科学技术哲学

—理论与方法

主　编　陈　光

副主编　王永杰

西南交通大学出版社

·成　都·

图书在版编目（CIP）数据

科学技术哲学：理论与方法 / 陈光主编. —成都：西南交通大学出版社，2003.6
ISBN 7-81057-726-3

Ⅰ. 科… Ⅱ. 陈… Ⅲ. ①科学哲学-研究②技术哲学-研究 Ⅳ. N02

中国版本图书馆 CIP **数据核字（**2003**）第** 042418 **号**

科 学 技 术 哲 学
——理论与方法

主编 陈 光

*

责任编辑 刘永淑 王 婷
封面设计 何东琳设计工作室

西南交通大学出版社出版发行
(**成都二环路北一段** 111 **号 邮政编码：**610031 **发行科电话：**87600564)
http: //press.swjtu.edu.cn
E-mail: cbsxx@swjtu.edu.cn
四川森林印务有限责任公司印刷

*

开本：850mm×1168mm 1/32 **印张：**13.6875
字数：342 **千字 印数：**1—3000 **册**
2003 **年** 6 **月第** 1 **版** 2003 **年** 6 **月第** 1 **次印刷**
ISBN 7-81057-726-3/N・003
定价：18.50 **元**

目　　录

绪　论……1
一、科学技术哲学的对象、内容和性质……1
二、科学技术哲学与相近学科的关系……7
三、科学技术哲学的创立和发展……14
四、研究和学习科学技术哲学的意义……22

第一篇　自 然 观

第一章　系统自然观……29
第一节　自然界的系统存在……29
一、物质联系的系统方式……30
二、自然界物质存在的系统特性……38
第二节　自然界系统的层次结构……44
一、层次结构的基本特征……44
二、自然界的基本层次……46
三、层次结构的联系与过渡……50

第二章　演进自然观……57
第一节　自然界的运动与发展……57
一、科学分类的基础：自然界运动形式的区别与联系……57
二、技术过程的基础：自然界运动形式的转化与守恒……60
第二节　自然界的历史性……62
一、自然界的演进过程……62

二、自然界演化的方向 …… 66
第三节　自然界演进的规律性 …… 71
一、矛盾是自然界运动与演化的根本动力 …… 71
二、自然界演化的渐变与突变 …… 76
三、自然界演化的周期性 …… 79

第三章　生态自然观 …… 84
第一节　自然界是人类赖以生存的基础 …… 84
一、人类是自然界长期进化的产物 …… 85
二、自然界是人及其生产活动的基本前提 …… 86
第二节　人工自然是人与自然界的中介 …… 88
一、人与自然关系的历史演变 …… 88
二、天然自然与人工自然 …… 91
三、人工自然的类型、特征和演进 …… 94
四、人工自然的扩大与自然界的平衡 …… 97
第三节　生态自然 …… 102
一、自然界的自净能力 …… 102
二、自然界的再生能力 …… 104
第四节　可持续发展是人与自然协调发展的必然选择 …… 106
一、人与自然协调发展的必要性 …… 106
二、人与自然协调发展的可能性和基本条件 …… 109
三、人与自然协调发展的基本途径和前景 …… 111

第二篇　科学技术观

第四章　系统科学技术观 …… 119
第一节　科学技术的性质和体系结构 …… 119
一、科学的性质和特征 …… 119
二、技术的性质和特征 …… 124

三、科学与技术的相互关系 128
四、科学技术的体系结构 131
第二节　科技生产力系统 138
一、科学劳动者 138
二、科学仪器 148
三、科学对象 151
第五章　历史科学技术观 157
第一节　自然科学的发展模式 157
一、科学发展的基本矛盾 157
二、科学发展的主要形式 159
三、关于科学发展一般模式的评述 161
第二节　技术的发展模式 170
一、技术发展的基本矛盾 170
二、技术发展的主要形式 172
三、关于技术发展一般模式的评述 174
第六章　社会科学技术观 179
第一节　科学技术的社会组织 179
一、科学家和科学共同体 179
二、科学的社会组织 187
三、科学的社会支持系统 190
第二节　科学技术的社会功能 194
一、科学技术推动人类物质文明的昌盛 194
二、科学技术推动人类精神文明的进步 199
三、科学技术促进社会结构的变革 204
第三节　科学技术发展的社会条件 208
一、社会诸因素对科学技术发展的影响 208
二、社会需求对科学技术发展的推动作用 221
第四节　科学技术发展的社会控制 224

一、科学技术发展的二重性 224
二、科学技术发展的社会评价 230

第七章　创新科学技术观 242
第一节　技术创新概述 243
一、技术创新的来源、分类和意义 243
二、技术创新的过程和动力 249
三、科技创新、组织创新和制度创新 254
第二节　高技术产业化 258
一、高技术产业化的含义、特征、条件和过程 258
二、中国高技术产业化的实践 262

第三篇　科学技术方法论

第八章　科研方法的结构和科学研究选题 271
第一节　科学研究方法的结构 271
一、科学研究及其一般过程 271
二、科学方法及其层次 275
第二节　科学问题和科研选题 278
一、科学问题 278
二、科研选题 289

第九章　获取科学材料的方法 301
第一节　调查方法 301
一、调查方法的含义、分类和特点 301
二、调查方法的应用 304
第二节　观察方法 306
一、观察方法的含义、分类和特点 306
二、观察方法的使用 312
第三节　实验方法 315

一、实验方法的含义、分类和特点 …… 315
二、实验方法的使用 …… 320
第四节　模拟方法 …… 323
一、模拟方法的含义、分类和特点 …… 323
二、模拟方法的应用 …… 328

第十章　整理科学材料的理性思维方法 …… 331
第一节　归纳方法 …… 331
一、归纳方法及其特点 …… 331
二、归纳方法的分类与作用 …… 332
三、归纳法的使用 …… 340
第二节　类比方法 …… 340
一、类比方法及其特点 …… 340
二、类比方法的分类 …… 341
三、类比方法的使用 …… 342
第三节　数学方法 …… 345
一、数学方法及其特点 …… 345
二、数学方法的类型 …… 346
三、数学方法的作用 …… 353

第十一章　建立科学理论的方法 …… 355
第一节　科学理论与科学假说 …… 355
一、科学理论的一般特征 …… 355
二、科学假说的一般特征 …… 358
三、建立假说的原则 …… 363
四、假说的检验 …… 366
第二节　演绎方法 …… 370
一、演绎方法及其特点 …… 370
二、演绎方法的使用 …… 371
第三节　系统科学方法 …… 374

一、系统、系统科学和系统科学方法 …… 374
二、系统科学方法的使用 …… 375
三、常用的几种系统科学方法 …… 380
第十二章　创造性思维方法 …… 391
第一节　创造性思维方法概述 …… 391
一、创造性思维方法的含义和特点 …… 391
二、创造性思维方法与逻辑思维方法的区别与联系 …… 394
三、创造性思维的主要形式 …… 399
四、创造性思维的方向和结果 …… 409
五、创造性思维过程的四个阶段 …… 412
第二节　创造性思维方法的应用 …… 414
一、智力激励法 …… 414
二、设问法 …… 418
三、联想组合法 …… 421
四、列举法 …… 423
五、形态分析法 …… 425
六、系统提问法 …… 427
后　记 …… 429

绪　论

科学技术哲学即自然辩证法是哲学学科的重要组成部分，它是人类对自然界和科学技术的本质及其发展的一般规律进行哲学反思的结果，是人类认识自然和改造自然的方法论体系。科学技术哲学是随着科学技术的发展而不断丰富和发展着的开放的理论体系。

一、科学技术哲学的对象、内容和性质

（一）研究对象

世界的历史，包括自然史和人类史。人类和人类的智慧是自然演化的结果。自从在自然界的发展中分化出人类以后，便开始了人类文明和人类社会的历史。而人类文明的进步和人类社会的变迁，归根结底又是在不断变革人与自然的关系的基础上实现的。在这一过程中，人类发展了认识和改造自然的科学和技术，也发展了认识和改造自然的世界观和方法论。

在唯物主义看来，“自然界是不依赖任何哲学而存在的，它是我们人类即自然界的产物本身赖以生长的基础，在自然界和人以外不存在任何东西”[①]。在辩证法看来，“自然界的一切归根到底是辩证地而不是形而上学地发生的”，“辩证法的规律是自然界的实在的发展规律，因而对于理论自然科学也是有效的”，“所谓客观辩证法是支配着整个自然界的，而所谓主观辩证法，即辩证的思维，不过是自然界中到处盛行的对立中的

① 《马克思恩格斯选集》第 4 卷，人民出版社，1972 年版，第 218 页。

运动的反映而已”。[①]

科学技术哲学作为关于自然界以及人类认识与改造自然界的根本观点和根本方法，是在科学地解决人和自然界的矛盾的过程中产生和发展起来的，也是为合理地处理人和自然界的矛盾服务的。因此，它始终以人和自然界的关系为贯彻其研究全过程的中心线索。在人和自然界的关系中，自然界处于客体的地位，是人类所要认识和改造的客观对象，也是决定人类认识和改造这个对象的全部活动之合理性的客观依据。人则是人和自然界的关系中的主体，是积极地变革这一关系的主动的方面，是认识与改造自然的能动的实践者。主体要反映和改变客体，人类要认识和改造自然界，还必须借助于科学技术这个中介。正是由于掌握了科学和技术，才使人类高于动物界，使人类与自然界的关系根本不同于动物与自然界的关系。

用马克思主义哲学的观点，从人和自然界的关系出发，来考察作为这一关系中的客体的自然界、作为这一关系中的主体的人的认识和实践活动，以及作为这一关系的中介的科学与技术，便构成了科学技术哲学的三部分研究对象。科学技术哲学所要研究和揭示的就是：自然界存在和演化的一般规律，即自然界的辩证法；作为一种认识现象和社会现象的科学技术发生和发展的一般规律，即科学技术发展的辩证法；人类通过科学技术实践活动认识自然和改造自然的一般规律，即科学技术研究的辩证法。

（二）学科内容

与科学技术哲学的研究对象相适应，科学技术哲学的学科内容也由三个部分组成：

辩证唯物主义的自然观。自然观是人们对自然界的总体看法。辩证唯物主义自然观是马克思主义关于自然界的本质及其发展规

---

① 《马克思恩格斯选集》第 3 卷，人民出版社，1972 年版，第 42、485、534 页。

律的根本观点。它旨在对自然界的存在方式、演化发展以及人和自然界的关系，做出唯物的同时又是辩证的说明。按照辩证唯物主义观点，辩证法是自然界固有的规律。要把它从自然界本身的存在和发展中抽引和阐发出来，就必须概括和总结各门实证自然科学已经取得的成果。现代自然科学的发展，尤其是 20 世纪中叶以来科学认识的进步，为丰富和深化我们对自然界的哲学认识提供了现实的可能性。不过，要对现代自然科学成果作哲学概括，却是一项艰巨的工作。这不仅因为它所涉及的科学领域是如此庞大，而且因为科学本身也还处于如此激烈的变革过程中。但是，辩证唯物主义的自然观必须努力去做到这一点。本书在概括现代科学技术新成果的基础上，从系统层次、演化发展和人与自然三个角度，以系统自然观、演进自然观和生态自然观来概括自然观的基本理论和新进展。生态自然观中关于人与自然关系的讨论能给现代的人们以新的启示。

辩证唯物主义的科学技术观。科学技术观是人们对科学技术的总体看法。辩证唯物主义科学技术观是马克思主义关于科学技术的本质及其发展规律的根本观点。按照辩证唯物主义的观点，辩证法既是人类认识和改造自然必须遵循的规律，也是发展科学技术必须遵循的规律；科学和技术无论是作为一种认识现象还是作为一种社会现象，其自然的发展规律，都是唯物辩证法的普遍规律在科学技术发展中具体、生动的表现。20 世纪以来，尤其是近几十年来，科学已发展为大科学，技术已发展到高技术。现代自然科学与现代技术的革命，一方面，使科学技术本身变成日益庞大的知识体系和日益复杂的社会建制；另一方面科学技术的成果广泛地渗透到社会生产和人类生活的各个领域，急剧地改变着社会生产和人类生活的面貌。这就使人们不能不对科学技术的性质，科学技术的价值，科学技术的体系结构及其发展规律，科学技术与社会的互动以及科学、技术、经济、社会的协调发展等问题作更加深刻的反思。这些问题，都是辩证唯物主义科学技术观

要加以研究和回答的。本书从四个角度来认知科学技术，形成了科学技术的系统观、科学技术的历史观、科学技术的社会观和科学技术的创新观。其中以创新的观点来描述科学技术的现代过程，能够给人们带来新知。

辩证唯物主义的科学技术方法论。科学技术方法论是人们对自己从事科学技术研究所运用的认识和实践方法的哲学概括。辩证唯物主义的科学技术方法论是马克思主义关于人类认识自然和改造自然的一般方法的理论。它以辩证唯物主义认识论为指导，在现代科学技术发展的水平上对各门科学技术的研究方法做出概括和总结，以历史和逻辑相统一的原则来理解科学技术方法的结构。科学活动起始于问题，选题之后是获取科学事实的感性阶段，科学材料必须通过科学抽象与科学思维阶段，才能形成科学假说与科学理论。本书正是按照各种科学方法之间的联系和过渡，谋篇布局，形成第三篇的。创新是一个民族发展的不竭动力，也是科学技术研究的价值和生命所在。本书中特别增加了创新思维方法的介绍。

辩证唯物主义的自然观从人和自然界的关系来研究自然界，依据当代自然科学认识所取得的实证成果，阐明了自然界本身的辩证法在人的认识中的反映形式，体现了主观辩证法与客观辩证法的统一；辩证唯物主义的科学技术观从人和自然界的关系来研究科学技术作为一个相对独立的系统的发展，必然把人和自然界的关系的变革与科学技术的发展都如实地看成是在社会历史中开展的，必然把科学技术系统放回到整个社会大系统中去加以考察，从而阐明科学技术发展的辩证法，这又体现了自然观与社会历史观的统一。辩证唯物主义的科学技术方法论从人和自然界的关系来研究人的科学技术认识和实践活动，按照辩证唯物主义的世界观，在认识论和方法论的高度上，概括和总结科学技术研究过程的规律，阐明科学技术研究的辩证法，体现了世界观和方法论的统一。有了自然界本身的辩证法，才有了人类认识与改造自然的

辩证法以及科学技术发展的辩证法。这既是逻辑的必然性，也是历史发展的实际过程。在这一点上又体现了逻辑和历史的一致性。科学技术哲学的三部分科学内容，构成了一个统一的有机整体。

科学技术哲学的理论体系是统一的，它的科学内容却是开放的、不断丰富和发展着的。随着科学技术的进步，自然界的辩证法、科学技术发展的辩证法和科学技术研究的辩证法，越来越深刻也越来越清晰地体现在各门自然科学和各个技术领域的辩证内容、辩证方法和辩证发展中。科学技术哲学的自然观、科学技术观和科学技术方法论，还同许多相关学科，如自然史、科学史、技术史、科学学、技术学、创造学、科学技术社会学和科学技术管理等有着密切的联系。

（三）学科性质

科学技术哲学，就其学科性质而言，属于哲学门类。科学技术哲学所要研究的是自然界、人类认识与改造自然以及科学技术发展的一般规律，而不是自然界中某一特殊现象、人类认识与改造自然某一特殊过程或者科学技术某一特殊学科的特殊规律。而且，科学技术哲学作为自然观、科学技术观和科学技术方法论，是在世界观、认识论和方法论的高度，从整体上来把握自然界、人类认识与改造自然的科学技术研究活动以及科学技术发展的一般规律的。这就使科学技术哲学明显地区别于自然科学和技术的各门具体学科，具有哲学的性质。

在科学和哲学认识的层次上，科学技术哲学在科学技术的具体学科与马克思主义哲学的普遍原理之间，处于一种中间的位置。科学技术哲学研究的，只是存在于自然界中、人类认识与改造自然的科学技术研究活动中以及科学技术发展中的一般规律，而不像辩证唯物主义所研究的普遍规律那样具有最高的普适性和抽象性。这就使科学技术哲学在各门科学技术的科学研究和辩证唯物主义的哲学研究之间，占据着一个独立的中间层次。

在马克思主义哲学体系中，科学技术哲学与历史唯物主义相并列。科学技术哲学，是马克思主义关于人类认识和改造自然的成果，即自然科学和技术的理论成果的概括和总结。历史唯物主义，是马克思主义关于人类认识和改造社会的成果，即社会科学和人文科学理论成果的概括和总结。它们在整个科学——哲学认识的层次上，都从具体科学上升到了哲学，并同时构成了马克思主义哲学的普遍原理即辩证唯物主义的基石。在科学技术哲学与历史唯物主义之间，一方面，由于它们的研究对象和研究任务的不同而相互区别——前者主要是研究人与自然界的关系，解决人与自然界之间的矛盾；后者主要是研究人与人的社会关系，解决人与人之间的矛盾。另一方面，由于它们的研究对象以及研究任务又有相互过渡而联系在一起——解决人与自然界之间的矛盾的一切科学技术活动都是在人类社会中展开的，解决人与人之间的矛盾的一切社会活动又必须以人类对自然界的支配与改造为前提。所以，科学技术哲学和历史唯物主义也是统一的。

正因为科学技术哲学是从科学技术具体学科的科学认识上升到马克思主义哲学的普遍原理的必经环节，所以，科学技术哲学既是马克思主义哲学的重要组成部分，又是联系马克思主义哲学与科学技术的纽带。辩证唯物主义、科学技术哲学和科学技术之间的关系，是普遍、一般和特殊的关系。科学技术哲学所研究的自然界和科学技术发展的一般规律，以及人类认识和改造自然的一般方法，既是依据科学技术发展的成果从自然界本身以及人类认识和改造自然的科学技术实践中概括和总结出来的，又是辩证唯物主义的世界观和方法论在自然界以及科学技术发展中的具体表现和具体应用。科学技术哲学作为一门哲学学科，不可能也不应该脱离自然科学去直接研究自然界。它只能植根于自然科学对自然界的实证研究，把自然科学认识已经建立的科学概念、规律和理论提升为更具一般性的哲学范畴、规律和原理，在哲学世界观和方法论的高度上，从整体上把握自然界。同样地，科学技术

哲学也不可能更不应该以自己的这种哲学研究代替自然科学的实证研究。它的任务只在于为科学技术的发展提供正确的世界观和方法论的启迪，以帮助和促进而不是替代科学技术的认识与实践。如果哲学试图代替自然科学，那么它就会失去自然科学这一立足点，也必然窒息自身的发展。

科学技术哲学作为对科学技术发展的马克思主义的哲学概括和马克思主义哲学在科学技术认识与实践中的应用，反映了哲学与具体科学的交叉，科学技术哲学不仅研究自然界，而且研究人和自然界的关系以及这种关系在人的思维中的反映和在人类社会中展开与发展的过程，它又反映了自然科学、技术科学、思维科学、社会科学的交叉。从这个意义上说，科学技术哲学也带有交叉学科的性质。与其他学科既相互联系，又相互区别。

二、科学技术哲学与相近学科的关系

科学技术哲学有着自己的理论内核，它不能作为一个知识混合体而存在。它不能也不应该把其他学科网罗进来充作自己的内容。例如，它不能也不应该把科学学、科学史、未来学、系统论、控制论、信息论、天体演化论、生物进化论、生命起源论等等作为本学科的内容而包括进来。否则，科学技术哲学就失去了作为一门学科而独立存在的依据。当然，如果根本否认科学技术哲学与其他学科的联系也是片面的。科学技术哲学重要的学科特点正是它的学科交叉性。

科学技术哲学的独立性要求既要看到它与其他学科、理论有联系，也要看到它们之间的区别。为了进一步弄清楚什么是科学技术哲学，有必要把它同相近的学科、理论作一比较。

（一）科学技术哲学与自然哲学的关系

自然哲学是一个古老的哲学形态，属于传统的形而上学范畴。现代西方哲学家用这个眼光来看科学技术哲学，于是，科学技术

哲学也被看做是形而上学。例如，存在主义者萨特尔就认为，马克思主义的自然辩证法（即科学技术哲学）把辩证法弄成一种强加于宇宙的天然规律，弄成一种它自己会产生历史过程的形而上学力量，这就重新堕入黑格尔唯心主义，这就是自以为发现一种自然辩证法的形而上学的梦想。萨特尔先把自然辩证法（即科学技术哲学）与自然哲学混为一谈，断定自然辩证法先验地和没有证明地描绘自然界的辩证图景；然后推论说，这就使辩证法自然化了和成为外在的，于是成了一种形而上学。

我们不同意萨特尔的观点。科学技术哲学并不是传统的形而上学。它研究自然界的辩证法但并不是先验地研究，也不是没有证明地猜想。相反，它把这种研究建立在自然科学的基础之上，依靠经验自然科学本身提供的材料，把这种研究与对自然科学的辩证法的研究结合在一起。科学技术哲学是与自然哲学有本质区别的。

恩格斯曾对自然哲学作过精辟的分析。自然哲学的历史任务是对自然界总体情景做出系统的说明，而且是绝对真理，并由此构成所谓自然体系。它用来执行这个任务的唯一办法，是拿理想的、幻想的联系来代替它不知道的真实的联系，拿虚构、臆想来代替缺乏的事实，单只在想像中把真实的缺口填补起来。自然哲学或者依靠直观或者凭借思辨，甚至出现了“自然哲学的过渡理论化”。恩格斯指出黑格尔的自然哲学是先验主义怪想或粗鄙的理论，这一点对于其他自然哲学也适用。自然辩证法给马克思以前的旧哲学一个致命的打击，已使得任何自然哲学都成了无用的和不可能存在的了。[①]

按照恩格斯的说法，自然辩证法也包括自然观。但那是新的自然观，即承认并论证存在于自然界的辩证法。自然辩证法也从整体上看自然界，并提供自然界总图景。但那是依靠经验自然科

① 参看恩格斯《费尔巴哈与德国古典哲学的终结》和《自然辩证法》。

学本身的发展，因为自然科学不仅表明了自然界个别领域内诸多过程间的联系，而且表明了将这些个别领域结合为一的联系。自然哲学与自然辩证法的区别是明显的。

自然哲学直接对自然界做出判断而不考虑自然科学的辩证法。科学技术哲学则以自然科学为基础，首先着眼于自然科学是怎样揭示自然界的辩证过程和辩证联系的。

自然哲学所依靠的手段或者是直观，或者是猜想、虚构和思辨的方法。科学技术哲学则依靠概括和总结自然科学的成果。

自然哲学以建立绝对的“自然体系”为目标，而科学技术哲学则赞成把“体系”打烂抛弃在一旁。恩格斯指出，黑格尔不自觉地指示了一条走出体系迷宫而达到真正切实认识世界的途径，那就是循着实证科学和用辩证思维方法概括科学成果的途径。这条途径导致对我们来说是可达到的相对真理。

自然哲学包罗万象，顽固地不承认自然科学从自然哲学当中分化出去，坚持用自然科学的内容充作自己的内容。而科学技术哲学则不是也不应该是这样。

马克思主义的科学技术哲学是对黑格尔的自然哲学的否定。不仅如此，它还是对一切自然哲学的否定。

脱离开自然科学的辩证法而从整体上研究自然界以至自然界的辩证法，这种研究可以成为自然哲学但不能成为科学技术哲学。那么，研究自然科学的哲学问题（甚至它的辩证法）而不过问自然界及其辩证法，这种研究也能算作科学技术哲学吗？为了回答这个问题，有必要比较一下科学技术哲学与西方科学哲学之不同。

（二）科学技术哲学与西方科学哲学的关系

由于西方科学哲学派别杂多，众说纷纭，为了便于说明问题，这里只谈标准科学哲学，并且主要以逻辑实证主义为背景。

就哲学的根本观点来说，西方科学哲学与科学技术哲学根本对立。前者或者否认有辩证法，或者说它不是科学而属于传统形而上学，或者断言即使有辩证法也不是自然界的辩证法。标准科学哲学

与自然哲学不同，它拒斥传统哲学意义上的形而上学，因而拒斥自然哲学。它把自然辩证法当成形而上学无疑是错误的，但是，在拒斥自然哲学这一点上同科学技术哲学还是有某种相似性的。

标准科学哲学围绕着科学从事哲学研究。它是关于科学的哲学并且作为哲学流派而出现。它以科学为标本研究知识，以至于把科学哲学称为科学的认识论或科学方法论或科学的逻辑。但它对科学的界限、科学探索以及科学的基本概念、方法、构成和发展等等有浓厚兴趣，并试图予以解释。它所研究的许多课题也是科学技术哲学的课题，当然给出的答案是不同的。

标准科学哲学表示关心科学，信赖科学，推崇科学精神和科学方法。虽然在其出发点和结局上颇成问题，但对于科学的旗帜，科学技术哲学并不加以反对，只是实质上有所不同。按照各自的原则，科学技术哲学和标准科学哲学都利用自然科学成果，用来做建筑材料以至基石。

然而，即使以标准科学哲学为标准，科学技术哲学与西方科学哲学的区别也很清楚。西方科学哲学研究自然科学的哲学问题，但一般说来无视或甚至反对自然科学的辩证法。退一步说，就算它有条件地谈到和承认自然科学的辩证法，也决不承认自然界存在有辩证法。这里既有基本观点的分歧，又有学科性质和研究路线上的区别。

西方科学哲学面向自然科学并从整体上考察它，但有禁区。它只停留在自然科学本身及其经验材料上。至于自然科学背后的本质和客观基础就属于禁区。即使超越传统界限而涉及本体论性质问题，那也不深入到自然界本身，不追究到客观自然实在根源。如果用简化了的方式来表达，西方科学哲学走到了与自然哲学相反的另一个极端。自然哲学注视自然界，追究其本质，而不给自然科学以应有的地位；而西方科学哲学则以自然科学为对象，却不追究自然科学的客观基础，目中没有自然界。或者再简略点说，自然哲学面对自然界而不顾自然科学，西方科学哲学面对自然科

学而不看自然界。显然，这是两个极端、两个片面。

科学技术哲学旨在克服自然哲学和西方科学哲学的片面性。它既面对自然科学又注视自然科学背后的自然界。它研究自然科学的辩证法和自然界的辩证法，并使二者统一起来。于是，在科学技术哲学中，自然科学的辩证法有了唯物主义基础；而自然界的辩证法不再是自在的，而是通过自然科学本身揭示出来，有了科学依据。萨特尔说：“自然辩证法就是没有人类的自然，因此，它不再需要证实检验”。这样在研究中把客观的自然辩证法与自然科学的辩证法绝对对立起来，实质在于否认可认识客观的自然辩证法，进而根本上否认自然界客观上存在有辩证法。

（三）科学技术哲学与科学学的关系

科学技术哲学从整体上研究自然科学，是同西方科学哲学有区别的，这一点已经说过了。科学学不也从整体上研究自然科学吗？它与科学技术哲学的关系又如何呢？其实科学学不仅从整体上研究自然科学，它研究包括人文科学在内的科学整体。当然，还是可以考察一下它们之间的关系。怎样看它们之间的关系，除了与怎样理解科学技术哲学有关以外，还取决于怎样解释科学学。因此，在这里是跨进了一个多争议的领域。

科学学有可能在其理论基础部分同科学技术哲学存在交替的地方。没有理由完全排除科学技术哲学的一般观点被科学学用去解释自然科学的可能性，尤其像什么是科学以及科学发展的模式等相关问题，科学学与科学技术哲学都在研究。J·贝尔纳等采纳D·普赖斯在《科学的科学》中给科学学下的定义，即科学学是“科学、技术、医学等的历史、哲学、社会学、心理学、经济学、政治学、方法论等等”。在这个定义中，科学学的构成成分之中就包括有科学哲学、科学发现逻辑学等相关内容。

可是，即使科学学的基础理论中有自然科学的辩证法，它也不研究自然界的客观辩证法，况且科学学的内容相当广泛，它有

理论部分和应用部分。仅就理论部分而论，它也侧重于科学具体方面的理论研究或者侧重于旨在便于应用的理论研究。目前科学学的研究方法和研究方向表明了这一点。如贝尔纳等所说的，有统计研究、关键事例研究、结构研究、试验研究、分类研究等。它对整个科学过程和作为一种独立行业的科学活动作描述以及定量分析和结构分析。与科学技术哲学和西方科学哲学不同，科学学特别注重如何使科学应用于人类社会的需要。

科学技术哲学与科学学虽然可以有共同关心的课题，但它们两门学科的性质不同。这种区别在研究方法、研究目标、研究重心等方面都表现了出来。

（四）科学技术哲学与自然科学的关系

如何理解科学技术哲学和自然科学的关系呢？从恩格斯的时代以来，它们二者之间的密切联系越来越清楚，但它们决不是可以相互代替的。

“自然科学的对象是运动着的物质、物体。”[①]例如，从天体到基本粒子，从原子到有机体，总之，是自然界中实际存在的客体。自然科学直接面对自然事实或实际，即直接从自然事实或实际获得信息。无疑，自然科学可以分为理论部分和实验部分或应用部分，后一部分较之前一部分更直接地同自然事实或实际相联系。可是，自然科学的理论部分即理论自然科学要以实验自然科学为基础，需要实验自然科学提供实验数据、经验知识和经验性定律。因此，自然科学的理论部分是自然科学研究过程或认识过程的深入，而包括两个部分在内的自然科学整个说来是直接以自然界的客观实在为对象的。

与此不同，科学技术哲学不像实验自然科学那样接近客观物体，不像它那样通过实验、经验材料、实验数据等直接与运动着

①《马克思恩格斯全集》第 33 卷，第 82 页。

的物体相联系。不仅如此，科学技术哲学也不像理论自然科学那样接近客观实际，而是有更长的距离；不像理论自然科学那样有那么具体的对象。总之，科学技术哲学比理论自然科学的理论性还要强得多。

由于物体和运动是不可分的，各种物体的形式和种类只有在运动中才能认识，“因此，自然科学只有在物体的相互关系中、在运动中观察物体，才能认识物体。对运动的各种形式的认识，就是对物体的认识。所以，对这些不同的运动形式的探讨，就是自然科学的主要对象。”[①] 不同的运动形式服从于不同的自然规律。因而，自然科学研究的是特殊的自然规律。与此不同，科学技术哲学研究一般的自然规律。可以说，作为理论形态，自然科学和科学技术哲学都是自然界客观规律的反映；但前者反映特殊的自然规律，而后者反映一般的自然规律。

由于科学技术哲学和自然科学从不同的知识层次上与客观实际发生关系，由于它们的研究对象有所区别，所以，它们的研究成果有不同的性质，从而它们各自的研究成果所构成的内容也不同。这就决定了科学技术哲学和自然科学不可互相代替。既不能用科学技术哲学理论代替自然科学的解释、论证和研究，也不能把自然科学的材料充作科学技术哲学的内容。

在历史上，自然科学曾经被包括在自然哲学之中，因此自然科学的课题，尤其那些有关“起源”的课题都属于自然哲学研究范围之内。 这是历史事实。历史在前进，自然科学一门一门地从自然哲学当中分化出来而独立存在了。原来属于自然哲学的某些课题，已由独立了的自然科学在经验或经验的基础上加以研究。这些研究的性质是自然科学的内容而不属于科学技术哲学的内容。正如现代物理学的原子理论一样，有关“起源”之类课题的自然科学研究成果不是科学技术哲学学科本身的一大部分；也正

①《马克思恩格斯全集》第 33 卷，第 82 页。

如科学技术哲学可利用现代物理学的原子理论一样，无疑可以利用自然科学关于有关“起源”之类问题的最新研究成果。

哲学家不承认自然科学独立而坚持把它塞在自然哲学之中的时候，便把自然科学和自然哲学混同了。科学技术哲学不像自然哲学那样，它公开表明自己与自然科学有不同的性质。

至于科学史，它在学科的分类上与科学技术哲学相距较远。顾名思义，科学史属于“历史”范围，而科学技术哲学则属于“理论”范围。但正如可以利用自然科学的材料进行理论思维一样，科学技术哲学也可以利用科学发展的史料进行理论概括。

三、科学技术哲学的创立和发展

（一）科学技术哲学的历史渊源

人类对自然界的认识，经历了一个漫长的过程。科学技术哲学就是这一认识过程发展的产物。

在古代，人类曾以自然哲学的形式，达到了对自然界自发的唯物主义和朴素的辩证法的理解。古希腊人到自然界本身之中去寻求对它的解释，并把自然界当做一个整体从总的方面来观察。在他们看来，自然界就是其自身存在的根据和变化的原因，整个自然界都处于永恒的产生和消亡中。但是，限于当时人类的实践和认识水平，这种自然哲学还没有进步到对自然界进行解剖和分析的地步，自然现象的总联系还没有在细节方面得到证明，它还没有取得也不可能取得足够的科学基础。这就使古希腊人的自然观不能不带有浓厚的直观、思辨和猜测的性质，并且不可避免地包含了以后分裂的种子。

在随之而来的中世纪，宗教神学的自然观和宗教神学服务的经院哲学在一段较长的时期内占了统治地位。到 15 世纪末 16 世纪初，欧洲城市商业经济的发展和地理上的大发现，奠定了以后的世界贸易以及从家庭手工业过渡到工场手工业的基础。在经济和生产发展的推动下，伴随着思想文化领域的文艺复兴和宗教改

革运动，科学又重新兴起。1543 年，哥白尼的不朽著作《天体运行论》出版，标志着自然科学开始从神学中解放出来，走上了独立的发展进程。近代自然科学不仅摆脱了神学和经院哲学的束缚，也克服了旧的自然哲学的缺陷。它把自己对自然界的认识建立在观察和实验的基础之上，并把观察、实验方法与数学方法结合起来，使自然科学在 17 世纪获得了大踏步的前进。弗兰西斯·培根创立了唯物主义的自然观、经验论的认识论和归纳法的方法论。笛卡儿则提出了唯物论的认识论和演绎法的方法论。在科学观方面，培根发展了近代科学的人文主义传统，强调真正的科学应当具有实践的性质，科学的合理目标应是给人类生活提供新的发现和力量。这些都对近代自然科学的发展起了积极的进步的作用。

然而，17 世纪乃至 18 世纪的自然科学，毕竟还处于近代科学发展的初期阶段。限于当时的科学发展水平，也在自然观和方法论方面造成了这一时期人类认识自然的局限性。近代自然科学为了把自己对自然界的认识建立在对自然界的精细研究的基础上，它所采用的主要是分析、解剖的方法：为了认识整个自然界，首先把自然界分成许多部分，分门别类地去研究各个领域的自然现象；为了认识某一自然事物，首先把它加以解剖，去研究各个局部的细微构造；为了认识某一自然过程，首先把它分成若干阶段，在静止的状态下去研究它的某一截面。这种研究方法，为科学认识积累了大量的经验材料，也是近代自然科学获得巨大进展的基本条件。但是，这种做法也给人们留下了一种孤立地、静止地思考问题的习惯。而且，直到 18 世纪末，在自然科学中只有力学（主要是刚体力学）和天文学（主要是天体力学）取得了一定程度的成就，自然科学的其他学科还处在襁褓之中。人们已获得的关于自然界的认识主要是对机械运动的认识，自然界的普遍联系和运动、发展还远没有通过自然科学本身的认识被揭示出来。这就使得这个时代的自然观不能不带有形而上学和机械论的特征。

从 18 世纪下半叶开始，工场手工业逐步向机器大工业过渡，

近代技术迅速崛起，一场彻底改变整个社会经济结构的工业革命首先在英国，接着在欧洲和北美的许多国家相继发生。工业革命有力地推动了科学技术的发展，到 19 世纪，科学技术已进入全面发展时期。自然科学从搜集经验材料的阶段开始进入对这些材料进行理论概括的阶段。科学本身对自然界认识的进展，要求突破形而上学的局限。在这一过程中，辩证法曾在德国古典哲学特别是黑格尔哲学中，达到它继古希腊哲学之后的第二种历史形态的发展。黑格尔第一次把整个自然、历史和精神的世界，描绘为一个不断运动、变化、发展的过程，并试图揭示这种运动、变化和发展的内在联系。但在黑格尔所处的时代，虽然自然科学的发展已开始突破形而上学的自然观，但科学认识已经取得的成果还不足以把自然界的辩证法充分揭示出来。黑格尔只是在概念的辩证法中猜测到了事物的辩证法，他的辩证法还被深深地束缚在唯心主义的体系之中。

从 19 世纪 30 年代末到 70 年代，在自然科学的各个领域相继涌现出一系列新的发现——细胞学说、能量守恒与转化定律、生物进化论等决定性的重大发现以及自然科学的其他成就，越来越深刻地揭示出了自然界的辩证性质。这就使得：一方面，有了可能在这种接连而来的发现的混乱状态中建立起联系，从而使它们条理化；另一方面，自然科学除了从形而上学思维复归到辩证思维，已经没有其他出路。正是在历史发展的这种必然进程中，也是为了适应自然科学和哲学发展的需要，马克思和恩格斯科学地总结和概括了当时自然科学以及技术发展的最新成就，批判地继承了哲学史上的宝贵遗产以及人类文明史中一切有价值的成果，特别是吸取了黑格尔哲学中辩证法的合理内核，并在唯物主义的基础上对它加以革命的改造，在他们建立和完善马克思主义哲学体系的过程中创立了科学技术哲学。

（二）科学技术哲学的创立及其意义

马克思、恩格斯是科学技术哲学的创始人。科学技术哲学最初是以自然辩证法的名称而创立起来的。

马克思、恩格斯酝酿和形成他们新的哲学世界观，开始于19世纪40年代。他们关于自然辩证法的思想萌芽，也应该追溯到这一时期。阐明自然界和自然科学的辩证法，是马克思和恩格斯共同提出的任务。系统地研究并建立自然辩证法的实际工作，则主要是由恩格斯来进行的。不过，马克思一直非常了解并完全支持恩格斯的工作，他们还经常通过信件交流见解。应当认为在《自然辩证法》和《反杜林论》等著作中所表达的，是他们二人共同的思想。

恩格斯说过："马克思和我，可以说是从德国唯心主义哲学中拯救了自觉的辩证法并且把它转为唯物主义的自然观和历史观的唯一的人。可是要确立辩证的同时又是唯物主义的自然观，需要具备数学和自然科学的知识。"[①]所以他们都非常重视自然科学，一直密切注视着自然科学的发展状况。为了总结和概括自然科学在认识自然界方面已经取得的成果，恩格斯曾对直到他那个时代为止的自然科学各个领域的最新成就，进行了极其广泛、深入的研究。马克思在准备写作《资本论》的过程中还研究了技术发展的历史，特别是研究了体现自然力和自然科学应用的近代技术在工业革命中产生和发展的过程，及其在资本主义生产方式下应用的前提和后果。他还研究过数学特别是微分学的辩证性质，写了著名的《数学手稿》。

1873年5月底，恩格斯在致马克思的信中提出一整套"关于自然科学的辩证思想"，形成了《自然辩证法》的第一个提纲。在这以后的整整三年里，他埋头于对自然辩证法的全面探索，并开始《自然辩证法》一书的撰写。

到1876年5月底，恩格斯在致马克思的信中说，在他的头脑

①《马克思恩格斯全集》第3卷，第51页。

中已经形成“这部著作的清晰的轮廓”。从 1876 年 6 月，恩格斯转而撰写《反杜林论》，并在其“哲学”篇中充分运用了他写作《自然辩证法》所准备的材料，也深刻地阐述了自然辩证法的一些基本思想。从 1878 年 7 月开始，恩格斯继续写作《自然辩证法》，为此他还制订了一个《总计划草案》。在这以后的五年时间里，恩格斯在学术方面主要是从事对自然辩证法的研究，并一直希望尽早地把这项工作完成。但是，1883 年 3 月 14 日马克思突然逝世打乱了他的这一计划，使他不得不把几乎全部精力转向整理和出版《资本论》第 2、3 卷的手稿及马克思的其他著作，直到 1895 年恩格斯逝世，终于未能把《自然辩证法》一书完成。但自然辩证法作为马克思主义哲学这一严整理论体系的一个重要组成部分，已经被实际地建立起来了。

自然辩证法的创立，是人类自然观、科学技术观和自然科学方法论发展中的划时代的变革。

在自然观方面，马克思、恩格斯克服了古代自然观由于缺乏科学认识基础所造成的直观、思辨的局限性，吸取了古代自然哲学关于自然界运动、发展和整体联系的思想，以近代自然科学对自然界认识的最新成就为依据，批判了形而上学和机械论，深刻地揭示了自然界本身发展的辩证法：从而建立了一种反映自然界本来面目、适合自然科学发展需要的辩证唯物主义自然观。辩证唯物主义自然观的产生，标志着从古代的辩证思维到近代的形而上学思维再复归到现代辩证思维的否定之否定的过程的完成。

在科学认识论和方法论方面，马克思、恩格斯克服了培根经验论的形而上学的缺陷和笛卡儿唯理论中的唯心主义倾向，把他们的归纳法和演绎法辩证地结合了起来；批判了康德的“先验论”和黑格尔的“理念论”的唯心主义观点，并对他们尤其是黑格尔关于思维的能动作用的观点加以唯物主义的改造；第一次把社会实践放到认识论和方法论的首要地位，阐述了在实践基础上科学认识发展的辩证法：从而创立了辩证唯物主义的科学认识论和科

学方法论。

在科学技术观方面，马克思、恩格斯与传统的观点不同，不仅深刻地揭示了科学技术自身发展的内在逻辑，而且把科学技术的发展作为一种社会现象来考察，并由此提出了许多崭新的思想：自然科学属于一般社会生产力的范围；科学技术并入生产过程转变为直接的生产力；社会实践的需要，首先是经济、生产的需要，是科学技术发展的基本动力；科学技术又是推动社会历史前进的革命力量。这样，就把辩证唯物主义和历史唯物主义贯穿于对科学技术的认识之中，深刻地揭示了科学技术的实质及其发展的辩证规律，创造了崭新的马克思主义的科学技术观。

（三）科学技术哲学的传播和发展

1925 年，恩格斯的《自然辩证法》以德、俄两种文字对照的形式首次在苏联出版。接着，《自然辩证法》的日文版（1929 年）、中文版（1929 年）、英文版（1939 年）等多种文字的版本也相继面世。这部著作的出版，促进了科学技术哲学在苏联和世界的广泛传播。1931 年，苏联一物理学家在伦敦第二届科学史世界大会上作了题为《牛顿〈原理〉的社会经济根源》的报告，用辩证唯物主义和历史唯物主义观点从社会经济背景上研究自然科学的发展，在西方科学史界引起强烈反响。1932 年，日本学术界在“唯物论研究会”内，设立了自然科学部门研究会，专门从事自然辩证法研究。从 20 世纪 30 年代中期，美国、英国、法国的一些科学家和哲学家也致力于自然辩证法的研究并发表了一些重要论著。在 20 世纪 30 年代末的中国，也出现了学习和研究自然辩证法的组织，促进了科学技术哲学在中国的传播。

在马克思、恩格斯之后，列宁对科学技术哲学的发展做出了积极的贡献。随着 19 世纪末、20 世纪初 X 射线、放射性和电子的发现，在现代物理学中提出了一系列重大理论问题，围绕这些问题展开了一场两条哲学路线的斗争。在《唯物主义和经验批判

主义》等著作中，列宁精辟地回答了这些问题：

第一，在物质观方面，强调了物质的客观实在性。针对马赫主义者提出的“物质消失了”的错误观点，列宁反驳道：物理学最新发现所证明的，决不是“物质的消失”，而是指旧物理学关于物质结构的界限“正在消失”，关于物质结构的形而上学观点“正在消失”，永恒运动着的物质是绝不会消失的。为了从根本上批驳“物质消失了”的观点，列宁在物质定义中将客观实在性作为最根本的规定，从物质的客观实在性出发，列宁进一步阐明了恩格斯提出的“世界的统一性在于它的物质性”的观点。列宁提出了“原子的可变性和不可穷尽性”与“电子和原子一样，也是不可穷尽的”[①]的著名论断。

第二，在运动观方面，针对马赫主义者宣扬的没有物质的运动和唯能论观点，列宁重申了恩格斯的思想：没有运动的物质和没有物质的运动是同样不可想像的。

第三，在时空观方面，批驳了马赫主义者提出的“时空是主观的”唯心主义的观点，肯定了唯物主义关于“时间和空间是纯粹客观的范畴”[②]的观点。

第四，在总结物理学中两条哲学路线斗争的主要经验教训时，列宁一再告诫自然科学家要学习辩证法，“应当做一个辩证唯物主义者”[③]。

列宁的上述思想，对于科学技术哲学和自然科学的发展，都有重要的指导意义。

科学技术哲学的发展，如同它的独立一样，其坚实基础在自然科学本身的发展之中。20 世纪以来自然科学突飞猛进的发展，极大地扩展和加深了人类对自然界的认识。爱因斯坦的狭义相对

---

①《列宁选集》第 2 卷，第 268 页，第 185 页。
②《列宁选集》第 2 卷，第 268 页，第 185 页。
③《列宁选集》第 4 卷，第 609 页。

论和广义相对论更新了物理学的一系列科学概念和思想观念；从普朗克的量子论、波尔的量子化原子结构理论到薛定谔、海森伯的量子力学的建立，揭示了微观物理世界中不同于宏观物理世界的崭新的规律；对基本粒子及其相互转化和物质结构更深层次的研究，以及对自然界中各种基本物质的相互作用的统一的研究，展现了物质的深远的无限性及其深刻的统一性；现代宇宙论的研究不仅把演化的概念推广到更广的范围，而且推进到元素和基本粒子演化的更深层次；现代生理学的研究借助于物理学和化学的成就，从 20 世纪 40 年代开始由细胞水平深入到分子水平，并从 20 世纪 50 年代开始揭开了生命活动和遗传现象的秘密，直到 21 世纪初在人类基因组测序方面取得重大进展；从电子计算机的发明到人工智能的研究，使人类终于掌握了可以在越来越大的程度上代替人的脑力劳动和放大人脑功能的技术手段，也推动了思维科学的研究；电子计算机不断更新换代并广泛地获得应用，以及微电子技术的发展，促进了高技术的兴起，把整个现代技术推进到了一个崭新的发展阶段。与此同时，系统论、信息论、控制论、自组织理论的创立和整个系统科学的发展，使系统科学方法被应用于科学技术的各个领域，沟通了学科之间的联系，突破了传统方法的局限，把现代科学认识提到了更高的水平。在这一发展过程中，科学革命引起了技术革命，技术革命又引起产业革命，最终导致社会生产力的巨大进步，并使人类的物质生活、社会关系乃至思维方式都发生了极其深刻的变化。随着人类作用于自然界的能力的急剧增长，也在环境、生态等方面带来了许多尖锐的问题，迫使人们不得不对自己与自然界的关系以及科学技术的发展进行更深刻的反思。这样，20 世纪科学技术的发展就在更加广阔和更加深刻的程度上揭示了自然界的辩证法和科学技术的辩证法，表明现代自然科学向辩证思维的复归已成为不可逆转的历史潮流。人类已进入 21 世纪，一方面辩证法的许多基本观点由于无数确凿的自然科学事实而在实际上已为自然科学界所广泛接受，

使许多科学家在自己的科学实践中实际上达到了一些符合唯物辩证法的结论；另一方面在急剧发展的各门科学技术的前沿上，在人类与自然界、科学技术与社会的相互关系上，又提出一系列需要科学家和哲学家们去认真研究和探讨的重大问题。这就为科学技术哲学的发展奠定了牢固的基础，也为它的研究开辟了广阔的天地。

我国在学科目录中较长时间里也曾沿用“自然辩证法”的名称，直到 1997 年在修订的学科目录中改为“科学技术哲学”。

四、研究和学习科学技术哲学的意义

我们的时代，正处于一个伟大的转变时期。“非常值得注意的是科学自身也在转变之中”，并且正是科学的转变深刻地影响着时代的转变进程，所以人们都把科学看做一种希望。科学家们也更加自觉地“追随我们时代的主要潮流，并把时代的发展、变化和向前的趋势反映到科学之中”。[①] 刚刚过去的 20 世纪，经典力学经历了一场深刻的革命，已经突破了它几百年来所遵循的古典决定论的精确的和解析的传统。如果说在 19 世纪以进化论的创立为标志，生物学首先发展为一门演化的科学的话，那么 20 世纪尤其是近几十年的科学进展——关于基本粒子的复杂性的发现，关于早期宇宙演化的宇宙学的建立，关于非平衡的、相干的、一致的结构的研究——使物理学和化学也已发展为演化的科学。科学本身的发展正在改变着我们对自然界的看法，也改变着科学关于平衡与非平衡、有序与无序、可逆与不可逆、对称与非对称、进化与退化、渐变与突变、简单性与复杂性、精确性与模糊性、系统与要素、结构与功能等一系列最基本的观念。在这一过程中，自然科学的发展不但没有远离哲学，而且在自然观、认识论和方法论

① 普里高津：《科学对我们是一种希望》，见《自然辩证法研究》1987 年第 3 卷，第 2 期。

方面都提出了越来越多的问题，需要在哲学认识层次上加以认真的研究。处于科学前沿的理论自然科学家们，也不能不对这些问题进行严肃的哲学思考。这样，对科学技术哲学的研究，就不是游离于科学发展之外、更不是强加于科学研究之上的什么多余的东西，而是自然科学本身发展的一种需要。

“科学是一种在历史上起推动作用的、革命的力量。”[①] 现代科学的发展，已经完全证实了这一论断。在当今世界上，新的科学革命正在引起新的技术革命，新的技术革命正在引起社会生产力的巨大飞跃和社会经济结构的剧烈变革，以致生活环境、职业性质、文化教养迥然不同的人们都同样深切地感受到科学技术的力量和价值。不管西方学者还是东方学者都同样把科学技术视为经济发展和社会进步的决定性因素；不论发达国家还是发展中国家都同样在它们所面临的战略选择中把科学技术的发展置于首要地位。与此同时，科学技术本身也已发展成为庞大而复杂的社会建制，它又与经济、政治、文化、教育等各种社会要素发生和发展有着极为密切的联系，因此它的发展也在越来越大的程度上受到社会为它提供的条件和环境的制约。在这种情况下，我们要更加自觉地推进科学技术的发展，并通过它的发展来推动经济发展与社会进步。要做到这一点，就不仅需要更加深入地研究科学技术发展的内在规律，而且必须更加深入地研究它在社会中发展的规律，包括科学技术的发展如何转化为经济、社会发展的机制，也包括科学技术发展可能带来的深刻的法律和伦理方面的问题研究等。因而，科学技术哲学关于科学技术观的研究，也就具有了特别突出的意义。

20 世纪以来科学技术的高度发展和广泛应用，一方面导致了许多积极结果，实现着人们利用科学造福于社会的理想；另一方面，也带来了不少未曾预料的消极后果，引起了诸如在环境、生

①《马克思恩格斯选集》第 3 卷，人民出版社，1972 年版，第 575 页。

态、资源、人口、粮食等方面所产生的一系列全球性问题。被科学技术不断扩大着的人对自然界的影响，已经超过作为一个自然系统的地球的自我调节和所能承载的界限。人类把越来越强大的科学技术手段用于社会，其广泛而深刻的社会影响更难以为人们所预料。于是，几个世纪以来一直被人们所尊崇的理性与自然的和谐似乎已经破裂，代之而起的是两种对立的思潮：一种认为科学技术的进步是一个用计划和控制的世界来扫除习俗和无知的世界的有益过程；一种则认为科学技术使人同自然，并同自己的本质相分离，它以对人本身的侵犯为代价去征服自然，以内部的精神的丧失为代价去换取外部的物质的满足。在这种情况下，我们不能不认真地进行反思：人类在自然界和社会面前，以及在科学技术发展面前，到底获得了多大自由？而为了扩大人类活动的自由度，我们就得更多地认识自然。为了更充分地理解自己行动的意义和后果，理解由于这种行动将给周围世界带来的变化，我们就得更深刻地把握和更自觉地遵循科学技术发展的客观规律。所以，科学技术哲学的研究，对于真正实现人和自然的协调发展以及科学、技术与经济、社会的协调发展，都是绝对必需的。

研究科学技术哲学，还是发展马克思主义哲学的需要。辩证唯物主义作为适用于自然界、社会和人类思维的最一般的发展规律的科学，是在自然科学对自然界的认识、社会科学对社会的认识和思维科学对思维的认识的基础上总结和概括出来的。它也必须随着这些科学的发展不断丰富、更新自己的内容并改变自己的形式。哲学是时代精神的精华。马克思主义哲学要充分体现时代的精神，就必须从当代迅速发展的自然科学中吸取营养，也就必须发展科学技术哲学的研究，这是显而易见的。如果科学技术哲学的研究被冷藏，马克思主义哲学联系科学技术的纽带就会被阻断，哲学的发展就会失去其最重要的基础之一，也就难以摆脱陷于贫困的危机。

当代中国正在进行前所未有的社会主义现代化建设。科学技

术现代化无疑是整个现代化的关键。恩格斯早就指出：“一个民族想要站在科学的最高峰，就一刻也不能没有理论思维。”[①] 在科学革命的进程中，哲学对科学的作用就更为明显。它可以启迪科学家的思维，开阔科学家的思路。如果说用唯物辩证法武装我们科学家的头脑，使之变得更加高明，对于推动我国科学技术的发展是十分重要的，那么以唯物辩证法为指导，真正在切实掌握科学技术发展客观规律的基础上制定发展科学技术的方针和政策就更为重要，因为对一个国家来说，这种方针、政策的指导是否正确将从根本上决定科学家个人努力的成败。科学技术哲学对科学技术观的研究，可以为科学技术方针和政策的制定、科学技术发展的规划、科学技术工作的领导和管理提供科学基础，其重要性正日益突出。

科学技术哲学只有被科学技术认识与实践的主体所掌握，才能更好地实现其存在价值。对于科学技术工作者来说，学习和研究科学技术哲学，有助于提高自己的哲学素养，进一步树立辩证唯物主义世界观，用正确观点去分析科学技术发展中提出的各种问题，并分析科学技术领域中的各种哲学、社会思潮以增强自身的鉴别能力；有助于提高辩证思维能力，掌握和运用科学的思维工具去探索自然界和科学技术发展的规律性，增强自身从事科学技术活动的自觉性；有助于加深对党和国家的科学技术方针、政策的理解，并密切结合自身的科学技术工作实际，更自觉地贯彻、执行这些方针、政策。

参考文献

[1] 国家教委社会科学研究与艺术教育司. 自然辩证法概论. 修订版. 北京：高等教育出版社，1991

[2] 恩格斯. 自然辩证法. 北京：人民出版社，1984

①《马克思恩格斯选集》第 3 卷，人民出版社，1972 年版，第 467 页。

[3] **吴国胜. 科学的历程. 长沙：湖南科学技术出版社，**1997
[4] **刘大椿. 科学技术哲学导论. 北京：中国人民大学出版社，**2000
[5] **林超然等. 现代科学哲学教程. 杭州：浙江大学出版社，**1988
[6] **舒炜光等. 自然辩证法原理. 长春：吉林人民出版社，**1984
[7] **黄顺基等. 科学论. 开封：河南大学出版社，**1990
[8] **李庆臻等. 自然辩证法词典. 济南：山东人民出版社，**1986

第一篇

自 然 观

自然观是人们关于自然界以及人与自然关系的总的看法和根本观点。不同的人由于各自知识和经验的不同形成不同的自然观。但是，代表性最广的自然观，主要来自于对该时期科学成果的概括和提炼。从古代到近代，人类自然观经历了从自然哲学到基督教神学再到机械论的变迁。20 世纪以来，不同领域科学技术的重大突破，孕育和发展了一种新的自然观 —— 辩证唯物主义的自然观。

辩证唯物主义自然观是马克思主义关于自然界的本质和发展规律的根本观点。辩证唯物主义自然观有三个基本的观点：一是认为自然界的本原是物质的，而物质是以系统的方式存在的，即系统自然观；二是认为自然界的一切物质都是按其内在的固有规律运动、演化、发展和灭亡的，即演进自然观；三是认为人、自然与社会应当而且可以协调发展，即生态自然观。

第一章　系统自然观

辩证唯物主义的自然观认为，自然界的本质是物质的。自然界物质的根本属性在于其客观实在性，而自然界的物质形态又是千姿百态、无限多样的。从物质形态上看，自然界是一个既多样又统一的物质世界。自然界的物质是在普遍联系中存在和运动着。现代自然科学进一步表明，物质普遍联系的基本形式是系统。自然界是以系统形式存在，并呈现出复杂的层次结构。

第一节　自然界的系统存在

人们对自然界各种物质形态的认识，是随着自然科学的发展而逐步深化的。特别是 20 世纪以来的自然科学充分表明：自然界物质形态尽管多种多样、千变万化，但它们都是具有一定结构的物质系统。恩格斯在《自然辩证法》中明确指出：“我们所面对着的整个自然界形成一个体系，即各种物体相互联系的总体”[①]。这里所说的物体，是指所有的物质存在，包括从星球到原子……而恩格斯所说的总体，就是由星球到原子等各种物质系统相互联系所构成的自然界整体系统。

自然界的物质性主要回答存在着的“是什么”的问题，至于“如何存在”的问题，则是由系统方式和运动形式来回答的。

① 恩格斯：《自然辩证法》，人民出版社，1971 年，第 54 页。

一、物质联系的系统方式

（一）何谓“系统”？

“系统”（system）一词，最早源于古希腊语，表示“站在”“一起”（stand together）或“安置”“在一起”（place together）的意思。这个意思与“偶然堆积”的意思相反，表示按一定的关系结合起来的意思。

在古代中国，《周易》、《尚书·洪范》等书中，则有所谓八卦系统、阴阳五行系统，等等。但是，究竟什么是“系统”这一概念，却是随着现代系统科学的产生和发展，才逐渐获得明确的界定。

因此说，“系统”是现代系统科学的基本范畴。系统论创始人美籍奥地利生物学家贝塔朗菲（L.Von.Bertalanffy）在 1972 年发表的《普通系统的历史和现状》一文中指出：系统是“处于一定的相互关系中并与环境发生关系的各组成部分（要素）的总体（集）”[①]。一般认为：运动变化着的若干部分，在相互联系、相互作用之中组成的具有某种确定功能的整体谓之“系统”[②]。

在我们看来，尽管人们可以从不同侧面给系统下定义，但是科学地把握这一概念应当注意以下四个要点：其一，任何一个系统必须有两个以上的要素构成，即承认系统内部应具有可分析的结构，单个的要素不成其为系统；其二，“系统”在于“系”，即系统内诸要素之间、系统要素与系统整体之间的相互联系、相互作用，形成了特定的结构；其三，“系统”还在于“统”，即要素彼此之间联系成为一个统一的有机整体；其四，系统作为一个整体对环境表现出特定的功能。系统是自然界物质存在的普遍形式。

---

① 〔奥〕L.V.贝塔朗菲：《普通系统论的历史和现状》，《科学学译文集》，科学出版社，1981 年，第 315 页。

② 陈文林等：《自然辩证法词典》，江苏教育出版社，1988 年，第 320 页。

（二）系统——自然界物质联系的基本形式

物质系统是自然界中万事万物基本的、普遍的存在方式。从基本粒子到总星系，从基因到人体，每一种存在物无不是以系统方式而存在的。例如：物理学的理论和实验已证明过去被认为是“基本粒子”的强子是有着复杂结构的系统，构成强子的要素被称为夸克，它们是：上夸克、下夸克、粲夸克、奇异夸克、顶夸克和底夸克。已知的几百种强子，都是由这六种夸克和它们的反粒子构成的，夸克之间相互联系的方式是通过交换胶子而实现的。与此相似，直到 19 世纪末，原子一直被人们看成是基本粒子，内部没有结构，当然也就不是系统，不久以后，由于 X 射线、放射性和电子等的发现使人们认识到原子是由电子、质子、中子等更基本的要素所构成的系统，J. J. 汤姆逊根据当时的理论和实验曾用面包—葡萄干模型，来具体描述原子系统。由于卢瑟福 α 粒子大角散射现象的发现，卢瑟福又用“行星模型”来描述原子系统。后来，由于玻尔、薛定谔、海森堡、玻恩等人的研究，对原子系统的描述越来越完善了。进一步，由原子构成分子系统，又由分子构成材料系统，这些客观事实说明系统是无机界存在的基本方式。

对于有机界而言，系统作为其存在的基本方式也是显然的。例如：分子生物学的理论和实验已证明，DNA（脱氧核糖核酸）是一种高分子系统，具有双螺旋结构。脱氧核苷酸是构成 DNA 的基本要素，每个脱氧核苷酸又是由磷酸、脱氧核糖、含氮碱基等要素所构成的系统。DNA 不仅具有一定的构成要素，而且还有其特殊的构成方式，从而表现出其特有的功能。这一结构的特点是：DNA 分子是由两条头尾方向相反的脱氧核苷酸长链盘旋而成；DNA 分子中的脱氧核糖和磷酸交替连接，排列在双螺旋结构的外侧，碱基则排列在内侧，两条链上的碱基通过氢键连接，形成碱基对。另外，我们还知道作为构成生物体较高一级层次基本结构和功能单元的细胞，是有机生命界里最基本的系统。作为

一个整体的细胞系统又是由细胞质、细胞核、细胞壁（其中动物细胞的质膜外无细胞壁，只有一层套膜）等基本要素构成。其中细胞质又包含许多有形结构，如质体、线粒体、核糖体、溶酶体、中心粒、高尔基体和液泡等；细胞核又由核膜、核液、染色质和核仁等要素构成。

此外，宇宙总星系是由星系作为基本要素而构成的系统。星系往往又是由数十亿乃至数千亿颗恒星和气体尘埃等星际物质所构成的天体系统。太阳是我们熟知的恒星，它与九大行星共同构成的太阳系是典型的系统。同样，动物、植物和微生物构成了整个生物系统，其中的动物系统又是由不同种群的动物作为构成要素的。总之，物质系统是自然界物质存在的基本方式。其实，系统与其构成部分的划分是相对的，就其实质而言，构成系统的要素部分也是系统，所以我们常常又把系统的要素称为子系统，其含义就是如此。

然而，虽然我们今天由于科学技术的进步和哲学的发展，对物质系统——自然界物质存在的基本方式有了比较深刻的认识，但物质系统观并不是我们整个时代特有的认识。可以不夸张地讲，对自然界整体的、有机的、系统把握的思想从古至今没有间断过。

在古希腊时代，人们就确认系统是自然界物质存在的普遍形式。公元前 6 世纪，辩证法的奠基人赫拉克利特（Herakleitos）在《论自然界》一书中写道：“是解释包括一切的整体”。公元前 5 世纪，原子论的创导者德谟克里特（Demokritos）著有《宇宙大系统》一书，明确地把整个宇宙或自然界看成一个巨大的系统。

在文艺复兴时代，德国哲学家尼古拉（库萨的）（Nicolaus Cusamus）认为：“一切事物都处于某种相互关系之中，借着这种相互关系，所有个体结合而成为统一的宇宙，并且在这统一的绝

对中，实存体的众多性就是单一自身。”[①]

在 18 世纪，法国哲学家爱尔维修（C.A.Helvetius）认为，只有自然界才是客观存在的。他写道：“什么是自然？一切事物的总合。”[②] 法国启蒙思想家狄德罗（D.Diderot）指出，自然界是由各种元素所构成的物质的总体。所谓“元素”就是“异质物质”，亦称“分子”，它们的数量是无限的，性质是各不相同的。他说：“我将把产生一切自然现象所必需的那些不同的异质物质称为元素，而把这些元素组合起来造成的那个现实的总结果或那些相继出现的总结果称为自然。”[③] 1755 年德国科学家康德（I.Kant）发表的《自然通史与天体理论》和 1796 年法国科学家拉普拉斯（P.S.Laplace）出版的《宇宙体系论》，明确提出了物质的宇宙是一个整体、体系的观念，星系和星云等皆是这个整体的组成部分。

在 19 世纪初，法国动物学家、古生物学家居维叶（G.Cuvier）提出生命有机体是一个由各个部分交互作用并具有目的性的系统的看法。他在《四足动物化石骨骼研究》（1812）一书的“导论”中写道：每个有机生物都形成一个整体，形成一个完整而严密的系统，它的各个部分都是互相适应的，并通过它们的交互作用，而促成它们的有目的活动。1817 年，德国著名哲学家黑格尔（G.W.F.Hegel）在《哲学全书》中强调说：“自然必须看做是一种由各个阶段组成的体系。”[④]

19 世纪中叶，恩格斯从本体论上考察“系统”，明确指出系统是自然界物质的存在方式。他在《自然辩证法》一书中写道：“我们所面对着的整个自然界形成一个系统，即各种物体相互联系的

---

① 上海师范学院等选编：《欧洲哲学史原著选编》，福建人民出版社，1981 年，第 255 页。

②、③ 北京大学哲学系外国哲学史教研室编译：《十八世纪法国哲学》，商务印书馆，1963 年，第 495 页，第 342 页。

④〔德〕黑格尔著：《自然哲学》，商务印书馆，1980 年，第 28 页。

总体，而我们在这里所说的物体，是指所有的物质存在。”他还说：“只要认识到宇宙是一个系统，是各种物体相互联系的总体，那就不能不得出这个结论来。”[①]

20 世纪以来，随着系统科学理论体系的建立和发展，关于物质系统观的思想已被人们普遍认同。

（三）物质系统的基本类型

用系统观点看自然界，自然界就是各式各样的物质系统组合而成的有机整体，所有自然物都自成系统或处于系统之中。对同一系统可以从不同角度进行分析，从而划分出不同的类型来。具体来讲，自然界存在的多样的物质系统有如下的几种分类。

1. 根据物质系统与其环境相互联系的程度划分

物质系统可分为孤立系统、封闭系统与开放系统：

（1）孤立系统是该系统与环境既无能量交换也无物质交换的物质系统。

严格来说任何物质系统都是处在普遍联系之中的物质系统，所以与环境无能量、无物质交换的孤立系统是相对而言的。这种系统相对于我们的研究目的来讲，它与环境的能量与物质交换从量上来说微乎其微，在理论研究中可以忽略不计。

（2）封闭系统指的是与环境有能量交换但没有物质交换的物质系统。例如，我们居住的地球，虽然宇宙空间偶有流星及其他宇宙尘埃坠入地球，但从总量上看是微不足道的，从对地球状态的影响来看，也是微不足道的，而太阳却每天向地球辐射大量的能量，太阳的辐射能与地球系统的存在方式有着十分密切的关系，所以地球可视为一个封闭系统。

（3）开放系统指的是与环境既有能量交换又有物质交换的物质系统。如人体（或任一生物体）就是一个典型的开放系统，每

① 恩格斯：《自然辩证法》，人民出版社，1971 年，第 54 页。

天都要摄取物质和能量。又如植物，一方面，它们每时每刻都从土壤和空气中摄取水分、养分；另一方面，还需要太阳的照射，从而使光合作用成为可能。

这三类系统中，开放系统与环境相互联系的紧密程度最高，封闭系统次之，孤立系统与环境的相互联系最弱。

2. 根据物质系统自身组织程度的高低划分

可以把系统分为有序系统与无序系统。所谓物质系统自身组织程度是指构成物质系统的物质要素之间相互联系的规则性或有序化程度。

（1）有序系统指的是物质要素之间通过有规则的相互联系所构成的物质系统。如太阳系九大行星围绕太阳有规则的运动所形成的系统是有序系统。有序系统有两个明确的特点：其一，构成有序系统的要素，其在系统内部的存在状态与其独立自由的存在状态有较大的差异；其二，要素与要素之间联系的规则程度、规则类型与系统整体的功能有十分密切的关系。

（2）无序系统指的是由混乱而无规则的物质要素组合而成的系统。如常温常压下室内的空气系统、太阳系形成之前的“原始”星云系统等都属于无序系统。无序系统也有两个明显的特点：其一，构成无序系统的要素，其在系统内部的存在状态与其独立自由的存在状态相比没有明显的差异；其二，系统对外的整体功能与系统要素之间的联系方式没有直接的关系。

3. 根据构成物质系统要素的多少以及要素与要素之间构成方式的复杂程度划分

可以把系统分为简单系统和复杂系统：

（1）简单系统指的是构成系统的要素相对较少、其构成方式也相对单一或简单的物质系统。简单系统的确定与我们研究的问题密切相关，因而具有相对性。例如，系统功能最优化问题的单因素方法，其处理问题的对象就是简单系统。又如，由两个质点粒子所构成的质点动力学系统就是一个简单系统。

（2）复杂系统指的是构成系统的要素相对较多、要素与要素之间的联系方式十分复杂的物质系统。一方面，这类物质系统是由多样异质的物质要素所构成；另一方面，这些多样异质要素之间的联系方式既有同一层次之间的联系，也有跨层次之间的联系，既有线性的时空联系又存在非线性的时空联系。如大脑皮层就是一种复杂系统。人的大脑皮层由约 140 亿个神经细胞构成，大脑皮层的细胞结构从表层起又可分为表在层、外颗粒层、外锥体细胞层、内颗粒层、内锥体细胞层、多形细胞层这样六个相互联系的层次，又可分为额叶、顶叶、颞叶、枕叶这样四个主要的功能区。各功能区以及各个神经细胞之间的密切联系，使人脑成为极其复杂的神经网络系统，这个网络系统又与人体的各种器官相联系，构成更复杂的系统。

值得注意的是，我们这里的简单性与复杂性主要指的是空间关系，从时间关系上来看有些简单系统可能会有十分复杂的行为。

4. 根据物质系统空间域的大小划分

可以把物质系统分为微观系统、宏观系统、宇观系统：

（1）微观系统，通常是指其线度和质量较小的物质系统。如强子系统、原子系统、DNA 分子系统、细胞系统，等等。

（2）宏观系统，通常是指其线度介于微观系统与宇观系统之间的物质系统。如各种物质材料、各种生物体，乃至于地球、生物界中的生物种群等等。

（3）宇观系统，通常是指其线度巨大的物质系统。如银河系、星系系统等。

5. 根据人类在物质系统构建中的地位和作用划分

可以把物质系统分为天然系统、人工系统、复合系统：

（1）天然系统指的是以自然物为构成要素，通过某种空间的有机联系或由于长期进化所形成的物质系统。如原子系统、分子系统、细胞组织和器官等系统。所以天然系统其构成要素是自然

的，其形成方式是自然的过程。

（2）人工系统指的是以人工加工过的物质要素通过人工构造的方式所形成的系统。如一部机器是由钢材制成，首先，钢材本身属于人工制造物；其次，建造一种什么样的机器，制作什么样的零件以及零件与零件的连接方式都是由人工确定的。

（3）复合系统指的是人的实践活动已经部分参与到其中的系统。即其中既包括天然系统也包括人工系统，如水力发电系统。

6. 根据物质系统状态参量和时间的关系划分

可以把物质系统分为动态系统和静态系统：

（1）动态系统指的是表征物质系统状态的参量随着时间的变化而变化的系统。描述这类系统的状态参量，可表示为时间的函数。如生物体细胞从诞生成长到衰老死亡，其状态随着时间不断发生变化。

（2）静态系统指的是表征物质系统状态的参量不随时间变化的物质系统。例如，处于热平衡状态（P，V，T 皆为常量）的气体就是一个静态系统。

应该注意的是静态系统不是“静止系统”，静态系统的“静态”往往是高一层次状态的反映。例如，处于热平衡状态的气体，虽然从总体上呈现出某种不变性，但构成物质系统的要素却处在不断的运动变化之中；同样，动态系统也不是“运动系统”，动态过程中常表现出一种相对的稳定性。如人体的正常体温、血压等等就是在动态过程中表现出来的，也只有靠这种动态过程才能维持系统的这种相对的稳定性。这一点是十分重要的。

以上并未穷尽所有可能的区分。比如，还可以把系统分为物理系统、化学系统和生命系统，黑系统、白系统和灰系统，生命系统与非生命系统，因果系统与目的系统，控制系统与行为系统，连续系统和离散系统，精确系统和模糊系统等等类型。

二、自然界物质存在的系统特性

物质系统的多样性体现了物质系统的个性。然而，物质系统的个性又总是与其共性相联系而存在的。物质系统的统一性表现在这样两个方面：其一，任何一个物质系统都是由物质要素构成；其二，任何一种物质要素自身也是系统。正如本格所说的："所有的具体事物不是一个系统就是某一个系统的组成部分……所有的系统都是某种其他系统的子系统。"[①] 这就是物质系统的统一性。具体说来物质系统有如下特征：

（一）物质系统的整体性特征

物质系统的整体性，是指物质系统各要素在系统整体中的相互联系所带来的、超过各要素孤立时性质总和的效果。这里的"孤立"实际上只有相对的意义，它应理解为内部联系对外部联系而言不具备更加密切的程度和联系的特殊性。系统是诸要素的有机集合而不是各要素的简单地机械加和，系统的性质、功能和运动规律不同于它的各个组成要素的性质、功能和运动规律，即物质系统具有各组成要素所没有的新的性质、功能和运动规律；另一方面，作为物质系统整体中的要素也具有它自身所没有的整体性质、功能和运动规律，与它们未组成系统独立存在时有质的区别。

德国著名哲学家黑格尔曾说过："假如物质被规定为整体，那么，它便由部分组成，而在部分中，整体将变为非本质的关系并消失。但部分就其自身来说也是如此，它也不是部分而是整体。""部分只有在没有整体时才是独立的"。[②] 这就是说，部分（要素）组成为整体后就失去了它们原来的质而具有了系统整体的质；而整体分解为部分后，各个部分又恢复了独立存在时的质，系统整

① M·本格：《系统世界观》，见《自然科学哲学问题》，1986 年第 4 期。

② 〔德〕黑格尔著：《逻辑学》下卷，商务印书馆，1976 年，第 163 页。

体的质不复存在了。因此，系统整体性的形成，就是系统中组成要素的特性的丧失和各要素有机联系产生新质的结果。

物质系统整体性的实质就是一种“非加和性”，即系统的整体性能不等于要素性能的代数和，而是量的综合导致的质的飞跃，产生出各组成要素或要素的总和所不具有的新特性。

整体性是一切物质系统的普遍属性。从基本粒子到总星系，从核酸、蛋白质到人体，从天然自然物到人工自然物，每一具体物质形态都是以系统的形式存在的有机整体，呈现出各种不同的整体性。例如，人脑有成百亿个细胞，每个细胞与其他细胞又有成千种联系，正是这种难以想像的复杂联系和作用，产生了人脑这种最高级的思维功能。由于系统整体性的特点，因而组成系统的各个要素不能一一分解成独立的要素。如果硬要分解，那么分解出来的要素就不再具备其在系统整体中所具有的性质、功能和规律。也就是说，组成部分（要素）是在整体制约下的相对独立的成分，一旦脱离了系统整体，就会丧失作为整体组成要素所表现出来的特性、功能和行为。这一点在整体性特强的生命系统中表现得尤为明显。例如，人体系统整体中的各个器官只有在系统整体内部，它们才能按照系统整体功能的要求，各司其职，相互协调，使人体这个系统整体保持内部的动态的稳定状态以及与外部环境的动态的稳定状态。如果把人的手或其他器官分解开来，那么这种分解出来的手或其他器官就不再具有它或它们在人体这个系统整体中原来所具有的那种性质和功能了。其实，不仅在生命系统，就是在非生命系统，情况也不例外。

由于系统的整体必然出现新的特性，其整体功能或整体效应总是大于它的各组成部分之和，所以，系统的整体性又被表述为“整体大于它的各部分的总和”。早在两千多年前，古希腊哲学家亚里士多德（Aristoteles）就提出了“整体大于各孤立部分之和”的哲学命题。但是，严格意义上讲，整体所具有的属性和功能不一定总是大于它的各个要素的属性和功能的总和，也可能等于或

小于各部分的总和。只有系统，作为有机的整体出现了各组成要素所没有的新特性。这就是物质系统性质的加和性与非加和性问题。

（二）物质系统的层次性特征

物质系统的层次性是指系统处于物质的一定层次以及不同系统之间必定存在一定层次关系（或层次大小相互包含，或处于同级、不同级的不相包含的层次）的性质。这一点我们将在本章第二节“自然界系统的层次结构”中详细论述。

（三）物质系统的动态性特征

物质系统的动态性是指系统及其要素以及它们之间的关联性，都随时间的变化而变化。这实质上是按空间划分的物质系统随时间变化而铺展的性质。

物质系统与内部各要素之间的相互作用，系统内部各要素之间的相互作用，系统与环境之间的相互作用，必然会引起系统状态一系列的变化。这表现为两个方面：其一，对于某一物质系统而言，它在不发生质变的条件下，其要素出现了存在方式和表现形态的变化；其二，表征在一个物质系统在其状态层次上的变化。

（四）物质系统的开放性特征

物质系统的开放性指的是物质系统与其环境系统之间的相互关系。自然界任意一个物质系统都会向其所处环境输出物质、能量和信息，而环境也对物质系统输入物质、能量和信息。任何现实的物质系统与外界环境之间都在不断地进行着物质、能量和信息的交换。所以，一个现实的自然界的物质系统都是开放系统，与外界环境无任何联系的绝对的封闭系统是根本不存在的。物质系统的开放性还导致了系统的确定界限总是近似的。

物质系统同环境之间的物质、能量和信息的交换，是系统存在和发展的基础和条件，而这种交换关系的存在正是由于物质系

统具有开放性，以至于拉兹洛认为系统就是具有稳定状态的开放系统，系统只有在变化的环境中才能自我保持，而且系统是在对来自环境的挑战而做出反应的过程中自己创造自己。例如：光合作用是绿色植物利用光，将水和二氧化碳等无机物转化成碳水化合物并放出氧气的过程。显然，光能、水分、二氧化碳都是绿色植物系统由于具有开放性，而从其环境中得到的，它是绿色植物生存和发展的必要条件。

（五）物质系统的功能性特征

物质系统的功能，是指系统与环境的相互作用中所呈现的能力，亦即物质系统可以将外界环境的一定的输入（物质、能量和信息）变化为回到外界环境的一定的输出（物质、能量和信息）的性质。物质系统的整体性质与要素及其相互关系、环境都有关系，但功能性则属于抽取环境的系统本身的性质。它是与物质系统结构相对应的基本概念，是系统内部固有能力的外部表现，它揭示了系统对外部作用的能力，反映着系统在与外部环境相互作用的过程中，对外部环境施加影响和作用的功效。例如，一个人的肝脏与其他器官之间有着密切的关系，在这些关系中它起到合成一定的蛋白质和胆固醇的作用、储存糖元与铁的作用、分泌胆汁以帮助消化的作用，等等，这些作用就称为肝的功能。

既然物质系统的结构与功能反映了系统的内外关系，它们之间必然存在一定的联系。对于某一系统来说，结构是功能的内在根据，功能是结构的外在表现。这具体表现为：

1. 同构同功

即相同结构的系统，表现相同的功能。例如，人们根据天然茜素的结构，合成了人工茜素，这种人工茜素具有与天然茜素一样的功能。

2. 异构异功

即不同结构的系统表现不同的功能。它又有两种不同的具体情况：

（1）系统的组分（要素）性质相同，但由于组分在量上存在的差异，形成了具有不同结构的系统，从而具有不同的功能。例如，氧（O_2）和臭氧（O_3）都是由氧原子结合而成的，但氧原子的数量存在差异，因而它们表现出不同的化学性质。

（2）系统的基本组分（要素）完全相同，但由于这些要素的空间排列方式不同，相互联系与相互作用的方式不同，使系统表现出不同的功能。有机化学中的同分异构体就属于这种情况。例如，乙醇和甲醚的每个分子式中都包含 2 个碳原子、6 个氢原子和 1 个氧原子，分子式都是 C_2H_6O，但是由于这些原子之间排列的顺序不同，因而形成了两种性质迥异的化合物：乙醇在室温下是液体，甲醚则是气体。此外，有些组成完全相同的原子核，由于能量状态不同，也会出现结构的差异，人们把这种状态称为“同核异能态”，这实际上是系统各要素之间相互作用的差异引起的系统差异。又如由 20 种氨基酸和 4 种核苷酸组成的生命系统，由于它们相互组合方式不同，而形成了各种不同的结构（生命个体），导致了地球上有 200 多万种动物、30 多万种植物和 10 多万种微生物，出现了功能各异、绚丽多姿的生物世界。

物质系统的结构与功能之间的关系，除了功能对其结构有着极大的依赖性之外，同时又具有相对的独立性。

（六）物质系统的结构性特征

系统概念内在地包含着结构概念。结构，指物质系统诸要素之间的相互联系、相互作用的方式。但是，要素之间的个别联系或某些联系还不能形成系统的结构。因此，物质系统的结构性是指物质系统的诸要素之间相互关系的总和，它表现为系统内部的组成形式、联系方式或秩序。物质系统的结构性是与系统的整体性、层次性、稳定性密切相关的一个概念。

物质系统的结构在空间上表现为同时态的相对稳定的空间结构，即系统诸要素在空间上的排列秩序、立体构象、组织形式等。例如 DNA 分子的双螺旋结构。有的系统尽管存在十分短暂（某些共振态粒子的寿命为 10^{-23} 秒），也有其相对稳定的空间结构，并且正是结构使得该系统具有与其他系统相区别的属性。物质系统的结构在时间上表现为历时态的运动演化的时间结构，即系统随着时间的延伸而呈现的流动性、变动性秩序等。如某些系统随时间的周期振荡，生命系统中存在的时间节律等。由于任何事物都具有广延性和持续性，因此系统的空间结构形式和时间结构形式一般是交织在一起的，系统诸要素不仅在空间上有相互结合的关系，而且在时间上有前后更替的顺序。

“相互作用是事物的真正的终极原因”[②]。根据目前科学所达到的认识，自然界中各种物质系统的结构，主要是由引力相互作用、电磁相互作用、弱相互作用和强相互作用构成的。自然界的各种系统的结构则是这些相互作用的具体表现形式和实现方式。

（七）物质系统的稳定性特征

物质系统的稳定性指的是：一个物质系统一旦形成，其结构相对而言就保持一定的平衡状态，从而使得系统具有确定无疑的性质。由于要素性能会有偶然变异，由于要素之间的耦合会有偶然起伏，也由于环境会带来随机干扰，刻画系统整体状态的宏观量很难始终保持在某种平均值上。宏观量对平均值的起伏就是涨落。如果一个系统经受不住任何涨落，那么它将随时经由过渡状态而解体，事实上是无法存在的。只有在涨落出现后能恢复自身状态的系统，才有存在下去的可能。这种对涨落的不变性就是物质系统的稳定性。

物质系统之所以具有稳定性特征，其原因有二：一是物质系统的结构和功能不是由组成该系统的个别成分决定的，而是由其

① 恩格斯：《自然辩证法》，人民出版社，1971 年，第 209 页。

基本成分和相互作用（对立统一）关系决定的，当基本成分及其对立统一关系没有变化之前，结构不会起变化；二是物质系统的整体性、层次性和结构性使得组成系统的诸要素之间产生了一种限制其分离作用、促成起协同作用的结合力，它能产生一种惯性，起到抗外物干扰和保护自身稳定的作用。

物质系统的整体性、层次性、动态性、开放性、功能性、结构性、稳定性是它的基本特征。物质系统首先是一个统一的有机整体；其次，系统的各部分是一个具有层次的整体；再次，物质系统又是一个运动变化着的有层次的整体；第四，系统与环境的关联性，相对于系统之外的环境而言表现了物质系统的开放性；第五，这种关联性相对于系统之外的环境而言又表现了物质系统的外部功能；第六，物质系统是一个有层次的系统结构；最后，这个系统又是一个具有相对的稳定性的有机结构系统。

第二节　自然界系统的层次结构

自然界一切物质系统都处在普遍的相互联系之中，这种联系，既表现为纵向联系，又表现为横向联系。物质系统的层次结构，主要就是自然界物质系统横向联系的体现。正是物质系统层次之间这种联系构成了自然界物质系统层次结构的图景。

一、层次结构的基本特征

自然界中的物质系统与环境中其他系统相互作用，构成较高一级的系统，而本身则成为较高一级系统的要素或子系统。同样道理，系统中的要素也是有组成部分和结构的，从而成为较低一级的系统（子系统）。这样，便形成了自然界系统的层次结构。

层次结构并不是一种结构内的分层排布现象。例如，原子中核外电子是分层排布的，这种排布表现了原子空间结构的特点，

但不能由此而断言原子中的不同电子属于不同的结构层次。

层次结构指的是若干由要素经相干性关系构成的系统，再通过新的相干性关系而构成新系统的逐级构成的结构关系。在这种关系中，参与构成的系统称为低级系统，构成后的新系统称为高级系统。如基本粒子构成原子核、原子核和电子构成原子、原子再构成分子……均是如此。物质系统的层次指的是构成物质系统的要素的等级和地位，它反映了系统与要素之间的相对性。某一特定层次的要素相对于高一级层次而言是要素，相对于低一级层次而言则是系统。例如，原子核相对于原子而言是要素，相对于基本粒子而言则是系统。

层次结构的主要特点有二：

（一）层次结构的构成性特征

层次结构的构成性特征指的是低层系统对高层系统具有的纵向的构成性关系。低层系统必然是高层系统的构成部分，而高层系统也只能以低层系统为存在基础。同一结构内的分层排布现象之所以不是层次结构，就在于各层之间并不存在这种构成性关系。

这种关系的存在往往要求对物质系统区分出多级机构、多级功能和多级环境，进行多层次的分析和综合。比如，对生命机体癌变的研究，可以在亚细胞水平、细胞水平、组织水平、个体水平上进行，也可以在种群水平、群落水平乃至生物圈水平上进行。同样，对大脑的研究，也需要从生理水平、心理水平、社会实践水平上进行。这正是当代思维方式的一个特点。

（二）层次结构的相干性特征

层次结构的相干性特征指的是同层次系统之间存在着的横向的相干性关系。只有通过相干性关系，它们才能结合起来构成高一级系统，在单纯加和性关系中不会出现层次结构。

由于这种横向相干性关系的存在，才导致了纵向层次间质的差异。随着每一个新物质层次的形成，总会有新质的突现和新功

能的问世。当然，新质的突现并不意味着新层次的结构一定比原有层次复杂，恰恰相反，相干性关系所造成的新层次往往在自身结构上更简单一些，从而为低层系统能够并入高层次的活动模式创造条件。系统哲学家拉兹洛指出："上层系统并不是一定比它的下层系统更复杂。譬如像 H_2O 这样的分子，其结构要比组成氢和氧的原子结构简单得多。细胞群体的结构要比组成这群体的细胞的结构简单"，原因在于，"系统进化创造出来的等级不单单是结构等级，而且还是控制等级"。②

总之，层次结构是通过多级相干性关系构成的多级整体的结构。定义一个层次结构必须明确一些类别的系统，明确这些系统间的构成性关系，明确构成性关系得以实现的相干性关系。

二、自然界的基本层次

科学的发展，完全证明了恩格斯关于自然界物质层次结构的如下论述："关于物质构造不论采取什么观点，下面这一点是非常肯定的：物质是按质量的相对大小分成一系列较大的、容易分清的组……可见的恒星系，太阳系，地球上的物体，分子和原子，最后是以太粒子，都各自形成这样的一组。情形并不会因我们在各个组之间找到中间环节而有所改变。例如，在太阳系的物体与地球上的物体之间有小行星、流星等；例如，在地球上的物体和分子之间有有机界的细胞。"② 自然界是由无限层次的物质系统组成的，层次结构规律是自然界物质存在的一个基本特征。人们一般将自然界分为非生物界和生物界两大部分，之下又有若干层次类型。

（一）非生物界

---

① 拉兹洛：《进化》，社会科学文献出版社，1988 年，第 34 页。

② 恩格斯：《自然辩证法》，人民出版社，1971 年，第 248 页。

人们为了研究自然界物质系统的层次结构，一般根据一定的尺度、质量和描述物质客体运动规律的理论，将非生物界物质系统分成三个基本层次：宇观层次、宏观层次和微观层次。

1. 宇观层次

宇观层次的物质系统一般是质量和尺度特大的系统，它包括星系、星系团、超星系团、总星系以及遍布于宇宙空间的射线和引力场等等。其规律性由广义相对论、星系动力学和宇宙学研究。其层次大致可分为……总星系—超星系团—星系团—星系……

总星系，是目前人类所能认识到的最高一级天体系统。它大约包括了 10^{11} 个星系，总质量约为 2×10^{55} 克，尺度大约在 1.5×10^{28}～2×10^{28} 厘米（150～200 亿光年）范围内。总星系由超星系团组成，超星系团由星系团组成，星系团由星系构成。星系是由恒星集团、星云和星际物质构成的一级天体系统，其平均质量为 10^{36}～10^{45} 克，典型空间尺度约为 3 万光年。太阳系所属的星系成为银河系，银河系的最大直径为 10 万光年，质量约为太阳的 1.8×10^{11} 倍。整个银河系约有 1 000 亿个恒星，中心有一个快速旋转的高密度地核，即银核，大部分恒星围绕这银核作圆周运动。

2. 宏观层次

宏观层次的物质系统包括地球上的物体、卫星、行星、恒星等以及和它们相应的场所构成的系统。其大小和质量大约在 10^{-3}～10^{9} 厘米、10^{-5}～10^{27} 克之间，其规律性由经典物理学和经典化学研究。其层次大致可分为……恒星—行星—地上物体……

恒星是由炽热的气体组成、能自己发光发热的天体。太阳是离我们地球最近的一颗恒星。它的质量范围为 1.929×10^{33} 克，是地球的 33 倍，体积约为 1.412×10^{33} 立方厘米，是地球的 130 万倍。行星是环绕恒星运转而自身不发光的天体。离我们最近的恒星——太阳周围有 9 颗大行星（即金星、木星、水星、火星、土星、

地球、天王星、冥王星、海王星）绕太阳运转。太阳系就是由太阳和绕它运转的九大行星、卫星、彗星、小行星、流星，以及一些尘埃物质组成的天体系统。地球是太阳的一个行星，其体积为 1.0832×10^{27} 立方厘米，质量为 5.976×10^{27} 克。它是由磁层、大气层、水圈、生物圈、地壳、地幔和地核组成。地上物体是指地球上具体的物质形态。从高山巨石到江河湖海，从沙粒尘埃到云雨雾气，都是地球上形态各异的宏观物体。从质量和尺度来看，它们大致可以划入一个层次，质量在 10^{-15}～10^{24} 克之间，尺度在 10^{-5}～10^{7} 厘米范围内，相对地球来说又小得多。

3. 微观层次

微观层次的物质系统包括目前已知的分子、原子、原子核、基本粒子等以及和它们对应的场所构成的系统。微观层次的物质系统都具有波粒二象性，一般说来，它们都服从量子力学规律，其规律性主要由原子物理、核物理和量子化学研究。其层次大致可分为……分子—原子—原子核—基本粒子—夸克……

分子是构成物体的基本要素，也是微观系统中的最高层次，它是物质中能够独立存在并保持该物质一切化学性质的最小微粒。分子的大小和质量大约在 10^{-8}～10^{-6} 厘米、10^{-22}～10^{-15} 克之间。分子由原子构成。原子是构成单质和化合物的分子的最小颗粒，它是由带正电荷的原子核和绕核运动着、与核电荷数相等的电子所构成的，它是自然界各种物质形态的基本化学单位。原子核是构成原子的核心部分，它是质子和中子的紧密结合体。原子核在一般的化学反应中是不发生变化的。原子核的半径为 10^{-10}～10^{-12} 厘米，只有原子的 10 万分之一，质量却占原子的 99.9% 以上。原子是由基本粒子构成的。基本粒子包括质子、电子、中子、光子以及在宇宙射线和高能原子核中发现的一系列粒子。目前已经发现了 300 多种基本粒子，多数是不稳定的共振态粒子。按照基本粒子的质量的大小及其他性质的差异，可分为光子、轻子、

介子和中子（强子和超子）四类。基本粒子并不基本，它们也有一定的大小和内部结构。比如，参与强相互作用的强子就是由一种称为夸克或层子的粒子构成。夸克之间通过胶子结合起来，目前尚未发现自由存在的夸克。夸克是目前已知的最低物质层次。

（二）生物界

生物界物质系统是由微生物、植物和动物等组成的庞大而复杂的系统。整个生物界物质系统按其组成可分为生物大分子—细胞—组织—器官—系统—个体—群体—群落—生态系统—生物圈等层次。

地球上的所有生物与其赖以生存的环境组成生物圈。生物圈包括了许多大小不同的生态系统，是生物界物质系统的最高层次。它的一部分已跨入非生物界，是生命与非生命相联系的复合系统，其规律性是环境科学研究的内容。生态系统是生物群落与其生物环境通过物质循环和能量流动而形成的。一个生态系统，由无机环境（阳光、大气、土壤等）、植物、动物、微生物四个部分组成，通过生产、消费和分解的构成形成一个循环。其规律性主要由生态学研究。群落是由生活在一定区域的不同的生物群体，通过直接或间接的联系而形成的动植物总体。群落的低一级层次是群体。群体又称为种群，指的是同一种生物在特定的环境空间和特定时间内的所有个体的集群。群体不是许多个体的简单堆积，而是一个具有内在相互作用的有机联系的物种的层次，也是生物生活和繁衍的基本单位。其规律性由群体生物学研究。个体指的是按一定的组织层次组成的一个完整的生物有机体。

生命个体的下一个层次是系统。个体是由若干个系统组成。系统是生物体内能共同完成一种或几种生理功能而组成的器官的总称。比如，高等动物的个体就是由呼吸系统、循环系统、消化系统、排泄系统、神经系统、内分泌系统、生殖系统和骨骼系统等组成。再往下，系统是由相关的生物器官组成。器官是各种组

织的综合体，并行使生物有机体某一方面的功能，使生物有机体协调地进行新陈代谢。例如高等动物的消化系统是由口腔、食道、胃、肠、肝等器官所组成。而器官是由组织组成。组织是具有一定形态结构和生理机能的相似细胞的联合，组织是细胞逐步分化而形成的。如动物体的组织有上皮组织、结缔组织、肌肉组织和神经组织。由个体到组织，其规律性由个体生物学研究。再下一层次是细胞。细胞是表现生命现象的基本结构和功能单位。任何一个生物体都是由一个简单的细胞发育而来的，生命的各种活动都是在细胞中实现的。细胞一般是由细胞核、细胞质和细胞膜三部分构成。细胞的下一个层次是细胞器，其规律性由细胞学研究。细胞器是由蛋白质（包括酶）、核酸等生物大分子按特定次序组合而成。生物大分子层次是生物界物质系统的最低层次，它是构成生物体的最低的物质基础。它主要是由蛋白质和核酸构成。分子生物学表明，生物体是由一些较复杂的、分子量较大的有机物——生物大分子构成的。蛋白质和核酸是生命活动的基础，是生物体的基本构成物质。其规律性由分子生物学研究。

三、层次结构的联系与过渡

整个自然界是有层次结构的，自然界每一个领域、每一个种类和每一个系统都有层次结构，不同领域、不同种类和不同系统的事物，它们的层次结构并不相同。但是，在各个不同的物质层次结构之间又有着密切的联系与过渡，这主要体现在以下几点规律性上：

（一）层次结构的阈值规律

层次结构的阈值规律指的是一定的物质结构层次与一定的阈值相适应。自然界中任何一个层次上的物质系统都不是无条件的存在着的，它只存在于一定阈值范围内的物质、能量、时间、空间之中。在这个阈值内，系统变化是连续的，当连续的变化超过

