

钱伟长文选

第一卷

上海大学出版社

· 上海 ·

本书编委会

编委会主任 方明伦

编委会委员 周哲玮 曹家麟

李友梅 叶志明

编委会秘书 徐 旭 钱泽江

图书在版编目(CIP)数据

钱伟长文选. 第一卷/钱伟长著. —上海: 上海大学出版社, 2004. 4

ISBN 7-81058-703-X

I. 钱... II. 钱... III. ①钱伟长—文集 ②社会科学—文集 ③自然科学—文集 IV. Z427

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 023194 号

责任编辑 王悦生 傅玉芳 江振新

钱伟长文选

第一卷

上海大学出版社出版发行

(上海市上大路 99 号 邮政编码 200436)

(E-mail: sdcbs@citiz.net 发行热线 66136010)

出版人: 姚铁军

*

南京展望文化发展有限公司排版

上海市印刷七厂一分厂印刷 各地新华书店经销

开本 787×960 1/16 印张 18 字数 251 000

2004 年 4 月第 1 版 2004 年 4 月第 1 次印刷

ISBN 7-81058-703-X/G·296 定价: 58.00 元

目 录

1951

中国古代的科学创造	(1)
中国古代的三大发明	(8)
物理教学与爱国主义教育的结合	(18)

1954

《弹性圆薄板大挠度问题》序	(26)
---------------------	--------

1956

我国力学工作达到国际水平的远景计划草案	(28)
《弹性柱体的扭转理论》序	(37)
我国的科学任务	(39)

1957

高等工业学校的培养目标问题	(57)
物质的一般概念	(61)

1975

《锌空气(氧)电池进展》编译者序	(72)
------------------------	--------

1978

为实现四个现代化而努力奋斗	(73)
---------------------	--------

1979

关于组织和管理的近代科学——系统工程	(107)
力学的展望	(133)
关于系统工程的报告	(151)
科技赶超史话	(188)

1980

《应用数学和力学论文集》序	(195)
《应用数学和力学》(中文版)发刊词	(196)
关于实现四个现代化的几个问题	(199)
才能来自勤奋学习	(228)
天才出于勤奋——和青年朋友谈学习	(230)
现代力学和四个现代化	(233)
教学与科研	(257)

中国古代的科学创造^{*}

我们伟大的祖国有着优秀的、丰富的历史遗产。我们的祖先们数千年来,在这广大的东亚大陆上,不断地劳动着,创造着,与自然搏斗着,以刻苦耐劳的劳动生活,光辉优秀的科学创造,为我们 4.75 亿子孙留下了这沃富美丽的江山和光荣无比的历史。我们每一个中国人都为我们的祖国骄傲,为我们祖国的历史骄傲。我们热爱我们伟大的祖国,更热爱我们祖国的光荣历史,我们一定能继承祖先们的优秀传统,以不断的劳动和不断的创造,来使美丽的祖国更美丽,使光荣的历史更光荣。

现在让我们崇敬地综合叙述一下祖先们在这片土地上和自然搏斗的光辉创造。

我们的祖先数千年来,一直主要地从事农业劳动。今天在祖国的领土上,有着广大的肥田沃地,供给我们以衣食,并不是偶然的,而是中国人民数千年来和自然不断搏斗的结果。这场长期的搏斗,包括着收集野兽飞禽饲养成家畜、收集山野植物栽培成谷物、不断和洪水搏斗等光荣的历史。在这种与自然搏斗的历史中,有许多伟大的优秀的科学家、工程师和发明家,他们光荣地进行创造,为人民累积了许多科学经验,丰富了人民的生活。

在很早的时候,中国人民便已开始种稻,并逐步地改进培植稻谷的科学方法,至今已有了优秀的选种方法和非常科学的农事经验。中国的蚕丝是中国人民利用自然、改造自然的最伟大的发明之一。中国人民从很早的时候起,便培养了野生的豆类食物,成为我们人民的最有营养价值的食物。我国的蔬菜种类之多,也为全世界之冠。到今天为止,欧美

^{*} 1951 年 1 月 27 日,发表于《中国青年》第 57 期,1951 年 2 月 1 日《人民日报》转载。

各国的主要食物只有肉类、鱼类、麦和少数的蔬菜。可是我们的食物种类繁多,为我们的生活增添了无限的内容。在这些农事的发明里,民间传说着许多伟大的名字,如神农、伏羲、嫫祖等神话似的发明家。这些发明家的出现,早在四五千年以前,虽然他们很多只是留下了象征性的名字,也许他们是代表一个氏族,并无足够的正确史料供查考,但是,人民不断怀念着这些光辉的发明和与人民生活密切联系的创造,并不因为历史的模糊不清,而减少了对他们的尊敬和热爱。

为了保证农业生产的收获,水利工程是我们祖先科学劳动的中心问题。我们的祖先要和洪水搏斗,主要的是和黄河搏斗;并且要大量地建设灌溉工程。为了在广大的地区进行航运,我们的祖先也大规模地建设了运河和漕运的网路。在这些伟大的工程和建设里,更涌现出无数优秀的工程师,累积了丰富的科学经验。

在传说中人民所最拥戴的水利工程师是禹。当时黄河在华北各区还没有像今日这种的水道,由昆仑东流的水源,汇成巨大的水量,形成“洪水滔滔,天下沉积”的洪水泛滥的局面,高地和山陵被水分划成一块块的洲陆和岛屿。在这种自然力支配下,我们的祖先以当时较低的生产力,来进行克服水患的治水工作,实在不是容易的事情。传说禹接受了前人鲧治水失败的教训,顺着水性,因势疏导,领导着人民一连工作九年(约在公元前 2286~2278 年),逐渐约束了水流,在中国历史上第一次确定了黄河出海的河道。禹的治水工作遍及全国,他那忘我的工作热忱,九年中三过家门而不入,表现了为人民服务的优秀民族传统。

禹的治水工作,初步克服了严重的水患,为我国民族打下了在这片土地上生息繁殖的基础,但是黄河从上游带着大量的沙粒疾行而下,到了下游,人民都引河水灌田,使河流慢下来,以致入海的出口渐渐淤塞,于是一到水涨,就不时溢出,造成水患。这样的情形,一直到王莽时(公元 9~22 年),有位长安人张戎科学地指出了水流流速与沙淤的关系。这个科学的结论,为以后有名的水利工程师王景(汉明帝,公元 69 年)、贾鲁(金泰定,公元 1351 年)、潘季驯(明嘉靖,公元 1565 年)、靳辅(清康熙,公元 1677 年)等治河的基本原则。他们根据这个原则,创造了“筑堤

束水，藉水攻沙”的治水方法。这些工程师们在坚决执行这个原则时，克服了不少工程上的困难，发动着千百万的人民群众，完成了不少伟大的修渠筑堤工程。这些伟大的工程师们在施工时，都和参加的人民密切地配合着。潘季驯在工事紧急时，带着背疽和群众一起工作，鼓励着大家，坚定了工作的情绪，使河工转危为安。他们在工作时，还要时时把治河的道理向群众宣传。他们也科学地总结了工作的经验，如贾鲁的同伴欧阳玄，便写了一本《至正河防记》（公元 1360 年），详细而有系统地叙述着治堤、治埽等各种水利工程的内容，为人类第一本有系统的水利工程著作。

我国既有这样广大的领土，内陆水运是非常重要的事情。四千年来，我们的祖先以辛勤的劳动，在全国范围内，开凿了无数的运河和航道。例如春秋时代吴国的伍员（公元前 495 年）便以太湖为中心，领导人民，开凿了长江下游三角洲的运河网，一直到今天，在不断地疏浚修补后，仍然在为人民所享用。例如秦始皇时的史禄（公元前 215 年），在广西兴安县东面，开凿灵渠，沟通了湖南、广西的水路交通。在兴安县附近，地势较高，有湘江和漓江发源在这里，湘江北流，漓江南流，但是并不接头。史禄科学地利用水力，以累级加水闸的办法，开凿灵渠，长 60 里，设 36 道闸，沟通了南北航运。在这样早的年代有这样天才的发明，我们感觉到无上的骄傲。这个渠道，在马援时期、明朝末年等时期，都曾浚修加宽，对南北交通有着突出的贡献。

我国既有发达的农业，灌溉工程的成就当然也是写不胜写的。我们现在提出一个比较著名的灌溉水利工程，来说明我们祖先的伟大。秦惠王时，蜀太守李冰和他的儿子二郎，于四川灌县西南凿了离堆，引水分流内外两江，在分水地点，做了一个全国闻名的都江堰，调节水流。这个工程灌溉了成都附近十几县的田畴，使成都变成了“天府之国”。这个工程在万难中施工，完成之后，科学地总结了调节水流的原则，在石上刻了“深淘滩，低作堰”六个大字。这个科学的结论颇为后人珍视。当地人民非常热爱这两位伟大的工程师，在都江堰立祠纪念，这便是有名的二郎庙。现在每年 4 月 1 日开堰时，都要举行隆重的典礼。

我们的水利工程是服务于农业的,我们的数学发展也是服务于农业的。优秀的中国人民在很早的年代(传说是伏羲氏),便发明和运用了十进制的数字和“九九”乘法歌诀。这歌诀一直到现在,还在一字不漏地沿用着。在春秋和秦汉之间,为计算田亩的大小、赋税的多寡,和粮食的运输管理,创作了有名的《九章算术》(大概在公元 40~50 年间)和《周髀算经》(公元前 100 年间)。在这两本书里,总结了这一时代优秀的中国算学家如张苍(公元前 200 年)、耿寿昌(公元前 50 年)、许商、杜忠(公元前 20~30 年)等的天才创造。他们已经运用着单分数、多元一次方程式、二元二次方程式、等差级数等代数问题,和圆周率等于 3、直角三角形的勾三股四弦五等几何问题。以后天才的数学家赵君卿,用几何证明了正三角形的勾方加股方等于弦方的有名定律。这个定律的证明,在国外最早的是印度人巴斯卡刺·阿刻雅(公元 1150 年),比赵君卿晚了一千多年。我国的数学家们在圆周率的算法上,也走在世界的前列。汉刘歆(公元前后)算出来是 3.154 7;张衡(公元 78~139 年)得“开方十”;刘徽(公元 263 年)得 3.14。张衡算出的圆周率,比国外早得很多,以后在印度的名数学家罗门加塔(公元 600 年左右)的著作中和亚拉伯算书(公元 800 年左右)中见到同一的数值。刘徽的圆周率算法是根据将圆周六等分、十二等分、二十四等分等渐近算法算得的,已包含着“内接多边形极限成圆”的进步观念。我国的圆周率算法,到祖冲之(公元 429~500 年)时达到了高峰,祖冲之得到的圆周率是 $\frac{355}{113}$,这个数值在西洋一直到 1573 年才被德国人渥脱发现。祖冲之的儿子祖暅之也是一位优秀的算学家,他用几何的方法,求得了圆球体积和直径的正确关系。我国的先进数学家,在代数上也有着辉煌的贡献。如秦九韶所著《数书九章》(公元 1247 年),对于高次方程式之求根法,较西洋鲁飞尼(公元 1804 年)及和涅(公元 1819 年)的同一发明,早了五百多年。朱世杰所著《四元玉鉴》(公元 1303 年)关于多元式的理论,及《算学启蒙》(1299 年)关于级数论等理论,都是非常卓越的科学贡献。这些算学问题的提出和获得解答,都密切联系着筑堤、作坝、造桥、建筑等重要的实际问题。

我们的祖先为了保证农事的如期进行,对于历法也非常重视。为

了要推算正确的历法,便需详密的星象观测和天文史的记载。我们的历史上有无数优秀的天文家和历法家,有着无数的发现和观测术的创造。我们祖先的天文历法,一直领先于西洋各国,到16世纪前后哥白尼发明了行星绕日,伽利略发明了望远镜,才渐渐落后。但是我们的祖先为人类留下了丰富的科学观测记录,如哈雷彗星之记录,世界最早的是春秋鲁文公十四年(公元前611年)7月《左传》所载的彗星。此后自秦始皇七年起一直到清宣统二年共29次(每76年多出现一次),每次都有详尽确实的记载。这个彗星在西洋是哈雷在1682年才发现的。又如日斑的记录,也极详尽,自汉成帝起已有一千九百多年的记载。这些记载对于日斑的科学研究,有着非常重要的价值。而在西洋,到17世纪应用望远镜后,才发现这个现象。其他如流星、客星等记录,在人类的天文知识上,也是最丰富和最可靠的记录。

我们的祖先在机械制造方面,也有着非常优秀的表现。世界上第一辆车的出现,也是在我们所热爱的祖国的土地上。传说禹时奚仲做马车,这是四千年以前的事。诸葛亮在公元231年,为了克服山地小路运粮的困难,而创造了木牛流马,据说就是现在常见的独轮车,俗称江州车子。四川有江州县,大概当时诸葛亮在那里制造了这些车子。这些创造远在西洋之先,为我国人民解除了不少辛劳和苦役。我们的造船工程在历史上也有着光辉的成绩。最著名的,如隋代杨素制造的五牙大舰,有五层楼,高30余米,可以容纳800余人。明朝的郑和,通使西洋(公元1405年),一共造了62艘大船的舰队。每舰长147米,宽60米,容将士四千多人。郑和的使节一直远越印度洋,直抵东非海岸。这些伟大的航海事迹,比哥伦布的时代还早80~90年。

我们的祖先很早便发明了纺织机械。缫车和机杼的创造,大概和蚕业发展同时,最少也有四千年了。以后在不断改进的情况下,纺织机械便一年比一年进步和复杂。到公元1300年左右,中国的纺织工业已是世界无匹的。在明末清初的时候,中国的纺织品还是欧洲的主要商品。在这里,我们必须提出一位优秀的女工程师,汉昭帝时(公元前86~74年)巨鹿人陈宝光的妻子,她创造了一架织花绦的提花机,一机用120

条线,60 天便可以织成一匹。这种提花机便是以后许多布机的张本。

我们的祖先在兵工上也有伟大的贡献,大概在 12 世纪左右发明了火药。金哀宗时,用装放火药的枪,击溃了元兵;又金元在开封交战时,双方都用了火炮;此后在明洪武年间(公元 1368~1398 年),元驸马铁木儿王撒马儿罕在西域一带利用火炮,强盛了一些时候。有些欧洲人在他部下当兵,带了火器回去,才传到了欧洲。

我们的祖先为人类发明了重要燃料。我们在 4 000 年前便懂得用炭,相传是祝融发明的。前汉书地理志内便提到了用煤的事情,那时在公元前 200 年左右。同时期在现在的陕北延长和甘肃酒泉一带,也发现了可燃的石油。而煤在欧洲的引用,是 12 世纪以后的事,大概是马可·波罗带回去的知识。天然气也是我们在四川叙府首先发现的(秦始皇时代),当时不知道怎样用它,才可以不发生爆炸的危险。以后在宋人的笔记上,才有用竹管接出煮盐的说法,克服了爆炸的困难。而用天然气为燃料的时期,大概在 12 世纪以前,这和俄国人在巴库地方发现圣火在同一时代,比英国在 1668 年才开始用以供点灯之用,又早几个世纪了。

我国一直有着丰富的文化典籍,来记载这个伟大民族的生长和发展的历史。在很早的时候,多用竹简,以后用锦帛,但是锦太贵,简太重,终究不是传递文化的最好媒介。一直到东汉蔡伦(公元 105 年)才克服了这种困难,设计用树皮、麻头、破布及鱼网做浆成纸。但是这样传递文化还要互相抄录,并不能普及推广。在隋代(公元 593 年间),我们的祖先发明了雕版印刷的技术。这种技术开始通行后,到宋代便改进得非常精美了。大约在宋仁宗时代(公元 1041~1048 年间),天才的毕昇,发明了活字板印刷。那时用胶泥字或瓦字;以后改用铅字、锡字,元朝王祜开始用木字;明朝弘治年间及清朝康熙年间更用铜字。那时(公元 1662~1721 年)制字排版的方法,已很完美。我们祖先这些天才的发明和创造,都远在世界各国之先。如他国有纸的时期,大约波斯在公元 793 年,埃及在公元 900 年,法国在公元 1189 年,意大利在公元 1276 年,从这些年代和地域的发展来判断,纸是从东方中国传到世界各国的事实,大概是不会错的。西洋的印刷术,亦远在中国的后面,大概西洋初有木版书

的时期是公元 1418~1440 年,和我们差了 300~400 年;西洋有活字版,是在 1763 年,又比我们晚了 700 年。

我们祖国有着丰富的历史遗产,有着光辉无比的科学创造。这些史实,不是几千字所能写得尽,说得完的。就所说的这一些,已足以证明历史上中国的光辉伟大。“中国人民在几千年中经常居于世界文化的前列,只是在近一百多年间才落于欧洲人之后。”造成这种落后的原因,不外是资本主义和帝国主义国家对中国的侵略和残酷的压迫,以及反动统治阶级的腐朽无知和助纣为虐。今天,我们已经解放了自己,伟大的中国劳动人民掌握了马克思列宁主义,迅速地了解了自己的力量和智慧。我们骄傲地继承着这笔光辉的遗产,我们热爱着这个有五千年历史的伟大祖国,我们将永远在这片土地上无休止地劳动,不断地创造,来丰富我们光明的前途。

中国古代的三大发明^{*}

“帝国主义及其走狗，曾经狂妄地企图抹煞约占全人类四分之一的中国人民在世界上的地位，并且进而抹煞中国历史在世界历史上的地位。”（1951年1月1日《人民日报》社论）但是这种企图已被中国人民革命的胜利，和中国人民志愿军在朝鲜的胜利，证明完全是徒劳无功的。至于中国的悠久历史和悠久文化，以及中国人民以无休止的劳动和创造，继续不断地以自己的重要贡献影响全世界，这是任何帝国主义野心家所无法抹煞的客观事实。例如，我国祖先发明了指南针和它在航海上的应用，才基本上克服了远航重洋的困难，才使欧洲人发现了美洲；我国祖先创造了造纸、印刷和活字版的技术，才促成了文化广泛传布的物质条件；我国祖先发明了硝和火药，才使人类能大量地开采煤矿；我国祖先发明了燃煤和开矿的火药，才使蒸汽机的工业运用成为实际可行，才为近代工业奠定了发展的动力基础。我国人民并没有把这些光辉的发明和创造独占为一己所有，秘不示人，或作为向外族侵略的资本。相反，我们的祖先毫不吝啬地把这些伟大的发明贡献给全人类，为今日全人类的文明奠定了一部分必要的基础。

我们反对帝国主义的狂妄企图，我们反对买办性的妄自尊大，但是我们也不要妄自尊大。我们应以祖先们光辉伟大的创造和刻苦勤劳的工作来教育自己，学习一切进步的科学成就，坚定地、自信地、沉着地以更多的科学创造，来丰富人类的生活。中华民族将永远是一个光荣的民族。

因此，我们对祖先的三大发明作进一步的了解是非常有必要的。

^{*} 1951年3月27日，发表于《中国青年》第61期，《大公报》“中国第一”转载。

指南针

指南针或叫罗盘针，是一种磁石做的针，支在中点，便能旋转自如，因为磁石的指极性，针便自己指向南北线。大约在战国末年（公元前300年左右），我们祖先便已发现磁石和它的吸铁性，那时的诸子书里都有记载。大约也在同一时期，或至迟在东汉初年（公元50年左右），我们的祖先确定地发现了磁石的指极性。那时的指南针叫做司南。《鬼谷子》和《韩非子》都有关于司南的记载。那时的司南是用来确定南方后，再依靠日晷来确定早晚时间。王充《论衡》确定地说，司南像水勺的柄，投掷在地上，便自己转向南方。

指南针如何开始用到航海方面，历史上的记载不很清楚。但是，在魏、晋、六朝、隋、唐之间，我国的祖先们不断地以无比的智慧和劳动，努力克服海上的风暴，开展南洋和印度洋的和平贸易。在这个时期，指南针必然以逐步改良的类型，用到了海船上。一直到11世纪末叶，博学的沈括在《梦溪笔谈》上曾提起磁石针的运用问题。他指出：在摇荡不定的船上，把针放在手指上或碗边上来确定南北，是容易滑落、不很方便的。沈括天才地指出，用蜡将单线缀在针腰，挂在空中，比较运转方便。沈括的这种悬挂型指南针，便基本上确定了近代罗盘针的构造。沈括还科学地指出，磁针常略微偏东而不是绝对指南，这和近代科学的地磁偏差的观察完全相合。在我国长江流域地磁向东偏2度（汉口一带）到4度（沿海一带），足见我国祖先们观察事物的精密和认真了。

全世界关于航海上使用罗盘针的最早记录，是宋朝朱或的《萍洲可谈》（公元1119年）。当时他在广州看见的中国海船，有“舟师识地理，夜则观星，昼则观日，阴晦观指南针”的记载。宣和年间（公元1123年），由海道往高丽的使者徐兢，所写的《高丽图经》里也有类似的记载，可见那时从事航海的中国劳动人民，已经普遍地掌握了罗盘针的科学知识。欧洲及阿拉伯的文献里，关于罗盘针的记载，最早大约在公元1200年左右。那时中国大船所组成的商船队，是南中国海和印度洋里最活跃的船队。据说那时的中国海船，构造坚固，容积大，可以容纳五六百人，载重

到 150 吨。在航行和造船方面,因为利用了指南针、多桅多帆,并且创造了避水舱,所以比较安全可靠。海船为避免触礁沉没,把船舱分隔成互不通水的十几个避水舱,这种办法在欧洲的造船设计上,却是相当近代的事。我们祖先对于航海和造船技术的创造,实已达到桅帆海船登峰造极的境地。欧洲各国在 18 世纪的时候,还只有三桅船,而我们在公元 1200 年左右,便已使用十桅十帆的大船了。那时的波斯船和阿拉伯船都很小,造船时还不知道用铁钉,只用椰子树皮制成的绳索来缝船板,再用脂膏和黏土涂塞缝孔,不很坚固,抵抗风涛的力量不强。所以在那些年代,波斯船和阿拉伯船都轻易不出波斯湾和红海。在印度洋上往来四海的,正是我国刻苦勤劳的祖先们所驾驶的大海船。在唐宋时代(公元 618~1276 年),阿拉伯人、波斯人、罗马人从海道来我国经商的很多,大都搭乘比较安全的中国海船。那时的广州、泉州和扬州都是大商埠,外商居留最多的时候,在广州就有 12 万人。南宋时,通商的税收曾占国库收入的二十分之一。在这样繁盛的通商贸易情况下,罗盘针之传入波斯、阿拉伯和欧洲是当然的了。

我们的祖先不仅利用自然的产物磁石创造了为人类克服航海困难的罗盘针,而且在发现磁石的指极性差不多的时期,东汉张衡(公元 110 年左右)即利用纯机械的结构,创造了指南车。但是,张衡的方法已经失传。也有传说指南车是 4 000 年前黄帝和蚩尤作战时,为克服大雾迷途的困难而发明的。也有传说是 3 000 年前周成王时,周公为了防止越裳氏(越南、广东等地的南方民族)到中央来参观后返家迷路,以指南车送给越裳氏,作为指向的工具。这些只代表了人民对于伟大的科学创造的景仰,编了美丽的故事来歌颂它罢了,并不足为历史的证据。在中国历史记载上,确定地造成了指南车的,有三国时的马钧(公元 235 年),后赵的魏猛和解飞(公元 333~349 年),后秦的令狐生(公元 417 年)和刘宋的祖冲之(公元 477 年)等优秀的中国科学家。这类指南车的构造,宋史《舆服志》内有详细的说明。它的主要部分是一组 5 个齿轮所组成的差动齿轮机。我们的祖先天才地利用这种装置,当车在回转的时候,使车中齿轮上装着的木人,手指永远指向南方。由此证明我们的祖先在

1 800 年以前,就已经创造了齿轮,并且创造了差动齿轮机。在这样早的年代,就有了这些光辉的科学创造,给我们后代子孙以无上的骄傲和无穷的鼓励。

造纸和印刷术

我国有着丰富的文化典籍和将近 5 000 年有文字可考的历史。我们的祖先在生活空间逐渐扩大、人口逐渐繁多的情况下,以不断的创造和改良,先后发明了造纸、刻版印刷和活字版印刷,克服了传播文化和普及文化的困难,为全人类提供了丰富文化生活的有力保证。

在古代氏族社会,我们祖先因为生活上的需要,用简单的符号文字记录着重要事情和生产资料。那时的各氏族在各个发展阶段中,都用不同的符号文字。传说孔子到了泰山,对于记录封禅泰山的石刻文字,还不能完全认识(见《韩诗外传》)。管仲在泰山的 72 种封禅石刻上,也只能认识 12 种(见《管子》)。那时的记录工具是龟甲(殷,3 500 年前左右)、竹简和木版(商、周,3 000 年前左右)。竹简和木版大概宽几厘米,长 0.5 米左右,每简有 8~40 字不等,许多竹简或木版用皮绳或丝绳横串上下两头编成册子。在竹简上除了刀刻外,主要的书写材料是铅或用天然的黑色木汁制成的漆。在 1900 年所发现的敦煌石室里,就有多种汉代的木简。这种竹木的文字典籍,在当时因为传播的区域不广,记载的材料不多,还能适应我们祖先的要求。

由于春秋战国的发展和秦汉的统一,文字便逐渐统一确定。那时的人民为了歌颂祖先的这种伟大创造,假借了神话式的人物,如伏羲、仓颉来作为怀念的对象。自春秋战国以后,由于我们祖先的生活领域逐渐扩大,为了携带和传播的方便,丝织的帛便渐渐地代替了竹木的简版,《墨子》、《论语》和《齐民要术》里都曾谈到书帛的事情。书帛的运用,自秦末蒙恬(公元前 220 年)发明了毛笔,和同时期应用了石墨,及以后的松烟桐煤所作的人造书墨,便一天比一天地更普遍,在纪元前后,帛差不多代替了简版。

帛虽然比竹简方便,但是它的成本太贵,不易成为普及文化的工具,

所以在汉代 400 年间,我们的优秀祖先不断地努力尝试制造帛的代用品。例如,汉成帝时(公元前 32~7 年)的“赫蹄书”和贾逵(公元 60 年左右)的“简纸”,都是渐近于布质纸的锦帛。到汉和帝末年(公元 105 年),蔡伦即初步发明了用树皮、麻头、破布、鱼网这类东西煮沸捣烂而制成的纸。此后,又经左伯(和蔡伦同时)和其他优秀的古代造纸专家不断地改进,生产数量不断增加,到魏晋之间,纸几乎完全代替了帛。我们的祖先为了使纸容易吸收墨汁,就发明了用石膏粉、苔胶或其他的粉来涂糊纸面,这类纸张在敦煌石室中发现了不少。

这种早期的纸张在中古世纪,是由商人从陆路渐渐经过新疆一带(公元 450 年左右)、中亚细亚(公元 650 年左右)、阿拉伯(公元 707 年)、埃及(公元 800 年)、西班牙(公元 950 年)而传到欧洲的。据可靠的历史记载,意大利在 1154 年,德国在 1228 年,英国在 1309 年才知道有纸的存在。至于欧洲各国自己造纸的时期就更晚了。西班牙在 1150 年,法国在 1189 年,意大利在 1276 年,德国在 1391 年,英国在 1494 年才开始造纸,而他们那时所用的原料和纸的品质,却和我们祖先在 4~5 世纪间造的纸张基本上相同。

古代的文字既然以帛来记载,并且每一段文字记载都卷成一卷轴,所以后来书籍便沿用了“卷”的名称,五卷或十卷包成一包称为“绋裹”,就是后代藏书称“函”的来源。卷子比竹简虽已便利得多,但是后来的记载日趋复杂,当要从一卷书里检查一桩事情的时候,必须将全卷展开,在手续上还是相当麻烦的。因此,我们的祖先大概在 8 世纪时,便逐渐发明了把卷子折叠成册,叫做“旋风叶”。这种折叶的书籍,在唐朝中叶曾经风行一时。当雕版印刷的书籍大量印行之后,由于印刷的方便,目前的线装书类型的书籍,才逐渐替代了卷子或折叶的书籍。在敦煌石室里所发现的古籍,自纪元 5 世纪初到 10 世纪末,成卷的共约 1.5 万余卷,可恨大部已被法人伯希和及英人斯坦因盗买出国,现存巴黎图书馆和不列颠博物院,成了文化侵略的赃物。

我们的祖先并没有以笔墨书写满足了对于文化传播的热烈要求。在汉灵帝的时候(公元 175 年),为了避免当时最通行的经籍辗转抄写易

于笔误，便在鸿都门外，立了蔡邕写刻的石经，以为标准。当时摹拓的人非常多，这可以说是雕版印刷的张本。以后每一时代都有刻石经的举动。而真正的雕版印刷，大概起源于隋代（公元 600 年左右），由于佛教的传播扩大，开始雕印佛经。唐代禧宗（公元 874～888 年）时，渐渐由于劳动人民的需要，在四川民间开始用墨版雕印《字书》、《小学》和一般技艺的书籍，唐末才有雕版印刷经史的。到了五代的时候（公元 907～959 年），不论政府和平民都有雕版刻印书籍的事情。在那时，冯道最著名，差不多印刷了那时以前的所有主要典籍。但是，唐代和五代的刊本，由于那时连年内战，很少遗留下来，现在世界上保留着的最古的雕版书籍，是敦煌石室里所发现的唐刻《金刚经》（公元 868 年）和五代的《唐韵》、《切韵》三种，但都已被盗卖到海外去了。

古代中国的刻书事业，到宋朝发展到了极点，官家刻书的就有 50 余处，私人刻书的更多。据现在所知道的，那时书坊铺子以刻书出名的就有二十多家。例如建安余氏和临安陈氏。那时刻书的地方遍及全国各地，尤其以浙江、福建、山西、陕西、四川几省最有名。宋代刊行的书籍，据现在所知，就有七百多种。印刷事业这样发达，充分显示了中华民族对于文化生活的热烈追求。

中国的雕版印刷术，虽然在公元 770 年便已传入了日本，但是一直到 12 世纪左右才传到埃及，到 14 世纪末年，在欧洲才有雕版印刷的图像。欧洲第一本雕版印刷的书籍，是在公元 1423 年才出版的。

雕版印刷虽然已经确立了传播文化的有利基础，但是，我们的祖先并不以此自满。因为雕版的费用大，人工多，一部书雕起版来，常常需要几年才能完成。那时，从事印刷业的优秀劳动人民在不断的努力之下，终于发明了活字版，并且逐渐改良到足以进行大量印刷的地步。

活字版的发明者，是宋仁宗庆历年间（公元 1041～1048 年）的优秀劳动人民毕昇。他发明了以胶泥做的活字版。他用胶泥刻成字烧硬，然后用松脂蜡和纸灰等东西粘在铁板上，压平了印刷，印刷完毕可以将字模取下来重排。沈括（公元 1030～1093 年）的《梦溪笔谈》上有很可靠的详细记载，并且说毕昇死后，沈括还保留他的活字，作为重视创造的

纪念。

在元朝的时候,王桢的《活字印书法》(公元1314年),也曾提起有用锡铸作活字的,但是因为上墨困难,没有能通行。当时的木字已很通行,木字比胶泥字(亦称瓦字)制造容易。据王桢说,先用木板刻字,然后用小细锯锯开,修整成活字。那时也创造了比较省力的排字盘。盘轮直径2.3米,轮轴高1米,上面放着活字,分匀排列,转动取字,排工不必走来走去,省力不少。我们祖先在那时候的活字版印刷非常完美,以致在后世,很难从宋元版的书籍上分辨出是活字版还是雕版。我们祖先的光辉的劳动创造,大大地把印刷术提高了一步,在以后人类的文化生活上,起了决定性的影响。这种活字印刷术,在公元1390年左右传入朝鲜;在另一个方向,又从西域传到欧洲。在公元1450年,德国人谷登堡才开始用活字版印刷了《圣经》。

活字印刷术传到朝鲜以后,优秀的朝鲜人民便发明了铸铜活字。由于朝鲜人民热爱文化,14、15世纪这200年间,是朝鲜文化传播最活跃的时代,成千上万本典籍印刷了出来。更由于拼音文字的创造(公元1434年),朝鲜人民享受着美满的文化生活。

由于中、朝人民的密切交往,朝鲜的铸字术在15世纪末,又流传回来了。明朝无锡的华文辉等也用铜字印刷,同一时期,在金陵有用铜字和铅字的。明代的印刷品中有用金属活字印刷的,《太平御览》(公元1572年)便是一个例子。

我们的祖先一直重视文化的传播和文化的积累。通过长时期的努力,克服了造纸、印刷的困难,为我们子孙后代留下了全世界最丰富的文化典籍,和最悠久的历史记载和历史。

火药

我们的优秀祖先,不仅发明了罗盘针、造纸和印刷术,并且也发明了近代军事技术的物质基础——火药。在自然科学里,凡是一种混合物或是化合物当受到冲击或升温时,即起剧烈化学变化,以致发生高热和大量气体的,通称火药。到现在人类已经发现了很多不同的火药。通常在

技术上,火药都依使用的目的来分类的。例如发射弹丸用的叫发射药,炸裂地雷、水雷及炸弹用的叫爆炸药,爆破坚固工事或工业上、建筑上轰破岩石土壤用的叫爆破药,引起他种火药爆发的叫起爆药。有时也把爆炸药和爆破药统称炸药。在这许多种类的火药中,最早为人类发明利用的,便是我们祖先天才地发明的一类炸药,现在通称“黑色火药”和“褐色火药”。

黑色火药的主要成分是硝石(75%)、硫黄(10%)和木炭(15%)。在爆炸时,化合成硫化钾、二氧化碳和氮气。但在炭分较少时,化合成硫酸钾、一氧化碳和氮气。火药燃烧以后,大约产生原重 45% 的气体,这些气体的体积在高温下大约有火药原有体积的 1 000 倍以上。如果木炭的炭化程度减低,则火药的颜色呈褐色,但爆发力增高,通常称它为褐色火药。

我们的祖先在很早的年代里(大约在纪元前后)便已发现了黑色火药的各种主要原料。木炭在全世界各民族都引用很早,我国古籍里也常有如“季秋伐薪为炭”、“仲夏禁无烧炭”等劳动风俗的记载。硫黄在古代称为石流黄或流黄、硫磺。我们的优秀祖先大概在纪元前后从南方发现了天然硫黄的富源。我们现在知道在湖南郴县有大量的硫黄矿,以后在华北各地也有不断的发现,如山西阳曲的西山和河南新安的狂口便是硫黄矿产比较有名的地点。在《武经总要》(11 世纪前叶)上便有好几处提到晋州硫黄。在古籍里最早提到“流黄”的是《淮南子》(公元前 150 年左右),在西汉末年(纪元左右)出世的第一本古代伟大药物典籍《神农本草经》上,“石流黄”列入“中品药”的第三种。在汉、魏、晋、六朝的丹书里也常常提到硫黄,所以古代硫黄在炼丹术里亦占有重要的地位。硝石是黑色火药里的氧化剂,是我们祖先发明火药的重要环节。《神农本草经》把硝石列入 120 种“上品药”的第六种。硝石有时叫做消石,这是因为我们祖先天才地发现了“消石”可以消除积热、利小便、消除血淤等的医药效用。后来(“灵苑方”)也发现了可以医治癫痫、风眩等症。我们的祖先不只发现了“消石”的重要医药功能,并且也发现了“消石”的工业效用。硝石是我们祖先烧炼琉璃的主要原料之一(赵汝适《诸蕃志说》,公元 1225

年)。硝石在我国古代是炼金术里的主要氧化剂,也是劳动人民在金银制作和皮革制作中的主要药料。我国建筑上使用琉璃很早,在汉代的《西京杂记》上便有关于琉璃的事物记载。所以我们可以很肯定地说:我们祖先至迟在纪元前后,便已发现了与现代人类文明有密切关系的“硝”。由于我们祖先在医药上和工业上广泛地利用着“硝”,所以对于“硝”的收采和提炼工作,也特别注意。在华北各地低湿的土地上和墙根上常常长着硝的细微白色结晶,大概这是古代硝石的主要来源。在 12 世纪以后的埃及、阿拉伯古代书籍上,在提到硝的时候,都称为中国雪(埃及)、中国盐(波斯)或墙盐。这一方面提供了硝是从中国传到西洋去的证明,另一方面也指出了古代“硝石”的主要来源是墙根的盐。我们的祖先提炼硝时,用鸡蛋清和硝揉搓拌匀,加水提炼,上浮的叫“砒硝”,下沉的叫“朴硝”(见明李时珍注《本草纲目》)。砒硝是比较纯的硝酸钾,朴硝主要是硫酸钠,但亦含有食盐和硝酸钾,所以朴硝可以用作泻下、消化、利尿等药。朴硝在《神农本草经》上是“上品药”的第七种,可见我们优秀的祖先在那时便已掌握了提炼“硝”的科学经验。

我们的祖先由于炼丹术里既用硫又用硝,便渐渐地发明了可以燃烧的火药。这段长期的艰苦发明过程,并没有足够的历史可考。到宋太祖开宝二年(公元 969 年),冯义昇和岳义方两人发明了火箭法,并且试用成功。后来《武经总要》(11 世纪初期作品)描写火箭有“放火药箭者,加桦皮羽,以火药五两贯镞后,燔而发之。”大概在公元 1000 年左右,我们的祖先为了要抗拒北方民族的入侵,便加强了对于火药运用和制造的研究。《武经总要》上详细地记载着那时的研究成果和新型的火药武备的内容。如火炮、蒺藜火球、毒药火球等的火药法。我们的伟大祖先在毫无现代化学知识的情况下,准确地掌握了科学的配药分量,来适应各种武备的特殊要求。更可注意的是:在蒺藜火球的火药法里,天才地利用了沥青来控制燃烧的速度。这样利用沥青的光辉的发明,在英美各国还是 20 世纪的事情。到了南宋以后,在抗击北方外族的入侵上,更普遍地应用着火药武器。在《元史》、《史弼传》中曾说,史弼在至元十三年(公元 1276 年)“被宋骑士二人挟火枪所刺。”在《宋史》上也提过理宗开庆元年

(公元 1259 年)在寿春制造突火枪和火筒等火药发射武备的事情。但是那时火药在人民中间也是新型的娱乐工具——焰火——的原料。如《武林旧事》(1163~1189 年)、《梦粱录》、《事林广记》等南宋的书籍上都有关于那时劳动人民怎样用焰火来欢度节日的纪事。

此后在军事上用火器的记载,便渐渐增加。金哀宗时曾用火枪击溃元兵。金、元在开封交战时双方都用了火炮。元末的农民起义,都自制火炮。至今在浙江还保存着 1356 年起义时所用的大炮筒两个。

一直到明洪武年间(公元 1368~1398 年),元驸马铁木儿王撒马儿罕在西域一带利用火炮,强盛了一些时候。就在他的部下,有些欧洲人把这种东方的新型火药武备带了回去,这才传到了欧洲。

以上的事实,无疑证明了中华民族是世界上最优秀的民族之一。我们对于全世界的文化有着不可泯灭的光辉贡献。今天我们已经从长期的封建压迫和帝国主义的践踏下解放了出来,我们自信将继承着光辉无比的历史,为全人类创造更光辉的前途。

物理教学与爱国主义教育的结合^{*}

在“物理教学与爱国主义教育怎样结合”这样一个问题里，主题当然是爱国主义教育，因为爱国主义教育是一切教育工作的前提，贯彻爱国主义教育是目前教育工作的中心任务。我们绝对不能把爱国主义教育和某一专门的业务教学分开来看，把它单纯地看作只是现阶段的一个政治任务。因为，只有我们把爱国主义教育贯彻到每一业务教学中去，才能达到提高业务的目的，才能很好地完成培育青年的任务。但是，根据多方面的反映，今天物理教学里存在着许多问题，并没有很好地结合爱国主义教育。有人认为物理学是一门纯粹科学，扯不上爱国主义教育。若一定要扯，就只好硬扯，于是便扯得非驴非马。例如，有一位物理老师在讲到滚珠的转动摩擦时，说共产党员的坚强奋斗就好比钢珠一样；在讲到磁极时，说共产党就好像磁极，吸引着团结着全中国的人民；在讲到电学时，说中国《易经》上就发现了电，因为《易经》上说“复像雷，在地中”。像这样的对比和扯法，实在太牵强了，太过分了。另一方面，有人认为既然扯不上，就索性不要扯吧。其实，物理教学和其他教学一样，是可以适当地贯彻爱国主义教育的，因为物理学的题材是我们人类生活中的一切物理现象，它是紧紧地和我们人民的生活、我们祖先的劳动奋斗、我们民族的繁衍生息结合着的。并且在目前的物理学教材中，的确有很大一部分是非爱国主义的，是带有中立色彩的，甚至于是爱了别人的国家的。我们如能把这些教材检查出来，予以删除，或予以改正，代之以爱国主义的教材，便不难把物理学的教学水平大大地提高一步。

^{*} 选自《人民清华》，1951年8月。

一、哪些是非爱国主义的教材内容

我们这一代从事物理教学的人，长期受了资本主义物理教学的影响，但是自己并不知觉。我们国家近百年来，受着帝国主义、资本主义国家的侵略影响，沦为半殖民地，这些半殖民地性质的思想内容，无疑会在物理教材的内容中反映出来。很多人认为物理学是纯粹科学，超然于政治之外的，却不知道我们所奉为圭臬传授给学生的教材，就是有政治性的、半殖民地性的。让我们举一些简单的例子来说明这个事实。

(1) 发明权问题。这是极端政治性的，因为资本主义国家的统治阶级，一贯地利用假科学的民族优劣遗传的御用学说，一方面造成自己民族的优越感，来为征服全世界的企图而努力，另一方面造成被统治民族的自卑感，减弱他们对统治侵略的反抗意志。发明权问题便是这种种族优劣论的最简单的论据。因此在资本主义国家之间，对发明权就有很多争执。例如我们大家所熟知的牛顿三定律中，第一定律惯性律，第二定律动力律，实际上都是伽利略发明的，牛顿只发明了第三定律反作用律。牛顿不只是英国的伟大科学家，而且是当时的财相和贵族。英美统治阶级要捧牛顿爵士，而把拉丁民族的伽利略的伟大贡献予以歪曲，或放在陪衬的地位，自然是符合资本主义统治阶级一贯作风的。我们现在为什么还要称它们为牛顿三定律呢？为什么不称它们为运动三定律呢？又如一个分子量中在标准温度压力下的分子数在英美都叫阿伏伽德罗常数，但在德国书上却称作陆许米德数，他们认为这是德国人陆许米德发明的。又如关于气体温度与体积的关系，在英美叫做查理定律，但在德国叫做葛路萨克定律。又如伽玛射线的异常吸收实验是我们赵忠尧先生首先完成的，这个工作是后来证明正电子存在的重要论据，所以在近代物理学上很有地位。他这实验是 1930 年在美国做的，他的导师密立根曾一再引证，因为密立根是美国物理学界的老前辈，说话有地位，所以美国人一般还承认赵先生的工作。但是英国人却认为是葛来、泰伦的贡献，实际上这两位英国人是在看到赵先生的论文后，才去重新做的。英帝国主义影响之下的科学家，便完全抹杀了赵先生的贡献。这样的例子

在科学发明史上实在不胜枚举。就是像微积分这样的伟大发明,英国与欧洲大陆诸国也有各据一说的争论,英国说是牛顿的贡献,欧洲大陆上说是莱布尼兹的创造。新中国成立以来,我们和苏联接触以后,得到不少文化教育方面的资料,例如无线电,原先天经地义地认为是马可尼发明的,但是现在事实上证明了是苏联的先进科学家波波夫的创造。这些证明了的发明权本身就是具有政治性的,我们长期不自觉地受了蒙蔽。

(2) 度量衡制度。万国公制无疑是目前最科学的度量衡制度。由于这个制度完全是十进制,所以运用方便,一般物理学界在十几年前便已决定以公制为教学的基础。新中国成立后各方面对于引用公制的意见,亦已渐趋一致。但是在今天有许多物理学的教科书中,还是英美制和公制混用,这无疑是由于英美资本主义国家工业的侵略和商品倾销所造成的现象。这样不分皂白、混乱杂用的办法,对青年学习物理实在是增加了许多无意义的烦难。

(3) 在教材上反映着资本主义国家的生活。物理是描写自然现象、认识自然现象和实践自然现象的科学,所以许多教材都结合着人民的生活。但是我们今天的物理教材结合了谁的生活呢?我们可以说主要是结合了资本主义国家的生活,尤其是英美国内的生活。让我们以现在高中引用得比较广泛的严济慈先生编著的《高中物理学》为例吧。图 22、图 37、图 60、图 68、图 114 中画的人物都是外国人。图 84 上的马车是英法式的,为什么不画一辆广大农村中用得非常普遍的大车?图 11 的固体弹性是很可以用扁担或鱼竿来表示的,但是却用了一根固定一端的钢条。讲杠杆时用了一根外国秤(图 72),讲共点力时我们看到一只纤拉船和帆船(图 34、35),都是西式的。我们那样美丽的帆船则完全没有份儿,况且我们的祖先在引用帆船上有着非常光辉的历史传统的。在图 244 里讲蒸发的盐田,从布置上看显然是外国的盐田,我国苏北、浙东、大沽一带的盐田是如何伟大而壮丽的,却并未提及。又如在戴莲轨编著的《开明初中物理学教本》的图 83 和图 86 中,我们可以见到两个外国妇女。其他各书的题材中也大致相同,我们可以见到荷兰的风车、德国的飞船和其他各种在外国常用但在我国罕见的东西。我们一翻出教科书,

便有一种身处异域的感觉,在整本书内,找不出一些亲切的、属于我们民族自己的东西。难道我们没有吗?不,正相反,我们民族有着丰富的生活环境,有着丰富的生产工具和民族形式的日常用具,可资用为物理教材。至少我们有着 4.75 亿的优秀劳动人民可以充任教材里的人物。让我们把这些外国人的图像从教材里消除吧!这当然并不包括有科学历史意义的图像。

这些非爱国主义的教材内容,是应该加以检查和删除的,但是这是一个长期的工作,有待于物理学教育工作者们的共同努力,我们应该努力发掘,交流意见,逐步地做到在教材内没有非爱国主义的成分。

二、爱国主义教育应能加强青年们的民族自尊心

删去非爱国主义的教材内容,只做了消极的工作,我们应该在积极方面使物理教学和爱国主义教育结合起来。我们的积极努力首先是要从教学的过程中加强青年的民族自尊心。我们的城市青年由于长期与帝国主义的半殖民地教育接触,对于我们民族的优秀品质认识不充分,甚至有完全否定了的。我们的物理教学便要负起这个建立民族自尊心的使命,要尽量地、恰当地介绍我国伟大祖先们在物理学上的发明和发现,使青年们肯定地认识到我们中华民族和世界上其他任何民族一样,有着优秀的和高贵的品质。

为了能完成这个使命,我们从事物理学的教学工作者,应该不断地发掘中国古代物理学的发明和发现,把这些事实正确地编入教材。我们祖先虽然长期处在封建制度压迫之下,但在物理学上还是有不少的创造。这些创造由于社会制度的限制,多半是表现在物理现象的观察描写和应用方面,例如,在力学方面,《墨子》经说篇里关于权衡的学说,便是杠杆原理的原则说明。我国对于杠杆原理的应用,表现在桔槔上(公元前 1700 年左右,约比埃及早 200 年)和表现在秤上。究竟秤是什么时候发明的,尚待我们的发掘查考。又如远古时代便已利用了戽斗,无疑地是分力合力原理的最古老最简单的例子。从汉代起我们祖先便已知道利用反作用力作滑翔飞行的试验,到北宋初年更作了喷射推进的设

计,《武经总要》记载着宋太祖开宝二年(公元 969 年)冯义昇、岳义方作的火箭法。在水力学方面,张戎发现了水流流速和沙淤的关系。到汉明帝(公元 69 年)时,王景更说明了“筑堤束水,藉水攻沙”的办法。这就是说河床缩小,水流加速,压力减低,沙自然因发生湍流的关系而容易升起,便被冲走了,这是很符合我们现在所讲的伯努利原理和湍流理论的。我们当然不能说当年张戎和王景就已了解到这个原理,但是这个发现,两千年来却一直作为治河的理论。在度量衡方面,《汉书·礼乐志》上说 1 升水等于 13 两重,这已明确了容量和重量结合起来的先进度量衡制度。在声学方面,古代乐书上有五律、七律、十二律的音阶和古乐器的尺寸,对于乐器长短和音程的关系,已有了很肯定的认识。这些都是公元前 1500 年以前的事情,到明朱载堉(公元 1596 年)《律吕精义》里,又有十二平均密律的确定,这个密律在西洋到 1636 年才被推算出来。《汉书·律历志》里详细描述了我们祖先如何由一种基本律叫黄钟的律管,定出标准度量衡的办法。那时用黍子 90 粒排置的长叫 9 寸,定为黄钟律管的长,便有了标准尺。后来以装 1 200 粒黍子于律管叫 1 仞,又有了标准量。又将 1 200 粒黍子重量定为 12 铢,成功地确定了标准衡。这样以标准音和标准度量衡统一起来的办法是非常先进的。我们祖先至迟在唐朝时,也了解到共鸣的现象。在唐刘宾客《嘉话》上记载着一个有趣的故事,说某寺方丈的禅堂里挂着一个磬,每当斋戒敲钟时,磬也响。远近认为有神,老百姓都来朝拜,终日不绝,使方丈、和尚不胜厌烦。有一位宾客自认为有办法,便将钟上多出的一角锉掉了些,敲钟时,磬再也不响了,可见这位宾客一定是明白共鸣的道理的。在电磁学方面,王充《论衡》里便力辩雷击电光不是有什么神的事情,而是阴阳交错的结果。又大概在公元前 300 年左右(战国时期),我们的祖先便已发现磁石和它的吸铁性。大约也在同时,或者是到公元 50 年左右,我们祖先确定地发现了磁石的指极性,用勺形的磁石叫做司南的放在地上转动指出南方,然后再依靠日晷来确定早晚时刻。至于造成近代的指南针,大约在南北朝唐宋之间。由于那时我们祖先在南洋海上航运,为了和平贸易,要克服海上风暴,指南针逐步改进,才取得了近代罗盘针的形式,这在南

宋沈括的《梦溪笔谈》中有详尽的记载。沈括并且科学地指出,磁针是略微偏东而不是绝对指南,这和近代科学的地磁偏差观察完全相合。在光学方面,《墨子》上已经谈到光源和影的关系和一些简单的几何光学。《梦溪笔谈》上更讲到针孔倒像的问题,那时叫做“格术”。他说由窗隙观像,在一定的距离之外,就是倒影。沈括对日月运行的规律和月球反射日光的道理,都有明确的见解。沈括是封建社会里的一个士大夫,他能够重视劳动人民的成果,重视科学的现象和问题,对客观现象能精密认真地观察和记载,是值得我们崇敬和介绍的。所以我们要让青年们认识到我们优秀的祖先们是怎样地观察自然、了解自然,而且把观察中得到的理论结合到实际生活应用中去。这些是值得我们骄傲的,但是决不要自满,因为我们还必须认识到,过去由于封建社会制度的关系,在反动统治下,使祖先们对于自然现象的认识仅止于现象的观测,而不可能发展成为系统的科学。

另一方面,我们也应该把我国的物理学工作者们在近代物理学上的贡献介绍给青年们。例如叶企孙所测定的普朗克常数,将近 30 年了,这个近代物理学的基本常数仍沿用着叶先生所测定的律值。还有钱学森在高速空气动力学方面的研究,萨本栋在电信网路分析方面的贡献。特别可珍视的是,萨先生的全部工作是 1933~1936 年间在国内完成的。吴有训在 X 射线的康普顿效应方面的重要贡献,是统一光的微粒论和波动论的实验基础。赵忠尧在伽玛射线吸收方面的贡献,钱三强在对三分裂铀原子的实验发现,吴大猷在分子光谱学的工作,严济慈在照相机的高压反应的贡献,都可作适当介绍。其他如饶毓泰、彭桓武、马士俊、周培源、王淦昌、王竹溪等在纯粹物理各方面的贡献都是非常重要的,对推进世界物理学的水平,都起着一定的作用。最近科学院在编订我国物理学的文献目录和我国物理学的论文丛刊,其目的便是把这些优秀科学家的工作对青年作系统的介绍。我们物理学家们虽然已经有了很大的贡献,但是还没有发展成应有的伟大的力量。更大的发展和更高的成就则尚待我们的努力。但是这成就已足以说明我们伟大的中华民族,和其他民族一样有着优秀的品质,我们应该在物理学教学里用事实说明其真

实性,来培养青年人的民族自尊心。

三、爱国主义教育应该紧密地联系着我们的生活

物理教学应该紧密地与我们的生活相结合,培养学生钻研四周现象的兴趣,从了解生活和热爱生活中产生热爱祖国自发情绪。物理学是最容易做到这种要求的一门学科。例如讲到杠杆原理,我们应该举关于秤的例子,关于桔槔的例子。讲到速度,我们常常说“从甲地到乙地如何如何”,我们何不说从天津到北京火车如何走、汽车如何走,我们的安全行车率是什么等等为教材呢?讲到流速,我们何不引用黄河的水流数字,使青年了解关于黄灾的具体问题呢?讲温度,我们便可以讲今日的温度、本地的最高最低温度和全国各地温度的变化。从这样的教学中,使青年了解祖国的伟大。讲到地球五带,我们向青年讲过当地的经纬度没有?今天有多少青年知道我国最南端几度、最北端几度?讲到蒸发,就可以讲讲我国的盐田。讲到雨,为什么不能略谈雨量分布与农产品的重要关系呢?讲到长度,就不能用北京市的林荫大道多宽多长、长城多长、京汉铁路多长等问题来做习题的材料么?抗战前有个笑话,说某大学的入学试题内有一个题目是1厘米约有多长,请考生在纸上画线表示,结果有一半以上的考生所画的长短完全不对,可见在反动统治时代的教育是怎样严重地脱离现实的。讲到电话,在北京的学生为什么不可以到北京市电话局去参观参观呢?讲到电力,我们可以给青年讲讲全国的发电量和我国工业用电发展的前途。就是像密度那样简单的题目,我们假如把北京城墙的大小算重量,就可以使同学们了解当时劳动人民在封建统治者压迫之下是如何辛苦地将它建筑起来的。这些都是具体的例子,使物理教学和青年的生活结合起来,和青年们所生活的环境结合起来。从这种具体的结合里,青年对生活和环境才能有具体和深刻的认识,于是便能产生热爱祖国的情绪。

四、爱国主义教育应该指出祖国的伟大前程

因为物理学是一门基础学科,是一切工程技术的基础,所以通过物

理学的教程,我们可以尽量指出祖国建设的多方面技术需要。从物理学的教程里让青年了解到祖国的伟大前程,巩固和发展青年参加伟大祖国建设的信心和积极性。另一方面,也可以促进学生学习物理学的热忱,使其学好物理,为进一步学好技术、钻研业务打好基础。例如,讲到水力学时,在目前应该讲讲治淮,也可以参考一下水利部的报告,讲些水力发电的前途。讲到力学时,可以讲些航空建设和重工业建设的例子。讲热学时,可以讲讲火车头和汽车工业。电磁学中讲些电力网建设和电讯建设的情况。光学中可以讲讲玻璃制造。其他如金属冶金、化学工业中的一些问题,都可以灵活地穿插在物理学的教材里面,使青年们了解祖国工业建设的情况和祖国的远大前程。

物理学是一门比较严谨的科学。通过物理学的学习,我们应该培养学生正确的学习和思想方法。我们应该从物理学的教学中,使学生养成实际与理论贯穿结合的科学习惯。今天同学们由于长时期在反动统治下生活和学习,一般的学习方法和思想习惯都很落后,例如他们喜欢背书、死记公式、死做习题,不肯对物理作通盘的系统的讲解。有的学校先生把物理学分割成 18 套互无关系的题目,配合着 18 套公式或定理,教给学生,自以为这是最有效的教学方法。其实这种支离破碎的教法,对学生有着很深的毒害。我们发现在大学中有在初中、高中、大学内连读三遍牛顿运动定律的学生,虽然定律背得烂熟,但是在非常简单的问题上还是抱着加速度方向等于运动方向的机械错误观念。

总之,物理教学并不能从爱国主义的大浪潮中孤立出来。物理学的教学是可以从多方面来结合爱国主义教育的。我们现在还引用着不少非爱国主义成分的教材,还有不少爱国主义教材尚待物理学工作者的发掘和创造。让我们物理学工作者一齐努力吧!

《弹性圆薄板大挠度问题》* 序

中国科学院数学研究所力学研究室曾在 1953 年冬季联合北京西郊各大学的力学工作者,进行了一系列的科学报告会。这些报告的中心主题是圆薄板的大挠度问题。这本书就是这些报告会上所报告的论文汇编。

圆薄板的大挠度问题主要分三个部分,即圆薄板在横向载荷下的大挠度问题、球面扁薄圆壳的稳定问题和圆薄板边周受压后的屈曲问题。我们在这些方面都有比较详尽的介绍和讨论。

第一个报告介绍了圆薄板在横向载荷下大挠度问题的一般解法,主要是资本主义国家的学者的工作。第二个报告全面地介绍了苏联学者在圆薄板大挠度问题方面的工作。第三、第四两个报告介绍了我们自己在圆薄板大挠度问题上用摄动法进行研究所得的结果。第五个报告介绍了球面扁薄圆壳稳定性问题的的工作,这个工作在以前尚未发表过。第六个报告介绍了圆薄板边周受压后的屈曲问题。最后我们发表了总结讨论会上各位参加报告会的力学工作者讨论发言的提纲。那一次的讨论会的发言是很热烈的,但是限于篇幅,我们不可能全部发表。

在最后的总结讨论会上,所有参加的力学工作者全面地研究了圆薄板大挠度问题的发展方向,指出了在这方面还有不少实用的问题等着我们去解决。讨论会上也提出了圆薄板大挠度问题方面的补充资料与文献。所有这些都推动圆薄板大挠度问题的科学研究工作的进一步开展。

* 该书与林鸿荪、胡海昌、叶开沅合著,中国科学院数学研究所力学研究室编辑,1954 年科学出版社出版。

我们必须指出,圆薄板大挠度问题在造船、化工设计、仪器制造等方面都有实际应用价值。苏联在这方面的资料非常丰富,但是由于缺乏苏联的杂志和书籍,有些部分没有能够获得直接的资料。这里所介绍的苏联材料中,有一部分是间接收集得到的。

我们希望,这些报告的发表将有助于国内力学工作者们对于圆薄板大挠度问题工作的研究。

参加这个报告会的除了中国科学院数学研究所力学研究室外,还有北京大学、清华大学、北京矿业学院、北京钢铁学院、北京航空学院、北京石油学院、铁道部铁道研究所的力学工作者。这个报告会的收获,和所有参加者的热情支持和尽情的讨论是分不开的。

这个力学报告会仍在继续进行,目前所报告的第二个主题是一般薄板问题。报告会的结果将来也要汇编起来出版,以供各有关方面参考。

我国力学工作达到国际水平的远景计划草案^{*}

一切自然科学、工程和技术都是力学工作者的工作园地。力学是世界上最古老的学科之一。它是目前一切工程和技术的基础。力学的发展和进步在很大程度上领导并标志着生产的发展和进步。在目前我国展开大规模经济建设的时候,怎样可靠地在我国广泛的范围内建立力学科学稳固的基础,以带领和推动其他技术的发展,就成为重要和迫切的问题。制定我国力学工作远景规划必需要说明下面几个问题:什么是力学?什么是我们需要的力学?什么是我们力学工作者的奋斗目标?我们在目前有些什么条件和情况?为达到我们的奋斗目标应该怎样做?

