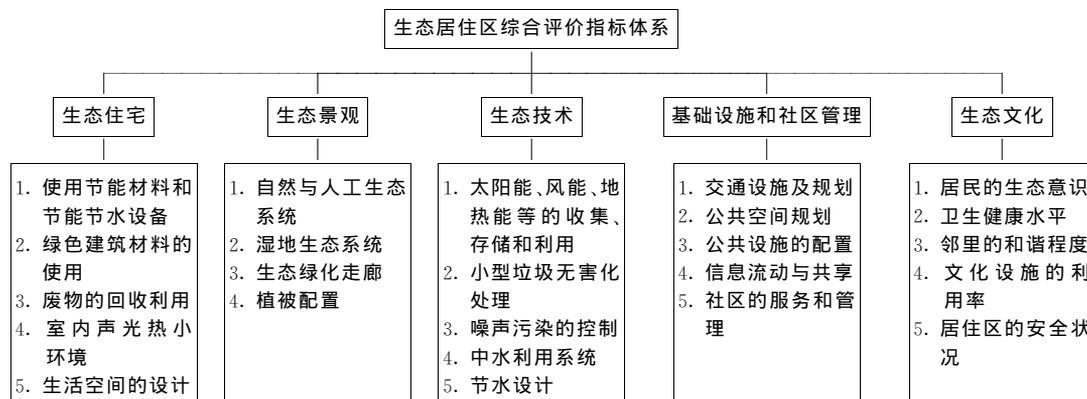


图 9.3 三层次的生态居住区评价指标体系

#### 9.7.5.2 生态、技术经济指标体系的构建

根据《绿色生态住宅技术导则》要求，结合华东地区气候、地理等地域特征，该规划将以上制定的《生态居住区评价指标体系》部分生态指标进行定性与定量处理，并制定了相应的生态、技术经济指标，如表 9.2 与表 9.3 所示。

表 9.2 生态指标

序号	三大系统	子系统	指标内容		生态小区指标	
1	生态技术	绿色能源技术	新能源、绿色能源(主要是风能、太阳能的使用)		10%	
			建筑节能,主要是门窗、屋顶节能,以及窗口遮阳(南方冬冷夏热地区)		50%	
			其他节能措施		5%	
			绿色能源作为冷热源比例		10%	
			一般要求	节水器具的使用率	100%	
				污水处理率与达标排放率	100%	
				管道直饮水覆盖率	80%	
			环保技术要求	生活垃圾管理与处理系统	生活垃圾收集率	100%
					分类率	70%
					生活垃圾收运密闭率	100%
					生活垃圾处理与处置率	100%
				噪声污染的控制	小区声环境	白天
			夜间			≤40dB
			小区室内声环境	白天	≤35dB	
夜间	≤30dB					
中水回用达到整个小区的用水量		100%				

续表

序号	三大系统	子系统	指标内容	生态小区指标	
2	生态住宅	墙体材料中 3R 材料使用率占所有材料的比例		30%	
		小区建设中不得使用对人体健康有害的建筑材料或产品		√	
		建筑物拆除时,所有材料的回收率		50%	
		室内声光热小环境		符合《绿色生态住宅技术导则》要求	
		生活空间的设计		舒适、实用、经济	
3	生态景观	绿化系统	小区绿化率	39.1%	
			绿地本身的绿化率	70%	
			硬质景观自然材料占工程量比例	30%	
			小区绿化与居住区规划同步进行	√	
			种植保存率(成活率)	90%	
			垂直绿化达到绿化总面积的比例	20%	
			植物配置的丰实度	立体或复层种植群落占绿地面积的比例	≥20%
		乔木量:一株/100m <sup>2</sup> 绿地		3	
		植物种类(华东地区木本植物种类)		≥50 种	
		自然生态系统	泄洪道生态廊道	由 80m 宽泄洪道以及周边 10m,总面积(hm <sup>2</sup> )	20.03
			生态湿地	总面积(hm <sup>2</sup> )	2.7
		人工生态系统	生态核心廊道	包括社区主干道以及两侧 15m 绿化带,以及主要的广场、中心绿地,总面积(hm <sup>2</sup> )	12.3
			小区边缘绿化隔离带	主要是南边干道的 30m 绿化隔离带(hm <sup>2</sup> )	5.4
细胞单元(组团)绿地	由组团绿地构成(hm <sup>2</sup> )		24.5		

表 9.3 技术经济指标

项目	生态功能分区	面积	总面积	
用地面积/hm <sup>2</sup>	生态敏感区面积(水域及生态隔离带面积)		20.03	133.93
	生态缓冲区面积		22.60	
	主要建设区面积		91.30	
建筑面积/万平方米	住宅建筑面积	多层	79.13	131.7
		高层	41.99	
	公用设施建筑面积		10.58	
总户数/户	户型		户数	比例%
	大户型(130~150m <sup>2</sup> )		2224	22
	中户型(110~129m <sup>2</sup> )		6168	61
	小户型(80~109m <sup>2</sup> )		1720	17
停车位/个			9650	
容积率			1.31	
建筑密度/%			22.8	
绿地率/%			39.5	

## 参考文献

- 1 杨芸, 祝龙彪. 建设生态社区的若干思考. 重庆环境科学, 1999, 21 (5): 18~23
- 2 曹伟. 生态社区新理念及其人居环境的探索. 建筑学报, 2002, (9): 59~61
- 3 R. D. 麦肯齐等著. 城市社会学. 宋俊岭等译. 北京: 华夏出版社, 1987
- 4 戴晓晖. 新城市主义的区域发展模式——peter calthorpe 的《下一代美国大都市地区: 生态、社区和美国之梦》读后感. 城市规划汇刊, 2000, (15): 77~78
- 5 武春友, 常涛. 生态社区综合评价指标体系的初步探讨. 中国人口、资源与环境, 2003, 13 (3): 30~33
- 6 Robert Hsin. Guidelines and principles for sustainable community design thesis for master degree Chair of Committee; Keith Grey. Florida A&M University, 1996
- 7 沈克宁. 可持续发展与“新”的社区和城市概念. 建筑师, 2000, (97): 53~63
- 8 Peter K. The New Urbanism. New York: McGraw Hill, Inc, 1994
- 9 程世丹. 生态社区的理念及其实践. 武汉大学学报 (工学版), 2004, 37 (3): 83~86
- 10 吴享洪. 香港的可持续住房设计. 世界建筑, 1997, (3): 32~36
- 11 任云英. 21 世纪关中农耕地区乡镇生态社区建设的意义及其展望. 西安建筑科技大学学报, 2000, 32 (2): 147~150
- 12 饶戎. 向生态城市发展的北欧绿色住区. 世界建筑, 2004, 171 (9): 21~26
- 13 Shioh Ku. 台湾省生态社区的实施机制. 国外城市规划, 2002, (3): 22~25

## 思考题

1. 简述生态社区的设计方法。
2. 在温岭市生态居住小区详细规划中, 生态规划主要包含哪几方面内容?

## 第 10 章

# 城市绿地系统生态规划

### 10.1 概述

所谓绿地，辞海释义为“配合环境创造自然条件适合种植乔木、灌木和草本植物而形成一定范围的绿化地面或区域”；或指“凡是生长植物的土地不论是自然植物或人工栽培的，包括农林生产用地及园林用地，均可称为绿地”。城市绿地是以土壤为基质、以植被为主体、以人类干扰为特征，并与微生物和动物群落协同共生的人工生态系统。其结构包括乔木、灌木、草本植物、动物、微生物以及土壤、水文、微气候等物理环境。它是城市生态环境系统的重要组成部分，对美化城市、改善城市生态环境质量起着极大的作用。

#### 10.1.1 城市绿地系统的分类

##### 10.1.1.1 城市绿地分类的原则

(1) 科学性原则 城市绿地类型的划分必须是科学的，各类绿地应具有明确和统一的空间属性特征，且概念清楚，含义准确，内容不相互交叉。

(2) 全面性原则 各类绿地应全面地反映城市绿地系统的组成，包括城区近郊及远郊整个市域范围内的所有绿地。

(3) 协调性原则 现有城市规划用地分类中属于绿地的部分应相应地列入城市绿地类型，有利于专项规划与总体规划的协调统一。

(4) 实用性原则 基本适应各地大中城市和小城镇运用，适应现代统计和计算方法，各类绿地的技术指标能直接反映出城市绿地建设

及环境质量水平，具有横向和纵向可比性，可操作性强。

(5) 大众性原则 各类绿地的名称除了具有明确的概念含义外，还必须是大众化的词语，通俗易懂，易被广大群众理解和接受。

### 10.1.1.2 城市绿地分类方法和依据

城市绿地分类方法的依据主要有位置、范围、服务对象、功能和空间属性等。但由于城市绿地分类是为绿地系统规划建设和管理服务的，作为城市绿地系统的一个组成部分，每一类绿地的主要功能都应有别于其他绿地类型，并且能够反映城市绿地建设的不同层次和水平，因此，城市绿地的分类应该以主要功能为主要依据。

### 10.1.1.3 城市绿地分类

根据城市绿地的含义、各地各城市绿地系统的组成以及城市绿地分类的原则、依据和方法，可将城市绿地分为以下几类。

(1) 园林绿地 公园绿地（城市综合性公园、主题公园、居住小区公园、庭院绿地、街头公园、花园广场、古迹公园、纪念公园、旅游观光公园、森林公园等）。

城市绿化带（防风林、防沙林、水土保持林等）。

旅游区及自然保护区绿地。

交通绿地（城市公路、街道、交通枢纽等环境绿地）。

(2) 农林生产绿地 农地（城市范围内的粮油菜地、花木圃地、草地、鱼池、荷塘等农牧渔生产绿地）。

林地（城市范围内的用材林、薪炭林、经济林等林产绿地）。

## 10.1.2 城市绿地系统规划的生态问题

### 10.1.2.1 城市绿地破坏严重或侵占，绿化总体水平低

国家建设部 1993 年以来命名了 8 个国家级园林城市（表 10.1）。《长沙市城市绿地系统规划（2003~2020）》提出，2003 年长沙城区将新增绿地 271hm<sup>2</sup>。城区绿地率为 32.5%，绿化覆盖率为 37.5%，人均公共绿地面积达到了 7.45m<sup>2</sup>，几项指标均已超过了国家园林城市的标准。对照 WHO 推荐的生态城市指标，我国还有很多城市的绿化各项指标相比仍然偏低。

表 10.1 国家级园林城市绿化指标（1995 年）及推荐标准

指 标	绿化率 /%	绿化覆盖 率/%	人均公共 绿地/m <sup>2</sup>	指 标	绿化率 /%	绿化覆盖 率/%	人均公共 绿地/m <sup>2</sup>
WHO 推荐的生态城市标准	40	40	20	威海市	33.20	36.70	16.80
国家“园林城市”	30	35	6	中山市	32.25	35.18	9.59
北京市	32.42	33.56	7.08	合肥市	—	30.70	35.00
珠海市	32.13	39.90	20.07	杭州市	41.30	44.00	35.00
深圳市	40.2	44.00	35.00	马鞍山市	34.50	37.30	8.00

由于城市结构以人以外及其社会要素的流转为中心而构建，城市中生物与环境的关系被远远排在城市构建原则之外。这种忽视环境和生态要素的规划理念使城市自然生态环境系统被其他物质系统的完整结构切割得支离破碎，导致城市自然生态环境简单脆弱，抗干扰能力低下，城市绿地破坏严重或侵占，绿化总体水平低。

### 10.1.2.2 绿地系统发展的经济压力增大

随着城市人口的不断膨胀和城市人口郊区化趋势的日益加快，城市及其周边地区的环境

压力增大、中心城市衰退，绿地受到城市建设用地的制约和土地市场的冲击，各大中城市对环境的绿化建设都投入了很大的一笔资金，但却没有单纯的经济效益。绿地过分地依赖于人工维护又大大地加重了财政的压力。

#### 10.1.2.3 绿地系统的文化效应不足

城市绿地过分的人工雕琢与堆砌倾向，使城市中十分珍贵的自然生态信息对现代人的身心洗涤作用大为削弱，绿地对社会精神面貌的影响，对人的发展方面的贡献率尚有待于提高。另外，人类通过园艺技术，在城市绿地系统中实现了对自然生产力的某些特殊需求。同时，也带来了虫害和农药的污染。可见，城市绿地在努力重建自然环境的同时，却带来了新的生态环境问题。

#### 10.1.3 城市绿地系统生态规划的目标

城市绿地系统在城市复合生态系统中起着改善城市生态环境，创造和谐的生活氛围，发展高效的环境经济的重要作用。因此，城市绿地系统建设应确立在与 21 世纪城市的生态化相匹配的发展目标。

##### 10.1.3.1 确立城市绿化的产业地位

1992 年世界环境发展大会之后不久，中共中央、国务院《关于加快发展第三产业的决定》中，城市绿地被列为“对国民经济和社会发展具有全局性、先导性影响的基础产业”。1993 年，原国家计委《全国第三产业发展规划基本思路》（国务院转发），要求“城市园林绿化水平有较大的提高”，它标志着城市绿化的第三产业地位在我国已经基本确立。

##### 10.1.3.2 提高城市绿化的社会价值

目前，中国城市的平均覆盖率为 25%，预计 2010 年将能够达到 27%~30% 的要求。例如，截至 2000 年，哈尔滨市共栽花铺草 200 万平方米，新增公共绿地 150 万平方米，城市绿地的覆盖率提高到了 28.64%，人均公共绿地面积由 3.65m<sup>2</sup> 提高到 4.06m<sup>2</sup>。城市绿地在城市土地中所占的巨大份额，使它必然成为影响城市风貌的决定性因素之一，成为吸引人才居留、技术乃至资金集结的重要因素。另外，城市园林作为一种人工的生态系统，凝结着现时的和历史的各种自然、科学及精神价值。

##### 10.1.3.3 城市绿地系统的生态价值

城市绿地系统作为城市结构中的自然生产力主体，以植物的光合作用能力和土地资源的营养、承载力为条件，以转化和固定太阳能为动力，通过植物、动物、真菌和细菌食物链，实现城市自然物流和能源的循环，为城市注入新鲜的氧气，调温调湿，滞尘吸污，杀菌减噪，固土保水，净水充水，降解废弃物，实现生态还原功能。

#### 10.1.4 规划的原则和依据

(1) 生态功能优先原则 城市绿地规划应以生态学原理为指导，尊重自然规律，在生态功能优先的前提下，致力于改善城市生态环境，维持城市自然生态系统，保护城市生物多样性。

(2) 因地制宜原则 由于各个城市的规模、气候、自然地理环境、经济发展水平等条件存在差异和不同，城市绿地规划作为城市总体规划的一个组成部分，必须在规划中考虑城市的性质、规模、自然条件和环境污染状况，充分利用原有的历史、地质、水文、气候条件，抓住城市的特点、性质和发展方向，规划有城市特点、有自然风格的城市绿地系统。

(3) 整体优化原则 城市绿地系统由反映城市各种需要、功能各异、结构不同的子系统集合而成。在规划时应着眼于城市生态整体，根据差异协同的原则，对构成城市绿地系统的

各子系统进行统一规划和建设，全面整合优化系统结构，使其与城市可持续发展的目标协调一致，发挥良好的生态功能和作用。

(4) 以人为本原则 城市规划建设应以改善和提高生态环境，为人类提供舒适、健康的居住环境为根本目的。绿化是改善城市环境的最重要手段之一。但提高城市环境质量不应单是满足于一定数量的绿地面积，而应充分运用美学观点，继承、吸收、发展和提高我国传统的园林艺术，是城市绿地系统的生态功能与绿化、美化功能完美结合，满足人们的审美需要。

(5) 长远目标与近期目标结合的原则 城市绿地系统建设是一项长期而复杂的系统工程，在规划时既要立足于长远目标，有超前意识，又要考虑到城市具体的经济水平和财政能力，制定合理的长期目标和近期目标。城市总体规划要合理安排城市绿化覆盖率、城区绿地率、人均公共绿地等指标，保护自然森林绿地避免因追求城市建设的眼前经济效益而进行乱砍乱伐。城市绿化的近期目标是根据规划的需要和目标以及财政能力来安排绿化工程要完成的近期任务。而对一些工程量大、建设期较长的项目，如森林生态景观的营造与改造，则须分期分批进行。及早安排确定近期目标使近期目标与远期目标很好地结合起来。

(6) 科学性与可操作性结合的原则 城市绿地系统建设，应用科学的理论解决项目建设的方针、方向、目标、框架结构、内容布局等原则问题。但对于部分重点的、近期的项目应做到适应当前技术水平和施工条件的要求。

## 10.2 城市绿地系统的生态恢复

绿地系统是城市生态环境中较为脆弱和敏感的区域。城市绿化景观是以人为干扰为主形成的景观。城市植被可保护净化环境、减少噪声，保护城市生物多样性。但由于许多城市绿化选种单一，绿化时间、生境不适合，造成绿地系统抵御病虫害能力低，景观单一、生态系统相对敏感、脆弱。因此，要提高城市的绿化质量和绿化效益，改善城市生态环境，必须运用恢复生态学的理论对绿地系统这个生态敏感区进行生态恢复和保护。

### 10.2.1 忍耐和弹性

#### 10.2.1.1 忍耐

从生态学的角度来考虑，忍耐是指某一有机体在干扰/逆境情况下，被容许生存的诸生理特性。忍耐阈值通常是线性的，一旦超越，有机体即不能存活。

由于忍耐属于个体遗传控制的特征，在一个种群内可以发现各种不同忍耐程度的个体。另外，忍耐也可以是生物对抗的是单个因子或可能是多个因子。例如，某一种植物可能对一种重金属忍耐，而对另一种重金属不耐耐，或者可能同时忍耐多种金属。

植物中的忍耐对于恢复非常重要。例如，当恢复需要大量自然植物材料时，就必须了解有机体-损伤-忍耐关系，因为对有机体种群的取样有限，所以单分株的无性生长是需要的。忍耐损伤能力强的无性分株克隆后生长良好。先锋植物被引进后，加速开花也非常重要，因为它能使恢复立地中的种群迅速发展。

#### 10.2.1.2 弹性

HOLLING (1973) 认为弹性是生态系统的一种特性，这种特性是它们持久性的一种度量，是它们抵御变化和干扰、仍然维持种群间或状态变量间相互关系不变的一种能力。某一生态系统的弹性并不取决于其受到暂时干预后返回到平衡状态的能力的稳定性，相反，群落

会剧烈地波动，但正是由于这种群落的不稳定性才赋予了生态系统一种巨大的恢复力。

#### 10.2.1.3 弹性阈值

在生态学上，“弹性阈值”一词可以被理解为某一弹性极限。植物群落的弹性是基于组成种群的个体忍耐。但是，种群弹性尚有另一个特征：很多植物种群即使现存个体消亡后，仍能通过土壤里埋藏的孢子进行恢复。然而一旦这样的储藏不存在，生态系统也就达到了弹性阈值。如果生态系统弹性阈值被超越时，通常意义上的生态系统恢复即不存在，只能转变成另一状态，或者灭绝。因此，在生境先遭破坏的条件下弹性有着特殊的含义。

#### 10.2.1.4 忍耐和弹性在城市绿地系统恢复的作用

由于恢复生态学的主要研究领域是受到强烈干扰的生态系统，而城市绿地系统是以人的干扰为主形成的生态系统，因此在研究城市绿地及整个城市生态系统的恢复是要特别关注忍耐和弹性的概念。

首先应考虑破坏程度与弹性之间的关系。弹性的种群、群落以及生态系统能够抵御一定程度的干扰，尤其是当干扰是在局部范围内逐渐发生时。另一方面，即使是最强有力的弹性也不会有助于抵御灾难性的任一干扰事件、大规模连续性的生境开发，或者大范围的频繁重复的强烈干扰。

在城市绿地系统结构中，河流廊道植被是陆地和水生生态系统的活动边界，是环境活力和变化的敏感标志。在形成河流物理和生物特性的过程中起着重要的作用，对水陆生态系统间的物流、能流、信息流和生物流能发挥廊道（corridor）、过滤器（filter）和屏障（barrier）作用功能。

城市河流廊道植被恢复的技术核心是植被选择和水生植物群落的组建。水生植被的恢复和设计有以下几个主要的步骤。

① 水生植被恢复基本条件的创建。

② 先锋植物的选择：先锋物种的选择要分析水生植物生物学特性，耐污性，对 N、P 去除能力及光补偿点等因素，筛选出几种具有一定耐受性的，能适应河流水质现状的物种作为恢复物种，并为水生植被群落恢复提供物种。

③ 群落配置：群落配置是通过人为设计，将恢复区的水生植被群落按照环境条件和景观要求，进行时空上的分布，满足河流廊道设计的生态、环境和视觉功能。在水平空间上，为改善水质，因此选择耐污性好，去除 N、P 能力强的植物，如凤眼莲、满江红等；从景观角度考虑，则需要在满足恢复目的的前提下，对植物的色彩进行搭配。在垂直空间上，主要根据水文条件来配置挺水、浮水和沉水植物群落；从景观角度考虑，应根据不同植被的层次和时间进行搭配，覆盖于水面生长的植物同暴露水面的比例要保持适当，水生植物与在水面漂浮生长的植物也要保持一定的比例平衡，否则，会产生水体面积缩小的不良视觉效果。同样，由于很多植物不是多年生，因此植被群落配置还需要考虑到一年四季中不同植物间的功能替代。

④ 植被种植和养护：栽植后，用秸秆覆盖，并用草绳将覆盖物压住，防止风吹、干燥以及杂草滋生。同时，腐烂的秸秆分解后可以增加土壤的养分。对死亡腐烂的植物，要将其收割，防止二次污染和破坏水体景观。

除此之外，还可以依据城市河流廊道恢复区域的具体自然条件，利用已有的植被知识，通过顶极群落的类型推断该区域的潜在自然植被类型，应用“模拟自然”的手法，进行生态型绿化，营造的在种类组成和群落结构上与区域顶级群落接近的人工森林。

## 10.2.2 主要方法

城市绿地系统最明显的生态环境效应就是改善城市局部气候效应，通过光合作用，维持城市大气的碳氧平衡，维持植物生命，从而影响环境的温度、水分和局部气候，为城市生态系统的物质能量转换提供动力条件和能量基础。

碳氧平衡对城市绿地系统的影响：绿色植物进行光合作用时，吸收空气中的二氧化碳和土壤中的水分，合成有机物质并放出氧气。

植物的呼吸作用也要吸收氧气排放二氧化碳。但是植物的光合作用比呼吸作用大得多。因此绿色植物是大气中二氧化碳的天然消费者和氧的制造者，起着使空气中二氧化碳和氧相对平衡的作用。各种植物由于其光合器官和生长发育状况等不同，吸收二氧化碳释放氧气的的能力也有差异。如在研究长沙市绿化的碳氧平衡效应时，选择了该市最常见的有代表性的几种树木进行测试，并同时测算了其绿地叶面积指数，结果显示：叶面积指数愈大，吸收二氧化碳和释放氧也愈多。城市绿地面积应随其所采用的绿化树种不同而异。

## 10.2.3 地下水平衡对城市绿地系统的影响

城市绿地系统不仅能够确保城市碳氧平衡，还维持城市地下水的平衡。水是城市存在和发展的基本物质条件。

## 10.2.4 绿地系统的规划布局

### 10.2.4.1 均衡绿地系统布局

城市绿地系统的规划布置要尽可能结合各类绿地不同的功能分区，注意在城市中均衡地分布公共绿地。文教区、行政区、居住区在方圆 500m 半径之内，应设有街头小游园。在 1000m 之内，应设占地 6~8hm<sup>2</sup> 的区级公园。新公园的布设应重点放在人口稠密和缺少绿地的地区。工厂、高速公路、飞机场等噪声和大气污染的周边设置防护绿地。要保护河流、海岸，文化遗产、风景区等要设置绿地。此外，对由各单位侵占的绿地要逐步地予以收复。对污染严重的企业，要有计划地搬迁，并将厂址改造为绿地。对位于市中心繁华地段的行政、事业单位，也应外迁，使其让位于城市绿地。

### 10.2.4.2 结合城市自然环境，因地制宜

市区内的江河、湖泊，对城市景观是一个优越的自然条件。城市绿地系统规划必须根据城市特点，充分利用城市河流山川、名胜古迹等条件，因地制宜，构成丰富多彩的绿色景观空间。如北方城市以防风沙、水土保持为主；南方城市以遮阳降温为主；工业城市突出卫生、防护。

### 10.2.4.3 建立城市立体绿化体系

立体绿化不仅对人体具有良好的视觉心理效应，产生满足的舒适感，调解人的身心健康，同时绿化植物还可以抵御恶劣的环境污染，吸收灰尘和有毒气体，杀灭病菌和降低噪声，吸收二氧化碳和释放氧气。在人口稠密、空间拥挤的城市中心尤其适用。随着城市的发展和高层建筑增多，平面绿化空间越来越少，于是出现在建筑物的外墙根处种上一些具有吸附攀援性质的植物，或在建筑物的顶面铺上一些垂吊的藤蔓植物，如爬墙虎、金银花等称为垂直绿化或墙体绿化。在建筑物的顶面铺上一层约 20~30cm 厚的肥沃、排水性好的泥土，可放置花盆、栽种花草或低矮灌木丛，称房顶绿化。此外，现代城市建筑的装修材料、涂料、燃料中多含有有毒化学物质和污染物质，如果绿化植物的种类选择适当，数量合理，室内绿化可起到清洁室内空气的作用。地面绿化、墙体绿化、室内绿化、楼顶绿化，形成的绿化网叫立体绿化。

#### 10.2.4.4 “绿带”与“绿心”——城市系统两种主要形态的探讨

按照城市和景观的关系，可将城市绿地规划分为绿化带和绿化中心。一方面，景观可以看成是城市和郊区的隔离要素，按照这种观点，绿化带被设计用来保护城市的紧凑结构；另一方面，景观被看成是城市地区的连接要素，将它们结合成一个区域性城市。根据这个观点，景观被看作绿化中心。

在欧洲城市区域里，针对城市与景观形状的理想模式描述的主题已经延续了一个多世纪，如凯文·林奇将大城市分为五种基本模式（形状）：紧凑、星云、链状、星状以及蔓延，每种形状都有著名的先驱学者提出的理论模型。勒柯布西耶的“阳光城市”与弗兰克赖特的“广亩城市”描绘出一个广阔的谱系中集中与分散的两种极端状态。在关于可持续发展的争论过程中，紧凑的城市成为一种新的但是无可争议的模式。根据这种观点，景观规划者经常建议（种植）绿化带（轴）以实现城市形状的可持续。一些后现代的地理学者以及规划者站在紧凑城市这种传统模式的对立面。在后现代主义者的观点看来，过去那种从城市中心到郊区按同心圆模式呈等级分布的等级模型被放弃了（Fishman, 1990）。相反，现代城市形状更侧重于被描述成为城市区域的拼贴、裂变以及分裂结构。洛杉矶通常被看做是这种后现代城市景观的原型（Soja, 1995），关于“景观的城市化”以及“城市的景观化”理论的发展，一些规划者假设两者的混合模式即“中间景观”（Rowe, 1991）或者城市景观，在德国狭义文本中，一种关于“中间城市”（Zwischenstadt）（Sieverts, 1997）道路的理论引起了对城市区域未来城市形状广泛的争论。对这种方法的批评主要关于其默认城市蔓延的事实以及占用更广阔空间的合法性。然而出于西韦特传统反对者的观点意料之外的是，非常确定的，他的方法与关于“中间城市”以“绿心”为中心连接元素的传统教条是一脉相传的（Sieverts, 1997）。

（1）绿带：分隔城市与乡村的景观 在18~19世纪欧洲城市城墙倒塌期间，位于城市与乡村之间的绿环作为一种规划概念确定下来，在这个时期，人们发现从前城墙所在位置的绿地为城市流浪者以及散步者提供散步的场所。在19世纪末，E. Howard将中世纪城市的同心环状转用于正在发展的工业城市区域，这就是他著名而具有深远影响的花园城市（Howard, 1946）。花园城市作为一种严格限制增长的模式，应该被一圈具有农业以及休闲功能的环带（被称为“绿环”）所环绕，“绿环”概念基于支持农业的行政区划概念。这种概念的应用在整个20世纪历史性地循环起伏。也许是因为其简单，它无疑是广为人知的。特别在英国，绿环在20世纪成为一种重要的城市政策，即使是在区域的实质性变更中，始于大伦敦规划的绿环也开始应用于英国的几个大都市区。在其他的欧洲城市区域也有着同样的应用，绿环是城市与区域规划当前的一种方法。目前，我们发现欧洲绿环的应用，例如，在维也纳、巴塞罗那、布达佩斯以及柏林，绿环的功能最初是控制城市增长（发展），避免城市的相互合并以及区分城市与乡村的典型特征。随着自从1970年以来环境争论的加剧，加入了新的生态观点，即绿环功能的可持续性。目前在接踵而至关于brownfield发展问题的驱使下，城市自然守恒以及再生的功能问题被提上日程。关于绿环与都市发展的关系问题从一开始就没有达成过一致。然而一种出于严格限制的立场希望将绿环定义为城市发展的制止者，其他更宽泛的立场将其定义为划分都市区地块的over-spill（参考）元素（Elson, 1986）。E. Howard花园城市的概念更倾向后一种立场，因为他对中心城与花园城的区域系统作了更先进以及更灵活的再定义：由于特别提供快速的交通，从一个地方到另一个地方只需几分钟，两个镇之间的人们将事实上成为一个整体。

与存在于都市高密度的地块以及大部分为小群落的农村之间的模式相对比，Berlin-Brandenburg 区域每平方公里 175 人的人口密度对于欧洲都市区而言是非同寻常的低。20 世纪 90 年代以来，柏林与 Brandenburg 联合空间规划部门一直规划围绕德国首都柏林的地区公园链环。规划将该地区 2800km<sup>2</sup> 的区域设计为由八个不同的地区公园组成的绿化带的形状，其中每一个地区公园覆盖几百平方公里的面积（表 10.2）。

表 10.2 Berlin-Brandenburg 的区域公园的大小、人口密度和土地利用

区域公园名称	居民数 1999 (大约×1000)	面积/km <sup>2</sup>	人口密度 /(人/km <sup>2</sup> )	土地利用/%					
				农业	森林	水域	村落	交通	其他
Kramer Forst	25	323	77.4	56	31	2	5	4	2
Nature Park Bamim	147	964	152.7	36	47	3	7	4	3
Bamimer Feldmark	71	423	167.5	64	21	1	8	5	2
Muggel-Spree	89	449	198.1	22	59	3	8	4	4
Teltow Park	91	297	305.8	54	22	2	13	7	2
PotsdamerHavelseen	160	266	601.4	30	32	15	16	6	1
Doberitzer Heide	17	144	117.9	38	14	5	7	5	31