一定关节点，到了一定的阈值之外，就由一个层次突变为另一个性质完全不同的层次系统，即一定的物质层次与一定的量的阈值相适应，这是物质层次结构的一个规律性。例如，就能量状态来说，我们对于一个分子系统传递能量，在一定的阈值内，分子系统不会发生突变，一旦能量超过这一特定的值，分子系统就会突变为原子系统。如果继续对原子传递能量，在某一阈值，电子会从原子脱出，原子层次突变为等离子态。在一定的能量条件下，我们甚至能分裂原子核。由此看到一幅随着能量大小跨过一个又一个阈值、物质层次一层层消失的画面。这就是能量阈值的变化引起与之相适应的物质层次的突变。

如果以能量或系统的温度为标尺，则我们可以将自然界的主要物质层次排成一条层次谱线。其中一定的层次结构与一定的能量状态相适应。物质层次的变化是连续的，同时又是分立的。

同样，任何一个物质系统不但存在于一定的空间尺度中，而且存在于一定的时间间隔内。例如，在某段最小时间里，一个水分子中的氢和氧原子能够建立自己的运动节奏，从而形成分子，在比这个时间更小的时间间隔里，原子之间的相互作用不能传递，于是分子不能存在，只有原子存在。所以，任何一个层次上的物质系统与过程的存在都有一个最小的质量、能量、时间、空间的阈值与之相适应。

（二）层次结构的结合规律

层次结构的结合规律指的是物质系统的尺度与它的组成要素之间的结合能成反比关系。低层结构的结合能大于高层结构的结合能。这是由层次结构的基本特点决定的，随着层次由低到高推进，结合的紧密程度由大到小而递减。这一关系可以定量地加以表述。设系统的尺度为 L，其结合能为 E，则有

$$L \cdot E = K$$

其中 K 为一个常数域。从基本粒子到单细胞来计算，K 值为 10^{-7}

厘米·电子伏左右。

这一规律表明，物质层次越深，其中的尺度就越小，它们的结合能就越大。将夸克结合为基本粒子的力量非常强大，以至于人们至今无法得到单个夸克，人们称这种现象为“夸克幽禁”；将中子和质子结合为原子核的核交换力就弱了一些；将原子核与电子结合在一起的电磁力又弱了一些；将原子结合为分子的共价键或离子键再弱一些；将化学分子结合为生命大分子的力更弱一些；将多细胞结合为生命整体的力量尤弱；至于维护生命群落和生态系统的力量，则难以与物理和生物化学的力量相比拟了。拉兹洛明确指出：“当我们从初级组织层次的微观系统走向较高层次的宏观系统，我们就是从被强有力地、牢固地结合在一起的系统走向具有较微弱和较灵活的结合能量的系统。”①

正因为低层结构的结合能大于高层结构的结合能，低层结构才能成为高层结构的基础。试想像，如果事情相反，高层结构的结合能大于低层结构的结合能，层次越高结合度越强的话，那么系统非但不能分化出高层次的子系统，而且一旦有一个力破坏了这一系统，就会一垮到底，任何结构都会化为乌有，何谈构成性关系和相干性关系？

正因为存在着结合度递减的趋势，所以高层系统的解体不一定导致低层系统的瓦解，高层系统的构型变换可以不影响低层系统的稳定性，有可能在稳定的低层结构之上重新建立新构型，出现变构过程中的稳定转变。比如，化学反应一般只涉及核外电子排布而不涉及原子核，因而从原子到分子再到生物大分子的化学进化过程比较平稳，其成功几率远比基本粒子直接结合为生物大分子的成功几率高。人工合成胰岛素如果不是按层次由无机分子开始逐渐过渡到小有机分子、氨基酸和 A 链、B 链，而是直接从质子、中子、电子开始工作，其成功几率几乎等于零。只是因为低层次系统的结合度

① 拉兹洛：《进化》，社会科学文献出版社，1988 年，第 32 页。

更大一些，才使得上一层次的瓦解可以不导致一切从头开始的彻底重组。因此，层次机构是更为稳定的结构形式，也是最易于实现在连续性中进化的形式。这正是自然界的物质系统在各种可能的结构形式中选择具有层次机构的一个重要原因。

（三）层次结构的因果规律

层次结构的因果规律指的是物质结构的低层系统与高层结构相互限制、互为作用的双向因果链。层次结构的基本特点决定了其中必然存在着双向因果链关系：一方面，低层系统作为原因可以在高层系统中引起一定结果，这可以称为上向因果链。低层系统是高层系统的基础，高层系统包含着低层系统，高层系统必须依赖低层系统的构成、属性和规律。因而，低层系统的递进相干就决定着高层系统特有的结构、属性和规律。这种上向因果链决定了要系统地阐明高层的物质属性与运动规律，就必须深入揭示低层的物质结构及其属性，而且提高了这种从低层入手阐明高层的可能性。例如，要阐明生物体的生理和病理特征，就要深入了解生物体的器官和细胞；要阐明分子的特性，就要深入揭示它的原子结构；要阐明大脑神经活动的秘密，就要深入剖析神经元的结构和活动。这种通过深入地研究低层系统来揭示高层系统的特征的方法，在科学上被称为还原法。

另一方面，高层系统作为原因又会在低层系统中引起某些结果，这可以称为下向因果链。高层系统的递阶分解，制约着低层系统的特有表现。这种下向因果链保证了从高层规律出发对加入高层的低层现象作解释和预言的可靠性。处于晶体中的原子间的相互作用、相互联系（相互距离较近、造成轨道交叠），决定和制约了较低子系统——晶体中电子共有化运动。因此，我们可以用高层系统的规律——固体能带理论——对较低层子系统价电子的行动做出可靠的预言和解释，由此而奠定了半导体科技的迅猛发展的基础。

双向因果链既造成了层次之间的差异，也沟通了层次之间的

联系。

层次之间由于新质突现而有质上的区别，这是显而易见的。正因为存在着这种差别，企图用一种语言、一种理论来表述各个层次的规律是不会成功的，应该使关于高层次的理论和关于低层次的理论、宏观的理论和微观的理论共同存在，相互补充。

但是，层次之间质的差异归根到底来自上向因果链的存在，即低层系统及其相干性关系作为原因导致了高层系统特点的出现。只要从低层系统的规律和相干特点出发，并考虑到相应的对应规则，高层系统的特点可以得到递进性阐明。比如，从化学规律出发加入一些边界条件（例如生物大分子的结构等）而导出对生命对象的解释，就是如此。这种递进性阐明包括了对相干条件的分析，充分考虑了低层系统之间的相干性关系，因而属于对上向因果链的揭示，与那种把高层现象简单还原为低层现象的还原主义是不同的。

当然，高层系统出现之后，低层系统及其规律并没有消失。但是，由于它们是在高层系统的整体中活动的，从而有了新的约束，其功能、属性、规律会以扬弃的形式表现出来。这就构成下向因果链，即高层规律对低层规律的限制和影响。通过限制和影响，低层系统的活动范围、条件和方向均受到选择，从而落入高层规律所允许的范围内。比如，按热力学第三定律，分子热运动所表现出的温度只有下限而无上限，但在高等生命体中由于受生理规律的调节，却只有很小的变动范围。因此，从高层次规律出发，考虑到相应的边界条件和对应规则，也可以对加入高层系统的低层现象做出解释和预言。

总之，层次结构中的双向因果链既表明了低层系统对高层结构的基础性作用，又表明了高层结构对低层系统的支配调节性作用。有些人认为还原法就是把高层次的规律完全归结为低层次的规律，从而犯了“还原论”的错误。他们不知道高层结构不是低层结构系统的简单相加，低层结构在构成高层结构整体时，会出现在低层结构中未有的“系统质”。而另一部分人则把高层次的规

律看成突如其来的东西，用高层系统的规律取代低层系统的规律，从而犯了“代替论”的错误。这两种观点都人为地割断了层次结构中的因果链，因而在本质上是不正确的。

（四）层次结构的丰度规律

层次结构的丰度规律指的是物质系统的丰度与其高级程度成反比。也就是说，物质系统愈高级，该层次的物质系统在宇宙中的丰度就愈小。从宇宙大爆炸到形成有生命存在的地球，从基本粒子发展到人脑，这是物质结构层次由低级到高级的不断上升的发展过程。但并不是宇宙中的所有物质都参与这个前进上升的过程，物质层次愈高级，该层次的物质系统在宇宙中的丰度就愈小。宇宙大爆炸后，只有一小部分物质形成氢气云，在氢气云中只有一小部分物质形成恒星；而在恒星的演化过程中，又只有一小部分氦和氢转化为较重的元素。它的丰度只占氢、氦总量的 1%，这些元素又只有一小部分后来被抛射到空间并聚集到行星中。至于变成生命物质的则是更小的部分，它的丰度占银河系总质量的 10^{-9}，而生命物质中则只有极小一部分有机会演化成人脑。①

自然界物质层次结构的联系与过渡的主要哲学基础是马克思主义的对立统一规律和质量互变规律。

自然界物质层次的连续性与间断性、有限性与无限性、可分性与不可分性，首先表现在同一层次内的连续性与不同层次之间的间断性上。然而，同一层次内的各组成部分之间仍然存在着间断性，它们并不是无间隙地组合在一起的；不同层次之间的衔接从高层次看，仍然具有连续性，因为低层次之间的间断并没有阻碍它们组合成一个整体。

恩格斯对此曾进行了全面的论述：一方面，物质结构层次具有无限性，是无限可分的物质层次，是一个无穷的系列，不同层

① 张华夏：《论物质层次结构的形成》，见《自然辩证法通讯》，1993 年第 1 期，第 23 页。

次有质的不同。分子、原子等层次是量变到质变的关节点，而量变和质变的互相转化过程是无限的。因此，绝不能断定物质具有最后的，不可分割的最小的实物粒子。

另一方面，物质在一定条件下的可分性是有一定限度、有一定界限的，超出了这个界限，物体便失去了原有的化学性质。或者说一个物体，分割到一定程度，它原有的性质就变了，不再是量变而是质变了。

总之，物质的可分性在一定条件下确有一定的限度，超过这一限度就将导致物质结构从一个层次向另一个层次转化。物质又具有无限可分性，但是这种可分性不是同一过程简单的重复，而是具有质的差异。

参考文献

[1] 国家教委社会科学研究与艺术教育司. 自然辩证法概论. 修订版. 北京：高等教育出版社，1991

[2] 陈昌曙. 自然辩证法概论新编. 沈阳：东北大学出版社，1997

[3] 自然辩证法原理. 长沙：湖南教育出版社，1984

[4] 栾玉广. 自然辩证法原理. 合肥：中国科学技术大学出版社，2001

[5] 陈其荣. 自然辩证法导论. 上海：复旦大学出版社，1995

[6] 沈骊天. 当代自然辩证法. 南京：南京大学出版社，1997

[7] 张红薇等. 自然辩证法概论. 成都：西南交通大学出版社，1989

第二章　演进自然观

自然界不仅存在着，而且发展、变化着。“整个自然界，从最小的东西到最大的东西，从沙粒到太阳，从原生物到人，都处于永恒的产生和消灭中，处于不断的流动中，处于无休止的运动和变化中。”[①] 现代自然科学获得的大量科学事实，像一根根清晰的线条，生动、形象地描绘出了自然界发展、变化图景的主要轮廓，为辩证唯物主义自然观提供了科学的证据和说明。

第一节　自然界的运动与发展

一、科学分类的基础：自然界运动形式的区别与联系

物质的运动存在于各种运动形式中，运动形式是物质系统中相互作用的表现类型。运动形式是多种多样的，可以概括为若干基本类型。

恩格斯首先提出了物质运动基本形式的概念，并且根据当时的科学成果，把物质运动分为机械运动、物理运动、化学运动和生物运动等四种基本形式，再加上人类社会运动，共五种基本形式。恩格斯指出，各种基本运动形式各有其物质的承担者以及特殊的矛盾和规律性。他还指出：把不同的运动形式作为研究对象就形成了不同的学科。

根据现代科学的状况和恩格斯的基本观点，大致可把自然界

① 恩格斯：《自然辩证法》，人民出版社，1984 年版，第 15 页。

的物质运动归结为如下几种基本形式:

（一）力学运动形式

这是由自然界中已知的四种相互作用即强相互作用、弱相互作用、电磁力和万有引力所引起的物质在时空中的位置变化，包括移动、转动、振动等。它是自然界物质普遍具有或包含的初级运动形式。这四种相互作用力各自起作用，或其中几种相互作用力联合起作用，形成了各种力学运动形式。它们可以分为三个等级：

1. 基本粒子力学运动

物质承担者为质子、中子、电子、光子、介子、超子等基本粒子和相应的场如核场、电磁场等。这些基本粒子由于强相互作用、弱相互作用和电磁力而运动。强相互作用是自然界中强度最大的一种力，质子、中子、介子、超子等强子参与强相互作用。弱相互作用的强度较小，强子和电子、光子等轻子都参与弱相互作用。电磁力的强度介于两者之间，带电粒子参与电磁相互作用。万有引力的强度极小，所有粒子都参与。基本粒子力学运动的第一个特点是强相互作用和弱相互作用这两种短程力发挥独持的作用，电磁力也发挥重要作用，而万有引力则可以忽略；第二个特点是基本粒子既呈现粒子运动的特性又呈现波动的特性；第三个特点是基本粒子之间频繁地相互转化。基本粒子的运动服从量子力学的规律。

2. 宏观物体机械运动

它的物质承担者是地球上的宏观物体，以及质量不是太大的低速运动的天体，如太阳系中运动的行星。这些物体由于万有引力和电磁力以及由各种相互作用力所造成的“热力”而进行的宏观的空间位置的变动。它服从牛顿力学的规律，其中电磁体的运动还服从电动力学规律。

3. 宇观力学运动

它的物质承担者是恒星、星系、星系集团、总星系等以及遍

布宇宙的引力场。由于它们巨大的质量，使万有引力起了支配的作用，并使它们周围的空间发生明显的弯曲。它们之中一些物体的高速运动又引起时间尺度的不可忽视的变化。它们服从相对论力学和星系动力学的规律。

（二）物理运动形式

它是以力学运动为基础的、由大量同质或同层次要素组成的物体系统运动和相互转化。例如由大量分子和原子聚集而成的热力学系统的运动和各种聚集态的转化，由大量电子聚集成的电磁系统的运动和相应的电磁场运动，由大量光子和电磁波集聚成的光运动，在大量分子聚集体中发生和传播的声波运动。物理运动形式的特点是同类或同层次要素的聚集体的整体行为。物理运动形式虽然以力学运动形式为基础却不同于力学运动形式。物理运动形式的另一特点是同层次的各种具体的运动形式之间的相互转化，然而它并没有分化出异质的层次，并没有组合为新的物质形态。

（三）化学运动形式

它的物质承担者是原子和分子。化学运动最一般的表现是分子的分解和原子的化合。化学运动形式的特点是原子核组成不变的情况下，分子的组成和结构发生质变，产生多种多样的具有新质的物质具体形态。化学运动形式是以物理运动形式和力学运动形式为基础，却又区别于并高于后者的运动形式。

（四）生命运动形式

它是以蛋白质和核酸为主的多分子系统的存在和运动的方式。生命运动形式主要表现为：① 生物的新陈代谢，即同化异化的过程；② 生物的遗传和变异；③ 生物反映，即生物体与外界交换信息进行反馈自调节和适应外界环境的过程。随着生物体由低级到高级的发展，这种反映活动也从刺激反应、感觉响应发展到人的意识，出现思维运动形式。它的物质承担者是人脑，它

的动力是人类社会实践活动。生命运动是高级的运动形式，它包含化学运动、物理运动和力学运动的各个层次，但又不能归结为较为低级的运动形式。

广义地说，人类社会也是自然界的一部分，是自然界物质发展到高级阶段的产物。社会运动的物质承担者是由人们组成的各种社会系统，其基础是经济系统。

二、技术过程的基础：自然界运动形式的转化与守恒

自然界的各种运动形式是有本质区别的，同时又是可以相互转化的。物质运动与物质本身一样是不生不灭的。一个运动形式的消失，必然有另一个运动形式的产生；一种低级运动形式的“退隐”，必然有一种较高运动形式的“显现”。运动形式之间的相互转化，不仅反映着自然界物质的统一性和相互联系，而且也奠定了人们形成技术构思和完成技术实践的重要基础。

在 17 世纪，法国哲学家和数学家笛卡尔已经提出了运动不灭原理。19 世纪中叶，物理学家发现了能量守恒定律，为运动不灭原理提供了科学根据。能量守恒定律揭示：在运动形式转换时，一种形式的能量总是以一定的当量转换成另一种形式的能量。

恩格斯称能量守恒定律为“伟大的运动基本定律”。恩格斯指出，能量在一定意义上可以作为物质运动的量度，能量守恒定律从量的方面反映了运动的不生不灭。他又进一步指出：“运动的不灭性不能仅仅从量上，而且还必须从质上去理解。”[①] 也就是说，自然界各种运动形式无不在一定条件下相互转化，而且这种转化的能力是物质固有的，也是不生不灭的，转化的条件也必然会被它自身生发出来。恩格斯认为，仅仅从量的守恒来表述是消极的，而再加上从质的方面即转化能量的守恒来表述则是积极的。所以，恩格斯称这个定律为“能量守恒和转化定理”，人们也应该把量和

① 恩格斯：《自然辩证法》，人民出版社，1984 年版，第 21 页。

质两方面结合起来，全面地理解这个定律。

在能量守恒定律发现后不久，物理学家克劳修斯等人又发现了热力学第二定律。这个定律指出：高温物体可以自行将热能传递给低温物体，而低温物体却不能自行将热运动传递给高温物体；高品位的能量，如机械能、电能、化学能等，可以自行转化为低品位的能量（热能），而热能则不能自行地、全部地转化为其他能量。克劳修斯引入了熵的概念来描述这种不可逆过程。他指出，在一个孤立系统中，熵的变化总是大于或等于零（$ds \geq 0$）。这个定律从一个方面揭示出运动和过程的方向性。它表明，在一个孤立系统中，各种运动形式和能量相互转化，将自发地都转化为热运动形式和热能，最后将自发地变成温度处处相等的热平衡态，即熵取极大值的状态。

克劳修斯本人和一些哲学家，却错误地从热力学第二定律得出了“宇宙热寂说”，认为宇宙的熵会趋向于极大，一切运动形式都将转化为热运动形式，热运动则趋向于平衡，不再可能转化为其他运动，宇宙中一切运动都停止了。

辩证唯物主义的自然观反对“热寂说”。首先，热力学第二定律是从有限的、孤立系统中得出的，把有限的孤立系统中最终趋于热平衡态的结论，推广到无限的开放的宇宙，是缺乏根据的。其次，“热寂说”只看到运动的量，而忽略了运动的质，没看到运动形式相互转化是物质所固有的能力；每一种具体的运动形式是暂时的、相对的，而运动形式之间的转化则是永恒的、绝对的。“热寂说”与能量守恒和转化定律的基本思想相背。恩格斯在批评“宇宙热寂说”时还指出：“放射到宇宙中去的热一定有可能通过某种途径（指明这一途径，将是以后某个时候自然研究的课题）转变为另一种运动形式，在这种运动形式中，它能够重新集结和活动起来。”[①]

① 恩格斯：《自然辩证法》，人民出版社，1984 年版，第 22 页。

第二节 自然界的历史性

一、自然界的演进过程

自然界是独立于认识主体之外的客观实在。自然界的发展、变化是有规律的，这种规律是可以通过人类的科学活动来认识的。因此，可以根据目前已确认的科学事实和公认的科学假说，对自然界的演化过程作一些描述。

（一）宇宙的起源和演化

这里所说的宇宙特指人们目前观察所及的总星系。

宇宙学是从整体上研究宇宙的结构和演化的一个天文学分支。20 世纪以来，宇宙学发展很快，建立了许多假说和模型，其中，最有影响的是大爆炸理论和暴涨宇宙论。

按暴涨宇宙论的观点，在宇宙演化的极早期，宇宙经历了急剧膨胀阶段，产生了像夸克、轻子和玻色子之类的最基础的基本粒子。宇宙增大和大量最基础的基本粒子的产生，标志着宇宙的形成。

大爆炸理论和暴涨宇宙论认为，宇宙形成后，经历了基本粒子形成、元素核合成和物质形成等三个阶段。在基本粒子形成阶段，当宇宙时为 10^{-36} 秒时，宇宙温度和物质密度极高，最活跃的是进行强相互作用的介子和重子，这时称为强子时代。当宇宙时为 10^{-2} 秒时，宇宙的温度下降到大约 10^{11} K，物质密度下降到 10^{11} 克/厘米 ^{3}，宇宙的物质成分以电子、中微子、μ介子、τ子为主，这时称为轻子时代。当温度下降到 10^{11}K 时，导致光子（辐射）占优势，宇宙演化进入了下一个阶段。在元素核合成阶段，当宇宙时为 1 秒时，宇宙的物质密度下降到 10^7 克/厘米^3，宇宙中以辐射为主。当温度下降到 10^9 K、宇宙时约为 3 分钟时，中子失去自由存在的条件，开始与质子合成氦，出现了几种不同的化学元素。随着空间的不断膨胀，实物密度下降得比辐射密度慢。

到了某一时刻，当实物密度占优势时，宇宙演化进入第三阶段。在实物阶段即物质形成阶段，宇宙时为 1 万年后。当温度下降到约 10^5 K，自由电子开始被原子核俘获，形成稳定的原子。随着原子的形成，宇宙中的自由电子渐渐消失，实物对辐射变得透明，并与辐射退耦在宇宙演化中起主导作用。辐射压力的减少，使万有引力占了优势。这时，宇宙中已形成了稀疏的气状物质。大约在宇宙时 70 万年，开始形成了原始星系，进而形成星系集团，然后再从星系集团分化出星系。当宇宙时为 50 亿年时，形成了第一代恒星。

按弥漫说的观点，恒星的演化经历了引力收缩、主序星、红巨星、脉冲或爆发和高密四个阶段。恒星的衰亡形式取决于恒星核能耗尽后的剩余质量。如果恒星剩余质量小于 1.25 个太阳质量，它就将成为体积小、光度强、密度大的白矮星。如果剩余质量在 1.25～2 个太阳质量之间，它就将成为直径只有几十公里、密度比白矮星高 l 亿倍以上、由中子物质构成的中子星。如果剩余质量超过 2 个太阳质量，则平衡态不复存在，恒星将不断收缩，半径越来越小，密度越来越大，终于达到临界点。这时恒星的引力已强到足以使一切物质和辐射都不能外逸，因而称为“ 黑洞 ”。

（二）地球的起源和演化

大约 46 亿年前，地球由形成太阳系的原始星云分化而产生。初期形成的地球还是一个冷的均质球体，碳、氧、镁、镍等元素混杂在一起。后来，随着地球质量和体积的不断增大、地球内部的放射性元素的蜕变，地球的快速旋转以及原始地球的重力收缩产生的热在地球内部积聚，使原始地球不断增温。当地球内部的温度比较低时，原始地球的物质分异不可能进行。只有当地球内部的温度相当高时，原始地球的物质发生熔融和分化，地球内部物质的分异过程才得以大规模进行。比重大的亲铁元素向地球内部下沉，形成由铁、镍组成的地核，比重小的亲石元素上浮形成

地幔。以后，随着地球内部重力分异的继续进行，地幔不断向地壳提供亲石元素，使地壳逐渐增厚，同时还不断地把铁和亲铁元素提供给地核，使地核渐渐增大，最后终于形成了地核、地幔和地壳这样一些具有不同物理、化学性质的圈层结构。

原始地壳形成不久，它比较薄，而且脆弱，熔岩往往从薄弱的地方喷出。由于那时地球大气圈尚未形成，陨星经常袭击地球。大的陨星撞击地球，往往可以穿透脆弱的地壳，触发深层地震和岩浆活动。所以早期的地球，岩浆和地震活动远比现在激烈。火山喷发、熔岩溢出，增厚和加固了脆弱的地壳，窒息了火山喷发和岩浆活动．从而使地球进入了一个相对稳定的时期。

原始地壳在形成和加固过程中，由于火山的喷发或陨星的撞击，形成了高低悬殊、此起彼伏的熔岩台地和大小不等、形状不一的洼地。当时坎坷不平的地球表面和现在的表面非常相似。地球的原始大气圈几乎和原始地壳在同一过程中形成。在地球物质的分异过程中，一部分物质形成了地球内部的圈层，一部分易挥发的物质喷出地面，形成原始的大气圈。初期的大气层主要成分是浓密的二氧化碳，和今天金星的大气圈差不多。此外，还有一氧化碳、甲烷、氨以及一些惰性气体和其他气体。当时大气圈中还没有氧，只有在大气层的上层由于水蒸气在紫外线作用下发生光解，才产生少量的游离氧。地球有了大气圈后，大气圈中的水蒸气逐渐冷却，凝结成雨滴降到地面，一部分渗透到地表的岩石中，一部分汇集成大大小小的溪流，注入原始洼地，形成了地球上最早的江河湖海，这就是原始水圈。当原始大气圈和原始水圈出现的时候，地球上还没有生命。但原始大气圈和水圈的出现，为生命的诞生创造了条件。

（三）生命的起源和生物的进化

现代生物学认为，生命的物质承担者是以蛋白质和核酸为主

体的多分子体系，因此，生命的起源问题也就是这种多分子体系如何形成的问题。目前认为生命起源的化学演化大体要经历三个阶段：① 从无机分子到有机小分子。这个阶段的化学演化发生在原始大气层里。据推测，原始大气层由二氧化碳、甲烷、氮、水蒸气、硫化氢、氨等组成。原始地球上能源相当丰富，由于当时没有臭氧层，紫外线可以长驱直入，每年带给地球大约 5.4×10^{24} 焦耳热量。另外，还有雷击闪电、火山喷发、陨石碰撞和宇宙射线等能源。这样，在众多能源综合作用下，原始大气中的无机分子通过各种机制合成了氨基酸、嘌呤、嘧啶、核苷酸等有机小分子。② 从有机小分子到生物大分子。氨基酸、核苷酸等有机小分子通过长期自然聚合，又形成了蛋白质和核酸。这一过程已被模拟实验证实，如美国科学家福斯特把各种氨基酸混在一起，在无水条件下，加热至 150℃～170℃，经 1～2 小时，就得到了类蛋白质。③ 从生物大分子到原始生命的诞生。蛋白质和核酸形成后，通过一些现在尚未清楚的机制，逐步发展为具有不断自我更新、进行自我繁殖和实行自动调节的原始生命。

原始生命出现后，又经历了从非细胞到细胞、从原核细胞到真核细胞的演化过程。真细胞的出现是生物进化中最重要的事件之一，它标志着地球发展和生命演化进入一个新里程。

在真核细胞的基础上，单细胞生物发展为多细胞生物，进而分化为植物和动物。在适宜的环境中，植物沿着菌藻植物—苔藓和蕨类植物—裸子植物—被子植物的方向进化，动物则沿着无脊椎动物—脊椎动物的方向发展，直到人类的出现。

这个图景为自然界的辩证的历史观提供了基本的科学证据。它证明：第一，整个自然界的演化发展的确是由一系列转化过程构成的“过程的集合体”。第二，推动自然界演化发展的源泉或动力存在于自然界的内部，即其自身所具有的内部矛盾——在非生命世界中，主要是吸引和排斥的矛盾；在生命世界中，主要是同化作用与异化作用的矛盾。以上两点，都是受到自然科学发展支

持的自然界演化过程的规律性。下面，我们将对自然界演化过程的其他规律性作进一步的讨论。

二、自然界演化的方向

无论总星系、天体、地球的演化或生命的进化，都是以要素方面或结构、功能方面的新旧交替为标志的。这种新旧交替有不可完全逆转的性质。刻画这种性质的概念就是不可逆性。不可逆过程的双重作用，导致了自然物在演化中会有两个方向：进化方向，退化方向。这两个方向的辩证统一，构成了自然界丰富多彩的演化图景。

（一）可逆与不可逆

可逆与不可逆是自然科学在研究变化过程时广泛使用的一对范畴。在经典力学中，给定初始条件和运动方程，可以准确地推出任何时刻的状态，这是对可逆性的刻画。在热学中，热总是自发地从高温部分传向低温部分，最后达到热平衡状态，描述这类热传导过程的是傅立叶方程，它刻画的是不可逆性。在化学反应中，自发的过程总是使体系走向化学平衡态，虽然反应物和生成物还会相互转化，但能量、环境均发生不可逆的变化。在量子力学中，薛定谔方程表现的是可逆性，但测量却是不可逆的，它是微观状态的宏观表现，一经测量，波函数就不可逆地取得一个本征值。相对论中不出现不可逆性，但是当把它和量子力学运用于宇宙演化的研究时，发现了高能基本粒子的湮没、转化也是不可逆的。普里高津明确指出，不可逆性的问题已从工程的领域，从应用化学的领域（它首先在那里被表述），扩展到了整个物理学，从基本粒子到宇宙学。如果从更广阔的背景看，自然选择所导致的物种进化也是需要用不可逆性来刻画的。可以说，对演化过程的理解离不开可逆与不可逆这对范畴。

所谓可逆，指的是一个物质系统从某一状态出发，经过某一

过程达到另一状态，如果存在另一过程，它能够使该物质系统和外界环境完全复原，即物质系统回到原来状态，同时消除了原来过程对外界环境引起的影响，则原来的过程称为可逆过程，或简称可逆。反之，用任何方法都不可能使物质系统和外界环境完全复原，则原来过程称为不可逆过程，或简称不可逆。

显然，可逆与不可逆是刻画过程的概念，它们是对一定过程而言的。单一状态不存在可逆或不可逆的问题，只有对两种以上状态所构成的过程才谈得上可逆或不可逆。另外，可逆与不可逆是刻画系统及其环境能否复原的概念。只有完全可复原（系统状态及环境均复原）的过程才是可逆过程，部分可复原的过程则是不可逆过程。

严格地说，自然界中发生的过程都是不可逆过程。不仅热传导、质量扩散、粘滞流动、功热转化、化学反应、生长发育、物种进化……是不可逆的，即使经典力学所研究的运动过程在考虑摩擦、阻力等因素时也是不可逆的。

但是，在实践中又确实存在着可以用可逆过程加以处理的对象，诸如热力学中的等温过程、绝热平衡过程，力学中的的单摆、弹性碰撞，天体的轨道运动等。对这类对象用可逆过程加以处理，不仅在实践上方便适用，而且能从中导出对不可逆的深刻理解。

不可逆过程导致时间对称破缺，使演化成为可能。一方面它起着破坏有序结构、使有序趋向无序的消极作用；另一方面它是一些重要的相干过程的基础，导致更加有序结构的产生，发挥建设性作用。因此，与不可逆过程相联系的“时间箭头”既可以指向退化的方向，也可以指向进化的方向。如果说经典热力学主要研究了不可逆过程的消极作用的话，那么，非平衡自组织理论则更加重视不可逆过程的建设性作用。

（二）进化与退化

不可逆过程既可以导致有序结构的破坏，也可以导致更加有

序结构的产生。这就意味着，对自然界演化来说，与不可逆过程相联系的“时间箭头”既可以指向从有序到无序方向，也可以指向从无序到有序方向。纵观自然界的发展史，可以清楚地看到，自然界确实存在从无序到有序、从有序到无序两个演化方向。例如，从基本粒子形成原子、分子，从星云引力收缩变成恒星，从无机物合成有机物，从微生物演变成鱼类、爬行类、猿、人，等等。这些就是从无序向有序的演化。另一方面，生物个体的衰老死亡、岩石的风化、水土的流失、某些生物种类的灭绝、沙漠化、超新星爆发，等等，这些又是从有序向无序的演化。

1. 进化与退化的规律及其特点

一般地，进化是指自然物演化中由无序到有序、由低序到高序的趋势和过程。退化是指自然物演化中由有序到无序、由高序到低序的趋势和过程。但是，并非所有有序程度提高的过程都能称为进化。生物的生长、发育过程一般是有序程度提高的过程，而衰老、死亡过程一般是有序程度降低的过程。

进化和退化往往具有以下特点：一是进化和退化都是事物的自我运动、自我否定。它们不是按照来自外部环境的指令变化，而是在一定外部条件下按照内部的根据自组织或自瓦解。二是当原有事物出现了失稳状态时才会进入进化或退化的过程，其结果是新的稳定状态的建立，如果先前的状态是非常稳定的，那就无法进化或退化。三是进化和退化主要在连续性中断时实现，虽然其中也有某些方面的连续性，但进化或退化的完成往往要经历突变。

2. 进化和退化的统一性

自然界中普遍存在着进化和退化两种演化趋势。进化和退化有着本质的区别，即不可逆性。但是，进化和退化之间又具有统一性：

（1）进化和退化相互包含。在自然演化中，以进化为主的过程往往内在地包含着退化，反之亦然。例如，从猿到人，无疑是

生物进化史上的一个最伟大的事件；但从局部功能来看，像攀越能力、消化能力、适应自然环境的能力等，却有一些退化趋势。

（2）进化和退化共存共生。进化和退化常常是同时存在、同步发生。因为物质系统有序程度的提高，需要从外部输入负熵。这就意味着把系统的熵转移到环境之中，从而降低了环境的有序程度，导致了环境某些方面的退化。例如，工业化推进了人类社会的文明程度，但是，工业化消耗了大量地球几十亿年来的能源储备，向自然界排放了难以数计的废气、废物和废水，带来了生态环境的恶化。杰米·里夫金和特德·霍华德指出："当一定的有效能量被消耗掉，周围环境的混乱就会增加。现代工业社会巨大的能量流通，给我们居住的世界带来了极大的混乱。技术现代化的进程越快，能量转化的速度也就越高，有效能量就耗散得越多，混乱程度也就越大。"①

（3）进化与退化相互交替。在一定条件下，进化过程会转入退化，退化过程也可以转入进化。按自组织理论的观点，开放系统，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，会从无序状态中产生有序结构。但有序运动的系统，在一定条件下，通过一定的方式会形成无序状态。例如，有序运动的平流会形成湍流，有周期、有节律的运动会丧失周期和节律，可以用动力学规律处理，并能计算未来物理过程如何变成混沌状态等。

进化和退化是自然界普遍存在的两种演化趋势。它们既有演化方向的区别，又有相互包含、同存共生和相互交替方面的同一性，从而构成了一幅多姿多彩的自然演化图景。

3. 进化的根据和条件

无论进化或退化，都拥有其条件和根据。不同学科按照各自

① 杰米·里夫金、特德·霍华德：《熵—一种新的世界观》，上海译文出版社，1987 年版。

对象的特点揭示出不同的进化模式。宇宙学所提供的总星系的演化模式既不同于太阳系的演化模式，更不同于生物的进化模式，很难将它们统一为单一模式。但是，就目前科学状况来看，非平衡自组织理论关于系统走向有序即系统形成有序结构的根据和条件的论述，对于理解一般进化的条件是极有意义的。按自组织理论，一个系统具备以下条件就会进入有序状态：

（1）系统从无序走向有序，必须处于远离热平衡的状态。在热平衡态或近平衡态，都不会出现有序结构。只有远离热平衡的系统，才可能从杂乱无序的初态，跃迁到新的有序状态。

（2）产生有序结构的系统，必须是一个开放系统。即系统内外环境之间要有物质、能量、信息的交换与流通。并且必须使系统从外部输人的负熵绝对值大于系统内部的熵产生，从而使系统的熵逐步减小。

（3）形成有序结构的各要素之间存在着非线性的相互作用。这种相互作用使各要素产生相干效应与协调动作，从而可以使系统从杂乱无章变为井然有序。

（4）正反馈推动系统走向有序。负反馈往往会使系统的变化衰减，而正反馈则会使系统的变化被放大和加剧，从而推动系统的质变，加速系统自复制、自组织的过程，使要素微观协同产生出宏观秩序。

（5）涨落和突变是产生有序状态的条件。一个物理的、化学的或生物的系统有许多要素构成。我们测量到的温度、压力、浓度、化学势、熵、信息熵等宏观量，实质上都是一种统计平均。而系统内部的具体要素并不严格精确地处于平均状态，而是有或多或少、或大或小的偏离，这种偏离或偏差叫涨落。涨落是偶然的、杂乱的、随机的。小的涨落会被衰减，而在临界点附近，涨落则可能被放大，形成巨涨落，从而会推动系统发生质变，跃迁到新的分支上去，形成有序结构。即在临界点处，涨落会使系统发生突变，导致有序。

非平衡自组织理论的这些成果，不仅原则上回答了唯物进化论与热力学第二定律在科学思想上的矛盾，表明了孤立系统中的退化与开放系统在一定条件下的进化可以在同一理论模式中得到解释，而且还对如何一般地理解进化的条件和根据提供了有益的启示：系统中的相干性相互作用是系统进化的基本根据，从外部获得物质和能量是系统进化的基本条件，内部涨落是系统进化的直接诱因。

第三节　自然界演进的规律性

一、矛盾是自然界运动与演化的根本动力

（一）吸引和排斥的矛盾是非生命世界运动发展的动力

在非生命世界中充满着以吸引和排斥为对立两极而不断展开的矛盾斗争。吸引和排斥是对接近和分离、收缩和膨胀、凝聚和扩散、吸收和辐射、化合和分解、聚变和裂变等特殊矛盾运动所作的高度概括。吸引和排斥的相互作用是非生命世界各种事物运动的源泉，在不同的运动中有不同的表现。

在天体运动中，吸引和排斥的相互作用有各种特殊表现。例如，行星围绕太阳作椭圆轨道运动，就是吸引和排斥共同作用的结果。一方面由于太阳对行星的引力作用，使行星不能飞离太阳系；另一方面由于行星本身运动所产生的离心力使它不致被太阳吸引过去。

在分子运动中，吸引和排斥的矛盾运动常常表现为分子力（分子间引力和斥力的合力）和热运动之间的矛盾。分子力的作用是使分子保持在平衡位置附近，而热运动是一种无规则的运动，它总是要使分子远离平衡位置，因而双方构成一对矛盾，并贯穿于分子运动的全过程。在一定条件下，这一矛盾的对立与统一决定

了物体三态（固态、液态和气态）的转化。

在原子内部运动中，存在着原子核和电子之间的吸引和排斥的相互作用。原子内部的吸引作用主要指原子核和电子之间通过电磁场交换场量子（光子）而产生的相互吸引。原子内部的排斥作用主要来自三个方面：一是核外电子绕核高速运动所产生的离心作用，形成了电子和核的相互排斥；二是来自核外电子之间的静电库仑斥力；三是来自泡利排斥，这是指两个电子不能同处于一个量子态中的量子效应。这就相当于在核外电子之间存在一种排斥作用，正是以上各种排斥因素的存在，使电子不会掉进原子核中去，而原子核对电子的吸引作用又使得电子不会飞离原子，从而使原子核和电子处在相对稳定的系统中。

化学运动中吸引和排斥的矛盾主要表现为化合和分解。在这里，原子的化合就是吸引，分子的分解就是排斥。电磁运动中吸引和排斥的矛盾主要表现为正电和负电之间的矛盾。原子核内的矛盾是核子（质子和中子）间吸引和排斥的矛盾。原子核内的吸引是核子间存在的强相互作用力，即核力；原子核内的排斥主要包括质子间的库仑排斥、核子间的泡利排斥以及由微观粒子的波粒二象性所引起的排斥等。

吸引和排斥的相互作用也是推动非生命世界演化发展的动力。吸引和排斥的相互作用尤其是它们之间的相互转化，在一切天体的起源和演化过程中发挥着重大作用。

在“我们的宇宙”即总星系的起源和演化过程中，吸引和排斥的相互作用主要表现为收缩和膨胀的相互作用和相互转化。按照大爆炸宇宙学的观点，宇宙的初始状态是一个处于超高温、超高密的“原始火球”。在原始火球里，物质可能以基本粒子形态出现。[①] 如是说，这时的吸引主要是基本粒子间的相互作用，排斥主要是

① 这是大爆炸宇宙学创始人伽莫夫等人的观点。现代宇宙论认为，“原始火球”究竟是什么物质形态还需要进一步研究。

由各种排斥因素（库仑排斥、泡利排斥、粒子的热运动等）构成的。在基本粒子间吸引和排斥的矛盾斗争中，由于吸引占主导地位，即收缩是矛盾的主要方面，因而使得宇宙处在一个很小的原始火球中。在吸引和排斥的激烈斗争中，在尚不清楚的物理机制作用下，原始火球发生了大爆炸。正是在大爆炸的条件下，原来吸引、收缩占据矛盾主导地位的原始火球，转化为排斥、膨胀占据矛盾主导地位的演化的宇宙，至今宇宙仍在膨胀过程中。尽管这个期间作为吸引的引力收缩对宇宙的演化也会起到一定的作用，但却处于矛盾的次要地位。

吸引与排斥也是恒星起源和演化的基本矛盾。一般说来，在恒星演化中，吸引主要是指恒星各部分之间的万有引力作用，即自吸引，这种作用由外向里使恒星收缩；排斥主要是指微观粒子的热运动所产生的气体压力和恒星内部的电磁辐射所产生的辐射压力，这种作用由里向外使恒星膨胀。

现代天体演化学的研究表明：在宇宙内，包括我们太阳系的无数恒星以及巨大的星系都是从温度很低的弥漫星云演化而来的。从星云形成恒星的过程，首先要经过引力收缩阶段（包括快收缩阶段和慢收缩阶段），吸引和排斥是星云中的主要矛盾。由于星云的密度小、温度低，作为排斥因素的气体压力非常微弱，作为吸引因素的星云物质的自吸引占绝对优势，成为矛盾的主要方面，所以星云很快就收缩为球状体、红外星等不同类型的原恒星。在这个阶段，恒星的能源主要是星云收缩时释放的引力势能，它不断地转化为热能，一方面使温度升高，另一方面又产生一股作为排斥因素的气体压力，并不断增强以抗拒引力，使原恒星逐渐进入慢收缩阶段成为恒星。当恒星的中心温度升高到 700 万度以上时，氢核聚变为氦核的热核反应便成为恒星的主要能源。于是恒星的演化便转入另一个阶段——主序星阶段。至此恒星便进入成年期。太阳是一颗主序星，它在主序星阶段停留的时间大约为 100 亿年，目前已走完了一半历程，正处在生命旺盛时期。此后，

恒星在其内部吸引与排斥的相互作用和相互转化的推动下，相继经历红巨星阶段、脉动阶段、爆发阶段和高密阶段，而逐步走向灭亡。

太阳系的形成也是在吸引和排斥的斗争中完成的。我们银河系的前身是一个巨大的弥漫物质云，在其内部自吸引的作用下，各自分散的弥漫物质收缩为许多个中等大小的云。其中一个在吸引与排斥的相互作用下，收缩并瓦解为成千个小云，有一个便是我们太阳系的前身——原始星云。原始星云一开始就在缓慢地自转，吸引使它不断收缩，由于角动量守恒，原始星云的排斥即因自转逐渐变快的惯性离心力也不断加大。在吸引和排斥的不断相互作用下，在原始星云赤道面附近形成了一个内薄外厚的星云盘。星云盘的中心部分在收缩中密度变大，最后演化为太阳。星云盘中的固态颗粒在吸引与排斥的相互作用下，即在太阳引力与惯性离心力以及各颗粒之间随机布朗运动与碰撞吸引的相互作用下，而结合成较大颗粒。各颗粒降落在赤道面附近，并形成内薄外厚的尘层，尘层瓦解为许多粒子团，各粒子团靠自吸引收缩为星子。各星子靠相互间的碰撞或各自吸积周围的颗粒，使星子迅速长大，成为行星胎。行星胎进一步生长就成为九大行星围绕太阳旋转。

吸引和排斥也是地球演化的动力。对地球物质系统而言，吸引主要是指地球自身的引力作用使地球中的物质相互接近；排斥则在宏观上表现为地球由于自转而产生的离心作用，在微观上表现为分子的热运动。吸引和排斥的矛盾斗争及其转化，一方面推动着地球的演化，另一方面标志着地球演化所达到的不同阶段。吸引和排斥的矛盾斗争不仅在地球深化的不同时期（如“天文时期”和“地质时期”）以不同的形式发挥推动作用，而且在地球系统的各个要素（如大气圈、水圈和地压等）内部的各种运动中也以不同的形式起着促进作用。

总之，从存在的自然界到演化的自然界，从基本粒子到总星系，都存在着吸引和排斥的矛盾，它是非生命世界运动发展的动力。

（二）生物和环境的相互作用是生物进化的动力

生物进化在变化的环境和变化的生物两者的相互作用之中。它把生物和环境相互联系、相互制约的动力过程看成是自然选择。这种观点同唯物辩证法关于内外因关系的基本观点是一致的。下面我们依据这种观点来分析一下生物进化的动力问题。

第一，内因是生物进化的根据，就是说生物体遗传和变异（适应）的对立统一是生物进化的内因或根据。恩格斯指出："……进化论证明了：从一个简单的细胞开始，怎样由于遗传和适应的不断斗争而一步一步地前进，一方面进化到最复杂的植物，另一方面进化到人。"[①] 遗传和变异是对立的，遗传是过程中保留物种特性、反映物种稳定性的保守的方面；而变异是过程中引起物种演变、反映物种可变性的创新的方面。它们又是统一的，因为它们相互联系，而且可以相互转化。变异是指遗传的变异，即在一定遗传基础上的变异；而遗传是指变异的遗传，任何生物体的遗传性都是在积累历代变异的基础上发展起来的。在生物进化过程中，由于微小的变异适应变化了的环境而得到保存，并在繁殖下一代的时候转化为遗传。这样经过历代的积累，终于成为显著的变异，最后形成新物种。

第二，外因是生物进化的条件，就是说选择是生物进化的外因或条件。遗传是变异的内部矛盾或内因，只给生物进化提供了可能性。要使进化的可能性变成现实性，还需要外因，这就是外界环境条件对生物体的选择。对生物进化来说，外界环境条件就是自然条件，因此这种选择叫做自然选择。

简单地讲，自然选择就是保存和淘汰。生物有各种不同的变异，有的变异适应于外界环境条件，有的变异不适应于外界环境条件。自然选择就是保存适应环境的变异，淘汰不适应环境的变

①《马克思恩格斯选集》第 3 卷，人民出版社，1972 年版，第 534 页。

异。可见自然条件对生物变异的选择起着重大作用，决定变异的发展方向。

第三，外因通过内因起作用。首先，生物进化的内因和外因之间存在着相互依存的辩证关系。一方面，生物进化的基础在于生物体的变异，没有变异给自然选择提供材料，自然选择就无从发挥作用；另一方面，如果只有生物体的变异，没有外界环境条件的选择，也就谈不上生物的进化。

其次，在生物进化中，外因通过内因起作用，大致表现为以下几种情形：① 环境条件可以引起遗传物质的内部矛盾变化，并对个体发育和新陈代谢产生影响，从而在一定程度上与遗传信息一起决定着变异方向。② 外因（外界环境条件）和内因可以互相转化。原来作为内因的遗传物质，在新陈代谢过程中可以转化为非遗传物质，成为外界环境条件；原来作为外因的环境因素，在适当条件下也可以转化为内因。③ 外因（外界环境条件）要使原来的生物类型转化成新的生物类型，还需要内因进行协作，否则，生物进化是不可能实现的。

二、自然界演化的渐变与突变

自然界存在多种具体的演化形式，如宇宙演化、星系演化、恒星演化、地球演化、生命演化等。但这些都可以抽象为两种最基本的演化方式，即渐变和突变。

（一）演化的方式：渐变和突变

在自然界中，当某一具体自然物的演化表现为缓慢、逐渐和连续的形式，这种演化就称为渐变。渐变普遍存在于自然界。如星云引力收缩、海陆变迁、大陆漂移、地球公转周期的变化、岩石的变质作用、海洋水分的蒸发、大多数物种的形成、胚胎的发育，等等。

但是，当同一自然物的演化表现为短暂、变化强度迅速激烈、

变化量大、呈现间断性，这种演化就称为突变。例如，自从地球上出现了生命以后，在 20 多亿年的时间里，只有一些极低等的生物在缓慢进化。但到距今 5.3 亿年的寒武纪早期，地球生命突然出现了从单样性到多样性的飞跃。科学家称之为寒武纪生命“大爆炸”，认为是地球生命演化史上的一次重大的突变事件。又如，有的质量比太阳大得多的恒星在其演化后期，当内部核燃料耗尽时，由于自身强大的引力作用，星体会突然坍塌。与此同时，向外的冲击波把外层物质猛烈地抛向星际空间，这就是已知恒星世界最剧烈的超新星爆发。爆发时，光度在很短时间内增强上亿倍，并释放大量能量，其数量相当于几百亿个太阳一年的辐射总和。

其他的自然界突变还有火山爆发、洪水泛滥、地层和太阳发生异常爆发、小行星撞击地球、森林大火、原子聚变、基因突变、染色体畸变，等等。

渐变和突变虽然都是自然界演化必然表现的两种形式，但一般说来，无论在时间上，还是空间上，渐变比突变都表现得更普通、更经常。例如，在漫长的 30 多亿年的生命进化中，重大的突变演化也只有几次；超新星爆发往往要经过百亿年以上的演化过程才爆发一次，而原始星云的演化却无时无处不在进行；局部地区地震可能很频繁，但大多数地区却很平静；洪水之所以称为洪水，乃是它的水位超过了正常水位，而正常水位的时期毕竟比洪水期长；火山、泥石流可以在极短时间改变地表形态，但它们并不经常发生，然而由地表各种地质营力（风、海浪、流水、雪融、太阳辐射等）引起的渐变性地质演化作用却每时每刻都在地球表面发生。因此，可以这么说，自然界的演化更多地表现为渐变形式。

（二）渐变和突变的辩证关系

在自然界演化中，渐变和突变是一对矛盾的两个方面。它们既相互对立，又相互统一。所谓对立，是指渐变和突变有着不同

的特征，在时间和空间上存在不同的表现形式。例如太阳的耀斑活动，时间由几分钟到几小时，耀斑出现时抛射出大量的高能电子和质子，随后在地球上引发磁爆、极光和短波电信中断等现象。耀斑是一种突变，它与太阳正常时期的特征形成了鲜明的对比。又如，对生物进化来说，在长期的自然选择中，个别物种的淘汰、灭绝是很正常的，这种灭绝属于渐变。但如果在短期内生物大规模灭绝，这种灭绝就是反常的，属于突变。所以说，渐变和突变是一对对立的概念。在同一自然物（如恒星、地球、生物、河流、基因）的演化中，渐变和突变有着严格的界限，不能混淆。

但是，渐变和突变除了对立的一面外，还有统一的一面。这种统一性主要表现在三个方面：

1. 渐变和突变的相对性

作为一对对立的概念，渐变和突变是相互依存的。在自然界演化过程中，没有绝对的渐变和突变。离开了渐变，就无所谓突变；离开了突变，渐变也就无从谈起。事实上，要想把自然界的演化按某种质的规定性划分出渐变和突变的绝对界限是很困难的，因为自然界发展总保持自身的连续性，总在一切对立概念反映的客观内容之间存在着中间过渡环节。所以，从这个意义上讲，一切对立都是相对的。在空间规模、时间速度、结构、形态及能量变化程度上或采取的形式上，渐变和突变都只有相对意义。

2. 渐变和突变的层次性

在讨论自然界演化的渐变和突变时，总是联系某一具体的自然物质层次。在同一自然物质层次上，渐变和突变有其具体的表现形式，可以进行严格的界定。从这个意义上讲，不同物质层次的渐变和突变有其不同的表现形式和质的规定。某种具体的自然变化过程，在低层次可以称为突变，而在高层次，则属于渐变。例如，山体崩塌，对具体小区域的微地貌来说，这是一次突变事件；但对大区域自然景观来说，这只是局部地貌的微小变化，对地球表面来说，这种变化可以忽略不计。

3. 渐变和突变的相互转化

在一定条件下，渐变可以转变为突变，突变也可以转变为渐变。例如，在外部环境不发生异常变化时，生物演化一般以一种缓慢的速度和连续渐进的形式进行。但是当外部环境发生剧烈、突然、异常的变化时，就可能导致生物演化的突变。虽然渐变和突变可以在一定条件下相互转化，但在多数情况下渐变不一定转化为突变。例如，对于海洋演化而言，海水的蒸发自始至终都是一个渐变过程。就目前所知地球上还没有什么力量能在短期内改变海水的蒸发过程，改变海洋的演化形式。同样，突变也不一定转化为渐变，就像正负电子相撞迅速湮灭生成光子一样。另外，突变并不都是渐变引起的，有些突变完全是由于偶然性因素。例如，宇宙射线导致地表某类生物基因的突变，小行星撞击地球及日常所见的各种偶发性事件，此前并不存在一个与该突变有直接因果联系的渐变过程。

三、自然界演化的周期性

在自然界演化中，同时存在从无序到有序、从有序到无序两种演化过程。两种演化过程不断转化、不断交替，从而使自然界演化呈现出循环过程，即周期性。

（一）自然界演化的周期性

周期性是指事物沿时间轴变化经过一定时间后，又向其原出发点复归的一种运动、发展属性。自然界演化的周期性，由于受不可逆性的制约，本质上是一种螺旋式的上升发展，即辩证法认为的否定之否定的过程。

自然界演化普遍存在着周期性。这方面，现代自然科学已提供了许多证据。

在宇宙演化中，按脉动式宇宙模型，“我们的宇宙”处在膨胀、收缩、再膨胀、再收缩的无限更替过程中。但由于宇宙初始大爆

炸的具体条件不同，每一次膨胀、收缩的过程不会完全相同。

在恒星演化中，星云物质通过引力收缩成为恒星。恒星在演化晚期因内部高温造成的气体膨胀和辐射压发生猛烈爆炸，将物质抛散在宇宙空间，形成新的星云物质，从而又开始了新一轮的星云物质—恒星—星云物质的演化过程。

在地球上，许多自然演化也具有周期性。地幔对流说和海底扩张说认为，大洋中脊裂谷是海洋地壳的诞生地，地幔物质在这里涌出，冷凝后形成新的大洋地壳。随着地幔物质源源不断地涌出和新洋壳的不断产生，原来的洋壳由大洋中脊不断向两侧扩张。扩张的洋壳遇到陆壳时，在海沟附近向下俯冲，使洋壳熔融、消亡在地幔中。就这样，完成了地幔物质—洋壳—地幔物质的周期性演化过程。

古气候学研究表明，在漫长的地质时期，地球上的气候一直是温暖和寒冷交替出现。从震旦纪以来的 6 亿多年中，出现了三次气候寒冷、冰川扩展的大冰期，即震旦纪冰期，石碳纪、二叠纪冰期和第四纪冰期。其间，隔着两次气候温暖、冰川消融退缩的间冰期，即寒武纪—石碳纪和三叠纪—第三纪间冰期。可见，气候变迁也呈现出温暖期—寒冷期—温暖期的周期性特点。

生态系统变化发展的周期性是通过物质循环和能量流动的形式实现的。生态系统中的绿色植物利用太阳能把从周围环境摄取的无机物质合成为有机化合物，再通过食物链传递给食草动物、食肉动物。最后，细菌、真菌等微生物把动物的尸体和植物的枯枝败叶分解为简单的无机物，释放、返回到环境中。

同样，在生物大分子中，也呈现出发展、变化的周期性。由于解链酶的催化作用，DNA 的双螺旋会解开变成两条单链，以后每条链又根据碱基配对原则，在一系列酶的作用下各自重新组成双螺旋结构。从而完成双链—单链—双链的 DNA 自我复制过程。

在微观世界，具体物质也有其产生、发展、消亡和转化的周期性过程。例如，放射性元素在衰变过程中产生的正电子，当其

与电子相遇时，就转化为光子对。反过来，当能量超过 1.2 兆电子伏特的光子，在经过原子核附近时，又可转化为电子对（一个电子和一个正电子）。

由于物质系统结构的层次性及其运动发展阶段的相对性，自然界中的周期性变化也有大有小，一个大周期可能包含若干小周期。例如，第四纪冰期就包含四次亚冰期和三次亚间冰期，现在人类正处于冰后期的演变之中。在生态系统的物质循环中，包含着碳循环、磷循环、钙循环等。

（二）自然界演化的无限性

自然界物质系统在完成其一个演化周期后，会不会继续演化下去？换言之，自然界的演化是否具有无限性？早在 19 世纪中叶，恩格斯就认真思考了这个问题。但在当时自然科学发展的条件下，不可能对此提供足够的实证材料，更不可能对此进行合理的科学解释。因此，恩格斯只能在哲学层次上进行研究。自然界演化的无限性，抽象到哲学层次，就是物质运动的永恒性。恩格斯认为，物质运动是一个永恒的循环：“在这个循环中，物质的每一有限的存在方式，不论是太阳或星云，个别的动物或动物种属，化学的化合和分解，都同样是暂时的，而且除了永恒变化着、永恒运动着的物质以及这一物质运动和变化所依据的规律以外，再没有什么永恒的东西。”[①] 这里，恩格斯深刻地阐述了自然界演化的有限性与无限性的辩证关系。具体的物质形态或物质系统此时此地会毁灭，但它们在彼时彼地又会产生。正是这一个个具体、有限的演化构成了生生不息的无限演化过程。

对克劳修斯从热力学第二定律得出的“宇宙热寂说”，恩格斯根据运动不灭原理进行了批判，强调应从质的不灭性方面来理解运动不灭，这种质的不灭性是指物质由一种运动形式转化为另一

① 恩格斯：《自然辩证法》，人民出版社，1984 年版，第 21～24 页。

种运动形式的能力是永恒的、无限的。另外，还必须从质的不灭性方面来理解物质不灭原理，恩格斯指出：“物质在它的一切变化中永远还是物质，它的任何一个属性都不会丧失。”① “形成我们宇宙岛的太阳系的炽热原料，是按自然的途径、即由运动着的物质。天然具有的运动的转化产生出来的，而转化的条件也因此必然要从物质再生产出来，即使是在亿万年后或多或少偶然但是以那种也为偶然中所固有的必然性再生产出来。”②

恩格斯认为，在自然界演化过程中，时间无限性和空间无限性是辩证的统一。“无限时间内天体的永恒重复的先后相继，不过是无限空间内无限天体同时并存的逻辑补充”③。这是因为如果不承认宇宙在时间上通过新旧系统的连续更替而无限发展，那么无数有限系统的灭亡最终将导致整个宇宙的灭亡，“无数宇宙”同时并存也将是不可想像的。

在当时缺乏科学实证材料的情况下，恩格斯根据运动不灭原理提出了自然演化的无限性思想，是非常重要的。100 多年来科学的发展，特别是耗散结构理论、超循环理论和协同学的创立与发展，为此提供了越来越多的证据和理论支持。

自然界演化的无限性是一个涉及科学和哲学的复杂问题。在科学层次上，要用有限的科学事实和科学理论证明无限空间内无数宇宙的无限演化并不是一件容易的事情。在哲学层次上，只能根据不充分的事实“用思想的首尾一贯性去帮助有缺陷的知识”。因此，对自然界演化的无限性证明是一个持续不断的过程。人类只能通过漫长的认识发展史和自然科学史去把握、理解、领悟自然界演化发展的无限性。

演化的观点有重要的意义，是人们认识世界和改造世界的科学思维方式。它告诉人们，在考察某种特定的物质形态、特定的

---

①、②、③ 恩格斯：《自然辩证法》，人民出版社，1984 年版，第 21～24 页。

事物时，不仅不能把它看做是一成不变的，也不能只看到它有由低级到高级、由简单到复杂的上升运动，而且要注意到它有一个从产生、形成到消亡的全过程。演化是彻底的历史观点，与通常所说的变化、发展不尽相同。它表明，世界上的任何特定的对象，从宇宙、太阳、各种化学元素到生物体，并不是从来就有的，而是曾经不存在和从无到有产生出来的，有着上升的运动；它也表明，世界上的任何特定的对象并不是永远如此，而是将会不存在和从有到无趋于消亡，有着由高级到低级、由存在到瓦解的下降的运动。演化的观点不仅有助于人们认识特定的自然事物，也适用于人们认识特定的技术对象（如高炉炼铁、石油化工），乃至适用于人们认识特定的社会现象（如特定的经济体制和分配方式）。应善于应用演化的观点来分析事物和认识问题。

参考文献

[1] 国家教委社会科学研究与艺术教育司. 自然辩证法概论. 修订版. 北京：高等教育出版社，1991

[2] 李思孟等. 自然辩证法新编. 武汉：华中理工大学出版社，1997

[3] 陈昌曙. 自然辩证法概论新编. 沈阳：东北大学出版社，1995

第三章　生态自然观

人类的形成也就是人类社会的产生。人类社会是统一的物质世界中最高级、最复杂的一种存在形式。从自然界的演化到人类社会的形成是自然史上的一次飞跃。

自人类诞生开始，就产生了人与自然的关系。古代哲学家在考察自然界时虽曾涉及到人与自然的关系，但直到 19 世纪以前，大多数哲学家更多地论述了自然界本身，唯物主义哲学家更强调人要听取自然的声音，人要服从自然。工业革命以后，人们的自然观发生了重大变化，逐步重视人对自然的能动性。康德提出“人向自然立法”，黑格尔主张自然、人、社会大统一的大自然观。到现代，科学技术的飞速发展使人类在自然面前显示出了空前巨大的能动性，同时也凸现出不容忽视的消极作用，迫使人们不得不重新审视人与自然的关系。越来越多的人认识到人类从来就是也只能是自然界的一部分，人类有必要同自然界生态系统的其他部分保持协调，才能促进人类和自然界整体的良性发展。人类进入新的世纪，要求建立一种新的自然观——生态自然观。

第一节　自然界是人类赖以生存的基础

在自然界演化发展的特定阶段上产生了人，人与其他生物一样，是自然界的存在物，同时又是自然界的对立物。人既依赖于自然，同时能动地认识和变革自然，创造出适合自己的生存环境。

一、人类是自然界长期进化的产物

人类是自然界的非生命物质长期进化的产物。现有材料表明，史前原始人类的自然发展史经历了猿人—古人—新人三大进化时期，由类人猿演变成为新生代哺乳动物世界的最高级成员——原始人类。

人类，从哺乳动物世界脱胎而出，无疑是生物圈演化的最高产物。人类智慧的物质基础在于从猿脑逐步演变而成的人脑。

从猿脑发展到人脑，关键因素是劳动。当森林古猿下地后，因采集食物、制造工具的需要，被迫逐步直立行走和手足分工。在世代相传的漫长劳动史中，古猿前肢渐渐发展为人手，后肢发展为人足，特别是“手不仅是劳动的器官，它还是劳动的产物”[①]。以后，古猿脑髓也逐步演变为人的脑髓。由于劳动，使古猿和猿人的食物由果实、植物发展到肉食和熟食，脑髓从中摄取了日益丰富的多样化营养，为猿脑向人脑转化提供了必要的物质条件；也由于劳动，人类的生产实践活动不断向深度和广度发展，因而通过眼、耳、鼻、舌、身等官能反映到大脑的印象不断加强，促使脑量加大和脑结构复杂化。显然劳动和生产实践是推动猿脑进化为人脑的根本动力。

原始人类在共同狩猎、采集食物、制造石器等劳动协作中，迫切需要沟通信息和交流思想感情。于是，表达思想、传播信息的工具——语言便应运而生。“语言是从劳动中并和劳动一起产生出来的”[②]，劳动和语言促使人脑成为人类独有的器官，并在人类发展中打下了深刻的烙印。随着语言的发展、语汇的丰富，人

---

① 恩格斯：《劳动在从猿到人的转变过程中的作用》，人民出版社，1979 年版，第 3 页。

② 恩格斯：《劳动在从猿到人的转变过程中的作用》，人民出版社，1979 年版，第 4 页。

们的思想不断地向深度和广度扩展，作为思维器官的大脑就更发达了。

在自然发展史的长河中，人类和意识的产生，结构最复杂、最精密的人脑系统的形成，是继天体—地球—生命起源和演化之后最重大的事件，是客观物质演化的最高产物，也是自然界长期进化的必然结果。人类也由此开始了认识自然、改造自然和认识社会、改造社会的漫长征程。

二、自然界是人及其生产活动的基本前提

人类的出现使自然界深深地打上了人类活动的印记。但是，人类在自然界中并不处于特别优越的地位，自然界是人类的摇篮，是人类赖以生存和发展的基础和永恒的物质前提。

人同其他生物一样，是自然界的非生命物质发展演化的结果，人的生命在发生、存续、终结的过程中，始终受自然界的规定和制约，自然界在漫长的演化过程中，造就了人类。

人依赖自然界的物质构成自己的生命有机体。现代科学表明，人体内含有 60 多种化学元素，其中氢、氮、碳、氧等 4 种元素约占人体总重量的 96% %，钙、磷、钾、硫、钠、氯、镁等 7 种元素约占人体总重量的 3% %；氟、铬、锌、锰等含量较低，是人体中的微量元素。科学研究还表明，除人体原生质以碳、氢、氧、氮为主，地壳以硅为主这点有所区别外，其他化学元素在人体血液中的含量同这些元素在地壳中含量和分布规律是基本一致的。这说明人同地壳之间保持着一种自然的平衡。如果这种平衡被打破，就会影响人体的健康，甚至导致人的死亡。

人要维持自己的生命、生长、发育和生育后代，要进行体力和脑力的活动，还必须不断地从大自然的生物界汲取营养。杂食性是人类消费的一大特点。早期人类就是既直接以植物的果实、根茎和叶为食，充当植食者，又捕食其他动物，充当肉食者。这种既吃植物又吃动物的习惯大大促进人类的形成。现代人的食谱，

从五谷杂粮、蔬菜到肉蛋和乳制品等等，无所不有。如果自然界的生物资源发生短缺或遭到毒害，必然危及人类的生存。

人类要进行物质财富的生产，更离不开大自然的物质、能量和信息。当然，不仅对于人类，一切动物的生存都是需要与自然进行物质、能量和信息的交换，区别仅在于动物以个体直接消费自然界天然产品的方式来实现这种交换，而人则是以社会生产为前提，消费自身的社会劳动产品。但是，尽管人们主要不是从外界环境中直接摄取现成的物质和能量，而是要与自然界进行物质交换、能量转化和信息交流来创造自己所需要的生活和生产资料，但人们的这种活动——生产劳动，又是依赖自然地理条件、气候，特别是自然资源状况的。

而且这些自然因素对社会生产的门类、潜力和结果有极大的影响。马克思说："劳动生产率是同自然条件相联系的，这些自然条件都可以归结为人本身的自然（如人种等）和人周围的自然。外界自然条件在经济上可以分为两大类：生活资料的自然富源，例如土地的肥力，渔产丰富的水等；劳动资料的自然富源，例如奔腾的瀑布、以航行的河流、森林、金属、煤炭等。在文化初期，第一类富源有决定性的意义；在较高发展阶段，第二富源具有决定性的意义。"①

自然界为人类创造精神文明提供了原材料。当人们以其思维力量，在经验的基础上反映自然过程和把自然规律抽象出来的时候，或者人们根据自己的感受把自然界的对称、和谐与壮丽的美通过艺术美表现出来的时候，自然界也进入了社会意识，形成和发展了人类精神文明。自然界是人类知识内容的基础，如果某些自然物被破坏或不复存在，关于它的知识就很难产生了。例如熊猫能吃竹叶长成身躯，蚕能吃桑叶吐丝，人们本可以从中研究其奥秘并可能加以利用；而如果熊猫和蚕灭绝了，就会丧失研究和

①《马克思恩格斯全集》，第23卷，人民出版社，1972年版，第560页。

利用的可能性。生物界的基因库从某种意义上说也就是人类的知识库。自然美也是科学美和艺术美的基础，如果黄山被破坏，黄果树的水源枯竭，人们对它的艺术描绘也会成为历史。

第二节　人工自然是人与自然界的中介

一、人与自然关系的历史演变

人与自然之间是相互依存、相互制约的对象性关系，即认识与被认识、改造与被改造、审美与被审美的关系。人依赖于自然，又能动地认识和改造自然，使自然界适合人的生存和发展的需要。从某种意义上说，一部人类文明史，就是人类认识和改造自然的历史。

回顾人类与自然的关系史，大体可分为三大历史阶段。

（一）古代人类由崇拜天然自然到初辟人工自然的时代

在人类文明史上，人猿揖别之时，人类祖先对自然有一种与生俱来的膜拜心态。原始人只是本能地依赖自然，靠自然的恩赐而生活，其思维还不可能达到把自己从自然界里区分出来的程度。随着人类思维能力的提高，原始人逐渐萌发了人和自然有所区别的观念，意识到人类对自然的依赖，处于屈从、被支配的状况。在强大的自然力面前，这种异己的力量逐渐演化成了图腾崇拜的对象和自然神灵观。社会生产发展促使人和自然的关系超越了远古时期原始统一的阶段。在大约 1 万年以前开始的新石器时代早期，人类开始进人原始农业阶段。随着农业的萌芽、发展，人类开始利用种植、养殖所获得的成果生存，天然食物虽然仍很重要，但所占比例却有所下降。最早的农业耕作以新石器时代的石刀、石铲等为主要生产工具，此时，制造工具已逐步占据了主导地位，所制工具的质量、功能、数目与旧石器时代的所制工具相比有了

质的进步，真正意义上的劳动也就出现了。于是，人彻底地从动物界中分化、独立出来。

人类对自然界的大规模认识和改造开始于传统农业阶段。在传统农业阶段，人类虽已大规模地向自然界主动索取，但人类生产和消费所使用的资源，主要是自然的气候资源、土地资源、生物资源，而社会产品也只是农业畜产品和初级手工加工产品，生产与消费中产生的废物仍是自然界可以降解的。因此，当时人与自然的关系是一种和谐的关系。

当然，在这一阶段不和谐已初露端倪。传统农业的精耕细作方式需要较大规模的人口，人口数目上升反过来又需要更大的农业规模。农业规模的扩张可能会带来水土流失、森林草场减少、水源枯竭、盐碱化和荒漠化等“副产品”。可以这么说，在人类加强自己的能动性，从被动走向主动去迫使自然界适应于人类自身的同时，也就开始造成了人与自然之间的不和谐，有时这种不和谐在局部甚至十分严重。恩格斯曾谈及这样的例子：“美索不达米亚、希腊、小亚细亚以及其他各地的居民，为了想得到耕地把森林都砍完了，但是他们梦想不到，这些地方今天竟因此成为荒芜的不毛之地，因为他们使这些地方失去了森林，水分积聚和贮存的中心也不存在了。阿尔卑斯山的意大利人，在南山坡砍光了在北坡被十分细心地保护的松林，他们预料不到因此却把他们区域里的高山牧畜业的基础给摧毁了，他们更预料不到，这样就使山泉在一年中大部分时间都枯竭了，而且在雨季又使洪水倾泻到盆地上去。”[①]这正是传统农业阶段人与自然之间关系局部恶化的写照。

（二）近现代人类征服天然自然、发展人工自然的时代

始于近代产业革命的工业文明阶段是人类历史上人口增加最快、发展最迅速、财富增加最多、社会变动最剧烈的阶段。在这

① 恩格斯：《自然辩证法》，人民出版社，1971 年版，第 158 页。

个阶段中，人类以前所未有的能动性力量，彻底地改造了自然界，创造出了财富，进而显示出了人在自然界面前的主宰地位。然而，长期以来，我们忽略了这样一个事实：人们所创造的一切财富是建立在剥夺自然的基础之上，为了创造现实的乐园，正在毁坏养育着人们的自然环境。现代文明的背后，孕育着十分危险的情景。

（三）当代和未来人类必将走向人与自然和谐统一和协调发展的新时代

从征服自然的斗争激发了自然界多次惩罚人类的严重后果的深刻反思中，人们终于痛苦地认识到:人类与自然确实构成了一个系统，它理应成为真正和谐统一的自然社会综合体。其中，由人群、动物、植物、山川、湖海、大气、污染源等诸要素组成的生态环境保护系统，实际上是自然系统中的一个次级系统，也是自然系统与人造系统对立统一的复合系统。既然人类与自然的诸要素同属一个系统，则它们在系统内部的相互作用只有相辅相成和协调发展，才不致破坏整个系统的动态平衡。

“人类是自然界的主人”这一命题是从强调发挥人的主观能动性方面提出的，决不意味着自然界只能是人类恭顺的奴仆。一旦人们把人与自然的关系视为简单的主仆关系，乃至把自然界作为异己力量进行征服和破坏时，自然界必然要起而对抗，进而威胁到人类自身的生存条件。在近现代，自然界向人类展开报复的种种事例，已使人类屡受惩罚。由此看来，从古至今流行的所谓“人定胜天”的观点，固然反映了劳动人民战胜自然灾害的英雄气概，在历史上无疑有过积极作用，但又隐含着主观唯意志论的深刻烙印，带有把人与自然绝对对立起来的机械自然观色彩，不宜当做政治口号加以突出强调。正确处理人类与自然关系的指导思想必须建立在人与自然和谐统一和协调发展的基点之上。

人与自然关系的演变表明，人与自然的关系是一种相互作用的关系，在本质上是对象性关系。人与自然作为对象性的存在物，

每一个对象都同时既是能动的又是被动的实体。构成对象性关系的人与自然，分别是能动与被动或受动的统一体。人与自然各自本质上都具有能动性与受动性，在对象性关系中，一方面，自然万物作为对象性的存在，它是人的能动性活动的对象；另一方面，人的被动性或受动性，在对象性关系中，必然逻辑地表达为人受制于自然。人作为“对象性的存在物是进行对象性活动的，而只要它的本质规定中不包含对象性的东西，它就不能进行对象性活动，它所以能创造或设定对象，只是因为它本身是被对象所设定的，因为它本来就是自然界”[①]。

二、天然自然与人工自然

人类在能动地改造自然的过程中，逐渐形成人化自然与人工自然。人化自然是人的本质力量对象化的公开展示，人工自然的产生对人类的生存和发展具有重要意义。对人化自然和人工自然的正确认识是协调人与自然关系的基础。

（一）人化自然

“自然”，从广义上说，就是整个宇宙，它是指世界上一切事物和过程的总和，既包括自然界，又包括人类社会，既包括纯自然，又包括人化自然、人工自然；从狭义上说，是人类社会以外的宇宙，即指人类赖以生存和发展的一系列物质条件。从自然界动物群中提升出来的人类，参与自然界的发展，使自然打上了人的意志印记，同时也改变了自然的状态，使自然界不断被人化。

1. 人化自然的含义

人化自然是和天然自然相对应的概念。天然自然，又称第一自然、自在自然。天然自然的自在性有以下含义:第一，它是人类

---

① 马克思：《1844 年经济学—哲学手稿》，人民出版社，1985 年版，第 124 页。

产生前的自然界，具有存在的先在性。第二，它是人的认识和实践领域之外的自然界。这是未认识的自然，这一部分离人最远或人知道得最少，但人类根据科学和实践的发展及抽象思维是可以肯定其存在的。第三，它是现实的人类世界的客观性的基础，即人化自然的基础。人化自然仅仅在形式上与天然自然不同，其基础仍然是客观物质世界的机械、物理、化学、生物过程，只不过这些过程受到人们社会活动的控制和影响，从而具有社会历史性的特点。

人化自然，又称第二自然、属人自然。它是被人类活动所改造过了的自然，体现了人的需要、目的、意志和本质力量。马克思认为，经过人的本质力量对象化，从而和人处于对象性关系的自然界，已不是与人分离的纯粹的自然界，而是为人所占有的、获得了人的本质的、属于人的自然，是扩大化的自然界。

人化自然应从实践和认识两个层次来考察。人化自然依赖人化的程度，它的内容可分几个层次：第一，人类有所认识的自然。首先，是指人迹未到过但通过实践和科学仪器间接有所认识的东西，如今天人们已经看见过的星体，特别是太阳及其行星，人类已通过肉眼观察，或通过望远镜及其他仪器对它们有了一些认识，但至今尚未印上人类的踪迹。其次，是指人迹所到，但尚未开发的自然，如月球、高山、深海、南极、北极等地，虽然有人的踪迹，但这些地方仍然保持着原来的面貌，看不出多少人的烙印。第二，人类已经认识而且改造了的自然，如农田、沙滩、牧场、果园、森林乃至江河大地。这些经过人类加工改造过的自然，虽然仍基本保持其原始状态，但面貌已大为改观，那部分自然则以人类物质创造和精神创造的文化形式形成文化景观。第三，人造自然。这是指人们按照自然规律，根据自己的需要，利用自然的物质条件创造出来的、自然界中原来没有的东西，是由人的智力创造的机器、工具，等等。这是人类智力的创造物，即所谓“物化智力”。如古代的车船、器具，近代的火车、轮船、飞机，现代的宇宙飞船、电子计算机，等等。概括地说，人化自然就是自然

界作为人的对象，是人的本质力量的对象化，它包括为人的观测手段所及从而认知了的自然和为实践改造了的自然。

2. 人化自然的形成和本质

人化自然从人类诞生的时候就开始产生了。从根本上说，它是人们在生产实践活动中创造出来的对象世界，是人的本质力量的公开展现。它既是自然物质的主体化，也是人类主体意识的客体化。它是人类依据自然规律，利用自然的物质条件，经过辛勤劳动所创造出来的第二自然。在地球上，人类社会所直接面临的自然，在很大程度上都已打上了人的意志的烙印，人化自然的比重越来越大，天然自然的范围日益缩小。作为“人的世界”一部分的自然和改造它的主体是相互依存、互为前提的。没有对象，人们利用、改造活动无从进行，但没有人，自然也就不具有作为被改造对象的规定性，也就不成其为“人的现实世界”的一部分。在自然界中，原始森林、地下矿物等等成为人的对象，经过人类的加工、制作，可以为人类服务，也只有这时它们对人类的价值才得以实现。总之，客观存在的对象有待于成为人的对象，这时才对人来说具有现实的实在性。也就是说，天然自然转化为人化自然，才能体现其自身价值，才能成为为人类服务的对象。人类为了更好地利用自然，必须使天然自然转变为人化自然。

3. 实践是天然自然向人化自然转化的基础

实践是天然自然向人化自然转化的中介，实践的水平决定了这一转化的深度和广度。马克思主义以前的哲学家离开了人的实践孤立静止地理解自然，没有正确解决人和自然的关系。他们只强调自然界对人的最终决定作用和自然事物对人类生存和实践的意义，忽视甚至完全抹煞了人对自然的作用，否定自然界在人的实践基础上的历史发展，否定了自然界的社会历史性。

物质生产实践不仅使天然自然发生形态的改变，同时还把人的目的性因素注人到自然界的因果链条当中，使自然界的因果链条按同样客观的“人类本性”发生运转。劳动传递着人类对人化

自然转化的目的、根据和手段，传递着对人化自然转化的信息，劳动是天然自然向人化自然转化的决定性力量。物质生产实践虽然不能使自然物的本性和规律发生变化，但却能把人的内在尺度运用到物质对象上去，按人的方式来规范物质转换活动的方向和过程，改变物质的自在存在形式。在实践中，天然自然这个“自在之物”日益转化为体现了人的目的、并能满足人的需要的“为我之物”。这一过程就是自然“人化”的过程，其结果是从天然自然中分化出人化自然。“自然的人化”强调的不是自然界的变化，而是自然界在人的实践过程中不断获得属人的性质，不断地被改造为人的生存和发展的条件，成为人的本质力量的确证和展现。

天然自然通过人的实践活动转化为人化自然，并在人化自然、人类世界中延续自己的存在；同时，人化自然不可避免地要参与到整个大自然的运动过程中，或者说，仍然要加入到由自然规律支配的自在世界的运动过程中。这里会出现两种情况：其一，自在世界的运动以其强大的力量强行铲除人化自然的痕迹，使人的活动成果趋于淡化和消失；其二，人化自然改变了自然规律起作用的范围和结果，改变了各种自然过程，特别是生物圈内物质、能量的流通与变换。这就可能产生对人并非有利的负面效应，如当今出现的生态平衡危机问题等。正因为如此，马克思指出，应当合理地调节人和自然之间的物质变换，“在最无愧于和最适合他们的人类本性的条件下进行这种物质变换”[①]。

三、人工自然的类型、特征和演进

人工自然是人类与自然界相互作用的结果，是人类社会实践活动的结晶。人主动地介入自然界的演化，导致了人工自然的产生与扩大。

---

①《马克思恩格斯全集》第25卷，人民出版社，1974年版，第927页。

（一）人工自然的类型

根据人工自然的系统化程度的不同，人工自然可分为人工自然物与人工自然系统。人工自然物指利用天然自然的物质材料，以人类对这种物质材料的知识为基础，创造的合乎人类某种需要的人工自然。原始人根据生产活动的特殊需要而打制的各种石器是原始人的人工自然物，后续出现的铜、铁制品以及近代人类发明创造的机械、电器等技术产品，乃至现代的电脑、“克隆羊”、光电子材料、激光器、人造卫星、航天飞机等现代高技术产品，均属于人工自然物。

人工自然系统通常指由相互联系、相互影响的人工自然物所构成的具有特定功能的人工自然。人工自然物与人工自然系统的关系是要素与系统的关系、子系统与母系统的关系。人工自然与人工自然系统的划分具有相对性。像人造森林、人工草场、农田水利系统、工厂生产流水线、城市等都是较典型的人工自然系统。人工自然是人类在一定范围内干预、改造天然自然的产物，并随着人类历史的延续不断发展。

（二）人工自然的特征

人工自然是脱胎于天然自然而进入人类实践活动或作为人类实践活动成果的自然，它具有天然自然的系统性、存在性、物质性、运动性、时空性等特点，又具有如下一些新的基本特征：

1. **人工性**

人工自然物质的存在形态、结构、性能，凝结着人的本质力量。在人工自然里，由于人的本质力量对象化的原因、过程和结果，映射出了人的本质特征，人工自然深深地打上了人工建造的目的、根据、手段的印记。

2. **人工自然的知识性**

它是指在人工自然上，凝结着的人类科学技术知识力量。自然界人化的程度和规模，反映了人类的科学技术水平。科学技术

知识是人工自然的手段和标志，借助于科学技术知识，向自然界提供人化的信息、模式、活动，从而产生自然界人化过程中相继出现的各种形态。

3. 人工自然的目的性

人工自然的目的性是实践主体理性活动目的性的表现。表现为人积极的、能动的创造，合乎规律、合乎知识的主观取舍。目的对人工自然是一种拉力，是一种把人工自然拉向远离平衡态的“控制参量”，是自然界人化的“催化剂”和选择器。正是由于目的拉动，使人工自然从环境中吸取负熵流，以维持和提高它的有序度，扩展着自然人化的程度和规模。

（三）人工自然的演进

人工自然的演进有两个方面的含义:其一，天然自然不断进入人类社会实践范围的趋势；其二，确定范围内的人工自然物有不断进步的趋势，总体上表现为人类的优化、社会的优化和生态的优化。人工自然的演进是自然界物质系统演化过程的继续，是自然界分化出人类以后出现的一个特殊的演化，因而具有自然物质系统演化过程的普遍特征，即发展性、阶段性和守恒性。

1. 人工自然演进的发展性

它包括两个方面的含义：一是人工自然是不断生成的，二是人工自然的演进是不可逆的。即一方面，已经进入人类实践活动领域的对象，不可能脱离这个人类实践活动的范围重新成为天然自然的一部分；另一方面，人工自然的演进是技术发展的结果，人类也不可能去重新生成已被技术发展所淘汰了的一切技术。人工自然的发展是随着人类认识自然水平的提高和改造自然的能力的加强而不断进步的。人们总是用先进的技术去代替落后的技术，相反的过程是不存在的。

2. 人工自然演进的阶段性

人工自然演进不仅是持续发展、不断变化的，而且在其发展、

变化的过程中表现出明显的阶段性。即进入人类社会实践领域的人工自然实践对象范围不断扩大，演进程度不断加深。

3. 人工自然演进过程中的守恒性

人工自然的演进，在对象化的社会实践活动中既不能创造物质，也不能创造规律，是按照实践主体的需要，改变对象的形式；人工自然不包括超自然的物质材料，也不服从超自然的规律。这就是“转化”过程中的守恒性。

四、人工自然的扩大与自然界的平衡

（一）人工自然的扩大

人主动介入自然界的演化，导致了自然界的“人化”，亦即自然界不断地被打上人类活动的烙印，而且自然界的发展也更多地为人类所有意无意地左右。人工自然的出现忽然扩大，就是自然界“人化”的主要表现。

早期的人类是以“生态力量”影响自然界的。这种力量虽然不十分强，但人已不是以普通动物身份和被动方式参与自然界的演化。如古代人的养殖、种植行为开始时只是对自然过程的模仿，但这些行为实际上是对物种进行了人工的选择和有意的放大，由此导致的自然界局部变化微弱地改变了整个自然界的某些演化进程，使自然界朝着有利人类的方向发展。近代以来，人的能动性力量迅速增大，使得人类渐渐成为一种“地质力量”。按照人类的矿物开采量、货物运输量、物质及能量的使用量看，人对于自然界的影响已经可以与火山爆发、溶洞形成、造山运动等地质现象所引起的变化相当，因此称人类目前的影响力为“地质力量”并不过分。真正的地质力量推动的自然界的演化过程，大多数较为缓慢，而人类近期某些活动对生态环境的改变往往非常迅速，只有灾变性的地质力量才能与人类目前的影响力相提并论。

随着人类知识与实践能力的发展，人工自然物的数量和种类

也逐渐增多；而且人工自然物是人利用天然质料加工转换而成的，加工转换的深度（即加工转换所涉及的运动次数）也随人类认识与实践能力的变化而变化。最早期的人工自然物，主要是通过机械运动（如打击）改变天然物的外部几何形状得到的，后来的人工自然物的创造则更多地靠物理过程和化学过程来实现。21 世纪的人工物的创造越来越多地涉及到生命运动和信息运动。这充分表明人类天然物加工转换的深度增加了。随着人工自然物数目、种类及加工深度的变化，人工自然物的功能也发生了质的变化。于是，人工自然物在物质和精神上直接满足了人类越来越多的需要。从人的劳动过程看，如果没有人工自然物，人在与自然界打交道时，就不得不承担控制机、操作机、动力机的三重角色。今天的人类已经不再以自己的体力作为主要动力源，不再以双手作为主要操作工具，并正在越来越多地让计算机承担生产过程的任务，而人类自己正在从重复性的劳动中解脱出来。还应该指出的是，人工自然物是由人创造的，人是人工自然物的纽带和发展驱动者，只有当人存在时，人工自然物才能进一步发展，一旦人类不复存在，人工自然物便会混同于整个自然界当中，消极地参与自然界的演化。

人工自然是人控制、变革自然界演化方向的产物，是人为自然界打上的烙印。在人的作用下，自然界出现了天然演化中不曾出现的现象。但人工自然仍是自然界的一部分，它与尚未受到人类活动影响的天然自然不可分割，两者一同构成了全部自然界。在自然界中，要找到那些尚未受到人类活动直接影响的部分，是易于做到的。例如，人类观测到的几百万光年外的天体，其光信号早在人类没有诞生之前就发出了，当然谈不上人类对它的直接影响。然而，要在人工自然与天然自然之间划出一道截然不同的界限又是不可能的。人类控制和变革的主要是生态环境，但又不限于生态环境。今天尚未直接受人类影响的那部分自然界中，将来肯定会有更多的东西、更多的过程被人类所控制和变革，自然

界的“人化”特征将表现得更加明显。

目前，有些学者主张用“智慧圈”、“文化进化”、“知识进化”等概念来讨论自然界的新趋势。这些观点虽然尚不成熟，但却可以解释许多问题。譬如，只有用文化进化、知识进化中的加速规律，才能合理说明人工自然演化中的加速趋势。更重要的是智慧、文化和知识都离不开人，强调它们在人工自然及全部自然演化中的作用，实际上是强调了人的作用；换个角度看，就是强调了人工自然演化是外部指令导致的“他组织”过程。“他组织”可以加快自然界的演化进程，使自然界演化方向出现前所未有的趋势，但“他组织”指令来自外部，就十分容易导致自然系统诸要素之间的不协调及人与纯粹自然之间的不协调。

（二）自然界的生态平衡

在人类产生以前，自然界（地球上）就存在着由多种生物和它们的生存环境组成的生态系统。生态系统的要素有：无机环境（空气、水、土壤、阳光等）、生物生产者（绿色植物）、生物的消费者和生物的分解者等四部分。在任何一个生态系统中，能量流动、物质循环与信息的交流总是不断地进行着。在一定时期内，生态系统的生物种类与数量相对稳定，它们之间及它们与环境之间的能量流动、物质循环和信息传递也保持稳定，达到高度适应、统一协调的状态，这种平衡状态叫做生态平衡。

生态平衡是动态的平衡，而非静止的平衡，并不意味着保持自然界的原样不变。变化是宇宙间一切事物的最根本的属性，生态系统这个自然界复杂的实体，当然也处于不断的变化之中。生态系统中的生物与生物之间、生物与环境之间以及各环境因子之间，不停地进行着物质的循环与能量的流动。系统内部因素和外部因素的变化使得生态系统产生变化。因此，生态系统不是静止的，甚至会因系统中的某一部分先发生改变，引起不平衡，然后

通过系统的自我调节能力使其进入一个新的平衡状态。平衡是暂时的、相对的，不平衡是永久的、绝对的。正是这种从平衡到不平衡又建立新的平衡的反复过程，推动了生态系统整体和各部分的发展与进化。

人类、生物与环境间的相对平衡，就是人、生物、环境之间的相互适应与协调的过程。协调机制包括一系列物质的分解、合成、补偿、反馈、置换、协同等复杂过程。

要做到生态系统中生物与环境的协调并不是轻而易举的。一方面，人类还未真正建立起可持续发展的生态观；另一方面，生态系统的自我调节能力是有限的，超过一定的界限，调节就不起作用，致使系统遭到破坏甚至崩溃。这个界限称为“生态阈值”。阈值的大小决定于生态系统的成熟性，系统越成熟，阈值就越高，相反，其阈值就越低。例如，中国西双版纳的热带雨林，是当地的气候顶级群落，植物种类繁多，结构完整，功能健全，是较成熟而稳定的生态系统。而当地从巴西引进的橡胶林，品种单一，成分简单，是较年轻而简单的生态系统。前几年，西双版纳屡遭低温，橡胶林大片大片地冻死，而热带雨林却完好无损。这是因为系统越成熟，自我调节的能力也就越强，生态阈值越高的缘故。需要指出的是，自然界的生态平衡对人类来说并不总是有利的，这里讲的生态平衡是指对人类的生存与发展长期有利的平衡，是人类参与的生态平衡。例如，自然界的顶级群落是很稳定的生态系统，从该系统来说是达到了生态平衡，但它的净生产量却很低。人类不能依靠这样的系统，而需要建立更高效的农业生态系统来满足对食物和纤维等的需要。与自然系统相比较，农业生态系统是很不稳定的，但它却能给人提供大量的农畜产品，它的平衡与稳定需要靠人类来维持。

达到生态平衡的生态系统有着相对的稳定性，这个系统具有整体调节能力和负反馈的功能，可以平息出现的某些涨落的扰动，使系统大致保持原来的状态，例如，如果捕食者大量增加，就会

出现“捕食者增加—被捕食者减少—捕食者食物来源减少—捕食者减少”这样的动态过程，从而稳定在原有的比例上。自然界本身具有自我调节能力和再生能力以保持生态系统的平衡。

生态系统的稳定是相对的平衡，在环境因素发生的改变（如地层漂移、大气圈温度改变等）超出系统稳态控制的极限时，则由于非线性的正反馈作用把某种涨落逐级放大，就会打破原有的生态平衡状态，导致不可逆的演化和新的生态系统的建立。在自然演化中已多次发生过生物类型的更替（如古代爬行类动物的大量灭绝，代之而起的是哺乳类动物大量发展），人类的出现又是生态系统演化中的一大飞跃。

人类出现时自然界的生态系统处于相对平衡的稳态，人是这个系统的组成部分，人的活动又可能是系统中不可忽视的引起涨落和放大涨落的力量。在人工自然颇为弱小的时候（如古代），已有的生态系统能够较快地平息由人的活动造成的涨落和扰动，保持原来的自然平衡；但是，在人工自然相当强大时，人的活动会急剧改变系统内物质流和能量流的流向和密度，而系统则无力平息这种扰动并恢复到原来的稳态，导致生态失衡乃至系统的瓦解。自然平衡的这种改变，对于自然界本身来说是“中性”的，在原有的平衡稳态被打破以后还会演进到另一个新的平衡；但是，自然平衡的转变，对于人类社会来说却不是“中性”的，它可能对人类的生存发展有益，也可能是有害乃至是很危险的。在自然生态系统或人与自然相互作用的系统中，自然界是有再生能力和自我修复的调节能力的。人类对自然的作用和改造总会造成生态系统中的变动乃至缺损，只要它不超出自然的再生能力和自我修复能力，对人类自身就不足为害，乃至是允许的。想原封不动地回到五千年以前的生态环境中去，不仅是不可能和做不到的，也是不必要的。

既然生态平衡是相对于人类实践来说的，因而，它必须应该是与人类的生产、生活、生存和发展相适应的平衡。在人类历史

进程中，人类参与部分自然生态系统的改造与更新是必要的，但问题在于，这种参与必须保证对人类的持续发展有利。从这个意义上讲，自然界原有的保持平衡的生态系统也是人类需要的耐受限度，不能自我修复时，生态系统就会衰退甚至崩溃，这就是生态平衡的失调。

第三节　生 态 自 然

当今世界，人类社会和地球环境的关系越来越密切。随着人口、环境、资源问题的尖锐化，人类与地球协同共进，实现可持续发展，已成为当今世界的最强音；同时，这也使生态学研究和实践成了全球的一个热点。把全球自然环境与人类作为一个生态系统，就是全球生态学，亦即生态自然。任何生态系统都有一个生长、发育和进化的演替过程，其中系统表现出来的自净和再生能力，对生态系统的存在和发展至关重要，对全球生态系统也是如此。

一、自然界的自净能力

人类所处的自然环境是由大气圈、水圈、岩石圈和生物圈构成的。这些圈层的许多物质都有自我净化能力，这些自净能力的总和就构成了自然界的自净能力。

自然界的自净能力是指自然界通过物理、化学、生物作用过程，将进入自然界的各种污染物净化，使自然环境部分或完全地恢复到原来的洁净状态，从而使自然生态系统良性发展。

自然界的各种水体都有一定的自我净化能力。当污染物进入水体后，同时发生两个相互关联的过程：一个是水体污染恶化过程；一个是水体污染的净化过程，即受污染的水体在物理、化学和生物等作用下，水中的污染物浓度自然降低的过程。在水体的

自净作用过程中，通常包括一系列的水质净化表现：污染物的自我衰减过程，如放射性；污染物被水体同化过程，如污染物经物理、化学、生物作用而逐渐消失，水体水质复原；从复杂的有机物分解为简单的有机物，进一步分解成无机物、盐、氨、水；从溶解物变为不溶物，如水中的重金属被络合沉淀，使水质得到净化；高毒害转化为低毒害、无毒害的过程，如甲机汞转为无机汞，等等。

水体的自净作用是一个十分复杂的过程，它受地形、水文、微生物种类和数量等多方面因素的综合影响。任何水体，无论是池塘、江河，还是大海、大洋，自净能力都是有限的，污染物的浓度超过一定界限时，就会降低水体的自净作用的速度和能力。因此，人类必须合理排放污染物，尽量避免污染物进入自然环境。