一、力学和力学的范围

力学是研究物质机械运动的科学。不论这些物质是固体、液体或是气体,远如星云,细如灰尘和沙粒,甚至电子,都是力学研究的对象。力学在 19 世纪曾发展到这样的地步,以至于有些科学家认为一切物质的运动都可以用物质机械运动来解释,这就是人所共知的机械唯物论。这在现代科学的发展过程中已经证明是片面的、错误的。但是,力学的工作范围仍是非常宽广的。迄今为止,力学一般只对物质的机械运动在牛顿力学的体系内作宏观的研究,而把超出牛顿力学体系以外的运动的研究,划给了理论物理和物理化学的工作者。力学在工程技术的应用上也和工程师有所分工。力学一般只从事工程技术上带有根本性的和普遍

^{*} 1956 年 2 月,在全国第一次力学代表大会上的报告。

性的力学工作,向工程技术方面提供必要的有理论依据的设计数据和公式,或是从工程技术方面吸取实际生产经验,用力学的基础进行总结,提高到理论水平,再予以推广使用。因为有这样广泛的理论基础,力学的工作经常发现新的一般被忽略的事物,也就是常常为工程技术开展新的领域,指示新的道路。工程师则不仅要依靠力学的知识,而且要综合地运用电学的、热学的、化学的、经济的等等知识从事生产的活动和技术水平的提高。力学发展的基础是人们的生产经验和科学家的有系统的实验知识。力学家利用这些实际的知识,总结归纳为若干原则,再利用数学工具推广应用到更广泛的方面去。力学的发展因此自 18 世纪以来常常推动着数学的发展,以致有些人误把力学看成了数学的一部分。力学一方面和理论物理、化学、工程技术数学有具体的分工,另一方面常常互相渗透,造成科学的新的生长点,开创新的科学工作的园地。如控制调节理论、化学工业中的力学问题、动力冶金学等,就是具体的例证。

二、我们的发展范围

根据上面的叙述,力学的发展范围一定要涉及一切技术的部门。当然,在配置干部的数量和发展的先后上,显然有所不同。但是为了配合科学和技术的各个部门的发展需要,力学的发展范围必然是非常宽广的。具体说来,我们可以把一定要发展的力学部门归纳为下列五个部门 37 个方面,计有:

(1) 一般力学部门: ① 力学基础,质点系及刚体力学;② 天体力学;③ 振动理论及稳定性;④ 控制及调节理论;⑤ 机构及机械运动学。

(2) 固体力学部门: ⑥ 杆及杆系(包括轴、弹簧、绳、结构力学及结构动力学);⑦ 板及壳(包括薄壁构件);⑧ 弹性力学(包括热弹性力学等);⑨ 材料的力学性质及试验技术(包括光弹性、电阻应变仪等);⑩ 强度、塑性、蠕滑及疲劳等塑性力学的理论;⑪ 流变学;⑫ 土壤力学及散体力学;⑬ 波动和冲击。

(3) 流体力学部门: ⑭ 水力学及河道动力学(包括洪水计算及水工试验技术);⑮ 渗流(包括地下水);⑯ 沙粒迁移及沉淀运动;⑰ 流体动

力学(包括层流、粘性流、不定常流等问题);⑱ 气体动力学(包括可压缩流体等);⑲ 稀薄气体动力学;⑳ 湍流及边界层理论;㉑ 飞机的空气动力学及飞行力学;㉒ 颤动理论;㉓ 空气动力学的实验技术(风洞及飞行试验);㉔ 旋转机械的流体及气体动力学(螺旋桨、泵、透平风车及风扇等);㉕ 船体的造波及推动理论和实验技术(包括潜水艇等)。

(4) 热力学及物理力学部门: ㉖ 热力学及热交换;㉗ 热空气动力学(包括燃烧);㉘ 爆炸;㉙ 化学及冶金过程中的流体动力学;㉚ 电磁场中的流体力学。

(5) 其他应用的部门: ㉛ 动力气象学;㉜ 声学及建筑声学;㉝ 磨损及滑润;㉞ 弹道学;㉟ 金属压延及切削力学;㊱ 地震波动;㊲ 电子束或带电粒子束的运动学。

在上面这些方面里,除了天体力学只要有少数几个人从事工作外,其他各方面都需要较多的人员进行工作。例如第①(力学基础)、第⑥(结构力学)、第⑨(材料试验)、第⑭(水力学)等,都是一般高等工业学校中基础课的教师的工作范围;例如第④(控制及调节理论)、第⑩(强度、塑性及蠕滑的理论)、第⑫(土壤力学)、第⑯(沙粒运动)、第⑳(风洞实验)、第㉔(旋转机械的气体动力学)、第㉖(热交换)等等,都是工业生产上或工业建设上有关键性的并且需要较多人员工作的方面。

三、第三个五年计划结束时的奋斗目标

我们在第三个五年计划结束时的奋斗目标是:

(1) 在人员方面要在上面 37 个专门方面有足够数量和足够质量的高级干部来独立自主地进行工作。要能同时满足高等学校日益增长的力学教师(即教授、副教授)的要求,满足日益扩大的企业研究机构的力学研究人员(研究员、副研究员)的要求和满足科学院力学研究所的发展和科学院其他技术科学研究所中力学研究人员(研究员、副研究员)的要求。

(2) 在设备方面,要在上面 37 个专门方面每一方面至少有一个实验中心,在有些方面(如水工试验、材料试验)将不止一个,这些实验中心

要配备一定的设备,和发挥这些设备技术效能的技术领导力量。在这些实验中心,包括有一个工业风洞试验基地(要备有专用的水力电源)、一个透平试验中心、一个弹道研究中心和一个自动控制研究中心。

(3) 在资料方面,要在上面 37 个专门方面每一方面至少有一本中文的专门文献,有些专门方面如弹性力学、塑性力学、空气动力学等较基础的项目将不仅有一本,而将有较多的专门文献。这种专门文献中包括名著的译述、文献的选择和某一专门问题的总结性的专著。我们将争取在每一专门方面至少能写出自著的专著一本。这些资料将是我国进一步开展力学研究和培养高级研究教学干部的主要参考资料。

在这里我们应该对于“高级干部”作一个解释。我们所谈的“高级干部”是指在上面 37 项中的某一项中有充分的见识和能力,掌握世界先进国家在这一方面的发展情况,通晓这一方面发展的途径,在这个业务范围里,他能够判别“该做不该做”和“能做不能做”,同时有足够多的独立研究工作能力的人。换句话说,就是一个“专家”或是一个“副博士”应该达到的水平。当然,我们也必须指出,这些“高级干部”中将有一部分要超出这个水平,他们在 12 年后,将不仅在一个项目中能做到这样,应该进一步扩大他们自己的能力,以至能兼任两三个项目。这样的“高级干部”就比“副博士”有更高的水平,他们的工作和领导能力将更强,他们比“副博士”易于和其他专家合作进行综合性的研究创造。他们有较强的能力开拓新的科学领域。所有这些高级干部都大体上具备培养研究生的能力。

我们估计在 1967 年前应能培养出数量约近 1 000 个副博士水平以上的力学研究教学干部。这 1 000 个副博士中约有 200 名供给高等学校充任理论力学、材料力学、水力学、结构力学等方面的副教授以上的师资,100 名作为科学院力学研究所的基础力量,200 名作为科学院其他科学技术研究所力学研究人员的领导力量,余 500 名作为企业各部门研究机构的力学人员领导力量。

由这些人员为骨干的力学队伍,以 1 个高级人员领导 3 个初级人员估计,在 1967 年时将为 4 000 人。和这些工作人员配合的其他技术人

员(指在研究机构里如机械、电机、土木、水利和化工的工程技术人员),将为3~4倍,约计10 000人左右。这个队伍将是在业务领导上比较健全的队伍,是完全足够满足各方面对于力学研究的要求的。

四、我们目前的条件和情况

我们目前的力学的科研力量是比较薄弱的。由于生产不发达,力学干部的培养从来就没有受到反动政权的重视,一直到新中国成立后1952年北京大学才设立了数学力学系,到现在为止还没有毕业生。国内其他工学院也还没有工程力学方面的各种专业(如空气动力学等)。

根据估计,在高等学校副教授以上的力学教师(包括理论力学、材料力学、水力学、结构力学等)约计150人左右,他们的科学水平相差悬殊。科学研究机构副研究员以上的力学方面的研究人员大约在20~30人之间,他们的工作水平也有很大差别。他们几乎全部是从其他专业改行而来的。根据他们的情况,约可分成三类。

第一类人员是那些业务较差的,他们的知识只局限于少数几本教科书,其中也有少数甚至到现在还坚持着30年前的美国教科书。他们从来没有进行过什么研究工作。苏联的教材对他们已经产生了很大的冲击,感觉到基础不够而吃力。这类人员的主要问题是补足基础,谈不上什么科学研究。这类人员的提高过程将是艰苦的过程,可能比培养大学毕业还要困难。这类人员约占150人中的1/3。在科学研究机构中也有少数人是属于这一类的。

第二类人员包括:①那些教师中业务较好但是没有研究工作经验的人,他们对教科书有充分的理解,但是因为从来没有做过研究工作,因此就对于这门学问的发展方向、存在问题等情况毫无了解;②那些教师中曾经在国外做过学位论文,但是并没有通过论文的工作充分地博览文献和在实际生产中广集资料,只是在导师指导下完成了工作,返国后一直从事教学工作或行政工作,再也没有做过研究的人。因为他们没有掌握学科的发展方向,生产落后的旧社会也不会向他们提出问题,他们就在没有问题可研究的情况下度过了若干年;③那些教师中曾经做过研究工

作,并且在若干年前也曾掌握了这门学科的发展方向和具体情况,但是由于长期停顿,早已和近 10 年或近 20 年来的发展情况脱节了的人,今天已不能掌握具体方向,甚至也忘掉了不少。

这几种人的共同特点是没有问题可以研究,或是有了问题没有能力判断“该做不该做”和“能做不能做”。但是假如有人能帮助他们,出合适的题目给他们,指点他们阅读文献和收集资料,则他们完全有可能独立地进行科学研究,通过研究工作,恢复和发展他们掌握一门学科的能力,在一两年后有一部分甚至于可能达到领导少数研究生的水平。有一部分正在培养但是尚未成熟的青年工作者也是属于这一类人。这一类人约占全体教师的一半左右。在科学研究机关里有一部分人也是属于这种类型的。

第三类人员包括那些通过论文工作,充分地博览文献,或在实际生产中广集资料,完全掌握了这门学科发展的过程和方向的人。他们在论文结束后,继续不断跟随着这门学科的发展工作着。目前的国家建设中只要有问题和他们的专业结合,他们就完全有能力判断和解决这些问题。这里也包括那些虽然通过论文工作,但并没有掌握这门学科的发展过程及方向的人。但是由于他们机会好,长期在研究机构或生产机构进行研究工作,因此,累积了经验和知识,也掌握了这门学科的问题。他们都有能力独立进行工作,在本门学科中都知道有不少问题可以进行工作,对相关问题有判别能力。他们完全有能力培养新生力量,即指导研究生的工作。他们中间有些人甚至不仅钻研了一个学科,还曾经在两个或两个以上的学科中工作过。这些个别的人一般就有更大的工作能力,可能同时指导较多的研究生,也易于发展新的学科,易于接受国家给予的新的生疏的问题来进行工作。这类人员据估计大概有 30 人左右,其中有五个左右是曾经在两个或两个以上的方面做过工作的。

这一类人的另一特点,就是在学科上比较集中,其中绝大部分是结构力学和材料力学,少数是水力学及水工试验,更少数是弹性力学、塑性力学、气体动力学的人员。因此,我们在目前有很多短缺的门类。

在实验、试验设备方面,只是水工试验室是较普遍地有了基础,较好

的有南京水工试验所、清华水力学实验室及室外水力枢纽、大连工学院水工试验室、天津大学水工试验室、武汉水利学院的试验室等,但是一般还没有使用先进的电子仪器设备进行工作,尚待进一步提高。材料试验方面不少高等学校和企业部门的研究试验所都有很好的试验设备,但是,大部分在处理着日常教学和工业试验工作,很少进行科学研究工作。光弹性实验由于胶质光弹性板还不能自制,没有得到很好的发展。电阻应力仪由于电阻丝还不能自制,还只是表演性的,很难推广使用。动力的试验设备一般很少使用。因此,在这些方面尚待大力提高。风洞只有两三个教学用的低速的试验风洞,运转情况尚不能令人满意。

在资料方面,除了数学研究所力学研究室曾在两年来组织人力翻译和著作了少数有关弹性力学、材料力学、流体力学的几本书外,其他还完全缺乏。国外期刊除了科学院翻印的七八种外,其他也很缺乏。

力学方面还没有能出版自己的力学学报。在 1954~1955 年两年中物理学报一共发表了力学方面的论文约 45 篇,其中有 35 篇是属于弹性力学的,绝大部分是力学研究室、北京大学、清华大学极少几个人的工作。

五、我们应该怎样来达到我们的奋斗目标

我们现有的基础是薄弱的,我们的奋斗目标是巨大的。我们要达到这个目标,一定要注意遵循下面几个原则进行工作:

(1) 这些年度里的中心工作是通过正规的学位制度培养完全能独立掌握一门学科进行工作的副博士一级的干部。

(2) 这种培养干部的工作首先要依靠目前现有第三类人员的努力。其次要设法动员和帮助第二类人员,吸收其中进步较快的参加培养副博士的工作(尤其应该帮助确定研究题目)。

(3) 在培养工作中一定要做到使原有人员不离开原有工作岗位,但是使研究生统一筹划,分头就学。组织全国力量,定期检查培养的质量和进度。为了免除原工作单位的不必要的顾虑,对原有人员不做不必要的调动。

(4) 研究生的分配,尽可能做到全面合理照顾。鼓励讲师、助教和企业单位保送优秀技术人员,按计划进行学位工作,学成后分别回原单位工作。

(5) 原有第三类人员中,应该有计划地分配任务,发展新学科。

(6) 在少数学科中,应该派遣少数优秀的留苏研究生。

根据上面这些原则,我们应该立刻采取下列措施:

(1) 成立培养力学研究生的指导委员会。

(2) 由科学院数理化学部和高等教育部联合召开会议(由第三类人员参加),对于培养研究生作统一思想、具体规划和分配任务的工作。

(3) 在全国力学会议中动员和帮助第二类人员展开力学研究工作。

(4) 组织全国力学规划委员会进行较长期的具体规划。

根据上面的措施和原则,我们完全有可能完成我们的培养工作,具体的规划如下:

(1) 第三类人员中有 10 人在科学院力学研究所利用集体领导的方式,12 年内可以培养 400 人。

(2) 第三类人员在高等学校的共 20 人,每人每年平均收 2 名研究生(一般 2 名,有些人可以收 2 名以上,有些人 1 名),一般 4 年毕业,到 1967 年共可培养副博士 280 名。

(3) 1960 年毕业的副博士(高等学校的部分)40 名中,估计从 1962 年后可以有 30 名领导研究生,每人每年 1 名,在 1967 年前可以培养第二代副博士 60 名。1961 年毕业的副博士可以在 1967 年前培养第二代副博士 30 名。

(4) 第二类人员共约 70 人,经过 2 年的研究工作后,开始领导研究生,估计每人每 2 年收 1 名,到 1967 年共可培养副博士 175 名。

(5) 留苏研究生每年 3 名到 4 名,12 年共计约 40 名。

以上共计 985 名副博士。这个数字是可以突破的,问题在于我们培养的副博士合不规格。如果因为导师不严格执行培养的要求,就可能造成废品,或是虽然获得副博士学位,仍然不能独立工作。如果是合格率高,则就一定有可能突破指标,因为第四项的估计是保守的。但是我

们必需知道培养干部的关键在于提高现有力学工作人员的觉悟和认识，改造他们的思想，消除他们的保守倾向，加强他们的积极性。如果能做到这样，那么前面所说的在 12 年后培养出 1 000 名力学研究工作领导人的目标是完全可以实现的。

干部有了着落，其他问题是可以迎刃而解的。

《弹性柱体的扭转理论》* 序

本书总结了 100 年来力学工作者在圣维南弹性柱体扭转问题理论方面的工作,并且在某些方面补充和扩大了它的内容。

圣维南弹性柱体扭转问题不仅在弹性力学方面是一个有名的重要问题,它结束了弹性力学的草创时代,开辟了新的丰富的联系实际的工作园地,并且在数学上和很多实用物理问题关联着,如静电场理论、薄膜理论、流体力学中的一些问题等和扭转理论都是可以互相比拟的。

本书的内容,包括了圣维南弹性柱体扭转问题的各种准确数学分析解法、实验解法、近似解法、数值解法,同时也叙述了各向异性的柱体的扭转理论和变截面柱体扭转理论。

本书列举了数以百计的具体例子,包括很多工程上常用的截面。具有这些截面的弹性柱体的扭转问题都有具体的解法和数据,这些数据显然对工程师将是有实用价值的。

圣维南弹性柱体扭转问题除了在 1939 年曾由苏联基尼克院士写过一本书外,其他各国学者都还没有对这个问题详细地叙述写成专著。基尼克院士的著作最近业已再版,并在国内可以购到。

本书是作者们的集体工作,由钱伟长写第一、二、九章,叶开沅写第三、十一、十二章,胡海昌写第四、五、六、十章,林鸿荪写第七、八章。在集体写书方面,我们还缺乏经验。虽然我们在统一系统、统一要求方面已做了不少工作,但是,缺点恐怕是很难避免的。我们要求读者们严肃地予以指正。

扭转问题还有若干比较高级的问题,如薄壳柱体的扭转、复合柱体

* 该书与林鸿荪、胡海昌、叶开沅合著,中国科学院力学研究所编辑,1956 年 4 月科学出版社出版。

的扭转、约束扭转、扭转与拉伸的相互作用、大位移的扭转问题、塑性扭转、蠕变扭转、扭转振动和实验等,都还没有包括在本书范围之内。这些问题将有另书处理。

我国的科学任务^{*}

武汉是我国的一个工业中心,也是一个文化中心和交通中心,在我们国家的社会主义建设事业中处着重要的地位。党中央和人民政府号召我们科学技术工作者,要努力地在短短 12 年内,使我国科学技术的几个主要方面赶上世界的先进水平。武汉的许多科学工作同志,当然要和全国科学工作者一道努力来完成这个任务。

要把我国的科学技术赶上世界的先进水平,应该如何努力呢?首先要弄清楚什么叫做世界科学的先进水平?有人认为:假如说我国有像爱因斯坦那样的科学家,创造出相对论那样的或更完备更充分的科学理论,那么我们就在这方面赶上了世界先进水平。当然,一提到科学,就会想到科学理论方面,尤其是数学方面,我们今天到新华书店去可以看到各种各样的数学书籍,这都与向科学进军发生关系,我们也不反对念数学。但是要弄清楚,所谓科学的世界先进水平,不仅是这一方面,而且更主要的不是这一方面。关于这个问题,在规划科学时,有过相当大的争论。那么,究竟什么是世界先进水平呢?我同意这样的看法:就是在 12 年内,在科学的各个领域上,有足够数量和足够水平的科学工作人员来研究解决我们国家生产建设上和文化建设上存在的科学方面的问题;也就是说,我们国家建设中的科学上的问题,我们自己能够解决,而不仰仗人家来帮我们解决,这就是赶上了世界的先进水平。换句话说,解决我们国家建设中的科学上的问题,是我们自己的任务,要我们自己来完成,而完成这个任务的目的,也是为了使我国国家在物质生活上和文化生活上有更大的提高。因此,我们的世

^{*} 1956 年 12 月 4 日,在汉口市应湖北省政协、武汉市政协、湖北省民盟、武汉市民盟、武汉科联、湖北科普六单位的邀请所作的报告(根据记录整理)。

界科学的先进水平,不是抽象的相对论或什么论之类的水平。科学理论是在我们把科学技术赶上世界先进水平的过程中用来服务于这个任务的,世界先进水平并不就是科学理论本身的水平。

那么,在我们国家的建设事业中,在科学工作方面有些什么问题要我们来解决呢?假如根本没有什么问题要我们来解决,或有这些问题我们可以运用外国的科学成就来解决,不必自己再搞,那么问题就不一样了。实际情况不是这样的,在我们国家的建设事业中是有很多问题必须由我们自己来解决的。今天我就着重谈谈这些问题。

谈到建设,我们拿什么东西来建设呢?人,是一个方面。第二个方面要依靠我们的物质资源,没有资源不可能建设。可是资源是储藏在地下的,而且有它的特点。我们要利用这些资源,并且要适合它们的特点来有效地利用,这就会产生很多科学上的问题。例如,我们要勘探地下资源,就要有一张地图。至今我国可以说并没有一张可供科学需要的地图。现在有些地图还是根据早期某些帝国主义国家为了它们的军事侵略和经济掠夺在我国所测绘的地图来绘制的,比如西藏地图,是早在1916~1925年德国人那里测绘的。河岸的变化是很大的,我们在地图上看见一条河,也许这条河早在二百年以前就淹没了;我们在河的南边看到绘着一个城市,实际上早就在河的北边了。如果依据这样的地图来规划基本建设,就会发生若干困难。可是要有一张精确的地图,不是一件很容易的事情。像我国这样地域广阔,测绘地图需要成千成万的人进行测量。测量首先要有基准线,确定基准点。这要依靠天文科学工作来确定当地的经纬度,可是我国的天文报时系统还刚初步建立,还只有一个徐家汇天文台,它在国际上被排在二十几名,是最末的位置,报时最不准确的,有时是合乎规格的,而很多时候是不合规格的。一个报时的过程不是太容易解决的过程,需要高度的精密的技术,需要很多的人数,这方面还有许多工作要我们去做。现有的中国全图,不能满足需要。属于地理科学范围的,如我国漫长的海岸线,今天我们还不清楚,现在地图上画着弯曲的地方,也许根本就不弯曲;画着那里有一块沙滩,实际上沙滩早已搬了家。海岸线是关系国防的关键问题,如果海水的深度不清

楚,而根据这种地图上的海岸线去布置我们的海军,很可能我们的潜水艇会在那里搁浅。我国海岸线的实际情况,可能敌人(美国)比我们知道得更清楚些。我们对气候也是不太清楚的,我国有世界第一的高原——青藏高原,世界上很大一部分地区的气候,是从青藏高原的气流形成的,可是我们并没有利用这一优越条件来搞好自己的气象工作。假如有一定数量的气象台和一批熟练的气象人员,根据已有的气象理论知识,完全有可能做好我们的气象工作。又如绘制一张科学的地图,还需要弄清我国的水文情况。过去我们只是感到水多为患,我国的水利工作一直是偏重防洪,偏重防洪的结果,如在治淮工程上,使得淮河流域 300 万千瓦的水力发电能量,仅仅利用了二三十万千瓦,造成了不可挽救的水力损失。可是三年前,我却听见一位很负责的水利工作者告诉我们:中国的水力发电能力不过七八千万千瓦,比不上苏联,也比不上美国。甚至还建立了这样的理论,我国的动力工业应该“火力为主,水力为辅”。然而,就在两个月前,政府公布了我国的水力资源蕴藏量并不是 7 000 万千瓦或 8 000 万千瓦,而是 5.4 亿万千瓦,这还不是完备的资料,比美国多 4 倍,比苏联几乎多 3 倍。这说明我国的水力资源在整个地球上占有很大的比重。考虑水利的时候,要以不同的形式来考虑,水文工作才开始。我国华北流域向称干旱区,但是那里是不是真正缺水呢?其实,地下水并不少,华北原野有上千万口井,表明地下水源的丰富。然而我们的水文工作者对于华北流域的地下水系并不清楚,今天许多水文工作者还不敢到华北农村去,要是一去,就会被农业生产合作社的同志抓住问你,这个地方有没有水可以打井?你就无法回答这个问题。在这样情况下,农村不得不盲目掘井,因而碰到水源的成功比例只有 40%。即使这样,也使得那里的农业生产取得了水利保证,农民得到很大利益,而我们科学工作者在这上面并没有提供任何帮助。

如上所述,制一张科学地图所牵涉的科学方面是很广的。有了地图和这些有关知识以后,还要问:在我们地下什么地方有些什么我国建设所需要的资源呢(矿物资源、植物资源等等)?

说到矿物资源,我们的特点是很多的,很多特殊的问题不是别人能够帮我们解决的,要靠我们自己来解决。比如,有很多金属,在别的国家是稀有金属,而在我国却是富有金属;反过来,也有许多我国的稀有金属,在别的国家是富有金属。因此从思想上和技术上就产生了许多我们特有的问题。我说在思想上产生问题是有道理的,像钢铁工业方面,在美国,它的合金炼钢系统是以镍为基础的,因为在加拿大有丰富的镍矿供其采用;在苏联镍也有,更丰富的是铬,因此,它是以铬为基础的,甚至耐火材料也用铬。在我国,既没有镍,也没有铬。我们在这个问题上,有美国派,也有教条主义的苏联派,是不是考虑一下我们有自己的许多富产金属,可不可以作为我们合金炼钢系统的基础呢?比如我们有大量的锰,有较大量的钛,以及其他富产金属,如钨等。为什么不可以把我国的合金炼钢系统建立在我国富产金属的基础上面呢?难道这个问题要等人家来替我们研究解决吗?由于我们的许多富有金属在别的国家是很少存在的,因此人家谁也没有兴趣研究它们。在美国和苏联,也没有研究如何利用锑的,而锑在我国是较大量的矿产,我们却有些人认为它是没有用的物质。但是要问:我们是这些物质的主人,对于它的利用,我们是不是作过任何努力呢?难道要等美国人研究好了锑的用途,我们再大量开采送到美国去用它吗?我们有很多这样的物资,是世界上第一大量存在的物资,我们却没有用上它们。在藏北有一批湖泊,全部是硼的结晶,是世界上第一大量的硼矿。从前,英国人偷偷地用西藏的牦牛把它运出去,垄断世界硼的市场。解放以后偷运不去了,只有美国找到了很少量的硼矿,因而现在国际市场上硼是很紧张的,据研究,硼还可以作火箭的原料。至于我们西藏的硼矿,由于交通不便,至今没有很好地开发使用,连我们自己要用的硼砂还得到国际市场上买呢!再如铍是一种轻金属,是抗拒疲劳金属的一个重要元素,世界很少,我国却有较大量的存在,今天我们还没有重视这些矿藏。就说开采的矿产吧,例如钨矿,我们今天还是把钨砂送到人家国家去提炼,然后再买回钨产品来使用。最近是在研究解决这个问题,但已晚了一点。上面说过的钛,是一种很重要的轻金属,还没有注意冶炼。钛比铁轻一半以上,比铝稍微重一点,能

耐高温，比铁还硬，抗腐蚀力很强，在平常温度下可以抗盐水的腐蚀，因此，在航海工业上占有重要的地位。这个元素在 1948 年才开始被重视，开始冶炼，到今天全世界才产几万、几十万吨。好像 40 年前的铝一样，那时铝比黄金还贵重，今天的钛也差不多。钛在地面存在的元素中占第 10 位，比碳还多，在我国是富有矿物，这个金属将来可能代替很大一部分钢铁的用途。可是关于钛的利用，我们还没有动手。

其次，许多普通矿物，也有我们自己矿产的特点。比如铁矿，在很多国家都是富矿，而我国富矿并不太多。可是贫矿的数量非常大，而且多在交通比较发达地区。第二个特点我们的富铁矿又多是共生矿，例如大冶铁矿含铜，包头铁矿含铍、镧(71 位)等。其他金属矿也有很多是共生矿，比如铜矿常常易与锌矿共生。这些共生金属往往是一些稀有的、贵重的金属。我们过去选矿时把它们丢掉了，是不是要研究如何利用它们呢？开采富铁矿是不成问题的，但是如何充分利用贫铁矿呢？这个问题苏联和美国都不存在，在我国则是必须解决的问题，而且是工业建设中的一个关键问题。然而却有这样的笑话，有人认为开采贫矿费钱，在经济上不合算。我们要先问一声：是“有没有资源”重要，还是“费钱不费钱”重要？我们回想三年前的石油问题，那时有许多人受了美国石油大王们(他们过去垄断我国石油市场)的蒙蔽，说是我国没有什么石油，老君庙的石油矿藏不多，开采不合算，还是买他们的石油吧，甚至说我国的炼油厂不要设在甘肃，而要设在海州，因为，解放前海州炼油厂炼的是美国油。今天我国有没有石油的问题总算解决了，希望不要再争论了。可是还有很多矿产有争论，现在主要的争论是：把自己的矿产作为财富来设法利用呢，还是局限于人家的经验，而仅仅是使用自己的矿产呢？现在就是不肯研究我们自己的问题，如果要以铬为合金炼钢的基础，那就学习苏联好了，可惜这对我们帮助不大，除非愿意拿大量外汇去换来铬矿。

可是要研究利用我们自己的矿产，今天的矿产勘查工作大大不能满足需要，现在全国已经勘查的面积，不过占整个领土面积的 10%，而 90% 以上土地的地下财富是不清楚的。这几年来许多矿产的发现与开

发,应该感谢过去的历史学家对祖国所作的重大贡献,他们不但写下了我国 2 000 多年来丰富多彩的历史,还对祖国丰富的地下资源提供了宝贵的材料。今天我们发现的很多矿产是早在 2 000 年以前就被发现利用过的,而且在那个地方曾经发展过一些工业,可是以后中断了,人们以为那里矿产开采完了,实际上只是地面矿产被开采了,地下的大量矿藏限于当时的生产水平没有开采出来。今天我们就根据这种历史记载线索找到很多重要的矿产,例如在武威最近开发的很大的铜矿。

我国的农业资源是非常丰富的。我国有 2 000 多种树材,虽然各个地方出产的树材种类不太多,但是互相交流起来是会大大丰富人民生活的。还有很多重要的经济作物,比如橡胶,我国是能够自己解决这一国防战略物资的。也是人民民主国家中惟一能解决这种物资的国家。今天橡胶种植还刚开始,而且是南部边疆地区如广州南部、云南南部的国防前线上。现在应该提出这样的问题,有没有办法把橡胶种得靠北一点呢?比方说,种到广东北部甚至湖南南部地区来。

关于物质资源,有许多特有的问题要解决。前面提到的青藏高原,那里究竟是什么情况?有什么物质资源?有什么办法来利用它们?有什么发展的可能呢?如果真是没有什么东西,那么可不可以规划一下把它变成瑞士第二的游览地区呢?我国还有全世界第一横断山区,就是西康云南这个区域。那里有很多特点,山高水深,山上终年积雪,山下却可穿单衣,蚊子也很多,在这样情况下,又怎样开发它呢?又怎样解决有关的特殊问题,如交通运输工具的问题。什么样的交通工具最经济呢?蒸汽火车在那个地方是不行的。有人建议,在那里将来发展交通的前途是用直升飞机,那么直升飞机工业在我国工业建设中又占什么地位呢?这又牵涉到在那个地区航空事业如何发展的许多的问题。在西藏,气压很低,飞机场用一般的跑道是行不通的。飞机起飞和降落,在那里却需要特别长的跑道,比一般的机场跑道长 2 倍,但是在那样的山区要修这样的机场是困难的,有没有办法把飞机需要的跑道缩短一点呢?

我国幅员辽阔,大片的干燥地区,如沙漠、高原、冻土、森林情况都不清楚,要规划,先规划哪里呢?现在是先搞黄河、长江,但广东有意见,说

是珠江也要搞；苏联要开发黑龙江那边，向我们提出来，我们黑龙江这边不配合开发不行。于是打乱了我们的计划。我们必须要有全面的规划，时间不容许再拖拉了。需要的人力是巨大的，不仅地质学家，要有各种各样的人才。不管问题怎样复杂，不可能等别的国家来帮我们解决。我们设计钢铁厂想把处理包头铁矿推给苏联设计，人家不接受，因为他们没有研究砸、镪的处理问题。

开发资源的问题更复杂，在利用水利资源上，不容许再犯在淮河上所犯的错误，这个问题必须我们自己来解决。因为我们的水利资源也与别的国家不一样，有我们自己的特点。第一个特点是水力资源集中。苏联水力集中程度最高的地方是安哥拉，有 240 万千瓦。我们的水力资源比这集中得多，现在我们黄河一开发就是 100 多万千瓦。苏联安哥拉河河面宽，15 万千瓦的水力发电机十几台就行了，可以安放在那里。可是我们三门峡将有 180 万千瓦发电量，15 万千瓦的水力发电机也得十几台。当然没有问题，水力发电机苏联已做出来，坝势高 100 米上下，还不是太难的。我们现在自己还只会制造 2 万千瓦的，要制造 15 万千瓦的得提高七倍半，要安装 15 万千瓦发电机，苏联可以帮助我们做 6 台，但是第七台要我们自己想办法。长江问题更大，一千七八百万千瓦的发电量，15 万千瓦的水力发电机要 100 多台，但是三峡地区不大，这么多发电机如何安置得下？所以 15 万千瓦水能机也不行，起码要有四五十万千瓦的才行。这么大的水能机别的国家还没有过，人家是不是有兴趣研究制造它呢？人家并没有这样集中的水力资源。可是在我国这还不是集中程度最高的。在西藏东南部地区还有比这集中好几倍的水力资源。我国水力资源的第二个特点是高坝，水位落差很大。在苏联最高的水位差也只有二三十米。我国黄河有 100 米，长江有 200 米，昆明某河 1 000 米，西康某河 2 000 米。落差大了，筑坝就要高，这样高坝拦水的应力计算还不清楚。多用钢筋、水泥还能解决。可是水头高、落差大，水能机设计与平常就不一样，别的国家没有这样的经验。世界别国很少有这样大的水位落差，这个问题只有我们自己来解决。总之，在水力资源开发上就会给我们提出很多不简单的问题，是我国所特有的，而且是高度科学

技术性的问题，谁说我国因为资源所引起的一切都是低级的问题，这是看不起我们伟大的祖国。

在水利建设上，还有很多微妙的科学问题。例如，我国沿海有许多在咸水中丰产的鱼类。东海内黄花鱼，上海有龙虾，渤海有对虾，长江有鲥鱼，这些鱼虾要在适当的含盐分的水中生存的。它们要到江河淡水的上游去产卵，将来我们要在长江三峡修起一座高坝，那么，过去到长江上游去生子的鱼类，它们再到哪里去生子呢？也可以考虑替它们修个人工梯子，但是这个梯子超过了一定的高度，鱼是不是游得上去也成问题。这方面的问题我们的水利科学家还得联合水生生物科学家来研究解决。我们不能修了水电站而使得某些盛产的鱼类绝种，影响了人民的生活。这些问题必须在总体规划中解决，等到问题发生了再纠正就来不及了。科学家要有这种远见，应该勇往直前负责来解决。

矿产开发最关键的问题是一个字——快。过去我们睡了 100 年的觉，今天要赶上去，这就要快。当然，苏联、美国也都要快，但是人家没有我们这么迫切。现在我们打口煤井要两年；打口油井：深井要八个月，浅井要两个月，这嫌慢了。难道不能设法缩短到一年、两个月、一个月吗？这些方面还是有潜力可挖的，例如使用预制构件和机械化施工方法来建井，还可以进一步考虑煤矿以及其他金属矿是不是一定要掘井开采，可不可以大量使用爆炸法来进行露天开采呢？这是今后的方向。今年 6 月间进行了 3 000 吨火药爆炸，还要进行爆炸量达 7 000 吨的，火药爆炸在世界上还没有过这样大的规模，我们科学家是不是研究过更大效力的安放办法，使爆炸工程更普遍地发展呢？好像没有。在我国基本建设工程中有很丰富的经验，比如在隧道工程上近几年来是积累了很丰富的经验的，世界上还没有一个国家在这样短的时间内掘出这样多的隧道，因为人家没有这么多的高山。苏联的乌拉尔山是有名的，实际上坐在火车上过了乌拉尔山还不知道呢？我们虽然有很丰富的隧道工程经验，但科学工作者和有经验的工程师们关于这方面的总结工作却是不够的。还没有看到过一本书很详细地介绍我们劳动人民在建设铁路隧道工程中所创造的丰富经验。今后我们还要开掘更多的隧道，难道要等苏

联专家来替我们总结介绍这些经验吗？这在人家是不需要的，在我们是需要的，我们今后的建设还会碰到比这高的山、比这深的隧道。

把开发的物质资源变成建设的原材料，这个过程在我们国家里有更多的特点。例如炼铜，现在我们到处建高炉，恰恰高炉是没有多少问题的，也有苏联的丰富经验可资利用。但是它要有很复杂的选矿过程和炼焦过程，而我国焦煤恰恰不太丰富。同时一座高炉的建设需要一年上下的时间，这对于我们来说是太慢了。我们的钢铁生产在这里是一个瓶口。同时高炉要炼富矿，前面说过我国的富铁矿是不多的。那么，我们不用高炉行不行呢？有人回答：这不行。为什么呢？因为苏联没有，美国也没有这样的经验。这就只怪上帝刚好把一些贫矿给我们，把一些富矿给人家！然而我们在捷克参观时，却看见不用高炉而年产40万吨的炼钢厂。捷克的铁矿也多是贫矿，他们用的是转炉像石灰窑水泥的炉子把贫矿打碎了，放在里面烘，在适当的温度之下把经过的铁质凝结成像黄豆那么大小，经过磁选用磁铁选开，铁质拉过去了（这叫铁炼），再放进平炉去炼钢，过程非常简单，而且这种炼钢厂在附近铁矿用完后可以拆了搬家。在参观中，我国的工程师恍然大悟，在我们鞍钢仓库内就曾见过日本人留下的四架这种炼钢设备。我们就是不肯很好结合自己的情况来研究解决自己的问题。像捷克这种办法，节省了很大的设备，一个选矿厂，一个炼焦厂，而且还省了一个伟大的高炉！我们应不应该学习呢？砂炼法是我们在重庆炼钢厂已经用过五年的方法，就是转炉和平炉联合起来用的，保证钢件的质量和生产量是成功的，可是今天推广得怎么样呢？

而我们恰恰是把最容易做的事情丢开，找最难的事情做。今天我们钢铁生产的最大的一个瓶口是初轧设备建设的困难，现在只有鞍钢能够进行初轧。初轧设备是重型设备，建设起来很费时的，我们有无办法打开这个瓶口呢？过去就不大考虑这个问题。偶然看到报上谈到连续炼钢法谁也不注意，殊不知这是可以解决我们这个重大问题的，而且比初轧设备不知简单多少。要问，过去为什么不注意呢？因为在苏联不知什么原因没有搞这玩意，所以我们也没有搞。好了，现在苏联试验成功下

决心要推广,我们大概也可以搞了。

我们就有很多这样的问题。在化学工业方面,到今天为止,我国还没有建立起有机合成工业。这是一个很大的问题。因为这门特殊工业建立起来了,直接可以解决棉花供应上的问题,间接可以解决粮食问题。用化学纤维代替了一部分棉花以后,就可以腾出一些棉田来种粮食。在民主德国参观时,人家告诉我们:他们从穿的衣服,到皮鞋袜子等,90%是化学工业产品,看样子像棉、毛、丝制品,而质量更好,不容易穿坏和磨光。美国有叫“尼龙”,德国有叫“派龙”,波兰有个“埃龙”,捷克有什么“龙”,十几个龙,大同小异。一双“尼龙”或什么“龙”的袜子可以穿两年多。我看了很羡慕,今天我们大量生产袜子,还是有很多人穿不上袜子,另有很多人要经常补袜子。我国人多,要考虑袜子坏得慢一些,这可以省一点棉花,我们的化学家是可以搞的,并不困难,而且有效果,我们中国谈了5 000年的“龙”,今天为什么不也搞出一条“龙”来呢?从物质内获得原材料还有一个很大的矛盾,就是煤的使用。许多有机合成工业产生了高分子化合物的原材料,包括了橡皮、“龙”、药材。现在许多人只知道煤是燃料,不知道很多化学原料是从里面产生出来的。煤是近代工业的基础,不是烧的基础而是使用的基础。在我国则主要是用作燃料。曾经有位德国专家在我国参观时看见到处堆着煤,他问做什么用的?听到回答是烧的,他说“你们真阔呀,烧黄金!”现在所有资本主义国家对于煤的使用都是精打细算的;在英国,煤的藏量还可以开采几十年,美国也足够开采一百多年。我们还不感觉煤的缺乏,这是因为我国工业比别人晚发展了二百余年。然而我国煤的蕴藏量终是有限的,决不会子子孙孙取用不竭,今天我们把它随便烧掉了,将来子孙一定会骂我们,将来煤的使用会给我们许多享受,这一点却不要忘了,今天最好尽可能地少烧它或者不烧。在发电动力上,“火力为主,水力为辅”,过去别的国家工业发展初期也都是这样的,在苏联也都是如此,但是今天苏联水力发电大大发展,这个局面已经有了变化。今天我国工业还不是很发展,火力发电还不是太大量,而水力资源又这样丰富,(原子能资源在我国也是很丰富的)在这情况下,我们是不是一定要坚持火力为主、水力为辅呢?这个问

及的。现在我们自己能做的挖土机是2~5吨,苏联的是75吨,而我们要的不只75吨。今天我们还没有重型机械制造厂,没有设备,不会造,现在武汉正在建设这个厂。我们向苏联的重型机器订货占去了苏联重型机器生产能力的三分之一,可是还不能满足我们的需要。不能再增加订货量,而且我们需要的是更重的,苏联还没有。有许多东西过于重大,无法运来,苏联火车载重量最高是65吨,超过了不能运。就是65吨的单位重量,运进我国以后,许多桥梁涵洞也通不过。曾经由大连运一批重型机器过山海关不能过,只好锯断了运来北京再焊接。最近由于苏联技术的发展,很多重大机器先制成较小部件运到工地再焊接,这样解决了很大的问题。

机械制造工业的第三个关键问题,就是需要大量设计人员。过去我们主要依靠苏联设计,如在第一个五年计划中,大家知道的,苏联帮助设计的大项目有165个。在第二个五年计划中,由于我们生产建设的发展,所要设计的重大项目就不是一百多个了,而是三四百个或六七百个了,把这些设计工作完全交给苏联是不行的,他们自己不搞也供应不了那样多,何况苏联还要帮助其他兄弟国家以及印度、埃及、印尼等国家。因此,像我们这样速度展开工业建设,一定要很快地培养自己的设计力量。

我们的生产建设工作要在先进的技术基础上来进行。现在制造厂的工艺问题,有很多是可以改进的。假如用二氧化铁水玻璃为主的快速干燥砂锭制造厂翻砂,车间的能力可以提高20倍,一个厂可当20个厂。可是我们没有推广过,我们不但要学习苏联,并且要学习各个国家包括大国与小国的先进经验。我们在苏联问过苏维埃技术委员会主席也是部长会议的副主席对我国的工业建设有什么意见,他说只有一条意见:你们应该睁开眼睛向所有国家学习。他说我们苏联过去几年就是关门来自大了一些,因而在许多地方落后了。他说世界各国的劳动人民都有他们的创造值得学习的东西,他说氧气炼钢法是12年前澳大利亚创造的,连续炼钢法是加拿大创造的,高电压输送是瑞典创造的。全世界的汽轮机美国和苏联都向瑞士订货。民主德国绝缘材料是全世界最好

的,制造的变电变压器比苏联的轻 $2/3$,苏联的农业机械也落后于捷克。所以应该向所有的国家学习。这番话对我们的确是很大的教育,我们的工业建设要求我们结合自己的情况,睁开眼睛向所有的国家学习,来提高我们的工作能力。当然有些问题是要接受别人先进科学的帮助的,如原子能问题、电子学问题、材料问题等等,这些方面人家帮助我们,使我们更好地注意自己的问题。

在基本建设上有很多问题,最主要的问题还是对于我国的特点照顾不够。我国有很多有用的材料,我们没有充分利用,研究工作是不够的。例如现在同济大学关于竹材的研究工作,我们原来就没有想到我国的特产丰富的竹材,可以用到我们的机械制造工业上去。苏联、美国都没有竹材,他们不会研究它。根据同济大学研究,竹子的纤维经过化学加工处理以后,它的拉力比钢强 1 倍。这个研究是很有前途的。

另一个关系基本建设的问题,过去我们只知道日本的地震是世界有名的,却不知道我国的地震强度和广度比日本的更强大,它的破坏力大大超过日本的地震。只因为我国地域太大,地震是在边疆地区,过去我们不会关心它。但是今后我们要在这些地区建立很大规模的工业,就要研究抗地震的结构以及如何隔离地震的破坏影响。再如我国的黄土、红土土壤是全世界突出的,这些土质的性能究竟怎样?我们在黄土高原建造工业所需要有关黄土的很多知识,人家是不会替我们研究的。

在我们国家里,大家都说要农业机械化,可是在农业机械化过程中,会遇到很多问题,随便就可说出一大堆来,比如在水田上如何机械化?在梯田地区机械化有没有办法?甚至看来有些是很小的问题也要很好研究,比如要苏联替我们设计拖拉机工厂,人家问我们要生产怎样的拖拉机,大马力的还是小马力的——54 马力^①的还是 30 马力的?当时我们想,马力大的可以多拉,马力小的不能多拉,就要大的吧。可是忘了,我们的土地不像苏联那样,我们劳动人民在土地上是经过很多年工作的,只有开荒才用得上那样大的拖拉机,在一般的土地耕种工作上,那样大的拖拉机一年不过用上十几天。现在我们是开始建设第一个拖拉机

^① 1 马力=735.5 瓦。

制造厂,生产那样大的拖拉机还可以用于开发荒地,不过如果老是出产54马力的,就要背上包袱了。结合我国当前的具体情况,在农业机械化过程中,绝不能使得农业生产减产。我国农业生产在精耕细作上有几千年的经验。假如因为搞机械化而减产,还是晚一点机械化的好。农业机械化,不光是机械工程师的问题,也向农业科学家提出了很多新的问题,农作物要切合机械化、工业化的要求。比如,农作物成长的时间不是那么整齐的,我国的棉花成熟期,要经过三个星期,要用机械来摘棉花,等到最后的棉桃成熟了,最先成熟的就熟落了。工业化的要求,比如甘蔗榨糖,榨糖机械有一定的规格,而甘蔗长成的大小粗细却不会那样整齐,像这类很多问题会发生工业与农业打架。

在医药卫生方面,今天争论最大的问题是关于中医的问题。很多同志认为中医是我国很宝贵的经验,应该发扬它,使它成为高度科学的东西,于是对于中医的发展,如对药物总是要想提炼出什么“精”、什么“素”的“科学”成品来,却忘了中药治疗使用的特点是合剂,要把许多药物放在一块,经过配制,加热后给病人服用,有的还要趁热服下。在加热过程中,甚至在服用到人体以后,都会起化学变化,这个化学变化过程,就是中药发挥治疗功效的过程,是一个运动的过程。而阿司匹林吃进去,还是阿司匹林。用我本行的术语来论,我以为中医和西医治疗的不同,就在于中医是动力学的,西医是静力学的。中医的整个医疗过程,绝不是单纯的针对患病部位局部治疗,而是促进人体的全面机能活动来克服局部的病变,这种全面的医疗观点在西医并不是根深蒂固的。西医局部医疗是较多的,如果用西医的观点来看中医的医疗过程,一定会搞出许多很简单的机械的医疗方法来。从中医的全面医疗观点来谈,它是带有辩证唯物主义看法的,但因为它还停滞在“金木水火土”的基础上,这种辩证唯物主义还是原始性的;西医,则是经过17~19世纪的科学发展,是建立在近代机械唯物主义基础上的。我们要发扬中医提高西医,使两者结合成长为新的医学,应该把西医的科学成分与中医的辩证唯物主义成分结合起来,才能真正发展成为新的医学。不要用西医的机械唯物主义观点来代替中医的辩证唯物主义观点。这是一个艰巨的工作,要很有耐

心地去做。像这类我们特有的问题,毛主席说:“难道还要等苏联把中医研究好了,我们再到苏联去学习中医吗?”

如上所述,这些我们自己土生土长的问题,只有我们自己来研究解决。这就是我国的科学任务之所以与苏联的或美国的科学任务有所不同。当然,我们也不能抹杀科学的共同性,要研究解决这些具体的科学技术问题,必须依靠科学基础知识或基本的科学理论,像数学、理化、电子学等等,各国都是一样的。

要解决我国的科学问题,还有不少困难。当前最大困难是人的问题,干部不够。我国今天真正能够独立领导科学研究工作的,全国不过两千人,能够进行科学研究工作的,全国不过一万人,这样少的人是不能担负起这么大的任务的,而这些人还要进行教学工作、生产工作,这是非常困难的。今天最关键的问题,就是如何赶快把科学工作人才培养起来,这就要靠我们在座的许多同志来共同努力。今天我们要向科学进军,最关键的问题不在于创造出比相对论更好的学问,而在于培养较多更好的徒弟,这也是一个最光荣的任务。今天在培养干部工作上还是有很多缺点的。我所说的干部,不是一般的大学毕业生,一般的大学毕业生不能当作科学人员看待,而是在大学毕业以后经过了相当时期的实际工作,或者进一步学习研究达到一定水平的科学工作人员。今天这样人员所遭到的最大困难是工作不稳定,没有一个科学工作者能够在朝三暮四、工作不安定的情况下做出很大成绩来。所谓稳定是指专业的稳定。最近有这样的情况,一个大学毕业生分配到一个工厂里工作,一年内,从检验材料到车间指导,换了13个工作岗位。科学的发展依靠人,而人的发展是要依靠工作业务的稳定的。第二个问题是要重视专业。现在很多地方不重视专业,认为你既是大学毕业生,什么工作都能干。我们反对这种观点,假如这样的话,我们的大学教育时间用不着四年、五年,一年、两年就够了,又何必专门培养呢?今天就有许多人们不这样理解问题,我们必须和这种无知情况进行斗争,这是为了我们国家的前途。还有,现在各方面都伸手要人,所要之多,把高等学校毕业生都留在学校里当教师也培养不及。我们要问:是不是所有大学毕业生都合理使用了

呢？是不是这些工作都非要大学毕业生来做不可呢？今天各部门对大学毕业生使用上的浪费是很严重的，达 10%~30%。要知道我国在发展中，各方面都需要人才，能够不用大学毕业生的地方就不要用，让大学毕业生的使用更合理。

还有资料问题是不够重视的。听说某个机关有人认为所买外国杂志一年也用不到一次，何必花那么多外汇去买它呢？我的体会是，科学杂志资料是不能用每年读多少次来计算使用价值的，可能三年用了一次就获得了很大的利润，假如能够用“利润”来讲的话，而且这个利润可能超过建设投资的利润率。还有一种情况，现在买的外国书刊多是苏联的，在我们的社会主义建设中学习苏联是没有人反对的，但是还要注意到任何国家的劳动人民和科学家的创造，对于我们的建设事业可能都是有益的，值得学习的，不要以为凡是资本主义国家的东西我们就用不着。有些人说我们的科学仪器设备不够，我说：这是我们在利用设备上有问题。我们在苏联以及人民民主国家参观时，在它们的机关学校中并没有看到有比我们更好的设备。设备是供使用的，不是作陈列用的，现在我们的设备有陈列室用的倾向；同时，应该指出：科学研究工作最关键的问题是使用最近代的仪器来代替我们的耳目观察自然现象，最新科学的成就是建立在最新的科学仪器上的，可是这种最先进的科学仪器是不能在工厂里生产出来的，一定要科学工作者亲手创造出来，因为它是高于现有生产水平的。当然，也需要买一些科学仪器，但要反对不顾我们国家今天的能力大量购买科学仪器来作陈列室用。大家可以检查一下：现有的仪器有多少在使用或计划将来要使用？恐怕有些仪器买进来了还不知道干什么用，为什么买呢？现在我国用于购买科学仪器的外汇已占国家支出的第四位，我国茶叶出口换回的外汇只够这一项用途。以后不会再增加外汇，因为过去农民养猪吃不到猪肉，他们都不养了，因此国务院决定农民养一头猪要留给他 15 斤肉吃，这一来猪肉的出口量就没有了（去年猪肉出口了 10 万吨，今年 1 万吨也不出口了），外汇就减少了，国外订货不能不缩减。仪器不能用外汇买，我以为这会促使我们自己更要用脑筋亲手来创造所需的仪器，进行更正常的科学研究工作。

关于科学情报工作：这个工作搞得好可以节省我们很多人力。科学情报来源不光是科学杂志，还可通过展览会、互相参观、访问等活动来交流经验，互相学习。过去，我们到外国去参观访问是“政治任务”，接待人家到我国来参观访问也是“政治任务”，却忘了在这互相参观访问中，人家有很多先进的东西是可以学习的。苏联去年一年就派了3 000人以上最高级的科学家、专家到资本主义国家去参观学习，甚至和平大会都是学习的机会，派专家参加，像伦敦的展览会，苏联派了二十几个部长级的人去，人家有些关系国防的东西是不给看的，怎么办呢？苏联邀请英国空军元帅等到苏联访问参观以后，为了礼尚往来，英国也邀请苏联去访问参观，苏联的专家们在英国航空企业的一个最关键的所在停留了三小时，进行了仔细的参观，苏联就是这样想办法向资本主义国家学习的。人家向我们订货要求检查产品产量，这就是要通过检查工作来进行学习，苏联同志说，我们去订货，不要只把箱子搬回来，应该把技术搬回来。我们有时连箱子还搬不回呢？人家到我国来举办展览会，都是派来很高级的工程师，是来交流经验的，一方面教我们，另一方面也向我们学习。然而我们去苏联、捷克、德国、波兰以及日本等，学到了一些什么呢？去那样多的人，都是不是诚心诚意地向人家成功的经验技术中学到一点东西呢？至于在国内组织参观展览会，好些人就没有去看，去看的也是完成“政治任务”。

今天要真正赶上世界科学先进水平，完成祖国交给我们的任务，就是要解决我们自己的问题，还要大大努力。我们是可以完成这个任务的，只要我们虚心学习，认识到过去工作中的缺点，共同努力来改进我们的工作。

高等工业学校的培养目标问题^{*}

高等工业学校的培养目标问题是教学工作的中心问题。教学改革以前,高等工业学校教学工作是漫无目标的通才教学。在学习苏联经验进行教学改革以后,我们学到了环绕一个明确目标进行有计划的教学工作的一整套的制度和办法。这是很大的进步。我们的培养目标是按照苏联教学计划的规定翻译过来的某某工程师,我们的教学要求也就大体上根据各个教师对于工程师三个字的各自了解来决定。教学质量在某些方面看是提高了,但是学生学习负担过重,独立工作能力较差,专业分得过细过专,以致在分配就业时发生了困难。这都不符合我们国家的要求,值得我们研究改进。有经验的工程师雷天觉副院长对于目前高等学校毕业生有过这样的估价:他们“初到工厂,因为学过一些专业知识,马上可以担任某些工作,这是他们的好处。但是由于他们的基础理论打得不够深广,在工作中很快就暴露出缺点,无论在解决技术问题上或是提高科学技术水平上,都有难于克服的困难”。今天的教学中有一个明确目标是好的,但是目标定得过高过死是造成学生学习负担过重的主要原因之一。由于过分地强调了学生出门就要做某某工程师的要求,专业课就显得庞大复杂,把一切纯经验性的专业生产知识不加选择地搬进了课堂。另一方面,忽视了基础理论课和基础技术课必须有足够的课外时间让学生进行独立自学的原则,把这些课都挤在低年级里,每周上课达三十五六小时,那么在每周 54 小时的学习时限下,还剩多少时间给学生独立工作呢?今天的问题,不是我们不培养学生独立工作的能力,而是学生在校内根本缺乏独立工作的机会和时间。同时,由于过分地强

^{*} 原载《人民日报》,1957 年 1 月 31 日。

调了专业课,以致基础技术课这样重要的环节,不论在师资上,还是在教学工作上都是过分地削弱了。就是在专业课里,不少有经验的教授在开设次要的专门化课程上多花了力气,而常常把主要的专业课让给经验较少的青年教师开。

国家是不是要求高等工业学校的毕业生出门就当工程师呢?显然并不是这样的。虽然在过去高等工业学校一再强调要培养工程师,但是,毕业生在实际进入生产岗位时的职称是见习技术员。这就是说,高等工业学校毕业生还需要一定的实际工作的经验才能执行工程师的任务和给予几等几级工程师的职称。要求高等工业学校的毕业生出门就当工程师,就好像要求综合大学的毕业生出门就当科学院的研究员或大学里的讲师一样,是不现实的、过高的。当然,在国家建设事业飞速发展的情况下,有大学刚毕业的个别助教在课堂上讲课,有刚毕业的个别技术员做了工程师的工作。这也是可以的。

高等工业学校的毕业生虽然具备了工程师的基础知识,在校期间也受到了关于工程师的基本训练,但是,毕业后,还需要经过一定时期的生产锻炼,才能胜任工程师的工作,这是明显的了。可是,还有人觉得,高等工业学校的毕业生既然具备了工程师的基础知识,给予工程师的称号又有何妨呢?也有人武断地说,我们就叫这样的人为工程师又有什么不可以呢?当然,假如你一定要这样叫,也是未尝不可的,只是同我们的社会习惯和常识总是有着距离的。