表 10.2 显示地区之间城市化程度的显著差别。同时也表明地区公园应该是独立的区域，而不应该按照统一方式设计和建造。区域的绝对尺度决定了其不可能建成为公众公园。作为一种新型的开放领域，地区公园既不同于市政公园，也区别于自然保护区或自然公园。它们更应该被理解为人造景观。

(2) 绿心：区域城市中心的景观 绿心概念来源于 19 世纪 30 年代美国地方主义作家 L. Mumford 所写的 organism planning 中的词汇，“organism”城市规划同样在 19 世纪 50 年代的德国和其他的欧洲西部国家被熟知。在这段时期，城市被理解为一个有血管、肺、细胞和心脏组成的生物体。E. Howard 将他的花园城市理想中心区构思为环形的公共中央花园 (Howard, 1946)。很明显，在他看来，开放空间被看作是社会团体的中间部分。此外，Howard 还推行了先前城市建筑作为市场和交叉路口的功能。

绿心规划学说的主要假设是一个开放的绿色空间将不同的社团联结成一个一致的空间。荷兰大都会 Randstad 被看成是自几十年后这么一个区域性城市。

Randstad 是荷兰西部大都会地区一个多中心的规划概念，连接了阿姆斯特丹和鹿特丹的主要城市——海牙和乌得勒支。Randstad 由围绕在开放空间周围一个马蹄状的环形所构成，1956 年第一次被称为“绿心”。在 Randstad 城市中，城市边缘形成一个带美化的城市中心（图 10.1）。

绿心覆盖了卫星大都会中心的大约 1500km<sup>2</sup> 的土地，用来防止单个城市从会聚区演变成单独的都市区。在绿心区，大约有 70 个地方自治市，其中 43 个完全落于绿心的边界。绿心景观组成了一个大规模的农业地，其主要用作为牧场。绿心区的牛奶场遵循着竞争激烈化与规模扩大化的普遍趋势。在绿心区的大部分自然空地和沼泽地都很低，而一些湖泊用作娱乐之地。

Randstad 概念最初是 19 世纪 30 年代的荷兰王室定期航线（荷兰航空公司）创始人和 Schiphol 为争论城市环形区的中央位置而被引入的 (van der Wusten, Faludi, 1992)。这个概念是在国家、地区、地方代表的政治委员为促进阿姆斯特丹、海牙、鹿特丹和乌得勒支等区域的聚集快速发展而被迫形成的。在 19 世纪 50 年代，Randstad 仅仅被用来描述郊区的

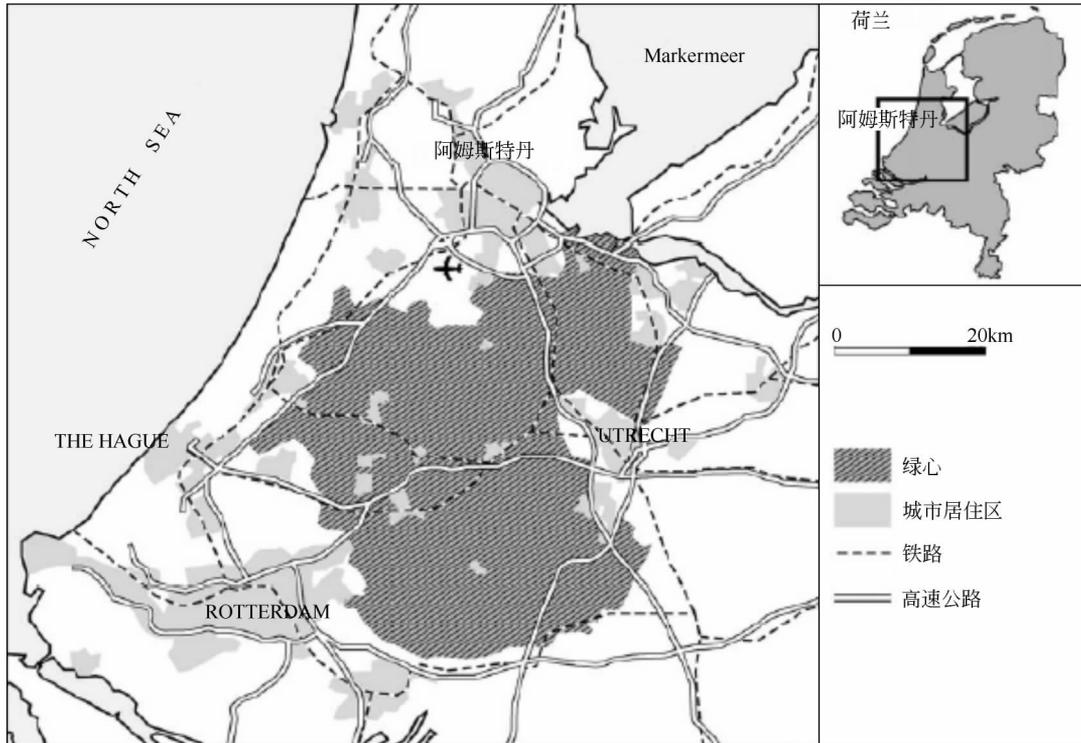


图 10.1 Randstad 城市中的绿心

环形部分，而没有中间的开放空间。在 19 世纪 60 年代，“绿心大都会”（Burke，1966）被定义为多中心卫星大都市。直到 19 世纪 60 年代后，绿心被定义为一个土地景观。在这段时期，保护绿心意味着保护土地生产。1966 年在 National Spatial Planning 的报告定义了关于 Randstad 的三个主要的任务。

① 均衡地调节人口分布。

② 保护绿心，现在首先把绿心看成是 Randstad 中用作娱乐的开放空间。因此，要尝试将绿心区社团的人口增长控制在一个较低的水平。

③ 达到适中的居民密度。

这些政治目标和策略主要由于缺乏对“绿心”保护的强调，因而被评价为不成功的。批判的原因有以下 3 种倾向：绿心地区的人口密度增长超过了国家水平；社区增长速度过快；绿心地区的城市和乡村趋于城市化。19 世纪 70 年代，居民已经逐渐放松了他们的田园风光特性，城市乡村一体化又逐渐发展起来。

同时，始于 1988 年的关于住房供给部门的空间规划、物质规划和环境的报道已经将其策略从物质规划的控制转移到促进经济的发展上来了；但是城市绿心的中心学说——城市与乡村、居住地与空地的分离——还是继续维持着（Priemus，1998）。因此绿心的边界还是被定义得很清楚，从 1998 年起绿心就被认为是荷兰的“国家景观”。

在过去的十年里，绿心受到了大小城市的郊区社团的抨击。新公路、铁路线的构建使绿心受到影响，这种用于运输的基础构造呈增长的趋势。Randstad 内与周围的娱乐空间短缺，绿心除了湖以外，几乎不能用作娱乐地区。

总之，在开放空间中，绿心陷入了在两个互相矛盾的功能之间作出选择的困境：作为城

市与郊区的分割物；或作为地区城市的“绿心大都会”的综合体。

这种困难的选择涉及广泛的论述更多基本原理问题：Randstad 本身是否是一个“真实”的区域单元，或仅仅是一个规划和政治构造。然而，一些观察员质疑到 Randstad 的真实性，或者作为物理的“位置空间”（见 van der Wusten, Faludi, 1992），作为被当地居民看成“区域城市”的精神单元，或者作为经济单元，被定为“流动空间”，例如往返者，消息，货物。全面研究 Randstad，有人争辩“把它看作是一个单独的功能实体是没有依据的”，这引出了问题：为什么将绿心看成是景观的功能实体？表 10.3 中显示在绿心区中的娱乐和自然保护区的相对短缺。“田园风光”的区域在实际中比想像中的要少。

表 10.3 绿心和 Randstad：人口、土地利用和经济

项 目	人口 1994 (×1000)	人口密度 (/人/km <sup>2</sup> )	土地利用(1994)/%			经济结构(雇佣率)/%			
			农业	自然保护、娱乐	居住	农业	工业	交通运输	服务业
绿心	673	470	83.1	3.6	13.3	3.8	28.3	30.9	39.9
Randstad	4000	1680	—	—	—	0.9	19.1	28.2	51.8
城市环									
荷兰	15342	468	70.3	148	14.9	1.7	25.8	26.4	46.0

绿心方法功能的缺点是，景观几乎不能执行脉冲调节 Randstad 的“心脏”的功能。以保护超生产时期的农业用地和农场的环境污染为论据在目前用来限制郊区的发展是无力的。总之，在保护绿心中存在不足的主要原因在于人们不认为整个地区是空间单元。绿心的空间结构不是用来决定城市性质，而是来自于否定城市结构。

绿带和绿心的实施问题显示，空间结构在构建城市区域中具有连接和分散空间单位的双重角色。荷兰“绿心大都会”案例中表明，景观的连接作用很明显地被高估了。另一方面，城市外部传统的封闭绿带方法同样是教条主义的：它假设景观在中央城市和郊区社团、城市和乡村间起分割作用。但是地区性规划方法促使了与绿带和绿心无关的城市和乡村地区的种族分离，这种规划仅仅以静态的方式处理居住的物理尺度。它们没有考虑渐增的交互作用和流量动力学，这将消减城市与乡村间的差异，向城市-乡村统一化发展的趋势。

### 10.3 绿地规划评价指标体系

城市绿地定额指标是反映城市绿化水平和城市环境质量的一个重要指标。一般以城市绿化覆盖率、建筑绿化用地率、人均公共绿地面积和人均绿地面积来衡量。

- ① 城市绿化覆盖率 = 城市绿地面积 / 城市总面积，以 % 表示。
- ② 建筑绿化用地率 = 建成区绿地面积 / 建筑用地面积，以 % 表示。
- ③ 人均公共绿地面积 = 公共绿地面积 / 城市常住人口，以 m<sup>2</sup>/人表示。
- ④ 人均绿地面积 = 城市绿地面积 / 城市常住人口，以 m<sup>2</sup>/人表示。

城市绿地系统指标体系应分为两级指标控制，一级是总体控制指标，二级是分区控制指标，如居住区、工业区和专业区的绿地指标。同时，从生态、环境、园林、城市规划等多学科多角度，定性与定量相结合提出综合评价指标体系。总体指标可采用国家标准规定办法和定额指标数值，分区指标各城市可因地制宜地制定。

## 10.4 城市绿地系统的景观生态学研究

### 10.4.1 城市景观要素的基本类型

景观生态学是在地理学与生态学相互渗透的基础上形成的交叉研究学科。组成景观的结构单元主要有 3 种：斑块 (patch)、廊道 (corridor) 和基底 (matrix)，可将它们统称为“镶嵌体” (tessera)。在城市中的基底、斑块与廊道之间没有严格的界限，街道和街区共同构成城市景观的基底。在传统的城市规划中，城市空间格局一般是以城市建成区以及拟建区为主体，而城市绿地系统是被这些城市建成区所分割剩下的部分。一些学者从景观生态学的理论出发，对这种规划理念进行相应的调整。

#### 10.4.1.1 斑块

斑块是指一个与周围环境不同的相对均质性 (homegeneity) 非线性的区域。在城市研究中，在不同的分辨率下 (即不同的尺度)，我们可以将整个城市建成区或者一片居住区看成一个斑块。如果我们将城市建成区看成一个斑块的话，其研究重点应该是回答什么样的斑块形状是更为高效的。景观生态学认为：圆形斑块在自然资源保护方面具有最高的效率，而卷曲斑块在强化斑块与基质之间的联系上具有最高的效率。

R. Forman 也强调：为完成斑块的几个关键功能，其生态学上的最佳形状应为一个大的核心区加上弯曲的边界和指状突起，其延伸方向与周围物质流的方向一致。因此，比较下面两个城市斑块形状的图示，我们看到：指状城市既集中又分散，它可以增加“城乡混合景观”的比例，使大自然渗透到城市核心的可能性加大，这是一种“保持自然一直接近将来”的模式，如图 10.2 所示。

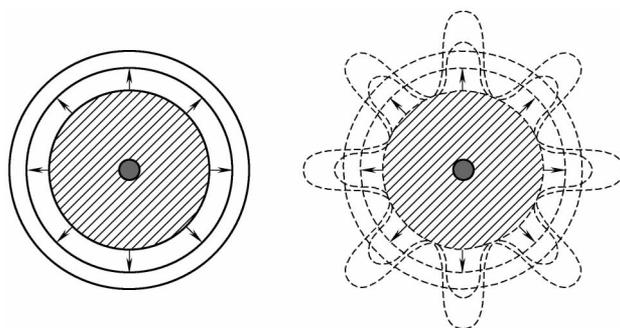


图 10.2 城市斑块形状比较

#### 10.4.1.2 廊道

廊道是景观惟一的线型要素，是不同于两侧相邻土地的一种特殊的带状要素类型。廊道的主要功能有以下 4 类：生境；传输通道；过滤和阻抑作用；作为能量、物质和生物的源和汇。根据廊道的起源、人类的作用及景观的类型，廊道可分为森林廊道、河流廊道及道路廊道等。廊道在城市景观中起着重要的美学作用。如在中国传统园林设计中，讲究园林中的观赏路径设计成为弯曲的形状，以便将一些景点藏在幽静之处，从而达到出乎意料的、曲径通幽的效果。公园中也有一些人工建筑的走廊，如颐和园昆明湖东侧的长廊，它把颐和园北部和东部连接起来，另一方面随着长廊的延伸，既可欣赏昆明湖的宽广湖面，又可仰视万寿山的起伏山峦和佛香阁等金碧辉煌的建筑。又如杭州西湖的苏堤，长 2.8km，是西湖上的一

条彩带，它既是著名的走廊式风景点，也是连接南北两山的重要通道。因此，应该强化廊道与城市绿地系统的联系，利用廊道将城市绿地系统联系成为一个整体，这样降低城市绿地系统的景观破碎度，一定程度上改变城市绿地系统与城市建成区的“图”、“底”关系。

#### 10.4.1.3 基底

基底又称本底或模地，它是景观镶嵌内的背景生态系统或土地利用类型，具有面积大、连接度高和对景观动态具有重要控制作用等特征，是景观中最广泛连通的部分。如果我们将城市建成区看成一个斑块的话，广泛的自然就是其基质——这种关系有点像格式塔心理学的“图底关系”——城市建成区为“图”，自然为“底”。而在城市内部而言，城市绿地系统为“图”，城市建成区为“底”。

尽管斑块和基底在概念上较容易区分，但在实质上有很多相似之处。为此，提出区分基底和斑块的三条标准，即相对面积、连接度和动态控制作用。

(1) 相对面积 当一种景观要素类型在一个景观中占的面积最大时，即应该认为它是该景观的基底。一般说来，基底的面积应占总面积的50%以上。

(2) 连通性 连通性是指如果一个空间不被两端与该空间的周界相接的边界隔开，则认为该空间是连通的。一个连通性高的景观类型有以下几个方面的作用。

① 作为一个障碍物将其他要素隔开。例如一个林带可将两边农田隔离开，在林中设防火带可将两边森林隔开。这种障碍物可起到物理、化学和生物的障碍作用（如妨碍昆虫和种子流动）。

② 相互交叉带状形式的连通性可形成网状廊道，这既便于物种的迁移，也便于种内不同个体或种群间的基因交换。

③ 这种网状廊道还成为周围被包围的其他要素的生境岛。由于以上这些作用，当一个景观要素完全连通并被其他要素包围时，即可将它称为基底。当然，基底也不完全是连通的，也可完全分成若干块。

(3) 对动态的控制作用 一般来讲，当把几种植物群落相比时，先锋群落一般不稳定，而顶级群落（或称地带性群落）比较稳定，如果其他条件相同，顶级群落控制动态发展的能力更强。例如以树篱和农田来说，树篱中的乔木树种的果实、种子可被风等媒介传到农田中去，从而使农田在失去人的管理之后就会变成森林群落。这样就表现出树篱对景观的动态控制作用。又如在森林地区，和原始森林相比，采伐迹地和火烧迹地是不稳定的，它们内部乔木的更新和恢复，要靠周围森林供应种源并给予其他方面的有利影响。原始森林应为基底，而采伐迹地和火烧迹地应为斑块。

在实际工作中，应先对一个景观计算其相对面积和连通性水平。如果某景观要素的面积远远超过任何其他要素，则可称它为基底。如果有几个景观类型所占面积类似，则可以将连通性最高的要素类型视为基底。如果上述两个标准均不能做出判断时，则必须进行野外调查，以估计哪个要素对景观动态的控制作用更大些。

#### 10.4.2 景观多样性与景观异质性

景观多样性又称为生态系统多样性。广义的景观多样性是指生物圈内栖息地、生物群落（包括人的聚居所）和生态学过程的多样化。在较大的时空尺度上，景观多样性构成了其他层次生物多样性的背景，并制约着这些层次生物多样性的时空格局及其变化过程。景观多样化的描述指标有：丰富度或相对丰富度；相对分块性；Simpson多样性指数；Shannon-weiner多样性指数。

不同大小和内容的斑块、廊道、基底、网络共同构成了异质景观。异质性是景观的根本属性，任何景观都是异质的，城市绿地系统景观也不例外。从空间格局看，城市绿地系统是由异质单元所构成的镶嵌体。城市绿化景观的异质性主要是由人产生的，如城市中的道路、街道绿化。

城市中的公园、城市植被、街区、广场、铁路、公路、街道、河流等景观要素以一定的组合方式构成一个异质性的城市景观。城市绿地系统景观的异质性首先表现为二维的空间异质性，公园、绿地、水面、建筑物、街道性质各异，功能各有不同。公园绿地中多以人工栽植的观赏植物及人工挖掘的水面为主，它们是城市中的“大自然成分”，起着制造氧气、净化空气、娱乐休闲、美化城市的作用，是城市的“肺”。即使作为绿地的斑块，由于植物种类不同，也形成了各具相貌的绿地异质性。街道及道路网络在城市中起着主要通道作用，它们增加了整个城市景观的破碎性及异质性。对于道路廊道而言，由于汽车流量大，所以道路附近的铅等汽车尾气污染物质含量高于其他附近景观要素，同时噪声污染也是如此。而对城市景观的某一要素而言，其内部亦存在着异质性，如公园内是由湖泊、树林、草坪、房屋和广场等不同功能的地块组合而成；又如城市道路廊道的主要组成要素有道路两边的行道树、非机动车道、机动车道以及两条机动车道之间由草皮或矮灌木构成的分隔带等。组成道路廊道的这些要素可分为两大类，一类是绿地，一类是车行道，它们各自有不同的功能，且有机的结合共同构成了执行物流、能流及信息流功能的道路廊道。

城市景观的异质性还同时表现为垂直的空间异质性。垂直异质性一方面表现为建筑物因高度不同而表现出的垂直方向上的参差不齐；另一方面则表现为由于城市人口和车辆密度大而导致空气中尘埃、二氧化碳等物质近地面多、高空少的空气构成上的不同。同时，垂直的异质性导致了水平的异质性，如高楼两侧接受的太阳辐射多少和气温高低的不同，南侧植物的开花和出叶时间也要早于北侧。

景观异质性有利于城市绿地系统物种的生存和延续及生态系统的稳定，如一些物种在幼体和成体不同生活史阶段需要两种完全不同栖息环境，还有不少物种随着季节变换或进行不同生命活动时（觅食、繁殖等）也需要不同类型栖息环境。所以通过一定人为措施，如营造一定砍伐格局、控制性火烧等，有意识地增加和维持景观异质性有时是必要的。

#### 10.4.3 生物多样性

生物多样性是指各种各样的生物及其与环境形成的生态复合体总和以及它们的各种生态过程，是人类社会生存和可持续发展的基础。由于不合理的开发利用，尤其是生境的生态破坏和污染，生物多样性呈持续下降趋势。城市园林绿地是乡土植物和乡土生物多样性保护的最后堡垒之一，城市在人才、技术、设施和资金等方面有优势，具有保护生物多样性的义务和条件；生物多样性是提高城市绿地生态系统功能和绿地生态系统健康的基础，也是城市绿化水平的重要标志。

#### 10.4.4 景观多样性与物种多样性的关系

研究景观多样性与生态系统多样性的关系，可以了解较大尺度的景观多样性、异质性作为背景和基底对生态系统（景观要素）的组织化水平、多样性和稳定性的维持及其动态变化、演替规律的影响。

##### 10.4.4.1 生境多样性、生态交错带与景观界面

生境多样性是生态系统多样性形成的基本条件，是塑造生物多样性的模板。一般而言，大尺度环境的物理限制决定了生境资源的空间结构，例如在一个流域内，河流网的结构和形

状决定了生境的空间分布和范围，河岸植被既是野生动物重要栖息地，也是重要的廊道，动植物可沿河运动。河溪生态系统的狭长、网状特性，明显提高其在景观中的功能和地位，特别是加强了景观的连接性。生态交错带（ecotone）对生物多样性有着特别重要的意义，生态交错带是指生态系统中，不同物质能量体系、结构、功能体系之间形成的界面。Forman将此概念扩展为景观界面（landscape boundary），即存在于相邻的不同景观单元之间的变化过渡带，它控制着生物和非生物要素的迁移，表现为界面上的突变性（sharpness）和高对比度（contrast）。生态交错带内相邻生态系统或景观相互渗透，内部环境因子和生物因子发生梯度上的突变，生境对比度和等高线密度高，生态位分化程度高，生物多样性显著，往往有其特有组分——边缘种，并且种间关系复杂，食物链较长，体现出有利于多个生态系统共存的多多样性。

#### 10.4.4.2 景观破碎化及其生态系统效应

人类活动对生态系统、景观最大危害是促其破碎化，了解斑块形成、演变的动态规律和边缘效应，以及景观破碎化对生物群落和生态过程的影响，是探索保护群落、生态系统完整性途径和方法的前提。景观破碎化改变了生境斑块间物理环境，包括热量平衡、水循环和营养循环。主要表现在以下几点。

- ① 破碎生境的能量平衡明显不同于全部被茂密植被覆盖的景观。
- ② 生境破碎化导致湍流效应，使风的影响增强，并导致生态系统水分循环发生改变。
- ③ 破碎化影响生物种群的迁入率和绝灭率。生境破碎化使那些需要较大生境斑块的“森林内部种”或“面积敏感种”趋于灭绝，而使适应人类干扰环境的外来种、常见种的丰富度增加。

生境破碎化造成的群落内物种灭绝机制主要包括：最小存活种群、最小生存面积的丧失，栖息地异质性损失、隔离效应、边缘效应及某些关键种的丧失使食物链、食物网瓦解而造成的次生灭绝。

#### 10.4.4.3 生态过程、功能及其尺度

生态过程多样性主要表现在系统的物质循环、能量流动和信息传递等方面，是生态系统多样性研究的重要方面。生态系统结构与功能复杂性正是通过生态过程多样性体现的。不同层次生物多样性间均存在不同性质、不同等级和尺度的过程多样性。较高水平的过程多样性使生物系统对外部环境变化拥有更多的调节和适应机制，从而具有较高的稳定性。从国内外研究现状看，生态系统多样性研究仍过多局限于种群、群落等“实体”成分的研究，很少有对作为“虚体”组分生态系统中不同类型生态过程及其多样性的研究。近几年来，基于Lindeman的生态系统营养动力学发展起来的宏观营养动力学（macroscopictrophic dynamics）已开始注重这方面研究。营养级、能量金字塔和生态效率是Lindeman生态系统营养动力学的3个核心概念，但其出发点是线性食物链，忽视了生态系统间复杂的营养关系，宏观营养动力学则区别于Lindeman的营养动力学，更强调生态系统的相互作用及过程。国内也有学者对生态系统内营养结构、能流路径多样性及其测度进行了初步研究。上述研究尽管多限于理论上探讨和模型模拟，但毕竟为生态系统中生态过程的研究提供了方法和思路。

生物多样性的生态系统功能是生态系统多样性研究的核心内容之一。关键种、功能群、冗余种等，这些具有不同功能的生态类群研究目前受到人们重视。基于功能类群（functional group）的研究往往比以物种为中心的研究能更深刻地揭示生态系统结构与功能本质联系。

#### 10.4.4.4 保护生物多样性的景观规划

随着生物保护战略由目标物种途径转向区域景观途径，景观规划在生物多样性保护中的意义日益引起了人们的重视。Wilson 评论道“作为一个发展中的专业，景观设计将在生物多样性保护中起决定性作用，在环境日益人工化情况下，仍然可以通过林地、绿带、水系、水库和人工池塘及湖泊的巧妙布置来使生物多样性保持在很高程度，总体规划不但考虑经济效益和美学价值，同时考虑生物种类的保护”。景观规划从景观要素保护出发提出了一些有利于生物多样性保护的空间战略，为自然保护区及国家公园的建立和科学管理提供了有效的指导。国内外学者相继提出了一些关于生物多样性保护景观规划的途径和方法，如 Forman 的“集中与分散相结合 (aggregate-with-outliers patterns)”及“必要的格局 (indispensable patterns)”的原则。我国学者俞孔坚的“景观生态安全格局 (ecological security patterns in landscape)”等。尽管生物多样性保护的途径和方法各异，但如下措施被普遍认为是有效的，对克服人为干扰有积极作用：建立绝对保护的栖息地核心区；建立缓冲区以减小外围人为活动对核心区干扰；在栖息地之间建立廊道；适当增加景观异质性；在关键性部位引入或恢复乡土景观斑块；建立物种运动的“跳板 (stepping stone)”以连接破碎生境斑块；改造生境斑块之间的质地，减少景观中的硬性边界频度以减少生物穿越边界的阻力。

### 10.5 城市绿色廊道网络

#### 10.5.1 城市绿色廊道概述

在景观中，廊道常常相互交叉形成网络，使廊道与斑块和基底的相互作用复杂化。网络具有一些独特的结构特点，如网络密度（即单位面积的廊道数量）、网络连接度（即廊道相互之间的连接程度）以及网络闭合度（即网络中廊道形成闭合回路的程度）。

#### 10.5.2 城市绿色廊道的分类

按照城市绿地系统中绿色廊道的结构和功能的差别，将绿色廊道分为绿带廊道 (green belt)、绿色道路廊道 (green road-side corridor) 和绿色河流廊道 (green river corridor) 三种。由于城市中廊道大多兼有生态环保、游憩观赏、文化教育的功能，在我国目前大部分城市环境质量较差的状况下，城市廊道的设计应在兼顾游憩观光基本功能的同时，将生态环保放在首位。

##### 10.5.2.1 绿带廊道

绿带廊道一般较宽，从数百米到几十公里不等，如我国的上海市外环线绿带规划宽度为 500m，而英国伦敦的绿带廊道宽度由几公里到几十公里不等。绿带廊道主要由较为自然、稳定的植物群落组成，生境类型多样，生物多样性高；其本底可能是自然区域，也可能是人工设计建造而成，但一般具有较好的自然属性；其位置多处于城市边缘，或城市各城区之间。它的直接功能大多是隔离作用，防止城市无节制蔓延，控制城市形态。同时，它还有以下功能：改善生态环境，提高城市抵御自然灾害的能力；促进城乡一体化发展，保证城乡合理过渡，开辟大量绿色空间，丰富城市景观；创造有益、优美的游憩场所等。

##### 10.5.2.2 绿色道路廊道

绿色道路廊道主要有两种形式。一种是与机动车道分离的林阴休闲道路，主要供散步、运动、自行车等休闲游憩之用。在世界许多城市，这种道路廊道被用来构成公园与公园之间的联结通道 (paveways)。这种道路廊道的设计形式往往是从游憩的功能出发，高大的乔木

和低矮的灌木、草花地被相结合,形成视线通透、赏心悦目的景观效果,其生物多样性保护和为野生生物提供栖息地的功能相对较弱。第二种是道路两旁的道路绿化,道路两旁的绿化带是构成城市绿色廊道的重要组成部分,在一些水系不发达的城市,道路绿化带成为城市绿色廊道的重要组成部分。在目前城市环境污染较严重,城市生物多样性较脆弱的情况下,道路绿化带的主要功能应定位在环境保护和生物多样性保护上,它的最大功能是为动植物迁移和传播提供有效的通道,使城市内廊道与廊道、廊道与斑块、斑块与斑块之间相互联系,成为一个整体。因此,其规划设计的出发点应着重考虑如何通过植物配置、生境创造来实现上述目的。

#### 10.5.2.3 绿色河流廊道

河流水系是城市中自然环境的重要组成部分,几乎所有的大型城市都是依水而建,尤其在我国南方地区,河网密布,纵横交错,城市河流水系构成了城市的自然骨架。绿色河流廊道包括河道、河漫滩、河岸和高地区域。城市河流廊道的功能主要表现在以下几个方面。

(1) 实现城市生态规划、设计和管理的途径 植被覆盖良好的河岸对提高整个城市气候和局部小气候的质量具有重要作用,保存良好的植被或新设计的植被特别能改善城市热岛效应,在小环境方面,河流植被不仅可提供阴凉、防风和通过蒸腾作用使城市变得凉爽,而且,还为野生动植物繁衍传播提供了良好的生存环境。在城市中自然栖息地的保护对城市是有经济效益的,河边植被对控制水土流失、保护分水地域、净化水质、消除噪声和污染控制等都有许多明显的经济效益。

(2) 社会经济价值 城市河流绿色廊道为居民提供更多的亲近自然的机会和更多的游憩休闲场所,使城市居民的身心得到健康发展。另外,河流植被由于其生境类型的多样化,还是维持和建立城市生物多样性的重要“基地”。随意自然的河岸线构成了城市优美的景观,是塑造城市景观的重要手段。

#### 10.5.3 城市绿色廊道的规划设计

城市绿色廊道的设置除了游憩、文化、教育的功能外,其主要的出发点是提高环境质量和生物多样性保护的功能。因此,在研究廊道的规划设计原则时,以能满足生物多样性保护和提高环境质量的要求为主要参考标准。这涉及廊道的规模(宽度)、廊道的数量、廊道的结构和设计模式等。

##### 10.5.3.1 城市绿色廊道的规模

绿色廊道的规模一般地说,廊道规模在满足最小宽度的基础上越宽越好。由于廊道为线性结构,随着廊道宽度的增加,内部种逐渐增加,而边缘种在增加到一定数量后趋于稳定。廊道的宽度根据廊道设置的目标而不同。罗尔令(Rohling)在研究廊道宽度与生物多样性保护的关系中指出廊道的宽度应在46~152m较为合适。福尔曼(Forman)和戈德恩(Gordon)认为线状和带状廊道的宽度对廊道的功能有着重要的制约作用,对于草本植物和鸟类来说,12m宽是区别线状和带状廊道的标准,对于带状廊道而言,宽度在12~30.5m之间时,能够包含多数的边缘种,但多样性较低;在61~91.5m之间时具有较大的多样性和较多的内部种。克萨提(Csuti)提出廊道宽度的重要性在于森林的边缘效应可以渗透到廊道内一定的距离,理想的廊道宽度依赖于边缘效应的宽度,通常情况下,森林的边缘效应有200~600m宽,窄于1200m的廊道不会有真正的内部生境。佩斯(Pace)在研究克拉马斯国家森林(Klamath National Forest)中提出,河岸廊道的宽度为15~61m,河岸和分水岭廊道的宽度为402~1609m,能满足动物迁移,较宽的廊道还为生物提供具有连续性的生境。