土壤是自然生态系统中一个重要的净化体。土壤中存在大量有机和无机胶体、微生物和土壤动物，具有同化和代谢外来物质的能力，使有毒有害物质转化为无毒无害物质。

土壤自净是土壤本身通过吸附、分解、氧化、转化和沉淀等作用，使土壤污染物浓度降低或消失的过程。土壤自净包括物理自净、化学自净和生物自净三种方式。

大气也具有与水体和土壤大致相似的自净作用。

自然界中绿色植物有防治大气污染、净化空气的功能。因为，植物有过滤各种有害物质净化空气的能力，植物被誉为天然的过滤器。树叶表面的绒毛有的还能分泌粘液、油脂，可吸附大量飘尘；而蒙尘的植物经过雨水冲洗后，又能继续拦阻尘埃。

植物吸收二氧化碳进行光合作用，有效地调节了空气的成分。一般 $1hm^2$ 的阔叶林在生长季节一天可放出 0.73 吨的氧气。据估计，陆地绿色植物提供地球上 60% 以上的氧。植被在生长过程中，从土壤中吸取水分，通过叶面蒸腾，把水分释放到大气中，改变了当地温度、云量和降雨，增加了水循环。据调查，在亚马逊河流域，50% 的年降雨量来自森林蒸腾所产生的水分再循环，而森林

砍伐已使该流域的降雨量大大降低。云量的增加也影响辐射和大气中的热量交换，具有调节气候的作用。自然生态系统具有调节气候的功能。

需要强调的是，自然环境中的任何圈层的自净能力都是有限的，污染一旦超过自然界的净化界限，或者超过自然界的承载力时，就会酿成人祸。

二、自然界的再生能力

在一定的条件下，自然界的某些无生命物质、种群甚至生态系统本身都有新陈代谢的更替，这就是自然界的再生能力。

水圈是地球最重要的圈层之一，自然界气候的形成、地貌的形态、植被的分布、人类活动的程度等无不受到水圈运动的巨大影响。水圈中的各种水体，通过蒸发、水汽输送、降水、下渗与地表径流的水文过程紧密联系，相互转换，形成一个巨大的动态系统，即水循环系统，因此，可以认为，水是一种可再生资源。

全球海洋每年有 43.4 立方公里的水被蒸发进入大气中，其中 91.7% 在海洋上空形成降水，直接降落在海洋；8.3% 随气流携带、进入各洲陆地上空，形成由海洋上空向陆地上空的水汽输送，成为陆地上空水汽的来源。进入陆地上空的水汽形成降水，其中 66% 通过水面蒸发和植物蒸腾重返大气，34% 以地面径流和地下径流形式汇入海洋。

水循环是地球上最重要的物质循环之一。它不仅实现着全球的水量，而且推动着全球能量交换和地球化学物质的迁移，为人类提供不断再生的淡水资源。

各种不同的水体更新的周期各不相同，见下表：

全球水体更新周期

水体系统　更新周期	水体形态 更新周期

世界大洋	2 500 年	湖泊	17 年
地下水	1 400 年	沼泽	5 年
土壤水	1 年	河流	16 天
极地冰和永久积雪	9 700 年	大气水	8 天
山地冰川	1 600 年	生物水	数小时
永久冻土下的水	10 000 年		

注：引自联合国教科文组织，1978 年。

随着人口的增加和社会经济的增长，对水的消耗性利用、城市化、土地利用与土地植被变化等原因，全球水循环已大大偏离它原有的自然状态。人类必须改变对水的利用方式以确保水的正常循环。

全球生态系统有许多类型各异的动、植物种群，这些种群个体都有自己固有的生长、发育和进化机制，即再生。种群的再生有两层含义：一是动、植物个体器官损伤的修复；一是动、植物个体的更新换代，即旧个体的死亡，新个体的产生。动、植物的可再生是自己再生产自己。这种再生能力主要取决于其群体总数的规模，如果群体总数低于某一临界水平，该物种就要灭绝。生物物种的群体总数取决与两个因素：生物学因素和人类社会行为因素。除生物学因素外，人类行为是影响物种生存、发展和灭绝的重要因素。因此，对于人类而言，有一个如何有效利用可再生资源的问题。

在自然条件下长期形成的各类植物群落，统称为原生植被。原生植被遭外力的严重破坏或全部移除后，会非常缓慢地复原。这种复原的最终方向是指向原生生态系统的顶级类型，是原来生态系统的再生。各种生态系统再生的速度和所经历的阶段取决于原生态系统的类型和受到破坏的方式、程度及持续时间。一般发育程度越成熟，达到顶级类型所需的时间越长，或者外部干扰强度越大，对原环境破坏越彻底，则生态系统再生所需的时间越长。

如热带雨林是地球上发育时间最长、最复杂和最成熟的生态系统类型，如果遭到全部砍伐，则需要相当长的时间（上千年甚至更长）才能再生。而对于温带森林和草地来说，恢复的时间一般在百年以内就够了。

第四节　可持续发展是人与自然协调发展的必然选择

一、人与自然协调发展的必要性

人类在改造自然中体现了自身的发展，但人又是自然界的一部分。当人与自然之间出现裂痕时，人类也就受到了自然界的教育。为了人与自然的共同未来，人应当学会尊重自然，实现人与自然的协调发展。

人与自然之间的不协调关系常被具体表述为“全球问题”，因为制造它的是全人类，受到问题困扰的也是全人类。罗马俱乐部的米都斯等人曾将“人口问题”、“粮食问题”、“不可再生资源问题”、“工业化问题”、“环境污染问题”视为“五个最终决定和限制我们星球增长的基本因素”。这五大问题正是全球问题的要害所在，而解决这些问题，已迫在眉睫。

人口问题是引发其他问题的基本因素。1750 年，全世界总人口约 7.6 亿，20 世纪初为 16 亿，目前世界人口总数已达到 66 亿。保证如此巨大人口的生存与发展，成了压在自然及人类肩上的沉重负担。我国人口目前居世界第一位，到 21 世纪 20 年代，我国人口总数预计将达 15～16 亿，吃饭、穿衣、居住、就业等基本需要将形成对农业、工业、交通等方面持久而巨大的压力。人口的基数很可能迫使人们不得不从自然界超额攫取资源。况且，人类现有的生活质量还有待提高，全人类都存在着发展的愿望，压

制这种愿望是极不现实的，但以现有的增长方式满足这种愿望，势必加剧资源和环境方面的恶化。这种恶化的趋势目前已十分明显。

在环境方面，目前人类面临着二氧化碳温室效应、臭氧洞、酸雨、沙漠化、热带雨林消失、核威胁、微生物的变异等重大公害。这些公害已存在多年，但人类仍在不由自主地扩大着这些公害，如大气环境的恶化已直接危及人类生存。工业化以来，大气中的二氧化碳浓度已上升了 30% 以上，而其中 10% 是近 30 年来人类的大规模排放活动造成的。温室气体浓度的加速上升，使全球年平均气温也明显上升，20 世纪最热的 10 多个年头，全部出现在 1980 年以后。如果大气中二氧化碳浓度继续快速上升（这几乎是必然的），地球表面年平均气温还会继续升高；随之而来的将是海平面上升、气候异常、自然灾害频发等后果。对大气环境的另一个重要威胁来自平流层的臭氧消耗。平流层的臭氧能大量减少太阳辐射到地面的紫外线。但 20 世纪人类制成了氯氟烃化合物，广泛地应用于制冷、工业溶剂和火箭中。截至 1985 年，已有 65 万吨氯氟烃化合物溢出进入大气。这些化合物在大气平流层经复杂的物理、化学过程使臭氧遭到破坏，臭氧层变薄甚至在南极形成了面积比整个欧洲还大的“ 臭氧空洞 ”，这样地面的紫外线辐射就增强了，而人和动物将是最直接的受害者。虽然人类已有意识减少氯氟烃制冷剂的使用，但显然难以马上停止这类化合物在所有方面的使用。有些科学家还指出，氯氟烃不是臭氧层变薄的唯一原因，人类在平流层中的飞行活动也消耗了大量臭氧，而今后一段时期内平流层的飞行活动不会减少，而且还会增加。核威胁仍然是对人类的考验，遗憾的是人类至今还在力量对比的纷争中权衡利弊，对自然生态的核威胁尚未被人们真正意识到。另一个重要的全球性问题可能会来自微生物的变异，一些不曾认识的疾病会困扰着人类。人们将从自己有违自然规律的行为中学会尊重自然。

在资源方面，人类目前消耗的能源和其他物质资源绝大多数都是不可再生的。有些物质即使可能再生，也因为“生长周期”过长而失去了对人类的意义。石油的形成经历了 2～3 亿年，这已远远超过了人类的历史长度。目前，人类虽致力于可再生资源的开发和利用，但这类资源在近期内不会在人类使用的资源谱系中占主要份额。而且，人类对某些可再生资源(如森林、草场、野生动物资源)的使用强度已经过大，这些资源能否真的再生还是个未知数。即使像太阳能、风能、水能、潮汐能这样总量巨大且的确可以再生的能源，由于其分布的时空及使用技术方面的限制，可供人类利用的部分也十分有限。从目前主要不可再生资源的消耗量与总贮量的关系可知，人类已面临十分严重的资源短缺，许多资源只够维系数十年。人类正在把自然界经上亿年发展而积累的许多厚赐，在一两代人的生存和发展中消耗完毕。

归根到底，人与自然关系的恶化是由于现代人类对自然界的影响力已超出了自然界对人类活动的“承载力”。例如，人类对大部分资源、能源的消耗已超过了自然界的再生能力。自然界在自身的长期变化中，达到了奇妙的自洽，因此能较长期地稳定存在下去。例如人生存的直接环境(生态系统)，是由非生命环境、生物的生产者、生物的消费者、生物的分解者共同构成，每一个环节与其他环节维持着动态平衡。这种动态平衡不是热力学意义上的平衡，生态系统恰恰是一个远离平衡态系统，其中生物与非生命环境之间、植物与动物之间、动物与动物之间存在着物质、能量的循环，并且因此存在着反馈、协同机制，使系统可以稳定地存在下去。如果人类的行为对任何一个环节构成较强的干扰，都可以导致原有的平衡被打破。例如，在某些地区，人们为了保护珍贵的草食动物，就有意猎杀肉食动物，这样便导致了草食动物数量的膨胀，过多的草食动物会将它们赖以生存的植物资源消耗殆尽，进而整个区域的生态系统就会崩溃。

非平衡的系统面对干扰很可能失稳，而人类能动活动肯定会

形成对自然界某些方面的干扰，因为人的行为会引起和放大自然界的涨落。一旦干扰被放大到突变的临界点附近，原有的动态平衡状态失稳，自然界就会向新状态过渡，而这往往对人类是不利的。更为严重的是，当代人类对付自然界不利于人的变化的主要手段就是进一步地扩大人工自然，例如面对着植被破坏所引起的干旱，人类所采取的措施通常是从更广的领域内用更加有力的手段攫取水资源。面对全球气候变暖，人们最常见的办法，就是用人工手段营造一个最适宜于人的小气候。这些做法几乎无一例外地会加剧自然界的环境恶化，使得人类不得不更沉溺于人工自然的进一步营造，最终导致人与自然关系由初步不协调走向恶化。

正因为人类占据了人与自然对象性关系的主动一极，所以人类无疑应该对人与自然关系的恶化负责。

二、人与自然协调发展的可能性和基本条件

人和自然不协调的产生，原因是多方面的。这里既有人对自然规律揭示不够和认识不足的原因，也有在一定的历史条件下社会的总需求超过自然界承受能力的原因，还有社会政治和经济发展中产生的问题。从根本上讲是人在改造自然的实践过程中，无视人的受动性的一面，而对能动性滥加发挥而酿成的苦果。

应当肯定，全球性问题的产生，并不意味着人的能动性已经发挥到了顶点，而是意味着人类没有解决好能动性和受动性的关系，或者说，人类在发挥自己的能动性的同时，没有相应地推进对于自己无法摆脱的受动性的认识。其实，真正自觉的能动性的发挥，应当是以对于受动的认识为约束条件的。能动性本身也应表现为两个方面：在认识自然中表现出来的能动性和在改造自然中表现出来的能动性。如果后者不以前者为基础，能动性就可能超越受动性而变成一种带有盲目性的意向或活动。要调整好能动性和受动性的关系，人类就得不断推进自己对自然界客观规律的了解。长期以来，急功近利的片面性观念，把人们引向了对自然

资源的掠夺式开发和无节制的耗费。在这种价值取向下，人的主观能动性就会脱离人的受动性而盲目膨胀。这种“能动性”无疑会祸及自身。早在一个多世纪之前，恩格斯就指出：“我们不要过分陶醉于我们对自然界的胜利。对于每一次这样的胜利，自然界都报复了我们。”①

当人们受到自然界报复的时候，也就受到了自然界的教育。现在，人们已经认识到了调整自己的价值观念从而调整人与自然关系的迫切性和必要性。有了这样一种认识，也就使人与自然关系的调整成为了可能。调整人与自然的关系，除了摆正人在自然界中的位置以外，关键还在于挑战自然界本身的平衡。应该看到，包括生态平衡在内的自然平衡本来就是动态的，人类正是通过打破这种平衡，才能发展到今天。问题只在于，人类在打破自然平衡的同时必须更加自觉地去重建一种新的平衡，而不是把它留给自然界本身。须知，自然界总是要按照自己的规律以自己的方式建立某种平衡的，但这种自然平衡却未必有利于人类的长远发展。在自觉地建立自然平衡方面，人们已经做出了多方面的努力，并已取得相当成功的进展，如广泛地植树造林，设立各种自然保护区，重建人工生态平衡，在世界范围内大力进行环境教育，制定必要的法律来约束各种不负责任的破坏行为，等等。

只要合理地发挥人的主观能动性，那么，自然本身是不会成为人类社会发展的障碍的。拿资源来说，自然资源的有限性实际上只说明了人类对其利用的一种历史性。在人类社会的一定历史时期内，由于技术的、经济的、社会的和自然的种种因素的限制，可供人类利用的资源确实是有限的，但随着科学技术的进步，对自然资源的利用范围也将扩大。

人类历史证明，要想从根本上摆脱受动性的控制是不可能的。但人们能够通过自己的能动性，认识到这种受动性的存在，并在

①《马克思恩格斯全集》第 20 卷，人民出版社，1972 年版，第 519 页。

这种认识的基础上更好地发挥自己的能动性，从而弥补过去的失误和协调进一步的实践活动，把自然界的报复控制到最小的程度上。当然，在未来的发展中，还会有新的不协调和新的矛盾产生，人们又会面临新的挑战，并在新的科学技术发展水平上解决这些矛盾。这样，人类就能不断地向前进步。

人类要生存，要发展，要协调人和自然的关系，从根本上说，还得依赖于人工自然的不断拓展。人和自然的关系是以人类实践活动作为调节器的，人工自然作为人类变革自然的实践的直接体现，既是造成人和自然矛盾的直接根源，又是调节人和自然关系的直接手段。人在创建和拓展人工自然的过程中，通过自觉的活动来完善自己，发展自己，在改造自然的同时也不断改造人本身，才能使人的能动性得到充分发展。人的能动性的发展，又加深了人对受动性的认识和对受动性的控制能力，从而使人工自然朝着既有利于人类又有利于自然的方向发展。从另一方面来说，人和自然的协调发展，从本质上看是追求一种有序化的过程，是对无序、混乱的不断克服。而人工自然的拓展过程，就是人和自然构成的调控系统向组织化程度更高的方向发展的一个过程。因此，人和自然协调发展的基本条件就在于不断地推进人对自然界的科学认识和不断地完善和拓展人工自然。

三、人与自然协调发展的基本途径和前景

当今世界面临的全球问题表明，人类对自然平衡的干预已超出了自然界再生能力和自我调节能力，使不同水平的自然平衡濒临可能自我修复的极限，人类所直接面对的生态系统正朝着不利于人类生存和发展的方向演化。建立人类与自然界和谐共处、协调发展的关系，实现人类与自然界关系的全面协调，是人类生存与发展的必由之路。

（一）人与自然协调发展的基本途径

1. 树立人和自然协调发展的整体观念

正确认识人与自然界的关系，调整人们的价值观念，从人类的长远发展来规范自己的行为，树立重建人类和自然和谐共处、协调发展的有机整体的生态自然观。为此，我们必须确立以下观念：

第一，不能从纯粹功利角度阐发人对自然的依赖性。生态环境问题的解决绝不是一种人类生存的某一特定阶段上用来应付特殊生存环境的权宜之计，而是一种根本原则。

第二，不能从个人的、局部的、眼前的利益出发来引导人们保护生态环境，而是从整个人类的角度、从整体的和长远的利益的高度来阐发保护环境的道德责任。

第三，不能只在观念的层面上来强调生态保护的意义和价值，而应强调在正确的观念的引导下，提高人们保护环境的实践水平。

总之，人应以科学、道德、审美三者统一的全面尺度对自然界进行全面的利用和支配。要把人类生活需要的内在尺度与生态环境规律的外在尺度有机地结合起来，提高人类利用自然的科学性和道德性，协调人类改造自然的行动和方向，以建立人与自然的全面和谐关系，促进人类社会与自然界的共同进化。

2. 依靠科技进步，实现协调发展

现代人与自然协调发展必须建立在社会生产力高度发展的基础上，而不是倒退到生产力低下的原始社会，不能以降低经济和社会发展水平为代价。很多全球问题的造成，确实和科学技术发展直接有关。但是，究竟是由于发展得过度，还是发展得不够？是规定了发展的界限，还是提出了新的课题？显然都只能说是后者，而不是前者。人类在同自然界交往的历史中，曾经无数次遇到一个又一个的难题，如食物问题、居所问题、疾病问题、天灾问题、能源问题，等等，无不是依靠科学技术和生产力的进步来解决的。这就要求我们充分重视科学技术的作用。

首先，必须从实际出发，按自然的本性和规律性去合理利用

和开发自然、保护自然，促进社会的可持续发展。

其次，大力发展绿色科技。现代环境科学技术和生态科学技术的蓬勃发展，使人类掌握了许多有利于环境保护，实现无污染、无公害生产的绿色科学技术。例如，在治理污染方面，世界各国已研究和开发出各种“三废”处理技术、各种再生能源和资源开发利用技术，如太阳能、植物能和各种替代材料等的利用，为减少矿物能源消耗，节约不可再生资源，缓解环境污染和资源危机创造了条件。

3. 良好的社会制度

大量事实证明，人与自然关系的恶化，首先是人与人之间的生产关系恶化造成的。对此，马克思提出了深刻的见解。他认为，在阶级分化的社会中，生产的发展及其社会形式之间出现了不可避免的冲突。在资本主义社会中，人们为了满足自己的需求与自然作斗争，但在雇佣劳动条件下，人们从控制自然中获得的物质利益分配总是不公平的，从而导致了对自然的盲目掠夺和盘剥，致使生态破坏，社会发展不可持续。可见，这种人与自然关系的危机的根源在于人类的社会关系，而不在于生态系统的自然限度本身。因此，要协调人与自然的关系，首先必须从人类的根本利益出发，调整人们的社会关系，改善人文生态，协调人与人的关系。而要促进人与自然界的协调，则需要对我们现有的生产方式以及和这种生产方式连在一起的我们今天的整个社会制度实行完全的变革。

4. 开展国际性的全球合作

当今世界的各部门、各地区和各国之间相互联系、相互依存趋势更加明显，全球一体化的进程加速，这就要求各国政府和民间组织为解决全球问题开展多种形式的合作。开展国际合作、实现力量联合的第一步，应当是在平等互利、和平共处的基础上建立完全新型的国际政治、经济秩序，根本改变以往不正常的国际政治、经济关系。发展国际合作，不仅是各国之间共同的需要，

而且是共同的责任。尤其是发达国家应当在协调人与自然的关系中承担更多的义务，应该在技术和资金上帮助发展中国家。国际舆论也应该谴责和制止那些把污染严重的技术和产业输入不发达国家和地区的“以邻为壑”和“嫁祸于人”的行径。

（二）人与自然协调发展的前景

从对人类的价值来看，人与自然关系的理想局面应该是人与自然的协调发展。理想的人与自然的关系，应该是人类在物质上得到更充分的满足，精神上得到更健康的发展；同时，自然界的平衡得到持续的保护，或者人类在谨慎地打破自然界既有平衡时，能有效地建立新的平衡，使自然界能持续地为人类发展服务。事实上，人类正在努力将这种人与自然关系的理想图像清晰化。1972年6月5日，联合国在瑞典斯德哥尔摩召开了举世瞩目的人类环境会议，向全世界发出呼吁：“人类业已到了必须全世界一致行动共同对环境问题采取更审慎处理的历史转折点。由于无知或漠视会对生存及福利相关的地球，造成重大而无法挽救的危害。反之，借助于较充分的知识与较明智的行动，就可以为自己以及后代子孙，开创一个比需要与希望尤佳的环境，实现更为美好的生活。提高环境质量与创造美好的生活远景甚为广阔，现今最需要的是一种持重而平静的心情，热切而有秩序的工作，以期在自然界获得解放。人类必须与大自然协同一致，运用知识建造一个更美好的环境。为了现在以及未来千秋万代，维护并改善人类的环境，业已成为人类必须遵循的崇高目标。此目标要求，须与已经建立的世界和平与世界性经济与社会发展的基本目标，步调一致，协调无间。”这一宣言中，包含了生态自然观的诸多要点。

首先，宣言强调人类需摆正自己在自然界中的位置，这正是生态自然观的基础。人与自然冲突的产生，并不是因为人不应该发挥自己的能动性，而是因为人类在发挥能动性的同时，没有相应地加深对受动性的认识。人们在开发利用自然的过程中，由于

这样或那样的局限性而出现失误时，往往把失败的原因归结为人类对自然规律(仅限于征服自然的规律)认识不够，却很少考虑到人类自身的需要是否超出了自然界平衡允许的限度。于是，在下一步实践中，人们又开始了更大规模的征服自然活动。真正的能动性，应该基于对受动性的认识；对自然规律的正确认识，应该包括人对自身能力及其可能对自然界带来的正面、负面影响的认识。摆正人在自然界中的位置，实质上就是要正确认识能动性与受动性关系，不再把自然界仅当成征服的对象，这是协调发展观念得以确立的基础。

其次，生态自然观不允许人类再采取过去的不良增长方式，却又不意味着人类必须以生活质量下降为代价来求得与自然界的协调，也不意味着必须完全保持自然界固有的平衡，而是强调人类与大自然协同一致，运用知识建立一个更美好的环境。1987 年，世界环境与发展委员会（WCED）在关于人类未来的挑战与策略的纲领性文件《我们共同的未来》中也说，应当满足所有人的基本需求和给所有人机会以满足他们过较好生活的愿望。显然，要实现这种愿望，就必须合理地扩大人工自然，这就必定会进一步影响自然界现有的平衡。但人类在打破自然界旧的平衡的同时，要更加自觉地去重建一种新的平衡。因此，协调发展所追求的是自然界的动态平衡和人与自然界的动态和谐关系。现在人类的植树造林、保护动植物资源的行为，都是试图重建自然界平衡的自觉行动。这些行为已取得了一些成就，但广度深度还远远不够。人类必须加大自觉行为的力度，才能实现人与自然之间动态的和谐。

再次，生态自然观既考虑到当代，又考虑到千秋万代，包含着“ 可持续 ”的价值观。所谓“ 持续 ”是指某个过程或状态可以长久地加以维持，而人类之所以要与自然协调发展，正是因为我们不希望人类的进化过程与生态环境毁于一旦。为此，当代人必须充分考虑后代人的利益。具体而言，当代人不能忽视后代人对资源、环境所拥有的权力，要充分重视生态持续、经济持续、资

源持续，做到对自然资源的高效、循环使用，避免对环境的重大破坏，让未来人类也能维持并提高他们的生活质量。当代人类应当树立一种跨越时空的全新道德观、一种环境安全观和代际公正观，以约束我们的行动；在考虑我们的需要的同时，绝不能对后代人满足他们的需要的可能性构成危害。从一定意义上说，生态自然观的本质就是协调发展和可持续发展。在研究实现协调发展的具体措施时，人们应注意资源的承载力、环境的缓冲力、经济的生产能力、大众的需求能力、社会的调控能力等因素的协同，因为这些因素协同与否，直接决定了发展是否可持续。

人与自然协调发展的关系不是一种静态的关系，这种关系能否成为现实，不仅取决于自然界演化的规律以及我们对自然界的正确理解，而且取决于我们在今后发展过程中的一次次具体行动。

参考文献

[1] 常杰等. 生态学. 杭州：浙江大学出版社，2001

[2] 周鸿. 人类生态学. 北京：高等教育出版社，2001

[3] 蔡晓明. 生态系统生态学. 北京：科学出版社，2002

[4] 朱颜明等. 环境地理学导论. 北京：科学出版社，2002

[5] 李博. 生态学. 北京：高等教育出版社，2000

[6] 宋健. 现代科学技术基础知识. 北京：中共中央党校出版社，1994

[7] 许为民等. 自然 科技 社会与辩证法. 杭州：浙江大学出版社，2002

[8] 刘波. 天地人巨系统导论. 合肥：安徽教育出版社，1993

[9] 国家教委社会科学研究与艺术教育司. 自然辩证法概论. 修订版. 北京：高等教育出版社，1991

第三篇

科学技术观

科学技术观是关于科学技术以及科学技术与社会关系的总看法、总观点。本篇将立足于现代科学技术的发展，把科学技术系统视为社会大系统的一个子系统，探讨其性质、体系结构及科技生产力系统；把科学技术的发展历程视为社会历史发展的一部分，分别分析自然科学和技术的基本矛盾、主要形式和一般模式；从整体上研究科学（S）、技术（T）和社会（S）的相互关系，研究科学技术发展的社会组织、社会功能、社会条件和社会控制；从经济学角度分析科技创新尤其是技术创新的过程、内容和模式以及高技术的产业化。

第四章　系统科学技术观

科学技术是人类认识自然、改造自然的实践活动和知识体系，是整个社会大系统的有机组成部分。阐明科学技术的性质、特征和体系结构，是科学技术哲学的重要内容和逻辑起点，也是我们从整体上研究科学技术的发展规律的出发点；同时，对提高我们对科学技术在现代社会发展中的历史地位、特点和趋势的认识具有重要的作用。人们对科学的内涵和外延做过较多的探讨，科学的概念也是不断充实和发展的。20 世纪以来，人们更加关注于技术的作用，研究技术的本质和科学与技术的关系以及科学技术体系结构问题。

第一节　科学技术的性质和体系结构

一、科学的性质和特征

（一）科学的概念

在古代西方，科学一词可以追溯到古拉丁语“ Scientia ”，它最初的含义是“ 知识 ”和“ 学问 ”。在中国古代，《礼记 · 大学》中有“ 格物致知 ”的说法，意谓穷究事物的原理而获得知识。清代末年，人们就把声、光、电、化等自然科学统称为“ 格致学 ”。19 世纪下半叶，日本明治时代启蒙思想家福泽瑜吉首次把“ Science ”译为“ 科学 ”（意思是分门别类加以研究的学问）。1893 年，康有为最早将“ 科学 ”一词引进中国。随后，梁启超在《变法通议》中、严复在其译著《天演论》中，都使用了“ 科学 ”一词。从此，

“科学”一词便在我国广泛使用。

什么是科学？贝尔纳认为：“科学在它的历史发展中表现为方法、知识、信仰、生产力和社会组织等种种形象，体现出不同的本质和特征，是难以定义的。”[①] 历史上不少哲学家、科学家从不同侧面给科学下定义。康德把科学理解为知识体系；而黑格尔则进一步把科学定义为系统化的知识，是处于逻辑上的必然联系之中的有机的、严密的逻辑体系。这些见解向我们展现了人们对科学本质的探讨不断深化的过程。科学史告诉我们，科学是人类实践活动的范畴，它的直接职能是不断探求和系统地总结关于客观世界的知识。虽然科学的定义有多种，但是科学概念中如下三个方面的内涵是人们所公认的。

1. 科学是关于自然、社会和思维的知识体系

或者说，“科学是以范畴、定理、定律形式反映现实世界多种现象的本质和运动规律的知识体系。”[②] 人们是通过生产实践、社会其他实践和科学实验而得到知识的。然而，零散的经验知识还不是科学，科学是网罗事实、发现新事实并从中得出关于事物的本质和普遍规律的理论知识。科学也不仅仅是某种事实和规律的知识单元，而是由这些知识单元组成的体系。

2. 科学不只是知识体系，还是产生知识体系的认识活动

人们对客观世界的认识是一个由不知到知、由知之甚少到知之较多的动态过程。所以，知识体系也不是一成不变的。科学是一个不断发现未知事实和未知规律并使知识体系演化的过程。在这个过程中，科学思想、科学方法、科学态度和科学实践是密切结合的。

3. 科学又是一种“社会建制”，即一项成为现代社会组成部分的社会化事业

---

① 贝尔纳：《历史上的科学》，科学出版社，1981 年，第 6 页。

②《中国大百科全书·哲学》，中国大百科全书出版社，1987 年，第 404 页。

随着科学的发展，一方面科学在社会物质文明和精神文明建设中的功能日益显著，地位日益重要；另一方面，科学也由单个人的工作发展到集体研究，再发展成为一项国家事业，甚至是国际性事业。不仅科学家，而且政府、企业都直接参与科学事业。

基于以上认识，我们认为，“科学”是人类关于自然、社会和思维的知识体系以及获得这种知识体系的活动的总体。这一概念不仅包括了获得新知识的实践活动，还包括了这个活动的结果，即知识体系，并提示了科学这种知识体系可以转化为社会生产力。

科学有广义和狭义之分。广义地说，科学包括自然科学、人文科学、社会科学和思维科学。狭义地讲，科学仅指自然科学，而且不包括技术在内。以下主要讨论自然科学和技术的性质和特征。

（二）自然科学的特征

自然科学具有科学的一般性质，并有其独有的明显特点。两者一并概述如下:

1. 客观性和实证性

自然科学是对自然事物、自然过程和自然规律的真实的或客观的反映，必须以实验事实为基础，必须有实证性的材料和数据，实证性是科学特别是自然科学的一个基本的和显著的特征。人们对自然界的认识是不是真知，是不是反映了客观真理，必须经过科学实验的检验。甚至可以这样说，原则上可以由实验来检验其真伪的认识或知识才属于自然科学探讨的问题。如果某种观点或学说在原则上既不可能由实验来证实（确认或肯定），又不可能由实验证伪（否定、驳倒或推翻），就不属于自然科学的范畴。一切科学的东西都必须来之于实践，都必须接受理性的无情审查，都必须接受实践的严格检验。

2. 逻辑性和理论性

自然科学归根到底来自于对自然界的感性认识，自然科学的知识单元包括观察和实验报告所提供的关于经验事实的陈述性知

识。感性经验反映的自然事物的现象，乃是局部的、零散的、肤浅的知识，但自然科学中陈述的经验事实，已经不是或不完全是直接的感性表象，而是在理性指导下，经过一定的理性概括，并表现为理性形式（概念、判断和推理）的经验知识。

感性认识要上升到逻辑的和理性的认识。自然科学的知识单元还包括以定律、定理来表述的反映客观过程必然性的程序性知识，以及揭示对象本质和原因的表现为假说和学说的解释性知识。只有对客观事物的规律性和本质有系统的认识，不仅能确认对象和过程是什么，而且能解释其为什么，才能全面达到科学的要求。

经验事实经过进一步加工达到程序性知识和解释性知识，成为完整的理论或理性认识。科学理论的一个重大特点就是它具有逻辑性，是一个由概念、定律、定理、学说和数学推理等构成的有条理的完备的知识体系。

3. 探索性和创造性

科学是认识客观世界的动态过程。科学活动特别是现代的科学活动，可以根据社会需要、已有知识的指导、前人的经验和学科的预测而设定目标，安排计划。然而，与按既定规程运作的物质生产过程不同，科学活动面对的是未知的或知之较少的世界，它又难以完全按预定的目的和计划进行，因而有不确定性和强烈的探索性。在科学认识中充满着机遇性，这是科学认识的特点也是它的优点。正因为人们在科学工作中不能完全确定地知道它的结局，才能有出人意料的创新。

科学的生命在于创造，不断探索未知和创造新的知识是科学的根本任务和一大特征。如果在科学活动中总是发现别人已经发现的事物，重复已经提出的见解，如果科学总是停留于已有的知识上，那么它的生命就结束了。科学的创造性体现在互有联系的两个方面：一是不断揭示自然事物的新的属性和新的自然过程，提出新的观点和原理；二是运用新知识去创造物质文明的新成果。

自然科学的探索和创造是永无止境的，科学知识是不断发展、进步和完善的。科学与保守、僵化、停滞不前的观念是不相容的，与教条主义也是不相容的。

4. 通用性和共享性

自然科学作为知识体系，属于社会精神文明和社会文化的范畴，但它不是社会上层建筑，不同于社会意识形态，或者说它是一种通用的文化意识。

政治法律思想、哲学、道德、宗教观念等是社会意识形态，它们均属于社会上层建筑的范畴，由一定的社会经济基础决定，反映社会经济制度、社会关系的内容，为壮大、巩固和发展某种社会经济基础服务；随着社会革命和经济基础的变革，这些社会意识形态必然会或迟或早地发生变化。社会经济制度虽然会影响到科学活动和科学事业的兴衰，但它不能决定科学认识的内容。自然科学是人们认识自然的成果，它直接反映人与自然界的关系，取决于生产力发展的水平和性质；社会经济的变更、社会制度的交替和统治集团政策的改变，不会导致自然科学内容的改变或丧失。

自然科学知识具有共享性，即不存在特殊利益的制约，不存在与特定国家、特定民族或特定集团的特殊利益相关的自然科学，如无产阶级的物理学或资产阶级的物理学。自然科学本身没有阶级性。自然科学知识具有共享性，即所有的人都可以利用；它能够被任何阶级的人们所掌握，对任何阶级的活动都发生作用。

从自然科学知识的利用来看，它有通用性和共享性：科学无国界。然而，研究、掌握、利用自然科学的人是社会的人，在阶级社会里是从属于一定阶级、一定社会集团和一定国家的：科学家有祖国。在实现世界大同以前，他们总是要为自己国家的科学事业作贡献，总是要为一定的利益集团服务，并受统治阶级支配和制约。

5. 自然科学是一般生产力和直接生产力

科学活动是社会的一种精神生产事业，它生产科学知识。科学知识与其他知识不同，可以应用到社会物质生产中去并不断提高物质生产力水平。科学在未与物质生产结合之前，表现为物质生产的精神潜力，即以知识形态存在的一般生产力。科学一旦应用于物质生产，便物化为直接生产力。当然，由一般生产力到直接生产力要经过转化过程，技术就是这个过程的中介环节。

二、技术的性质和特征

（一）技术的概念

就其历史发展来看，技术最初表现为劳动者的技巧、技能和操作方法，即人类在生产经验基础上获得的主观能力，反映了手工工具劳动时代技术的形象。在西方，“ 技术 ”一词源于希腊语“ Techne ”，意为技艺、手艺、技能、本领。在我国古代，技术泛指 “ 百工 ”。成书于战国时期的《考工记》指出：“ 天有时，地有气，材有美，工有巧，合此四者然后可以为良 ”。天、地、材可以看做是自然界和物质的特性，“ 工有巧 ”则是工匠的技术。在相当长的时期里，人们把技术看做是世代相传的制作方法、手艺和配方。18 世纪末，法国哲学家狄德罗在他主编的《百科全书》中把技术（Art）定义成 “ 为了完成特定目标而协调动作的方法、手段和规则相结合的体系 ”。在 17 世纪初，人们把“ Techne ”同“ Logos ”结合起来，形成了 “ Technology ”（技术）一词。

科学兴起之后，技术表现为依据自然科学规律，运用一定的手段、方法，特别是以使用机器为中介，对物质、能量、信息进行转换或加工，以满足人类需要的实践活动。技术成为反映实践经验、科学理论和物资设备三方面的技术理论、物质手段和工艺方法的总结，这是机器工业时代的技术形象。因此，对技术的概念历史上有过技巧技能说、手段体系说、知识和知识的应用说、方法说、创造说，等等。我们认为，技术是人类为了满足社会需要，利用自然规

律，在改造和控制自然的实践中所创造的劳动手段、工艺方法和技能体系的总和，是反映现代技术形象的科学解说。

从技术的概念可以看出，技术系统包括三个方面：主体、客体、手段。技术主体指从事技术操作的人，技术客体指主体要变革、加工或改造的对象，技术手段是指为了达到对客体的变革目的而必须借助的方法、途径、技巧。技术就是由这三者相互作用的系统。技术是主体借助手段使之与客体之间或客体与客体之间相互作用，这是技术产生的源泉；技术是主体借助手段而变革客体的机制和方式，这是技术的精髓；技术是要变革客体，创造新客体，从思想中引出现实、从精神中引出存在，这是技术的最终目的；技术还是人的能力体系，这种能力表现为人的组织思想、设定目标、借助手段，让客体与手段、客体与客体之间按其本性相互影响、相互作用，自己并不干预其过程，而只是实现自己的目的；技术表现为人的理性的技巧和威力，反映了人类的智慧之光。

对技术的上述规定，也表示技术具有自然的和社会的两重属性。所谓技术的自然属性，是指人们在运用技术变天然自然为人工自然的过程中，技术无论作为劳动手段、工艺或技能，都必须遵循自然规律。任何时代的技术都是对自然规律的应用，任何违背自然规律的技术都是不能实现的。技术的自然属性也决定了技术的内在构成的根本要素是科学知识。所谓技术的社会属性，是指人们在运用技术变天然自然为人工自然的过程中，技术严格地受到各种社会条件的制约。没有基于社会需要的技术目的的推动，技术是无从产生的；任何技术目的的规定和实现，又都要受到经济、政治、军事、科学、教育、文化、民族传统等社会条件的制约。这些因素不但在不同程度上影响技术发展的方向、规模、速度和模式，也影响技术的风格和形式。即使依照同样的科学原理、达到同样功能的技术，在不同时代对不同民族也有显著不同的风格和特色。所以，从事任何技术开发、技术引进，在其社会属性

和社会后果方面都不能是无分析、无选择的。

技术在社会经济系统中，属于直接生产力的范畴。这是因为技术本来就渗透于生产过程中，表现为劳动者的技能，生产过程的物质手段、工艺流程和操作方法；技术的状况如何，对生产力总是发生直接的、立竿见影的影响。科学作为知识形态上的生产力要转化为直接生产力也必须以技术为中介。

（二）技术的基本特征

技术有如下几个体现其本质的特征:

1. 技术是人类社会需要与自然物质运动规律相结合的产物

技术属于人类社会利用和改造自然的范畴，在本质上反映了人对自然的能动作用。技术有自然属性，人类对自然界的利用和改造是一个物质、能量和信息的转换过程。作为手段和方法的技术必须依靠自然事物和自然过程，符合自然规律；现代技术更是人们自觉地利用自然科学知识创造出来的。

但是，人们在技术活动中并不是消极地、被动地顺应自然过程，也并不是听任自然规律自发地起作用。技术目的打破了自然界的“常规”。人们使用技术作用于自然界，可以有选择地强化一些自然规律的作用，而抑制另一些自然规律的作用，或者创造条件去反对某个自然过程，使自然界互相残杀，从而实现自己的意图。技术目的性是技术的起点和归宿。

人们利用技术创造了一个社会化的自然或“第二自然”——介于自然与社会之间的人工自然。技术是创造人工自然的手段，也是人工自然的主要内容。技术和技术目的还受到社会经济、政治和文化的强烈制约。在现代的市场经济体制下，技术本身就是商品，是企业谋取最大利益的手段，是国际竞争的筹码，是军事实力的支柱。技术活动乃至技术的性质与人们的社会需要密切相关，不能把技术的性质与技术的应用截然分割开来。同时，技术活动（如发明）也只有在社会的共同协作下才能产生和实现。

2. 技术是主体要素和客体要素的统一

技术是人对自然的能动过程，人们的知识、技能和经验这些主体要素有重要的作用，即使是在现代技术活动中，经验性的技能、诀窍和规则仍然是必不可少的；然而，仅仅是主体的能力和知识还不能实现技术功能，技术还是精神向物质转化、知识转化为物质手段和实体的过程。技术是主体的知识、经验、技能与客体要素（工具、机器设备等）的统一。技术既包含方法、程序、规则等软件，也包括物质手段等硬件，缺少其中的任一方面都不可能有活生生的、现实的技术。软件与硬件相互作用和不断更新，使技术不断发展。

3. 技术本身有一个从潜在形态到现实形态的发展过程

技术系统不仅是主体要素与客体要素的结合，还是一个由潜在形态（技术思想、发明、方案设计）到现实形态（体现于实际应用中的生产技术、工程技术）转化的过程。科学技术论文、发明专利可以是技术活动中的一个环节或开端，但未必就是现实应用中起作用的技术。某种技术要成为现实技术并得到推广应用，还需要有相关和相邻技术的支持与配合，以及社会系统的保证。

4. 技术是生产力的构成要素，是生产力性质和水平的标志

技术渗透于生产力的诸实体要素（劳动工具、劳动对象和劳动者）中，制约着它们相互结合的广度和深度；技术作为渗透性要素决定着生产力的性质、类型和水平。人们往往把某种主导技术作为特定历史时代的主要标志，如石器时代、铁器时代、蒸汽时代、电气时代、原子能时代、计算机时代、空间时代等。

技术在生产中的作用大致有：① 分离自然物质和切割自然过程，如采矿技术；② 改变自然物的形状和位置，如机械加工技术；③ 重新组合自然物质或自然过程，如化学合成技术、原子能发电技术，合成是现代技术改造自然的突出表现；④ 加速或延缓自然过程，如催化和食物保鲜技术；⑤ 改变自然过程的运动方向，如水利技术；⑥ 实现自然过程的定常化，如自动控制技术。

但技术与生产力毕竟不是完全等同的，这不仅是有非生产性的技术如军事技术，即使是生产技术，与生产力之间也有一定的区别。现实生产力还依赖于资源和气象等自然条件、就业人口数量、原材料供应和市场状况等因素。对某一时期、某一国家或某一企业来说，生产技术水平的提高未必都同时伴随着生产力水平的同等程度的提高，生产力水平的下降也未必就导致技术水平的下降。从技术发展到生产力发展也有一个转化和实现的过程，并主要取决于社会经济条件和社会经济规律。

总之，对科学技术性质的科学抽象，要掌握历史的、辩证的观点，揭示理论活动和实践活动、精神因素和物质因素、人与自然关系和人与社会关系的统一。从辩证唯物主义的科学技术观来看，科学、技术的共同本质，就在于它们都反映了人对自然的能动关系。科学表现了人对自然能动的认识和反映关系，技术表现了人对自然能动的控制和改造关系。科学、技术和生产是把人类从动物界中提升出来，又把人类从自然王国提升到自由王国的伟大力量。这种力量不是天赐的，而是人类在实践过程中获得的自己解放自己的伟大力量。

三、科学与技术的相互关系

（一）科学与技术的区别

科学与技术都是有关人与自然界关系的社会文化，二者间有密切的相互依存关系，似乎全然无法分开，须臾不可分离。从现代词汇看，很少有两个名词像“科学”与“技术”那样相随相伴。人们讲到科学常常要论及技术，谈到技术几乎同时必提科学，或者索性把它们简称为“科技”，认为现代的科学与技术已经一体化到无差别的程度。

其实，科学与技术，包括现代科学与现代技术，也不是完全等同或同一的东西，它们之间仍有一定的区别，甚至可以说有本质性的或原则上的差异，它们是两种社会文化。可从以下几个方

面去认识：

1. 从目的和任务看

科学主要是认识自然，获得自然知识，回答研究对象“是什么”和“为什么”的问题，讲求要有所发现，要揭示客观过程的规律性和因果性；技术则主要地是利用和改造自然，创造人工自然，解决实践过程中应当“做什么”和“怎样做”的问题，寻求怎样去制（making）和做（doing）的规则，讲求有所发明，要实现满足主体需要的目的性。

2. 从活动过程看

科学主要是从实践到认识，从物质到精神，要扬弃经验，跃升到理性，其研究过程探索性强，相对不确定，选题的自由度大些，活动有较明显的个体性；技术则主要是从认识到实践，从精神到物质，经验因素常是不可缺少的或是必要的补充，其研究过程计划性强，相对较确定，选题的约束度大些，活动有较明显的协作性。

3. 从形态上看

科学主要表现为一元性的知识，它要把纷繁复杂的现象统一于某一种本质，力求从众多的假说中筛选出某一种定论，科学在总体上是从复杂到纯化，从多样到单一的过程；相对来说，技术则是从单一到多样，使提纯了的东西复杂化，它要把某一种科学认识转化为多种工艺方法，从相同的原理去做出多种类型的设计方案，造成种类繁多的人工创造物（多样的物质手段或物质产品）。

4. 从评价标准看

科学判定要讲是非，讲真理性标准，要淘汰谬误，追求正确，不能说有用的东西就是具有科学性的。技术主要讲合理，讲效用性标准，可以说更有用的手段、方法或设计就是好的技术；技术要淘汰效益差的东西，追求效率、效用和效益。

5. 从与社会相关的复杂程度上看

科学（尤其是基础自然科学）在说明客观过程的可能性时，

较少顾及实现这种可能性的经济的、法律的、政策的和资源的条件，科学对近期的社会经济发展往往没有直接关联，而是有根本性、长远性的意义。技术则不仅要注意到可靠性、可操作性、安全性、适用性和易于维护、维修，还要考虑到社会经济、法律政策、伦理和资源环境因素，技术对社会文明、国家实力和人们的生活质量有更为直接和近期的影响。科学技术是生产力，技术是更有现实性的生产力。科学水平与技术水平相辅相成又不完全成正比，科学水平相对较低的国家可能具有较高的技术水平。

6. 从工作主体看

科学主要是研究员、学者、教授们的事业，并因有新思想而获得荣誉和奖励；技术主要是工程师、发明家、设计师、管理者、企业家们的事业，并因创制新器物而得到专利和收益。技术家或工程师们的价值取向、地位作用、智能结构、认知风格、心理素质与科学家有较大差异。

（二）科学与技术的联系

科学与技术不仅有明显的区别，也有密切的联系；了解二者之间的差异，就能更深入地把握二者的统一。

1. 技术的发展为科学研究提出课题并提供必要的物质手段

近代科学的发展离不开实验设备（例如计时器、天平、显微镜、望远镜等各种仪器），制造这些实验设备必须依靠工业的发展和技术的武装。恩格斯在论及近代工业技术与科学发展的关系时就指出:“从十字军东征以来，工业有了巨大的发展，并产生了许多力学上的（纺织、钟表制造、磨坊）、化学上的（染色、冶金、酿酒）以及物理学上的（眼镜）新事实，这些不但提供了大量可供观察的材料，而且使新的工具成为可能。可以说，真正有系统的实验科学，这时候才第一次成为可能。”①

① 马克思、恩格斯：《马克思恩格斯全集》第 3 卷，人民出版社，1972

现代自然科学的发展更需要有技术的推动和支持，现代的材料技术、航空技术、生物技术提出了有关固体物理、流体力学、生物化学的许多科学问题。现代技术还给现代科学以有力的武装，没有电子显微镜，就没有分子生物学；没有超低温技术，就不可能有超导理论；没有高能加速器和电子对撞机技术，就不可能有基本粒子物理学。

2. 科学研究和科学成果可以指导技术发展，科学可以成为技术的先导并转化为技术

19 世纪建立的电磁理论导致了第二次技术革命。在当代，没有光受激辐射理论、微波波谱学，就没有激光技术；没有原子物理学，就没有核工业技术；没有分子生物学，就不会有基因工程技术。

科学与技术的相互依存、相互转化有一个过程。古代的科学与技术基本上是独立发展的，科学知识专属于哲人、学者，技术则归工匠掌握。从欧洲中世纪以后，随着社会经济的发展，科学与技术互相接近，但基本上是“技术→科学”。19 世纪以来，开始了“科学→技术”的转化。进入 20 世纪以后，科学与技术的关系更加密切，出现了“科学与技术”的双向作用。在若干领域，例如在电子计算机、新材料、新医药方面，科学与技术的界限显得模糊起来，出现了科学技术化、技术科学化和科学技术一体化的趋势。

四、科学技术的体系结构

从总体上研究科学与技术的特征、科学与技术的结构与分类，对于搞好科学技术研究，制定科学技术发展的战略和政策，搞好科学事业的管理，都是十分必要的。

科学作为知识体系和活动体系是随着人类实践的发展而不断

年，第 523～524 页。

发展变化的。这表现在：从古代以自然哲学形态包含在哲学之内的自然知识，发展为近代以来独立的自然科学知识体系；从经验自然科学形态，发展为理论自然科学形态；从研究自然界初级运动形式的科学（力学），进到研究自然界较高级运动形式的科学（物理学、化学、生物学、生理学等）。

现代科学技术虽是一个整体，但科学和技术作为人类两种规模巨大的创造性社会活动，各有不同的特点，它们的发展各具有相对的独立性。鉴于此，现代科学技术分类应分别就现代科学和现代技术来进行。

（一）现代科学分类

按照科研活动的三个阶段，即基础研究、应用研究和开发研究，可以把现代科学分为基础科学、技术科学 （或应用科学）和工程科学。

1. 基础科学

基础科学是对客观世界基本规律的认识。就研究自然界的基础科学来说，它包括天文学、地质学、力学、物理学、化学、生物学以及作为各门科学的工具和方法的数学，它们构成了现代自然科学的基石。

基础科学有以下四个特点：① 它是物质运动最本质的规律性的反映，是在丰富的感性材料基础上总结出来的理性认识，其一般表现形式是由概念、定理、定律等组成的理论体系。② 它与生产实践的关系一般比较间接，必须要通过一系列的中间环节，才能转化为物质生产力。③ 基础科学的研究领域十分广阔，其研究工作具有长期性、艰苦性和连续性。④ 基础科学具有非保密性，它的研究成果可以公开发表在科学刊物上。但是，基础科学的研究有助于科学技术基础性问题的解决，往往会产生意想不到的工业应用，一旦找到物化为直接生产的途径，便会给人类社会文明带来质的飞跃。因此，对基础科学决不可采用实用主义或功利主

义的态度。

2. 技术科学

技术科学研究生产技术和工艺过程中的共同性规律，其对象大部分是技术产品，即所谓人工自然，目的是把认识自然的理论转化为改造自然的能力。由于人工自然还没有公认的分类，因而技术科学分类也没有统一的模式，一般包括应用数学、计算机科学、材料科学、能源科学、信息科学、空间科学，以及应用光学、电子学、应用化学、医药科学、环境科学、农业科学等等。

技术科学有以下两个特点：① 它相对于基础科学而言是研究具体对象 （人工自然对于天然自然是具体的）的特殊运动规律，但对更具体的工程科学而言就不那么具体了，其规律可以应用到工程科学中去。② 它与生产实践的联系比较密切，因而发展极其迅速。如 20 世纪初力学一从物理学领域脱离，便立即走上了技术科学的道路，迅速建立起如流体力学、空气动力学、弹性力学、固体力学等近 100 门学科。

3. 工程科学

工程科学是具体地研究基础科学和技术科学如何转化为生产技术、工程技术和工艺流程的原则和方法，以供改造自然之用。工程科学已形成具有广泛领域、内容丰富的繁多门类，其种类往往与技术科学没有明显的界限。因此，一般把工程科学划入技术科学中，共同作为基础科学与工程技术之间的桥梁。这里把工程科学划分出来是考虑到它较之技术科学更接近于工程技术或产业技术，而技术科学则相对于工程科学更带有基础性。工程科学主要有:农业工程学、矿山工程学、冶金学、工程力学、水利工程学、土木建筑工程学、机械工程学、化学工程学、电力工程学、半导体科学、自动化科学、仪器仪表工程学、宇航业工程学、海洋工程学、生物工程学，等等。

工程科学有以下几个特点：① 它的研究目的十分明确，就是要通过研究制造出特定的机器，绘制凝聚新思想的图纸，制定出

合适的工艺流程。② 它与生产领域最为接近，是要解决产业中生产技术的一系列具体理论问题。③ 它有一定程度的保密性，往往以申请专利的形式得到保护。

（二）现代技术分类

对应于基础科学、技术科学和工程科学，可以把现代技术分为三大类：实验技术、基本技术和产业技术。

1. 实验技术

技术存在于人工自然过程，是实现自然界人工化的手段。实验技术是为了科学认识而探索自然客体的元技术手段。按照实验者作用于自然的过程的四种基本形式（即对机械运动、物理运动、化学运动、生命运动的作用），实验技术可划分为：① 力学实验技术，它是用来改变自然界的机械运动状态的；② 物理实验技术，它是用来探测自然物的物性的；③ 化学实验技术，它是用来分析自然物的物质成分和变化或用自然物来合成人工物质的；④ 生物实验技术，它是用来作用于生命运动的状态和性质的。实验技术往往是以科学仪器如温度计、望远镜、显微镜、分光计、干涉仪、电子加速器、中子对撞机、电子计算机等来体现的。

2. 基本技术

针对整个技术，按照人工自然过程的四种基本形式，同样也可划分为四种基本技术：广义的机械技术（人工的机械自然过程）、物理技术（人工的物理自然过程）、化工技术（人工的化学自然过程）和生物技术（人工的生命运动过程）。在人类的各个时代，都存在着四种基本技术，只是发展状况不同。从近代至现代是占主导地位的机械技术逐渐让位给了物理技术和化工技术。在现代的知识工业或技术密集型产业中，物理技术与化工技术正在大显身手。同时又须看到生物技术的巨大进展，有人预计，未来将是生物技术率先发展的时代。

但是，上述四种基本技术只有加入到生产劳动过程中，才会

作为现实生产力发挥作用，并借助劳动过程中的技术进入产业技术。因此，还必须有劳动过程中的技术分类。从经济学的观点看，劳动过程是劳动力运用技术，改变自然界的运动状态和运动形式以创造使用价值的过程。进一步分析则可以看出任何劳动过程都是技术过程和自然过程的统一。由于自然过程包括有生命的自然过程和无生命的自然过程，因而可以按照自然过程的改造，把劳动过程中的技术分为改造有生命的自然界的技术和改造无生命的自然界的技术，它们都是基本技术的不同组合。改造有生命的自然界的技术又可分为改造的对象为植物界的技术 （包括陆上植物栽培育种技术和海水养殖技术）、改造的对象为动物界的技术（主要是家畜饲养育种技术）和改造的对象为微生物界的技术 （主要用于食品、药物、细菌肥料等的制造）。改造无生命的自然界的技术主要是在工业生产中，按劳动过程分为采掘技术、原材料精制技术、机械生产技术、建筑技术、输送技术、信息处理技术、能源生产技术等。

3. 产业技术

社会经济中的每种产业都是各种劳动过程的综合，劳动过程中的技术只有加入到产业生产系统中变为产业技术，才会有经济效益。产业技术是由不同劳动过程中的不同技术组成的更为复杂的系统。考察技术与产业的关系，发现与某一类劳动过程的技术相关，或以这类技术为主，便产生了对应的产业。大致可以将其作如下分类：植物栽培育种技术→农业、林业；捕获技术→水产业、狩猎；饲养育种技术→畜牧业、水产业；采掘技术→采油工业、采煤工业、矿业；材料技术→金属冶金工业、石油精炼工业、化学工业、水泥工业；机械技术→全部制造业以及各种加工组装业；交通运输技术→汽车、火车、轮船、飞机运输业；建筑技术→土木建筑业；动力技术→火力发电、水力发电、核电、煤气；通讯技术→电信、电话、广播、电视；控制技术→计测控制产业；系统技术→信息机械制造与服务业；保健技术→医疗机器、药品

制造业，医院，环境保护产业。这种分类虽未能把社会中各种技术与产业的关系概括无遗，但却从中可以清楚地认识技术和产业的关系。

应当看到，随着现代科学技术的发展，特别是电子计算机的应用和发展，信息技术（包括通讯技术、控制技术和系统技术）已经渗透到各个产业之中，使得技术与产业之间的关系发生了新的变化。于是，人们开始探索产业和产业技术的不同分类方法。美国的丹尼尔·贝尔按照各个社会的产业特征，将社会分为前工业社会、工业社会和后工业社会，并相应地把产业划分为第一产业（采掘业、农业、矿业、渔业、木材业）、第二产业（商品生产:制造业、加工业）和第三产业 （交通运输、公用事业）乃至第四产业（商业、金融业、保险业、地产业）及第五产业（卫生保健、教育、研究、政府、娱乐）。在前工业社会，其资源来自采掘业，是以原料采掘技术为中心的社会。工业社会是以人与机器之间的关系为中心，利用能源来把自然环境改变成为技术环境。后工业社会则是以信息为基础的“ 智能技术 ”同机械技术并驾齐驱。尽管这种划分较好地反映了技术与社会的关系以及技术进步的程度，但是如何运用产业与技术的新关系对产业技术进行分类仍然是一个有待研究的课题。

从技术与产业的关系特别是技术与经济的关系考虑，还可以对产业技术作如下划分：① 劳动密集型技术，即为生产活劳动消耗较多、物化劳动消耗 （劳动资源消耗）较少的劳动密集型产品所应用的技术；② 资本密集型技术，即为生产耗费物化劳动或需要资金投入较多的资本密集型产品所应用的技术；③ 知识密集型技术，是为生产知识密集型产品所运用的技术。生产这种产品所投入的活劳动不只是简单劳动，而更多的则是需要复杂劳动（它要求劳动者掌握许多相关的科学技术知识），因而该产品凝聚着更多的知识量。知识密集型技术形成的知识密集型产业有许多新的特点，如附加值高，资源、能量耗费少，产品主要是智力的产物，

研究开发的投资额大、所需科技人员数量多，其产品由少品种、大批量转向多品种、小批量且更新换代快，等等。从现代科学技术发展趋势看，知识密集型技术必将更快地发展。

以上对现代科学技术分别作了分类，是一种静态的划分。但是，越是深刻地对现代科学技术体系的各个分支或部门进行划分，就越能看到它们高度的统一性，进而也就越能显露出现代科学技术体系和谐的结构图景。科学、技术在各自的发展中，不但日益多样化和系统化，而且显示出科学技术走向一体化的重要特点。20 世纪以来，科学技术一体化的发展更为迅速。科学的技术化主要表现为：重大的科学研究完全离不开先进、复杂的技术手段，如高能加速器和探测器、自动化检测器、大功率射电望远镜、电子显微镜等；离不开各种类型技术人员的合作；而且科学研究工作本身也越来越带有工程技术的特点。技术的科学化主要表现在：首先，许多传统技术日益转移到新科学理论基础上而推陈出新。如传统的机械加工技术发展为使用超声波、离子束和激光的加工技术。以现代生物学为基础的生物固氮、绝育杀虫、基因育种、无土栽培等新技术，正在引起一场新的绿色革命。其次，当代的重大技术创新如原子能技术、激光技术、半导体和微电子技术、超导技术等等，无一不是在现代科学的基础上开发出来的。甚至可以说，没有科学的超前发展，就没有新的技术革命。

科学技术一体化也反映到科学知识体系结构上。自然科学最先形成的是基础理论科学，至于直接改造客观世界的工程技术，开始还只是作为工艺，而未曾作为科学。直到 19 世纪末 20 世纪初，经过总结概括、加工整理，工程技术才作为工程科学或应用科学，开始在高等院校中讲授。20 世纪 20～30 年代，又产生了介于基础科学和工程技术之间的技术科学，填平了传统科学和技术之间的广大地段，从而加速了科学技术一体化的进程。

这样，当代的科学技术系统的总体结构，就可表征为由各门基础科学及其技术科学、工程技术构成，并经由各层次、各学科

间的边缘学科、交叉学科、横断学科的联系和过渡而结成的大系统。

第二节　科技生产力系统

马克思和恩格斯非常重视科学技术在社会发展中的巨大推动作用，因而对科学技术给予了特别的关注。他们在研究资本主义机器工业生产方式时，深入考察了科学技术与生产力的关系，明确地提出“科学是生产力”的论断。邓小平则进一步指出：“科学技术是第一生产力”。

既然科学技术是第一生产力，那么就必然有一个相应的科学技术生产力系统，这就是以科学劳动者、科学仪器和科学对象为要素的系统。

一、科学劳动者

（一）科学劳动者的含义

科学劳动者是指在社会生产系统中专门从事创造、应用、传播和管理知识的那一部分人。科学劳动者是科学技术生产力系统中的主体，是先进生产力的开拓者，他们的整体理论素养、实践水平和道德素质在很大程度上决定了一个国家或一个地区的科学技术水平，进而决定了这个国家或地区的社会生产力。

（二）科学劳动者的分类

按照科学劳动者的具体作用来分类，可以把科学劳动者分为知识创造者、知识应用者、知识传播者和知识管理者。

按照科学劳动者的职业来分类，可以把科学劳动者分为科学家、工程师、教师、研究员、发明家、设计师、企业家等。

（三）科学劳动者的素养

1. 科学劳动者的思维素养

（1）系统性。现代高技术的发展将人类带进了系统化时代。以电子计算机为核心的各种观察工具、思维工具和操作工具，极大地延伸和放大了人的思维器官，引起了思维主体和思维客体的深刻变化，各种现代化的观察手段和科学仪器的问世和应用，也使当代科学劳动者对客体认识越来越深入和精确。系统论、控制论和信息论的产生是自然科学的卓越成果，它们同相对论、量子力学和分子生物学一起被称为 20 世纪自然科学的标志性成果。这些新兴的学科的产生不仅大大深化了人类对客观世界的认识，同时也为科学劳动者系统地认识世界和改造世界提供了一种具有系统综合特点的崭新的思维方式。系统性成为当代科学劳动者思维方式的最明显特征。思维方式的系统性表现为：把整体作为思维的出发点；强调分析与综合的辩证结合；注重结构与功能的相互关系；注重有序与无序的有机结合。

（2）超前性。现代化和高技术的发展，使得社会生产的流程和生活方式的节奏空前加快，社会信息迅速变化和社会信息剧增，一系列新情况、新现象不断出现。这就要求当代科学劳动者在进行科学创造、技术发明、社会治理时，不仅要关心现在，还要更多地展望未来，要用对未来预测的结果来衡量决策的可行性和价值性，从而形成了现代思维方式的崭新特点——超前性。超前性思维也称前瞻思维、预测思维，指的是思维主体在实践活动的基础上，通过把握思维客体的内在联系和运动规律而产生的对客体运动的趋势和前景的能动反映，是一种指向未来的具有预见性的认识。

思维的超前性是意识能动性的重要表现。人类的思维从产生时起就有超前思维。人的思维活动和动物的本能活动不同，人在反映客体时，总是基于实践的需要带着一定的主观倾向和要求，抱有一定的动机和目的。人的活动中预定的蓝图、目标、活动方

式和步骤等，都体现了思维的超前性。这是任何动物都办不到的。

（3）创造性。新的科学技术革命，为人工智能机的制作和突飞猛进的发展提供了现实可能和发展前景。人工智能机所具有的输入、存储、运算、控制、输出装置能模拟人脑的感觉、思维、记忆、反映等功能，以代替人脑的部分劳动，协助和配合人脑从事计算、判断、推理、决策、翻译、情报资料检索等活动；运算工作程序还能做到形式化、结构化，其计算速度和精确度都大大超过人脑的功能。这就一方面要求人们把脑力劳动的成果用电子计算机、人工智能所易于接受的形式使其形式化、结构化、信息化；另一方面使人脑从大量复杂的计算中解脱出来，更多更好地发挥人脑的创造功能，奠定了现代思维活动创造性的基础和条件。所谓思维的创造性，就是从新的思维角度、程序和方法来解释和处理各种问题，从而形成新的思维成果。思维的创造性意味着新问题的产生和解决，标志着人类思维的信息量的扩大、新的动态的思维程序和新的思维角度的形成。

（4）模糊性。随着科学的发展，人类进入了系统化时代。认识的客体尽管都有区别于他物的为自身所固有的质的规定性，存在着非此即彼的差别性，但是，由于一切事物都通过系统而存在，彼此之间经过中介的连接而相互联系、相互渗透和彼此贯通，因此造成了主体把握客体的分类依据和属性依据的困难。当代科技革命的发展使人们进入了一个更为宽广的认识领域，人类实践的规模、范围空前扩大，其复杂性也愈益加强，人们认识的对象不再是简单的事物，而是有着众多子系统的大系统和超大系统。各种子系统之间相互联系和相互作用的错综复杂性，系统内部层次、结构和要素的多样性，随着对客体认识加深所造成的感官的无法感知性，造成对客体达到精确性认识的不可能和不必要性。因此，适应现代科技发展的思维方式就具有了模糊性特征。借助模糊思维，自然科学家、人文社会科学家以及工程技术人员可以把系统的层次和因素加以适当简化，从而在整体上较为清晰地把握和认

识客体。

当代科学劳动者思维方式的模糊性特点，并不是对精确性思维的反动和对思维结果的科学性的放弃。恰恰相反，模糊思维正是人们在研究和处理社会、经济以及自然等复杂大系统问题时思维方式的进化。现代思维的模糊性，要求把精确与模糊、定性与定量、逻辑与非逻辑等一系列矛盾在思维过程中有机结合起来。

2. 科学劳动者的知识素养

当代高科技的发展使得现代信息从时间到空间、从质量到数量的增长，都是以往的时代所不可比拟的，而且还在继续加速增长。现代信息的激增，影响到现代人才成长的基本特点。现代科学既高度分化又高度综合的趋势，要求科学劳动者由某一方面的“专才”转而成为“通才”，其知识结构应该是T形结构，即这种人才是具有相当深厚专业知识基础上的博学多才者和具有宽厚基础知识前提下的专门人才，既有坚实的专业基础，又有广博的知识面和极强的思维能力，从而富有创造性。

（1）广博的文化知识。基础文化知识决定了一个人的知识视野，它是人才专门化的业务根底，并决定人才的综合素质和能力。一个人的基础文化知识越丰富，那么，他的思路就越开阔，思维就越活跃。基础文化知识一般包括人文知识和一般基础知识。人文知识是作为一个现代的文明人应该具有的文化常识，通常包括文学、历史、哲学、艺术等。“文化”，如果从本质上概括，就是人化，即对人的认识，是人在改造客观世界和主观世界的实践中，人类理性精神的外化和普遍化，所以人文知识同人文精神紧密地联系在一起。

在高科技、高物质的时代，人的精神力量相对于物质要求而言，发挥的作用更大，它可以在超越自我中，扩张立体思维的结构性功能，用心发掘自身的最大潜能。一个人的信念、意志和思想道德素质的形成和提高，离不开人文知识的熏陶和学习。

（2）宽厚的基础知识。基础知识是指专业以外的社会科学、

自然科学和思维科学等领域的知识。在人类社会由工业经济转向知识经济，由工业文明转向生态文明的大变革时期，人文与科学这两种知识也从融合、分离到重新融合。这一过程，对科学劳动者的知识结构也相应地产生了深刻而重大的影响。传统的工业社会，注重的是人才所掌握的专业知识，教育也注重于培养专才。然而仅有专业知识，即使是相当精湛的专业知识和技能，在现代社会也总是显现出人才的质量水平、个性特色、创新灵气和综合素质的种种欠缺。随着社会的发展和时代的进步，坚持人文精神和科学素养的融合，追求精深的专业和宽厚的基础知识的统一，应成为现代科学劳动者完善知识结构的总体思路和总体要求。

（3）精深的专业知识。在 21 世纪，社会经济和科学技术虽然趋向综合，但社会分工、学科分化和学有专长仍然是存在的、需要的。未来社会“通专”结合的人才，显然是广博与精深结合的复合型人才。但博是在专的基础上获得的，专是博的基础，博是专的前提。所以，人才无论博到何种程度，仍然是有专业倾向性的，也许专业倾向性会更多、更深刻一些。

未来社会的人才，从专业知识结构上看可以分解为三个要素：专业基础知识、专业主体知识和专业前沿知识。专业基础知识是从事某种专业必须具备的基础性知识，它是专业主体知识的根基。这个层次的知识越扎实、越宽厚，就越能促使专业主体知识的发挥。专业主体知识是指本学科体系的基本理论、基本规律、基本概念、基本原理和基本能力。专业主体知识越丰富，越精湛，就越能够有所建树，有所创新。专业前沿知识是指专业发展前景的相关知识，包括对学科专业发展趋势的分析与预测，从而了解本专业未来的变化。当今时代是一个知识爆炸的时代，知识的更新加快，任何一门学科的知识体系、结构、范畴、概念和实践环节的设计等，都将随着时代的发展而不断地充实、调整。因此，掌握精湛的专业知识的过程是一个不断深化、不断完善的动态过程。这就要求当代科学劳动者不断优化知识结构，超越时空，终身学

习；超越自我，提高自学能力；超越信息，掌握现代技术。

3. 科学劳动者的道德素养

爱因斯坦对居里夫人有过这样的评价：“第一流人物对于时代和历史进程的意义，在其道德品质方面，也许比单纯的才智成就方面还要大。即使是后者，它们取决于品格的程度，也远远超过通常所认为的那样。”[①]“居里夫人的品德力量和热忱，哪怕只有一小部分存在于欧洲知识分子中间，欧洲都会面临一个比较光明的未来。”[②]科学家的科研成果固然令人称道，但科学家所具有的高尚品格更令人钦佩和仰慕。

奥本海默和爱德华·特勒都是M·玻恩的学生。奥本海默因为是第一个铀原子弹产生的指导者而被称为“原子弹之父”，他后来认识到原子武器的严重社会后果，因此竭力阻止氢弹的生产。而特勒则竭尽全力帮助美国政府完成了氢弹的制造。玻恩把氢弹看成一种穷凶极恶的发明，他尖锐地指出：“像特勒这样留名于世的人物是历史的功臣还是历史的罪人，只有等待历史的裁决。”[③]尽管有这样才华横溢的学生是令人满意的，但是考虑到科学的目的和动机及科学运用的结果，玻恩倒希望他们宁可少表现一些聪明，多表现一些良知。

爱因斯坦和玻恩都同时提到科学的道德。现代科学技术发展的速度和规模都令人惊异，科学技术的社会后果难以控制，科学技术发展的结果很难预料。而科学劳动者是科学技术活动的主体，是科学知识的所有者，他们比任何人都更能科学地预见科学成果所带来的社会后果，而且随着科学对社会各个层面的渗透及科学

---

① 转引自〔英〕约翰·巴罗著，李新洲等译：《不论——科学的极限和极限的科学》，上海科学技术出版社，2000年，第172页。

② 爱因斯坦著，许良英等编译：《爱因斯坦文集》第1卷，商务印书馆，1976年，第339页。

③ 张德兴、桂起权：《哲人科学家：玻恩》，福建教育出版社，1996年，第216页。

在政治决策中的比重加大，科学家在越来越大的范围内参与或影响政府决策。因此，世界各国政府、科学家组织和科学家内部都十分重视科学道德建设，要求科学劳动者必须担负起他们的社会责任，恪守科学道德。1984 年制定的《乌普斯拉规范》指出，科学家应负有一种责任，应估计其研究的实际后果："……科学研究对于人类（包括人类对世界的描述和理解、人们的物质条件、社会生活和福利）是必不可少的重要活动，科学研究应有助于解决人类面临的大量问题，如核战争的威胁、环境的破坏以及天然资源分布的不平衡等等。……科学家一般并不能控制研究成果和应用。在很多情况下，甚至不能控制他们的工作计划。然而，这并不妨碍科学家个人致力于不断地对其研究的后果做出判断，并公开其判断，进而抵制他（或她）认为是与伦理相悖的科学研究。人们应着重考虑下面几个方面：① 应该保证所进行的科学研究及应用和后果并不引起严重的生态破坏。② 应该保证所进行的科学已有的后果不会对我们这一代及我们的后代的安全带来更多的危险，因此，科学成就不应该应用于或有利于战争和暴力。应该保证所进行的科学研究的后果不应与国际协议提到的人类基本权利相冲突。③ 科学家对认真地估价其研究将产生的后果并将其公开负有特殊的责任。④ 当科学家断定他们正在进行或参加的研究与这一伦理规范相冲突时，应该中断所进行的研究，并公开声明做出这一判断的理由。做出判断时就应考虑结果的可能性和严重性。"[①]

1988 年，在阿根廷的布宜诺斯艾利斯大学又通过了针对"科学、裁军与和平"问题的《布宜诺斯艾利斯宣言》。该宣言指出，在缺乏伦理控制的情况下，必须意识到科学和它的产物可能损害社会及它的未来。为此科学家们宣誓保证：我不会仅仅为了报酬

① 转引自付静著：《科技伦理学》，西南财经大学出版社，2002 年，第 95 页。

或声望而将自己的科研能力受雇于人，也决不会为了宣传雇主或政治领导人而去这样做，而只能是出自于我的个人信念和社会责任，它们基于我个人的知识以及环境和我对工作可能产生的后果的关心，因此我所承担的科学或技术研究纯粹只用于谋求社会与和平的最佳利益。

1996 年 6 月的世界科学大会通过的主要文件《关于科学与科学知识应用的宣言》和《科学提纲——行动框架》则又提出了如下规范：科学家要做出承诺，通过自身的行动，体现高标准的道德；国际科技界要制定科学家职业准则；科学家要承担对社会应尽的责任，保证高标准的科学公正性及科学产物的质量；与社会分享知识，与公众交流，并教育年轻一代。

以上科学家的道德原则和规范主要体现了要保证知识造福于人类和将科学用于人类可持续发展两个主题。1986 年，我国科协第二届全国委员会向科协第三次代表大会提出的工作报告中，提出了“献身、创新、求实、协作”的科技规范。总之，世界各地的科学工作者，“在一代又一代的科技工作者的倡导和努力下，形成了一定的科研道德原则与规范，如：追求真理，勇于创新；认真严谨，精益求精；热爱自然，珍惜资源；团结协作，乐于奉献；谦虚谨慎，敢于负责；合理检验，勇于怀疑；公正无私，诚实无欺；学术民主，竞争自由”[①]。

科技道德规范原则与规范是每一个科学劳动者都要恪守的职业道德准则，是建立在主体自觉的基础之上的。

4. 科学劳动者的心理素养

（1）成就事业的角色心理。优良的心理素质历来是科学劳动者事业成功不可缺少的条件。在优良的心理素质中，成就事业的角色心理又直接制约一个人的事业成功与否。所谓成就事业的角

① 刘大椿等著：《在真与善之间——科技时代的伦理问题与道德选择》，中国社会科学出版社，2000 年，第 125 页。

色心理主要包括以下几个方面：第一，树立合理的成就动机；第二，明确责任、找准位置；第三，参与竞争、培养自信。

（2）勇攀高峰的创新心理。创新心理素质是各种心理素质在最高水平上的综合。它主要指科学劳动者在科技创新中所必备的创造欲望、魄力和毅力。勇攀高峰的创新心理是当代科学劳动者必需的心理素质之一。科学技术的本质是创新，而创新更是当今高新科学技术的灵魂和源泉，是高新科学技术发展的不竭动力。江泽民同志对创新和科技创新作了高度评价，他说："迎接未来科学技术的挑战，最重要的是要坚持创新，勇于创新。我说过，创新是一个民族的灵魂，是一个国家兴旺发达的不竭动力。今天我还要说，科技创新已越来越成为当今社会生产力的解放和发展的重要基础和标志。"[①] 创新尤其是科技创新的关键是人才，是具有创新素质的知识人才。创新人才应该具备多种创新素质，如创新心理、创新思维、创新知识、创新能力等。当代科学劳动者必须具备的创新心理素质包括：健康、强烈的创造欲望；挑战传统、战胜自我的勇气；不畏艰险、追求真理的胆略和气魄。

（3）顽强拼搏的意志品质。未来社会是一个高科学高技术飞速发展的社会，在科学劳动者的成长道路上，将会遇到各种各样的困难。这就要求科学劳动者在掌握必备的知识技能的同时，要有知难而进、奋发进取的精神，要有百折不挠、持之以恒的意志品质。这种品质主要表现为具有积极进取的人生态度，具有一定的挫折承受力。

（4）和谐健康的情感心理。情感是在人类社会历史进程中产生的、与社会需要相联系的一种带特殊色彩的态度体验。人的情感具有鲜明的社会性，它反映着人们的社会关系和社会生活状况，并直接影响人的社会行为。科学劳动者的情感是丰富的，但看其是否具有和谐健康的情感心理，关键是两点：一是具有和谐的人

① 江泽民：《江泽民论科学技术》，中央文献出版社，2001年，第107页。

际关系；二是具有自我调控情绪的能力。

（四）科学劳动者的作用

1. 知识创新者

科学劳动者首先是知识创新者。所谓知识创新，“是指通过科学研究获得新基础科学知识和技术科学知识的过程”[①]。知识创新的目的是追求新发展、探索新规律、创立新学说、创造新方法、发明新技术、积累新知识。知识创新可以简单地概括为科学知识（主要是基础知识）创新和技术（主要是技术知识）创新两部分。

2. 知识应用者

知识创新是知识经济的基础，然而，科学技术知识作为一种观念形态，还是一种潜在的生产力，只有当其物化在生产过程和产品之中时，实现了科学技术的产业化，才能成为现实的生产力，所以马克思称现实的生产力为“物化的知识力量”。这个科学技术知识的物化过程，或者说产业化过程，就是知识的应用。由于经济的全球化和科学技术的高速增长，所以，经济竞争十分激烈，产品的更新速度十分快捷，大到一个国家，小到一个企业，要提高竞争力，就必须加大创新力度，不断推出新技术产品和技术产业。为适应这种竞争，世界发达国家都十分重视科技成果的转化和高技术的产业化，这也是我国实现生产增长方式的转变和实现现代化的关键环节。

3. 知识传播者

知识传播，是指知识信息通过跨越时空的扩散，在不同个体间实现知识共享的过程。知识传播对于科学技术的发展和社会的进步具有十分重要的作用。任何知识最初都只是科学家的“私人知识”，不通过传播扩散和输送到社会，它就不能转化为“社会共享的知识”，不能为人们所用并通过人们的社会实践释放其内含的

① 钟可元：《国家〈知识创新工程〉纲要（上）》，见《中国科学报》1998 年 4 月 8 日。

巨大力量。

知识传播一般可以分为三种类型，分别承担不同的任务，即专业交流中的知识传播、科技教育中的知识传播、科技普及中的知识传播。

二、科学仪器

科学仪器是科学认识活动中的一个不可缺少的要素。现代科学认识中所使用的科学仪器种类日益繁多，水平越来越高，作用也越来越大。

（一）科学仪器的性质

1. 科学仪器是为实现科学认识的目的而创造和使用的人工制造物

科学仪器是根据一定社会历史条件下科学研究的实际需要，利用客观物质的不同属性和自身的发展规律，通过人的有目的的对象活动而被创造出来的一种物质技术手段。

2. 科学仪器是人的肢体、感觉器官和思维器官的延伸

或者说它是人的躯体之外的认识工具。

感官是人类通向外部世界的窗户，没有感官，当然就谈不上什么观察和实验了。但是，人的感官本身存在一定的局限性。主要表现在感官的感觉只能接受一定范围的自然信息。研究表明，人的视觉器官能够感受到的电磁波，通常在 390～750 毫微米之间，肉眼看不见紫外线、红外线、X 射线等。

但是，感官的局限性并不意味着人类的认识能力有固定的界限，科学仪器弥补了人的生理感官的不足，帮助人类扩大和改进了自己的感官器官，大大丰富了感性认识的内容。人们贴切地把科学仪器比做人的感官的延长。

随着科学实践的深入，科学研究的规模和深度都将继续发生新的变化。人们为了实现新的、更加宏伟的目标，必将发明和制

造出更高水平的科学仪器，其结果将使得科学仪器延伸和强化人的肢体、感觉器官和思维的性能更加充分地显示出来。

3. 科学仪器是科学理论和科学方法的物化

（1）科学仪器作为科学认识的一种物质手段，它是为科学劳动者达到某种目的而发明和制造的。科学仪器如果离开了一定的科学目的，那么它只是一堆毫无活力的、对科学认识毫无意义的东西。然而，一定的科学目的又总是受时代的科学理论水平和科学方法的制约，它必须以一定的科学理论知识为背景，使用一定的科学方法，才能被确定。因此，科学仪器的产生和发展，同科学理论和科学方法有着密切的关系。

（2）科学仪器的设计、制造、选择、组合和应用，也同科学理论和科学方法紧密相关。在今天，没有先进的科学理论知识，没有高度发达的工业生产技术，就根本不可能设计和制造出现代化的科学仪器，更谈不上仪器的选择、组合和使用了。因此，从本质上说，科学仪器是人类理性的创造物，是人类智慧的物化和凝结。

（二）科学仪器的类型

1. 作为感觉器官延长的科学仪器

例如，光学望远镜、射电望远镜是人的眼睛向宏观方向的延长；放大镜、显微镜是眼睛向微观方向的延长。

2. 作为肢体延长的科学仪器

例如，各种镊钳、传动机、工具机和机械手等都是人的肌肉和手脚的延长，推而广之用于科学实验的各种运载工具，如车、船、飞机、火箭、飞船、卫星以及各种航空、航天和宇航器械等，也都可视为是肢体的延长。

3. 作为思维器官延长的科学仪器

例如，各种计算机，从简单的加法器到数字计算机或电脑，以及信息储存器、人工智能机等，都可以看做人的思维器官的延

长。

（三）科学仪器的作用

1. 科学仪器具有延伸人的认识器官的功能

作为人类器官的延长，科学仪器的实际作用也就是加强和完善人类器官的这些作用。主要表现为如下四个方面：

（1）科学仪器能够帮助人们超越肉体感觉器官的局限，扩大接收和传递信息的能力。人类原有的感觉器官在接收和传递自然信息上有很大的局限性，但是，随着科学仪器的发明和使用，这种生理条件造成的“认识界限”一再被冲破。科学仪器的这种作用表现在不断扩大可观察的时空尺度上，表现在科学仪器可以克服人类感官的感觉局限上。科学仪器作为感觉器官的延伸，确实扩大了人们科学认识的视野，帮助人们接收和传递更多的自然信息，从而在广度和深度上极大地增强了人类器官的认识能力。

（2）科学仪器能够弥补人类器官接收和传递信息精确度上的不足。人类的感觉器官往往带有主观模糊性，比较粗糙，不够准确，只能作定性的估计。但是，科学仪器能够通过引进客观的计量标准，克服人类感觉的主观性，将单凭感官本质上不可量度的运动变为可以精确量度的运动，并且能够通过改进仪器的精度，减少客体信息的衰减和失真，从而能够使人们获得更多、更精确的科学信息。

（3）科学仪器能够帮助人们处理、加工各种信息，部分地代替人的脑力劳动，从而提高思维效率。现代科学除了给人类提供了远远超过人类肉体感官的极其复杂的和高级的技术感官外，还提供了非常丰富的信息资料，这就要求人们的智力（计算、记忆、分析的能力）也相应地发展起来。在现代科学研究中，许多时候单靠人脑的某些机能，已经不足以应付了，这就迫切需要把人脑加以延长，电子计算机正是在这种情况下应运而生的。

（4）科学仪器能够帮助人们检验某些作为理论假设的科学信

息在科学理论确立的过程中起着相当重要的作用。科学理论的确立，往往要经过“假说”这一环节。科学假说必须通过科学实验的检验，才能转化成确实可靠的科学理论，而恰恰在这种假说向理论的发展过程中，科学仪器往往也起着十分关键的作用。这在现代自然科学中表现得尤为突出。

2. 科学仪器是提出和实现科研目的的现实条件

科学仪器的这种作用首先表现在，科研目的的提出依赖于科学仪器，并受科学仪器的制约。一定的科学仪器的设计、制造和使用，都是服务于科研目的的；反之，又可以说这种科研目的是科学仪器的产物。

科学仪器对科研目的的作用的另一个表现在于，科研目的的实现总得依赖于一定的科学仪器。通常认为，任何科研目的都是科学劳动者认识、改造或创造客体的要求，是人的主观观念。这种目的，不管它是微小的还是宏伟的，如果没有必要的科学仪器的“接引”或“引渡”，它就永远无法摆脱它的观念形式。

总而言之，科学仪器作为科学认识活动中一个必要的要素，作为科学劳动者的有效手段，在科学认识系统中占有十分重要的地位。它跟科学方法一起构成了实现科学认识的必要工具，推动着人们认识自然、改造自然的斗争的不断深入和发展。

三、科学对象

科学对象是人们进行科学认识活动的客体，凡是科学劳动者进行科学认识的外部世界都是科学对象。每一门自然科学都以自然界的一定领域为自己的对象，以这个领域固有的运动形式及其特殊的联系和规律性作为对象。

（一）科学对象的内容

客观世界是无限复杂的，这种复杂性造成了科学对象内容的

丰富性。科学对象的内容从不同的角度可以表现为不同的类型：

1. 物质性对象和精神性对象

根据认识对象的属性，可以将其分为物质性对象和精神性对象。物质性对象和精神性对象自然界是一个统一的物质世界，人类的科学认识从根本上说就是认识物质世界及其运动规律。所以，物质性对象是最主要、最基本的科学对象。精神性对象包括意识和思维活动的成果两类。

2. 天然对象和人造对象

现实的科学对象是与人们建立了认识关系的客体，按其与认识主体相互作用和相互联系的方式，可以区分为天然对象和人造对象这两个不同的层次。

天然对象。天然对象又分为天然劳动对象和天然科学对象。所有那些通过劳动只是同土地脱离直接联系的东西，都是天然存在的劳动对象。对于生产劳动来说，从海洋中捕获的鱼，从原始森林中砍伐的树木，从地下开采的矿石，等等，都称为天然劳动对象。同样，对于科学认识来说，凡是通过科学实践活动能够从周围自然界中分离出来，而被我们所认识的天然物，都是天然的科学对象。

人造对象。通过人类的实践活动，许多天然物质根据人们的目的而被加工、改造、重组，变成了新的物质客体。例如，飞机、导弹、钢铁、电子计算机、塑料、杂交水稻，等等。这些东西原来在自然界中并不存在，而是人类按照自己的需要，根据一定的自然规律创造出来的，它们是凝结着人类智力和体力的新物，成为科学认识的重要对象，这就是人造对象。人类认识自然的根本目的就是为了利用和改造自然，不断为人类提供利用和改造自然的工具和材料，而这些工具和材料就变成了人工的科学研究对象。

（二）科学对象在科学认识中的地位

1. 科学对象是科学认识的客观前提

科学认识是科学对象在人们头脑中的反映。要进行科学认识不仅必须有认识的主体——科学劳动者，而且必须有认识的客体——科学对象。自然科学的内容是由科学对象的客观规律所决定的，离开了作为认识客体的科学对象，科学认识就成了无源之水、无本之木，根本不能进行。所以，科学对象是科学认识的客观前提。

人们只有在一定科学对象存在的前提下，在与科学对象相互联系和变革的作用中才能认识它。所以，科学的内容来源于科学对象，人们在科学认识中的主观能动作用正是在科学对象的客观基础上发挥和表现出来的。

2. 科学对象是问题和答案的载体

科学发现一般起始于问题的产生，而这种问题往往是由于科学实践的发展使新的科学对象进入了人们科学认识的领域，它们的属性和运动形式又是当时的科学理论所不能说明或不能完全说明的，这就产生了理论与实践、主观与客观的矛盾，这些矛盾引起了科学家的怀疑、惊奇和思考，促使他们进行新的科学探索。所以，科学对象往往都是以带着问题的客体形式与认识主体发生联系的，科学对象也就是问题的载体。

3. 科学对象作为科学认识客体规定科学认识主体

在科学认识中，主体与客体是一种对象性的关系，主体是相对于客体而言的，客体是相对于主体而言的。科学劳动者在对应关系中才能存在，科学劳动者只有通过科学对象才能获得作为认识主体的规定性。

（1）一定的科学对象是科学劳动者智力水平的标志。改造自然的实践一方面把现实的科学对象从客观自然界中分化出来，一方面又把科学劳动者从一般的生产者中分化出来，两者息息相关，相互对应，都是人类社会实践的历史产物。

（2）科学对象是决定科学劳动者在认识活动中的组合方式的

一个重要因素。科学劳动者在认识和变革科学对象的过程中有自己特有的活动方式和彼此间的组合方式，这些方式的形成和发展也为科学对象本身的特点所决定。在近代科学的初期，科学对象都是一些简单的物质客体，科学研究工作也大多局限于个别科学家，其规模形式类似于一个手工者的作坊，只能进行一些小规模的、简单的实验。 随着科学对象的日益复杂，这种手工业作坊式的研究已不能满足科学认识的要求，科学实验日益成为一项专门的社会事业，大学、工厂，以至国家，为了科学研究的需要不断建立了专门的实验室和科研机构。

（3）科学对象决定科学劳动者要以科学工具充实自己。科学劳动者拥有科学工具（包括科学仪器和科学方法）乃是科学认识主体的本质特征。科学劳动者依据一定的认识目的，运用一定的科学工具，对特定的科学对象进行联系和变革，才能取得关于科学对象的信息。无论科学工具的产生还是运用，都体现着科学对象和科学认识主体的要求。科学手段的运用既然依赖于认识一定科学对象的目的，因而科学对象本身的性质就决定了人们所运用的科学手段的不同特点。目前，人们对地球以外的物体尚不能进行有效的干预，因而天文学所采用的方法主要是观察；而在对微观粒子的观察中这种外界的干预又是不可避免的，因而微观粒子性质的表现形式就必须与观察手段紧密联系，必须运用与经典物理学不同的量子力学方法才能揭示出来。由于科学对象的不同，在科学认识中就形成了各具特点的认识手段和方法，如物理方法、化学方法、生物学方法等。

（三）科学对象在科学认识中的作用

1. 科学对象对科学分类的重要作用

在人类对客观世界认识的过程中，各门学科相继独立和分化，这就产生了如何把各种知识系统化、建立科学体系的问题。科学分类就是考察各门学科之间的区别和联系，确定每门科学在人类

科学认识总体中的地位，揭示整个科学内部结构，从而建立起相应的分类体系，这与当时人类的科学认识水平是相互适应的。在这里，科学对象是科学分类的一个决定因素，一定历史时期科学对象的性质决定了那个时期科学认识的内容，从而在一定程度上也就决定了那个时期的科学分类体系。

2. 科学对象的发展促进了新学科的出现

“科学研究的区分，就是根据科学对象所具有的特殊的矛盾性。因此，对于某一现象领域所特有的某一种矛盾的研究，就构成某一门科学的对象。”[①] 科学实践的发展不断揭示了各种现象领域所具有的新的矛盾，提供了新的科学对象，迅速扩大着人类已知的现实世界的领域。这就迫使人们不断改变原有的科学分类方式，促使科学理论的变化和发展，导致新学科不断涌现。只有当揭示出新的科学研究对象的时候，才能证实出现了新兴学科或新的学科分支。例如，科学洞察原子的奥秘，导致建立了原子物理学，而合成化学的产生是与新的化学合成材料的发现密切相关的。

3. 科学对象对运用科学手段的重要作用

人们要认识科学对象的本质及其规律就必须借助于一定的科学手段，运用科学手段的目的，就是为了能从科学对象中取得一定的信息，从而获得关于科学对象的知识。所以，科学对象对于科学认识所运用的手段也起着重要的作用。这主要表现在：认识科学对象是运用科学手段的目的；科学对象的变化推动了科学手段的发展；科学对象对科学概念和理论的建立和发展有重大作用。

科学对象对于科学认识的作用是通过人类的科学实践表现出来的。作为客体的科学对象与作为主体的人类理论思维，在科学实践的基础上得到统一。这是一个永不停止的具体的历史过程。

① 毛泽东：《毛泽东选集》第 1 卷，人民出版社，1972 年，第 207 页。

参考文献

[1] 刘大椿著. 科学哲学. 北京：人民出版社，1998

[2] 付静著. 科技伦理学. 成都：西南财经大学出版社，2002

[3] 陈昌曙主编. 自然辩证法新编. 沈阳：东北大学出版社，2001

[4] 黄天授等主编. 现代科学技术导论. 北京：中国人民大学出版社，1995

[5] 饶定轲等主编. 当代科技革命与知识分子. 北京：中华工商联合出版社，2002

[6] 杨光华等主编. 自然辩证法导论. 南昌：江西人民出版社，2002

[7] 肖峰著. 论科学与人文的当代融通. 南京：江苏人民出版社，2001

[8] 舒炜光等主编. 自然辩证法原理. 长春：吉林人民出版社，1984

第五章　历史科学技术观

第一节　自然科学的发展模式

一、科学发展的基本矛盾

辩证唯物主义认识论认为，人的认识活动是在实践和认识的矛盾中展开的。自然科学作为特定的认识活动也不例外。早期的自然科学主要以生产实践为认识的源泉，到了近代，科学实践兴起并脱离生产过程成为独立的社会实践，自然科学也越来越依靠科学实验作为主要的认识源泉。因此，近代自然科学是科学实验和科学理论的矛盾统一体。理论是在实验提供的经验材料基础上进行科学抽象的结果，实验是在理论指导下，在问题的启发下，有目的地寻求验证和发现的实践活动。理论和实践是相互联系、相互渗透、相互统一的。但这种统一又不是绝对的，而是相对的、可变动的。有时理论比实践超前些，有时又落后些，需要不断调整，以保持和谐一致，这表现为科学的进化过程。但当新的实践发现和原有理论框架发生尖锐矛盾时，便意味着旧的统一体已不能原样维持，预示着科学理论将有新的突破，这就表现为科学的革命。自然科学理论形态经过量变或质变，使理论和实践经过从统一到不统一、又由不统一到新的统一的无尽发展过程，究其根源，都在于科学理论和科学实践的矛盾构成的“自己运动”和“自己发展”。

在实践和理论这对矛盾中，科学实验作为科学认识的源泉和检验科学理论真理性的标准，一般来说是矛盾的主要方面，是最活跃的因素。它往往不顾原来理论的“安排”，带来意想不到的信

息，引起科学理论发展方向的转移。如迈克尔逊—莫雷检验以太的实验，本来是要证明以太的存在，却出乎意料地带来否定以太的结果，更料想不到这一“失败”竟成了物理学革命的契机。许多理论上的创新，表面看来似乎是理论自身的发展，其实都立足于坚实的实验基础之上。如爱因斯坦的狭义相对论被称为“疯狂”的思想，其实他的前提是一老一新的两个重要科学事实：运动的相对性和光速不变。这里，我们并没有否认理论的相对独立性，因为理论一旦具备了完整的逻辑形态之后，也会逻辑地引出新的理论观点和科学预见。如麦克斯韦通过数学演绎发现电磁场运动方程，预言了电磁波的存在，就是近代科学发展的范例。当然，这些理论和预见的客观真理性归根到底还得通过科学实验的检验。

自然科学内部还有其他一些重要矛盾，也作为内部动力推动着自然科学的发展，如科学中不同理论观点（学派）的矛盾、各门自然科学之间发展之平衡的矛盾等。

在科学研究中，即使对同一研究对象甚至同一科学事实，由于研究者的世界观、研究方法、依据资料的不同，以及理论概括中能动性的差异，也会产生参差不齐的认识，引起不同学术观点、理论的争论。特别是在探索的前沿，往往更是假说林立，学派丛生。这种现象完全合乎认识发展的规律，“因为人的全部认识是沿着一条错综复杂的曲线发展的”[①]。严肃的学术争论是推动科学认识发展的有利因素，它有利于人们保持清醒头脑，克服偏颇之见，有利于较快、较全面地发现真理。