那么,为什么苏联的高等工业学校培养目标是“工程师”呢?这是在帝俄时代遗留下来的习惯,这同德国的习惯也是一致的。日本模仿了德国的教学制度,把高等工业学校毕业生这个称号就翻译成“工学士”,其实它只是代表受过一定的工程基本训练的“工程人员”,它只是代表“高等工业学校毕业生”的意义。这个“工程师”的称号,与我国习惯上沿用的“工程师职称”的要求是有着一定的距离的。假如我们把苏联高等工业学校培养目标的“工程师”的要求,与我国习用的“工程师职称”的要求混为一谈,就必然会造成对高等工业学校教学工作的过高要求。

把高等工业学校培养目标具体地规定为“某某工程师”的另一后果,

必然是过细过专的专业设置。因为工程师的具体工作,由于技术的不断发展,总是愈分愈细的。假如我们追求着一出门就当工程师的目标,则必然在学校内也要求设置又细又专的专业。我们姑且不谈为了追求过细过专的训练而忽视了必要的基础训练所招来的恶劣的后果,就是勉强保证了起码的基础训练,过细过专的专门训练是不是能够和国家的需要对上口径呢?从这几年来分配工作的经验看来,显然是很难对上口径的。口径愈细,愈不易对上,毕业生愈易感觉他“改行”。表面上好像由于分了过细的专业而使培养目标“明确”了,好像保证了毕业生一出门就能做这样那样的工程师,实际上毕业生因为专业分得过细对不上口径,大量“改行”,还得从头学起,再加上基础不够,事倍功半。我们并不是说在什么情况下都不能分得较细,订定目标,按计划来培养的。但是,这只有在工业发展比较定型的情况下,按不变的比例发展着,技术上没有什么革命性的变化时才是可能的。像 1930 年间一些较成熟的专业就有过这样的稳定情况。但是,我们国家的具体情况不是这样的,国家工业发展的比例起着急剧的变化。我们今天处于一个技术迅速发展变化的时代,不仅每月都有新的技术部门在形成,就是一些比较成熟的部门,也不断受到新技术的撞击而起着根本性的变革,工程技术的发展愈来愈取得科学基础的支持。分工过细,对学生进行过分刻板的培养,就很难适应这样的要求。苏联高等工业教育中专业设置的历史经验,也正证明了这一点。在 1932 年左右,苏联曾设置了多至 900 个专业,现在只有一百多个,并且还在考虑扩大专业范围,合并一些专业。苏联的工业比我们大十几倍,对上口径的机会就多十几倍,他们尚且如此,我们的专业更需要合并。比如我国目前在机械方面的专业,就分了四十多个,很多专业还分着专门化,实在值得想一想这样究竟是不是必要。

总之,我们应该实事求是地对待培养目标问题,如果我们能够放弃使学生一毕业就当工程师的要求,而把高等工业学校的训练看作是工程师的基础训练,这就给我们为祖国培养更高质量的工业建设人才提供了可能性。

具体说来,我们应该加强基础训练,放弃一些过多的同时可以不必在学校内学习的零碎的纯经验性的专业知识。首先,我们应该给予基础

理论课足够充分的课外自学时间,使学生通过足够的独立工作,能够巩固基础理论知识并且做到运用熟练。这里不一定需要增加这类课程的课堂教学时间,但有必要拉长它们的学习期限,求得分散开来,腾出足够的课外时间。其次,要加强基础技术课的训练,尤其要注意这些训练的熟练性。有些课程(像机械专业的电工学)的课堂教学时间,应该恢复到必要的数量。所有基础课程的实验训练也应该大大地加强。在专业课里,应该提高主要专业课的讲课质量,保证必要的典型性的和有广泛经济意义的生产实际知识。其他非主要的、枝节性的专业课程和一般专门化课程,应该大量精简,或是取消,或是改为选修,或把非讲不可的主要内容并入主要专业课中讲授。有些必要的资料性质的教材,可以印发给学生,作为设计训练中的参考。生产实习、课程设计和毕业设计在原则上应该保持,但是,应该还有不少可以合并和减少的,有一些过于形式化的设计工作,也可以大大改进,甚或取消。

高等学校的教学工作的质量,并不仅仅是用教给学生的知识数量的总和来衡量的,更重要的,是培养学生如何在已经获得的知识基础上去获得更多的知识,组织这些知识为某一个特定的生产服务。因此,过多地、过分繁琐地进行教学,灌输给学生以百科全书那样多的知识,并不能达到提高质量的目的。

今天高等工业学校的教学问题是质与量的矛盾。我们只有精简课程数量、加强基础训练、加强学生独立工作能力的培养,才能解决这个问题。我们今天提出这个问题,并不是否定我们学习苏联、进行教学改革成果,更不是走回头路,而是反对满足于已经获得的成就,停止不前。我们要在学习苏联先进经验的基础上进一步前进。

肯定地说,工程师是我们高等工业学校培养的方向,但是不能作为五年培养的目标。

附记:《光明日报》发表我的关于高等工业学校的培养目标的谈话,引起了各方面的讨论。但是这个谈话稿付印前并未经过本人过目,有些地方如基础即数理化等词句,过分简单化了些,因此也引起了不必要的误会。现在愿就这个问题再作一些说明。

物质的一般概念^{*}

今天我的讲题是物质的一般概念。通过这个讲题,想把科学家经过了长期的集体努力,对于物质的构造和它的性质的一些最基本的和最简单的了解,介绍给大家。

在 100 年前,人们已经认识到,世界上的物质,虽然是五花八门、各式各样,有的是固体,有的是液体,有的是气体,但是所有这些物质,都是由某些最简单的基本成分叫做元素的所组成的。例如水是由氢气和氧气两种元素组成的。木材是由碳、氢、氧三种元素组成的。那时由伟大的俄国化学家门捷列夫根据各种元素的重量、物理性质和化学性质,排列成了一张所谓元素周期表。在这张元素周期表上有着六七十种元素,和不少尚待发现的未知元素的空白。到今天,我们所知道的世界上的天然元素就有九十几种。还有一些元素天然并不存在,但是可以在实验室里制造出来,如果连人造的一起计算在内,到现在为止已知的元素就有 101 种。

每一种元素的最小单位是眼睛所看不见的极微小的粒子,叫做原子。在人们对于原子的构造还不大清楚的时候,认为同一元素的原子都是一样的,不同元素的原子都是不同的。世界上一共就只有那么几种原子,有的很轻,有的很重。最轻的原子就是氢气的原子,叫氢原子。其他如碳的原子比氢原子重 12 倍,铁的原子比氢原子重约 56 倍。有一种很重的金属叫做铀的原子,比氢原子重 238 倍。铀是原子能的主要材料。世界上形形色色的各种东西都是由这 100 种不同的原子并配合成的。原子非常小,我们用显微镜也看不见。如果把 1 亿个原子,一个接一个排起队来,也不过指甲盖那么宽。平常,我们觉得灰尘是很小的了,可是

^{*} 1957 年 3 月 4 日和 7 日,中央人民广播电台自然科学专题的演讲稿。

在一颗灰尘里面，也还有几千万个原子。

到四五十年前的时候，人们对于原子的构造，开始有了了解。原子虽然很小，但是它的结构却是很复杂的。在原子的中心有一个又小又重的带着阳电的核心，叫做原子核。外边有很多小粒子绕着原子核不停地打转，这些小粒子大小都相等、都很轻、很小，而且都带着分量相等的阴电，我们把它们叫做电子。由于原子核带的阳电和这些核外电子带的阴电的总和分量相等，所以在原子外面看起来，阴阳相抵，不觉得原子是带电的。原子虽然很小，但是原子核和电子还要小得惊人。它们的半径只有原子的半径的万分之一。如果说整个原子像一个球，这个球有普通房子那样大，那么，原子核就好像放在房间中央的一粒芝麻，而核外的电子就好像飞扬着的几点灰尘。这里说明了一个原子从它的原子核到它外层的电子中间，还有很大的空隙。原子是空空洞洞的，并不是一个完全坚实的东西。

不同元素的原子带着不同数目的电子。例如，最轻的氢原子只带 1 个电子，碳的原子带 6 个电子，铁的原子带 26 个电子，天然的最重的放射性元素铀带 92 个电子。我们的元素周期表就是按所带电子的数目来排列的。

原子外围的电子，不论有多少个，它们都按自己的不同轨道打着转。这好像太阳系，太阳在中间是相当于原子的原子核，其他行星相当于原子外圈电子，每个行星也都有它自己不同的轨道，并且按着自己的轨道围着太阳转。原子外围的电子分成好几层，像最重的原子铀的外围电子就构成四层之多。属于最外层的电子的轨道，常常在别的原子接近时，会发生变形。这种外层电子轨道变形的过程就是发生化学变化的过程。譬如煤里含有大量的碳原子，当煤燃烧时，每一个碳原子和空气中的两个氧原子结合起来，它们的外层电子都发生了运动轨道的变形，这里面有个别电子的轨道甚至变到把三个原子核连它们的内层电子都裹在它的轨道里面。这种轨道的变化就是典型的化学变化。在造成二氧化碳的过程里，要放出能量，所以发热。有时外层电子的轨道变化要吸收能量。那么在促成这里化学变化时要外界供给热量或是电能。这种

原子和原子结合以后的产品叫做分子。世界上分子的种类是很多的。最简单的是两个氢原子合成的氢气的分子。这个分子里只有两个电子。水分子是两个氢原子和一个氧原子合成的分子,共有十个电子。自然界有很复杂的分子,一个分子可以有成千上万个原子。像橡胶的分子就是这样一很长很长的分子。它是由几种原子为单位的构造,重复地一串地联结起来的分子,这种分子叫做高分子。

一切物质都是由分子构成的。分子在物质内部在不断地运动着。温度高时,分子运动得比较快,幅度也比较大;温度低时,分子运动得比较慢,幅度也比较小。所以,一切物质就有不同的状态。在高温下一般是气体,气体状态里的分子,互相间的距离很远,它们的运动比较自由,速度也比较快,碰撞的机会也比较小,一般常常可以走上一段路程才会和另一个分子相撞。在低温下物质的状态一般是固体,固体里的分子,一般排列得都很紧凑,它们都只能在一个固定的位置,来回振动,或转动。它们互相牵制着,互相约束着。在外面看来,就联成一片。要它变形时,就要对分子间的约束力做功。在温度增高时,固体中的分子的振动增大,最后就破坏了互相约束的固定的力量,分子就失掉了固定的位置,开始可以在分子群中相互地挤撞和流动,但是个别的分子还没有能力离开分子群的群体活动范围,这就是液体。如果温度再增高时,分子的运动速度大大提高,就有分子会窜出去,离开液体,变成气体的分子,这就是沸腾。

因此,一切物质不论是固体、液体或气体,在内部都是不断地运动着的分子。就是分子本身,也是由不断地运动着的原子和原子的电子所构成的。运动是物质的属性,我们从这种属性里认识着物质。一切化学和物理学都是通过研究这种运动的状态,和研究运动状态的变化来认识自然界的物质的状态和物质的构造的。

这样的物质构造的观念,在 50 年前就逐步形成了。自从 20 世纪开始以后,人们就着重在研究原子核外的电子运动轨道的结构的问题。人们用各种方法,如用高速电子撞击等方法,撞去少数外层电子或一个内层电子。由于原子核外围的电子层在这样撞击后,所有电子的运动状态

都失去了平衡,它们之间,就要互相调整。在调整的过程中,以电磁波动的形式放出大小不等的各种定额能量。通过分析这些能量的大小,我们就可以推断各种电子轨道的运动状态。人们就用这样的研究方法,发展了光谱学和爱克司光的研究。

人们并没有满足于在原子核外面的电子层结构问题的了解。人们自从发现了原子核起,就在研究着什么是原子核的结构。一直到 1933 年止,人们初步肯定了原子核不是单纯的一个核,它里面还有两种小的基本粒子,一种叫质子,一种叫中子。它们紧紧地挤在一起。原子核所带的阳电都在质子身上,每一个质子所带的阳电和一个电子所带的阴电,分量完全相等。中子则不带电。质子和中子的重量差不多。但是它们比电子要重得多,它们都比电子的重量重一千四百多倍。因此,原子的重量,有 99.9% 以上是集中在原子核上的。所以原子核是既重又小的一个微粒。如果把喜马拉雅山中的原子的外围电子都驱除掉,把它们的原子核一个挤一个地收集起来,则它们的总重量和喜马拉雅山的重量差不了很多,但是体积则可以小到装在口袋里面。

因为原子总起来不带电,所以原子核里带阳电的质子数目,应该和带阴电的核外电子数目完全相等。这就是说,原子核里有几个质子,原子核外围就有几个电子。

同一种元素的原子都有相同数目的电子,核里也都有相同数目的质子,但核里的中子个数并不是都完全相同的。因此,同一种元素的原子的重量也不完全相同。我们把每一类重量不同而电子数目相等的各种原子,称为这种元素的同位素。同位素的核外电子相同,因此,一般化学的性质也相同,在元素周期表里只代表一种元素,登记在一个位子上,所以叫做同位素。换句话说,同位素惟一不同的地方,就是核内的中子数不一样,多一两个,或是少一两个。

例如氢元素的原子,就有三种同位素,大多数氢原子的核就只是一个质子。极少量氢原子的核包含一个质子和一个中子,它的重量比普通氢原子约重 2 倍,称为重氢,另外还有一种人工造成的同位素,它的核里有一个质子和两个中子,它的重量有普通氢原子的 3 倍,称为超重氢。

碳的原子有两种同位素,较多数的是包含 6 个质子和 6 个中子,另一种较少的是包含 6 个质子和 7 个中子。天然的碳总是包含着一定比重的两种同位素。例如原子能材料的铀原子有好几种同位素。铀的同位素都有 92 个电子,核里也都有 92 个质子,但中子的数目则不同。其中有一种同位素有 146 个中子,所以质子和中子共有 238 个,这种同位素称为铀 238。另外一种同位素的核里有 143 个中子,质子和中子共有 235 个,称为铀 235;还有一种同位素有 142 个中子,称为铀 234。

各种同位素的原子核是不是固定不变的呢?科学家经过了将近 60 年的努力,已经证明原子核并不是固定不变的,并且寻得了加速和控制原子核变化的方法。在科学上,这种原子核的变化叫做原子核蜕变。

人们开始注意到原子核有蜕变的现象,是在 1896 年,那时有科学家注意到铀和钍能够自动地不断地放射出一种穿透物质能力很强的射线,它们可以影响桌上包在黑纸内的胶片,使它们感光。铀和钍就是今天的主要原子能材料,两年后居里夫妇又发现了镭也有放射线的能力,这些射线是什么呢?它们在磁场里有一部分向一方弯着射,有一部分向另一方弯着射,有一部分不受磁场的影响,一直往前发射。前一种我们叫做甲种射线,它是由带阳电的高速度的氦气的原子核组成的。氦气是一种稀有气体的元素,它的原子核比氢原子重 4 倍,包含着两个质子和两个中子。第二种射线叫做乙种射线,它是由高速电子组成的,带着阴电。第三种不受磁场影响的射线是一种波长很短的无线电波,叫做丙种射线,它的穿透能力最强。这些射线肯定地都是从原子核里出来的,因此,人们开始知道原子核的内部在自发地发生着变化。

我们现在知道,铀的自然放射的蜕变过程是很慢的。一块纯铀在 45 亿年的自然放射过程里只有一半的原子核发生变化。铀 239 的原子核通过自然放射过程放射甲种射线,即放射氦气的原子核。铀 238 放出了氦气的核以后,少掉了 2 个中子和 2 个质子,只剩 90 个质子和 144 个中子了。这个新的原子核就是钍 234,它比铀 238 还要不稳定,它在 24 天中就能变掉一半,它会连续发射 2 个电子而变成铀 234。发射的电子就组成了钍 234 的乙种射线,而在钍 234 中有 2 个中子,却由于在放射

的过程中放出了电子而自己变成了质子。因此,铀²³⁴中比钍²³⁴中一方面少了2个中子,而另一方面却多了2个质子。铀²³⁴的寿命也是较长的,它在2.7万年中会变掉一半,这样一代一代的变下去,共经过14代后,最后变成稳定的铅²⁰⁶。铅²⁰⁶在普通的铅里有23.6%。钍²³²也有同样的性质,一块钍²³²通过140亿年可变掉一半,它经历了10代以后,变成了较稳定的铅²⁰⁸,它在普通铅里有52.3%。

上面所说的各种放射物质的自然放射过程,都是不受人们的控制的。人们曾经想把铀的放射过程加快一些,尝试了加热、加压力和其他各式各样的方法,结果都失败了。

上面所说的各种放射物质的放射性质指出了原子核也是不断地在变化着的,并不是像人们想像的那样是一成不变的。我们通常遇到的原子核,像铅的原子核等,好像是稳定的,实质上也在渐渐地一个一个地变化着,不过变得很慢,一块铁或一块铅都要不知道几亿年以后才能变到我们察觉得出来罢了!

但是,人们并没有满足在对于自然现象的了解,在1919年,人们用镭里放出的甲种射线——氦原子核打击氮气的原子,氮原子在吸取了氦原子核后就能放出速度很大的质子,而变成氧核。人们开始知道可以用人工的方法使原子核发生变化。

从此以后,人们尝试着用甲种射线射击各种原子来获得各种原子的人工变化,人们进一步把氢的原子核——质子,和其他带阳电的原子核,在加速器里把它的速度提高后来撞击各种原子,促成原子核的人工变化,从这些实验里,得到了各种各样的人工放射性的同位素。但是,带阳电的粒子来撞击带阳电的原子核时,因为阳电和阳电互相排斥的缘故,带阳电较多的大原子核就很难撞破。

在这些实验里,后来人们获得了放射中子的人工同位素。中子射线的穿透力很强,因为它不带电,所以它可以打破带阳电很多的重原子核。因此,中子就成了打击各种原子核、促成原子核发生变化的有效工具。

1938年底,科学家们在原子核的人工变化中获得了一个重大的发现。当用中子打击铀时,铀²³⁵的核可以先吸收一个中子,然后又分裂

成两个碎块,同时,放出很大的原子能。并且在分裂过程中还带出来两三个中子,这两三个中子又可以碰着邻近的铀而发生第二次分裂,这样一串串地分裂下去,就给我们发出了可以利用的原子能。这样的一串串的分裂变化在后来用管制中子的密度的方法控制了起来,就是现在原子能发电的基本原理。

人们并没有满足于仅仅来了解如何把重的原子核变化成轻的原子核的问题,人们也研究了如何把很轻的原子核聚合成较重的原子核的问题。当速度高的重氢核和超重氢核相撞时,它们就会合并成一个氦原子的核,并且放出一个中子,同时还放出很大的原子能。为了保证这种变化能大规模地进行,就必须使所有重氢和超重氢都有极大的速度,这只有在几千万度的高温之下才能达到。因此,我们叫这种过程为热核子过程。氢弹抹是热核子过程的一种,它是利用普通原子弹的爆炸来获得高温的。在太阳里,温度有几千万度,因此,它的内部不断地进行着一些热核子过程,放出巨大的光和热。

从上面的叙述里,好像物质不论怎样复杂,总是由核外的电子与核内的中子和质子组成的。表面上看来,我们好像已经到了一个应该能够把这些复杂现象进一步简化、只用一种粒子来说明世界的阶段,实际上这样的看法是由 20 世纪 40 年代初期的知识情况所决定的,这样的简化可能已经达到了简化的极限,就是造房子至少也必须要有一种砖头。当然,这样的简化的想法,在最近十几年的对于物质世界的探索中完全被粉碎了。

大约在四五十年前,物理学家就掌握了一个关于光射在吸收面上产生压力的现象。在这以前,人们习惯上总是把物质和它的质量联系起来看的,认为表示物质的量的就是它的质量,而质量又和物质在运动中的惯性联系了起来,因此认为物质的一个属性,就是表示它的惯性的质量。当物质投射到一个障碍面上时,这个面上就受到压力。但是,现在光投射到吸收面上以后也产生了压力。这岂不是说通常认为光只是能量的,现在也有了质量的性质了么?这个实验的深刻探讨,指出了光的质量表示了光的惯性,光的质量和它的能量成正比。正确地说来,光的能量和

它的质量联系着的,光的能量等于光的质量和光速的平方的乘积。

有很多实验指出了光是以微粒的特性存在着的,一束光里,包含着成千上万个光的微粒,现在我们叫它们为光子。光子的能量是由光波的频率来决定的。和光子的能量联系着的是光子的质量,因此,光子的质量也由光波的频率所决定。

也是在四五十年前,物理学家掌握了另一个实验事实,就是电子的惯性质量随着运动的速度增加而增大,尤其在速度接近光速时,更加显著。这就指出了电子质量是和它的动能联系着的。通过详细的实验证明,电子因为它的速度增加而增加的惯性质量,和它的动能成正比,比例系数也是光速的平方。这和光子的光压现象结合在一起,就可以得到结论说:不论光子的光能和电子的动能,它们都和一定的质量联系着的。此后通过不少实验证明,不论什么质点,在动能增加时,它们的惯性质量都根据相同的联系定律增加着。现在我们叫这个定律为物质质量和能量的联系定律,这就是,和物质的质量联系的能量,等于质量乘光速的平方。

既然是物质的能量和质量有一定的联系,那么,为什么在平常情况下,运动较快的物体,并不感觉得它的质量有所增加呢?主要是在平常情况下,这样增加的质量是很小的,一般察觉不出来。譬如,10吨重的飞机,飞到每秒钟1000米的速度,这样增加的动能所相当的质量只有十万亿分之一克。因此,这样小的质量变化在10吨重里是不可能察觉得到的。

上面所说的质量和能量的联系定律,是指物质的动能或光能或其他能量所联系的质量和这个联系的规律。但是,我们知道很多通常的物体是有着它的固有的质量的。这些质量就是在静止时也还存在。譬如,一个电子的静止质量是千亿万分之一克,我们能不能说,这些静止质量是不是也联系着一定的能量呢?我们现在知道它也联系着一定的能量的,我们现在称这种能量为物质的固有能量。物质的固有能量也等于物质静止质量和光速的平方的乘积。

和物质的静止质量联系着的固有能量是很大的,譬如,和1克物质

相当的固有能量大约等于 2.5 亿千瓦小时的电力。假如,我们能把物质的固有能量解放出来,变为物质的动能,则我们就几乎可以有取之不尽、用之不竭的能量来源了。原子能的实现,只是初步在工业上运用了这个事实。

在 20 年前,人们发现了带阳电的阳电子,阳电子的质量和电荷量完全和电子的质量和电荷量相等。人们发现一个光子在一定条件下会转变成为一个带阴电的电子和一个带阳电的阳电子。同时,一个电子和一个阳电子相遇,会变成一个光子。通过很多的实验测量,肯定了电子和阳电子的静止质量和它的动能所相联系的质量的总和,等于光子的光能所联系的质量。同时,电子和阳电子的动能和它们的固有能量之和,等于光子的光能。在这里,说明了在这个转变中、转变前和转变后的质量是相等的,转变前和转变后的能量是相等的,但是它们的形式有了不同。这种情形,我们现在知道在很多现象里,都是如此的。或者说,在一切物质变化的过程里,物质的质量保持不变,同时物质的能量也保持不变。我们叫这样的规律为物质质量的守恒定律和物质能量的守恒和转换定律,这两个定律是在物质的质量和能量联系定律的基础上统一起来的。

唯心主义者硬把电子和阳电子相遇转化成光子的过程,说成是物质消灭了,同时能量产生了,那完全是不了解物质转换过程的荒谬的说法。他们对光子的光压实验等物理现象所肯定了的能量和质量的互相联系定律,说成是能量和质量的相互转换定律,他们把能量和质量看作是互相对立的、互不联系的东西。假如把能量和质量互相孤立起来看,则我们就必然会把物质的质量和表示它的运动的能量分离开来了,这样推论下去,就会得出物质消灭而留下的只有运动,或是运动可以离开物质而独立起来,这就是认为运动的源泉可以在我们意识的本性中找到的那种唯能论者的荒谬结论。

在以辩证唯物主义为基础的物理学里,电子和阳电子转变为光子的现象,是从一种物质的粒子——阳电子和电子转变为另一种物质的粒子——光子的物质转变过程。在这个过程中,阳电子和电子的质量并没有消灭,也并没有转变为别的什么东西,它仍然转变为一种质量,就是光

子的质量,同样,光子的能量,并不是靠电子和阳电子的质量的消失而得来的,因为它们的质量并没有消失,光子的能量,一部分是电子和阳电子原有的动能,一部分是它们的固有能量转变而来的。

在对于各种原子核变化过程作定量分析的时候,常常发现变化前和变化后的静止质量有所不同,一般在变化过程里,质量有所亏损。例如用质子打击锂原子核时,锂原子核先吸收了质子,然后蜕变成两个氦气的原子核,即两个甲种射线的质点。如果把质子和锂原子核的静止质量加在一起,和两个氦气的原子核的静止质量相比,则立刻就发现在变化过程里质量有所损失。但是,我们如果注意到氦原子核是以极大速度向各方面飞出去的,则我们就可以察觉得到这样高速的氦原子的质量比静止的氦原子核质量是要大一些。而这些增加的质量,就等于变化过程中亏损了的静止质量。同时,如果我们把质子的动能、质子和锂原子核的固有能量加在一起,就可以证明等于两个氦原子核的动能和它们的固有能量加在一起的总和。这就是说我们又一次证明了上面的结论,即在能量和质量相互联系的定律的统一基础上,不论什么样的物质变化,总是服从质量守恒定律和能量守恒和转换定律的。

从上面这些叙述里,好像物质的基本组成是电子、阳电子、光子、中子和质子等基本粒子。一切物质过程就是这些基本粒子的互相作用和互相联系所组成的。这些过程服从质量守恒定律与能量守恒和转换定律,这两个定律又被能量和质量的相互联系定律统一了起来。物质世界是不是真正是那样简单呢?在 20 年前,人们好像真是那样相信了。但是,经过了十几年来的实验,这样的简单观念完全被事实所粉碎了。

我们现在知道在上面所说的这五种基本粒子之外,还有许多可以称为不稳定的基本粒子存在。而这些不稳定的基本粒子和所谓稳定的基本粒子之间,又有着复杂的关系,这些关系都是目前基本物理学兴趣所在的问题,也是目前研究物质构造的最基本的部分。

首先我们在稳定的阴电子和阳电子外,我们在原子核的变化中发现了中性的中微子。中微子也是稳定的粒子,它的质量小于电子质量的百分之一。中微子和物质发生的作用是很小的,以至于它能穿过太阳的主

体而不发生作用。

其次我们在宇宙线里发现了叫做 μ 介子的不稳定粒子。 μ 介子的质量是电子质量的 207 倍。它可以带阴电,也可以带阳电,它们都不稳定,它们的寿命只有百万分之一秒,它们在自由空间可以放出两个中微子而蜕变为电子。它们和原子核的作用是很弱的。原子核的密度虽然大,然而对于 μ 介子好像是透明的。

在 高能粒子互相碰撞时,我们得到了一种介子,叫做 π 介子。 π 介子有带阴电的也有带阳电的,它们的质量是电子质量的 273 倍,它们也不稳定,平均寿命约为亿分之一秒。它们在蜕变后,放出中微子变成 μ 介子。它们和 μ 介子不同,对于原子核有很强作用,它们使原子核发生蜕变。 π 介子也有中性的,中性 π 介子的质量只有电子质量的 265 倍,寿命更短,只有亿亿分之一秒。它可以变成两个光子,或一个光子和一对正负电子。也可以蜕变成两对正负电子。

人们在宇宙线和高能粒子的互相碰撞的实验中,还发现了一批性质略有不同的各种重介子,它们的质量都比电子重 960~970 倍之间,比 μ 和 π 介子重 4 倍左右,比中子、质子的质量约轻一半。它们有的带阴电,有的带阳电,有的是中性。它们都不很稳定,寿命和 π 介子差不多,大约是亿分之一秒。

去年物理学家又在加速器里发现了反质子,反质子是带有阴电的质子。它也是不稳定的。

人们正在研究这些粒子,在为物质构造的基本问题进行着不懈的工作。人们对于物质构造的认识愈来愈深入了,但是,我们知道离开我们的目的地还是很远。我们相信,不论物质世界多么复杂,只要我们认为物质是存在的,我们终有一天会弄清它们的本来面目。

《锌空气(氧)电池进展》^{*}

编译者序

在进行锌空气(氧)电池的研制工作中,遵照毛主席关于“洋为中用”的教导,我们从国外期刊、报告和专利中翻译了一些技术资料,现应有关各方面的要求,集编成册,供大家参考。

锌空气(氧)电池是 60 年代在燃料电池和银锌电池基础上发展起来的一种新型高能化学电源。这种电池的优点是能量密度高,即重量轻、体积小,同时成本低廉,性能稳定。目前作为一次电池或阳极可替换的电池已应用于通讯等方面。由于充电技术也在不断地发展和完善,有些国家正开展将这种电池作为车辆动力等方面的研究。

本书收集的资料大部分是 1965~1970 年间发表的,其内容有以下几部分:一、锌空气电池组;二、锌氧电池组;三、电解液循环的锌空气电池组;四、空气极;五、锌极;六、充电;七、电池组装;八、测试方法。有关电解液、隔膜的发展,这里涉及较少。对一些过于冗长的报告和一般专利文献,我们作了必要的删节。

由于我们的水平和时间所限,书中可能有不少缺点和错误,希望广大读者批判地使用,并对我们提出宝贵的意见。

^{*} 该书以清华大学锌空气电池研究组名义编译,1975 年科学出版社出版。

为实现四个现代化而努力奋斗^{*}

今天我想讲一下关于四个现代化的问题,我的题目是“为实现四个现代化而努力奋斗”。四个现代化是党中央一举粉碎了“四人帮”后提出的作为新时期总任务的一部分,是带领我们全国人民进行新的长征,我们的目标是要在本世纪内实现四个现代化,把我国建设成为社会主义强国,这是我们全国人民祖祖辈辈长期以来的共同愿望。

今年春季,科学大会上华主席又号召我们“要极大地提高整个中华民族的科学文化水平”,这是实现四个现代化的必要基础,也是实现建成全国各族人民的社会主义强国的必要基础。华主席在科学大会上曾经讲过要提高整个民族的科学文化水平,也是有利于动员广大人民群众参加国家管理,有利于国家生活中进一步发扬社会主义民主,换句话说,如果全民族的科学文化水平不高,不仅不可能实现四个现代化,就是实现了也不可能是社会主义的。在我们国家实现四个现代化是我国人民生死存亡的问题,是有关全世界人民生死存亡的问题。正如毛主席所教导的那样,是关系到会不会被“开除球籍”的问题,因此我们应该是大家共同努力团结起来,努力争取来实现它。

当然一提起四个现代化,问题很多,大家都想理解的问题方面很多。今天我想谈下面几个问题,供大家参考。

第一个问题是当前近代化的工业生产、农业生产表现在哪里,最近这些工、农业发展的倾向是什么。

第二个问题是当前近代化科学技术表现在哪里,最近的发展倾向是

^{*} 1978年9月9日,在武汉市科学技术委员会、武汉市科学技术协会主办的报告会上的报告(根据录音整理)。

什么,近代化的科学技术与工农业生产的关系。

第三个问题是讲一下四个现代化给人民生活可能带来的影响。

要谈这三个问题,涉及的方面很多。

我想从历史发展上面从世界角度来看的话:第一个时期我们可以叫它是工业革命时期。主要是19世纪。那个时期里头,人们开始会使用蒸汽机,会炼钢,有了电机,有了有线电。在这个时期里头,人们的生产活动主要是根据这四个方面进行的。在19世纪的前50年,全世界都开始修铁路,我们国家最早的铁路也是这个时期;开始有了真正的远洋航运,有了冶金工业,有了电力工业,机械工业普遍发展;开始有了洲际电报,就是像大西洋底下的海底电缆等等。因为蒸汽机动力的需要,开始有大规模煤矿工业产生,同时它也推进了铁路的运输。不过这个时期主要依靠机械生产,并且不是批量的,是单机的、单件的生产。那时候世界上的生产中心是在欧洲,那个时期的所谓现代化,就是要有效率很高的蒸汽机和要有很好的电机。

第二个时期是从1900年开始到第二次世界大战结束。这个期间的特点是人们有了飞机、有了汽车和有了无线电。因为飞机工业的发展,开始有了围绕航空工业的一大堆东西,中间包括内燃机的发展,还有无线电工业、汽车工业的发展。中间很突出的是有了石油工业,从石油工业里头派生了化学工业,化学工业又逐步地走向以石油工业为基础的人造材料的工业。因为有了汽车,就开始有了拖拉机,农业开始了机械化。因为有了航空工业,有色金属工业开始发展,中间主要是铝的工业。我们应该记得,铝是一个20世纪的材料,在第一批铝出来的时候,法国巴黎社会上的妇女们连金钢钻也不戴了,就戴了铝制的首饰,还说这个是多贵,据说价钱比金子还贵十几倍,现在我们可是晓得铝锅铝盆便宜得要死。在这个时期里头生产起了很大的变化,如二次大战生产的重点移到美洲去了。美国人管理生产与欧洲人有个区别,在这个期间,他们把生产更有效地组织起来了,懂得批量进行生产,开始引入生产线,尤其汽车工业,这些促成了工业大规模发展。

第三个时期就是从第二次世界大战以后一直到现在。这个期间里

头有几样突出的东西,就是原子能、电子计算机跟空间技术。在农业方面人们开始注意到所谓“绿色革命”。这个时代在工业生产上起最大作用的是从生产线进入了单机自动化、半自动化,以后逐步进入所谓生产线自动化,即整个生产线都是自动化了,现在进入一个所谓全盘自动化的企业时代。这跟前一个时期更不一样了,前一个时期,主要生产方面引入了生产线,而这个时期进入了自动化的时代,许多企业被彻底地改造了,所以也有人说这是自动化的时代。为什么这个时期才可能有自动化?就是因为计算机工业的发展。下面我们详细地谈一谈这几个方面现在的情况。

关于原子能工业,外头宣传得够多的了,时间也很长了。可是在第二次世界大战结束的时候,是美国垄断了;到现在不是这样了,不只是苏联有、英国有、法国有、加拿大有,瑞典、日本也有,连印度都快有了。而在80年代,反应堆、核材料加工工业,很多国家有自己的计划。瑞典现在的动力来源70%是靠水力,他们到80年代结束,就是1990年,要改变成70%是核动力。瑞典是个小国家,因为人民生活水平比较高,他们消耗的动力很大,水力资源已开发了96%,所以他们走向核动力的方向。

关于空间技术,这完全是40年代开始的,现在已经达到了人登上了月球,那是1972年。1974年有飞船到了火星,照了相,还到了水星照相。到了1976年,现在人们瞄准的目标是土星。同时人们想望已久的空间站,现在已经有实现的可能了。所谓空间站,就是在地球的外层空间有一个科学实验室,东西可以运上去,人员可以上去,作了一定数量的实验,呆了一定时间以后,可以回来。这里有几个要求,就是,不可能把整个空间站一次用火箭放上去,只能把一个空间站分成很多很多小的部分,每一次放上去一部分,在上面联起来成为一个大的结构。像这样一种空间站,是最难的技术,因为每个部分,都在空间按一定的速度跟一定的高度在运转,两个空间站的部分,要调节自己的速度跟高度,使它并行,才能联起来,距离要很近,这个技术并不很容易,是很困难的。大家不相信的话,可以想一想,两辆汽车在马路上行驶的时候,不停下来,有一个人要从一辆汽车上到另一辆汽车的话,还是很难的,何况是在空间!

另外，空间站的实现，还跟回收等有关系，要我们人员去了还能回来。过去一个阶段是人回来了，可是卫星毁了，现在逐步地做到了卫星也不毁，这也是一个很高的技术。进入大气层的时候由于大气层对空间飞行器有很大的阻力，而阻力产生很大的热量会把卫星烧掉。现在人们已经发现了某些技术，这些技术叫“汗壁”技术，就是在空间飞行器上冒出一部分“汗”，大概就是燃料这一类东西，让它蒸发得很快，这个出汗的过程里头，制止大气燃烧。

最后，大家都晓得的遥测、遥控的资源卫星和通讯卫星。资源卫星与通讯卫星也并不是很容易造的。通讯卫星有一个要求，它飞行的轨道跟它的速度与地球自转的速度是一样的，而且它是平行于赤道平面，跟地球一起在运转。因此假若我们这个飞行器是在上空某一个方位，那么它就长期地停留在这个方位，可以作为一个转播站，这叫通讯卫星，有时也叫同步卫星。同步就是与地球自转速度相同。可这个并不很容易。现在我们一般的同步卫星，从一天看不出来它在移动，可是隔了一个星期看，它的方位还是有变动。一个同步卫星只能维持几个月方位基本上在你这个区域里头。那么，当然要有一些技术把它速度再减慢一些或者是加快一些，让它回到原来的地方，不过这个时间还是不长，最好的也只能维持一年两年，那就是很了不起了。因为没有准确的可能性把这个卫星测量到差多少米，总有一个最小限度的测量误差；还有即使卫星运转的速度调到跟地球完全一样，时间累积下来，这个同步卫星也会造成了相对地面的移动。

关于资源卫星，人们谈得很多，有时叫它间谍卫星。资源卫星的特点是什么呢？它跟同步卫星不一样，同步卫星是平行于赤道轨道进行运转的，相对于地面是不动的；而资源卫星基本上跟赤道成 $60^{\circ} \sim 80^{\circ}$ 那么一个大的角度，那么它绕地球一转的时候，地球又转过去了，普通这种卫星绕地球一转是 90 分钟左右，地球转过去是 1.5 比 24 这样一个角度，换句话说，这个人造卫星在 24 小时里头可以转 16~17 转，每一转就在地面上移过一个距离，这一转比如在上海地区，下一转可能到成都上空去了。在各个不同上空它可以进行测量。测量开始用的是照相，现在不

用照相了,而是用微波技术,用三个波长的微波,代表不同的颜色。它是先收集起来以后再送回来,它是用普通讯号送回来,由专门加工的计算机加工以后变成了不同颜色的相片,一般是三种颜色的相片。这个三种颜色代表地面上不同的东西,这跟照相不一样。但并不是猜的,它经过长期复核调查以后形成的。譬如说对于植物,对于人种的东西的成熟程度,这是它们测量的一个很重要的内容,麦子面积多少,有多少成熟程度,或者是整个干旱,都可以测量出来。那么它是怎么测的呢?它是这样:先是卫星照了相回来了,卫星信息回来了,把相片发给地面调查组;调查组就到这个地点去,根据相片颜色跟当地的情况进行复查,来校核测量的情况。地面校核组是三类人:一类是地面汽车测量组,一类是直升飞机,一类是航空测量,把三个方面的测量进行校核,决定资源的情况。这是指农作物,当然还有其他。现在我们晓得资源卫星作用很大。1972年我跟随我国的科学代表团到了美国,美国让我们看空间技术。我心想,这个空间技术里头不知道给我们看什么,有些东西它不会给你看。一去以后,它主要给我们看资源卫星站的复制技术,就是信息回来复制成图片的技术。他给我看计算机,一直看到复制过程,最后有一个发明这个技术的专家给我们讲了一通,讲完了就说我们给你看几张图片,都是华盛顿州跟华盛顿附近和华盛顿西部的图片。这一看,的确很清楚,样样都非常清楚。那么接下去他说现在我们全世界已经都照了,因为它转一转,照一照根本无所谓,要照哪儿就照哪儿。照相的宽是800公里,就是一次过来有800公里可以照,他们只取用200公里,边上的不太用,只是为校核用。他说现在其他各个国家都要我们的图片,我们为他们管理资源,有很大的用处,中间包括水的污染、农作物、矿藏、断层等等。他说现在就是你们中国上空我们没有照。我就根本不相信这个事。他还特别做了一张地图,是把我们这块空白了,其实他是临时做的,做一张地图他还不容易!可是,他说你们要照的话,我们三天里头就可以给你们一份。实际上他大概早照了。那么我们当然就商量了半天,不置可否;回来以后跟中央同志商量,总理说,你不要是白不要,我们还是要。很便宜,几万块钱就一套,那是非常便宜的。当然,我们现在也掌

握了这个技术。我们的资源卫星已经放了,初步试验过,照相也很不错。我们在北京一个展览会上,看见一张北京的照片,就是资源卫星照的,我们回收了这个相片,的确是很清楚。当然跟有些人说的不同了,有人宣传什么划一根火柴上面就有感觉,或者是简直神妙得不可一世。实际并没有那么厉害,不过也够清楚了,我就在相片上找着了我家住的那个院子。譬如说,我们有任何的基建工程在进行的话,它只要两次照相,就校核出来了。第一次照相那个地方没有东西,第二次照相发现那个地方土都动了。其实很容易,它就是大概每隔一天半就转回来了,所以它有一个星期就校核得清清楚楚。这个资源卫星很有用处,最近有那么一个消息,就是有一个外国的朋友在看资源卫星相片,他看见我们西南有一个省,有一个区域里头有一个大的铁矿,他判断是铁矿,是富铁矿,上面有感觉是富铁矿,一般铁矿它感觉得少。那这个就很重要,我们现在缺的是富铁矿。又譬如说,我们最近才晓得从资源卫星上发现一个我们地质学家长期以来没有发现的一个重要的断层,是从三峡往南去的,这个断层可能对于我们经济建设很重要。是一个很大的断层,在上面看得很清楚,若在地面上就看不清楚,断断续续。

第三个问题我想谈谈计算机的问题。计算机是眼前我们工业生产跟教学科研里头一个重大的问题。我 1972 年去的时候已经非常普及。在那时候,我们去了四个国家:英国、瑞典、加拿大跟美国,他们所有的学校里做的实验跟他们的理论研究工作基本上都已经计算机化,甚至于连文学院也用计算机。他们的学生在一年级必修 30~50 小时的计算机程序的课目,就是说有 30~50 小时的计算机训练,不是口头上讲的,是上计算机。他们每个学校里头最大的系是计算机科学系,所有学校都是如此。他们一个学校里不止一个计算机中心,像伦敦大学就有三个计算机中心串成网,那时候联网的情况还不多。哈佛跟麻省理工学院还把两个学校计算机联成了网。

我们把计算机分成三个类型来谈:一个类型是通用计算机,一个类型是专用计算机,还有一个类型我们大家晓得的是计算器,计算器是最近的技术。我分别把它们说一下。计算器是 1970 年开始出现的,是一

个中国血统的人叫王安，他创造的。计算器的大小跟我们口袋差不多大，跟日记本差不多大。计算器有各种各样的，一般是商业上用的计算器，是售货员用的，加、减、乘、除，连乘带加，你买两双袜子或一件毛衣，或 50 个扣子等等，它一下子就可把钱加起来。美国人计算是很差很差的，售货员连找钱都不太会找。我们找钱很容易，你买一元六角五的东西，给他两元钱，他一下子就找你三角五，连算都不算。美国人就不一样，你给他两元钱，他手里拿一叠票子，先给你五分钱，是一元七，再给一角，再给你两角钱，两元钱完了，他只会加法不会减法的。现在情况不一样了，他们手里都拿了这么一个小的计算器，一般是 6 位数，因此他们现在一点不愁这些问题。我们去的时候，一个计算器，要 35 美元，最近我听说这样的计算器大概两三美元，只八年的功夫。这当然是很粗浅的计算器。我们在那时候到了西部，忽然有个教授从口袋里拿出个计算器来，我心想还不是东部那种计算器。哪，原来不是。这个计算器是科学技术人员用的，输入是 13 位，输出也是 13 位，它中间有很多个表，三角函数表是全的。我们查三角函数表查到秒，下面读数你可以有 8 位，可是输入不到 8 位。对数表也是这样，对数表，我们最大对数表输出 8 位，输入 6 位。这种计算器输出是 13 位，输入也是 13 位；反对数跟反三角函数都是如此，还有双曲线函数。这样一来，我心想，我要有这样一个计算器，我家那么一大堆表都不要了，查了半天，我还得用插值的办法，才能算到小数第九位，很麻烦，他那个很简单就查出来了。那时候这样一个计算器，要多少钱呢？要 399 美元。我算了半天，我买不起。现在计算器有很大的发展，而且价钱已大大降低，刚才我说的 399 美元的计算器，现在只要三十几美元就可买到了。现在有比这个贵一点的计算器，那不光是查查表，加、减、乘、除、开方，还有 200 个简单的程序，中间包括了譬如矢量分析、 $\sqrt{x^2 + y^2}$ 、 $x : y$ 、 $\arctg$ 、求角度、联立方程、三元的联立方程，它都有程序。这个对于一般用处、科学用处、科研用处，都基本上全解决了，可以省不少事。像这样的计算器，才 99 美元一个，都是口袋里能放，可以带来带去。因此，他们的计算尺，全部“辞职”了，再也卖不出去了。因为计算尺还没有三用的计算机便宜，而计算尺只能算到三

位数,这还要很有经验的,没有经验的乘乘加加,除除减减,到最后只能两位数。这是第一类计算器,这类计算器所以能成功主要靠大规模集成电路。他们大规模的集成电路的芯片很便宜,我们去的时候这个还未公开。那时候在市面上能买得到的,都是中等规模的集成电路,就是一片里头有我们这里叫晶体管的400~600个管子,或1000个管子。那时我们到百货公司去,看见里头卖零零碎碎的跟什么洋钉啊放在一起的,就有这种片子。他们放在塑料口袋里,一口袋大概四五十个,5角钱一口袋。由于集成电路的发展,成品率很高,因此就可以把它作为工业里头用的、器具里头用的指挥控制系统。譬如说吧,最近大规模集成电路的发展,有可能做所谓电子手表。日本人就把全世界生意都抢去了。电子手表里头一个大规模集成电路加上一个纽扣电池,还有一个液晶显示,外表跟我们的手表一样,不过没有针,没有机器零件,只有液晶显示,能显示几点、几分、几秒,有的讲究一些的加上日期跟星期。这种表非常便宜,便宜到什么程度呢?那时候已有中等规模集成电路手表在美国卖,在百货公司里头卖,卖8美元一个。我们问这种表耐不耐用?他们说我们不讲究耐用,就是希望用一年,一年完了就扔掉,再买一个。这种技术所依靠的就是集成电路的生产,据说现在更便宜了。这种表由于外国大规模生产,一点不费钱,据说它所有东西中最贵的是纽扣电池,其他都比它便宜。他们的集成电路为什么可以做到那么便宜,而且成品率又那么高呢(他们的成品率基本上是99%,我们的集成电路成品率比较低,低了就贵)?因为他们是全盘自动化的生产线,人根本不进去,因此它成品率很高,也很便宜。本来计算机工厂是不让我们参观的,结果有一个计算机厂,他里头的总工程师是个中国人,这么一来,我们就偷偷地去看了一次,他亲自带了我们去看了。哈佛大学有位教授,大为恼火,晓得我们去参观,他说他们学校就在厂旁边,从来没让他们去看过。不过看了等于不看一样,因为它全是封闭系统,我们只能从进原料的地方,看见它原料怎么进;出成品的地方,一个一个往下掉,我们再也看不清里面是什么东西。这个全盘自动化的生产线,全部是计算机操作的、计算机控制的、计算机检验的。这样一种生产线生产方式是近代工业里头必不

可少的东西。可是管理这些东西，管理这种生产机构，那就必须要学过计算机的人，这是一个大问题。因此他们学计算机这门科学的人，数量很大，而且学其他工程的没有一个不学计算机的，至少你得会用。我们1972年去美国的时候，美国自己吹，说他们通用计算机有8万台。美国也不过一千多所高等学校，研究所也是上千吧！8万台这个数量是很大的。现在情况更不一样了，它们已经联成了网，就是把计算机都联起来了。很多网是全国性的。每一台计算机都联上了几百个终端设备，这些终端设备不在计算机机房里头。我们去看这些通用计算机房里都很干净、很清闲，只一个人在接电话，像接线似的，哼哼哈哈地在跟对方谈话，剩下人很少，还有一批女工在那儿搬磁盘。他们那个通用计算机是怎么回事呢？它是一个计算中心，联上了很多终端设备，所有终端设备都在各个实验室。各个用计算机的地方，离开计算机可以好几公里，甚至几十公里，都用普通的电话线联上的。我们到过一位教授家里，他家里就有个终端设备，他说他是为了省钱，晚上用这个。他是开夜车的老手，他的终端设备很简单，就是一个电动打字机，还有一个印刷设备。有的终端设备比较复杂，在实验室就比较复杂，可以把电视机都联上去，许多曲线都可以显示，还有许多使用计算机的设备，画图啊什么的。所以终端设备也很复杂，各个终端都不一样。如他若用计算机怎么办呢？他说：我先打个电话告诉计算中心，我几点几十分开始用这个计算机，请你把我的磁盘放上。他的磁盘就是他储存的资料，他进行某一个计算总有一批资料。这个磁盘是放在编号的磁盘间，很有点像我们图书馆的书库，都有各自的号码。那么这里告诉几点几十分后，在前10分钟磁盘间的女工就把这个号码的磁盘运到计算中心那个磁盘的机器里头，把它摆在上面，到时候他自动就用了。他们的输入系统跟我们的完全不一样，他们是用卡片式的，我们用纸带式的。他们说我们经过长期试验以后，我们懂得卡片输入是稳妥的，有时候，纸带输入是不可靠的，基本上常有跳字现象，有时候程序通不过，也不晓得是里面程序错了，还是跳了字？因此消耗在程序通过的环节上的时间很多，使用户很有意见，所以现在全部改成卡片式。它有一个卡片机，发现了那个卡片不合逻辑了，一个

中心,假若是排不上队,转移到别的中心去,因此你随叫随到,到他那儿要用,他总有办法帮你排上队。这个计算机使用方面是很多的,不要因为计算机三个字把我们迷糊了,计算机用在计算上面,那对搞力学的人是大本行,有限元,我们现在的计算机基本上是用来做这个工作。其实进行计算这部分工作仅占全部计算机工作的 $1/7$ 的工作量, $6/7$ 不是拿来作为计算工具的,我讲讲我所看到的他们使用计算机的许多方面。我们在瑞典,他们的科委就特别给我们看了北极圈里头有个火箭站。参观回来的路上,到了一个小城镇,这个小城镇就让我们去看这个小城镇的银行办事处。一进去只有一个办事员,这个办事员前面有个桌子,大概比我的讲台大不了多少,这张桌子上面就是他银行的全部工具;有人来拿钱,这个人是从斯德哥尔摩(瑞典首都)为公事到这里来的,要拿一笔多少钱,告诉了他银行的存折号码,他就用计算机去检查这个号码。所有瑞典的银行分支行有三千多个,因为它是小国家,地域还是很大的,人口并不是很多,只有 1 000 万人。检查了以后,就告诉你可以领了;领的时候,银行办事员用打字机一打,这一边计算机就出来了,什么什么号,原来存款有多少,现在支出多少,还存有多少,一张单子一撕,事情就办完了,钱也拿了。后来我们了解,他们想推销这种计算机给我们。全瑞典所有银行合用这个计算机,每一个分行是一个终端设备,所有银行的账都存在这个计算机里头,所以用不着算盘子去算,也用不着记账,什么都用不着。而且有个好处,就是不论在哪儿存,到全国哪儿都能取,而用的是同一个计算机。我们不一样,就不行吧!你存在武昌的,你要到汉口来领可能领不到。他们不只用在银行的账目上,银行账目还是个计算问题,他们还用在人寿保险公司上面。美国的人寿保险公司是非常复杂的,因为它一天不知道要撞多少次车。车祸一来总是牵涉到有人死、有人伤,保险的问题就立刻发生。这两辆汽车都保了险,这个官司怎么打?很复杂,常常涉到法律啊!保险的费用问题牵涉的问题很多,他们现在全部用计算机管理。美国人寿保险公司是全国性的,也跟银行一样,你在纽约保的险,在洛杉矶撞车了,他一下也能管理,而且不消一分钟就搞清楚了问题,这个时间很快。这是一种使用方式。

麻省理工学院那个副校长就说：从他们有了计算机以后，发工资特别简单，财务也非常简单，工作人员就删减了不少；他们发工资全部是计算机发的。所以，他们管理教务处的学生名录、选修生的单子、分数等，其他全部由计算机管，教导处的人很少。这是管理方面用计算机。他们已经很普遍，而且正在进一步推广。

还有一个很大的用途对我们科学技术影响很大的，就是查文献。我们晓得，要进行一个科研工作，这个工作随便你什么题目，世界上总有人在这个问题上动过脑筋，几乎是很少问题没有人动过脑筋的，甚至于还发表了一些文章，就是你没有看见。这些东西怎么来找？我们总得要在前人经验的基础上进行工作，我们不能样样事情都从头做起嘛！因此，我们搞科学工作的人必须要会查文献。这个文献是不得了呀！现在，光这个有限元的文献一年有1万件到1.2万件，这是去年的统计。有限元是一个多小的问题呀！但在科技里头文献是不得了的。那么你要查你那个小问题，你往哪儿去找啊？！因此有一些索引给你，可索引也不全。美国人就发明了一个办法，他们在国会图书馆，把所有文献目录跟它那个简单的摘要，跟文献发表在哪儿，谁著的，都存在计算机里头。有一些是已经有文摘存进去的，有一些是外头没有文摘，他也存进去。存了以后，你要这个材料，你就告诉它，你要的项目等等，它就可以在很短的时间里，从几百万份文献里找出你要的东西。他们的检索工作现在很细，比我们图书馆的工作细得多。他们基本上是一个文献一个号码，而且还可以做到分类；不分类的话，就没有法子从某一个问题的来找文献。我们到加拿大科技图书馆里去，这个图书馆就在科学部大楼底层，科学部长就特别领我们去看这个东西。楼底下的图书馆是一位老太太管图书馆的柜台。去了后，有个男的，年纪很轻，满头大汗，大概是从远处赶来的，他急着要找一种怎么样消除汞害的文献。这个老太太乒乒乓乓地给他打字打了半天。原来她这个打字机是个电动打字机，直接进入本地计算机，再通过本地计算机的网到了美国国会图书馆。不到2分钟，回来了，有了回答。内容是说你的题目太大，文献太多，能不能缩小范围。老太太给他看了这个电动打字机的东西后，这个男的想了一下，他说行，我是

造纸厂来的，我只要找怎么样解决造纸厂的公害问题，就把这个题目一换。换了以后，这个老太太又打了一阵字，不到 1 分钟就回来了，一共 17 篇文章的题目跟它们的摘要。他们的印刷机也快。这种印刷机一印是八行，滚筒在那儿滚三次，基本上全部在里面了。纸是很宽的，1 米宽的那种纸张。三滚就有二十多行，全部文件都印在里面了。这个人就高高兴兴地走了，去付款去了。这个是要钱的。我们晓得科技工作最困难的就是找文献。针对一个题目要找文献的话，一个很有经验的人得坐上几个月，也就找来十几篇文献。现在听说美国国会图书馆的文献是供给全世界了，西欧也要成立这么一个中心。现在这些资料可以通过香港要到，就是说，你有什么问题，你在香港有熟人的话，就可以到香港大学去使用这个工具，香港大学可以直接跟美国国会图书馆联上，由他那儿给你检索，把材料给你寄来，也比你在国内找上半年要找得又全又快。这是第三种功能。关于这种功能我还得说一点其他的事情。我们到了加拿大以后，我有个老同学，他是学医的，牙科医生，他看见报上有我的名字，可是拼法又不一样，我这个姓钱的“钱”，这次拼法是 Qian，原来的拼法是 Chien，他就觉得奇怪。后来，我又到多伦多大学去了，多伦多大学还开了一个欢迎会。他想一定就是我。可是，他人在温哥华，怎么办呢？他急中生智，想了个办法，也找美国国会图书馆。他问：“钱伟长”按那个拼法是不是还有别的名字？这是第一条；第二条他的履历是怎么样的？结果，他花了 35 美元，弄了我一份档案材料。这个档案材料当然五花八门，什么都有，连三反里头的全部检查都有。我们代表团出去的每一个人都有档案材料，用不着他们费功夫，都在计算机里头，而且也是公开的，谁都可以要到。我是在美国呆过的，他们可能注意我这个人。我们有位副团长白介夫同志，他说你的有，我的保证没有，我从来不上报的。其实不然，后来发现，他也有这么一份材料，他那个材料是从延安自然科学学院的发言开始，在延安自然科学学院里他有过一次发言，计算机里也有。很奇怪的是，这些材料他们收集得很全。由于计算机有这种能力，因此计算机的确是给行政工作带来很大的好处，使大量的人员可以去搞专业，而不被陷在行政工作里头。

计算机除了有这些用途以外,还有几个用途,我们去的时候,有的正在试验,有的已经基本成功。我们去,几乎每一个国家都给我们看一种技术,就是计算机教育。有的给我们看中学的教育,有的给我们看小学的教育。譬如说吧,小学生,他们一个班 30 个人,就是 30 个显示器,上面都有屏幕,就跟我们的电视机一样。在上面给你显示出,讲这一课是什么内容。譬如数学,教你加法,教你减法等等。完了以后他留几个题目给学生做,学生就在桌子上做。这个桌子像块画图板似的,底下有电容器,你笔头一动,这个电容器就有反映,可以输入到计算机,可以校核对不对。接着计算机又提几个问题问这个学生,进行考核。问完了以后,学生还能提问,计算机可以给你答复。最后计算机进行评分,说你这一堂课及格了,念下一堂课。因此,一个班的孩子进度都不一样。有的小孩已经念到十几课了,有的还在第二、第三课那里磨菇呢。他们为什么能那么做?这并不是计算机有多大的本领。不是!只是计算机把所有有经验的老师的经验都总结了,编成了若干问题。小学功课里每一课都有很多问题,就是经常从教学里头,从学生那里吸取来的。把这些问题编在里面,怎么答复,计算机早有准备。你问的问题据说在小学里它们保证百分之百都能回答。到中学它说不行了,因为中学生提的问题,计算机没有准备,就没法回答。据说大学是很失败的。大学生问的题目很广,计算机老是答复不出来,所以,大学的问题到现在还没有解决。现在计算机教学是不是容易普及呢?眼前还不能普及,因为现在计算机还是比较贵的,不过他们在进行试验。计算机的好处就是优秀学生进步很快,这样就可以缩短教学年龄,比一个老师教解决问题。一个老师教,要对付 30 个人哪!这 30 个学生是不一样的,你只能集中地对付大多数学生,太好的学生你对付不了,太坏的学生你也对付不了。这是最好的老师!