巴德 (Budd) 在研究湿地变迁时发现, 河岸植被的最小宽度为 211.4m 才能满足野生生物对生境的需求。胡安·阿克尼奥·伯诺 (Juan Antontonio Bueno) 等人提出, 廊道宽度与物种之间的关系为: 12m 为一显著阈值, 在 3~12m 之间, 廊道宽度与物种多样性之间相关性接近于零, 而宽度大于 12m 时, 草本植物多样性平均为狭窄地带的 2 倍以上。巴德 (Budd) 等人在研究美国的 Bear-Evans 河时发现 30m 宽的河岸植被对河流生态系统的维持是必须的。绿色廊道和环境保护之间关系的研究发现, 河流及其两侧的植被可有效地降低环境温度 5~10℃, 植被完全被破坏的河流, 其月平均温度升高 7~8℃, 在无风的情况下最高时高出 15.6℃。水温的控制需要 60%~80% 的植被覆盖。布雷热 (Brazier) 等提出河岸植被的宽度至少在 11~24.3m 之间, 斯坦布卢姆 (Steinblums) 等提出河岸植被的宽度在 23~38m。河中树木的碎屑为鱼类繁殖创造了必需的多样化的生境, 而多数树木碎屑是来自于河岸边的植被, 研究中发现至少 31m 宽的河岸植被才能产生数量足够多的树木碎屑。河岸植被在环境保护方面的功能还表现为防止水土流失, 过滤诸如油、杀虫剂、除草剂和农药等污染物, 研究中发现, 至少 30m 的宽度才能有效地发挥上述功能。库珀 (Cooper) 等人发现 16m 的河岸植被能有效地过滤硝酸盐, 彼德约翰 (Peterjohn) 和科雷尔 (Correll) 得出了同样的结论。吉列姆 (Gilliam) 等人对农田的水土流失问题进行研究时发现, 从农田中流失的土壤在流经超过 18.28m (20 码) 的河岸植被时, 88% 被河岸植被所截获。综合上述研究, 可以看出, 河岸植被的宽度 30m 以上时, 就能有效地起到降低温度、提高生境多样性、增加河流中生物食物的供应、控制水土流失、河床沉积和有效地过滤污染物的作用。道路廊道 60m 宽, 可满足动植物迁移和传播以及生物多样性保护的功能。绿带廊道宽 600~1200m, 能创造自然化的物种丰富的景观结构。另外, 为保护某一物种而设的廊道宽度, 根据被保护物种的不同而有较大的差异, 如雪白鹭 (snowy egret) 较为理想的河岸湿地栖息地宽度为 98m, 而栖息在硬木林和柏树林中 Prothonotary 鸣禽则需要 168m 的宽度。各种类型的廊道宽度和组成廊道的植物群落的结构密切相关, 上述廊道宽度都是在构成廊道的植物群落结构完整、体现当地地带性植被特征的情况下提出的。

### 10.5.3.2 城市绿色廊道的结构

绿色廊道结构是指绿色廊道的规划设计方式, 主要是植物群落的配置方式和类型。无论是道路绿带还是河岸植被带, 都要把环境保护放在首要位置, 综合考虑休闲游憩功能和环境保护的关系, 植物配置应以乡土树种为主, 兼顾观赏性和城市景观, 以地带性植被类型为设计依据, 配置生态性强、群落稳定、景色优美的植被。在污染区域, 针对污染源的类别, 配置相应的抗性强、具有净化功能的植物。如图 10.3 所示的河道景观设计模式提供了一种可参考的设计方法。

### 10.5.3.3 城市绿色廊道的网络

绿色廊道网络是指绿色廊道在城市中的空间分布格局, 即城市绿地是如何通过绿色廊道相互联系构成系统的。绿色廊道的联结包括廊道与廊道、廊道与斑块、斑块与斑块之间的联结。通过绿色廊道和绿色斑块不同程度和不同等级的联结, 构成了城市绿地系统。城市绿地系统空间形态的研究是城市规划和园林

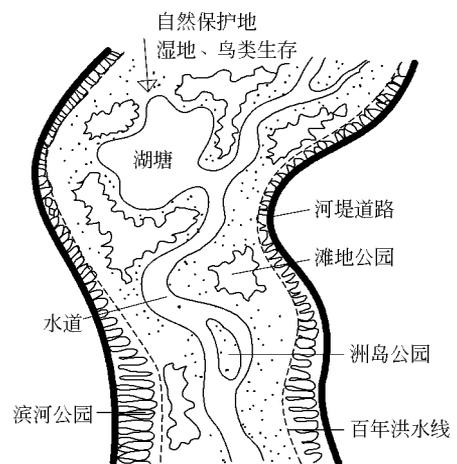


图 10.3 河道景观设计模式

绿地规划中的一项重要内容，在区域规划中，把绿地系统作为与城市实体空间同等重要的成员来进行构造，会在很大程度上避免特大城市所面临的诸多困扰。实际上，自成体系的绿地系统与城市建设实体共同构成了共轭关系：前者避免或限制了城市无休止的蔓延，为城市提供了良好的环境；后者则提升了前者的生态、文化等内涵，体现了其存在的价值。各国在实践中出现了一些比较典型的形态和方式（如图 10.4）。

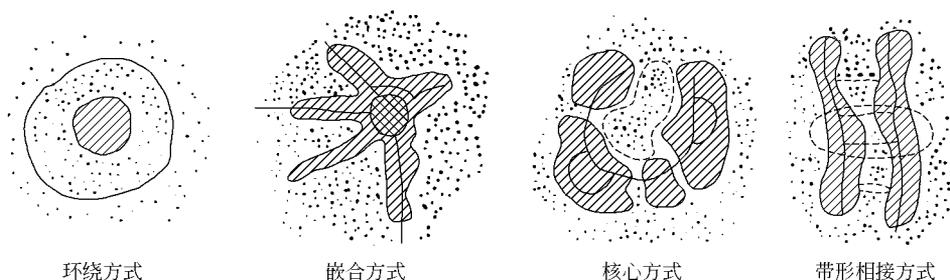


图 10.4 城市绿地系统的形态布局

(1) 环绕的形态与方式 城市在一定区域范围内集中发展，绿地系统呈环状围绕核心城市限制城市的扩展蔓延，周边卫星城镇与核心城市保持一定的距离。例如，英国 1994 年的“大伦敦规划”，该规划把从市中心起半径 48km 内，约有 6700km<sup>2</sup> 的地区划分为四个同心圆，包括：城市内环，郊区环带，一条宽约 16km 的绿化带，农村环带。绿带的设置对伦敦城市的发展产生了重大影响，中心城区的扩展受到环城绿地的限制，在绿带以外形成了功能相对独立、完善的卫星城镇。设置环城绿化带成为控制中心城区、发展分散的新城的规划模式。

(2) 嵌合的形态与方式 城市绿地系统与城镇群体在空间上相互穿插，形成以楔形、带形、环形、片状为主要形式的绿地系统。丹麦哥本哈根的指状规划、莫斯科的楔形绿地、按照“有机疏散理论”而定的大赫尔辛基规划方案（1918）都是比较典型的例子。

(3) 核心的形态和方式 城市群体围绕大面积绿心发展，城镇之间以绿色缓冲带相隔。荷兰的兰斯塔德地区是典型的城市群体围绕绿心发展的方式。兰斯塔德地区是包括诸如鹿特丹、阿姆斯特丹、海牙等城市的城市带。兰斯塔德的中心不是密集的城市群，而是由大面积的农业景观构成的“绿心”。大城市的多种职能，不是集中在一个单一的城市中，而是分散在几个相对较小的城市中。兰斯塔德的建成区与“绿心”之间设绿色缓冲地带以保护绿心。

(4) 带形相接的形态和方式 绿地系统在城市轴线的侧面与城市相接，使城市群体保持侧向的开敞，绿地系统能发挥较大的效能并具有良好的可达性。如 1965 年巴黎的城市规划，沿塞纳河两侧建了 8 个新城，在塞纳河两岸形成了两条平行轴线，在两条轴线上形成了一系列短轴。这些短轴为城市用地保留一些空地而设置，为城市居民提供绿地和空气新鲜的休憩场所。以上四种城市绿地系统的形态布局，各有一定的优点和不足，同时，由于不同城市区域的自然、社会、经济、历史发展状况的不同，导致了各个城市的绿地系统各不相同。特纳（Turner, T.）在 1987 年提出了城市绿地空间分布的六种理论模式：纽约单一的中央公园式；伦敦 18 世纪的分散的居住区（广场）绿地式；1976 年大伦敦议会提出的不同规模等级的公园式；建成区典型绿道式，这些绿道既不是交通道路，也不是专为游憩而设的；相互连接的公园体系式；提供城市步行空间的绿地网络式。

## 10.6 城市绿地系统的再开发研究

### 10.6.1 城市绿地系统发展现状

从中国现有的“城市园林绿地系统规划”对公园的分类、定义及其任务可以发现，其着重点在于“公园”概念的本身亦即空间性，偏重物质层面的用地指标、范围等，而忽略了公园发展的自身运行规律和种种外部条件的制约因素，物质空间规划固然是城市园林绿地规划一个重要的层面，而公园在现时中国转型期间将在城市发展变迁中产生怎样的功能置换，却常常被人们忽视的一个极其重要的层面。

中国城市绿地系统发展在空间和功能上，呈现空间和功能两方面的特色。

(1) 空间特色——廊道斑块联结成一体 现有的公园在内部空间和形式上参照西方现代公园模式，但由于国内很多城市都是在沿袭了旧城的空间格局的基础上发展起来的，同时也继承了中国古代基本以线形空间（道路）为主的城市公共空间体系，缺乏西方那样的开放性广场；而建国以后在城市用地规划中，又沿用了西方的单位制：公园作为一种特殊用地，如同其他性质的用地一样，被划出方块孤立存在，有明确的红线范围。这样，无论公园规模和面积如何，实际上对于城市而言，它仍然是封闭孤立的个体，这一点与西方很多现代城市公园是不同的。

(2) 功能特色 具有单一游憩功能的公园已经不能满足人们多样化的需要，也不具备与近年来兴起的主题公园、“生态旅游”以及其他娱乐事业的竞争力，而与此同时，公园独立经营后，取消政府的投资，原有微薄的门票无法维持公园的正常运转，更何况还要养活大批公园管理人员，而提高价格（即“门槛收入”）以后，又超出了一般市民的心理承受能力，影响了游客数量。

因此，一些学者认为应该由开放性城市绿地代替传统封闭的城市公园，据此北大的俞孔坚教授提出“溶解”公园理论，并将公园作为城市体系中一个有机组成部分，对其以及周边地区进行复合开发模式的探索。

现在一些城市，如北京、上海、长沙等地已经开始了“溶解”公园的实践：将公园开辟为免费开放的城市绿地，这样，无论是为市民提供公共活动空间，还是对由单位式封闭空间转向开放的城市空间的城市格局改变，都有着积极的推动作用，能够收到良好的社会效益。但是另一方面，这种开放的运作模式，还存在一些问题：增加城市的负担，对于很多尤其是内地的欠发达城市，政府每年用于城市建设的费用很有限，而每年要投入大量人财物力，来维护管理公园，无疑将加重城市的负担。

### 10.6.2 复合开发模式——可持续发展是原则

复合开发是将传统的城市职能如交通、休息、娱乐、工作等与地区经济发展、人文与环境保护等进行高度交叠，而成为一种复合的开发模式，从而给需要综合解决多种功能的使用者带来方便。复合开发应超出其自身范畴，将其内部功能体系与城市职能体系联结起来，形成多类型、多层面的复合巨型体系。

焦胜等提出城市绿地系统的“复合开发”概念，并探讨了复合开发的目的与意义、开发的可能性以及开发的具体内容，包括以下几点。

(1) 开发模式 政府应该将公园绿地与周边地区作为一个整体来统一开发，即复合开发，主要通过以下两种途径：①批准在规划地内修建大型公建项目，通过这些公建项目的转

让和出租来获得拆迁所需的部分费用；②出让公园周边或者公园内局部土地等办法，支持对公园的规划开发。

(2) 规划 规划要落实“以人为本”的原则，一方面加大公园绿地建设，弥补城市绿地不足，将公园与周边地区也纳入统一的绿化体系中，将城市建筑设计与园林绿化相结合，建立完整的城市生态系统。另一方面，调整绿地结构和布局，如楔形绿地的建设，可以充分发挥绿地的系统效益，形成连续的开放空间，改善城市生态环境。

(3) 开发管理 开发过程就是落实规划的过程，应由政府牵头，成立开发协调机构或综合开发机构，同时要按严格规划办事。政府一定要在规划中制定严格的控制措施，避免“复合”开发过程中某个环节的纰漏，既要防止开发商打着“以人为本”的幌子，实际实施蚕食公园中的绿地与公共空间的行为，也要避免开发商的人造景观与公园景观不相协调，尤其是不能融入人们的生活。具体而言，就是严格控制开发建设和旅游活动的规模，不得超过公园的环境容量，其性质、布局、规模、体量、高度、造型、质感、色调等，必须与周围环境相协调。加强绿化植被，降低建筑密度和容积率，严格控制建筑的体量和高度。

(4) 设计 在空间处理上，首先以提供广大市民服务的开放空间为主，但在局部特别是边缘地区开放线型开放绿化空间，这样不光是单纯的开放，而是总体开放和局部封闭的结合，是空间上的“复合”，加上对传统园林手法的扬弃，使空间更加人性化，发展立体绿化，不光是公园本身绿化，周边的建筑也可设计为台阶式的绿化，这样，整个空间都成为协调一致的绿化体系；在形态处理上，无论建筑、小品、城市家具，都采用与公园统一主题的设计，公园周边地区的环境设计，应以具体的人为尺度，重在塑造城市交往空间，因此建筑风格应是水平向的，重视细部的，并且与该区域文化主题相统一。

## 10.7 城市滨水区绿地系统的研究

### 10.7.1 河流廊道的规划设计

城市河流廊道在控制水流和矿质养分的流动、巩固河岸、净化水质、保持水土、生物多样性的保护等方面起着非常重要的作用。因此，城市河流廊道的设计应以有效完成上述功能为原则，即在实现河流廊道的缓冲带和护岸功能的同时，又能促进森林内部动植物沿河系的迁移。此外，河流廊道的设计还应满足生物多样性保护的要求，这涉及廊道的规模（宽度）和廊道的结构与设计模式等。

#### 10.7.1.1 河流廊道的规模

河流廊道的规模即最小宽度的确定。一般地，确定河流廊道的宽度应考虑河流的大小和宽度、河岸带树木的高度以及河流的流动过程与生境的侧向影响范围等因素。廊道的宽度根据廊道设置的目标而不同。城市河流廊道设置的目标可分为以下几类。

(1) 物种的保护 研究表明，河流廊道的宽度与物种保护密切相关。Rohling 指出廊道的宽度在 46~152m 最为适宜生物多样性的保护。Budd 等人在研究美国的 Bearevans 河时发现 30m 宽的河岸植被对河流生态系统的维持是必需的。Bonnie 认为必须根据河流宽度和被保护的物种来确定廊道的最小宽度。Susan 指出河流廊道宽度至少应大于 150m 才有助于保护森林内部的鸟类物种，如画眉鸟 (veery) 和啄木鸟 (woodpecker)。另外，河中树木的碎屑为鱼类繁殖创造了必需的多样化生境，而多数树木碎屑是来自于河岸边的植被，研究中发现至少 31m 宽的河岸植被才能产生数量足够多的树木碎屑。

(2) 河岸缓冲带功能 河岸缓冲带实际上是河流廊道功能的一部分, Mander 指出: 河岸缓冲带是指直接生长在河岸的林地、灌丛 (5~50m 宽) 或草地 (50~200m 宽)。河流两岸一定宽度的缓冲带, 可以通过过滤、渗透、吸收、滞留、沉积等河岸带机械、化学和生物功能效应使进入地表和地下水的径流污染物毒性减弱及污染程度降低。Peter john 和 Correll 指出 16m 的河岸植被能有效地过滤硝酸盐。Cooper 等人也得出了相似的结论。

河流廊道的缓冲带功能与河流廊道林地的宽度有关, 通常被认为是河岸林地的函数。Mander 考虑缓冲区水文和地貌特征而提出缓冲区宽度模型如下:

$$P = tqfi / (2mkin)$$

式中,  $P$  是河流缓冲带的有效宽度 (m);  $t$  是转换常数 ( $t=0.0069$ );  $q$  是相应时段内的地表径流平均强度;  $f$  是河流和流域边界之间的距离或流域面积与河流段长度比值;  $i$  是廊道缓冲带坡度;  $m$  是流域地表的粗糙度系数 (自然草地为 1.2, 开发强度较大的土地为 1.0);  $k$  是廊道内渗入的水流流速;  $n$  是土壤吸附能力。

由上述模型可得知: 缓冲带的有效宽度与在相应时段内的地表径流强度、流域坡长和坡度成正比, 而与流域地表的粗糙度系数、廊道内渗入的水流流速及廊道内土壤的吸附成反比。

(3) 河岸小气候 研究发现, 河流及其两侧的植被可有效地降低环境温度 5~10℃, 植被完全被破坏的河流, 其月平均温度升高 7~8℃, 在无风的情况下最高时高出 15.6℃, 水温的控制需要 60%~80% 的植被覆盖。Brazier 等提出河岸植被的宽度至少在 11~24.3m 之间。Steinblums 等也提出河岸植被的宽度应为 23~38m。

综合上述研究, 可以看出, 河流廊道植被的宽度在 30m 以上时, 就能有效地提高生境多样性、增加河流中生物食物的供应、保护河岸、控制水土流失、有效地过滤污染物和调节河岸微气候。上述廊道宽度都是在构成廊道的植物群落结构完整、体现当地地带性植被特征的情况下提出的。

#### 10.7.1.2 河流廊道的结构

河流廊道的结构即河流廊道的规划设计方式, 主要指植物群落的配置方式和类型。植物配置应以培育地方性的耐水性植物或水生植物为主, 同时高度重视水滨的归化植被群落 (naturalized plant communities), 它们对河流生态交错带尤其重要。植被的搭配应尽量符合滨水自然植被群落的结构, 避免几何式的造园方式。在污染区域, 针对污染源的类别, 配置相应的抗性强、具有净化功能的植物。另外, 在恢复城市河流廊道生态环境的同时, 要综合考虑休闲游憩功能与环境保护的关系。

### 10.7.2 城市滨水区绿地系统的复合开发

#### 10.7.2.1 复合开发的模式

由于国内很多滨水城市面临着资金短缺的困境, 而资金状况影响着滨水区改造的速度和规模。在城市滨水区的复合开发中, 可以借鉴英国城市开发公司的经验: 以有限的公共资金作为杠杆, 吸引大量私人投资的成功模式; 城市开发公司其实质就是一种复合开发, 它涉及基础设施建设、废弃土地的开发、住宅更新和建设、经济发展、就业岗位的创造等各个方面, 而核心在于经济的更新, 国家必须进行有效的干预, 通过政策倾斜, 如公共资金的支持、优惠的政策等, 支持和帮助城市滨水区开发与旧城更新; 为避免开发商成为最大的受益者, 而作为经济实体的开发公司从土地开发中获得较小收益的情况发生, 应该由城市开发公司负责滨水区一级土地市场的开发, 即便在经济条件限制的情况下, 也应该使它可以有效地

组织各项资源、利用市场,对重点衰退的内城区域进行重点治理。

#### 10.7.2.2 城市滨水区绿地系统的复合开发的主要内容

焦胜等针对城市滨水区的发展及其面临问题,分析国内外关于城市滨水区开发模式。认为国内滨水区应该借鉴西方城市旧城的衰败以及更新的教训与经验,因此必须将滨水区的开发与滨水城市的城市空间结构调整相结合,在此基础上,提出了将滨水城市空间结构调整与城市滨水区开发相结合的复合开发模式,并阐述了复合开发模式的主要内容。它主要包括功能和空间两个方面。

(1) 功能上的复合开发 采用两种不同的开发模式,实现城市滨水区空间多功能的重叠。

① 一种是在确定必须拆建的危房及严重影响交通或城市景观的地段,可借鉴上海旧城改造:由政府成立城市开发公司,收购滨水区土地,将居民迁到郊区非赢利的安居工程。投资于滨水区基础设施、绿化、给排水等,再把其他用途(如将用于建住宅楼、办公楼等)的土地出让给开发商或业主,利用级差地租收回成本。除此以外,也可考虑另外一种模式,即由政府首先直接把地转让给开发商,开发商按规划的土地用途完成基础设施建设后,或自营开发或将地块转给业主,由业主完成一切过程。具体操作方面,可选择进行局部试点。这两种模式都要防止那种所谓“高投入、高风险、高消费”的开发模式,提倡小规模有机更新。

② 至于具有历史、人文或商业价值的地段,要避免采用把原来居民全部迁到城郊,而将基地全部推倒重建的办法,其开发模式必须以保护与改造为主,这里的保护一方面要保护与改善滨江公园、城市绿地等生态环境,另一方面是对滨江地区人文景观与传统商业街特色的保护,具体措施是城市内部空间小规模改造与调整,特别是利用原来还具有生命力的传统商业街与滨江城市绿地相结合,并小规模置换开发那些危房和街区为城市绿地、广场,改善居住条件,并就地安置居民等措施,为城市提供休憩、购物、观赏、娱乐、文化、生活等功能。

(2) 空间上的复合开发 要充分利用空间的重叠功能,一方面是水平向的重叠——由原来的开发一层转变为开发整个街区,打破原来“单位大院”式的封闭空间格局,营造面向江面的开放空间;另一方面是垂直方向上的重叠,由原来仅仅对底层空间的利用发展成为利用空中走廊,充分开发地下空间、建设立体绿化等举措;交通的立体化,旧城区由于用地紧张,地面交通由于种种原因不可能解决所有问题,因此必须借助城市公共交通空间的立体化组织:统一规划地面人行步道(商业街)和楼层步道、过街天桥、地下步道(地下商业街)、城市广场(包括下沉广场或屋顶广场)及该地区公建内部空间,使之相互通达,构成一体化的连续系列,从而形成以人行行道为主干的城市滨水区城市公共空间体系。

## 参考文献

- 1 杨士弘等. 城市生态环境学. 北京: 科学出版社, 2000. 155~182
- 2 马锦义. 论城市绿地系统的组成与分类. 中国园林, 2002, (1): 23~26
- 3 李锋, 王如松. 城市绿地系统的生态服务功能评价、规划与预测研究——以扬州市为例. 生态学报, 2003, 23 (1): 1929~1936
- 4 周福君, 乔颖, 乔晶. 从生态学角度谈城市绿地系统的规划. 国土与自然资源研究, 2001, (2): 58~59

- 5 曹勇宏. 城市绿地系统建设的生态对策——以长春市为例. 城市环境与城市生态, 2001, (14) 5: 9~11
- 6 翟辉. “斑块·边界·基质·廊道”与城市的断想. 建筑, 2001, 19 (3): 19~20
- 7 韩荡. 城市景观生态分类——以深圳市为例. 城市环境与城市生态, 2003, 16 (2): 50~52
- 8 王仰麟. 景观生态分类的理论与方法. 应用生态学报, 1996, 7 (增刊): 121~126
- 9 肖笃宁, 钟林生. 景观分类与评价的生态原则. 应用生态学报, 1998, 9 (2): 217~231
- 10 张庆费. 城市绿地系统生物多样性保护的策略探讨. 城市环境与城市生态, 1999, 3 (12): 36~38
- 11 杨小波, 吴庆书等. 城市生态学. 北京: 科学出版社, 2002. 190~197
- 12 易琦, 赵筱青, 陈玉姝. 生态城市建设中的绿地系统问题研究——以昆明市为例. 经济地理, 2001, 21 (3): 310~314
- 13 李晓文, 胡远满, 肖笃宁. 景观生态学与生物多样性保护. 生态学报, 1999, 19 (1): 399~407
- 14 焦胜, 曾光明, 何理等. 城市滨水区复合开发模式研究. 经济地理, 2003, 23 (3): 397~400
- 15 焦胜. 城市滨水区的复兴——以长沙沿江风光带为例. 南方建筑, 2000, (4): 71~74
- 16 李德华. 城市规划原理. 第3版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2003. 252~264
- 17 高芸. 现代西方城市规划理论的发展历程. 新建筑, 2000, (4): 65~67
- 18 俞孔坚, 李迪华, 潮洛蒙. 城市生态基础设施建设的十大景观战略. 规划师, 2001, 17 (6): 9~17
- 19 尚宗波, 高琼. 流域生态学——生态学研究的一个新领域. 生态学报, 2001, 21 (3): 468~472
- 20 刘永, 郭怀成. 城市湖泊生态恢复与景观设计. 城市环境与城市生态, 2003, 16 (6): 51~53
- 21 Miyawaki A. Restoration of urban green environments based on the theories of vegetation ecology. *Ecological Engineering*, 1998, (11): 157~165
- 22 Miyawaki A. Creative ecology: restoration of native forests by native trees. *Plant Biotechnology*, 1999, 16 (1): 15~25
- 23 达良俊, 杨永川, 陈鸣. 生态型绿化法在上海“近自然”群落建设中的应用. *中国园林*, 2004, (3): 38~40
- 24 Manfred Kühn. Greenbelt and Green Heart: separating and integrating landscapes in European city regions. *Landscape and Urban Planning*, 2003, (64): 19~27
- 25 Budd W W, Cohen P L, Saunders P R, et al. Stream corridor management in the Pacific Northwest: determination of stream~corridor widths. *Environment, Management*, 1987, 11 (5): 587~597
- 26 Bonnie R, Richard L Knight. Influences of corridor continuity and width on survival and movement of deermice *Peromyscus maniculatus*. *Biological Conservation*, 1995, (77): 269~274
- 27 Susan S, Jeffrey W Hughes. Assessment of minimum stream corridor width for biological conservation: species richness and distribution along mid-order streams in Vermont, USA. *Biological Conservation*, 1995, (71): 352~332
- 28 Peterjohn W T, Correll D L. Nutrient dynamics in an agricultural Watershed: Observations of the role of a riparian forest. *Ecology*, 1984, 65 (5): 1466~1475
- 29 Cooper J R, Gilliam J W, Jacobs T C. Riparian areas as a control of non-point pollutants. In: Correll D L. *Watershed Research Perspectives*. Washington DC: Smithsonian Institution Press, 1986, 166~192
- 30 Mander U, Kuusemets V, Krista L, et al. Efficiency and dimensioning of riparian buffer zones in agricultural catchments. *Ecological Engineering*, 1997, (8): 299~324
- 31 Steinblums, I J, H A Froehlich, J K Lyons. Designing stable buffer strips for stream protection. *Journal of Forestry*, 1984, 82 (1): 49~52

## 思考题

1. 简述城市绿地生态规划的基本原则。
2. 简述城市绿色廊道的规划设计主要包括哪些内容。

城市生态系统是一个规模庞大、结构复杂、变量众多的开放大系统。鉴于其复杂性，近年来，一些国内外学者已开始利用复杂性理论（自组织理论、混沌理论等）及有关的不确定性理论，来研究我国的城市生态规划问题，并发展相关的生态规划理论与方法。

### 11.1 城市生态规划的工作程序和主要内容

#### 11.1.1 城市生态规划的工作程序

一种研究城市生态规划复杂性的方法是传统的城市规划内容的深化与方法上的改进，其步骤包括一般的规划程序，同时又加入了一些新方法、新技术。第 4 章谈到，由于城市生态系统是一个复杂的巨系统，根据复杂性理论，在对其进行规划之前，必须先将其简化，简化有两种方法，而在规划中必须将这两种方法有机结合。因此必须制定规划编制的工作程序与技术路线。美国华盛顿大学 Steiner 曾提出资源管理生态规划的程序包括 7 个步骤，即：确定规划目标→资源数据清单和分析→区域适宜度分析→方案选择→规划方案实施→规划执行→方案评价。而随着理论与实践的发展，城市生态规划程序也在不断地改进。由于不同的规划目标，导致城市生态规划编制的内容也各有侧重，一般而言，城市生态规划工作程序有 3 种不同的模式。

(1) 以专家为主的工作程序 刘贵利以系统分析的观点，应用计量地理学的方法，构筑了城市生态规划的技术路线，如图 11.1 所示。

(2) 偏重“规划”的工作程序 吴人坚等从对区域或城市复合生

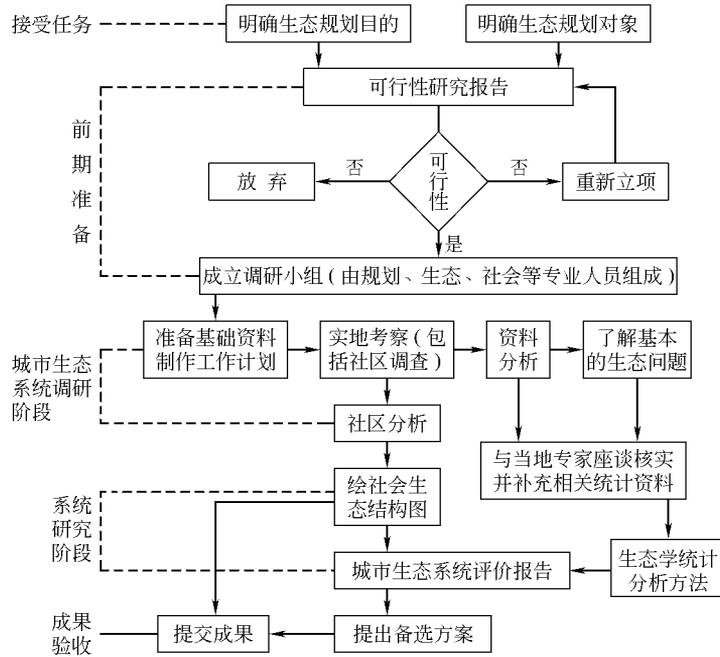


图 11.1 城市生态规划工作程序 (刘贵利, 2002)