在各个历史时期，由于科学自身性质和社会经济需要的条件各异以及实验手段的完备性、理论和方法的成熟性的不同，各学科的发展总是不平衡的。在这些方面领先的学科，被称为该时代的带头学科。带头学科由于率先地、较好地做出对自然的解释，

①《马克思恩格斯全集》第 20 卷，第 584 页。

它的理论和方法就成了当时其他学科的解释性基础和方法论范例，因而能对其他学科起推动和改造的作用。如在牛顿力学鼎盛时代，它特有的用“质点”机械运动来理解世界的说明方式，就几乎风靡一切发展中的学科。苏联哲学家凯德洛夫据此提出科学发展的带头学科更替理论。按他的分析，近代自然科学诞生以来第一个带头学科是力学，接着让位于一组学科：物理学、化学、生物学；20 世纪起，第三个带头学科是微观物理学，第四个带头学科又是一组学科：控制论、原子能科学、宇宙航行学。他还预测未来第五、第六个带头学科是分子生物学和心理学。他发现随着科学的加速发展，带头学科的延续时间也将逐次倍减。[①] 他提出的带头学科总是处在该时代人类实践需要和科学发展逻辑的交点上，同科学史实是基本相符的，对未来科学发展预测也有一定的启示。

二、科学发展的主要形式

在科学内部基本矛盾的推动下，科学的发展在纵向（时间轴）上表现为渐进与飞跃两种基本形式的辩证统一，在横向（空间轴）上表现为分化与综合两种基本趋势的辩证统一。

科学发展的渐进形式就是科学进化的形式，主要指在原有科学规范、框架之内科学理论的推广，局部新规律的发现，原有理论的局部修正和深化等。科学发展的飞跃形式就是科学革命形式，主要指科学基础规律的新发现，科学新的大综合，原有理论框架的突破和新理论体系的建立等。

科学史告诉我们，科学总是在一定理论基础或一定世界总图景指导下的相对平静时期（科学进化时期）同理论基础、世界图景更新的剧烈变化时期（科学革命时期）的不断交替中发展的。

---

① 参阅凯德洛夫：《自然科学发展中的带头学科问题》，见《社会发展和科技预测译文集》，科学出版社，1981 年。

如天文学从地心说到日心说，又从以太阳系为中心的天文学进到以宇宙岛为尺度的天文学；生物学从物种不变论进到生物进化论，从宏观上把握生物的历史发展又进到分子生物学从微观上探求生命运动的根本机制；物理学从亚里士多德自然哲学的物理学到伽利略、牛顿以实验为基础的力学，再到把物质、运动、时空完整统一描述的爱因斯坦相对论力学，都是科学理论和世界图景的更新。在科学发展历程中，经验材料、科学事实总是在不断积累，这是一个连续的过程。但说明方式、理论形态则几经更迭，在继承中有批判创新，又是连续中的不连续，如此构成人类对自然界不断扩展和深化的辩证认识运动。

科学发展的基本形式还表现为通过分化与综合的矛盾运动，使科学日益走向多样化和整体化。

自然界是“一幅由种种联系和相互作用无穷无尽地交织起来的画面”[①]。人类认识自然界的途径就是用分析—综合—再分析—再综合的方法去无限地逼近它。科学史上的每一次分析和综合都标志着人类认识自然的进步。文艺复兴以后，人们把自然界分为无机界、有机界，又把无机界按运动形式分成不同门类，把有机界按其不同解剖形态进行研究。基于这种分析研究造成了科学的学科分化，带来了科学的蓬勃发展。由于认识的根本目的在于把握在总体上相互联系的自然界，所以，在认识了自然界各个部分、各个侧面之后，科学的进一步发展就要求进行综合性的概括，创造综合性的理论。如哥白尼把古代天文观测知识综合为日心说体系，道尔顿把化学经验规律整理为以化学原子论为基础的理论，牛顿把刻卜勒行星运动规律和伽利略力学综合为牛顿力学体系。19 世纪中叶的三大学说：细胞学说、能量守恒和转化原理、生物进化论，更是达到了物理学、生物学方面更大的综合。自然科学每次综合的理论成果，都使人类对自然界的认识更深入

①《马克思恩格斯选集》第 3 卷，第 60 页。

一步，同时又是对自然界进行再分析的新的出发点。科学分化和科学综合的辩证运动，一方面使得科学的分支日趋繁多、精细，另一方面又使科学在不同范围、不同层次上结合为有机整体，形成更为深刻、更带普遍性的理论，从而越来越深刻、全面地反映自然界。

20 世纪以来，自然科学发展突出表现为分化的步伐大大加快，大小学科分支数以千计，其专业化程度也越来越高。这种高度分化的形势掩盖了当代科学发展更加强大的另一种趋势——高度综合。其实，当代科学发展的重要特点正在于它既是高度分化的，同时又是高度综合的。这是因为当代产生的新学科大部分是边缘学科、交叉学科，还有一些为数不多，却具有强大整合作用的横断性质的学科，如系统科学、信息科学等。它们都兼有分化和综合的双重功能。一个新的边缘学科、交叉学科和横断学科的创立（即分化），同时也就架起了某些学科之间的桥梁，从而有助于把原来离散的学科交织为有机的整体。

科学发展的渐进与飞跃的形式、分化与综合的形式，还往往对应出现。当科学发展主要趋势是分化时，科学发展一般表现为渐进的进化形式；当科学进行理论的综合时，往往标志学科或整个自然科学的飞跃或革命时期的到来。这也表明科学的纵向和横向发展形式之间是存在着内在联系的。

三、关于科学发展一般模式的评述

科学发展模式是关于科学发展的规律性、主要特征和内在机理的概括与描述。它所回答的主要问题是：科学是怎样发展的？科学发展的一般形式是什么？什么是科学知识增长的动因和机制？等等。科学发展的模式历来是科学和哲学探讨的重大理论问题之一。一个成功的科学发展模式不仅能合理地解释科学发展的历史过程，而且能从本质上深入揭示科学发展的规律性。近代以来的科学哲学家们提出了多种科学发展的模式，反映了科学研究

的时代特点，值得我们研究和借鉴。

从弗·培根到逻辑实证主义的科学发展观曾统治科学界和哲学界达数百年之久。他们按照归纳主义观点来说明科学知识增长的特征，认为科学知识来自对经验事实的归纳，科学发展就是通过归纳获得的科学知识的不断增加，因此，科学发展是一个渐进积累的直线发展过程。其中没有渐进的中断，没有革命；观察事实越多、越深入，通过归纳逻辑得出的科学定律或理论越被高频率经验证据所证实，那么它就越普遍，解释力和预见力越强，所包括的非科学的错误成分也越少。库恩用批判的眼光对这种归纳主义科学发展观评价说：按照这种观点，“科学的发展成了一点一滴的进步，各种货色一件一件地或者一批一批地添加到那个不断加大的科学技术知识的货堆上”[①]。逻辑实证主义的科学发展观也勾画了一幅积累式的科学发展图景，它虽然从一个侧面反映了科学不断进步的总趋势，但其根本缺陷是忽视了科学中的革命，因而不能解释人们怎样提出逻辑上和传统理论不同的革命性新理论。

20 世纪 50 年代以来，许多科学家和科学哲学家对逻辑实证主义的这种直线式积累的科学发展观进行了批判，并提出了新的科学发展模式，其中最有代表性的是波普的证伪主义模式、库恩的科学革命论模式和拉卡托斯的科学研究纲领模式等。

波普从证伪主义出发，否定了逻辑实证主义的逐渐积累的模式。他认为，理论不能通过归纳得到证实，但却能被证伪。科学的发展是理论不断被经验反驳和证伪的反复过程，猜测和反驳是科学发展过程中最基本的环节。科学发展的历史就是大胆地提出假设，通过证伪，然后推翻理论的过程，科学知识的增长就是不间断地革命。在此基础上，他提出了科学发展的模式：

$$P_1 \rightarrow TT \rightarrow EE \rightarrow P_2$$

① 库恩：《科学革命的结构》，上海科学技术出版社，1980 年，第 1 页。

即：科学从问题（P_1）开始，经过试探性理论（TT），又经过批判性检验，排除错误（EE），进而提出新的问题（P_2）。这四个环节循环往复，推动科学不断前进。

波普的科学发展模式包含着一些合理思想。第一，他把科学看成一个永不止息的动力学系统，强调科学发展是一个不断革命的过程；他反对逻辑实证主义仅仅对科学进行静态的逻辑分析，强调从动态角度去揭示科学知识增长的机制，从而在现代科学哲学的发展中开了动态研究科学发展模式的先河。第二，他把“问题”看做科学发展的动力。从问题 P_1 开始，又以新的问题 P_2 结束，问题是认识的起点，又是认识的终点，它推动着科学认识的发展。波普说的问题就是矛盾或不一致，其中包括：新的观察事实与旧理论之间的矛盾；理论与理论之间的矛盾；同一理论自身内部的矛盾。有了这些问题或矛盾，人们便进行猜测，试探做出解答，提出理论。因此，问题是科学探索的起点和主攻方向，善于发现问题是科学取得成果的首要步骤。第三，他强调发挥思维的能动作用，主张在科学探索中要大胆猜测，反对狭隘的经验论。波普把试探性理论（TT）作为科学发展模式的第二个环节，认为试探性地解决问题就要大胆猜测，这种猜测既不受理论约束，也不受感觉经验制约。他说：“对于科学，最基本的是，它是由尝试性的、假说的、推测的理论所组成。这意味着任何理论，不管它曾经获得何等的成功，也不管它曾经经受过何等严格的检验，都是可以被推翻的”。[①] 因此，在科学中不要被旧理论束缚而不敢越雷池一步，而要提倡不怕犯错误、勇于突破旧框框和敢于创新的精神。他竭力反对归纳主义的如下看法：科学是“水桶理论”中的一点点地装满经验材料的容器。他认为，科学理论本质上是一种猜想，是在灵感、直觉等非理性因素的激发下，对自然界普遍性的大胆

① G·怀特劳编：《爱因斯坦对我的科学观的影响——波普访问记》，见《自然科学哲学问题丛刊》，1980 年第 3 期。

猜想。为了解决问题，人们设想的尝试性理论往往需要若干个，以便在相互竞争的假设或理论中进行筛选、择优。这种观点对于鼓励创造性思维、反对狭隘经验论、推动科学的发展都有重要意义。第四，他强调革命的批判性精神，认为科学只有在不断批判、不断否定中才能前进。波普科学发展模式的第三个环节是经过批判性检验，排除错误（EE）。他认为只有通过批判的检验，才能真正通向真理的轨道。这不仅是因为理论本身不完善，需要证伪它、反驳它，而且更重要的是因为只有通过批判才能消除错误，“从错误中学习”。波普在强调对理论进行无情的批判和否定时，指出在知识领域不存在任何不向批判开放的东西，即使权威也应经受批判的洗礼。科学家不仅应有敢于批判和否定别人理论的精神，而且应有批判和否定自己理论的勇气。因而，科学的发展机制总是表现为不断批判，不断否定，不断革命。他说：“科学进步是革命。科学的箴言可能正是马克思所说的‘不断革命’。”[①] 波普的科学发展模式给我们勾画了一幅科学知识在矛盾斗争中发展的图景，反映了 20 世纪科学革命中知识增长的动态特征。

波普的科学发展模式也存在着许多缺点和错误。第一，他在强调科学通过批判、否定而前进，通过“不断革命”而发展的时候，却否认科学知识的继承和积累，否认科学发展包含着量变渐进的过程。他用间断出现的对传统理论的证伪来代替科学发展的全貌，显然是一种片面观点。第二，在证实和证伪的关系上，他过分强调两者在逻辑上的不对称性，而忽视了在实践检验中两者的对称性和复杂性。正如实践标准具有相对性和绝对性一样，证伪和证实都既有相对性的一面，也有绝对性的一面，而决不像波普认为的那样证实是相对的，证伪是绝对的。同时，研究证伪和证实的关系，决不能离开人类从事科学研究的目的——按照自然规律去改造自然、驾驭自然，从而为人类服务。证伪一个理论不

① 波普：《科学革命的合理性》，见《世界科学丛刊》，1979 年第 8 期。

是科学研究的最终目的，它归根结底是服务于寻求科学真理。第三，他在否定机械的纯粹观察时，连观察实验的客观性和可靠性也否定了，这等于否定了观察、实验是产生科学理论的基础。当然，简单地归纳观察在科学认识中的地位和作用，这实际上就在科学认识的来源问题上接受了康德“理性给自然立法”的先验论观点，即认为普遍性和规律性不是来自自然界，而是来自人的理性。第四，波普在科学发展的模式中过于强调猜想、想像、灵感在科学假说中的作用，却忽视了逻辑思维在提出假说中的作用，这种观点是片面的。第五，在归纳和演绎的关系上，他在反对归纳主义、推崇演绎法的同时，却片面地否定了归纳法的作用。其实，在从经验事实上升到理论的过程中，归纳法仍是一种重要的行之有效的逻辑方法，当然它需要与其他逻辑方法配合使用。波普不能辩证地对待各种逻辑方法，也是他的哲学陷于困境的原因之一。

库恩是西方科学哲学中历史主义的代表人物之一，他强调科学哲学应到科学史中寻找材料。从这一观点出发，他既反对归纳主义的科学发展观——以静态的观点去研究科学发展的历史，看不到科学发展史中的革命和质变，也不同意科学发展的证伪主义模式，认为它抹杀了实际存在的常规科学的长期积累。库恩用历史的方法，从动态角度考察科学发展的机制和规律，1962 年在《科学革命的结构》一书中提出了他的科学发展模式：

前科学→常规科学（形成范式）→反常→危机→科学革命（新范式战胜旧范式）→新常规科学……

在这一模式中，他用“范式”（Paradigm）来说明科学理论的发展。“范式”在库恩的著作中有多种不同的解释，没有精确的定义，一般是指科学家集团的共同信念、共同传统、共同理论框架以及理论模式、基本方法等。“范式”是库恩科学发展模式中的主要理论观点，也是理解这一模式的关键。

所谓前科学，就是尚未形成该学科“范式”的原始科学阶段。

它的特点是：从事同类学科的研究者对共同研究的问题基本观点很不一致，各种理论长期争辩和竞争，没有为大家所接受的公认理论，也就是没有形成该学科的“ 范式 ”。

常规科学阶段。科学家们经过长期的研究和争论，形成了公认的范式，并依靠共同信仰的范式把大家统一为一个科学共同体。范式的产生是一门科学达到成熟的标志，这种形成了范式的成熟科学就是常规科学。常规科学活动本质上就是科学共同体在范式支配下的一种“ 解难题活动 ”，它集中研究范式内肯定有解的难题，并提供解决难题的方法。常规科学活动的任务是不断验证和发展范式，促进范式不断自我完善和自我发展，这是科学渐进性发展时期。

反常。科学探索中新事物是层出不穷的，当科学家们发现了范式预期之外的新事物、新现象、新规律，用范式难以解释，这就是反常现象，即出现了与原有范式相矛盾的客观现象。反常的出现，推动更多科学家通过观察实验搜集更多的反常去证实反常。科学史表明，反常的科学发现必然包含了范式理论的更新和革命。

危机。当反常现象大量出现，并成为常规科学无法解决的难题时，人们开始怀疑范式，失去对范式的信任，科学共同体开始分化，这时才有可能打破旧范式的统治转向接受新范式。由于受旧范式支配的常规科学面临生死存亡的考验，反常势必导致危机。

科学革命。危机发生后，一些思想解放、具有革命批判精神的成员，就不再盲目迷信旧范式，而是勇于创新，去建立新理论、新范式以取代旧理论、旧范式，以解释和吸收反常。科学革命就是用新范式战胜和取代旧范式，冲破旧理论，建立新理论。

新常规科学。科学革命以后，科学即转入新的常规科学，进入了在新范式指导下的渐进式发展。科学史就是常规科学和科学革命不断交替的过程，循环往复，永无止境。

库恩认为，与科学发展的交替过程相适应，科学家要在发散

性思维和收敛性思维之间保持“必要的张力”。科学革命阶段突出发散性思维，常规科学阶段突出收敛性思维。

库恩结合科学史的长期深入研究，对科学发展的模式提出了许多精辟的见解，其中包含了不少合理因素。首先，他提出的科学发展模式，既不是传统归纳主义的“渐进积累”，也不是波普的“不断革命”；而是克服了上述两者的片面性，综合了两者的合理因素，提出了常规科学和科学革命的相互交替、新旧范式不断更替的模式。他的模式在一定程度上反映了科学发展历史过程中实际存在的量变（常规科学）和质变（科学革命）、肯定和否定的辩证关系，从理论形态上表达了科学家们朴素的科学革命观。这对我们理解历史上的科学革命是有启发的。其次，他的范式理论提出了一种新的科学观：科学不是停留在已有的知识体系上，而是不断探索新知识，放弃旧范式、旧理论，接受新范式、新理论的创造性活动。因此，库恩高度赞扬青年人在科学共同体范式转变中的先锋作用：他们较少保守思想，思维敏捷，勇于创新，乐于接受新鲜事物，坚定地献身于新理论、新范式。第三，他从科学史的研究中看到，科学作为一种社会事业，其发展受科学内部因素和科学外部因素相互作用的制约。因此，他不仅把范式看做认识论上的知识体系，而且看做知识的社会形式、科学共同体的信念和行为规范。范式不仅要依靠它本身的科学性，而且要依靠心理学的、社会学的条件——科学共同体对范式的信念以及社会的政治、经济条件，文化因素等。

在库恩的科学发展模式中也存在着一些重大的缺陷和错误。首先，在认识论方面，他只承认知识的相对性，否认科学的客观真理性，从而陷入了相对主义和主观主义。他认为，范式不过是科学家解难的工具，不同范式之间没有什么真理和谬误之分，科学革命中新旧范式的交替，并不表明人类的认识更加逼近客观真理。他不承认科学理论的客观真理性，因而也就否认了科学的客观进步性。其次，在范式的产生问题上，他片面夸大了非理性因

素（如直觉、灵感和社会心理等）的作用。他认为，新理论、新范式的产生，不是科学家在实践基础上对客观对象深入探讨的理性思维的结果，而纯粹是个人灵感、直觉的产物。他还认为，新旧范式基于不同信念，具有不可比性，范式转移是“格式塔”式的心理转变。这样，无论范式的产生还是范式的转换都具有浓重的非理性的色彩。再次，库恩把他的科学发展模式看成是一切时代和一切学科唯一的发展模式，它能够正确解释科学发展的全部历史，因而否定了科学发展形式的多样性。特别是现代科学呈现了高度分化和高度综合相统一的整体化趋势，横断学科、交叉学科和综合学科不断涌现，这种革命是科学发展的平静的进化，没有危机，没有新旧范式的更替，这是库恩模式所无法解释的。

拉卡托斯从科学史研究出发，既注意吸收库恩的合理观点以克服波普的错误，又注意吸收波普的合理思想以克服库恩的片面性。他创立了“科学研究纲领”模式，以解释科学理论发展的规律。

拉卡托斯认为，任何时代的科学理论体系实质上都是一套科学研究纲领，它是一个有组织的、具有严格的内在结构的科学理论系列，由相互联系的“硬核”、“保护带”和“启示法”所组成。

硬核，是科学研究纲领的核心部分，包括基本假设和基本原理，这个“硬核”是坚韧的，不容反驳和否定的。如果硬核遭到反驳、动摇或否定，那么整个研究纲领就相应地受到反驳、动摇以至被舍弃。

保护带，是纲领的可反驳的外围弹性地带，是保护硬核免遭反驳而提出的辅助性假说集合。当纲领受到经验事实反驳时，通过修改、调整辅助性假设，来保护硬核。

启示法，是形成研究纲领的方法论，它包括：① 保护“硬核”的反面启示法，是反面的禁止性规定，禁止科学家们把经验反驳的矛头指向硬核，而把它引向保护带；② 完善和发展纲领的正面启示法，是鼓励科学家积极提出、修改或调整辅助假

说的“保护带”，来消除反常，保护硬核，以发展研究纲领的规则。

拉卡托斯认为，每个时代、每门学科并非仅有一种纲领存在，而是有不同的研究纲领的竞争。一个研究纲领经过调整辅助假说后，能够对经验事实做出新的成功的预言，就是进化的，否则就是退化的。科学的发展，就是进化的研究纲领通过竞争取代退化的研究纲领的过程，它本质上是优胜劣汰的社会选择过程。因此，在他的科学研究纲领理论中包含着一个新的科学发展模式：

科学研究纲领的进化阶段—科学研究纲领的退化阶段—新的进化的研究纲领取代退化的研究纲领—新的研究纲领的进化阶段……

拉卡托斯的科学研究纲领理论，比库恩的科学发展模式更合理、更全面，与科学发展的实际更为切合。首先，他把科学理论看做有内在结构的整体——由彼此联系的硬核、保护带和启示法等组成。由于他坚持了科学理论的整体性，因而否定了波普的证伪原则即认为理论一旦被经验证伪就把它抛弃。他认为，经验的反驳并不能立即淘汰理论，任何理论体系都可通过修改和调整保护带和背景知识，使其从经验反驳中被挽救出来。这比较符合科学理论具有坚韧性的历史事实。其次，他对科学发展的动态模式作了深入细致的研究，认为科学研究纲领有一个发生和发展的过程，即科学研究纲领由进化阶段转化为退化阶段，科学革命就是研究纲领的转换，这样较好地体现了科学发展中进化和革命、量变和质变的统一。第三，他肯定了科学研究纲领之间更替的先后连续性和继承性。新纲领只有继承旧纲领的全部合理的经验内容，并有新的预见，才能取代旧纲领。第四，他认为，科学史是一部相互竞争的研究纲领的历史。这种竞争开始得越早，对科学的进步越有利。他正确指出，在库恩模式的常规科学阶段上有一个范式垄断着整个学科，不会有其他竞争者，这种情况在科学史上是非常罕见的。

拉卡托斯的科学研究纲领也存在一些不足或错误之处。首先，他虽认为科学家应有批判精神，但对“硬核”是例外。他主张应不惜任何代价使硬核免受批判，要批判的不是硬核，而是保护带——初始条件和辅助假说。他关于必须保护研究纲领不可证伪的硬核的建议，反映了他认识上的局限性。其次，拉卡托斯的另一个倾向是贬低实践（观察和实验）在科学发展中的作用，使他对科学发展的机制未能做出深刻的回答。

第二节　技术的发展模式

一、技术发展的基本矛盾

任何时代的技术都处于不断发展变化之中，引起这种发展变化的直接动力又来源于技术内部的基本矛盾，即技术目的与技术手段的矛盾。

从全局来看，技术的发展受强大的社会需要的推动。社会需要是多方面的，这些日益增长的物质、文化需要归根到底要向自然界索取，通过改造自然、创造人工自然物来满足，于是就产生了技术。但是要把社会需要转化为技术发展，还必须通过技术目的的设定来实现。所谓技术目的，就是在技术上为实现社会需求而对技术发展的方向和技术系统的功能所作的设定。它一方面要考虑到社会需要的必要性，另一方面也要考虑科学技术、社会经济条件的可能性。技术目的一经设定，就规定了人们技术活动的指向。

人类在改造自然的活动中，设定比现存各种技术目的更高的技术目的，是人类自觉能动性的表现。所谓更高一级的技术目的，就生产技术而言，无非是寻求更高的劳动生产率，进一步减少人在劳动过程中的直接参与程度等等。由于人类任何已有技术手段

都有其经济性、安全性、可靠性、适用性以及效率等方面的极限，不可能一劳永逸地对付不断翻新的人类的社会需要。这样，在人类新的技术目的和现有的技术手段之间，就必然经常地产生种种矛盾。这种新的技术目的和原有技术手段的矛盾就构成技术发展内在的直接动力。

技术目的与技术手段的矛盾，往往来源于经济或其他社会需求使原有的生产或其他社会实践不再能与之相适应，从而引起新的技术目的的设定。为实现新的技术目的，又必须对旧的技术手段加以更新。技术目的与技术手段的矛盾通过发明创造新技术、新设备、新工艺、新的组织管理方式（也包括对原有技术的重组和改造）来加以解决。在新技术的应用过程中，还会由于其与其他技术发生不适应、不协调，进而引起其他技术系统的连锁反应，推动与其相关的一系列新技术的产生。如在第二次世界大战中，为了解决准确、及时计算防空弹道的问题，产生了电子计算机技术；对电子计算机性能要求的不断提高，又产生了压缩计算机体积和改善电子器件性能的技术要求，推动了晶体管的发明和半导体材料技术的产生；后来随着对信息存储和计算能力要求的提高，又促进了集成电路技术、单晶生长技术、照相蚀刻技术、磁性材料技术等等的发展。

技术目的与技术手段的矛盾不断产生又不断解决，在它们之间从不平衡到平衡又到新的不平衡的过程中，我们不能只把技术视为被动的。事实上，在一定条件下，技术手段的发展也有自己的相对独立性，而这种新的技术手段反过来也会推动、唤起新的技术目的的产生。如航天技术的发展，引起在失重条件下冶炼特殊性能材料的新技术目的，而这种特殊性能材料如果制作成功，又必将“创造”出新的社会需要。这些都反映出技术的发展过程是辩证的。

二、技术发展的主要形式

技术发展的特征同科学类似，既有连续性的一面，又有间断性（阶段性）的一面。从技术的历史来看，任何技术都是人类长期积累的结果。电脑是当代的神奇创造，但若追根溯源，从算筹、算盘开始，也已有几千年的历史。即使从 1642 年巴斯卡发明加法器算起，也有 300 年的历史了。其实任何一种技术，只要追溯其来龙去脉，都将呈现出一棵枝干繁多的系谱树，这就是技术的继承性、连续性。但由极其简单、功能极为有限的技术发展为现代许多功能奇特的新技术，其间没有质的飞跃是不可设想的。如车的技术，仅从动力方面看，就经历了从人力到畜力、蒸汽力、内燃力的多次飞跃，才达到今天的境界。所以，技术在其发展中又有鲜明的阶段性，即连续性的中断。总的来看，技术发展也是连续性与间断性的统一。

技术发展的连续性与间断性表现为技术发展的两种基本形式，即技术发展的渐进形式和跃进形式。

技术的渐进形式是指在技术基本原理不变的情况下的局部性改良。包括一般性技术发明、技术改造、技术综合、技术转移等，可总称为技术革新。技术发明是指具有新颖性的新设计、新工艺、新方法。技术改造是新技术从形成期到成熟期，日臻完善的各种小的技术发展阶梯。技术综合则是利用已有技术，依据新的技术目的加以重新组合，使技术系统实现新的功能。综合实质上也是一种创新。美国阿波罗登月计划的指挥韦伯就指出：阿波罗登月计划技术的运用，关键在于综合。技术转移则是把一种技术移植到另一个技术领域中去，如把激光技术从工业转移到医疗，这对新的领域当然也是一种技术上的革新。既然这些技术革新都是在一定技术原理范围内的局部性改良，而技术原理所具有的效能又是一定的（如螺旋推进器技术无法使飞机突破 750 公里/小时的速度，中、短波的通讯技术不能解决频道拥挤、电台相互干扰的矛盾），那么，随着局部性改良的进行，技术原理所容许的效能逐渐

得到发挥，最终将达到其效能的极限。这时，就要求发现新的技术原理（如喷气推进技术、微波技术）来推动技术的进步，实现技术的跃进。

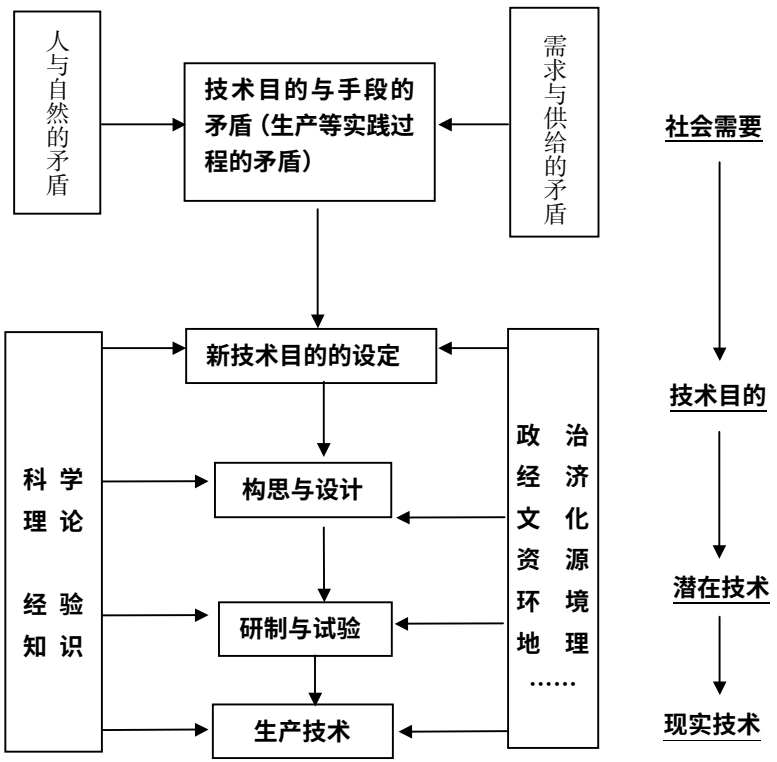
技术的跃进形式是指技术原理性的发展所引起的技术上的创新。对于具体的技术系统，由于技术原理性发展所引起的技术进步，也可称为该系统的“技术革命”。如在炼钢技术中，从搅炼法到坩锅法再到平炉、转炉炼钢法；在动力技术中，从蒸汽机到内燃机、电机；在通讯技术中，从有线通讯到无线通讯，从电通讯到光纤通讯：都可以看成在相应技术领域里发生的革命。由于技术原理存在层次性，所以技术原理的“局部性改良”和“原理性发展”的区别也是相对的。在低层次看来是原理性的发展即革命，但从高层次看却可能只是局部性的改良。如从蒸汽机到内燃机到燃气涡轮机，相互之间确有原理性的发展，但同蒸汽机到电机这个飞跃相比，则不过是技术基本原理的局部性改良。在现代，我们常说的最高层次的技术革命，是专指那些由于重大科学原理的发现导致重大技术原理的突破，从而产生新的技术群并引起整个社会技术体系的改造的巨变，像现代的电气技术革命、信息技术革命等。

技术发展的渐进形式和跃进形式是相互依赖又相互转化的，都是技术发展必不可少的形式。任何技术若不经过从形成期到成熟期的发展，就不可能使之完善化并充分发挥其潜力，也不可能完全暴露其局限性。只有在技术的成熟期，已显示出在一定技术原理框架内该项技术的功能极限，在新的技术目的靠原有的技术手段已难以实现的情况下，才能启动技术专家去探索新的技术原理，才能推动各种经济、社会实体支持发明新技术，并实际采用新技术。立足于新的技术原理的新技术，又将以渐进形式不断开拓和发展，并准备着新的技术跃进的条件。

三、关于技术发展一般模式的评述

根据本节已阐明的内容，我们将考察三类关于技术发展的一般模式。

关于技术发展机制的一般模式。依据技术发展的基本矛盾，结合技术发展的外部条件，可以把技术的发展总结为：以社会需要（通过技术发展的基本矛盾）为动力，以新技术目的的设定为中心，由潜在技术发展为现实技术的一般模式。该过程的逻辑结构如下图所示：



技术发展机制的一般模式

这个逻辑结构图反映出技术发展有如下要点：

① 技术发展的直接动力是技术内部的基本矛盾——技术目的与技术手段的矛盾。

② 社会需要是技术发展的根本动力。社会需要主要表现在对物质、文化消费品和对自然资源、环境的需要上，一般通过需要与供给的矛盾、人与自然（人工自然）的矛盾反映出来。

③ 技术发展的中心环节是新技术目的的设定。

④ 新技术目的的设定及其实现，受到现有科学技术条件和政治、经济、文化、资源、环境、地理等条件的约束。

⑤ 新技术的实现是从潜在技术（原理、设计形态的技术）到现实技术（物化为直接生产力的技术）的发展过程。

关于社会技术体系的发展模式。有的学者试图从技术的内部矛盾和外部矛盾去建立技术体系的发展模式。

日本技术论学者石谷清干提出了新旧技术时代的更替模式。他认为，社会对技术提出的需要是由技术结构所决定的技术功能去满足的。当社会对技术的需要不断增强时，技术在原有结构框架内不断改进，单位功能不断提高；当这种需要进一步增加时，旧技术仍力图维持原有结构去适应新的要求。但旧技术原有结构的功能有一定限度并带有保守性，当社会的需要达到原有技术功能的极限时，继续扩大其功能便不再可能；这时，原有技术的发展出现停滞，而适应社会新需求的新技术则应运而生。新技术诞生后，一方面由于其不成熟而表现出种种不足；另一方面又在应用中取得实效，不断改进性能，终于以优势地位压倒旧技术。社会对技术要求的无限性与技术结构功能有限性之间的矛盾，导致技术时代的更替。石谷清干的模式是：社会需要—技术的开发和发展—新的社会需要—新技术的开发和发展……这样，技术的发展过程由稳定期和革命期交替构成，并呈现出加速发展的趋势。例如，从原始的简单石器发展到多样化石器，经过了几十万年；作为劳动专用工具的石器的发展只用几万年便完成了；然后经过

几千年发展到金属工具；由金属工具到机器的产生用了 800～900 年；机器向自动化体系的发展只用了 100～200 年。

在石谷模式中，社会需求是技术发展的根本动力，技术发展过程体现了量变、质变的交替规律，技术具有加速发展的特点。这些论断和技术发展的历史过程是相符合的。但它在强调社会需求推动技术发展的同时，没有指出其相反的过程，即技术发展也可以刺激社会新的需求；它在指出新技术对旧技术的否定时，也没有阐明在新条件下可以“回采”已被否定的旧技术：这是其不足之处。

正如科学发展模式中拉卡托斯修正了库恩一样，在技术发展模式中，日本技术论专家星野芳郎修正和丰富了石谷清干的观点。星野芳郎把技术发展过程概括为局部性的改良和原理性的发展。局部性改良是在同一个技术原理范围内的技术发展，如从瓦特蒸汽机到高压蒸汽机、过热蒸汽机、多级膨胀蒸汽机等，它们的技术原理没有变，都是把水蒸气的热膨胀力转变为活塞的往复运动。所谓原理性的发展，是指达到一定技术目的方法从一个原理转变为另一个原理，例如，从节水机（外燃机）到柴油机（内燃机）是技术原理的发展。他指出，当技术以局部性改良的形式发展时，是渐进性的发展；当技术以原理性的形式发展时，是飞跃式的发展。两者具有质的区别，但两者的区别又是相对的，其间的联系是连续的。

星野芳郎认为，技术的原理性发展和局部性改良的交替前进，构成技术阶段性发展模式。当一种基于新原理的技术诞生时，它往往是不完备、不成熟的，包含着许多矛盾，局部性改良是逐个去解决矛盾，使新技术趋于完善并走上正轨，这是技术的渐进性发展。经过局部改良，原有技术日益成熟，当它达到技术原理所允许的极限时，局部改良就遇到不可逾越的障碍。这时，人们期待着更新的技术原理出现。有了更新的技术原理，在它的允许界限内，又开始了局部性改良，不断提高它的效能，最后又达到了

极限状态，从而开始了另一次原理性发展的循环。

按照技术阶段性发展模式，星野芳郎把产业革命以来技术的发展概括为三个技术体系的转变过程。第一个技术体系是机械技术体系，它由蒸汽机的发明引起冶炼、交通运输、机械制造、通信等全面的技术革命，从 18 世纪下半叶开始到 19 世纪上半叶，历时一百多年。它的特点是大多数技术原理依赖于工艺经验的积累。第二个技术体系以电力技术为主导，并发展成钢铁冶炼技术、内燃机技术、化工技术等组成的新技术群。这就是从 19 世纪中叶到 20 世纪 20 年代的电气技术革命。它的特点是，它的技术原理主要来自科学原理的新发现，科学已成为名副其实的主角。第三个技术体系是以信息技术为主导技术，同新材料技术、新能源技术、生物技术、航天技术、海洋技术等组成的新技术群。它始于第二次世界大战前后，现正处于形成和发展中，科学的先导地位将更为突出，21 世纪将是第三技术体系繁荣发展的世纪。星野芳郎认为：第一个技术体系是资本主义确立的物质基础；第二个技术体系是垄断资本主义建立的物质基础；第三个技术体系建立过程中，激化了社会生产和自然的矛盾，这说明垄断资本主义阻碍了新技术的发展，和生产力的成长不相适应，已达到了它的最后阶段。

在星野芳郎技术阶段性模式中，提出了技术是从量变到质变的发展过程，产业革命以来三个技术体系的转变，以及在垄断资本主义条件下的政治、经济成为第三个技术体系前进的障碍等合理观点。这些观点是有远见的，经得起科技史的检验的。需要指出的是，技术原理的构思是一种创造性思维过程，他的模式对此未作充分的阐述和精细的分析，这是其不足之处。

关于在横向上技术的扩张，有技术梯度递进模式和技术跃升发展模式。前者说明在不同国家、地区，由于经济、政治、科学、文化发展的不平衡，必然带来技术发展的不平衡，客观上存在着“技术梯度”（区域技术梯度、城乡技术梯度），技术的传递方向

是由技术水平较高的地区流向技术水平较低的地区。技术传递的内容包括学术信息和设计图纸等无形技术和仪器设备等有形技术。梯度递进的可行性和递进速度，取决于技术源的技术保密程度和技术输入地区技术环境的适应程度。技术跃升发展模式，是指某些国家或地区在技术上以较短时间走完别的国家或地区在较长时间内走过的技术发展路程。这种跃升的实现是有条件的，最重要的是有来自外部（国际或外地区）的先进技术和自身具备吸收消化新技术的内部经济、技术、社会条件。技术跃升不可能一蹴而就，它也是由许多渐变、部分质变的积累而达到的飞跃。所以，要实现技术跃升，也要在技术改造、技术革新、技术综合上下大功夫，要以大量技术递进的发展形式作为基础和补充。一步登天、拔苗助长式的跃升是不可能实现的。

参考文献

[1] 国家教委社会科学研究与艺术教育司. 自然辩证法概论. 北京：高等教育出版社，1991

[2] 恩格斯. 自然辩证法. 北京：人民出版社，1984

[3] 吴国胜. 科学的历程. 长沙：湖南科学技术出版社，1997

[4] 刘大椿. 科学技术哲学导论. 北京：中国人民大学出版社，2000

[5] 林超然等. 现代科学哲学教程. 杭州：浙江大学出版社，1988

[6] 舒炜光等. 自然辩证法原理. 长春：吉林人民出版社，1984

[7] 陈光. 人物科学史. 成都：西南交通大学出版社，1992

第六章　社会科学技术观

科学技术不是一个封闭、孤立的系统，而是整个社会大系统中的有机组成部分。科学技术活动的主体，是构成社会大系统的要素；科学技术发展的社会条件，是由社会大系统为之创造出来的；科学技术的社会功能，在于为整个社会大系统的运行和发展服务。因而，我们必须把科学技术作为一种社会现象，放在整个社会大系统中去考察，并探索社会应该如何控制科学技术的发展。

第一节　科学技术的社会组织

科学认识主要来自于科学实践。科学家既是科学实践的主体又是科学认识的主体。科学家、科学仪器和科学对象，在科学认识过程中缺一不可，三者互相联系，互相制约，共同作用。其中，作为科学认识主体的科学家起到了主导作用，是科学认识体系中最积极、最活跃的因素。科学仪器是生产工具的派生物，归根结底来自于人，是通过科学家主体发挥作用的；而科学对象如果没有科学家的认识，永远是被动的。

一、科学家和科学共同体

科学研究主要是科学家的活动。科学研究是一种复杂的、富有创造性的知识生产过程。随着科学技术的飞速发展，尤其是到了“大科学”时代，单凭科学家个人，已难以满足科学发展的要

求，科学已经越来越成为一种集体性的活动。科学共同体就是科学家的组织形式。

（一）科学家

科学家是探索自然奥秘的人，是向大自然索取知识宝藏的人。从这个意义上讲，科学家很早就有。但是，科学家成为一种社会职业却是现代的事了。

1. 科学家社会职业的形成

尽管“科学家”一词在今天已经是最时髦的称呼之一，科学家这个职业也成为社会中最受人尊重的职业之一。但这一称谓和这种职业的历史并不长。事实上，最早使用“科学家”这一称呼的是 1840 年英国科学哲学家休厄尔（Whewell），他在《归纳科学哲学》一书中写道：我们需要对那些研究自然科学的人命名，把他们称作科学家。[①] 从此，“科学家”这个称呼就逐渐被人们所接受了。“科学家”最初用以指称与广义的哲学家、学者和知识分子不同的、以经验为根据寻找自然界规律的人，但在今天，这个词适用于自然科学和社会科学领域中各类专门研究者。

科学家这一职业是历史的产物，是伴随着科学技术的发展而产生的。在农业经济阶段的早期，尽管科学技术尚不够发达，但随着社会分工、劳动的复杂化，以及文明的进步和阶级的产生，尤其是体力劳动和脑力劳动的分离，知识开始逐渐成为一种相对独立的东西，也相应地出现了专业的知识工作者，比如东方的儒者、西方的智者和传教士。由于他们把宗教观念、伦理观念、政治观念、科学观念和哲学观念连在一起从事整体的研究，并用“哲学”一词来囊括一切真正的知识，所以人们称之为“哲学家”。这些“哲学家”要么是统治阶级的附庸，即所谓的“士”，要么是赋闲的、或者落魄的统治阶级自身，因此，这种职业对于统治阶级

① 转引自周寄中：《科学殿堂里的共同体》，人民出版社，1987 年，第 11 页。

具有直接的依附性。总之，在近代科学发展之前，作为社会职业的科学家是不存在的。

一直到 17 世纪工业经济阶段前期，科学仍然受到哲学的影响。英国仍然称“新科学”——实验科学为“新哲学”。牛顿的力学名著，仍叫《自然哲学的数学原理》。英国皇家学会的前身是威尔金斯倡导组织的“哲学学会”，他本人后来成为英国皇家学会的首任学会秘书。在美国，由富兰克林创立的最早的科学协会，也称作“美国哲学协会”。从 16 世纪开始，科学协会为科学活动提供了便利和支持，但所提供的专职工作极少。政府即使重视科学，也只是在少数几个博物馆中设立若干个从事科学活动的专职。19 世纪以前，无论是谁从事科学活动，似乎都有其他生活来源。一般认为，科学作为一种社会职业是从 19 世纪初开始的。社会这时感到了对科学家的迫切需要，因而认可和提供了这种社会职业。科学活动本身不一定能立即为社会提供产品，但科学活动为社会产品的极大丰富直接打开了闸门，这就使科学家顺理成章地成为一种社会职业。

2. 科学家的能力与品质

从事科学活动的科学家必须具备一定的智力和品格。

一般认为，对于科学家来说普遍的科学能力包括：观察能力、思维能力、想像能力和实际操作能力。科学能力结构在本质上是一种智力结构。打个形象的比方，在科学活动中，科学能力结构中的各要素发挥着不同的作用，观察能力有如眼睛，思维能力有如大脑中枢，想像能力有如翅膀，实际操作能力有如双手。各个能力要素互相配合，恰当地协调起来，就会引领科学家叩开科学真理的大门。

科学活动除了要求科学家具备一定的科学能力，还要求科学家具备一定的科学品格。一般认为，对于科学家来说普遍的科学品格包括：对科学的热爱和献身精神，对科学的好奇心和满足感，对科学的自信心和谦逊的美德，对科学的进取心和顽强的意志，

淡泊名利的无私精神，报效祖国的爱国主义精神。

（二）科学共同体

作为精神劳动者和创造者，科学家的个人素质当然是极为重要的。卓越的智力和优秀的品格，这是科学家成功的内在条件。然而，科学家并非是一个个孤立的个体劳动者。他们在科学活动中既有真诚的合作又有激烈的竞争，并且有一种制度化的社会组织形式保证这种合作和竞争的正常进行。科学家们在社会中构成特定的集团，即大大小小的、各式各样的科学共同体。科学共同体就是科学家的集团，是科学的社会组织形式。

科学家作为群体的一般的抽象存在形式，叫做科学家集团或科学共同体。“科学共同体”一词比“科学家”一词的出现晚了一个多世纪。1942 年，由英国的科学家和哲学家伯朗依在《科学的自治》一文中首次提出“科学共同体（Scientific Community）”的概念，意指按地区划分的“科学家群体”。1962 年，美国科学哲学家托马斯·库恩在《科学革命的结构》中对这一概念作了专门论述。

科学共同体是由科学家在科学活动中通过稳定的联系而形成的社会群体，是科学家群体的存在形式。其实，科学共同体就是科学家的组合，这种组合并不是以科学为职业的人们的简单总和。

（三）科学共同体的目标与行为规范

科学共同体有着特殊的体制目标、行为规范和精神气质。正是这些无形因素维系着科学共同体，使其成为有强大生命力的社会集团。科学共同体的目标，大体说来就是培根倡导的——以增强知识为己任，并用知识造福于人类。

作为人类活动的科学，固然是整个社会活动的一部分，但其本身具有相对独立性，服从于特定的行为规范。如果没有这些行为规范，就没有办法产生公认重要的科学问题，没有办法评价科

学活动的成果、奖励卓有成效的科学家，也没有办法让社会享用业已获得的科学知识，没有办法拓展和深化对客观世界规律性的了解。

科学活动的行为规范，是从其价值观念派生出来的外在表现形式，它构成了科学活动区别于其他人类活动的特征。它被美国“科学社会学之父”默顿（R.K.Merton）称为科学的精神气质。他说：“科学的精神气质是有感情情调的一套约束科学家的价值和规范的综合。这些规范用命令、禁止、偏爱、赞同的形式来表示。它们借助于习俗的价值而获得其合法地位。”[①] 一般认为，科学共同体的行为规范有四条：普遍性、公有性、诚实性和合理的怀疑性。

1. 普遍性

普遍性即普遍有效而被认可的规范，也就是无阶级性，强调检验科学真理的客观性和科学标准的普适性。科学真理有普遍性，是放之四海而皆准的。普遍性包括三个方面的内容：

（1）非个人性。科学原理正确与否与科学主体亦即科学原理的发现者个人的品质无关。只要理论在逻辑上是自洽的，又能说明观察到的事实，而且预言能被事实所验证，那么，它就应该为科学共同体所接受，而不论发现者个人的种族、国籍、宗教信仰、阶级属性以及个人的品质如何。

（2）国际性。即科学是全人类的、国际性的事业。任何人（不论他的祖国在哪里）的真正的科学成就都应当被承认，都应当被利用。

（3）民主性。科学真理面前人人平等，保障学术思想自由和探索自由。科学无禁区。每个人都有选择科学作为自己职业的自由，科学向一切有能力进入科学之门的人开放，科学知识向一切人开放。

---

① 默顿：《科学的规范结构》，见《科学与哲学》，1982 年第 4 辑，第 121 页。

2. 公有性

公有性即承认科学发现本质上是社会合作的产物，它属于整个科学共同体以至整个社会。科学发现奉行公开原则，科学家所换回的唯一“私有财产”就是他的发明权。

一方面，任何科学成就在本质上都是社会协作和积累的结果，是承前启后、一代又一代的人努力探索的产物。所以，任何科学发现都是受惠于前人的思想遗产，都应当及时地、公开地分配给社会全体成员，从而成为整个社会的公共财产。发现者除了得到某种荣誉（发明权或优先权）外，毫无实利可言。

另一方面，科学成果必须适时公开，以便让科学共同体和全社会分享。发现者无权独占或收回他的科学发现。科学知识的累积性和创新性决定了它不需要重复性劳动。科学家一旦做出某项科学发现，应当适时公开学术成果，与其他成员进行交流，从而获得社会承认，也避免别人重复劳动。

3. 诚实性

诚实性规范在于一旦涉及到科学成果的可证实性时，应处于同行专家的严格监视之下。它建立在科学的可检验性基础之上，必须用公认的方法与手段验证其成果。公认的科学方法，使诚实性规范具有约束力。

诚实是治学的最基本的态度和道德规范，这也是科学的内在要求。科学家以追求知识和真理为目的。这就要求科学家首先是个诚实的人，实事求是，尊重事实，尊重事物的本来面目，客观地反映世界的本来面目，以求得科学原理的真理性。这就要求科学工作者必须把自己观察或实验的数据视为至高无上的权威，绝不允许为了理论的需要或沽名钓誉而胡编滥造数据；对于竞争对手的数据和观点不存在偏见；对任何理论，一旦发现有不能自圆其说的内在缺陷或者被实验所否定，则随时准备修正，或者以新的理论取代之。

4. 合理的怀疑性

合理的怀疑性指的是任何科学成果不管其来源如何，都必须经受怀疑的批判检验。真正的科学家不仅要对自己、对别人的成果持怀疑性，也要对整个科学体系保持一定的怀疑性。这种怀疑是合理的怀疑，不是盲目地否定一切，而是基于事实和对知识进行分析的基础上的怀疑，必须借助经验和逻辑的标准。

科学的怀疑性规范，意味着科学活动对整个社会系统的各方面都持有认真的批判态度，它们之间应相互协调。科学的怀疑性规范表现为科学活动日益渗透进其他社会活动领域，而当其他社会体制企图扩大它们对科学的控制时，怀疑性规范将加剧它们与科学活动的冲突。同时，怀疑性也适用于科学活动自身，任何科学成果都要不断经受怀疑的批判检验。合理的怀疑性规范是科学活动永葆青春的活力。

（四）科学共同体的奖励机制与社会分层

为了促进合乎科学共同体目标、规范的科学家行为的健康发展，科学共同体还具有经过精心设计的奖励系统作为内部社会运行的基本机制。因为科学共同体的目标是增进知识，这就把科学发现的独创性提到了首位。同时，科学规范又要求科学家向社会公开交流他的发现，不可得而私之。这样，辛苦工作的科学家还留下什么呢？事实上，他可获得的最高奖赏和“财富”，就是同行的承认。这种承认，使有创造的科学家在权威结构中居于更有利的地位，也是他继续担任科学家角色的新条件和保证。所以，谋求“成果——承认”、争取科学发现的优先权，不仅是科学家行为的内在激励因素，也是庞大的科学共同体得以灵活运转的“能源”和动力。

对科学家的奖励——同行承认，包括诸如论著发表、同行认可、获奖等环节。这些都属于科学共同体对科学家获得成果的一定范围内的鼓励和激励。同行认可就是科学共同体对科学发现的承认，它是科学发现获得社会确认的必要依据和前提。论著发表

属于一种小范围内少数人的认可（发表前的编辑和评审员审稿）；获奖科学成果在评奖过程中的评审讨论，也是一种小范围、高层次的同行承认。

对于科学共同体而言，奖励具有重要的意义。按照默顿的说法，科学奖励机制的本质是科学共同体根据科学界的角色表现情况来分配承认。美国社会学家汤普森认为，高标准的、富于魅力的奖励制度是诱发人类巨大创造潜力的重要条件之一。

学术上的各种奖励制度、科学共同体的公正评价，是激励科学家奋发努力的重要力量。然而，由于同行承认是以既成的、已经取得的科学认识成果为出发点的，加之评价又是人为的，因而，其中难免掺杂着这样或者那样的非客观因素，甚至还有一些不公正的评价出现。例如在科学共同体的奖励机制中，往往会因为“ 马太效应 ”而出现有失公允的现象。“ 马太效应 ”源于《新约全书 ·马太福音》中的一句话：“有的，还要加给他，叫他多余；没有的，连他所有的，也要夺过来。”在这里借用来说明科学奖励中的类似现象：某些科学家因为在过去曾经做出过成果而取得一定的承认后，在将来就更有机会去获得成果和承认，获得评价他人成果的权力。他的论著就更容易被别人所引证，他获得承认以前的早期工作也更容易得到评价和认可，并不断得到种种奖励、声誉和更高的地位，且这种地位只能升迁不能降格。与此相反，大多数科学共同体成员相对地受到冷落和贬低。这就在一定程度上遏制了新人的成长和新成果得到承认。这种现象是科学共同体的特定运行机制所必然引起的现象，它在客观上有利于科学权威的迅速形成，并通过他们的声望提高科学共同体在社会系统中的地位和影响；但也不能忽视它所反映的科学共同体的内部矛盾和消极影响，而必须采取适当的制度和办法加以调节。

由于获得社会承认中的差异，科学共同体成员就形成了若干无形的等级体系，从而构成了科学共同体中特殊的分层结构，并把共同体中的每一个成员安置在这种分层制度之中。他们并非是

一律平等的。一个诺贝尔奖得主卢易斯·阿尔瓦雷斯说出了这种看法：“在物理学上没有民主。我们不能说某些第二流的人物对（某种）意见与弗米有同样的发言权”[①]。因为，这种分层结构是以社会承认和同行认可为基础的，是通过对职位的承认和对名望的承认表现出来的。而后者在科学共同体中更为基本、更为重要。它以成果的引证数量和荣誉称号为有形的标记。由社会承认不同而形成的等级体系，不同于由权力和财产不同而形成的等级体系，它在本质上是一种权威结构。权威的行使和对权威的信仰、服从，完全是建立在受动者自愿的基础之上的。科学权威结构是科学共同体得以维系、其规范和精神气质得以保持和发扬的重要保证。

二、科学的社会组织

科学家并非在抽象的空间发挥作用，而是在十分具体的一定范围内发挥作用的。科学共同体作为具体的存在形式，可分为社会内在形式和社会外在形式两种情况。社会内在形式就是学派、无形共同体等。社会外在形式就是学会和国家的、社会的科学研究组织机构等，具体来讲，包括三种类型：① 按地区划分的科学家和科技人员群体，如我国各省、市、自治区的科协及各个学会。② 由一定的行政关系形成的“科技职业组织”，如科学院、各类科研院所、高等学校、科研中心等。③ 按不同的学科领域划分的“专业共同体”，具有不同的层次。按学科划分，如化学家共同体、物理学家共同体、生物学家共同体等；按学科分支划分，有物理化学共同体、无机化学共同体、地质力学共同体等；甚至是像沃森与克里克那样人数很少的研究小组。科学共同体的两种形式、三种类型实际上可以重合，如学派以研究机构为基地，

① 转引自〔美〕哈里特·朱克曼著：《科学界的精英》，商务印书馆，1979 年，第 12 页。

特定学派构成学会的灵魂和核心；科学院成员可以是当地科协或学会的会员。科学共同体各类型之间相互贯通与融合，从而形成一个由所有科学家组成的结构井然而又错落有致的超级科学共同体。

在科学共同体中，有各种各样的组合，有师徒共同体，也有学派共同体，还有无形共同体。下面我们简要介绍科学共同体的几种类型或组合。

（一）学　派

学派是指由一些具有共同学术思想的人组成的、有公认的学术权威做领袖，并保持密切学术交流与合作的带有自发性质的科学共同体。一些有生命力的学派还有世代相继的师承关系，甚至具有广泛的国际性，如历史上的毕达哥拉斯学派、法国的百科全书学派，现代的哥本哈根学派、布鲁塞尔学派、数学的布尔巴基学派等等。

一般说来，学派具有以下显著特征：

（1）内聚性。即以某个或某几个学术权威做学派领袖而形成的“向心作用”和凝聚力。一个学派，其中必然存在着某种共同的学术思想、学说或方法，它们为该学派所有的科学家所遵循，同时又有一个或几个科学家被公认为学术权威，作为他们的核心或领袖。如古希腊毕达哥拉斯学派的毕达哥拉斯，我国先秦时期墨家学派的墨翟等就是该学派的核心所在。

（2）整体性。学派对内表现为一个同心的、实施合作的科学家集团；对外表现为一个有某种程度排他性的学术竞争的有力整体。它在学派内部科学家当中结成一种牢固的学术枢纽带，在科学家造成一种“群体竞争”的态势。

（3）传统性。学派常常体现了某种科学上、文化上根深蒂固的传统。从时空关系上看，学派虽然不是一成不变的，但其传统却能绵延不绝。一个学派坚持已有的传统、信念和方向时，免不

了对外表现出一定的排他性。没有排他性就不可能有趋向性和内聚力。

学派在推动科学发展上表现出巨大的能力。具体说来，学派可以在科学家中结成一种强有力的学术合作结构，从而产生一种“整体功能大于部分之和”的科学创造力；学派内部相对民主、自由、平等的学术空气，为科学创造提供了较为有利的组织保障；在学派中有利于培养科学人才，锻炼年轻的科学家；学派之间的竞争对科学创造性思维起着重要的刺激作用；学派的“群体竞争态势”，容易使得科学发现的幼芽得到保护，并较早获得同行认可和社会承认。

学派的内聚性与排他性总是共存的。虽然学派过分的排他性会形成封闭的门户之见，使得本派在某种程度上显得僵化，失去活力，但这些副作用毕竟是次要的，从科学发展的纵向过程考察，这种消极影响也是难以避免的。

（二）学　会

学会是科学共同体各种类型中人员最为广泛的社会外在组织形式。它一般是由政府支持，受国家法律保护的。17 世纪在文艺复兴发源地的意大利成立的“山猫学会”等是学会的雏形。1662 年，英国皇家学会的建立是学会形成的一个重要标志。

从历史上看，学会的社会作用表现在以下几方面：作为社会舆论的“压力集团”，学会是推动科学技术发展的重要工具；学会以其集团性研究能力，大大促进了科学技术的发展；在国家困难时期，学会成为了科学基金的募集者，起到科学救济会的功能；学会也是发现科学人才、培养科学人才的园地；在现代国家里，各种学会也是政府领导科学技术的智囊团和思想库，是促进社会科技事业发展的有组织的力量。

（三）无形共同体

介于学派与一般科学共同体之间的，还有一种以学术思想沟通

为基础的“无形学院”形式的科学共同体，我们称之为无形共同体。它同学派的共同点是，都以优秀的科学家为中心，立足于自由联合，进行学术思想的通信交流和自由讨论。不同之处是，它不一定是单科性的而往往是多科性的，是为了彼此充分交流借鉴而并非是为了坚持某种特定的学术主张，所以排他性不强。与一般雇佣性科学共同体相比，无形共同体更多的是一种荣誉群体。无形共同体是科学共同体中富有生命力、创造力的内在组织之一。

科学技术最强的社会组织是在国家和社会直接领导下的科研组织，包括国家的各级科学院、研究院、研究所和企事业单位的研究所、研究室。研发任务主要由公私科研机构和大学所担负。由于各国社会制度、经济和文化条件不同，因而形成了不同的科研组织系统。通常来说，科研力量的分布是相对分散的。国立科研机构主要承担那些与国家利益紧密相关、涉及国计民生的风险高、耗资大的项目，多为指令性的战略任务。大学，尤其是其中的研究型大学，除从事与教学相关的基础研究外，更多的涉及到科学前瞻性、探索性的活动，属自由度较大的研究；当然，有时也承担国家的重大计划。而私立科研机构主要是利用其自身的灵活性填补研究空白。

另外，当代社会发展起来的科研中心和科学技术服务机构也是两种新的有力的科学社会组织形式，它们对于科学的发展也有着重要的意义。

三、科学的社会支持系统

作为社会建制的科学，它的外围（或其延伸部分）是它的社会支持系统，主要有经济支持系统、信息支持系统、实验技术装备支持系统和教育支持系统。它们分别为科学提供了科研经费、科学技术信息、实验技术装备和科学技术人才。对于一个国家来说，科学的社会支持系统水平的高低，对该国科学技术发展有着深远而直接的影响。

（一）经济支持系统

在小科学时代，科学研究所需资金、设备不多，一般除依靠科学家自身财产外，主要依靠“恩主”（贵族、资本家、慈善机构和赚了钱的科学家等）的支持。随着1940—1970年小科学时代向大科学时代的过渡，科研项目越来越大，周期越来越长，资金要求也越来越高。

以美国为例，在战前小科学时代，1920—1930年的时间，科研费用占国民经济总产值的比例从未超过0.2%～0.4%；而在战后40年中，其比例每年增长60%～70%。1940年、1945年、1950年、1955年、1960年和1965年分别为3.77亿美元、15.2亿美元、28.7亿美元、62.8亿美元、137.3亿美元和204.4亿美元，分别占到当年国民经济总产值的0.4%、0.7%、1.0%、1.6%、2.7%和3.0%。以后科研费用增长大致每年都在国民经济总产值的2%～3%左右。[①] 个别“恩主”以及继之而起的科学基金会都难以承担如此巨额的研究资金，迫切需要国家大幅度地投资。大科学时代的“代表作”——阿波罗计划则是一个投资达到数百亿美元的国家事业。

由于大科学时代的典型项目均有耗资巨、风险大的特征，所以现代社会的科研经费主要由国家财政支持。即使这样，仍然有相当部分由社会以基金会、风险投资公司等形式承担。这两个来源构成相互补充的科研经济支持系统。

（二）信息支持系统

科学研究总是在继承前人、借鉴他人成果的基础上进行的。这些成果主要来自于前人留下的图书资料和现在科学家之间的情报交流，它们是作为信息储存在图书、报刊和情报资料中的。所以，图书情报工作是科学研究的重要条件，科学技术信息的数量和质量严重制约着我们的科学研究。早期的科学家集研究工作和

① 杨沛霆等著：《科学技术论》，浙江教育出版社，1985年，第44页。

图书资料情报工作于一身，但是随着科学知识量的加速度增长，图书资料越来越多。例如，1665 年，全世界只有 1 份科学期刊，1750 年期刊数为 10 种左右，1800 年为 100 种左右，1865 年为 1 000 种，1900 年接近 10 000 种，到 1965 年已突破 10 万种。[①] 18 世纪初，美国耶鲁大学图书馆有藏书 1 000 部，1938 年就达到 274.8 万部。

随着图书资料的急剧增加，如果不及时地收集、科学地管理、迅速地利用，就会影响科学技术的发展。没有专门的机构管理，实难应对科学技术发展的需要。为使大量的科技信息能得到有效的储存并发挥作用，图书情报工作就成为社会一部分人的专门化职业。可见，科技事业分工的发展，使得图书情报工作构成相对独立的社会文化建制，这是科学文化事业发展的必然结果。那些完全依附于科研机构之下的图书情报机构，当然是科学的社会组织的内部结构，而那些规模巨大、自成体系、面向全社会的图书资料情报系统，则可以认为是科学研究的社会信息支持系统。信息支持系统是与科技的发展和社会的进步同步发展的。

（三）实验技术装备支持系统

从事科学研究，进行知识生产，需要有相应的生产工具。使用的生产工具水平越高，可能取得的科研成果就越大。现代科学技术的发展之所以能达到惊人的速度和空前的水平，一个重要的原因就是由于大工业生产给科学研究提供了日益先进、日益强大的实验装备。实验技术装备是科学这种特殊的精神生产的特殊劳动生产工具，它同图书情报一起构成科学劳动资料，对科学研究有着重要的制约作用。

今天，技术进步早已使科学界曾盛行一时的卡文迪许式的“线绳火漆”研究一去不返了，而越来越依赖于实验手段。可以毫不

---

①〔美〕普赖斯著：《小科学，大科学》，世界科学社，1982 年，第 8 页。

夸张地讲，20 世纪物理学的进展往往都是以实验手段的突破为转机的。发现新的粒子需要大型加速器，自 1933 年劳伦斯制成回旋加速器，仅仅 4 年人们就研制出 200 多种人工放射性同位素。卢瑟福在 1919 年通过 a 粒子轰击氮原子产生核裂变，采用的仪器由一位熟练的技师在实验室的附属车间就可以制造出来，耗资无几。但随着岁月推移，耗资愈来愈多。仅加速器的制造，就从发现者劳伦斯最初开支的 1 万美元，很快增加到 1939 年的 10 万美元、1945 年的 180 万美元、1953 年的 900 万美元、1959 年的 3 000 万美元，到了 70 年代更是高达 2.5 亿美元。[①]

随着科学研究的规格和难度的提高，实验技术装备也越来越复杂，技术环节分工极细，每一装备都要有专门人员监护维修，每次实验都需要各类工程技术人员共同合作，这就使科学实验环节逐步依赖于专门的人员从事管理。而且，造价昂贵的实验技术系统，如果只为某一专门机构和个别课题服务，也会形成巨大浪费。于是为公众服务的实验技术设备及其人员，组成相对独立的社会组织就成为非常必要的了。现代越来越多的实验中心、测试中心、计算中心等的建立，标志着科学研究的实验技术装备支持系统的独立发展。

（四）教育支持系统

教育系统原本是整个社会的人才支持系统，它作为科学社会支持系统的特殊作用是在资本主义社会建立后才出现的。教育的科学功能主要表现在三个方面：一是教育部门（高等教育系统）为国家经济建设提供科学研究成果，这是一种直接作用，从目前来看这一作用不容忽视。二是为国家培养大批科学技术人才，主要包括一定数量的科学家、工程师以及各种各样的专门人才，这是一种间接作用，但其影响更为深远。第三，教育系统还承担着

① 刘大椿著：《科学活动论》，人民出版社，1985 年，第 302～303 页。

科技教育的任务，要系统整理人类的科学遗产加以提炼，通过编写教材对科学知识进行再创造，并以科学的方法手段向人们普及灌输；通过提高全民的科学文化素质来提高全社会的科学技术能力，它是科技开发的储备因素。

对于高等院校而言，尤其是其中的研究型大学，其作用和角色更为复杂：培养人才、提供新技术、生产知识、推动和孵化高新技术产业，同时还是科学教育、继续教育的中心和社会发展的促进者。尽管我们这里把教育系统作为科学建制的社会支持系统，实际上现代的教育和科研系统早已互相融合、互相渗透，以致人们常常称之为科教大系统的两个方面。

科学的社会组织系统及其对社会支持系统的结合，形成现实的科学技术发展的社会总体能力。它主要由以下几种成分构成：社会对科学技术发展的人才支持能力；社会对科学技术发展的经济投入能力；社会对科学技术发展的信息和科研设备保证能力；社会对科学技术发展的政策指导和组织管理能力；社会对科学技术发展的教育储备能力。毋庸讳言，这些能力也是相互依存并且可以相互转化的，它们的有机组合，便构成了社会发展科学技术的总体能力。

第二节　科学技术的社会功能

随着社会生产和科学技术的发展，科学技术同人类活动的关系日益密切，科学技术活动对社会和人类的影响越来越大。研究科学技术的社会功能，对于建设社会主义精神文明和物质文明都有着重要的意义。

一、科学技术推动人类物质文明的昌盛

物质文明是人类改造自然界的物质成果的总和，它体现为社会生产力的发展水平、社会劳动生产率的高低，体现为人类从事

劳动的条件优越程度、社会所拥有的物质财富的丰富程度，以及人们物质生活的质量和水平。科学对人类物质文明发展的促进，主要是通过以下三个方面来实现的。

（一）科学技术推动着社会生产力的发展

科学技术知识渗透到生产力的三个基本要素之中，并推动着它们的变革，从而使生产力在量和质上都发生了根本性的变化。

1. 提高劳动者素质

马克思指出：劳动过程就是“劳动者利用物的机械的、物理的和化学的属性，以便把这些物当作发挥力量的手段，依照自己的目的作用于其他的物”的过程。[①] 在生产劳动中，劳动者既要支出体力，也要支出智力，而且随着科技的发展和生产力水平的不断提高，体力和智力支出的比例也有所不同。一般来说，劳动者的科学技术水平越高，在生产中发挥的作用就越大。所以，通过科技教育，提高劳动生产者的科学知识水平和劳动技能，从而提高劳动者的劳动效率，是发展和提高社会生产力的重要途径。值得注意的是，科技进步将促使劳动力发生转移。劳动生产率提高的部门会游离出一部分劳动力，分流到产品需求上升的新兴部门或者服务部门，使劳动力在产业间发生转移。劳动生产率提高的速度越快，劳动力转移的速度也就越快。第二次世界大战以后，经济发达国家和一些新兴国家第三产业的迅猛兴起和快速发展充分证明了这一点。科技进步使得“蓝领”减少，“白领”增多。

2. 革新生产工具

生产工具既是生产力发展程度的重要标志，又是科学技术发展水平的显示器。生产工具的重大变革，可以大大提高劳动效率，常常带来社会生产力的飞跃。蒸汽机和电力机的出现，放大了人的体能，带来了经济的飞速发展；电子计算机的出现，部分取代

---

①《马克思恩格斯全集》第 23 卷，人民出版社，1972 年，第 203 页。

并增强了人脑的功能，使人们得以摆脱大量繁重、重复的脑力劳动，有更多的时间从事创造性工作。然而，生产工具是人制造的，是人类智慧的物化。人们通过技术发明，将科学知识物化为现代化的机器设备，促使劳动生产率迅速提高，创造出巨大的社会生产力。电子计算机的改进，充分说明了科技进步的作用。世界上第一台电子计算机是 1945 年诞生的，是一个重 28 吨、体积为 85 立方米、占地 170 平方米、由 18 000 个真空管组成、耗电 150 千瓦的庞然大物，运算速度只有每秒 5 000 次。20 世纪 60 年代以后，电子计算机技术和材料技术的突破使得电子计算机的成本飞速下降，运算速度平均每 5～7 年提高 10 倍，而体积和价格则以相同的速度减少，性能价格比则以百倍的速度提高。

3. 扩展劳动对象

自然物能不能被利用以及利用到什么程度，完全取决于科学技术的发展水平。科学技术不仅能使人们不断开发和利用新的自然资源，扩大劳动对象的范围，而且还能开发已有资源的新用途，并能把一些废料重新投回到物质循环中去加以利用。现代科学技术不仅使人们对天然资源的开发利用更加充分有效，而且还能研制、创造自然界未曾有过的新物质品种，如新型的人造材料、合成材料和复合材料，形成新的劳动对象。科学技术扩大了人类劳动的对象范围，扩大了人类对自然资源的利用，进而促进了生产力的发展。

总之，科学技术通过渗透到生产力诸要素之中，可以从整体上强化人类的生产能力，改变和提高社会生产力的性质和水平。近 20 年来的统计已表明，在促进发达国家经济增长的各种因素中，科学技术进步所占的比重已经高达 60%～70%。对于现代生产力的发展而言，科学技术的发展水平和速度，已成为现代生产力发展的关键。

（二）科学技术推动着人类生活质量的提高

科学技术的进步不仅推动了社会物质生产的发展，而且推动着人类物质生活的改善。社会生产的发展，归根到底是以不断满足人类物质生活的需要为目的的。人类必须依靠科学技术和通过劳动自觉地有目的地改造自然环境，改变物质生活条件，提高生活质量。这主要表现在以下两个方面：

1. **改善人们的物质生活条件，丰富日常生活的内容**

随着科学知识的增多、技术手段的增加，人类不断为自己创造出数量日益丰富、质量日益精美的物质产品，以前所未有的规模和速度提高了自己的消费水准，更新着自己的消费结构，极大地改变了自己的生活方式。近代以来，火车、轮船、汽车、飞机、电报、电话等发明创造，带来了交通和通讯的迅捷方便，使人们的日常生活发生了重大的变化。20 世纪 40 年代以来，一系列新兴科学技术的发展，又向社会推出了收音机、电视机、电冰箱、洗衣机、空调器等生活器物，大大改善了人们的物质文化生活条件，减轻了家务劳动。在科技发达的国家，家庭生活日益电子化，人们可以借助因特网坐在家里实现网上购物、网上付账、网上阅读。现代农业和食品加工工业利用新的科技发明给人们送来越来越丰富多样、美味营养的食物；化纤和纺织行业给人们提供的各种新式衣料和款式讲究的时装，也都是和合成材料、电子计算机等新科技成果联系在一起的。总之，科学技术和人们的衣食住行、人际交往等日常生活紧密相连，正在给现代人类提供越来越丰富和方便的物质生活条件。

2. **促进医药、卫生、保健事业的发展，提高人们的健康水平和生命质量**

医学、药物学无论在东方或西方，都是古老的科学。几千年来，人们依赖医药解除病患之苦，从死神手中夺回了无数生命，保证了人类的繁衍发展。近代以来，科学技术的发展，使得医药、卫生、保健事业有了长足的进步，X 光、放射性元素、抗菌素、

电子诊断仪器、激光等等一系列科技新成果被广泛应用，诸如人体器官移植之类的新技术的问世，挽救了千万人的生命。如今，社会医疗保健设施不断完善，人的平均寿命普遍延长，健康水平有了很大的提高。这些都是和科学技术的发展分不开的。现代生命科学还在为提高人类的生命质量做出贡献。优生学指导人们科学地、有计划地生育，减少遗传性和先天性疾病；遗传工程等生物技术已发展到可望设计和影响婴儿的特定遗传结构，为创造身心俱佳的优质人提供了前景。

（三）科学技术推动着人类劳动条件的改善

科学技术可改善劳动环境，减轻人们的劳动强度。劳动是人类谋生的需要，千百年来恶劣的生产条件和繁重的体力劳动使劳动者心力交瘁、苦不堪言。马克思认为，要使劳动成为人们自觉、愉快的行为，成为“生活的第一需要”，除了必须消除任何形式的对劳动实行强制的社会因素外，还必需具备两个条件：① 必要劳动时间的缩短和由劳动者支配的自由时间的延长；② 劳动条件的根本改变，使人免除一切繁重的体力劳动。科学技术正是促使这两个条件逐步实现的重要因素。以农业劳动为例，拖拉机、收割机、水泵、除草剂、农药等近代科技产品使农民那种“面朝黄土背朝天”的艰辛成为过去，长年被束缚在土地上的农民因此而获得了更多从事文化和娱乐活动的闲暇。工业部门的情况则更为明显。近代的机器大生产结束了笨拙、艰苦的手工劳动时代，而在现代工业中已经出现了由电子计算机控制和机器人操作的自动生产线、自动车间甚至自动工厂。在自动化程度高的企业，各个生产环节的人员只要把生产任务编制成程序号码送到电子计算机控制中心，由一个人通过电视装置监视机器的运转就可以了。“劳动表现为不再像以前那样被包括在生产过程中，相反地，表现为人以生产过程的监督者和调节者的身份同生产过程本身发生关系。……工人不再是生产过程的主要当事者，而是站在生产过程

的旁边。”[①] 现代科学技术的发展，正在促使马克思的这一设想逐步变为现实。

二、科学技术推动人类精神文明的进步

精神文明是人类社会精神生活进步与开化的状态，是人类精神生产积极成果的总和。科学技术对人类精神文明的影响和促进作用，主要表现在人们思维方式的变革、道德观念的更新以及教育和文化事业的发展等方面。

（一）科学技术推动着哲学观念的变革和思维方式的进步

1. 科学技术推进着哲学观念的变革

哲学是关于世界观和方法论的理论体系，是时代精神的精华，它从最一般原则的高度指导人们的社会生活，支配人们的思想。哲学与科学的关系特别密切。哲学作为时代精神的精华必然把当代的自然科学成就荟萃于其中，每个时代的哲学观念在很大程度上是由那个时代的自然科学发展水平所决定的。科学直接为哲学提供事实材料、思想材料和科学证据，是哲学产生和发展的基础。科学发展的速度、水平制约着哲学的发展。历史上唯物主义哲学的三种发展形态，即古代朴素的唯物主义，17 至 18 世纪形而上学唯物主义以及 19 世纪中叶诞生的辩证唯物主义，都与当时自然科学的发展水平有着极为密切的联系。现代自然科学的一系列新发现和新突破，一方面更加深刻地揭示出自然界的物质本性和辩证性质，为辩证唯物主义的确证提供了新的更加可靠的科学论据；另一方面也提出了一系列新的哲学问题和新的科学材料，为辩证唯物主义的丰富和发展提供了更加广阔的前景和更加牢固的科学基础。

---

① 《马克思恩格斯全集》第 46 卷下册，人民出版社，1990 年，第 218 页。

2. 科学技术推进着思维方式的进步

思维方式是人类理性认识的形式、方法和程序，它反映了人们对世界的理解水平以及认识的深度和广度，是人类的精神素质和科学文化素质的总的体现。思维方式是社会文明历史发展的产物，是精神文明的一个重要因素，在精神文明中占据着特殊的地位。科学的思维方式往往体现着正确的思想和道德观念，起着巩固先进的世界观和人生观的作用。同时，思维方式的科学化程度也体现着人类的智力和文化素质的发展状况，是量度精神文明中科学文化方面的综合标志。自然科学理论是人类对自然界理性认识的结晶，它具有方法论的价值和功能。人的思维方式是随着科学认识、科学方法的发展而不断更新的。近代科学史表明，几乎每一个时代都有占统治地位的自然科学理论观念作为新的方法论支配着普遍的社会思维方式。如 16 世纪的日心说、17 和 18 世纪的牛顿力学、19 世纪的生物进化论、20 世纪的相对论和量子力学等等，每一种新理论被社会接受后，无不使人们耳目一新，逐渐改变了一些旧的观点，树立新的观察和理解事物的方式方法。

（二）科学技术推动着道德观念的进步

道德观念，是人们在社会实践生活中，在感觉和知觉的基础上，对具体道德现象的内在联系和本质特征的认识。人们是在认识世界的基础上选择一定的道德观念的。自然科学和社会科学是建立道德行为和发展道德观念的知识基础，它推动新的道德规范的形成和社会道德水平的提高。这种推动作用，主要表现在以下几个方面：

第一，科学技术使社会生产和生活发生巨大变化，对生产关系和其他社会关系产生深刻的影响，从而促进新的道德规范的形成和社会道德水平的提高。比如在小农经济的封建社会里，人工畜力的劳动方式和“日出而作，日落而息”的生活方式使人们形成了因循守旧、缓慢涣散的德行。近代科技促成的资本主义机器大

工业生产淘汰了这种农民的习惯，向人们提出高效率、快节奏的“时间道德”新要求，也使无产阶级养成了高度组织纪律性的品质。在当代，科学技术的影响渗入到社会的一切生产和生活领域，进一步推动新的道德规范的形成。如生产过程的高度自动化，要求人们具有主动进取、迅速应变、办事灵活等新品质；复杂的科技工作环境，促使个人交往和社会交往以简化的方式代替旧式的繁文缛节；紧张单调的劳动操作，则使人们产生了对轻松愉快的生活和高尚的审美情趣的追求。

第二，科学技术知识深化了人们对自然、社会和人自身的本质的认识，从而扩大了人们的道德视野，促进了道德观念的变革。比如哥白尼的日心说、达尔文的生物进化论，都曾强烈地震撼上帝创世说，给统治西方若干世纪的宗教道德以沉重的打击，促进了道德观念的转变。又如现代生态学的发展变更了人们的伦理标准。生态学告诉我们，乱砍滥伐森林、污染环境等行为，客观上影响人类的生活，有碍人们的生命健康。因此，能否维护生态平衡，尽管体现的是人和自然的关系，但实际上也体现了人与人之间的伦理关系。对于人们开发、利用自然的行为可以做出人道主义抑或非人道主义的道德评价。可见，随着生态学的发展，人们的道德视野扩展了，并由此改变了传统伦理学忽视人与自然关系的缺陷。

第三，某些科学技术成果的运用，有力地冲击了传统道德观念，为新的道德规范的确立开辟了道路。例如清末我国兴修铁路，就曾遭到顽固派以铁路会切断祖坟的“龙脉”、火车会震扰先人的魂灵为由的封建迷信和宗法道德的强烈抵制。但这种愚昧的行为终究还是遭到了社会的唾弃。近年来问世的试管婴儿、器官移植等新科技成果也引起了有关道德评价问题的激烈争论，但我们看到，这些成果目前已经被越来越广泛地应用，为越来越多的人所理解和接受。这表明人类的生命道德观念正在随着科学技术的发展而取得新的进步。

第四，科学精神的影响。科学技术的发展直接依赖于科学家们的科学劳动。科学家在长期的科学劳动中形成的追求真理、崇尚实践、尊重科学、实事求是、勇于探索、敢于创新、乐于献身的科学精神，不仅构成了科学家和科学共同体所共同遵循的科学道德准则，而且也深刻地影响到社会其他成员的精神面貌和道德观念，从而推动了整个社会道德水准的提高。

（三）科学技术推动着教育和文化事业的发展

1. 科学技术的先进成果直接应用于教育实践，从而引起教育系统结构的变化

比如，当电子计算机、电视、录像录音等电教设备引入教学过程，成为一种教育手段的时候，就必然会导致整个教育系统在课程设置、教学内容、教育方式和教师知识结构诸方面产生结构性调整与变化，进而引进教育系统结构性的变革。

2. 科学既高度分化又高度综合的发展趋势造成众多新兴学科的产生，必然导致教育内容的变革

日益增多的分支学科、边缘学科、综合学科和横断学科，提示了科学领域间的崭新联系，促成了学科的彼此渗透和知识的专门化与整体化。同时，科学和技术的联系也日益紧密，形成了现代科学技术的统一体系；科学技术与社会科学之间的相互渗透也不断加强，形成了一系列新兴的交叉学科。科学技术的这种发展趋势，要求现代人具有广博的知识结构，这就使得教育在其内容上要有一个根本的变化。通过增设新的专业、进行院系调整、创办新的专门院校等措施，实现教育专业在整体结构上的深刻改革。

3. 科学技术的加速发展，必然引起教育方式上的变革

在当代，科学技术以空前未有的速度发展，形成了以“知识爆炸”为特征的社会现象。据统计，科技数据和情报平均每年递增 7% ～8% ，每 10 年到 15 年翻一番；当前世界上每年有 200 万篇科

学论文发表，而且这个数字每 15 年至少要翻一番。面对这种情况，教育必须改变过去单纯传授知识的方式，转而注重培养学生驾驭知识的智能，而且教材内容也必须有相应的改革。知识爆炸同时也引起知识老化和更新速度加快，这就要求对在职人员实施继续教育和终身教育，使之用不断更新的知识结构，跟上现代科学技术发展的步伐。

4. 当代科学技术革命出现的科学—技术—生产一体化趋势，必然改变传统的教育价值观念

传统教育价值观念把教育投资看成是纯消费性投资，当代科学—技术—生产一体化的趋势使人们认识到科学技术是生产力，因此对传授科技知识的教育的投资乃是生产性投资。随着科学技术的进步，教育投资的效益也愈益显著。例如在美国，国民所得增加总额中有 33% 系由增加教育投资所产生，美国生产力的增长，4/5 归功于生产方法、管理技术与员工素质的改进。[①] 可见教育投资实际上远比其他投资收益大，属于社会经济发展的根本性建设。

5. 科学技术对文化事业的促进作用

这里所讲的文化，是狭义上的文化，主要指文学、艺术、新闻、出版、电影、电视、卫生、体育、图书馆、博物馆、文化馆等各项事业。在近代历史上，科学原理和技术成果被应用于艺术创造、新闻出版和卫生事业，推动这些事业的进步和发展的事例很多。像光学、几何学之于绘画，声学之于音乐，印刷术之于出版业，化学、生物学、医学、生态学以及各种医疗器械的研制技术之于卫生保健业等等，都是人所共知的。现代科学技术革命的巨大成就对各项文化事业的渗透更是无所不至，不断推陈出新。如全息摄影、电子音乐、计算机作曲等新的艺术形式的创立，实现无铅字印刷的电脑激光照排系统的发明，遍布全球的卫星电视

① 李汉林：《科学社会学》，中国社会科学出版社，1987 年，第 217 页。

网的建立，体育场地和裁判、训练器材的电子化，图书馆设备的自动化和计算机化等等。

除了把科技新成果直接应用于文化领域之外，科学技术对文化事业的促进作用还表现在文学、艺术、新闻等文化传播形式中反映科学技术的内容越来越多，越来越深刻。像科学幻想的文艺作品、科普作品、科学家传记等等，这对于普及科学技术知识、繁荣文艺、破除迷信都具有积极意义。此外，一些科学理论像系统论、控制论、信息论，作为新的方法论逐渐被移植到文学艺术等研究领域中，使得文艺理论研究增添了新的内容。作为文艺理论基础的美学还与科学技术结合，形成了科学美学、技术美学等新兴学科。还有，由于科学技术的发达，人们工余的闲暇时间相应增加，文化水平也普遍提高，越来越多的人将成为文化事业的直接参与者和创造者，而不再是单纯的消极欣赏者，这就为人类文化的进一步繁荣奠定了广泛的群众基础。

三、科学技术促进社会结构的变革

（一）科学技术推动着经济结构的更新

科学技术加入生产过程，对经济的结构产生了巨大影响，也就是说，深刻改变了国民经济各部门、社会再生产各领域的构成，具体表现在产业结构、工业结构、消费结构、劳动力结构以及国际贸易结构等几个方面。

1.产业结构的变化

产业结构的变化表现在两个方面：其一，由于科学技术的广泛应用，第一产业和第二产业的产值和就业人数在整个国民经济中所占的比重相对下降，而金融、商业、运输、电信、科研、教育、文化等第三产业的产值和就业人数则急剧上升。从 20 世纪 70 年代后期开始，一些国家的第三产业的产值和就业人数已经超过了第一产业、第二产业的产值和就业人数之和。把信息技术发展同产业结构的变化联系起来考察，就会发现一个明显的趋势，即产业结构软化。

所谓产业结构软化，就是在社会生产和再生产过程中体力劳动和物质资源的投入相对减少，脑力劳动和科学的投入相对增大。

其二，在国民经济体系中，技术密集型产业的比例急剧上升，传统的劳动密集型产业不断下降。从以劳动密集型为主向以资金密集型为主、进而向以技术密集型为主的过渡，也是由于科学在这些产业部门中日益扩大的应用所造成的。在科学技术比较落后的古代社会，劳动密集型的行业占主导地位；近代科学技术的发展，尤其是蒸汽机技术和电力技术的两次技术革命，促进了工业化的发展，导致了一批资本密集型行业的出现；现代科学技术革命的迅速发展，则导致了大批“技术密集型”或“智力密集型”产业部门的出现，并很快取代了原有工业产业部门的地位，成为主导性的产业部门。

2. 工业结构的变化

在科学技术发展的推动下，传统的工业生产部门内部也发生了显著的结构性变化。在西方，钢铁、汽车、橡胶、造船等传统工业被称为“夕阳”工业，这是因为它们消耗大量能源，产生大量废料和污染物，等等。从 20 世纪 50 年代中期起，就在工业化国家里地位明显下降。例如，美国钢铁工业的开工率，1983 年仅为 42%，而西欧只有 40%。而像激光、光导纤维、生物工程、新能源等新兴的“朝阳”工业蒸蒸日上，以微电子技术为基础的信息产业，发展尤快。由于高技术产业具有能耗低、原材料消耗少、应用范围广、利润大等优点，发达国家以及新兴工业化国家的经济资源纷纷涌向高技术产业，使其获得了迅猛发展。因而，在整个工业结构中，出现了新兴产业比重逐渐上升、传统产业相对衰落的趋势。

3. 消费结构的变化

各种新型消费品的出现，丰富了消费品种，扩大了消费规模和范围，改变了消费结构和模式。人们的消费选择日趋多样化，物质性消费支出相对下降，而非物质性支出相对上升。

4. 国际贸易结构的变化

非实物形态的贸易如技术贸易、专利买卖、设计、咨询服务、劳务、装卸、运输和国际保险等所谓无形贸易在国际贸易中的比重相对提高，而实物形态贸易则相对下降。其中特别是技术贸易和专利买卖的贸易额上升得更快，已成为相对独立的贸易形式。1979 年，国际无形贸易的发展速度第一次超过了商品贸易。1980 年，全世界无形贸易总额为 6 500 亿美元，在国际贸易中占到了 1/4。

5. 社会的劳动结构也发生了变革

这主要表现在社会劳动力大量地由农业和工业向服务、通讯、交通、文化教育、科学技术和管理部门转移，体力劳动者的数量不断下降，脑力劳动者的数量不断增加；劳动者的科学文化素质迅速提高，脑力支出日益增多，体力劳动日益减少。

（二）科学技术推动着生产关系的变革

科学技术促进社会生产关系的变革，是由它的生产力性质所决定的。科学技术进入生产领域之后，会极大地提高社会生产力的水平；而生产力的发展，必然会引起社会生产关系的变化。

科学技术发展不仅会改变产业结构，而且会极大地提高劳动生产率，带动社会经济的增长。当前科学技术进步和科技管理因素在提高劳动生产率中的作用，已超过推广生产规律和增加劳动人数的作用。有统计表明，在本世纪初，大工业劳动生产率的提高，只有较小的份额是采用新科学技术取得的；而 20 世纪 70 年代以来，科学技术所占的份额已大幅度上升，成为劳动生产率提高的主要因素。随着社会经济状况的改变以及科技在生产管理、经营等领域的广泛应用，还会进一步引起社会生产过程中劳动方式、管理方式、经营方式以及流通、分配和消费方式等的变化，最终导致生产关系的重大变化。科学技术不仅是生产力中最活跃的因素，而且对生产关系的变革产生巨大影响。

比如，科学技术促进了社会管理科学化。马克思说：“一切规模较大的直接社会劳动或共同劳动，都或多或少地需要指挥，以协调个人的活动，并执行生产总体的运动……所产生的各种一般职能。”[①]资本家把科学技术与管理称做工业的两条腿，其实，这两条腿本身又是相关的。第一次产业革命期间，对应的管理是经验管理。利用分工原则来发挥工人所长，提高劳动生产率，降低产品成本，这时的管理是资本家根据经验进行直接管理。随着科技进步和劳动工具的变革，对企业的管理要求越来越高，经验管理已不适应新的形势，泰罗的科学管理理论就是在19世纪末、20世纪初新的科技革命期间诞生的。此时的企业管理向标准化、专业化、同步化、集中化、大型化和集权化这六个相互联系的方面发展，而且出现了一种受资本家雇佣的专门从事管理的人员——经理、厂长等。第二次世界大战之后，管理又有新的变化，运用现代科技成果和技术手段实现了管理组织的现代化、管理方法的现代化和管理手段的现代化。

又比如，科学技术促进了阶级关系发生重大变化。在产业革命期间，由于机器代替了手工工具，大工厂代替了手工工场，从而改变了生产体系中人与人之间的关系，导致社会财富的重新分配，并引起社会阶级结构的大变动，出现了资产阶级和无产阶级两大阶级。新技术革命极大地促进了社会结构的重组。特别引人注目的是出现了一个以知识和能力为“资本”的经理阶层，以及一个构成社会基本力量的中间阶级，他们使阶级斗争的形势发生了巨大的变化。

（三）科学技术推动着上层建筑的变革

生产力决定生产关系，经济基础决定上层建筑。科技进步导致经济基础的改变，上层建筑为了适应经济基础的变化，必然也要作相应的变化。因此，科学技术的发展最终会推动社会制度的

①《马克思恩格斯全集》第23卷，人民出版社，1977年，第367页。

变革。从历史上看，先进的社会制度之所以得以建立并最终战胜落后的社会制度，从根本上说是因为它创造了更高的社会生产力，而社会生产力的提高，又决定于科学技术的进步。由此可见，对于占统治地位的阶级来说，支持发展科学技术是多么重要。

人类发展的历史充分证明了科学技术对推动社会历史前进的巨大作用。金属工具的出现，推动了原始社会向奴隶制社会的过渡；铁器的使用，推动了奴隶制社会向封建社会的过渡；机器的出现和推广使用，推动了封建社会向资本主义社会的过渡。目前正在发生的现代科学技术革命，也必然和正在对世界各国经济基础和上层建筑以及国际关系和政治经济格局产生深刻而全面的影响，推动人类社会历史的发展。

第三节　科学技术发展的社会条件

科学技术作为一种人类认识自然和改造自然的活动，是在一定的社会历史条件下进行的。为了深入研究科学技术的辩证发展，还要分析科学技术发展的社会条件。

一、社会诸因素对科学技术发展的影响

各种社会因素同科学技术发生着复杂的关系并影响着它的发展。具体而言，影响科学技术发展的主要社会因素包括：经济、政治、教育、哲学和文化等。

（一）经济对科学技术发展的影响

经济与科学技术是现代社会发展的两大杠杆。二者又是在相互依存和相互转化中支撑整个社会进步的。经济因素在社会诸因素对科学技术发展的影响中占据首要地位。这种影响表现在三个方面：

1. 反映经济上需求的社会生产实践

社会需求有经济上、政治上、军事上、交通上以及精神文化生活等方面。科学技术也就有了有关生产、管理、军事、交通、文化等方面的科学理论、方法和技术手段等。但是，在各种社会需求之中，经济和生产方面的需求是最主要的需求，而在科学技术之中，有关生产和经济发展方面的学科和领域发展最快，应用最多，作用最大。其他的一些社会需求的实现，往往受制于经济上需要的实现。而经济上的需要，又是通过生产实践来实现的。生产实践劳动是人类社会赖以生存和发展的物质基础，也是决定其他活动的最基本的实践活动，因而也是决定科学技术产生和发展的主要因素。生产实践是科学技术的源泉和基础。生产实践对科学技术的推动作用具体表现在以下几个方面：

（1）生产实践不断向科学技术发展提出新的研究课题。一般说来，生产实践向科学提出的研究课题有两类：一类是生产实践中已经实现的技术，需要从科学理论上给予总结，以便继承和发展，例如，对中医的治疗方法进行生物学的探讨等。另一类是由于生产实践发展的需要而提出的许多人们从未研究和解决的课题，这类课题能使科学进行定向研究，促使科学发展。例如，冶金和医药发展的需要使化学从炼金术中解放出来。

从古代到近代，科学技术课题主要来源于生产实践活动。人类早期的技术创造大多是直接产生于生产实践活动，早期的自然科学也是孕育于生产实践活动之中。例如，古代人在丈量土地、计算时间和制造器具等生产活动中，发现和提出了许多数学问题，围绕这些问题，积累了许多数学知识，形成了古代最早的数学。近代以来，科学技术发展的相对独立性增强，在科学技术研究中产生的问题越来越多，尤其是科学技术实验成为研究问题产生的越来越重要的来源。但是，生产实践仍然向科学技术提出大量的研究课题。

在现代，生产实践不但要求实现机械化和自动化，而且往往要求在高温、高压、低温、低压、强辐射等特殊条件下进行。劳

动对象也从陆地扩展到空间、海洋等领域。这些变化迫切要求解决机器生产的自动控制问题，把人对机器的某种操作、控制转移给机器。生产自动化的发展，推动了对电子计算机的研究，也推动了控制论、信息论的诞生。现代生产对新材料、新能源和环境保护的要求，促进了材料科学、能源科学和环境科学的研究。

另外，还有大量的研究课题，虽然不是直接来自于生产实践，而是来源于科学观察和科学实验活动，但是它们仍然与生产实践有密切的关系，因为这些科学技术问题能否纳入科学技术研究活动的日程，科学技术工作者对它们的重视和关注程度如何，也要受到生产需要的影响，归根到底，取决于生产实践和经济上的需要。

(2) 在生产实践中积累的经验知识是科学技术认识的重要源泉。科学理论的建立、技术发明的完成及其应用，都离不开必要的事实材料和经验、技能。对科学而言，解决科学问题、提出科学假说和理论，都需要一定的事实依据，进行科学实验也需要一定的设备安装技能和操作经验；对技术活动而言，不仅在技术应用中需要一定的劳动经验和操作技能，即使是在技术研究和发明过程中，也离不开一定的操作经验。生产实践不仅为科学技术创造提供丰富的观察事实和数据资料，而且也积累了宝贵的工作方法和经验、技能。