计算机除了这个功能外,现在迅速推广的另一个技术,就是画图技术。我们去的时候,所有研究计算机的人都在研究计算机怎么画图。画什么图?画工程图。机械的各个图示、各个视图,一个机器的各个视图。怎么画?当然你按普通的画法也可以。计算机的所谓画,说穿了,从数

学上面看是很简单的，譬如一条直线是由两个点决定的，只要把两个点的坐标一给，那么这条线在空间就能显示出来了。一个圆嘛，就是一个半径跟一个圆心，把圆心跟半径一给，这个圆就出来了；假如不要全圆，要半圆的话，给一个角度就行了，等等，都是几何变换的问题。所以，它那个图一画以后，显示器可以给你各种角度的视图，不止是正视、侧视，不只是这些， 45° 的、 30° 的都能看。它字迹在里头转，这个图本身也就在那里转。各个角度的工程画图都有。你要把它录下来他有录像机，你说这个面我要，一下就录下来了。我们看了一个建筑图。建筑师画的建筑图必须是很美观的，一定要学过美术的。所以，建筑系的学生总得学上两年绘画。他们建筑图也用计算机画。怎么画呢？我们去看的时候，一个学生正在画一个建筑图，正面图是非常漂亮的。后来，这个图的图像在里面转，转到一个角度以后，看到后头有一个大烟囱，非常难看，很像西游记里讲的孙行者，那个尾巴没有地方放，变成庙的旗杆一样，很难看，他自己摇摇头，就把它抹掉，抹掉以后，就换了一个地方，换了以后再转，就的确比以前漂亮多了。这种图是可以随便修改的。我们用手工画的机械图最怕上墨，图好好的，最后一点墨一涂，就完蛋了。他们画的图不只是这些，还有线路布置图，外线的，如电力工业的外线布置图，哪个电线杆放在哪里等等，都可以用计算机画出来。计算机上点一点，线就出来了，再点一点那条线就跟这条线接上了，并不需要去画直线的。我们听得最惊讶的就是集成电路的图。集成电路的设计过程中有一个困难，线要尽可能不交叉。可是集成电路里有很多微电路，譬如中规模集成电路图吧，那就有上千个。可能你画了 990 个都很好，第 991 条，那条线无论如何非经过某一条线不可，那就糟了，那你只好全部重画。他们不是这样的，他们是用计算机画的。如我要重画，也不需要全部重画，去掉被经过的那部分就行了，改只改局部，而且改起来很容易，且不需要擦抹，电笔在那里一扫，那一块整个就没有了。所以他们集成电路的设计是很快的。他那块板子很大，集成电路设计图有我这个桌子的五六倍那么大。他那个设计室里头，也才有十几张这样的桌子，供一个人来画。而我们这张图要画好久啊！一张图画下来，尤其是大规模集成电路，我

看以人力画是困难的。所以学工程的训练里的画图训练,按这样发展下去是不需要的。本来我们认为工程师最大的两个技术:一个是计算尺,一个是图画。这一来计算机都给你代劳了,工程师的训练与从前是不太一样了。

他们使用计算机是很充分的,实验室是普遍使用计算机的。我讲两个例子。我不讲数学、力学、物理,这些方面他们显然早已用计算机,我讲化学。

我们到斯坦福大学,他们在研究怎么样找到有机物的超导体。我们晓得,现有的超导体都是合金的超导体,都在绝对零度以上 22° ,比 22° 更高温度的,都不是超导体。而且这些合金也很贵。因为温度低,超导体不大应用。他们希望超导体能用在电力输送上面,要用氦来冷却,那是很贵的东西。于是他们想找有机超导体,希望找到液态氧条件下面能有超导性能的有机材料,那就好了。至于在室温条件下的,他们现在还没有做这个梦。他们正在寻找一个有机超导体能在液态氧下面具有超导性能。他们怎么找呢?他们发现有几个原子团在某一类化合物上面可以起这个作用。这个团装在哪儿?因为分子都很复杂,装在哪儿不晓得,因此他们就在计算机里头表演这个东西。他们把很复杂的空间分子结构在计算机里头转着看,哪个地方有机会装一个团的,在它外部有个设备,点一点,这个地方就装上去一个团。装了以后再看合适不合适,装得好不好,装得不好,再拿下来重装一个。据说他们的遗传工程也是那么做的。就是分子生物学里改变遗传的因素,改变遗传的信号,也用这个办法——就是用计算机把分子结构很复杂的、有上万个原子的结构在里头转给你看,你慢慢地观察,看哪个地方伸得下去,你就伸手给它安一个,基本上在计算机里头模拟得差不多了,他们再去做实验。

我们还看了另一个化学实验室,那就更妙了。化学实验现在要经常批量做实验,用不同的成分、组成比例,不同的温度、不同的搅拌、不同的时间里加材料等等,一做总是几百个过程,各有差异,从中间挑最好的过程。像这样一个实验用人力做,二三个人做上半年是没有问题的。他们不是这样的,他们把化学药品从星期一到星期四之间都准备好,一份一

份都准备好。假如有三个化学药品,是三份,就是三个程序放在里头;有液态的、有固态的,放在传送带上,这个传送带很长,就是几百份都放在上面以后,完全是由机械手操作的化学试验的架子上,从振动到加料、加热,以后再倒出来,蒸发,最后称量,全部都由机械手操作。他到了星期五把这些程序都输入进去以后,晚上就走了。他交给一个电钟,这个电钟他拨到10点钟开始,因为晚上电子计算机便宜,白天用计算机贵,有点跟我们长途电话差不多。他走了以后,到晚上10点钟自动进行工作,没有人管的。他们星期六星期天休息,他们现在是五天工作制。星期一来,那个计算机就给你几张图,都是曲线,就是这批实验出来的图,都给你准备好了,剩下的就是你洗洗碟子,擦擦碗的问题。这个他们还是做的。所以,他做化学试验一个星期是一个循环。一个星期的工作抵得上我们半年甚至比半年还多的时间所做的工作,而且正确性比我们高。我们晓得,化学实验的结果是最分散的,因为因素很多,如果用人工搅拌的话,上午搅拌勤恳一些,一到下午人累了总是将就一点,这个搅拌勤恳点跟将就点对化学变化就有差别。它里面虽然放了温度计,但差个 1° , 2° , 3° 那是常有的,温度升高的速度也是不一样的,而它们全部由计算机控制,没有人工操作的因素,甚至到称分量的时候,眼睛一滑,看错一位数那是完全可能的,计算机却不出这个毛病,所以人工操作的因素是几乎没有的。搞化学的你去看看外国的化学杂志,上面“点”的分散率是很小的,就是这个原因。而且这个图也给你画好了。你要发表论文,用不着再画图了,把这个图往稿子上一贴,什么问题都解决了。所以计算机现在成为搞科学技术工作完全不能缺少的工具。计算机渗透到各个领域,不光是用来计算,用来做很多实验,其他我就不谈了,我花的时间已经够多了。

下面我谈一下我在那儿看到的几个全盘自动化的东西。

刚才已经说过,生产集成电路是全盘自动化,人根本不进去,那么说这是尖端设备、是电子设备,当然可以全盘自动化了。所谓全盘自动化就是一切操作程序、控制程序、调整程序完全由计算机管的。我们在瑞典看见一个无论如何是最难自动化的东西,是一个炼铁厂。瑞典北部,

在北极圈里头,有一个很有名的富铁矿,这个富铁矿从那一个地方到出口的地方很远,因此他们想了一个办法,将铁矿先洗一下,此后团矿成了铁粒,再送出去,这样就全部是铁了。他们的铁矿是在很大的一个区域里头,一个一个的山包,每个山包底下都是一个很好的铁矿。先让我们参观那个铁矿的那个山包底下,光是运输线路就有一百多公里,车可以来回开,里面机械化程度很高,矿工不多。炼铁厂就是那个团铁厂,就在山顶上。铁矿石出来后运到升降机里,升降机在半路就有个粉碎设备把它粉碎掉了,粉碎完了再提升到炼铁厂。炼铁厂有四层楼那么高,109米长,大概是30~40米宽那样一个结构物。上面三层楼是炼铁的,底下一层是装动力机械的。铁矿石一去就运到最高一层,以后各个过程从洗、磁选、分离以后再团起来,团成像黄豆大一粒一粒的,最后送出去。出去后有两条路线:一条是废石头出来的线路,一条是好的铁粒出来的线路。废石头经过一个很长的传输带,大概有几公里长,撘到山的那边去了,这条输送带的最后一节是一个四面转圈的,因此废石头不会堆积起来。铁粒子出来一直就卸在火车上面。这样一个设备一共几个人管呢?我们发现只有四个人。一班四个人,两个是技术人员,两个是工人。两个工人是管底下动力设备的,两个技术人员管上面三层楼里头发生的任何事情,也管计算机。它一年产量是多少呢?一年产量是400万吨。

对今后的展望各人的意见不一样。我自己觉得有下面几个问题,是今后生产里头重要的问题。

一个就是动力革命。在这以前,我们用的动力都是地球里头的资源,烧掉了,就是核材料本身也是一种资源,都是有限的,用若干年以后,它必然会用完。石油跟煤是我们人类生活需要的来源,譬如人造的许多材料,是化学工业的原料,我们现在还是把它烧掉了。但是动力必须进行革命,当前我们还得用这些材料。这个革命大概有这么几条:一条就是受控热核反应。现在的热核反应我们是控制不了的,以后控制了这种反应出的能量,供人们来利用,这样就取之不尽了。第二,地热。地热是普遍存在的,我们国家地热尤其很普遍,可以拿来应用。还有大家已经看到了的,就是太阳能,这个报上也宣传了很多,我不深入讲。这是讲动

力进行革命。动力是一切工业的先行,也是一切社会生活最根本的依赖。假如我们有了动力,而且很便宜,能够普遍地得到人们的使用的话,我们每个人都会受到直接的好处,至少不会停电。现在就因为电贵了,动力来源不够,因此就得搬煤饼,到五层楼上搬个煤饼,的确是桩很累的事情。

第二个革命是材料工业革命。我们知道,任何一个工业技术要得到进展,首先是依靠材料,得到新的材料,得到有一种特殊性能的材料。这种材料革命当前的趋势是合成材料的革命。因为既然是合成材料,人们总希望我怎么合成就能得到怎样性能的材料。过去,我们也得到了一些新材料,可是都是得到了材料再去找性能的。这个材料有了,就做这样的实验或做那样的实验来发现这种材料有什么用途。以后材料工业革命里头有个最大的问题,就是定向设计的问题,就是对材料进行有一定性能的设计。材料就跟我们盖房子一样,先设计,再去选材料。材料工业会有很大的革命,不是弄出材料来研究它的性能,再去制造。不是这样的。材料里头有很多跟人体有关系的材料,就是人体组织的合成材料,现在逐步都在做。本来,人体组织的人造材料是对我们人体有反应的,现在有了进展,逐步造出一些材料来了,跟人体没有什么反应,这会引起医药卫生的革命。但这种人造组织的供应现在还没有,迟早会大量发展的。

其次,还有工业的管理会有很大很大的变化。因为全盘自动化的工业越来越多,那么工业管理不会是现在这样管了,要讲它的效率。我们的效率还差得很远。现在连美国在内,跟理想的系统工程所能达到的条件还差得很远很远。这一类东西一般会大量地推行。大型的企业最佳的控制,还有工业管理的整个领域都会有很大的变化。只有这样的变化,才能把各个生产都搞成全盘自动化。全盘自动化有的是必要的,像集成电路工业,不全盘自动化成品率很低;有的生产全盘自动化以后可以节省资金;有的全盘自动化以后提高劳动生产率。不过将来大量的全盘自动化是轻工业里头,因为只有大量全盘自动化以后,工业产品价格才能非常低,供人民的需要。

最后的一个问题，今后一个时期，农业工业化一定是一个重要问题。因为工业化的过程里头，全世界都是如此，人口肯定是要集中到城市里头来，农业人口必然是越来越少。可是我们还得吃饭，我们吃的东西哪里来？当然，我们可以搞农业机械化。农业机械化是中间的一个站。农业机械化，过了这个站，下一个站就是农业工业化。什么叫农业工业化呢？最近参考消息上经常发表这样的问题。所谓机械化养鸡，鸡本来是一个比较贵的东西，吃的肉食里面，蛋也比较贵，因为过去是分散养的。美国大概在 40 年代到 50 年代之间开始搞机械化养鸡场，发展到现在，美国的鸡、鸭、鱼、肉这四样东西里面最便宜的是鸡。他们的养鸡场都是几百万只这么养的，而且通过饲料跟灯光各种作用可以促进鸡成长得比别的鸡要快。我们也有这个经验，例如，北京填鸭，据说从小鸭养到四斤半，解放前要七十多天，现在减到 54 天。54 天可以长到四斤半，这跟饲料管理都很有关系。蔬菜也是如此，国外有很多试验，蔬菜不用土地，是在工厂里头进行蔬菜生产，是种在细石子里头，没有土，靠肥料、水、通风，还有灯光。灯光是很关键的。我们靠自然光线，一天一个循环。它那儿光线是一天三个循环，我们过了一天，它已经过了三天，因此就生长得快一些。用各种办法可以在工厂里生产蔬菜，而且管理保养得很好，损耗很小。规模一大同样能够跟地里生产蔬菜进行竞争，并不是不能竞争的，主要是靠很好的管理。所以农业工业化革命肯定是在农业机械化后面。城市人口要多起来，农村人口少起来，就不可能依靠像美国这样百分之七八是农业人口，百分之九十几是工业人口，那他的日子怎么过呢？日本在工业化的过程里头也是如此，他们的农业人口迅速降低。

当然在工业方面，今后可能还会有新的工业出来，现在说不出来。可是每一个新的工业出现一定是材料先行，而新的材料一定要大的动力，这些是可以肯定的。

我们现在的差距怎样呢？这里要问。对于差距，我们不能信口说的，还是要老老实实地把我们国家跟世界工业化国家在各个年代下面反映的情况来比。比如说钢，钢产量日本在 1937 年是 800 万吨，到 1945

志是数理化的杂志,用哲学的名义发表的,那些杂志到现在叫“××哲学”、“哲学杂志”等等,迟群把它全部划掉了。我们订的那时候,他说这是资产阶级的哲学,我们不要,我们要马克思主义的哲学,这一下,我们就少订了二三年的、以哲学名义命名的数理化的杂志。

在工业革命以后,一直到 19 世纪的中叶,发展了宏观物理学,发展了元素化学、生物学、地质学。因为人们开始开矿,有时有些大城市的发展,开始了建筑工程,因为铁路的发展,建筑工程、桥梁工程起了很大的作用。围绕这些,发展了一些基本理论的东西。现在我们大家都晓得这叫材料力学。在 20 世纪以后,有了航空、无线电的技术。因为航空工业的发展,力学上起的作用最大,我们力学得到了很大的提高,而物理、化学、生物也起了很大的变化。因为工业技术发展了,有了微观的物理学,有了有机化学,有了细胞生物学,这些都是 20 世纪前 50 年发展起来的东西。第二次大战以后,说来说去还是那个计算技术的问题,开始对合成化学有了更多的研究。所有这些,一直发展到现在看,中间有几个变化。首先人们研究科学是从自然现象开始的,所谓牛顿这类人物代表这个类型。他们是懂得观察,然后在实验室里进行实验,以后再是理论的提高,即所谓科学工作的三个环节。第二个阶段是从生产的需要出发,从生产的经验进行总结,得到了一些科学的发展。那就是 19 世纪。恩格斯总结了那时的经验,肯定了科学来源于生产,来源于人们的生产实践。这也一点不错。可是到现在,就是 20 世纪的 50 年代,20 世纪的前半叶,这时期发生了一个现象,很多科学知识兴起了新的工业技术。像微观的物理学,原子能是最大的特点。人们并不是先晓得、先会做原子能发电站,后有原子能的理论。不是这样的。人们经过了差不多 30 年的原子能理论的研究工作,就是原子核物理研究工作,到 1936 年才在实验室里预计到有可能得到原子能。以后在 40 年代,1940 年开始搞原子弹,1944 年得到了原子弹。到 1948 年人们开始有反应堆。原子能的发展是这么一个过程,计算机也是这么一个过程。先是一个数学家冯·诺伊曼(von Neumann)提出来以后,说我们用两位制的东西,两位制数值的办法可以得到一种计算机。而这两位制的东西在电路里就是通与不

通这两件事情，因此设计了第一台计算机，放了整整大概两百平方米的房子，全是架子，是电子管做的，那是 1948 年的事情，的确能够进行计算。那时候计算机很重要，因为要搞导弹，导弹的测量要进行计算。但这个不行，太大了，那么第二代就把它缩小，半导体的，第三代搞集成电路的，现在是第四代已过去了，大规模集成电路是第五代。一切东西都是从实验室里开始的，这就是 20 世纪的变化。毛主席总结了这一变化，在三大革命里头没有忘记科学实验，而把科学实验提高到这样的高度，那是正确地反映了 20 世纪工业技术的发展。

当前的科学技术的前沿是些什么内容？

第一当然是微观物理学（有时候叫高能物理）。这是人们对于物质深入了解的一个科目，也是未来的动力能源的一个科目。

第二是计算机技术还在发展。计算机技术的发展，还是要求更密集，要求更小，微型得还是不够。因为微型得不够，我们有很多工作还不能做。

第三是受控热核反应。以现在已经理解的这个热核反应，我们把它控制起来。

第四是空间技术。因为这关系到我们人类的资源问题。这个空间技术，眼前大家着眼的是资源问题。我们要进行生产，来丰富我们的物资生活，首先要研究资源问题。而过去那种方法寻找资源实在是太累了，人员也花得很多，也太慢，不能满足我们的需要。

第五是材料设计。这个所谓材料设计，就是刚才说的定向设计某种材料。这是我们所需要的。我们从需要出发来设计材料，而不是有了材料问它有什么性能。

第六是遗传工程。遗传工程这个问题是有争论的，不是争论它是不是我们科学战线上的前沿，而是争论我们该不该发展它。遗传工程是什么意思呢？就是把传递遗传信息的分子加以改变，改变了以后，它就可以得到不同的生物。眼前在细菌的组成上面已经有很大的发展。这个遗传工程假如我们进一步地发展下去，对人有没有好处？有好处。什么好处？我们的农作物有可能得到很大的改变，可以得到成长期更短的、

产量更高的、更能抗御很多病菌等等的农作物种子。当然也有坏的。假如有那么几个不讲理的国家,拿这个作为细菌战的武器,那也是相当不好的,因为它可以成长一些新的细菌,你都不晓得怎样对付它。这跟原子能一样,原子能有好的一方面,是可以作为动力;有坏的一方面,给一些强权国家、称霸的国家作为一个恐吓人的工具。

第七是系统工程。系统工程我们国内一直没有人搞。系统工程的来源已经很早了。第一次使用系统工程是第二次大战的时候,联军在北非登岸用了系统工程。系统工程是对一个事物的运动进行研究。这个事物有促成它运动的因素,有反对这个运动的因素,这个运动的过程里头,对于运动的后续有影响,运动的后续有的时候是超前的,可以影响运动当前的方向。对一个事物的运动的每个问题都进行详细研究的统称系统工程。虽然它在工业管理中重要,可是开始是在军事里头用的。北非登岸的时候,面对希特勒的军队,他有大量的潜艇跟飞机,联军要多少人能够登岸,登岸以后,这些人能支持多大的反抗才能够成功,还要把全部的损失都算在里头,最后才决定去多少人;这些人分期分批的用船运去,这些船在路上会沉掉多少,都经过统计计算,万无一失的北非登岸成功了。这是在战争史上很少的一桩事情,规模很大。第二个成功的就是大西洋的潜艇战,里头又用了系统工程。希特勒是用潜艇战来反对美国的物资去支援英国抗御德国的。因此德国人就用了好几百条潜艇拦腰地打击这些船只。后来用了系统工程,不到一年功夫就克服了这个困难,使第二次世界大战联军得到了胜利。系统工程的问题很复杂,牵涉到各个方面。最近日本有两个电影是讲系统工程的:一个电影叫《陆沉》,是讲他们三岛沉掉了;一个电影叫《油断》,是讲日本那一年突然石油来源断了,断了以后,日本的社会会发生什么样的变化、能维持多久。通过计算核对,他们判断,日本假如断了石油,那么他这个社会只能维持七个月,七个月以后,连吃的东西都没有。

下面还有一个是宇宙的演化。这就不消讲了。现在我们对宇宙的了解,是远远超过了第二次世界大战时所了解的情况。我们有射电天文学。射电天文把我们宇宙能观察到的区域大大扩大了,我们对宇宙的了

解更详细了。

最后一个是合成农业。合成农业是将来必经之路。现在已经有有人在考虑合成粮食，中国科学院正在筹备合成粮食的研究所。世界上好多地方在研究这个问题。粮食总是我们人类必需的，就是不吃粮食，不是也得吃肉、吃鸡鸭，它们还得吃粮食。所以，合成粮食是一个必经之路。人口多了，光靠这些地，种子能改良，总有个限度。所以当前技术科学之前沿还是很多的，有的地方我们开始了，有的地方我们还没有开始，我们还不太体会。

总的讲来，今后的科学发展跟过去不一样。不一样在哪儿呢？过去是强调认识世界，而以后的科学发展是要强调能动地来改造世界。这个区别嘛，刚才讲的几个科学前沿里头，都包括了这种成分。人要向自然斗争，为我们生活的物资需要来进行斗争。人一定要改造这个世界，而且是能够改造这个世界的，应该相信这一点。

第三个问题我想讲一讲对于人类生活可能带来的影响。这个问题就很难说，因为我们还没有实现四个现代化，还在为这个目标而斗争，而且今天我们讲的现代化，跟 2000 年讲的现代化肯定不会一样的。人的认识是在现实的基础上认识的，有的也是一些推测，不过有两个问题我们可以进行思考：

一个就是解放以来我们国家的生活起了什么变化。我们那时候曾经让大家畅想，总想不出什么名堂来，所以我们回顾一下这些变化，就可以想像到 20 年以后这个变化是会了不得的。你看，在武汉街上一走有多少新房子；解放以前的老房子大家都认识嘛，二层楼，那个窗户是用大木板钉起来的，大多数是这样的房子。现在是什么样的房子，也才 28 年嘛，而且中间还给“四人帮”搅和了 10 年之久。我们解放前的科学技术又怎么样？很差，很差。我们的画图铅笔是外国进口的，画图用的纸也是进口的，计算尺、图画钉还是进口的，还有洋火、洋油之类，肥皂是“固本”肥皂，英国来的，等等。我们的工业很可怜，谈不上。可是现在呢？起了那么大的变化，习以为常。因此，往往从历史上一回顾，使我们受到教育。这是一个方面，大家可以去想它。

第二个方面可以去想它的,就是从国外的情况来看。我今天想再谈一谈外国从 40 年代到现在所起的变化。因我 40 年代长期在美国呆过的,我也到过加拿大,到过英国,与这次我去看到的情况对比一下,当然这是一些资本主义的国家,甚至是帝国主义的国家,它不可能把全部人民的劳动收入用来改善人民的生活,不过技术进步以后,它还是不得不给劳动人民一定的生活权利。因此,假如我们能够达到四个现代化,肯定要远远超出他们的成就。下面我们通俗一点讲,我们谈衣、食、住、行,当然也谈一些文化教育工作。

在三四十年代,在美国没有人穿人造纤维,都是纺织品,棉花跟丝织品、麻织品、毛织品,一般美国人穿毛衣服,劳动人民苦一点的穿混纺品——麻跟棉的混纺品。现在不是这样。现在人造纤维、合成的东西很普及,从鞋到帽子,第一流的箱子也是人造纤维的。那就是说,人的衣服靠农业靠得少了。当然,听说他们还没有民主德国那么厉害,民主德国宣传他们穿衣 99% 靠人造纤维,美国还有 10% 的棉花。民主德国一棵棉花也不生产,那就是人们的生活习惯的改变。人造纤维当然很耐用,不过用到后来它的毛慢慢没有了,他们的办法就是一件衣服穿了一年就撂了,因很便宜。

吃也有很大变化。刚才我已说了,鸡比肉便宜多了,这是一个重要的变化。他们的牛肉跟从前不太一样,牛肉比猪肉便宜了。过去牛肉比猪肉贵,原因是他们现在饲养食用牛速度很高,加快了速度,几个月里头小牛成长为大牛就可宰了,用一些激素,用一些其他的办法,这是一个变化。这是第一个变化。

第二个变化呢?这说来也奇怪,中国菜风行一时。我们 1972 年去时刚刚建交。我们原来在那里时,中国菜铺很少,多是希腊铺子、法国铺子,菜也不错,其他的铺子如英国人开的铺子没有人去吃。可是现在中国菜铺非常普及,纽约满街都是中国菜铺,什么“上海酒家”、什么“锦江饭店”啦,都是分省的。所以现在外国人都知道我们各省的吃法不一样,他们也晓得这个情况。还有“北京烤鸭店”。可是我国吃饭的确是太费劲了,好吃的确是好吃,外国人都愿意吃,但太慢,自己烧不了。据说也

写了不少的书，在教家庭妇女怎么烧中国菜，要适应他们的工业社会。我们中国菜好是好吃，可是不好做，费时间。所以，他们现在在想办法，中国菜怎么吃得快，最有效的听说是锅贴，锅贴现在是机械化生产的，生产线出来的，是小盒，一盒刚刚够你吃一顿午饭，外国人吃午饭很简省，汽车一过去，一伸手，他就给你一盒，你就给他多少钱，就完了，你带了这个回家吃也好，带到工厂里吃也好，他们也有很多快餐部，所谓快餐部，没有门，只有窗户，前头是个汽车道，汽车一拐进来上了汽车道，汽车一停，你给他多少钱，他给你一口袋菜，你带回家去吃。用这样的方式，来推售中国菜。中国菜风行一时，连白宫请客国宴都在中国饭馆里面。华盛顿有一个很大的饭店，叫 Merryground，我给他翻译成“快活岭”，这个老板是龙云的第四个儿子，这个“快活岭”有两层楼，楼上是卖中国菜的，楼下是卖西餐的，可是经常楼下也卖中国菜，因为楼上坐满了。好多白宫的领导都喜欢吃中国菜，因此他们借个名义就跑到中国饭馆国宴起来，一宴四五百人。各地这样的饭馆都很多，基本上所有旅馆底下的饭厅都是中国厨师烧菜。据说中国厨师烧西餐也烧得比他们好吃。所以，现在美国就出现了几个行业，大家没有想到，现在有个豆腐大王，这家铺子开在芝加哥，有几十架飞机，一早晨飞机就把豆腐豆制品送到全美国各个城市。这个情况不只是美国，连英国那个保守地方也是如此，瑞典也是一样，相当普遍。

第三个讲住的问题。住的问题，我们在那里的时候，人们是从郊区想办法住到城市里去。现在因为他们的交通进一步发展了，他们大量的人在城市里头工作，愿意住到郊区去。有好多的人住在郊区，像我们这里几位美籍华人，有名的杨振宁、林家翘。杨振宁是住在海边的房子里，是他自己出钱盖的；林家翘是住在波士顿很远的郊区，四十多公里以外的一所房子里头。他们住的在我们看来是很现代化的，都是大窗户。杨振宁的房子，面对着海，整面都是大玻璃，整个墙就是一块玻璃。他们一般讲来光线比从前充裕，这跟前苏联的建筑是不一样的，苏联的建筑窗户很小，我们住在里头很闷。他们是讲究光线性的。在 40 年代以前他们房子的窗户也不大，现在讲究大窗户，讲究很好的光线，我们到过一

研究所，到过一个叫“RCA”的研究所，“RCA”在全世界有十个研究所，我们去过的这个研究所，他有7 000个工作人员，就是7 000个工程技术人员。这么一个研究所，全部是用玻璃盖的。从五层楼上往下一看，各个房间里在做什么都看得见，他们很讲究光线，当然他外头的一层玻璃颜色全部是比较暗的，这样在里头感到很凉快，把热的红光线全部吸收了。他们讲究空调，过去我们在的时候，空调只是在电影院跟政府大厦，还有一些经理、大资本家住的地方有空调，现在不是这样了，空调很普遍，各种人家公寓里头都有空调。电视更普及了，电的使用更普及了。洗衣现在有全自动的洗衣机，这一边把衬衫放进去，你走到那头就可以拿到你已经烫好的衬衫，也才一毛钱一次。我在那里的时候，很多家庭是用煤气的，现在大量的家庭改用了电。他们的电力非常富裕，可是这样一来也造成了困难，万一停电，是不得了的，他们怕停电，可是他们的电力管理相当好，动力是先行的，停电的可能性很少。纽约有一回停了一次电，很多老太太在电梯里出不来，七八个钟头也够呛。他们现在的公寓，大部分是无人管理的。你进了公寓的大门就是电梯，那么你要上去，电梯的门是锁着的，那你怎么办呢？旁边有电话，你就向楼上打电话。一打呢？楼上一听，你这个人是在哪里的，要放你进去，他上面有个按钮，一按电梯门就开了，你就可以上去了；假如不要你上来，那很好请你回去好了，不给你开这个门，是没有楼梯的。

他们现在的电话非常发达，比我在那里的时候发达得多，而且技术上有很多改进。我们去的时候，听说波士顿要改成激光电话，这是用光导通讯的电话，说这个载荷要比普通电力通讯、电讯通讯要多得多；又听说芝加哥也改成激光电话，信号用激光传递，两边有光电的转换器。现在他们在很多公寓里头，都配备了记录电话。什么叫记录电话呢？就是主人不在家，人家打电话来，没有人接，对方把该说的话都说了，这里自动记录下来了，等主人回来，一按电钮白天有几个人打电话来，说的什么话，都可以听一遍，问题都可以解决了。很多公寓里头都配备了这种电话。他们那里的习惯是，公寓出租是连家具的。还有现在正在推广的所谓电视电话，你这边打电话，有个屏幕，你可以看见对面接电话的是谁，

而且表情什么都可以看得清。他们的通话率很高,都是全国性的。他们打一个长途电话根本无所谓,每个城市有号码,自己一拨,就一直通到另一个城市去了,它是全国性的。加拿大也是这样,加拿大打电话也是那么打的。所以他们的通话率非常之高,电话是非常容易打的,而且电话机的数量很大,几乎是家家有电话机。

关于行的问题,也有个变化,这个变化就是航空非常发达。我们在那里的时候(指 40 年代),坐飞机还挺贵的,因此,一般不是政府给钱的话,我们就坐火车。现在不是这样,飞机比火车便宜。所以像纽约那个航空港,一天上下的人数听说是 30 万人,比我们一个火车站还多,几乎每分钟都有飞机在上下。他们的航空港与我们的不一样,我们是到了航空站以后,飞机停在场地上,乘客要走一段路,再上飞机;他们不是这样,他们的航空港一排都是门,你一进那个门,就有一条通道,这一条通道直上飞机。通道是密封的,所以送人只能送到门口,离开飞机大概还有二三十米长左右。这条路可以动的,可以对准飞机的门口,所以你上了飞机,你才感觉到在飞机上,这样一来,行动非常方便。他们是随时随地可以买票的,你一到那儿就买票,就可以上飞机了,这班飞机赶不上,顶多等十分钟,第二班飞机又起飞了。汽车的使用率比从前更高了,这也是他们的负担,他们的石油非常紧张,而且汽车更多了。现在他们城市里头,不论多宽的街,就像纽约的主要街道百老汇后头那条街道,都是单行道,城市里头就没有双行道,因为车子太多了,所以有的时候,你想到隔壁一条街去,你得转好几个圈才能去,因为都是单行道,只能一个方向开。可是外头是大量的高级公路,城市与城市之间也是高级公路。什么叫高级公路呢?就是公路的斜度跟拐弯跟车速都事先设计好了的,以至在有些高级公路上汽车一上路面后,就可以把车子锁起来,由车子自己来驾驶,在一定速度下面它就可以一直到目的地。这样的高级公路当然有好处,所有的车子都是一个速度,你若是慢了后头撞你,你若是快了你撞前头。他一条高级公路是三个车道,三个车子并排走,也有五个车道的。这样的高级公路也是单行道,旁边的一条是回去的。那么你下这个高级公路怎么下

呢？普通是靠里头一条是最快的，中间一条是慢的，再外头一条更是慢的，你得从中间那一条一步一步地开到靠边的那一条，你就可以下去了，多数有几条岔。高级公路过去也有的，不过很少。我们在40年代去的时候有高级公路，像帕萨丁那到洛杉矶，就有一条高级公路，约十公里，那上了高级路面是很舒服的。现在不是了，现在是四通八达都是高级公路。据说这个很花钱，在他们社会里头，就把钱花在这个上面，当然交通是方便多了；可是有一个困难，就是高级公路上的行车量密度很高。由于许多人住在郊区，要进城市到各个不同的街道上去，所以城市与郊区交接的地方，是很复杂的，复杂到想从这—个地方到对面的那—个地方，都有点头晕。我们在巴黎的飞机场下来，进巴黎的市区，要经过一个地方，很大的—个区域，这个区域可能有汉阳这么大的区域，这个区域里头的公路像蜘蛛网似的，不是平面，是立体的，看下去十几层，全是汽车在底下转圈，是这么—种进入城市的状态，以后就进入各个不同的街道去了。所以像这种路，—般不习惯的人，我不能想像他怎么进城去。

现在他们的大学是比较普及的，像瑞典他们吹他们本国的成年人是97%进过大学，瑞典人口也少。当然他们有很多外国人，像意大利去的，巴尔干半岛去的，这些人在他们那儿做一些低级劳动，体力劳动，这种人里头大学生就少了，据说他们这样的人也有100万，他们允许这些人在这儿留—年，第二年就得回家。英国办了很多新型大学，我们晓得英国有几个有名的大学，比如：牛津、剑桥、伦敦大学，比较有名的曼彻斯特大学等等，现在他们在1970年开始办了30个新的工业大学，不是他们的三年制了，他们是四年制，取美国似的那—套办法。我们去参观了一—两个。我们到过—个加拿大的多伦多大学，在40年代它—共只有3000个学生，现在是3万人。美国大学生是很普及的，电视教育也非常普及。美国电视非常普及，电视有商业性的、广告性的电视，有时候总统演讲的时候，突然中间插—个什么纽扣机呀，就是缝纽扣的机器，只要五角钱—个，这样—句话，在总统演讲里头，这就是他们的商业广告。下面总统又在说话了。因为电视非常普及，报纸跟电影都垮台了。现在电影业在美

国是非常垮台的，没人看。电视天天可以看新的，而且在家里看，那何必跑到电影院看电影呢？报纸就更不需要看，因为每一个钟头有五分钟的新闻，各种各样的新闻，而且带那个现场的情况的，因此没人看报纸。所以他们的电影业和报纸业都很不景气。尤其那些画报根本没人看，因为电视里头好的镜头是不少的。他们很多会议是以电视会议来开的。他们也有会。我们到过大学，这个大学有十个分校，他们要开全校大会，我一想这个会场可不得了呀！一去原来只有二十几个人，学校领导在那儿，连上我们，我们就 12 个人啊，他们也不过十几个人，一共二十几个人在一个会议室里坐着很舒服。说开会了，有一个屏幕，以后他们一个一个学校的会场都看得很清楚，都在开会，每个学校都发言，最后我们也发言，我们的发言也播出去了。一个省里的十几个分校，从电视会议来看，很节省人力，很容易安排。

最后讲讲他们的工作制。他们现在不是我们在那儿时每周六天 8 小时工作制，现在他们是五天，名义上 36 小时工作制，可是包括吃饭，所以实际是 30 小时工作制。因为有两天休息，游览非常普遍。一到星期六都开着车子到郊区去玩去了，到星期天的晚上才回来。一般都是这样，带着小孩到郊区去。所以旅行旅馆业非常发达。他们的旅馆跟我们现在旅馆不一样，我们到过两个旅馆，一个是在美国的，杨振宁住的那个长岛上有个旅馆，就是在郊外，四面没有什么住家的，那个旅馆一层楼全部停汽车，汽车进来就开进去了，二层三层都是住宿的，他主要的收入是星期六晚上，其他没有太多人住的。还有一种旅馆在城市里头的，它们有个名字，这个名字查字典不晓得现在有没有，他们的旅馆叫荷太儿 (Hotel)，可这种旅馆的名字叫摩太儿 (Motel)，就是摩托荷太儿，这就是汽车的旅馆。我们联合国办事处就买了他们一所汽车旅馆，底下五层都是停放汽车的，上头 30 层是住房的。在纽约这样旅馆不少。你看这个很奇怪吗？马路一上去就是汽车房，那个汽车房里头七歪八扭的，一直停到五层楼，它是转上去的，第一、二、三层一样停，第四层都能停，停满了车，底下只有一个大门，里头有个厅，就是你要住下来，就先在这个厅上休息一下，有几个人招待，最后电梯上去，

人住在上头。他们这些城市里头地下建筑很发达，到处都是地下城市。我们去逛了几个，一个是英国的曼彻斯特(Manchester)，在它百货公司的楼下有一个地下街道，据说这是好几个铺子联合开发的，它地面的建筑很小，地下是一条街道，大概几百米长的一条街道，这跟普通街道一样，整个百货公司其他铺子都开在地下街道里头。像那个瑞典很有名的，有一个污水处理站，全斯德哥尔摩(Stockholm)的污水处理都在地下，那是很大的，我们也去参观了，所以他们的地下城市发展得很快，因为他们那个地面实在太拥挤，没有那么多空地，在城市里头不能容纳那么多建筑。当然建筑的高度现在平均讲比我们在那儿时高了，本来在芝加哥没有什么高层建筑，现在芝加哥的高层建筑很多，纽约的高层建筑当然更多了。因为是高层建筑就有其他的很多问题，所以，对他们的生活影响也是很大的。

我们谈这些，并不是宣扬这些。我们的认识是，资产阶级社会里头，对劳动人民是剥削的，不过为了使劳动人民还能生产，他们必然也得提供一些生活上的方便，那是打了很大折扣的。假如我们这样的社会制度，在现代化的过程里头，当然生活上一定也会起很大变化，一定对人民的生活会带来很大的好处，这一点我们应该看到，这个好处，会远远超出他们现在所获得的好处。

总的讲来，我今天这样的讲法，并不是说外国的好。我是说我们得认识这个差距。我们应该立下这个志愿，在党中央的领导下，来缩短这个差距，我们有能力，可以办到。我们17年里头能做到的事情，就是“文化大革命”以前能做到的事情，已经很了不起了，因为我们在解放的时候，国家贫穷落后，而我们17年里头把所有工业基本上都建立起来了。当然不很健全。世界上哪有这样一个民族，在那么短的时间里，办那么多事情。1972年在美国参观的时候，最后一次记者招待会，有个记者将我们的军说：“你们的国家科学技术最近有什么创造？”那当然我们也可以说一点啰！我们找到了石油，我们的胰岛素结构都明白了，原子弹上天了。这个他们听了和他们一比还差得远，他不怎么样。后来我说这个简单嘛，我们有一个最大的发明创造嘛，一个贫穷落后的国家，在帝国主

义侵略下长期落后的国家,只要他能独立自主了,就能用 17 年的功夫,建设成我们现在这样的一个国家,这就是一个最大的科学发明创造。结果他们就鼓掌。为什么鼓掌呢?因为在座的有很多科学家,他们听得进去。那么我们既然能 17 年完成这么大的任务,为什么 23 年不能完成这个呢?完全可以。因为我们这个国家的人民是勤劳勇敢的,而且是有才能的。我们历史上就有许多有才能的人嘛,我们在国外也有许多华籍的科学家嘛。我们在美国的那个时候,华籍的科学家很少,数不出十来个人。现在呢?所有学校里头都占优势,从前的优势是犹太人,现在的优势是中国人。我们不说别的嘛,美国物理学会的主席是吴健雄,当他物理学会的主席不能说科学上没有成就吧?!美籍华人,很多有名的科学家,很多教授。我们每到一地方,他们就自然而然的把几个系主任弄来,中间半数是中国人的。在计算机公司中有名的 IBM 公司(国际商用机器公司)的老板请我们吃饭,他想做生意啦!不过他还说了几句良心话。他说:我们的计算机技术是我们公司研究出来的,现在还在不断成长,苏联几次三番要我们的技术,买我们的计算机,我们对他们保密,只把我们第二流第三流的计算机卖给他,最先进的不卖给他。我们认为这个保密是可行的,可是对你们国家我们没有法子保密。我说这有什么没有法子保密呢?你要保密就保密好了。他说不行,我们一共有 800 个高级技术人员,每人都掌握了我们计算机里头的的一个关键项目,800 人里头有 550 个中国人。他说我们是讲究这个的,他们要回家探亲,我们能不让他回去吗?过去是因为我们没有来往,从今天起有来往了,他要回去我们也不能不让他回去呀!他要看看他父母也应该啦。可是他到了中国以后说些什么我也管不了呀。何况我们国内有大量的科技人员。当然由于“四人帮”的干扰,我们有些地方略为落后,有些科技人员遭到了迫害,使他们没有机会进行科技工作。自从粉碎“四人帮”以后,党中央那么重视科技,这些人必然要恢复他们活动的的能力,在他们的不同工作岗位上进行工作,这些落后是小事。在我们这样一个有组织的社会里头,只要领导重视,天下没有一件事情我们中国人办不到!我相信在 2000 年的时候,我们必然在各个科学领域里头,都要占世界的上峰的。

我们有这个志气,也是能做到的!我们17年里面能做到的这个天翻地覆的事实,23年里头我们肯定能满足全国人民祖祖辈辈的愿望。问题在于我们团结起来,学习、团结、工作,应该这样想,而且是没有问题的。因为我们有党的领导。党是一个最大的组织能力,而且是有指导能力的一个集体,这个集体是指导我们全部科学技术人员为祖国的现代化而进行斗争的一个最有组织的集体。我的话完了。

关于组织和管理 近代科学——系统工程*

今天我讲的题目是关于组织和管理近代科学，叫系统工程。我讲四个问题：第一个问题是系统工程的重要性；第二个问题是什么叫系统，什么叫系统工程；第三个问题是系统工程的或者系统的六个要素；最后一个问题是系统工程的理论背景和它的使用工具。

一、系统工程的重要性

系统工程的重要性可以从这一点来看，只要你想做一个工作，是由很多人参加的，就必然会牵涉到系统工程的许多基本的想法。现在的系统工程是从实践中总结出来的。原来我们在个体生产的时期，一个人在做工作，实际上他对任何工作也有安排，因为这个事情简单，安排是很不自觉的，完全根据经验，工作好的人安排得好。例如，一个家庭主妇，她也是一天到晚在搞系统工程的事情，她要把家里一天的所有事情安排好。有的人不会安排，就整天忙忙碌碌，结果家里又脏又乱；小孩要上学了，书包却找不到，回来以后一溜烟跑出去玩了，也找不着他了；爱人回来吃饭，锅里饭菜还没熟等等，顾了这个顾不上那个。能干的主妇，她可以把家里安排得非常好，也不见她太忙。这差别在哪儿？主要是这个主妇运用了系统工程中最主要的几个原则在处理问题，而她的事情较简单，只要理解这原则就能处理好。可是现代化的社会，是一个大规模的、群众性的社会，它的活动都是带有群众性的。不论在科学技术的管理方面，在工业生产的管理方面，在各个社会部门的管理方面，都有很多事。

* 1979年3月，在全国政协科学技术组会议上的报告。

如许多工厂一个星期得停工三天,这就影响了我们整个的社会生活。所以说“系统工程”是人们在长期的生产实践中总结出来的一整套有关组织管理的科学方法和技术。在过去,我们的工业生产基本上是一种旧式的工业生产,不太讲究这个,或者是很不自觉地用了其中若干原则。越是现代化的生产,整个组织问题就越重要。我们今天不仅是科学技术本身有个赶超的问题,而且在科学技术生产上,还有一个组织管理的现代化问题。如果不注意这个问题,那么不仅仅是我们工业能不能现代化,而且还是能不能生产的问题。把生产搞得非常之混乱,反过来又会影响科学技术的发展。这不是随便说的,因为当前的科学技术正在向群众性的方向发展,任何一个科学技术都带有群众性,与 100 年前、50 年前的科学技术已经有很大的不同。以前的科学技术,是可以由少数人去做,而现在不一样。当前科学技术只要有任何的创造发展,都会牵涉到千百万人的劳动、生产和生活。例如,国际上计算技术有了发展,社会整个就变了,人们从事生产和科学技术工作,就离不开计算机,其中就有一个很重要的组织问题,组织得不好,花的钱很多,但收不到效果。关于系统工程的问题,就是一个组织管理科学化问题。目前我们还存在着两个比较重要的问题,必须解决。

一个是思想认识问题。我们都是来自一种旧式的社会(我们讲的旧式社会是指生产性的),就是小生产意识垄断着人们的思想意识的一个社会。社会产生了许多小生产的管理和组织思想,而这种小生产的管理组织思想,并不适应大生产发展的客观规律。同时我国脱胎于旧的封建社会,这个封建社会延续了两千多年,当然我们并不能说什么孔老二的思想,不是指这一种,我是指封建社会中的一些社会习惯。如家长作风,就是封建社会中一个很严重的现象。这个作风不只是一些领导同志有,其实大家都有。这个作风是不适合于现代化的科学技术与生产管理工作的,它严重妨碍了生产力的发展。封建社会还遗留下来了很多其他的生活习惯和思想方式。所有这些思想障碍、思想认识问题,不是短时期能解决的。我们必须大力宣传、普及系统工程方面的观点、方法,使大家逐步地认识这个问题,这样才有可能适应现代化生产技术的发展,把四

个现代化的工作做好。

另一个问题是长期以来我们不认识系统工程的重要性。在“四人帮”倒行逆施的时期,这更谈不上,因为他们认为这些东西都是和资本主义有关系,都戴了个资本主义的帽子,谁也不敢谈。系统工程,大概从40年代开始,到60年代计算机发展以后得到了大量的使用,发展得很快。可是我们从事科学技术的人在“四人帮”的压制下就不敢谈,因为棍子就在你头上挥舞着,你一谈就是一棍子,就是“资产阶级的东西”,而我们是无产阶级,这就难办了。因此这一方面的知识很不普及,长期以来根本就没有培养这一方面的人员。在专业人员方面,可以说是完全缺乏的。所以一个是思想认识问题,一个是我们的专业人员非常缺乏,知识很不普及,影响了我们整个工业生产的组织管理现代化,影响了科学技术的组织管理现代化。到现在我们假如问一下很多从事管理工作的同志的话,他们的确也还完全不清楚什么叫“系统工程”。有人还以为是像长江三三〇工程这样的东西是一个工程,因为带了“工程”两字。而系统工程究竟是什么呢?我首先得说明什么叫系统,什么叫系统工程。

二、什么叫系统,什么叫系统工程

什么叫系统呢?我们是可下个定义的,不过这种定义很可能对大家索然无味,所以我不从下定义入手,而是举例来说明什么叫系统。人们也经常谈系统,这个系统与工程学的系统有相关联和相同的地方,也有不同的地方,因此我首先从人们日常认识的系统来谈起。人们谈话中都常有“系统”这两个字。如消化系统,这是大家都知道的。问医生消化系统是什么?那就是从嘴巴、舌头、喉咙、食道、胃、肠等到肛门,这都叫消化系统,它的组成部分就是这些。把所有这些东西结合起来是一个有机的东西,这是被人们认识的方面。还有不太认识的方面,也是属于消化系统的,这就是工程学的看法。工程学把食物、把人吃的东西也和这个系统放在一起研究。消化系统的功能是有目的性的,工程学所有的系统都有一定的目的性。消化系统的目的,是为了消化食物,它的功能是产生能使人生存的、生活的和工作需要的热量。因此是

把食物与这些消化食物的东西放在一起考虑的。完成一个任务所包括的很多方面,都叫这个系统里面的各个成分。同时,我们讲系统工程时,不是孤立地看消化系统,而是把人体中其他系统和消化系统联系在一起考虑,把别的系统对这个系统的影响,以及这个系统对别的系统的影响联系起来考虑,认为一个系统和其他系统既有分工又有联系。当然这样一来就分不清了,其实我们是用了科学的方法来分的。我是搞力学的。力学讲一个物体的运动,这个物体永远离不开别的物体,不可能单独孤零零地吊在空中四面不着地,其他物体对它没有影响,这样的物体是没有的。物体悬在空中是由于空气托着,在它运动的时候,空气对它有阻力,地心对它有引力,我们称这种系统为“力学系统”。一个力学系统在运动的时候,把别的力学系统对这个力学系统的影响用力来代替,它同时对别的系统也有作用力,即所谓作用与反作用。这里也是一样,消化系统和呼吸系统、血液循环系统都有关系,而这些关系用它们的互相影响来代替,这种影响往往定量地用一种数学形式来代替,我们叫它“影响函数”。我们讲一个系统,又要把它孤立起来看,因为许许多多联在一起不好办,要斩断这些联系,用一个“影响函数”来代替这个系统对另一个系统的影响,以及另一个系统对这个系统的影响,这种办法就是力学上常用的“隔离体”的办法。把它隔离出来研究,并不是说它与别的系统没有关系,承认它是既有分工又有联系,又相互制约的。不仅如此,任何系统都还有另一个系统管着它。消化系统是通过人的整体系统管着它的,所以系统又分有一级一级的系统,人是一个整体的结构系统,其中有一部分叫消化系统,它影响着整个人的生存,而整个的人也影响着消化系统的活动。例如,人不愉快了,饭吃得就少;消化系统病了,这个人的活动能力便受到影响,反过来也影响人的整个身体系统,人的整体系统又影响着消化系统。所以在系统工程中讲隔离的系统,同时也讲一个隔离系统和另一个隔离系统的相互关系,又讲这许多系统合成一个总的系统对它的领导作用,也承认每一个“分系统”反过来影响“总的系统”。人必须服从整个自然,一个更大的社会系统和自然系统在管着人。每一种系统都是这样。自然界有生态系统,生态系统里面又有很多种

类,如植物系统、动物系统、昆虫系统等等,构成了整个自然界里的一个生态系统,同时这个系统又和人类的生活活动密切联系着,人类的生活可以破坏这个生态系统,生态系统受到破坏,反过来又影响人类的生活。例如,人类的“活动”不好,可以把一个绿叶青青的森林变成沙漠,反过来沙漠就不适合于人的生存。当然,生态系统是与更大的自然系统联系着的。我们讲生态系统有个目的,就是怎样保护我们人的生活和生存的环境,怎样保护生态系统,使人能适应这样的条件,所以这个生态系统对于我们人的生存生活有利。讲系统工程也有它的目的性,同时其他系统又与其关联,还有上面更大的系统管着它,而它本身又可以分成若干系统。

所谓系统工程,是我们在为完成某一种任务或者某一个目的所从事的工作中,要求能够用最好的办法、最少的花费、最轻的劳动达到这个目的。这是我们泛泛地讲系统。系统工程在哪里用得最多?大概在三个方面用得最多。

第一个方面是科研技术的管理。在国外都把这种管理叫做计划,就是用系统工程管理某个项目的一套办法。最早的一个科研计划就是在1940年第二次世界大战的时候,爱因斯坦建议罗斯福接受制定了有名的“曼哈顿”计划,即原子弹的研制发展计划。“曼哈顿”计划是在人们对于原子能可以使用的理论有了初步成就以后,准备造出原子弹来与法西斯德国进行战争竞赛,因为那时有谣言说希特勒也在搞原子弹,可是谁也没见过原子弹。那时造原子弹的基本原料在实验室里大概只有几个毫克,可是一个原子弹要用1公斤左右。怎么制造这些材料呢?那时还不知道。这个原子弹怎么能在材料试制出来后不爆炸或要它爆炸,那时也不知道。只知道这些原子结合在一起就能爆炸,就要研究这个问题。后来由于希特勒的独裁统治,德国科技人员受到压制,不可能发展这方面的工作。“曼哈顿”计划就是在美国原子能委员会领导下,组织起来的一个临时的集体,一共用了1.5万名科学家。要把1.5万名科学家的努力集中起来,使每个人都发挥到最大限度,用最快速度,最少的钱搞出来,这就牵涉到许多问题。从理论上、从工业上搞,用了三年时间,到第

四年材料出来了,第五年原子弹制成了。1.5万名专业人员的协作,在世界上,从没有一个科学工作是那样协作过、那么搞过的,没有经验。要把1.5万名各种各样的人组织起来,充分发挥他们的才能,这是一个需要很好考虑的问题。当时领导这个计划的是一个物理学家,叫奥本海默,他就组织这批人进行工作。这个工作由他领导,可并不是他一个人做,而是有很多优秀的科学家从事了这个工作,他要把全国的人力、物力、财力都集中起来使用。可是这1.5万人中真正集中在一起工作的不到1000人,剩下的1.4万人分布在全国。并没有把人都集中调到一起去,人还是那个单位的人,可是要他做这个工作,利用本单位的条件来做这个工作,他们的工作都是千丝万缕地与这个计划联起来的,最后成功了。其中最大的一个问题就是原子能原料怎么做?开始他们找了有关的认为有可能对于这个技术有所帮助的人开会,那是在极端保密的情况下做的。开会时当然有各种各样的想法,因为谁都没有做过这个材料。由于放射性对于人的身体是很有害的,做这个材料,人是不能碰的,都是远距离操纵的。按平常的情况,因为谁都没做过,仅仅是一个设想,很难确定哪一个会成功,哪一个不会成功,哪一个最容易成功,哪一个最难成功,这里面就有一个系统工程的问题。怎么办?这是决策问题。一般人设想总要先讨论,讨论到最后,大家认为或大多数人认为某个方法最有希望,最容易出成果,就集中力量去做。可是奥本海默最后决定一共集中六种办法或六种可能性,他说我们最大的目标是要最快地获得这个材料,时间越短越好。现在我们不能决定这六种中哪种最好,哪种最快,因此六种办法同时上马,分头去做。为什么要这么决策?他是联系着当时同盟国军生死存亡的问题,必须全力以赴,不能“压宝”,可以多动员一点人,把所有的可能性都进行尝试。后来得到罗斯福的同意,六个办法同时上马,用了半年时间,到1943年试验或前或后都成功了。有的的确费钱;也有的是费力,可是成功了;有的经常出毛病,在生产过程中难以控制,可是也能生产。在这个条件下最后决定,挑选一个比较安全的办法进行大量生产。所以在科学技术管理中,有些决策是根据人们的目的要求来进行的,也有的是根据本身大量的研究来决策的。像奥本海默决定

这个决策的时候,听说有五六个人跟他一起考虑了差不多一个月。如果现在再做这一类型的决策,就与奥本海默时代完全不一样了。现在有很多系统工程的原则供人们选择,作为采取步骤的参考。那时只能是定性的,现在可以定量地来选择最好的办法。因此科学研究技术的发展,也在于系统工程在科学研究管理方面的使用。

在 60 年代,美国有一个很有名的“阿波罗”载人登月计划,简称“阿波罗”计划。苏联把人送到太空里转了几个圈以后,刺激了美国,美国人觉得落后了,他要干。这个“阿波罗”计划影响很大,影响了美国科学技术的发展。美国再次把人员组织起来,但搞那个计划困难重重。把人送到月球上并不是简单的事情,到太空里已经很复杂了,飞船到月球这条路线的选择就是很复杂的问题。人怎么到月球上面去,而且还要回来,问题就更复杂了。有很多方案,也有许多困难。这个计划完成期间动用了 42 万名专家、科学家和工程师进行工作,其中不包括管理人员和一般工人,都是大学毕业、工作了多年的人。他们比“曼哈顿”计划时对系统的理解就更深了,很多问题就是定量的,不是定性的了,最后成功了。1972 年居然把人送上了月球,而且能用电视将图像播送回来,使全世界都能收看到,还在那里采了土样,以后人也回来了,完全按预计的要求达到了目的。这是系统工程最伟大的功绩。42 万人是不好组织的,可以说是各种各样的困难问题,交给了各种不同业务、专业的人来研究,同时协调他们的工作。因为任何一个事情都联系到许多方面,例如,决定把人坐的登月舱从绕月球转的卫星上面,降到月球上,人再从登月舱出来,用登月的车子,在月球表面上走,采了样以后,回登月舱,再自动飞回绕地球转的那个卫星上。这么一个动作牵涉到千百万人的业务工作的方面,连人能不能走路也要研究。因为月球的引力很低,到那个地方像我们这么走路就可能变成了跳高,在月球上只看见人在跳。而且月球上面有很厚一层松散的沙层,比沙漠还要松,人一踩下去就是一个窝,这些都要事先考虑。一个方案提出来要牵涉到很多的业务,都要考虑行不行,不行怎么克服?有时候一个总的考虑上来以后,其中 90% 的问题都解决了,就是 10% 的问题解决不了,怎么办?上面就要协调,是不是

还要按这个方案搞下去,努力解决 10% 的问题,或者另改方案。一改方案,就与原计划完全不一样了,这就有一个协调的问题。把所有科学工作的成果、情报(外国人叫信息)收回来,加以分析,然后根据信息分析的结果作出决策,再回到这些科研人员的手里,要求他们的工作在某一个方面加强,在某一个方面不再搞了。某个科研人员会发生困难,缺这个缺那个,这种信息立刻回到指挥部,就得想办法帮助他,这个工作是非常快的。假如犯“官僚主义”,剩下 90% 成功的多数也会被扔掉,等于白做。要在某一个人身上“官僚”一番的话,可能就是好几十个亿没有了。因此很多问题都要及时做出有效的决定,来指挥组织所有人的工作,一个人都不能马虎。不能说大部分都行了,剩下的只是小问题。在科研中,在工业生产上,没有小问题,所有的问题都同样重要。当然有没有更重要的呢?有的。可是常常会因为一个小问题而影响大局。所有这种组织与管理的工作都服从于系统工程这个科学,就是要用最少的人力、物力和资金,用最短的时间,最有效地发展某一个科学技术,完成某一项任务。当然这项任务有小有大。科研中常常是一个大任务可以分成很多小任务,这个计划下面有很多分计划,每个分计划的进程要协调,不能单科突出,单科突出并不能解决问题。所以作为整个系统工程来看,它是有组织地在进行工作。例如,研究核导弹时,核导弹是一个整体系统,可以把它分隔为许多个分系统,成为单独的系统。像弹体、弹头发动机、制导过程和遥测过程、弹道的测量、发射系统等等,都是分系统,都可以分头研究。可是这些分系统之间又互相联系,领导要进行协调。又如搞分弹头的技术,原来规定弹头多少公斤,而材料需要增加几公斤,分弹头才能成功,增加这几公斤对导弹很重要。在总重量中加几公斤行不行?如果总体设计说不行,就要另想办法,总体设计说行,弹头多几公斤,就要在别的地方减少几公斤,只要能保持弹的重量不改变就行。如果弹体直径有改变,而弹头直径没变,还是按原来的设计,结果弄半天两个部件也装不上。所以它们之间完全是互相协调的,不能随便自作主张,只有在总系统的领导下面,分系统才能进行工作。总系统有任何改变,都要详详细细地通知分系统,不然分系统的工作就配合不上。分系统之间有