态系统中社会、经济、自然的调查基础上，结合专家咨询意见，应用城市生态学、系统分析和城市规划原理相结合的方法，编制了生态城市规划的工作程序，如图 11.2 所示。

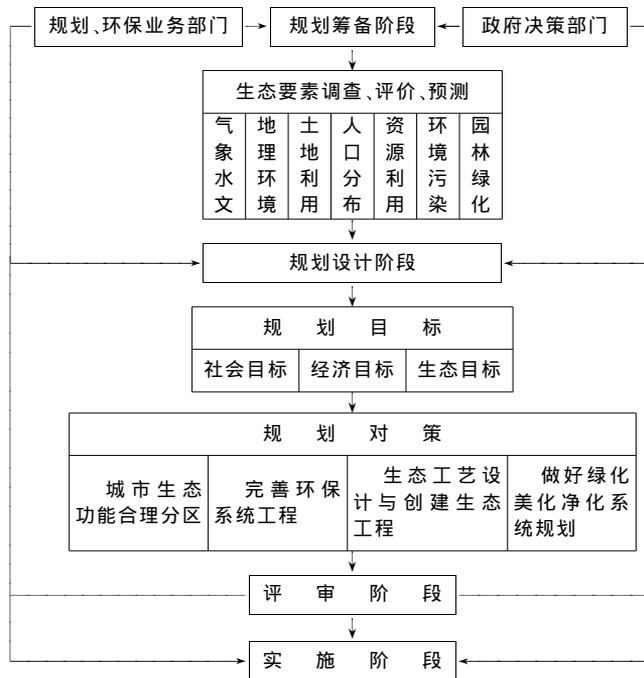


图 11.2 偏重“规划”的生态城市规划工作程序 (吴人坚, 2000)

(3) 综合的工作程序 在长沙生态市建设规划中，结合长沙市生态环境、社会、经济等

方面的实际情况,应用 3S (GIS、RS、GPS) 技术等高新技术,辨识长沙市的重点资源,系统诊断长沙市生态-社会-经济复合系统,分析、模拟、预测长沙市生态-社会-经济复合系统,综合应用时间序列分析、空间分析、环境经济价值评估、层次分析法及生态经济学、城市灾害学、城市规划学等多种理论、模型与方法对长沙生态市建设进行规划,并采用虚拟现实 (VR) 技术体现部分生态分区和重大生态工程项目建设效果。并在此原理上编制了长沙生态市建设规划的技术路线,如图 11.3 所示。

将图 11.1、图 11.2、图 11.3 的工作程序进行比较,可知它们属于 3 种比较典型的类型,比较这几种不同类型的工作程序的异同,可以对这一概念有更加清晰的了解。

分析图 11.1、图 11.2、图 11.3,虽然内容各不相同,但基本都包含了以下程序:①接受城市规划任务;②前期准备;③城市生态规划的调研阶段;④系统研究阶段;⑤提交成果及成果检验阶段;⑥基本图件成果内容。但对于图 11.2、图 11.3 而言,还包含有政府管理部门的工作在内。

刘贵利的工作程序从工程技术人员的角度与职权范围出发,因此从专业的角度“编制”城市生态规划,但其成果是“城市系统评估报告”,图 11.1 中缺“规划文本”、“规划报告和图集”等内容;而吴人坚等针对的是“生态城市”的规划,更强调从规划的筹备、调研、规划设计、规划执行、评审,一直到规划实施的全过程。这其中涉及的重点不是广义的规划(从政府管理部门的角度出发,对城市生态规划全方位、全过程地统筹安排、实施)。

在实际操作过程中,一般有两种模式。

①一种是编制两个以上的工作程序,一个如图 11.1 所示,提供给工程技术人员,一个如图 11.2 所示,提供给政府管理部门,这种模式比较适合中小城市。因为本身人、财、物方面的局限性,对于中小型城市而言,需要规划人员制定一个比较全面系统的规划,另外由于城市规模较小,各部门、各行业之间相对于大城市比较容易协调,因此比较适合制定两个独立的工作程序。

②另一种是将二者综合,如图 11.3 所示,这种模式适合于大城市的生态规划编制。由于大城市各部门、行业众多,情况很复杂,对于城市生态规划而言,更重要的是如何协调平衡各阶层利益,以保障规划的贯彻实施,这需要城市管理部门强有力的合作与执行。因此独立的工作程序不利于城市管理部门的协调与管理。但这种模式主要强调规划的过程,而缺少发展规划的环境、社会、经济影响分析或预测方面的内容。例如长沙生态市建设规划的工作程序中,即将管理、规划、调研、基础研究与实际操作等不同层面、不同阶段的规划内容统筹安排在一个框架下,但这需要管理部门有较高的素质,能够将工程技术与管理决策联系为一个整体,并将统一的思想贯穿整个过程。不同的城市生态规划可以根据自身特色选择合适的模式。

### 11.1.2 城市生态规划的主要内容

城市生态规划的规划对象为整个城市生态系统,规划范围为以城市生态系统为重心、并涵盖对城市生态发展有密切关联和重要影响的广域范围的区域整体。

具体表现为:生产与生活功能和城市环境之间的关系,落实于物质实体上,则是城市人类与城市环境的关系。

城市间、城市与区域、城市内人类的各项功能都与其他不同区位、等级、规模的城市以及包括农村在内的区域空间发生着千丝万缕的联系,落实于物质实体上,则是城市间环境的相互影响关系、城市与区域环境的相互影响关系。

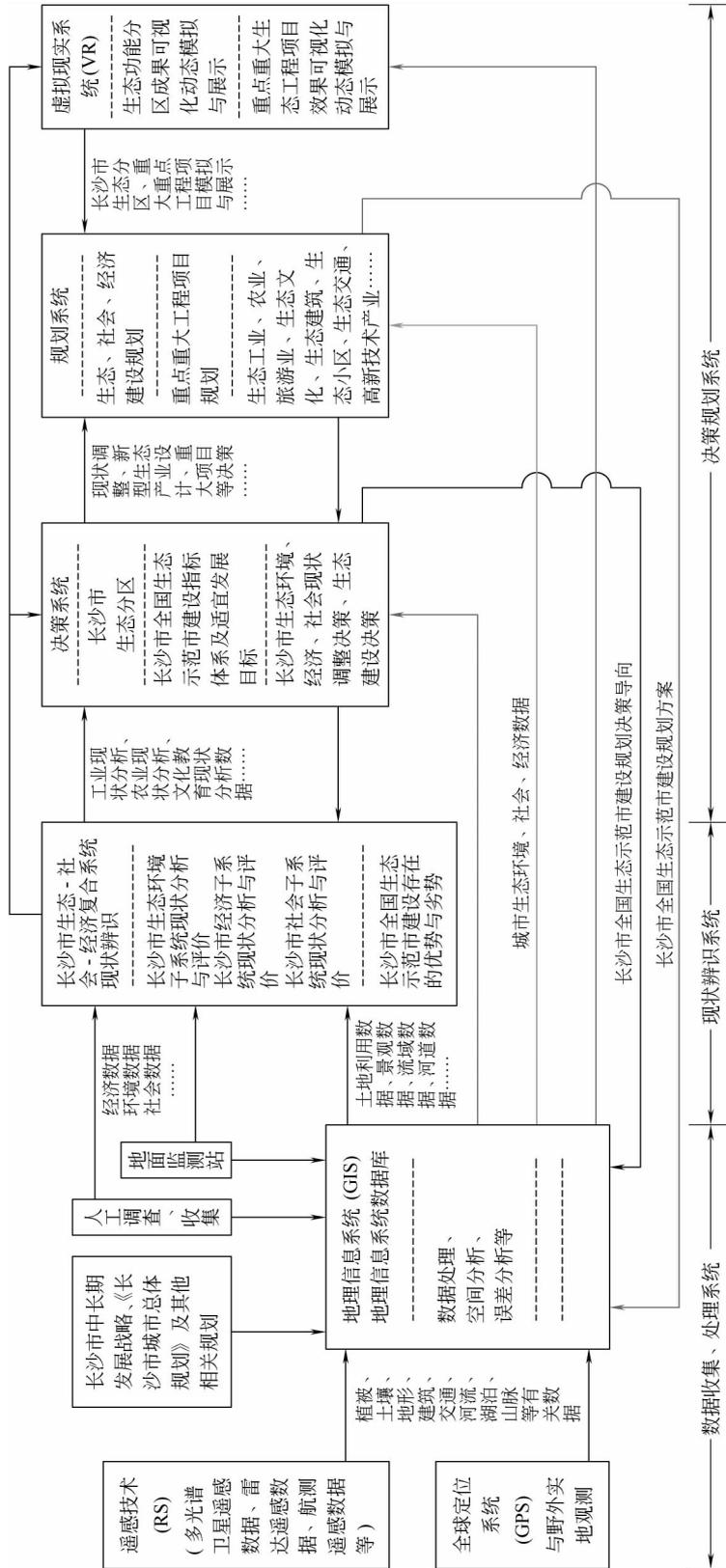


图 11.3 长沙市生态建设规划技术路线

生态规划有广义、狭义之分。于志熙认为，广义的生态规划与区域规划、城市规划在内容、方法上应是重合的，在考虑问题的角度上，着重贯彻生态学的科学原理，强调生态要素的综合平衡。狭义的生态规划又称环境规划，是区域规划、城市规划的一部分。

广义来说，生态学是研究生物与周围环境之间相互关系的学说。作为城市生态规划研究对象的城市生态系统，由于其复杂多变、相互影响、相互渗透的生态关联性，区域规划和城市规划的各项研究对象和内容都包含其中。因此，从广义来讲，城市生态规划与区域规划、城市规划具有内容的一致性。从这种观点出发，城市生态规划可以作为城市发展与建设的一项专项规划。规划过程中，运用生态学原理，综合考虑并合理规划城市生态系统的各项组成要素，包括自然与生态的关系、社会与生态的关系、经济与生态的关系、环境与生态的关系、区域与生态的关系、生物与生态的关系等，构建出和谐、高效的城市生态关系，使人与自然在城市范畴得到融合共生。本文所研究的城市生态规划即属于广义范畴。

城市生态规划的主要内容与方法，国内外相关研究中，并没有统一的认识。总结目前国内城市生态规划一般采用的规划内容与方法，城市生态规划有几种划分方法。

根据研究方法的不同，可以分为两种。

① 以监测与评估为主：监测与评估是可持续发展目标实施的基本原则，对城市生态系统的监测与评估也是城市生态规划的主要内容之一，例如对城市生态系统的辨识、评价，制定城市生态指标体系等。

② 以预测与规划为主：作为城市规划的基本任务之一——对城市未来土地使用以及空间扩展的预测与规划，是城市生态规划的另一主要内容，例如生态功能分区、城市土地利用适宜性分区等内容。一般城市生态规划中都包含这两部分内容。

根据研究目的的不同，城市生态规划也可分成两种。

① 利用生态规划的方法去指导其他一些具有很强操作性的规划（景观建筑规划、园林规划或土地利用规划等），使其成为贯穿生态学原理的规划。一般为景观设计师、城市规划师所掌握，使其在城市开发区、风景区、城市公园、乡镇建设和自然保护区的开发建设中发挥作用，例如姜文超等从水资源承载力量化指标体系与水资源的多（单）目标模型优化两个方面探讨了水资源承载力在城市规划中应用的必要性以及对城市规划的影响；廖志强等从景观格局分析以及生态敏感性分析两个角度探讨生态规划方法在庐山牯岭西谷控制性详细规划中的应用。

② 在生态系统水平上对城市生态系统所做的规划。彭晓春等认为“目前进行的大多数生态规划，大多还停留在现状描述并运用统计分析及聚类分析等统计学方法进行的定性分析上，定量分析方法和技术还非常薄弱，这也是生态规划的操作性与指导性不强的原因”。因此应从定性描述和分析走向定量和模拟，使其成为可实施的对策规划，并真正成为促使城市可持续发展的有力工具和可行途径。

针对城市生态系统的研究，吴人坚等认为应该从城市复合生态系统以及生态支持系统两个层面入手，确定各自的研究重心和规划对策要点。

对建成区复合生态系统的规划，主要内容包括以下几点。

① 辨识和评价这一复合生态系统的现状、结构和功能状况，各种生态关系和生态过程分析。

② 诊断存在问题，明确阻碍城市发展的瓶颈，进而调节其内在的生态关系，保证城市生态系统健康发展。

生态支持系统是支撑建成区复合生态系统生存和发展的基础，城市生态规划主要是研究其生态支持能力，主要包括以下几点。

① 生态服务功能和各资源环境要素（包括水资源与水环境、气候与大气环境、土壤资源、动植物资源等）的承载力，满足一定生活水准的城市人口所需的生态足迹。

② 确定资源、环境的质和量、时间和空间的分异状况，并对规划区的生态敏感性进行分析，进行敏感性排序与分区，进而提出保护对策。

③ 基于对建成区复合生态系统和城市生态支持系统特征及诸要素的清晰认识，遵循费用-效益优化原则，制定建成区扩展方向与空间布局、景观空间布局，城市适度人口规划，最后提出城市可持续发展的调控对策。

④ 根据城市生态系统的特征，找出现有城市系统的利导因子和限制因子，确定城市复合生态系统的指标体系。

更多的研究者强调城市生态规划在以上两个层面上的综合。如刘贵利认为城市生态规划编制的主要内容包括：城市生态环境分区规划、城市扩展用地适用性规划、城市脆弱生态系统保护规划和城市社会区分析等。

彭晓春等认为城市生态规划应该突出几点：城市生态评价；生态功能分区；通过城市生长机制分析，在城市生态规划中应注意城市总体发展的战略和目标研究、资源时空分布研究、资源承载力和环境容量研究、生态系统敏感性分析和生态系统服务功能价值评估研究，并在此基础上进行市域生态分区和具有可操作性的生态调控单元划分。做好人口控制、城市开发强度控制、污染总量控制、环境功能区调查、生态补偿策略和生态重构等工作，转变城市管理模式，促进城市可持续发展。

在长沙生态市建设规划所编制的技术路线中（如图 11.3 所示），将城市生态规划划分为收集处理系统、现状辨识系统、决策规划系统 3 部分内容。综合以上理论，本文研究的城市生态规划主要包含以下几方面内容。

(1) 收集、处理系统→编制城市生态系统信息数据库。

(2) 现状辨识系统→对城市复合生态系统的辨识。

(3) 决策规划系统的规划内容主要包括以下内容。

① 土地→城市生态功能分区规划；

② 系统→城市生态系统模拟规划；

③ 社会→城市人口适宜容量规划。

## 11.2 复杂性概述

古代的科学方法论本质上是整体论，强调整体把握对象。近 400 年来科学遵循的则是还原论。主张把整体分解成部分研究，即首先把研究对象从环境中分离出来，然后将其分解成部分，把高层的还原到低层，用部分说明整体，用低层说明高层。在还原论的指导下，400 年来科学创造了一整套可操作方法，取得巨大成功。但是现代科学研究表明，许多宇宙奥秘来源于整体的涌现性。涌现性指只有整体才能表现出来的特征。例如单个分子没有温度、压强，但大量分子聚集起来就有了温度和压强，就属于整体才具备的性质。但应用还原论无法揭示这些现象，因为涌现性在整体被分解后就不复存在了。所以人们开始更关注事物的整体，特别是整体的演化以及因此表现出来的复杂局面。从 20 世纪中期开始，科学界以系统

论、混沌理论、非线性动力学、统计学、神经网络方法等研究为基础，开展了对复杂现象的研究。其目的是力图建立认识复杂系统的生成、运行、变化过程的理论体系。经过 20 多年的努力，研究工作已取得重要进展。

梁勤欧认为“从目前的研究成果来看，任何事物或现象的复杂性，可以从系统论的观点出发归纳出两种意义的复杂性，即存在意义上的复杂性和演化意义上的复杂性。所谓事物或现象存在意义上的复杂性，是指其组成系统具有多层次结构、多重时间标度、多样作用过程；而演化意义上的复杂性是指当一个开发系统远离平衡状态时，不可逆过程的非线性动力学机制所演化出的多样化的‘自组织’现象”。

复杂性科学是系统科学和非线性科学的进一步发展、充实和深化，是系统科学研究的最新前沿领域。如果说，系统科学是建立在系统的整体性、组织性、目的性研究的基础上的，非线性科学是建立在对系统非线性、不确定性、随机性基础上的，那么，复杂性科学则是建立在系统复杂性、智能性和适应性研究基础上的。系统科学、非线性科学与复杂性科学在研究对象上基本一致，就是相对于牛顿确定性简单系统而言的复杂系统。

长期以来，自然科学一直围绕着可逆性与不可逆性、决定性与随机性、无序与有序等基本问题进行着艰苦的探索，人们对自然的认识也随之经历着一个由简单性向复杂性的根本转变。随着人们对社会系统、经济系统、生物系统、地球科学、物理系统、化学系统、环境系统等复杂性的研究，导致了以混沌理论、分形理论、不确定性理论等非线性理论为首的复杂性科学理论的诞生，这些理论的诞生逐渐加深了人们对各个领域的复杂性认识。

### 11.2.1 复杂系统的特征

复杂系统是由大量相互作用或相互分离的子系统结合在一起，不同优先级的各种可变化的子任务要同时满足或依次满足性能指标的系统，所有表示系统环境的外部作用对系统的影响是本质的，这种系统具有非线性的、混沌或事先不确定的动态行为。复杂系统的本质特征在于它的复杂性：从定量上讲数学模型是高维的，具有多输入多输出，从定性上讲系统具有非线性、外部扰动、结构与参数的不确定性，有复杂和多重的控制目标和性能数据。

### 11.2.2 复杂系统的研究对象

以复杂性理论方法来研究的对象，包括社会、经济、地理、生物等系统，在研究过程中它们作为一种复杂的研究对象，具有以下特征。

- ① 不关心系统要素由哪些物质构成，而只关心要素的功能、行为及要素间的相互关系。
- ② 尽管要素间发生相互关系的规则比较简单，但通过规则的回归性的重复，使系统整体产生复杂的行为。其中虽然不存在规定整体行为的规则，但会产生整体的行为，并维持整体的功能。
- ③ 要素与要素之间非线性、不确定、实时、互动地相互影响着，因此作为整体会产生特殊的行为及现象，然后整体的行为再反馈给各个要素。
- ④ 系统的行为受每个要素及其相互作用的影响，不能独立地描述整体系统，而且系统的行为也是不可预测的。

### 11.2.3 复杂性研究的主要理论与方法

自从 20 世纪 70 年代以来，以混沌理论、分形理论、耗散结构理论以及不确定性理论为代表的新系统科学理论展现出前所未有的发展势头，在复杂性、复杂系统的研究中逐步体现出自身的优势。尤其是混沌理论、分形理论和不确定性理论已经成为复杂性研究的重要工具。

### 11.2.3.1 混沌理论

美国数学家 J. H. Poincar 在《科学与方法》一书中提出了 Poincar 猜想,他把动力学系统和拓扑学两大领域结合起来,指出了混沌存在的可能性。1954 年,前苏联 Kolmogorov 注意到了 Hamilton 函数中微小变化时保持周期的运动,不仅耗散系统有混沌,而且保守系统也有混沌。1963 年,美国气象学家 Lorenz 发表了关于液体热对流的一个简化模型的数值观察。他认为一串事件可能有一个临界点,在这一点上,小的变化可以放大为大的变化,而混沌的意思就是这些点无处不在。这些研究描述了“对初始条件的敏感性”这一混沌的基本性态,这就是著名的蝴蝶效应。1971 年, Ruelle 和 Takens 对于耗散动力学系统引进了奇怪的吸引子概念。1975 年,中国学者李天岩和美国 J. Yorke 在《America Mathematics》杂志上首次使用“混沌”(chaos)一词,深刻揭示了从有序到混沌的演变过程。

1977 年,第一次国际混沌会议在意大利召开。在 20 世纪 80 年代,混沌科学得到了进一步发展。特别是在美国召开过多次混沌会议并出版多种混沌杂志。1980 年,美国数学家 B. Mandelbort 用计算机绘出了第一张 Mandelbort 集的图像,这是一张混沌图像。1988 年,郝柏林、郑伟谋开始了将符号动力学从一维系统推广到二维系统的研究。到了 20 世纪 90 年代,混沌科学与其他科学相互渗透。

所谓混沌,就是指在确定性系统中出现的一种貌似无规则的、类似随机的现象。从数学上讲,对于确定的初始值,由动力系统就可以推知该系统的长期行为甚至追溯其过去性态。但是大量的实例表明,有很多系统,当初值产生极其微小的变化时,其系统的长期性态有很大变化,即系统对初值的依赖非常敏感,产生所谓的“蝴蝶效应”现象。由于实际中的误差是不可避免的,因而,从物理上讲,对这种系统的长期行为进行预测完全是随机的。但这是一种“假”随机现象,它与系统本身具有随机项或随机系数而产生的随机现象完全不同。对于一个真正的随机系统,从某一特定时刻的量无法知道以后任何时刻量的确定值,即系统在短期内也是不可预测的。而对于确定性系统,它的短期行为是完全确定的,只是由于对初值依赖的敏感,使得确切运动在长期内不可预测。这正是它内在的固有的随机性引起的。这种现象只发生在非线性的复杂系统中。

### 11.2.3.2 分形理论

与混沌学紧密联系的另一门学科是分形理论。分形与混沌的起源不同,发展过程也不相同。但它们的研究内容从本质上讲存在着极大的相似性,混沌主要在于研究过程的行为特征,分形更侧重于吸引子本身结构的研究。混沌吸引子就是分形集,分形集就是动力学系统中那些不稳定轨迹的初始点的集合。

分形理论的发展大致可分为三个阶段。第一阶段为 1875~1925 年,人们已认识到几类典型的分形集,把处处不可微的连续曲线称为自相似结构。第二阶段大致为 1926~1975 年。在这一阶段,对分形集的性质作了深入的研究,特别获得了研究维数理论的丰富成果。尽管如此,此阶段研究均属纯数学理论,而工程学科中产生了大量与分形有关的问题,迫切需要新的工具来处理。第三阶段为 1976 年至今,这是分形理论应用于各个领域,形成独立学科的阶段。物理的相变理论、材料的结构与控制、力学中的断裂与破坏、模糊识别、自然模拟用分形分析都取得了长足的进步。

然而,到目前为止,对分形还没有严格的数学定义。粗略地说,所谓分形,其原意为破碎和不规则的,用于指代那些部分与整体以某种方式相似的图形。分形的这一定义突出了相似性的概念,反映了自然界中许多复杂系统局部与局部、局部与整体在形态、功能、性质等

方面相似的基本属性。这类相似性称为自相似性。自然界大多数分形结构的自相似性并不存在于无穷层次，而是在一定标度范围内其局部结构与整体结构存在统计意义上的相似或相同，即具有统计自相似性。

总的来说，分形理论是从整体论角度定量描述具有无规结构的复杂系统形态的一门新兴边缘科学。从自然界中分形形成的动力学机制来看，它既不是单一规律性作用的产物，也不是单一随机性作用的产物，而是规律性和随机性共同作用的结果，即随机性和规律性的统一。这类非规则现象是经典几何学难以分析的，不仅在自然界中普遍存在，而且在社会科学领域中也十分常见。近年来分形理论在物理学、化学、生物科学、地理学甚至社会科学的许多研究领域得到了广泛的应用。从分形学角度看，许多貌似复杂、不规则的现象，往往以某种方式表现出实质的完整性。因此，在环境科学领域引入分形学这一新的量化方法并加以应用扩展具有重要的实践意义。

#### 11.2.3.3 耗散结构理论

耗散结构理论是比利时物理学家 I. Prigogine（普利高津）于 1969 年首先提出的，主要研究远离平衡的开放系统，并提出了系统形成耗散结构的五个基本条件：开放、远离平衡、非线性作用、正反馈和存在涨落。耗散结构理论进一步发展了热力学第二定律，指出对于一个远离平衡态的开放系统来说，由于它不断与外界交换物质和能量，因此它的熵的变化分为两个部分： $dS(\text{总熵})=diS(\text{熵产生})+deS(\text{熵流})$ 。由于熵流的存在，使系统的变化丰富多彩。这一理论成功地解释了生命系统与非生命系统截然不同的发展规律。

一般来说，耗散系统（相对于守恒的系统）是一个随着时间的流逝，因摩擦而释放出熵来的系统。在自然界中，耗散系统是一种普遍现象，大多数物理系统是耗散性的，即系统中包含摩擦力。这意味着它们的量是不断缩减的。缩减率一般在某一个方向上是最低的，在长期内只有这个方向上的效应才会变得重要，故耗散结构系统本质上是一维的。

耗散结构的一个鲜明特点是与外界环境不断进行着高速的物质、能量与信息交流，需不断对其做功，即引入负熵流，抵制正熵流，才能维持系统的稳定。而在一定条件下，它通过内部非线性的良性作用，通过涨落在临界点发生突变（失稳）和分叉，可以达到有序，并从低级有序进化到高级有序。

总的来说，耗散结构理论是普利高津等人在长期研究复杂系统演化的过程中提出的一种自组织理论。普利高津指出：远离平衡态的开放系统，在一定的控制条件下，由于系统内部非线性的相互作用，通过涨落可以形成稳定的有序结构。运用这种理论可以讨论力学、物理学、化学和生物学等各类自然系统中的很多现象。

#### 11.2.3.4 不确定性理论

环境系统中的不确定性研究始于 20 世纪 60 年代，开始仅限于建立随机水质模型，随后不确定性研究迅速展开。环境系统中的不确定性主要包括随机性、模糊性和灰色性，近年来，我国对环境领域中不确定性的研究主要围绕随机理论、模糊理论和灰色系统理论展开的。

(1) 随机数学方法 随机数学方法是处理不确定性问题较普遍的方法之一。随机现象在现实生活中是广泛存在的，而随机方法主要是考虑客观事物的随机性。它以概率论为理论基础，包括很多分支。

① 传递函数方法：即根据误差传递理论，由各初始变量的不确定性大小渐次分析计算结果的不确定性。其主要的理论根据是关于随机变量函数的方差计算理论。Jianhua Lei 等

在分析城市暴雨径流模型中参数的不确定性时曾经使用了这种方法。

② 数值模拟方法：对于某些复杂的模型，分析其不确定性的来源是极其困难的，而借助 Monte-Carlo 方法则比较方便地处理复杂模型中的不确定性问题。比如，Masliev 等在研究河流水质模型的参数估计和不确定性分析时，用 Hornberger-Spear-Young 方法（基于 Monte-Carlo 模拟）较好地解决了可利用的河水水质数据较少以及对河水水质过程的影响难以解释等不确定性问题。

③ 置信限区间法：从置信限与容许限的角度，借助统计分布理论，研究参数值的不确定性。

④ 回归分析方法：数理统计中研究两个或多个随机变量间相依关系的数学模型及其性质的一个分支：随机变量间的相依关系是一个非确定性关系，它不同于普通的函数关系。“回归”是用条件期望表达随机变量间相依关系的一种形式，以两个随机变量  $\xi$  和  $\eta$  为例，条件期望  $E(\eta/\xi = x)$  表示在  $\xi$  的观测值为  $x$  的条件下  $\eta$  取值的平均，它将随  $x$  的变化而变化， $g(x) = E(\eta/\xi = x)$  作为  $x$  的函数所表示的曲线称为回归曲线。应用回归分析方法的目的在于有效地利用现有的资料，减少由于资料不足所造成的不确定性。目前所用的方法主要是参数回归分析。

⑤ 非参数回归方法：回归分析中，当  $(x, y)$  的分布未知时，估计  $E(y/\xi = x)$  的一种方法，此时对  $E(y/\xi = x)$  只作一般性的要求，而不假定其有任何特殊的数学形式，这样就可以直接从样本的实际统计特征中去研究问题，可以避免由于模型假设与实际情况的重大差距或在选择模型的过程中所造成的不确定性，从而使其适用面更广。

(2) 模糊数学方法 一般来讲，随机方法是用来研究客观世界中的一些随机现象，也就是所谓非确定性事件的。事实上，随机性造成的不确定性是由于对因果规律的掌握不够所造成的，也就是说由于对事件发生的条件无法严格控制，以致一些偶然因素使试验结果产生了不确定性，但事件本身却是具有明确的定义。随机事件的特点是试验结果的不可预知性。而模糊性则不同，它是由于评定事物的标准或事物本身的定义没有明确的“边界”，从而构成不确定性。1965年，美国控制论专家 Zadeh 第一次提出了模糊集合的概念，从而开创了一门新的数学分支——模糊数学。它用隶属函数作桥梁将不确定性在形式上转化为确定性，即将模糊性加以数量化，从而可利用传统的数学方法进行分析处理。模糊数学近年来发展很快，在许多领域都有应用。例如，在水质综合评价中，运用模糊模式识别理论、模糊聚类法、模糊贴近度方法、模糊相似选择法等，都取得了很好的效果。

(3) 灰色系统方法 灰色系统是指部分信息明确、部分不明确的系统。它是由我国学者邓聚龙教授于 1982 年首先提出的。灰色系统是一个内涵和外延非常广泛的概念。因为，严格说来，信息完全明确的系统是不存在的，所谓的信息完全明确是有条件的，从这个意义上讲，任何一个系统都可以看作是一个灰色系统。灰色系统理论主张从内部研究问题，提倡在定量分析与定性分析相结合的基础上得出适于控制的“满意解”，其数学基础是灰集合，它包含了模糊系统理论的数学基础——模糊集合；而模糊集合又包含了经典系统理论的数学基础——经典集合。灰色系统理论作为研究不确定性问题的一种新兴理论，自诞生之日起，由于其在概念上有所创新，且具有处理复杂信息系统的优点，很快就得到了众多学者的认可。目前，灰色系统理论已广泛应用于农业、经济、医疗、生态、水利、气象、地质、军事、文化、教育、历史、交通、运输、管理、工业控制等几十个领域，并都取得了较好的经济效益。

### 11.3 城市生态规划的复杂性研究

按照钱学森的学科体系结构观点，每一门类的科学都具有“三个层次一座桥梁”的结构。至今，复杂性研究已不只是某个学科层次的现象，而是从工程技术到技术科学，到基础科学，再到科学通向哲学的桥梁，代表现代科学一种全局性的新动向。对应于城市生态规划研究领域，作为城市生态工程建设的工程技术，作为应用学科的城市生态规划，作为基础学科的城市生态学等学科以及指导城市生态规划的可持续发展思想等，无不运用复杂性理论进行研究。

研究复杂性，有两种原则上不同的简化方法。一种是把复杂性约化为简单性来处理（在下文中简称为简单性简化方法），例如，把模糊性约化为清晰性，把非线性关系约化为线性关系，把混沌运动约化为周期运动，把分形对象约化为整形对象。这是传统科学处理复杂性的原则。另一种是把复杂性当作复杂性来处理，即在保留复杂性的本质特征下加以简化（在下文中简称为复杂性简化方法）。例如，把模糊性当作模糊性来处理，把非线性当作非线性来处理，把混沌当作混沌来处理，把分形当作分形来处理。这是复杂性研究的方法论原则。由于复杂性（客观复杂性）是客观事物某种运动或性态跨越层次后整合的不可还原的新性态和相互关系，复杂性科学（认识复杂性）是对客观复杂性的有效理解及其表达。这表明复杂性科学力图在研究那些不可还原的整合性的东西。因此复杂性科学是属于后者，即采用复杂性简化方法的科学。