从历史上看，人类首先是通过生产实践活动，才逐步认识自然界的各种现象及其规律性，并由此产生了原始的科学观念和生产经验、技能，而这两个方面正是自然科学和技术得以产生、发展的基础，后来的科学技术各学科部门的发展，都是在这些原始科学观念、生产技术基础上逐渐形成，并随着生产活动的发展而不断发展起来的。近代自然科学之所以能迅速发展，正是由于生产实践提供了大量事实材料的结果。19 世纪自然科学所产生的能量守恒和转化定律、细胞学说、生物进化论、元素周期律等一系列重大理论成果，正是由于 18 世纪以来生产实践的需要，使人们

开展了大规模的科学旅行、科学探险、动植物栽培、矿物的分析等活动，从而获得了丰富的事实材料的结果。20 世纪以来，在现代化生产的基础上，人们深入到宇观和微观领域，获得了大量的新事实、新材料，从而促进了宇宙学、天体物理学、宇宙生物学、基本粒子物理学等新学科的建立与发展。

（3）生产实践为科学技术研究不断创造出新的观察、实验和信息处理手段。科学的发展离不开一定的物质条件，这些物质条件包括科学仪器、技术设备、物质材料、图书情报资料、研究用具等。而这些物质条件都是通过生产实践创造出来的，生产实践发展到什么水平，就能生产出什么水平的科学工具，从而在很大程度上决定了科学发展的状况和水平。

近代资本主义工业给科学研究提供了各种实验手段，如各种机械、透镜、望远镜、显微镜、化学试剂、电气仪表、真空设备等，使近代科学能够由定性研究转向精密的定量研究，成为系统的实验科学。现代化的生产又进一步给科学创造出先进的仪器设备和强大的物质技术手段。大型光学望远镜和射电望远镜的创造，使人们能对大尺度的宇宙空间进行观察，现代天文学由此得到迅速发展；电子显微镜和 X 射线衍射仪的创造，使人们深入了解生物分子的结构，分子生物学才能产生；各种高能加速器的制造，使人们得以深入原子内部，研究基本粒子的运动规律，于是高能物理学才得以产生和发展。

（4）生产实践是检验科学认识的真理性和技术成果先进性与可靠性的最终的标准。一种科学理论能否为人们所接受，固然有许多因素，但是最主要的因素还是看它是否具有客观真理性，是不是对自然规律的正确反映。所以，科学理论需要接受实践的检验，只有通过反复的检验，才能决定对科学理论的取舍。

在科学实验还没有从生产实践中分化出来之前，科学理论主要是通过生产实践的直接检验，不断得到积累和加工而发展起来

的。近代科学实验方法确立之后，实验成为科学理论的重要检验标准，但是生产实践仍然是检验标准之一。不仅如此，正如前面已经指出的，科学实验最终也是依赖于生产实践的。技术成果的有效性和可靠性主要是通过生产实践的检验。有一些技术发明，在实验室中，各项技术性能都很好，但是在生产过程中往往会暴露出某些缺陷。一项技术能否被推广使用，不仅取决于技术性能本身，还取决于生产成本、样式外观、工艺设计、经济效益等等，而这一切，都要经过生产实践环节才能得到验证。所以，生产实践是技术成果最重要和最终的检验标准。

生产实践不仅是科学技术产生、发展的基础和检验标准，而且是科学技术研究的归宿。一切科学技术活动，归根到底是为了有效地认识和改造自然，为人类争取更好的生存和发展环境。所以，当一个科学问题或技术课题被提出来之后，人们关心的是它应用于生产实践的可能性。毫无疑问，生产实践是决定科学技术价值的最重要的标准。

2. 社会的经济支持

社会的经济支持是科学技术发展的最重要的特质基础。科学技术研究作为新的生产力的生产过程，其产出的多少，直接取决于社会对它的人力、物力、财力的投入程度。这些投入，归根到底都是靠社会的经济投入来支持、靠生产的发展来提供的。社会对科学技术的经济投入水平，又是从根本上被社会的经济发展状况及经济实力制约着。一般说来，生产力发展水平越高，经济力量越雄厚，对科学技术的投入就可能增加，从事科学技术活动的人数就增多，教育和科研机构就发达，科学技术事业发展就加快；反之，如果生产力发展水平较低，生产发展缓慢，社会经济在用于解决社会成员的生活消费之后所剩无几，那么，科学技术活动的社会投入就受到限制，社会就不可能有更多的人力、物力、财力来投入到科学事业，科学技术就会受到影响而发展缓慢。

原始社会因为经济水平极低，不可能有人专门从事科学技术活动，因而科学技术发展极其缓慢；奴隶社会生产力有了一定发展，于是就出现了一批专门从事脑力劳动的人，科学技术就有了相应的发展，建立了一系列古代科学和技术部门。但是因为经济不够发达，社会剩余财富还不丰富，科学技术在较长时期内仍然发展缓慢。直到近代工业生产的兴起，才使科学技术建立在坚实的经济基础之上，才有了科学技术的社会化发展。现代社会生产力水平越来越高，对科学技术的投入力度也越来越大，使得许多大型科技项目得以实施，科学技术事业发展的总规模，包括科研队伍、科研机构等也迅速扩大，这是现代科学技术得以加速发展的最主要的因素。现代发达国家对科学发展的直接经济投入即科研经费，都在国民收入中占有很大的比例，而且这个比例在不断地提高。它们通过教育、文化建设等渠道对科学发展的间接经济投入，也随着生产发展、经济增长以更高的速度增长着。尤其是现代大科学、高技术的兴起，已使科学成为一项耗资巨大的事业。没有强大的经济支持作为物质基础，现代科学的发展是不可想像的。

3. 社会的经济竞争

社会的经济竞争是科学技术发展的最重要的刺激因素。自商品经济产生以来，经济竞争就成了给经济发展不断注入活力的源泉。在经济竞争中，无论就一个企业来说还是就一个国家而言，只有依靠科学技术的进步才能最终取胜。这样，经济竞争也就成了推动科学技术不断发展的一个最基本、最持久的刺激因素。为了在经济竞争中取胜，人们越来越依赖于科学技术的进步，并把经济产出的更大比重投放到支持科技进步上，于是形成了经济发展与科技进步之间投入与产出的良性循环。现代的经济竞争已在越来越大的程度上成为科学技术的竞争，这对科技进步的刺激作用就更加突出了。

（二）政治对科学技术发展的影响

政治是经济的集中表现，又是一种以强制手段支配整个社会行为的强大力量，因而对科学的发展具有重大的影响。在一定的历史条件下，科学技术的发展必然受到社会政治因素的制约，特别是在阶级社会中更是如此。

1. **社会制度对科学技术发展的制约作用**

社会制度包括社会的政治制度、经济制度和文化制度等，它们集中反映了统治阶级的利益和要求。各种社会制度作为上层建筑，都是在一定的经济基础上建立起来并为其服务的。在不同社会制度下，科学技术发展与应用的方向、规模和速度，也都呈现出很大差异。科学技术对社会各方面产生重要影响，是推动社会发展的巨大力量。因此，占统治地位的阶级及其政府必然要通过社会制度的作用，对其进行一定的制约和影响，以便让科学技术朝着有利于统治阶级的方向发展，满足其政治、经济、文化发展的需要。

一般地说，社会制度对科学技术的作用表现在两个方面：其一，凡是先进的、积极的、开明的社会制度，对科学技术的发展就起到促进作用，有利于科学技术的繁荣和发展；凡是落后的、腐朽的、专制的社会制度，对科学技术的发展就起到抑制作用。在历史上，几次重大的社会变革，都曾使科学技术获得较大发展，例如，中国春秋战国时期科技文化的繁荣，就得益于新的封建制度的建立和积极向上的文化气氛的形成；古希腊科学的兴盛也正值新兴奴隶主民主政治制度的建立和发展之际；近代西方科学技术的兴起更是直接与资产阶级民主政治和思想解放运动相关联。其二，社会制度对科学技术的影响，主要体现在制约科学技术的发展方向、发展规模和发展速度方面。一般来说，凡是与统治阶级的政治、经济需要关系大的学科和部门，就容易得到支持和鼓励，发展就相对迅速；凡是与统治阶级的政治、经济需要关系不大或效果不明显的学科和部门，就会遭到冷落，发展就相对缓慢；

凡是对统治者不利的学科领域或学术思想，就会受到抑制甚至扼杀。因此，社会制度对科学技术的制约作用，有时也会造成科学技术的不平衡发展，甚至造成某种暂时的倒退。

2. 国家政策和体制对科学技术发展的制约作用

不同的社会制度只是为科学的发展提供了不同的可能性，要把这种可能性变为现实性，必须通过政策和体制的中介作用。对科学采取的政策以及体现这种政策的体制，实际上决定了科学发展的方向、规模和速度，并完成对科学系统与整个社会大系统的关系的调整。国家关于科学技术的方针、政策和规划，体现了国家和政府对科学技术发展的基本态度和要求，包括对科学技术以及科技劳动者的作用、地位的评价，对人力、物力和财力投入强度及投入计划的确定，对科技成果的利用和管理方式，对科技文化教育事业的发展规模和发展方向的规定以及其他有关科学技术的宏观调控措施等等。

科技政策的制定，当然要反映国家和政府的意愿和要求，但是科技政策对科技发展所起的作用如何，要看科技政策的制定是否符合社会和科技发展的客观规律和要求。正确的方针政策能够加速科学技术的发展，而错误的方针政策则会阻碍和破坏科学技术的发展。在历史上，对科学技术和文化采取闭关锁国的封闭政策以及对科学技术过多施加政治干预的政策，都限制了科学技术的整体发展，而有关专利制度、奖励制度、学位制度、职称制度以及有关鼓励科技创新和科技文化交流的科技管理制度，都对科学技术发展起到了积极的作用。

3. 社会的政治行为及其所造成的政治形势对科学技术发展的制约作用

战争是政治的继续，军事对抗是最激烈的政治行为。军事战争作为一种大规模的物质活动，对于科学的发展无疑有着异乎寻常的推动力，从而使军事技术的发展呈现异军突起的态势。由于战争，国家不得不在物力和财力上给军事活动以充分保证，这是

军事技术得以率先发展的必要物质条件。同时，战争以其特殊地位使大批科学家卷入军事，这些科学家便成为在军事领域中推动科学发展的直接力量。

正如著名科学家贝尔纳（J.D.Bernal）指出的："科学与战争一直是极其密切地联系着的；实际上，除了 19 世纪的某一段期间，我们可以公正地说：大部分重要的技术和科学进展是海陆军的需要所直接促成的。这并不是由于科学与战争之间有任何神秘的亲和力，而是由于一些更为根本的原因：不计费用的军事需要的紧迫性……不用说，由于科学帮助满足了战争的需要，战争需要也同样地帮助了科学事业。首先，战争需要提供了金钱来养活科学家；其次，战争需要提出了一些难题，促使科学家把注意力集中在这些问题上面，并且在实践中来检验自己的科学猜想。"[①] 20 世纪以来两次世界大战及其前后的历史足以证明，战争和备战的需要，也是科学技术发展的实在动力之一。但是，由此而导致的科学技术进展可能畸形化，并且会付出牺牲经济发展和破坏人类文明的沉重代价。世界范围内的国际政治形势的缓和，一个国家中的政治形势的安定和民主的环境，都是科学技术发展所必需的条件。

（三）教育对科学技术发展的影响

教育事业的发展可以更有效地继承、传播和创新知识，能为国家培养大批科技人才和管理人才，而且还能不断地增强一个国家接受、消化、吸收和应用先进科技成果的能力。

1. 教育发展的状况决定着科学技术知识的继承、传播和创新状况

科学认识的特点就在于其创新只能在继承的基础上发生。没有教育，就没有知识的继承，也就不会有创新。通过教育，可以

① 〔英〕J.D.贝尔纳著：《科学的社会功能》，商务印书馆，1982 年，第 241～242 页。

把前人遗留下来的科学知识和科学问题继承下来，并把它传播给受教育者。科学知识的继承，可以不断丰富人类知识总库的总量；科学问题的继承，也正是问题不断得到解决的过程。不仅如此，教育还大大提炼、浓缩和升华了人类的知识。因为教育不是在一切细节上重复前人已经获得知识的整个过程，也不是把所有形形色色的知识都传授给受教育者，而是对现有知识进行挑选、提炼、升华之后再传授给受教育者，所以，自然科学知识通过教育传授之后，就具有了“真、广、新、深”的特点，由此不断完善和发展着科学知识体系，使得科学知识更加准确、深刻完整地反映自然界的客观规律。

现代教育不仅具有保持和传播知识的职能，而且具有创造和发展知识的职能。在世界各国中，大学的科研成果都在其全部科研成果中占有相当大的比重。“九五”期间，我国高等院校承担了 1/2 左右的国家基础性研究项目、1/3 左右的国家“863”高技术项目、1/4 左右的国家攻关项目，取得了一大批研究成果。从 1979 年国家恢复奖励制度以来，高等院校共获国家自然科学奖 230 项、国家发明奖 774 项、国家科技进步奖 1 210 项，分别占全国奖励总数的 1/2、1/3 和 1/4。[①]

2. 教育发展的状况决定着科学技术人才的培养状况

科学技术活动的主体是科学技术劳动者，他们是通过教育造就出来的。教育的发展状况决定了科学技术队伍的质量、数量和结构，决定了这支队伍的知识更新能力及其后备力量的培养。从根本上说，没有一支高水平的科技人才队伍，科学知识和科学问题就难以继承，新的知识和新的技术就难以产生，技术成果也难以转化为现实生产力。教育的一个统一的功能就是向社会各行各业提供受过一定教育的毕业生。比如，各国的高等院校为社会培

① 中华人民共和国国家教育委员会科学技术司：《中国高等学校科技成果及产业要览》，中国科学统计出版社，1996 年，第 2～3 页。

养了大量的知识人才、技术人才和现代高级管理人才。教育的普及、教育规模的扩大、教育水平的提高，可以大大提高全民族的科学文化素质，使科技人才具有广泛的社会基础。今天的教育，是明天科学劳动的准备，学校是科学能力再生产的“加工厂”。

3. 教育的普及程度还决定着科学技术成果在社会中传播、消化、吸收和应用的程度

在科学研究中，重复劳动是没有意义的。任何科学技术成果都可以超出国家和地区的界限，为整个人类所共享。但每个国家和民族享用这些科技成果的能力，依赖于它接受、消化、吸收和应用这些成果的能力，而这种能力又是被它的教育程度所限定了的。日本明治维新开始就把振兴教育作为一项基本国策。第二次世界大战以后，从 1950 年到 1975 年，其教育经费猛增 25 倍，使 1/3 的人受到高等教育，从而大大提高了日本的科学能力，特别是对新技术的消化、吸收能力。这是日本能够后来居上，一跃成为世界经济技术大国的重要原因之一。

正因为教育对科学技术发展有着如此重要的作用，所以科学技术的竞争在很大程度上变成了教育的竞争。教育对许多国家的科技振兴和经济起飞都做出了巨大贡献。不过，教育对科学技术的影响，尤其是对经济发展的影响有一个“滞后期”，这恰恰需要对教育作超前的投入。如果由于教育的影响不能立即在科技和经济发展中显现出来而忽视和冷落教育，那就不仅是目光短浅而且是十分有害的。

（四）哲学对科学技术发展的影响

哲学必然以科学技术为基础，同时必然对科学技术发展具有反作用。人的活动都是有目的、有组织、有计划的，总要受到一定的思想观念和认识模式的影响。科学技术工作者总是要受到一定的哲学观点的支配。哲学对科学技术的作用主要有以下两个方面：

1. 哲学能够提供世界观和方法论的指导

科技工作者在从事任何研究工作时，都要受到头脑中一定的哲学观念和哲学方法论的影响，离开了一定的世界观和方法论的指导，就无法做出科学判断和科学解释，甚至连科学问题也提不出来。因此，不管科技工作者愿意与否、自觉与否，只要他们进行理论思维，就离不开原有哲学观念的作用。研究活动越是深入发展，就越需要哲学理念为其指明方向、提供武器。人们形成一定的哲学观念的方式和途径是多种多样的，有的是在平时潜移默化地接受的，有的是在实践中逐渐形成的，而自觉地学习哲学史上的优秀成果和唯物辩证哲学，对于形成正确的观点和方法，是很重要的。

2. 哲学能够提供具有启发意义的理论推测

在历史上各种哲学思想中，包含了许多可供选择的假说和猜测，对科技工作者的研究具有启发作用或为科学的发展提供新的生长点。例如，原子的概念是人类几千年来孜孜以求的东西，但是这个最先由古希腊哲学家留基伯（Leucippos）和德谟克里特（Democritus）提出的自然哲学概念却预演了科学朝微观领域方向发展，最后发展成为现代的基本粒子科学。例如，德国古典哲学中关于光、电、磁、热等自然现象具有共同的本质这一论断，直接启发和激励了奥斯特、法拉弟等人努力探寻电、磁、光的本质联系，结果导致了电磁致动效应和电磁感应效应的发现，等等。这种哲学观点或理论思考超前于科学发现和技术发明的事例在历史上是非常多的。由于哲学思考受具体科学事实的束缚较少，因此往往能够避免科学技术研究者埋头于具体问题研究所可能带来的局限性，提出某些尽管是不确定的甚至是模糊不清的但却是十分重要的观点和猜测。

3. 哲学问题的探讨促进了科学问题的解决

虽然哲学问题不能等同和代替科学问题，但哲学问题的探讨有助于科学问题的解决。正因为如此，现代许多科学家，尤其是

理论自然科学家，都主张“把哲学论题和科学论题更紧密地连在一起”，他们根本不满足于专业内的探索而潜心研究哲学问题。科学哲学家库恩（T.Kuhn）认为：“特别在公认的危机时期，科学家们必须转向哲学分析，作为解开他们的领域中的谜的工具。”[①]例如，彭加勒曾经为经典力学中发现的异常复杂现象所困扰，他转而研究哲学，思考必然性与偶然性、决定论与非决定论的关系。这就使他早于同代人认识到：绝对的决定论是拉普拉斯造成的一种幻想。

（五）文化对科学技术发展的影响

科学技术既是文化的重要组成部分，又是在整个社会的文化氛围中存在和发展的。文化的核心是价值观念和行为规范的集合。这种价值观念和行为规范，溶解在社会的各种制度之中，隐含在人们的社会行为和生活方式之中，并且经过历史的积淀形成强大的文化传统。文化构成了科学技术生长的土壤，它制约着人们的科学技术和社会的科学技术体制，必然给科学技术的发展打上深刻烙印。文化传统由于具有被社会所接受的认同性和稳定性，它对科学技术的影响是全方位、多层次的，又是潜移默化、根深蒂固的。

科学技术只能在一定的文化土壤上生长。一定的文化机制便构成了科学技术产生和发展所必需的社会条件。在近代史上，近代科学的兴起，是近代文化变迁的共生现象。近代新自然科学之所以诞生在欧洲，从科学和文化的关系来说，就是因为欧洲的文艺复兴和宗教改革为它准备了必要的文化条件。

在科学传播和技术转移的过程中，外来科学技术能否被一个国家或民族接受、消化和吸收，也在很大程度上决定于这个国家或民族的固有文化能否与这种外生的科学技术以及与之俱

---

①〔美〕T·S·库恩著：《科学革命的结构》，上海科学技术出版社，1980 年，第 73 页。

来的文化基质相容，能否有足够的接受新文化的承受能力，以及能否通过新旧文化的冲突与整合最终完成自身文化的变迁。日本的成功范例和伊朗的失败教训，都表明了文化对科学技术发展的重要作用。

二、社会需求对科学技术发展的推动作用

从总体上看，科学技术的发展与社会需求的发展存在着某种一致性。社会需求有经济、政治、军事、交通以及精神文化生活等方面，科学技术也就有了有关生产、管理、军事、交通、文化等等方面的科学理论、方法和技术手段等。来自社会各方面的需求，一旦与社会为科学技术发展提供的可能性以及科学技术本身发展的必然性相整合，便构成社会推动科学技术发展的有效需求。正是这些社会需求，推动着科学技术不断发展。社会需求对科学技术的推动作用，主要表现在以下几方面：

（一）社会需求对科学技术发展的导向作用

由于科学技术的发展从根本上说是对于社会需求的响应，因此当社会需求的结构发生变化时，科学技术的发展重心和方向也会相应地发生变化。

就整个社会而言，一切科学技术成果，都是人类为满足社会的需求而自觉创造出来的认识或实践的手段。科学技术的发展，实质上是对于社会需求的响应。随着社会的进步，社会需求的深度和广度必将不断扩大，社会需求的结构也必将日益更新。这样，不断增长的社会需求就不断地引导着科学技术发展的方向。对每一个科学技术工作者或科学共同体来说，他们所进行的一切科学技术活动，都是有目的的活动。这种活动的目的固然取决于他们个人的或集体的意志，但同时也不能不受到社会需求的制约。社会需求对科学技术发展的导向作用，体现为社会对科学技术某些发展方向的支持、扶持和激励。其重要作用方式，是社会按需求

调整对科学技术发展的各种资源（包括经济资源、人力资源、组织资源等各个方面）的投入并且按需求评价科学技术成果的价值和效益。于是，就把科学家的主观动机纳入了社会客观需求的轨道。正因为如此，科学技术工作者的才能和科学技术研究与开发机构的效率，在很大程度上表现在它们对社会需求的灵敏反应上。

（二）社会需求对科学技术发展的选择作用

科学技术发展与社会需求的发展从总体上看是基本一致的，但并不是说科学技术的所有活动都严格符合社会需要，不能设想在科学技术发展中所采取的每一个步骤和取得每一个成果都无一例外地直接对应于服从某种社会需求的明确动机。

即使在直接响应社会需求的情况下，科学技术的发展也可以采取多种不同的反应方式。当然，这并不是说科学技术的发展可以超脱于社会需求的影响和制约，而是这种影响和制约表现为另一种形式：无论是由于科学技术自身发展的内在逻辑即其自身生长机制所导致的各种进展，还是科学技术响应社会需求所采取的不同发展方式和途径，都必须经过以社会需求为准则的再选择过程。这就是社会需求推动科学技术发展的选择作用。各种科学技术研究工作所能满足社会需求的程度，决定了社会可能对它提供支持的程度及其成果在社会中应用的程度，因而也就决定了这种研究工作继续发展的速度和限度。科学技术研究所能满足社会需求的可能性，是随着研究工作的进展才逐渐显现出来的，这种研究工作可以以自身的进展通过社会的选择获得承认。选择作用的存在，有利于促进科学技术发展中的竞争。它既能保证把社会的有限资源投入到社会最需要的研究方向上去，又能为科学技术的研究和探索提供足够的自由发展的余地。

从微观上看，并不排除某些研究活动纯粹出于某种个人的目的，对于这种情况，社会需求仍然通过社会选择作用对其产生影响。比如，社会可以根据其对科学技术的需求状况，通过政策、

法规和舆论等手段，鼓励、提倡和支持一些研究活动，或削弱、限制另一些研究活动。

（三）社会需求对科学技术发展的调控作用

社会需求不仅可以从微观层次上对科学技术活动施加影响，而且还可以对科学技术发展进行宏观调整和控制，以使科学技术发展尽可能地适应社会对科技需求的宏观结构。社会需求的结构决定了科学技术的结构。社会需求对科学技术的调控作用，就在于保证社会的科学技术结构与社会的需求结构相适应。这种宏观调节与控制，包括通过一系列具体的导向和选择机制而完成的自发过程，还包括采取某些自觉的手段对科学技术发展施加的干预和影响。就整个社会而言，这种干预和影响主要是通过政府行为来进行的。例如，政府可以通过制定科学技术发展规则、编制科学技术投资预算、颁布有关科学技术的奖励法规等来达到对科学技术发展的宏观调控。国家和政府担负着协调社会大系统中各种关系和利益的使命，它必须对科学技术发展的宏观状况和战略方向加以调节和控制，以保证社会的最高需求首先得到满足和科学、技术、经济、社会的全面振兴。

社会需求可以通过其导向、选择和调控作用，使科学技术的发展成为对社会需求的响应，但是，这并不意味着有了社会的需求就会得到科学技术的发展，或者有了科学技术的发展就会使社会的需求得到满足。这不仅因为社会需求要转化为科技发展，必须同时有社会为之提供可能性，而且因为社会需求与科技发展间的关联是相当复杂的，要实现两者的互动还要通过一系列中介环节的作用。首先，通过反映需求的信息中介把社会需求的信息传递到科学技术系统中去；其次，通过响应需求的组织中介把科学技术的研究目标变为知识生产的实际行为；最后，通过满足需求的传播中介使科学技术研究的成果在社会需要的各个领域获得应用。

第四节　科学技术发展的社会控制

科学技术会造福于人类，推动社会进步，但是，科学技术的发展与应用又并非总是有益无害的，它有可能导致与人类利益相悖的消极后果乃至威胁到人类自身的生存。为了合理地利用和发展科学技术，使科学技术、社会经济与人类生活协调发展，不能只讲科学技术的积极作用，也要看到科学技术乃是一把双刃剑，必须避免对它的无节制的应用与滥用，并要正视和尽力解决因科学技术发展与应用而带来的社会问题。

一、科学技术发展的二重性

现代科学技术推动了人类物质文明的昌盛、精神文明的进步，促进了社会结构的变革，但同时也带来了破坏性的后果。科学技术是把双刃剑：既可以有“犁”的作用，又有着“剑”的功效。

（一）科学技术的建设性

科学技术的建设性就是指科学技术的社会功能，即科学技术推动人类物质文明的昌盛、精神文明的进步，促进社会结构的变革。对此，本章第二节已作详细分析，此不赘述。

（二）科学技术的“破坏性”

科学技术虽然有丰富的建设性，取得了辉煌的成就，但也同样具有“破坏性”。主要表现在以下几个方面：

1. 人口问题

近现代科学技术的发展为人类生存注入了强大的生命力。生产力水平的提高使人类生产出更多的粮食，养活更多的人口；发达的医学卫生事业，大大降低了人口死亡率，延长了人的平均寿命。于是，我们的世界出现了有史以来的新问题——人口爆炸。

人类犹如癌细胞指数增长那样，已经把自己推上了生命法庭

的被告席。在基督教纪元年初期，世界人口有 2～3 亿人，由于农业技术的推广应用，到 1650 年工业革命初期，世界人口大约增加到 5 亿。在这个过程中，人口增长一倍的平均时间是 1 500 年。下一个倍增，从 5 亿到 10 亿，只用了 200 年，到 1850 年就实现了。以后的倍增就越来越快了，从 10 亿到 20 亿只用了 80 年，从 20 亿到 40 亿只用了 45 年，从 40 亿到 80 亿估计只要 35 年。当前，全世界每年净增约 8 000 万人；中国每年净增约 1 200 万人，超过了白俄罗斯全国的人口。我国每天出生的新生婴儿都超过了部队中一个军建制的规模。这种速度的人口急剧增长，使人类的生存空间显得越来越拥挤，也给生态环境造成了巨大的压力。

2. 资源问题

能源、土地、森林、淡水等自然资源是人类生存的物质基础，是人类社会发展的自然条件。现代采掘、机械、能源技术的普遍应用，在创造了较高物质文明的同时，也引起了自然资源的超量消耗，使现代社会文明发展面临严重的资源危机。

（1）滥伐森林。因毁林开荒、采伐木材以及薪柴需求等原因，全世界每年损失森林面积 1 800～2 000 万公顷，平均每分钟就有 40 公顷森林化为乌有。森林是陆地上最大的生态系统，也是维持生态平衡的主要力量。森林减少削弱了森林多种生态功能，导致生态环境恶化、自然灾害频发，动摇了生物圈的稳定性，也削弱了地球养育人类的能力。

（2）土地丧失。土地资源是人类生存和发展的摇篮，今后仍然是人类生存和发展的立足之地。据联合国环境规划署估计，有史以来，由于土地沙漠化、土壤侵蚀、土地盐碱化、水土流失、建筑侵占、超载利用和污染危害等原因，世界上每年有 2 100 万公顷最肥沃的土地无法再生产粮食。

（3）水资源短缺和污染严重。世界人均淡水水量约 8 300 立方米，但只有 1/3 成为饮用水和灌溉用水，其余每年以洪水形式流失。据估计，全世界有 100 多个国家缺水，严重缺水的有 40 多个

国家。随着工业化和人类用水量增加，目前世界用水量与 1900 年相比增加了近 10 倍。同时，排放的工业废水和生活污水量也与日俱增，造成大面积水体污染。

（4）生物多样性消失。目前，物种和基因的多样性已大大减少。地球上众多谷物和家畜的遗传资源正在减少，面临着基因资源短缺。约有 30 000 种植物和 1 000 种脊椎动物濒于灭绝的危机，在今后的 20 年中，地球上所有物种的 10% 可能灭绝。遗传的多样性减少降低了开发新品种的能力。

（5）能源日益枯竭。能源是人类取得能量的来源，它是人类社会活动的物质基础。由于矿产能源属于不可再生能源，由于其蕴藏量的有限性和年开采量的加速性，矿物资源的枯竭不可避免，某些矿物种类枯竭的危机已迫在眉睫。

3. 环境问题

现代工业技术的片面发展、自然资源的不合理利用，破坏了整体自然生态系统的稳定和平衡，造成了严重的环境问题。

（1）温室效应。随着大气中二氧化碳等气体的浓度增加，造成气温变化、两极冰原融化、海平面上升、沿海城市等文明地区淹没，还会导致洪水加剧、干旱和飓风等灾害，使作物减产、资源破坏、人类遭殃。

（2）臭氧层破坏。臭氧层能防止过量的太阳紫外线到达地球表面，对地球生命具有重要的庇护作用。臭氧“空洞”是人类排放化学物质所致。它的形成和扩大，削弱了对地球的防护作用，将对海洋和陆地生态系统以及人类健康造成长期的有害影响。

（3）酸雨扩展。酸雨是现代工业技术活动过程中的产物。它可使森林大片死亡，使水生生物因生活环境酸化致死，使材料腐蚀。目前，“酸雨”危害地区已达数千万平方公里并呈恶化发展之势。

（4）海洋污染。地球表面的 70% 为海洋所覆盖。全球的能量平衡、气候调节、水文循环和碳循环，无不仰仗于海洋的作用。

地球生命的大部分也存在于海洋之中。可是随着工业化、城市化过程带来的废水、废气和废渣污染以及不当的海洋作业方式的影响，海洋生态系统正在受到破坏，面临严重生态危机。

4. 安全问题

一些高技术被用于非法目的，严重地危害人类的生存。现代科技成就大大加速了军火工业的发展，如原子能开发最初不是用于开发能源的核电站而是用于制造原子弹等杀人武器。原子弹在日本的长崎和广岛爆炸后，作为参与过“曼哈顿工程”的科学家爱因斯坦、费曼等人都经历了痛苦的思想斗争。一方面，他们钟爱着所从事的事业，但是也看到科学可能带来的灾难并且这种灾难可以危及到人类的命运。同样的，生化武器和基因武器也会危及人类的生存。还有一些人，利用高技术进行恐怖主义活动，如用核装置、毒气等危害平民生命。

计算机病毒和网上犯罪使得信息安全问题极为严重。非法侵入信息网络进行骚扰和犯罪的事件已经频频发生，在网上进行各种政治活动、发布不道德言论、色情传播和赌博都使得社会安定成为问题。计算机病毒是能摧毁存储在计算机存储器里的数据的程序，它一旦在网上传播开来，危害性极大，使得网上信息毫无安全可言。

5. 科技伦理问题

20 世纪以来，尤其是近几十年来，高新技术在工业、农业、军事、通讯、医疗等领域的广泛应用，引起了大量的伦理问题。它们有的直接与传统伦理原则相冲突，有的超出了传统伦理学的范畴，从而，使人们普遍感到一种情感上的压抑和心理上的失衡，进而陷入了所谓的“道德危机”之中。

（1）生命控制问题。随着高科技的发展，利用先进的医疗技术，人们可以延长垂危病人的生命，也可以使身患绝症的人有准备而无痛苦地死去。前者称为“生命延长技术”问题，后者就是“安乐死”问题。

比如双肾失灵引起的尿毒症，不得不以血液透析维持生命，但是费用之高是很少有人能自己承担的。如果你有钱，你就可以不太痛苦地活下去。但如果没钱，你的亲人在一旁眼睁睁地看着你经历这样的过程而束手无策——身体渐渐地膨胀，呼吸渐渐地艰难，意识仿佛在别处，四周的一切都仿佛浸泡在毒液里渐渐地僵冷。有钱与没钱，怎么成了生与死的界限？难道病人及其家属没钱，医生就可以违反救死扶伤的人道主义原则吗？反之，有限的社会财富，如果越来越多地用于延长身患绝症者的痛苦，对其他患者不是就不公平了吗？

安乐死是指通过一定途径让毫无治愈希望而又遭受病痛煎熬的患者无痛苦地死亡。传统道德认为人人都有生存的权利，对病人放弃救治，听任其死亡，不合乎救死扶伤的人道主义原则，有可能使病人失去治愈的机会。但是，利用先进的设备和昂贵的药物供濒临死亡的病人维持心跳和呼吸，对病人是增添痛苦，对社会和家庭则是增添经济负担，何不让身患绝症的患者选择愉快的、庄严地结束生命？到底人们有没有决定死的权利？“安乐死”是否正当？

（2）生殖控制问题。现代医疗技术和生物遗传技术的发展和应用，使人类在生育问题上有了更大的自由。

“人工生殖技术”的发展，使人们可以通过人工手段来代替人类自然生殖过程的某一环节或全部过程。随着试管婴儿诞生和人工生殖技术的发展和应用，不仅使许多患有不育症的人可以满足生儿育女的愿望，还可以有效防止有遗传缺陷的婴儿出生。但是人工生殖技术的应用也带来一些棘手的伦理学难题。

首先是婚姻家庭问题——人工生殖技术是否会破坏传统的婚姻关系和家庭模式，导致婚姻和家庭的不稳定？其次是婴儿的归属问题——人工生殖技术使父母与子女的遗传、受精、抚养分离开，包括精子或卵子的提供者夫妇、接受者夫妇以及医生等五个方面的人，究竟谁是孩子的父母？是遗传者还是收养者和技术操

纵者呢？三是辈分混乱问题——“母代女孕”的试管婴儿与其代孕者和遗传者到底是何种辈分关系？

（3）无性繁殖问题。“无性繁殖”是遗传工程技术中的一个重要领域，即利用细胞融合技术，把单一个体的细胞核移植到去掉核的卵子中，以培育与其亲代遗传特征完全一致的后代，或者直接利用人体的细胞复制另一个同类。无性繁殖技术所带来的伦理学问题也是不可忽视的。

比如，个人能否自由选择后代性别？如何保证正常的人口性别结构？如何看待无性生殖的人与提供遗传物质的人的伦理关系？用现代技术改造人种，可能导致人的面目、本性和情感的改变，家庭和社会秩序失常，人类遗传进化紊乱和基因库退化，这些问题如何解决？特别是如果繁殖出“动物人”杂种，制造出“类人机器”，那么人类与动物的界限和区别是什么？等等。另外，基因研究、器官移植、生态伦理等问题都在拷问着人类！

6. 思想问题

科技革命使得人们不断产生一种追问智慧的痛苦——思想混乱。尤其是电子计算机以及因特网的广泛应用更是加剧了这种思想痛苦。

（1）深蓝的震撼。1997 年 5 月，IBM 公司的超级电脑 “深蓝”，以两胜一负三和的战绩击败了雄踞世界棋王宝座已 12 年的卡斯帕罗夫。棋赛给人类带来的反思是深远的——在科技高度发达的时代人类是否逐渐丧失了自己？“人工智能”工程实践已达到了相当水准，难道“上帝”真的能“造出一块自己搬不动的石头”？人工智能的潜力是难以预计的。它能否取代人或战胜人，人又应用怎么样的态度去对待它？

（2）道德痛苦。某些先进科学技术的运用，在一定的社会条件下，有可能给社会带来一些令人不安的后果。比如，电子技术的高度发达，使得某些人得以方便地使用电子窃听器、红外线摄

影机跟踪他人，人们的私生活因此受到种种难堪的威胁；电脑的广泛应用，无孔不入，也使任何个人私事都无法保密了。个人隐私的公开化，必定会造成难以设想的后果。

二、科学技术发展的社会评价

20 世纪 30 年代以来，科学技术对社会的影响日益增强，越来越成为社会经济发展的关键因素。由于科学技术的作用，20 世纪 50、60 年代以来，西方经济增长出现一个高潮，但是人们对此既喜且忧。喜的是人们看到了科学技术的伟大力量，因而感到满意，感受到从未有过的喜悦；忧的是人们也注意到了人与自然关系的急剧恶化，因而感到担忧，甚至极度忧郁。这时候人们开始反思：科学技术究竟是什么？它是否永远给人类带来福祉？它有没有负作用？现在人类所面临的全球问题，是自然界内在规律发展的表现还是科学技术的反应？面对着现代科学技术向社会的广泛渗透及其引起的一系列问题，面对人类取得伟大成功和潜伏危机的双重性未来，人们对科学技术的本质和社会作用进行了深刻反思，提出了许多不同的观点。

（一）主要在于肯定科学技术的社会作用的观点

1. 唯科学主义

“唯科学主义”作为一种社会思潮，主要在 20 世纪盛行。由于现代科学技术的发展和对社会文化领域的全面渗透，使科学技术成为人们最熟悉、最关心而不能须臾离开的事物。基于上述对科学的理解和期望，产生了“乐观主义”观点，它既是一种社会思潮和哲学思潮，也是一种社会文化心态。它片面地强调了科学的功能，夸大了科学及科学方法的力量。

唯科学主义在不同的问题上有不同的表现。在认识论问题上，唯科学主义认为科学是认识世界的唯一方法或最好的方法，科学迟早会对世界进行完整而无误的描述。在社会问题上，唯科学主

义认为科学是根除一切罪恶的灵丹妙药，是解决一切问题的手段和工具，它可以无限制地为人类带来利益和好处；仅靠科学技术就能不断取得社会成就，它是现代文明的主要而独立的力量。在伦理学上，唯科学主义认为，科学具有客观性、确定性等特点，值得享受最高的尊敬；科学家们具备普遍性、公有性、无偏见等精神气质，是人类道德的最高典范，他们的行为规范值得人们仿效和遵守。例如，当代法国科学家贝特洛认为，科学是社会道德发展的唯一基础，只有科学才能保证人们具有崇高的道德品质。按照唯科学主义的观点，只要科学技术发展了，社会道德便会自然而然地进步；只要从事科技研究工作，他们的品质就会自然而然地提高。所以，唯科学主义主张把科学的原理和规范作为社会的伦理基础，按照科学的原则组织社会。

2. 技术至上主义

与唯科学主义相关联的社会思潮是“技术至上主义”，它作为一种社会学理论，产生于 20 世纪 30 年代，在 20 世纪中叶甚为流行。技术至上主义强调科技对社会发展和社会生活的决定作用，并由此推出了“技术统治”或“技术专家治国”的观点。

（1）技术专家治国论。这种观点看认为，技术先于经济和政治，具有自主性和独立发展能力，随着技术自身的逻辑发展，将形成技术统治社会的局面；由于未来技术及工业的复杂性和专门性，只有技术专家才能掌握和支配，因此，只有专家才有资格参加各种决策，技术专家将领导经济生活和管理政府。例如，美国社会学家丹尼尔·贝尔在 20 世纪 70 年代出版了《后工业社会的来临——对社会预测的一项探索》，书中勾画出未来社会的基本特点：将来的后工业社会是知识社会，在后工业社会中，专业科技人员将取代资本家，在社会中占主导地位，他们将居于权力的中心，成为社会的统治者、决策者，领导着社会革新。

（2）技术决定论。这种观点认为，技术内在逻辑使它获得一种超乎于社会之上的自主力量，它同国家结合起来，就形成了“技

术国家”，结果“技术命令”取代了政治行动，手段的完善化成为社会的唯一目标；由于技术的自主性和独立性，无论社会环境如何，它都产生相同的效果，因而社会系统只能适应它。例如，加尔布雷斯在《新工业国》中指出，现代人能做出的选择范围很小，社会一旦做出发展工业化的决策，其社会发展模式就将由“技术规则”唯一地决定。

3. 乐观主义与技术乐观派

与唯科学主义的观点相合，“乐观主义”认为科学技术的进步将解除现代社会的困境，导致美好的未来；科学技术引起的某些不利因素可以不断地通过技术进步加以消除。例如，与技术应用相关联的污染问题，可以通过改革技术的办法加以治理；现代药物引起的疾病，可以通过研制新的药物给予治疗，等等。所以，未来将是一个“奇妙的新时代”。美国未来学家托夫勒是乐观主义的代表人物之一。他在《第三次浪潮》中，为未来社会描述了一幅美好的蓝图，他认为目前的工业社会的危机正孕育着一个新的文明，而新文明需要更多的科学技术。

技术乐观派认为科学技术进步能解决当前人类面临的各种难题，从而对科技发展及其后果持积极肯定的乐观态度。其主要代表人物是美国赫德森研究所前任所长卡恩和美国未来学家西蒙。卡恩在《2000 年》（1967 年）、《今后二百年》（1977 年）、《世界经济的发展》（1979 年）和《即将来临的繁荣》（1982 年）等著作中指出：当代经济发展虽有某些消极方面，造成了一些全球性问题，但绝不像技术悲观派所夸张的那样严重，所谓“资源枯竭”、“生态危机”实际是不存在的，科学技术的进一步发展将提供更多的新能源、新材料。他坚决反对限制增长的办法，主张用发展新技术和保持经济不断增长的方法使当前的“失调性问题”得到控制。

西蒙在《最后的资源》（1981 年）等著作中以罗马俱乐部的报告中关于资源、生态、人口等问题的悲观看法和限制增长的消极

主张为对立面，针锋相对地阐述了技术乐观派在相应问题上的看法。他列举资料论证技术进步已经或即将解决目前在资源和生态方面的实际上并不严重的问题。因而，从根本上说，资源是无限的，能源是耗不尽的。他指出，技术的进步已经可以治理污染，人类的生态环境正在好转；历史证明，只要污染严重到影响人类健康，立即就有新的技术把它解决。目前人口的增长过快，随着发展中国家的现代化发展将自然而然地减缓并达到平衡。西蒙非常强调市场调节的作用，认为人们无须为这样那样的资源暂时短缺等担心；历史证明，一旦某种原料商品价值上升，市场调节就会使人们投入更多的资金和新的技术，或者更节约更有效地利用它，或者生产替代物，或者去开采以前无利可图的矿藏，最终又使该原料价格回落。

（二）主要在于否定科学技术的社会作用的观点

1. 反科学主义

20 世纪中叶以来，伴随着科学技术和工业的大力发展，出现了许多新的问题。这些问题或多或少都与科学技术进步有关，因而科学技术开始受到人们的责难，兴起了一股“反科学主义”的浪潮。与唯科学主义相对立，“反科学主义”认为：科学不可能是人们的世界观和生活的基础，科学带来的危害超过它所获得的成就，现代社会中存在的种种问题，如核战争的威胁、环境污染，甚至失业、贫富不均等，应该统统归结于科学。人类创造了技术，但现代技术已超出了人的控制，成为一种异己的力量。

反科学主义对科学和科学家的责难是多方面的：首先，科学发展引起的社会分工与专业化、大型化工业，具有根本性的弊端；用科学技术装备起来的集权性组织，必然随着“塔式阶级结构”的建立而成为统治人民的工具，而起支配作用的正是科学家们。其次，科学可能导致破坏生态平衡，造成资源枯竭，带来各种环境污染和重大事故的发生。第三，由于科学的发展，使人类遭受

到更大的核战争、化学战争等的威胁。第四，现代技术追求高效率的内在逻辑已使人失去了明确方向，人被窒息在无休止的技术过程之中，技术把人变成机器的奴隶。科学技术的发展有可能造成对人和社会命运漠不关心的社会心态，在真理面前，人与人之间的关系黯然失色，变得微不足道。此外，科学的过度发展，导致了人的自由的丧失，违背了科学的初衷。例如集体协作加强，使个人的工作固定化、细分化和单纯化等，把人变成机器的奴隶；科技研究的职业化和功利化，使科学技术创造活动不再是崇高的事业。

总之，反科学主义者认为：科学是危害人类幸福和生存的祸根，是万恶之源，业已变成一种超出人类控制的“不道德和无人性的工具”。

2. 悲观主义与技术悲观派

“悲观主义”对现代科技的社会后果深感担忧，对人类社会发展前景做出悲观的预测，主张抑制科学技术和工业的发展，强调人与自然的和谐和平衡发展。其主要代表是罗马俱乐部。

罗马俱乐部的观点散见在以它的名义发表的一系列报告中。1972 年发表的《增长的极限》是它的第一份报告。该报告认为，现在世界经济的指数增长速度将导致全球资源在 100 年内枯竭，从而造成地球生态系统的全面瓦解。解脱困境的对策是：建立以人口和资本基本上稳定不变、资源消耗和环境污染逐步减少等为主要特点的全球均衡状态。这种状态实质上是要世界各国基本上停止经济增长，因而被称作“零增长方案”。

此后，罗马俱乐部又提出了一系列报告。罗马俱乐部的各个报告从不同角度、不同方面追溯了当代两大类全球问题（即人与自然的矛盾和南部穷国与北部富国的矛盾）的起因，其总的思想倾向是：不加控制地发展并滥用科学技术，致使人类的技术能力与社会组织水平、文化、价值观念等越来越不协调，并使人类的物质需求超出地球生态系统可容纳的极限，因此滥用科学技术是

当前全球危机深化的主要根源。罗马俱乐部由此提出了其未来观的核心观点：争取更好未来的关键是把文化进步和人的发展置于科学技术进步之上，创造未来“只能是文化的创造”，“未来将是一次伟大的文化复兴的发展，而不可能是别的”。

另一部有关讨论世界未来的“悲观主义”代表作是美国的杰里米·里夫金和特德·霍华德的《熵：一种新的世纪观》。该书以热力学第二定律为理论依据，指出：宇宙的物质和能量只能从可利用到不可利用，从有秩序到无秩序，最后达到混乱与热寂，由此得出了历史是一个不断倒退和衰亡的过程这一悲观结论。该书作者认为：科学技术不能帮助人类摆脱困境，技术只能使人类暂时地、局部地减少混乱，但是，是以更长远、更广泛、更大的熵值增加和更大的混乱为代价的。他们主张彻底抛弃牛顿机械世界观，树立以热力学第二定律为基础的新的世界观。人类应停止人口、经济的增长，放弃现代工业技术，减少资源消耗，早日进入太阳能时代，以免在不久的将来走到人类历史的尽头。

3. 价值观念派和生态系统派

以罗马俱乐部为代表的技术悲观派，把不加控制地滥用科技进步成果从而导致全球生态危机、资源枯竭、南北差距扩大的最终原因归结到人类的贪婪和自私，把争取更好未来的希望寄托于价值观变革。后来，坚持沿这一方向预测未来发展趋势的一部分人分化出来，与社会历史派中强调价值观演变对社会发展起决定作用的一批人合流，形成一种新的未来学派——价值观念派。与此同时，技术悲观派中的另一部分人逐渐认识到全球问题的直接起因是多方面的，有不加控制地发展并滥用科学技术的因素，也有只重经济增长、忽视人口控制等其他因素，他们认为只有把社会发展放到全球生态系统中考虑，把维持生态平衡放在首要地位，才能解决日益严重的全球生态危机，使未来的人类不至于因生态系统瓦解而毁灭。他们也从技术悲观派中分化出来，形成一个新的未来学派——生态系统派。生态系统派在西方国家知识分子和

中产阶级中的影响越来越大，并形成一股不小的政治力量——绿党。生态系统派的积极分子不满足于罗马俱乐部的呼吁、游说、造舆论的行动方式，成立了国际性绿色和平组织，通过直接行动来阻止各国政府和大企业污染环境的恶行。

（三）中性主义或现实主义观点

中性主义观点认为，科学技术本身和科学技术的应用是两件不同的事情。尽管科技成果可能被不同的人用于不同的目的，科学技术本身则是中性的或价值中立的。持这种观点的人认为，科学知识和技术手段本身只有是非、真伪、效率高低之分，而不能从好坏、善恶、损益来衡量；或者说，他们所主张的科学技术中性论，主要是认为科学技术本身在社会政治价值和社会伦理价值上是中立的。例如，万有引力定律对跳水运动和跳楼都起作用，$E = mc^2$在制造原子弹和原子能发电中都起作用，但万有引力定律、$E = mc^2$及人对它们的认识，却与这些作用的好或坏无关。同理，技术手段和技术方法的效率高低，与运用技术所实现后果的善恶，也没有必然的联系，如手枪可以用来打坏人又可用来打好人，麻醉剂可用于外科手术又可用于谋财害命。

“现实主义”实际上是从现实出发持谨慎态度的乐观主义。以美国著名的环境和人口问题专家、世界观察学会名誉会长、高级研究员布朗（R.Brown）等人为代表。他在主编的一本世界观察学会论文集《综观世界全局》的前言中开宗明义地指出：“这份报告的基调既不打算写成乐观的，也不准备写成悲观的，没有事实根据的乐观主义或者不适当的悲观主义都不能为制定政策提供坚实的依据。现实主义才是正确的”。他们认为，世界明天的好坏，并不是命运注定的，也不是科学技术的本性决定的。作为现实主义，布朗等人认为，悲观主义和乐观主义的极端论断都会使人们放弃努力，听凭命运摆布。他们正视生态危机的现实，强调世界的未来和人类如何生存下去，取决于人类做出的决策是否明智，能否

学会明智地管理地球，取决于人类如何关心和维护这个地球，承担起保护环境的责任。

世界未来学会主席爱德华·科什尼也是持现实主义观点的代表之一，他在《未来学家的任务》一文中写道："要想在一个变化多端的世界中求得生存和发展，就必须向前看。未来主义作为一场国际运动出现在60年代，当时大多数未来学家都十分乐观，认为未来的前景无比灿烂，只要掌握了先进技术，人们便可以主宰世界。他们很少考虑已经开始笼罩未来的阴影。然而随着70年代的流逝，这种情绪开始变化。未来学家开始认识到，今后的岁月可能布满风险。"这种观点比起前两种观点，显然更为可取。

以上三种观点，都涉及到对科学技术社会价值的看法，人们在这个问题上的看法之所以出现差异，常常是因为他们用以判断科学技术社会价值的价值标准和价值取向不同。所以，我们要客观地评价科学技术的社会价值，必须建立一种正确的价值观念。

（四）正确认识科学技术的社会价值

价值所反映的是客体的存在和属性同主体的需要之间的关系，它是由主体的内在尺度来衡量的。主体的内在尺度，即价值标准和价值取向，是主体的价值观念的表现。价值观念也应该符合于客体的属性以及客体与主体的关系，并应随着它们的发展而进行相应的调整。按照辩证唯物主义的科学观，要正确认识和全面评价当代科学技术的社会价值，需要注意以下两个基本观点：

第一，科学技术对社会的作用具有两重性，既有正效应的一面，也存在负效应的一面。科学技术作为一种认识和改造自然的工具和手段，是人与自然矛盾发展的产物；作为一种社会现象，它要受到社会诸方面矛盾的影响和制约，科学技术的发展和应用也会带来人们未曾预料的与人类需要、人类利益相悖的消极后果。因此，科学技术的社会作用必然具有两重性，在带来正效应的同时，必然会引起一些负效应，即科学技术是柄"双刃剑"。只要科

学技术和人类社会历史在发展着，这两种作用就一定会同时存在。正负构成了一对矛盾，人类可以通过正确认识和利用这对矛盾，做到趋利避害、扬善抑恶，但是不可能完全消除这一矛盾。这是因为，任何时代的科学技术，都是人类认识和实践发展到一定阶段的产物，都是人们对于反映自然规律的相对真理的把握和运用。人类为了自身的需要可以在这种认识和实践的基础上创造出具有预期属性的人工自然，但却不可能把这种人工自然产生以后的全部效应和复杂联系在事先予以穷尽。所以，科学技术应用的积极作用和消极后果、正效应和负效应，总是同时并存的。我们不能追求不会带来任何消极后果或负效应的绝对“好”的技术，只能在认识自然和改造自然的不断实践中，逐步增强其正效应，减弱其负效应，充分利用其积极作用，设法限制和克服其消极作用。消极的“悲观主义”和浪漫的“乐观主义”都强调了问题的一面，就难免导致片面的结论。

纵观科学技术与社会的发展历史，尤其是近现代历史的发展，我们看到，科学技术正是在正效应和负效应的矛盾交织中发展的。例如，近代煤铁工业技术的兴起使人类社会生产力极大发展，推动了社会文明进步，但是随之又产生了不可再生资源的衰竭和生态环境危机等一系列严重问题；这些严重问题促使人类寻求新型的和可再生资源的开发利用技术，导致了现代核技术、生物技术、信息技术和太阳能技术等高新技术的发展。当然，现代高新技术的发展并不能使天人矛盾和社会矛盾彻底解决，人类还会遇到新的问题，寻求新的科学技术手段。

第二，科学技术作为人类的一种社会实践活动，是在社会限定的条件下进行的。科学技术负面效应的产生，既有认识上的根源，也有社会的根源。科学技术的社会作用，也是在社会大系统中发挥和表现出来的。所以科学技术所带来的社会后果，包含着科学技术以外的诸种社会条件和社会关系的影响，不能把科学技术的社会后果仅仅归之于科学技术本身。正如爱因斯坦曾经非常

形象地指出过："科学是一种强有力的工具。怎样用它，究竟是给人类带来幸福还是带来灾难，全取决于人自己，而不取决于工具。刀子在人类生活上是有用的，但它也能用来杀人。"从历史上看，科学技术的最新成果往往首先被用在军事上，然后才逐渐转向民用。人类竟然会把自己智慧的产物用做武器为战争服务，这并不是科学技术的本性，也未必是科学家们的本意，而是社会使然。因此，必须把科学技术本身同科学技术的社会应用及其社会后果区别开来。把科学技术应用所带来的消极后果或负效应一概归咎于科学技术乃至科学家，是缺乏分析的，也是不公正的。

任何时代的科学技术，都是人类认识和实践发展到一定阶段的产物，都是对于反映自然规律的相对真理的掌握和具体运用。人类不可能穷尽对于自然规律的理解和认识，也不可能预测到科学技术成果的一切社会后果并做出理想的选择，而是经常在遇到问题之后，才有认识的发展和深化。

长期以来，我们对人与自然相互影响的具体机理认识不清，对人类生产活动造成的负面影响估计不足，导致了人类的盲目性。人类在经历了大自然的一次又一次的"报复"之后，才学会了怎样认识和估计科学技术应用带来的比较长远和全面的社会影响，当代生态和环境科学以及各种绿色技术的兴起，就反映了人类在天人关系问题上认识的重大进步。但是，仅有科学认识的发展是不够的，科学技术作为人类的一种社会活动，是在一定的社会历史条件下进行的，必然受到社会的影响。因此，科学技术的负面效应的产生和作用，除了科学认识上的局限性这一原因之外，还具有深刻的社会根源。

按照上述观点，关于科学技术的二重性，可以得出以下几点结论：

首先，科学技术是一种在历史上起推动作用的革命力量，但它并不是万能的。科学技术作为第一生产力，是最高意义上的革命力量。科学技术的发展和应用，可以帮助人类不断创造出光辉灿烂的

物质文明和精神文明。科学技术在当代，已经成为社会、经济发展的最重要的战略资源。但是，科学技术的发展和应用也受到社会条件的约束，科学技术不可能决定社会的一切。科学技术所带来的社会后果具有两面性，其消极的方面，可能是科学技术自身发展程度之局限性的表现，也可能是由于社会的原因造成的。

其次，要限制和克服科学技术可能带来的消极后果，当然要靠科学技术本身的继续发展，但仅有这一点是不够的，还需要通过社会的实践和社会的改革，对社会关系进行调整和变革，也就是说，还要依靠社会的进步。恩格斯早就指出：“经过长期的常常是痛苦的经验，经过对历史材料的分析和比较，我们在这一领域中，也渐渐学会了认清我们的生产活动的间接的、比较远的社会影响；因而我们就有可能也去支配和调节这种影响”，“但是要实行这种调节，单是依靠认识是不够的。这还需要对我们现有的生产方式，以及和这种生产方式连在一起的我们今天的整个社会制度实行完全的变革”。只有通过社会的变革，通过正确的政策和科学的管理，使人类社会和自然环境协调发展，使科学、技术、经济、社会协调发展，才能最大限度地减弱和避免科学技术在实际应用中可能带来的消极方面。要解决科学技术的负面效应问题需要依靠社会文明的发展和进步。

最后，对科学技术进行社会控制是必要的，也是可能的。现代科学技术的发展，可以使人类做到以前所不敢想像的事情。但是目前科技应用引起的一系列问题，迫使我们在应用这些技术成果时要采取谨慎的态度，在进行技术推广应用决策时，要充分估计该项技术应用带来的较为长远的社会后果，以便发挥科学技术的正面作用，制约和减小其有害影响，使科学技术沿着符合人类整体利益和长远目标的轨道发展。也就是说，科学技术发展不应是放任自流的，而是需要进行社会控制。科学技术在本质上也是一种社会现象，它必然受到社会发展规律的制约。因此，对科学技术进步的社会控制是完全可能的。

总而言之，科学技术是一种在历史上起推动作用的革命力量，社会的文明进步离不开科学技术的发展。虽然科学技术的发展和应用会同时产生某些有害的影响，但是随着人类对自然和社会发展客观规律的认识深化和社会组织的发展完善，就一定能将科学技术的作用控制在合理的范围之内，实现科学技术与人类文明的良性发展。

参考文献

[1] 国家教委社会科学研究与艺术教育司. 自然辩证法概论. 修订版. 北京：高等教育出版社，1991

[2] 刘大椿. 科学哲学. 北京：人民出版社，1998

[3] 刘大椿. 科学活动论. 北京：人民出版社，1985

[4] 舒炜光. 自然辩证法原理. 长春：吉林人民出版社，1984

[5] 刘大椿等. 在真与善之间. 北京：中国社会科学出版社，2000

[6] 周寄中. 科学殿堂里的共同体. 北京：人民出版社，1987

[7] 〔美〕哈里特·朱克曼. 科学界的精英. 北京：商务印书馆，1979

[8] 杨沛霆等. 科学技术论. 杭州：浙江教育出版社，1985

[9] 陈其荣. 自然辩证法导论. 上海：复旦大学出版社，1995

[10] 黄顺基等. 科学技术哲学引论. 北京：中国人民大学出版社，1991

[11] 刘大椿. 现代科技导论. 北京：中国人民大学出版社，1998

[12] 栾玉广. 自然辩证法原理. 合肥：中国科学技术大学出版社，2001

[13] 陈昌曙. 自然辩证法概论新编. 沈阳：东北大学出版社，1997

[14] 中国科学技术大学，中南矿冶学校，大连工学院等编. 自然辩证法原理. 长沙：湖南教育出版社，1984

[15] 王永杰等. 研究型大学在知识创新中的地位与作用. 科学学研究. 2000，(2)

[16] 刘大椿著. 科学技术哲学导论. 北京：中国人民大学出版社，2000

[17] 毛文永等. 中国持续发展战略. 北京：中国科学技术出版社，1994

[18] 晏路明. 人类发展与生存环境. 北京：中国环境科学出版社，2001

[19] **黄天授等. 现代科学技术导论. 北京：中国人民大学出版社，**1995

第七章　创新科学技术观

人类的历史就是一部生产力的发展史。推动生产力发展的最主要动力，就是创新。自有人类以来，创新就没有停止过，它促进生产力的不断发展，推动了人类社会的演进。因此在某种意义上可以说，人类的发展史就是一部人类的创新史。

从 20 世纪 70 年代开始，知识经济初现端倪。世界经济形势发生重大变化，经济进一步走向全球化，特别是国际竞争的加剧，技术创新对经济发展的作用变得更为突出和重要。许多国家都先后开展了对技术创新理论和政策的研究，并采取了促进和引导技术创新趋于深化的措施，通过技术创新，加速经济增长，提高经济增长质量，从而形成了一股推动技术创新的世界潮流。进入 21 世纪，人类社会发展进入最有生气和最富活力的时期。创新构成了这个时代的典型特征，科学技术在创新，生产管理在创新，组织在创新，制度在创新，人们的思维方式和生活方式也在创新。人们已不再满足于现状，而总在不断创新去满足日益增长的新需求。

“创新是一个民族进步的灵魂，是国家兴旺发达的不竭动力。如果自主创新能力上不去，一味靠技术引进，就永远难以摆脱技术落后的局面。一个没有创新能力的民族，难以屹立于世界先进民族之林。”[①] 科学技术是第一生产力，已成为人们的一个共识。国家正在实施着科教兴国的战略，大力促进生产力质量和水平的提高，搞好技术创新是实施科教兴国战略在经济领域特别是

① 《人民日报》，1998 年 4 月 9 日。

在生产部门中的具体体现，也是整个战略的重要环节。我国现代化建设的实践表明，经济建设必须依靠技术创新。

第一节　技术创新概述

一、技术创新的来源、分类和意义

（一）技术创新理论的起源与发展

技术创新理论经过亚当·斯密和卡尔·马克思的发展，最后由熊彼特完成。现代技术创新经济学是在此基础上发展起来的。

1. 技术创新理论的早期发展

古典经济学家亚当·斯密在其名著《国富论》中明确提出：国家的富裕在于分工，而分工之所以有助于经济增长，一个重要的原因是它有助于某些机械的发明，这些发明将减少生产中劳动的投入，以提高劳动生产率。马克思对技术作用的论述对创新理论的形成更有直接的重要影响。他第一次对技术在社会的物质生产过程以及由此决定的经济关系中的重要作用进行了系统、深入的研究。在马克思看来，科学属于生产力范畴，但科学只有通过技术，才能转化为生产力。科学、技术使社会经济发展具备了基本的动力，反过来，社会经济又决定科学、技术的产生和发展，即科学—技术—社会经济是相互依赖、相互作用的辩证过程。正是在马克思等人关于技术发展和作用的观点的基础上，熊彼特深入地剖析了资本主义经济发展过程的各种因素，创造性地提出了创新理论。

2. 熊彼特的创新理论

熊彼特首先提出了创新的概念。他认为，创新就是建立一种新的生产函数，即将生产要素的一种从未有过的新组合引入生产体系。[①] 这种组合包括以下内容：① 引进新产品；② 应用新技术；

① 熊彼特：《经济发展理论》中译本，商务印书馆，1991 年，第 73～74 页。

③ 开辟新市场；④ 控制原材料的供应来源；⑤ 实现工业的新组织。他还指出创新的主体是企业家，企业家的创新活动是经济振兴和发展的主要原因。最后，他提到创新能够导致经济增长并对社会发展造成影响。但他并没有对相应的技术创新、组织创新、管理创新作专门的分解研究，因而也不可能提出深层次的分解理论。

3. 技术创新理论的进一步发展

熊彼特的追随者继续研究，他们引出新的技术创新理论，界定技术创新的概念、内容和主要类型。进入 20 世纪 50 年代后期，以微电子技术为主导的新技术革命蓬勃兴起。如何应对这场挑战，抓住机遇，以技术上的进步来推动经济上的增长，促进了技术创新理论的进一步发展。这一时期的研究集中体现为以非均衡非连续为基本特点的技术变革经济分析。到 20 世纪 70 年代初，是现代技术创新理论开始走向系统化、科学化发展的时期。20 世纪 80 年代，有关技术创新进一步深入，开始形成系统的理论，并对企业经营活动和政府管理政策产生直接的积极的影响。20 世纪 80 年代至今，创新研究向综合化方向发展，注重内容和成果对社会经济技术活动的指导作用。

（二）技术创新的定义与分类

1. 国内外关于技术创新概念的主要观点

熊彼特首先提出创新概念，列举了创新的一些具体表现形式，但并没有直接对技术创新下严格的定义。直至现在，人们对技术创新概念仍然莫衷一是。学者索洛提出了技术创新成立的两个条件，即新思想来源和以后阶段的实现发展。弗里曼教授认为技术创新就是指新产品、新过程、新系统和新服务的首先商业化。许庆瑞教授认为，技术创新泛指一种新的思想的形成到得以利用并生产满足用户需要产品的整个过程。贾蔚文研究员认为，技术创新，包括自某种新设想的提出，经过研究开发或技术引进、中间

试验、产品试制和商业化的生产，直到市场销售的全过程。

2. 技术创新概念界定的主要争论及其回答

第一，技术创新中所用技术的界定。技术是指扩展人类能力的任何工具或技能，包括有形的装备或无形的工作方法，还是只包含自然技术？第二，技术创新对技术变动的强度有无一定程度的限定？其焦点在于技术上的渐进改进导致规模效益是否属于技术创新范畴。第三，各种技术创新最终都必须通过市场上的成功实现出来，成功的标准是什么？

结合我国的国情，我们对技术创新作如下界定：一是采用广义的技术定义，即人类在科学实验和生产活动过程中认识和改造自然所积累起来的知识、经验和技能的总和。二是技术创新对技术的变动的强弱和大小不作限定。既包括根本性的变化，又包括渐进的弱小变化。三是对技术创新的成功有较宽泛的界定。它可以是当前经济效益的增长，也可以是市场状况的改善，还可以是创新主体的素质提高。

技术创新是由技术的新构想，经过研究开发或技术组合，得到实际应用，并产生经济、社会效益的商业化全过程的活动。

技术创新有广义和狭义之分。狭义的技术创新，是指企业针对潜在市场，抓住市场机会，通过研究开发活动，重新组织生产条件和要素，建立起效能更强、效率更高和费用更低的生产经营体系，从而推出新产品、新工艺和新的经营管理方法等。广义的技术创新不仅包括新技术的研究、开发、获取与掌握，而且还包括新技术的扩散、转移、渗透和市场开拓。任何研发成果，只有通过狭义的技术创新，才能由潜在的生产力转化为现实的生产力；而狭义的技术创新，只有通过创新扩散形成广义技术创新的累积效应，才能提高宏观的技术水平，进而全面提高社会生产力，促进国民经济的有效增长。

3. 技术创新的实质

技术创新活动是人类的一种特殊的社会实践活动。它不是纯

技术活动，是技术与经济结合的活动。它的技术活动属于科学活动的范畴，它的经济活动属于生产经营实践活动。技术创新是联系科学技术和经济活动的中介与桥梁，是贯穿于科学实践活动和生产经营实践活动的一种社会实践活动。其实质就是“将科学技术应用于产品、工艺以及其他商业用途上，以改变人们的生产方式，提高人们的生产质量。它具有科学和生产实践的双重属性。是一种横断性的、交叉性的社会实践活动”[①]。

4. 技术创新与相关概念的辨析

（1）发明与技术创新。发明是第一次提出某种技术的新概念、新思想、新原理。即在技术上有较大突破，并创造出与已有产品原型或新的方法完全不同或有很大改进的新产品或新方法。技术发明仅指技术活动，只考虑技术的变动性，不考察是否产生经济效益。技术创新是继发明之后改造世界的实用阶段，是为了满足社会需要而对现有知识的新的综合，是新技术的第一次商业性应用，也是科学转化为直接生产力的重要阶段。

如果说发明阶段是人类认识世界的阶段，那么改造客观世界，就要靠技术创新。技术发明可以形成具有商业目的的技术新构想，从而构成技术创新活动的一个环节，从这个意义上说，技术创新包括技术发明。但是，技术发明可能不具备商业价值，也可能终止于技术原型。将从发明到应用看成一个完整的技术活动链的话，技术发明侧重于链的前端，技术创新侧重于链的后端。发明创造是科技行为，而技术创新则是经济行为。

（2）技术进步与技术创新。技术进步是一个十分宽泛的概念，人们一般用它来表示社会技术经济活动的结果。它除了科技活动外，还包括管理方式和职工文化素质提高等非技术活动。而技术创新是一个具体概念，应用科技知识开发新产品和新工艺，或是现有产品和工艺有显著的技术变动等，都是十分具体的目标和活

① 魏中龙：《技术创新工程》，科学技术出版社，1996 年，第 8 页。

动。技术创新虽包括大量的经济活动，但主要还是以科技活动为主的过程；而技术进步主要不是一个科技活动概念，而是包含技术要素的经济学概念。

技术进步的实质在于技术的进化和积累比原有的技术一定有所进步，而技术创新的实质在于“新”与有“市场”。技术进步则不一定是“新”或有“市场”。技术进步的实现手段很多，但根本途径则是技术创新。可以说技术创新是手段，技术进步是结果或目的；也可以说，技术创新就是技术进步的一个组成部分。

（3）技术改造、技术革新与技术创新。技术改造是在已有的基础上改建、扩建的行为。作为用于投资项目的术语，它与技术创新是完全不同的概念。但技术改造中也存在采用新技术、将技术成果加以商业化实现的活动。在这个意义上，技术改造中存在技术创新，技术改造是实现技术创新的一种方式。此外技术革新也是比较流行的概念，它是指技术上渐变性的改进，是小发明和小革新。显然技术创新是一个更有生命力的概念，它从本质上是革命的，它不承认任何一个具体形式为其最终模式。新技术代替旧技术是不以人们意志为转移的客观规律。

5. 技术创新的特点

（1）技术创新是一个动态的开放系统。技术创新与社会环境处于相互作用、相互制约、相互促进的过程之中。① 创造性，把技术应用于生产经营活动中必然具有创造性。② 风险性，技术创新系统运行中要受到各种社会因素的影响和制约，许多因素难以预测和控制，技术创新呈现较强的随机性。③ 资产性，技术创新作为一种科学实践与生产经营实践相互渗透的交叉性试验活动，不管其层次、规模如何，都需要有一定数量的资金投入。此外技术创新还具有明显的社会特征，技术创新是社会上许多人共同协作的结果，表现为社会上众多群体的投入产出活动。

（2）技术创新与知识创新的交叉。在知识经济时代，科学技术对经济发展比任何时代都有更加明显的推动作用。随着科学技

术的不断发展，技术创新的高度分化与高度综合的系统性、集群化将不断加强。信息科学和通信技术的发展，对当今人类社会的时空结构、交往方式、交际成本，特别是经济发展模式，产生了重大的革命性影响。技术创新呈现软件化、信息化趋势，技术创新周期在缩短。

6. 技术创新的分类

（1）按技术创新作用及其影响程度分类。按技术创新的作用及其对经济增长的影响程度，可分为根本性创新和渐进性创新、技术系统的变革等。根本性创新是指这种创新有很大的技术突破，可开发生产出全新产品。渐进性创新是渐进的、连续性的创新。技术系统的变革是指通过对由多个系统组成的复杂产品中某一种系统的部分改进，达到整个系统的优化和创新。这种性质的技术创新具有深远的意义，影响经济的几个部门，伴随着新兴产业的出现。

（2）按技术创新性质分类。按技术创新性质可分自主创新、模仿创新和合作创新。自主创新是企业进行科学技术研究和探索，依靠自我技术能力，不依赖外部的技术引进，独立开发新技术并实现预期的技术创新目标的活动。模仿创新是指企业对引进技术和产品进行消化吸收，在此基础上加以改进和提高，从而开发生产自己的产品。合作创新指以企业为主体，实现企业与企业，企业与科研单位、大专院校开展技术合作的创新。此外还有国际化创新，企业在国外建立科研开发组织，利用所在国的科研技术力量、人才优势实现创新。

（3）按技术创新内容或对象分类。技术创新按内容或对象分类，可分为产品创新和工艺创新。产品创新是指创造出第一次出现的、从未上市过的、在技术上有重大变革的产品；或对现有产品进行重大技术改造，创造出在性能、结构、质量上有所创新的产品。工艺创新，是指产品生产技术的变革，是生产过程中技术变革上的技术创新，包括设备改造更新、生产方式创新等。组织

创新是指生产方式和生产组织方面的变革和创新。

（4）按生产要素分类。技术创新还可分为节约资本型技术创新、节约劳动型技术创新和中性技术创新。节约资本型技术创新指创新过程结束后，活劳动在产品价值构成中所占比重增大，这时经济向劳动密集型靠拢。节约劳动型技术创新指创新后资本在产品价值构成中所占的比重增大，这时经济向资本密集型靠拢。中性技术创新就是产品价值构成中，活劳动和物化劳动各自所占比重不变。

7. 技术创新的作用

从宏观而言，技术创新是促进科技和经济结合的重要手段，是推动我国科技和经济紧密结合的有效途径，也是实现两个根本性改变的重要途径。它既是经济体制改革的重要内容和目标，又是建立社会主义市场经济体制的内在要求。

技术创新是解决资源浪费的问题，是实现高质量经济增长的唯一途径，也是提高企业经济效益的必经之路。任何一种产品的市场都有其生命周期，而技术创新可以创造新的发展机会和出路，从而导致新产品的出现和新产业的发展。

二、技术创新的过程和动力

（一）技术创新的过程

技术创新的过程简单地说由三个阶段构成，依次分为基础研究、应用发展和开发扩散。

在基础研究中，首先是新思想的产生。这是一个感性阶段，创新在此时只是一个思想。创新主体要综合各方面的信息，确认市场机会，把社会和市场需求与技术上的可能性结合起来，进行项目选择。根据市场需求和科技经济发展的趋势，选择项目进行实验研究，设计样品等。

应用发展阶段就是在实验室中把设计转变为实验，以验证其可实现性。在实验室获得成果的基础上，选择产业化前景比较明

朗的项目，集中力量去解决生产技术上的问题。按商业化规模要求进行工业原型开发，制定完整的技术规范，进行现场工艺实验和新产品试生产，并进行市场测试和营销研究；把创新活动引向解决生产工艺、批量生产、降低成本、满足市场需求上来，并进行小批量产品生产，在一定的市场范围内试销。

最后是新技术的开发和扩散阶段。这个阶段，新技术、新产品首次得到应用并向市场扩散。并不是所有产品都能在这个阶段中得到成功，还有大量资金耗费在创造前的准备、市场的开拓和分配渠道上产业化或商品化阶段；中试成功后，要达到规模化生产，还需要进行市场调研，选购或制造设备，形成新的生产过程。在这个阶段，随着技术创新的初步应用或创新产品的大规模生产，创新产生显著的商业效果和社会效果。创新技术扩散，即创新技术被赋予新的用途，进入新的市场。

（二）技术创新的动力源

1. 科技的推动作用

科学技术从各个方面影响着我们的生活，科学技术对经济的渗透越来越深，影响方式也越来越多。由于科学研究已成为人们的一项重要活动，其间经常有技术突破产生，这些技术突破改变了人类的生产方式。科学技术的发展，是一个永不停息的过程。在不同的时期，对不同的国家，仅有不同的速率或方向之别，而都不会停止不前。科学技术受到社会因素的很大影响，同时又有其自身发展的内在逻辑。科学技术已经成为推动技术创新发展的重要动力源。

由于科学研究是人们探索自然的过程，在这一过程中，许多活动并不带有明显的商业目的，但这些活动的延伸可能有意想不到的价值。通过特定的技术轨道来推动创新的发展，必须要有一定的技术积累，有较好的市场眼光、风险意识，才能挖掘出科学发现的经济价值。但科学技术往往是实验室的产物，

从实验样品到大规模的生产，需要解决工艺、中试、生产制造、消费者的接受等过程中的一系列问题。科技成果的转化需要大量的资金投入，风险也很大。但是，科学技术作为技术创新的动力源是基础性的，也是长远性的。因此，科学研究的基础地位不容动摇。

2. 需求的拉动作用

在 20 世纪 50～60 年代，随着经济的发展，供求关系的矛盾日益突出，营销成为企业成功的重要因素，社会需求成为诱发技术创新的重要动因。社会需求包括市场需求、政府采购和军事需求。其中，市场的作用日益受到人们的重视。一些重要的产业领域，技术创新常常是在产业需求的强烈刺激下出现的。表现为产业的需要在前，发明创新在后。历史上有许多例子都说明创新在很大程度上取决于市场的拉动作用。完全脱离技术的市场需求是不存在的。在技术创新活动中，需求和技术突破常常以一种相互作用的方式存在。

3. 政府的启动作用

政府行为也可以启动技术创新。这里讲的政府行为是指政府的规划和组织行为，以及政策和法律行为；前者，如科技、产业、区域发展规划，以及旨在实现这些规划而实施的组织行为等；后者，包括政府的科技、产业、社会福利、地缘经济、财政政策和法律，以及推动这些政策和法律实施的政府行为。比如，它可以通过税收减免、低息或贴息贷款等，让利于企业，使企业看到潜在盈利机会的同时，又从政府的政策中得到实惠，这无疑会诱导企业家按照政府意图，去组织技术创新。政府也可以用惩罚性的税收、高息贷款等手段来胁迫企业淘汰落后的产品、工艺、管理方法，以相应的创新来取代。由此可见，政府的启动对技术创新有重要影响。

4. 企业家的主体作用

任何创新过程中，创新主体都是企业家。甚至企业家的创新

偏好，也能够影响创新过程。诸如企业家固有的远见卓识、敢冒风险、积极进取的人格特征，对于某些技术经济现象的好奇心，对于某些事物的特殊兴趣，以及对市场利润的渴望，都会激励企业家的创新行为。尤其是企业家的灵机一动，有时对创新的启动有着特殊的意义。美国的德鲁克甚至认为它比其他各种任何原因引起的创新总和还要多。

技术推动奠定创新生产化的可能，需求拉动构成商业化的条件，政府启动提供适宜的政策与管理环境，企业家的创新偏好使创新者的内在潜能得以发挥，四种因素往往以不同的组合方式发挥作用。

（三）技术创新模式

1. 技术推动模式

技术创新的源头是科学基础研究，然后是设计，样品生产，规模化生产，走向市场。研究开发或科学发现是创新的主要来源。在这种模式中，技术创新是由技术成果引发的一种线性过程。这一过程源于研究开发，经过生产和销售最终将某项技术产品引入市场，市场是研究开发成果的被动接收者。技术推动模式如图 7－1 所示。

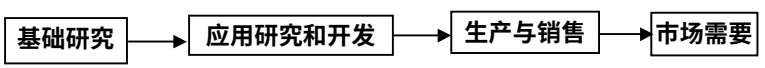


图　7－1

2. 市场拉动模式

有技术突破的地方，还必须有市场眼光。用市场引导科学研究方向，科学突破才能真正转化为创新。在这种模式中市场拉动作用较为突出。市场拉动模式如图 7－2 所示。

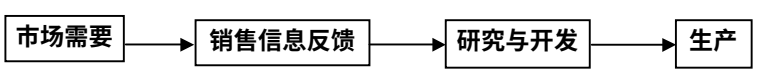


图　7－2

3. **技术与市场交互作用的创新过程模式**

技术与市场交互作用的创新过程，强调创新全过程中技术与市场两大创新要素的有机结合，认为技术创新是技术和市场的交互作用共同引发的。技术推动和需求拉动在产品生命周期，即创新过程的不同阶段有着不同的作用，单纯的技术推动或需求拉动只是技术和市场交互作用的特例。技术与市场的交互作用如图 7－3 所示。

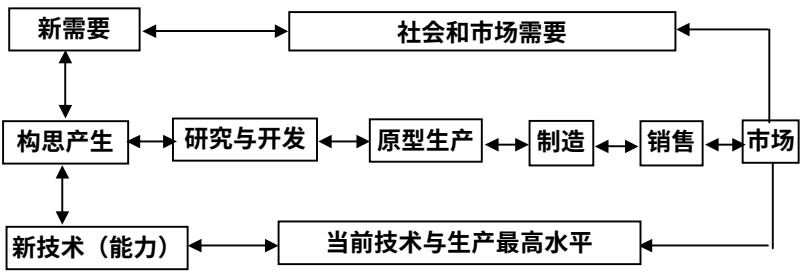


图　7－3

4. **一体化创新模式**

一体化创新模式不把创新过程看成从一个职能到另一个职能的序列化过程，而是将创新过程看成是同时涉及创新构思的产生、研究与开发、设计、制造和市场营销的并行过程，它强调研究与开发部门、设计生产部门、供应商和用户之间的联系、沟通和密切合作。一体化创新模式如图 7－4 所示。

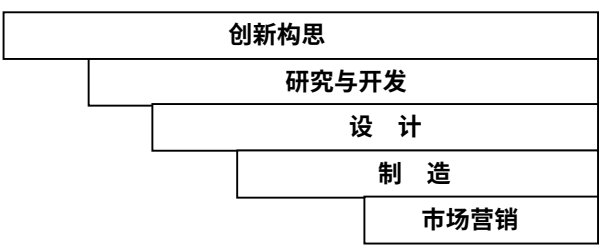


图　7－4

5. 系统集成网络模式

一体化模式的进一步发展就是系统集成网络模式。其显著特点是强调合作企业之间的更密切的战略联系。该模式认为创新过程是多机构系统集成、网络联结的过程，是一个不连续的非线性过程。整个创新过程可看成是一个组织内部和组织外部交流路径的复杂的网，它把企业内部的各种功能联系在一起，把企业同广泛的社会组织及市场联系在一起。系统集成网络模式如图 7－5 所示。

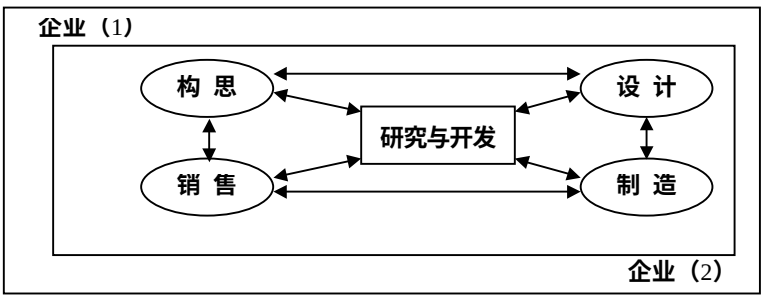


图 7－5

随着技术的发展，技术创新过程模式也在不断更新。创新过程正变得更快、更灵活、更有效率。同时，由于涉及的因素越来越多，创新过程也变得越来越复杂，这就要求在创新中建立具有高度适应性的组织结构。

三、科技创新、组织创新和制度创新

（一）科技创新

1. 科技创新的概念

科技创新是一个范围很广的概念。一般认为，它是科学创新和技术创新的总和。科技创新就是通过科学研究，获得新的基础科学知识和技术科学知识的过程。具体地说，科技创新就是新思想、新知识、新技术产生、发展、交流、传播和应用的全过程。

科学的本质在于探索未知世界的规律，技术的本质在于发明改造客观世界的新手段。它们的共同特点是通过新的发现或发明，达到新的认识，创造新的事物，这正是创新的根本功能。科技创新应着力提高创新的原创性，加快科技成果产业化步伐。

2. 科技创新的作用

科技创新是科技进步的决定性因素，它关系着一个国家的兴衰。科技创新不但影响着科学技术的发明创造，也影响着科学技术的成果及时转化为社会生产力，最终促进社会经济的发展。科学创新，特别是技术创新的作用，将使生产力发生质的飞跃，使产业结构和经济结构发生根本性改变。科技创新是经济社会发展的加速器和不竭动力。发达国家与发展中国家的差距，实质上是科技创新能力上的差距。我国要实现经济社会的快速发展，必须坚持科技创新。

（二）组织创新

1. 组织创新的内涵及其演变

组织是一种资源。组织创新与技术创新相互促进，成为企业发展的主要驱动力。企业组织结构的基本问题是要依据企业所确定的基本目标，对组织各因素及其相互关系提出明确要求，并选择与之相适应的组织结构和控制方式。组织创新实质上是对技术创新所必需的自然要素和社会要素的重组与配置，相对于创新的实现而言，组织创新本身也就成为一种特殊的社会资源。

改革开放以来，企业的技术创新和科研院所、高等学校的科技成果产品化、商品化，已成为科技经济运行的焦点问题。我国原有科技体制中条块分割、部门分割、行政隶属的社会组织结构和组织方式，越来越不适应市场经济条件下技术创新的要求。这就需要一方面调整创新主体的内部组织方式，另一方面还要致力于与其他社会组织建立创新所需要的密切联系，进行组织创新。

组织结构的演变是一个由简单到复杂的过程。首先是直线制，

具有严格的金字塔形权力结构，从权力金字塔的底部到尖顶，每个人只有一个上级，下级要对其上级负责，从而使企业大权集中于企业最高领导人一人之手。随着企业规模不断扩张，企业内部的管理协调日益复杂。加强内部专业化分工与协作以降低成本，是企业内各种职能适应市场变化和竞争的需要，于是产生了职能制。职能制保留了直线制的诸多垂直领导关系，依然实行中央集中控制，但设立了专门的职能部门。在职能制的基础上形成事业部制，事业部制是适应大规模生产的结果。面临新的技术变革和市场变动，企业需要通过产品和市场的多样化谋求进一步发展。这样企业按照不同的产品、地域或市场对象将企业划分为若干子部门，每个子部门都有自己的职能部门。整个企业实行总部领导下的事业部负责制。第二次世界大战后，技术变革速度明显加快，市场竞争日趋激烈，加速企业技术创新和提高应变能力成为组织创新的主导倾向，权变制与矩阵组织结构产生和发展起来了。

2. 组织创新的形式

现代企业中出现了一些有助于组织创新的形式：

内企业和内企业家。为了鼓励创新，企业允许自己的员工在一定限度的时间内离开本岗位工作，从事自己感兴趣的创新活动，并且可以利用企业的现有条件，如资金和设备等。没有分工，没有集群或分群之分，也很少受部门或企业整体决策的影响，这样的企业就是内企业。内企业家是结构最为简单，行为最灵活的创新组织方式。

技术创新小组。如果创新规模较大，任务较复杂繁重，那么创新活动肯定受到内企业家个人能力的限制，这就需要一种人数更多、活动范围更大的技术创新组织，这就是技术创新项目小组。

新事业发展部。新事业发展部是大企业为了新的创新单独设立的组织形式。它是永久性的、独立于现有运行体系之外的分权组织，是企业进入新的技术领域和产业领域的重要方式之一。

技术中心。技术中心是面对不断变化的市场环境，建立并不

断完善的既能为企业的长期发展提供技术储备，又具有快速反应能力和市场冲刺能力的创新组织。它成为企业能否在竞争中保持竞争力的关键。

动态联盟。动态联盟是企业组织创新方面的一个新动向，是企业组织为了适应多变的市场演变的结果。它是建立在各成员企业相互信任、密切合作、互利沟通的基础之上的，是基于对市场机会的响应而形成的企业核心能力的互补性联合，是一种无确定边界的动态网络组织。

3. 组织创新模式

以创新来源和动力来划分，我国大体上有三类组织创新模式：

（1）技术推动型的组织创新。从新技术、新成果的产生和发展过程考察，技术创新就是技术从无到有的过程。技术创新要求与之相适应的组织创新。实践中最常见的是，两个或两个以上的社会组织共同完成创新活动的过程，从而形成联合创新的具体形式。

（2）市场导向型的组织创新。市场诱发下的组织创新主要服务于创新型成果的商品化、市场化，形成以技术市场为依托的各种组织形式。如各类技术市场机构、技术市场协调机构、技术市场开发中心和市场信息调查组织等。

（3）政府调控型的组织创新。在创新中，政府导向日益增强，与市场作用相辅相成，是科技成果转化的基本走向。技术创新的社会化和规模化，在一定意义上决定着创新活动本身成为一种政府行为。政府行为离不开一定的组织形式，如高新技术产业开发区。

（三）制度创新

1. 制度创新的内涵

在市场体制尚不完善时，对经济活动起决定作用的是制度性因素，不是技术性因素。有效率的组织的形成，需要在制度上做出安排。制度创新为技术创新的涌现和经济持续增长提供了体制保障。这反映了社会化大生产和市场经济的客观要求。

现阶段的制度创新，就是要改变原有的企业制度，塑造适应社会生产力发展的市场经济体制和现代化大生产要求的新的微观经济基础，建立起产权清晰、权责明确、政企分开、管理科学的现代企业制度。

2. 制度创新的分类

制度创新主要由组织系统创新和规则系统创新构成。从资源配置的角度看，前者是创新资源的组合形态，后者是创新资源的分配方式。制度创新的目标，是满足社会对创新资源的合理分配。创新主体主要是政府各级行政管理部门。

组织系统创新主要表现在体制的改革上。首先，在横向创新组织之间建立法定的利益约束机制，在纵向创新组织之间建立清晰的产权关系，界定单个创新主体的市场主体地位。其次，在宏观上，科技管理部门和经济管理部门建立精简、统一的创新管理机制，在科技与经济的结合上取得结构上的突破。

规则系统创新主要表现在规则层面上，最主要的是政府调控资源配置行为的变化。资源的稀缺性和市场的不完全竞争容易形成垄断。对于自然资源，政府必须根据资源的稀缺程度，制定有关政策法规，通过市场使资源流向创新机制和效益最好的创新主体。对于非自然资源如新技术和新信息的垄断，政府应允许掌握新技术和新信息的创新者保留较多部分的垄断利润。

第二节　高技术产业化

一、高技术产业化的含义、特征、条件和过程

（一）高技术产业化的含义

高技术产业化是指“技术的研究、开发、扩散和推广的过程，一般要经历技术开发、产品开发、生产能力开发和市场开发四个阶

段，是把高技术成果转化为技术商品，投放市场，获得经济和社会效益的过程”[①]。从高技术产业发展来看，或以某一种高技术为核心繁衍出高技术经济体系，或以几种高技术相互渗透构成高技术群落。发展高技术的根本着眼点是使之产业化，形成高技术产业。高技术只有形成产业，才能产生巨大的经济效益和社会效益。

（二）高技术产业化的特征

1. 资金密集

高技术产业化的初始阶段需要大量的资金投入，甚至是风险基金的投入，因为其设备要求高、更新速度快，并且一旦形成规模也需要大量的资金。

2. 群体化

高技术的产生与发展很少是由单一技术发展起来，而多采用群体技术的形式。随着时间的推移，群体技术不断扩大，这是现代高技术与传统技术以及高技术之间相互作用的结果。

3. 超前性

当代技术正在迅速发展为前沿技术，属于超前发展的技术产业领域，前景广阔。如新型计算机技术、生物新材料技术，市场前景很好，是高技术的先导和核心，也是发展高技术产业的重要组成部分。

4. 高渗透性

高技术群体化在国民经济各部门和应用科学领域作用突出，已渗透到各个方面。

5. 技术革新速度快，产品生命周期短

（三）高技术产业化的条件

1. 要素条件

高技术产业化需要资金、技术、人才、信息等生产要素的有

① 顾海：《高新技术产业化论》，河海大学出版社，2000 年，第 138 页。

效投入和优化组合，其中人才优势是最活跃的核心要素。许多国家为了有效地提高科技水平，促进科技发展，都制定了培养、吸收和有效地使用科技人才的政策，基础性科技水平和科技教育的普及是提高高技术产业化的先决条件。

2. 需求条件

高技术产业化的目标之一是实现国际化，而促使高技术产业化的发展应首先立足于国内市场。国内市场的旺盛需求有利于发挥规模经济优势，同时，国内市场又有成熟的消费者，有利于促进企业提高竞争力。企业只有把握不同层次的消费者不断变化的需求，才可能在国际竞争中立于不败之地。

3. 支撑条件

一个国家广泛的产业领域所具有的实力和发展高技术产业的专门政策是发展高技术产业不可缺少的条件。另一方面，只有在一定的科技水平和经济实力的前提下，大力发展高技术产业才能给国家和企业带来竞争优势。

4. 竞争条件

由于高技术的快速发展对市场的不断冲击，加剧了高级市场的竞争，只有持续有效地研究、开发、投入，不断地进行技术创新，才有可能在竞争中保持优势。

5. 其他条件

高技术产业化过程还会受到各种有关因素的影响。外部环境尤其是市场的环境以及技术自身发展过程中的变化，都为高技术产业化提出了新的机遇和挑战。

（四）高技术产业化过程

技术创新成果的产业化过程，一般是在高技术基础上形成新兴产业的过程。高技术产业是在高技术的研究、开发、推广、应用的基础上形成的企业群或企业集团的总称。

高技术产业化过程是一个动态的过程，以高科技成果为起点，

以市场为终点，并经历四个阶段：

1. 高技术的发明与研制

即产生出高技术或设计思想等，从技术成果开始到具有小批量的产品生产能力这个阶段。通过设计、工艺材料、生产技术等方面的研究开发和小范围试制，技术由原理进入实用阶段。

2. 高技术产品的开发与推广

即把高技术或设计思想转化为产品，并投到市场试销。在这个阶段中，一般要完成工业化的生产工艺、设备监测能力的开发、重试，或新建、扩建、改建生产线。

3. 高技术产品的大规模生产

即使高技术成果由一个生产企业推广开来或通过转让有了更多的生产企业，从而形成高技术产业，完成规模生产的工艺、设备和检测能力的开发，形成规模生产能力。此阶段是高技术新成果的重要扩散阶段，通常要进行大面积推广应用。

4. 市场开发阶段

包括市场需要预测、销售网点、信息和售后服务网的建立，广告宣传、包装、运输等，是获得规模经济效益的阶段。

高技术产业化的实现，有赖于产业化过程中各阶段的发展，以上各阶段间相互协调、良性循环，才能建立一个良好的运行机制。这一由技术到样品再到商品或产业的转化是一个复杂的过程，需要解决一系列的技术难题，做许多开拓市场的工作，这种转化是一种质的飞跃。

实际上，接下来还需完成更大范围内的产业化过程，即企业生产、产业扩大和产业渗透这三个环节。企业生产是技术产品在单个企业生产，形成一定的生产规模，并获得相应的规模经济效益。产业扩大是高技术产品的生产从一个企业扩大到多个企业，从而形成某一高技术产业。产业扩大是产业化的核心，它对市场容量、成果开发程度、产品成熟程度，以及产品的更新换代的速度均有较高的要求。产业渗透是指高技术产品或工艺从一个产业

渗透到其他产业，实现大面积的推广应用，使传统产业得以改造。

二、中国高技术产业化的实践

（一）中国高技术产业化的发展历程

新中国成立以来，中国高技术产业化取得了举世瞩目的成就，经历了从无到有，从少到多的过程。高技术产业化在国家安全、增强综合国力、提高人民生活水平等方面起到了重要的作用。在半个世纪的发展历程中，我国高技术产业化大体经历了三个阶段：

1. 高技术产业的初创阶段

自 1958 年我国研制成功第一代数控机床起，到改革开放方针的确立，是我国高技术产业化的初创阶段。这一时期主要是以高技术的研究、开发和储备为主。在一些国家对我国进行技术封锁、国内又缺少资料的条件下，我国高技术的研究开发采取了“独立自主，自力更生”的方针，充分发挥社会主义计划经济集中力量办大事的优势，自行研究开发了一些具有重要意义的高技术。对当时世界上已经出现的高技术门类，我国都在不同程度上进行了自主研究和开发，并将成果储备起来。经过这一阶段的发展，我国在航天、核能等领域的高技术有了重大进展。但从整体上看，除航天、核能部门具备产业化的发展规模外，这一时期其他领域基本上没有进行推进高技术的产业化工作。十年动乱更使我国丧失了发展高技术产业的大好机会。

2. 高技术产业的快速发展阶段

第二个阶段从 20 世纪 70 年代末至 90 年代，这是我国高技术产业快速发展阶段。从 1982 年开始，为适应国际高技术的日新月异的形势，跟踪世界先进水平，缩小与国外的差距，我国开始出台了一系列科技计划，如科技攻关计划、星火计划、“863”计划、“火炬计划”、“攀登计划”等。随着科技体制的改革和科技事业的发展，也相继推出了国家重点新产品计划、军转民计划、国家

工程中心组建计划、“产学研”工程等。各省（市）在积极参与国家科技计划的同时，结合本地区经济、社会、科技发展的需要，也制定了一系列地区性的科技发展计划，这些不同层次、不同目标的科技计划，使得面向经济建设主战场的发展高技术研究、开发及实现产业化、稳定基础研究三个层次的科技工作得到纵深发展。