独立性，也有联系，这个系统发生的困难会影响别的分系统工作上的要求。远程轰炸机可以和核导弹取得平衡。一个国家可以多发展远程轰炸机，少发展核导弹，也是个办法。陆地上发射的核导弹与潜艇上发射的核导弹不太一样，对核潜艇就有很多要求；机动导弹又是一个系统；国家还有其他的系统，都与核导弹平行的，有关系的。最后上面还有一个总系统管着它，总系统就是两个：一个是战略防御系统；一个是战术攻击系统。都要用核导弹，同时也用远程轰炸机、核潜艇，现在还有巡航导弹。一个国家把力量放在哪里？当然最好是有能力在每个方面都发展，我看现在哪个国家都办不到，都是有重点地发展其中一个方面。最后的决策根据是什么？是根据战略防御系统和战术攻击系统的原则要求来决定的。最近苏联与美国两方面在讨论武器问题。这个谈判的后面，美国如此，苏联也如此，都有搞系统工程的人在做参谋。对于系统工程算得很准，两边都是经过计算后再讨论问题，并不是随随便便地谈。所以一个系统，总是有很多与它并行的系统互相联系着，上面有一个总系统，总系统上面可能还有更大的系统，每个系统又可以分成许多分系统，有的叫子系统。所以像五花八门似的一个一个分下来，所有这些系统的研制过程，都是千百万人共同合作的。在制定一个系统的时候，一般都是粗线条的规划，只是个轮廓。如核导弹有个轮廓，大概要多远射程，准确度有多高，是分弹头、是带核的，还是不带核的，破坏力多大等等，在这些要求下，分析有哪些技术是过关的、现成的，有哪些技术还需要研制，再制出粗线条的规划，然后逐步地有领导地去贯彻。在贯彻的过程中，这种规划常常会有改变，而研制过程中也可能会发生一些问题，过去没有料到，也可能还会发现有一些东西比现在的更好，那么就要改变原来的计划。通过这样一个系统，把成千上万人的研制任务和每一个人的具体工作规定下来，把这些人的工作综合成一个整体。我们要求达到的目的，是技术上合理、经济上合算、研制周期越短越好，因此要完成这种工作，就必然有一个能够协调各方面工作的指挥部，来进行组织，这个指挥部一般叫总体设计部。总体设计不管太具体的东西，有了总体就可以把分开以后的工作进行协调。各方面的工作要有一个很灵活的指挥系统。

所以系统工程有时也叫指挥科学和指挥艺术的结合。当然不是拍脑袋的指挥,是指“心中有数”、“囊中有策略”的指挥,有办法的指挥,同时很了解情况的一种指挥系统。对一个具体工程来讲,也是一个系统。如某一个大型水利工程,也就是一种系统工程,先走哪一步,再走哪一步,是很有讲究的。总之我们要讲究经济、实用、快速。管理一个大企业也是一个系统,是工业系统。从历史到现在为止,也反映出来系统工程在军事的指挥上,在一个战略的指挥和战术的指挥上,是可以完全按系统工程的眼光,来规定一个战略的计划,以后根据这个计划进行指挥。所以在国际上有很多国家的国防部门都有相当数量的搞系统工程的人,作为参谋部的左右手,由他们提出的各种各样的战略计划,由参谋部来挑选,然后再由统帅批准进行工作。所以至少说系统工程是可以用在组织管理一个科研计划,也可以用来指挥一个工程或者一个工业企业,还可以用来作为作战计划的左右手。现在的系统工程主要用在这些方面。

系统工程也用来作为一种社会活动的管理。最近十几年来,它又有了进一步的发展。在美国,所有总统竞选人的指挥部中都通过系统工程进行工作,用几个办法收集民意。例如,每天统计竞选的希望是百分之几,必须随时向竞选的人报告。另外,在各个竞选的不同时期,要求提出什么样的项目可以影响选民对他的投票数量,这也是经过系统工程研究的,在哪一个地方说什么话,提什么问题,是当前大家所关心的,应该怎么提可以获得选票。还有到哪里去竞选,都是很关键的。在美国每个州应该花多少时间竞选,这是根据最后的效果来看的,与投票的前后次序有关系,与共和党和民主党之间力量的分配有关系,与当地存在的问题有关系,每一个州提出的问题也不一定完全一样,这都是系统工程做的工作。当然现在系统工程还不止管这些。最近美国国会投票决定他们与台湾的关系,这里每用一个词都是经过研究的,都有系统工程在帮忙。所有的国会议员,要考虑到今年再度改选时他能不能选上,很多国会议员的后面就有几个搞系统工程的人,用计算机整天给他研究问题,应该怎么投票或者投票时怎么发言,是否会影响他竞选等等。所有的大公司都在研究这个问题,考虑投票的结果会不会影响他的货物销路和经济实

力。政府也注意到了这个问题会影响到整个全球战略,也影响到总统明年能不能选上。因此,现在美国系统工程用得非常之广泛,并不仅仅是用在管理工作上,对很多社会现象,他们都以系统工程的眼光来研究。

说了半天,还没有说明白这个“系统”。要说明白系统和系统工程的确不是件容易的事情。当然我可以背一个定义给大家听,但是不解决问题。所以我还想举一些例子来说明系统工程是什么。刚才举的两个例子都是科研方面的例子。工程方面讲一下都江堰的例子。四川川西平原在公元前 250 年,距离现在二千二百多年,由那时的太守李冰父子两人(他儿子是后来任命的,人们叫他“二郎神”)组织了当地人民修筑都江堰。这是一个水利系统,修得很好。这个总的系统里又有许多分系统,最有名的一个分系统叫“鱼嘴”分水系统。它把岷山下来的水分开,一边流到川西平原,一边流到川西平原东侧。另一个是“飞沙堰”,这是一个分洪排沙的工程,因为水里沙子很多,要排沙。还有一个叫“宝瓶口”工程,是个引水工程,宝瓶口的水出来以后就流到川西平原的东部去了。新中国成立以后,我们又搞了一个更大的引水工程,给李冰父子的都江堰增添了色彩。还有其他系统下面的灌溉系统等等,都是根据当时当地的生产能达到的水平和当地的材料来进行工作的,是一个非常成功的工程。这个工程到现在还在为我们国民经济创造财富。这个工程最本质的东西,也都符合系统工程最本质的东西。

下面讲两个有关系统工程用于军事上的例子。

第一个例子就是 1942 年所谓北大西洋的潜艇战略。1941 年冬珍珠港事件以后,美国正式对希特勒宣战,要把大量的军用和民用物资从美国运到英国去。当时英国是个桥头堡,各方面很困难。可是德国人用潜艇阻止这个运输。美国所有的船都参加了这个运输,1942 年一年被搞掉了一半,再这么下去,美国就快要没有船可以运东西了。为了对付这样一个问题,美国集合了所有的人来想办法。有人建议说数学可以帮这个忙,因为潜艇从哪儿出现,谁也料不到,那是出其不意的,像狼撞进了羊群似的,对商船进行袭击。这里就有一个数学问题,怎样从中寻找潜艇出没规律,这个规律用数学可以找到,以后就发展了一种数学叫“搜

索论”，专门搜索潜艇。根据计算，得知这个时期在这个地区一定有潜艇出现，就可以派飞机扔深水炸弹去炸，这是数学上一个很大的发展。同时考虑怎么样用最经济、最合理的办法保护这批商船。以后搞成护航队，商船成群结队出航，有很多驱逐舰再加上潜艇保护它，还有飞机保护，中间有交接，一段一段地护送到英国去，这样就大大减少了船只的损失。可是船只还有损失，只是比从前损失少了。德国的潜艇被打掉不少，不过它还在活动。由于美国要反攻，需要组织很多人力物力到英国去，所以，还有一个大问题，就是要补充船只。原来美国造船是与我们现在造船一样，一个船台上只能放一条船，一摆就是好几个月，所以一个船台一年也造不了两条船，最多造三条船。有人建议说：制造汽车是把每个部分都作为部件事先做好，然后再通过生产线装配起来，最后汽车装好开出去。他们建议造船也可用这个办法，搞几条生产线，把船舶的各个部分放在岸上装配，然后吊装到船台上焊起来，焊好了就下水，以后再加一点工，这条船就可以走了，使用船台的时间很短。不是将一块块的钢板拿到船台上焊，而是先焊好再把它接起来，分成几段吊装上去。这样造船就像汽车生产一样，有好几条生产线，这些线并不在船厂中，而是普及全国，把全国的工业都组织成线了，然后逐步装配，运到造船地点，最后一条船只在船坞上面呆二十多个小时就下水了。那就是说一条船坞从一年只能生产三条船一下子变成能生产三百多条船，扭转了海洋运输不能再进行的被动局面。这些船后来被称为“自由轮”，因为那时罗斯福号召“为自由而战”。“自由轮”有它的缺点，不过到现在为止仍有许多“自由轮”还在航行，不少已经退役了。造船工业完全用系统工程的形式改造以后，大大增加了生产量，扭转了战争的形势。从那以后，人人都知道有了一个新的学问，那时不叫系统工程，有各种各样的名字，有人叫它“运筹学”，完全从数学角度来看这个问题。我们在 1956 年规划时也曾提出来过。“运筹学”有几个部分在生产中起了作用，像华罗庚教授的“优选法”，就是“运筹学”中一个极小的部分。

第二个例子，是 1944 年同盟国军在北非登岸的计划。当时美国的潜艇战取得了胜利，要进行反攻，可是德国已经把整个欧洲都占领了，还

占领了北非，在西欧有很强大的设防，空军也还占优势，要在西欧登陆希望不大。所以，考虑要先在北非登陆。德国在北非有一个最大的军团，叫“隆美尔军团”，由隆美尔元帅统领。这个军团的装甲力量很强，占领了现在的阿尔及利亚、突尼斯，还有利比亚，并且已经把地中海（除了直布罗陀海峡以外）作为空军严密控制的区域。潜艇也封锁了直布罗陀海峡以外的所有大西洋区域，潜艇活动非常厉害。尽管这样，也只有从北非才有可能登岸。但是在北非登岸并不简单：首先，人员过去的时候要经过潜艇的封锁，会有很大损失；其次，到了地中海，希特勒空军也不会让你安安逸逸过去的；第三，到了滩头阵地，能登岸的地区肯定有防守；第四，到了岸上，还有隆美尔很强大的装甲力量。除了要面对这四个条件外，还有一个就是气候捉摸不定。因此必须要有一个庞大的计划，要用大量的人员、物资、后勤等来支持这样一个计划。可是如果要把所有人员集中在某个港口，一定会被希特勒发现，他可以来轰炸，不可能有出其不意的条件，实现这个计划是很困难的。但最后搞系统工程的人提出好几个计划，同盟军司令部采取了其中一个计划，这个计划就是在英国大西洋的若干岛屿，还有在美国大西洋沿岸的几个港口，集中人员，每个地方有几条船，从不同的时间出发，要求在同一个时间到达指定地区。除到达时间统一以外，其余都不统一，因为远近不一样，航行船只有老有新，有快速的军舰，也有普通的商船，数量很大。登陆部队在统一指挥下，分头到达北非时肯定要损失百分之几的人力物力。所有的损失都要经过统计性质的研究，要保证上了北非陆地，占据滩头阵地以后，美国的兵力要超出隆美尔的兵力。这些事先都详细地计算和统计过，最后登岸成功了。从那以后，美国国防部和参谋本部就有大量这样的人员作为左右手，来帮助参谋本部制定各种各样的计划。但他们也有失败的时候，像越南侵略战争。现在很多国家对“运筹学”在战役、战略安排里面的重要性有所了解。例如《参考消息》刊登过，北大西洋公约组织在苏联发动突然袭击的条件下，只要保证一个月内产生反应，就可以抵抗住。到1977年以后就改变了，说不是一个月，要保证三天发生反应，不然一定要失败。这一个月和三天根据什么算出来的呢？就是根据“运筹学”，根

据系统工程。他们对苏联在分界线那边的军力配备情况,和前线后方的运输情况,以及坦克的数量、质量,反过来与西欧的许多条件对比进行研究。为什么会发生这样一个飞跃的改变呢?因为在1977年,苏联做过一件事情,就是它忽然把前线的部队换防,全部用空运,几十万军队在一两天内可以换防。根据这个资料,重新用系统工程的办法进行了严格的计算,计算结果只剩三天了,在三天内不能作出反应,那么就要失败。现在总的说来,军事上依靠系统工程的很多,这是一个巨大的发明。

1977年日本拍了两个电影,一个叫《陆沉》,描写日本四个岛忽然沉没了以及沉没的过程。第二个叫《油断》,就是说日本需要很多石油,突然之间,发生了一个偶然事故,一条大油船沉在海峡里,海峡就不通了,波斯湾航运断了。把这个船捞起来清理好再通航,按当时的条件要七个月。问题就来了,日本没有石油进口了,这七个月里会发生多少事情?《陆沉》和《油断》这两部电影都是讲系统工程的,背景都是讲几个科研人员成立一个组织,用计算机分析这些社会后果,然后提供给政府作为参考。比如“陆沉”的问题,说的是日本附近有个小岛,忽然之间在一个晚上不见了,后来有很多地质人员通过潜艇观察,发现小岛沉下去了,并以每小时几米的速度还在继续下沉。有些地质人员就研究日本的近海地质,发现日本的四个岛不太稳固,有一个断层在发展。根据更多的地质调查资料,这些地质人员就与系统工程人员一起研究这四个岛的安全问题。研究过程中发现日本四个岛很不安全,要下沉,就把这个事情告诉了政府,政府说:“这是瞎说,人们安安逸逸在过日子,你们无中生有。”几个月以后他们还在做试验,现象越来越严重,更符合他们的预测。当时美国地质学会开会,有人发表了一篇文章,预测日本几个岛要沉,从卫星观察的相片证明了他的结论。这样一来,美国报纸就大加宣传,日本政府也崇洋媚外,美国一说他就相信,觉得这一下不行了。因为一宣传人民都会知道了,所以先把美国的几个人请到日本来,配备很多的计算机和人,帮助他们预测,还剩一年零两个月。日本首相就着急了,也没有别的办法,只要能救日本人,使日本民族能保存下来就可以了。于是他就四处呼吁,希望各个国家能接受日本的移民。他自己到了一个最有希望

的地方，就是澳大利亚，他带去了日本的国宝，作为礼物送给澳大利亚的总理。谈起这个事情，澳总理问：“你计划怎么样呢？”日本首相回答说：“你们那么大的地方才一千多万人，空间很多，我们日本人是勤劳的，你能收多少就收多少，至少1 000万，最好我们全国都搬来。”当然这个事情不简单，澳大利亚总理想了一下回答：“先考虑考虑，我们国家人太少了，你们人又太多了，你们要来几千万人，但我们只能收50万人。”后来日本首相就到联合国去呼吁，联合国动员了全世界各个国家，有的要5万人，有的要10万，哪一个国家都收不了多少人。七个月过去了，还剩五个月了，他们只输出了500万人，还有1亿多人。日本着急了，再次向联合国呼吁。最后电影上忽然出现了北京，党中央在开会，说我们党中央考虑日本人民的困难，用全力来援助日本人民，动用了所有的军舰、渔船、小船等交通工具全部去运日本人，用三个月的时间运了6 000万。这是电影上描述的，认为中国人民历来是讲友谊、讲信誉的，日本人民对中日友谊一直是看得很重的。电影的最后结局是日本沉下去了，有些人不愿离开日本岛，连同岛一起下沉了。结尾是一辆火车在中国的原野上飞驰，有几个日本人在交谈：“你看，亏得中国人民，我们过去到中国来侵略那是完全不对的。”电影就结束。当然中间还有地震，发展到最后是岛沉了。有很多逼真的镜头，很值得一看。“油断”是怎么回事？“油断”也是几个搞系统工程的年轻人计算后说，假如石油一断，日本最多能支持七个月。他们建议政府要在近海搞海底石油罐，万一油断了，这个国家还能生存下去。日本政府中有的同意，有的不同意，首相认为这是瞎说，油怎么会断呢？后来有个资本家发现这么个事情，他完全为了自己的利益，支持他们研究，给了很多钱，买了计算机，还雇了很多工人，寻找各种资料来研究这个问题。他每天去看研究的成果怎么样，第一个月发生了什么问题，第二个月发生了什么问题，多大的规模，估计政府可能会采取什么措施，人民会发生什么问题等等。资料不断地送到他那里，他也不断地给钱，那几个科技人员就认为这个老板不错，实际上这个人是个投机家，想利用这个机会获得超额利润。他就在日本附近租了几个小岛，在小岛中搞了石油罐，并在这个期间四处收购石油，把油储存起来。过了

几个月,果然发生了问题,像现在伊朗发生的事件一样,石油运不出来了。开始日本还不紧张,因为有三个月的储存,没有什么变化,后来逐渐吃紧了。私人汽车用油限制配给,这一来,人们都去坐火车,因为日本人现在很多都不住在东京,也不住在大阪等大城市,而是住在农村,开着汽车上班,到处都是高速公路。可现在汽车没油了,都去坐火车,挤得一塌糊涂。到了东京以后,都回不去了,吃住在东京,用的煤气也就多起来了,结果煤气不足了,因为石油供应不上。可是人口多了,烧饭发生问题,怎么办?就用电,到处都是电炉,一用电问题更大,发电厂电力供应不足,因为发电厂也用石油作燃料发电的。电力供应不足就发生停工现象,于是老板就休息了,人民就失业了。以后又发生水源不足,因为自来水是用抽水机供应的,也要用电。没有办法,反正失业了,人就往城外跑,也没有水,电力又不够,烧饭都很困难,干脆到乡下去,农村的人越来越多,城市里越来越凄凉。混乱以后东京着火,救火车没有水,结果到处都是火。慢慢地影响越来越大,最大的影响是由于拖拉机没有油,使农业生产很差,要进口粮食,米价大涨,人民越来越困难。这个老板就从中做生意,把他储藏的石油拿出来做黑市买卖。他向工厂要股票,向农民要粮食,用这样的办法购买工厂和土地。社会混乱得一塌糊涂,最后人民起来造反。七个月过去了,日本整个经济垮台,政府换了不知多少次,这个大资本家发了财,电影就完了。所有这些故事都是在计算机上面运算一番,计算机屏幕上显示出统计数字再加上预测的社会情况,再演外面发生的事情,有很多穿插。所以系统工程对社会上各种事情都能管,都能预测它的规律。从整体讲就是有多数人参加的一种社会活动,主要是搞生产,这个生产有一定的目标,是一个运动过程。这个运动过程有很多是促进它往前发展的因素,也有阻碍它向前发展的因素。我们应该争取促进发展的因素,从而发挥更大的作用。而对阻碍发展的因素要克服它,使这个事物朝人们需要的方向去发展,这是系统工程总的目的。工厂生产是一个有目的的人的活动。把所有社会上的活动都变为有目的的活动,向对社会有利的方向活动,用一种科学的方法把它组织起来,使它发挥积极的作用,这整个就叫系统工程。虽然说起来是抽象的。

三、系统工程的六个要素

下面讲系统工程最基本的要素和系统工程要考虑的几个方面问题。

第一个要素是“人”。

六个要素中,最重要的首先是人的要素。人是从两个方面来研究的:一个是数量,就是工作需要的数量;一个是质量,就是需要什么样的人。每一个系统对需要什么样的人,都有比较严格的规定和要求。我们在生产中需要什么样的机器是有规定的,不是什么机器都能生产任何产品的。人也是一样,不是什么人都能参加任意的工作的,所以人要讲究质量、数量,质量包括专业水平。现在企业里对人的研究越来越重视,因为企业的生产规模越来越大,生产越来越先进,对人的要求也就越来越高。日本各种各样的企业,连百货公司都有这样的问题,就是对于人的质量的要求,怎样动员人的积极性。这在管理上是很起作用的,很重要的,因为报纸上面已经见到很多了,这一方面不用多谈。

第二个要素是“物”。

(1)“物资”。不论做什么工作都需要物资,军队后勤中很重要的一方面就是物资保障供应。物资还包括能源,能源是物资最主要的要求,因为生产和科研甚至打仗,能源都是不可缺少的,没有能源我们的一切活动就都要停止,所以首先要保证能源。

(2)“原材料”。包括原料、半成品、成品。任何生产,不可能都从原料开始,常常需要从别的工业获得半成品或者成品来完成一个生产任务。所以从工业生产来讲,有四个方面属于原材料。能源、原料、半成品、成品,缺一不可,应该研究如何把这些原料及时运到现场。

(3)“设备”。这也属于物的方面。生产需要工具,需要房子,需要机电设备,需要仪器,这些都属于设备。没有房子,就很难进行生产。机械是设备中重要的项目。另外还需要交通工具。从当前很多方面看,我们工厂内的交通工具是很差的,影响了物资的流动。厂外的交通工具也没有得到相应的重视,也影响了原料的输出,以及人员的来往。联邦德国专家对武钢提的意见中,有一条就是武钢厂外的交通很差,路上坑坑

洼洼，一下雨到处是烂泥，这对于生产是很不利的。

第三个要素是“财务”。

财务包括工资、投资、活动基金等等。没有财务，很难进行生产和从事科研。财务要恰当，过多是浪费，必须要有适当的财务管理。我们以前一般不把财务作为一个物，可是在系统工程中，财务是一个很大的因素，一个很重要的方面，一定要有适当的财务来满足它的要求。

第四、第五个要素是“任务”和“信息”。

这两个要素，一般很容易被人忽略。所有的系统工程都有一个任务问题。任何一个系统，不论是生产系统、科研系统、军事系统，都有一个明确的目的，这是很重要的。在社会主义制度下，可以是上级交给你要完成的任务，也可以结合生产的需要与各方面订立合同，合同就是任务。订了合同以后就要充分使用人力、物力、资金来完成它。任务一定要明确数量、质量，合同不明确，这个工程就不容易达到目的，一定会吃亏。

另一个要素是信息，信息是系统工程中最重要的一个因素。信息有各种各样的叫法，现在系统工程中统一叫信息。信息包括什么呢？有人说是情报，但它包括的方面比情报还广。例如，今天生产多少，原材料还有多少，多少工人上班，每个人的生产能力怎么样等等，都属于信息。有很多是以数据来表示的，还有很多是用图表来表示的。有许多领导同志看一些数目字没法衡量，但看图表就可以衡量了。也有一些属于规章方面的，也是信息。规章是信息的渠道，应该按规章办事，检查生产出来的东西符不符合规章要求。信息中还有一个很重要的东西，叫“决策”。各级领导根据不同情况做出决策，并传给每一个参加这个工作的人，这个决策就是信息。所以信息是生产或者科研中各种情况的反映。在科研里还有一个方面就是报告。科研报告是信息中很重要的一个东西。通过报告，人们可以获悉科研进程的各种信息，做出相应的决策，并用这个决策指挥所有参加科研项目人员的活动。信息畅通可以使工作做好。所谓畅通就是下情可以上达，上情可以下达，下情上达是正确的上达，不是谎报军情。哪个地方打了败仗你硬说打胜了，这就是谎报，打了胜仗你没有报，也是谎报，因为这都影响到上级的决策。产品没有达到某一

个水平,你硬说达到了,领导就要根据这个信息做出决策,要该产品大量生产,结果就会垮台。有时生产一个产品,10 件中只有 1 件成功了,如上报说都成功了,生产就吃亏。如果做 100 件产品才有 10 件成功,质量明显没有达到某一个要求,你却说达到了,结果用这个产品作为一个部件交给另一个单位生产,那个生产部门就会垮台。所以信息很重要,要正确地、顺利地、上上下下不断地流通,这是在指挥生产当中最重要的一个部分。所有的人、物资、设备、财务、任务与信息都是在整个过程中不断地变化和流通着的,以此来促进任务向前发展。我们要掌握这些流通的条件,促成它顺利地流通,这是指挥中最重要的一项。其中有两种流通是最重要的,也有人说是三种。一种是物资的流通,我们叫“物流”;另一种是信息的流通;还有人流,也很重要。人是不断流动的,因为情况在变化。调动就是把适当的人员派到适当的岗位上来。不能让一个搞文学的人去搞一部机器,他是一点办法也没有的。也不能把一个学机械的人调去搞水利,人是多了一个,但没有用。人员要不断流动,因为这项工作在这个阶段里需要这种人,到下一个阶段则需要另一种人,要及时地把适当的人派到适当的岗位上去。要有适当的质量,不是什么人摆上去都能起作用的。所以也很可以说是三种:人流、物流、信息流。

物流也非常重要。什么叫物流?如造船需要的东西很多,仅船上装的仪表就有一百多种,其中缺哪一种仪表船都开不出去。仪表要“流”进来,通过生产线装到适当的部位,及时装上以后,生产线才能往前走。到时候,哪个地方应该装表了,可是却没有表,生产就垮了。一个炼钢厂,铁水从高炉里出来,就要考虑安排铁水流到哪儿去,有一部分流到平炉车间铸锭,有一部分让它变成铁块,再用车运出去,放到仓库里或者直接上火车运出去。这里有个比例,根据生产需要,在不同的时间,根据不同的比例,使装运的东西能及时到达。如果装运的工具不按时到达,高炉里的铁水一炉炉炼出来,尤其是大量生产,一下子就会使附近堆满东西,影响生产。铸成钢锭后,有的要保养,有的要进储藏室,也有一部分上轧钢车间。轧钢车间有一定的生产吐纳量,去多了就堆起来,去少了它就闲呆着。钢轧出来以后,有一部分就行了,有一部分还要精轧,要和机械

设备配合好,许多交通工具要能及时到达,这叫物流。哪儿出点差错,不是造成窝工就是短路,使生产不能正常进行,造成混乱。指挥的时候一定要考虑到这些方面,不然就不能发挥设备的效率。现在我们的设备效率比生产差得很多,就是由于没有发挥效率,物流没有赶上,有的是电力不够了,可是电力不够也是物流没有赶上,电流也是物质。有的工厂只好三天停工,三天上工,轮流上班,这就没有发挥应有的效率。这些都在规划里,都在系统工程里。

第六个要素是信息有“反馈”作用。

信息流在工程中非常重要。搞电路的人都知道“反馈”,就是信息来了以后,会在别的方面起作用,影响以后的工作,叫“反馈作用”。例如,现在这个厂办得很好,所有工人的积极性都调动起来了,技术人员也很积极,一个月超额完成生产任务,比预料的要多得多,这是一个好信息,应该及时得到反映。不是听到好信息,写个大字报就完事了。向上级报告也不是最主要的,最主要的是应把超额完成任务的信息传达到每个人的耳朵里,而且使每个人都做出他应该有的反映,要有“反馈”。如管物资的人就要有“反馈”,他立刻要想到下个月这里存的原材料可能不够,本来是计划使用那么多原料,正常生产是够了,而现在鼓足干劲,技术革新,超额完成任务了,下个月的生产可能比这个月还要多。有这么个估计,就要准备材料,不能说上级没有指示,这个月还是按原计划供应,那么人家怎么超额?没有原材料就没有办法超额,下面就窝工了。信息的“反馈”,是要求在每一个岗位上的人都要自动地进行“反馈”。假如管原材料的人不“反馈”,在国外第二天就会被撤职。这个“反馈”是他的职责,而不需要上级下命令的。所以,信息流很重要。信息流发生混乱,或者不通,往往会造成很大损失。例如,武钢新建的轧钢厂即〇七工程,需要多少电,这是个信息,应该发生信息流,流到应该去的地方,那个地方就应该作出相应反应:到工厂建成时,有没有电力供应?现在厂房盖起来了,电力不足,无法进行生产,这是我们系统工程里一个很大的过失。指挥失灵,或者说“反馈”失灵,也可以说“反馈”混乱,就是下面上来的东西不符合要求,谎报军情,以少报多,或者以多报少,有的开了后门,那么

这些信息都是假的,用这个信息来指挥生产一定要大失败。所以我们要信息流应该能及时地、准确地、畅通地达到应该去的地方,这是指挥艺术中最重要的一个内容。哪个方面谎报军情,查出来就要给予很严格的处分,要扭转这个现象。在国外也常常有谎报军情的事发生。应该是把正确情况报上去,把信息递过来。只要把情况说明白,为什么不能完成任务,领导还可以提供条件,帮助完成任务。领导对下面提出一个严格的要求,信息是交给下面了,你要做出相应的“反馈”,这个“反馈”应当规定在规章制度里,因为规章制度也是信息。根据制度要求你应该发生什么样的“反馈”,就像超额完成任务以后,供应原材料的机构、管理部门,应该及时做出反应,这是你的责任,用不着领导来管这个事情。如果你知道作出反应可是无法完成,实在缺材料,那就应该及时把信息交给领导,让领导来作出决定,而不应该撒手不管。从历史上看,自从有了系统工程以后,逐步摸清了要素,越是近代化、现代化的大企业,对物流和信息要求就越严格,要求正确,要求畅通,不允许糊里糊涂地去搞。由于现代化企业大了,其中出一个故障,对整个系统影响非常大,因此必须要求很严格,很畅通。只有流通顺利,任务才能完成得好,流通不顺利就会发生混乱,经济就会产生很大的损失。

怎么样来管理这些流通呢?在老的工业管理中,我们有一种东西,在三四十年代叫工时定额,这是最初步的东西,以后就搞所谓“线条图”,有的叫“流程图”。一个企业生产有个流程,画了很多方块,有很多箭头,有的可以做表,所谓工作日程表,这是老式的。现在用新式的办法,叫网络图。因为这六个因素在整个系统中都是互相关联的,不可能一个顶一个那么简单的下去,有时候最后一步手段会影响第一步手段,会影响其他所有的问题。所有的流动都有“反馈”作用,因此简单的一条线路是不行的,要有一个网络图。网络图就是系统工程,是实践系统工程的人一个必要的技术。可以通过网络图协调工作,可以发现哪些是短路了,哪些是窝工了。在国外一般的图都是用计算机显示技术,叫计划协调技术。这个名字速写,国外叫“坡特”(Program Evaluation and Regulation Technics,简称 PERT)。就是根据网络图来指挥生产、指挥科研,或者

指挥军队、指挥作战。这是一种特殊的技术。我在国外看见过这样一个东西,就是加拿大用来指挥货运。加拿大铁路很长,从东部到西部距离很远,坐火车也要三天三夜才能到,铁路很多,货运很繁忙。它有一个指挥中心,信息非常灵通。假如你让火车托运某种东西,一样东西不论多大,只要通过计算机中心,随时随地都可以询问这件东西在哪节车皮上,车皮里还有什么其他的東西和这件东西放在一起,这个车皮下一个目的地是哪里?指挥很灵、很快。假如需要货物提前到达,就有办法可以指挥它提前到达,这叫计划协调技术。这种技术是系统工程目前发展最快的东西。我们不能用原始信息通报到所有的地方,信息一定要加工,信息的加工在系统工程中很重要。所谓加工,就是判断这个信息来的合乎什么要求,是否合乎规章制度和规定,这一信息应该到哪几个部分去,属于一般信息还是属于一种紧急信息,要做出判断。然后信息要用一定的工具进行传递。有若干信息要储存起来,一般储存在计算机中。只有需要这个信息时,很快用一种检索制度把它检出来,基本上做到了当天要当天可以告诉你。例如,领导要检查原材料的情况,计算机一下子就显示出来,什么方面的原材料,有多少品种,什么规格,现在储存在哪里,什么时候进厂的。计算机根据一定的规章制度作出决策,每一个决策定了以后,计算机就告诉你会发生怎么样的后果,领导就可以根据将发生的后果来进行决策,做出决定。所以做这样的领导是很舒服的,因为任何决策,计算机都会告诉你后果的,领导就可以权衡得失,最后作出决定。而现在我们猜了半天也不一定对,目前的领导很难做,因为信息不一定正确,材料也不具备,就要决定,最后只好拍脑袋。

所有这六个因素不是自由存在的,都是受到各种各样的制约。其中有两种最主要的约束:一种是经济规律的约束,不能随便搞,违反了经济规律就一定搞不成,一定要失败;另一种是技术条件的约束,有些技术现在办不到却非要去办不行,有些技术限制了加工过程,人们非得经过这几道加工工序,有个次序问题,也有些原材料不能用别的原材料代替。所以,两种约束是不可避免的,我们应该认真对待,根据经济条件和技术条件的约束来做决策,推测这个决策做出后所发生的后果,再由领导决

定。所有的网络图都反映这种情况。各种决策所暴露出来的各种矛盾，怎么解决？对一般领导来说，实际上这是自觉不自觉地在应用这六种要素进行工作。一些好的领导，就能根据辩证唯物主义的观点进行判断，只要这六种要素搞清楚的就能办到。用辩证唯物主义的一般原则做出的决策，大方向总是不会错的。不过，有关定量的决策就需要系统工程了。定性的决策是容易的，我们的条件更好。

四、系统工程的理论背景和使用工具

下面讲一下系统工程的理论基础，因为它是科学。理论基础有两个方面：一个方面，我们有优越的条件，那就是辩证唯物主义的理论基础。虽然外国人不认识这个，但实际上他们已经运用了这些东西，不自觉地在使用。在这个方面，我们的领导和同志们基本上是掌握得比较好的。学校教这些东西，很多人也理解。因此，我们有一个很好的基础，可这是定性的。

另一方面，系统工程当前发展到了是定量的，定量就要用数学，定量的数学技术就是“运筹学”。“运筹学”内容很广，我只讲下面几种，其中最重要的就是“线性规划”。

什么叫“线性规划”呢？就是人员、设备、材料、资金、时间的变动对于整个系统的运动发生的影响，这些变动产生的影响和变动的多少成正比，这是系统工程中一条最基本的东西，叫“线性规划”。

其次是“目标函数”。规划要有一个目标，用数学形式表示叫“目标函数”。我们要寻究各种各样的条件，在变动的情况下，达到一个最好的目标，这在数学中叫“极值”，最大或最小叫做“极值问题”。用线性规划的办法研究这些极值问题，研究各种因素对某一目标的影响。线性只是一种近似的办法，数学上容易做，而很多情况是非线性的，不是成比例的，不是这边变动1倍，那边的结果在这因素里也变动1倍，它不是线性的。所以，这种学问叫非线性规划。数学上难得多，现在正在发展。

第三叫“博弈论”。“博弈论”专门研究对抗性的矛盾。博就是赌博的博，弈就是下棋，赌博跟下棋是对抗性的，你赢了，他就输了，战争就要

用这个学问。现在战略核武器的谈判就是利用“博弈论”，它里面有理论背景，有很多人做美国参谋部的后台，提供各种各样的可能性。

第四叫“排队论”。从“排队论”这个名字很容易看出是讲排队，现在社会中很多事情是要排队的。所以，这种现象有随机性的，有群众性的，有聚，有散。我们要用“排队论”来解决有这种性质的现象，这对公用系统、服务性质的工作理论是很重要的。可以解决公共汽车应该什么时间加班？什么时候密一点，什么时候稀一点？密多少，稀多少？有人会说上下班多派一点汽车就行了，但多开多少也是一个问题。又如北京究竟需要多少饭馆，人民生活才不会紧张，不至于吃饭排队了？饭馆几点开门、几点关门，基本上可以满足顾客的要求？或者是根本不关门，可以把营业范围、班次、人员缩小，到某一时间只要两个服务员对付就行了，那么随到随吃，这也是一种办法。究竟哪种办法最适合群众的需要，经济上也可以，这属于“排队论”的范围。

第五叫“搜索论”。也有人翻译成“摸索论”。“搜索论”用在什么地方呢？开始用来搜索潜水艇，飞机怎样在大洋里面搜寻，以使用合理的搜索人力、物力、资源。例如，探矿需要“搜索论”，究竟哪些地方有石油？可以多用些人全面地去找，也可以到全国各地去看看，采用多种多样技术办法，看有没有石油，这是一种办法。但是这样人力物力需要太大了。“搜索论”的方法，就是合理地应用最少的物资、最少的人力、最短的时间去发现石油资源，这里有组织搜索人力的问题。

第六叫“库存论”，就是仓库里存有多少东西，这是普通的库存，是物资管理、设备采购等人员使用的一套数学理论。它并不简单。例如，我国究竟需要多少吨粮食库存，才能应付灾荒或者偶然事件？这就是一个理论，需要研究。又如我国究竟需要多少铜的原材料的储存，才能应付突然发生战争所需要的情况？没有库存不行，库存太多也受不了。国家要根据不同的条件来决定库存。人也是这样，每个月的工资不能都花光，总要剩几个钱。如果一个铜板都没有，爱人突然生病怎么办呢？虽然也有公费医疗，但还得天花钱，你就要去借。储备是一个很难的事情，尤其是一个工厂，完全没有库存不行，库存太多、积压资金太多也不行。

存多少,是根据生产情况来决定的,是根据物资调配的可能性来决定的,这是一个数学问题。

第七叫“决策论”。根据信息提供的各种可能的决策,根据决策要产生的后果,从这些后果中选出一种最好的决策,这叫“最优决策论”。这个数学形式也是很重要的。现在有很多地方没有用这个理论来制订决策,选择的决策常常不是最好的,只看到某一方面好,没有看到另一方面不好,其中要有综合平衡来讨论这个决策好不好。有这么一门数学,叫“最优化数学”。一个建筑、一部机器,任何一个事情都有一个决策,是不是最好,需要全面地考虑。

第八叫“可靠性理论”。这是什么意思呢?我们造任何一台机器,必然有很多个零件,并不是所有的零件都可靠,一定还会有许多零件不可靠。如制造一台电视机,由电阻、电容、管子和各种各样的元器件组成,其中有的电阻就不一定可靠,标明是 1 000 欧姆,一测可能有 2 000 欧姆,加上出厂检查差,可靠性就差。可是我们用这些不行的零件做出整体可靠性很高的机器来,这就叫做“可靠性理论”。说来很简单,只要把不可靠的元件放在最不重要的地方就行了。如果是用人,你要求各种各样的人,结果来的人不一定这样,你就可以把那些不按条件来的人放在可有可无的地方,而把最可靠的人放在最重要的地方,这就叫“可靠性理论”。

所有这些说明,我们在一个大的系统里面,都要以很快的速度下决心、作决定,在小的系统中比较容易做,用数学算算就可以,在大系统里一个人算就不行了,必须要有计算机。所以,系统工程是与计算机紧密结合的。例如有几种决策会有不同的后果,决定用哪一种要及时决定,这个及时就很不容易,有时后果会很复杂,只有用计算机才能在很短的时间内告诉你,不同的决策会得到不同的后果,由你再做决定。因此,计算机是不可缺少的。另外要用很多信息,把信息储存起来叫数据库,你要拿这些信息做决策,就向数据库要。有了这个数据库,就可以检查情况,如向数据库要各个车间的各种情况,你一问它就出来了,当然是通过计算机问的,然后根据这许多情况做出相应的决策。所有数据在国外

都是储存在计算机中的,并没有什么表格,而我们现在是一问数据,秘书就端上一大堆纸来,你翻也来不及翻。在国外没有这些东西,都是用计算机,在计算机屏幕上显示出来。你要的数据是多少,有的用图表形式表示,有的以数目字形式表示,很形象,很容易让人们下决心进行合理的调度,进行比较研究,知道怎么调度,后果怎么样,然后在很短的时间内做出决策。可见这些都需要计算机。所以,国外计算机对领导人员来说是不可缺少的。有了计算机,人们的决策就很容易做了,而且不太会出大错。系统工程有那么多理论基础,再加上近代化的计算工具,我们是能收到很好的效果的。当然我们国家现在还不可能到处都用计算机,可是有很多东西不要计算机还是能做的,并不是不能做,要引起重视。当前我们的问题是很缺乏人才,因为原来大学里从来没有设立这样的专业,很少有人懂得,只有极少数专家搞了一点,也很片面。重大的问题我们没有人搞。所以,当前我们首先要宣传这些,使学校设立起这个专业来,使将来有合格的人员出来做这个工作。现在要在没有计算机的条件下做能做的工作,逐步有了计算机,我们就可以给领导同志做一个很好的助手。所以,对系统工程可以说句这样的话:是领导同志最好的助手。今天在座的都是领导同志,我希望你们鼓励这方面的发展,会对你们的工作有很大的好处的。我的话完了。

力学的展望^{*}

我今天讲的问题是关于力学的发展跟它的情况,所以我叫它为力学展望。分几个问题讲:第一个问题是关于究竟什么叫力学。这个问题好像很简单,居然还有争论?但必须讲一下;第二个问题想讲一下力学的发展过程,讲力学的历史,这样可以理解力学的内容是什么;最后一个问题讲一下力学的现况跟它的展望。

关于第一个问题,定义很不好给,力学这个名词是古老的名词,它跟机械学是同义词。在国外机械学和力学都叫“Mechanics”,因此常常有很多误解。我记得1972年我们出国的时候,要登记一下我是什么样的人,所以写了“清华大学的力学教授”。不幸有位官方翻译,把这翻成“Professor of dynamics。”dynamics应该叫动力学,是吧?假如大家不相信,可以查查一本词典。这本词典是哪个外国语学院写的。这个词典里头Mechanics是机械学,dynamics是力学。到伦敦大学参观的时候,我自己也不晓得我居然是Professor of dynamics,他们有一位工学院的院长,我的老同学,他就说:我晓得钱教授啊,他应该是“Professor of mechanics”,不应该叫“Professor of dynamics”。这一公开的场合,欢迎我们的会上啊,讲了以后,我们很被动,我们的大使就找了那位新华社记者说:“怎么回事,你看?”记者说:“我们应该改过来。”改过来了,改成了Professor of mechanics。可是隔了两天,《人民日报》就登了消息,说我是清华大学的机械学教授。也不对,也不一定再去太推敲了。我们在专业里头用词跟一般用词是不太一样,总之这个名词力学和机械学有相同的地方。我们常常讲在18世纪、19世纪,机械唯物论占了上风,很多人

^{*} 本文根据1979年4月在力学学会代表大会上的报告和1979年5月10日在北京师范学院的报告的录音整理而成。

想用机械来解释唯物论,实际是力学唯物论。因为那时候牛顿力学得到了伟大成就,很多人相信牛顿力学可以解释很多自然界的现象,包括电、光、热。这种观点,我们晓得是错误的,它是不同范畴的东西,是不同的矛盾,是不同性质的东西,牵强地解释,往往得到错误的结果。因此,这个词呢,是一个同义词。我们翻译过程里头,不同的人是不同的翻译,我们叫力学。恩格斯在 19 世纪的时候,曾经给力学下过一个定义,19 世纪 50 年代,他叫“力学是研究物质的机械运动的规律”。这个定义不错,指的是空间的运动,叫机械运动,而且指出了力学的矛盾,主要矛盾是物质之间的作用和反作用这一对主要矛盾。这是恩格斯在自然辩证法里写得清清楚楚的问题。为什么恩格斯会下这样的定义,我们要研究恩格斯的时代。恩格斯时代有下面的几个特点:

第一个特点,就是牛顿力学那时候得到了巨大的成就,指导着那个时候人们的生产和科学活动。

第二个特点,就是那时候亥姆霍兹(Helmholtz)的能量守恒定律已经深入人心,非常时髦。亥姆霍兹是一个生理学家,原来是一个德国皇家军队里的一个军医,他研究人的发热等等的原因。他研究能量守恒,自然界能量交换,提出了能量守恒定律。当他写成文章,投到德国的《物理年报》的时候,德国科学院院长反对,他认为这里完全不符合他的要求的,因此不让他登。这篇文章是 1842 年写成的。1846 年亥姆霍兹才自己花钱写成了小册子发表。这篇文章写得很有说服力,是个总结性的论文,慢慢还是给物理学家所接受了。到 1858 年的时候,大家承认这是科学发展的很重大的发现。因此,恩格斯很推崇能量守恒定律,而亥姆霍兹后来成了一个很了不起的物理学家。他在别的方面同样有贡献,那个时候,热的分子运动已经开始有人创立,可是还没有得到普遍的承认。光的电磁波动还没有人晓得,电子的存在也还没有人晓得,还不知道有什么微观的物质的力学。不知有量子力学,也不知道有统计力学,时空概念是牛顿的绝对时空观。在这样一个情况下,人们并不理解牛顿力学有局限性,而是认为牛顿的力学是无往不立。牛顿力学建立的时候,只是建立在已知质点跟质点系的基础上的牛顿力学,以后再推广到刚体的

牛顿力学,所以有很多人觉得牛顿力学是万能的,都试图用牛顿力学解决自然界的一切现象。这就是所谓“机械唯物论”,换句话说,就是“力学唯物论”。现在,我们改变了这个态度,我们晓得力学是很多自然现象中的一类问题,不同范畴的东西,有不同的矛盾。同时,我们说力学不是研究一切物质的机械运动规律,而是只研究宏观物质机械运动的力学规律,就是宏观物质的机械运动规律,而不是去研究微观物质的机械运动规律。微观物质的机械运动规律从1900年左右开始,交给理论物理学去研究。同时,我们初步肯定牛顿力学的基础是绝对的时空概念,把相对的时空概念这种力学交给相对论去研究。这是19世纪后期跟20世纪初期力学发生的分野的过程。所以现在我们还说“力学是研究物质的机械运动规律”,这就不太妥当了。我们现在认为力学是研究宏观物质的机械运动规律,同时也研究其他的因素对于宏观物质的机械运动规律的影响,像热、电、磁这一类的影响。同时,我们现在正在研究准微观的物质集体运动的规律,力图把微观的物理的成果跟宏观物质的力学性质联系起来研究。譬如像我们企图研究宏观的连续体中间一些有微观颗粒性构造这样的许多力学问题。我们现在同时预见到力学是科学理论的重要基础之一,不过,它还有广泛的应用价值。就是因为这一点,我们还容易误解到力学是只有应用的力学,而认不清力学有它基础理论方面的作用。譬如像我们这次讨论科学规划的时候,1977年,曾经确定我们科学的理论基础只有六项,所谓天、地、生、数、理、化,就是没有力学。有的人觉得力学不是基础理论科学,是所谓技术科学,是所谓应用科学,所以就在另外有个技术科学的纲要里头,提了“工程力学”这样一个项目。不论任何的工程里头,都用到力学的基础概念,这就是力学的基础性质。为什么叫力学是个基础理论知识,恰恰是因为它有广泛的应用价值,这才确定了它的基础理论性质。跟我们物理学一样,物理学所以是一个基础理论,因为它是有广泛使用价值的。人们只要从事生产,从事生活,就会自觉或者不自觉地用到许多物理概念。这个力学可以说是无时不在,无事不用。有人做个比方,说力学是等于中药里头的甘草,只要有药,就有甘草。处处要用到它,是一个不可去掉的方面。当然力学自己不能

造机器,可是造机器要力学。没有这么一个产品称做为“力学”的,其他工程都有产品,它没有产品,因此力学在“四人帮”时代是很难过的。“四人帮”要每一个学科都有个产品,要到工厂去学,力学就难了,力学没有这么一个产品。可是,产品里头有力学,这个是肯定的。从造船、造飞机一切都有力学,但就是没有这么个力学的产品。那时一看局面不对,我说我的力学搞不下去了,所以“四人帮”时代,我是不搞力学的。我搞了很多年不是力学学科的东西,我搞过化学,搞过电池,电池是化学,是个产品,我可以生产出电池来,总没有话说了吧!是吧?我编词典,搞过外语,我搞很多其他的工作,就是不能搞力学,因为力学没有产品。按“四人帮”的逻辑是很难办的,按“四人帮”的逻辑就产生了一个工程力学。当然,这样是行不通的,很多人提了意见。最后,去年才重新搞了一个力学的基础学科的规划,所谓六个基础学科改成了七个。这是一个很有意思的斗争过程。这说明力学没有被人们所理解,而不说明别的。当然,力学这个东西,讲解、理解它是很不容易的,讲明白它是相当难的,要用很多数学。因此,力学不太容易被人理解。工学院里头,这个力学怎么讲,长期有争论。争论在哪儿呢?大学普通物理要讲力学,到了二年级还要讲什么“理论力学”,就是讲那个运动学、材料力学。当然在普通物理不会有材料力学的,可是理论力学跟这个普通物理里头的力学怎么分家,这是一个很难的事情。实际上很简单,大学普通物理力学是许多力学概念的基础,而理论力学是利用这些概念处理很多实际问题的东西,分了家讲。理论一定要紧紧结合生产的话,那是很难办的。大学普通物理的力学很难讲,而理论力学也很难讲,所以我说力学是什么这个问题,到现在1977年还产生问题,就是人们对于力学的理解有很多问题。当然,在我们研究所里,讲力学是基础的时候,也有人把什么量子力学、统计力学都扯到力学里头来,那么理论物理就失业了,理论物理还是理论物理,不一定要扯过来,光力学本身还是有很多基础理论工作要做。下面我们就要讲这个问题。所以第一个问题呐,我可以说是回答了,也可以说是没有回答,还是请大家自己去体会。

第二个问题,我要讲一下力学的发展史。这是很多老师熟悉的、很

多同学可能不太熟悉,我想还是应该讲一讲的。为了说明这个力学的来龙去脉,应该说清楚那么几个时代:

第一个时代,是指没有力学理论的系统理论以前的时代,也可以说力学的史前时代。因为力学跟生产是有关系,有很密切的关系,因此,人们只要从事生产,无不利用力学的基本概念,只是在力学的史前时代,是不自觉地用了它。从生产里头总结了很多条条,这些条条不是系统,可是反映了力学的基本概念。譬如说《墨子》里头就有关于杠杆的许多基础理论的看法,也用了这些理论制作了秤、滚子、弹子,还有抛射机等许多器具;再譬如三国时候,曹操的小儿子曹冲称象的故事,曹操考验他这个儿子啊!看看象怎么称呐?这个象那么大!但是没有那么大的磅秤啊!那么,这个小儿子提出来,可以把象牵到船上去,象的重量把船压低了。那么在这个船舷上可以划一条线。然后再把象牵下来,再把沙子放进去,放了同样重量的沙子以后呐,应该达到同样的水平。这个沙子可以一点一点称的,总的重量就是象的重量。这个是什么?这个就是外国的阿基米德原理。譬如,在东汉时代,有个张衡,搞了个地动仪。当地震波过来时候,冲击了地动仪,它上面有个东西掉下来。这实际是应用了动量守恒定律,所以,这些力学的基本概念,人们是早已使用,只要人们从事生产,他就会使用这些基本的原理。希腊也是这样。阿基米德静力学谁都知道,可是希腊跟我们国家不一样,有那么一位唯心主义的大师,叫亚里士多德,他对于力学方面有很多臆测。他最有名的臆测就是重的物体落得快,轻的物体落得慢,是以不同的加速度,不同的速度落到地面的。再如托勒密搞了个“地心论”。这些都是力学的唯心主义的观点。亚里士多德在古代、在欧洲是非常有地位的,很多人是盲目尊重这个权威。因此很多人脑袋里长期受了亚里士多德的许多唯心主义臆测的束缚,使我们力学的原则从公元2世纪以后长期得不到发展,再加上宗教统治下的农奴制度,学术方面是谈不上的,是完全停顿的“黑暗时代”。

在14、15世纪以后,出现了一个崭新的时代,叫“牛顿力学奠基的时代”。那个时代整整连续了300年,是从航海贸易开始,人们要求对星象

进行观察。在 14、15 世纪出现了很多伟大的天文的观察家。根据观察的记录总结了一些局部的经验,中间包括哥白尼、第谷、开普勒。哥白尼,大家晓得是创立了一个“日心说”。开普勒是在第谷卜勒的观察跟他自己还有其他人的观察基础上,提出了行星运动的三大定律。这些都是观察的总结,他并没有更基础的理论的东西,没有把它抽象化到理论水平上面去。

接着,在 16 世纪中叶,在意大利创始了一个学派,这个学派以伽利略为主的。他倡议观察自然现象,是受了人所不可控制的许多因素。因此必须要人为地去实验,在人工条件控制之下进行科学实验。科学实验跟自然界的观察是两件事。对自然界的观察,是受自然界的一般条件所限制的,而科学实验是人可以挑选许多条件来观察它的结果。所以他进行了很多实验,像比萨的斜塔,像斜面的落体,还有像用望远镜观察金星的盈亏的现象等。伽利略总结了所谓落体运动定律,总结了太阳跟行星的关系,比开普勒还进一步,这是第二个阶段。

第三阶段就出现了牛顿,牛顿是 17 世纪的人,实际是 17 世纪末叶的人。他在这些自然界现象观察的基础上,在这许多自然界现象的科学实验的基础上,总结出了称谓牛顿的三个运动定律。这是把这些物质运动的规律上升到高度理论的基础上。为什么说它是这样?牛顿三个定律,搞物理的人都清楚!我们再仔细想一想,第一个定律是一个臆测,没有实验能证明第一定律的。一个物体是不可能不受外力的作用的。可是,他就是说这物体不受外力的作用之下,它是停在那儿就是停在那儿;运动时候就是一直线运动。这个一直线运动太远了,我看不见,摸不着,对不对啊?还要等速运动。这是一个大胆的推理,不能用实验来证明,可是你得承认它。承认了这个,我前头的所有的现象、自然界的现象跟实验室的现象都能解释了,这是一个理论的上升。

第二定律是可以用来实验来证明的,是一个实验定律,给了若干新的观点。譬如像加速度、质量、力这许多概念,在牛顿以前,外力这个词不是很清楚的,“力”跟“能”是不太容易分得清楚的。

第三定律也是一个无可奈何的定律。什么作用与反作用,这个是非

常巧妙的。可是没有它,好多现象不好解释;有了它,好多现象就容易解释了。可是,这个东西你怎么证也很难说。所以这三条定律,两条是属于一种上升到理论能够概括一切这样一种性质的。而第二定律是一条实验定律。牛顿这个创造,是建立在一定的自然现象的总结跟简化的基础上的。他首先把物质简化成为一个质点,一个行星把它简化成为一个质点,略去了它转动的许多条件、自然的许多能量条件。因此,可以把行星说得比较简单,跟我们实验现象比较符合,这是牛顿的功绩。这个功绩是奠定了所谓自然科学的三个阶段:就是观察自然、科学实验、理论总结这么三个阶段,是我们自然科学工作的典范。以后的自然科学基本上是按这个线路开创下去的。因此,牛顿对我们不只是力学上有贡献,而是建立近代科学方法的体系的一个最后环节。

牛顿力学的体系有四个特点:第一个特点,把质量绝对化了;第二个是把空间绝对化了,跟时间没有关系;质量跟运动没有关系,静止的东西跟运动的东西质量是一样的;第三,把时间绝对化了,时间跟运动、跟质量都没有关系;最后,力是一个场,这个场论,场的概念在那个时期是一个非常新的概念。所谓绝对化,是指跟别的量没有关系,不受运动状态的影响。同时他还建立了一整套的数学分析方法,使力学紧紧地跟数学的发展联系上了。他创造了可以观察这个变化着的现象的方法,创造了微积分和微分方程。他首先提出了,在一定的初值条件上面,可以求解运动方程。这个运动就服从了因果律,“因”就是外力,“果”就是运动,一定的外力一定得到一定的运动,有这么一个因果关系。当然,他还有万有引力定律,我们不在这里谈了。这些观点既是牛顿的优点,又是牛顿理论的缺点。优点是他用了这样一个体系,地球上一般的运动状态跟一般大小的物体,它的运动都可以综合来解决了,这是他的优点,建立了一个完整的体系,是一个合乎客观规律的体系。这样,中间有几个基础的东西是没有法子用实验证明的,像第一定律。可就是因为这一点,它带来了缺点,肯定了因果律,肯定了绝对时空跟质量的概念,这就是牛顿本身的缺点。以后的发展里头,人们逐步逐步地发现牛顿这个优点在一定条件之下变成了缺点,这是第二个阶段。

第三个阶段是牛顿力学绝对统治着物理学发展的时代。牛顿力学本身是从质点系的牛顿力学发展到连续系的牛顿力学,同时也发展到很完整体系的刚体动力学。这个阶段包括 18、19 世纪,一共 200 年,也正是西欧工业革命的时代。在那个机械工业发展的过程里头,人们懂得运用了水力和风力,也发现了蒸汽动力;后来又发展了煤矿工业,有了铁路,有了轮船,掀起了大规模的基本建设。到 1850 年左右,有了炼钢工业,1880 年有了电力工业。在那个期间,人们开始建设大量的巨大的都市,建筑业得到了巨大的发展,这是这个时代的工业特点。因为这些工业的发展,人们就需要用力学,而恰恰证明这个力学是能够处理这许多问题的。这个时期开始的时候,数学、物理、力学、化学都混在一起,统称作自然哲学。各个学科是在 18 世纪的末叶、19 世纪的初期,才逐步分开来的。因为那个时候由于蒸汽机的发展,有了热力学;拉瓦锡分离了氧气,开始有了化学;法拉第发表了电学论文,开始有了电磁学;逐步地才把它分成数学、物理、化学三种学科,力学就成了物理里头主要的基础部分。19 世纪的情况,因为力学是那时候物理里头的主要部分,因此,是牛顿力学体系处于绝对统治地位的时期。因此,人们意图把牛顿力学观点贯彻到整个物理现象的各个方面去。在这个时期里头,力学分成三个方面的发展。我还想补充一下,因为早期我们把这三四个学科都叫它是自然哲学,甚至于简称哲学。因此早期的科学杂志都叫什么“哲学学会的杂志”,甚至于叫它“哲学杂志”。这种名词一直延用到现在,国外的数学、物理、化学、力学的学位都是叫“哲学博士”,就是这个原因。它是历史所形成的。当时“四人帮”在 1968 年、1969 年、1970 年间曾经强行把我们订的外国的“哲学杂志”全部取消,说这些杂志讲的是资产阶级哲学、唯心主义哲学,我们讲的是马列主义哲学,因此,这些东西我们都不需要,划掉了好几十本。从那期间到现在我们国内还缺乏这一些杂志,其实它们都是数、理、化的杂志。