对于城市生态规划而言，首先必须研究城市生态系统，后者是一个由社会、经济、环境等要素之间通过相互作用、相互依赖、相互制约而构成的紧密联系的复杂巨系统。要研究一个城市的生态环境问题，研究者们往往需研究与之相关的人口子系统、经济系统及社会系统，并且研究的范围也越来越大，有时会跨越城市甚至是国家。在研究方法手段上，传统的系统科学方法越来越不适用。

目前，探索城市生态环境变化现象运动规律主要沿着确定性、随机性等两条途径进行，前者基于环境影响变迁现象运动中所表现出来的确定性规律；后者基于随机性规律，因此这两条途径是从环境现象截然不同的两个特性出发。在环境中研究确定性途径和随机性途径是两个描述环境现象变化的体系，各自具有各为格局的特色。环境现象具有确定性和不确定性两个基本方面，经典数学是表达环境现象有力的数学工具，如微分方程、数值分析等始终是绝不可无的强有力的工具与武器。但在很大程度上将环境现象的不确定性理解为随机性的一个侧面，应用随机数学处理现象的随机不确定性。对于现象的复杂性，由于长期受经典集合论只能描述“非此即彼”、非0即1二值逻辑框架的束缚，实际上长期被忽视了，这种忽视很不符合现象的实际情况。

事实上，环境现象的本质只有通过复杂性理论中的非线性数学模型才能较准确地进行描述。任何一个系统与另一个系统相互作用是双向的，在建模过程中都会出现非线性项。就对某些完全确定的非线性方程，在一定的参数范围内，却不能获得准确解，而是获得类似随机的混沌解（在状态空间出现无穷无尽的扭曲和折叠的运动轨迹）。复杂性科学中将确定的非线性系统出现类似随机行为的起因，称之为系统的内在随机性。这种随机性并不是起因于任何外界因素，而从确定性系统内部产生的。

因此，复杂性科学对城市生态系统影响特征与分析是一种十分宝贵的研究方法，它对环

境现象进行本质研究, 得出新的环境科学研究思路和模式。这也说明了我们必须以复杂性理论和概念来描述城市生态系统, 并以复杂性的数学方法解决城市资源环境的污染控制和保护问题。

综上所述, 对应第 1 章谈到的城市生态规划理论中包含有“规划中的理论”与“规划的理论”两个部分, 因此笔者将城市生态规划面临的复杂性区分为“规划中的复杂性”(complexity in planning)与“规划的复杂性”(complexity of planning)。前者是城市生态规划研究对象, 即城市复合生态系统的复杂性。后者是指在规划过程中所遇到的复杂性, 由于城市生态规划的目的除了研究城市生态系统的现状以及历史以外, 还必须对城市生态系统的未来进行预测、调整与改良, 有一个干预与调控的过程, 在这个过程中也会出现复杂性。而目前城市生态规划的复杂性研究主要关注“规划中的复杂性”。因此, 今后的研究, 在继续深入完善“规划中的复杂性”研究的基础上, 需要加强与此互补的“规划的复杂性”的研究, 把城市生态规划的实际过程中的复杂性作为研究的对象, 增强城市生态规划实践的作用, 促进和改善规划对城市生态系统发展过程的复杂性认识, 最终达到或进一步趋向理论与实践的结合。

具体而言, 今后城市生态规划的复杂性研究趋势, 是用定量与定性相结合的“复杂性”的简化方法取代传统的“简单性”的简化方法。这包括两个层面的内容: 一种是“阈值控制法”, 在认识到城市系统的复杂性以及随机性、无序性, 认识到目前城市生态系统的理论与方法存在的局限性, 因此用生态风险评估、生态承载力、生态足迹等理论与方法, 以城市生态系统各部分的阈值作为控制指标, 力图减少城市系统在开发建设中的不确定性影响, 以及避免对生态环境造成的不可逆转破坏; 另一种是“过程控制法”, 动态模拟城市生态系统运作的过程, 从而达到描述城市现状以及预测未来发展的目的。

### 11.3.1 “规划中的复杂性”研究

#### 11.3.1.1 城市复杂性研究

城市是人创造的, 人是城市的灵魂, 是城市的组成部分, 而且是活生生的、有机的组成部分。城市是人与自然、科学技术与人类历史文化相结合的产物。城市有着自身的生成—发展—衰亡的规律和过程, 但这个规律不同程度地受人类社会发展的制约。

城市是聚集了一定数量的人口、以非农业活动为主、区别于农村的社会组织形式; 城市是根据共同的社会目标和各方面的需要而进行协调运转的社会实体; 城市是一定地域中在政治、经济、文化等方面具有不同职能、范围的中心; 城市要求相对聚集, 以满足居住、生产和生活方面的需要, 发挥其特有功能; 城市必须提供必要的物质设施和力求保持良好的生态环境; 城市有继承传统文化, 并加以绵延发展的使命。

城市作为一个开放的、复杂的、动态的巨大系统, 是一个在自然系统的基础上建立起来的包含社会、经济、文化等复杂活动群体的“人为生命”, 具有多种价值取向: 既要达到城市与其赖以生存的自然系统之间和谐共荣, 又要达到不断提高城市运行效率、追求最大效益的经济目标, 还要满足城市居民本身不断提高的物质和精神需求。多种价值取向的相互交叉, 决定了城市发展的复杂性和矛盾性, 同时也要求城市众多的系统之间相互协同, 城市资源与环境系统(包括自然环境系统、社会环境系统、技术工程环境系统)的高度协调, 以求城市发展的持续性。

Juval Portugali 在 *Self-organizing Cities* 论文中清楚地论述了自组织是开放的复杂系统的一个基本特征, 具有非线性、不稳定性、分形和混沌等复杂性特征。同时系统介绍了与自

组织理论有关的 5 种基本理论和动力学性质，并引入到城市中，即：耗散结构的城市、协同作用的城市、混沌城市、分形城市和细胞自动机城市等，充分论证了城市具有复杂性的特征。区域形态的研究表明，城市和城市群形态为典型的自相似体系，其生长和演替在不同层次的无标度域内，形态具有内在的自组织、自相似和分形生长能力，它反映城镇生态空间的普遍规律。城市和城市群形态的空间分形主要包括四种：网络分形、等级分形、边界分形和密度分形。

蒂波特的 (Thibault S) 和马坎 (Marchand A) 在对法国里昂市道路系统的研究中，发现城市道路网络是一种内部具有自相似性的等级结构，具有分形的性质。在道路网络系统中，道路的等级数量  $N(r)$  与积压等级的长度  $r$  之间存在着一种双曲函数关系。

富兰克豪泽 (Frandsen P) 对德国斯图加特 (Stuttgart) 地区的铁路网进行了分析，发现铁路网中铁路的总长度与离中心车站的距离成双对数关系，而且它们的对数关系是线性的，这说明了斯图加特地区的铁路网是一个单标度分形，其分维值  $D=1.56$ 。由于分维值小于 2，说明铁路线并未达到饱和状态。

陈勇在城市结构的分形研究中得出，城市道路网络与河网一样，不同等级街道的宽度与等级之间也遵循着一种双曲函数关系，这样，就可通过计算分维来研究城市道路网络的分布特征及其演化情况。

张宇星在研究城市和城市群形态的空间分形特征的论文中认为群落模式中的尺度正是空间等级分形的分维值，这意味着大、中、小城镇体系在空间规模乃至在人口、经济规模以及城市群的密度、范围等方面只有保持一定的间隔尺度才能避免在竞争过程中造成对资源生态位的浪费。

城市边界与海岸线一样，由于受自然条件、房屋建筑、交通运输等因素的制约，其形状也异常地曲折复杂。地理学家和城市规划专家发现，城市世界也具有内部自相似性，因而也具有分形的性质。通过计算城市边界的分维可以考察其外貌特征。

巴迪 (Bitty M) 曾对英国加迪夫市的城市边界变迁的分形性质作过研究，他与朗奈 (Longley P A) 在 1987 年分别测定了 1886 年、1901 年和 1922 年的加迪夫市边界的分维。研究的结果说明刻划城市边界特征的分维与城市本身的发展过程密切相关，从而证实根据分形理论对城市生长进行模拟是完全可行的。

城市空间密度分形反映了城市群点空间分布在不同尺度上的自相似性。聚落群的分布遵循“总空间量衡值法则”和“ $-3/2$  自疏法则”，在很大密度范围和足够长的时段内，区域聚落群的总空间量（聚落建成区面积之和）是相等的，与密度无关。达到密度临界态后的城市群的密度进一步提高，聚落对资源的竞争不仅影响聚落增长的速度，而且影响到聚落的消亡率。在高密度区域中，有些聚落消亡，或者聚集为集镇，此时聚落群开始出现“自疏现象”，“自疏线”的斜率为  $-3/2$ 。

#### 11.3.1.2 生态复杂性研究

生态复杂性 (ecological complexity) 是生态学研究的重要内容。国际上生态复杂性研究出现了一个新动向，其特点是利用复杂学的原理和方法来研究进化和生态学问题，研究内容涉及生态系统内不同层次上的结构和功能。近年来，在生态复杂性研究中也取得较大进展，特别是在生物进化、生态系统自组织与突变、能量流动、系统稳定性方面取得了一定成果。

Guido Buenstorf 指出生态系统是一个自组织系统，其可持续发展与系统的自组织特征

有关。文章主要论述了以下几个观点：如果各种环境问题会影响经济发展过程的话，那么生态系统的热力学变化（能量和熵变换）将对经济系统采取什么样的相应应变对策具有指导意义，也就是说，对生态系统内的各种行为变化的可持续发展具有指导意义。

Luis A 等指出人类本身对生态系统如何干预影响的研究还相对较少，自然现象如何导致社会变化和生态系统变化的研究也相对较难。尤其是生态系统在空间上的变化在现实中则更容易忽视，这是因为以常规的评价方法并不能把空间变化的影响予以正确表达和求解。近年来，人们越来越关注生态系统的环境影响评价方法的研究，特别是在数据量较少、数据信息不确定的情况下，人们希望尽可能地提高环境影响评价结果的可信度。基于以上原因，Luis A 等提出了新的 EIA 方法，即结合模糊逻辑控制方法、地理信息系统和优化技术的方法，将有助于环保工作者和专家理解生态系统内在的不确定性，从而有助于他们的决策。

Ranjit Kumar Upadhyay 等认为结构复杂性是生态系统的动态复杂性最基本的问题之一。动态系统理论的发展及其应用有助于对生态系统复杂性的认识，并指出结构复杂性和动态复杂性是相互关联的，生态系统的简单动态模型表明，简单结构的系统在某些情况下会产生非常复杂的不可预知的动态行为。而复杂结构的生态系统则未必会产生复杂的动态行为。此外，Sazykina T G 和 Milan Stras kraba 等通过对生态系统模型的动态分析，论证了进化过程中生态系统的营养结构是一个自组织过程。

Bianciardi C 等提出一种对复杂生态系统的复杂性和自组织特征进行量化的实验模型，即以热力学方法计算已知系统的能量转化和熵的增减。通过该实验模型可知，当系统的输入变量（即外环境）发生变化时，系统的复杂性将随着变化，系统须重新自组织继续向另一个平衡状态转变。该方法对于“外环境是如何影响生态系统的问题”具有指导意义，特别是当生态系统内可利用资源的减少、污染物的输入、生物多样性的减少以及富营养化等问题出现的时候，生态系统将如何发生变化，就可以运用该方法进行模拟预测。

吴次芳等运用复杂科学理论，阐述了土地生态系统的复杂性特征，包括多层次性、高维性、子系统关联的复杂性、结构与功能的不确定性、开放性、动态性、自适应性和自组织性等复杂性特征。并进一步探讨了分形、混沌及人工神经网络在土地生态系统复杂性特征研究中的应用。

张知彬等认为：生态复杂性是指生态系统内不同层次上的结构与功能的多样性、自组织及有序性。生态复杂性研究的显著特征是：它应用复杂学的理论、方法和观点来研究生态与进化问题。其研究方法主要有细胞自动机法和遗传算法。同时还指出生态系统是一个自适应的复杂系统，处于混沌的边缘或临界态，内部作用是生态系统复杂化、有序化及自组织的主要推动力。此外，文章中还进一步指出复杂性科学和生态学的结合，将有助于解决生态与进化中一些备受关注的难题，如动物的行为模式、协同进化、种群暴发与崩溃、多样性与稳定性、生命起源、物种灭绝、全球变化、外星生命等。

张庆普等指出支配城市生态经济系统演化和发展的主要机制是城市生态系统的生态平衡机制（内在弱机制），这种机制使系统得到最大的自我保护和平稳演替。生态系统的演化以物质循环和能量转化的方式缓慢进行。生态环境资源的更新、种群的增长都表现为物质和能量的积累，受到一系列环境条件的限制，到一定程度后便达到相对稳定的状态——非平衡状态。生态系统达到平衡稳态后，系统中的生产者和分解者两者之间保持着较稳定食物链的“投入”和“产出”关系。生态环境资源的现存量、新增量和输出量之间存在非线性、负反馈为主导的生态演化关系。从自组织理论分析，这种平稳机制本质上是一种自组织力或自我

调节能力。

何池全等指出生物或生命系统与环境或环境系统之间相互作用的过程是极其复杂的，具有多组分、多维数、多变量和多水平的特征。同时湿地生态场具有非线性的时变特性和混沌性。混沌是非周期性的，具有渐进的自相似有序性现象，在一个层次的混沌是紧接上一个层次有序的基础，主要表现在以下几方面：①湿地生态场首先表现在其周期性与非周期性的辩证统一，由于生态场受生物活动及水分分配的影响，而生物的活动恰是在周期性与随机性的矛盾统一体之中；②湿地生态场的混沌性还表现在具有自相似性现象，所谓自相似性是指一个对象能在一定范围的局部放大再现其总体的结构特性，即生态系统的重演性，这一特性使运用局部→整法研究湿地生态场成为可能；③湿地生态场的混沌性还表现在混沌中含有有序的现象，在低层次上的混沌往往是紧接的高一层次有序的基础。湿地正是普里高津学说中所提出的那种远离平衡状态的具有自组织能力的复杂开放性系统，湿地生态系统通过演化，从简单到复杂，从低级到高级，从无序到有序。为了达到更高层次的有序，则低层次的有序又需转化为混沌，没有混沌就像死水一潭，不会出现结构的有序化。

### 11.3.1.3 资源环境系统复杂性研究

城市区域资源环境系统是一个规模庞大、结构复杂、变量众多的开放大系统。其复杂性主要表现为：构成要素的多元性，相互关联的动态性，系统内部及系统与环境之间动态存在的物质循环、能量流动、信息传递与价值增值。这类复合系统良性运行的条件是其各时期各个组成子系统之间的协调发展与运行。鉴于其复杂性，近年来，一些国内外学者开始利用自组织理论及有关的不确定性理论（随机理论、灰色系统理论等），来研究城市的资源环境系统，试图使建立的模型反映资源环境系统本身的物理意义，在整体上模拟系统的输入与输出，以便应用于指导系统的协调和可持续发展。

Steven M Manson 在论文中指出复杂性理论代表了目前各种研究领域的主要研究趋势，是一种主要的研究方法，并且在地理系统、环境系统、人文系统以及经济系统等中均有所应用，体现了复杂性理论的应用价值所在，同时推动了复杂性理论本身的发展。其论文主要综述了复杂性理论科学的研究进展，指出复杂系统具有自组织、耗散性等特点。同时还说明了复杂性的拓扑方法的优点和缺点，最后对该理论的进一步研究和应用提出了要求：①对理论本身的正确理解；②数据的完整性；③实际系统与复杂性理论的相互关联等。

Gover D Geldeof 认为城市的综合水环境系统的管理必须抓住该系统本身具有复杂性的本质特征进行研究，须应用非平衡理论的方法加以解决。提出以非平衡理论的方法研究城市的地下水环境规划问题，指出地下水环境系统的各组成因素之间相互关联、相互连接可以构成一个网络。因此，在研究该系统的时候必须客观地认识到系统要素间的各种动态关系。另外文章中还关键性地指出地下水环境规划问题的研究属于混沌边缘科学的研究范畴，是一个复杂性科学研究的问题。

Sivakumar B 指出虽然近年来混沌理论在水力学系统中越来越受关注，但目前大多数的应用研究都是“基于时间序列的长度是足够大的、无噪声”的假设条件下进行的。而事实上我们都知道时间序列的研究往往受噪声、序列长度和延迟时间等的影响。文章中提出了一种非线性时间序列的混沌预测方法，指出当时间序列的数据量较小时，该方法是有用的。当然最少数据数量的限值要求，取决于吸引子的维数，而维数则根据自相关函数首次过零时确定，并进一步论述了该方法在水力学计算中具有实际意义。

Thomas D N 和 Fawcett N 等提出了以熵和不确定性的来表征一个系统的复杂性程

度,并对这种方法能否应用于水环境管理(水质评价和水的效用性评价)进行了初步探讨。

Malcolm Hollick 指出环境系统是一个复杂的系统,该系统是开放的、远离平衡态的,而且具有非线性、混沌等特征,子系统与子系统之间相互关联、相互依存、相互影响,因此,在环境规划和管理过程中必须把环境系统作为一个自组织系统来整体研究,以达到环境效益的最优化。

Kosim Kocak 等成功地指出大气系统是一个混沌系统,具有混沌特性,该文运用了混沌系统可进行短期预测但不能进行长期预测的特点,通过研究伊斯坦布尔的非线性臭氧浓度的时间序列的混沌特征,对臭氧浓度的短期变化进行了预测。

Zhu Jian Lin 等先后通过重新域标度方法对酸沉降时间序列是否具有长期自相关性进行了研究,指出该序列具有布朗运动的分形特征(即指数型特征),局部与整体之间具有自相似性,充分证明了大气中的自相关行为应当充分考虑在酸沉降时间序列的预测过程中。

Lu Tong 等对区域“经济-资源-环境”复合系统建立了整体协调优化模型,采用结合优化方法与混沌特性分析(Lyapunov 指数等)的自学习方法,在系统优化目标和稳定性之间达到平衡,提出了一种基于协调的复合系统混沌控制模型。其中经济子系统主要考虑以下几方面:GDP、经济收入、工业生产总产值、社会消费销售额、家庭可支配收入等;资源子系统包括的能耗/10000 元 GDP、水耗/10000 元 GDP 等;环境子系统包括工业 SO<sub>2</sub> 排放量/10000 元产值以及 SO<sub>2</sub> 的削减率、工业废水排放量/10000 元产值、固体废物排放量/10000 元产值;该模型已成功应用于天津市的经济-资源-环境系统的研究中,对系统的可持续发展具有指导意义。

金致凡应用时间序列的域重新标度方法,对福州市大气环境监测数据的时间序列进行分析,发现其具有自相似的分形特征,分形维数为 1.19。对于不同的污染物、不同的时间观测尺度与不同的时间跨度,大气环境监测数据的时间序列均具有相近的  $D$  值,分形维数可以从整体上描述大气环境质量的动态变化特征。

冯国章等提出了一种能够从系统可达状态的宏观概率层次和状态内部微观层次上的变化共同描述水文系统复杂性的定量方法。提出的方法用水文要素的信息熵、非平衡度、复杂度来描述水文系统的复杂性,是一种以物理概念为基础、传统的概率统计学方法与非线性科学方法相结合的方法,可有效地识别水文系统的复杂性,并有可能通过水文系统的复杂性与信息维等分形与混沌特征量间的联系,用传统的统计学方法来研究水文系统的分形与混沌特征。

魏一鸣从自然灾害系统的观点出发,阐述了自然灾害系统的特点,提出了自然灾害复杂性的概念。基于前人研究的一些成果,讨论了分形、混沌、人工神经网络等非线性理论以及定性定量综合集成技术在自然灾害复杂性研究中的应用。自然灾害复杂性的研究可以促进人类对自然灾害整体行为的探索。

林逢春、王华东在总结前人研究成果的基础上,基于自组织理论建立了区域 PERE 系统演化模型。该模型包括资源模型、工业模型、农业模型、人口模型和排污模型等 6 个子模型,模型的数学表达式类似于 Logistic 模型,其最大的特点是通过 Logistic 模型中内禀最大值( $M$  值)来反映整个城市环境系统中各子系统的耦合作用。该模型在山西省某市应用模拟和预测效果较好。

杨秀虹等指出环境作为一个开放系统,与外界之间不仅存在物流,而且还有能流、信息流。环境系统按照自身的规律发展变化。显然,寻找能从本质上反映环境系统一切行为的通

用指标是必要的。为此,其结合耗散结构的有关理论,从熵变的角度研究环境系统的承受阈值,并对熵变方程在环境承受阈研究中的应用作初步探讨。

王海云指出混沌学对环境影响特征与分析来说是一个十分宝贵的研究方法,以混沌学的理论和观念可以清楚描述生态环境系统的本质是非线性的,特征是随机与混沌、系统内部存在着一个混沌吸引区,因此生态环境系统的控制与保护必须采用非线性数学方法解决。同时该文还简述了环境混沌系统控制的基本思路和混沌分析的相空间预测方法。

周寅康等指出淮河流域洪涝变化是一类具有耗散结构的混沌动力系统。淮河流域洪涝变化的 Lyapunov 指数谱基本符合理论上的 Lyapunov 指数谱的排列结构, Lyapunov 指数包含正值、零(近似)和负值,但所有的 Lyapunov 指数之和小于 0。这表明,在淮河流域洪涝变化动力系统演化过程中,相空间中不同方向轨道的演化趋势是不同的,某些方向轨道的演化呈收缩趋势,另一些方向上则呈发散趋势。但是相空间中所有方向轨道上的演化呈收缩趋势。这种不同方向轨道上的收缩/发散趋势必然导致淮河流域洪涝变化系统的演化呈不断的拉伸折叠状态,并最终不超越维数为 4.66 的吸引域内。因此,淮河流域洪涝变化是一类具有耗散结构的混沌动力系统。

权先璋等针对河川径流非线性动力学混沌过程,介绍了径流的混沌识别、径流重构相空间技术及径流序列的混沌预报方法,在此基础上,以葛洲坝水库为例,对其日径流进行预报,取得了满意的结果。

田风巍指出水资源系统是耗散系统,该系统存在分形、分维现象以及径流时间序列的吸引子问题。研究了汉江具有混沌的特征,存在有分维的吸引子,其维数约为 3.5,指出要对汉江的年径流系列进行确定性的预测是不可能的。

易顺民等以实际监测数据为基础,建立了一个河流有机物浓度预测的自组织模型,检验样本的预测误差在 5% 以内。自组织模型可以比较容易地获得描述河流复杂水环境有机物污染非线性过程的非线性模式,能够很好地体现水环境污染场多种因素之间的复杂非线性关系,较全面地考虑了主要因素对有机污染物的影响。特别是在变量多、数据少,普通的建模预测方法难以胜任建模任务的情况下,自组织模型可以得到十分令人满意的结果,非常适合涉及多种影响因素的复杂河流水环境污染的预测评价工作。

刘国东等指出水质是由水中的化学成分组成,城市水环境中的化学组分相当复杂,依据分形和混沌理论,各组分的变化与总体水质变化具有很大的相似性,因而有可能使用分形分维方法进行水质综合评价。此外,还可以依据分形和混沌理论以及相空间重构理论等,建立水质时间序列进行预测以及水质模拟等。

黎夏等探讨了如何通过 CA(Cellular Automaton)与 GIS(Geographic Information Systems)的结合来进行可持续土地发展规划的新方法,并提出了基于约束性的 CA 模型,具体分析了局部、区域以及全局约束性对 CA 模型结果的影响,并将灰度的概念(不确定性)引进 CA 模型中来反映状态连续的变化,克服常规 CA 模型的缺陷。将该模型应用于珠江三角洲地区来获得合理的城市发展空间布局,取得了较好的效果。

Yan Liu 等针对城市生态系统的确定性特征,基于模糊集理论和 Logistic 方程建立城市发展的 CA 模型,从而把不确定性特征考虑到城市的发展模型中。该方法应用于澳大利亚悉尼城市发展的模拟,并通过 GIS 和 ARC/INFO 软件对城市的发展状况(过去 30 年)及趋势进行了可视化表达。

综合分析以上文献资料,大部分属于混沌、分形和耗散结构理论在城市资源环境系统的

国内外研究进展，下面对不确定性理论在资源环境系统的应用情况进行简单的论述。

苏小康、曾光明等提出而用非平衡自组织理论来研究复杂城市环境系统，并对该理论建模定量分析应用的特点进行了重点探讨。并预测近期非平衡自组织理论在环境系统中的应用应在以下几方面有所突破：①运用涨落理论对城市环境系统中的突发现象进行分析，如对洪涝灾害的有关研究；②城市系统熵的内涵更加丰富，熵变的本质更加明了，增强对环境系统恶性循环的控制；③多种理论交叉、渗透，建立更符合实际的耦合模型，适用性进一步增强，理论更加成熟。

黄国和和曾光明对不确定性理论的研究相对比较多、比较系统，曾出版过《环境系统灰色理论与方法》、《环境科学与工程中的不确定性理论与方法》等专著，在国内外期刊上发表的论文较多，建立了很多的不确定性理论模型（在此并不作一一论述）。Huang G H 和 Zeng G M 等先后建立了农业系统、城市生活垃圾管理系统、水资源水环境系统中的不确定模糊随机的环境管理模型，在模型中通过环境目标（环境容量许可的范围内）的约束，并考虑环境效益和经济效益，通过调整模型中各决策变量的区间变化，以达到最优的经济效益和环境效益。这些模型相应地在实际中均有所应用，其模型的建立对环境规划和管理，包括流域、湖泊和城市环境等，具有十分重要的实际应用价值。

### 11.3.2 “规划的复杂性”研究

城市是一个开放的复杂巨系统。城市生态系统研究对象不光是城市巨大的自然系统，同时还包括了以人为主体的社会经济系统。如果说人脑是客观世界中最复杂的一个巨系统，那么众多的人聚集一起的社会经济系统应当是更为复杂的了。在上节所分析的都是关于城市生态系统的复杂性研究，属于“规划中的复杂性”，下文想要探讨关于“规划的复杂性”，具体而言，即城市生态规划实践过程中通过什么方法、措施来减低城市复杂性与不确定性对规划过程与规划结果的影响，一些研究学者进行了相关研究。

李晓江认为必须“重视城市发展的多样性和复杂性”，“面对 21 世纪城市发展的多样性和复杂性，必须加快城市规划技术的更新和发展”。他认为“单一的理论简单的方法不可能解决多样和复杂的现实问题。城市规划专业人员应该通过大量、扎实的个案研究和实证分析来解析城市发展中多样而复杂的现象”。“面对 21 世纪城市发展的多样性和复杂性，城市规划的技术和理论研究一定要避免空泛的概念性议论，避免盲目构建‘宏伟理论框架’的陷阱”。方可认为“随着当代科学对‘复杂’的认识以及人们对西方‘城市更新’运动的反思，城市的复杂性逐渐引起城市规划界的重视。结合旧城更新的实践探索，提出‘解读城市、上下循环的规划编制、阶段性方法、小而灵活的实施方案’等新的适应城市复杂性的旧城更新规划设计方法”。

尤阿辛·福格特与孟广文对城市生态学导向的空间发展规划及存在问题进行研究，论述了西欧和德国环保思想及方法的转变，存在的问题及对中国的几点启示。随着环境污染加重及人们对环境认识的改变，作为环保手段的空间规划日益受到城市生态学的影响，人们正在尝试利用城市生态学理论制订一体化的城市和区域空间规划，并取得了较大的进展。然而，由于环境污染的综合性和复杂性，在空间规划中仍存在着工业企业、居住、文化等用地与生态目标的冲突问题。

何兴华探讨了复杂性科学和整体思维对城市规划的指导作用，指出城市规划是人居环境科学在城市的应用，城市规划的科学化要为“人居环境变迁过程中的人为干预现象”提供解释和规范。

彭晓春等认为“目前进行的大多数生态规划，大多还停留在现状描述并运用统计分析及聚类分析等统计学方法进行的定性分析上定量分析手段和技术还非常薄弱，这也是生态规划的操作性与指导性不强的原因。随着生态学和环境科学等学科的发展，随着人们对自然过程与人类活动关系认识的加深，地理信息系统等计算机技术的广泛应用，使多属性、大范围的空间模拟分析成为可能，从而推动了定量分析与模拟在生态规划中的应用”。而这种“定量分析与模拟”本身也经历了一个发展阶段。

王如松等认为，20世纪60年代，系统方法、理性决策和控制论开始被引入到城市规划中来，使对城市系统的量化成为可能，但由于其“方法论的本质还是还原论”，即采用简单的数学模型模拟城市复杂系统的方法，由于“传统数学规划的实质是把复杂的现实世界纳入数学家的模型框架内，把以人为中心的生态系统简化为以物为中心的物理系统，将多维的偏序空间映射为一维的全序空间，从而将一个基于众多假设的‘最优规划’结果强加给决策者，这正是许多数学规划不能被决策者所接受的根本原因”。“特别是当运用到城市这类复杂的人类生态系统时，其模型的真实性和普遍性都产生了问题。”

## 11.4 城市生态规划的不确定性研究

从前面章节了解到，城市生态规划的复杂性研究包括“规划的复杂性”与“规划中的复杂性”，目前研究偏重于“规划中的复杂性”，但“规划的复杂性”的研究较少，基本停留在宏观、定性阶段。由于对规划过程中复杂性问题的研究不够深入，影响了城市环境系统调控方面的实用性，以及研究成果对城市发展的实际指导作用。因此，本节以城市生态规划中复杂性的一个分支——不确定性为例，研究城市生态规划过程中的不确定性问题，以及减少不确定性的方法，从而探讨研究“规划的复杂性”的理论与方法。

### 11.4.1 概述

与传统城市规划相比，城市生态规划的优势就在于更加综合、开放，更适合研究处在社会转型期中国城市这个动态开放的复合巨系统。近年来，生态规划的发展在理论上更多地吸取现代生态学的新成果，在方法上广泛应用计算机技术和地理信息系统，从定性向定量分析与模拟方向发展。尽管如此，仍有学者指出，生态城市模式虽然先进，“但本身在理论和实践上不够成熟”。要促进生态城市的发展，既需要对国内外城市生态规划的理论与方法进行深层次的总结，同时又需要不断探索新理论、新方法与新技术在城市生态规划中的应用。