3. 高技术产业的二次创业阶段

第三个阶段是从 20 世纪 90 年代起至今，这是高技术产业二次创业的提出和实施阶段。二次创业是高技术企业在成长到一定的时期后，向更高一层的目标发展所必须要经历的一个阶段。大多数企业步入二次创业阶段后，都面临着全新的内外部环境。从外部环境来看，国内市场经济日渐成熟，并逐渐融入全球市场国际化格局之中。特别是中国加入 WTO 之后，高技术企业必须走国际化道路。从内部环境来看，经历了成功的前期创业后，高技术产业已经具备了相当的规模和实力，为二次创业奠定了一定的基础。同时，在高技术产业化过程中，其业务不断拓展，内部组织系统也越来越复杂，原有的技术创新运行机制和管理机制不可能完全适应多变的外部环境。比如，产业内部的凝聚力下降、沟通不畅，研发经费缺乏，创新管理不善等。面对高技术产业化过程中出现的种种问题和危机，高技术产业化的二次创业势在必行。

（二）中国高技术产业化的现状

我国高技术产业领域覆盖了航空、航天、通信、生物医药、科学仪器等各种领域，产值增长迅猛，高技术及高技术产品的出口创汇也有较大幅度增长。“863 计划”的实施，使得我国一批重大关键的高科技项目达到国际水平。高新技术产业开发区已经成为高技术发展的重要基地，并发挥着越来越重要的作用。

目前，我国高技术产业的发展具备一些有利条件。第一，我

国政府高度关注世界科技革命和知识经济发展走向，无形资产和知识资本日益受到重视，“科学技术是第一生产力”思想已经深入人心，“科教兴国”战略和可持续发展战略成为国家不断强盛的持久动力。第二，我国建立了较为完善的工业体系，社会主义市场经济体制不断完善；引入市场机制，加快了高技术产业化过程；民营科技在工业体系中的作用越来越明显。第三，我国工业化、城市化不断发展；信息技术的发展、知识经济的新文化和知识积累，使我们以更低的成本、更快的速度来加速经济发展。第四，高技术产业研究与发展的投入不断增多，效益显著。

同时，在高科技产业化过程中，我们也存在着一些不利因素。第一，高新技术产业的科学技术基础相对薄弱，义务教育中科技教育不够完善，国民的科学素养尚需提高。第二，技术开发力量不足，产业化效率不高。高技术成果转化为产品和商品的能力较弱，产业化步履较慢。发展到大规模生产水平的产业为数不多，具有国际竞争力的更是寥寥无几。高技术产业对经济的贡献还有待提高。第三，技术创新能力差，引进技术的消化吸收能力较弱，高技术的对外依存度较高、市场占有率低。此外，我国高技术产业化中人才瓶颈现象比较突出。

（三）高技术产业化的国际比较与启示

1. 国际高技术产业化的现状

科学技术在社会经济发展中的先导作用日益突出，成为社会经济发展的重要特点。随着高技术的发展，国际技术竞争日渐激烈，高技术产业化也在全球范围内迅速兴起。美国是最早进行高技术产业化的国家，其高技术产业的实力居世界领先地位。依靠强大的资金和人才优势，采用“产官学”联合体的形式，美国建立了世界上第一个高技术开发区“硅谷”和一系列的高技术产业带，如北卡罗莱纳科学院等。随着高技术开发区、科学园、技术创新中心以及其他科研与生产相结合的形式的出现和发展，高技

术产业在美国得到了迅速发展。近年来，美国的高技术重点领域主要涉及生物技术、农业科技、环境科技、空间科技等领域。作为高技术产业化第二大国，从 20 世纪 70 年代中叶起，日本开始兴建高技术产业化基地，其中筑波科学城和本州的“日本硅谷”发展较为成熟。欧盟各国也较早地认识到科技是振兴欧洲的重要手段。为增强战略性技术和高技术领域的国际竞争力，1994 年欧盟各国开始实施了“第四个科技发展和研究框架计划”。除了统一实施的科技政策外，欧盟各国还根据各自的国情和优势，有选择地发展高技术。

2. 高技术产业化的中外比较

（1）产业发展现状比较。第一，在产业结构上的差异。目前主要发达国家三大产业结构的比例大约为 2%～3%、30%～40% 和 60%～70%，我国约为 20%、50% 和 30%。我国产业结构相当于中低收入国家水平。其中，第一产业的农业生产技术较为落后，节约化程度低，基础脆弱；第二产业在整个经济的发展中占主要地位，但第二产业内部的高级化过程还未完成，高技术增加值所占的比重约为 20%，而发达国家已达到 30% 以上。在世界贸易中，直接与高技术产业有关的商品额已占 25% 以上，而我国高技术总产值仅占 8%，参与世界贸易的比例不足 5%，远低于发达国家。就科技进步对经济增长的影响而言，我国的贡献率不足 40%，而发达国家则高达 50%～70%。

第二，在产业经济实力上的差异。推动科技进步的必要条件是必须保证有足够的科技投入。许多工业化国家的研究开发经费占国内生产总值的近 3%，我国约为 1%。企业对科技的投入不足，尚未成为真正的创新主体，此外，经费的分配也主要集中在研究机构和高等院校，而不是企业。这与发达国家形成了较大的反差。在人力资源水平方面，高收入国家的成人文盲率不足 5%，中国为 27%。在科技队伍方面，我国从事研究开发的总人数虽仅次于日本、美国，但平均数很低，每万人中日本、美国分别为 79.60 人和

74.30 人，而我国为不足 7 人。

（2）发展战略和发展模式比较。第一，在发展战略上的差异。20 世纪 70 年代以来，以高技术为中心的新技术革命首先在发达国家兴起，并逐步扩展到其他国家和地区。以美国为首的发达国家，开始实施高技术战略由国防向民用转移，向提升产业和提高竞争力转移，以市场化为导向发展高技术。我国 1995 年开始实施的“科教兴国”，旨在促进国民经济由粗放型向集约型的增长战略转变，加速科技产业化的速度，切实把经济建设转移到依靠科技进步和提高劳动者素质上来。

第二，在发展模式上的差异。发达国家为了促进高技术产业的发展，采取了完全不同于一般技术的新型组织模式和国际合作方式。如美国采用宏观调控、间接推动的发展模式；日本采取政府强力干预、强化企业创新能力的发展模式。我国在改革开放以前，基本上是采取内需自主发展模式，经济建设顺其自然，水平较低。改革开放后，转向到“引种嫁接”的模式上来。进入 20 世纪 90 年代后，在借鉴国外经验的基础上，我国加强了对高技术产业的支持和协调，注重自主创新能力的培养，强调在引进技术基础上的消化、吸收和创新，从而使我国高技术产业化向自主性、创新性以及政府引导型方向转变。

（3）发展环境和发展政策比较。第一，在发展政策上的差异。为了促进高技术的发展，世界各国在土地、房产、信贷、税收、引进外资、人才流动等方面，实行了许多的优惠政策和措施。比如，美国政府为科技园创业人员创造了良好的文化、经济和社会环境，吸引了全美乃至全球的许多高科技人才。我国为了促进高技术产业的发展，也制定了一些优惠政策，已经初步形成了激励高技术产业发展的产业政策框架。但这些政策主要是针对高新技术开发区的，面向全国的整体配套政策尚未形成。即便是对高新区来讲，具体实施起来也有一定的困难。

第二，在发展环境上的差异。世界各国在积极调整高技术及

其产业发展战略的同时，强化支撑环境的建设，都普遍加强了对科技发展的宏观指导力度和协调能力，努力搞好“官产学”联合，加强对研究开发、成果推广及产业化的引导。如实施财税和信贷优惠政策，为本国高技术产业化提供一个良好的资金环境。我国在这方面也进行了一些积极的探索，但还存在许多问题。如发展高技术产业的政策体系尚不完善，侧重于资金优惠的多，相对忽视政策的扶持。同时，政策落实困难，总体战略缺乏协调，管理集成尚未形成。

3. 增强全民创新意识，推动高科技产业化

由于传统体制、思维方式的影响，一些传统产业、劳动密集型产业中的企业缺乏开展技术创新的动力，传统体制下的研究机构也不十分关注创新知识的应用和传播。创新系统各主体的联系方式和互动机制不适应知识革命和社会发展的需要。传统体制下创新系统的配置方式，既造成主体创新动力的低下，又造成了各主体之间功能分割的局面，所谓技术经济“两张皮”的现象便是这样形成的。科技与生产相脱节的状况，直接影响到创新活动的实施，也制约了高科技产业化的发展。

为此，我们应积极采取对策：

（1）提高全民族的科技创新意识。树立“科学技术是第一生产力”的指导思想，大力宣传、倡导、培养全民族的科技创新意识，提高对高科技产业化的认识。

（2）培养科技创新主体，增强企业科技创新和高科技产业化能力。科技创新是市场经济条件下创新主体的自主行为，创新主体要树立市场观念，不断增强创新意识。各级政府要注意完善科技创新体系，在组织上和体制上为高科技产业化提供良好的外部环境。同时，应积极推进“产学研”有机联合，逐步建立以企业为主体，科研院所、高等院校、中介机构共同推进的科技创新机制，促进科技与经济的结合。

（3）完善推动高科技产业二次创业的政策、法规和激励保障

措施。重视法制建设，保护创新成果。加强科技创新组织的协调工作，加速科技成果转化。提倡自主创新，同时积极扩大国际合作与交流，吸收、借鉴世界上最新科技成果。

（4）全面贯彻“尊重知识、尊重人才、尊重劳动、尊重创造”的原则。科技创新最终要靠人才。发展生产力，必须把人才放在第一位，建立适应高科技产业化发展的人才培养和激励机制，做到人尽其才，才尽其用。

参考文献

[1] 傅家骥等. 技术创新学. 北京：清华大学出版社，1998

[2] 汤世国. 技术创新. 北京：科学技术文献出版社，1994

[3] 柳卸林. 技术创新经济学. 北京：中国经济出版社，1993

[4] 柳卸林. 企业技术创新管理. 北京：科学技术文献出版社，1997

[5] 纪玉山. 现代创新经济学. 长春：长春出版社，2001

[6] 魏中龙. 技术创新工程. 北京：经济科学出版社，1996

[7] 顾海. 高新技术产业化论. 南京：河海大学出版社，2000

[8] 邢以群等. 高技术企业经营管理论. 杭州：浙江大学出版社，2000

[9] 陈光. 技术创新的社会运行设计. 科学学研究，1995，(12)

[10] 柴剑锋等. R＆D 植入技术创新的动态机理及绩效分析. 科学学与科学技术管理，2003，(5)

第三篇 科学技术方法论

科学方法是从科学研究过程中总结出来的规则、规律，它们是具有普遍性的东西。随着科学研究的发展，科学方法也不断丰富和发展。时至今日，科学方法业已形成种类繁多、层次分明的有机系统，成为科学工作者不可缺少的素质和修养。

科学技术方法论是研究人类认识自然和改造自然的基本过程、手段及方式的理论体系，或者说，它是关于建立自然科学知识、创造技术成果的途径、手段与方式的理论体系。

科学技术方法论是科学技术哲学的一个重要组成部分，它作为哲学与科学技术之间相互沟通的一个桥梁，将为丰富辩证唯物主义的原理、规律、范畴提供越来越多的素材，促进马克思主义哲学体系的不断充实、发展和完善。同时，马克思主义哲学通过科学技术方法论，向科学研究和技术开发指明方向和提供指导原则。

本篇按照科学研究和技术开发的一般过程，分别介绍若干基本的科学技术方法的含义、特征、使用原则和步骤等。

第八章　科研方法的结构和科学研究选题

科学研究是伴随着人类历史进步而逐渐产生和发展的一种高级的认识形式。科学研究有它的独立性，每项活动都是有计划、有目的和有针对性的，其阶段性和连续性也是非常严密而又非常清晰的。科学研究过程也是不断提出问题和解决问题的过程，发现和选定问题是科学研究的起点。本章讨论科学研究的一般过程、科学研究方法的层次以及科学研究的第一步——科研选题。

第一节　科学研究方法的结构

一、科学研究及其一般过程

（一）什么是科学研究

科学研究是人们探索客观世界运动、发展规律的一种认识活动。它包括基础研究和应用研究，一般说来属于非经济性的活动。科学研究的成果通常被称为科学发现，一般是以知识形态的科学概念和原理表现的精神产品。

科学研究是一个精神生产过程，它同物质生产过程一样，是一个由多种要素构成的科学认识系统。科学认识具有三个要素，即：科学认识的主体、科学认识的客体和科学认识的中介。科学认识的主体是指从事科学活动的科学劳动者。科学认识的客体就是第四章所说的科学对象。科学认识的中介是指科学研究中所用

的仪器和工具、符号、语言等。科学认识的中介，概括地说可分为两大类：一类是“硬件”，指的是第四章所说的科学仪器，它们是有形的；一类是“软件”，如科学研究中的经验、各种科学思维方法、科学理论等，它们是无形的。不论是“硬件”还是“软件”，它们都是科学认识过程中的中介。

在构成现实的科学认识关系中，主体是认识者，处于主动一方，而客体则是作为主体的认识对象而存在的，是被认识者。科学研究就是科学认识主体在科学实践中运用科学认识中介与客体相互作用从而能动地反映客体的过程。

科学认识系统中，主体是通过有目的地改造客观世界的活动去认识客体的，因此处于主动的地位，具有能动性。但客体就其物质属性而言，是不以主体的主观意志为转移的客观实在，科学认识主体能动作用的发挥，不能不受到科学认识客体的制约。

科学研究是在科学实践的基础上展开的。科学实践是随着人类社会生产力的发展而逐渐形成和发展的。在古代，没有相对独立的科学实践，那时科学研究获取信息主要靠直观观察，所以，往往是在生产实践活动中进行的。近代科学兴起后，科学实验慢慢从生产实践中分化出来，逐渐形成为一项相对独立于生产实践的社会实践才开始走上了自己发展的道路。今天，“科学实践”的范畴要比“科学实验”的范畴含义广泛得多，深刻得多。它已成为人类社会实践的重要组成部分，有着丰富的内容和各种具体的形式，它不仅起着科学研究的作用，还起着科学管理、发展生产、变革社会的作用。在科学劳动中，根据科技工作者在科学实践过程中采用的不同方法及其在科学认识中的地位和作用，科学实践大致包括科学调查、科学观察、科学实验和模拟方法等几种基本类型。

科学研究有其自身的特点：一是具有一定科学理论的指导与渗透；二是以智能化的高精尖仪器设备作为认识的手段；三是具有明确的理性追求和实用目标；四是具有鲜明的创造性；五是必

须遵循一定的科学方法论的规则。所以，科学研究过程中，虽然每一个阶段的认识都与其前一阶段的认识存在着首尾相连的关系，但每一具体的科学技术认识都有其起点和终点。

（二）科学研究的一般过程

日本著名理论物理学家武谷三男曾以经典力学为例，将人类对于自然的认识区分为三个阶段。第一阶段，即现象论阶段，描述现象，记录实验结果。这一阶段还不能根据其他事物来更深刻地说明事物，只是搜集关于现象的知识。第二阶段，即实体论阶段，了解产生现象的实体结构，并根据这种结构的知识，整理关于现象的知识，以获得规律性。但是这种规律性的知识，只是描述继一个现象之后会发生另一个现象，并不能说明某一现象之后必定会发生另一个现象。第三阶段，即本质论阶段，认识实体间相互作用的规律，即从处于这种相互作用下的实体的必然运动来说明产生现象的规律[①]。武谷三男还认为，科学认识是按照这三个阶段循环往复地向前发展的，即第一个循环的本质论，从第二个循环来看是现象论，以此为出发点来推动第二个循环继续向前发展。

类似于对客观世界的认识，科学研究是一个由简单到复杂、由低级到高级，通过已知探索未知，逐步深化、逐渐接近客观真理的过程。这就是人类认识的系统发育过程。武谷三男的“三阶段论”，阐明了科学认识在一个科学部门中的系统发育过程。对于科学工作者个人来说，一项科学研究任务的完成，是认识的个体发育过程。这个过程是科学认识的系统发育的缩影，在整体上近似地重演科学认识的系统发育。

参照武谷三男的“三阶段论”，以基础研究为例，我们可以把科学研究的整个过程划分为五个基本阶段：

---

① 参见武谷三男：关于牛顿力学的形成，见《武谷三男物理方法论论文集》，商务印书馆，1975 年，第 46～47 页。

1. 选题阶段

选题阶段是科学研究的准备阶段。这一阶段，首先通过各种途径和线索，提出尚未解决的科学问题，确定研究的方向，选择并论证研究课题；然后搜集、阅读文献资料，借鉴前人和同时代人的研究成果；最后提出初步设想，拟订研究程序。选题是每一项科学研究工作必不可少的首要步骤。能否选好课题，依赖于科学工作者的知识、经验和才干。选题过程中，要运用逻辑方法、横向学科方法等多种科学方法。

2. 获取科学材料的阶段

获取科学材料阶段是通过调查、观察、实验和模拟方法获得科学材料。科学材料又叫科学事实，是科学研究的基础，是能否做出科学发现的先决条件。从根本上来讲，科学事实来自人们的实践活动。调查、观察、实验和模拟方法是获取科学材料的基本手段，当然，通过文献检索间接获取科学事实也是十分重要的。观察、实验等方法并不是单纯的操作活动，它需要理性思维，特别是在观察、实验结果的处理中，理性思维的作用更为突出。

3. 整理科学材料的阶段

整理科学材料的阶段又叫思维加工阶段，主要任务是提出科学假说。科学研究的根本目的在于揭示研究对象的本质和内在规律。科学工作者在获得关于研究对象的大量感性材料和经验事实之后，就要通过科学抽象建立概念，运用分析、综合、比较、分类、类比、归纳等逻辑思维方法和直觉思维方法，提出科学假说，对在研究对象中所发现的现象及其变化的规律性做出假定性的解释和说明。从认识论上看，这一阶段是由感性认识到理性认识、从经验层次向理论层次的飞跃。科学研究成果的创造性程度如何，主要取决于这个环节。

4. 实践检验阶段

假说只是拟定中的科学理论，它是否完善，是否正确，还有待于实践的检验。因此，提出科学假说之后，科学工作者要根据

假说进行演绎推理，做出预见，提出验证课题，设计新的观察或实验，用科学实践所提供的事实来检验假说的符合程度。如果发现假说是不完善的或错误的，就要修改或重新提出新的假说，重复以上过程，直到将假说提升为科学理论。一个正确的认识，往往不是一次思维加工就能完成的。这一阶段，恰恰反映了认识过程的曲折性和复杂性。应当说明的是，某些科学假说暂时不能进行实践检验，只能代之以逻辑证明。

5. 建立科学理论的阶段

建立科学理论的阶段是把已确证的假说和先前的理论尽可能统一起来，形成比较严密的、有内在逻辑关系的体系。在这一环节，公理方法、从抽象上升到具体的方法、逻辑与历史相统一的方法都起到十分重要的作用。

科学研究是一种异常复杂的认识活动。在各门学科中，研究过程不完全相同，各个环节互相重叠交叉，并非截然分明，每一个具体课题的研究过程未必都包括上述所有阶段。不过从整体上看，科学研究的上述过程是绝大多数研究课题的必经之路。

二、科学方法及其层次

（一）什么是科学方法

“方法”一词，在中国古代就有“办法”、“方术”、“量度方形之法”等含义；在古希腊则是“沿着”和“道路”而来，意味着沿着（正确的）道路运动，意味着接近或达到某一目标的途径。形式逻辑的创始人亚里士多德把逻辑证明的方法称作“科学的实践程序。”[①] 黑格尔认为：“在探索的认识中，方法也就是工具，是主观方面的某个手段，主观方面通过这个手段和客体发生关系。”[②]

① 弗朗西斯·培根：《工具论》，广东人民出版社，1984 年，第 232 页。

② 转引自列宁：《哲学笔记》，人民出版社，1974 年，第 236 页。

究竟什么是方法？方法就是达到某种目的所遵循或使用的理论、规则、途径、程序、技巧和手段的总和。简单地说，方法是一切领域中思想和行为的活动方式。科学方法，是指科学研究活动应遵循或使用的理论、规则、途径、程序、技巧和手段，亦即人们在科学研究活动领域中的思想和行为的活动方式。科学方法所反映的是科学知识的生产过程和创造过程，或者说，它是科学知识的精神生产方式。按科学方法适用的研究领域的不同，又有自然科学方法与社会科学方法之别。人们为探索自然的奥秘，认识自然的属性及其规律而采取的活动方式的总和，称为自然科学方法。自然辩证法所研究的只是自然科学方法以及自然科学发展的作用问题。

科学方法是客观规律与主观手段的统一。但凡方法都包含着对客观对象的规律性认识，是对客观规律的反映。被认识和反映的规律性构成方法的客观方面，而根据这些被认识和反映的规律制定的研究和改造客观对象的手段和方式则构成方法的主观方面。客观规律本身并不构成科学方法，而根据客观规律所制定的那些用来进一步认识和改造现实，获得新成果的手段才是方法。也就是说，客观规律只有转化为主体的行动规则或手段，才成为方法。

科学方法作为客观规律和主观手段的统一，它不仅具有对科学实践的依赖性以及认识过程的中介性，而且具有对理论创建的能动性的特点。

首先，任何科学方法都是从科学实践中产生和发展起来的，并随时随地接受实践的检验。长期反复的实践活动，使人们终于认识到某些行动方式对于揭示自然规律或本质属性是富有成效的，而另一些行动方式则是无效的或错误的。当那些富有成效的行动方式被人们概括为某种原理、规则、程序或手段时，就成为科学方法。因此，一种方法在实践中若具有科学性、有效性，将会得到发展；若不能有效地解决问题，达不到科学研究之目的，就会不断得以修正或者被抛弃。

其次，科学方法是联结主体与客体的桥梁，主体通过科学方法与客体发生关系。科学认识是主体对客体规律的正确反映过程，在这个过程中，必须借助于科学方法才能获得事半功倍的效果。正是由于科学方法，才使科学认识的主体与客体达到了统一。

第三，科学方法以发现知识和创建理论为目的，它体现着认识主体的能动性。行之有效的科学方法，能够体现认识主体较大的理论创建的能动性；而拙劣的方法，则会阻碍认识主体能动性的发挥，使之误入迷宫。这样的事例，在科技史上是屡见不鲜的。

（二）科学方法的层次

科学的认识与其他领域的认识一样，是一系列由低级到高级、由简单到复杂、由个别到一般、由经验到理论的过程。在科学认识过程的各个阶段应用各种认识方法，以解决主体与客体、人与自然界的矛盾，这些方法统称为科学方法。

科学方法是从科学认识过程中总结出来的规则、规律，它们是具有普遍性的东西。按其普遍性的程度，可以把科学的认识和方法区分为三个层次：

1. 各门自然科学特有的方法

第一层次是各门科学所特有的认识和方法，是只能适用于个别学科或个别领域的科学方法。例如，物理学中对太阳的化学元素的研究使用光谱分析法；在化学中，对化学反应速度的研究使用催化剂以加速化学反应的催化方法；生物学中对细胞结构的研究使用显微镜分析方法，等等。都属于这一层次的方法，分别以关于各自对象的客观规律的认识为基础，以相应学科的理论为根据，为本学科、本领域的研究和发展所必不可少。

2. 自然科学的一般方法

第二层次是整个自然科学的认识和方法，是适用于自然科学各部门、各学科的方法。例如，认识自然界必须使用的实验方法、数学方法、系统方法，等等，它们是整个自然科学的认识和方法

中最普遍的。

3. 哲学方法

第三个层次是自然科学、社会科学和思维科学普遍适用的方法，是着重从世界观、认识论和方法论上来论述的，这就是辩证唯物主义的认识论和方法论——唯物辩证法。它是从其他层次的科学方法中汲取营养，并以它们为基础概括出来的。因此，它的概括程度最高，使用范围也最广，为一切科学研究规定了应当遵循的普遍原则。如从实际出发，调查研究，实践是检验真理的根本标准，抓主要矛盾，等等。

上述三个层次，是按照抽象化程度由低到高和适用范围由小到大的顺序排列的，它反映了人类知识的不同层次。其中任何一个抽象程度较高的方法层次，都是对于抽象程度较低的方法层次的概括和总结，并具有方法论的意义。另一方面，它又是抽象程度更高的方法层次的概括基础，并受其指导。在本书中，我们这里主要阐述属于第二层次的方法，即整个自然科学普遍适用的方法。它一方面是对第一层次的科学方法的概括和总结，另一方面又是以第三层次的哲学观点和方法为基础，因而是后者的一个组成部分。

第二节　科学问题和科研选题

一、科学问题

（一）科学问题的含义

科学问题是指一定的科学认识主体在当时的知识背景下，提出的关于科学认识和科学实践中需要解决而又未解决的矛盾，它包含一定的求解目标和应答域，但尚无确定的答案。

科学活动是探索未知世界的过程，而科学问题则是科学探索的焦点。科学家的任务就是应用自己已知的科学知识去寻找、提

出和解决科学问题。科学问题是科学家在善于质疑和好奇心驱使下，对相关背景知识思考和分析中提出的，是科学家原有知识与新接触的未知领域碰撞的理性觉察，这种觉察引起他们的好奇、怀疑、思考，产生求解的欲望和行动，推动他们进行探索和创造。所谓背景知识，就是指特定时代的科学家所接受的各种知识的总和，既包括当时的理论知识和经验整合，也包括当时社会流行的思维方式。

科学问题是通过对科学背景知识进行分析而提出来的，它的提出本身就意味着科学认识的深化，知识的发展，甚至已构成了科学中的发现。相反，如果仅仅处于无知或不懂而不是通过对科学背景知识的分析而提出的问题，就不是科学问题。我们可以从科学问题与无知性问题、科学问题与虚假问题的区别中，进一步把握科学问题的含义。

第一，科学问题与无知性问题。人们在科学实验和观察中发现了新事实，常常并非在于是否观察到这一事物或现象，而在于能否判明自己所观察到的现象或事物是一种新事实。这就得把遇到的现象同科学背景知识联系起来分析。至于进一步发现新事实与原有理论的矛盾，就必须对事实和背景知识进行认真的思考和分析才能办到。除了科学问题之外，我们还会遇到大量的无知性问题，所谓无知性问题是指对科学背景知识的无知而提出的问题。这些问题不是产生于对知识的分析，比如任何一个小孩子都可以向父母提出一连串诸如此类的问题：太阳为什么东升西落？鸟站在电线上为什么不触电？等等。这类由于缺乏科学背景知识而提出的问题，就是无知性问题。毫无疑问，科学研究的对象应当是科学问题，要防止无知性问题作为科学研究的起点，因为无知性问题大多通过学习已有的知识即可获得解决。

第二，科学问题和虚假问题。科学问题又被叫做真实问题。所谓真实问题是指可由经验事实证实或证伪而回答的问题。只有真实问题才能成为科学研究的对象。凡是科学问题都属于真实问

题。而虚假问题或者叫做伪科学问题都是既不能证实、又不能证伪，不能由经验事实回答的问题，这类问题不是科学研究的范畴。

理解科学问题应该注意以下几个方面：

1. 科学问题是一定历史时代的产物

某个问题是否可以称之为科学问题，是以整个时代科学发展水平衡量的。因人而异的问题有可能是认识主体的知识或信息缺乏造成的，只有从当时的科学认识和科学实践的水平出发，才能提出有价值的科学问题。例如，德国数学家希尔伯特（Hilbert）在 1900 年的国际数学大会上一下子提出 23 个令人震惊的数学问题，它们指明了 20 世纪数学发展的目标，引导着一批著名数学家的研究方向，对当代数学的发展产生了重大的影响。据统计，1936～1974 年间获菲尔兹国际数学奖[①] 的 20 人中有 12 人的工作和希尔伯特问题有关，美国数学会 1976 年评定的 1940 年以来的十大数学成就中有三项便是希尔伯特问题的解决。之所以如此，关键在于希尔伯特的研究领域几乎遍及当时数学的各个重要分支，而且在数学方面造诣很深，能总揽全局，把握数学的发展方向。

科学问题之所以是时代的产物，是由于时代所提供的知识背景决定着科学问题的内涵深度和解答途径。同一问题，在不同知识背景下，其内涵深度是不同的。比如，探索遗传的奥妙是一个古老的问题，在 19 世纪末的知识背景下，魏斯曼提出的是“ 种质 ”的问题，20 世纪初摩尔根提出的是“ 基因 ”问题，到了 20 世纪 50 年代，沃森和克里克则提出了生物大分子 DNA 的结构问题。显然，问题的内涵因知识背景的不同而有所变化。除此之外，背景知识

① 这项奖是由加拿大数学家菲尔兹（J.C.Fields，1863—1932）在 1924 年提议，由国家数学家联盟在 1950 年的会议上通过决定设立的。该奖每四年颁发一次，奖给在数学方面做出杰出贡献的 40 岁以下的人。由于诺贝尔奖中没有数学奖，该奖也被视为与诺贝尔奖相当的科学奖。

还制约着解决问题的途径。有些问题受当时认识程度和实践水平的限制，一时无法进行研究，因而还不能称为科学问题。只有在一定条件下，它才能转化为科学问题。例如，追溯宇宙的起源，是早已提出而未解决的一个问题。16 世纪哥白尼提出日心说以前，这主要是用神学进行解释的宇宙创生问题；18 世纪以来，特别是 20 世纪 40 年代伽莫夫把基本粒子理论同宇宙创生结合起来，才使宇宙的起源问题有可能用核物理理论加以研究，从而使宇宙起源变成一个科学问题。

2. 科学问题与科学认识主体的“欲求”以及智能状况相联系，自然界或自然物本身并不存在什么“问题”

科学问题并不会自发地从客观知识中涌现出来，对于研究者来说，问题需要研究者去认识、去提出。美国科学哲学家图尔敏（Toulmin）把科学问题定义为解释的理想与目前能力的差距。由此他给出一个具有普遍意义的公式：

科学问题 = 解释的理想－目前的能力

并认为，科学家通过认识他们目前解释自然界有关特征的能力与他们目前关于自然秩序或充分理解性的理想间的差距，找到了目前概念的缺陷，这便是科学问题。正如科学哲学家波兰尼（Polyani）所说：“一个问题或发现本身是没有涵义的，只有当问题使某人疑惑或焦虑时，才成为一个问题，也只有当发现使某人从一个问题的负担中解脱出来时，才成为一个发现。……一个问题，就是一个智力上的愿望。”[①] 所以，对于科学研究人员来讲，问题意识尤为重要。

3. 科学问题的提出不是孤立的，而是有结构的，它蕴涵着问题的指向、研究的目标和求解的应答域

问题的指向是指问题的现状和性质（事实性问题、理论性问

① 殷正坤、邱仁宗：《科学哲学引论》，华中理工大学出版社，1996 年，第 139 页。

题和方法性问题）；求解目标是指求解方向和要求（辩识性目标、发现性目标和应用性目标）；应答域是指预设的求解范围。也就是说，在科学问题的结构中已经包含了问题求解目标、预设的求解范围和方法。当然这种预设仍是一种猜测，是可错的，但在科学探索过程中却能起定向和指导作用。其原因在于，这种包含应答域的科学问题，排除了许多因素，能对解决问题提供明确的指向，有利于科学探索。例如历史上艾克曼研究脚气病的原因时，开始提出的是脚气病是什么细菌引起的这一问题。在久研不果的情况下，又提出脚气病是由什么毒素引起的？或许在精白米中就包含这种毒素。一直到后来，芬克改变了问题的提法，提出脚气病是不是由于机体缺少某种营养物质引起的？这才发现病因。同样，寻求第五公设的直接证明是数学史上持续了两千多年的科学问题。19 世纪初，俄国数学家罗巴切夫斯基对求证这一难题的作法产生了怀疑，他大胆提出了反问题，即第五公设不可证明，改变了应答域和问题的目标。他采用反证法，创立了非欧几何，为几何学开拓了新领域。事实说明科学问题中应答域设立得是否合理，直接决定该问题是否有解；而不断寻找正确的应答域的过程也是科学探索的过程。

（二）科学问题的分类

1. 根据科学问题的性质、研究的需要和层次结构，对科学问题可以进行不同的分类

当代美国科学哲学家劳丹把科学问题分成经验问题与概念问题两大类。人们对所考察的自然事物感到新奇或企图进行解释就构成经验问题。经验问题又可分为：① 未解决的问题，即未被任何理论恰当解决的问题；② 已解决的问题，即已被同一领域中所有理论都认为解决了的问题；③ 反常问题，即未被某一理论解决，但被同一领域其他理论解决了的问题。一般来说，未解决的问题只能算是潜在的问题，当存在适当的理论和足够的实验条件来判

定这个问题时，它才转化为实际问题。反常问题对某些理论的威胁最大，也更引起科学家的关注。概念问题分内部概念问题和外部概念问题两种：内部概念问题是由理论内部的逻辑矛盾产生的；外部概念问题是指同一领域不同理论的矛盾或理论与外部的哲学思想、文化传统等不一致产生的问题，例如科学家关于“时空”、“因果性”、“实在”等概念的争论均属于外部概念问题。

2. 根据问题求解的类型也可以把科学问题进行划分

① 关于研究对象的识别与评定，规定是什么的问题；② 关于事物内在机理和规律性的研究，分析事物现象之间的因果关系，回答为什么的问题；③ 关于研究对象的状态及运动转化过程，回答是怎样的问题等。

3. 根据问题的层次结构来划分

① 母问题（元问题）是指所要研究的基本问题；② 子问题是指从基本问题中分解出来、派生出来的问题。例如牛顿在他的名著《光学》和《自然哲学的数学原理》中，都分别提出了几十个“问题”，对光学和力学中许多重大问题进行了分解，从而引导后世科学家们的研究。

科学问题的分类除了以上几种情形外，还有多种划分方法。如根据学科的性质可以将问题区分为基础理论问题和应用研究问题；根据问题在整个所要达到目标中的地位可区分为关键问题和一般问题；根据问题的抽象程度可区分为抽象问题和具体问题等。

（三）科学问题的来源

科学问题产生的源泉无非两个方面：一是生产、生活、观察和实验等社会实践；二是自然科学本身的发展。前者是“源”，后者是“流”。由于科学理论发展的相对独立性与自主性，我们重点介绍基于科学理论自身的科学问题的来源。

1. 从科学实践与科学理论的矛盾中产生问题

理论从实践中来，又须回到实践中去为它服务，并接受它的检验。在科学实践中发现的新事实，原有理论解释不了，或与原有理论不相容，这就使得原有的理论面临难题或危机，或暴露出它的局限性，于是就会产生问题。20 世纪初，人们发现 β 衰变中电子所带走的能量要小于原子核所释放的能量，这个实验事实显然与能量守恒定律相矛盾。为了解决这个难题，经过研究，产生了泡利中微子假说并最后发现了中微子。又比如，黑体辐射的实验事实与经典物理学的能量连续理论不相容，于是导致了普朗克的能量子假说，开创了量子物理学。这类科学实验和观察中发现的新事实，原有理论解释不了，由此引出科学问题，导致科学发现的事例，在科学史上是屡见不鲜的。因此，科学实践与科学理论的矛盾是科学问题的一个基本来源。

2. 从科学理论内部的矛盾中产生问题

一种理论或一个概念，如果能从中推出逻辑矛盾，那就表明其中存在着需要进一步探讨的问题。数学中的悖论（如伽利略悖论、无穷小悖论、康托尔悖论、罗素悖论）以及物理学、天文学中的佯谬（如麦克斯韦妖佯谬、薛定谔猫佯谬、光度佯谬、引力佯谬……等）都是如此。

一个理论，如果看上去是没有问题的，但在推论中却证明了两个互相矛盾的命题的等价式，那么这个理论就包含有悖论。悖论所提出的问题往往有助于新概念或新理论的产生。例如，集合论中的罗素悖论，曾促进了哥德尔定理的产生。这个悖论的通俗化形式是所谓“理发师悖论”[①]：一个乡村的理发师宣称，他给而且只给本村所有那些不给自己理发的人理发。按照这条原则，他应该给自己理发，但如果他那样做了，这又违背了这条原则。罗素悖论的实质可以归结为这样一个问题：“一切不包含自身的集合是否包含自身？”罗素悖论引发了数学家对数学系统相容性的

① 王鸿生. 世界科学技术史. 中国人民大学出版社，1996 年。

重新思考。1931 年，奥地利人哥德尔（1906—1976）提出了著名的不完备定理，指出：如果人们只限于运用数学系统中的形式化概念和方法，便不可能确立这个系统（包含着逻辑和数学）的无矛盾性。哥德尔定理揭示了这样一个道理：整个数学不可能井然有序地安置在任何公理系统上，每一个数学系统，不管它多么复杂，总包含着不能消除的悖论。所以，正像海森堡的测不准关系否定了物理学世界对完备和确定性的追求一样，哥德尔定理否定了数学对完备和确定性的追求。

佯谬也具有悖论的性质。如果从一个理论中能推出它不能成立的结论，就构成一个佯谬。佯缪或者表明理论本身有缺陷，或者表明理论中蕴涵着未被人察觉的深刻内容。比如，1826 年，德国天文学家奥尔勃斯从牛顿理论的无限宇宙模型，推出宇宙中全部星体到达地球观测点的辐射总能量将趋于无穷大的结论。如果该理论成立，在地球上就不会有昼夜之分，这显然是不可能的。但是，正是为了消除这一佯谬，才推动了天文学家们相继提出等级式结构模型、大爆炸模型，等等。

3. 从不同理论之间的矛盾中产生问题

这有三种情形：一是从对同一事物的不同理论的矛盾中来。如光的“ 波动说 ”与“ 微粒说 ”的争论导致对光的传播方式的深入研究，从对同一事物的相互对立的假说中引出问题即属于这种情形；二是从同一学科内不同理论之间的矛盾中引出问题。例如，卢瑟福根据用 α 粒子打击金属箔的实验事实，提出了原子的行星模型，如果这种模型下的原子具有稳定的结构，则它与经典电动力学理论相矛盾。因为，按照经典电动力学理论，在这种模型下，绕核旋转的电子将不断地向外辐射电磁波而连续地丧失能量，电子的轨道半径必将越来越小，最后必然落在原子核上，这就是说，原子是不稳定的。这个矛盾推动了原子理论的研究，直到量子力学建立才得到解决；三是从不同学科理论之间的矛盾中发现问题。在科学中有一类情况，即不同领域中的理论各自解释了一大类现

象，但它们相互之间却存在着矛盾。如生物系统自发地向有序性增加、熵减少的方向演化，而非生命系统则向有序性减少、熵增加的方向变化，这是否意味着物理规律不适用于有机界？这个问题实际上正推动着生物学、物理学和系统科学的发展。

4. 从寻求经验事实之间的联系和统一解释的需要中产生问题

在科学上，当某一领域的经验事实积累到一定的数量时，由于科学本身发展的需要，要求对它们进行整理和概括，寻求这些经验事实之间的联系和统一解释。这时也会产生大量的科学问题。例如，各种化学元素先是被一个个孤立地发现和研究。19 世纪 60 年代，人们发现的化学元素已 63 种，并且还在不断增加，于是人们就提出：各种化学元素之间有没有内在联系的问题，以及如何揭示各种化学元素之间的内在联系。纽兰兹、门捷列夫等许多化学家就是围绕这一科学问题进行研究，最终导致门捷列夫发现了元素周期律。据科学家们估计，20 世纪以来，基本粒子最初也是一个一个相对孤立地被发现和研究的，但是随着新发现的基本粒子数目的日益增多，人们也提出相似的问题：即这些基本粒子有什么内在联系？由此，建立统一的基本粒子理论这一重大课题就提上了科学日程。现在，关于夸克的研究也遇到同样的问题。科学的进步，正是在这些问题的挑战下不断前进的。

5. 从各个知识领域的空白区产生问题

在当代，各门学科的交叉和渗透正成为科学发展的新趋势。一门学科内各分支学科存在交叉和结合；各门学科之间存在着交叉结合；自然科学与社会科学也有交叉结合；科学与技术、科学技术与艺术的日益结合以及数学向一切学科领域的渗透，等等。这些趋势使得在各种知识领域交叉和渗透的空白地带，往往成为新的科学问题的密集区域，在这些未开垦的科学处女地上，问题最多，可望收获最大。控制论的创始人维纳认为，在科学发展上可以得到最大收获的领域是在各种已经建立起来的部门之间的被人忽视的无人区。正是基于这一信念，维纳和他的同事们在数学、

物理学、自动控制、电子技术、神经生理学等学科相互渗透的边缘地带，无人涉猎的空白区，开拓了一个崭新的研究领域，创建了控制论。

6. 从社会生产和实际生活的需要中产生问题

根据社会生产和实际生活的需要，提出种种实用性或技术性的问题。例如，由于通讯工程和自动控制系统、机械电子工业和信息工业等新兴工业发展的需要，为人们提出“信息高速公路”的问题；由于畜牧业的需要，可以提出“配合饲料”的问题，等等。这类实用性或技术性问题，都是应用研究和发展研究课题的基本来源。

（四）科学问题在科学研究中的作用

科学问题是研究的起点，选择一个合适的问题或研究课题，是科研工作全过程的第一阶段；同时，独到的科学问题不仅可以推动科学研究，并且可以指导科学研究的发展方向。

1. 科学问题是科学研究的真正起点，正是各种各样的科学问题，不断推动了科学研究向前发展

科学研究作为一项创造性活动，它的逻辑起点在哪里？这一直是致力于科学方法研究的科学家和科学哲学家感兴趣并长期争论的问题之一。归纳主义的科学方法论认为科学研究是从观察和收集材料开始的，然后经过归纳上升为理论。这种模式很难与现代科学发展的实际过程相符合，受到了不少科学家和哲学家的质疑和批评。

批判理性主义者波普根据现代科学发展的规律和特点，从理论上对“科学始于观察”进行了批判，并系统地阐述了“科学始于问题”的观点。波普指出，观察和实验都离不开理论，尽管通过观察可以引出问题，但观察过程总是要渗透，伴随着预设的问题，观察总是要有选择的，漫无目的的观察实际上是不存在的。我们不妨深思一下下述情形，自古以来，雄鸡报晓，

候鸟春秋迁徙，这类现象虽是古人多见的，但并没有引起古人对此进行研究。只有提出为什么生命活动具有时间的节律这个问题时，人们才会对这类习以为常的自然现象进行研究。这项研究不仅导致了生物钟理论的创建，而且还使人们观察到一系列前所未闻的事实。现代心理学的研究表明，观察具有强烈的意向性，那些被观察者预先设想过或暗示过的事件，往往成为观察者注意的中心。因此，科学问题是科学研究的起点，科学问题的提出推动了科学研究的发展，正如爱因斯坦曾指出的："提出一个问题往往比解决一个问题更重要。因为解决一个问题也许仅是一个数学上的或实验上的技能而已，而提出新的问题、新的可能性、从新的角度去看旧的问题，却需要创造性的想像力，而且标志着科学的真正进步。"①

2. 科学问题不仅是研究的起点、推动科学研究的进程，而且在科研中发挥指导作用

因为，凡是科学问题，它本身就指示了一个可能的研究对象，并预设了研究的方向；此外，科学问题的提法本身，也包含着某种假说的成分，或是以某种假说为前提，这也会对研究产生指引作用。正如前面所述，科学问题已经事先假定了问题的解决范围，指示了求解的方向。例如，弗莱明提出的问题：葡萄球菌是不是被它周围的青霉菌具有的某种作用致死？这个问题实际上预示了一个研究方向，即葡萄球菌被致死的原因。弗莱明正是在这一假定的指引下从事研究并取得成功的。所以说，科学问题中所预示的解决方向，对自然科学研究具有重要的指导作用。它像一个路标那样指示人们向何处寻找这个问题的解。

二、科研选题

① 爱因斯坦、英费尔德：《物理学的进化》，上海科学出版社，1962年，第66页。

（一）科研选题的含义

科研选题就是形成、选择和确定所要研究和解决的课题。课题是为了实现某个特定目标所需要研究的一个或一组科学问题。恰当地选择课题是决定科学研究工作成败、收效大小的关键。因为它关系到科学研究的方向、目标和内容，直接影响科学研究的途径和方法，决定着科学成果的水平、价值和发展前途。

无数事实表明：无论是国家、集体或个人的科学研究活动，若想取得重大的研究成果，除了人员素质和必要的物质条件外，选题是一个关键因素。富有远见的科学家普遍认为，提出和形成问题比解决问题更重要、也更困难，它在科研中具有战略意义。我国战国时代的大诗人屈原在《天问》中曾经以诗人的想像力和哲人的睿智，一下子提出了 160 多个问题，从宇宙起源到人类社会，从日月山川到博物神话，无不问及，至今对人们仍有启发作用。伽利略提出的光速测量问题，冲破了光的瞬时传播的旧观念，虽然他本人并未解决，却被后来许多著名的实验物理学家相继列为毕生研究的课题，从而推动了物理学的发展。又正是由于光速这一基本物理常数的测量，引出了迈克尔逊—莫雷的光以太实验的零结果，最终导致了物理学的又一次伟大革命。通过这些史实，我们可以看出，提出问题往往比解决问题重要得多。因此，在科学研究中，最困难的、最需要具有远见卓识的，就是如何选好课题。这是因为提出问题要敢于摆脱陈旧的学说和传统观念的束缚，要有创造性的想像力，而且意味着在科学前沿发出新的进军令。然而，仅仅一般地提出问题还不能表明科研课题的形成，只有提出有价值或有创建的科学问题，才能构成一个研究课题。任何人都知道，随意提出问题并不难，难就难在要提出有科学意义的问题，也就是难在真正地形成一个有科学价值的问题。怎样做到这一点呢？也没有现成不变的答案。但我们可以给大家一些基本的提示：

首先，我们应该对构成该问题的各项事物和各种现象做一番

透彻的分析，也就是说，应当正确地揭示客观对象的矛盾及其矛盾的各个方面；其次，我们还应当对反映和表达这些事物和现象的科学概念与名词术语的意义有明确的认识，也就是用科学的概念和语言工具来正确地表述待形成的问题；最后，我们还须对问题展开的步骤，即解决问题可能的途径预先做一番构思与论证，把解决问题的方法和前景包含在问题的形成当中。只有这样形成的问题，才能成为真正有科学价值的研究课题。

从科学史上看，富有战略眼光的科学家们总是把自己的注意力和兴趣关注在问题的形成与课题的决策之中。科学学奠基人贝尔纳强调："课题的形成和选择，无论作为外部的经济要求、抑或作为科学本身的要求，都是研究工作中最复杂的一个阶段，一般来说，提出课题比解决课题更困难，……所以评价和选择课题，便成了研究的战略起点。"①

（二）科研选题的步骤

科研选题的第一步，是要进行文献调研和实际考察，以了解前人的工作和现实的需要。文献调研要广泛地收集信息、资料，并对其进行分析和研究。对所要研究的问题的产生、现状及发展前景进行详尽地考察，从而充分地了解前人的工作及其经验教训，以免重犯他人已指出的错误和重复他人已做过的工作，恰当地确定自己的研究起点。实际考察是要考虑现实的需要和可能，了解社会对解决该课题的需求状况，恰当地估计其理论价值或社会经济效益。

在文献调研和实际考察的基础上，对研究材料进行分析、比较，概括出需要研究的课题并提出选题报告。在选题报告中要明确所要研究的核心问题、研究路线、采用的研究方法以及时间安排，等等。

在初步选题后，还要对课题进行初步论证，即对课题进行可

①〔英〕J·D·贝尔纳，《科学研究的战略》，《科学学译文集》，科学出版社，1981 年，第 28～29 页。

行性分析。一般按照立题依据、实施条件和预期结果的顺序进行。如果前一项论证被否定，则后面就没有必要再论证，此课题方案即被淘汰。立题依据一般涉及课题来源、理论研究和实用研究的需要程度和迫切性，理论依据是否充分、合理，同类课题的研究状况，课题研究起点合理性。其次是实施条件及实施方案的可行性分析，如物质条件、经费来源、研究能力等。预期效果是对科研结果的理论意义或实用意义、成果的完善程度、存在的问题或后续措施等做出的说明或论证。为了使论证可靠，通常要建立模型进行初步的计算，或者围绕着课题设计一些必要的实验。

最后，要评议和确定课题。这是一个综合评估的过程，即在分析论证的基础上，对课题备选方案的各项内容进行评定，经综合、比较，选出最佳的或较好的方案，并为课题的最后决策提供参考意见。课题评估一般采用专家评议与管理部门决策相结合的方法。

综上所述，选题步骤一般是：文献调研和实际考察、提出选题、初步论证、评议和确定课题，选题过程是一个不断反馈调整的过程，常常需要反复调整和多次论证。

（三）科研选题的原则

科学研究是围绕问题进行和展开的，任何一个问题都是可能予以研究的，然而，在特定的条件下，对于特定的认识主体来说，又并非任何问题都可以列入研究计划。一般来说，科研选题应遵循以下几个原则：

1. 需要性原则

所谓需要性原则，是指所选定的研究课题必须着眼于社会实践的需要或科学本身发展的需要。

社会实践的需要，包括生产发展的需要、国防建设的需要、医疗卫生的需要，等等，其中最基本的是生产发展的需要。学科理论发展的需要包含开拓科学领域的需要、更新科学理论的需要、

改进科学方法的需要，等等。对于不同类型的研究，其需要的含义不同。基础科学研究要从科学理论发展的需要出发，去研究和发现自然界的新现象和新规律，为正确认识和成功改造世界提供根本性的理论依据。应用研究致力于解决国民经济和社会生活中提出的实际问题，其任务在于把理论推进到应用形式。它的选题方向应指向加强生产活动的技术基础，弄清技术机理。而发展研究则应将当前社会需要置于首要位置，充分注意所开发项目的经济效益、社会后果和对环境的影响。

2. 创造性原则

创造是科学研究的灵魂。所谓创造性原则，就是指所选定的研究课题要具有创新性，它应当是前人所没有解决或没有完全解决而预期能出新成果的科学问题。所谓科研新成果，指的是创造或得出一项前人所没有得到的、具有一定学术意义或实用价值的科学技术成就。它包括新理论、新技术、新工艺、新材料、新设计、新产品、生物新品种，以及理论研究的新发现、新结论、新见解，等等。不能预期做出新成果的课题，就没有创造性，不能作为科学研究的课题。

当然，在选题阶段，对课题结果的创造性是难于做出精确估计的。因此，创造性原则实质上是要求做到：在选题时熟悉别人已进行过的工作、避免重复劳动；课题论证时恰当估计课题的意义和其中可能包含的创造性成分。

3. 科学性原则

这是指选出的课题要有一定的科学理论和科学事实作为根据，把课题置于当时的科学技术背景下，并使之成为在科学上可以成立和可以探讨的问题。就理论依据而言，首先应考虑所选择的课题是否有正确的理论作为基础，与已经确证的理论相违背的题目不应选择，毫无事实根据的题目也不应作为选择的对象。否则，将会像前人研制永动机和企图建立最终的宇宙方程式那样遭到失败。另外，科研选题必须经过反复论证，而事实是论证的最

重要的依据，即使找不到充足的事实依据，也要有把握在以后的研究中会出现所需要的事实。著名科学家巴甫洛夫说：“事实就是科学家的空气。你们如果不凭借事实，就永远也不能飞腾起来的。如果没有事实，那你们的‘理论’，就会成了虚狂的挣扎。”[①] 若这两方面的条件都不具备，则问题是虚幻的。

当然，选题毕竟是科学研究的开端。科学工作者在开始时所依据的事实是不完全的，也可能存在错误；理论也受着一定条件的限制，会随着科学实践的发展而不断更新。因此，科研选题既要尊重所依据的科学理论和科学事实，同时还要随着基础事实和背景理论的改变而对选择的题目进行调整。这正是坚持科学性原则所必需的。

4. 可行性原则

可行性原则又叫现实可能性原则。它是指在选定科研课题时必须考虑完成课题的主观和客观条件，根据实际具备的或经过努力可以具备的条件来确定研究课题。所谓主观条件，是指研究者的知识结构、研究能力、技术水平、兴趣、对课题研究途径的认识及身体素质情况、科研管理水平，等等。而客观条件则是指经费、设备、材料、资料、时间、协作条件、导师特长、技术力量、资源状况、国家政策、本学科和相关学科的发展程度，等等。正如恩格斯指出的：“我们只能在我们时代的条件下进行认识，而且这些条件达到什么程度，我们便认识到什么程度。”[②] 所以说，可行性原则体现了科研的条件性。

不可否认，对可行性的思考往往与个人的价值观念有关。有些人喜好可行性明显、见效快的“短、平、快”项目；另一些人则不赞成急功近利、专在薄木片上“钻孔”的作法，而着眼于难度

① 转引自栾玉广等主编：《自然辩证法概论》，中国科技大学出版社，1988 年，第 126 页。

② 恩格斯：《自然辩证法》，人民出版社，1971 年，第 219 页。

大、风险大、周期长的项目。但是，不论出于哪种价值考虑，都应该在发挥自觉能动性的前提下从现实可行的工作做起。

需要性、创造性、科学性和可行性这四条选题的原则，分别体现了科研的目的、价值、根据和条件，它们相互联系、缺一不可。所以，选题时应当全面考虑、综合运用这些基本原则。

（四）科研选题的技巧

科研选题是一项严肃的研究工作，也是一种灵活的研究艺术，没有什么刻板的模式。在大量科学问题中选择研究课题，确定科研选题，除需遵循选题的基本原则外，还需要讲究灵活机动的战术和技巧。

1. 选题调查的技巧

（1）选题要做好资料收集工作。资料——图书资料和业务工作的资料，是科学研究的基础。因此，选择课题时必须结合自己占有资料的情况。只有掌握丰富的资料，才有利于科研工作的开展，获得丰硕的成果。经过查阅文献资料和大脑充分思考后，选题便会被初步确定下来，这时要进一步做好课题的调查工作。其内容包括：课题研究的历史和现状，明确是否有人对此做过研究，做过哪些研究，研究的程度、角度及方法如何，以便找到研究的突破口和站到学术研究的“前沿阵地”上；与本课题有关的各类研究的状况。因为真正解决一个问题，往往不仅仅是某一方面的知识、某一领域的成果在起作用，及时引进已有成果，综合运用各类知识，是创造性解决问题的有效方法。

（2）选题前应求得导师或同行专家的指导。有经验的科学工作者一般都善于把握自己，选择适合自己能力的课题。对于刚刚跨入科学大门的青年科学工作者，由于缺乏实际研究经验，在选题上有时难以进行周密思考，这时就需要学术领导人和有经验的科学家给予指导和帮助，又需要自己大胆地在研究中学会研究。因为导师或同行专家大都有深厚的理论水平和丰富的实践经验，

较全面地掌握着本专业科研发展的历史和现状，知道什么是亟待解决的问题，在哪些问题上可以有新的发展，应填充的空白是什么等，可以帮助和指导作者选择适合的题目，少走弯路，获得圆满的成功。

2. 提出选题的技巧

（1）选择前人没有做过的论题。也就是在熟悉某一领域研究现状的基础上，选择该研究领域的无人区作为研究论题，然后创立新说。创立新说意味着要对前人尚未研究的问题进行拓荒式的研究，因此这种研究是最富有创造性的研究。因为前人尚未做过的论题没有现成的答案，所要产生的成果是前所未有的，所以靠重复或模仿都无济于事，唯有独立地、创造性地进行探索和研究才能产生前所未有的新成果。在选题过程中，只有独辟蹊径，才能开拓新领域；只有独树一帜，才能创立新说。这就是通常所说的“学林探路贵涉远，无人迹处有奇观”。在选题时要做个有心人，极力寻找那些未知规律。在人们忽视的地方“爆冷门”，在空白点上做文章，无疑是有极高的学术价值的。用新方法解决新问题，用旧方法解决新问题，用新方法解决老问题，统统属于创新。有些课题虽已不乏前人研究，但只要选择的角度新，或见解上有所超越，照样是可以有所创见的。同时我们也要看到，选择前人没有做过的课题虽然可以出奇制胜，然而可供选择的资料相对较少，难度较大，困难较多。因此，具备超人的毅力和勇于开荒的勇气，是刚刚起步的科研工作者创立新说时必备的心理素质。

（2）选择社会急需解决的课题。事实上，在每个时期、每个阶段都有急需解决的科学问题。研究这些问题确实比非现实问题难度大一些，但是一旦获得成功，其反响、影响及产生的深远意义也是非现实问题不能相比的。一般说来，社会急需解决的问题通常是热点问题，研究者往往会蜂拥而至。这说明此类课题比较重要，具有很高的价值。然而，事物皆具有两面性，研究热点课题的不利之处在于：大多数研究者充当了“铺路石”，要真正取得

创造性的成果非常困难。因此，热点课题更适宜于那些常居学科前沿、有真知灼见、资料齐全、设备条件良好的研究者选择。刚开始的研究者仅在对某些热点问题确有创见、有独特体会或有把握补充、丰富、发展现有研究成果时才宜涉足。

（3）选择具有发展潜力的课题。从创造性出发，最好选择具有发展潜力的课题。所谓有发展潜力的课题，就是一个课题选完之后，可以引出一系列小课题，一步步深入研究，可以形成一个崭新的体系。这就要求我们在选择课题之初，认真考虑欲选的课题是否具有发展潜力。当然，有时也会出现“无意插柳柳成荫”的情况——科研过程中才发现大课题可以孳生小课题，或者小课题可以拓展成大课题。出现这种情况往往会给我们带来意外的惊喜和收获。对大课题可以采取分而化之的方法。首先，认真分析课题的内涵和外延；其次，视具体情况将大课题分解为若干个子课题；最后，依据主客观条件，择取其中最感兴趣、最新颖的一部分或若干部分撰写一篇或几篇系列论文。还有一类课题，研究初期内容较少，属于小课题，但随着研究的深入，会逐渐发现一些与之相关的若干方面。如果把这几个方面联系起来考虑，单个分散的几个方面就具有了整体意义，很可能形成一个大课题。此外，在某一课题的研究中，有时会发现一些值得研究的其他问题，对此类派生性的问题进一步研究，又会孳生出崭新的研究课题。以上几种情况提醒我们，科研中最好抓住一个核心课题进行深入研究，既要善于多角度研究，又要善于多层次研究，还要善于多环节研究。

（4）选择存在内部矛盾的课题。对已知的不完全正确的理论提出质疑，对前人研究中的谬误之处予以纠正，都属于一种创造性的、很有学术价值的研究，因此也是选题时应优先考虑的。通常我们可以通过四种途径发现矛盾、选择课题：一是从已有理论与新出现的现象之间的矛盾中选题。有些传统的理论已经过时，指出这些理论的不足，进而提出适应新形势的新理论，这是人们

常用的一种选题方法。二是从当今流行的某些观点的谬误之处选题。纠正通行学说中的不正确观点，使人们得到正确的认识，这是选题的另一种方法。三是从原有理论体系自身所暴露的矛盾中选题。有些理论体系不够严密，在新形势下暴露出许多缺陷，认真分析其不足之处，使之趋于完善，也可作为一种选题方法。四是从不同理论观点之间的矛盾中选题。对于同一研究课题，由于人们认识及思维方式存在差异，所以会形成不同观点甚至流派。相异的学术见解同时并存，表明各种观点都不是无懈可击的，各有其缺陷和片面之处。对失之偏颇的观点提出质疑，进而提出正确的见解，这不失为一种有效的选题方法。

（5）选择交叉学科中的课题。交叉学科的迅速发展壮大，为我们提供了广阔的选择课题的条件和机会。从交叉学科选题可从以下几方面入手：一是在两门或两门以上学科的交叉、边缘地带寻找课题；二是运用多学科理论和方法研究一个问题，建立起综合性学科；三是将数学理论和计算机技术运用到某一科学的研究之中，开创新方法，找寻新课题；四是用其他学科的理论和方法，研究某一领域中的问题。例如，运用美学原理研究经济领域中的问题，探讨审美与经济的关系，就是一种比较容易取得成果的选题方法。当然我们也应该看到，交叉学科领域内的课题往往涉及到各学科的知识。因此，选择这种课题，要克服知识的单一性，善于把有关学科的知识综合起来，加以融会贯通，善于进行横向比较分析，有意识地寻找能够迁移旁系学科理论的线索。只有这样才能开辟出一条选题新途径，取得令人耳目一新的成果。

3. 确定选题的技巧

一般来说，确定选题的关键是“知己知彼”与“量力而行”。

（1）选择自己能发挥业务专长的题目。选择课题时，必须结合自己的专业与专长，从自己的主观能力出发，扬己之长，避己之短，才能有利于课题的研究和论证，获得优秀的成果。

（2）选择自己有浓厚兴趣的题目。所谓兴趣，就是人们对某

种事物喜好或关切的情绪，也是力求认识客体的一种特殊心理倾向。浓厚的兴趣常常可以转化为科研的毅力和探求精神，产生自觉性、积极性和创造性。

（3）选题大小要适当。选题的大小，主要是指论题的范畴大小、广度和深度而言。选题的大小，关键是要根据自己的专业基础、理论水平、研究能力和占有材料的多寡而定，以经过努力可以完成为宜。选题过大，完不成就会前功尽弃，无所成就；如果选题过小，无需努力即可完成，不能充分施展自己的才华，妨碍科研的成就。

（4）选题要做好课题的限定工作。一般来说，一个具体的研究题目不会一下子就确定下来，常常是先有大致的研究方向，然后划定研究范围，最后确定具体的研究题目。课题的限定过程，也就是问题逐渐明确、集中的过程。在最后确定课题之前，如果不进行限定工作，就会导致问题过于宽泛、庞杂，容易出现大题小作的情况使得论文内容不深不透，流于肤浅、一般。反之，如果通过课题限定，把所要解决的问题集中到一点上，也可以小题大做，广征博引，深入分析。从各个角度谈问题，能把问题谈深谈透，也容易得出深刻、独到的见解。所以说，限定课题，是明确研究目标，从而增加深度的重要方法，也是一项最后确定研究题目不可缺少的准备工作。课题限定之后，可以把课题内容浓缩成简短的文字，最好是用一句话写出来，以便时时提醒论文作者，使所有的研究和写作工作都紧紧围绕着课题进行。

4. 转移选题的技巧

课题选定之后，一般应竭尽全力按照既定的目标和计划进行研究，不可朝秦暮楚，见异思迁，除非抓住有价值的机遇或新的线索，否则不可轻易转移方向。与此同时，我们也应注意，科学研究是对未知世界的探索，难以准确地估计到每一步的进程，因此，在研究中困难、挫折甚至失败都是难以完全避免的。这时，是坚持下去，还是调整课题，要做具体分析，弄清造成困难和失

败的原因。查明是属于研究方法的毛病，还是课题本身的问题。

（1）当科学研究的战略和战术需要调整或改变时，应及时转移选题。科学研究战略战术的确定，是由社会实践和科学技术发展的需要决定的。当社会实践和科学技术的发展已经提出新的、意义更为重大的课题而又有能力、有条件完成时，研究者或决策者就应及时转移到新的、意义更为重大的选题上来。例如，英国卡文迪许实验室，在很长的时期里，都是以理论物理特别是原子物理作为主要研究课题和研究方向的，曾先后出现过麦克斯韦、汤姆逊、卢瑟福等许多杰出的物理学家。但是到了 1937 年，W·L·布拉格接替卢瑟福担任实验室主任后，他意识到 X 射线研究蛋白质结构和用无线电波推测天体这两个课题将对未来科学的发展具有深远的意义，同时他也清楚地知道佩鲁茨和 M·赖尔以及他的实验室能力，有条件进行这两个课题的研究。于是他毅然决定支持和赞助佩鲁茨用 X 射线研究蛋白质和赖尔用无线电波探测天体，对实验室的科研选题进行了大胆的调整和转移。后来两项研究都取得了巨大的成功，证明布拉格转移选题的决策是非常及时、非常正确的。

（2）当发现因选题错误而使研究无法进行或虽能进行但毫无意义时，要及时转移选题。

（3）选题虽然正确，但由于选题缺乏可行性，遇到无法克服的障碍和困难时，应暂时放下这个选题，或者另选其他课题，或者待条件成熟时再进行研究。在研究一个较大课题时，如果遇到难以克服的困难，也可以先“化大为小”、“化整为零”，然后再“积小为大”、“积零为整”逐步逼近或攻克较大的课题。

（4）当一个课题接近完成时，应预先做好转移选题的准备，以便当课题完成之后及时把研究转向新的课题。

参考文献

[1] 栾玉广等. 自然辩证法概论. 北京：中国科技大学出版社，1988
[2] 中国科学技术大学，中南矿冶学校，大连工学院等编. 自然辩证法原理. 长沙：湖南教育出版社，1984
[3] 张培林. 自然辩证法概论. 北京：科学出版社，2000
[4] 刘大椿. 科学技术哲学导论. 北京：中国人民大学出版社，2000
[5] 陈其荣. 自然辩证法导论. 上海：复旦大学出版社，1995
[6] 王鸿生. 世界科学技术史. 北京：中国人民大学出版社，1999
[7] 张红薇等. 自然辩证法概论. 成都：西南交通大学出版社，1989
[8] 国家教委社会科学研究与艺术教育司. 自然辩证法概论. 修订版. 高等教育出版社，1991
[9] 殷正坤，邱仁宗. 科学哲学引论. 武汉：华中理工大学出版社，1996

第九章　获取科学材料的方法

选定了科学研究的课题以后，在分析问题、解决问题的过程中，最首要的就是得到有关这个课题的经验材料、科学材料。科学材料又叫做科学事实，是经过科学整理和鉴定的确定事实，是对观察到的现象和过程相对客观的描述。科学材料是形成新概念、新理论的基础，是对科学假说和科学理论进行评价的基本手段。获得科学材料一般是通过调查、观察、实验和模拟方法直接获取感性经验材料。

第一节　调 查 方 法

一、调查方法的含义、分类和特点

（一）调查方法的含义

调查又叫科学调查，是在自然状态下运用观察、询问、设计调查表、调查问卷等方法，直接或间接与被研究对象接触，了解研究对象的情况，直接搜集事实材料和数据，从而进行科学研究的一种方法。

广义地讲，科研中一切熟悉情况、搜集材料的活动都可以称之为科学调查，它贯穿于科研活动的始终。狭义地讲，科学调查方法仅指在科研课题选定之后，针对某一确定问题所进行的考察和收集、整理资料的活动。

从大的范围说，科学调查方法普遍适用于自然科学和社会科学，但在不同专业领域它的表现特点和形式则不一样，常见的有

地质地貌的科学考察，流行病的社会人群调查，等等。

（二）调查方法的分类

1. 按调查的目的，调查方法可分为

（1）描述性调查。回答研究对象“是什么”的问题，并通过调查发现一些新现象和新问题。比如，疫病调查，根据年龄、性别、地区等这样一些组群特征，确定在人群中某些疾病的发病率、死亡率，这样疾病在人群中的一般分布就被描述了。

（2）解释性调查。解答“为什么”的问题。它能说明现象发生的原因，探索事物之间的因果联系。科学调查一般不停留在现象的描述上，它要在“知其然”的基础上探讨其“所以然”。因此，解释性调查的开端常常是描述性调查的结果。

2. 按调查时事件是否已发生，科学调查可分为

（1）前瞻性调查。一般指在事件发生之前的调查。事先做好计划，按预计某些可能的发生因素设立人群比较组，在比较各组在一定时间内该事件发生的频率以得出相应的结论。如肝炎的调查、口服避孕药与畸胎发生率关系的调查。前瞻性调查由于可在事件发生前周密计划观察，因此误差较小，结果可靠性较高。特别是因为它事先可在设计中保证对照观察组间的可比性，所以得出的结论就比较可靠。缺点是观察时间长，花费的人力物力较多。

（2）回顾性调查。在事件发生之后所做的调查。例如在医学上，先按患者不同条件进行归类分组，然后统计分析比较各组该事件发生的频率，以得出相应的结论。因为它要利用过去资料，而且是从已发生的事件回过头来探求原因，所以叫做“既往资料的回顾性调查”。其优点是调查时间短，所费人力物力也少。缺点是历史条件不易控制，结果及结论精确度较低。

3. 按调查时间特点，科学调查又可分为

（1）横向调查。在一个规定的时间地点中对某事件的特征进行的研究。如在医疗卫生工作中，一年一次普查肺癌发生率，该

次普查就叫横向调查。

（2）纵向调查。在一个长时间内对某事件的特征进行连贯的比较研究，如比较上述各年度肺癌发生率的变化。大多数回顾性或前瞻性调查均属此类。

4. 按调查内容特点，科学调查又可分为

（1）总体特征调查。为了估计研究对象总体的某些属性特征的参数而进行的调查。这种调查强调使用统计学抽样理论以控制误差，保证样本代表性，以期获得对总体特征参数比较可靠的估计。

（2）相互关系调查。为了探讨研究某些变量的相互关系而进行的调查。强调使用统计学变量间相互关系理论（如相关、回归、相对危险性等），以期获得对变量间相互关系的比较可靠的判断。

（三）调查方法的特点

1. 间接经验性

调查方法与观察、实验不同，它不是直接从研究对象那里获取科学事实，而是从他人的转述中获取科学事实。这种间接经验事实是过去的、他人的东西，不仅需要调查者分析鉴别，而且需要实践检验。自然科学具有全面的继承性，人们不可能事事亲身实践，因此，调查方法也就成为科研中不可缺少的手段。

2. 客观记录性

调查研究过程中没有人为施加的干预措施，而是客观地观察记录某些现象的现状及其相关特征。如某研究人员欲研究某地 40 岁以上居民的糖尿病患病率，研究者只是客观观察样本人群的实际情况（包括每个居民是否患病以及其他特征如年龄、体重等），而未加任何干预措施。因此，在调查中，欲研究的现象及其相关特征（包括研究因素和非研究因素）是客观存在的，不能采用随机分配的方法来平衡或消除非研究因素对研究结果的影响，这是调查研究区别于实验研究的最重要的特征。

二、调查方法的应用

（一）调查方法在科学研究中的作用

1. 提供线索，打开思路

运用调查方法常常能从前人的研究中获得解决问题的线索，打开研究的思路。如英国物理学家瑞利在精测一种气体密度时，发现从空气中制得的与化合物中制得的有 0.006 4 克/升的差别。为了解开这个谜，苦苦研究实验了 2 年，不得其因。他通过给《自然》杂志写信和在皇家协会作报告的途径求教于读者和有关专家。后来终于在拉姆赛和杜瓦的启示下，查阅了 100 多年前卡文迪许的有关实验报告，重复卡文迪许的实验，重新制得并发现了空气中密度为 1.908 6 克/升的另一种气体氩气，解开了疑团。

2. 提供旁证，坚定信念

科研中，人们常常发现新的科学事实，并得出一时难以确信的新结论。有时通过调查可以得到旁证，坚定信念，促进问题的解决。如，1956 年以前，人们一直确信在各种自然现象中宇称都是守恒的，但在 1956 年前不久发现了 τ 与 θ 之谜。如果 τ 与 θ 不是同一种粒子，那么必定有一种衰变过程宇称不守恒。1956 年，李政道和杨振宁仔细地分析了当时已有的实验，发现至少在基本粒子弱相互作用领域，宇称守恒定律没有得到实验的证实。于是，他们大胆提出弱相互作用宇称可以不守恒的假设。1957 年，假设被实验证明。

3. 发现、积累科学事实，推进认识

事实是科学认识的基础。人们对某些事物的认识有时需要长时间、很多人的考察、积累资料才能完成。调查方法则是发现和积累科学事实、推进认识的有效手段。例如，1718 年，英国科学家哈雷在圣赫勒纳岛观测了毕宿 5、天狼、大角、参宿 4 四颗恒星的位置，与一千多年前古希腊的天文学家喜帕恰斯、托勒密观测的位置相比较，有了明显的不同，由此发现了恒星的自行，改变了人类对恒星的认识。

（二）应用调查方法的原则

1. **客观性原则**

客观性是调查研究最基本的要求，是确保调查成功的主要条件。科学调查的客观性，关键是要求坚持实事求是的原则，摒弃弄虚作假，绝不能不顾事实，将主观见解强加给事实。

2. **全面性原则**

科学调查应树立全面的观点，不能满足于一时一地的调查结果，更不能抓住一点，不顾其余，以偏概全。

3. **科学性原则**

科学调查中的科学性原则，是调查成败的关键。科学性原则要求处理好随机取样与选典型的关系。在发现问题阶段，可采用抓典型、“解剖麻雀”的方法；在解决问题阶段忌讳选典型，而必须采取随机取样的原则，这样才能判断典型材料究竟在哪些方面具备代表性。

4. **多样性原则**

对科学调查的材料进行思维加工时，应当采取多种方法，尽量完整、准确地反映整个事物的本质和内部规律性，为决策提供客观依据。

（三）调查方法的要求

1. **要有“废寝忘食，锐意穷搜”的精神**

科学调查是一种浩繁、枯燥、艰苦的工作，费力耗时，收效甚微也是常有的，因此，在调查中必须有鲁迅先生那种“废寝忘食，锐意穷搜”的精神。鲁迅先生为写中国小说史，从上千卷书中寻找资料。科学史上，大凡有成就者都在科学调查上付出了艰苦的劳动。

2. **要有明确的目的、计划，选准要调查对象**

调查作为一种科研实践，必须要有明确的目的、计划。只有目的计划明确，调查对象选得准，才能多、快、好、省地获得科学事

实。为此，在调查实施前，要根据科研任务，认真查阅报刊文摘、文献目录、索引等检索刊物，选择好调查对象，制定出可行的计划。

3. 坚持分析与批判、继承与创新相结合

任何人的认识都有一定的局限性，因此，在调查中要发挥主观能动性，独立思考，认真研究鉴别，去其糟粕，取其精华，并在正确继承的基础上力求创新。例如，20 世纪 50 年代以前，地质学界占统治地位的是所谓“海相生油、陆相贫油”的理论，并由此得出“中国贫油”的结论。但地质学家李四光教授不迷信这些理论和资料，他认为：“能否找到油的关键不在于‘海相’、‘陆相’，而在于有没有生油与储油的条件，在于对地质规律的认识。”他通过对我国地质构造的研究，认为我国地质结构既有生油的条件，又有储油的条件。在他的地质理论的指导下，我国先后发现了大庆、大港、胜利等油田。另外，在调查时，要注意区分科学事实和对科学事实的解释，注意从错误的理论中挖掘有价值的科学事实。

4. 坚持查、用结合，以运用指导调查

获取资料和运用资料是科研中两个不同的环节，但是，在实际的研究过程中总是结合进行的。因为，既不可能等待把资料查找完全再进行研究，更不可能只研究运用不调查。科研中只能是“查以致用、查用结合”，即在占有一定资料的基础上进行研究工作；在研究过程中，根据需要去调查，用研究需要指导调查。割裂二者的关系，调查与研究都会陷入盲目性。

第二节　观 察 方 法

一、观察方法的含义、分类和特点

（一）观察方法的含义

观察方法，又叫科学观察，是人们有目的、有计划地感知和描述客观事物、获取感性材料的基本手段。观察从其形成来看，

首先是感官在一定刺激下产生感觉图像的过程，离开了感觉图像的产生，观察也就无从谈起；其次是大脑按一定方式将感官输送来的感觉图像加以组织或联系。人们究竟以何种方式去组织感觉图像，完全取决于各人的背景知识即已有的理论知识、经验知识和思维方式的总和。例如，同样面对一张 X 光胸透照片，一个熟练的医生能够根据他所掌握的理论知识和经验素养，从中判定出病人的生理变异和病理变化，诊断出病人患了什么病，而外行人虽然在视网膜上也产生了相同的感觉图像，但除了看到有些地方黑一些而另一些地方白一些外什么也说不出来。这就是说，单靠感觉图像并不能对观察对象是什么做出正确的判断，这时还需要运用已有知识对感觉图像的各个部分进行组织和联系。因此，观察是感觉图像和一定组织方式的结合。从这个意义上说，观察不是生理学概念，而是认识论范畴。

所以，在科学研究中，观察不仅是在日常生活中的看、触、尝、嗅等，还包括理解或从理性上领会的意思。从获取信息的角度看，观察可定义为，外部环境的信息通过感官传送到大脑皮层后，经过加工处理感知外部世界的过程。观察不仅是接收外部世界的信息，而且是对信息初步加工的过程。在心理学中，观察被看做是一种有目的、有计划的知觉，是与主体的思维相联系的，获得感性认识的一种形式。以上几种表述所取的角度不同，其实质则是相同的。

（二）观察方法的分类

1. 从观察的手段和方式划分，观察可分为直接观察与间接观察

（1）直接观察。直接观察，又称做纯感官观察，主要凭借自身的感觉器官直接进行。换言之，观察者和观察对象之间不存在任何中介物，这就是直接观察。在直接观察中，人们通常是依靠移动观察点、转换背景、延长观察时间以及增加观察次数等办法，

来改善观察的效果的。它具有简单、直接、受客观条件限制较少、可随时随地进行等优点。但是，人的感官的感知能力是极其有限的，这就使得直接观察受到生理上的局限。这种生理的局限性主要表现在下述几个方面：

第一，感官所能感知的范围极其有限。人的感官只对自然界中时空尺度上极其有限的范围内的对象才有可能直接感知。例如，过远、过细的对象，眼睛不能看见或分辨。即使在人可感知的时空尺度上，也只能接受一定范围内的自然信息。因为必须存在一个引起感觉所必须的最小刺激量（临界感觉），刺激量小于这个量，感觉就不能发生。比如，视力再好的人，也不能用肉眼观察到小于第六等的星星。而人的耳朵也只能听到 20～20 000 赫兹频率范围内具有一定音响强度的声波，超出这个频率范围之外，或者尽管在这频率范围之内，但音响强度不够的声波，人的耳朵也不能感知。

第二，感官的观察精确性较低。依靠人的感官只能对观察对象做出大致的估计，而不能做出精确的定量的测定。当人们用感官直接观测和度量色、味、冷、热、软、硬等属性时，虽然在某种程度上对它们是可以进行比较的，但是人们却不能制定出适当的单位对它们做出数量上的测定。

第三，人的感官使观察的速度受到局限。观察对象都是处于不断地运动变化的过程之中，有的运动变化非常迅速，有的运动变化非常缓慢。但是，人类感官的观察速度是非常有限度的。例如，对于高速掠过眼前的物体的形状，人眼就无法分辨，甚至于运动变化极其缓慢的物体，人眼也不易察觉出来。

第四，人的感官会发生错觉。人的感官在知觉过程中还常常会产生错觉。错觉就是知觉与物理世界的偏离。如人的皮肤感觉往往冷热判别错误。倘若你将一只手浸入热水中，另一只手浸入冷水中去，几分钟后再把两只手同时浸入同一盆温水中，这时对同样的温水，一只手感到热，另一只手感到冷。

可见，直接观察是直接通过感官考察客体的方法，它直观、生动，但有很大的局限性。正如海森堡指出的，“要认识客观世界，我们的感官只是一些多少不够完善的辅助工具”[①]。

（2）间接观察。间接观察则是人们为了克服直接观察的感官生理局限，而在观察者和观察对象之间引进一个中介物即观察仪器而进行的观察。从直接观察到间接观察是观察方法的一次变革。仪器作为人类感官的延长，扩大了感官观察的范围，提供了准确的观察手段，使人们的观察不断地向自然界的广度和深度延伸。例如，人的视觉借助于望远镜可以收到距地球200亿光年之遥的星系的电磁辐射，借助于电子显微镜可以看到直径仅为2×10^{-5}毫米的物体。人类运用科学仪器，不但能使自己的感官本来不能感知的运动转化为我们能觉察到的运动，而且还能使人们单凭感官不可度量的运动变成可以度量的。

但是，即使是使用仪器的间接观察也有其局限性。首先，观察仪器的使用有可能导致错误的结果。不要忘记，观察仪器的制造总是以一定的理论（假说）为根据而设计出来的，如果假说本身不正确或不严密，则必然导致观察结果的错误或不精确。另外，仪器制造过程中的误差也可能导致错误的结果。其次，同直接观察一样，间接观察仍不能改变观察对象的自然状态，这样对象的许多属性就不能为人们认识。

无论怎样，间接观察是人们借助于一定的仪器，观察客体的方法，它扩大了感官观察的范围，能提供更准确的观察结果。这也说明了人类感觉器官的“特殊构造并不是人的认识的绝对界限”[②]。

2. 从观察的性质和内容来划分，定性观察和定量观察又是两种基本的观察类型

---

①〔德〕W·海森堡：《严密自然科学基础近年来的变化》，上海译文出版社，1978年，第71页。

②《马克思恩格斯选集》第3卷，人民出版社，1972年，第560页。

（1）定性观察，一般是观察事物的性质、特征及确定该事物与其他事物的定性关系的。因此，也可以说这是一种质的观察。就对事物的认识程度来说，质的观察是最基本的，它是深入研究的起点和基础。人们认识事物，总是从观察这个事物的外貌，从整体上把握这个事物的性质开始，然后才能深入研究和分析事物各个量的方面，进一步揭示事物的内在本质和规律。从某种意义上说，质的观察是任何一门学科从事科学研究必须首先采用的一种基本的观察方法。然而在大多数情况下，质的观察所涉及的是一些简单的、少数的量，这是它的局限性。如果不充分揭示事物的量的方面，也就不能深刻认识事物的质，因为自然界各种物质运动形态的质和量是统一的，因此，必须使定性观察发展为定量观察，使二者结合起来运用。

（2）定量观察，即量的观察又叫观测或测量，它是从量的方面对事物进行观察的一种方法，是对研究对象的一种定量描述。这种观察是建立在对自然现象有了较为深刻的定性认识的基础上的一种观测。它的目的在于从量的关系上精确把握事物质的特征。随着科学向精确化、数学化方向发展，定量观察所用的测量工具和计量方法的精确性也越来越高。例如，新的计时工具，特别是现代电子计算机的应用，提供了有力的观察手段，使定量观察更加精确和迅速。

（三）观察方法的特点

1. 观察必须在自然发生的条件下进行

这个特点是观察方法区别于实验方法的重要标志。关于这个特点，有两个问题需要我们正确认识。首先，自然发生的条件下的观察是正确区别观察和实验的重要标志。所谓自然发生的条件，就是说人们在考察自然时不干预自然现象，即使运用仪器也应保证其不改变自然现象的基本形态和运动的原有进程。事实上，在科学实验的过程中，往往离不开观察。有时，实验仪器使

用的目的，就是为了能够观察。比如，对于微观领域的运动现象，原则上采用两种方法。一种是纯粹的观察。这种方法只能在云室中观察来自宇宙空间的高能粒子流。由于大气的屏蔽，许多种粒子被挡在外层空间，在地面上是无法看到的。因此，就要人为地去制造新粒子，以供观察研究。所以，另一种方法采用的是用高能加速器把带电粒子加速到很高的速度去碰撞另外的粒子，以产生新的粒子。这时，人们所看到的新粒子就已经不是它在自然运动时的状态了，而是人为干预的结果。因而在这种研究过程中，尽管人们主要是在通过观察后发现粒子运动规律，但从方法的分类上看，它仍是实验方法。其次，在强调观察必须在自然发生的条件下进行的同时，不能否认主体（人）在观测中的能动作用。

2. 观察有明确的目的性和计划性

明确的目的性是观察兴奋点的先导，它使我们观察到想观察的东西（当然应排除客观上并不存在的东西），也可使我们放弃那些不想知道的东西，以便集中精力。观察目的的不同，人们有时甚至会对同一观察对象得出不同的观察结果。正如贝弗里奇所说，在乡间，植物学家会注意到不同的植物，动物学家注意不同的动物，地质学家注意不同的地质结构，农夫注意庄稼、牲畜，等等，而一个没有这些爱好的城市居民，见到的则可能只是悦目的风景。可见，观察的目的性往往是观察者的职业习惯和兴趣自然的体现。不同的目的，不同的心理状态决定人们在观察同一件事物时得到不同的信息。必须有目的地观察才能得到我们所需要的信息，周密的计划性可以使人们观察到应该观察的东西。由于科学观察的对象往往是一个系统，我们必须分析许多有关要素，而不是只注意某一侧面。所以必须用我们的计划来针对系统的联系和变化，才能全面地了解某事物。同时，计划性又是实现观察的目的性的保证。

二、观察方法的使用

（一）观察方法的作用

著名科学家法拉第曾说：没有观察，就没有科学，科学发现诞生于仔细的观察中。科学观察方法在科学认识中的作用，可以从以下几方面理解：

1. 科学观察是获取第一手科学材料的重要手段

例如，我国古代医学家李时珍的《本草纲目》一书，就是他走遍了我国的名山大川，广泛采集了大量丰富直观的标本基础上，经过鉴别和核实而撰写出来的。达尔文的《物种起源》，也是他随军舰到世界各地孜孜不倦地进行了长达 5 年多的考察，采集了世界各地珍贵动植物标本和地质标本，以及古生物化石等资料的基础上，才撰写出来的。

2. 通过观察可以导致科学发现和技术发明

在科学史上，较早出现的天文学就是建立在直接观察基础上的一门科学。直到现在，天文学主要还是一门观察的科学。而中医的望、闻、问、切“四诊法”，也是始于观察。观察导致技术发明的例子有“电子蛙眼”、仿生学的建立，等等，这些技术和学科都是以精细的科学观察为前导的。

3. 通过科学观察，可以扩大研究领域并为科学研究开辟新的道路

例如，研究人类起源的传统方法，是在古人类化石和古人类遗址上下功夫。这种研究方法是需要的，但有一定的局限性，就是难以具体了解远古人类社会的生活状况，对类人猿的群体生活情况以及怎样一步一步地由古猿转变人，无法得到感性上的直接了解。现代人类学家古道尔，在非洲原始热带密林中观察黑猩猩达十年之久，作了详细的观察记录，从而为古人类学的研究工作开辟了新的道路。

4. 科学观察可以作为检验科学理论的一种手段

在自然科学研究中，有些结论的对错，只有通过观察才能够得到验证。这方面最著名的例子之一，是英国物理学家爱丁顿的日食观察。1916 年，爱因斯坦提出了广义相对论假说，根据这个假说，可预言光线在强引力场中会发生弯曲效应。英国物理学家爱丁顿为了验证广义相对论，考虑到 1919 年 5 月 29 日发生日全食时，金牛座中的毕宿星团将在太阳附近，如果天气好，至少可以拍摄到 13 颗亮星。为此，爱丁顿就组织了一支观测队赴西非几内亚湾的普林西比岛进行观测（同时有另一支观测队赴南美观测）。结果测得光线经过太阳边缘发生了 1.61±0.30 弧秒的偏转，与 1.7 弧秒的预言值非常吻合，确认了光线在强引力场中具有弯曲效应。这个观测事实对广义相对论的确立起了重要作用。同样，爱因斯坦广义相对论的其他几个验证，即水星近日点的进动和光谱线在引力场中的红移等，都是通过天文观察而被证实的。

（二）观察方法的适用情况

事实上，科学观察只是检验科学理论的众多手段之一，那么什么时候使用科学观察呢？科学观察主要适用以下两种情况：

1. 当对象的性质使人们一时难以达到实际作用于对象时，观察就是比实验更好的方法

比如，观测天文学只能观察天体的位置、分布、运动、形态、结构、化学组成等因素，不能干预、控制和改变这些因素，因而它主要是一门观察的科学。拉普拉斯（P. S. La Place）说："在地球上我们可用实验的方法使现象改变，对于天象我们只能仔细测定天体运动呈现出的各种现象。"[①] 此外，如地质学、地理学、生态学等学科也有类似的情况。

2. 如果研究对象的特点要求避免外界干扰，观察也将作为主要的方法

①〔法〕拉普拉斯：《宇宙体系》，上海译文出版社，1978 年，第 6 页。

例如，在许多心理学的研究中，为了取得对象对某种刺激所作反应的准确材料，需要诉诸各种技术手段以便不干扰对象，通过观察得到比较真实、比较客观的报道。应该尽量避免对研究对象的干扰，所以多采用观察的方法。爱因斯坦说："理论所以能够成立，其根据就在于它同大量的单个观察关联着，而理论的'真理性'也正在此。"①

（三）观察的原则

1. 客观性原则

观察的客观性是科学观察力求达到的首要的基本目的。这种客观性是物质世界的客观性所决定的。但是由于观察是一个复杂的认识过程，其客观性往往不是一次就能达到，也不可能完全达到的。因此，在观察过程中，首先应坚持观察的可重复性，因为，观察者主观的偶然失误很容易在重复的观察中暴露出来，并加以消除。其次，应避免先入为主的成见。著名人类学家赫胥黎说："我要做的是叫我的愿望符合事实，而不是试图让事实与我的愿望调和。你们要像一个小学生那样坐在事实面前，准备放弃一切先入之见，恭恭敬敬地照着大自然指的路走；否则，就将一无所得。"②

2. 全面性原则

所谓全面性原则，就是要求人们在观察中，要全方位、多角度地把握客观对象的各种关系、各种规定性和各种表现形态。只有这样才能全面认识事物。列宁曾说："要真正地认识事物，就必须把握、研究它的一切方面、一切联系和'中介'。我们决不会完全地做到这一点，但是，全面性的要求可以使我们防止错误和僵化。"③

① 爱因斯坦：《爱因斯坦文集》第1卷，商务印书馆，1979年，115页。

② 贝弗里奇：《科学研究的艺术》，科学出版社，1979年，第53页。

③《列宁选集》第4卷，人民出版社，1972年第2版，第453页。

3. 典型性原则

客观事物是复杂多样，不可能一一穷尽的，在对同一类事物进行观察时，要选择具有能代表同一类事物共同特征的典型事物进行观察，这样做既简单易行，又能更好地揭示事物的本质和规律。例如，著名遗传学家摩尔根为了研究生物的遗传规律，他选择了果蝇作为观察对象。这是因为果蝇的染色体简单，每个细胞只有四对，易于观察，而且果蝇的生活周期短，约为两周，且繁殖能力强，每对亲体可以产生上百乃至上千个子代，在子代中会有许多遗传变异现象可供观察。

作为科学研究中一种古老的方法，科学观察方法在科学研究中的重要作用，已为科学工作者所了解。它在现代科学技术带动下将日新月异。但是观察方法本身仍有一定的局限性，如果研究对象过于复杂，或者事物发生的过程极快，瞬间即逝，或者过程发生极慢，岁月悠悠千百年，就不利于观察，因此，科学研究中还要使用实验方法。

第三节　实 验 方 法

一、实验方法的含义、分类和特点

（一）实验方法的含义

实验方法是人们根据一定的科学研究目的、运用一定的物质手段（科学仪器和设备）、在人为控制或变革客观事物的条件下获得科学材料的方法。

就其人为地控制和变革自然过程而言，科学实验和生产活动一样同属于实践活动的范畴。但是，科学实验又有别于生产活动，这主要表现在两者的直接目的不同。科学实验以认识自然为直接目的，而生产活动则以生产物质产品即改造自然为直接目的。虽

然人们在生产活动中需要而且完全有可能了解到自然客体的性质，但是他们决不以认识这些客体的性质为目的而去从事相应的物质生产，这与实验者研究活动形成鲜明的对照。科学实验的直接目的就是为了解决一定的科学问题，获得有关自然物和现象的科学知识，实现知识成果的创造，其产品主要不是物质财富，而是科学事实以及随之而来的科学理论。由于科学实验往往能够起到生产实践所无法替代的巨大作用，因此它在认识自然的过程中有着特别重要的意义。

科学实验和科学观察同是科学认识中的感性直观方法，它们都以认识自然为直接目的。但是，观察是在自然发生的条件下，而实验则是在人为控制和变革对象的条件下考察自然过程，获取感性材料。与单纯的观察相比较，科学实验更有利于人们获取经验材料，更有利于发挥人的主观能动性。因此，从观察方法到实验方法的发展，标志着经验认识方法的进步和科学认识水平的提高。

（二）实验方法的分类

1. 按实验中量和质的关系，可分为定性实验、定量实验和结构分析实验

（1）定性实验。这是用以判定某因素是否存在，某些因素之间是否有关系的一种实验形式。比如，物理学中有赫兹证明电磁波存在的实验，列别捷夫证明光具有压力的实验，迈克尔逊和莫雷否定以太存在的实验，戴维逊和革末证明实物粒子具有波粒二象性的电子衍射实验，等等。

（2）定量实验。这是用以测定某研究对象的数值，或求出某些因素间对应关系的一种实验形式。比如，物理学中卡文迪许测定引力常数的实验，斐索测定光速的实验，焦耳测定热功当量的实验，等等。化学中的定量分析也是此类实验，即测定物质中成分的含量。法国化学家普鲁斯特把不同化合物作了仔细的定量分

析后建立了经验定律——定比定律；英国化学家道尔顿对由两种相同元素生成的多种化合物作定量分析后，建立了经验定律——倍比定律等均属定量实验研究。

（3）结构分析实验。这是用以测定化合物的原子或原子团的空间结构的一种实验形式。由于同分异构现象的存在，人们不仅要定量地测出化合物的化学组成，而且要测定原子或原子团的空间配置。这种实验方法较多地用于化学、生物等学科。如，20 世纪 50 年代初期，美国生物化学家沃森和英国物理学家克里克用 X 光衍射分析，阐明了脱氧核糖核酸（DNA）分子的基本空间结构是双链的螺旋结构，以及它的四种核苷酸中所含碱基的配对规律，从而揭示了生物遗传的内部机制。这些工作都属于结构分析实验。

2. 如果按实验在认识过程中的作用，可将实验分为析因实验、对照实验和中间实验

（1）析因实验。这是由已知结果去寻找原因的实验。如 20 世纪初，法国细菌学家尼科尔注意到城里流行着斑疹伤寒，由于这种病人入院时都彻底洗了澡，并换掉了病人带虱子的衣服，因而这种病在医院里没有传播。尼科尔断定，体虱一定是斑疹伤寒的媒介。他通过实验证明了他的推断是正确的，因而获得了 1928 年的诺贝尔医学和生理学奖。

（2）对照实验。这种实验有两个或两个以上的相似组群，一个是对照组，作为比较的标准；另一个是实验组，通过某种实验步骤，以使人们确定它对试验组的影响。大多数生物和医学的实验多是对照实验。比如，人们早就观察到植物向光生长的现象，但是光线是作用在植物的什么部位而使它发生向光生长的呢？达尔文运用对照实验的方法研究了这个问题，他将一组植物不作任何处理，而将另一组植物的生长锥套上用锡箔做成的不透光的小帽子，再将这两组植物放在侧光下生长，结果发现，没有处理的植物表现出向光生长现象，而经过处理的则没有这种现象，从而

确证了光线是作用于生长锥而使植物产生向光生长现象的。

（3）中间实验。这种实验是为使实验室的研究成果向生产领域转化而进行的一种实验，又称生产试验，它可以在工程建设中用以检验设计方案，为生产实践做准备。对于比较大型或复杂的生产项目，选定设计方案后，一般需要做中间实验，以检验方案在技术上是否先进，经济上是否合理，同时暴露问题以便进行修正，然后才能正式施工或大批量生产。

（三）实验方法的特点

由于实验方法是在人为控制条件下去观察客体的，因此它比观察更能获得更精确可靠的科学事实。正如法国科学家居维叶（G. Cuvier）所形象描述的：“观察者听命于自然界，而实验者则质问自然界，并且迫使自然界袒露她的秘密。”[①] 因此，与观察相比，实验具有更大的积极意义，更加充分地体现了人的主观能动性和创造性。实验具有下述四个显著的特点：