在这个时期里头,力学分成三个方面发展:第一,它建立了比较完备的多质点体系的或者刚体运动的分析力学,其中有重大贡献的人,有欧拉,有拉格朗日。欧拉是刚体运动方程的建立者;拉格朗日启发了广

义坐标系。还有海尔曼尔德等建立了变分原理,建立了最小作用原理。这样,就有可能用高度数学的形式总结了 150 年里头分析力学的发展,使拉格朗日的广义坐标成为一个很深刻的、很广泛的一种工具。在这个基础上逐步地把经典的力学,即牛顿力学,发展到更广义的相对论跟量子论的微观物理的学说。它起了重大的桥梁作用,所以不要看轻了拉格朗日在这一方面的贡献。

第二方面,建立了理想的变形体的连续介质力学,就是一方面是固体的弹性力学;一方面是流体的流体力学,有了纳维-斯托克斯方程。这种基础的建立,主要是结合生产需要进行的。其中有重要贡献的人,有虎克,做了弹性定律的实验;还有意大利的学派,做了很多的水力学实验;还有欧拉弄清楚了固体的弹性、三维的弹性定律跟弹性的稳定性的许多现象。这中间有一个数学家有很大的贡献,就是提出了应力、应变的概念。应力和应变的概念是很不简单的三维问题,没有这个数学家的帮助,我们可能还要晚一些时期才能建立起完整的连续介质力学出来。其他像圣维南在 1856 年间第一个用完整的弹性力学体系解决了扭转的问题,计算结果可以广泛地、确切地用到工程上面去。那时候所谓理想,是指线性的问题,是指运动缓慢的东西,指变形不大的东西,一切都可以简化为线性。那时候,就把线性的分析数学提高到一个很高的水平,数学跟力学是难分家的,没有数学就不可能有力学的发展,没有力学的要求,数学没有那么大的工作园地。所以那时候,力学跟数学是并肩发展的,主要的工作是集中在分析方面。在后期,还结合着热、电和光学的发展,产生了统计力学和电磁波动理论,其中最最有贡献的是 19 世纪后期的麦克斯韦和玻尔兹曼。他们的分子运动论跟吉布斯的统计热力学,以后发展成为处理大规模质点运动的统计力学的概念,那时候开始把牛顿力学推进到微观分子世界里头去了。麦克斯韦的电磁场的理论产生了,人们认识了这个光波的传播其本质是电磁场的性质,人们认识了有所谓无线电波。我们认识了光无非是一定波长的电磁波,是近代光学的理论基础。所有这些都是逐步逐步到 19 世纪下半叶才开始认识的。同时在这个期间里,有了能量守恒定律,就是亥姆霍兹的工作。这对于力

学影响也很大,使力学跟其他学科的关系牢固地建立起来了。它的观点可以补充电磁场与光、热和运动的关系。那时候,数学在分析方面得到非常快的发展,建立了像泛函分析、变分法、特殊函数、复变函数、黎曼几何跟矢量、张量的分析。这些都是紧紧结合了力学的需要做出来的工作。这些数学家对于力学的发展作出了很大的贡献。同时还有力学工作者提出了很多新的数学概念,常常开始提出来的时候,并不能为数学家接受,最有名的就是傅立叶级数。当力学家研究一些热导、导热问题时候,发现用傅立叶级数要好办得多,可是并没有什么理论基础,甚至于这个级数收敛不收敛都不太清楚。开始数学家不承认,以后因为它用之有效,慢慢地数学家承认了。而进一步的研究,从数学理论上来研究傅立叶级数的收敛性、可和性,才发现在一定范围里傅立叶级数是成立的,是很有用的,而且给它在使用的方面定出了一定的条件,这就是数学家对于傅立叶级数的贡献。现在,我们谁都晓得傅立叶级数怎么用,收敛条件都是清楚的。在 1850~1925 年之间,亥维赛德(Heaviside)提出了所谓亥维赛德运称子,这也是一个古怪的函数。开始数学家也不承认,后来慢慢地发现它在很多地方很有用,结果也是对的。后来也来研究这个问题,也证明这是一个有效的特殊函数。在研究理论物理的过程里,狄拉克提出了个 δ 函数,开始数学家也不承认,以后慢慢地也承认了, δ 函数的确是有用的。可是这个时期里,我们国家的力学没有发展。那时候也有一些翻译工作,也有个别的人写了力学的书,像康熙时代写了一本书叫《重学》,就是现在的力学,这本书现在还找得到。可是总的讲来,力学没有什么发展,那是为什么?那是因为我们封建统治一直保持了很长时期,阻碍了这个跟资本主义发展相同步的自然科学的发展,以后又受到帝国主义的侵略,在半殖民地条件之下,发展科学是比较困难的,这是第三个时期。

第四个时期,指 20 世纪的上半叶。在那个期间,牛顿力学得到了新的工作园地,非牛顿力学兴起了,就是处理微观物质现象的力学,像量子力学、统计力学等等。因为它处理的问题比较特殊,慢慢地就不是搞力学的人去搞了,统称理论物理。理论物理的名称是从那时候开始的,它

与力学的分野就在于力学是处理宏观物质运动规律的,而理论物理是处理微观物质的运动规律的,同时突破了牛顿的因果律的许多问题,牛顿的绝对空间、时间的概念。这个领域是由爱因斯坦这一批人在 19 世纪的末期、20 世纪初期逐步形成的相对论,开始也把它当作力学。更晚一点,到 30 年代的时候,还有许多的力学家同时也熟悉相对论,研究相对论。所以理论物理跟力学的分野大概是在 20 世纪初期开始。那时候工业技术在两次大战里头得到新的发展。有了航空,对于航空飞机的计算,强度计算要求得很精确。在地面上的机器,你要是不太安全,大一点、重一点关系不大。飞机的重量要求很严格,太重了飞不起来,结构越轻越好,还要保持一定的强度,对固体力学的计算要求就提高了。同时有了中子的反应,中子对于物质材料吸收以后而膨胀,膨胀引起内在的应力,会引起破坏。还有新材料工业、塑料工业,塑料的力学性能跟金属的力学性能差别很大,必须要用另外一种处理办法。有了高温、高压、高速度的物理、化学工业的发展。很多化学工业是在又有流动、又有化学变化的过程里头进行反应的。所有这些就督促力学走进了新的领域。那时候微观的力学更深入地进行到原子核里头去了。相对论又得到了进一步发展,因为天体观察更多了,证实了相对论是有道理的,是符合宇宙间的客观规律的。它们就独立成为理论物理的一个方面。在这个期间最大的发展是空气动力学,因为有航空,后来有宇宙航行,空气动力学的发展是这个期间的特点。固体力学的发展,开始懂得怎样允许有塑性流动,因此就有了塑性理论。开始有了燃烧理论,因为喷射推进是靠燃烧来推进的。飞机有种颤动的现象叫“颤振”,也是这个时期产生的。颤振理论的发展,首先不是飞机,不是航空工业,第一次发现颤振问题是从一座桥引起的。美国西部有一座公路桥,叫托库马(Tokoma)桥,有两公里长,是一个薄板结构的吊桥。有一天,一个新闻记者开着汽车,一到那儿发现这座桥微微振动,可是没有什么地震啊!他就停下来,他带有电影机,他就把这托库马桥从微微的振动,到振动逐步扩大,最后到垮台,一共照了 15 分钟的电影。这是人们第一次看见一座桥会从不振变成振,然后越振越厉害。这个桥远看像条链条,振的时候,又扭又振,又有

个是六个,因为其他的三个与另外三个力是一一对称的。可是在这种微结构的力学里头,它是不守恒的,磁体里头有对应磁极子,因此它有磁矩,力矩平衡的时候,里面有个磁矩,这个磁矩的存在就要和微元剪力之和相等。那么这一套理论就完全不一样,跟我们现在均匀介质分布不一样,这里涉及很广泛的方面,以颗粒组成的物体,复合材料、液晶、磁弹性体跟涡流都属于这一种性质,对它我们不很清楚。

第三个问题是:我们过去的变形理论都是协调的,都是连续的。不论怎么变,变以前跟变以后,不可能是两个物体,都是一个物体,都只占一个空间,都是连续的,我们称它们是协调的。可是自然界有一些现象不是协调的,譬如位错就是这么个情况,譬如断裂力学的问题,它是无需协调的。所以说协调理论应该发展到各种非协调的连续里头,这里,我们的物性理论都是带有局部性的,一点的应力决定了这一点的应变,这是最普通的常识,流体中一点的力场决定了那一点的内部应力跟流动的情况。这个也是,都是单一的外力,促进了单一的变形运动,都是这么个情况,过去的那些都是这样。实际是不是这样?不是的,单一的变形或者流动,这只是初步近似,那么非协调物性的理论是怎么解决的,我们不晓得。还有我们的材料都是假定它没有质变,这个时候的应力决定了这个时候的应变,决定了这个时期的运动,可是我们很多材料不是这样,我们很多材料常是前一个时期受的力决定了后一个时期过几秒钟以后的变化,神经材料就是属于这种性质,它不是当时的反应,它的反应落后于信息,这种叫反馈系统的材料,或者叫有记忆系统的材料,不是瞬时反应。可是我们过去都说是瞬时反应,譬如说,一个振动系统的加速度是决定于那个期间同一时期的变形,这个比例系数我们叫弹性常数,这是一个最简单的振动系数,可是假如这个系统的加速度是决定于前一个时期那一点的变形,不是同一个时期的变形,是隔了一秒钟以后的变形,这样一个微分方程,你怎么求解。这种我们叫它不是瞬时性的材料,是有记忆性的材料,或者是有反馈性的材料。这样的材料是很多的。其他,我们过去总是研究单一物质的材料,可是实际上都是复合材料,是混合材料,中间就有许多问题,像扩散问题,是多种流体的混合问题,多孔介

质问题、渗流问题都是属于这种性质的问题,化工里头有很多很多这样的现象,怎么处理?还有我们过去只研究单纯的力、磁、热、电对物质运动发生的影响,但如果它们耦合起来发生运动,我们将怎样处理?过去我们也研究热、晶体物质的膨胀以后发生的应力,我们叫热应力,过去在热场分布决定后,进一步计算热应力,这样计算了 50 年了,现在发现这样计算并不正确。飞机根据老算法它是安全的,根据新算法它就掉下来,实际上曾经掉下很多大的飞机,在 1968 年不是掉了 many 架!后来研究发现,原来这个理论错了,因为温度的分布并不决定于温度的本身,在变形、快速变形过程里,它也影响温度的分布,导热方程跟变形的分布是有关系的,叫耦合,同样电偶都有这个问题,因此现在复杂多了。我们的任务很多,对象多样化,我们不仅仅要去研究那些单纯的材料,有很多新的材料要去研究。我们现在开始研究生物体的力学,生物体生长是很复杂的,人体里力学问题很多,我讲几个例子给大家听听,都是很古怪的现象。我们研究泥沙沉淀的过程,是水里头包括泥沙,这是一个混合体的力学,可是泥沙老是那么大,不论你流动怎么变化,形状老是那个样子。我们血液里有血球,血球很像泥沙,在血浆里,它在蠕动,好像和泥沙一样。实际不是,在流动过程里,不同压力的区域,血球的大小不一样,形状也不一样,被夹带的这种血球颗粒是随着压力而变形的,这个问题怎么研究?还不止如此,一个血球通过血管的时候,这个血球的尺寸是大于微血管,可是血球还能通过去,这个奇怪吗?它怎么通过的?搞生物学的都晓得变形虫,它用变形虫的办法爬过去,先是头缩得很小钻进去了,尾巴还是膨得很大,以后呢?头逐步胀大,尾巴缩小了它就过了一段,那么一爬一爬就过去了。这个运动我们从前没有发现过,怎么研究这个运动?这个影响很大,这就是高血压病的一个力学研究,力学现在朝着解决高血压病的方向进行工作,你看力学可以管这个。还有我提一个问题,大家想想,在神经里信号是怎么传播的。传播信号,我们晓得不外乎波动,电磁波是可以传播信号的,也有人说这是电信号,叫体电,叫生物电传播神经信号。错了!电的信号速度很高,是光的速度,我们都晓得的。而神经的信号是很慢的,我们针灸都晓得,叫得气,就是你感觉

到慢慢发麻,它的速度大概在 10 米/秒以下。你说信号是声波也不对,声波速度最小也得 300 米/秒,在钢铁里每秒上千米,所以这个数也不对!那么这个信号究竟是什么?这是想不通的,而最近力学有点苗头,有希望能解决它!我们晓得所有神经外貌都是液晶构造。液晶就是液态的晶体,是很规律排列的。一般都很薄,只有几层分子,它们是一面带正电,一面带负电,排列得很整齐,这信号是什么?信号就是这种排列受到扰动,有一个分子倒过来了,影响前一个分子,前一个分子把它扶正自己也倒过来了,又影响更前一个分子,这个信号就这样传播;这个信号的传播可写出一个方程式来,这个方程是什么东西呢?是一个非线性的波动方程。

历史上,力学里有那么一桩故事,就是开尔文爵士曾经在 1879 年在格拉斯哥开完会以后,骑着马顺着运河在游览。我们开完会以后也有一次游览,他们也游览。他一个人在游览,看见运河里船的前头有一个波,往前比船走得稍为快一点,往前在走。那时候是帆船,只有一个波,前头也没有,后头也没有。他看了觉得很奇怪,他就追这个波,走了一段距离,以后这个波碰在堤岸上就没有了。他观察到这个现象以后,就给皇家学会做了个报告,他说:“我看了这个波不理解。”他是研究水面波的,水面波里没有这样一个波。这个还记载在他的全集里头。可是呐,长期以来人们不相信,为什么呢?很多人还想去观察这个波,没有看到,所以有人就说这个老头子糊涂了,虽然过去贡献很大,年纪大了究竟不行了。只是以后,逐步有人研究非线性波时候得到一个方程,没有法子求解,丢了!后来有了计算机,有人用计算机求解这个方程。嘿嘿!通过计算发现有这么一个孤立的波,所以我们叫它“孤立波”,是计算机计算出来的。有了这个,就再找分析解。嘿!隔了两年,有人找到一个分析解,是这个方程的解。所以这个方程叫“孤立波方程”,这个波叫孤立波,孤立波叫 soliton,这是最近十年里头的东西。我们在搞“文化大革命”,人家搞出了一个孤立波,这个孤立波方程和后来发现的原子核聚变反应的一个方程相同,跟它一样能解释聚变反应,更显示了“孤立波”的重要性。

现在我们神经的传播也是这个波,也是这个方程,因此初步这样理

解：神经系统是由于液晶的状态受到干扰以后这种信号的传播，你看这个力学还有点用处啊！也不光是工程力学。力学能研究人体上很多很多问题，能研究植物生长的很多规律。人们过去没有去搞，习惯于就是刚体啊，弹性啦，等等。我们有很大量的工作在前头，我们现在对象多了，条件复杂了，可是我们有有利条件，我们的工具更高明了，我们有计算机，有激光，可以做很多从前人们没有法子做的实验，譬如在 30 年代，要测量一个子弹的速度，那是很难量的。我们在这里放枪，到那里有一个靶子，只能量一下子弹从这里出来到那个靶子的时间，再除一个总距离得一个平均速度。现在可不是这样，现在我们用激光跟计算机，可以量这个子弹每一点的速度。说来很简单，就是一排激光器，子弹通过激光器，一点一点就给它遮住，激光器受遮住的地方电路就断开，信号进入计算机。计算机是百万分之一秒、千万分之一秒都可以记录的，通过这个记录再用电影的慢动作反过来，就可以求出通过每一点是什么时候，速度即可求出。

因此，现在有巨大的工作领域等着我们，我们也有很好的工具。我们今天已经到了这个地步，要很好进行总结了，所以不是像有的人所说的，力学没有什么可搞的了，只是把一些力学基本原理来解决一些问题啦。力学的基本原理你那么清楚啊？所以我说力学正是到了一个关键性时间，正是等待着我们努力去跃进的时候，这是我们的展望。我对这个展望是乐观的，不是像有的人那么悲观。我们还要努力，我们是会有结果的。我的话完了。

关于系统工程的报告^{*}

系统工程在国际上已经差不多有 40 年的历史了,尤其在最近发展得很快。本来在 50 年代我们学校中就应该引进的,可是因为说这是“资本主义”的,所以谁也没有敢吭腔。现在看来是国家的一个很大的损失。到现在为止,连这个名词的含义都不清楚,很多同志第一回听见,报上到现在还没有认真介绍宣传过,只偶然看见一篇文章宣传宣传。实际上,这门学问是一种应用的科学。它应用的方面是社会活动的各个问题,它涉及很多人进行工作来共同完成一个任务,大至全国性的东西,小至一个企业,用这种方法来管理,效果要比拍脑袋好得多。这个科学就是摸索管理中的许多规律,用在各个管理方面、各个组织方面,其中当然包括经济管理。其实还有很多方面可以用系统工程。社会主义国家的很多方面都更有条件用系统工程,因此,它应用的方面很广。凡是用一种科学的方法,用一些自然科学的工具,来处理社会经济各个方面问题的组织和管理,来完成某一个任务的都叫做系统工程。问题虽然多种多样,原理和方法都是一样的,都有它共同的东西。实际上,很多基本的原则,我们可以说人人都晓得一些。因此,我们把许多数学的术语、数学的公式都忘掉,讲一般大家能理解的东西。这样,我们就可以把这样一个思想,在整个干部队伍中来推广,使我们国家的组织管理工作能更上轨道。

我今天讲四个问题:

第一个问题是系统工程的重要性。人们总觉得这是可有可无的东西,而实际上到现在为止,几乎是不能没有了,再没有是不行了的了。

第二个问题要讲什么是系统工程。

^{*} 1979 年 7 月 20 日,在中国社会科学院经济研究所作的报告(根据录音整理)。原载《经济研究参考资料》第 21 期,总第 221 期,1980 年 2 月 4 日。

第三个问题讲系统工程考虑的几个方面。我们叫几个要素,跟建立这几个要素的几个观点。

最后的一个问题是讲它的理论背景,中间包括数学理论。这个我也用通俗的话讲,不用很多数学东西。

一、系统工程的重要性

现在,我们样样都在引进,因为我们技术是落后了。可是到现在我们对于管理技术还没有引进,到现在引进管理技术有很大困难。现在,美国的管理技术是不能照样搬用的,因为它牵涉到社会制度。因此我们必须掌握它的基本原则,按我们的国家制度来进行管理。这样,我们对于这个学问,就更要有深入的理解,不能像我们刚开始第一个五年计划时那样,我们许多管理制度的确是照搬苏联的。这是因为那个时候我们觉得社会制度是一样的,可以放心大胆地照搬。如果把美国的、日本的照搬,那肯定是不行的。它有它的社会制度,是有限制的,我们不能照搬资本主义的管理制度。可是原则是一样的,它的规律是一样的,因此我们可以搬规律。假如这个规律是人家从经济活动和社会活动中总结出来的,这些规律是一样的。至于说如何运用这些规律为你的社会某一个目的服务,那就牵涉到制度了。

现在,大家都在谈要搞四个现代化。大家看见的是技术问题,看见的是哪个自动线不行,集成电路做不出来,技术不行,或者做出来了以后废品很多。那么我们和大家签一个合同,搬一个工厂来,把一整套东西都买回来,这样是不是我们的技术就能上去了呢?我很怀疑。因为它那一套自动线装置是适应于他们的经济制度和它那个社会制度的。假如我们管理跟不上,我们没有符合于我们这个社会主义制度的一套管理办法,同时适应这个先进生产技术的管理办法,那么,这个生产技术同样不行。我举一个例子就清楚了。我们在武汉搞了一个自动生产的轧钢厂,那肯定是先进的。可是我们搞来了,人家给我们装好了,给我们把技术人员都训练好了,但现在不能开工,我们在管理上落后了;这个管理牵涉到全国性的动力管理没有按一定的规律办事,完全拍脑袋。管理落后,

可以把我们整个技术落后的面貌更暴露出来,同时先进的技术来了以后一点办法也没有。就是这么一个情况。我们再讲一个例子。比如某钢铁厂,这个厂的人员是定额的,多少多少人。在我们人事干部的思想上,3 000 人去了就行了。其实给它 7 000 个青工,它也办不起来。人家的多少多少人,都是有规格的。每一种都有一定规格,你不是满足这规格的人,就操纵不了这机器。定额和规格是有关系的。不单是数量决定的,和质量也有关系的。人有数量、质量的区别。现在假如这个厂说我要多少大学生,好,现在我们把全部这方面的大学生都给了你,这个厂也照样开不起来。原因是美、日等国家的大学毕业生规格跟我们的不一样。他们的大学毕业生,首先需要懂得计算技术,会操纵计算机,坏了能修理。而我们的大学里,有的连一台计算机也没有。全国大学,有几台,都是非常落后的,或者是用落后的技术管理着的,而且是经常伤风咳嗽的,经常修理的。使用的办法也不是先进的,是非常落后的,使用价格很贵。这里连教师都没有机会上计算机,何况学生!我们的学生都没有碰过计算机。同样是大学毕业生,他就不能应付这局面。这儿有组织工作问题,不能怪我们水平低,并不是我们的教师都不懂计算机,是没有法子使用。没有计算机,就没有法子教学生,只能空口说白话。而且也不一定让懂计算机的去教计算机,因为组织工作里还有分配你做什么工作的问题。现在我们对专业人员的使用还有大量不对口的情况。因此,这个组织工作就影响到我们四个现代化。哪怕给你把美国所有先进工厂都搬到北京、搬到中国,我们也运行不起来或者用很落后的方式来运行。不只是没有人,材料都弄不来;或者材料的规格不合;给你材料,交通工具跟不上;你生产出来,产品运不出去;等等,一系列的问题。这都属于组织工作。因此组织工作是我们一个很重要的问题。技术,我们可以引进,老实说,这不难。我们多请点美籍华人回来么!最近我有个同学回来,他是美国的一个小公司的技术经理,是搞石油里头的添加剂的。石油里头加一点添加剂,就可以改变石油的性质。比如大庆出来的石油,因为黏性很高,要一路加热,才能从油管里流过来。一路热到秦皇岛,一年要花 150 万吨石油。他说这很简单,只要在石油里头放一点添加剂,

它的流动性就增强。他算了一下,说:你们顶多一年花 20 万美金的添加剂加进去,那 150 万吨石油就可以省了。花 20 万美金,挣进 150 万吨石油,这数学有什么可算的?这个技术问题很可理解。那么我们就花 20 万美金,到美国去买这个添加剂来,这个小公司也愿意,我们也解决了问题,有什么不行呢?当然我们可以研究这添加剂,自己做;但我们先买来,那么第一年就省了钱,再拿几公斤出来做做试验,自己就会了。这个技术问题并不很难。当然第一个要想到有这个东西,那是难的。这儿又是组织工作了。外贸部就要想到你要花 20 万美金,那边外汇中没有你的计划。这边还是要有钱。这两边不搭界。他是一个很爱国的美籍华人。他说实在不行,我可以告诉你,都很简单,还有很多很多添加剂,你一用这些添加剂,你的石油产量可以提高不知多少,而且省不知多少钱。他带回来了三十几个专项,都可以给我们。过去 30 年代学生运动里面他还很进步。他说这个时期他没有在国内,对国家没有贡献,现在他都可以给我们。但这里有个管理问题。谁来收这批东西?将来怎么用这批东西?没有人晓得。因为抓不住合适的人,这里头有错综复杂的关系,使我们寸步难行。现在有人描写我们的景况是像一箩螃蟹,互相抓住了,谁也动不了。所以,系统工程是我们四个现代化中不能不解决的问题。可能是科学规划中最大最迫切的重大课题。

因为我们要建立一个自己的有效的管理系统出来,在各个方面,就要用这个学问。可是我们现在思想障碍很大。第一个跟个人利益不太合适,系统工程不讲个人利益。现在我们管理系统中个人利益、单位利益、小集体利益很重。这就是小生产意识,这个思想很厉害。我们管理的习惯是小生产意识的。封建意识也很浓,家长作风在管理工作中很厉害,再加上什么开后门啊……一大堆问题。各个部门之间很难协调,都是为各个部门自己服务。这当然都是人民内部矛盾,都应该逐步解决的。这是一方面。第二方面就是这个学问没有人晓得,到现在为止晓得的是极少数人。高等学校里还没有这个科目,连这个课程都没有。国外是大批的书籍,只要你有工夫,就有你看的。系统工程用数学,但不是数学系的东西,我们已经把所有工程管理、企业管理的系科全都取消了。

本来上海交大有个管理系,这个系被取消了。清华原来就没有。现在开始重视了。可是不晓得最基本的东西是系统工程。这个课现在没有人开。我所讲的第一个问题就是这么一个简单的问题。它影响到我们搞四个现代化。它的对立面,就是小生产意识、封建意识以及拿着棒子对着你说“你是资本主义”的人的那一套想法。

二、什么叫系统工程

前面我已经说了,每人都不自觉地在搞系统工程。一位妇女,她有个家,她要管家。早晨一起来,她就要安排一天的生活。开门七件事,现在还加上排队。吃饭时,你小孩回家吃饭,你可能回不了家,小孩吃饭还得安排,等等。有能力的人安排得很好,没有能力的人乱糟糟,忙得要死。什么叫能力?能力就是恰当地安排你的生活。这个安排,就是妇女的系统工程。最基本的观点是:用你一定的资源(resources),你的财力资源、人力资源、你家里的房子,来满足你生活的要求,使你家庭过得很和睦、很随便、很顺利,使每个人都可以在工作上学习上发挥最大积极性。这是一个系统工程,可这个系统工程一个人就能解决了。她一动脑筋基本上就可解决。时间长了,她也习惯了,她晓得什么时间去买菜花的时间最少,今天要买什么菜,或者买点挂面算了,简单点,等等。小孩子换衣服了,放在星期天洗,她自己都在安排这些工作。最有效地把你的精力花在这个上面,这是一个系统工程。系统工程,说清楚了,就是为了满足一定的任务,组织资源、人力等条件,来完成某个任务,这叫做系统工程。

那么,在小生产里面也有系统工程。一个木工,他给人家做一张桌子,给他一点破材料,他心里一想,哪个材料做腿,哪个材料做面,他早已划算了。他有时图样也不要,有时先做腿,有时先做面,看情况,最后拼凑起来。这个过程,他的思想过程,是符合系统工程要求的。不过它太简单了,甚至用不着写出一个计划来,任务很简单,就是做一张桌子;资源也简单,就是几块破木板;工具也简单,就是锯子、刨子、凿子几样工具。人力就是他一个人,顶多有个徒弟,这个徒弟呢,他会安排着。“嗯,

你给我干这个吧！”他晓得这个徒弟会干那个。干完了，“你干这个吧。”要紧的工作，他自己做。木工都有这个本事的。愈是好的木工，规划得愈好，能用最少的材料，能做板的材料决不让它做腿，能做腿的材料，绝不能让它做面，他事先都规划好的。差一点他可以拼凑起来，哪个地方缺一个腿，他一拼，再一抹油，你根本不知道那个地方拼了一个腿。很多好的木工都有这本事。现在我们有好多同志不是为了结婚在家里做家具吗？他也整天在搞这个系统工程。所以系统工程不是新鲜的东西，说清楚了，就是给你一定的资源，在一定的资源、人力、物力的条件下，在一定的时间里，完成一个任务。那么简单的系统工程，我们当然无须弄这么多理论。

我们所讲的是复杂的、一个参加人数众多的、需要的物力很多的，把这些物力、材料组织起来，去完成一个任务，我们叫系统工程。现在我们更需要这样，因为我们的规模愈来愈大。尤其我们的社会主义国家，最适合搞系统工程，因为每件事情规模都很大，特别像计委啊，经济方面，那都是全国性的活动，多方面的。你怎么组织好，这是一个很值得研究的问题。所以系统工程说清楚了就是组织和管理的科学。

什么叫工程？工程就是完成一个任务。因此系统工程里有一个很重要的东西，有一个目标。作为一个工作，都有一个明确的目标。这是系统工程一定要的。给你一定的资源，资源包括人力……各方面都在里头，要用最小的力量，最短的时间，把工作完成得最好，这个规划跟它的执行，是系统工程搞的工作。长江葛洲坝工程是个工程，那是一个具体动土的工程。而系统工程的工程是广义的，具体说来是个有目标的任务。要完成一个任务，要组织人力、物力，在一定条件下完成任务，用最省的人力、物力，最快的速度，最经济的办法，最有效的办法去完成它。

那么为什么叫系统？系统两个字，跟我们普通的常识是有区别的。我们常识里的系统很多。比如我们身上就有好多系统。什么叫消化系统，大家都知道是嘴、食道、胃、肠、……、肛门。这个系统清楚。身上还有其他的系统，什么呼吸系统啊，血液系统啊……好多系统。这许多系统之间是有关系的，这一点一定要搞清楚。我们研究一个问题，必须把

问题的有关部分孤立出来,才能研究。你不能把一个人整个身体放在一起研究消化系统,这个消化系统就研究不清楚。把消化系统和人体的其他系统暂时分离开来,我们光研究这个过程,这个操作过程,我们就可以研究了。可是,其他的系统对它还是有关系,它对其他系统也有影响,这个关系既要把它割断,又要把它联系,才能研究。这一套办法是系统工程最有效的办法。什么叫“既要把它割断”?这就是你要研究、你要完成任务的这个组织系统,要自己很坚决地把它和其他系统割离开来。比如我们办这个厂,当然只管我们这个厂。可是离开了其他的厂,这个厂也办不起来。可是我们管的只是这个厂。因此这个系统跟其他系统的关系是斩断了,可还要考虑它的联系。这么一个办法是经典的牛顿的办法,牛顿就用这个办法,是力学里用的办法,叫隔离体办法。牛顿研究太阳系运行的时候,他就想了一个办法。地球和太阳之间,是有联系的,就是引力。在这引力条件下地球绕着太阳转,他是可以研究的。可是地球还挂了个月亮,这个月亮也对地球有影响。怎么办?我们暂时把月亮扔了,暂时斩断了地球和月亮的关系。他先研究地球绕太阳转的情况,地球变成一个孤立的东西,只考虑对太阳的影响。可是必要的时候,我们把月亮对它的影响也放进去,这样,地球就受到一点干扰。小的干扰是在大的运行里面出现的,所以地球走的并不是完全绕圈子,它是这么走的(用手势比喻),这个小动作就是月亮对它的干扰。他是这么研究这个问题的。这是我们力学里面经常用的办法,就是把这个系统隔离出来,再考虑别的东西对它的影响,这影响小,不是主体。但有的时候这干扰也很重要,可以影响很大,那我们用另外的办法再考虑。可是我们考虑一个系统跟另一个系统之间的关系的时候,是用一定的模式来考虑的。比如说吧,一个厂进行什么生产,要用那个厂的原料,假如原料成本降低,那产品的成本就低,对于这个厂的生产就有利。这就是一个关系。这个关系是由一定的数学形式表示的,我们称之为“影响系数”,或者“影响函数”。另一个系统的某个事物,在你这个系统完成任务的过程里,它所产生的关系,用一些数学形式来表示,这个数学形式不是随便想的,可以根据客观的统计、捉摸把它弄出来的,这是讲“影响函数”。所以,这

个系统在自己进行工作时,外来的其他系统对它的关系,我们都用一个数学的模式来给它表示。这叫系统,它既是独立的,又是有联系的。第二,每一个系统旁边,有许多跟它相互并列的系统,上面还有管它的总系统。比如一个厂吧,它有许多姐妹厂,一个首钢,一个上钢,一个……它们之间都是独立的;可上面有个总系统冶金工业部管它,总系统对它有若干要求,它对总系统也有若干要求。中间也有关系,一个是领导关系,一个是协作关系,都用关系的函数来表示,用一定的模式来表示。当然,冶金工业部还得根据总的计划,一层一层上去。每一个企业底下还有子系统,它这一个系统可以分成各种部分。比如消化系统中有一个子系统叫做胃,它是一个专门系统,有人专门研究胃的工作过程,有人专门研究食道的工作过程等等,你可以分开考虑。所谓子系统就是部分的系统。厂里头也是这样,比如石景山钢铁公司,有十几个分厂,轧钢的,炼铁的、炼焦的等等。这个子系统只管它自己这部分。可是得考虑它和其他子系统之间的关系,所以这个关系又分下来,一节一节分下来,愈分就愈细,又是互相之间的关系。这些关系都是以一定的数学形式来考虑的,这是系统的一个方面。这个,我想跟大家意见还是比较一致的。

有一点意见不一致。系统工程里考虑工作对象,把工作对象考虑成为一个系统中间的一个部分。工作对象,比如炼钢,那就是炼钢的材料和钢的产品,这就是它的工作对象。消化系统,要考虑吃的东西,食物的对象是我们消化系统应考虑的一个部分,而不是另一部分。这是系统工程和我们一般人想的系统不一样的最重要的方面。考虑把工作对象作为系统的一个内容,而且是作为一个重要内容来考虑的。这一点是很重要、很不同的地方。

说了半天,还不解决问题,因为都很抽象。因此我愿意从历史上举若干例子来说明系统工程是怎么来的、怎么发展的。大概系统工程在20年前行之有效的东西,是下列几个方面:一个是工业管理;一个是军事行动;一个是科研领导和规划。这个,人们在20年前都已经懂得了。最近就往社会方面发展。社会里头各种各样大规模的事情,包括经济规划这一方面的工作,它都可以指导,它都有应用的价值,而且现在美国用

得特别多,连美国跟苏联的核谈判,也用这个东西。就是我和你谈什么?谈到哪个地步?我不吃亏,对你却有影响。它用计算机就这么研究。将来有多少希望,我在这里要他多少钱,把我这个谈判下面吃亏的地方补足,它都有那么一套东西。设在美国国防部有一个“系统工程小组”,就是干这个工作的,一边外头在谈判,一边后头在算。那边提出什么来,我就算:我同意了,其后果怎么样?值不值得?有没有办法克服?就研究这个问题。总统竞选,也有系统工程的人员在那边坐着、研究着。什么地方,到哪儿去竞选,第一场在哪儿发表演讲,每个阶段里讲什么问题,同时还不断进行民意测验。民意测验是系统工程收集信息的一个办法。先到哪个州去演讲,在哪儿演讲,发表什么样的谈话,中心的议题是什么?什么时候提出,早提不行,晚提也不行,两边斗法,就可以用系统工程。不过我现在主要讲这么三个方面,即科研计划、军事、工业管理。我要举若干例子跟大家讲。为什么能用,为什么非用不行,我就讲清这个道理。

1. 科研计划方面

系统工程最有效的、第一次成功的实践开始于曼哈顿计划(Manhattan Project)。那时还没有人叫系统工程,根本没有这个名词,不过他们第一次采用了这种方法。那是在1940年,爱因斯坦跟费米等几个科学家认为,在实验室里已认识到,可以有一种东西,叫原子弹,能使它爆炸,人能控制它。可那时原子材料完全没有。怎么控制这个机构、规律,我们都不清楚;只晓得理论上能用,而且可以很快地用它。这一点搞理论自然科学的人都清楚,就是国家没有这一批人,因为那时工程师都不懂得原子核,不懂得核物理。他们向罗斯福提出来,说你不干也不行,因为那时物理学家谣传说德国在干。大家清楚,这东西在战争后期是要起作用的。提出来以后,罗斯福这人眼光比较远,说干。干这个事情并不简单,有很多知识是无知的,只有实验室里做的那几个实验,就是在一个小的实验室里,有一个德国女科学家搞出来一个实验证明,一个中子进入铀原子 ^{238}U ,这个铀原子分裂后可以变成2个中子,只证明了这一条。这2个中子再进入另一个铀原子,就又分裂而获得4个中

子,以后4个变成8个,这样连锁反应下去,一下就能爆炸,因为每一个中子都带了能量。可是也有中子跑掉,出来两个,可能跑掉一个,跑掉的一个,它就不起作用了,所以你要控制它,你要使它生出来的跟跑掉的一样,就控制了它;假如生出来的比跑掉的多,那么就要爆炸;生出来的要比跑掉的少,那就停掉了。问题是怎么控制。而这个原子核的材料铀238,工业上还没有人能大量生产。实验室里容易做,只要几个毫克。要做原子弹,就要几磅、几千克这样的材料。从几毫克到几磅、几千克那是性质完全不一样的。当问题提出来了以后,就请了美国理论物理学家奥本海默来规划和领导这件事,考虑怎样把美国的人力组织起来,以最快的速度完成这个任务。当时只给了10亿美元,很少。从他开始组织,一直到1943年材料做出来,1944年爆炸成功,花了三年半,一共动员组织了1.5万个科技人员,管理人员不在内。所谓科技人员,都是大学毕业后工作了好几年的、各种职称的人,一共1.5万个。这个计划叫曼哈顿计划。他在执行这个计划时碰到很多困难,因为都是前人没有干过的事情,同时也是第一次把不同行业的专家组织起来,搞从来没有人搞过的事业,专家之间的语言都不通,那些学物理的,跟学冶金的通不了话,说的话都不同。还有搞数学的,搞各种各样工作的人,他们的知识面都不一样,可是他要把他们组织起来共同来完成这个任务。这是一个很复杂的组织工作。还有一条就是要极端保密,不能公开。如果按我们这样查祖宗三代来搞,那么这个事情就成不了啦!因为这个纯之又纯的人,按他们的组织算,就得是19世纪80年代到美国住下的,这是首要一条。下面还有什么出身……那就根本没有这么多人。所以他们就先把能动员的人都动员进去。有技术水平的人出身不一定好。所谓好,跟我们的标准也不一样,他有他好的标准。还有不能集中在一起,一集中在一起,要临时盖起房子就不行。1.5万人,还要好多实验室,盖房子就要盖一年多。你看这几个条件:任务很紧急,知识完全没有,很多人连原子核的理论完全不清楚(当时好多人是搞工程的),这么一种局面。他把它组织起来。他开头一个研究所也不办,只有一个小组,把问题仔细研究,分成若干若干问题,每个问题底下再组织小组,研究每一个问题里要解

决的问题还有多少多少。这样,把它分开,分成好多好多问题,成千上万个问题,将每个问题找合适的人做,找的时候这个人原来在哪儿做某个工作,还在那儿做,根本不用调。我给你钱,我给你提要求,你得帮我解决这个问题,要有正确的答案。所以人们在那时谁也没有调工作,在哪个学校里教书还是在哪个学校里教书,可是给你增加了一个任务,就是研究某一个问题。他的要求就是这么一个,经常地将研究的结果汇报上去。跟这个研究工作有关的别人的研究工作,他通过一定的渠道送到那里去。到第二年才开始有个实验中心叫洛斯阿尔玛斯,也才有一千多人集中起来,因为有些工作非得集中干不可。什么工作呢?就是生产原子材料。要知道人类从来没有这么一个冶金工业,因为原子核材料实际上很少,是从一些铀矿里来的。铀矿呢,从前也并不很清楚,找了一批地质人员,在加拿大找到了铀矿,就在那里开采。开采过程中还不懂得保护工人,使好多人受伤。开采出来了,怎么炼,又是个问题,从来没有碰到过。大家提方案,提了六七个方案,就是如何从这个矿中得到纯粹的铀的同位素。这六七个方案谁都没有干过,都是拍脑袋。当然,这都是专家在拍脑袋,他们还有炼其他金属的经验。这些办法中有几个办法是从来没有人作为冶金用的。按有些人的想法,应该从这几个方案中挑选一个最好的、最可靠的、最有希望的、最省钱的、最快的方案。他们讨论了两个月,没有得出结论,因为谁都没有试过,研究哪个方案都相互争执不下。后来奥本海默说这样:我们首先考虑时间和考虑一定要把它搞成,其他都是次要的。因为这样一个原则,决定六七个方案同时上,找几堆人分头做,谁先搞成就是好的。到1943年一年中间,六七个方案都成功了,有的当然贵一点,有的产量小一点,不过它都能生产。摸索建厂,当然要做大量试验,先分头做试验,以后才规划厂,以后就成功了。第一年就生产了1千克铀,是用六七种方法生产的。到第二年(1944年)5月1日,在白沙沙漠里放了第一颗原子弹,这1千克铀就用完了,一年生产的放了一个原子弹就用完了,不过它成功了。他的组织工作是非常仔细的,这是一个理论问题。后来奥本海默因为他反对侵朝战争,从而受到政治迫害就不管事了,不过美国人还是很想念他,这个人是很有才能的,

很有管理才能。他从这一套管理过程中总结出一套规律。这是第一个系统工程,用系统工程的眼光决定问题,是成功的。他能把这 1.5 万个大专家放在一起,可是又不让他们联系,又有联系,每个人发挥其积极性。据他们统计,这 1.5 万人中,有 50% 是外国人。美国人是这么干的,只要你不泄漏机密,他就让你干。当然我们不去讲原子弹的社会影响,我们只讲这个工作是做成功了。这是第一个较大规模的、综合性的、组织起来搞一个有目的的科研,这是全世界第一次,而且不是把人都集中起来;把人集中是一个很坏的设想。因为第一你得盖房子,一盖就盖好多;第二,这个人给你干了一桩事情,可能第二年他的专业就没有用了。因为一个过程里头需要他那专业知识,到下一过程这个专业可能就没有用了,他这个人就窝工了。可在别的地方可能需要这个人,就要不到了。所以我们现在这样的对科研专业人员的管理办法是有缺点的。现在我们的人是冻结的,你到了科学院的那个所,你就一辈子在那儿了。你要是在几机部里搞的,你一个过程要他,下一个过程你就不要他,他就只好改行,他原有的专业知识就没有用了,只好从头搞起。比如我们现在搞的那个加速器,里头有搞电机的、机械的、各种各样的人。在加速器建造过程中需要这些人,你把他们都集中是对的。可是加速器干好了,这些人就都没有用了,就要有另一批人上去用加速器了,这批人就窝工了。所以国外用人,不是把人固定在哪个岗位上,是把人固定在哪个专业上。这是很重要的一个用人办法,这是系统工程里用人办法的一个最关键的东西。这样才能发挥每个人的专业,使他在一个大规模的工作里面能起骨干作用,每个人都是骨干;而且这次搞,他能起骨干作用,下次他在别的地方也能发挥骨干作用,永远是他那个专业。他的专业知识不断地积累,愈来愈好,他应付的能力就愈来愈大。国外就是这么一套搞法,这和我们不一样。

第二个科研方面有名的、规模更大的,叫阿波罗计划(Apollo Project)。这个计划的出现,是由于 1957 年苏联搞了一个人造卫星,人上去了,美国人着急了,检查出美国在科学技术教育方面落后了,所以就要抢先载人登月球。达到这个目标,要比载人到空间航行更进一步。这

里问题多了！先放一个不带人的卫星上去，这是一步。这我们做到了。第二步，人在里面上去，再回来，那是另外一事情，这里面有很多问题，牵涉到人的体格，医学上面的很多问题，再加上回来要不烧掉。我们晓得很多东西回来时要烧掉，最近自动掉下来的科学实验室就烧掉了。可是载人的飞船，回来不能烧掉，烧掉人就不行了。不烧掉这一条要求就很高。你要离开地球到月球，走的轨道就不晓得。你直对着月球飞是不行的，直对月球飞可能撞在月球面上，就完蛋了。它有一定的轨道、多种多样的轨道，最后发现用 8 字形的麻花轨道最有利，最省燃料，消耗最小。登月球的问题就更多了。谁也不晓得月球上是什么样的，有过相片，但月球上是硬邦邦的呢？还是松松的？那差别大了。如若是硬邦邦的，就要考虑下去时轻一点，重了就撞碎了。假如很松，问题就更大，你人一蹭就陷进去了，谁知道要陷多深呢？还有月球又小，到月球上去你再像在地球上那样走法，那就要像跳高似的，如果你用那么大的力，可能一跳五六米就过去了。所以人怎样在月球表面上生存和行动，本身就有很多问题。月球上还上去个车、上去个飞船，将来从月球上又怎么回来啊？有一系列的问题。所以这个科研计划很复杂，包罗万象，很多医学界人士参加了这计划，一共动员了 42 万科技人员，比刚才那个 1.5 万人大了 28 倍。这 42 万人中不包括青工、管理人员，都是大学毕业多少年、工作多少年的各个方面的专家。42 万人组织起来，花了几百亿美元，牵涉到 1.2 万个科研机构和生产机构，规模很大，搞到 1972 年，成功了。它那套东西完全是按当时系统工程的知识和技术，指挥一切，组织这工作，是有意识地那么搞，因为那时系统工程成熟了，这和曼哈顿计划不一样。曼哈顿计划时系统工程这个名词还没有，虽然奥本海默一直用这些基本思想在指导这个工作，可是他自己也不知道这叫系统工程。到阿波罗计划时就明确提出来了。阿波罗计划的指挥中心是用系统工程的，用计算机指挥的。那时候（60 年代后期）美国的计算机已经很好了。它是把现代的计算技术，结合了系统工程的许多基本思想，在指挥这个工作。这可以说是对系统工程的一个最严峻的考验，成功了，的确成功了。他们考虑很多方面，而且有一个特点，跟曼哈顿计划一样，从来没有把人

都集中在一个部门领导下搞,是分散在全国做的,都在各个人的本单位做,只成立了一个主要的研究所。这个研究所还不是为阿波罗计划而成立的,是原来我在那儿工作时候就办的研究所,叫喷射推进研究所 JPL。这个研究所我在那儿时 3 500 人,到阿波罗计划时发展到 7 000 人了。它只管了几个根本的、主要的部分,其他一切都包在外面做,医学方面它根本不管,它把计划都分散出去了。你看,它 42 万人里头只有 7 000 人在一个机构做。我们做任何工作都是先集中,人力上浪费很大。他们不这么做。他们都叫什么什么计划。“计划”,就是系统工程的一个指挥的纲领,有目的、任务、资源、规定,有时间的规定,有指挥部,就是指挥系统。这个指挥系统内,人并不很多,领导人一般并不一定是专家。阿波罗计划的指挥系统,是国防部指挥的。国防部有一个以计算机为中心的系統工程工作部门,这个部门里有一部分是指挥阿波罗计划的。

2. 军事方面

军事中有名的几次战役是用系统工程的思想指挥的。一个叫大西洋潜艇战役。第二次世界大战开始以后,希特勒已经占领西欧,英国还撑着,丘吉尔还在那儿像老虎似的把着关,不投降。美国开始支援英国,用租借法案(Land Lease)支援英国,把美国的民用物资、军用物资运到英国去。运主要是靠轮船从大西洋里过去。德国人就搞了一个潜艇战役,在大西洋里拦截运送物资的船只。1939 年宣战以后,1940 年,1941 年,两年中间美国的船只损失很大,存下的只达到原来船只的 20%。希特勒的潜艇还是很厉害的。美国到后来只剩一个办法,就是船不要,要人,拚命救人,因为海员不容易培养,培养海员需要很长时间。可是这样也不行,因为运输能力愈来愈减少,要想办法对付这些潜艇。后来有一批数学家出来研究这问题,说怎么样可以。第一,搜索潜艇,用数学的原则指导飞机找潜艇在哪儿,找潜艇出没的规律,从它出没的规律中回过头来计算潜艇在哪个区域,怎么发现它。第二,搞了一个护航制度,这就是把所有运货船只集中起来,比如说一次开 50 条船,用十几只驱逐舰、巡洋舰两旁夹道保护着走。后来又搞出了一个分段护航制度,就是美国到大西洋中部那一段,1/3 由美国管;那边 1/3 由英国管,负责接;中间

那1/3由一批海军军舰整天呆在这个区域里转圈。这样一来，德国人的潜艇作用就小了。不过还有损失，但已缓和了运输困难，战胜了德国的潜艇。这完全是用系统工程研究出来的一套办法。同时，再用空军在海面上搜索德国潜艇，然后炸它。这是系统工程的人搞的，立了很大的功，要不然，国防部也不会那么重视这系统工程。它立功了，船只保护下来了。后来，美国又搞了新的造船方式。把船只全部补充上去了。这是第一个用系统工程得到效果的，在第二次世界大战里是一个很关键的事情，要不然这个战争是很难胜的。因为那时航空运输能力谈不上，主要还是靠海运。

第二个完全是系统工程搞的军事行动，是北非登岸计划。这是1943年的夏天，那时预备反攻西欧，可是对西欧没法子反攻，因为德国人在那里的防御非常好，陆地运输也方便，反攻他很困难。所以想法子要从地中海绕道，打它的弱点——意大利。可是直接在意大利登岸也不行，所以先得在北非扎住根。那时苏德战线正在剧烈进行战斗。在北非，德国有个元帅叫隆美尔，率领一支远征军。德国有三个坦克兵团在北非区域，即现在的阿尔及利亚、突尼斯、利比亚。德国人坦克还是很厉害的。还有飞机大概五百多架，控制着地中海区域，防备力量还是很大的。你要在这儿登陆，就有很多问题：你登岸的力量，一定得超过这三个坦克兵团，要不然你上去他就把你赶回来；第二，你走的路上一路都是障碍。大西洋里有他的潜艇，到了滩头阵地有希特勒的海防大炮，上了岸还有三个坦克兵团，再加上地中海的空军，全部优势在德国方面。这个仗怎么打？只有这一条路可走，其他路更长、更没有办法。这儿还是希特勒的弱点。这就需要扣掉海上损失、登岸损失以后，还要有优势能对付这三个坦克兵团。你想，要运多少人去，多少物资去？这些东西先得要准备，要集中。你哪儿一集中，希特勒的空军就来炸，那时希特勒的空军在西方还是优势，所以哪儿都不能集中。你至少得要几十万人吧？几十万人再加上军备补给，那可不得了。你集中在哪儿一下就看出来，你就失去了出其不意的条件。你要集中的话总要把船运去吧？往哪儿去，人家一下就查出来了。于是他们就要规划这个战斗怎么进行。最后

他们想出一个办法，不集中。把英国各个港口（每个港口不过一二万人），再加上美国大西洋各个港口，还有百慕大这许多岛屿，都集中少量的人，这样敌人就看不出来在集中。以后都计算好，分别起航达到指定目的地需要多少时间，把这些人分头在不同时间出动。比如，美国的出动早一点，英国的出动晚一点。时间表全部安排好，把路上可能受到的损失都考虑好。比如大西洋里，从美国出动的，损失要比英国出动的来得大，因为要经过很长一段大西洋的路程。英国出动的，要比百慕大那个岛里出动的，损失还要大一点，因为英国各港口受到更多的监视。损失最小的是直布罗陀海峡那一带出动的。在不同的时间出动，还要考虑大西洋气候变化无常，只能挑一个大西洋气候比较稳定的时间进行，那时气象预报又不准确，还有其他多种多样的问题……他们提了三个方案，挑选哪个滩头阵地、哪批人先上、哪批人后上。后来同盟国军司令部挑了一个，把所有的损失都扣掉了，最后成功了，隆美尔问题解决了。

这是一个军事计划，不懂军事的人管的一个计划，成功的计划。从那时起，美国的国防部就经常有一批人在搞这个工作。不过他们搞的还是正规战争，后来失败了两次，一次在朝鲜，一次在越南。他们碰到我们这一套人民战争，没有经验，这个账他们算不对了。不过从这个战争，他们还是积累了很多经验。所以碰到我们这样的国家，他们现在不敢随便动手。它的算法和正规战争完全不一样。这是第二个军事行动的例子。它有一定的目标，要组织人力、物力，达到这目标。它可以提出很多方案，每个方案都有优缺点，方案里都说得很清楚。经过计算以后，这次花多少人力、多少钱打下这个仗，损失多大，后果如何，一条二条三条，最后把这些都交给参谋部，参谋部就根据这个进行研究，最后根据大的原则决定方案。在指挥的过程中还是用这一套办法，时时刻刻在改变计划，计划改变是经常的，所以要用计算机；因为一个问题出来，你如若要算半天，算两个月，才有结论，可能这个事情已经过去了，方案也没有用了。所以现在用计算机，一个问题出来，一个事先没有估计到的偶然事故一出来，就应该进行计算，希望在三个钟头里或更短的时间内就把方案和结果、后果都提出来，供领导考虑。因此要用计算机，计算机比人算

得快。

3. 工业管理方面

工业管理方面一个很突出的事情,就是第二次世界大战中造船工业管理中的一次革命。那时,美国、英国船只损失很大。美国从珍珠港事件和参加太平洋战争后,损失很重,运输线拉得很长,船只很不够。按旧式的,就是按现在我们这种造船的办法,一个船台上面造一条船普通要四个月,从前美国、英国的造船工业都是这个样子。这完全不能适应当时战争的需要,因为那时船沉得很快,一天就沉十几条船,船愈来愈少,所以必须改变造船工业这种现实。最后由系统工程的人想了一个办法,很简单,就是福特造汽车的经验。福特造汽车用装配线,这是美国人发明的,欧洲人原来不搞装配线。欧洲工业先发展,美国工业到20年代还不是很行的,可是福特成功了,他搞的办法就是装配线。这装配线有两个好处,一个是快,一个是省钱,使汽车可以普及,而且生产量大大提高。所谓装配线,就是先把部件分头做,做完了到装配车间装配就完了,汽车就出来了。系统工程的人就想了一个船只的装配过程,改变了造船工业的面貌。那时候一条船有七条装配线,装配线的各个部件分布到全美国,美国各个工厂做的各种部件,有的做一个轮子,有的做一个大轴,都是专业化的,完全做得一模一样,尺寸要求都很严格,最后用火车运到装配线的头头上,逐步装起来。比如内燃机,先是零件,到内燃机装配线上装配出来一个内燃机。有的装配线装一个船体的中间部分,就在岸上把钢板焊起来,焊成中间那一段;还有的装配尾巴那一段,船头那一段;还有的装配主机的轴呀……那一大套。完了以后吊装,放在船坞上,再把它焊接起来,就是这么一套东西。这一下,第一个月试下来,一个船台上一个月可以出一条船。到第二个月,一星期出一条船。实行半年以后,一个船台每天出一条船,一下就把局面扭过来了。一个船台一天出一条船,美国有四五十座船台吧,那就不得了,一天可出四五十条船。那个船叫“自由轮”。现在我们从国外买来的破船中有这个自由轮,很便宜,因为它是装配的。第二次世界大战一结束,自由轮的生产就停了,因为生产下去太多了。有好多自由轮就赠送给了各个国家。现在第三世界自

由轮不少,是美国作为租借物资送给各个国家的。蒋介石也捞了不少自由轮。现在我们这里也用了不少自由轮,叫“Liberty Ship”,代表那时和希特勒打仗是为自由而战,这是罗斯福的说法。这是造船工业管理中的一次革命。这样使轮船很便宜,造的速度很快,扭转了战争的局面。要没有自由轮的发展,连苏德这几次大规模战役,也是难打的,因为多少物资要送去啊!就是靠这批船送去了不少物资。这批船停在那里,上面航拍出来像蚂蚁似的,港口里一大堆这种船,后来大西洋、太平洋中充满了这种船。希特勒也只好放弃了潜艇战,他没有办法,船太多了。所以工业管理中要完成的任务就是要赶上沉船的速度。在潜艇那么厉害的时候,沉船是不可避免的。它造的速度要比沉的速度快,那就成功了,后来居然扭转了局面。再加上护航,减慢了沉船的速度。一天沉多少船,系统工程都有计算,每天可以生产多少船,什么时候可以超过沉船速度,到多少天以后船只的运输量就够了,等等,它有一套计算。造船速度不够的时候,它就想办法改变这种装配线,使装配速度更快。它的目的只有一个:要快。系统工程的目标就是要快,很简单。快当然省钱,这两桩事情是一样的。

刚才我讲的这三个方面,都是第二次世界大战初期、末期的情况。只有阿波罗计划是最近 20 年的情况。可是现在系统工程不光是用在这些方面,用得很广了。比如说竞选、核谈判都用这个。还有一个,我不晓得大家注意过没有?就是北大西洋公约的司令黑格少将在 1975 年、1976 年的时候声明过好几次,他说假如苏联要打西欧,只要它开始打以后一个月内北大西洋公约方面作出恰当的反应(所谓恰当的反应,就是美国通过了宣战的法案,以后把军队运到西欧去),这样,他就可以抗住,这个仗他就不输了。他在那儿可以抗一个月,一个月以后他就守不住了。假如一个月以后没有反应,他就不负责,说这个话就是这意思。到 1977 年的 6 月,他又发表了一次讲话,他说“我现在只能负责三天”,三天里面没有反应,下面他不负责,叫三天反应的一个警告。这个三天跟一个月不是他随便说的,是经过仔细计算的。经过系统工程的计算,就是先由大西洋公约下面指挥的部队对抗苏联的进攻,大概可以抗一个

月，一个月以后就要退得立不住脚，就得跑了。现在只剩三天。什么条件促成他说“只剩三天”？他有根据的。主要根据是两个：第一个，苏联的坦克比原来的重了，射程远了，数量也有一些增加，这是一条；第二个，在5月份，苏联搞过一次调防演习，实际是真正的调防。在一天里头从捷克、民主德国和苏联的本部之间，调动30万军队，是用运输机调的。这两个就改变了他那个系统工程的一整套计算。算下来是三天。为什么？因为他打仗是一个波一个波往前打的。第一批坦克上来，打上100千米，人力、坦克也损耗很大，再用这批坦克不行，立刻要调第二批上来，又是新的坦克和新的人，再推进100千米，以后再第三个波……以此类推。以前组织第二批人上来的时候，后头有个运输问题，如何把新的坦克和人运到前线，因为人家这边有抵抗。用过去运输的条件，一个战役后到第二个战役开始，中间可能得隔一个星期，也可能得十天，所以三个战役下来就得一个月。三个战役后，这里就没有办法了。现在一个战役完了，第二个战役就接上了，根本不等，因为飞机直接运来了，这个飞机连坦克都能运来，当然是情况完全不一样，所以只剩三天。他是经过详细计算的，这计算不是空的，都是实实在在的，都很仔细，一架飞机能载多少重量、多少人，大概同时能用多少架飞机，停在那儿……都有计算。两边都在算，一个不假。现在再加上逆火式飞机啦，巡航导弹啦，那一套东西一上去，那性质根本就完全变了，现在只剩三天。所以他们在各方面都用这系统工程。