在城市生态规划的理论与方法的探讨中，理论方面主要集中在生态学原理、经济学原理、循环经济理论、环境科学原理以及社会科学理论等。从城市生态规划的技术实现来看，生态工程、环境工程、系统工程以及3S（RS、GIS、GPS）等技术较多地用于城市生态规划中。而另一方面，在一个包括经济子系统、环境子系统和社会子系统的城市生态系统中，不确定性因素又广泛地存在着。尽管不确定性理论已在生态学、经济学、环境科学和社会科学中已有了较为成熟的应用，但是在城市生态规划中却未能给予足够的考虑。因此，本书拟对城市生态规划中所面临的不确定性问题的定义以及减小这种不确定性的方法作一些初步的讨论。

### 11.4.2 不确定性的定义与分类

Suter将不确定性分为两大类，一类是可以较确切语言描述的不确定性。例如，污染物达标率就是描述不确定性的语言。在环境污染管理中，对大气、水体和土壤等需要对污染物的浓度加以严格的控制，并制定了相应的控制标准，包括排放标准、水质标准等。而事实

上, 由于各种不确定性因素的存在, 要保证水体中污染物永远不超标变得几乎不可能, 因此, 提出了用超标率这个指标来衡量水质的好坏。虽然水体中污染物有超标的可能, 但是如果把超标的概率控制在一定的范围之内, 这种方案显然是可以接受的。不难看出, 超标率的提出就是用来解不确定性问题, 因而它属于可以用确切的语言来描述的不确定性。另一类不确定性则是由于人们认识能力的局限性, 对现象本身的发展趋势、内在机理均不了解, 不能准确地描述。比如说, 生态敏感的问题, 由于研究水平的限制, 人们对自然界各种因素对外来干扰的防御能力, 目前来说, 很难定量地去衡量生态敏感性的具体数值是多少, 因而也是不确定的。因此, 人们只能是用比较抽象、比较模糊的语言去描述它, 如对生态最敏感区的定义是这样的: 一般为河流及其影响和坡度大于 20%, 生态价值高的成片林地, 该区域对城市开发建设极为敏感, 一旦出现破坏性干扰, 不仅会影响该区域, 而且还会给整个区域生态系统带来严重后果。根据定义可以看出, “极为敏感”、“严重后果”这样的描述是难以量化的, 同时也是不能准确描述的。

从统计学的角度来看, 不确定性又可分为两种: 一种是自然界所固有的随机性所致。大量关于不确定性研究已经指出, 自然界中很多变量并不是确定的, 而是呈现出随机变化的特征, 如很多重金属在水体中的浓度多呈现出对数正态的随机参数, 此外, 产品价格、物价水平、人口数量等也不是纯粹的确定性量, 而是具有一定统计特征的随机变量或随机过程变量。这些变量的共同之处在于, 在微观上呈现出看似无序的状态, 但在宏观上是可以利用统计学方法来研究其总体特征。另一种则是由纯属偶然的因素所引起的不确定性。这种多体现在对数据的测量、统计、分析方面, 如仪器的误差、测量的方法、甚至是数据测量人本身的心理因素、偏好选择、客观导向等都是造成这类不确定性的重要原因。

#### 11.4.3 城市生态规划中的不确定性分析

##### 11.4.3.1 自然界固有的不确定性

自然界固有的不确定性包括水文、地理、气温、降水量、日照辐射量等自然现象的不确定性, 特别是一些自然灾害事件如飓风、暴雨以及洪水等引起的不确定性。更具体地说, 1998 年长江特大洪水的发生, 造成了国家的巨大损失, 这也可以归结于不确定性因素的影响。由于这些不确定性因素的存在, 导致在对城市进行生态规划之后, 规划的预期目标(包括经济的、自然的、社会的)难以实现, 生态城市的建设受阻, 规划保障体系的保障功能难发挥作用。

##### 11.4.3.2 人类活动引起的不确定性

人类活动引起的不确定性包括人口变迁、经济发展、社会进步等社会现象引起的不确定性, 并且无数事实证明这种不确定性随着人类社会的进一步发展而加剧。如正处于建设中的三峡大坝对长江流域生物群落的分布、物种的迁移以及对整个生态环境系统的影响相当程度上还是一片空白, 该坝对未来生态环境影响的不确定性是不言而喻的。

##### 11.4.3.3 生态城市规划过程引起不确定性

(1) 现有资料获取过程中的不确定性 不确定性主要来源于: 第一, 现有数据不足造成的不确定性。如有一些经验公式中的参数需要大量的调查数据来验证或推导, 但实际上要获得充分的数据有相当的难度, 因此, 产生不确定性是显而易见的; 第二, 缺乏经验或历史累积数据造成的不确定性, 如在某项设计中采用新的工艺, 这样对最终结果的影响有时就难以确定; 第三, 收集数据过程中产生的不确定性, 这种不确定性可以是由于采样的随机性所造成的, 也可以是由于仪器、设备等方面的局限性所造成的; 第四, 数据分析所造成的不确定

性，对同样的数据，不同的人来分析会有不同的倾向性，采用的方法也可能不同，因而对最终结果的影响自然是不确定的。

(2) 指标体系的不确定性 详见以后章节。

(3) 规划结果的不确定性 在对城市生态现状资料掌握的情况下，对城市生态指标体系完全确立后，就需要对城市进行生态规划，规划的结果主要包括生态现状分析结果、生态规划分区结果以及城市生态化水平的综合评价结果等。由于规划时获得的资料、现状分析、指标体系均具不确定性的特征，因而在这些不确定性条件下得到的结果也是不确定性的。

现以城市生态化水平的综合评价结果为例进行说明，关于对城市生态化水平的综合评价，国内外已有大量的研究和探讨。但是，从现有的评价方法来看，已经发展了权值分析法、模糊综合评价方法、灰色聚类分析方法、多元统计方法等多种方法。但是，由于这些方法都没有考虑到不确定性因素的影响，只是在确定性前提下得到的结果，因而对城市生态化水平的综合评价结果也是确定的。如前所述，在生态规划过程中，由于现有资料的不确定性、资料分析过程中产生的不确定性、指标体系构建过程中的不确定性等多种不确定性因素的综合影响。如果每一个参与评价的指标体系是不确定的，城市生态化综合水平也变得不惟一了，因而具有了不确定性的特征。

(4) 决策分析中的不确定性问题 决策分析主要是为实现城市生态规划所制定的目标，从众多的可以互相替代的规划方案中选定一个理想的或满意的方案，并对这些规划方案可能产生的综合效益（包括经济效益、环境效益和社会效益）进行综合分析。由于在规划过程中存在众多不确定性因素，要准确地比较并评估出哪种方案的综合效益最大是很难的。这样，不确定性决策的问题就产生了。可以看这样一个例子（如表 11.1）。

表 11.1 效益分析表

未来的可能状态	方 案 一				方 案 二			
	经济效益	环境效益	社会效益	综合效益	经济效益	环境效益	社会效益	综合效益
$S_1$	2	5	3	10	66	3	3	12
$S_2$	6	3	3	12	2	5	3	10

这里用  $S_1$  和  $S_2$  代表城市未来发展可能出现的两种状况。为了分析的简便，不考虑权重及其他因素的影响，假定综合效益简单地等于经济效益、环境效益和社会效益的总和。由表 11.1 可知，由于未来状态的不确定，我们可以知道在决策过程中存在着两种不确定性问题。一方面，是决策过程中的不确定性，如果在  $S_1$  状态下，决策者们会选择方案二；如果在  $S_2$  状态下，决策者们会选择方案一。但是由于未来的可能状态  $S_1$  和  $S_2$  未知，均有可能存在，因此究竟哪种方案更优，则无法判断，因而决策过程具有不确定性。另一方面，是方案实施后未来效益的不确定性。不管未来状态如何，决策者们最终需要选择一个较好的方案，不妨假设已经选择了方案一。首先，由于表 11.1 可以判断，综合效益是不确定的，在  $S_1$  状态下为 12，在  $S_2$  状态下为 10。其次，各子系统的效益也是不确定的，在  $S_1$  状态下，经济效益和环境效益分别为 2 和 5，在  $S_2$  状态下，经济效益和环境效益分别为 5 和 2。这就说明，在未来城市发展状态不确定的情况下，决策分析的不确定性成为城市生态规划过程中的另一不确定性问题。

#### 11.4.4 城市生态规划的不确定性研究

##### 11.4.4.1 城市生态规划中不确定性研究方法

(1) 灵敏度分析法 由于在城市生态规划中，对经济系统、环境系统和社会系统常常需

要依赖数学模型进行预测、模拟和规划。由于模型中存在着不确定性因素，模型中的参数往往表现出不确定性，因此这种借助于模型进行预测、模拟和规划的真实性、可靠性均需要作进一步的探讨。灵敏度分析方法是研究不确定性的传统方法之一，其作用主要有：估计模型计算结果的偏差，通过研究模型输入参数变化对模型计算结果的影响以指出参数的相对重要性，估算模型的不确定性范围并得出模型计算结果的可靠性程度。

但是，其不足之处是过多地依赖于数学模型的建立，并且其优势只在于研究输入参数的不确定性。因此，德国著名生态控制论专家 F. Vester 和 A. V. Hesler 提出了一个定性的“灵敏度模型”方法，将系统科学思想、生态控制论方法及城市规划融为一体，并借助系统动力学的方法，从城市生态系统中各个子系统中得到建模所需要的变量，运用微分方程对城市生态系统的结构、功能和动态特征进行模拟，从而为城市的发展提供相应的对策。此外，吕永龙和王如松对此模型作了改进，将定性和定量相结合的方法，为探讨城市发展提供了新的思路。

(2) 传递函数法 即根据误差传递理论，由各初始变量的不确定性大小渐次分析计算结果的不确定。其主要的理论根据是关于随机变量函数的方差计算理论。比如，在预测城市生态系统中某一指标（如某一物种的数量、环境系统中某污染物浓度等）时可采用该方法。假设预测模式可用函数可表示为：

$$I = F(x_i, t, a_j) (i = 1, 2, 3, j = 1, 2, \dots, n) \quad (11.1)$$

其中， $I$  为其他有关参数向量， $F$  为函数。

则根据误差传递公式：

$$\sigma_I^2 = \left( \frac{\partial F}{\partial x_i} \sigma_{x_i} \right)^2 + \left( \frac{\partial F}{\partial t} \sigma_t \right)^2 + \left( \frac{\partial F}{\partial a_j} \sigma_{a_j} \right)^2 + R \quad (11.2)$$

$$\text{式中, } R = \frac{\partial F}{\partial x_i} \times \frac{\partial F}{\partial t} \rho_{x_i t} \sigma_{x_i} \sigma_t + \frac{\partial F}{\partial x_i} \times \frac{\partial F}{\partial a_j} \rho_{x_i a_j} \sigma_{x_i} \sigma_{a_j} + \frac{\partial F}{\partial a_j} \times \frac{\partial F}{\partial t} \rho_{a_j t} \sigma_{a_j} \sigma_t$$

由于考虑到  $x_i (i=1, 2, 3)$ 、 $t$ 、 $k_j (j=1, 2, \dots, n)$  之间相互独立，则得独立变量的误差传递公式为

$$\sigma_I^2 = \left( \frac{\partial F}{\partial x_i} \sigma_{x_i} \right)^2 + \left( \frac{\partial F}{\partial t} \sigma_t \right)^2 + \left( \frac{\partial F}{\partial a_j} \sigma_{a_j} \right)^2 \quad (11.3)$$

式中， $\partial F / \partial x_i$ 、 $\partial F / \partial t$ 、 $\partial F / \partial k_j$  的取值分别称为  $x_i$ 、 $t$ 、 $k_j$  的误差传递系数， $\partial F / \partial x_i \sigma_{x_i}$ 、 $\partial F / \partial t \sigma_t$ 、 $\partial F / \partial k_j \sigma_{k_j}$  分别是第一量值  $x_i$ 、 $t$ 、 $k_j$  的误差对  $I$  的影响。进一步得到  $I$  的标准偏差

$$\sigma_I = \sqrt{\left( \frac{\partial F}{\partial x_i} \sigma_{x_i} \right)^2 + \left( \frac{\partial F}{\partial t} \sigma_t \right)^2 + \left( \frac{\partial F}{\partial a_j} \sigma_{a_j} \right)^2} \quad (11.4)$$

从而由  $I$  的标准偏差获得置信限总不确定度

$$U_\alpha = K_\alpha \sigma_I \quad (11.5)$$

式中  $U_\alpha$ ——在具有显著性水平  $1-\alpha$  下的总不确定度；

$\alpha$ ——显著性水平；

$K_\alpha$ ——显著性因子。

由此可分析所预测指标的可靠性。

(3) 控制论方法 控制论于 20 世纪 40 年代由美国科学家维纳 (Wiener) 所创，并已从 40 年代的古典控制论发展到 60 年代的现代控制论，直至如今的智能控制。古典控制论主要研究集中参数系统（系统的控制方程一般是含时间导数的常微分方程）的反馈控制，主要用

于消除偏差,使系统被控制在指定值附近。现代控制论则是在系统状态空间建模的基础上,对系统进行实时控制或最优控制,其研究对象涉及线性系统、非线性系统、确定性系统乃至不确定性系统。包括模糊控制、神经网络、专家系统的智能控制则代表着今后控制理论发展的方向。智能控制系统的出现,能够对难以精确建模的、复杂的、不确定的对象进行模型辨识、实时控制、优化计算,或进行推理和故障诊断。

迄今,控制论在许多生态学、规划学中的应用已经有了初步的研究。胡聃和王如松借助生态控制论原理和灵敏度模型方法,以天津城乡错带为实例,探讨了一个具有典型社会、经济、自然复合生态边缘效应特征的人类生态系统的生态控制论行为与机制。孙迪和吴人韦从生态控制的角度出发,以舟山市朱家尖岛总体规划为例,探讨了旅游度假地规划与生态环境保护的关系。尽管这些研究没有考虑到实际中存在的不确定性问题,但也有文献对工业控制系统中的不确定性问题作了探讨,这对用控制论方法解决不确定性问题具有借鉴作用。随着随机控制、模糊控制、神经网络和专家系统等智能控制理论的不完善和发展,它们完全能够应用于城市生态规划中,解决城市生态系统中的不确定性问题。

(4) 不确定性数学方法 不确定性数学方法的研究已有很多成果,尤其是在经济系统、环境系统和社会系统中亦有广泛的应用。因此,在城市生态规划中,主要是研究如何将不确定性数学方法应用到经济-环境-社会这样一个复合系统中,从而解决城市生态规划中的不确定性问题。传统的不确定性数学方法主要包括随机数学方法和模糊数学方法。

① 随机数学方法 现代科学技术的发展,尤其是电子计算机的巨大进步,使我们用随机数学方法处理经济、环境和社会系统中所遇到的不确定性问题成为可能。随机数学方法主要是用随机变量或随机过程来描述系统,同时利用概率统计的方法,建立相应的随机模型(如随机的经济模型、随机的环境质量模型、随机的社会发展模型等)。具体来说,在生态学、经济学、环境科学和社会科学等领域,已经建立了大量的随机模型,如随机预测模型、随机模拟模型、随机综合评价模型、随机规划模型等均已有了较好的实际应用。

对于某些复杂的模型,分析其不确定性的来源是极其困难的。而借助 Monte-Carlo 方法则比较方便地处理复杂模型中的不确定性问题。比如 Barnthouse 等用 Monte-Carlo 模拟技术研究由单一物种毒性外推到生态系统过程中的不确定性问题,较好地将这一过程的不确定性转变为关于某种效应的不确定状态。从而将某一特殊有毒效应的水平看作是一个直接毒性和源于外推过程产生的不确定性的函数。同样,在城市生态系统规划中,对综合指标体系阈值进行量化时也会碰到类似的问题。因为经常需要根据国内外其他城市的现状值进行外推,所以某城市的指标阈值也可看作其他城市现状值和源于外推过程产生的不确定性函数。

② 模糊数学方法 模糊数学是美国控制论专家 L. A. Zadeh 于 1965 年提出来用以描述模糊信息。目前,模糊综合评价、模糊决策分析、模糊规划在各学科中有了极为广泛的应用,并已展示了巨大的威力,而今后的研究重点则在模糊值测度、模糊逻辑推理等方法。

此外,灰色系统理论、未确知性数学等新兴的不确定性数学理论也为城市生态规划中不确定性的研究提供了新的工具。

#### 11.4.4.2 考虑不确定性因素的“弹性”城市生态规划

综上所述,城市生态系统中不确定性因素的存在导致了城市生态规划中的大量不确定性问题。如果在确定性城市生态系统中,规划的结果是确定的,那么在不确定性城市生态系统中,规划的结果则是不确定的,城市生态规划建设所能达到的目标也变得不确定了。

由于不确定性客观存在,我们在进行城市生态规划时,关键就在于如何去正确地认识

它、把握它，并尽量通过各种合适的途径减少其影响。在制定规划目标和规划方案时，完全可以采用“弹性规划”的构想，这其中既包括“弹性”规划目标，又包括“弹性”规划方案。“弹性”规划目标是指不再将规划目标固定为一个确定的、准确的值，而将其不确定化，即所谓的“不确定性”规划目标，或者称之为“弹性”规划目标；另外，在“弹性”规划目标的约束下，规划方案也可以是不确定的，例如在实际操作中，可以根据小城镇的现状水平、所面临的具体问题与发展条件等制定“弹性”规划的范围和标准，以城市生态化水平达到了“弹性”而不是固定的规划目标作为评价标准，将大大提高规划的适应能力。

“弹性”规划应该遵守两个原则：①范围原则，“弹性”规划应根据规划目标可能变化的幅度，而规定“弹性”相应的范围，作为约束条件用来保证规划目标的实现；②时空性原则，生态规划作为一种目标规划，不是现状的总结，因此在掌握“弹性”目标时，时间上要保证目标的超前性、预测性，而空间上应该站在区域宏观尺度上总体控制，如图 11.4 所示。

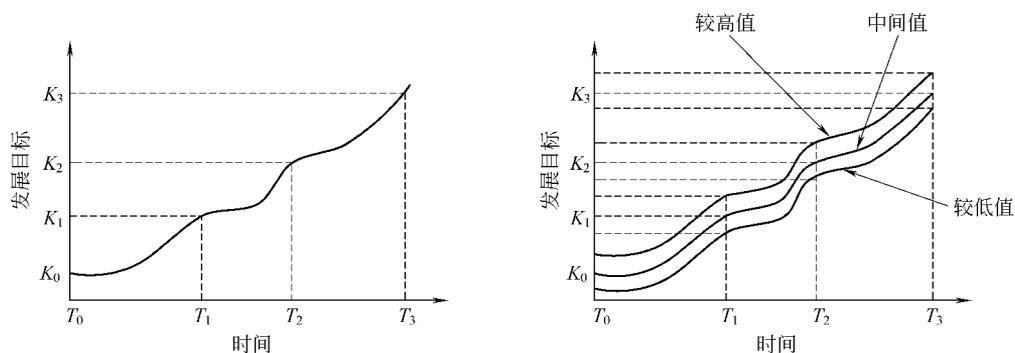


图 11.4 不同时间段弹性与固定发展指标的比较

(左图为小城镇主要的固定发展指标，右图为弹性指标)

如上所述，不难得知，这种具有不确定性特征的“弹性规划”的提出，既能够满足城市生态化水平发展的要求，又考虑到各种不确定性因素的制约，同时可操作性也更强。很显然，不确定性分析方法能够为不确定性影响下的城市生态规划提供坚实的理论基础和可行的方法。

#### 11.4.5 小城镇生态规划的不确定性研究

小城镇可持续发展问题，诸如经济发展与环境保护的问题，城乡二元化带来的种种社会问题等已引起了人们的普遍关注，因此，很多地区开展了小城镇生态示范区建设研究与实践。从绝大多数生态示范区（市、县）来看，不论是生态环境保护还是经济发展状况，开展试点后均比试点前有明显改善，甚至是长足进步。在生态示范区的对象选择上，相比较而言，同样是社会-环境-经济复合生态系统，小城镇比城市在经济发展、环境破坏、政策执行等方面都更为简单，在环境尺度上也更加有效、适度。因此，选择小城镇将比选择城市作为进行生态示范区建设的研究对象，具有更强的操作性和现实意义。而实现小城镇生态建设目标的过程中，小城镇生态规划是一个重要环节。

小城镇生态规划主要是以生态经济学原理为指导，以小城镇生态经济、环境、社会发展现状为研究对象，以合理利用资源、维护生态平衡、防范生态风险、实现生态补偿、促进经济-环境-社会复合系统协调高效发展为目标而进行的宏观控制性规划。目前关于小城镇生态规划国内外已有一些初步的研究，但对于小城镇发展中存在种种不确定因素考虑较少，这在很大程度上影响了小城镇生态规划的可操作性，以下主要分析小城镇生态规划中存在的不确

定性因素及产生原因，为小城镇生态规划提出一种新的思路。

#### 11.4.5.1 小城镇可持续发展面临的问题

建国以来，由于长期实行城乡隔离政策，形成了城乡对立的二元社会结构，体现在城市、农村与小城镇发展的可持续性上具有的差异性，如表 11.2 所列。

表 11.2 城市、农村、小城镇可持续性比较简表

指标体系		城市	农村	小城镇
社会体系	人口	高度集聚	分散	较集中
	就业机会	多	少	较多
	服务保障体系	齐全	欠缺	较齐全
	人际关系	较封闭	融洽	较融洽
	基础设施	发达完备	欠缺待发展	较完备
经济体系	生产部门	门类集中且高度集中	门类较少且分散	门类较多且相对集中
	产业结构	以第二、第三产业为主	以第一产业为主	以第二、第三产业为主
	经济效益	总量大且效益好	总量较小且效益较差	总量较大且效益较好
	产值费效比	较低	高	较高
资源体系	自然资源	贫乏	丰富	较丰富
	科技力量	较强	薄弱	较薄弱
	资金状况	较充足	不足	不足
	市场功能	较健全	不健全	不健全
环境体系	污染状况	污染严重,环境恶化	污染较少但需要重视环境恶化	污染加大,退化严重
	“三废”处理率	较高	低	较低
	生态系统	规模较大的复合人工巨生态系统	接近自然,生态系统的自然性较强	密切联系自然,规模适度的人工生态系统
	生态功能	稳定性差,自我调节能力较弱	稳定性好,自我调节能力较强	稳定性较好,自我调节能力较强
	环保意识	感受强烈,保护意识强	感受不强,意识薄弱	有感受,但意识不强

由表 11.2 可见，小城镇在社会体系以及经济体系方面功能比较完善，与城市比较接近，但在资源体系与环境体系方面问题比较严重：由于小城镇科技力量、资金状况、市场功能等方面比较薄弱，使资源利用效率比较低下，企业缺乏市场竞争力；在环保方面，环境污染问题日趋严重，但小城镇又不具备比较完善的环境污染与防治的体系与措施，因此小城镇的可持续发展将面临严重的威胁。

小城镇生态规划是小城镇可持续发展问题的有力途径之一，但必须认识到，小城镇生态规划的可操作性，不仅仅考虑到小城镇发展的确定性因素的影响，也必须考虑不确定性因素的作用。

#### 11.4.5.2 小城镇生态规划中的不确定性分析

小城镇生态规划所面临的不确定因素与城市生态规划在类型上大致相同，都主要来自外部和内部两方面：外部因素包括人类活动引起的不确定性、自然界引起的不确定性；内部因素主要指生态规划自身具有的不确定性。但在具体内容上还是有自身鲜明的特色。

#### 11.4.5.3 考虑不确定性问题的小城镇生态规划

通过前面我们可以了解到，小城镇不确定性有自然的因素，也有人类社会的因素，有的需通过自然科学的方法定量解决，有的与社会科学联系更加紧密，很难用定量的办法解决，因此应该对其同时进行定性与定量的分析，才能最大限度地减少不确定性对小城镇所带来的不利影响。总的来讲，在运用以上技术与方法来分析小城镇的不确定性因素时，必须从定性

的角度考虑以下几个方面影响因素。

① 小城镇生态规划本身就是一种多学科、综合的宏观控制性规划，解决不确定性问题首先要综合考虑生态、社会、经济三个方面的效益，而不仅仅以经济增长作为主要的目标。

② 要将生态规划当作一种社会规划而不仅仅是技术规划，着重在各种利益集团的表达、约束、平衡和实现的社会过程，在保证小城镇整体利益的同时，兼顾局部利益。

③ 从镇域规划到体系规划（区域、流域），目前关于小城镇规划分析一般不涉及县市的城镇类型、层次、结构关系的分析，而很多因素，例如人口预测、政策性调整等不确定性恰恰是因为没有从区域整体上考虑而造成的，因此把小城镇放到整个区域的城镇体系中去考察，才能增强小城镇规划的科学性，减少不确定性的影响。

## 参考文献

- 1 吴伟, 陈功玉, 王浣尘等. 环境污染问题的博弈分析. 系统工程理论与实践, 2001, (10): 115~119
- 2 刘贵利. 城市生态规划的理论与方法. 第二版. 南京: 东南大学出版社, 2002. 1~201
- 3 吴人坚, 王祥荣, 戴流芳. 生态城市建设的原理与途径. 上海: 复旦大学出版社, 2000. 1~17
- 4 黄亚平. 城市空间理论与空间分析. 南京: 东南大学出版社, 2003. 101~110
- 5 于志熙. 城市生态学. 北京: 中国林业出版社, 1992. 1~112
- 6 全川. 城市生态规划的理论与方法. 环境导报, 1998, (3): 4~6
- 7 王树功, 陈新庚. 珠海生态示范区建设与城市可持续发展对策. 城市环境与城市生态, 1998, 11 (2): 34~37
- 8 尼扎·穆罕穆德. 监测与评估——地方 21 世纪议程实施的基本原则. 见: 中国 21 世纪议程管理中心, 哈尔滨人民政府. 2000 可持续发展指标国际研讨会文集. 哈尔滨: 黑龙江人民出版社, 2000. 15~19
- 9 王祥荣. 城市生态规划的概念、内涵与实证研究. 规划师, 2002, 18 (4): 12~15
- 10 姜文超, 龙腾锐. 水资源承载力理论在城市规划中的应用. 城市规划, 2003, 27 (7): 78~82
- 11 廖志强, 金笠铭. 生态规划方法在庐山牯岭西谷控制性详细规划中的应用. 城市规划, 2003, 27 (5): 93~96
- 12 彭晓春, 陈新庚, 李明光等. 城市生长管理与城市生态规划. 中国人口、资源与环境, 2002, 12 (4): 24~27
- 13 肖红叶. 偶然事件是怎样锁定历史路径的——复杂性科学研究背景综述. 统计与信息论坛, 2003, 18 (2): 5~8
- 14 梁勤欧. 城市土地利用系统复杂性研究. 信息技术与管理, 2003, 20 (3): 40~43
- 15 《中国科学院复杂性研究》编委会. 关于促进复杂性研究的考虑. 北京: 科学出版社, 1993. 65~67
- 16 李士勇. 复杂系统、非线性科学与智能控制理论. 计算机自动测量与控制, 2000, 8 (4): 1~3
- 17 Fradkov A L. Nonlinear and adaptive control of complex system. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1999. 113~120
- 18 [日] 田村坦之. 系统工程. 北京: 科学出版社, 2001. 101~103
- 19 殷志云, 梅焜. 混沌理论与分形理论在热工过程中的应用. 常德师范学院学报, 2000, 13 (2): 57~61
- 20 金致凡. 分形学理论在大气环境时序数据分析中的应用研究. 福建地理, 2001, 16 (1): 1~4
- 21 Nicolis G, Prigogine I. Self-organization in nonequilibrium systems. New York: John Wiley & Sons, 1997. 131~135
- 22 张柄根, 赵玉芝. 科学与工程中的随机微分方程. 北京: 海洋出版社, 1980. 57~59
- 23 Jiahua Lei, Wolfgang Schilling. Parameter uncertainty propagation analysis for urban rainfall runoff modeling. Wat. Sci. Tech, 1994, 29 (1~2): 145~154
- 24 Masliev I. Probabilistic Methods for Uncertainty Analysis and Parameter Estimation for Dissolved Oxygen Models. Wat. Sci. Tech., 1994, 30 (2): 99~108
- 25 汪培庄. 模糊集合论及应用. 上海: 上海科学技术出版社, 1983. 1~3
- 26 邓聚龙. 灰色控制系统. 武汉: 华中工学院出版社, 1985. 7~9
- 27 苗东升. 把复杂性当作复杂性来处理——复杂性科学的方法论. 科学技术与辩证法, 1996, 13 (1): 11~13
- 28 郝柏林. 复杂性的刻画与“复杂性科学”. 物理, 2001, 30 (8): 466~472
- 29 王海云. 探索环境影响变迁的新途径——混沌分析. 重庆环境科学, 1999, 21 (4): 43~46
- 30 Juval Portugali. Self-organizing cities. Futures, 1997, 29 (4/5): 353~380
- 31 Thibault S, Marchand A. Urban form: scaling, fractal geometry and diffusion-limited aggregation. Environment and Planning, 2000, 21: 1447~1458
- 32 Haag G. The rank-size distribution of urban systems as dynamic multifactorial phenomenon. Chaos, Soliton and Fractals,