1. 简化和纯化自然现象

自然界的事物和现象是极其错综复杂地联系在一起的，其中包含了各种偶然的因素。事物的某些特征，或者是被掩盖起来，或者是受到其他因素的干扰，以至在通常情况下不能觉察到。在实验中，人们可以利用各种手段，把所研究的对象从复杂的联系中分离出来，排除各种次要的、偶然的、附属的因素，使事物现象的发展变化过程以简化了的、纯粹的状态显现出来。例如，对于检验电磁相互作用、弱相互作用和强相互作用统一的假说所做的实验，就是这方面的一个典型实验。科学家们在美国克利夫兰市以东 40 千米一个废弃的盐矿里，在地下 600 米的深处，建造了一个能灌入 1 万吨纯水的大洞，目的在于从这个池子中寻找质子衰变的闪光，从而验证三种相互作用的统一性的假说。这个实

① 转引自〔法〕克劳德伯尔纳：《实验医学研究导论》，知识出版社，1985 年，第 2～3 页。

验装置之所以要安置在地下深处，之所以要灌入很纯的过滤水，就在于排除来自宇宙空间射线和水中其他杂质的干扰，使整个研究工作得以在纯粹状态下进行。

2. 强化和再现自然现象

在自然状态发生的现象或过程，往往一去不复返，因此无法对其反复进行观察。而在实验中，由于是人工控制的，因而可以使被观察的对象重复出现，以便核对以往的实验结果，从而保证观测资料和数据的准确性。在实验中，人们还能利用各种实验手段，借助于科学仪器和设备，使某些物理过程在人为控制的条件下得到定向强化，创造出在地球上自然状态下难以出现的特殊条件，如超高温、超低温、超高压、超真空、超强磁场、超导电性等等。在这种强化条件下，人们就可能发现前所未有的有重大意义的新事实。例如，科学家通过实验手段制造出接近绝对零度的超低温环境，从而能把几乎所有的气体液化，并且在这种超低温条件下，发现某些材料具有罕见的无电阻、抗磁等超导态特性。

3. 延缓和加速自然过程

在自然界中，有些现象的发现过程十分短暂，转瞬即逝，如基本粒子的寿命一般 10^{-10}～10^{-8} 秒，而“共振态”粒子的寿命仅 10^{-24}～10^{-23} 秒；有些则十分缓慢、相当漫长。但是，人们却可以使用实验方法控制实验条件，使它延缓、放慢或加速、变快,从而使研究周期控制在一定范围内，便于研究。

4. 实验方法还是一种经济可靠的认识和变革自然的方法

人类对自然界的认识是一种不断搜索、反复实践的过程，往往要经历多次失败以后才能获得成功。实验方法相对于生产实践来说，规模较小、周期较短、费用较少，即使发生多次失败，损失也较小，加之实验对环境及人身安全的影响比生产易于控制，因此，在技术领域中，新产品的试制都要经过多次实验来研究，以检验其性能。

二、实验方法的使用

（一）实验方法的作用

实验方法的上述特点，决定了它在科学研究中具有越来越重要的作用，以至成为一个相对独立的社会实践领域。实验方法对科学技术发展的重要作用主要表现在：

1. 实验是检验（即证明或反驳）在科学认识中得到的理论或原理的真理性的标准，是证明科学知识的手段

实验对于科学认识的决定作用，从根本上说是来自于实践活动的本性。科学实验把感性认识和理性思维的特点结合起来，在实验过程中赋予理论假设直接现实性的品格，向人们提供无可置疑的事实，使人们据以判明理论假设的对错。这种力量当然是纯粹思辨望尘莫及的。

在大多数情况下，实验提供某种事实材料以加强或者反驳某一假说。例如，李政道、扬振宁在 1956 年创立的宇称不守恒理论指出，在弱相互作用下，宇称是不守恒的，这个结论和人们传统观念中的宇称守恒大相径庭。为了检验李、杨假说，另一位美籍华人吴健雄做了一个直接的实验，以便确定中子的旋转方向与电子的发射方向之间是否存在着相关关系。实验的关键是把 β 衰变的放射性物质钴 60 冷却到极低的温度（0.01°K），并置入很强的磁场中。在这些条件下，热扰动实际上停止了，所有的原子都变得在同一方向取向，即沿着磁力线的方向取向。由于中子衰变时射出的电子总是优先沿着其自旋轴飞去，如果衰变中子是镜相对称的，即对中子旋转轴而言，原子有同样机会向两个方向发射电子，那么我们就会观测到有同样数目的电子飞向电磁铁的南极和北极。但是实验导致完全相反的结论，正如李、杨所言，所有的电子都沿同一方向飞行。这表明衰变中子并不是镜相对称的，即在弱相互作用下，宇称是不守恒的。

反之，某些实验的结果反驳了人们长期相信的学说。例如，

1887 年，迈克尔逊和莫雷做了一个实验，发现光在地球上的任何方向速度一样，这与长期存在的“以太”作为光的传播媒介的假说相悖，这一实验直接推翻了“以太说”，并进一步导致爱因斯坦建立了不同于经典物理学的新的时空观。

尽管实验的作用极其重要，但人们把实验作为知识的证明手段时，不能把任何具体的实验结果偶像化，不能不加批判地盲目接受这些结果。事实上，在实验中，一般性的知识是通过个别性的东西得到检验的。对实验证明本身，也要看到它的相对性。每个实验设计都无法脱离技术和科学知识业已达到的水平，因而实验结果必定受条件的局限。其实，那些尔后被科学认识摒弃的理论假说，当时也是建立在一定的实验基础上的，并被认为是得到了这些实验的证明。例如，丹麦医学家菲比格曾经因为“发现致癌寄生虫”获得 1926 年诺贝尔生理学及医学奖，但是他对恶性肿瘤扩散的研究，后来被认为是完全错误的。菲比格偶然观察到老鼠胃前肿瘤中有一种不认识的螺旋虫，进一步的研究表明，别的老鼠吃了被这种虫感染的蟑螂后，虫在老鼠胃中发育为成虫，这些老鼠胃的前部就形成了肿瘤。在某些老鼠中，这种肿瘤具有癌的形态特征：它可以转移，有时还能传染给其他老鼠。这似乎提供了一个实验证据，说明癌是由寄生虫引起的。实际上，更精密的实验表明，癌是由病毒引起的。这件事成了诺贝尔奖授予工作中的一个著名失误。一般而言，实验只有在自身的发展过程中，才能成为不断发展着的知识的有效证明手段。

2. 实验是获得新假说、新理论的直接来源，是发展科学知识的手段

理论的改进要靠人们的想像力和创造力，但它基本的原动力是来自实验及其结果。原因很简单，要取得进展，总得扬弃一些旧的观念，产生一些新的思想。科学实验之所以重要，主要是因为它直接指向研究对象，对对象做经验的研究乃是我们获得有关外部世界一切知识的基础。科学实验正是科学认识中特有的作用

于研究对象的活动。它使人们积极干预事物和现象的进程，以便详细而精确地把握它们。一般人往往很难跳出传统观念的牢笼，也不可能凭空获得卓有成效的思想。实验所显示的发展道路是很新鲜的，在旧的思想方法和传统中是不可思议的，这样，它们就常常能提示更深刻更奥妙的观点，促进科学认识的发展。

实验常常提供新鲜的事实材料，它们构成新假说和新理论的经验基础。1820 年，丹麦物理学家奥斯特在一次报告快结束时，偶然将导线平放并与磁针平行，他惊奇地发现，一旦导线通电，磁针就改变位置。起初，他想磁针的运动也许是因为电流使导线变热而产生的空气流所引起的。为了检验这一点，他把一块硬纸板放在导线和磁针之间，以便阻挡电流，但是毫无变化。由于敏锐的洞察力，他反转了电流，发现磁针也向相反的方向偏转。这种效应屡试不爽，使他弄清了运动电荷与磁针之间有相互作用，磁针的指向与电流在导体中的流向有关，从而揭示出电和磁之间存在着必然的联系。奥斯特把这个发现送到法国杂志《化学与物理学年鉴》发表，使称为“ 电磁学 ”的学科得以诞生，并为尔后法拉第发明电磁感应发电机开辟了道路。可以说，人类的科学发展史就是人类不断实验的历史，实验总是进一步发展了人们的知识。没有实验所揭示的新事实、新现象，任何天才的头脑也无法凭空建立一个新的理论体系。

今天的科学实验，已经成为千百万人参加的认识自然、改造自然的主要的社会实践活动形式之一。在这个领域中，既有专职的实验研究人员，也有专用的实验手段和装备，并形成了一系列专门的实验技术和方法。其中，不仅实验工作者及其所用的实验方法对科学技术的发展起着重大的作用，而且，实验手段和实验装备也起着重要的作用。无论测试记录装置、显示装置、还是直接作用于对象的发生装置的革新，都可能带来科学上的重大进步。没有实验，就没有现代科学技术，更谈不上科学认识和科学发展。

（二）实验的注意要点

实验的一般程序包括：首先，根据课题要求进行实验的构思与设计。这是决定实验成败的首要环节，它包括确定实验原理、选择实验材料、选择或研制适用的仪器设备、选择实验类型、确定对有关实验条件的控制等；其次，在实验过程中，精心操作、细致观察和准确记录；再次，对实验结果分析整理，确定所获得的经验事实；最后，对实验结果做出理论解释。

依据以上实验程序，为了保证实验结果的可靠性，在实验方法中应注意以下要点：

1. 确定误差范围，区分系统误差和偶然误差并加以适当的处理，以保证对实验数据做出正确判断。

2. 根据对象的属性确定对象的控制变量，即在实验过程中，在一定程度上可以控制和自由变化的参量，对那些不可控制的变量可分为确定和未知的两类，并尽量减少不可控制变量的干扰。

3. 对实验的构思、布置、操作、结果作细致的核查，避免轻信不可靠的实验结果。美国化学家鲍林在总结他在 DNA 分子结构的研究中的失败教训时说："我被一些不可靠的实验数据引上了歧途，而且集中在一个结构上，以至导向错误的方面。"①

4. 尽可能地进行对比实验。对比实验可以相对消除不可控制变量带来的干扰。这在生物学和医学研究中尤为重要。

第四节　模 拟 方 法

一、模拟方法的含义、分类和特点

（一）模拟方法的含义

在科学研究和过程设计中，人们对一些不宜直接干预的自然

①《鲍林自转》，见《现代化学译丛》，1974 年，第 248 页。

现象，往往通过积累有关事实材料，根据已知的自然规律，首先建立起一个模型加以描述，进一步进行详细地、深入地研究。这是人类探索自然规律的一个重要手段。在方法论上，通常把这种手段称作模拟方法。

模拟方法，又叫模拟实验或模型实验，是根据相似原理，用模型来代替被研究对象（原理），实验手段只直接作用于模型而不直接作用于原型，然后将模型实验的结果推到原型上去，从而达到对原型进行认识的目的的实验。由于是通过观察模型而间接地认识原型，因而模拟实验也叫间接实验。

模型既可以是人工制造出来的代替原型进行实验的某种装置，也可以是从自然界已有的事物中选择出来代替原型作为实验对象的事物。前者如用高电压装置来模拟自然界的雷击，后者如用船模来模拟设计中要建造的船舶，等等。模拟方法已有很长的历史。我国历史文献上就有关于金代张中彦“手制小舟，材数寸许”的记载，记述了在造船舶时，先作船舶模型的过程。在国外，1638 年伽利略在“论两门新的科学”的文中曾提到，当威尼斯商人在建造一艘比一般船的尺寸较大的帆桨船时，其支柱按外形的比例放大，就显得不坚固。他指出，这表示了一门新科学的萌芽。20 世纪 30 年代，随着模拟方法的广泛应用，逐步形成了新的学科——相似理论。相似理论的建立为现代科学的模拟方法奠定了理论基础。人们根据相似理论，不仅可以确定相似现象的基本性质、必要和充分条件，而且可以定量地设计模型，把模拟实验的结果定量地推广到原型中去。

（二）模拟方法的分类

根据模型和原型之间相似关系的特点，可以把模拟分为两大类：物理模拟和数学模拟。

1. 物理模拟

是以模型和原型之间的物理相似或几何相似为基础的一种

模拟方法。所谓物理相似，就是说在模型和原型中所发生的物理过程都是相似的。这里讲的物理模拟是广义的，既包括对无生命界的物理过程的模拟，也包括对生物界的生理过程或病理过程的模拟。

在无生命界，物理相似要求有关的所有同名物理量之间的相似，即所有的矢量，如力、速度、加速度等在方向上相应地一致，在数值上相应地成比例；所有的标量，如密度、温度、浓度等在对应的空间点上和时间间隔上都相应地成比例。在这种情况下，模型只不过是原型精巧的放大或缩小。例如，在修建大型水库或堤坝时，先按一定比例做一个小的水库或堤坝模型，在相似的物理条件下进行实验研究；在设计超音速飞机时，先制造一个按比例缩小的飞机模型，在高速风洞中进行吹风实验，等等。在医学研究中，用实验的方法探索某种疾病的病因，筛选药物、鉴定药物的疗效和毒性等工作都不能先在人身上进行试验，因此必须利用人体和哺乳动物的生理过程和病理过程的相似，以这些动物作为模型进行实验。例如，为了研究气管炎发病的自然条件，可以将猴子、大白鼠等实验动物置于烟熏、低温等条件下观察其发病的过程；为了考察尼古丁的毒害，可以将尼古丁从烟草中提取出来，注射到实验动物体内，观察由此引起的各种病理变化；为了筛选治疗胃癌的药物，可以将相应的癌细胞接种到实验动物的胃组织上，观察其变化。用实验动物作为人体的生理模型和病理模型进行实验，可以达到比较大的规模，并且根据实验的需要不断重复和进行剖检。现代医学总是首先在实验动物即模型上进行大量工作，得到可靠的结论，然后再应用于临床的。

以物理相似关系为基础的模拟方法，其优点是：可以在模型上直接观察到现象的物理过程，从而获得比较明确的物理现象，直观性、形象性都比较强，并且有综合性。但是由于物理模拟是以同质现象之间的运动形式为基础的，其广泛应用受到限制。

2. 数学模拟

是以模型和原型之间在数学相似的基础上进行的一种模拟方法。列宁曾指出：“自然界的统一性显示在关于各种现象领域的微分方程式的‘惊人的类似’中。”[①] 自然界的这种统一性，为数学模拟提供了客观基础。

任何两种不同的物理过程，只要它们所遵循的规律在数学方程上具有相同的形式，就可能用数学模拟的方法进行研究。例如，在流体力学中，流速高的方程和电学中电势的方程具有完全相同的数学形式，因此，我们可以用数学模拟的方法，将所要研究的渗流场用一个与之相似的电流场来代替，在实验室内用一套相应的电路装置来模拟地下水的运动。这一电路装置，就是地下水运动的数学模型，简称为电模型。这种采用电模型的数学模拟，又叫做电模拟或电拟法。20 世纪中期，电子计算机的出现，使数学模拟的发展进入了一个崭新的阶段。在电力系统中，大型锅炉的设计及其完成后的加温加载实验，大型汽轮发电机、水轮发电机中的自动调节系统等的设计和研制等，都可以采用电子计算机进行数学模拟实验。这样，既提高了设计质量，又缩短了研制时间。

在数学模拟中，模型在物质本性上可以不同于原型。同时，根据数学形式的同一性导出的相似性则超出了物理模拟的界限，给模拟研究开辟了更开阔的天地。这种模拟方法值得推广的意义有两点，第一，它意味着可以用一种简单、便宜、方便研究的系统代替研究对象，符合科学研究中的经济原则。第二，数学模拟给计算机辅助设计开辟了广阔的前景。

（三）模拟方法的特点

1. 模型具有双重功能

模拟方法作为一种间接实验方法，模拟实验由实验者、实验手段、实验模型、客观原型四部分组成。与研究对象直接参与实

---

①《列宁选集》第 2 卷，人民出版社，1972 年第 2 版，第 295 页。

验过程的一般实验不同，参与模拟实验过程的，不是研究对象本身，而是与研究对象相似的模型。所以，模型具有双重功能，它既是替代原型的实验对象，又是研究对象的实验手段。从模型是实验者运用实验工具进行实际变革的对象来说，模型是实验对象；另一方面，模型只是原型的代替物，实验的真正对象是原型，而模型只是实验者用以认识原型的工具。（见图 9－1）

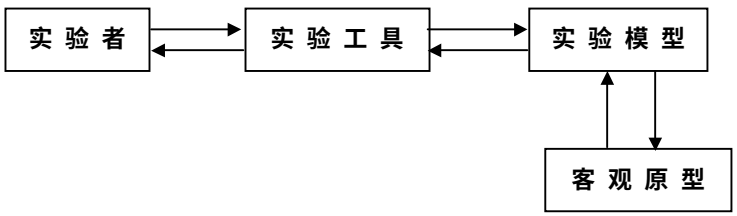


图 9－1　模拟实验的构成

2. **模拟方法的逻辑基础是类比推理**

模拟方法以客观事物之间的相似性为客观基础，以模型和原型某些方面的相似为前提，运用类比推理的方法，将对模型实验研究的结果（发现的某些新的属性和变化规律）类推到原型中去，因而类比推理乃是模拟方法的逻辑基础。

然而，模拟方法的优点之所依，亦是其不足所在。这是由于模拟方法所得到的关于原型的结果是由模型间接外推而来的，因而它的论证力量和可靠程度就不能不受到限制。例如，在医学研究中，某种药品的效用先在数量有限的一批动物身上反复进行实验研究，但实验结果可以外推，运用于其他动物乃至人类。这样做是允许的、必要的，否则，人们就无法发明和使用新药了。但也决不能在这类场合完全排除错的可能性。在运用模拟方法时，模型建立得是否正确，类比推理是否恰当，都会影响结果的正确性或精确度。加上现实对象十分复杂，难以由总是带有一定简化的模型所完全把握，因此模拟实验并不能完全代替真实的直接实

验，运用模拟方法得到的结论，最终必须放到实践中加以检验。这就是为什么运用电子计算机对核反应过程进行的十分精确的模拟结果，最后还要通过核反应的中间试验和现场试验来加以验证的原因所在。

二、模拟方法的应用

（一）模拟方法的作用

模拟方法有许多优点，因而在科学研究中被广泛采用，有着重要的作用。

1. 运用模拟方法，可以使人们对已经时过境迁的自然现象进行研究

例如，1953 年米勒用甲烷、氨、氢和水汽混合成一种与原始地球大气基本相似的气体，把它放进真空的玻璃仪器中，并连续施行火花放电，以模拟原始大气层的闪电。只用了约 8 天的时间，就在这种混合气体中得到了 4 种构成蛋白质的重要氨基酸，而在自然界，完成这种转化需要很长的年代。这一模拟方法为研究生命的起源开辟了一条新的途径。

2. 运用模拟方法，可以将自然现象放大或缩小，或使自然现象在短时间内重复出现，以便于观察研究

例如，中国科学院大气物理研究所进行的大气环流模拟实验，可以将由地面垂直向上几万米的整个大气层的运动，在实验室里再现出来。大气环流模型的转台，每半分钟左右转一圈，就能模拟一天的气候变化，三个小时就能模拟一年的气候变化。

3. 模拟方法可以成为工程设计的辅助工具，既可以提高设计质量，又可以缩短研制的工期

比如北京工人体育馆的设计采用了先进的悬索结构，建筑物的钢梁的直径长达 94 厘米。在设计研究中，曾采用了物理模拟的方法，先后做了直径 5 厘米和 18 厘米的模型，进行力学模型实验。通过实验积累了大量科学资料，为设计提供了可靠的依据，使该

建筑以较快的速度胜利建成。

4. 运用模拟方法可以训练各种复杂技术的操作人员

运用模拟方法既安全，又节约。例如，运用电子计算机模拟，可以构成飞机或宇宙飞船的驾驶员训练器、潜艇操纵训练设备，以及专门训练电力系统中心调度室调度人员的模拟设备等。用这些模拟装置进行训练，既安全可靠，又能节省人力、物力和财力。

5. 运用模拟方法，还可以使人摆脱危险，避免事故

在宇宙航行中可以先用狗作为生理模型代替人去探险；在医学中也是先用动物作为病理模型，代替人来进行毒性药物疗效的实验等。

（二）模拟方法的基本步骤

模拟实验过程一般可分为三个基本步骤（下图 9－2）：选择或建立关于研究对象的物质模型；将模型置于与原型相似的条件下进行实验研究；将模拟实验的结果外推到原型中去。

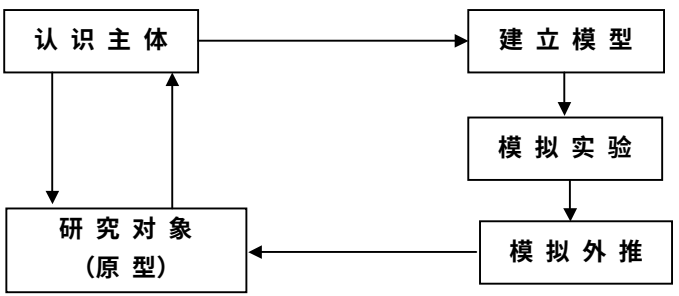


图 9－2　模拟方法基本步骤图

其中，建立同研究对象相似的模型是模拟过程的最初步骤和中心环节。模型是认识主体把握客观现实的中介，建立模型的好坏直接影响到研究工作的成败。在模拟实验中，所要建立的模型是物质模型，它可以是人工构造的（如水坝模型，风洞中的火箭模型等），也可以是从自然物中选择出来的（如医学研究中选择动

物作为人体模型)。作为模型必须满足以下三个基本条件：(1）模型必须与原型具有相似关系(相似条件)，这就同语言及符号系统区别开来；(2）模型能够替代原型进行研究（替代性条件)，从而区别于思想模型；(3）从模型研究中可以得到原型的信息（外推条件)，因而不同于抽象或直觉的概括。这三方面是模型建立的必要和充分条件，三者相互联系、缺一不可。当然，这三个条件，随着研究目的所规定的对原型研究的方面不同而有所差别。同时在满足这些条件的前提下，模型应比复杂的原型有所简化。

参考文献

[1] 栾玉广等. 自然辩证法概论. 合肥：中国科技大学出版社，1988

[2] 中国科学技术大学，中南矿冶学校，大连工学院等编. 自然辩证法原理. 长沙：湖南教育出版社，1984

[3] 张培林. 自然辩证法概论. 北京：科学出版社，2000

[4] 刘大椿. 科学技术哲学导论. 北京：中国人民大学出版社，2000

[5] 陈其荣. 自然辩证法导论. 上海：复旦大学出版社，1995

[6] 王鸿生. 世界科学技术史. 北京：中国人民大学出版社，1999

[7] 张红薇等. 自然辩证法概论. 成都：西南交通大学出版社，1989

[8] 国家教委社会科学研究与艺术教育司. 自然辩证法概论. 修订版. 北京：高等教育出版社，1991

第十章　整理科学材料的理性思维方法

自然界的一切事物都是现象和本质的统一。自然科学研究的任务是探索事物的本质及其规律。通过调研、观察、实验等感性思维方法所获取得的感性材料只是科学认识的经验层次，要使其向理论层次过渡，从感性的具体发展到抽象的内在规定，就必须通过一系列的理性思维方法，建立起科学理论，这样才能系统把握客观事物的本质和规律。

理性思维方法有很多种，这里我们介绍归纳方法、类比方法和数学方法。

第一节　归 纳 方 法

一、归纳方法及其特点

归纳方法是通过对个别事物的研究考察，认识这一事物的普遍规律和一般原理的方法。其目的在于通过现象达到本质，通过特殊揭示一般。因此，归纳过程必然包含着认识的能动飞跃，为科学认识从经验向理论飞跃提供了一些基本概念，架起了一座坚实的桥。

归纳法由推理的前提和结论两部分组成。其前提是若干已知的个别事实、个别或特殊的判断和陈述；结论是从前提中通过逻辑推理而获得的一般原理，是普遍性的判断和陈述。这就决定了归纳法的特点是：推理方向是从个别到一般的过程；结论是未验证的，具有或然性。

二、归纳方法的分类与作用

根据归纳的前提是否完全，归纳法可分为完全归纳法和不完全归纳法。在不完全归纳法中，依据其是否运用了因果规律，又区分为简单枚举归纳法和科学归纳法。

（一）完全归纳法

完全归纳法是从前提所包含的全部对象的某种属性或关系中推出一般结论的方法，它所依据的理由是充分的。该方法的前提是研究了每一个别事物都具有某种属性，从而在结论中推出该类事物都具有这种属性，1840 年德国数学家默比乌斯提出的“四色定理”是完全归纳的典型例证。

S1　地图是四色

S2　地图是四色

S3　地图是四色

……

Sn　地图是四色

————————————

所有的地图都是四色。

由上例不难看出，完全归纳法具有如下特征：考察了某类事物的全部对象；结论不超出前提的范围；前提与结论之间具有必然联系。

完全归纳法得出的结论是全称判断，它使我们的知识由单个列举跃进到概括性的判断，把人们的认识推进一步。由于通过完全归纳法所得出的结论具有必然性，所以这种方法是一种很具说服力的分析论证方法。但是，完全归纳法在科学认识中运用的情况很少，因为对于无穷事件集合来说，不可能完全枚举，即使是有限集合，要穷举所有的对象也不是一件轻而易举的事。这也是完全归纳法最主要的局限性。

（二）不完全归纳法

不完全归纳法是根据某类事物的部分对象具有某一属性而概括出该类事物都具有这种属性的一般结论的方法。一般所说的归纳，主要是指不完全归纳法。

不完全归纳法以有限的已知的知识为根据推出未知的知识，使人们的知识范围扩大了，这对人们的认识，对科学研究有很大的作用。科学研究的目的在于认识客观事物的普遍规律和普遍联系。要达到这一目的，没有不完全归纳方法是不可能的。

不完全归纳法在前提中只考察某类事物的部分对象，而推出的则是该类事物的一般性结论，这种从个别到一般的过渡是以飞跃的形式实现的，其结论带有或然性，并且，其结论的或然性是同人们的经验事实的不完全性联系在一起。正如列宁所指出：“最简单的归纳方法所得到的最简单的真理，总是不完全的，因为经验总是未完成的。”[①]

不完全归纳方法按概括的根据不同，即是否运用了因果规律，又能分为简单枚举法和科学归纳法，科学归纳法也叫判明因果联系的归纳法。

1. **简单枚举法**

简单枚举法是不完全归纳的基本类型，它是根据一类事物中部分对象具有某种属性，从而得出该类对象都具有某种属性的一般性结论的归纳方法。简单枚举法可扩展知识，做出预见，但结论不深刻，因为枚举的属性并不等同于属性产生的原因，又无需要穷尽该类全部对象，所以其结论带有或然性，不能当作原理、规律来对待。例如：1742 **年，德国数学家哥德巴赫在研究奇数时发现以下的情况：**

29=11+13+5

77=55+17+7

① **列宁：《哲学笔记》，人民出版社，**1960 **年。**

461=449+7+5=257+199+5

……

这些奇数都是三个素数之和，根据归纳得出结论，所有大于5的奇数都可分解成三个素数之和。他把这个结论写信告诉了欧拉，欧拉表示同意并补充道，大于 4 的偶数都可分解成两个素数之和，后来，这两个命题被合称为哥德巴赫猜想。之所以能称为“猜想”，而不能称之为定理或定律，是因为这一结论是或然性的，要逐步寻找依据加以证实。虽已证明了“大偶数可分解成一个素数与两个素数的乘积之和”，离最后证实只差一步，但“哥德巴赫猜想”的命运至今尚不明确，有可能被证实发展为定理或定律，也可能被推翻。

可见，简单枚举法得到的结论不是完全可靠的。要提高简单枚举归纳结论的可靠性，首先要进行广泛的枚举，即增加被考察对象的数量和扩大考察对象的范围；其次，要积极寻找矛盾事例，探求某种属性与某类现象之间的必然联系。

在科学研究的方法论中，简单枚举归纳法具有初始意义，它是一种初步的假定，提供了尚待证明的假说，为科学研究提供一定的线索和方向。科学始于问题，归纳中出现反例，往往更能促进科学研究的进一步深入。科学研究的过程正是从或然性认识到必然性认识的过程。

2. 科学归纳法

科学归纳法是简单枚举法的发展，它是根据对某一类事物中部分对象属性及其属性之间的必然联系的认识，推出该类所有对象具有某属性的一般性结论的方法。例如：人们在实践中发现，绿色植物在阳光照射下，能发生光合作用，水和二氧化碳发生化学反应后，生成糖并放出氧，人们认识到这种内在联系后，就概括出一般性结论：凡是绿色植物通过光合作用都能放出氧气。

科学归纳法较之简单枚举归纳法区别在于：

首先，推理的根据不同。简单枚举归纳法是建立在经验认识

的基础上的，而科学归纳法不仅如此，还要揭示对象和属性间的必然联系，是建立在科学实验和科学分析的基础上的。

其次，前提的数量对结论的意义不同。在简单枚举归纳法中，在无矛盾的情况下，前提数量愈多，结论愈可靠；而科学归纳法中，前提数量不具有决定的作用，只要把握了必然内在的因果联系，结论的可靠性就会大为提高。

再次，结论可靠程度不同。虽然二者均在前提中都只枚举了一类事物的部分对象，但科学归纳法以判明事物因果关系作为基本依据，所以其结论较简单枚举法得出的结论可靠。

在实践中，人们常采用的是科学归纳法。在科研中，如只用简单枚举归纳法，那只能从表面现象上观察，知其然不知其所以然。而用科学归纳法，通过科学实验分析研究，能找出因果联系，得出更令人信服的结论。科学上的许多定理、定律均是通过科学归纳法得出的。但由于此法是建立在事物因果关系单一决定论的思想上的，所以科学归纳法只适用于线性的、简单的和确定的因果联系，而对现代科学中涉及的非线性的、双向的和随机的因果联系就无能为力了。这也是科学归纳法的局限性所在。

科学归纳法一般有以下五种基本形式，即穆勒五法，现分别加以说明：

（1）求同法。如果在若干场合中考察同一个被研究对象，只有一个相关情况为共有，那么这个共同情况就与被研究对象有因果联系，这就是求同法。结构公式表示如下：

场合	相关情况	被研究对象
①	A，B，C	a
②	A，D，E	a
③	A，F，G	a

————————————————————

所以，A 是 a 的原因。

求同法主要建立在观察的基础上的，往往是在未经穷尽的情

况下取得的，所以还是或然的。为提高结论可靠性，应尽可能观察更多的相关情况，求同法是归纳过程中的一个环节，由于它在很多情况下结论不甚可靠，因此通常还只是在研究的最初阶段结合其他方法来应用，通过求同法得到的结论还要经过进一步的证实和实践的检验。

（2）求异法。求异法就是比较被研究对象出现与不出现的两种场合，如果仅有一个情况不同，那么这一情况就是被研究对象的原因，用公式表示如下：

场合	相关情况	被研究对象
①	A，B，C	a
②	--，B，C	a 不出现

————————————————————

所以 A 是 a 的原因。

求异法主要以实验为基础。因为在自然条件下被研究对象出现的场合与不出现的场合，除一种情况外，其他必然完全相同的情况很少有，所以要由实验来创造。求异法是设计实验的必要逻辑基础，在日常生活、社会调查和科学实验中广泛被运用。

（3）求同求异共用法。求同求异共用法，即如果在被研究对象出现的若干场合中，都存在一个共同的情况，而在被研究对象不出现的若干场合中，都没这个情况，那么这种情况，就是被研究对象的原因。用公式表示如下：

场合	相关情况	被研究对象
①	A，B，C	a
②	A，D，E	a
③	F，G	a 不出现
④	H，I	a 不出现

————————————————————

所以，A 是 a 的原因。

例如，信鸽在天空中飞翔，具有准确的定位能力。有人说，

它是利用地球磁力线进行定位的。为了验证这一说法，有人把两群鸽子放飞进行对比试验。一群鸽子脚上不带干扰物，把这群鸽子在不同天气、不同时间、不同地点、不同距离作远程放飞，结果未迷失方向；而另一群信鸽的脚上带上干扰物(一小块磁铁)，干扰它们可感知的地球磁力线，也在不同天气、不同时间、不同地点、不同距离作远程放飞，结果迷失了方向。于是得出结论，地球磁力线是信鸽定位的原因。

从上例我们可以看出，求同求异共用法实际上是求同法与求异法的综合应用，该法分三步进行：

第一步：运用求同法，把研究对象出现的那些场合加以比较，确定被研究对象出现的原因。如上例，在正面场合，被研究对象“信鸽定位”出现时虽然放飞的信鸽时间、距离、定位、地点均不同，但有一个共同点，即它们都没有干扰物，能感知磁力线。于是得出结论：“地球磁力线是信鸽能定位的原因”。

第二步：运用求同法，把被研究对象不出现的那些场合加以比较，确定被研究对象不出现的原因。如上例，在反面场合，被研究对象“信鸽能定位”未出现，则相关情况是脚上系了干扰物，不能感知地球磁力线，于是得出结论：“不能感知地球磁力线是信鸽不能定位的原因”。

第三步：把以上两个结论加以比较，用求异法对比得出结论。这样得出的结论比每组场合单独得出的结论更为可靠。

如上例，比较前两个结论，“能感知地球磁力线”则有“信鸽能定位”，“不能感知地球磁力线”则有“信鸽不能定位”，最后得出结论，“能感知地球磁线是信鸽能定位的原因”。

求同求异共用法将求同分析的原因，通过求异法来检查，充实，以提高结论可靠程度。但求同求异共用法与求同法和求异法的相继使用有区别，后一种方法，比前一种方法得出结论更可靠。

求同求异相继运用法是先对有某一共同因素的场合求同，然后，再与那些没有该共同因素而其他相关情况与前完全相同的场

合求异，从而得出因果联系的方法。用结构公式表示为：

场合	相关情况	被研究对象
①	A，B，C	a
②	A，D，E	a
③	B，C	a 不出现
④	D，E	a 不出现

所以，A 是 a 的原因。

例如，如果严格控制上述信鸽放飞实验的实验条件，即在后两种场合中，除了信鸽是否系上磁铁的情况外，使其他情况与场合①、场合②完全一致，则能更可靠地得出地磁力线与信鸽定位的因果关系。

（4）共变法。共变法是指如果被研究对象发生变化的各个场合中，只有一种情况变化，那么可知这唯一变化的情况与被研究对象之间有因果关系。用结构公式表示如下：

场合	相关情况	被研究对象
①	A_1，B，C	a_1
②	A_2，D，E	a_2
③	A_3，B，C	a_3

所以，A 是 a 的原因。

共变法是以被研究对象变化的数量或程度来判明因果联系的，使之带有定量分析的因素，而提高结论的可靠性，求异法是共变法的特殊情况和极端场合，共变法着重从量的方面找出“同中求异”的程度，是求异法的进一步展开。共变法比求异法不仅能寻出原因而且还能寻出数量关系，所以共变法在一般观察和实验中经常使用。

（5）剩余法。剩余法亦称剥离法或排除法，指如果某一复杂研究对象是由另一复杂原因引起的，同时又已知前研究对象的某

部分是由后复杂原因中的某部分引起的，那么前研究对象的剩余部分是后复杂原因剩余部分引起的。用结构公式表示如下；

	相关情况	被研究对象
场合	A，B，C	a，b，c
已知 B，C 是产生 b，c 的原因		
———————————————		
所以，A 是 a 的原因。		

剩余法特别适用于能定量地判明对象的因果联系，从而有利于探求未知的因果联系的科学研究。

科学归纳法的这五种方法不是孤立的，在很多场合是相互结合并联合其他推理方法共同运用的，这样可以减少错误，增加结论的可靠性。

例如：近年来，美国患胰腺癌的人增加了一倍，每年 20 万人死于此病，美国哈佛公共卫生院对 11 所医院 369 名患者作了调查，发现这些患者有个共同的嗜好，喝咖啡。因而推断咖啡致癌，又分析得出，每天喝两杯的比喝一杯的人患癌的可能性增加 1.8 倍，每天饮用三杯以上，可能性增加三倍。他们再对喝茶者进行调查，发现无人得此病，从而排除咖啡碱的致癌性。最后得出结论“喝咖啡与致癌有因果联系”。但咖啡中什么成分致癌，仍不得而知。

上例得出“喝咖啡与致癌有因果联系”这一结论，实际运用了几种方法。首先是运用了求同法，369 名患者各方面情况不同，唯有共同嗜好，喝咖啡，从而推出结论；进而运用共变法，喝咖啡的量增加，患癌的可能性也增加，再次证明结论；然后运用求同法对嗜茶者进行考察，证明咖啡碱与致癌无关。从而得出以上结论。

由此可见，科学归纳法在科学研究中起着重要作用。但由于这五种方法的结论都带有或然性，仅仅依靠这几种方法来进行科学研究是远远不够的。正确运用这五种方法还需具体的科学知识和对实际情况的准确了解，只有具备了这些条件才能分析出事物

相互关系中的复杂因素和确定出相关情况的范围。

三、归纳法的使用

归纳法在科学研究中的主要作用在于：从科学事实中概括出一般规律，是提出假说和形成理论的有效方法；为科学观察和实验的设计，提供逻辑依据，便于用简明、合理的方式揭示事物的因果性和规律性；它通过对有限数量的事物的考察，得出关于无限事物的规律性的认识，这就给科学认识增添了新内容，为发现和发展真理提供可能性。

任何事物都是个性和共性的对立统一体，这是归纳法的客观基础。由于个性之中有共性，任何个别事实中都包含着某种一般性的东西，这就使归纳的结果有一定的可靠性。但是个性比共性更丰富，任何个别都不能完全地包括在一般之中。这样，从有限的个性中概括出来的共性，一是不一定反映事物的本质；二是不一定为全体事物所共有。因此，在不同其他方法结合应用的情况下，仍然是一种不严密的或然推理。归纳法的局限性是显而易见的。

第二节　类 比 方 法

一、类比方法及其特点

类比法是一种根据两类事物间在某些方面的类似或同一，推断二者在其他方面也可能类似或同一的逻辑思维方法。逻辑学上又叫类比推理。一般模式为：

A 具有 a，b，c，d，属性

B 具有 a′，b′，c′ 属性，与 a，b，c，d，相同或相似

——————————

则 B 可能具有 d 的相同或类似属性。

类比推理的思维过程的基本环节是联想和比较。首先是选取联想和比较的类比对象，其次是对研究对象在形态、属性、结构、功能方面，理论的原则、形式和方法、内容方面的联想和比较，以便从已知事物的判断过渡到对未知事物的判断。以德布罗意提出的物质波假说为例，1923 年德布罗意在对力学和光学理论的比较研究中，发现有许多相似之处。已知光具有粒子性，光运动服从最短光程原理 $8\int_B^A nd_s = 0$（费尔马原理）。力学的质点运动也服从一条根本原理——最小作用原理（莫波丢原理），而这两条原理的数学表达式酷似。因此他意识到这两门学科必有相同之处。当光学中的新发现——光的量子性（波粒二象性）得到证明之后，马上引起他的类比联想：物质的波动性是不是也是存在的呢？他不但根据类比原理提出了物质波的假说，而且还进一步提出了物质波的定量公式——德布罗意关系式。这些在不久的电子衍射中均得到了精彩的验证，从而为量子力学的创立奠定了坚实的基础。

由 A 到 B 的推理可以是“特殊—特殊”，也可以是“一般—一般”。类比推理的客观基础是事物之间存在普遍联系的本性。但类比方法毕竟是扬弃了未知的中间环节，从此事物径自推出彼事物的判断，所以在逻辑上是或然的。

二、类比方法的分类

类比方法依其类比内容和方式一般分为以下五种类型：

（一）简单并存类比

两类事物只依其表面现象相似而推出结论的类比，因停留在事物表面，在很大程度上带有主观臆断因素，故可靠性大为降低。如斯基帕雷和洛韦耳提出的火星上有人的判断，就是简单并存类比做出的猜测性判断。终因美国“海盗一号”与“海盗二号”卫星考察而被否定。

（二）因果关系类比

根据两类对象的各自属性间都具有相同因果关系而进行的类比。此种方法，因其某种因果的必然联系而提高了结论的可靠性。但因果关系因其特殊性而未必具有同一性，所以其结论仍带有较大或然性。

（三）对称关系类比

依据运动方程对应着相应一种恒量的必然关系而进行的一种类比。即依据运动方程内各量间必然联系的普适性而导致连续变化的“ 时间平移不变 ”、“ 空间平移不变 ”、“ 空间旋转不变 ”及不连续变换的“ 时间反演对称 ”、“ 空间反射对称 ”、“ 点和共轭对称 ”等，简而言之，根据自然现象中广义对称含义而进行的类比，这已为理论物理、基本粒子研究这些年来的巨大成果所证实。

（四）协变类比

根据对象属性间具有某种确定的协变即函数变化关系而进行的推理。

（五）综合类比

应用综合法建立数学模型基础，并根据数学模型间的相似性进行的类比，这在仿生设计，工程设计及生物智能中均有广泛应用。综合类比由于考虑了不同对象多种属性的相似性而大幅度提高了结论的可靠性。但是，要把对象所有的属性都进行考虑几乎是不可能的，因而对结论的信任不能绝对化。

三、类比方法的使用

类比法在科学认识中的适用范围很广，进行类比的两个对象可以是同类的，也可以是不同类的；它们之间的属性和关系可以是本质的，也可以是现象的；它们之间的相似点可以是多个，也可以是一个。因此，运用类比法时可以充分发挥想像力，把不同

的事物联系起来，发挥创造作用。

（一）类比方法的作用

它的主要作用有以下几个方面：

1. 类比方法是启发人们提出科学假说，做出科学预见的重要途径

类比是立足于已有知识基础之上探求陌生对象的方法。在科学发展中遇到以往理论无法解释的事实时，演绎和归纳往往无能为力，类比常常发挥重要作用。正如康德所言“每当理智缺乏可靠论证的思路时，类比这个方法往往能指引我们前进”。[①] 对于当代的一些科学前沿问题，由于远离经验，探索性强而无法直接感知或推测客观事实，就更需要通过类比提出科学假说，作出科学预言。贝弗里奇评价说“类比法在提出线索和假说，以及帮助理解无法看到的现象和情况方面，有着十分可贵的作用。”[②]

2. 类比方法为模型化方法提供了逻辑依据

科学技术研究中广泛使用模型化方法，就是通过建立思维形态的理想模型、物化的物理、数学模型的研究，来获取实际对象的相关知识。比如原子结构模型、核糖核酸双螺旋结构模型、刚体、绝对黑体等理想模型的建立与研究，等等，都对研究的深入和发展起到了不可替代的作用。在这里，类比是把对模型研究的结果转移到原型中去的逻辑根据。

3. 类比在科学阐述和证明的过程中往往起着辅助性的作用

在学术著作中常常把类比方法作为阐述科学见解的手段。例如，为了阐明宇宙天体光谱线红移与天体都在高速远离的关系，用声学中的多普勒效应做类比，使人容易接受和理解。为了让人

① 康德：《宇宙发展史》，上海人民出版社，1972 年。

② 贝弗里奇：《科学研究的艺术》，科学出版社，1979 年，第 98 页。

接受和理解一种新理论、新思想、新观念，类比阐述是十分有效的辅助手段。

（二）类比方法的局限性

类比法对科学研究作用突出，但亦有局限性，主要表现为其结论的或然性。因为类比的客观基础倚重对象之间的同一性，但是对象之间有差异性，而类比推理不排除这种差异性，这就限制了结论的可靠性；其次，类比的逻辑基础是不充分的，对象之间的相似属性与推出属性之间，没有逻辑必然性联系，从而使类比结论失之偏颇。

（三）演绎方法的使用原则

为了提高类比法结论的可靠性，应遵循以下原则：

1. 对进行类比的两个对象，应尽量找出它们之间的更多的共同属性或特征

一般说来，找出的共同属性越多，据此进行类比而推出的假说的真实性和可靠性就越大；否则，类比的结论就有可能靠不住，甚至会使人误入歧途。

2. 用正确的哲学思维为指导，找出对象的已知属性和经类比推出的属性之间的必然联系

通过类比推理得出的结论只是初步的，关键在于分析原有属性和推出属性间是否具有相一致的必然联系。若能得到肯定的答案，则类比的结论或所做出的假说其真实性和可靠性就能大幅度提高。

3. 类比推理适用面很广，需要丰富的想像力和创造性，但创造性的最大化与逻辑规则的完备性是不可兼得的，而推理可靠性与逻辑的严密性成正比

为保证推理的严密性，在类比推理中首先要注重严密的逻辑规则。

第三节　数 学 方 法

一、数学方法及其特点

数学是一门最古老的综合学科，从数学的发展历史来看，古希腊的《几何原本》和中国古代的《九章算术》是数学思想进一步发展的源泉。数学所提供的理论、方法和技巧是各门学科不可缺少的一般研究方法，它原则上适用于一切科学。特别是科学发展到今天，数学几乎在所有科学领域（自然科学和社会科学）中得到了广泛、深入的应用。科学方法的数学化是现代科学方法论的一个显著特点。

数学方法就是运用数学所提供的概念、理论、方法和技巧，对研究对象进行数学及结构分析，寻找数学关系式表达其量的规律性的一种科学研究方法。

数学方法的主要特点是：

（一）高度抽象性

恩格斯指出“数学是一种研究思想事物（虽然他们是现实的摹写）的抽象的科学”。[①] 数学方法所表示出来的是集合的类的特征，反映着同类的量的关系，而非显示存在的东西。在数学中，各种量、量的关系、量的变化以及在量之间进行的推导和演算，等等，都是以符号形式表示的。可以说，数学是一种完全脱离内容的符号形式系统。

（二）高度严谨性

数学方法所运用的手段，推演的过程必须按照严格的逻辑规则，由此其推导出的结论均可反复推导而出。严密的逻辑性正是数学理论可靠性的有效保证，用数学方法推演出的科学理论，其证明不依赖于人的直观，因而体系上比较完整。

---

① 恩格斯：《自然辩证法》，人民出版社，1971 年，第 192 页。

（三）应用的普遍性

数学的高度抽象性，使它成为不受任何具体内容局限的形式科学。正是这种抽象性带来了它应用的普遍性。当然，对于不同性质的事物，运用数学方法的要求和可能性是不同的，它既取决于科学技术发展的状况，也取决于数学本身发展的水平。现在，随着知识经济的到来和计算机的普遍应用，数学方法正更加广泛的渗透到科学技术的各个领域，数学化、计量化已成为科学技术发展的一个重要趋势。

二、数学方法的类型

数学方法的类型很多，根据应用层次可分为两大类：一类是数学各分支学科所提供的单一的具体方法，如代数，几何等等；另一类是抽象程度较高的一般方法，如公理化方法、数学模型方法等等。这类方法具有更广泛的实用性和复杂性，它们通过数理分析，从逻辑上确定客观对象的必然性，所以应用层面更广。

我们主要介绍公理法和数学模型方法。

（一）公理法

公理法是最重要的数学方法之一。它是构建数学理论的思想方法，也是表述数学理论的数学方法。不仅许多数学命题是运用公理法得到的，而且公理法还把它们组织成一个体系，形成数学理论。

公理法有着悠久的发展历史。公理化方法在古代的一个辉煌成就就是欧几里德《几何原本》的建立，它不仅影响了后来许许多多的数学家，成为构造理论体系、开辟新研究领域的重要手段，也对自然科学方法产生了深远的影响。但是《几何原本》这个公理体系并没有摆脱“几何直观”，所以那时的公理化方法还处于朴素阶段。到了 20 世纪，公理化方法有了重大的发展，其中贡献最大、影响最深远的是希尔伯特的《几何原理》一书。他引进

基本概念、基本关系、基本公理共五组二十条建立了一个完备又简单的公理体系，不仅导出了欧氏几何全部定理，并克服了欧氏几何的直观性带来的错误。20 世纪 30 年代希尔伯特进一步把原来公理体系的全部命题用数学符号、逻辑符号按一定的规则排列成为公设的集合，把公理体系形式化为一个形式系统。

现代数学几何都是按公理法建立起来的。随着数学的广泛应用，随着科学的数学化，公理法也日益应用到其他的科学中去，成为各门学科的表述方法。公理法作为一种数学思维方法，在数学和科学的发展中起着日益重要的作用。

1. 公理方法与公理体系

公理法包括公理方法和公理体系两个方面。公理方法，就是以尽量少的、不加定义的原始概念和一些不证自明的命题（公设、公理）作为逻辑出发点，运用逻辑推理导出新定理，以至建立完整体系的方法。就其本质而言，公理法是一种演绎方法；而由初始概念、公理、定义、逻辑规则、定理等构成的演绎体系就是公理体系。在公理体系中，所有的命题都以一定的次序在体系中占有一定的位置；每一个命题都是由在它之前的某些命题通过演绎得出的，而这些作为演绎前提的命题则是它前面的命题的结论，这样可以追溯到不证自明的公理为止。公理体系中的其他命题都可以由公理演绎出来，说明了它们本质上是作为特殊的东西“包含”于公理之中。也就是说，公理体系是一个表述由一般到个别的认识过程的体系。

这里要注意两个问题：一是虽然在一个公理体系中，定理都隐含或包含在公理里面，但它对于具体的东西却并没有说出什么来，即是一种抽象的、空洞的、贫乏的认识。只是推演出特殊，进而到个别，最后才达到了对世界的具体的、充实的、全面的认识。所以由公理向定理的推演是人类极其重要的认识活动，决不是词句的转换游戏。并且，由于特殊和千差万别，这种推演还要求高超的技巧和不懈的努力，理论数学的发展就是这种努力和技

巧的结果。二是演绎推理并非认识世界的唯一的推理方法，实际上演绎推理的前提——公理并不是由演绎推理得到的，它们要通过归纳、类比等多种认识方法——从个别到一般的方法等才能得到。

毛泽东指出："就人类认识运动的秩序说来，总是由认识个别的和特殊的事物，逐步地扩大到认识一般的事物。人们总是首先认识了许多不同事物的特殊本质，然后才有可能更进一步地进行概括工作，认识诸种事物的共同的本质。"[①] 实际上，许多数学命题都是通过实践，采用归纳推理或与其他命题类比而得到的，其证明也离不开各种方法（例如直观，等等），只不过在整理成为理论体系时采用了演绎推理的形式。

为什么在整理数学认识时采用演绎推理而不用归纳推理的形式呢？除了其他自然历史条件外，最主要的是在归纳推理过程中，前提与结论之间并不具有逻辑必然性。作为科学的研究方法，归纳推理是必不可少的，但作为一种表述理论体系，揭示理论各部分之间的必然的逻辑联系的方法，归纳推理就不能满足科学对逻辑严格性的要求了。反之，演绎推理的前提与结论之间有着一种不依人的意志为转移的逻辑必然性，而我们认为，"如果我们有了正确的前提，并且把思维规律正确地运用于这些前提，那么结果必然与现实相符"[②]，所以要采用演绎推理。

2. 公理法的使用

从欧几里德提出第一个公理体系，在数学中采用了公理法，到现在已有 2000 多年了。在这漫长的历史年代中，一方面公理法逐渐趋于成熟和完备，不断深入发展；另一方面公理法有了极其广泛的应用。现代数学的各种理论，几乎都是以公理法表述出来的。其他科学中也广泛应用到了公理法，例如力学、热力学和化

① 毛泽东：《毛泽东选集》合订本，人民出版社，1971 年，第 298 页。

② 《马克思恩格斯全集》第 20 卷，人民出版社，1972 年，第 661 页。

学，等等。力学中甚至也建立了好几种公理体系，例如牛顿的经典力学是一个具体的公理体系，现代理论力学则采用了另一个形式的公理体系来表述。

（1）公理方法的作用。在数学以及在其他科学的发展中做出了重要的贡献，发挥了重要的作用：① 公理方法使有关的知识系统化，把他们按某种逻辑顺序构成一个体系，因而使人们便于系统地理解知识体系，便于掌握理论的本质，也便于理论和实践的结合。② 公理方法是应用演绎推理的基本方法，它为认识世界提供了演绎推理的模式，提供了一种理性证明的手段。实际上，各门科学中的理性证明都离不开演绎推理，而所用的演绎推理与公理方法都有一定的联系。③ 公理方法的建立和应用要求一门科学的充分成熟：积累了一定数量的基础知识，进行了一定的系统分析和研究，对该门学科知识结构体系有了较深入的理解。因而实现公理方法的过程也是深入研究理论体系的过程。采用公理方法还可以发现和补充理论系统中的缺陷和漏洞，从而有利于完善已有的理论，创建新的理论。④ 公理方法是表述科学理论的一种比较完善的方法，它为各门科学提供了一种思想方法上的示范和有效的表述方法，有利于促进理论的完善。

（2）公理方法的意义。公理方法之所以对于数学以及其他科学的发展有如此巨大的作用，是由于它作为一种思想方法，对人的认识有如下重要的意义：① 公理方法体现了在数学中理论思维由具体到抽象，由抽象到具体的发展道路。公理方法的发展离不开人类的实践，离不开感性知识，人们在实践活动中形成了大量的感性认识，在此基础上抽象出形成公理方法所需要的各种概念和命题，在对客观世界进行多方面抽象的基础上，在由思维抽象向思维具体展开（公理体系的展开就表述着这种认识的展开）。任何理论思维的发展都要经过这个具体—抽象—具体的过程，公理方法提供了这个发展过程的一个模式。它有助于人们在形成理论时自觉的实现这个过程，因此对于科学理论的发展，公理方法具

有深刻的方法论意义。② 公理方法表现了人类认识的主观能动性。人们在推动公理方法发生发展的过程中，认识越来越抽象。随着人们抽象思维能力的提高，在相当程度上，人们能得到超越当时实践的理论，例如各种非欧几何理论，后来的实践证明，这种超越了当时实践的理论仍然反映了现实世界的某一领域的规律性。这是人的主观能动性的一个重要方面。可见，公理方法提供了理论深入发展的一个模式，有利于加速理论的发展，进一步提高人们认识世界，改造世界的能力。

（3）公理方法的局限性。公理方法对数学以及其他科学的发展有着重要的作用，具有重大的意义，但公理方法并非万能，也有其局限性：① 人们的思维方法不只是演绎方法，还有归纳法、类比法等多种思维方法。人类思维（包括数学思维），不能离开其他思维方法。② 一般地说，公理方法是一种“总结”的“封闭式”的方法而非“发现”的、“创造性”的方法。通常是在理论比较成熟时使用的，在理论提出之初还要使用其他方法。现代科学中，除了数学外，只有少数几门科学（如理论力学）实现了公理化，其他科学中，尤其是在发展一个新的学科时，试验、观察、归纳、类比等方法都是不可或缺的。

（二）数学模型方法

数学模型是一种观念模型，就是把研究对象用数学语言、公理、定理归纳成数学方程、定律、图表或规律性描述，是一种符号系统表示的模型。数学模型方法就是通过建立和研究客观对象的数学模型来解释对象的本质特征和变化规律的一种方法。它是定量解决科学技术问题最常用、最重要的方法。可以说，数学模型成了数学和其他科学共同发展的连接点。最先使用数学模型方法的是中国古人，《九章算术》中就已经系统的阐述了数学模型。

1. 数学模型的分类

客观事物现象和过程的不同，要用不同的数学模型来描述。

从现实世界中事物的特点和数学理论的发展来看，可将数学模型归纳为四类：

（1）确定型数学模型。用于描述确定因果联系，连续变化的必然现象。可用经典数学方法，如代数方程、函数方程、微积分方程等来描述。这是大量被采用的一类数学模型。

（2）随机型数学模型。用于描述这样一种或然现象：就其个别来看，无规律可循，发展变化无确定因果性，有多种偶然、随机的结果产生，但当这类现象大量出现，或多次重复出现时，就可以看出非偶然规律性。对这类现象，可用概率论、过程论和数理统计方法建立模型，描述整体发展趋势。

（3）突变型数学模型。客观世界存在不连续的突变现象，这已被工程技术界和生物遗传研究的成就所揭示。此类现象的特点在于渐变控制因素导致了突变行为。20 世纪 60 年代末，法国拓扑学家托姆创立的突变理论，用数学语言阐明事物渐变原因和质变过程以及质变方式依条件变化的机理。用以描述不连续，由渐变控制因素导致的突变现象，显示了哲学问题数学化的可能性。

（4）模糊型数学模型。对于客观世界存在的模糊现象和模糊信息，难以用传统的数学方法描述。1965 年美国控制论专家查德创立模糊数学，提出用“模糊集合”作为表示模糊事物的数学模型。

自然科学研究中多采用的是确定性数学模型和随机性数学模型。随着现代系统科学的发展和人工智能研究的深入，突变型数学模型和模糊数学模型发挥着巨大的作用。虽然前两类的数学模型发展历史悠久，后两类的数学模型研究正待完善，但各类数学模型都不可偏废。

2. 建立数学模型的原则

应用数学模型方法解决问题时，最重要的就是建立适当的数学模型，建立一个系统的数学模型是一项高度技巧性的工作。一般地，建立数学模型应遵循下述几个基本原则：

（1）简化原则。所谓简化是指对原型进行一定的简化，即抓

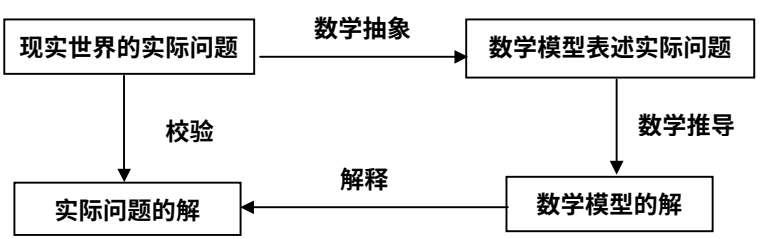
住主要矛盾，略去忽略不计的因素，化繁为简，用最简捷的关系式把问题表达清楚。数学模型的简化原则包括两个方面：① 数学模型应比原型简化。一般现实世界中的原型，通常都是具有多因素、多变量、多层次的比较复杂的系统，因此，必须对原型做出必要的简化，以抓住主要矛盾。② 数学模型自身也应当是“ 简单 ”的。即努力采用尽可能简单的数学工具。在确定系统的基本变量时，应对系统中的各种量做比较，从中选出“ 尽可能少 ”的基本变量。此外要尽量采用较低阶的模型。一般的尽量化变量为常量，化非线性关系为线性关系（近似的），化曲为直，等等，以此来简化模型。

（2）可推导原则。这是指由数学模型的研究可以推导出一些确定的结果。如果建立的数学模型在数学上是不可推导的，得不到确定的可以应用于原型的结果，那么该数学模型就失去了意义。

这一原则指出，并不是随便什么数学符号的罗列都是数学模型，一定要有数学意义，并且能进行数学推导的数学表达式才能成为数学模型。

（3）反映性原则。数学模型实际上是人对现实世界的一种反映形式。因此，数学模型和现实世界的原型就应有一定的“ 相似性 ”，当然，并不是指采用的载体的“ 物 ”的相似性。而是指所表达的“ 关系 ”的相似性。

数学模型和现实世界的关系可简述如下图：



由于反映性原则，并不是任何数学表达式都可以成为某个现实问题的数学模型，只是与那个问题有相似性的数学表达式才可能成为该问题的数学模型。而这个模型是否合乎对相似性的要求不能由对模型自身的探讨得出，只能由对从模型得到的解进行检验才能解决这个问题。在建立数学模型时，找出与原型相似的数学表达式或数学理论是建立数学模型的关键性技巧。

三、数学方法的作用

科学研究从定性描述到定量分析和理论计算的发展，标志着科学水平的提高，标志着科学的成熟和完善。在科学研究中，数学方法作为一种理论思维的形式和语言的表现手段，具有重要作用。

（一）为陈述推理和辩证思想的表达，提供简洁准确的形式化语言

数学方法的高度抽象和形式化，较之自然语言、陈述语言具有明显的优越性，能够使复杂的研究对象在简化和纯化的形式下研究，运用数学语言，为科学研究带来极大的方便。

（二）为科学研究，建立科学理论体系带来有效手段

数学推导严格遵守逻辑规则，使科学理论合乎逻辑，从而保证其结构的可靠性，便于建立科学理论的形式化、公理化体系。

（三）为科学认识提供了定量分析和理论计算方法

分析是数学方法的本质特征，纯数学理论与解决科学疑难问题相结合，将会推动描述性科学向精确性科学转化。更重要的是，科学研究采用数学方法，能够另辟蹊径，做出科学发现和预见。

参考文献

[1] 张文彦等. 自然辩证法概要 北京：科学技术文献出版社，1988

[2] 栾玉广等. 自然辩证法概论. 合肥：中国科技大学出版社，1988

[3] 闵鹤翔. 自然辩证法. 天津：天津人民出版社，1995

[4] 陈小玲. 形式逻辑教程. 北京：北京农业大学出版社，1995

[5] 王鸿钧等. 数学思想方法引论. 北京：人民教育出版社，1992

[6] 王前. 数学哲学引论. 沈阳：辽宁教育出版社，1991

[7] 国家教委社会科学研究与艺术教育司. 自然辩证法概论. 修订版. 北京：高等教育出版社，1991

第十一章　建立科学理论的方法

现代科学积累了数量庞大的经验材料，如何把认识从经验层次上升为理论层次，是哲学家和科学家十分关心的重大问题。科学的理论建构是以假说为中心，依靠经验材料，运用假说——演绎方法，并在实践中不断深化经验规律与理论规律的联系的过程。

第一节　科学理论与科学假说

一、科学理论的一般特征

科学理论是经过实践检验的系统化了的科学知识体系，它是由科学概念、科学原理以及对这些概念、原理的理论论证所组成的体系。科学理论有其自身的特点和结构。

（一）科学理论的基本特征

1. 客观真理性

科学理论正确地反映了客观事物的本质及其规律，因而具有客观真理性。这是科学理论的基本特征，也是它和假说的根本区别。科学理论的客观真理性要求任何一个科学理论需具备三个基本条件：建立这一理论所凭借的事实材料必须是经过实践复核且证明是真实的；根据这些事实材料所提出的假定性规定已经得到实践确认，并经得起实践的进一步检验；根据这种理论所做出的科学预见都能在实践中得到证明。但实践是历史的活动，受到历史条件的制约，因而科学理论也是一定历史条件下的产物，并

在一定的实践条件下经受检验，它只能从一定的侧面，在一定的深度和广度上反映客观世界的规律性。所以，任何科学理论既有客观性、绝对性的一面，又有条件性、相对性的一面。

2. 普遍性

科学理论通过揭示某一领域的共同本质而普遍适用于这个领域，能对这个领域的复杂多样的现象做出解释，能预言将出现在这个领域内的新现象。科学理论的普遍性不是通过形式上“去异存同”的抽象来达到的，而是通过对深刻本质的揭示来实现的。比如，经典电磁场论通过揭示电磁波的规律性而普遍适用于电、磁、光等现象，量子理论通过揭示波粒二象性而普遍适用于各种微观客体。

3. 系统性

科学理论不是各种孤立的概念、原理的简单堆砌，也不是互不相关的各种论点、论据的机械组合，而是根据自然界的有机联系，由它的知识单元（概念、原理、定律等）按系统性原则组成的有内在联系的知识体系。

4. 逻辑性

科学理论必须概念明确、判断恰当、推理正确、论证严密，即合乎逻辑。理论中的范畴和规律是一个个依次推导出来的，有着前后一贯的内在联系。科学理论一般具有演绎的逻辑结构、逻辑上的无矛盾性和完备性等特点。

（二）科学理论的结构

科学理论是由三个基本的知识元素组成的：基本概念；联系这些概念的判断即基本原理或定律；由这些概念与原理推演出来的逻辑结论，即各种具体的规律和预见。正如爱因斯坦所说：“理论物理学的完整体系是由概念、被认为对这些概念是有效的基本定律，以运用逻辑推理得到的结论这三者所构成的”。[①]

① 爱因斯坦：《爱因斯坦文集》第1卷，商务印书馆，1976年，第313页。

1. 基本概念

基本概念是思维的基本单位，是反映自然事物本质属性的思维形式。任何学科都有自己专有的一些科学概念。例如：几何学中的点、线、面等；力学中的力、质点、速度、加速度、质量、功能等；化学中的元素、原子、分子、化合、分解、价、键等。科学概念是构成科学理论的基石，一个新理论的建立，需要若干新的概念作为它的先导或逻辑出发点，藉以在逻辑上展开它的理论体系。否则，科学理论就会失去它独立存在的支撑点。

2. 基本原理

基本原理或定律是科学对研究对象的基本关系的反映，是科学理论赖以建立的基础。它在语言、结构上表现为判断的形式，一般用全称判断来表述。牛顿力学中的三个基本定律，爱因斯坦狭义相对论中的相对性原理和光速不变原理等等都是如此。

3. 科学推论

科学推论是科学理论中由基本原理演绎推导出来的结论。它执行着理论解释和预见的功能。例如，狭义相对论中引伸出来的钟慢尺缩效应，质能关系式等。

在由基本概念、基本原理或定律、科学推论所构成的科学理论中，各元素不是按照任意的外在的次序排列的，而是有一个严密的、前后一贯的逻辑结构。

爱因斯坦曾把物理学中的理论区分为两类：构造性理论、原理性理论。构造性理论是“从比较简单的形式体系出发，并以此为材料，对比较复杂的现象构造出一幅图像”[①]。气体分子运动论就是如此。原理性理论“使用的是分析方法，而不是综合方法。形成它们的基础和出发点的元素，不是用假说构造出来的，而是

① 爱因斯坦：《爱因斯坦文集》第 1 卷，商务印书馆，1976 年，第 109 页。

在经验中发现到的，它们是自然过程的普遍特征，即原理，这些原理给出了各个过程或者它们的理论表述所必须满足的数学形式的判据”[①]。热力学以及相对论就是如此。爱因斯坦的这种区分虽然是针对物理学的，但对各门基础学科均有普遍意义。这两类理论的构造方法当然是不同的，但在结构形式中却有共同性，即从若干基本概念（可以作描述性说明但无需定义）出发，通过揭示概念的关系而形成基本原理（可以来自假说也可以从经验中得到），再运用基本原理而推导出（或证明）各种定律，这些定律中常常包括由基本概念经过定义而形成的派生概念。比较成熟的理论一般都具有这种结构。例如，经典力学、经典热力学、相对论、量子力学等都是如此。这显然是一种演绎结构。当然，在许多科学理论中，除了演绎结构之外，还可以看到归纳概括的成分，有些事实材料乃至经验定律并没有完全纳入演绎结构之中，是作为理论的补充或例外而存在。但是，随着理论的发展，这些归纳成分将会逐渐进入演绎结构。

二、科学假说的一般特征

科学假说是根据已知的科学事实和科学原理，对所研究的自然现象及其规律性提出的一种假定性的推测和说明，是自然科学理论思维的一种重要形式。

各门自然科学在其发展过程中都运用假说。例如，数学中的费尔马猜想、哥德巴赫猜想，物理学中的普朗克能量子假说，化学中的门捷列夫元素周期说，天文学中哥白尼的太阳中心说，地质学中的大陆漂移说、板块构造假说，生物学中的达尔文生物进化假说、突变假说等。假说的形式多种多样：如模型（分子、原子、原子核模型）、概念（场、量子）、知识形态的假定性理论（太

① 爱因斯坦：《爱因斯坦文集》第 1 卷，商务印书馆，1976 年，第 110 页。

阳系起源学说）等。假说不仅是理论自然科学的一种思维形式，在技术科学中也有广泛的应用。

（一）科学假说的来源

假说的来源是多方面的：

1. 当出现了用已知科学理论无法解释的新事实时，会产生对新事实的猜想性的说明

科学史表明，当旧的科学理论和新的科学事实之间产生矛盾之时，正是科学思想空前活跃从而推动人们去猜测、设想之时。例如，X 射线、放射性元素和电子的发现，与经典物理学中原子不可分、元素不可变的传统观念发生冲突，于是各种原子结构的假说应运而生。同样，从量子论的发展史中可以看到：经典物理学关于运动电荷的轨道将随着能量损耗而连续变化的理论，由于无法解释原子中的电子轨道具有分立性和稳定性，从而促进了量子假说的提出。因此，以科学问题的形式而表现出来的理论困难是提出假说的契机。

2. 当把某一理论类推到原来适用的范围之外，对其他事物的属性、规律进行猜测或设想时，会提出新的假说

1905 年，爱因斯坦提出的光量子假说被实验所确证后，德布罗意把光和实物粒子进行类比，把光的波粒二象性类推到实物粒子，从而提出了物质波的假说。1926 年奥地利物理学家薛定谔通过力学和光学的类比，把物质波的假说推广到非自由类粒子上，从而推导出薛定谔方程。

3. 为解决新旧事实之间的矛盾会提出假定性说明

历史上，光的衍射现象说明光的波动性，光电效应现象说明了光的粒子性。为了解决这两类实验事实之间的矛盾，爱因斯坦提出光的波粒二象性假说。假说的来源虽然不同，但都是为了说明某种自然现象而提出的一种试探性的看法或猜测性的说明。

（二）科学假说的构成与特点

假说既然是基于已知科学事实和科学原理对自然现象及其规律的猜测性说明，那么，它通常就会由以下几个基本要素构成：事实基础、背景理论（包括推理规则）、对现象本质的猜测、推演出的预言和预见。例如，大爆炸假说就是以谱线红移（哈勃定律）等事实为基础，以广义相对论和高能粒子物理学等理论为背景，以超高密、超高温状态下由某种机制引起的原始火球的急剧膨胀为基本猜测，以“氦丰度”和“3K 背景辐射”等为预言而构成的一个认识体系。在有些情况下，人们也把理论或假说中推出的预言称为“假说”（海王星假说、中微子假说等），而实际上这些预言都是理论或假说中的一个组成部分。

假说的构成决定了它具有以下几个特点：

1. 科学性

假说是以一定的科学事实为依据、以科学理论为前提而提出来的。例如，爱因斯坦的广义相对论在提出时是一种很抽象的、出人意料的科学假说，但却有其科学和逻辑的根据。首先，广义相对论是狭义相对论的逻辑上的合理推广，“如果速度概念只能有相对的意义，难道我们还应当固执地把加速度当作一个绝对的概念吗?”[①] 其次，广义相对论还建立在一个古老的实验事实基础上，即“在引力场中一切物体都具有同一加速度。这条定律也可以表述为惯性质量同引力质量相等的定律”[②]。正是有了科学理论为前提，有了科学事实为依据，广义相对论才能建立起来。

假说的科学性使它不同于毫无科学根据的神话和缺乏逻辑基础的幻想。科学研究并不排斥有启发性的神话、幻想，但神话和幻想并不是科学意义上的假说。

2. 假定性

---

①、② 爱因斯坦：《爱因斯坦文集》第 1 卷，商务印书馆，1976 年，第 319 页，第 320 页。

假说中包含着对事物的本质和规律的猜测。这种猜测往往是在科学资料不甚充足、检验条件不甚完备的情况下提出的，带着假定性成分，在未来可能被证伪而淘汰，也可能基本被确证并经修正完善后成为理论。

假说的假定性意味着需发挥思维的想像力，对自然现象进行猜测和推断。爱因斯坦把假说形象地比喻为猜谜，猜测一个设计得很巧妙的字谜。由于大自然的谜底只有“相关性的自由”，所以猜谜的方式很自由，虽然终究要受到自然条件的限制。

3. 易变性

对同一自然现象，由于人们占有的材料不同，看问题的角度不同，知识结构不同，使用的方法不同等原因，可以提出多种不同的假说；对同一自然现象提出的假说，还会随着实践过程中的新发现而变化，随着争论的发展而修改。这就是假说的易变性。例如，在天体演化、化学催化、原子结构、地质构造、生物遗传的研究中，都有几种假说同时并存，相互对峙。

各种假说的“争鸣”可能有以下几种结果：一是两个对立的假说中一个驳倒另一个，新假说战胜旧假说。二是两个对立的假说都包含部分真理，而为另一个更为完整的假说所代替，如光的波粒二象性假说统一了光的波动说和微粒说。三是两个对立的假说都是客观事物歪曲的反映，随着科学的发展而同归于尽，如生物学中的“精原论”和“卵原论”[①]。四是各种假说都有一定根据，也能说明一些自然现象，但都不够完满，从而形成争论不休、长期共存的局面，如关于太阳系的演化学说，迄今已有几十个，究竟哪个正确，还有待于今后科学实践的检验。

假说的易变性不同于理论的相对稳定性，往往给人一种错觉，仿佛假说是人造出来的方便的“作业假说”。这种错觉忽视了假说

---

① “精原论”认为生物有机体预先存在于精子中；“卵原论”认为生物有机体预先存在于卵子中。

的科学性及其客观根据，从而会使人们怀疑认识客观世界的可能性。正如恩格斯所说：“对缺乏逻辑和辩证法修养的自然科学家来说，互相排挤的假说的数目之多和替换之快，很容易引起这样一种观念：我们不可能认识事物的本质”[①]。

（三）科学假说的作用

假说的以上特点体现了人类认识世界的特有的能动性，也决定了假说在科学思维中发挥着积极作用。这种作用主要表现为：

1. 科学假说是通向科学理论的桥梁

科学研究的根本任务是揭示自然现象的本质和规律性，但客观事物的本质有一个暴露过程，人们对它的认识也有一个发展过程。当客观事物的本质尚未充分暴露，人们掌握的科学资料不够完备时，只有借助于假说的形式，提出猜测性的假定，才能进一步探索客观事物的本质和内在规律。这是科学研究的必由之路。自然科学就是沿着假说—理论—新假说—新理论……的途径，不断地向前发展的。一部科学发展史，可以说是一部假说和理论不断更迭的历史。

2. 假说是激发思维创造性的媒介

在科学研究中，人们凭借已有的认识向未知领域试探着前进，假说在这一过程中起着激发思维创造性的作用。其具体表现为：在对未知领域所掌握的科学知识和事实材料不够充分的条件下，人们可以凭借已有的条件，以假说的形式进行大胆地探索，提出创新见解，这既是思维创造性的体现，又为这种创造性的进一步发挥提供了可以借鉴、依凭的生长点；此外，假说的提出既以一定的观察、实验事实为根据，又试图超越经验事实，透过事实材料而提出对事物本质的猜想，从而会推动经验思维向理论思维的跃升。

① 马克思、恩格斯：《马克思恩格斯选集》第 3 卷，第 561 页。

3. 不同假说的“争鸣”有利于学术繁荣

不同的假说是从不同的侧面对客观事物本质和规律的探索，它们之间的争论，有助于揭露矛盾、启发思考、相互补充，有利于更全面、更深刻地揭示事物的本质。科学史上氧化说与燃素说、光的波动说与微粒说、生物学上的突变论与进化论、地质学上关于岩石成因的水成说和火成说的争论，都对上述各门学科的发展起了很大的推动作用。即便是被后来实践所证伪的错误假说，对科学理论的产生和发展也能起一定的积极作用。例如，热素说虽然是错误的假说，然而在科学史上却起过一些积极作用。首先，它把热现象作为一个客观的物质过程来研究，收集了大量观察、实验资料、发展了实验技术。其次，在它的影响下，一些理论研究也取得了某些重要成果。如在热素说占统治时期，法国科学家傅立叶提出了热传导理论，法国物理学家、工程师卡诺提出了热机的理想循环——卡诺循环和卡诺定理。这些成果都为关于热的分子运动论以及热力学的产生准备了条件。

假说的这些作用，使它成为科学发展的一种重要形式。所以，恩格斯说：“只要自然科学在思维着，它的发展形式就是假说”[①]。

三、建立假说的原则

建立科学假说应遵循一些共同的方法论原则。主要有：

（一）解释性原则

假说应与已知的经过实践复核的事实相符合，不仅能解释个别事实，而且能解释已知的全部事实。哪怕只有一件事实和假说相矛盾，这个假说也应被修改甚至被摒弃。例如，1911 年卢瑟福根据α粒子的散射实验发现了原子核的存在，并提出了关于原子结构的行星模型，但是这一模型和原子发射不连续的分立光谱、

① 马克思、恩格斯：《马克思恩格斯选集》第 3 卷，第 561 页。

原子的稳定性等实验事实相矛盾。为了完满地解释这两个科学事实，玻尔修改了行星模型，提出了轨道量子化的原子结构模型。

解释的类型多种多样。比较常见的是从假说所假定的规律与先行条件（边界条件和初始条件）的逻辑合取中推演出被解释的现象。其一般形式为：

L_1，L_2，……L_n　　（一般定律）
C_1，C_2，……C_n　　（先行条件）
————————————
E　　（被解释现象）

比如，水星近日点的“进动”是早已确认的科学事实。勒维列曾用牛顿定律与“火神星”的摄动来解释这个事实。但是作为先行条件的“火神星”从未发现，因而这个解释是不成功的。爱因斯坦提出广义相对论后，从广义相对论的引力方程与太阳系现有行星运动的先行条件中很简洁地解释了水星运动的轨道。这种解释为广义相对论提供了一种支持。

（二）对应原则

一般来说，假说不应与已知的科学理论相矛盾。现代科学之所以拒绝研究任何永动机的方案，就是因为它们违反了自然界普遍成立的能量守恒定律。但是对科学理论也不能绝对化，因为科学理论还有其相对性和适用范围。当假说与已有的理论相矛盾时，首先应当怀疑假说，对它进行检查；但是，如果新的科学事实不断支持假说，就预示着新假说有可能是对旧理论局限性的突破。纵观科学史会发现，在新假说转化为新理论并取代旧理论时，它往往会继承旧理论中被实践检验过的合理内容，并把旧理论作为特例或极限形式包含进来。相对论对牛顿力学就是如此，非平衡热力学对经典热力学也是如此。从科学发展的趋势看，新假说把原有理论作为特例而包括进来的这种形式特别值得重视。

（三）可检验性原则

这是指提出的假说必须能用观察、实验加以检验，从而判定它的真伪。不可检验的假说是不科学的，也是不可取的。例如 1956 年李政道、杨振宁提出弱相互作用下宇称不守恒的假说时，就设计了五种实验方案来探索宇称守恒原理在衰变现象中是否正确。同年吴健雄组织的一个实验小组在华盛顿美国国家标准局的低温实验室用钴 60 做了其中的一个实验，确证了他们的假说。第二年这一发现就获得了诺贝尔物理学奖。

事实上，假说的可检验性主要是通过从假说中推出新的预言或预见而表现出来的。如果一个假说除了解释由其提出的事实之外，不能做出任何新的预言，实际上也就不具备可检验性。这种假说很难有继续发展的余地。

西方科学哲学家亨普尔曾用“连接原理”的概念来强调“理论”(在亨普尔那里理论和假说并无明显区别) 与可观察量的关系。他认为科学理论（T）应由两组原理构成：内在原理（I）的详细说明所假定的实体和过程以及支配这些实体和过程的理论性定律；连接原理（B）指出所假定的基本过程与可观察现象之间的关系。其一般形式为：T=（I · B)。例如，玻尔早期的氢原子理论，其内在原理是，氢原子由一个原子核和一个电子组成，电子在一组不连续的轨道上绕核运行，并可以在不同的轨道间跃迁、发射或吸收能量，能量的多少完全由有关的两条轨道确定。连接原理则进一步说明，电子从外轨道向内轨道跃迁会发射单色光，光的波长由两轨道特性的差别来决定。有了这个连接原理就可以通过光谱分析来判断原子的结构。亨普尔关于理论结构的观点虽然并未得到一致公认，但是，从假说可检验性的角度看，它强调假定的实体和过程需通过连接原理而表现为可观察的现象，这是可取的。

四、假说的检验

假说转化为理论的基本条件是能经受住科学实践的检验。对假说进行逻辑分析则是实践检验的辅助方法。

（一）逻辑分析

逻辑分析主要是分析假说在逻辑上的合理性，以达到对假说进行初步筛选的目的。逻辑分析的方法是从一些已确认的判断出发，通过合乎规则的推理来论证另外一些判断的可靠性或被检验的可能性。

在实践检验之前往往需要逻辑分析。这包括：分析假说中的概念是否具有精确性、明晰性与简单性；分析假说在逻辑结构上是否具有一致性；分析假说是否得到已有的科学理论与科学事实的支持等。经过逻辑分析进行初步筛选，确定可能在科学实践中得到确证的假说。

即使在实践检验过程中，也常伴随着逻辑分析。如实验方案的设计，实验过程的调节和实验数据的处理等。应当特别指出的是，用以检验科学假说的事实都是具体的、个别的观察结果，而被检验的假说常常是普遍的、抽象的命题。因此在假说与科学事实之间存在着一般与个别、普遍与特殊的关系问题。只有通过逻辑分析，才能使假说与事实建立起联系，从而确证或反驳某种假说。另外，单纯的实践检验只能说明假说与事实是否一致，只有通过逻辑分析才能阐释清楚假说被确证或被证伪的原因。正因为如此，人们常常不满足于实践的确认，而力图求得对假说的逻辑证明。比如，“四色定理”早已在地图的绘制实践中千百次地被证明过，但直到 20 世纪 60 年代用计算机做出逻辑证明之后，人们才感到满意。

尽管如此，逻辑分析也只是辅助性的检验方法。假说最终必须由科学实践检验和裁决。

（二）实践检验

实践检验是通过观察和实验对假说及其推论进行的验证。假说中包含着对事物本质的猜测，这种猜测往往以全称判断的形式出现，具有抽象性和普遍性，是无法直接验证的。因此，需要由假说中演绎出若干可以直接检验的推论，然后和观察实验结果进行对照。

例如，对电磁理论中“电磁波和光波具有同一性”的普遍性命题无法进行直接检验，但可以由它演绎出许多能够直接检验的推论。比如，如果电磁波与光波具有同一性，则电磁波传播速度应等于光速。这个结论在 1888 年由物理学家赫兹所证实。在一有限空间里，难以直接测量电磁波的速度，赫兹用检波器量出电磁波两个波节之间的长度，即半波长，然后根据振荡器的频率公式计算出电磁驻波频率，最终计算出电磁波的速度，从而肯定了电磁波速等于光速的结论。但这一实验测量的结果并不等于完成了电磁波与光波具有同一性的证明。因为二者具有同一性意味着电磁波应显示光波的所有性质。赫兹接着进行了关于电磁波的反射、聚焦、折射、偏振等多种实验，证明了当时人们所认识的、光所具有的一切物理特性电磁波都有，这样赫兹才算完成了电磁波和光波具有同一性的实验验证。

即使是假说中所包括的预言和预见，也不总是可以直接检验的。对这些预言和预见也需要演绎出若干推论和实践结果进行对照。比如，由于引力波很弱，目前还没有仪器能直接观测，所以对与广义相对论有关的引力波的检验，目前只能通过对引力波存在的某些特有效应来间接进行，像引力辐射会引起双星运行周期的变化，等等。1978 年美国天文学家约瑟夫·泰勒小组宣布他们通过对高速旋转的致密双星的 4 年观测，测到双星转动周期缩短了万分之四秒，与广义相对论的引力波理论计算结果一致，从而探测到了引力波的一个间接效应。

（三）证实与证伪

科学实践作为检验假说的标准，既能证实假说也能证伪假说。一般地说，经过观察、实验所证实的假说，即可上升为理论，而被观察、实验所证伪的假说就会被淘汰。但是，假说的检验是一个复杂的过程，无论证实或证伪，都存在着许多需要从逻辑上分析的问题。

1. 一个全称判断所演绎出的接受检验的结论在数量上是无限的，其中部分结论与观测事实的相符，只是为该假说提供了辩护和支持，还不能说完全证实了这一假说，因而通常称为确证

例如，赫兹测出了电磁波的速度，证明了电磁波具有反射、折射、聚焦等属性，已比较全面地证明了电磁波与光波具有同一性，他所进行的实验个例越多数量越大，精确度越高，该假说被确证的程度也越高。但赫兹 1888 年进行的实验，受当时科学和技术水平的限制，并未穷尽对光波和电磁波性质的认识，仍存在许多未知的属性，因此赫兹的实验仍然未完全证实电磁波与光波具有同一性的判断。

2. 以全称判断形式出现的科学假说是通过检验蕴涵的方法接受验证的

这是通过证实后件（即推论）为真从而证实前件（假设）为真的方法。在逻辑上，这种方法的保真性是没有保证的。证实后件为真，前件可能为真，也可能为假。如果认为后件真前件必真，那就犯了肯定后件推理的逻辑错误。

3. 一个科学假说（H）所演绎出的可被直接检验的结论（C），若与观测事实不符（非 C 或$\neg$ C），那么，在整体上可以说这个假说已被证伪（非 H 或$\neg$ H）

用符号逻辑形式表示为：[（H$\rightarrow$C）$\wedge\neg$ C]$\rightarrow\neg$ H。在逻辑上这无疑是正确的。证伪主义者波普尔曾以此为理由而竭力强调证实与证伪在逻辑上的不对称性。但是，一旦出现反例就能否定相关的科学假说吗？事实上，证伪一个科学假说并不像逻辑学上否

定后件就必然否定前件那样简单。首先，科学实践受科学技术水平的制约，是可错的。当观测到的经验事实与推论不相符时，不一定是理论错了，而有可能是实验设计不合理或仪器精度不够造成的。其次，科学假说本身也是有结构的，它包含了背景知识和许多辅助性假说，不是一个单纯的孤立的全称命题，所以若假说被证伪了，还可能是因为其中的辅助性假说有误，而不一定是假说的主要内容有误。即：

如果 H 且 H′ 则
已知　　非 C
————————————
所以　非 H 或 H′（H′ 为辅助性假说）

例如，1906 年德国物理学家考夫曼通过对高速电子质量观测实验来检验狭义相对论中运动质量随速度增加而增加的论断，他曾宣布实验得出负结果，未发现高速电子质量的变化。彭加勒由此实验而怀疑相对论，但爱因斯坦则强调："系统的偏离，究竟是由于还没有考察到的误差，还是由于相对论的基础不符合事实，这个问题只有在有了多方面的观测资料之后才能足够可靠地解决"[①]。十年后，法国有两位物理学家揭示出考夫曼实验装置有缺陷，才解决了这一矛盾。

由上可知，科学实践作为检验假说真理性的标准是可靠的，但检验是一个复杂的过程。证实与证伪是人们在假说检验过程中的两种判定，二者既相互对立又相互统一，把二者绝对对立起来，肯定一个而否定另一个的做法是片面的。

（四）判决性实验

判决性实验是指：如果对同一研究对象，存在两个对立的假

① 爱因斯坦：《爱因斯坦文集》第 2 卷，商务印书馆，1979 年，第 181 页。

说 H_1 和 H_2，并分别推断出互不相容的结论 C_1 和 C_2，而且可以通过一个实验进行检验，其检验结果符合 C_1（或 C_2），不符合 C_2（或 C_1），则认为这个实验肯定了 H_1（或 H_2），否定了 H_2（或 H_1），该实验就是关于假说 H_1 和 H_2 之间的判决性实验。判决性实验由于对于两个相互对立的假说能够起到肯定一个、否定另一个的裁决作用，因此历来为科学家和哲学家所重视。

例如，1850 年傅科实验，肯定了光的波动说，否定了光的微粒说；19 世纪末麦克尔逊—莫雷实验，也曾被认为是对以太假说提供了否定性的证明；1919 年爱丁顿对日全蚀的观测结果与牛顿力学的推论相悖，而与广义相对论的预言一致，被认为是对广义相对论的验证。这些都是科学史上著名的判决性实验。

第二节　演 绎 方 法

一、演绎方法及其特点

演绎与归纳相反，是从一般到个别的思维方法，它是从已知的某些原理、定理、法则、公理出发、推出新结论的一种逻辑方法。一般说来，只要前提为真，前提与结论之间具有必然性联系，则演绎结论就是一种确定性认识。演绎法的基本结构是大家所熟知的三段论，即由大前提、小前提和结论三部分组成。大前提是已知的一般原理，是全称判断；小前提是研究的特殊对象，是特称判断；结论是把特殊对象归结到一般原理之下得出的新知识。演绎的结构公式如下：

大前提	M 是 P
小前提	S 是 M
————————	
结论	S 是 P

其中，结论的主项叫小项，用“S”表示，谓项叫大项，用“P”表示，两个前提中所共有的项叫中项，用“M”表示，在两个前提中，包含大项的前提叫大前提，包含小项的前提叫小前提，三段论就是由大前提、小前提和结论构成的间接的演绎推理。可见，通过中项的媒介，把大、小项联系起来，从而使推出的结论具有必然性。例如：

大前提　佛教创始人是印度人
小前提　释迦牟尼是佛教创始人
————————————————
结论　所以，释迦牟尼是印度人

通过前两个性质判断所包含的共同项“佛教创始人”，显示了另外两个不同项的类属关系，从而推出了第三个判断。

演绎推理的主要特点，在于它的推理方向是从一般到个别，认识个别事物。而事物的一般性质存在于个别事物之中，这就使得演绎方法从一般原理认识个别事物具有客观基础，决定了推出的结论与其前提之间存在着必然联系，是一种必然性推理方法。但是，单靠演绎本身不能保证结论的正确性。演绎方法本身不能确定它的前提是否正确，它只是从已知的陈述中进行逻辑变换获得新结论。

二、演绎方法的使用

最早从人类运用逻辑思维的经验中，系统总结出演绎方法的学者是亚里士多德。可以说，演绎法是人类最早，研究最深的思维方法之一，因而也是规则较为完善的一种逻辑方法。

（一）演绎方法的作用

演绎法在科学研究中发挥着重要的作用，主要表现在：

1. 演绎方法是逻辑证明或证伪的重要工具

数学定理的证明要依靠演绎，这是不言而喻的。即使自然科

学的验证同样也离不开演绎方法。运用观察实验来检验理论的过程，本质上是逻辑与经验相结合的过程，即首先从理论中推演出尽可能多的可观察假说或预言，然后再由观察事实来检验。如爱因斯坦从广义相对论推演出从恒星发出的光在经过强引力场的天体时会发生偏折，以及由具有强引力场的恒星发出的光，其谱线将出现红移的预言，后来在科学观察中得到验证。从某种意义上说，离开了演绎就不可能有理论的验证。

2. 演绎方法又是建立科学理论体系的有效方法

数学等自然科学理论就是用演绎方法建立理论体系的。欧几里德就是从一些原始概念、公式、公理出发通过演绎推出了几何的公理体系。牛顿经典力学体系也是从一些基本概念和力学三定律出发，运用演绎方法建立起来的。爱因斯坦也说过“我坚信，我们能够用纯粹数学的构造来发现新的概念以及把这些概念联系起来的定律，这些概念和定律就是理解自然现象的钥匙”[①]。

3. 演绎方法也是预见科学事实、提出假说、发现新的自然规律的重要手段

演绎是从包含个别的一般论证出发，把前提中蕴含的知识揭示出来，所以往往能提出新的假说和预言。鲍利坚信能量守恒原理的正确性，他以此为大前提，面对 β 衰变能量亏损的事实，认为原子核损失的能量除被电子带走一部分外，其余的能量损失不会不翼而飞，肯定是被尚未发现的微小粒子带走了，于是他预言了中微子的存在，并很好的解释了 β 衰变能量亏损现象。1956 年鲍利的预言被原子反应堆实验所证实，并且，1968 年人们用探测器找到了来自太阳的中微子。

（二）演绎方法的局限性

当然，演绎法也有其局限性。首先，演绎推理的大前提的正确

① 爱因斯坦：《爱因斯坦文集》第 1 卷，商务印书馆，1977 年，第 316 页。

性是有条件的，而大前提的可靠程度限制了结论的可靠性，虽然个别包含于一般，但一般不可能将个别包容无遗。所以由一般推论出的个别规律就难免失之疏漏。其次，演绎推理的结论已自在的包含于前提，所以，演绎的创造性很有限。由演绎所做出的结论仅仅是预言，有待证实，因此，完全用其来指导科学研究是不可靠的。

（三）演绎法与归纳法的辩证关系

自从培根倡导归纳法，笛卡儿倡导演绎法以来，历史上就长期存在归纳主义的“归纳可能论”同演绎主义的“演绎万能论”的争论。从辩证唯物论的认识论来看，无论归纳，还是演绎，都“没有权利要求成为科学发现的唯一或占统治地位的形式”[①]。科学认识是归纳和演绎的辨证统一。首先，演绎要以归纳的基础作为演绎出发点的大前提是借助于归纳而得到的，从这个意义上说，演绎中包含着归纳，没有归纳就没有演绎；其次，归纳要以演绎作指导，人们总是在一般原理指导下对经验事实进行归纳，从这个意义上说，没有演绎就没有归纳，归纳和演绎在运用中相互依赖，相互渗透，并在一定条件下相互转化。恩格斯说：“归纳和演绎，正如分析和综合一样，是必然相互联系的。不应该牺牲一个而把另一个捧到天上去，应当把每一个都用到该用的地方，而要做到这一点，就必须注意到它们的相互联系它们的相互补充。”[②]

二者在科学认识所发挥的作用是整个科学认识中不可或缺、不可完全替代的。归纳方法主要是概括经验事实，演绎方法则是主要建立逻辑必然性的知识体系。归纳方法和概括加工有关，它处于科学认识的经验层次，它总是以观测和实验的结果为依据；演绎方法则是从一些作为原理的判断，推导出一个理论体系或结论，它处于科学认识的理论层次，因此，在科学研究中应将演绎和归纳结合使用，相得益彰。

---

①《马克思恩格斯全集》第 20 卷，第 571 页。

② 恩格斯：《自然辩证法》，人民出版社，1971 年，第 20 页。

现代的逻辑思维方法，特别是数量逻辑的发展，早就突破了早先演绎方法“三段论”的局限，向数学演绎法及数理逻辑法的方向发展。由于成熟的数学本身就是一个特殊的演绎系统，数学的推导规则具有确保真值传递的性质。因此，它们正在成为一种演绎推理的现成工具和新手段。

第三节　系统科学方法

一、系统、系统科学和系统科学方法

系统是指由相互联系、相互作用的若干要素构成的有特定功能的统一的整体。系统又称“体系”、“物系”或简称“系”。如物理学中的“物系”，化学中的元素周期系，天文学中的银河系、太阳系、河外星系等。

系统科学是探索系统的存在方式和运动变化规律的学问，是对系统本质的正确反映和真理性认识，是一个知识体系。系统科学的范围很广泛，已形成一个学科群。如系统论、信息论、控制论、运筹学、博弈论、协同学、耗散结构理论等，都属于系统科学。系统科学以数学、物理、化学、生命科学、工程技术、社会科学、思维科学等为背景，不同的系统理论侧重以上不同领域的系统为研究对象。例如，突变论以数学为背景，耗散结构以物理学和化学为背景，米勒的理论则以生命科学为背景，等等。

各门系统科学在其研究中，各自采取既互相联系，又各具特色的手段和方式。例如，系统论多采取系统分析与系统综合的方法；控制论采取控制、反馈、功能模拟、自动化技术等方法；信息论采取信息方法与反馈方法；耗散结构采取数学物理方法等。

系统工程是利用系统科学的理论和方法研究和解决各种工程问题的技术。它也包括在系统科学这一学科群中，属于其中应用

技术的层次。我国著名科学家钱学森，曾对系统工程的创立和发展做出了重要贡献。系统工程的重点在于探索工程规划、设计、管理的要素和过程，以创造最好效益。

系统科学（包括系统工程）的理论和方法，本身就是认识世界和改造世界的手段。系统科学方法，或简称系统方法，即按照系统科学的观点和理论，把研究对象视为系统来解决认识和实践中的各种问题的方法的总称。系统方法要求人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对象。系统方法主要包括信息方法、控制方法、反馈方法、系统分析方法、系统模型方法、系统决策方法等多种，常用的还有功能模拟法、黑箱方法、图式识别方法等。