是不是光美国用？不，苏联也用！日本也用这个。哪儿都在用。日本情况我说不多，因为内部情报我看不见，但我可以看外部情报。我记得1977年日本有两个电影，一个叫《陆沉》，一个叫《油断》，是内部电影。《陆沉》是讲日本某地有个小岛忽然沉了，海底地质勘探队乘一个潜艇去看陆沉，发现岛的最高峰已离海面一百多米。经这批地质工作者和一批搞系统工程的人一起搜集资料、进行研究，最后觉得日本的几个岛，地质结构发生巨大变化，在一定条件下还要沉，而且在发展。他们根据许多现象进行计算，证明：还有一年零三个月，这四个日本岛全都要沉掉。为此他们向日本内阁建议：岛救不了，但日本人可以救。日本内阁开头

不相信,不同意。隔五个月,美国地质学会年会上有个地质学家通过人造卫星的观察,说日本的岛要沉,时间跟他们预测的一样。这下日本内阁着急了,就决定向全世界呼吁,把日本人运出来。日本内阁首相首先带国宝到澳大利亚,因为那里有 900 万平方公里面积,而人口只一千万,要求把几千万日本人运到澳大利亚,澳大利亚首相不答应,说顶多收 50 万。后来日本首相又到其他地方求救,都不行。最后向联合国呼吁,许多中小国家答应个 5 万、10 万都不解决问题。岛上有钱人乘飞机走了,老百姓没有办法。正在还剩下三个月的时候,电影上出现北京党中央开会,决定全力营救日本人,用一切工具,动员所有船只……把日本人运出来了 6 000 万。电影结束时,日本四个岛慢慢沉下去,而在中国原野上有一节火车在前进,里头坐的都是日本人……这个电影中间讲了许多系统工程师工作,没有看的,希望大家去看看。

第二个电影叫《油断》,故事是说日本有几个青年,认为日本石油供应太不可靠,应储藏石油于海底,把油库筑在海底里。日本政府不同意。后来这几个青年人自己在外边宣传演讲,得到一个老板的支持,就开始用计算机等许多设备研究这样一个问题:假设伊朗的石油断了(日本的石油 92% 来自伊朗),在阿曼那一带的水道里沉了一只 50 万吨的大油船,水道堵了,石油运不出来。而要把这个大油船捞出来,得七个月。在这七个月中伊朗石油到不了日本,日本将会发生怎样的现象?这几个年轻人天天研究,晚上向给他们钱的董事(老板)汇报。这老板也很热心,还叫他女儿参加研究,搞得很热闹。后来居然出现了船沉、油断的消息。开头半个月没有什么影响,因为还有点存油。半个月以后,日本政府发表声明,说油有困难,要配给,首先配给私人用的汽油。这一下原来住在京都或东京郊区几个县、上班开汽车到东京来的人就都搬到东京来住了。东京人口忽然增加,用水用电增加了,供水供电发生困难了。以后怎么办呢?很多厂只好停了,因为很多厂是用油的。没有办法,好多人就只好离开东京。因为水源比较缺乏,东京发生火灾,水龙头里的水也不够。以后各种各样的问题都产生了,石油供应不足牵涉到工业社会的生活各个方面,因为许多小资本的厂都停了,连手纸都没地方买;因为拖

拉机没有石油开,农业生产垮台,农作物、蔬菜供应发生问题;因为养鸭养鸭都是机械化的,没有石油,许多鸡厂、鸭厂都关门了;……以后小流氓也出来了,日本社会越来越复杂,搞到五六个月的时候,简直是全垮了,日本的经济几乎全部垮台。日本政府就和各个国家商量要买油,人家就以高价卖给他,结果日本石油价钱高得一塌糊涂。其他国家呢,也是同样问题。美国石油问题现在就严重着呐,《油断》里的这一套东西在美国都要出现。美国农业机械是完全靠石油的,没有机械它生产不了那么多粮食,下面会发生粮食供应困难,再加上苏联抢购,我们害怕要影响我们的粮食,粮食要涨价的,别看这是伊朗的事情。它这里就是讲各种各样的关系。最后么,六个月以后,电影上说,沉船弄起来了,就恢复了。那个电影里还演了一条,资本家为什么愿出钱,给这些人研究?原来有道理,他要了解社会存在的困难,他要发国难财。他事先租了一个荒岛,在荒岛上搞了几个油库,他在那里存了一批油,油供应困难时他搞黑市买卖。你这工厂停工了,要油吧,我这里有,可是你的产品要用什么价钱卖给我;农村拖拉机没有法的时候,他说我可以供你油,可是你这麦子生产出来给我,他买青苗。他利用这机会把很多的厂都侵吞了,因此这个人成了日本很大的一个垄断资本家。他利用存在那里的这点油做了很大一批买卖,这是资本主义的特点。可是这里讲的是系统工程对每一步骤的预计,大部分都给它预测出来了,考虑到生活、工业、商业中间的许多错综复杂的关系。这个电影很值得看,这就是系统工程能处理的问题。

三、系统工程考虑的几个方面

完成一个工作应注意哪些方面,这叫要素。我们现在初步分为六个方面。搞任何工作一定要考虑这六个方面。这六个方面分成三类。

一类是人,活的人。我们做任何工作都要人来处理这事情。这就是毛主席所说的人的因素第一!的确如此。在系统工程里考虑人是这样考虑的:做一桩工作,有个定质定量的问题,和我们现在考虑人不太一样。我们现在是叫点数。就是你这机构,有什么编制,比如说 400 人,这

400 个人是阿狗阿猫都在里面。在系统工程里,400 个人,就是几个人干什么,几个人干什么,几个人干什么。每个人的专业跟他的水平,都有一定要求的。就是一个萝卜一个坑,决不是一个坑中有一大堆萝卜,剩下坑里都是空的,决不是乱点鸳鸯谱。这个人不合适,明天就请他滚蛋,因为他是作为一个工作人员参加的,你不工作,就是没有你的份,很清楚。当然,这个观点可能和我们这个铁饭碗观点有所差别。不过我得说一下,国外就是这么考虑问题的,你不能按你的职务完成任务,那你可以到别处去,你可以在别处完成你能完成的任务。这个地方你不能完成任务,我们换人。很简单就是这么一条。还有,这也是我们基本观点不一样的地方,就是既然是定质,就对你有要求,做什么工作,应具有什么水平,是有规定的,你要是不会这个,你就不要来。比如招工吧,他就规定,要三级焊工,多少个,工人来应招的时候就带三级焊工水平的证明。你是七级车工,他也不要。他就是要三级焊工,你是四级焊工,你说明白你愿意做三级焊工的事情,也可以。所以他们的就业过程是看你的证书。国外是这样一个情况。比如我在 30 年代,第二次世界大战的时期(我去了就发生二战了),我就愁万一国民党不给我公费怎么办?我得找个职业,就自己去学车工。我花了三个月的时间,每星期三小时,学了车工,我有个车工执照,按这个执照,我是三级车工,所有标准的车活我都能做。有了这个执照后,万一我失业了,别的地方招车工,我就可以去。因此,工厂对你有技术要求,有定额,你至少要做多少。是不是有像我们那样,文凭是假的呢?也有。假文凭很简单,你去了以后,两天完不成任务,干出来的活不够精度,第三天就通知你,你不要来了。很简单。同时把你的文凭(证书)扣下来,到给你出证明的训练班问:为什么给他出这证明?他干不了。他们没有徒工制度。我们的徒工制度,也是造成当前麻烦的一个大问题。我们的徒工是跟老师傅学的。一来,我们给你们多少青工,这个老师傅带几个,那个老师傅带几个,过了三年,他转正了,变成一级工。是不是三年就可以培养好了呢?不一定。为什么?因为老师傅自己都没有经过正规训练,他的操作过程经常不合格。我学过车工,我一看就晓得他不合格。因为活都有一定规定的,车一个丝杠怎么

车,顶子顶在那儿,清楚得很,有规定的。这个老师傅培养的徒弟也是这么干,徒弟再教徒弟还是这样干。这样,我们的质量怎么能上去?他们是讲规格的,人是定质定量的。这个“质”很重要。你做一桩事情就得有“质”,不论是大学毕业还是小学生水平。你可以骗一次,第二次就要请你下来。在美国,你要当个幼稚园的保姆,也得有合格证。它有“儿童心理学”的学科。你要当中学教师,也得有个证书,即使你是大学的教授,失业了,你想当个中学教师,你得去上一年师范训练班。训练你教育心理学这一套东西。做了这个你才可以当中学教师,要不然你中学教师也当不成。这是工业社会中一个重要的东西。什么叫工业社会?工业社会是所有产品都有一定规格的。这是工业社会的一个特点。人,也是产品,也是有一定规格的。所谓定质定量,人,就是讲定质定量。定“质”不是说你大学毕业了,你就定“质”了,你能不能做这工作叫定“质”。工业生产是讲质量的,不是只讲数量的,有质量才有数量,是讲什么样的产品多少,不是讲一个模模糊糊的产品,这是不一样的。因此搞系统工程的人,对定质定量这个观点很明确。但是,目前我国定质定量这样一个思想很模糊,或是根本没有,这是我们现在组织生产最麻烦的事情。

我举一个例子。我们在内地搞了一个钢铁厂,现在垮在那儿。从三个地方调去的工人,都是老工人,一个是首钢,一个是鞍钢,一个是武钢。三个钢厂调去的老师傅,各带一批徒弟上去了。这三个钢厂的老师傅当年也是从师傅那里学来的。每一个地方的操作办法就是不一样,习惯也不一样。所以那三班人,放在一起炼不出钢来,因为各个老师傅的意见不一致。现在三班人,第一班是首钢的人领着青工干,第二班接上去是武钢的人领着青工干,第三班是鞍钢的。三班这么倒,倒到最后,每一班得把钢炼完不可,因为下一班不能接着上一班干,各班人对操作过程意见不一致,造成这么一个局面。因为我们没有规格,没有严格的规格训练。徒工应该有徒工学校。就算是个大学生,也要去学车工,也得学三个月。在这三个月里,严格地告诉你,这机床怎么使用。你不熟悉机床,你的活就做得不对。焊工也是这样,他们就是在造船工业高速度发展的时候,也不是从群众中拉一批人来,而是大量地办焊接学校、焊接徒工训

练班。可以把课程缩短到一个月,第二个月你拿了证,上去就能做,而且不会出毛病。你是马虎的,他就不给你毕业证。因为这对学校的名誉很有损害。假如这个学校训练班出来的徒工,一到厂里做出活儿来老是毛病重重,下一批再招工,这个学校的证书,就都不算数,以后就没有人到这学校里去,这学校自然而然就淘汰了。这是一方面。第二方面,因为我们都是讲工业管理这方面的东西,这跟技术员很有关系。他们的技术人员,就是刚才我说的,不是固定在一个位置上,不是一辈子在某个厂里,服从领导的要求,做各种各样的工作,不是这样。他的专业是一辈子搞的,比如这个人研究汽车制造,他一辈子搞汽车制造。这个人呢,他可以跑来跑去,人是活的,他的专业是死的。因此,他能不断地增加经验。我们现在技术员培养不出来,就是我们的管理方法有问题,使用技术员的政策有问题,让他们天天在换专业。一个人的技术,他在某一个专业上的成长,是对国家有利的。他愿意在一门里钻下去,可以给国家提供很多很多有利的东西。现在我们固定在某一个单位,单位的工作老在变,他这个人不许动。这样一种制度是培养不出人来的。所以在人的问题上有这么几条,是不一样的,不适应于工业社会的发展。其他还有一些封建的习惯,我就不去讲了。领导拍板,其实什么领导拍板,就是领导独断独行。技术员反对,也没有用。这种情况是相当普遍的。这是很不适应于工业社会的;也不符合系统工程指挥一切的要求,是执行系统工程中一个很困难的情况。人要有积极主动性,就要按他的意志去做事,他的意志就跟他那专业、跟他那工作都结合在一起,他可以白天黑夜去搞;现在不行,你刚搞几天,就“这里任务要紧,你来干干这个吧!”他又得从头搞起。这种情况相当普遍。当然我不是说一个人不能改变专业,那是能改变的。人可以改变,没有关系。可是对于国家讲来,这是很不利的事。要改可以改,改一次就够了。不要老改,一年改一次,这个不得了,30年搞30个项目,那是不行的。这是第一条。

第二类就是物。物里头有三个要素。第一是资源。要搞工业生产,就要有原材料;没有原材料,做不出东西来。这个原材料也是个定质定量的问题。不能光讲量,不讲质。我要的钢板是1毫米的,你不能给我

2 毫米的。同样是 300 吨,2 毫米的我一点用处也没有,就要 1 毫米的钢板。你不能说:“我给你 300 吨了么,我的量完成了。”那怎么办?那么厚的钢板,我造坦克车可以,而汽车则造不出来,怎么行呢?搞工业生产,不光要原料,还要有部件。很多工业生产部件不在本厂生产,要有合格的部件。比如一个汽车厂,要刹车盘,那个刹车盘是定质定量的。什么样的刹车盘,我能刹多重的车,多快的速度,超过这,刹车就不能用,就变形,不能随便什么刹车盘拿来都能用。这是部件。刹车盘不能在汽车厂生产,另外有生产厂,所以部件也属于资源。第三个资源问题是动力,动力属于资源。没有动力哪个机器都开不起来。动力应该根据厂的需要事先有规划。这规划应该在动力部门能体现它。如果动力部门不体现,那么就跟湖北武钢的那个轧钢厂一样,等于废品。如果这个轧钢厂呆三年,就没有用了。那个计算机的老化过程是三年,它全部是计算机控制的。现在不供动力,三年以后供,计算机都得换,又得再花好几亿。所以动力是很关键的,而我们国家恰巧动力问题很严重。动力无规划,满足不了国家的要求。而且动力浪费很严重。所以资源是三方面:原材料、部件(零件)、动力。

物里头第二个要素是工具。一切都要工具。打仗要工具,工业生产要工具,连搞个经济研究也要工具。没有工具不行。教书也要工具,一切都要工具。工业生产里,机器就是工具,机器上面装的许多部件,像刀片什么,都属于工具。打仗,枪、炮都是工具。没有这个打不了仗。工具有个技术问题,要现代化。实际上工具稍为落后点问题不大。就是在美国,当前还有不少厂用 30 年代的工具在进行生产。组织得好,它一样上。不要盲目追求最先进的工具,有些东西要先进的。可是这个工具也有定质定量的问题。比如,你这个厂要 50 台车床,50 台什么样的车床很有关系。因为好的车床、贵的车床用来生产要求不高的一般产品,是上算的。可是我们现在经常发现厂里用很好的车床生产要求不高的产品,这在经济上是很不合算的。因为一个好车床运转一天花的钱,比一个一般的车床运转一天花的钱,要多 10 倍以上。可是我们现在经常发生这个问题,好车床在做一般的工作,等于让大学教授去农村劳动一

样。当然思想锻炼是要的,不过作为生产力来讲,等于是一架好车床做一般的工作,性质一样。要有定质定量。工具里面包括房子。你搞任何工作都需要房子。建筑属于工具。这些都在发展计划中要安排进去,计划是要如期完成的。比如像曼哈顿计划、原子能计划,国家没有房子,就得考虑没有房子的计划。可是不等于不盖房子,到第二年有个中心了,还是盖了一些简易的房子。一点房子没有,不行。你打仗没有枪,打得什么仗?光有枪没有子弹也不行,子弹是资源。吃的粮食也是如此。人有了工具,有了资源,就能做工作。

可是作为整体的计划,还缺一样:钱。所以,财务也是物里面一个重大的问题。财务里面包括固定资金、生产资金等等,一概包括在内,统一考虑。没有资金,你是白说。

第三类,我们叫事、事情,英文叫 event。前面讲的四个要素还有人说话,这两个是大家忽视的。第一个事,叫任务。你要做一件事情,一定要有明确的目标、任务。你的任务是什么?要搞清楚,要不然你无法去完成。现在我们就有这样的情况,从科学规划以后,研究所成立不少,都没有任务。就是要摆个摊子,给你 500 个编制,哗一下 500 人满了,有什么任务不晓得,有块牌子。应该有任务,有明确的任务,这个任务要规定:在什么时间里,在什么资源条件下,完成什么样的任务。这个任务在工业生产里包括了订货合同,上头下达的任务;包括了试制任务、研制任务,都在里面。工业生产是这样,战争也有任务。比如刚才我们说的大西洋潜艇战的目的,就是要减少损失,就这一条任务。北非登岸就是要登上人,它的物力、工具,要超过隆美尔的,超过了就是绝对优势,就能打胜仗。这次我们的反击战,有明确的任务就是教训一下越南,不是非要打到河内去。打法就不一样。可是任务一定要搞得很清楚、很明确,在多少时间里要完成这个任务,给你多少物力、人力。现在我们工业生产上有不明确的地方很多。比如说我们给工业企业指标,说今年要生产多少万吨钢板,任务好像给了,有定量,没有定质。结果他老先生尽生产厚钢板,那他当然一下就完成了。可是这些钢板等于废品放在那里。定质定量,在一定条件下完成它,这是第五个问题。一定要闹清楚。

第六个要素叫信息 (information)。它包括办一些事情的规章制度和一些统计数字。比如产量多少、利润多少……这许多都是信息。你今天完成多少产量？每个人的工时情况怎样？物资存放了多少，够不够？这许多都是信息。最后，是各级领导的决策。在这许多信息的条件下面，对于每一桩事情，各级领导都有决策。比如这批原材料从哪儿来，这批人使用的时候应该有几个操作规程，领导就得决定，要不然对付不了。这个决策也属于信息。这个决策下来，下面做工作的人，都应该清楚。这也叫信息。打仗也是这样，到滩头上谁是第一个梯队的，谁心里得明白，几十分钟以后有第二个梯队上来。这个信息他要晓得。面对着的是什么样的敌人，他要晓得。这叫信息。在这个信息上，指挥员，比如说团长，就要作出决策，这个仗怎么打，让下面的人都得晓得。下面的人都得听，而且要作出适当的反应。这个反应就叫反馈。决策是有指导意义的，执行这个决策，是每一个人做工作的时候的适当反应。这些反应的结果，都要立即传到领导那里去，再作出决策，是个不断循环进行的过程。这些反应是很重要的。反馈方面很广，但重要的就是要有这种反馈。现在我们经常有这种事，就是没有反馈。比如党中央做出一个决策，要给哪些人平反，有的机构就不作出反应。在国外是这样，你在我这系统里，你不作出反应，或者是反应失效，反应不对，或者是反应混乱，很简单，就请你走。我换个人来执行它。要不然不成一个指挥系统。等于一架机器，哪儿不动了，我换一个螺丝。哪有什么客气啊？！轮子坏了，我就换一个轮子，这个道理很简单。可是我们现在好像很难做。这个反馈很重要，都是要有关的人积极地自动地反馈。比如说某个工厂，这个月，因“四人帮”打倒了，积极性很高，大家生产上去了，一下超额完成任务，甚至加了1倍，出了红榜，这是好事。这是个信息，告诉给所有的工作人员，这个厂超额完成任务，翻了一番，那时所有各级领导都要作出反馈；要不作出反馈，下一月就垮台。反馈是自动的、积极的，由各级领导、各级有关人员自动作出反应。老实说，武汉钢铁厂的电力问题，就是反馈失效。

这是六个方面。这六个方面中间有错综复杂的关系。人，就是组织

这六个方面来完成任务。这六个方面不是一成不变的,是永远在变化的。在变动的过程中有个名词,叫流(flow)。人有人流,物有物流,信息有信息流。所有的流动得畅通,这是完成工作最关键的一个问题。完成一个工作,必须把这些东西不断地让它变。要研究流动的过程,让它畅通。物么,比如一个钢厂,高炉出来铁水,那你就得考虑,铁水百分之多少是到钢锭那儿去,百分之多少是存下来,百分之多少是跑到轧钢厂去……它有一套东西。最后,这些东西出来了以后,是通过哪儿运到哪儿去,有的库存,有的进一步加工等等,有一套物流的流程,中间不能脱节,脱节了就要发生问题。人也是如此,不能固定在一个地方,只能固定在一个专业,什么问题产生要什么人来解决,应该很灵活,而不应该很固定。固定,是使人失掉积极性的最重要的东西。人的专业要固定,他的工作应围绕他的专业来进行,而不要围绕他呆的地方来进行。现在我们很困难,各部之间老死不相往来,人事很困难。这个人的固定、人的束缚是影响工作往前走的很重要的问题。

人要流,物也要流,包括资金也要流,信息要流。信息非畅通不行。可是现在我们的信息很多是不畅通的,你不晓得他的情况,他不晓得你的情况。有关部门都得畅通,不畅通很难使每个人衡量情况,决定自己工作,决策也不容易传达到下面。各级领导决策一定要传达到下面,而下面的意见一定要反映上来,各个方面的关系一定要畅通。这个信息流实在太关键。现在我们的信息实在太差。比如说吧,现在我们厂里的厂长,要召开一次什么生产会议,要各个车间的情况,这就要命了。各个车间的情况,有的么,还要现拿去,现找去,问问这个,问问那个,记一点,拿来了;有的么,他有材料,一下子拿来了一大堆,你也根本看不了,结果想核对都无从核对。还有假情报,以少报多,以多报少,以这个报那个……各种各样的材料,欺骗领导。也有领导欺骗下头。互相欺骗,这个信息怎么能没有问题?大跃进时代不是有人说亩产2万斤吗?还有人去在上面站了一下,他不晓得这是昨天晚上移栽在那儿的,等等。我说这种信息,实际上用一句话大家就可晓得,叫做“谎报军情”,是很危险的。谎报军情和堵塞军情这两个在打仗时是切忌的。而我们现在工业生产中

军情堵塞的情况是经常存在的；而且有些领导认为这是他很得意的杰作，可以给上头一份材料，明年就给你2000万元扩大生产，都可能。这个东西是要不得的。在“四人帮”时代，我们学校里也有谎报军情，把一批学生，说这是大学毕业生交给人事部门了。他大学哪是毕业啊！差得远呢！这也是谎报军情。那国家计委当然就按大学生来分配啰！可他那个规格不对。所以我们的信息里面，问题很多。流通速度很慢，是阻塞的，要材料是要不来的，要来的材料是不可靠的。做的决策不容易传下去，下面不一定听你的，也没有反应，反馈也是失效的。这个东西很难办，首先要整顿的就是这个。起码总得上面情况、下面情况都清楚吧！不要有假的，不要有掺水的，在这个基础上我们才能研究问题。如果来的都是糊糊涂涂的东西，怎么研究啊？！上面也不好决策。这六条里最重要的就是要畅通，要流动畅通，这是最关键的。我们现在恰恰是流动不畅通。人、物、信息都流动不畅通，很不畅通。

管理这些事情，当然有一套办法，最近十几年办法发展得很多，刚才已经讲了一些。老的、30年代的，什么流程图啊，用箭头的施工图啊，工业管理用这套东西，现在这套东西作废了，不行了。流程图、用箭头一个箭头一个箭头标下去和作业指示图，都不行了。为什么？因为它不考虑关系，不考虑这六个因素互相关联的许多东西，不考虑这个企业和那个企业的关系，不考虑相互之间的关系。它只是一个人那么搞，不行。证明这个流程图在国外是失败了。有一个时期大家那么搞，后来发现这个失败了，就是因为不考虑各个组成部分之间的关系，一个系统中各个子系统之间的关系，不考虑这六个因素互相制约的许多部分。因此最近才发展了网络图。现在称网。这个网就是各条线之间的关系。这个网络图现在一般不是绘制在墙上的，是用计算机的屏幕来表示的（映射在墙上）。里面有任何改变，它可以通过计算机改。所以领导很容易了解。要了解什么问题，和那个问题有关系的网络图就出来了。你一看就看出来哪个地方短路了，哪个地方阻塞了，关键在哪儿就都知道了。所以现在领导是比较容易当的。他们的会议室都有一片大墙，计算机把大墙当作屏幕，提供网络图资料。一开会，先把资料给大家看，会也开得很快，

一看就看得出来哪个地方短路了。总不外两个,一个是短路,短路就是走得太快了。还有就是阻塞,不通了,哪个关系脱节了,阻塞了。哪个地方短路、哪个地方太多,要调节,它不断在调节,就是利用这些工具,叫网络图。网络图现在是用一种技术来管理的。这种技术现在叫 PERT(全称是 Project Evaluation and Review Technics),应该叫“计划评审法”或“计划评审技术”,这一套技术跟计算技术结合起来,它可以改变。这个地方改一下,改一下计算,通过后反映出来行不行?行了,就造出来。有一套技术,这是计算技术里的问题。所有的指挥系统现在都用这个办法,连军事指挥系统也用这个办法,也称计划协调技术。这是眼前管理工作中最新的东西,看来比从前的有效得多。日本的两个电影里就用 PERT 这一套办法,结合计算机用,所有这些工作它都是这样,一个问题一产生,一定提出几个解决方案,每个方案都有优缺点,先是定性地提出来。我们现在讨论有困难,一定是婆说婆有理,公说公有理,争吵不休。国外没有这个问题,它是怎么办呢?每个方案既有定性,也有定量的。到计算机里头,不到几分钟、十几分钟,结果就出来了。这个方案定量的后果是什么?定性的后果是什么?都有的。所以几个方案的优缺点,不光是定性的,而且是定量的。上级领导可以根据各方面的优缺点(定性、定量的)选择一个他认为是最好的。因为无论什么方案,总有优点,总有缺点,哪一个方案也不可能 100% 正确。什么问题都是这样。它总是这一方面有利,那一方面有弊。问题看利跟弊的比重,数量的比较,还有根据当时的政策,领导当然是掌握政策的。所以搞系统工程的人最关键的就是要搞这个。一个问题来了,领导有几个定性的方案,我可以用很快的手段,把每个方案的后果告诉领导,由领导做最后结论。有时领导没有任何方案,那么系统工程小组就该研究各种方案,每个方案定性定量结果是什么,告诉领导,由他作最后决策。事先得晓得,这个决策下来,一定会发生哪些问题,那时领导就抓这些问题,让它起的作用缓和一点,或减弱一点。比如现在卡特一下子让他的内阁全部辞职,肯定有很多问题。可以估计到,他现在就在缓和这些问题,可他主要是要民心,解决信用危机问题,用内阁辞职的办法来解决。内阁辞职有许多弊端,他现在

在减少弊端。收回信用这是他的战略。所有这些都是用计算机计算过的，并不是随便搞的，这么一个大问题，在美国历史上是第一回。

所有这些工作，并不是随便能搞的，应该有一定的条件来约束它。什么是约束它的条件？有两个方面。一个是技术条件。比如做一个钢制的东西吧，你先得铸模，以后才能加工，你不能先加工再铸模。那个倒不过来。因此安排工作得有个程序，有些程序就是倒不过来，这就是技术要求。好多这样的情况。第二个是经济条件，必须要考虑。因为经济资源都是有限的，不是无限的，而且经济规律的约束是不可抗拒的。经济规律是几千万、几亿人集体活动的规律，它必然是这样做，你硬要把它扭，那是扭不过来的，你得按它那个规律办事，以实践为标准来研究这许多规律。实际上就是这么两个性质，一个是技术上的实践，一个是经济上的实践。你得按规律办事，不能违反这个东西；违反这个东西自讨苦吃，没有用处；你只能在这个规律之下选择最好的道路去走。因此要深入研究这些规律，走群众路线，问懂得这方面问题的人。一个人把所有的东西都了解是不可能的，可是你不能违反这个规律。

四、系统工程的理论基础

搞系统工程当然不能拍脑袋，总得有一定的理论基础。理论基础包括两个方面，一方面是定性的理论基础，一方面是定量的理论基础。我们这个问题，是定性定量兼顾的。不能光靠定性的，光靠定性的很多东西比较不出来。只能用一种数字的、数值的指标来互相对比，才能比较出来它的优缺点。因此它的理论也有定性理论和定量理论两个方面。定性理论我想不讲，因为大家在搞，现在我们搞的都是定性理论，像经济规律啊，……都是属于定性的。实际上研究定性理论的应该是我们国家比别人高。因为我们国家是经过了几次反复，吃了那么大的苦头，马列主义应该比别国要高明得多，辩证唯物主义思想比较普及，比如两点论啦，……这些思想都是普及的。矛盾怎么样转化，这些我们都懂得。你跟美国人说他听不懂，他有时候不自觉地在使用这些东西，搞得好的还是符合这些要求的，不过他不懂这些，他是根据实践就那么做，但讲不出理

论来,他们是忽视这一方面的工作的。他有些形式上的理论,也不太重视,有的时候只是拿来宣传,欺骗老百姓。他不真正用这个。所以在这一方面应该说我们条件比人家好。

定量方面我们是很差的。定量牵涉到数学的培养素质问题。长期以来,由于“资本主义”这个大棒放在那儿,我们提这个名词都不敢。系统工程,最近才有人提出来。这次科学规划,老实说,绝大部分人并不晓得系统工程是什么。因为我们长期以来认为这是资本主义经营方式。它有跟资本主义经营方式相关的东西,不过大部分是按客观规律做这工作,要不然它也不能成功。研究定量规律的理论很多,大家就晓得了一个叫“优选法”,就是华罗庚同志搞的。“优选法”是这里头一个方面,是讲产品怎样达到最高质量要求的一套办法。还有现在统称的运筹学。我也同意,这一套理论都叫运筹学。不过现在一般不是在那样搞。现在我就很简单地介绍一点这方面的理论,是用得较多、较经常的理论。

第一个叫线性规划。它是一个比较成熟的理论。什么叫线性规划?就是你本来用那么多人力、物力、各种因素,在做一桩事情,有个目标。你要达到这个目标,要修改你这一套东西,比如人,你说要增加几个人,本来 50 人做这工作,现在要加 5 个人,这对工作一定有影响,促进这工作往前走。你加 5 个人可以促进多少,有一个定量的关系。再比如钱,原来多少钱,现在加多少钱,加多少钱可以促进多少工作。或者设备,原来是 3 台机床,现在是 4 台,那么这产量可以提高多少。有这样一套东西,总的是使你的工作完成得快。因素是几十个,你究竟挑选哪几个因素,使这许多因素配合起来,以便最容易达到这目标。这就有一个计算的问题。什么叫线性呢?就是每一因素增加的部分,都是成正比的。比如 50 个人一天能生产多少,51 个人,加了一个,就能生产多少,假定增加的人跟原来的人工作能力是一样的话,应该是成正比的。有的地方人用不着那么多,增加点钱比这还重要。有的要增加设备。把所有的方面对目标的影响都拿来考虑,考虑其综合效果。为了满足目标要求,并不一定各个方面都要增加,甚至有的地方还得降低;因为你的目标不光是生产,还有一个成本的问题。要成本降低,可能有的地方设备拿掉一个

还好，不过它们之间都是成正比的。每一个因素对于总目标的影响是成正比的。这叫线性规划。有个目标函数，它有好多因素，每个因素的变化，都跟达到那个目标成正比的。以后调整这些因素，让它的综合影响最好地达到这目标。需要怎样调整，它给你算出来。它对于做计划工作很重要，所有计划工作都离不开这个。因为总的说，现在有这批人，有这些物资，有这样一个情况在做，你怎么改变，使这个做得很好。这是一个微小的改变，每年改一点，逐步就提高了。

第二个叫非线性规划。就是有些东西不是成正比的，你要改变数量大了，它就不成正比。比如本来有 5 台车床，你加 5 台的话，产量不一定加 1 倍，其他都不变，5 台车床变成 10 台了，可能产量加到 3 倍，它就不是成正比。那么这种不是成正比的学问，叫非线性规划，这是第二种理论。这套学问现在不成熟，数学上还有很大困难，不过有些部分现在可以用了。有些部分现在还不成熟，正在发展。

第三个叫排队论。我们上公共汽车要排队，买东西也要排队，一桩事情先后也要排队，研究怎么样排队对工作最有利。讲工作重要、次要，设备，应该先来这个，先做这个，这都叫排队。特别重要的是在公用事业里，排队论最重要。比如发车，我们上班下班有一定规律，按这个规律怎么发车可以使用的人最少、花的钱最少、耗的汽油最少，而可以运最多的人。公共汽车公司就有这么一个问题。可是我们没有严格的计算，都是定性的。我们现在晓得，一到上班下班多发点车，但是不是每一路都发这么多？不是，有的路要多发一点，有的甚至减一点。各个路不一样。这是经过严格计算的，可以计算到最好的情况。

第四个叫搜索论。当年大西洋的飞机搜索希特勒的潜艇，就是用的这一套办法，把潜水艇出没的规律找出来了。什么时候、到哪儿去找潜水艇，潜水艇哪儿最多，有一套规律。这理论现在用在哪儿？国外用在两个方面，一个是寻找市场。商品要找市场，不找市场，可能销不出去。什么样的商品放在哪儿去卖最卖得出去，用这个办法。工业管理中市场很重要，要不然你这机构生产的东西都压在仓库里，这不行。还有就是在国土里寻找资源，用这个办法，这不是押宝，比如现在我们国家就要寻

找哪儿有石油？那么你要用一个办法。如果每个地方都派一个地质调查队去调查，那得派多少地质调查队？来一个彻底的普查当然是一个办法，但这花的人力太大。在有很多人力的情况下，怎样来指挥我们的地质勘探队去找石油，探索出我们国土中的石油资源。比如现在我们和美国石油钻探公司在南海找石油，南海是一个很大的区域，只有三条船，一年里要得结果，这到哪儿去找？是一个搜索的问题。它有一定的数学规律。它在效力最高的条件下去寻找石油在哪儿，石油总的储藏量的估计，在哪儿开采最合适。这个叫搜索论，英文叫 Searching Theory。

第五个叫库存论。库存论对于一个国家是很重要的，对于一个厂也很重要；对于工业很重要，对于军队也很重要。比如我们的后勤部，就有一个问题：究竟需要多少军事物资，平时的库存能应付某一个假想的战斗。这就是一个很大的问题。你要存多了，国家资金浪费太大；你存少了，到打的时候应付不了这个局面。这个物资是各种各样的。比如说一个干电池，哪儿都要干电池，步话机、通讯机……都要干电池。我们后勤部究竟要存多少干电池在那里，可以应付打像越南反击战那样一个战争？这是一个大问题。还有，存在哪儿？能存多少时间？你存多了，不行，三年以后，它那个电池都流汤了。库存有一定的时间，可是你一定要足够。你不够，打仗没有电池，步话机都不行，立即发生问题。存的地方不对，你调到那儿也来不及。比如全存在华北，而在别的地方打仗，你得把电池往那儿运，一个车皮一个车皮地运，赶不上，临时也分配不到前线去。步话机失灵，该打胜仗却打了败仗。库存是很重要的，军事上很重要，国家库存也很重要。如像我们的粮食究竟要多少库存？你存多了，国家没有那么多钱。存少了，应付不了突然发生的事变。钢究竟要多少库存？铜、钢、铁都有库存的，国家不可能没有库存，没有库存的国家是不行的。比如美国库存铜 180 万吨。它这是根据整个工业的发展计算的。它能维持多少时间？假若万一它跟国外交通都割断了，它这个国家能呆多少时间？要算这个账，而且算战时。这是一套学问，叫库存论。一个厂里也有这个问题，存多了，积压资金；存少了，应付不了市场。现在我们经常这样么，国外来个订货，30 万件，我们只有几万件，对付不

了,一批外汇白白丢掉了。可是存多了国家积不起这笔钱,所以库存论是一个很值得研究的学问。而这个学问是比较成熟的,因为美国在 30 年代就开始运用了,我们现在不会用。

还有一个叫博弈论。研究对抗性的矛盾,你死我活,对抗性的。生产里也有对抗性的矛盾,就是有你没有我这样的对抗性的。

还有一个叫可靠性理论。我们的工业产品跟打仗都是一样的。工业产品里不可能 100% 的产品都合格,总有若干件是不合格的,尤其像我们的国家,常常是我要装配一个收音机,拿来的电容、电阻好多是不合格的;不合格比例还比较高,800 欧姆的电阻吧,你要去量的话,可能很多个是 1 000,很多个是 600,可靠性很差。可是我要用这批可靠性不好的零件,装配出一个合格的收音机出来。我们的汽车厂零件来了都不太合格,可是装配汽车一定要合格,出去能开。怎么办?用不合格的零件或者合格性较差的零件(当然也有一部分零件是合格性较高的),就不可能要求 100% 合格的东西。现在我们国家办不到,国际上也办不到。我们要造出合格的产品出来,收音机能开,能听得清楚;若用 100% 合格的零件做出来的收音机当然好,可靠,可是价钱就贵了。这一套理论就是处理这类问题的。说穿了,这个理论很简单,就是对最关键的部件,用合格率高的产品,次要的部件,合格率可以差一点,就是这么一个理论。可它也有计算,因为要求合格率达到多少这个问题就要一套计算。比如电阻,合格率是 60%,装到上面去,只要放在不要紧的地方,是不是还能保证总的机器是 100% 合格的,这里有很多讲究;假如 40% 就够,那当然买 40% 的,因为 40% 合格率的产品应该便宜,那总的成本就降低了。所以这种理论叫可靠性理论。实际上在世界上都用这个理论,而我们国家现在好像没有人考虑这问题,因此我们现在的产品还乱得很。例如同一个厂生产的自行车,有的时候偶然弄着一辆很好,有的时候弄来的就不好,因为它根本没有研究这问题。钟表也是这样,有时候买着一只表是好的,有时候买着的就不好。用人也是这样,我们当领导的用人都会用的,把最好的人,能力很强的人,用在关键的地方;把马马虎虎的人,就让他做无所谓的工作,他也得做一点,他做错了也不要紧,无妨大局。我们用

人都是这么用的,它就是这么一个思想,这个思想叫可靠性理论。它是定量的,不是定性的。

最后一个叫决策论。决策论就是有的问题无法下决策,有的问题可以下决策。假如一个问题是无法下决策的问题,你一定要开会讨论,那是白讨论。能不能下决策,在数学上有很多条件,研究这些条件的数学,叫决策论。决策论和可靠性理论最近发展很快,现在比较成功。这些都是数学,这种数学是拿来帮助我们搞系统工程的人对付自己的问题的。系统工程的原则就是刚才我们所说的要流动,要分几个方面考虑,哪个方面弱了就不行。这个方面和那个方面涉及多深、流动要多快等等,主要靠数学计算。一般说来,流动要快,但如果很快,可能花的钱很多,所以快到超过某个限度就不必要。我们现在对知识青年这样的问题,要有几个决策,每个决策下来都有后果,社会后果很大,那就应该算一算,但是算起来很复杂,可能算上半年,才能算出哪一个决策好。可是知识青年不能等你半年,他明天就毕业;或者高考考完了,大学一发榜,他的问题就来了。因此就要有个工具,这个工具就是计算机。计算机、计算的工具、计算的办法都是现成的,学会了以后只要信息是正确的,就可以很快给你反映,给你各种的方案,每个方案的后果,都告诉你,是定性定量的。领导开会很容易做出决定,当场就可决定,然后就在屏幕上面都给你显示出来,包括数字大小的比较,决策优劣的比较,屏幕上都会有一套显示。计算机在现在高度工业化的社会里,是有效执行系统工程的最重要、最高效的工具,没有这个工具是不行的。为什么系统工程现在发展得那么快,主要因为计算机在最近 20 年发展很快;并不是过去不晓得系统工程,不晓得数学办法,而是人力计算,实在太费时间。第二点,计算机可以储存大量的资料,计算机储存资料是造成我们这个工作容易做的一个关键。所谓资料就是信息。现在的情况是这样,所有的资料都在计算机里,计算机里头有一种叫检索系统,你要什么资料半分钟就出来了。资料进去,就是按检索号码分配好,出来的时候一个号码,一大堆图纸资料都出来了,而且它可以做成图表在屏幕上出来,很形象化的图表,立刻就显示出来了。因此领导要什么东西,不用去问秘书,干脆就找计算机,

计算机立刻就给他了。所以他们现在都用计算机管理。通过计算机可以要到当天的资料,也可以要到今天以前的所有的资料。所以一个决策后果通过计算机;一个资料(就是信息)的储存通过计算机;还有许多规定,也通过计算机。所以计算机现在是搞系统工程的不可缺少的工具。因为有了这些以后,现在国外的的工作一般说来都很有头绪的,要不然他们的经济早垮了。我们现在四个现代化有各种各样的问题,我们要整理一套对每个问题有效的办法,定量定性的可以进行比较的话,就要好办得多。假如这个东西能普及一点,我相信对我们的工作有很大好处。现在当然不行,现在人都没有,机器也没有,资料也一塌糊涂。我们的资料实在不太可靠。国外现在用计算机在研究我们的东西,他们研究我们的人口,经济情况,研究得很厉害,就用这套办法,就用我们的不太可靠的资料(这也是可靠性理论),多方面平衡核对。它摸索出来的东西,跟我们的实际情况差不多。它用的就是这个理论,可靠性理论。我们呢,现在很多资料一般看不到,信息不畅通,所以我们还要作很大的努力。假如我们能把这批人培养出来,那各级领导要方便得多,拍脑袋要多一点把握;现在把握不大,领导不拍也不行。现在的矛盾就是这样。假如我们有一批系统工程工作人员,那的确可以帮各级领导做参谋,解决不少问题。当然多少还要拍点脑袋,可是要好得多。

科技赶超史话^{*}

科学技术是在全人类生产活动、科学实践中积累起来的共有财富。但是,由于种种原因,其中主要是政治原因,在某一历史时期内,世界上某一地区、某一民族或某一国家,处于科学技术文化落后的状态,好像被剥夺了享有科学技术文化成果的一切权利。当这一地区、这一民族或这一国家的人民发现了这种落后状态,一旦觉醒过来,团结一致,奋发图强,通过学习引进,努力赶超,在不长的时期内就能一跃而成为先进。这样的事迹,在漫长的世界历史中是屡见不鲜的。

一、我国古代的科学创造促进了西欧地区的文艺复兴和社会变革

欧洲的中世纪(公元 5~15 世纪),在封建宗教和农奴制统治下,是有名的黑暗时代。在这 1000 年里,教士和骑士是欺压人民的统治者。整个欧洲遍布着城堡和教堂,没有医院,没有学校,几乎没有书籍,没有道路,也没有像样的城市,是一个黑暗、无知和荒芜的社会。在 10 世纪时,我国的科学技术在世界上已处于领先的地位。我们会造纸,能印刷,使文化得以传播。那时的欧洲既没有纸,也不会印刷,他们的圣经是用树皮和羊皮抄写的,只能传抄。因此,他们的文化无法普及,非常落后。那时,我们早已有了火药,到 12 世纪有了“火炮”的武器;而欧洲那时只能用长矛和刀剑,打仗时,就像唐·吉珂德那样,在马上用盾牌和长矛刀剑冲杀,遇到城堡,就无法攻克。现在欧洲还遗留着不少那时的城堡遗址。我国人民早在公元初年就发现了磁石的指极性,并逐渐应用到航海上。12 世纪时,我们已有了罗盘针,有十帆大船,可以装几千人。我们的船只可以西达非洲东部,甚至通过好望角,远航非洲西岸;也可以远渡

^{*} 发表于《北京日报》,1979 年 11 月 23 日。

太平洋,到达夏威夷和墨西哥。这样的造船航海技术,已经遥遥领先于欧洲各国。他们在那时,还没有罗盘针,造船技术很落后,只会造单帆船,船身不大,出不了地中海。就是在地中海上航行,也由于没有罗盘针而很容易迷失方向,经常出事。那时,我们已经会做瓷器,中国的瓷器和早期的丝绸一样,风行欧洲。那时我国的铸铁冶炼技术也很出色,为欧洲所推崇。我国的灿烂文化影响着欧洲,他们就不断地通过阿拉伯民族,甚至他们自己到中国来学习。那时的通商口岸泉州、温州、台州等,都居住着不少欧洲来的侨民。通过这些友好往来,所有我国的这些科学技术的成果都在12~14世纪陆续传入欧洲。

我国古代的这些成果和古希腊古罗马的哲学和科学,促进了以意大利为中心的欧洲文艺复兴和西欧航海事业的大发展,从而逐渐形成了新兴资产阶级在意识形态领域对封建主义和宗教神学发动的一场深刻的革命。在这场革命中,意大利等国为了吸收外国的科学遗产,推动自身的科学文化的发展,广泛地建立了学校,学习推广使用希腊文和拉丁文。这场革命使以意大利为中心的科学文化出现了前所未有的繁荣时期,产生了像达·芬奇(1452~1519年)和伽利略(1564~1642年)这样近代科学技术的创始人和奠基者。马克思对这一段历史作了如下的深刻描绘:“火药、罗盘针、印刷术——这是预兆资产阶级社会到来的三项伟大发明。火药把骑士阶层炸得粉碎,罗盘针打开了世界市场,并建立了殖民地,而印刷术都变成新教的工具,并且一般地说,变成科学复兴的手段,变成制造精神发展的必要前提的最强大的推动力。”以意大利为中心的欧洲从愚昧无知到文艺复兴,整整花了300年的历史时期。

二、站在别人肩上发展起来的英国技术革命

16世纪时,英国的科学文化还比较落后,根本谈不上生产。但从意大利发动的欧洲科学文艺复兴运动,已经扩展到法国、荷兰、德国,形成了先进的欧洲大陆和落后的英国之间科学技术的差距。这种差距促进了大量英国人留学欧洲大陆,或到欧洲获取工艺技术的活动。一直到今天,西欧民间还流传着当时英国人乔装打扮,到大陆作坊搞工艺技术情

报的各种传说。到 17 世纪初,德国发生了 30 年内战,意大利也日益衰落,英国的新兴资产阶级重视科学技术发展,导致更多的资产阶级人士留学大陆,同时也大量聘请西欧著名学者到英国讲学。这可以说是一种最早的科学技术引进方式,它使当时的科学技术,像流水一般大量地从西欧流向英国。当然,英国人并没有停留在单纯引进和使用外国的先进科学技术上,而是消化、发展了这些成果,使英国的科学技术和工业生产在 18 世纪这一个世纪内得到了飞速的发展,带来了众所周知的 19 世纪初期的技术革命。有名的英国科学家牛顿就是在继承西欧前人的成果,在前人的肩膀上进一步向前努力,达到登峰造极的成就的典型。牛顿在 1666 年提出的牛顿力学三定律,就是继承了意大利伽利略的惯性定律和德国开普勒的引力概念,进一步发展形成的。牛顿在 1727 年临终时曾说过:“如果我所见到的比笛卡儿要远一点,那是因为我是站在巨人的肩上的缘故。”这是对英国在这个时期内变落后为先进的最客观的叙述。

1774 年瓦特的蒸汽机也是站在外国技术的肩膀上发展成功的,它涉及西欧各国的科技人员,如波义耳、莱布尼兹、巴本等许多人的努力。恩格斯指出的“蒸汽机是第一个真正国际性的发明”,就是说明这个问题的。又例如,英国纺织工业的漂白技术问题也是这样。在早期,英国采用从荷兰引进的漂白技术,它的工艺复杂,日晒过程耗时很长。到 1774 年瑞典化学家席勒发现氯气,并发现了它的漂白作用,牛顿的岳父从席勒那里获得了这个消息,进一步使它实现了工业化生产,获得巨大成功,从而促进了英国的纺织品畅销全世界。这也是站在别人肩膀上向前发展成功的一个例子。

英国就是这样用了差不多 200 年的时间,学习引进西欧的先进东西,并在别人的肩膀上进一步发展,建立了自己独特的工业。当时英国的工业和西欧的工业不太一样,它以两个部门为主。第一个部门是煤矿。煤,原是中国人发现的。在 11 世纪马可·波罗的游记上就提到中国人会烧一种黑色的石头,可以烧饭和取暖,但他不知道那是煤。欧洲人当时也不懂得煤。他回欧洲以后,就影响了欧洲,尤其是英国,使采煤业逐步发展起来。到瓦特发明了蒸汽机之后,煤就成为动力原料。为了

煤的运输,在蒸汽机的基础上,又发展了铁路建设。英国的蒸汽动力工业是英国工业革命的基础。第二个部门是纺织工业。纺织工业的老祖宗也在我国,被他们学去了,并得到进一步的改进和发展。后来又加上了蒸汽动力,现代化的纺织工业就飞速发展了。为了纺织工业的需要,他们又搞了染料工业。开始时,英国的染料也与我国古代的染料一样,主要是矿物染料,或无机染料,因而英国那时的无机化学也较领先。无机化学开始于法国,而使无机化学得到应用,成为一种工业的,却是英国。因为工业品要往国外运输,他们又建立了造船工业。这就是英国工业的发展过程——用西欧的技术,借西欧的人才,在西欧科学技术的基础上向前发展,从落后变成先进。到 18 世纪末,英国人自己说,它已经是日不落的大英帝国了,它的产品占全世界贸易量的 $1/7$,再加上对殖民地的掠夺,资本主义在英国迅速发展起来。

三、重视教育和科研是科学技术后来居上的德国道路

在 18 世纪末叶,德国在长期内战以后,处于四分五裂的困境,科学技术和工业远远落后于当时的英国和法国。到 19 世纪初叶,才开始从法国学习创办科学技术教育,在 1810 年创办了柏林大学和一系列科技院校。这个以严格著称的科技教育体系,保证了以后德国工业发展的科技骨干队伍。同时,在工业上,有组织地派了很多工人和青年学生到英国学习各方面的新技术,特别是煤、化学、钢铁技术和机械制造。在俾斯麦统一了德国以后,大力提倡科学研究,一方面大大加强了高等学校的科研工作,另一方面设立了物理、化工、机械等国内研究所。这时,大批化学家和其他科学家从英国学成归国,在英国的无机化学、煤化学、农业化学的基础上,发展了以染料化学为核心的工业化学和有机合成化学,从而大规模地办起了在那时国际上还是全新的各种化学工业。德国的科学研究,尤其是化学研究方面,从 1870 年起已经超过了英国;接着在工业方面,用当时德国独创的联合企业形式,把诸如煤炭、钢铁、化工等工业统一到一个企业内,大大提高了协调生产和运输管理的效能,实现了前所未有的生产合理化,形成了远远高出英国工业的生产率。1880

年,德国在工业生产的主要方面超过了英国,到 1895 年,就全面地压倒了英国。

德国是用派出去、请进来的办法,创造了通过办学和加强科研的道路搞工业,只用了六七十年的时间,就做到了青出于蓝而胜于蓝,赶上和超过了老师。这是一个历史性的范例。

四、引进技术和引进人才并重的美国工业现代化经验

1865 年,美国南北战争结束,北方新兴资产阶级战胜了南方没落反动的奴隶主统治,产业革命就迅速展开。开始它和德国一样,也从办教育入手。南北战争结束后,就办起了麻省理工学院等科技教育高等院校。到 1880 年,这样的院校已达到 450 多所。这些院校为以后的工业现代化的发展提供了必要的合格的科技队伍。美国人多数是欧洲的移民,他们朝气蓬勃,富于冒险精神,敢于在欧洲的科学技术基础上办大工业,而且发明了像汽车工业生产线上那样的生产方式,大大降低了成本,实现了汽车的普及化。许多新技术在西欧发明后,很快就被美国在生产中用上了。铁路是英国人在煤矿运输中创造的,很快就在美国大量修建起来。1837 年英国发明了电报,第二年美国就普遍推广使用。到 19 世纪末,美国在工业生产方面已有较大规模的发展,但是科学技术主要依靠西欧,自己本身还比较落后,所以很注意引进欧洲的先进科学技术,同时也注意引进欧洲的科技人才。

在 19 世纪末和 20 世纪初,美国人留学德国和英国是常见的事情,他们留学回国后便在大学里当教授。一直到 30 年代,美国大学里的化学教授还有不少是留学德国的博士,物理、数学的教授有不少是留学英国的博士。1910 年以前,美国科技杂志很少,有名的《物理学评论》是 19 世纪 90 年代才创刊的。美国现在常见的许多期刊,都是 30 年代以后才开始创刊的。可见,美国的科学技术在 20 世纪初期还落后于欧洲。

美国科技和工业的地位,在两次世界大战中得到明显的提高。这两次大战美国都参加了,但本国都没有直接遭到战争的破坏,反而因受战争的刺激,得到了大规模的发展。在第一次世界大战中,英国的生产发

生困难,把许多军用和民用的产品转移到美国去搞,有些技术也只好转让给美国,美国就在这个基础上大大地发展了一下,主要是技术上提高了一下。第二次世界大战时,美国不仅在技术上有很大提高,而且引进了欧洲的很多科技人才。在 30 年代,希特勒压迫犹太人,把许多犹太族的学者都赶到美国去了。在希特勒占领西欧以后,又有许多西欧的科技人员逃到美国。这些人,包括著名的物理学家爱因斯坦、费米,航空专家冯·卡门,力学专家铁木辛柯和发明电子计算机的数学家冯·诺伊曼等,就是美国现在的科学技术的种子。美国从国外吸收科技人员,不仅是在第二次大战期间,在战后还继续进行。第二次大战结束时,美国派了大量的科技人员到德国去,调查德国的科技情况,并把大量的德国科技人员当作战俘运回美国。像搞火箭的冯·勃朗和他手下的几千人,连他们的家属都被运到美国,后来他们都加入了美国籍,受到优厚待遇,为美国的火箭和宇航研究工作做出了重要贡献。在 50~60 年代,美国用高金礼聘的办法,把英国和西欧的青年博士都聘到美国去了,曾引起英国和西欧的抗议。美国就是这样千方百计地引进外国科技人才的。像前国务卿基辛格也是 40 年代从德国到美国去的。所以,美国在 20 世纪取得现代工业的飞速发展,其主要手段之一,就是引进技术和引进人才两者并重。

五、重视对科技和生产进行科学管理的日本经济跃进

第二次世界大战后,日本和联邦德国一样,工厂大量被毁,工人大批失业,经济完全陷于瘫痪,科学技术落后了一二十年。但他们仍然保留着良好的教育基础,而且由于学风崇尚严格,科技人员得以迅速补充。所以,日、德两国在美国的资本支持下,不到 20 年,又重新进入了世界先进工业国的行列。

就日本来说,他们利用 50 和 60 年代两次亚洲战争承接美国军事订货所得到的外汇,有组织地大量引进技术,经过吸收消化,综合使用,进一步建立了自己的更先进的技术体系。为此,日本十分重视科技工作和生产组织的科学管理,重视管理人才的选拔和培养,强调管理人才必须

从技术专才中选拔知识较渊博的人来任用。日本战后科技工作的成就和经济的飞速发展,主要靠对管理人员的高标准选用。

日本在引进技术中,很重视调查研究,站在所有各国的肩膀上,综合使用,将它们消化为自己的技术。例如日本的钢铁工业,就是综合消化了奥地利的氧气顶吹、法国的高炉吹重油、美国和苏联的高炉高温高压技术、联邦德国的熔钢脱氧、捷克的连续炼钢和美国的带钢轧制等六大技术形成的先进技术。松下电器公司的名牌电视机,就是靠引进各国四百多项专利技术组成的。本田株式会社的名牌摩托车发动机,就是派人走遍了世界各工业发达国家,进行调查研究,花了几百万美元买到各种新的发动机样机,综合各国之长,设计成全新的发动机,经过若干次试验而制成的。要做到能够综合全世界各国的先进技术,就要求有很高水平的技术管理。所以,对于日本的跃进来讲,管理是关键。

总之,学习国外的先进科学技术,来提高自己的生产水平,世界上所有先进的工业国家都曾这样做过,无须觉得理亏。不懂就要学,学懂了就是科学技术的主人。真正的独立自主,只有靠我们自己真正把科学技术拿到手,才能实现。现在,科学技术有了广泛的传播手段、方便的传递工具和密切的交流机会,必然会使学习赶超的时间大大缩短。在 30~50 年前,世界上的科技杂志非常少,现在已有了成千上万种。13 世纪西欧学习中国时,中国的大木船到西欧去一趟要走八九个月,而现在一个电报就过去了。当初西欧学中国花了三四百年,英国学西欧花了 200 年,德国学英国花了差不多 70 年,而美国学西欧不过四五十年,日本、联邦德国赶上来才用了 15 年。世界上事物的发展往往是只要一经真正启动,就会迅速前进。中国人民是有才智的,有志气的。只要我们在党的领导下,解放思想,开动机器,团结一致,奋发图强,就一定能在更短的时间内达到科学技术现代化的目的。

《应用数学和力学论文集》* 序

“四害”已除,重新获得了科学工作的权利。欣逢 1978 年党中央召开全国科学大会,春风拂人,奋起之情油然而生。虽已年近七旬,还能为“四化”效力,感到无限幸福。我力图夺回久已逝去的良好岁月,夜以继日地工作着。谨将两年来的新著论文 15 篇辑集成册,愿以此为新中国成立 30 周年祝贺。

本集共分四部分:环壳理论,变分法及有限元,管板理论,三角级数。其中已公开发表者六篇,在印刷中待发表者六篇,余三篇在本集发表后将不另发表。

环壳理论的工作,是第一机械工业部资助的波纹壳研究项目的基础理论部分,它在控制设备中是重要的课题。这项工作还远未结束,正向一般环壳和非线性理论发展。变分法及有限元工作,是 1978 年开课所写讲义的补充和发展。管板理论是我有关管板计算研究大型工作的一部分,它是化工设备中的关键性问题,以后的研究将陆续发表。三角级数为拙著《三角级数之和》大表的一部分。该表共有 10 000 个公式,分 26 个部分。全部工作还有待整理,这只是其中的一部分。

这本书的出版,充分体现了在新长征中党对科学工作者的关怀和鼓励。对我来说,有决心有信心,在向“四化”进军的长征中贡献一份力量。谨以实际工作向党献礼并表明心愿。

* 该书由江苏科学技术出版社出版,1980 年。

《应用数学和力学》^{*}

(中文版)发刊词

为了在新长征道路上发表我国力学和应用数学的新成就,并真正做到学术上的百家争鸣、百花齐放,用以推动我国应用数学和力学的发展,我们在中央交通部、重庆市委和市科协,以及重庆交通学院的关怀和大力支持下,编辑出版了这本全国性的学术刊物。在筹备过程中,迅速得到了全国各地力学界和应用数学界的热烈响应,文稿纷至,美不胜收。这显示了我国力学与应用数学界不愧是勤劳才智的中国人民的科学界,是有志气、有才能在四个现代化的长征道路上作出国际水平的贡献的。