- 1994, 14 (4): 519~534
- 33 陈勇, 艾南山. 城市结构的分形研究. 地理学与国土研究, 1994, 10 (4): 35~47
- 34 张宇星. 城市和城市群形态的空间分形特性. 新建筑, 1995, (3): 42~46
- 35 Batty M, Longley P A. The fractal simulation of urban Structure. Environment and Planning A, 1998, (18): 1143~1152
- 36 Batty M, Longley P A. Fractal - based description of urban form. Environment and Planning B, 1994, (14): 123~129
- 37 汪子江, 龚昌德. 分形凝聚研究. 物理学进展, 1990, (10): 1~7
- 38 Guido Buenstorf. Self-organization and sustainability: energetics of evolution and implications for ecological economics. Ecological Economics, 2000, (33): 119~134
- 39 Luis A, Bojo Rquez-tapia, Lourdes Jus. Integrating Fuzzy Logic, Optimization, and GIS for Ecological Impact assessments. Environmental Management, 2002, 30 (3): 418~433
- 40 Ranjit Kumar Upadhyay, Iyengar S R K. Stability and complexity in ecological systems. Chaos, Solitons and Fractals, 2000, (11): 533~542
- 41 Sazykina T G, Alekseev V V, Kryshev A I. The self-organization of trophic structure in ecosystem models: the succession phenomena, trigger regimes and hysteresis. Ecological Modelling, 2000, (133): 83~94
- 42 Milan Straskraba. Natural control mechanisms in models of aquatic Ecosystems. Ecological Modeling, 2001, (140): 195~205
- 43 Bianciardi C, Ulgiati S. Modelling entropy and exergy changes during a fluid self-organization process. Ecological Modelling, 1998, (110): 255~267
- 44 吴次芳, 陈美球. 土地生态系统的复杂性研究. 应用生态学报, 2002, 13 (6): 753~756
- 45 张知彬, 王祖望, 李典谟. 生态复杂性研究——综述与展望. 生态学报, 1998, 18 (4): 433~441
- 46 张庆普, 胡运权. 城市生态经济系统复合 Logistic 发展机制的探讨. 哈尔滨工业大学学报, 1995, 27 (2): 131~135
- 47 何池全, 赵魁义, 赵志春. 从湿地生态系统的全息性论湿地生态场. 南昌理工大学学报, 2000, 24 (1): 15~19
- 48 Steven M Manson. Simplifying complexity: a review of complexity theory. Geoforum, 2001, (32): 405~414
- 49 Govert D Geldof. Policy analysis and complexity - a non-equilibrium approach for integrated water management, Wat. Sci. Tech. 1995, 31 (8): 301~309
- 50 Sivakumar B. Chaos theory in hydrology: important issues and interpretations. Hydromatics, 2000, (227): 1~20
- 51 Thomas D N, Fawcett N, Judd S J. Entropy and water management. Water and Environmental Management, 2000, (14): 442~446
- 52 Malcolm Hollick. Self-organizing systems and environmental management. Environmental Management, 1993, 17 (5): 621~628
- 53 Kosim Kocak, Levent Saylan, Orhan Sen. Nonlinear time series prediction of O<sub>3</sub> concentration in Istanbul. Atmosphere Environment, 2000, (34): 1267~1271
- 54 Zhu Jian Lin, Liu Zhi Guo. Long-range persistence of acid deposition. Atmosphere Environment, 2003, (37): 2605~2613
- 55 Lu Tong. Model for chaos control of regional Ec-R-Ev system. Transactions of Tianjin University, 2001, 7 (2): 81~85
- 56 金致凡. 分形学理论在大气环境时序数据分析中的应用研究. 福建地理, 2001, 16 (1): 1~4
- 57 冯国章, 宋松柏, 李佩成. 水文系统复杂性的统计测度. 水利学报, 1998, (11): 76~80
- 58 魏一鸣. 自然灾害复杂性研究. 地理科学, 1998, 18 (1): 26~31
- 59 林逢春, 王华东. 区域 PERE 系统的通用自组织演化模型. 环境科学学报, 1995, 15 (4): 488~496
- 60 杨秀虹, 李适宇. 耗散结构理论在环境承受阈研究中的应用初探. 环境科学学报, 2000, 20 (6): 785~789
- 61 王海云. 探索环境影响变迁的新途径——混沌分析. 重庆环境科学, 1999, 21 (4): 43~46
- 62 周寅康, 王腊春, 许有鹏等. 淮河流域洪涝变化的耗散性. 地理研究, 2000, 19 (3): 277~282
- 63 权先璋, 蒋传文, 张勇传. 径流预报的混沌神经网络理论及应用. 武汉城市建设学院学报, 1999, 16 (3): 33~36
- 64 田风巍, 解建仓. 用非平衡系统理论认识水资源系统分析中的问题. 西安理工大学学报, 1997, 13 (4): 314~323
- 65 易顺民, 赵文谦, 蒲迅赤. 河流水环境有机污染物的自组织预测模型及应用. 环境科学研究, 1999, 12 (4): 46~49
- 66 刘国东, 丁晶. 水环境中不确定性方法的研究现状与展望. 环境科学进展, 1996, 4 (4): 46~51
- 67 黎夏, 叶嘉安. 约束性单元自动演化 CA 模型及可持续城市发展形态的模拟. 地理学报, 1999, 54 (4): 289~298
- 68 Yan liu, Stuart R Phinn. Developing a cellular automaton model of urban growth incorporating fuzzy set approaches.

www.geocomputation.org. 2003-04-08

- 69 苏小康, 曾光明, 黄国和等. 非平衡自组织理论在城市环境系统中的应用研究. 环境科学与技术, 2002, 25 (3): 3~6
- 70 Huang G H. A hybrid inexact-stochastic water management model. European Journal of Operational Research, 1998, (107): 137~158
- 71 Huang Y F, Baetz B W, Huang G H. Violation analysis for solid waste management systems: an interval fuzzy programming approach. Journal of Environmental Management, 2002, (65): 431~446
- 72 Guo H C, Liu L, Huang G H. A system dynamics approach for regional environmental planning and management: A study for the Lake Erhai Basin. Journal of Environmental Management, 2001, 61: 93~111
- 73 Huang G H, Wu S M, Guo H C. An interactive inexact-fuzzy approach for multiobjective planning of water resource systems. Wat. Sci. Tech., 1997, 36 (5): 235~242
- 74 李晓江. 重视城市发展的多样性和复杂性. 城市规划, 2000, 24 (1): 36~37
- 75 方可. “复杂”之道——探求一种新的旧城更新规划设计方法. 城市规划, 2000, 23 (7): 28~33
- 76 尤阿辛·福格特, 孟广文译. 城市生态学导向的空间发展规划及存在问题. 城市环境与城市生态, 1998, 11 (2): 23~27
- 77 何兴华. 关于城市规划科学化的若干问题. 城市规划, 2003, 27 (6): 25~29
- 78 金经元. 芒福德和他的学术思想. 城市规划, 1995, (1): 51~56
- 79 冯向东. 论城市持续发展与绿色景观规划. 规划师, 1997, (2): 50~53, 64
- 80 黄肇义, 杨东援. 国内外生态城市理论研究综述. 城市规划, 2001, 25 (1): 59~66
- 81 欧阳志云, 王如松. 生态规划回顾与展望. 自然资源学报, 1995, 10 (3): 203~215
- 82 Groeneveld, J, Enrich N J, Lamout B B, et al. A spatial model of coexistence among three banksias species along a topographic gradient in fire-prone shrublands. Journal of ecology, 2002, 90 (5): 762~774
- 83 Dustmann, Christian. Return migration, uncertainty and precautionary savings. Journal of Development Economics, 1997, 52 (2): 295~316
- 84 Salyer, Kevin D. Overlapping generation and representatives agent models of the equity premia: implication from a growing economy. Canadian Journal of Economics, 1988, 21 (3): 565~578
- 85 Dominique Guyonnet, Bernard Côme, Pierre Perrochet, et al. Comparing two methods for addressing uncertainty in risk assessments. Journal of Environmental Engineering, 1999, 125 (7): 660~666
- 86 Melching, Charls S, Yoon, Chun G. Key sources of uncertainty in QUAL2E model of Passaic River. Journal of Water Resources Planning and Management, 1996, 122 (2): 105~113
- 87 Singer, Hermann. Continuous panel models with time dependent parameters. Journal of mathematics Sociology, 1998, 23 (2): 77~98
- 88 赵景柱. 社会-经济-自然复合生态系统持续发展评价指标的理论研究. 生态学报, 1995, 15 (3): 327~330
- 89 马世骏, 王如松. 社会-经济-自然复合生态系统. 生态学报, 1984, 4 (1): 1~9
- 90 张坤民, 温宗国. 城市生态可持续发展指标的进展. 城市环境与城市生态, 2001, 14 (6): 1~4
- 91 傅伯杰, 陈利顶, 马诚. 土地可持续利用评价的指标体系与方法. 自然资源学报, 1997, 12 (2): 113~118
- 92 陈百明, 张凤荣. 土地资源合理利用指标体系与评价方法的研究. 自然资源学报, 2001, 16 (3): 197~203
- 93 杨建森. 生态城市的构架理论研究. 城市环境与城市生态, 2001, 14 (5): 59~61
- 94 郭秀锐, 杨居荣, 毛显强等. 生态城市建设及其指标体系. 城市发展研究, 2001, 8 (6): 54~58
- 95 Daniel Goodman. Extrapolation in risk assessment: improving the quantification of uncertainty, and improving information to reduce the uncertainty. Human and Ecological Risk Assessment, 2002, 8 (1): 177~192
- 96 Wayne G. Landis. Uncertainty in the Extrapolation from Individual Effects to Impacts upon Landscapes. Human and Ecological Risk Assessment, 2002, 8 (1): 193~204
- 97 方创琳, 毛汉英. 区域发展规划指标体系建立方法探讨. 地理学报, 1999, 54 (5): 411~419
- 98 张民顺. 层次分析法在城市环境规划指标体系研究中的应用. 环境科学研究, 1995, 8 (5): 13~19
- 99 全川. 城市生态规划的理论与方法. 环境导报, 1998, (3): 4~6
- 100 吕永龙, 王如松. 城市生态系统的模拟方法: 灵敏度模型及其改进. 生态学报, 1996, 16 (3): 308~313
- 101 肖明耀. 误差理论与应用. 北京: 计量出版社, 1985
- 102 孙迪, 吴人韦. 朱家尖岛总体规划中的生态控制浅析. 中国园林, 2002, (1): 5~7
- 103 李太福, 杨志, 盛朝强等. 不确定性系统控制的相关问题分析. 重庆大学学报(自然科学版), 2002, 25 (2): 20~23
- 104 杨志, 邓仁明. 高能耗行业中不确定性系统的控制问题. 自动化科学和技术. 北京: 电子工业出版社, 2000.12

- 105 沈英娃, 曹洪法. 生态风险评价方法简述. 中国环境科学, 1991, 11 (6): 464~468
- 106 邓聚龙. 灰色系统(社会·经济). 北京: 国防工业出版社, 1985. 1~327
- 107 邓聚龙. 灰色系统基本方法. 武汉: 华中工学院出版社, 1987. 1~217.
- 108 刘开第, 吴和琴, 王念鹏等. 未确知数学. 武汉: 华中理工大学出版社, 1997. 1~263
- 109 陈晓浒, 马万华. 小城镇可持续发展指标体系初探. 城市研究, 1998, 69 (2): 39~42
- 110 王敬华, 乔忠, 刘革. 小城镇镇域生态功能分区规划浅析——以鹿泉市大河镇为例. 河北农业大学学报, 2002, 25 (4): 122~125

## 思考题

1. 城市生态规划的复杂性研究包含哪些内容? 简单介绍各自特点。
2. 城市生态规划包含哪些不确定性因素, 应该如何减少城市生态规划中的不确定性影响?
3. “弹性”规划为什么能减少城市生态规划的不确定性?

### 12.1 城市模型的发展现状与面临的问题

早期的城市生态系统研究往往注重城市生态系统空间结构的成因。而现代城市生态学家更倾向于改良城市空间结构、建立城市发展机制、协调城市社会阶层的各种关系等方面。通过城市模型来模拟城市生态的发展演变,来达到描述城市系统现状和面临的问题,以及模拟、预测城市系统未来发展的目的,是城市生态规划的重要内容之一。

模型是对真实系统或现象最重要的组成单元及其相互关系的表述。真实系统或现象的哪些组成单元最重要不但与这些系统或现象本身的特点有关,而且与研究目的也有密切关系。

采用模拟模型的方法研究城市和区域发展及其空间结构的演化具有悠久的历史。这一传统可以追溯到 Hgerstrand 对空间扩散过程的研究。20 世纪 70 年代产生了大量的空间模型,其中的绝大多数本质上属于经验类的拟合。80 年代以来,这方面的理论和建模有了长足的发展。例如,Allon 和 Sanslor 模拟了城市等级体系作为自组织系统的进化过程,取得了很大的突破。Batty 根据有限扩散集聚(DLA)过程模拟城市生态和城市扩张。Krug-man 等人在积极倡导“新经济地理学”的同时也强调利用新的模型策略和计算机模拟研究空间问题的重要性。

童明认为:从原理上来看,城市模型主要有四种类型,其中三种是针对城市系统局部问题并分别以重力、线性、优化数学原理为基础

而得出的重力模型、线性模型和优化模型。第四种类型则是前三种的不同组合。在实践中由于针对各自具体环境,不存在任何两个完全相同的具体模型,但根据其数学原理,基本上都可以归于这四种类型。

从实际应用来看,城市模型主要分三个类别:①部分模型和总体模型,部分模型只针对整个城市系统的一个子系统,而总体模型则考虑一组子系统;②优化模型和非优化模型,两者都是针对现实世界的真实情况,优化模型则是用来在各种情况中得出最佳的布局方案;③线性模型和非线性模型。

从模型的特征上来看,几乎所有城市模型都是程式性的和预测性的。之所以是程式性的,是因为它们以一种固定的数学公式来表达,并且其结果完全是由这些公式来决定的。城市模型的意义不仅是描述性的,更重要的意义在于预测性,因为它们不仅描述城市系统,而且可以对未来情况作出预测性的市(地区)的具体规划过程。

城市模型的另一个特点是静态的或相对静态的等式模型。因为它们处理的是在特定时间内的估计,将各项规划政策进行比较,来辅助进行操作。相对静态是指它可以对未来某一个时间、地点的情况进行预测,但本质上还是静态的。由于城市系统一直处于动态的、非平衡的状态之中,所以没有足够的理论来解释大量复杂的现象和动态的机制,因而不可能产生真正意义上的动态城市模型。

城市模型也是宏观整体模型。无论是空间型的还是变量型的,城市模型不能处理个体行为模式,它们只能处理一个地区、一个城市的问题,只能针对共性的和集体性的问题,只能针对一个普遍意义的群体性的购物交通模式,而不能是个体的。

现代城市规划方法的着眼点已不再停留于表面的空间物质形态,而是深入对城市发展机制各个组成要素的分析研究。早期盖迪斯所提出的规划过程是“调查—分析—规划”,虽然这种本质上仍属直观判断的方法缺乏理论上的信服力,但主要思想被保留下来,并结合新出现的系统工程学思想,形成一定的系统方法过程。这种过程一般包括:限定规划任务的目标并辨析特定的问题;对过去和现在的情况进行彻底分析并预测未来可能存在的任何有所不同的活动;产生几个不同的政策方向,用优化方法来获得一个关于未来的适当政策。在这个过程中各个阶段之间存在连续性的反馈过程,直到问题得到明确,形成对城市系统的认识看法。

城市模型主要用来进行交通规划、土地使用规划和管理,对一个地区中的工业发展、人口、就业在空间上的分布作出决策。

城市模型方法的实践并不顺利,在20世纪80年代开始受到越来越多的批评。对于城市模型的批评主要来自于以下几方面。

① 过高的费用。

② 由于城市系统模型巨大而又复杂的特征,使得它们的使用者花费很多的时间和精力来熟悉和理解,要熟练地理解和运用模型必须要具备良好的数学基础,而这点对于大多数城市规划设计和管理人员是非常缺乏的。

③ 缺乏适应性。在模型的开发过程中,研究人员仅能模拟与他们相关的城市环境,在模型中有许多不确定的变量使得模型很难操作。

④ 缺乏普遍性。以往人们认为城市模式比城市模型更具实践性,需要使用者、政策制定者、市民和城市规划人员共同解决实践中存在的问题,正确处理好模型开发中的“供-求”关系还需走很长的道路。

⑤ 过高的期望值。对于模型方法未来方向的把握，不能仅仅局限于模型本身的开发研究工作中，而应该着重于城市规划和管理的实际问题。

20 世纪 70 年代以来，人们对城市系统的观念发生了巨大的变化，城市规划的方法和观念也相应地作出了很大的调整。因此，需要在模型方法的研究工作中充分掌握并体现模型对象的运行方式。对城市复合生态系统整体上的研究成为城市模型的一个重要趋势，但由于城市巨系统涉及的参变量太多，数据的收集往往又残缺不全，按常规方法建立的城市模型往往过于复杂，无法操作，或者根本无法对对象进行模拟，在这种情况下，一些基于黑箱、灰箱原理的复杂性模型被引入研究城市系统，例如基于自组织理论的城市资源与环境系统模型，它的原理是将城市看作自组织的系统，通过模拟城市的自组织过程，目前这个方向的研究已经取得了一定的成果。本章拟以几个实例来探讨城市模型在城市复合生态系统中的应用。

## 12.2 城市生态系统的景观复杂性模型

由于景观调控的是从生态系统整体的角度加以研究，因此不仅仅是一些定性的原则与方法所能解决，必须包含对生态系统现状的模拟以及对未来的预测，通常人们采用数学模型模拟生态系统的变化。但生态系统以及数学模型本身存在着很多复杂性因素，影响着模拟与预测的结果。因此人们将考虑了复杂性的模型引入城市生态系统的研究；再者，宏观景观调控关注生态系统的水平生态过程，实际上以生态系统的空间变化作为研究重点，而景观模型比其他的模型具有更大的优势。

## 12.3 空间生态系统过程模型在城市生态系统中的研究与应用

### 12.3.1 城市生态系统模型的概念

在生态学中一般所谈及的模型是指数学模型。数学模型，尤其是计算机模拟模型，在景观生态学研究占有十分重要的地位。城市生态系统模型也可分为实体模型（形象模型）与抽象模型两大类。抽象模型中，概念模型、模拟模型和数学模型是其基本的类型。概念模型是对生态系统的一种简化的定性描述，用于表示系统组成和相互关系，它是抽象模型中最基本的模型。模拟模型就是用便于控制的一组条件来代表真实事物特征，通过模仿性试验来了解实体的规律。采用数学语言对湿地进行定量描述就是生态数学模型。从模型反映的动力过程来看，模型可分为生态模型、化学模型和形态变化模型；按照功能过程来看，可包括物质循环（C、H、O、N、P、K 等）模型、能量流动模型；按其结构来看，可包括植物生长模型及空间场生态模型等；按时间变化而言，可分为静态模型和动态模型等。

城市生态系统模型可用作管理工具，以定量评价绿地开发活动及保护管理活动带来的环境影响。

城市生态模型可用作预测评价工具，以预测土壤、植被、水文等特征的变化；城市生态系统模型还可作为实验工具，以检验城市绿地的概念、理论和方法；生态系统模型还可应用于城市生态系统设计、恢复和重建。由于城市生态系统的复杂性，在系统的各部分之间存在不同种类的物种、能量传输交换和相互作用，涉及污染物迁移转化过程、泥沙运移过程及其他生态过程等。不同的城市生态系统类型健康状态亦不同，应用的城市生态系统模型也有

差异。

### 12.3.2 城市生态系统模型面临的复杂性问题

目前将空间生态系统等景观模型运用于城市生态系统之中，面临着种种复杂性，影响着预测模型以及模拟的结果。

(1) 生态系统模型类型的复杂性 由于生态系统类型复杂多样，周边环境影响轻重不同，不同的时空尺度对应着不同的绿地状态，从同样的目的出发而在不同的时空尺度内采样、设计与建模会得到不同的模型表达，特别在各个参数的选择上差别很大，因此，要应用模型来描述湿地系统和系统的行为，就要对研究系统作某种简化，集中反映绿地系统最本质的特性，特别是绿地的功能方面。

(2) 模型建立过程的长期性和艰巨性 在短期内，由于数据量的不足和采样、分析的瞬时性，导致了所建立的模型不能正确反映现实和运转的湿地系统，从而使得出的模型规律性差。因此，没有长期的定位监测，很难得出有效的模型。

(3) 生态系统模型的实用性 目前实用性模型并不多，主要是因为许多模型出现了两个极端：一是模型过于复杂，在理论上是可行的，但很难操作；二是模型过于简单，很难反映湿地本身的运行规律。当然也有一些模型既适于研究对象，又具有一定的普遍性，很值得参照。

### 12.3.3 空间生态系统过程模型的应用

基于城市生态系统模型存在的问题，因此引入景观复杂性模型，常见的景观复杂性模型包括以下几种：只考虑景观格局变化的空间概率模型或空间马尔柯夫模型、细胞自动机模型以及强调景观过程的动态机制模型。景观动态机制模型包括空间生态系统模型和空间显式缀块动态模型。

景观复杂性模型的重要性和必要性体现在以下几个方面：①由于受时间、空间以及设备和资金的限制，在大尺度上进行实验和观测研究往往困难重重，而模型可以充分利用和推广所得的有限数据；②在实际景观研究中，由于很难找到两个在时间和空间上相同或相似的景观，重复性研究往往不可能，而这一问题可通过模型模拟来帮助解决；③景观空间结构和生态学过程在多重尺度上相互作用、不断变化，对于这些动态现象的理解和预测就必须借助于模型；④景观模型可以综合不同时间和空间尺度上的信息，成为环境保护和资源管理的有效工具。与其他生态学领域相比，景观生态学中模型的应用更广泛、更具多样性。

这里主要介绍空间生态系统模型的应用。

空间生态系统模型是景观机制模型的一种，后者也称为景观过程模型，它是从机制出发来模拟生态学过程的空间动态。景观的结构和功能是相互作用的，因此，要真正理解景观动态就必须考虑空间格局和生态学过程之间的相互作用。近些年来，越来越多的景观动态模型在不同程度上包含有生态学过程和机制。广义地讲，这些过程和机制包括动物个体行为、种群动态和控制、干扰扩散过程、生态系统物质循环以及能量流动等。例如空间生态系统过程模型（如图 12.1 所示）和空间缀块动态模型。这些模型在数学方法上种类多样，而且常常是前面提到的不同类型模型的复合体。

空间生态系统过程模型可以用下面的一般数学公式来表示：

$$\frac{\partial S_i}{\partial t} = f_i(S, F) + \Delta \cdot (D_i \Delta S_i) \quad (12.1)$$

式中， $S_i$  表示某一生态学变量（如养分含量、种群密度、干扰面积）； $F$  表示环境因素

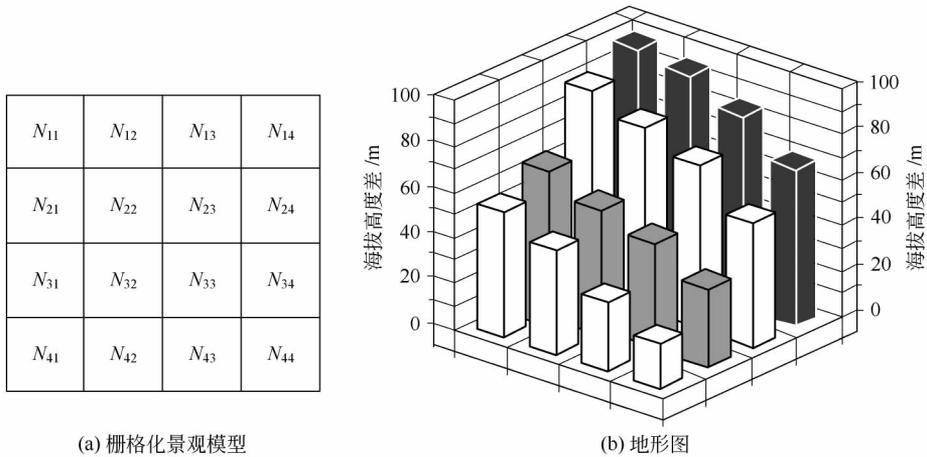


图 12.1 简单空间生态系统模型应用范例 (邬建国, 2000)

的影响 (如温度、水分、光照、风);  $t$  表示时间;  $D_i$  是表示所研究过程的空间扩散或传播能力的系数;  $\Delta$  表示空间梯度 (可以是一维、二维或三维的)。

以一个简单的例子说明这类模型在城市生态系统功能过程中的应用: 建立一具有地形梯度的景观中氮的物质循环模型, 模型由  $4 \times 4$  个栅格细胞组成。模型的目的是描述土壤中氮含量在空间和时间上的变化。因此, 模型的状态变量是每个栅格细胞中的氮含量 ( $N_{11}, N_{12}, \dots, N_{44}$ )。它们随时间的变化可由下式表示:

$$N_{ij}(t+1) = N_{ij}(t) + (F_{ij}^{\text{in}} - F_{ij}^{\text{out}}) \Delta t \quad (12.2)$$

式中,  $N_{ij}(t+1)$  和  $N_{ij}(t)$  分别表示细胞  $ij$  在  $t+1$  和  $t$  时刻的含氮量;  $F_{ij}^{\text{in}}$  和  $F_{ij}^{\text{out}}$  分别表示细胞的氮转化率和输入率;  $\Delta t$  表示模型的时间步长。氮的输出率可以简单地规定为地形梯度 ( $\Delta H/\Delta L$ ) 和细胞中氮含量的函数, 即:

$$F_{ij}^{\text{out}} = f\left(\frac{\Delta H}{\Delta L}, N_{ij}\right) \quad (12.3)$$

式中,  $\Delta H/\Delta L$  可以根据相邻细胞的海拔高差和栅格细胞的大小求出 (即高度差与细胞边长之比), 上式最简单的形式是:

$$F_{ij}^{\text{out}} = d \frac{\Delta H}{\Delta L} N_{ij} \quad (12.4)$$

式中,  $d$  是一转化常数,  $F_{ij}^{\text{in}}$  的计算包括从邻胞流入的氮量以及其他形式的输入 (如降雨、施肥等), 从该景观模型中的状态变量和各个方向的输入与输出流显然可见, 氮的输送方式是由地形决定的, 处于最高处的细胞含氮量呈指数下降, 处于最低点的细胞含氮量 ( $N_{44}$ ) 呈则呈指数上升, 其他细胞的动态反映了地理位置的影响和时滞效应。

上面的例子可以扩展到更大的空间尺度上, 并考虑一系列物理和生态学过程。一种常见的方法是把景观按空间异质性 (生态系统类型) 分成许多空间单元 (或栅格细胞), 然后将结构上相同或相似的生态系统单元模型 “移植” 到这些空间栅格细胞中。由于空间单元在土壤、地形以及生物等方面的特征反映了景观的空间异质性, 再加上考虑单元间的能量、物质交换过程, 这类空间生态系统模型能够比传统的非空间生态系统模型更为准确地模拟不同尺度上景观功能。这类模型的结构很适宜与 GIS 和遥感技术结合。这也是目前研究景观格局与过程相互作用的一个重要模型途径。图 12.2 给出一个结合遥感和 GIS 技术来建立空间生

态系统模型的概念模式。相似的途径亦可以应用到对植被演替、干扰扩散、复合种群动态等过程的研究中。

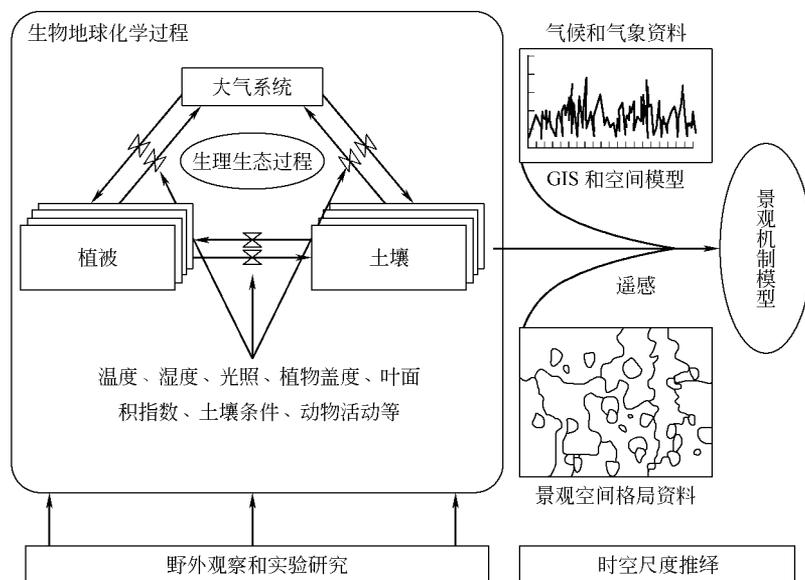


图 12.2 整合遥感、GIS 和计算机模拟为一体建立空间景观机制模型的一般途径 (邬建国, 2000)

大多数现有的空间生态系统模型是用来研究环境因子与植被的空间异质性是如何影响生态系统过程的，换言之，其重点在于格局对过程的影响。输入或驱动变量的空间异质性往往是通过 GIS 数据层或类似手段来提供，因此缺乏过程对格局的反馈作用。通过将 GIS 和动态模型整合到一起，这个问题可以得到解决。另一个途径就是将空间格局模型和过程模型耦合在一起，如植被动态的空间概率模型与生态系统养分循环模型的耦合；或土地利用变化细胞自动机模型和生物地球化学循环模型的耦合。

## 12.4 基于自组织理论的城市资源与环境系统模型

自组织是在一定条件下，由于系统内子系统的相互作用，使系统形成具有一定功能、结构的过程。通过研究自组织的模式特点，可以深入了解系统的整体性质特点与子系统相互作用之间的关系。自组织过程是个动态过程。协同和耗散结构论同属于自组织理论，协同学侧重于从动力学角度阐述系统自组织产生的机制。

自组织理论关于有序与无序相互转化机制的研究具有许多独到之处。非平衡自组织理论认为，开放系统如果在远离平衡的非线性区，通过引进负熵和正反馈循环，经涨落或起伏，将从无序状态进入有序状态即耗散结构。按照非平衡自组织理论，系统进入有序状态的主要条件是：系统必须是开放的，即系统内外环境之间要有物质、能量、信息的交换和流通，并且必须使系统从外部输入的负熵流绝对值大于系统内部的熵增加，如下式所示：

$$dS = deS + diS < 0 \quad (12.5)$$

式中， $deS$  称熵流，可为正可为负也可为零。但形成耗散结构时  $deS$  即是负熵流； $diS$  是内部的熵，产生这部分绝对不会为负，即  $diS > 0$ 。一旦系统封闭起来无论是物理系统、

生命系统还是社会系统都只能自发地走向无序。即使在开放系统中如果系统不是从环境中引进负熵而是引进正熵也会加速系统向无序退化。除此之外系统进入有序状态还必须具备以下四个基本条件：①系统必须处于远离热平衡态；②系统内部的各要素之间存在非线性的相互作用；③系统存在正反馈；④系统内部产生涨落和突变。

非平衡自组织理论的方法和思想中蕴含着许多重要的方法论启示，现已引起各门科学的普遍重视。从城市生态规划的发展来看，至少可以从非平衡自组织理论的思想方法中得到如下的启示。

(1) 要从系统化、整体化的观点来研究和揭示城市的空间发展规律 自组织理论方法属于系统科学方法。自组织理论方法要求我们把研究对象看作一个整体，把事物的普遍联系和永恒运动看成一个总体过程，全面地把握和控制对象，综合地探索系统中要素与要素、要素与系统、系统与环境、系统与系统的相互作用和变化规律，把握住对象的内环境与外环境的关系，以便有效地认识和改造世界。城市是一个复杂、开放、动态的巨系统，这个系统包含的内容很广，不仅包括生产、消费、流通等空间现象，也包罗造成各种空间现象的非空间过程。城市系统的复杂性，必然要求从综合的、整体的角度来研究城市发展问题。采用自组织理论思想方法来研究城市系统时，可以把城市自组织过程视为由种种关系和相互联系交织起来的网络画面，同时尽可能将此画面做组织化的科学抽象，从而具体地反映和把握城市的运行规律。