系统方法要求人们把对象和过程视为一个相互联系、相互作用的整体，并且尽可能将整体做形式化的处理。系统方法所处理的对象，都是由种种关系和相互联系交织起来的网络画面，采用系统方法时，应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世界。例如，可以把对象抽象为信息的输出、转换、传递、接收的过程，或抽象为某种模型和图式。

二、系统科学方法的使用

（一）系统科学方法的使用原则

运用系统的观点研究和处理对象时，要把握以下一些原则：

1. 整体性原则

系统科学方法的整体性原则，是基于要素对系统的非加和性关系。当要素之间存在相干性、协同性的条件下，会有新质的突现。这种新质不是单个要素所具有的，而是系统整体才具有的。因此，在研究这类系统时，必须从整体出发，立足于整体来分析

其部分以及部分之间的关系，再通过对部分的分析而达到对整体的深刻理解。

整体性原则是系统方法的首要原则。它把研究对象视为有机整体，探索其组成、结构、功能及运动变化的规律性。它要求我们，无论是认识、研究、控制自然对象，还是设计制造人工系统，都必须从系统的整体出发，探索系统内外环境中和内外环境间的辩证关系。正如爱因斯坦说的："如果人体的某一部分出了毛病，那么，只有很好地了解整个复杂机体的人，才能医好他；在更复杂的情况下，只有这样的人才能正确地理解病因。"[①] 系统方法要求从种种联系和相互作用中认识和考察对象，使系统分析与系统综合、归纳和演绎、局部和整体、个别和一般都协调一致起来。

2. 动态原则

这是指系统方法的历时性原则。系统方法不能把系统看成是静态的"死系统"或"死结构"，而应看成是动态的"活系统"。虽然在科学研究中，人们经常采用理想的"孤立系统"或"闭合系统"的抽象，但是实际存在的系统，无论在其内环境的各要素（或子系统）之间，还是在其内环境与外环境之间，都有物质、能量、信息的交换与流通。从原则上说，实际系统都是活系统。热力学第三定律指出：绝对零度是永远达不到的。其实，即使在绝对零度，量子力学也已证明，还有"零点能"存在，构成系统的质点（要素）还处在振动中。所以系统总是动态的，永远处于运动变化之中。

系统要随着时间箭头而演化，大至太阳系、银河系、河外星系，小至"基本粒子"，都有一个产生和消灭过程，所以任何系统都经历着实在的历史。因此，在研究系统时，应当把系统发展的各个阶段统一加以研究，以把握其过程与未来趋势。

---

① 爱因斯坦：《爱因斯坦文集》第 1 卷，商务印书馆，1976 年，第 513 页。

3. 最优化原则

最优化原则亦称整体优化原则，这是使用系统方法的目的和要求。这一原则要求在研究解决问题时，统筹兼顾，大力协同，多中择优，采用时间、空间、程序、主体、客体等方面的峰值佳点，本着“多利相衡取其重，多害相衡取其轻”的精神进行综合优化和系统筛选，运用线性规划、动态规划、决策论、博弈论等有效方法，达到整体优化的目的。例如，统筹法中的网络图、关键路线，技术设计方案的可行性研究，效益经济学、效益管理学中最佳效益的追求等，都要运用整体优化的原则。

4. 模型化原则

采用系统科学方法，需要把真实系统模型化，即把真实系统抽象为模型，如放大或缩小了的实物模型、理论概念模型、数学模型、符号系统模型或其他形式化的模型等。

在采用系统的模型化原则时，除遵循模型方法的一般原则以外，还应使模型的形式和尺度符合人的需要和可能，适合人的选择。迄今为止，我们所知道的一切模型中，唯有一种模型与人的自然尺度最接近，这就是用人的 206 块骨头构成的人的骨骼模型。其他不符合人的尺度和认知需要的事物，要建模型，就需进行这样或那样的“人格化”，以适合人的要求。

对于复杂系统，需在系统分析的基础上，适当地采用模糊方法，经适当简化和理想化，才能建立起系统模型。一旦建立起系统模型，就可以进行模拟实验，运用电子计算机进行系统仿真。模型化原则是采用系统方法时求得最优化的保证。整体性原则、动态性原则、最优化原则、模型化原则，是运用系统方法的基本原则。前两个是基础，第三个是目标，第四个是手段。系统方法的广泛应用，推动了自然科学、社会科学、应用技术、医学、环境科学的新进展，同时也带来了人们思维方式的变革。

（二）系统科学方法的作用

系统科学方法在自然科学、技术科学、社会科学、环境科学、医学、管理科学、军事科学等多种领域，都有着极为广泛的应用。当代，无论是处理自然系统还是社会系统、技术系统，都广泛地采用系统科学方法，并收到较好的效果。

系统方法的作用主要有以下三点：

1. 系统方法是认识、调控、改造、创造复杂系统的有效手段

系统方法是扬弃了传统科学的简单性原则而产生的。20 世纪 30 年代以前，科学在研究复杂事物和复杂过程时，主要采用从实体上进行还原的分析组合方法，“试图在所有复杂的现象中找到共同具有的物质实体（譬如像物质性的原子），把它作为差异的共同基础”，[①] 至于这些实体所形成的复杂关系则很少受到重视，基本上用线性因果关系加以处理。这就把复杂问题不适当地简单化了。而事实上，世界上的事物和过程是由多种因素或子系统的复杂相互作用所构成的，所以需要系统的思考。在这方面，系统科学方法提供了解决问题的钥匙。

2. 系统方法为人们提供了制定系统最佳方案以实行优化组合和优化管理的手段

在人类的活动中，总需要存优汰劣、趋利避害，通过这些追求，推动人类的进步。在认识自然改造自然中，系统方法可以帮助人们制定最佳方案，实行优化组合与管理，取得尽可能好的效益，用最少的投入，取得最多的功利。

3. 系统科学方法为人们提供了新的思维模式

它突破了只侧重分析的机械方法的栏栅，指导人们从总体上进行思维，探索科学技术发展的新思路，建立综合学科，交叉学科和边缘学科，促进自然科学与社会科学的统一，促进科学家和

---

① 拉兹洛：《用系统论的观点看世界》，中国社会科学出版社，1985 年，第 15 页。

哲学家的联盟，帮助人们打破两种科学、两种文化的界限，建立统一的世界图景和文化图景，建立起系统的自然观、科学观、方法论和系统的人类社会图景。

（三）系统科学方法的使用步骤

系统科学方法起源于通讯工程以及运筹学等学科。它在使用模拟方法、进行复杂计算以及大量数据处理时，借助于电子计算机，并和人、财、物的管理相结合，能出色地处理规划、计划、预算技术、预测技术等复杂问题。近年来，它已大量被应用于以计算机为基础的信息系统和控制系统，许多地区还用于民用事业的管理和城市规划。系统方法目前所采用的“流程图”，从本质上看还是定性的，而一些精密的系统方法则尽可能地构造数学模型，即用一组方程来定量描述系统。更多的是采用解析几何与图表方法，用一组图表或曲线定量或半定量地描述对象，这种方法虽不够严格，但却能简捷地说明问题，所以应用十分普遍。

应用系统方法的主要工具和手段有：概率论、数理统计、算法论、系统逻辑、排队论、对策论、线性规划、控制论、群体动力学、模拟、信息论、伺服机构理论、人—机工程等。在处理有大量随机过程的系统时，还要采用非线性规划、决策论、计量经济学原理以及通信理论方法。

系统方法已成为现代科学技术发展所广泛应用的方法。目前，发达国家和地区都应用系统方法去解决科技项目的开发、科研系统的管理、科学技术向直接生产力的转化等多方面的问题。虽然在这方面没有什么共同的规则，但一般认为应分以下五步进行：

（1）对要解决的问题进行初步系统研究。

（2）编制计划草案。

（3）对计划进行论证、评估。

（4）进行正式科学研究。

（5）对研究成果进行评价、投入实际使用或生产。

三、常用的几种系统科学方法

系统科学方法种类很多，如系统分析法、信息方法、反馈控制方法、动态规划方法、综合评判法、分解—协调法、黑箱方法、功能模拟法等。下面仅讨论其中重要的几种。

（一）系统分析方法

系统分析方法是为确定系统的组成、结构、功能、效用，而对系统各种要素、过程和关系进行考察的方法。对系统的这种分析最早应用于化学定性分析，后来拓展到定量分析和结构分析，在系统论产生之后经移植和扩展，充实以现代内容，从而形成了系统分析方法。

首先，系统分析方法要求人们准确地记录下系统各要素和过程各阶段的数据，然后，运用这些数据对系统进行研究。一般是把有关数据排列在流程图上，并在做出初步设计决策前，仔细审核这些数据。

其次，根据流程图上的数据设计各种方案，并根据目标的要求，比较、选择方案。

有些管理问题，在进行系统分析时，可以用图论的、数学的、物理的系统模型，进而运用计算机对模型进行分析。

实际上，我们可以把系统分析看做是把一个庞大的任务置入计算机的第一阶段。它要分析研究整个任务以及任务的各种因素，估计有关工作，力图把大系统化为子系统，把全过程划分为若干子过程，深入研究，找出其规律性和解决问题的办法。系统分析方法广泛应用于计算机硬件的研制和软件的开发，技术产品的仿制、改造和革新，环境科学和生态系统的研究，城市的规划和管理等等方面。

（二）信息方法

所谓信息论方法就是从信息观点出发，把研究对象及其运动

过程抽象为信息的传输转化过程，通过对信息的获取、传输、加工、处理、利用等过程来认识对象的本质和规律，进而控制、改造对象的科学方法。

1. 信息与信息论

信息就本体论意义而言，是标志事物存在及其关系的属性。但是，离开主体的信息是“自在的信息”这种信息对认识主体是无意义的。因此，“自在的信息”，只有通过一定的方式，传递给认识主体，变成“为我的信息”，才有认识论意义。所以，信息就认识论意义而言，是认识主体接收到的、可以消除对事物认识不确定性的新消息、新内容、新知识。信息须从其发送者发出，以信号的形式在信道里传递，到传递终端，再转化成信息并由其接收者接收。因而，从传递过程，即从信源（信息发送者）经过信道（信息的传递途径）再到信宿（信息的接收者）的关系来看，信息又是主客体之间认知与被认知的联系和关系，它是事物普遍联系中的一种特殊的联系。

从 1948 年申农等人创立信息论时起，它就逐步成了人们认识和改造世界的普遍方法。信息论本身采用的方法主要是概率统计数学方法，并以电子计算机为工具。例如，可以把对事物认识的完全无知看成获取的信息为零，完全认识则为 1，这样人们认识的完全确定性和完全不确定性的差别就规定为 [0，1]。这就成了不确定性与确定性的定量化基础。

申农还提出了计算信息量的公式：如果一个信源，可以产生的独立消息数为 n，各消息的概率分别为 p_1，p_2，p_3，……，p，则该信源具有的信息量为

$$H = -K\sum_{i=1}^{n} p_i \log p_i$$

式中，K 是常数，当对数取以 2 为底时，则 $K=1$；H 为信息量，其单位为比特。信息是不守恒的，并不因为信宿获得了信息而使信源失去相应的信息。信息还可以共享、传递、贮存、转换，同

时还有相对于物质、能量的独立性。信息和熵、序参量、对称性、结构等普遍概念有着内在联系。一般来说，信息量越大，熵就越小，序参量就越高，系统就越有序，对称性也就越小，结构性就越强，组织化程度就越高。反之，信息量越小，熵就越高，序参量就越低，系统就越无序，对称性就越强，结构性就越差，组织化程度就越低。

2. 信息方法的使用

信息理论可以转化成方法。信息方法是现代通信理论、控制论、自动化技术、电子计算机技术的综合运用。它运用信息理论，把研究对象抽象为信息及其变换过程，通过信息的获取、传输、加工、处理、利用、反馈等过程，来揭示对象的本质和规律，进而认识对象和调控改造对象。

应用信息方法时，首先要把握信息的传输过程，了解信源、编码器、信道、解码器、信宿的联系。申农不仅把信息定量化，还把一切信息过程抽象为下列形式：

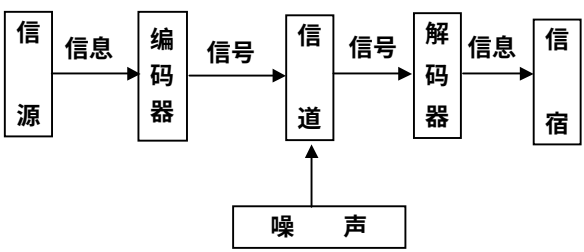


图 11－1　信息转输过程

这个图式说明：信源发出信息，经编码器转化成信号在信道中传输，传输中会受到噪声的干扰，所以在信息系统中应有抗干扰设备，信号进入解码器以后，重新转化为信息，被信宿接收。信息传输的这个普遍过程，是信息方法的基础。

采用信息方法，主要是通过获取、传输、加工处理和利用信

息来认识改造对象。

（1）信息的获取。即根据研究目的，运用现代技术手段，取得研究对象。例如，利用卫星获得的地球遥感照片，里面包括有气象、水文、地貌、地质构造、矿藏等多层次、多类型的信息。我们可以根据不同的研究目的，提取不同的信息。

（2）信息的传输。包括空间传输和时间传输两种形式。空间传输可以跨越大洋大洲，把千里以外的人们联系起来；时间传输可以通过文字、照片、录音、录相，进行“信息储存”，让信息沿时间箭头传递下去，使知识一代一代地得到继承。

（3）信息加工处理。即把信息纯化、净化，并对信息进行归纳演绎、分析综合的理论加工，从而找出本质的规律性的东西。

（4）信息的反馈。采用信息方法，一次性地对信息进行获取、传输、加工处理还不够。为了把握事物的本质和规律，还需通过信息反馈，反复地获取、检测、加工信息，从而不断深入地认识和改造世界。

信息的输入、检测、加工、利用、反馈、输出的流程图大体如图 11－2 所示：

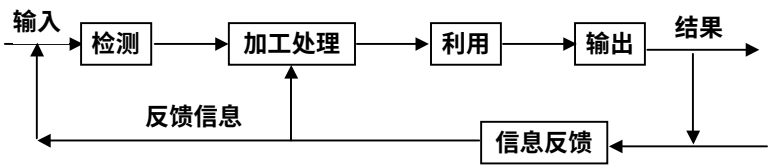


图 11－2　信息方法流程图

信息方法的流程图虽是定性的，但它可以简要地说明该方法的基本步骤：首先对输入信息进行检测，达到符合目的的净化，然后经加工处理，再进行利用，最后的输出分两支，一支是结果，另一支进行信息反馈，从而循环往复，提高水准。

（三）反馈控制方法

所谓反馈控制方法是指把反馈与信息结合起来，通过信息的传输、处理与反馈达到对系统的控制。反馈控制方法也是系统科学和系统工程中常用的方法，其应用范围也越来越广泛。

1. 反馈与控制

反馈是从电磁学中的反馈电路引伸出来的概念，指系统的输出反过来作用于输入，从而影响再输出。如果加强了再输出，称为正反馈；如果减弱了再输出，则称为负反馈。从哲学方法论的高度看，反馈是因果关系中结果对原因的反作用。

控制是指对系统的调节过程。在实际过程中，往往采用反馈手段对系统进行调节。这种方法称为反馈控制方法。

2. 反馈控制方法的使用

使用反馈控制方法，要由控制器、执行机构、控制对象、反馈装置等四个主要部分构造成一个系统，并采用信息技术对系统进行不断的调整，从而使系统达到某种特定的状态，或按规律运行。

反馈控制方法的一般原理，可用反馈控制图（图 11－3）表示如下：

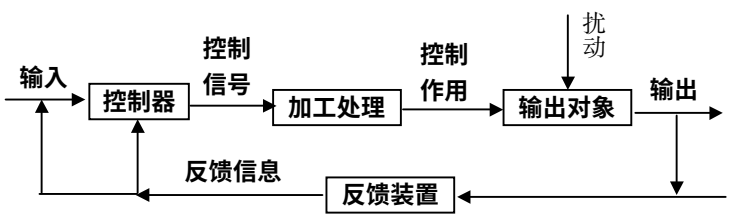


图 11－3　反馈控制图

所有的反馈控制方法，都是按这个基本图式实现的。无论是人—机系统还是生命系统，都按上述图式完成其行为。在技术中，从恒温设施、给排水系统、工业生产线的自动控制，到鱼雷、导弹、现代航天运载工具的自动控制，都采取这种方法。人的行为，

也是通过一系列的反馈控制完成的，这个系统出了毛病，就会出现目的振颤，或根本达不到目的。

反馈控制方法有以下意义：① 反馈控制有很大的普遍性，用它可以研究人体、工程技术、人类社会等多种领域的问题。② 反馈控制和系统方法、信息方法、自动化技术、电子技术结合起来，将成为打开现代技术之门的强有力的手段。③ 反馈方法从思维方法上回答了“先有鸡，还是先有蛋”的古老悖论，提出了双向因果链的循环圈。它和艾根提出的超循环理论的学术思想非常一致，都有利于人们从线性因果关系中解脱出来。这不仅丰富了因果关系的哲学范畴，而且也丰富了科学技术方法论。

（四）黑箱方法

黑箱方法简言之就是通过探索功能而推测结构的方法，它通过考察黑系统的输入和输出的动态过程，即研究其功能或行为方式，以推测和探求系统内部结构和运动规律。

1. 黑箱

黑箱又称黑系统，指内部要素和结构尚不清楚的系统。许多系统的内部组成和结构我们都无法了解，或不便于直接了解，这样的系统通常被称为黑箱。对于黑箱，我们只能了解它的输入和输出，而没有、不能或不便直接剖析内部。

黑箱方法的根据是结构与功能的内在联系。结构深藏于内，功能表现在外，结构是功能的基础，功能是结构的表现，功能对结构也有反作用。我们通过研究系统的功能，可以推测或模拟其结构，进而认识其结构。

2. 黑箱方法的使用

运用黑箱方法，主要采取以下步骤：① 通过研究输入和输出研究黑箱。② 系统分析功能，确定几个可供选择的黑箱模型。③ 对黑箱模型进行检验和选择。④ 阐明黑箱的结构和运动规律并加以应用。以上方法可以大体用图 11－4 表示。

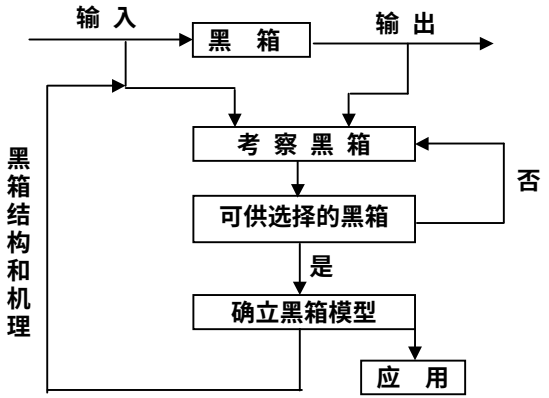


图 11－4　黑箱方法示意图

黑箱方法实质上是由功能探索结构的方法与模型方法的联合运用。它通过研究系统的输入与输出来考察黑箱，模拟建立几个可能的模型，从中择优而用。既可用以说明原型的结构和规律，也可对原黑箱的模拟模型加以实际应用。

黑箱方法有如下重要意义和作用：① 它提供了研究复杂系统和不能打开或不便打开的黑系统的研究方法，这对人脑、黑洞之类系统的研究具有重要意义。② 科学面对的原初系统，一般都是黑箱，如早期的人体解剖学、细胞学的对象。随着使用黑箱方法的初步研究，可以使黑系统逐渐转化成灰系统，再进一步可转化为白系统。人们的认识就是一个不断地接触、研究黑箱和转化黑箱的过程。所以，黑箱方法有重要的认识论意义。

当然，黑箱方法只研究系统的外部行为，有一定的局限性，它需要与其他方法相配合，才能最终把黑箱打开。

（五）功能模拟方法

探索系统的结构与功能并加以实际应用的又一方法是功能模拟法。所谓功能模拟法，是指在暂不考虑系统内部组成要素及结

构的条件下，应用模型来再现原型功能的方法。

1. 功能相似

两个系统功能的相同或相似是功能模拟的基础。所谓功能相似是指两个系统内外联系和关系中表现出来的特性和能力的指向、效果都可以互相通约。

一般来说，两个系统的结构与功能的相互关系是比较复杂的，存在着同构现象、异构现象、同能现象、异能现象、同构同能、同构异能、异构同能、异构异能等多种关系。同构现象指两个系统内部要素及其关系一一对应。异构则非一一对应。功能模拟法则立足于系统间的同能现象，即系统表现出来的特性和能力的相互对应。

2. 功能模拟方法的使用

采用功能模拟法，要尽量做到使模型与原型在功能上相似，但不必去追求模型在结构上与原型相似。为此，第一，要系统研究原型的功能，把握其主要内容；第二，确立与原型功能相似的模型；第三，进行模拟，成功以后用以说明原型的功能，并加以应用。

功能模拟法应用很广，对科学技术和生产管理都有重要意义：① 可以模拟不能接触的事物的功能，如危险环境、宇宙天体、战争机器等。② 运用功能模拟法可以进行脑科学与思维科学的研究，制造第五代计算机，研制语言翻译机等。③ 用于仿生学研究，发展新型技术。

功能模拟法由于对结构的忽视，使它有一定的局限性，因此，需要与其他方法共同运用，综合研究，才能更好地发挥其作用。

（六）自组织理论方法

非平衡自组织理论提出了许多新的科学思想和科学方法。在这些思想和方法中蕴涵着许多重要的方法论和启示，它们现已引起各门科学的重视。

组织和自组织是非平衡自组织理论的基本概念。把握这些基本概念和理论，有助于了解非平衡自组织理论的方法。

1. 组　织

一个系统的要素按着特定的指令，形成特定的结构或功能的过程叫组织。要素形成组织的指令，可能来自系统的内部，或者就是内部一个要素，也可能来自外部。如工厂里班组长把一个班组的人员组织起来完成某件工作，组织的指令来自内部的班组长；班组按着上级的指令组织起来完成工作，指令则来自系统外部。

组织的形成，可以表现为时间结构、空间结构、或时空统一结构。系统沿着时间箭头方向出现有组织有节律的现象，称为时间结构，如生物钟、各种周期振荡；系统各要素在空间非均匀的分布状态称为空间结构，如晶体结构、建筑结构；系统要素既表现为时间节律又表现为三维空间的非均匀分布状态称为时空结构，如树木的年轮，某些海螺的日轮、月轮、季轮、年轮等。

组织一旦形成，就会发挥特定的功能。

2. 自组织

一个系统的要素按彼此的相干性、协同性或某种默契形成特定结构与功能的过程称为自组织。自组织不是按系统内部或外部的指令完成的，而是根据事物运动变化的规律和特定条件完成的。例如，银河系、太阳系组织的出现，星际分子的出现，有机生命的产生等，并不是上帝有目的的安排，而是自然界自发组织起来的。

自组织的概念有重要的理论意义和实际意义。它可能是理解天体、太阳系、地球、生命等“四大起源”的钥匙。也是解决达尔文与克劳修斯的矛盾、理解有序与无序的矛盾、研究激光技术和生物工程、认识昆虫和动物社会、了解某些生物的行为、探索包括湍流在内的复杂性问题的工具和手段。

组织和自组织在形式和状态上是一样的，但二者产生的动力

和原因不同，二者的范围也不同。前者需要人的能动性和目的性去干预和指挥，后者则不一定。因此，后者的范围要比前者宽。

3. 自组织理论

非平衡自组织理论也是一个学科群，包括许多门类。其中，最具代表性的有耗散结构理论、协同学、超循环理论、生命系统论、资源物理学、突变论等。

各种非平衡自组织理论尽管背景和对象有很大差别，但它们都试图解决一个普遍性的问题，即有序与无序相互转化的机制与条件的问题。

非平衡自组织、理论都要回答一个混乱无序的系统，在什么条件下，通过什么样的方式，会形成有序状态。例如，无序的自然光如何能转化成激光，无序运动的液体如何会出现贝纳德花纹，无序碰撞的化学离子或分子如何会出现有序的化学振荡，等等。

自组织理论认为：开放系统，在远平衡的非线性区，通过引进负熵和正反馈循环，经涨落或起伏，会从无序状态产生有序结构。耗散结构理论、协同学、超循环理论等，都从不同的侧面研究过这种情况。

从无序走向有序的机制和条件，只是非平衡自组织理论研究的一个方面，问题还有另一个方面，即从有序走向无序。非平衡自组织理论，还试图回答这样的问题，即有序运动的系统，在什么条件下，通过什么方式会形成无序状态。例如，有序运动的平流如何能形成湍流，有周期、有节律的运动如何会丧失周期和节律，可以用动力学规律处理，并能决定论地计算未来的物理过程如何会变成混沌状态，等等。

参考文献

[1] 爱因斯坦. 爱因斯坦文集. 第 1 卷. 北京：商务印书馆，1976

[2] 马克思等. 马克思恩格斯选集. 第 3 卷. 北京：人民出版社，1972
[3] 国家教委社会科学研究与艺术教育司. 自然辩证法概论. 修订版. 北京：高等教育出版社，1991
[4] 列宁. 列宁全集. 第 38 卷. 北京：人民出版社，1972
[5] 拉兹洛. 用系统论的观点看世界. 北京：中国社会科学出版社，1985
[6] 刘端直. 自然辩证法概论. 成都：电子科技大学出版社，1993
[7] 刘大椿. 科学技术哲学导论. 北京：中国人民大学出版社，2000

第十二章　创造性思维方法

创造性思维是人类思维形式中最精彩、最迷人、最有价值的部分，这种以非形式化、非理性为特征、以非逻辑思维方式为表现的思维方式，为科学技术的进步和人类社会的发展提供了永不枯竭的动力。创造性思维往往不受或较少受思维传统和范式的束缚，超越常规思维。创造性思维方法就是要探索创造性思维过程的形式、特点和规律。

实践证明，创造性思维无时不在，无处不在。正如中国著名教育家陶行知所言：“处处创造之地，天天创造之时，人人创造之人”。因此，探讨创造性思维和创造性方法，从宏观上讲，不仅有助于科学的进步，而且有助于社会的进步；从微观上讲，不仅有助于认知主体的思维水平的提高，也有助于认知主体通过创造性思维获得更多的创造性的知识和成果。

第一节　创造性思维方法概述

一、创造性思维方法的含义和特点

（一）思维的含义

思维是一种极为复杂的心理现象，具有许多重要的属性或性质。人们对于什么是思维，至今仍没有形成一致的看法。不仅不同门类学者从不同学科角度出发对思维有不同的认识，而且同学科的研究者如果站在不同角度也会对思维产生不同的看法。当前，我国心理学界一般认为，思维是指理性认识，或指理性认识的过

程，是人脑对客观事物能动的、间接的和概括的反映。

（二）思维的分类

由于人们理解思维概念的角度不同，因而对于思维的分类也不一样，于是形成了不同的分类方法。

1. 按思维的方式进行划分，思维可分为以下几类

（1）直观行动思维。又叫动作思维，是指通过直接的动作或操作过程而进行的思维。发明创造过程中的某些实验、操作或制作阶段，均包含有一定的动作思维。

（2）形象思维。指借助于具体形象从整体上综合反映和认识客观世界而进行的思维。形象思维常表现出较高的创造性。

（3）逻辑思维。又叫抽象思维，是指以概念、判断、推理的方式抽象地、从某方面条分缕析地、符号式地反映和认识客观世界而进行的思维。

（4）辩证思维。指按照辩证规律而进行的思维。辩证思维注重从矛盾性、发展性、过程性考察对象和从多样性、统一性把握对象。

（5）灵感思维。是指凭借直觉而进行的快速的、顿悟性的思维。

2. 按思维的角度或方向进行划分，思维可分为以下两类

（1）单一思维。指从某一角度、沿着某一方向所进行的思维。

（2）系统思维。指从多个角度、沿多个方向、在多个层次上进行的思维。

3. 按思维的结果进行划分，思维可分为以下两类

（1）再现性思维。又叫常规思维，是指思维的结果不具有新颖性的思维。它一般是基于利用已有的知识或使用现成的方案和程序进行的一种重复性思维。

（2）创造性思维。指思维的结果具有明显新颖性的思维，或者说是产生新思想的思维活动。

还有许多种关于思维的分类方法，在此就不一一列举了。

大体了解思维分类的情况，对于进一步理解创造性思维的特点和本质十分有利。

（三）创造性思维的定义和特点

创造性思维就是能产生新颖性思维结果的思维（活动）。这里所指的新颖性，当然包括绝对新颖性和相对新颖性两类。新颖性程度越高，那么其创造性就越强。

从研究人类思维的角度看，创造性思维是一种高度发展的人类思维形式，是人类在认识和改造客观世界的活动中有创新意义的思维。创造性思维有别于一般思维的主要特点有六个方面：

1. 思维成果的创新性

也叫首创性，是指具有生成、产生、建立或制造出世界上前所未有的、独一无二的东西，科学创造只承认第一，不承认第二，不承认模仿。所谓创新就是在科学活动中发现新事物、新现象、新问题，提出新规律、新概念、新原理，建立新理论、新假说、新模型，探索新方法、新工具、新途径。集中体现的是一个“新”。

2. 思维形式的反常性

这种反常性经常体现在思维发展的突变性、跳跃性或逻辑的中断性。因为，创造性思维主要不是对现有概念、知识进行循序渐进的逻辑推理，而是依靠灵感、直觉或顿悟等非逻辑思维形式，另辟蹊径、超越常规、独树一帜地提出与常人不同的思维角度和认识方式，揭示出与旧理论、旧思想和旧方法截然不同的新理论、新思想和新方法。

3. 思维过程的辩证性

是指它既包含有抽象思维，又包含有形象思维；既包含有逻辑思维，又包含有非逻辑思维；既包含有发散思维，又包含有收敛思维；既包含有求异思维，又包含有求同思维。两者之间分别构成对立面，既相互区别、否定、对立，又相互补充、依存、统

一，由此形成创造性思维的矛盾运动，推动创造性思维的发展。思维过程的这种辩证性又经常体现为创造性思维的综合性，即创造性思维实际上是各种思维形式的综合体。

4. 思维空间的开放性

主要是指创造性思维需要从多角度、多侧面、全方位地考察问题，而不再局限于逻辑的、单一的、线性的思维，由此形成了发散思维、逆向思维、侧向思维、求异思维、非线性思维及开放式思维等多种创造性思维形式。思维成果的独创性是创造性思维的直接体现和标志，常常具体表现为创造成果的新颖性和唯一性。

5. 思维主体的能动性

主要是指创造性思维是创造主体的一种有目的的活动，而不是客观世界在人脑内简单的、被动的直接反映，充分显示了人类思维活动的能动性和主动性。思维主体要有好奇心、惊讶感、兴趣、激情，这些是科学研究和科学创造的基础。科学创造过程认识主体和思维主体的主观能动性是非常重要的。

6. 思维结果的现实性

是指创造的结果具有实用价值或现实意义。现实中每个人都会有新颖的思想、独特的创意，这些想法和念头如果不能产生有益于社会的实际效果或形成最终的科学理论，提供能进行科学证实的新知识，产生新颖的科学和技术产品，就不能看成是科学创造。只有是在人类认识的特定阶段提供了前所未有的新知识、新设想和新方法，便可看做是科学创造或创新。鼓励创新的同时，实际上也应该承认存在失败的可能。科学创造并不是一蹴而就的。

二、创造性思维方法与逻辑思维方法的区别与联系

（一）逻辑思维的含义及其与创造性思维的逻辑关系

逻辑思维，是以思维方式为划分依据对思维进行分类而划分

出的一类结果，即以一定的逻辑规律和逻辑判断的方式进行的思维，叫做逻辑思维。这里所说的逻辑规律，包括逻辑学上的同一律、矛盾律和排中律等，而逻辑判断则包括其中的假言判断、选言判断、联言判断等以及若干定律、公理、公式等。

既然逻辑思维与创造性思维都属于思维的范畴，两者又分别是根据不同标准对思维进行分类的产物，那么它们的逻辑关系就应该是不互相排斥的交叉关系（按逻辑规则，只有依据同一标准划分出来的不同结果才是互为排斥的关系）。

逻辑思维与创造性思维有交叉关系，即有的逻辑思维是创造性思维，有的逻辑思维不是创造性思维；有的创造性思维是逻辑思维，有的创造性思维不是逻辑思维。逻辑思维与创造性思维有一部分互为排斥、有一部分互相重合。具有新颖性思维结果的逻辑思维显然就是创造性思维。

（二）逻辑思维与创造性思维的一般区别

逻辑思维与创造性思维是相互交叉关系，有一部分逻辑思维与一部分创造性思维是相互排斥的。这些区别主要表现在思维形式、思维方法、思维方向和思维基础等方面。

1. 思维形式方面的区别

逻辑思维的表现形式，常常是从概念出发，通过比较、分析、判断、推理等形式从而得出逻辑的结论。因此，逻辑思维一般都是在现有知识和经验范围内进行的，只要概念正确、判断推理无误，结论一般也会正确。创造性思维则不同，它一般没有固定的程序，其思维形式大多是直观、联想或灵感，等等，因此，创造性思维往往会产生多个可能的结果，其中有的结果是正确的，有的结果则是错误的。

2. 思维方法方面的区别

逻辑思维的思维方法，一般是指逻辑中的比较和分类、分析和综合、抽象和概括以及归纳和演绎；而创造性思维的思维方法，

则主要是一种猜测、想像或顿悟。因此，从逻辑思维角度来看，创造性思维常常显得‘根据不足”、“不合情理”，乃至‘荒唐至极”。然而，正是这种“不合情理”的猜测、想像等思维方法，才会突破逻辑思维的框架、突破原有知识的束缚从而产生出创造的火花。牛顿所说的话“没有大胆的猜测就不可能做出伟大发现”，实际上是在强调创造性思维的思维方法。

3. 思维方向方面的区别

逻辑思维一般是单向性思维，即一般所说的从概念到判断、从判断到推理，最后得出正确结论。创造性思维的思维方向则是很多的，所以又叫多向性思维。比如，创造性思维的方向有逆向思维、侧向思维、平行思维、发散思维，等等，这就导致了创造性思维结果的多样性。

4. 思维基础方面的区别

逻辑思维的思维基础主要是建立在现成知识和已有经验之上的，离开现成知识和已有经验，逻辑思维便无法进行。创造性思维则是从猜测、想像出发的，同时又没有固定的思维方式，所以它虽然也需要有一定的知识做基础，但并不完全依赖于知识。特别是在思维初期阶段，它常常不需要用多少知识做基础，而且创造性思维在整个思维过程之中还可反过来补充有关知识，这即是“直接创造”的思维根据之所在。

（三）逻辑思维和创造性思维在思维活动中的联系

虽然创造性思维是人类创造活动的核心，是创造活动中不可缺少的部分，然而创造活动毕竟是一个完整的活动过程，因而仅仅依靠创造性思维也是难以完整地完成创造活动全过程的，甚至是难以完整地完成其中的思维活动全过程的。这是因为，创造活动的思维过程之中必然时时有逻辑思维的介入，同时这种逻辑思维也必然要与创造性思维发生一定的联系。

第一，人类的知识和经验总是不断发展的，在发展的某一阶

段，当人类的知识和经验积累到一定程度时，就会导致原有逻辑的矛盾，而要解决这些矛盾，就需要非逻辑思维特别是创造性思维来加以完成。

第二，创造性思维一旦突破原有的逻辑，就必然会在更高层次上上升为新的逻辑思维，并把新的知识、新的发现纳入到已知体系之中，继而作为已有知识形式而保留下来。如果创造性思维不在更高层次上与逻辑思维相融，那么这些新的发现、新的经验、新的突破就不会上升为知识和理论，因而就不可能广泛地指导人们认识世界和利用世界。比如，19 世纪想制造飞机的人，大多数都被人视为“疯子”或“狂人”。而且，当时的物理定律和数学公式似乎也都是为“飞机不可能飞上天”服务的，以致连一些大科学家、大发明家也都“逻辑地”论证起飞机不可能飞上天。然而，在飞机发明成功以后，这些“异想天开”的创造性思维很快便上升到了新的逻辑思维高度并继而转化为新的知识。现在的知识和逻辑不仅能够正确地说明飞机可以在天空飞行，而且还可进一步论证其可靠性和稳定性是如何之好。

因此，由逻辑思维→创造性思维→更高层次的逻辑思维→更高层次的创造性思维……这样无穷地发展下去，便构成了人类“常规活动→创造性活动→更高层次上的常规活动→更高层次上的创造性活动……”的螺旋式上升发展。这就是逻辑思维和创造性思维在人类创造性活动中的密切联系。这也是人类认识自然和利用自然的一条基本规律。

（四）逻辑思维在创造中的作用

既然逻辑思维与创造性思维不是简单的排斥关系，那么逻辑思维在人类的创造活动中就必然具有一定作用。这些作用可以表现为正面的积极作用和负面的局限作用两种。

1. 逻辑思维在创造中的积极作用

（1）有时可以发现问题——发现问题是一切创造活动的起始

点。能够发现问题，对于人们的创造活动来说极为重要。发现问题的方法很多，通过逻辑思维发现问题即是一条重要途径。

逻辑思维的属性之一，是其推理严密和结论正确。如果结论是正确的，那么从道理上讲应当允许人们从不同角度、不同路线进行逻辑上的论证并得出相同的正确结论。因此，如果沿着某条严密的逻辑思路而得不到预定的正确结论，那么这条逻辑思路就可能会导致问题的发现。例如，关于恐龙灭绝原因的星体大碰撞假说，虽然它风靡一时且能解释较多的现象，但最终仍因其无法解释“为什么在碰撞之前的数千万年之中恐龙就已变得越来越少”的现象而使得“碰撞论”一直无法画上圆满的句号，其中必然还隐藏着更深层次的问题。对此人们还需要做进一步的探索。

另外，通过逻辑检查定义亦可发现不少待创造的问题。一门学科中较完善的定义应该符合逻辑学上定义的定义。如果用逻辑学中的定义标准来检查各种学科的定义就会发现，凡不符合逻辑学上定义之定义的地方必然存在某些问题。

（2）有时能够创造性地解决问题——有些创造性问题的解决完全需要逻辑思维来完成。门捷列夫准确地“发现”新的未知元素，勒维烈“通过严密的数学计算”而在纸上“发现”海王星，都生动说明逻辑思维在创造性解决问题中的重要作用。其实，我们反过来考虑一下，又有哪一个成功创造成果的取得是不合乎逻辑的呢?所以说，任何一个创造问题的成功解决都离不开逻辑思维的作用，它们都必然要合乎一定的逻辑，当然，它只不过是当时人们尚不知道的更高层次上的逻辑而已。

（3）在更高层次上总结创造性思维结果——创造性思维的结果大多是一些可能性结果，其中有一些是正确的、可行的，也有一些是不正确的或不合适的、不可行的。那么，哪些是正确而可行的、哪些又是不正确而不可行的呢?这在很大程度上还要依靠逻辑思维来分析、判断和上升。即使正确的创造性思维结果，最后也要靠逻辑思维来总结和提高，离开了逻辑思维，人们的思考是

不会集中的，也是不会最终形成创造性成果的。

2. 逻辑思维在创造中的局限性

由于逻辑思维的起点或者说它的思维载体是已有知识或已有经验，因而其思维结果一般难以产生新颖的创造性，因此，许多大科学家、哲学家认为逻辑思维一般不能取得创造效果。此外，如果已有知识本身有误，或已有经验略有偏差，那么以其为正确前提所做出的逻辑思维则越是严密其结果反而就越不正确，再加上人们对逻辑思维的盲从，便越发相信那些不正确的结论，从而阻碍了自己创造才能的发挥。一些新发明产品、新设计、新理论及新方法等在开始时常常遭到人们的怀疑和否定，主要原因即在于多数人均习惯于用现有逻辑思维方法对新生事物进行思考和判断的缘故。

由此可知，一个习惯于逻辑思维的人往往很难打破旧的框框，很难越出思维定势，从而难以产生新的思想。加之逻辑思维只是一种符合逻辑规律的思维，而符合逻辑规律与符合事实并不完全是一回事，如逻辑学中的“悖论”就是符合逻辑规律但不符合事实的典型，这些都不利于人们的创造。

此外，逻辑思维都是借助语言工具进行的，由于语言本身的不严密性也会使本身严密的逻辑思维产生许多不严密之处，致使逻辑思维过程漏洞百出，常常引起人们的误解和影响人们的创造。

三、创造性思维的主要形式

既然创造性思维是能产生出新颖性思维结果的思维，那么创造性思维的形式就不可能只限于一种。相反，也不能简单地认定某一种思维形式只能形成或不可能形成创造性思维，比如创造性思维既可由联想思维的形式形成，亦可由灵感思维的形式形成；反之，联想思维和灵感思维所产生的结果也并不全部都是新颖的，因而它们也并不完全都是创造性思维。

所以说，并没有哪一种思维形式全部能产生创造性思维，也没有哪一种思维形式全部不可能产生创造性思维。

（一）直观思维形式

所谓直观思维，就是人们不经过逐步分析而迅速对问题的答案做出合理的猜测、设想或顿悟的一种跃进式思维。直观思维着眼于宏观地把注意力放在事物的整体上，它与逻辑思维微观地把注意力放在事物的各个部分上是很不相同的。

与爱迪生合作的青年数学家阿普顿刚到爱迪生的研究所时，爱迪生想考考他的能力，于是给了他一只实验用的灯泡，叫他求一下灯泡的容积。一小时后，爱迪生去检查，发现阿普顿正忙着测量计算。爱迪生说：“要是我，就往灯泡里灌水，然后将水倒入量杯，就知道灯泡的容积了。”阿普顿的计算才能（逻辑思维能力），无疑是令人钦佩的，然而在这个问题上他所缺少的恰恰就是像爱迪生那样的直观思维（能力）。

直观思维有利于人们从一些偶然事件中抓住问题的实质。例如，古希腊学者阿基米得在澡盆里沐浴时，看到身体入水后水面位置上升并缓缓向外溢出的现象，通过直观思维，他便想到了揭穿“金冠之谜”的方法，并继而深入到问题的实质，发现了著名的阿基米德定律。从根本上说，偶然的现象是难以预料的，因而也是难以用通常的逻辑思维解释和判断的，但直观思维却可以发挥作用，其结果常常产生突破、形成飞跃而导致创造。

直观思维是一种重要的创造性思维形式。直观思维虽然能在创造活动中起很大作用，但由于它是一种跃进式思维，其整个思维过程又是在极短时间内完成的，以致难以用逻辑思维语言逐步加以分析和表述，因此，直观思维的结果往往带有一定局限性和虚假性，并且经常会导致一些错误结论。

（二）想像思维形式

想像思维也是创造性思维的主要表现形式之一。法国思想家

伏尔泰曾精辟地说：“想像力是每个有感觉的人都能切身体会的一种能力，是在脑子里想像出可以感觉到的事物的能力。”德国著名哲学家黑格尔认为，最杰出的艺术本领就是想像。

想像思维大体上是心理学家称之为“意识流”之类的东西，即把一个人的正常思维行程打乱，让其沿着任何可能的思想方向拓展。睡觉时的梦境时常会出现一些荒唐的场面，但也可能产生一些有价值的想像思维成果。梦幻中所产生的各种思想和图像，都有可能生成解决某一个现实难题的创意胚胎。

从科学思维史的意义看，想像思维是原创性科学理论形成的重要酵素。爱因斯坦的相对论、魏格纳的大陆漂移说、沃森和克里克提出的 DNA 双螺旋结构等，都是借助于想像思维而完成的。许多伟大的科学家试图解决问题时，总是习惯于用形象化符号代替语言符号。某些科学家甚至把自己想像成是问题的要素之一，比如原子核中的一个粒子，或者人体中同进犯的细菌搏斗的一个细胞等。人们不仅应当仔细地去寻求事物间的联系和类同，还应让思想自由驰骋，以引导他们的思想超越现实的种种局限，沿着某些先前尚未探索过的路径前进。

爱因斯坦在发展相对论时，曾想像自己站在光束上往前飞行，“看”到静止不动的空间振动，了解到这些不应该是光或电磁波，因而对当时物理理论提出质疑，在物理学领域发动了一次革命。

1894 年，俄国科学家齐奥科夫斯基就通过大胆地想像提出了未来宇宙航行的设想。其内容包括：“① 制造带翅膀和一般操纵装置的火箭式飞机；② 以后飞机的翅膀略有缩小，牵引力和速度增加；③ 穿入稀薄大气层；④ 飞至大气层外及滑翔降落；⑤ 建立大气层外的活动站 （人造卫星）；⑥ 宇宙飞行员用太阳能解决呼吸、饮食及其他日常生活需要；⑦ 登月；⑧ 制造太空衣，以便完全地从火箭进入太空；⑨ 在地球周围建立宽广的居民点；⑩ 太阳能不仅用于饮食和使生活舒适，而且是绕整个太阳系移动的动力； 在小行星带上和太阳系里其他不大的天体上建立移民

⑪区；　在⑫宇宙中发展工业，宇宙站的数目增加；　达⑬到和谐和社会的理想；　太⑭阳系居民比目前地球居民多 1 000 万倍，已达到饱和点，之后就要住到整个银河上去；　太⑮阳开始熄灭，太阳系的残存居民转至别的‘太阳’。”这听起来好像是在叙述航空航天事业发展的历史，其实当齐奥科夫斯基提出上述设想的时候，莱特兄弟的飞机尚未问世。今天，由于实用火箭、喷气式飞机、人造卫星、阿波罗登月计划、航天轨道站以及航天飞机等的相继出现，齐氏的设想大多已经实现。仅从这一案例，我们就可体会到想像思维巨大的超越力量。

当然，在科学和技术发展史上，也可以找到许多因缺乏想像思维能力而丧失科学创造机会的例子。如最早发现电磁波的德国人赫兹，由于缺乏必要的想像力，未能意识到电磁波的实用价值，甚至当他的朋友提议利用电磁波传递信息时，赫兹还回答说：“如果要用电磁波通信，大概得有像欧洲大陆那样大的巨型反射镜才行。”但后来的发展与赫兹的估计完全相反。

想像思维种类很多，形式多样。具体而言，想像思维有以下具体形式：

1. 联想思维形式

所谓联想思维，就是人们通过一件事情的触发而迁移（想）到另一些事情上的思维。联想能够克服两个不同概念在意义上的差距，并在另一种意义上将二者联结起来，由此常产生一些新颖的思想。因此，联想思维是创造性思维的重要思维形式，创造工程中的联想发明法就是与联想思维相关的一种创造技法。在科学史上，许多创造发明均发端于人脑的联想思维。

联想思维是人们因一件事物的触发而联想到另一事物的思维，由此，我们把前一事物称为刺激物或触发物，而后一事物则称为联想物。根据联想物与触发物之间的关系，联想思维还可划分为相似联想、对比联想和接近联想三种形式。

相似联想，是指联想物和触发物之间存在着一种或多种相同

而又明显属性的联想。例如，看到鸟想到飞机（都能飞），看到电灯想到蜡烛、手电筒（都有发光性）等。有位美国发明家一次在理发时看到理发推子的动作，突然与其正在思考中的收割机方案联系起来，遂产生相似联想，从而成功地开发出了利用理发推子动作原理的新型收割机。

对比联想，对比联想是对联想触媒剂和思维对象之间具有的相反属性进行考察进而展开的一种联想思维活动。

接近联想，是指联想物和触发物之间存在很大关联或关系极为密切的联想。

2. 幻想思维形式

幻想是想像思维的又一种形式。所谓幻想，一般是指与某种愿望相结合并指向未来的一种想像。由于幻想在人们的创造活动中具有重要作用，所以创造学允许并鼓励人们对于事物进行各种各样的幻想。

幻想，因其暂时脱离现实而常不被人们所重视，但从创造学看来，这是很不公正的，幻想是一种极其可贵的品质。一个科技工作者在认识世界、利用世界和创造世界活动中，是很需要幻想精神和幻想思维的。大量事实表明，幻想可使人产生创造的欲望，可激发人们的上进心理，可指出人们进取的方向，幻想可以鼓励人们奋发向前、为人类做出贡献。古人的无数幻想（如“上天”、“入地”、“千里眼”、“顺风耳”等），经过人类的世世代代努力和奋斗，有很多已经变为或正在变为客观现实。由此可见，幻想思维可直接导致创造活动，很多创造活动均离不开幻想，因此我们不宜盲目地反对幻想。

幻想思维的突出表现即是它的“脱离现实性”。幻想是人们从美好目的（希望点）出发而进行的与现实相脱离的一种想像。

正因为幻想是“脱离实际”的，所以幻想思维可以在人脑中纵横驰骋，它可以在没有现实干扰的理想状态下向任意方向发展，从而构成创造性思维的重要组成部分。

诚然，幻想越是大胆，它可能包含的错误也越多，不过这并没有什么关系，只要从幻想的天空回到现实的大地上加以检验，错误的就会被发现、被修正，正确的就会被充实和发展。

总之，幻想这种从现实出发而又超越现实的思维活动，可使人思路开阔、思想奔放，因此它在创造中的作用是明显的，尤其是在创造的初期更需要各种各样的幻想。一门学科的某些变革，一项创造的深入实践，往往总是以勇敢的奇异思想作为开路先锋的。德国启蒙思想家莱辛说得好：“缺乏幻想的学者只能是一个好的流动图书馆和活的参考书，他只会掌握知识但不会创造。”法国启蒙思想家狄德罗（D.Diderot）说得更实际：“没有幻想，一个人既不能成为诗人，也不能成为哲学家、有机智的人、有理性的生物，他也就不成其为人。”

（三）灵感思维形式

灵感思维是创造性思维的又一种表现形式。灵感思维，是人们的创造活动达到高潮后出现的一种最富有创造性的飞跃思维。灵感思维常常以“一闪念”的形式出现，并往往使人们的创造活动进入到一个质的转折点。大量研究表明，灵感思维是由人们的潜意识思维与显意识思维多次叠加而形成的，是人们进行长期创造性思维活动所达到的一个突破阶段，很多创造性成果都是通过灵感思维形式而最后完成的。

1. 灵感思维的主要特点

（1）引发的随机性。所谓灵感思维引发的随机性，是指灵感既不会像具有必然性的逻辑思维那样可以有意识地导出，也不会如同想像思维那样可以自觉地进行思索，它完全可能是由创造者事先想不到的原因而诱发产生的一种思维。究竟是什么东西又怎样引起了人们的灵感，目前还难以说得清楚。但可以肯定的是，不同人的灵感往往是在不同的情况下产生的，甚至同一个人的灵感也会在不同的条件下出现。于是，灵感就显得难以预料、难以

捉摸，甚至连创造者本人也根本不可能自觉地意识到在何时何地会产生什么样的灵感。这都是灵感的随机性（或者叫偶然性）。例如，爱因斯坦有一次在朋友家饭桌旁与主人讨论问题，忽然间来了灵感，他便立即拿起笔并在衣袋里摸纸，可是没有摸着，于是竟迫不及待地在新桌布上写起公式来。灵感出现的这种随机性，往往给灵感思维抹上了一层神秘的色彩，因而使得人们在研究它时常常陷入不可知论之中。

（2）出现的瞬时性。灵感往往是以“一闪念”的形式出现的，它常常瞬息即逝。宋代苏轼的“做诗火急追亡逋，情景一失永难摹”诗句，即是对灵感瞬时性的生动写照。因此，灵感一旦出现，就要立即抓住。

（3）目标的专一性（专注性）。任何灵感都是针对某一问题或某个方面而产生的，这就是灵感的专一性。同一个灵感不可能解决多方面的问题，多方面的问题也不能指望凭借出现一次灵感而得到解决。当然，专一的灵感必然来自于之前对于某一专门问题的深思熟虑和过量思考。

（4）结果的新颖性（独创性）。这是灵感思维作为创造性思维形式的关键所在。然而，并不是所有的灵感都能够产生新颖性的结果，所以，并不是所有的灵感思维都属于创造性思维。那些不能产生新颖性结果的所谓“一闪念”，就不属于创造性思维范畴。钱学森在《关于形象思维问题的一封信》中对灵感思维给予了很高评价：“光靠形象思维和抽象思维不能创造，不能突破；要创造突破，得有灵感。”古往今来的重大科学发现、技术发明和杰出的文艺创作，无不与灵感的新颖性有关。诗人、文学家的“神来之笔”、军事指挥家的“出奇制胜”、思想战略家的“豁然贯通”和科学家发明家的“茅塞顿开”等等，都充分体现了灵感的新颖性。

（5）内容的模糊性。许多科学家都似乎有一个共同发现，灵感往往出现在人们醒与睡之间的一种中间状态之下，或出现于显意识与潜意识的交叉过渡之中，这便决定了灵感思维的模糊性。

所谓灵感的模糊性，是指灵感所产生的新线索、新结论、新想法往往并不很清晰，尚有待于进一步清理。因此，灵感产生后还需要对其进行认真思索和逻辑思考，才进一步获得明确的结果，这是创造过程中极为重要的一环。例如，德国化学家凯库勒（F.A.Kekule）在半醒半睡状态中产生的灵感，是仅仅发现苯分子的结构式呈环状，后来经过多次修正，才把模糊的结果上升为清晰的结构图，遂于 1865 年提出苯分子为环状结构的理论。

2. 灵感产生的条件和过程

灵感思维是普遍存在的。虽然当前人们对灵感思维的本质了解得尚不够充分，但对于灵感产生的过程还是做了若干研究。目前人们一般认为，灵感产生的条件和过程大致有如下几步：

（1）头脑中有一个待解决的中心问题。这是产生灵感的一个前提条件。很明显，一个在头脑中并无需要解决问题的人，决不会产生有关问题的灵感。因此，灵感与要解决的问题之间有直接的关系。

（2）有足够的知识储备或观察资料（信息资料）积累。这也是灵感产生的一个条件。比如，一个不懂得文学的人决不会出现写诗的灵感；一个毫无天文知识的人也不会出现解决天文问题的灵感。究其原因，主要在于他们不具备有关知识和不占有相关资料。所以，灵感思维是以一定的知识或经验积累为先决条件的。

（3）对于渴望解决的中心问题反复地、艰苦地、长时间地进行思考，即是说要进行超出常规的过量思考。这种过量思考是有意识的，在这种有意识的思考中也包含许多无意识（潜意识）的成分。人们对于处在这一阶段的创造者往往很不理解，他们常被人们视为“精神失常者”“疯子”、“狂人”等等。如陈景润走路撞电杆，安培在马路上把黑色马车厢当作黑板解题引起路人的轰笑，爱迪生走进税务局缴税时好半天竟答不出自己的名字，我国化学家曾昭伦在雨中行路却“不知道”打开手中的雨伞等许多事例，都生动地说明了处于这一阶段科学家的过量思考情形。这一阶段，

创造者头脑中的问题已经达到了挥之不去、驱之不散的程度，有的思想遂逐渐转化为创造者的一种潜意识。然而尽管这样，有时问题还是得不到解决，在思考达到饱和之后，人的思路常常进人一种僵化状态。

（4）适当搁置。人们在进行过量思考、思路进入僵化状态后，可把要解决的问题暂时放一放使大脑放松放松，也可从事一些其他性质的工作，或者改换一下环境，缓冲一下紧张的思考，使大脑不再受压抑，这样常可以促使头脑中的潜意识积极活动起来。如散步、沐浴、听音乐、阅读一些与所要解决问题无关的书刊、与外行人员闲谈、入睡前或刚睡醒时的休息，等等。在搁置阶段，头脑中已形成的潜意识信息一旦遇到相关的信息刺激，便会自然地产生“一闪念”（或顿悟）。

（5）灵感的产生。人脑的“一闪念”（或顿悟）一旦形成，即表示灵感已经到来。这时的关键是要及时抓住灵感，并通过自觉的思维活动对这一突然的“一闪念”进行鉴别，只有对有用的灵感进行有意识的强化并使之清晰以后，灵感才能在创造中起重要作用。这一阶段，往往需要及时地将灵感记录下来，否则，稍有放松灵感就会从脑海中消逝。

当然，灵感的产生并非都要经过上述几个过程，比如，有时不需经过“适当搁置”阶段就可通过追捕“热线”而直接产生灵感。所谓“热线”，就是由显意识孕育成熟了的并可与潜意识相沟通的一些思路。“热线”在大脑中形成，是信息量的积累达到质的突破而产生的，大脑中的“热线”一旦闪现，就要尽快追捕、不能中断并迅速将思维活动推向高潮，之后就会妙思泉涌而产生灵感。比如，有些诗人的诗兴一到，随即便挥笔疾书，甚至连把斜放着的稿纸扶正的时间似乎都没有。

3. 诱发灵感的基本形式

大量事实表明，当科学的思维活动达到高潮但问题仍旧百思不得其解时，为了得到灵感，诱发的因素就成了关键。因此，了

解诱发灵感的基本形式，就可以在关键时刻主动地诱发灵感，从而有效地进行创造。诱发灵感的基本形式大致有如下几种。

（1）联想式。当人的思维发展到前述第三阶段以后，在久思不得结果的情况下，很可能会因为某一偶然事件的刺激而顿时产生各种联想，从而使问题豁然开朗迎刃而解。例如，人们早已知道，为了保证内燃机的有效工作，必须使油与空气均匀混合然后再进行燃烧。但是，油与空气如何才能均匀混合呢？美国工程师杜里埃曾为此大伤脑筋，考虑很久也未能解决。1891 年的一天，他偶然看到妻子向头上喷洒香水，顿时便从这个简单的化妆器联想到油的气化而突发灵感，从而试制成功了内燃机的气化器。因此，要产生灵感，就应当特别注意周围事物的细微变化，即便是毫不相干的信息也不要轻易放过。

（2）触发式。是指人在受到某种刺激、特别是与别人展开讨论或争论并受到别人或自己提出想法的激励而直接迸发出灵感的一种诱发形式。

（3）省悟式。这种灵感诱发形式的产生不需要借助于外界“触媒”的刺激，而是通过头脑中内在的省悟和内部“思想的闪光”诱发而来。例如，爱因斯坦从 1895 年起就开始思考“如果我以光速追踪一条光线，我会看到什么?”他反复地思考这个问题，但多年一直没有解决。1905 年的一天早晨，他起床时突然想到：对于一个观察者来说以光速追踪一条光线是同时的两个事件，而对于别的观察者来说就不一定是同时的。他很快地意识到这是个突破口，并牢牢地抓住了这一“思想闪光”的灵感。

应该指出，虽然灵感在创造中具有决定性作用，但这并不意味着所有灵感都是正确的，只要抓住它就可取得创造性成果。其实，无价值的或者不正确的灵感远比成功的要多，不过人们事后忆及的往往是一些成功的例子而已。

灵感尽管是人们所向往、所追求的目标，但是灵感的到来却是很不容易的，它需要经过大量的、艰苦的劳动和思索。爱迪生

认为的“天才就是 1% 的灵感加上 99% 的汗水”很有道理。灵感到来的那一瞬间蓦然所得，正是对于创造者长期艰辛和过量思考的回报和奖赏。

总之，灵感的闪现虽然扑朔迷离、犹如幽灵、难以具体捉摸，但是灵感并不神秘，灵感是可控制的一种思维活动。钱学森对此做了精辟论述：“……一点是肯定的，人不求灵感，灵感也不会来，得灵感的人总是要经过一长段其他两种思维的苦苦思索来作其准备的。所以灵感还是人自己可以控制的大脑活动，是一种思维。”

四、创造性思维的方向和结果

（一）创造性思维的方向

逻辑思维往往是沿着一条直线方向固定地向前进行的，其目的常常在于寻找一个正确答案，即是说其答案常常具有单解性和正确性。与此相比，创造性思维则往往没有固定的延伸方向，它既可是同一或相反方向上的直线思维，也可是在平面内的二维思维，还可是三度空间的立体思维。

1. 发散性

思维的发散性，又叫做思维的扩散性或开放性。其思维表现形式是从某一点出发，既无一定方向也无一定范围地任意进行思考。发散性思维主张人们打开五官大门、张开思维之网、冲破一切禁锢，以尽力接受更多的信息。由于一个人在思维发散的过程中除运用已有知识和记忆之外，更重要的是加入了想像因子，因而就使人们的思路更加开阔、其答案亦不会限制在“唯一”之中，这样就容易产生许多不同的甚至荒诞离奇的答案创造性设想，这些设想经常以不合逻辑和反常规的形式出现。

深刻认识并充分利用思维的发散性进行多向思考，会增加人们的创造性思维能力。有科学家认为，科学进步的最大动力就在

于有人因某个理由而被迫改变其思考路线（即方向），从而导致新的研究方向。

思维发散的另一种形式是平行发散，即多路思维。多路思维可以使人考虑问题有条不紊、周密细致。

人们常说的立体思维，实际上也是一种思维发散性的表现。这种思维是在三度空间中考虑问题。1874 年，22 岁的荷兰物理化学家范特荷甫（J.H.van't Hoff）通过研究提出了碳原子的正四面体理论，在思维上就是一个了不起的突破，因为当时公认所有分子结构都是平面的。

一般认为，思维的发散性随着人们思维水平的提高和思维能力的加强，常常表现出较强的丰富性、灵活性和独创性。

（1）思维发散的丰富性。是指在同一思维方向上能够产生大量念头的一种属性，有人也称之为思维的流畅性。它是创造能力的重要表现之一。在实际创造中，往往首先需要有观念上的丰富性，以便产生大量的新想法。

（2）思维发散的灵活性。是指改变思维方向的属性。思维发散的灵活性常能使人把注意力转移到别人不易想到、比较隐蔽的方面去，因而常使创造者一鸣惊人、大获成功。

（3）思维发散的独创性。是指产生不同于寻常新念头的思维属性。当然，思维发散性产生的念头不一定都是新的，但其组合都可能是新的，这些也属于独创性的范畴

总之，思维发散性可以使人思路活跃、思维敏捷，使人办法增多而新颖、考虑问题周全，能够使人提出许多可供选择的方案、办法和建议，特别是能够使人提出一些别出心裁、一语惊人或完全出乎人们意料的见解，使问题奇迹般地得到解决。美国贝尔研究所创办人的塑像下面，铭刻着这样一句话："有时需要离开常走的大道，潜入森林，你就肯定会发现前所未见的东西。"所以，思维的发散性在创造活动中常具有举足轻重的作用。

2. 逆向性

所谓思维逆向，是指与一般的思维方向相反。它常常表现为与传统的、逻辑的或群体的思维方向完全相反。

数学上的所谓反证法与思维的逆向有关。科学上的许多创造发明都离不开思维逆向。比如，电可转变成磁，那么磁能否转变为电呢？这一思维导致了发电机的诞生。

创造原理中的逆反创造原理，创造技法中的逆反发明法以及缺点逆用法等，其思维根据均来自于思维方向的逆向性。

要培养思维的逆向性，应该注意经常摆脱习惯的、传统的、常规的、群体的等思维束缚，以便形成自己的标新立异的构思。

3. 侧向性

思维的侧向性，是指思维的方向既不与一般思维方向相同，也不与之相反，而是从旁侧向外延伸。也有人称侧向思维是“从其他离得很远的领域取得启示的思维”，这种利用局外信息发现和解决问题的思维途径，与人眼睛的侧视能力相类似，因此英国创造学家德·博诺称其为“侧向思维”。我国古代《诗经》中的“它山之石，可以攻玉”，即是对这种思维侧向性的生动写照。

思维的侧向性往往是通过横向渗透的方式、经过联想的作用而达到目的的。在创造中，侧向思维有时体现为吸取、借用某一研究对象的概念、原理、方法或其他方面的成果来作为研究另一个研究对象的基本思想、基本方法和基本手段。从而一举获得成功。比如，现在科学家从动物的血型想到：“植物会不会也有血型呢？”于是，有人采用研究动物血型的方法和手段居然也从 500 多种植物中发现了 60 多种不同的“血型”。20 世纪 60 年代以来兴起的“仿生学”，其思维的根源就在于侧向性。

创造性思维形式中的相似联想以及横向思考，都包含着思维的侧向性因素。

当前，各门学科发展都很迅速，学科与学科之间的渗透日趋加强，因而现阶段思维的侧向性对于创造更显示出其特别突出的意义。

五、创造性思维过程的四个阶段

科学创造关注的是结果或成果，关心的是产生这些科学成果的背后是认识主体的创造性思维过程。1926 年英国心理学家沃勒斯（G.Wallas）提出了科学创造过程的四阶段的理论和模式。他认为，思维过程一般都是有步骤地进行的，而且随着思维的活动进程呈现出前后一贯性和明显有序的阶段性特征。

（一）准备期

主要是围绕科学研究的问题，或针对科学的某个不能解答的现象，进行前期准备，如收集有关资料、积累必要的知识、准备研究的技术手段、了解前人的工作，在同类问题上研究前人所积累的经验，并从前人的工作中得到成功的启示和失败的教训。准备期的工作范围是很大的，包括相关学科、跨学科的知识的汲取、研究方法的借鉴，对问题进行全方位、多角度、多层面、多方法的试探性研究和分析，边思考、边收集资料，边研究、边整理思路，边实验、边分析问题。随时准备放弃传统思维方法，随时准备汲取新的思想和方法，使思维保持开放。

（二）酝酿期

经过准备期的大量艰苦的工作，收集、整理、分析了大量的资料，可能有些思路还不够清晰，方法还不够有效、概念还有点模糊，苦思不得其解，苦想不得其法，甚至对一切都产生怀疑，自己的研究能力、思维能力、问题能否解答，等等。这时，实际上，思维已进入“饱和状态”。酝酿期需要的是放松、改变工作节奏和心理状态，让思维的潜意识或前意识保持对研究的问题关注，让感官接触与问题无关的东西，如旅游、运动、休闲、娱乐，或静中养智，如在舒适的环境中听音乐、看小说、泡温泉、洗日光浴；或运动养身，如做一些健身运动、散步、登山、踏青、秋游，等等，这样才能使思维这根弦保持弹性。

（三）豁朗期

经过准备期思维的高度紧张和酝酿期思维的相对松弛，思维在一张一弛地交替中，在某个偶然的因素刺激下，创造性的新思想、新观念和新方法会突然涌现，科学认识主体的思维会出现“回头蓦见，豁然开朗，一通百通”的境界。这就是人们常说的灵感爆发、直觉闪现的情景。例如现代分子生物学的 DNA 双螺旋结构的发现就是如此。年轻的科学家沃森（D.Watson）和克里克（C.Crick）最初提出的是 DNA 三螺旋结构，但与实验事实背道而驰，百思不得其解，就去英国皇家学院请教 X 衍射专家威尔金斯（M.Wilkins）和富兰克林（R.Franklin）。在回家的途中，沃森突然想到，生物体具有成对性现象，所以 DNA 的结构不可能是三螺旋，而应该是双螺旋结构的。沃森在回忆录中写道：“我骑自行车回到学院，并且从后门爬了进去，这时我才决定要制作一个双链模型，因为重要的生物都是成对出现的”。[①] 科学的直觉和灵感往往是有爆发力的，它可以把已有的知识与新的研究对象联系起来，沟通认识的渠道，有时两者之间可能相隔十万八千里，风马牛不相及。这样大幅度、跳跃式的认识和思维对创造性的科学研究具有重大意义。

（四）验证期

由科学灵感和直觉所触发的新思想、新概念和新方法是否正确地反映了事物的本质和规律需要理性的分析和逻辑的判断，以及实验的证实和检验。在验证阶段要对新思想、新概念和新方法进行修正和验证，同时也有可能对灵感和直觉产生的新想法进行展开和深入，扩大成果。如沃森·克里克抽象出 DNA 双螺旋结构以后，克里克又敏感地直觉到它的碱基互补性应该是解释生物遗

① D·沃尔森：《双螺旋：发现 DNA 结构的故事》，科学出版社，1984 年版，第 108 页。

传复制机理的关键，获得了科学上又一次突破。对直觉和灵感所获得的初步轮廓性新想法进行验证有两个途径：一是运用观察和实验的方法确证其真实性和可能性，二是运用逻辑和数学的方法检验其理论上的合理性和严密性。如果不完备就在验证阶段进行调整和修正，使之完善和自洽。

科学创造性思维的四个阶段在实际上是不可能截然分开的，它经常是重叠和交叉的。思维过程的张与弛也是交织的，逻辑思维方式与非逻辑思维方式也是协作互补的。逻辑思维与非逻辑思维的互补关系不仅表现在准备阶段和验证阶段主要依靠逻辑思维的作用，而且在创新阶段的酝酿期，同样也需要运用逻辑手段以借鉴传统的或已有的知识和方法对问题进行各种试探性解决。只是在豁朗期时表现为一种非逻辑思维的形式，但是，逻辑思维是科学创造过程的重要的思维工具。如沃森·克里克发现 DNA 双螺旋结构的过程中，他们首先是运用了逻辑思考的力量，吸收了物理学、生物学、结构化学等学科的一些原理和方法，以及生物学领域最新的科学研究成果，经过近两年的探索研究，提出了许多试探性的解决方案，如三链模型、四链模型等，最后才在直觉和灵感的触发下，确立了 DNA 双螺旋结构的科学理论。

第二节　创造性思维方法的应用

一、智力激励法

在现有的创造性思维方法中，智力激励法，或者头脑风暴法（brain storming）、群体思考法使用最广，所遭受的误解也最多。人们往往将这一术语当做任何一种产生思想的方法或任何一种团体解题的技巧。创造工程奠基人奥斯本说：“要遵循头脑风暴会议的规则，头脑风暴会议几乎可以解决各个方面的问题。” 在奥斯

本智力激励法的基础上，W·J·戈登提出了更能激发创意和构想的创造发明方法，即戈登法。两种方法的操作步骤是不同的。

（一）群体激励法

群体激励法是一种通过强调推迟判断和推迟批评来克服获得创意的障碍，以产生创造性观念或发明构想的活动。它鼓励人们提出各种各样的想法，包括不着边际的、不得要领的粗陋浅薄的甚至荒唐可笑的想法，其目标是获得足够多的构想或创意。在多数情况下，这种方法都能够产生新颖的独创性的解题方案。奥斯本发明的这种方法，首先在美国工商企业得到推广和应用，并对美国高校教育也产生了冲击和影响。日本后来也大量举办群体激励法训练班，收到极好的效果。

在奥斯本看来，要寻找好的假说或想法就要大胆地联想，有效的做法是：让头脑任意地想像，在自由的天地里翱翔，积极地向至今没人想过的地方去 “ 探险 ”，任思路在相关的临近领域、完全不相关的领域甚至毫不相干的事物上驰骋。在这种思想的自由遨游中，种种有趣的、奇妙的、新鲜的想法就会脱颖而出，它们往往成为重大创造发明的开端。然而，要引起思考和联想，必须要有某些刺激作为 “ 资本 ”，而且越是新奇的东西、与众不同的东西越需要一定刺激作为基础。

具体地说，富有创意的想法是在“ 如果这么做会怎么样 ”、“ 这个办法行不行 ”、“ 也可以这么试试 ” 等问题中产生的。借助这些设问，几个人互相启发，必然会引起大量新想法产生“ 连锁反应 ”，因为在发言中谁也会讲出些带有某种新内容的东西。不过，在多数发言中，究竟哪些属于新点子还摸不准。如果在讨论中不容许这些不明确、模糊的内容，群体激励的持续性就成为问题。因此，为了保证集体讨论时形成一种建设性的气氛，需要遵循三条规则：

1. 推迟判断，严禁批评

推迟判断是头脑风暴法的核心。当脑力冲击正在热烈进行期

间，不要妄加评论，不要急于反驳，急于做出结论。力求冲击出尽可能多的观点，在此基础上，选择出比较独特的观点。

2. 自由奔放，尽可能获得更多的观点

尽可能快地列出所能想出的观点，借助不着边际、荒唐可笑的念头激活常规的思维过程，以期获得新颖独特的见解。同时，也要追求数量，产生的新思想、观点、方案越多越好，这样从中产生有价值的思想和观点的概率就越大。

3. 综合改善

把自己和别人的思想观点加以交流比较，取长补短，使之形成更有价值的东西。这个结合改进的原则，对创造发明来讲是最重要的。这时，不同的观点和价值观念互相碰撞产生火花，从中可能闪现出全新的思想和观点。

推迟判断、严禁批评的规则，对于创造适宜的气氛是有积极作用的，而规定讨论要自由奔放是为了大量地涌现想法。美国创造教育基金会主席巴尔尼斯曾经有一个生动的比喻：对新观念，有些人一方面持批评态度，另一方面又想获得创见，这就像一个人企图在同一时间，从同一个龙头获得热水和冷水。在这种情况下，创造行为当然“热”不起来，批评意见也“冷”不下去，结果必定是不冷不热的温水。创造和解决问题，是一个以“产生创意”和“实际解决问题”为最终目的的有意识的过程。在问题解决之前，什么与这个目的有关是不清楚的，什么与什么结合在一起会产生什么样的东西，它对这个目的起什么作用也无法预测。因此，大量的自由奔放的发言可以增加这种结合的机会。

由于在特定的思想环境下，来自甲的思想往往可以激发乙的思想，进而会产生新思想不断涌现的链式反应。由此人们倾向于认为头脑风暴法是一种团体解决问题的技巧。当然它同样适用于个体，个体也可以以自己为单位进行自我脑力冲击。

一般地，为了便于形成适宜的集体讨论的气氛，参加者以 6～7 人为最合适，最多不要超过 10 人。同时要保证发言的最大限度

的自由，但不能使讨论发言偏离启发思想的主题。这种方法的一个最大优点，就是把创造和解决问题变成人人都能实行的事情。集体思考一般一次用 40～60 分钟，开始的 1/3～2/3 时间可以说是为了以后的链式反应做准备。上述的三项规则中的“综合改善”则是把提出的各种想法加以归纳总结，把其中有用的内容发展成有实用价值的联想。

（二）戈登法

戈登法的基本思想主要是：

第一，创造发明的目标是得到前所未有的事物或想法。前所未有就是要超越原来的界限，在新领域中找到可实现的设想。为此，必须保证思维的广阔性。

第二，问题越抽象，越有益于思维发散，越能获得高质量的创造发明构想。在奥斯本的智力激励法中，常常是直接提出要达到的目标，比如直接提出“如何改进洗衣机”的问题等，这样往往将思维限定在狭小的范围内。在戈登看来，一个概念、一种表述越具体，可供思考的范围、内容就越狭窄，思维的空间就越小；相反，一个概念越抽象、一种表述越一般，可供思考的范围、内容就越广阔，思维的空间就越大。因此，他认为会议上提出的问题越抽象越好，最好是从具体问题中抽象出来的一般问题。比如，将研究“埋设海底电缆”的问题转变为“如何将一根很长的圆柱体固定在表面上”交给大家讨论，然后根据大家的讨论逐渐把问题具体化，尔后集中到原来的具体问题之上。

戈登法实施的基本步骤是：

第一，提出抽象性问题。利用戈登法召开智力激励会议时，主持人在会前要做的准备和奥斯本群体激励法基本相同。不过，在这里，主持人必须对所要解决的问题进行抽象，用抽象的问题代替具体的问题，尽量在会议开始时不公开会议要具体解决的问题。

第二，与会人员针对抽象问题提出设想和创意。该步骤进行

15 分钟，会得到各种很好的设想方案。就以上面的抽象问题“如何将一根很长的圆柱体固定在表面上”为例，可以得到的各种设想有：在平面上挖一条沟，把圆柱体放在沟内，然后把混凝土之类的东西浇到沟内，把圆柱体固定住；在圆柱体与平面的接触部分涂上胶粘物，使圆柱体粘在平面上；把圆柱体放在平面上，相隔一段距离用胶片把圆柱体固定在平面上；在圆柱体上覆盖一张铁皮，用钉子把铁皮钉在平面上；用铁皮做一个圆柱筒，把圆柱体套在圆柱筒内，然后用钉子把铁皮筒固定在平面上，等等。

第三，主持人再提出比前面问题较具体的问题，如“如何用一个覆盖物将圆柱体固定在一个平面上？”让与会人员针对新问题再提出设想和创意，时间也是 15 分钟。于是，各种设想方案又提出了：用钉子、用粘胶、用拉链、用挂钩、用纽扣、用绳子捆绑等，五花八门。

第四，主持人抛出会议要解决的具体问题“如何将海底电缆固定在海底”，要求大家把上面所提出的各种方案、设想和创意与所要解决的具体问题结合起来，形成解决具体问题的可行方案。当然，最终获得的方案不止一种，如把电缆放入一个套筒中，在海底挖一条沟，把套筒放入沟内，浇上混凝土；再如把电缆放入一个套筒内，在套筒外面养殖一些固定附着在海底不漂游的海底生物，从而将电缆固定在海底，等等。

戈登方法的优势在于用抽象方法把问题抽象化，集思广益，然后再提出所要解决的具体问题，从而避免了只是根据具体的问题进行思考的局限性和狭隘性。

二、设问法

提出问题是创造发明的第一步，创造力开发较好的人，都具有善于提出问题的能力。有时，如果能够提出一个好的问题，往往就意味着成功的一半。但是，如何提出问题、如何通过提问题而达到创造发明的目的呢？设问法，就是通过有关提问的形式去

发现事物的症结所在继而进行发明创造的一类方法。设问法的种类较多，最有代表性的就是奥斯本的“检核表法”。

“检核表法”，是针对创造的目标（或需要发明的对象）从多方面用一览表列出一系列思考问题，然后逐个加以讨论、分析和判断，从而获得解决问题的最好方案或设想。一般所说的奥斯本的“检核表法”，多是从以下九个方面的提问进行检核的。

（一）现有发明成果有无其他更多的用途?或稍加改变后有无别的用途?

奥斯本认为，创造有两种类型：一种是先确定目标，然后对准目标去寻找方法；另一种是首先发现一种事实，然后想像该事实会有什么作用，即从方法着手引向目的。这一条检核内容是符合后一种创造类型的，是人们常用的一种创造技法。比如，尼龙袜的诞生，是“用途迁移”的产物。最初的尼龙丝只用于军事，如制造降落伞、做舰艇上的缆绳等，因而尼龙丝的销售量很少。为此，人们开始寻找它的其他用途，后来发现可用结实耐磨的尼龙丝制成袜子以取代纱袜，于是美国的杜邦化学公司制成了尼龙袜并先让纽约的著名舞星和杜邦公司的女秘书试穿做产品广告宣传，随后正式投入市场，仅 1 年时间就销售了 6 400 万双。每找到一个旧事物的新用途，实在不亚于发明一个新产品。

这一设问要求人们对现有物品的固定功能进行怀疑或遐想，只要破除“功能固定”论，就有可能产生新的创造。

（二）过去有无类似的东西?有什么东西可供模仿?能否在现有发明中引入其他创造性设想?

这个提问有助于使某一发明向广度和深度发展，以形成系列发明产品。泌尿科医生引入微爆破技术消除肾结石，也是借用了其他领域的发明。

（三）现有发明能否改变形状、颜色、声音、味道或制造方法?

从这些方面提出问题，往往会产生意想不到的发明创造。有人将滚柱轴承的滚柱改变成圆球形，遂发明了滚珠轴承；一位制镜商将平面镜的形状改变成多种曲面，制成了哈哈镜。

（四）现有东西能否扩大使用范围、增加功能、延长寿命?能否添加部件、增加长度和提高强度?

奥斯本指出，在自我发问的技巧中，研究“再多些”和“再少些”这类有关联的成分，可诱发大量构思和设想。比如，在两块玻璃之间加入某些材料，可制成一种防震、防碎、防弹的新型玻璃；在牙膏中掺入某些药物，可使牙膏增加治疗口腔疾病的功效。

（五）能否将现有的东西缩小体积、减轻重量?能否省略一些部件?能否进一步细分?

目前，许多产品都出现了由大变小、由重变轻的趋势，其结构也在不减少功能的基础上力求简化，出现了许多小型、微型机器。如袖珍收录机、微型计算机、折叠伞等，都是以缩小体积为目标进行发明的产物。可见，以“缩小”为目标的创造发明往往有其独特优势。

（六）能否用其他产品、材料或生产工艺、加工方法替代原有的产品或发明?

由于当前世界上某些资源相当紧缺或是其成本昂贵而不易得到，于是人们不得不寻找其他的代用品，这也是一种创造发明。如人造大理石、人造丝等都是很好的例子；此外，还有用汽车中的液压传动代替齿轮、用充氯气办法代替电灯泡中抽真空等。通过取代和替换途径，可为想像提供广阔的探索领域。

（七）能否将现有的发明更换一下型号或更换一下顺序?

重新安排、更换位置通常也会带来许多创造性设想。例如，飞机诞生的初期，螺旋桨均装在头部，后来装到了顶部继而发明

了直升飞机。

（八）能否将现有的产品、发明或工艺方法颠倒一下?

上下颠倒、内外颠倒、正反颠倒等都可能产生新的效果。例如，大炮一般都是向上发射的，反过来发射行不行呢？苏联发明的“大炮打桩机”，就是用 165 mm 口径的大炮向地下发射“炮弹”（即钢桩），每炮可入地 2.5 m，极大地提高了打桩工作效率。

（九）可否将几种发明或产品组合在一起?

组合通常被认为是创造性的动力源泉。如将几种部件组合在一起变成组合机床，把几种金属组合在一起变成种种性能不同的合金，把几种材料组合成复合材料等。

使用奥斯本检核表法解决一个技术问题，通常可从几个提问中同时受到启发，经过综合后往往可形成最佳方案。

创造学界一般认为，奥斯本的检核表法几乎适用于任何类型和场合的创造活动，因此享有“创造技法之母”盛名。

此外，一般的设问法中还有“5W2H”法，这是一种通过为什么（why）、做什么（what）、何人（who）、何时（when）、何处（where）、怎样（how）和多少（how much）等七个方面的提问而形成创造性设想的创造技法。

三、联想组合法

联想组合法的思维基础是联想思维，它所依据的原理主要是组合创造原理。联想组合法又可简称为组合法。即使是一个最简单的组合创造，如铅笔和橡皮的组合，最初也是离不开两者之间的（相近）联想的。

联想组合可划分为自由联想组合和强制联想组合两大类。由于发明创造大多是针对某一目标、为解决某一问题而进行的创造活动，因而与此相关的强制联想组合在一般发明创造中显得更为重要。

（一）查阅产品样本法

查阅产品样本法，是将两个或两个以上的、一般情况下被认为彼此并无关联的产品（或想法），强行联系组合在一起从而产生出新颖性方案的方法。

按照查阅产品样本法，人们可以打开某厂家的产品目录或其他印刷品，随意地将某些项目、某些产品或某些题目逐个挑选出来，并用同样的方法将另一产品目录或印刷品中的某些项目、产品或题目逐个挑选出来，再依次将二者分别进行一一对应的强行组合，以产生出独创性的结果。这时，由于思维随着两件事物的“联系”而产生，跳跃比较大，因此容易克服经验的束缚而启发人的灵感。比如，深受用户欢迎的保温杯就是将暖水瓶的保温胆与杯子强制联想组合而设计成功的。

在进行强制联想组合时，思想一定要解放，对于强制组合法的“新产品”要从创造性角度认真加以分析，不能被表面看来“不可能组合在一起”的框框所限制。比如，酒和西瓜看上去并无什么关联，它们的组合初看似乎也是不可能的，但若进行强制组合再仔细思考就可能有所突破，美国一园艺师从这一联想组合出发，就培养出了香味可口的酒味西瓜。

（二）二元坐标组合法

二元坐标组合法也是一种强制联想组合发明法。它与查阅产品样本法的不同之处，在于把要组合的对象先列成坐标体系，然后再进行一一对应的强制组合，因而具有系统性和不遗漏性。

（三）焦点组合法

焦点组合法也叫焦点联想法，是联想组合法中最突出的一种创造技法。

查阅产品样本法所选择出来的创造目标是随意的、无定向的，而人们的发明创造目标大多都是预先确定好的。二元坐标组合法虽然包含创造目标的因素在内，但产生的结果对于创造目标来说

仍不够集中，大量结果虽然可能很富有创意，却与已有的目标并不相关。因此，对于在没有明确创造目标而帮助创造者选择创造的目标和对象而言，前两种方法是很有作用的，而对于已有明确创造目标的发明创造来说，焦点组合法则显得更为优越。在焦点组合法中，组合的一方是可任意联想的，而组合的另一方则是预先指定的欲创造对象，即所谓的“焦点”。焦点组合法要求创造者紧紧围绕“焦点”进行强制联想，因此，该技法自始至终都紧扣着创造的主题。

焦点组合法的另一种演变形式是成对特性列举法。它与焦点组合法的区别是，在对任选触发物进行发散性思维的分析以后，还要对焦点物进行发散性分解，然后再把每一个发散性的结果依次与触发物的发散性结果按二元坐标法进行强制联想组合，最后选择出好的目标方案。

四、列举法

列举法作为一种发明创造技法，是以列举的方式把问题展开，用强制性的分析寻找创造发明的目标和途径。列举法的主要作用是帮助人们克服感知不足和因思想被束缚而引起的障碍，迫使人们带着一种新奇感将事物的细节统统列举出来，迫使人们时时处处去想某一熟悉事物的各种缺陷，迫使人们尽量想到所要达到的具体目的和指标。这样做，比较容易捕捉到所需要的目标从而进行发明创造。

（一）属性列举法

属性列举法，也称特性列举法，是由美国创造学家克劳福德（R. P. Crawford）研究总结出来的一种创造技法。运用该技法时先要对创造发明对象的主要属性进行详细分析（即将属性逐一列出），之后再探讨能否进行改革或创新。一般说来，要着手解决或革新的问题越小越容易获得成功。

运用克拉福德属性列举法的一般步骤如下：

第一步，选择一个比较明确的课题，课题宜小不宜大，如果课题较大则应将其分解成若干小课题。

第二步　详细列举出发明或创新对象的属性。一般包括三个方面：名词属性：性质、材料、整体、部分、制造方法等；形容词属性：颜色、形状、大小等；动词属性：有关机能和作用的性质，特别是那些使事物具有存在意义的功能。

第三步，从各个属性出发，通过提问诱发出用于革新的新方案。

（二）缺点列举法

人们常常有一种惰性，对于看惯、用惯了的东西往往很难发现其缺点，也很少主动找它的缺点，因而无形中便“凑合”、“将就”着维持现状，甚至用“理所当然”、“本该如此”等观点对待它，从而使人安于现状、丧失了创造欲望和机会。缺点列举法，是指积极地寻找并抓住、有时甚至需要去挖掘（因为有许多缺点是极不明显的）各种事物的不方便、不得劲、不美观、不实用、不省料、不轻巧、不便宜、不安全、不省力等等各种缺点、问题或不足之处，从而确定创造发明目标的一种创造技法。

有些事物的缺点是随着事物的最初出现而出现的。也有许多事物的缺点原本并不是什么“缺点”，后来随着时间的推移和环境的改变而转化成了缺点。

运用缺点列举法没有严格程序，一般可按下列步骤进行：

第一步，确定某一改革、革新的对象。

第二步，尽量列举这一对象事物的缺点和不足（可用智力激励法，也可进行广泛的调查研究、对比分析或征求意见）。

第三步，将众多的缺点加以归类整理。

第四步，针对每一缺点进行分析、改进，或采用缺点逆用法发明出新的产品。

与缺点列举法相关的另一技法是缺点逆用法。所谓缺点逆用

法，就是针对对象事物中已经发现的缺点不是采用改进缺点的做法，而是从反面考虑如何利用这些缺点从而做到“变害为利”的一种创造技法。

（三）希望点列举法

缺点列举法可以直接从社会需要的功能、审美、经济、实用等角度出发研究对象的缺点，提出切实有效的改进方案；因而简便易行，常会取得很好的效果。然而，缺点列举法大多是围绕原来事物的缺陷加以改进，通常不触动原来事物的本质和总体，因而它属于被动型创造方法，一般只适用于对老产品的改造或用于不成熟的新设想、新发明，从而使其趋于完善。希望点列举发明法，则是通过列举希望新的事物具有的属性以寻找新的发明目标的一种创造方法。由于希望点发明法是从人们的意愿出发提出各种希望设想，所以很少或完全不受已有物品的束缚，这便为人们使用该方法提供了广阔的创造思维空间。

希望点列举法的实施步骤是：激发人们的希望（可用智力激励法形成一批希望点），收集人们的希望—仔细研究人们的希望—创造新产品以满足人们的希望。

希望人人皆有，但要提出创造性强且又科学可行的希望却不容易。链式传动自行车诞生于 1884 年，其实早在 1495 年达·芬奇就“希望”发明一种靠人力通过链条驱动的自行机械并设计出了有关图纸，然而在当时是无法实现的。这说明，希望总是产生在现实之前的，希望是对现状的冲击和挑战，满足于现状是难以产生希望的。

五、形态分析法

形态分析法是美国加州理工学院的天体物理学教授 F·茨维基在 1924 年提出的一种解决问题和创造发明的方法。当时，他正在参加美国航空工程公司的火箭研制工作，他应用这种方法在短期

内成功地获得了大量火箭制造领域中独创性的技术解决方案，从而声名大振。形态分析法是建立在系统概念基础之上的。系统论认为，任何事物都可以看成一个系统，它由几个相互联系、相互作用的子系统或者说各种形态要素组成。我们可以将系统分解为几个具有结构或功能的形态特征的部分。每个形态特征可以作为解决问题的一个参量或特征。由于各种形态特征又有许多表现形式或具体方案，这些形态特征的各种具体表现形式可以任意组合，通常，一种组合就可以构成一种解决问题的方案。这样，所有的组合就能得到全部有意义的方案。

形态分析法是通过系统化的步骤来进行创造发明活动的一种重要技巧和方法，它将整个问题分解为若干部分，对每个部分发展出若干可能的解决方案，构成形态矩阵，取各部分问题的各个解，对其加以组合而形成若干个整体解决方案。

形态分析法主要由下面几个步骤构成：

（一）问题的描述和概括，要求精确地确定要研究的问题

（二）编制问题系统的形态特征表

将问题中所包含的基本成分或基本元素列成一个表格；这些要素是被包含在问题规定范围内的，或者被看成是紧密相关的物质对象和理论概念。例如，一个农业问题的元素应该包括土地的利用、气候、土壤、人口等。这些表格应当尽可能全面，各种元素在必要的地方应当加以确定，或者至少应当是可确定的。

（三）确定每一形态特征的所有可能的解决方案，并加以编号

针对每一个元素列出一个辅助表，它由所有能设想到的各种形态、特性和范围即属性所构成，如一个元素是能源，它的属性就有可能是石油、天然气、太阳能、核电、燃料电池、风力、水力等。辅助表也应当尽可能地详尽。

（四）编制形态矩阵

将元素及其属性列入表中，这种表就是茨维基所说的多维矩阵。各元素垂直列于一侧，相对于每一元素则水平地列入它的属性。

（五）在各形态特征中选取某一具体方案，形成若干整体方案

元素是问题的基础，是固定的，但属性是可选择的、不固定的。要把属性的所有可能的组合方式综合起来，并把每一种属性都作为问题的可能解决方法，进行彻底的研究和评价。甚至连不合逻辑的组合也要予以考虑，或许可行的选择方案就在这些组合之中。

（六）通过评价得出最优设计方案

形态分析法具有比较全面的特点，它减少了漏掉那些新奇然而重要的组合的可能性，并且由于对可能方案的组合是系统的、客观的，也可以避免习惯思想和偏见的消极影响。形态学方法的创始者茨维基说，这种方法具有不寻常的启示力量，它已被广泛地应用于科学发现、技术发明和社会分析等重要领域之中，取得了巨大的成功。

六、系统提问法

系统提问法，遵循人们在认识世界中的“从已知到未知”、“从旧有到新颖”、“从已知的具体到抽象的一般、再到未知的具体”等一般认识规律。

系统提问法的具体操作步骤如下：

第一步，仔细观察待创新的对象，并按具体的主要属性做好记录。

第二步，脱离原物，把对原物观察到的已知的、具体的属性分别上升到一般的属性。

第三步，按照一般属性概念的外延范围列出一系列具体属性

（即脱离原来具体事物的未知的具体属性）。

第四步，对第一、三步中所写出的每一个具体的已知和未知属性进行发问。发问的模式分别是“为什么是”和“为什么不”。发问的理论根据如下：“肯定”和“否定”之间是矛盾关系，其外延之和是否穷尽了任何一个属概念的外延。每发问一句，都要尽量找出理由来回答，这样就可由此引发其中的思维活动，找出一系列的肯定的和否定的属性及其理由，从而不难挑选出自认为最理想或最有意义的属性答案作为创造的目标。

第五步，只是将上一步中有意义的答案挑出，并进行彼此间（排列）组合，从而得出众多的组合方案。

系统提问创造技法的实施过程，体现了人们由已知到未知、由特殊到一般再到特殊的认识世界的规律，具有明显的理论性、排他性。

创新思维在生活、学习、科研等实践有着广泛的应用，我们应该在实际生活和工作中注意运用创新思维方法，提高学习和工作效率。

参考文献

[1] 李建军著. 创造发明学导引. 北京：中国人民大学出版社，2002

[2] 庄寿强著. 普通创造学. 徐州：中国矿业大学出版社，2001

[3] 鲍健强著. 科学思维和科学方法. 贵阳：贵州科技出版社，2002

[4] 何名申著. 创新思维修炼. 北京：民主与建设出版社，2000

[5] [美] 特里萨·M·阿马布勒等著. 李维安等译. 突破惯性思维. 北京：中国人民大学出版社，2001

[6] 杨雁斌编著. 创新思维法. 上海：华东理工大学出版社，2002

[7] 梁良良主编. 创新思维训练. 北京：中央编译出版社，2001

后　记

科学技术哲学是对科学技术进程及其相关问题的哲学反思。本书以人与自然关系为纽带，从系统自然观、演进自然观和生态自然观三个角度来阐述 21 世纪人类对自然的沉思。今天的人们固然不能低估了科学技术给现代社会带来的巨大影响，同时又比任何时候都更清楚地意识到科学技术乃是一个内涵丰富的多面体。对现代科学技术的认识可以让我们形成科学技术的系统观、科学技术的历史观、科学技术的社会观、科学技术的创新观以及科学技术的方法论。求知途中，不去追求原本不存在的终极体系，努力将学习和研究引向更能产生创意的知识探索和应用实践，这是我们写作的共同取向。

本书由西南交通大学、四川大学、泸州医学院和武汉科技大学等四所大学从事科学技术哲学研究和教学的教师编写而成。他们是西南交通大学的陈光（绪论和第五章）、王永杰（第一章和第六章）、张略（第三章、第四章和第十二章）、雷叙川（第十章和第十一章第二节）、柴剑峰（第七章），四川大学的谢瑜（第八章和第九章），泸州医学院的赵洪波（第十一章）和武汉科技大学的黄涛（第二章）。陈光和王永杰分别担任主编和副主编，张略和谢瑜参加了部分统稿工作。

本书的编写得到教育部优秀青年教师教学科研奖励计划和西南交通大学“两课”基金的资助。西南交通大学出版社的总编辑张雪和责任编辑刘永淑、王婷对本书编辑出版付出了辛勤的劳动，在此，谨致谢意。

作　者

2003 年 5 月 10 日