(2) 对城市空间的自组织演化规律进行系统化研究 城市发展的空间首先在优势区位得到发展，由于区位之间存在差异，产生了位势，促使人类活动从低位势向高位势流动，从而形成城市系统从无序走向有序的一种负熵流，产生了自组织现象。由人口流、信息流、物资流等共同作用形成了空间聚集，聚集的结果使区位规模发生了变化，由于规模效应的作用，又产生新的势和流，进一步产生新的自组织现象，使城市空间继续聚集和演化。另外，城市空间的演替如商业替代居住、学校替代工厂、金融替代商业等，这些看来非常偶然的现像，其实也有着隐藏的秩序，其发展的结果仍然形成一个整体有序、有活力的空间结构。城市生态规划的一个重要任务，就是研究、揭示城市空间自组织现象的形成和发展的客观规律性。

城市资源与环境系统是一个非平衡的巨系统和结构极其复杂的开放系统。随着人类对环境作用的逐步加强，人与环境之间的矛盾变得越来越突出，全球性的环境污染问题是其具体表现之一。而解决这一问题的根本出路在于，从摸清发生污染的城市资源与环境系统的结构及问题产生的过程入手，寻求协调、控制的途径，逐步实现系统的有序化。

迄今为止，已有一些学者利用自组织理论来定量研究城市资源与环境系统的协调发展问题。

1989年，孙本经、王华东以“人-环境系统是自组织系统”为出发点，应用自组织理论建立了非线性动力学模型，模拟了河南省焦作市人-环境系统的演化，预测了焦作市将来的人口-环境和经济状况，并进行了协调控制研究。

继孙本经之后，朱华伟于1989年，周建平、赵彩凤等人于1991年利用自组织理论分别对甘肃白银市、浙江开化华埠地区等城市环境经济系统进行了协调发展研究，得到了较好的结论。

1993年，漆安慎、赵彩凤等人利用自组织理论与方法建立了描述工业-环境系统时间演化的非线性动力学模型，刻画了产值、环保投资、改进生产技术以及环境容量间的数量

关系。

1995年，林逢春、王华东分析了区域人口-经济-资源-环境系统中的自组织过程，建立了区域系统的自组织演化模型。

在以上研究中，建立了城市资源环境与经济系统的非线性演化模型，这些模型经适当修正后，可用于其他类似系统。参考上述研究成果，并对之进行改进与补充，我们拟建立更加完整与适用的城市资源与环境系统协调控制模型。

#### 12.4.1 城市资源与环境系统中的自组织过程

按照不同经济部门对人口发展的不同影响，可以把经济部门分为基本产业部门（包括农业和工业）和第三产业部门。如前所述，基本产业部门本身的发展更多地依赖于资源、设备、技术，较少地依赖于人口数量，它与人口的关系仅在于提供就业机会。第三产业则不同，它是直接为人们服务的产业，因此，它的发展，一方面给人们提供就业机会，另一方面又取决于人口的多少。

根据图 12.3，可以清楚地看出城市资源与环境系统的自组织过程。自然资源的质和量决定了基本产业的发展，而基本产业的发展 and 人口增长两个方面又决定了基本产业的失业率。人口增多，失业率加大；基本产业发展了，失业率又会下降。人口决定了对第三产业的需求量，同样，第三产业的发展 and 人口的增长决定了第三产业失业率。影响人口迁移的因素很多，基本产业、第三产业的失业率、环境状况、区域人口数量都影响人口迁移，同时，迁移行为会使人口数量发生变化。人口数量、基本产业与第三产业的发展情况都会影响环境状况，而人们环境意识的提高又会反作用于基本产业和第三产业，通过环保措施来影响环境状况。由于上述复杂的相互作用，城市资源与环境系统有着多种多样的演化结果。人口、经济、资源、环境协调发展就是演化中的一种状态，是一种稳定有序的状态，这种状态是城市资源与环境系统协同作用，是自组织的结果。

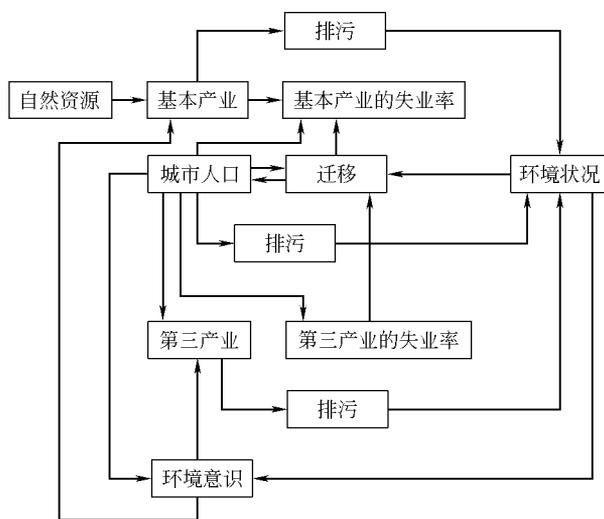


图 12.3 城市资源与环境系统自组织过程框图

#### 12.4.2 变量的选取

根据协同理论的伺服原理，对于一个复杂的城市资源与环境系统，可以用一个或几个慢变量来描述系统的演化行为，即用协同学中提出的绝热消去法得到系统的序参量。自组织理

论讨论实际系统的数学方程虽然复杂，但变量的个数却很少。目前，绝热消去法在实际城市资源与环境系统中的应用还不够成熟，这也是未来研究的一个很有意义的方向。在本文模型的建立过程中，在对城市资源与环境系统分析的基础上，结合前人研究的经验，选用以下几类变量来描述城市资源与环境系统：

- ① 城市总人口及城市各分区人口；
- ② 产业产值；
- ③ 资源获取量；
- ④ 排污量。

### 12.4.3 城市资源与环境系统协调控制模型体系

根据前述自组织理论建模的一般方程与方法，建立如下城市资源与环境系统协调控制模型体系。

(1) 人口发展模型 总人口模型：

$$\frac{dP_1}{dt} = \epsilon(\lambda P_1 + M^{\text{in}} - M^{\text{out}}) \quad (12.6)$$

$$M^{\text{in}} = a \sum_{m \neq 1} N_m \frac{A_{1m}}{\sum_l A_{lm}} \quad (12.7)$$

$$M^{\text{out}} = a' \sum_{m \neq 1} N_1 \frac{A_{m1}}{\sum_l A_{l1}} \quad (12.8)$$

$$A_{1m} = (\phi_1 \frac{G_1}{G_m} + \phi_1 \frac{F_1}{F_m} + \phi_1 \frac{W_1}{W_m} + \phi_1 \frac{H_1}{H_m} + \phi_1 \frac{J_1}{J_m}) e^{-d_{1m}} \quad (12.9)$$

上述四式中， $P_1$  为研究城市（下称本市）的总人口数； $\lambda$  为本市人口自然增长率； $t$  为时间； $M^{\text{in}}$ ， $M^{\text{out}}$  分别为本市人口年机械迁入、迁出量； $N_1$ ， $N_m$  分别代表本市和  $m$  市可以自由迁移的人口； $A_{1m}$ ， $A_{m1}$  分别代表本市对  $m$  市和  $m$  市对本市的人口吸引势； $G$ ， $F$ ， $W$ ， $H$ ， $J$  分别代表城市的工作条件、福利条件、文化条件、环境条件和交通条件； $d_{1m}$  为本市与  $m$  市之间的距离； $\phi_1$  为权重系数； $\epsilon$ ， $a$ ， $a'$  为待定参数。

各分区人口分布模型：

$$\frac{dP_{1i}}{dt} = \epsilon_i(\lambda P_{1i} + M_i^{\text{in}} - M_i^{\text{out}}) \quad (12.10)$$

$$M_i^{\text{in}} = \beta_i \sum_{j \neq 1} n_j \frac{A_{ij}}{\sum_k A_{kj}} + \gamma_i \sum_m N_m \frac{A_{im}}{\sum_l A_{lm}} \quad (12.11)$$

$$M_i^{\text{out}} = \beta'_i \sum_{i \neq j} n_i \frac{A_{ij}}{\sum_k A_{ki}} + \gamma'_i \sum_m n_i \frac{A_{mi}}{\sum_l A_{li}} \quad (12.12)$$

$$A_{ij} = (\phi_1 \frac{G_i}{G_j} + \phi_2 \frac{F_i}{F_j} + \phi_3 \frac{W_i}{W_j} + \phi_4 \frac{H_i}{H_j} + \phi_5 \frac{J_i}{J_j}) e^{-d_{ij}} \quad (12.13)$$

$$A_{im} = (\phi_1 \frac{G_i}{G_m} + \phi_2 \frac{F_i}{F_m} + \phi_3 \frac{W_i}{W_m} + \phi_4 \frac{H_i}{H_m} + \phi_5 \frac{J_i}{J_m}) e^{-d_{im}} \quad (12.14)$$

上述五式中， $P_{1i}$  为本市各分区的人口数； $M_i^{\text{in}}$ ， $M_i^{\text{out}}$  分别为各分区人口机械迁入、迁出量； $\beta_i$ ， $\beta'_i$ ， $\gamma_i$ ， $\gamma'_i$  为待定参数； $n_i$ ， $n_j$ ， $N_m$  为  $i$  区， $j$  区和  $m$  市可以自由迁移的人口； $A_{ij}$ ， $A_{im}$  分别代表  $i$  区对  $j$  区、 $i$  区对  $m$  市的人口吸引势；其他符号意义同前。

## (2) 资源模型

$$\frac{dX_i}{dt} = r_i X_i \left(1 - \frac{X_i}{M_{xi}}\right) \quad i = 1, 2, \dots, S \quad (12.15)$$

式中,  $X_i$  为第  $i$  种资源年获取量 (开采或调入);  $r_i$  为第  $i$  种资源年获取量内禀增长率;  $M_{xi}$  为现状技术条件下第  $i$  种资源年最大获取量, 其具体形式根据具体情况确定, 可以是动态函数;  $S$  为资源种类总数。

## (3) 工业模型

$$\frac{dY_i}{dt} = r_i Y_i \left(1 - \frac{Y_i}{M_{yi}}\right) \quad i = 1, 2, \dots, M \quad (12.16)$$

$$M_{yi} = f_g(\{\theta_{ij}\}, \{c_{ij}\}, \{\omega_{ij}\}, \{X_j\}, \{Y_j\}) \quad (12.17)$$

式中,  $Y_i$  为工业第  $i$  行业年产值;  $M_{yi}$  为工业第  $i$  行业内禀最大值;  $\theta_{ij}$  为第  $j$  种资源分配给工业第  $i$  行业的比例;  $c_{ij}$  为工业第  $i$  行业单位产值第  $j$  种污染物排放量;  $\omega_{ij}$  为工业第  $i$  行业单位产值第  $j$  种资源的消耗量;  $f_g$  的具体函数形式根据具体情况确定;  $M$  为工业的行业种类数目; 其他符号意义同前。

## (4) 农业模型

$$\frac{dY_A}{dt} = r_A Y_A \left(1 - \frac{Y_A}{M_A}\right) - \sum_k \xi_k \frac{C_k}{q_k} \quad (12.18)$$

$$M_A = f_A(\{\theta_{Ai}\}, \{Y_A\}, \{\omega_{Ai}\}, \{X_i\}) \quad (12.19)$$

式中,  $Y_A$  为农业年产值;  $r_A$  为农业产值内禀增长率;  $M_A$  为农业产值内禀最大值;  $\theta_{Ai}$  为第  $i$  资源分配给农业的比例;  $\xi_k$  为第  $k$  种污染物对农业产值的破坏因子;  $C_k$  为第  $k$  种污染物年排放量;  $q_k$  为第  $k$  种污染物在一定标准下的允许排放量;  $\omega_{Ai}$  为农业单位产值第  $i$  种资源的消耗量;  $f_A$  的具体函数形式由具体情况确定; 其他符号意义同前。

## (5) 第三产业发展模型

$$\frac{dY_D}{dt} = r_D Y_D \left(1 - \frac{Y_D}{M_D}\right) \quad (12.20)$$

$$M_D = f_D(\{\theta_{Di}\}, \{\omega_{Di}\}, \{X_i\}, \{P_1\}) \quad (12.21)$$

式中,  $Y_D$  为第三产业年产值;  $r_D$  为第三产业内禀增长率;  $M_D$  为第三产业产值内禀最大值;  $\theta_{Di}$  为第  $i$  资源分配给第三产业的比;  $\omega_{Di}$  为第三产业单位产值第  $j$  种资源的消耗量;  $f_D$  的具体函数形式根据具体情况确定。

## (6) 资源分配模型

$$\theta_{ij} = f(\{Y_i\}, \{\omega_{ij}\}, \dots) \quad i = 1, 2, \dots, M, A, D; j = 1, 2, \dots, S \quad (12.22)$$

模型的具体函数形式根据具体情况决定, 在实际应用中通常要特别注意政府宏观调控行为因素。

## (7) 排污模型

$$C_k = \sum_i c_{ik} Y_i + c_k P_1 \quad i = 1, 2, \dots, M, D \quad (12.23)$$

式中,  $c_k$  为人均生活污染物中第  $k$  种污染物质; 其他符号意义同前。

这样, 式 (12.6) ~ 式 (12.19) 构成了城市资源与环境系统协调控制模型体系, 其中人口模型和产业发展模型较有特点。在人口模型中, 引入了决定人口机械流动的吸引势; 而产业发展模型中, 运用动态约束项来研究各产业的发展前景, 其中各产业的内禀最大产值的确定需根据实际情况来确定具体的函数形式, 在实际应用中一般采用求多个约束项的倒数平

均数的形式。

## 12.5 实例研究——湖南省城镇生活垃圾总量预测

随着城镇的发展，城镇垃圾的产量也大大增加，目前我国城镇普遍形成了被垃圾包围的局面，垃圾以它的巨量、分散、恶臭、肮脏使城镇环境质量急剧下降。为了有效地维护城镇环境，必须对垃圾进行总量控制，这使得对城镇垃圾总量进行预测成为必要。传统的预测方法有一元线性回归法、多元线性回归法、指数平滑法及灰色预测法等。这些预测方法在对统计数据进行数学处理的基础上采用外推法预测未来城镇生活垃圾总量，有一定的实用价值，但对城镇这样具有明显复杂性的系统来说，在反映城镇生活垃圾总量变化规律的本质上有所欠缺。考虑到城镇系统是符合耗散结构理论应用条件的开放系统，本书拟采用在社会领域中已有成功应用的耗散结构理论来对城镇生活垃圾总量进行建模预测，作为耗散结构理论在环境领域应用中的初步探讨。

### 12.5.1 城镇生活垃圾总量影响因素分析

我国生活垃圾总量增加的主要原因是：统计范围的扩大（城镇数的增加）、参与统计非农业人口的增加，另外机械化收集的普及、清扫面积的扩大、旅游事业的发展诸因素也有一定影响。随着城镇的发展，城镇数的增加是有止境的，从而使得非农业人口的增长成为城镇生活垃圾总量增长的最主要因素。图 12.4 为我国非农业人口与城镇生活垃圾总量的相关曲线，图中两条近似于平行的曲线揭示了影响我国城镇生活垃圾总量的最主要因素是非农业人口的增长。

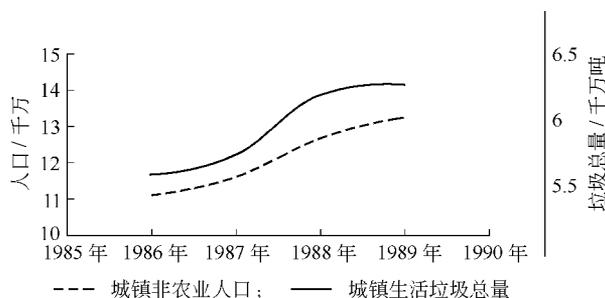


图 12.4 我国城镇生活垃圾总量与城镇非农业人口相关性曲线

在城镇非农业人口中，不同的人单位时间内所产生的生活垃圾量是不同的，这主要与个人的经济状况有关，经济状况的好坏决定不同的人生活水平不同，不同的人有不同的消费层次与类型；而在不同的时期，个人的垃圾产生量也是不同的，这主要与能源结构有关。作为耗散结构理论在环境方面的初步应用，我们尽量将模型的结构简化，所以在预测中，我们认为短时间内能源结构不会有大的变化，故可以忽略此因素的影响，而在人的分类中可以参考埃伦教授在加拿大能源分布预测中采用的形式，即将人口分为有工作的与无工作的两大类，这样的分类应该说既能较好地表述不同人的产生活垃圾能力，也使得模型变量不至太多。

### 12.5.2 模型的建立

在耗散结构理论模型的建立过程中，对城镇生活垃圾总量可以采用变量替换的办法来讨论。如上节所述，城镇生活垃圾产生的主要影响因素是非农业人口，为了更确切地模拟现

实，我们将城镇生活垃圾的产生总量分成在职人口的生活垃圾产生量与无工作人口的生活垃圾产生量两部分，即  $D = D_1 + D_2$ 。考虑到不同区域上情况的差异，可将整个区域分成若干小区域，在其中任一个小区域  $i$ ， $D_{1i}$ ， $D_{2i}$ 可分别写成  $D_{1i} = \alpha X_i$ ， $D_{2i} = \beta Y_i$ ，其中， $\alpha$  为有工作人口的平均产垃圾量系数， $\beta$  为无工作人口的平均产垃圾量系数。随着社会的不断进步， $\alpha$  与  $\beta$  的取值会不断变化，但在短时期内一般变动不大，这样，小区域内的生活垃圾量的变化率可写成：

$$\frac{dD_i}{dt} = \alpha \frac{dX_i}{dt} + \beta \frac{dY_i}{dt} \quad (12.24)$$

式 (12.24) 表明，某一区域内城镇生活垃圾量的变化可以通过此区域内有工作人口的变化与无工作人口的变化来衡量，而对于一定区域内人口变化规律的讨论已有较为成功的先例。具体的建模过程不再详述，其耗散结构理论模型如下：

$$\frac{dX_i}{dt} = \epsilon Y_i (J_j - X_i) \quad (12.25)$$

$$\frac{dY_i}{dt} = \lambda_i (X_i + Y_i) - \frac{dX_i}{dt} + M_i^{\text{in}} - M_i^{\text{out}} \quad (12.26)$$

$$\frac{dJ_i}{dt} = \mu J_i \left(1 - \frac{J_i}{M_i}\right) \quad (12.27)$$

模型说明：式 (12.25) 表明在职人口的增长决定于工作空额数与失业人口数；式 (12.26) 表明无工作人口的变化与人口自然增长率及在职人口的变化率有关，而等式右边的

第三、四项则是考虑到人口的迁移影响， $M_i^{\text{in}} = \xi \sum_{j \neq i} Y_j \frac{V_{ij}}{\sum_k V_{kj}}$  表示迁入的人口， $M_i^{\text{out}} =$

$\xi Y_i \sum_{j \neq i} \frac{V_{ij}}{\sum_k V_{jk}}$  表示迁出的人口， $V_{ij} = \left(\frac{J_i}{X_i}\right) \gamma (X_i + Y_i) e^{-\beta d_{ij}}$  表示地点  $i$  对地点  $j$  的吸引力，

用  $i$  点对  $j$  点的吸引力占其他所有点对  $j$  点吸引力的比率乘上  $j$  点可迁移失业人口数来表示向  $i$  点迁移的可能性，把所有的可能性加起来就组成了向  $i$  点迁入人口的变化率  $M_i^{\text{in}}$ ，同理可以得到  $M_i^{\text{out}}$  的表达式，需要说明的是，在城镇生活垃圾总量的预测中，考虑到实际情况，我们将退休人员与未成年人也归入无工作人口部分，这样的分类更能反映不同类型人产生活垃圾能力的不同；式 (12.27) 采用 Logistic 方程形式描述  $i$  点工作岗位数的变化，这是一个简单的非线性模型，是耗散结构理论应用的必然结果。 $M_i = M_i^c + M_i^t$  表示工作岗位发展潜力分成第三产业和基本产业两部分； $J_i = J_i^c + J_i^t$  表示工作岗位数分成第三产业和基本产业两部分； $\frac{dM_i^c}{dt} = \eta \gamma_i^c$  表示基本产业岗位发展潜力的增长取线性变化形式， $\frac{dM_i^t}{dt} = \eta \gamma_i^t (X_i + Y_i)$  表示第三产业岗位发展潜力与总人口的相关关系；式 (12.24) ~ (12.27) 中其他符号为待定参数。

### 12.5.3 参数的确定

模型中的参数分为两类，第一类为可由比较明确的自然、社会规律确定的参数，这类参数包括：人口自然增长系数  $\lambda_i$ ，基础工业岗位发展潜力变化系数  $\gamma_i^c$ ，第三产业岗位发展潜力变化系数  $\gamma_i^t$ 。第二类参数为系统内部各子系统之间相互作用规律的反映，这样的参数有确定的值，系统性质不改变，参数也不会改变。在确定这类参数的值时，大多不能依靠统计数据直接得到，而是依靠计算机模拟。

在建立了序参量的微分方程以后，根据变量的数量及关系确定不同参数的可能数量级，在给定的范围内再利用计算机模拟。每改变一次参数，计算一次系统演化轨迹，根据计算结果与实际情况的差别，修改参数再进行计算，不断修改，不断计算，最后得到符合实际的参数值。这类参数包括：在职人口增长比例常数  $\epsilon$ 、吸引力与迁移人口比例常数  $\xi$ 、工作岗位增长比例常数  $\mu$  等。关于耗散结构理论模型中参数确定的其他一些方法，需要在以后的研究中进一步探讨。

#### 12.5.4 湖南省城镇生活垃圾总量预测

(1) 模型简化 在湖南省城镇生活垃圾总量预测的实际应用中，可以将上述建立的耗散结构理论模型根据实际情况进一步简化。由于只考虑湖南省的城镇生活垃圾总量，在模型中已不存在分区的问题，在考虑人口的迁移问题时，我们认为对整个湖南省城镇区域来说，外部可迁入的人口在短时间内的改变是不大的，因此可在模型中将  $M_i^m$  写成  $M^m = A \frac{J}{X}$ ，这样大大简化了人口迁移的表达形式，从而也为模型的求解带来方便。最后，我们得到如下的预测模型：

$$\frac{dD}{dt} = \alpha \frac{dX}{dt} + \beta \frac{dY}{dt} \quad (12.28)$$

$$\frac{dX}{dt} = \epsilon Y (J - X) \quad (12.29)$$

$$\frac{dY}{dt} = \lambda (X + Y) - \frac{dX}{dt} + M^m \quad (12.30)$$

$$\frac{dJ}{dt} = \mu J \left(1 - \frac{J}{M}\right) \quad (12.31)$$

$$M = M^c + M^t \quad (12.32)$$

$$\frac{dM^c}{dt} = \eta \gamma^c \quad (12.33)$$

$$\frac{dM^t}{dt} = \eta \gamma^t (X + Y) \quad (12.34)$$

在此模型中所有的参数意义均与 12.4.3 节中所建模型相对应，这里不再一一加以说明。

(2) 预测结果 在实际预测中，我们根据湖南省 1991 年到 1995 年的统计资料确定模型中的具体参数，然后预测了 1996~1999 年的城镇生活垃圾总量情况，具体结果如下：参数的确定值见表 12.1，湖南省城镇在职人口与无职人口的预测值与实际值对照情况见表 12.2，湖南省城镇生活垃圾总量实际值与预测值的对照情况见表 12.3，为了使预测效果更加明确的显现出来，在图 12.5、图 12.6、图 12.7 中我们给出了上述各项数值的年度趋势变化曲线。

表 12.1 湖南省城镇生活垃圾总量预测耗散结构理论模型参数值

参 数	第一类参数			第二类参数		
	$\epsilon$	$\mu$	$A$	$\lambda$	$\eta$	$\gamma$
参数确定值	$8.75 \times 10^4$	0.05	0.2	0.052	2.112	0.82

表 12.2 湖南省城镇人口实测值与预测值对照表

年 度		1991 年	1992 年	1993 年	1994 年	1995 年	1996 年	1997 年	1998 年	1999 年
在职人口	实测值/万	599.59	619.67	669.86	714.75	749.93	781.81	815.96	830.58	817.39
	预测值/万	599.59	617.38	656.84	713.41	749.93	766.00	794.90	831.30	872.40
无职人口	实测值/万	548.27	598.07	536.09	641.81	802.06	825.14	813.04	853.42	906.61
	预测值/万	548.27	626.45	690.82	746.73	798.73	865.80	924.40	980.10	1036.1

表 12.3 湖南省城镇生活垃圾预测值与实际值对照表

年 度	1991 年	1992 年	1993 年	1994 年	1995 年	1996 年	1997 年	1998 年	1999 年
实际值/万吨	393.18	414.34	419.84	465.71	521.32	540.69	525.07	568.52	576.45
预测值/万吨	393.43	411.43	440.22	477.77	503.63	519.53	541.79	567.96	596.82

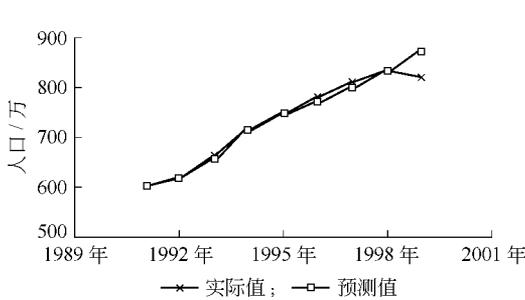


图 12.5 湖南省城镇在职人口预测值曲线图

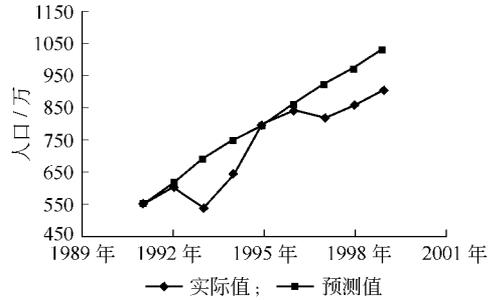


图 12.6 湖南省城镇无职人口预测值曲线图

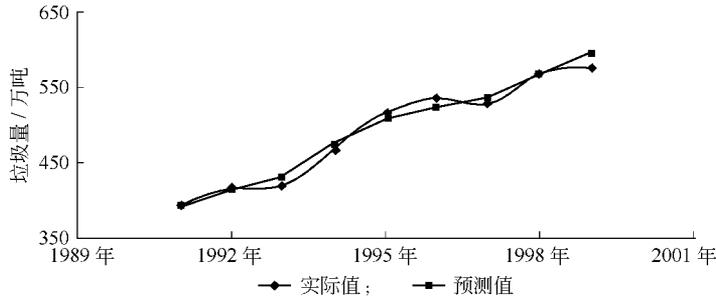


图 12.7 湖南省城镇生活垃圾总量预测值与实际值变化曲线

## 12.6 小结

城市复合生态系统包含大量的复杂性与不确定性，传统城市模型总量预测方法越来越显示出有很大的局限性。对非线性预测模型的探讨已成为新的研究方向，耗散结构理论模型作为解决远离平衡的复杂开放系统问题的有力工具，在城镇生活垃圾总量的预测中表现出以下的特点：耗散结构理论模型预测结果与实际值吻合程度较高，有很好的实际应用价值；耗散结构理论模型结构简单，整个预测过程只考虑了两个序参量（在职人口与无职人口）就比较好地模拟了实际情况，说明该理论适用性非常广泛。

耗散结构理论在环境方面的应用还处于初步探讨阶段，在模型的建立、参数的确定及模型的求解等方面都还有待进一步完善。相信随着该理论模型的进一步发展，其必将在环境科学领域有更多的应用。

## 参考文献

- 1 孙鹏, 王志芳. 遵从自然过程的城市河流和滨水区景观设计. 城市规划, 2000, 24 (9): 19~22
- 2 薛领, 杨开忠. 复杂性科学理论与区域空间演化模拟研究. 2002, 21 (1): 79~89
- 3 韩荡. 城市景观生态分类——以深圳市为例. 城市环境与城市生态, 2000, 16 (2): 50~52
- 4 邬建国. 景观生态学——格局、过程、尺度与等级. 北京: 高等教育出版社, 2000. 56~131
- 5 童明. 城市模型方法的发展与反思. 国外城市规划, 1997, (3): 42~46
- 6 谭遂, 杨开忠, 谭成文. 基于自组织理论的城市空间结构动态模型比较. 经济地理, 2002, 22 (3): 322~326
- 7 帅江平. 供求平衡状态下的城市自组织过程. 地理学报, 1996, 51 (4): 374~383
- 8 吕永龙, 王如松. 城市生态系统的模拟方法: 灵敏度模型及其改进. 生态学报, 1996, 16 (3): 308~313
- 9 Groeneveld J, Enrigh N J, Lamout B B, et al. A spatial model of coexistence among three banksias species along a topographic gradient in fire-prone shrublands. Journal of ecology, 2002, 90 (5): 762~774
- 10 Dustmann, Christian. Return migration, uncertainty and precautionary savings. Journal of Development Economics, 1997, 52 (2): 295~316
- 11 Salyer, Kevin D. Overlapping generation and representatives agent models of the equity premia: implication from a growing economy. Canadian Journal of Economics, 1988, 21 (3): 565~578
- 12 Dominique Guyonnet, Bernard Côme, Pierre Perrochet et al. Comparing two methods for addressing uncertainty in risk assessments. Journal of Environmental Engineering, 1999, 125 (7): 660~666
- 13 Melching, Charls S, Yoon, Chun G. Key sources of uncertainty in QUAL2E model of Passaic River. Journal of Water Resources Planning and Management, 1996, 122 (2): 105~113
- 14 Singer, Hermann. Continuous panel models with time dependent parameters. Journal of mathematics Sociology, 1998, 23 (2): 77~98
- 15 郭广寨, 陆正明, 石峰. 城市生活垃圾综合处置系统的选择. 上海环境科学, 2001, 20 (1): 37~40
- 16 张益, 杨承休. 上海市区生活垃圾产量及成分分析. 环境卫生工程, 2000, 8 (3): 104~108
- 17 沈小峰, 胡岗, 姜璐. 耗散结构论. 上海: 上海人民出版社, 1987
- 18 姜璐. 自组织理论在社会经济系统中的应用. 系统工程理论与实践, 1988, 8 (3): 60~65
- 19 李东, 顾恒岳. 重庆市主城区生活垃圾现状调查与分析. 重庆环境科学, 2001, 2 (1): 60~70
- 20 蔡建成, 李国珍, 管立启, 邹建林著. 论中国城市的垃圾问题. 北京: 中国地质大学出版社, 1992
- 21 张瑞久. 城市固体废物的收运与处理. 北京: 中国环境科学出版社, 1988

## 思考题

1. 城市生态系统模型主要面临哪些复杂性问题?
2. 绘制简图解释城市资源与环境系统中的自组织过程。