自牛顿(Sir Isaac Newton, 1642~1727 年)奠定了现代力学的基础以来,力学发展中的无数事实证明了力学和应用数学是一对孪生兄弟,它们互相依赖,齐头并进,不可分割。牛顿为了正确叙述质点运动的速度和其他运动量的概念,在他的老师拜罗(Isaac Barrow, 1630~1677 年)关于解析几何中对切线和求面积两个命题是互逆问题的认识基础上,创始和发展了微积分,从而出现了近代数学的分析方法。在以后的三百多年里,力学为数学的发展壮大提供了无穷无尽的营养资源。而反过来,数学也为力学中解决实际问题提供了层出不穷的新颖手段。从速降线的命题,提出了变分法;从热传导的计算,提出了傅里叶级数;从相对论的探讨,发展了一般张量分析;从航空结构计算的需要,找到了利兹(Ritz)的近似变分原理;从复杂力学结构物的强度计算,发展了有限元这样的计算方法;从力学中的非线性问题的求解需要,出现了奇异摄动理论;从稳定性问题的研究,导出了突

* 该杂志为月刊,钱伟长任主编,重庆出版社出版。

变理论。可以说,近代数学的不少分支,都是应力学工作的需要而提出来的;反之,这些数学的发展,大大地推动了力学的发展,对力学解决实际问题的能力方面,起了如虎添翼的作用。在习惯上,我们称这一部分力学中的数学方法为应用数学。理论物理的发展和这些应用数学也是密切相关的。从20世纪30年代以来,由于系统工程的发展,还有一些数学分支,像运筹学的各个部分,也称应用数学。我们这个刊物所指的应用数学,当然指和力学发展密切相关的那一部分应用数学。

百家争鸣和百花齐放是在新长征道路上,我们党中央提倡学术民主,大力推动科学发展的指导方针。自然科学的发展离不开学术民主。现代力学的开创时期,像伽利略(Galileo, 1564~1642年)等人,都是为自然科学的真理,争取学术民主,在遭受反动宗教封建势力的迫害中成长起来的。三百多年来国际上力学科学的发展中,也时时刻刻显示着百家争鸣、百花齐放的生命力。傅里叶(Jean Baptiste Joseph Fourier, 1768~1830年)和爱因斯坦(Albert Einstein, 1879~1955年)的创造性工作,都是对科学上某些习惯性思想的大胆突破。如果用清规戒律来束缚这些突破性工作的公布,则他们的创造性思想,至少将延缓若干年才能成为科学界所共有的财富,甚至将长期不能和科学家见面,从而延缓或阻滞了科学的发展。

为了大力提倡学术民主,贯彻百家争鸣和百花齐放的方针,我们大胆放弃了编辑部的审稿制度,采用编辑委员的推荐制度。编辑委员都有权向本刊推荐学术论文和发表自己的科研论文。本刊编辑部除了对各篇论文进行政治审查和保密审查外,将不再做业务审查而予以发表。在论文发表时,公布推荐人,以示负责。为此,我们在全中国范围内组织编辑委员会,尽可能地把全国力学界和应用数学界中正在科研第一线工作的科学家聘为编辑委员。他们既有老一辈的,也有中年的。当然,名单肯定是不完备的,我们将根据工作的发展情况,逐年加聘编辑委员,从而逐步扩大推荐范围。

为了鼓励学术讨论,贯彻“双百”方针,我们将从第三期起,增辟学术

讨论栏,刊载读者对本刊登载过的论文的意见和讨论短文,并请该文作者和推荐者答复。我们将用学术讨论栏来展开实事求是的真正的善意的学术讨论。

关于实现四个现代化的几个问题^{*}

同志们,今天我讲的内容是关于实现四个现代化的几个问题。主要讲三个问题。第一个问题,就是每一个地区、每一个国家、每一个民族,他们是怎样从落后变成先进的?第二个问题,现代化的核心是什么?计算机在实现四个现代化过程中的作用和我国计算机的发展情况。第三个问题,我们国家实现四个现代化的条件和展望 2000 年内实现四个现代化的可能性。

现在先讲第一个问题。我们知道每一个民族、每一个地区都曾经在历史上处于落后的地位。当人们普遍认识到落后,就会团结起来变为先进。各个时期的生产条件、交通条件不一样,所需要的时间长短不同,但从总的规律看都一样,主要是人民团结起来了,有决心去改变这些落后的情况,它就会改变的。我们可从西欧、英国、美国、日本、联邦德国是怎么样从落后变成先进的五个例子来说明这个问题。

我们先讲西欧的情况。西欧在 11~14 世纪是非常落后的,在历史上叫黑暗的中世纪。它是一个宗教统治的和农奴制的社会。那时他们没有统一的文字,没有传播文字的工具,不懂得使用火药,交通情况非常落后。那个时候他们的船只能在地中海转圈,假如遇上风暴就会迷失方向,因为他们没有航海的指南针。在这样一种非常落后的情况下,他们通过阿拉伯民族发现我们中华民族的生产条件比其他国家进步得多。阿拉伯民族与我们中国的来往,有的通过陆路,也就是丝绸之路,有的通过海路,就是经过我们福建的泉州和浙江的温州、台州,取得了我们国家那个时期很多的先进技术。从我们国家传去了纸张,传去了印刷术。那个时候我们的印刷技术已经很进步,南宋期间已经有了木版,南宋以后

^{*} 本文根据录音整理,1980 年 2 月发表于《北京盟讯》第 4 期。

在长江流域印刷非常发达。西欧原来抄一本《圣经》要2~3年,写在羊皮纸上面,甚至写在桦树皮上面。我们的许多东西传去了以后,改变了这个情况。大约在14~15世纪之间,他们开始有了印刷术,这样文化传播得快了。到了15~17世纪,开始有了所谓文艺复兴。我们的火药传到了欧洲,改变了他们农奴制社会的堡垒形态。欧洲中世纪时候,农奴主要保护他们的利益,就修一个堡垒,这些堡垒在西欧普遍存在,现在很多地方从地名上可以看出来,什么堡什么堡,大部分是这些形态的东西。骑在马上,手执长矛,穿着盔甲的骑士无法攻破这些堡垒,从而农奴主便利用他们的堡垒来保护他们的利益,维持这个农奴制社会。我们的火药传到欧洲以后,他们就用火药炸开了这些堡垒。所以马克思说,中国的火药粉碎了西欧农奴制的社会,就是这个意思。从此农奴主不能保护他们的利益。堡垒炸开了,农奴制社会就崩溃了,出现了以手工业为基础的资本主义社会的萌芽。除了这些以外,我们那个时候已经有了指南针,我们航海的技术也已很发达,能够制造装1000人以上的船只,而且一条船可以一个舱一个舱完全分开,有一个舱漏了,那条船不一定沉下去。这种分割舱位的技术我们很早就有了。那时候我们的船只已经不仅占领南中国海,而且进入印度洋到了东非,现在我们知道也到了西非。我们的船只往东到了阿拉斯加,也到过墨西哥,在墨西哥有很多我们祖先的遗迹。所有这些都显示了我们国家的劳动人民是很有才能的。我们知道,通过航海使人民有和平的来往,中国的船只起了很大的作用。我们的造船和航海的技术加上指南针,绝对肯定地传到了西欧。西欧取得这些技术以后,他们就进行了野蛮的殖民行动。首先是西班牙和葡萄牙占领了美洲大陆。所以同一种工具可以用来压迫人民,也可以用来为人民造福,这是一个很突出的例子。以后我们的丝绸、瓷器甚至煤炭,这许多技术都传到了西欧。我们知道马可·波罗在1298年曾经在狱中写了一本书叫《马可·波罗游记》,就提出在北京的西部看见中国人用煤的技术,说有一种黑的石头可以烧。在这以前西欧的人并不知道那样用煤,认为是一块黑石头。所有这些先进的生产技术传到西欧,促成了西欧逐步的改变。我们的纺织机器也是那个时候传过去的。这个学习过

程,他们足足花了 300 年。由于路太远,信息传递很慢,从中国到红海地区差不多要九个月。以后走地中海北部才能到西欧,来往是很慢的。马可·波罗从陆路到中国,整整走了三年。马可·波罗回去走海路,又整整走了一年多。我们中国从来不保密,也不懂得保密,因此一切都让别人学过去了。所以我们说西欧地区的文化发展与我们 12~14 这三个世纪的交流是很有关系的。马克思充分肯定了我们中国文明对于西欧文化所起的作用。这是我讲的第一个例子。

第二讲英国。当西欧逐步发展的时候,英国还非常落后。那时英国分成两个部分,一个是真正的统治阶级,他们多数是贵族,这些人都是有头衔的统治者。另一批人是平民,是没有头衔的,他们没有人身自由。当时,他们非常落后。大概一直到 17 世纪的时候,他们还是很野蛮。我们看那个时候的戏,后来改成电影了,关于莎士比亚的一些戏的画面,我们看见他们吃东西,没有刀叉这一套工具,就是用手把羊腿拿起来啃。满脸的胡子,他们也不懂得刮。胡子碰到羊腿,油和胡子粘在一起,那是很不舒服的,男人就拿起袖子管擦,有些拿衣服来擦,结果衣服上面都沾了油腻的东西。女人们讨厌这个东西,怎么办呢?在袖子管上缝上两块像石头块硬的东西,讲究一点的用宝石,那么再拿起来擦就不行了,把嘴巴擦痛了,这是女人阻止他们拿袖子管擦胡子的惟一的办法。那不擦怎么办?便给他们一条围巾,你就用围巾擦吧。后来他们进步了,慢慢变成了两个纽扣钉在袖子管上面。后来文化更进步了,无须这个纽扣,但这是一个传统,就把纽扣转到底下去了,所以现在西装上有两个纽扣在袖子下面。这个擦脸的围巾变成花巧得很的领带,变成了装饰品。它们都是有生活来源的。他们曾经非常落后,可是他们与西欧来往比较多,英国的上层社会人物与巴黎一比感觉到非常落后,因此他们觉得有必要改变他们的情况,就想方设法了。他们的第一个办法就是派留学生。派什么人?贵族社会必然会派大批贵族子弟,到巴黎、到罗马去学习那时刚刚萌芽的自然科学,学其他的文化,学法律这一类东西。然而贵族子弟有一个缺点,他们去了以后,学的不是生产技术,而是那个时期的现代化的生活。他们去了以后就学享受,把巴黎上层社会跳舞的那个讲究、

气派和礼貌全部学来,甚至讲满口的法文,可是怎么生产他们倒没有学到,只学到享受。贵族子弟必然是走这条路的,无法躲避它。但有个别的人的确学了自然科学回去,其中包括牛顿。牛顿学习自然科学,花了相当多的时间,后来在别人工作的基础上总结了一套自然科学经验,叫力学,那是有功的。可是这是少数,多数人只学了一套生活上的现代化的享受。这样搞了整整一个世纪或者多一点,失败了。英国没有学到现代化,倒培养了一批享受现代化的老爷回来。那么人民更穷困了,因为现代化的生活必然是很大的浪费,派这批人出去,看来改变不了情况,所以后来鼓励大量手工业工人出去。大概在 17 世纪的下半叶,那个时候出去很多各种各样的工人,主要学习两个工种,一个是纺织工,一个是铸工,就是翻砂工,学法国、意大利的先进技术。这些人也有一个缺点,他们中有两种情况,一种是学了很多技术,别人怎么做,他也怎么做,他不能改进生产技术,因为他本来文化水平就很低;还有一种情况,由于当时英国的社会制度还没有改变,还是奴隶制社会,在那里还有封建势力的压迫,连名字都没有,他们不愿回去。法国已经是资本主义性质的社会了,既然到什么地方都是做工,他们就留在法国、留在意大利。总的看来,这样还是没有成功。时间大概又过了 50 年。最后他们想出一个办法,派知识分子去。那个时候英国的知识分子是些什么人呢?是宗教的教士,就是洋和尚。这些落后国家的知识分子都是爱国的,有知识的,能接受先进的技术,能进行比较。因为知识面广,他们懂得民族的要求。他们接触到下层群众,知道群众的贫困,要改变这个面貌,有积极性也有知识。他们到西欧去还有一个好处,因为他们和西欧的宗教有联系,教士与教士之间是相通的,而西欧的自然科学掌握在教士手里。他们到西欧,通过教士与教士之间的关系,真正学到了一些生产技术和一定的道理,还谈不上理论。这个过程把英国相当多数量的教士变成了改造社会的先驱者。这批人像我们中国从前的游方道士一样,四处都能钻得通,把技工工艺里的很多技巧、很多配方学回来,尤其对纺织工业学得最彻底。回去以后,他们建设了纺织工业,建设了煤矿,建设了机械工业。而那批贵族学习回去以后,其中也有些人学到了一些东西,他们懂得教育

核心,甚至包括了大批的中国人在内。他们采取了开明的人才政策,是靠人才进口完成任务的。

我们现在有很多人在美国当科学技术专家,而且都是一些有才干的人。他们是怎样被弄去的呢?原来我们国家有一批留学生在美国,新中国成立后回不来,抗美援朝时美国政府下了一道命令,要留下,就得加入美国国籍,要不就送去台湾。大多数人不愿回台湾,加入了美国籍,但也有个别人既不愿入美国籍又不愿去台湾,这就是钱学森同志。他被美国政府关押了几年,后来我们用交换的办法交换回来了。大量进口人才是美国的一贯政策,是一个很开明的政策,就是不论你是哪一个国家的人,只要你有能力,我们就请来,给你很高的工资。你在这里做工作,绝不查你的三代,也没法子查三代,因为,他的老子、祖父都在外国,其中就有基辛格在内。他的父亲不是生在美国的,而是生在德国,他是1950年或是1952年才到美国,过了两年入美国籍了,做了哈佛大学教授,后来成为国务卿。你看,这够开明的了。美国用人的制度与我们很不一样,很值得我们研究。进口科技人员是非常便宜的。美国从1957年后进行了教育制度改革,科技力量上来了,用不着再靠进口人才了。但只要能进口,他们还是要的。美国由落后变为先进的经验,我总结来总结去,还是进口人才的结果。

下面讲联邦德国与日本。这两个国家基本上相同,我们可以放在一起讲。现在美国是全世界科学技术首屈一指的,靠的是我刚才说的那一套东西。日本和联邦德国是怎么做的呢?日本和联邦德国在战争以后,很多工厂被炸毁、破坏、拆掉了,工程技术人员、科学家很多被运走了,他们国家在占领军统治下非常贫困。但是这两个国家都有一个特点,其他的开支都压缩下来,有一个开支不但不压缩,还有所增加,是什么呢?就是教育经费。他们宁愿勒紧腰带过日子,教育同样要得到重视和加强,而且中小学教育抓得更严,这两个国家同样都是这样一个情况。后来美国人觉得这些国家都软弱下去,他自己对付不了苏联,所以愿意把这两个国家扶持起来,在50年代初期搞了一个马歇尔计划,帮助联邦德国,对日本也进行帮助,让他们不致垮台。在这个条件下,他们逐步恢复起

来,大概在 1956~1957 年后,他们就开始发展了。他们的发展建筑在自力更生的基础上,资金上得到外国人的帮助,技术上是靠自力更生,这一条他们具备有利的条件。这个有利条件是什么呢?是教育。这两个国家在那样困难的情况下,教育一直是发达的,他们的教育预算一直得到充分的保证,其他的都很苦。他们的中小学教育非常严格,教师的待遇是全社会中较高的,其他都是勒紧裤带过日子。他们的教育在严格地进行,所以他们的社会变成一个知识分子的社会。很多人大学毕业后做一个普通工人。虽然他们的生产暂时没有发展,但到了 60 年代,他们在恢复的基础上发展了。这个发展很快,只花了 15 年时间。现在这两个国家在经济上属于大国,在科学技术上也属于大国。他们发展工业也有共同特点,不从外国买进设备。他们总结了英国人站在别人肩上往上爬一步的经验,来发展自己的工业。他们办工厂,从来不把一个工厂搬过去,不搞什么整体地买进工厂。我举两个例子来说明这个问题。一个例子是搞摩托车的人都知道,现在最好的摩托车在日本。本来日本在 60 年代的时候还没有这个工业。想搞一个摩托车工业怎么办?只有两条路。一条路就是找世界上生产最好的摩托车的工厂签订合同,把一切技术设备都在日本搞一个,那一年两年后就可以生产与他们一样好的摩托车,这是一条路。他们不走这一条路。他们的办法是派 200 个工程技术人员,都是懂行的,把他们派到世界各国去参观。他们参观不是看风景,不是游览,不是买先进设备,而是去看摩托车的技术。他们到世界各国的摩托车工厂去,问人家,你们现在有什么新的型号?过去你们有哪些新发明使用是好的?哪些发明你们至今还认为有缺点,好在哪儿?人家就宣传啦,有些什么产品,哪样哪样好,重量怎么轻。他追问到最后,只要别人有先进的型号,就买几辆,不多买,一种买两辆。哪个厂有特色的技术,假如这个特色技术有专利,他就买这家的,把他的图纸买回去。别人想,你大概买两辆回去试验试验,再来大批买我的摩托车吧?所以也很愿意卖给他。做生意的都这样,只要将来有一个大生意。谁知他们回去以后,多一辆也没有买,就是买了两辆回去,拿一辆把它拆了,拆了以后,就把各厂的车研究比较,先进的部分是什么。他们就是用这个办法,把

先进的技术全部掌握了,又通过一定数据自行设计摩托车,不但数据要最先进,而且质量、耐用、速度方面也都是最先进的,做出与其他工厂有差别的摩托车。到1975年以后,日本摩托车占领了全世界市场,谁也赶不上。我再讲一个例子,我们要日本搞一个宝山钢铁厂,这算是最先进的钢铁厂,与日本的日新钢铁公司、大阪的钢铁厂是一模一样的。这个钢铁厂的各种各样的先进技术,大部分都不是日本发明的。例如像顶吹、连续铸铁等,这些先进技术都不是日本发明的。顶吹是奥地利一个工厂发明的,连续铸铁是捷克发明的。他们把它集中在一个工厂里。他们的技术是世界上最先进的技术,并没有请别人来做,而是到外面去学,学会了自己干。总结下来,日本、联邦德国有两条经验:一是很重视通过教育培养自己的技术力量,还很重视在企业中培养自己的技术力量,在他们所有的企业里进行轮班的学习,不像我们那样在学报纸,而是学习技术;二是进口技术,收集全世界的技术经验,是进口技术而不是进口设备。因此他们的产品可靠性好,生产比较严格,日本还要加上比较便宜的优点,这是了不起的。这两个国家最近都提出了一个新问题,进行第二次工业革命,就是把以劳力为主的工业转换为以智力为主的工业,把以劳力为主的工业放弃,转嫁给不发达的国家。这种思想,他们叫第二次工业革命。香港、新加坡、南朝鲜都明确提出来了,日本扭扭捏捏也提出来了。这些经验都值得我们学习。西欧上来花了400年,英国上来花了300年,美国上来花了80~100年,而联邦德国、日本,再加上香港、新加坡、南朝鲜花了15年。为什么一个落后地区变成先进地区的时间这样短?主要原因是信息传递比从前快了。从前中国到欧洲交通非常困难,一年来回一次就不易,马可·波罗到中国,陆路走了三年,海路回去走了一年,能来去的人很少。英国当时的条件就好一点了,有了轮船、火车,以后又有了电报。现在更不一样了,有了航空,特别是最近有了计算机,信息传递更快了。总之,我们国家是有条件很快实现现代化的,我们现在的国际来往比过去方便多了,又有很多地区由落后变先进的经验,值得我们借鉴和应用,只要我们重视这些经验,是能很快实现现代化的。只要一个民族、一个国家发现和认识自己落后,就会团结起来克服

这个落后,向世界其他先进国家学习,这是一个总的经验。可是各个民族还有自己不同的经验。大体上讲,一个国家要翻身必须重视教育,日本是这样,美国是这样,英国也是如此。培养人才是最根本的,没有人才谈不上翻身。这些经验值得我们很好地学习,这是我讲的第一个问题。

第二个问题,讲一下在现在的条件下,各个方面都有现代化的东西,最核心的是什么?我的结论是计算机。不论是科学技术、工业生产、军事、经济,计算机都是必不可少的。

计算机的历史在世界上只有三十多年。在三十多年以前毕业的大学生没有学过这门技术,实际上在二十多年前毕业的大学生也都没有学过,我们国家“文化大革命”前的大学生,都没有学过,所以是一门新的技术。计算机三个字从字面上看容易产生误会,因为名称叫计算机,好像就只是会计算,没有别的了。其实计算机用在计算范围内的工作量,从全世界看来,在70年代初期只占1/7。现在据说进一步发展了,计算的工作量更下降了,做别的工作量更上升,因此,香港人不叫计算机,叫电脑。电脑也有缺点,好像它是一个脑袋,能够思考,其实不是,它还是不能思考的。所以叫计算机有缺点,叫电脑也不准确。究竟叫什么我们不去管它,还是叫它计算机好了。我想从以下三个方面来说明计算机的重要性:一是计算机发展的过程,为什么人们会提出计算机这么一个要求出来?它是怎样发展的?二是计算机应用的方面,三是我们国家在应用计算机方面还要克服的困难。

对计算机提出的要求是从两方面提出来的。1944~1945年间提出这样的要求,是要控制导弹,要知道它所发生的偏差。如开始发射了一枚导弹,要按一个轨道走,可是导弹发射出去以后由于气候等因素,它偏离了原来的轨道,那就要想办法把它纠回来。怎么发现偏离?要测量,用电波进行测量,测量到偏离后,要下令把它纠正回来。那么要纠回来多少?计算要多大力量才能把它纠回来,这个计算用人算绝对来不及。你最快查个表总得1秒钟吧,可是导弹走得很快,1秒钟后纠正的时候,它已经走了1000米以上,已经远远地离开你所知道的轨道,纠不回来了。因此需要有一种计算工具,要算得很快,要在0.02秒以内计算出

来,才可以指挥导弹。这是第一个要求,要有计算工具,要算得很快。第二个要求就是原子能的反应堆。反应堆原有一个控制棒来控制它的反应速度,这个控制棒拉出来就反应快,放回去反应就慢。可是这个控制棒的进出不是很快的,你把它拉上来,它在较短的时间内不一定能上去。那么怎么控制这个东西,也要计算得很快,也是差不多 $0.02 \sim 0.03$ 秒。从两方面都提出要求,要计算工具,这工具要算得很快,把情况输入进去到结果计算出来,最好是在 0.02 秒之内。后来反应堆用了别的办法可以完成了,可是导弹这个问题始终没有解决。当时美国政府很重视这个问题,就找了很多数学家,说这个计算你们得想个办法。这些数学家谈来谈去,最后谈出一个方案,是一个从德国跑出来的数学家,叫冯·诺伊曼提出来的。他说,用十进位的数字计算起来太慢,他建议用二进位数进行计算,机器就简单了。二进位就是每一位数目字只有“1”、“2”这两个数字,1到2就升一位。因为每一位上的两个数字,可用电路上两个动作来表示,一个动作是开,一个动作是关,用电表示,那么就可造出一个计算机来。这里我要简单说一下,二进位数是我们祖先创造的,我们自己讲得很少。最近湖南大学有一位老先生写了一篇文章说,我们的八卦是二进位制,八卦里有两个符号,一个是一划分开,一个是一划连起来,这两个数字不同的排列,到 8×8 就是六十四卦,是二进位数。所以我们国家的人民是非常奇怪的,每个方面都有些创造,历史上应该这样看这个问题,不要只看见自己的不行,我们也要看见我们自己行的方面。如何利用机械的办法来表现每一数字上两个不同的符号呢?八卦一个是一划分开,一个是一划连在一起,用电路通不通来表示,电路通不通是非常快而且能辨别的,所有的数目字用电路通不通就行了,每位数字就可以用电路来管制。根据这种思想进行试制,在试制过程中用了36个年轻人,其中有一个美籍华人叫朱传渠,他最近曾回来过。1948年在哈佛大学搞成功了第一台计算机,这台计算机体积很大,像中山堂两层楼这样大的房子,每一条线路上用一个真空管,一共用了2.4万多个真空管。它的确能在 0.01 秒之间达到你的要求。但这个计算机不能指挥导弹,因为搬不动,太大了,没法子搬到导弹试验场去。也不能去指挥反应

堆,因为也搬不动。打电话联系也不行,也来不及,而且它还有一个缺点,那2万多真空管,不到几分钟就不晓得哪个真空管坏了,不晓得哪儿伤风,哪儿咳嗽,就得找医生了,损坏率相当高,查上半天,好不容易查出来,换上管子才能使用,所以这个计算机不行。可是我们不要轻视了这个创造,这是人类跨上计算机时代很重要的一步。以后不断进行改造,达到了新的先进的计算机阶段。若按我们社会上的思想去解决问题,一定是先否定这个计算机,说这个东西没有用。科学技术工作的特点,是一步一步走的,没有一步登天的科学,创造的第一步总是有缺点的。我们往往首先谈它的缺点,不谈它的优点,这是片面的。对于科学,首先要看它的创造性优点,再看它的缺点,克服这个缺点,使它更上一层楼。1953年人们发现了半导体,半导体在一定条件下可以通过电流,一定条件下通不过电流。半导体我们可以使它通路,也可以使它断路,用电压来控制。人们一下子想到它可以代替真空管,这个原件也称为晶体管,电流可以降低,面积可以缩小。到1957年就做出了第二代计算机,叫半导体计算机,这个计算机从大房间那么大一套东西,一下子缩小到七八个柜子大,就是讲台那么大,搬得动就能用了,而且半导体比较稳定,不容易坏,但也还是要坏的,还有缺点,使用时不太方便。1956年我国进行科学规划,我们抢先搞了半导体,我们的第二代计算机,1958年也就成功了,那时我们落后一年。到1962年时,人们更进一步,本来一片硅片是一个晶体管,现在一片硅片改成几十个晶体管,一个硅片让它代替几十个真空管,可以不可以呢?后来证明是可以的。这样做出来,这个计算机就又可以缩小了,本来七八个柜子大,现在一个柜子那么大就行了,现在我们叫做130计算机,就是第三代计算机,有时候叫集成电路计算机,那是在1962~1963年搞成功的。这个计算机人们满意不满意呢?还不满意。一个片上才代替几十个晶体管,能不能代替几百个、几千个呢?到1968年搞成功了,叫大规模集成电路,这是第四代计算机。这个计算机体积小了,大概比收音机稍大一点,更可靠了,使用更方便了。当时我们正在搞“文化大革命”,早就停下来了。人家是不是满意了呢?还不满意。能不能在一个片上搞它几千个、几万个甚至几十万个这样的晶

体管呢？现在也完成了，我们叫它微型机，大概是在 1974 年完成的，开始有了大规模的、更大规模的集成电路。现在他们的计算机所谓计算中心，相当于我们电话的交换台，使用这个机器，你不用到那儿去，用电话跟他沟通，那一头叫终端设备，一个计算机中心可以管几百个终端设备，效率大大提高。现在，很多中心可以构成一个整体，成为总汇，可以普及到全国的计算机网，这个地方忙，可以到别的地方用，一样可以沟得通，这样就大大降低了使用计算机的费用。我们十几年来落后了，第三代，第四代，现在是走向第五代，就是搞所谓微型机。现在我们开始赶上去，不过还是落后的。计算机的使用方法，我们也落后到这样的地步，我们不太讲究计算机的使用价值，我们是一个计算机一家用，不能几家同时用一台计算机，我们的计算机没有分时系统，或者有分时系统不会用。所谓分时系统就是计算机的两个讯号之间，把它分成若干份，我们的用户用中间的一份，那么，所有的讯号都是错开的，一样可以使用这个计算机，叫分时系统。一个人用计算机，那么计算机的费用就一个人负担，假使 20 人在用，就是 20 人负担。现在我们国家大量地不用分时系统，因此，我们的计算机用 1 小时，差不多是 80~100 元，一般穷学生是用不起的，一般穷教授也用不起，只有少数人可以用，所以叫贵族老爷式的计算机。在 1972 年美国使用分时系统以后，1 分钟是 0.5 美分，1 个钟头才 30 美分，这是他们的使用费用，所以人人可以用计算机。我们现在不合理地使用很多先进工具，使它的使用价值太高，无法推广。

下面讲一下计算机能做什么工作。我举几个例子。能作气象预报工作，如英国的气象中心，装有世界上容量最大的计算机，离牛津大学很近。那个气象中心一进去是一个两层楼的楼房，大概 50 米长一层，底下一层是气象中心，上面一层是全英国的气象台的收发报室。它把整个北大西洋的全部船只上的气象报告，通过无线电接到它那儿，还有美国东部的各城市与西欧各城市的气象报告。收来以后，把数据送入计算机，用计算机整理数据，每小时出三张图，一张是等温线图，一张是气压图，一张是风速风向图，用最快的办法送给各个用户。有很多用户与他们有联系，最大的用户是航空公司和轮船公司。每个飞机场都得有这个，才

知道当地飞行区域里的气象情况。计算机还可以用来管理工厂。在瑞典的北极圈里有一个很大的工业，它是个很大的富铁矿。在很多小山坡底下就是矿藏。矿区交通很方便，把矿石运到矿中心，这个中心有起重机械，把矿石拉上去，在山包的中间有个粉碎过程，粉碎以后再拉到山顶上去，山顶上有个工厂，是四层楼的工厂，150 米长，底下一层是动力设备，上面三层完全自动，把矿石再粉碎，把石粉用水烫成一粒一粒的，以后再烤成生铁粒子，用传送带送到厂房外面，倒在火车车皮上，全部自动。以后运到挪威北边的一个港口，再运到联邦德国、日本、比利时、卢森堡等许多钢铁中心去。这种铁粒子可以直接炼钢。这样一个工厂年产量是 200 万吨，有好多个。这个厂用多少工人呢？四层楼的工厂只用八个人，一天四班，6 小时工作制。两个工人在底层管动力设备，有两套设备，一套坏了，另一套拿出来用。上面的三层楼六个人，四个人管计算机控制，还有两个人是检查机械看有没有什么毛病，不断地修补。

再就是管理资料。加拿大国家科学图书馆的许多工作都用计算机去做，你要的资料都可以用计算机去查。我亲眼看见一个年轻工人，说你给我查一查，查什么呢？查汞，就是水银，问水银的污染怎么处理？要查这个资料。打字员打了字，一打以后，显示屏上就告诉他说，你这个题目太大了，资料太多，应该缩小点范围。这是怎么回事呢？原来这个图书馆的终端设备是和美国华盛顿国会图书馆的资料库连在一起的，这个资料库把最近 10 年里发表的科技文章，全部存在计算机中，每篇文章的题目、作者、主要内容都存在里面，分了类的。这个小伙子挠头摸耳地也没有办法，大概是老板叫他来问的。正在难办的时候，那个打字员还是很有经验的，问他是哪儿来的，他说是造纸厂的。打字员说，行了，范围可以缩小了，造纸厂发生汞的污染怎么治理，这个题目小得多了。那边一下子给他 17 篇文章的目录和索引，文章是什么题目，谁写的，发表在什么杂志上，第几期，第几页，哪一年发表的，文章的主要内容是什么，旁边就有印刷机，一下印出来就是资料。那个小伙子非常高兴，交了 35 块钱，拿上资料走了。原来这是华盛顿国会图书馆的资料摘要，通过计算机给了他。这对科技工作者来说是大事情。每一个科技工作者，给了你

题目,不管你有什么经验,如果没有摸底,拿起来就干,干了半天,有很大发明创造,实际上别人早做过了,可能比你还好。为什么要找资料?就是我们应该站在别人的肩膀上往前走,不能盲目地去做。否则,别人都做过了,何必再做呢?你想到的,别人一定也想到了,那先把别人想到的问题,拿来分析分析,看是不是还有更好的办法,这是搞科研的一套方法。那么现在我们怎么样呢?我们现在有些工业企业解决问题的办法是什么呢?就是派很多人到全国各地去调研,有的乘飞机,有的坐火车,到各地方去问,我这个题目,你有什么参考书,有什么办法没有?问了很多,很多人,很多意见都是相同的,花的钱不少,一调研就是两三个月,这是又浪费功夫,又浪费钱,把事情还耽误了。比如查化学资料文章,化学资料多得不得了,查起来很费劲,很会查资料的人也得花上几个星期,不会查资料的人,得花几个月才能查出来,现在几分钟就查出来了。用这个办法可以节省花在查资料上面很大的人力、财力和时间,火车上的乘客有一部分就是搞调研的,派人出去调查是要花钱的。我建议以后到各地搞调研,领导可以不给钱,听一些道听途说的东西没有用处。查资料这一套不只是加拿大向美国要,据说在东京、在香港都可以向美国要。香港中文大学与华盛顿国会图书馆有联系了,已有一套设备,付钱就行,问完了,按字数付钱叫服务费。现在我们要资料,可以通过香港中文大学联系,可以要到这些资料,任何问题开口要就行,不过要钱,得给香港中文大学钱,这样可以节省我们很多的时间。美国国会图书馆还有一批资料,叫社会资料库,有关人物的资料。我在加拿大有一个老同学,在报上看见我到了加拿大,一看,名字英文的拼法不对,我从前的名字是按北京音拼的,钱字是 Chien,新中国成立后外交部说这个字太难听,为什么呢?在法文里这个字是“小狗”,“Chien”不好听,所以改成了上海拼法,用 Tsien。以后汉语拼音拼作 Qian,美国人读不了,改拼 Quian。这一下搞乱了,他想会不会弄错呢?后来他想出一个办法来,跑到图书馆去要 Tsien 这个资料,居然要来了。一查,我的全部档案都出来了,哪一年生的,我有几个名字,几种拼法,小时候怎么样,后来是在哪儿学习的,以后在美国做什么工作,它都写上了,非常详细,比我们国家的档案还要详

细。详细到什么程度呢？“三反”运动时我有个检查，我记得报纸上没有发表过，而全文登载在里头，反右时期《人民日报》登的全部材料都在里头，到1960年摘了帽子，1968年工宣队进学校，封了我是“反动学术权威”，什么都有。其中还有我在加拿大和美国的一些活动。老同学一看，是我，花了六十多块钱买了这些档案，六十多页厚厚一本。他们这些档案是公开的，我们的档案是看不见的。他们不叫档案，叫资料，只要你出钱就买得到。他们是怎么弄的呢？他们把所有的报纸和收集起来的资料都往计算机里一存，以后是分类，你要什么，它就能拿出来什么东西。后来我们团的副团长，是白介夫同志，现在是北京市的副市长，他说你们是报上常见的，我这个人从来没上过报，因此肯定在资料库里你们都有，而我没有。后来我不相信，到了美国，我就托美籍华人去问，我说你去弄一份这个资料来，果然弄来了，也有二十多页。白介夫同志是从来不见报的，他是一个老干部，他的资料是从他在延安自然科学学院一个墙报上写的一篇文章开始的，以后在大连的一个自然科学研究所里做过几次报告，什么经验交流也在上面，以后是在北京的中国科学院的化学研究所当党委书记，怎么被斗的，“文化大革命”时群众斗他的检查也在上面。你们看，他们的档案工作是很厉害的，用不着派很多人到四面八方去收集，而是从报上，或我们被斗的那个小报上搜集来的，用检索的办法存入计算机里，经过不断地增加而使资料丰富起来。存入计算机里，不仅有人，还有事，如我们与美国建交谈判，谈到两方面扣留的资产。他们先提出来，我们也提了出来。要谈判必须有材料，尼克松没有带材料来，就发电报回去，用计算机查，一个晚上材料就回来了。所以计算机是很重要的。这样一个资料库是美国国会图书馆为供应国会议员进行辩论时候要资料而设立的。他们辩论问题都要举许多具体的资料。那么，这资料库怎么来的呢？他们过去是用很多的秘书，每一个议员后头都有一大堆秘书班子跟他去收集材料，写发言，现在改问计算机了。他们在1969年通过了一个提案，拨钱建立了这么一个资料库，来供应议员进行辩论时所用的资料。这个资料库规定，美国的纳税人只要交钱都可以看。这个资料库很大，全是计算机存起来的，查资料非常快，于是他们辩论起来就

很方便。可是现在出了毛病，最近任之恭教授回来同我谈，现在他们吵起来了，吵了好几年了。吵什么呢？原来社会上有一批流氓，敲国会议员的竹杠，怎么敲法呢？就是到国会图书馆资料库要每个国会议员的档案。有些国会议员年轻时不很老实，桃色新闻什么的报上也登过，时间长了，大家也忘掉了。现在成为国会议员了，流氓拿了档案材料去找他说，你看，你什么时候干过什么一桩事情，明天就要见报，你看怎么办？就是要钱吧！现在许多国会议员有意见，当年提这个提案是为他们工作方便，现在对他们自己不利，他们想取消这个提案，把这个资料库取消。可是很不容易，因为美国国会章程有一条，要否决一个法案，必须 $2/3$ 以上的人通过，才能取消。国会议员里不同意的看来还是多数，所以老通不过，老是达不到 $2/3$ ，现在还搁在那儿。哪天通过了，哪天才能取消。

计算机还能管理银行的业务。银行的账目由计算机管，比我们现在用人管快，而且全国都能取钱。我们只能在哪儿存哪儿取，你在海淀区人民银行存了钱，在市里取就不行。他们用计算机管理，北京存了钱，在南京能取。用计算机统一管理有很大的优越性，但我们目前还不可能，储存量太大。我们是 10 亿人口的国家，用一台计算机管全国银行账目太困难。现在不行，将来行。美国最近有一台计算机专门管全国的支票，管每个人收入和支出的支票，用计算机把支票全部记下来。还有一个用处，年终交税时，一查计算机就知需交多少税，这对美国政府有很大的帮助。过去交所得税，是你赚了钱，年底到所得税局去交税。要算这个账比较难，它的各种各样免税、减税的法律非常复杂，单身的，或者有病的，或者一个小孩的，各种各样的情况，还根据赚钱多少也不一样等情况来计税，很复杂，一般人搞不了。一般人都是花它几十元钱找会计师给算一算账，他就告诉你应该付多少。你叫会计师签字，那边所得税局也不会跟你麻烦。不然就会出麻烦，因为他们的法律实在复杂。现在全部用计算机管这个事。美国人都用支票，凡是收一张或是开出一张支票，计算机里就有一张支票，这个支票是存在每一个人的户头上的，或是每个户头出来的，这在计算机里都有。现在你偷税、漏税，用计算机管理就不容易了。过去很多偷税、漏税的人，尤其是自由职业者，很容易偷税

漏税。如一个顾问,人家和你谈了两个钟头的话,谈完以后按钟点收费,于是公司给你 1 000 元钱。你这个支票也没有登记,将来不报账,国家也不知道有个公司给了你 1 000 元钱,你也就不用交税,所以偷税漏税很厉害。公司中的偷税漏税的办法更多。所以美国的国家收入中所得税的比例并不高,当然也还是一大笔收入。最近由于所有的支票都要通过计算机,你到所得税局去,税局当场就告诉你该交多少所得税,用不着再请会计师算,偷税漏税的可能性也就很小很小。有了这台机器以后,美国政府的所得税收入增加了 200%,而过去的偷税漏税占 60%多,真正交税的只有 30%多,你看这多厉害。所以美国政府非常感谢计算机行业,给设计了这样一台大容量的计算机,这是很了不起的事情。

计算机还可以教人。我们在加拿大、美国参观了几个贵族小学,是私立的。小学中的教学都用计算机,一人一个屏幕放在桌子上,面前有显示板,教你怎么演算。计算机向学生提各种不同的问题,学生作答写在屏幕上,答对了告诉你对了,答错了告诉你什么地方错了。学生也可以向计算机提问,你自己写,计算机给你答复分析。这样几次以后通过了,下面第二个学生再来。有的学生进步很快,二年级的学生,已学到四年级的数学。计算机为什么可以做这个工作?他们告诉我,说每一门课是经过十几个人研究过的,这十几个人都是有三十多年教学经验的小学教师。他们早已预料到学生大概会提哪一类型的问题,每一课他们准备了许多答案,全部存在计算机中,请你来问,学生的问题一般是不会超出这个范围的。他们有个特点,就是教材比较稳定,三十多年的变化不大,与我们不一样。我们是每半年变一下教材,所以这个教学经验不容易总结。但是计算机本身不能做工作,还是要人先准备很多材料。这个设备可以用到小学、中学的教学上,中学以上就不大可能了。中学的数理化,大概学生提的问题跳不出这个范围,可是文科的许多学科就没用,例如英语就很难用。为什么呢?因为学生经常提的很多问题,计算机没有事先存答案。学生提出的问题一般与现在的电视很有关系,新的东西在电视机里出来,学生提的问题就与他们今天看的电视有关,计算机当然没有存今天的东西,所以它就无法回答。大学的教学根本不行,大学数理

化都不能用这个,因为大学生思想开阔,问题多了,回答不了。电视教育呢?他们自己估计几十年很难普及,因为很费钱,一台终端设备花钱很多,三十多个、四十多个终端设备,不是个个学校都能配备得起的。那几个小学不过是贵族学校,是资本家捐款搞的。所以,首先教学要很好总结,其次成本要大大降低。要不然电视和计算机教育很难普及。

现在计算机使用的范围更广了,大量地使用在管理上。1972年已在研究计算机画工程图,据说现在已经全面地解决了。不论是机械图、施工图、房屋建筑图、各种线路图,全部可以用计算机来画。画出的图很简单,就是圆圈、圆弧,再加上直线,总不外这几个工作。直线就是两点,那么你告诉计算机连一条直线就完了。画圆圈只要一个点,告诉它半径。需要多少弧度你就规定多少弧度,它用最基本的一些数学方式一个个地连接起来,全部的数据都存入在计算机中。假如你要哪个投影,它就给你投影,你要哪个侧面,它就给你哪个侧面。凡是正视图、侧视图、剖视图,都可以向计算机要。我们要画出一张图就很麻烦。计算机画的图,想不要哪条线一抹就去掉,我们画图时想不要那条线时可能前功尽弃,得重新画。而且它可以画立体图,所有点的坐标都是立体坐标,可以要求图在屏幕上展开,在计算机里转,看各个方向的。一所房子图在计算机里转,各个方向都看好了,这所房子图就解决了。修改图也很容易,尤其是大规模集成电路图,它有上万个电路,是一个一个的电路,它中间不能交叉,否则这个图就作废了。现在他们全部用计算机画,用计算机画大规模集成电路图最高明不过了,可以在地板上画,用电笔画。工学院学生最费劲、花时间最多的一门课是工程制图,一个设计工程,最花费时间的就是画图,但今天计算机大大帮助了我们的工作。

现在提一个问题,我们国家使用计算机的情况怎么样?因为我们的文字没法储存,中文打字机离不开人,打字的铅字是一个一个捡起来的,中文打字没有过关。怎样把中文输到计算机里,再取出来,这种技术非常重要。我们叫中文计算机,现在国际上许多人都在研究,这是一件好事。谁先过关,谁就得到这个专利权。最近我在香港参加一个会,发现全世界都在研究,但都不如我们。不过有一个问题不能公布,如果把方

法公布了，别人的技术比我们强，他们就会拿这个方法去制造，我们就失去了专利权。中文计算机应该是我们的专利权，也不允许我们没有这个专利权。现在国外都在宣传发明了中文储存器，都在展览，但都不如我们。我们的生产比较落后，要制成中文储存器要花半年、一年甚至两年时间，假若碰着一个官僚主义者，三四年就过去了。所以我们存在这样一个问题，向大家说一下，假如中文计算机能用了，我们大量的管理问题就可以用计算机来解决。例如北京的电话紧张，用计算机可以立刻解决。将来查户口、发工资全可以用计算机。别的不谈了，要使工业现代化，必须管理现代化。现代化的核心问题是计算机，它可以帮助我们处理很多难以解决的管理问题，可是现在中文计算机迟迟过不了关。

现在讲第三个问题。我们实现四个现代化，究竟有没有条件？现在社会上有争论，说四个现代化只是说说，根本没有希望实现。是不是这样？我的回答是能够实现的。我的这个答复是有道理的。实现四个现代化的必要条件是具备的，虽然不能说充分，要有充分的条件还要努力。但必要条件我们是有的，前提是必要条件。

四个现代化的必要条件是什么呢？第一个是人。我们的人行不行？现在有一股风，说我们国内的人都不行，一定要找外国人。目前留学的风很盛，现在派大学留学生，将来是不是还要派中学留学生呢？这样一种思潮是不合适的。我们的人是行的，不要小看了我们中国人，我们中国的文化技术在古代曾领先于世界，创造了很多的奇迹。问题是我们中国人现在行不行？关键就在这里。我说，我们各方面都有人才，新中国成立前我们国家出了不少人才，新中国成立后出的人才更多，问题是没有发现。我说这话可能有人不相信，要证明这很难。因此，我就说国外的，以美国为例。美国有很多美籍华人，我们大家听说过科学家里也有不少，比如李政道、杨振宁，得了诺贝尔奖金，现在还有一个丁肇中，都是有学问的人。这些人都是什么人呢？他们大学都是在中国毕业的，李政道、杨振宁是西南联大 1943 年毕业生，学物理的，他们的基础都是在中国打的。丁肇中是 1948 年中央大学毕业生。中国的大学看来还不坏，当然出国了以后他们很努力，创造了很好的成果，国际上承认了。我们

这个国家的知识分子和农民、工人是一样的情况，是非常努力、非常勤劳的。还有一个非常努力的人在美国，很有名，这个人没有拿诺贝尔奖金，是谁呢？是一个女科学家，叫吴健雄。吴健雄是新中国成立前 1937 年南京金陵女子大学毕业的，她很用功，在美国是出名的用功。她经常不回家，常睡在实验室里。她的丈夫是袁家骧，是袁世凯的孙子，也是一个用功的人。袁世凯家里很多人是不成才的，我们大家都知道，可是这个人是成才的，非常用功。两个人是一对，都是用功得要死，结了婚不大回家，大多住在实验室里。尤其是吴健雄，谁要找她做导师，当她的研究生，第一个要求是你三年不回家，没有暑假年假，只有在实验室里陪她一起搞工作，是出名的一个对自己工作严格要求、不断进行工作的人。她在低温物理方面有很大成就。杨振宁、李政道的理论是在她的低温物理实验的成就上证实的。她得到的温度是当时世界上最低的温度。她自己设计了很多低温的机器。她的成就得到全美国科学家的承认，1976 年她被选为美国物理学会的主席。那个时候她 63 岁，一个 63 岁的中国的老太太做了美国物理学会的主席。物理学会在美国是一个最有成就的学会，这个学会的诺贝尔奖金获得者就有三十多人，是美国学术界非常有地位的一个学会。她那个主席不是上头派的，跟上头派的学会主席不一样，她是一票一票选出来的，其中包括这批诺贝尔奖金获得者的票。她对自己的生活不大考究。我们一直动员她回来，她舍不得她的时间，因为一回来至少一两个月，最后到 1978 年还是回来了。她穿的一身服装，别人一看就很奇怪，还是三十多年前她出国时候穿的旗袍，她人又长胖了，绷得紧紧的。我就问袁家骧，你的夫人怎么穿这么一件衣服？她说她在国外很忙，她一直就穿这些衣服。她出国时候做的衣服现在还穿在身上，她是根本不考虑自己生活得怎么样的一个科技人员，充分体现了我们国家、我们这个民族的特点，是非常勤劳的。杨振宁、李政道都是非常艰苦的，都是非常用功的人。其他还有数学界的，如应用数学学会，在美国是一个很大的学会，因为它在工业上有很多用处。这个学会的主席是美籍华人，叫林家翘，他是 1937 年清华大学物理系的毕业生，回来过好多次，对我们国家应用数学的发展很关心。这个应用数学学会主席

是不容易当的，他也是人家选举出来的。最近回国来的陈省身，是国际数学学会的副主席，也是美国数学学会的副主席，到北京主持“三微”会议，就是微积分、微分几何、微分方程会议。他在微分几何上有很大成就，是划时代的一个创造者。这个人在世界上地位很高，是1933年南开大学毕业生，1933~1935年是清华大学数学系研究生。这些人都是我们国家培养出来的。有人说你说的都是搞数理化的人，这些都是搞理论的，搞实际的你们不成，你们永远是理论脱离实际。实际上我们在工业方面也有很行的人，美国很多工程学会的负责人是美籍华人，如有一个工程学会，它有14个分会，其中有7个分会的主席是美籍华人，都是新中国成立前后在国内毕业的。像美国搞建筑最有名的也是美籍华人，叫贝聿铭，最近回来过，是他们的权威。还有搞钢筋混凝土的林同炎，他是高强度钢筋混凝土的发明人，他设计一条钢筋混凝土油管，从阿拉斯加经过海里一直到西雅图。他是交通大学毕业的，在美国很有权威。有人说，你讲的都是老一套，这些都是过去的老工程，现在美国讲的是电子工程，电子计算机，你们大概不行，只会搞老的，不会搞新的。在国内就有这一类舆论，我是听见过的。那么现在我举一个例子，美国有一个最大的电子计算机工业，是国际垄断工业叫IBM，它垄断了全世界计算机的92%的销售量。它自称它那个工业的工人占 $1/7$ ，科技人员占 $6/7$ ，做研究工作的技术人员就有15万人。它有11个研究所分布在全世界，有7个在美国国内。我们在纽约停留的一个星期内，这个经理招待我们一个星期的吃、住、交通，一切都由他供应。我们很纳闷，他招待我们干什么？我们本是美国政府邀请的，可是美国政府也同意他出钱，住的是最好的，吃也是最好的，很费了一些钱。后来到星期六，我们要到芝加哥去了，他送行，搞了一个送行的宴会。这个经理平常不大爱讲话，在宴会上他讲话了。他说我们这个工业是一个知识工业，靠知识过日子的。我们这个工业保密性很强，牵涉到我们国家和其他国家的关系。他说我们对苏联是不怕的，我们对他们完全能保密，我们也卖给他们机器，可是当卖给他们的时候，我们已经又有很多新的成果，这个新的成果我们不卖，我们卖给他们的是我们不要的东西。他说他们大致上落后5~10年。他们买

到我们的机器，把它拆了再仿造，我们也不怕。他要重新设计制造出来，至少也得4~5年，所以他们很有把握领先。后来话锋一转，他说现在你们来了，我们无法对你们保密。我听了就感到奇怪，有什么不能保密？不卖给我们，那么我们不是一点办法也没有吗？他说不是的，他说我们15万研究人员中，有800位是工程技术的领导者，领导着我们各个部门的工作，都是技术上的头把手。这800人都是他们的核心人物，是他们的佼佼者。他说这800位高级技术人员中有55%是华人，但是他们加入了美国籍。我们过去都非常相信他们，因为我们与你们没有来往。现在不行了，现在尼克松到了北京，你们也来了。他们很多人有父母在大陆，有的连爱人还在大陆，三十多年、二十多年、十多年来他们和国内没有来往，爱人还在，有的子女还在家里，那么现在申请到中国探亲，你说我们能不让他去吗？他到北京以后，我们也不能在他嘴巴上贴个封条，什么也不许讲，他爱讲什么就讲什么，那么还有什么可保密的呢！因此，他提出个建议，说我们还是协作吧。当然我们未置可否。计算机这样一个尖端技术，华人在美国是占领导地位的，可以想像我们中国人是有才干、有本事的。他们很多人是被迫入了美国籍的，心还是向往祖国的。他们有我们民族的特点，非常勤奋，都是很有前途的。因此，我说我们这个民族是有前途的，我们的知识分子也是有前途的，他们从来就与工人、农民一样的勤奋。有人说，现在为什么弄得一团糟，我不那样认为。我们的知识分子是好的，任何一个国家像我们遭受“文化大革命”那样的浩劫，那个国家的知识分子一定跑光了。希特勒德国是这样，现在波兰也是这样，他们自己培养的大学生有一半跑到美国去了。又如西欧各国的知识分子，美国的待遇高一点也全跑了。可是我们中国的知识分子是这样吗？不是这样。苏联十月革命后也跑了不少知识分子。我们的知识分子基本上留下来了，当然不能说一个没有跑，“文化大革命”期间你看见老知识分子跑到美国去了吗？没有。个别的跑出去了，如马思聪跑出去后还想回来。现在有个别人才外流，其实占整个知识分子的比例很小很小。到香港去的还有些，他们在中国大陆很困难，什么也干不了。大学毕业生在60年代生活困难时期走了一些。总的来讲，

我们的知识分子是好的。为什么我们的知识分子是好的？有一个特点，我们的知识分子是半殖民地社会下的知识分子，与资本主义社会的知识分子不一样。刚才说的那些国家是资本主义社会，连苏联革命前也是这样，他们有奶就是娘，而半殖民地社会的知识分子有民族自尊心，民族自强的心理笼罩了他们的整个思想，他们热爱这个国家是为了建设这个国家。为什么那么多的知识分子在 1955 年、1956 年一批批地回来？为什么现在还有那么多美籍华人还经常回来，甚至卖了房子作路费回来讲学？我知道有一个教授是卖了房子回来的。他们回来知道国内困难，还要给亲朋好友送点礼。有的带了孩子回来看看祖国。这是什么心理？不从民族感情出发是很难理解的。自己的祖国不富强，在国外最多当一个二等国民。经常出国的人都有这样的体会，包括华侨在内，都希望祖国强盛。我们在国内的知识分子也是长期受殖民主义的压迫，也是要求国家强盛，要亲手建设我们的国家，因此在条件困难的时候，也舍不得离开祖国，勤勤恳恳地工作。当党号召的时候，团结在党的周围努力工作。前段时间有些人给我造了很多谣言，说我跑到美国不回来了，向邓副主席写信，邓副主席出于人道主义精神，把我的家眷送出国了等等。这些谣言是资本主义思想严重的人造的，真正的中国知识分子不会这样的。在半殖民地社会下成长的知识分子，他们知道国家富强只有靠自己来建设。我们在这里呆下去，不仅是为了自己生活，而是为我们子子孙孙生活得更好，不是为了别的要求。我们没有考虑自己的问题，要不然，就不干了，那不很简单，可是我们没有这样做。因此，必须区别半殖民地社会与资本主义社会的知识分子，了解了这一点，知识分子问题才能得到解决，否则，知识分子问题永远也解决不了。总的说来，我们中国人是有才干的。有的人骂美籍华人是叛徒，美籍华人很不满意，写信问我，我说那是个别人的看法，大多数人不是这样看。他们是不得已入了美国籍，心还是向往祖国的，这一点不是从个别人，而是从很多人的身上都可以看得清楚的。

有人说，新中国成立前培养出来的知识分子还可以，新中国成立后培养出来的不行，这不对。我们新中国成立后培养出来的人，有很多是

奋。这就是说，始终都必须不辞劳苦、勤奋努力，都必须有孜孜不倦、锲而不舍的顽强精神和踏踏实实的学习态度。这是我要说的第二点。我承认人们生来智力是有差别的，但我认为这个差别不大。我从来不相信有什么所谓“天才”，而只是相信人的才能是用艰苦劳动培植出来的，天才出自于勤奋。明代的李时珍从来没有中过举，一直是布衣，但他通过近30年的调查、访问、学习、实践、总结后写出了举世闻名的巨著《本草纲目》。后来又有一个徐光启，用毕生的精力刻苦勤奋地研究天文和农业科学技术，到六十多岁时整理写出了流芳百世的《农政全书》和《崇祯历书》（未完成）。陈景润是“天才”吧？不，他的才能是用刻苦攻读铸出来的。还可能有人说我这个钱伟长也是有才能的，其实不然。我愿毫不隐讳地告诉青年朋友们，如果说我曾做出了一点成绩的话，那么这点成绩也确实是用艰苦学习、不懈努力取得的。我小时候家里很穷，先后在四五个学校里读了三年小学，尔后又读了两年初中和很短时间的高中，而且由于此前我注重文科，入大学后临时改读理科，所以学起来是十分吃力的。当时我们的系主任甚至为此给我讲明：必须在一年之内赶上去，否则就要退回文科。那一年我可真是全力以赴了，天天跑图书馆，见人就请教。功夫不负苦心人，一年之后，我的数学、物理、外语等学科居然全都赶了上去。这几十年来，无论是在国外还是在国内，也无论条件好坏、环境优劣，我都一直是尽力而学的。因为我清楚地知道，任何人，不管他的天资如何好，成就多么大，只要停止了努力就不能继续进步。今天不努力，明天就落伍；长期不努力，那就必然完蛋！正因为我坚守这个信念，二十多年来虽然经受了各种各样的磨难，但我从未放弃过努力，所以我自信在专业上没有掉队。去年一年我发表了15篇科学论文。

这里，我再给大家讲两个勤奋的事例。一个是我的学生，现在是兰州大学的教授。前些年他坐了七年冤狱，但是在监狱中他也没有放弃思考问题和学习，所以出狱后仅两个月，他就提出了根据在狱中的构思而写成的科学论文。还有一位年轻人，1964年毕业于北大物理系。十年动乱期间，他不顾各种干扰，日夜坚持自学，先后学通了14种外语，而且

每种都能通过考试。据说这个同志学习和睡觉的时间是不分的,有精力就只管学,什么时候累了就休息一会儿。我给大家讲这些,是希望青年朋友们在通往理想的道路上都能有个正确的态度,无论在什么样的条件下都要始终不渝地坚持我们中华民族“勤奋”这个优良传统。

最后,我还想给大家提一下学习方法中的一个问题。干任何事情都要得法,得了法才能达到预期目的。在学习上懂得了“勤奋”,做到了“努力”,也还必须得法。这个法很简单,就是要“弄通”,要“理解”,切不要死记硬背。死记硬背的东西是没有用的,也是不可能记得牢的。因此,希望正在求知的广大青年朋友们,无论学什么,也无论是在学校还是不在学校,都一定要掌握这一点,一定要通过深入钻研、反复琢磨而真正弄通、理解所要学的东西,在理解了的基础上去记忆。只有这样,才能把知识真正学到手,才能使自己所学到的知识在祖国的建设事业中发挥作用。

现代力学和四个现代化*

力学研究物质结构不同层次中物质最简单的运动形式及这种运动形式与其他运动形式耦合的运动,研究物质运动时物质之间的相互作用。

物质最简单的运动形式是机械运动,即物体(质点)位置在时间空间中的变化。人们在日常生活和生产中无时无刻不遇到和观察到这种运动。所以,在人类发展科学的历史中,在整个古代,最先发展起来的本来意义的自然科学研究,只限于天文学、数学、力学这三门科学。而在经历漫长的中世纪黑暗时期后,在 16、17 世纪奠定近代自然科学基础的时期,首先建立了完整科学理论体系的是“最基本的自然科学”——力学。

力学如同所有其他自然科学一样,是在不同历史时期逐渐形成和发展的。它所研究的对象、范畴、理论和方法,它认识世界的深度和广度,它改造世界的巨大威力,不断由低级向高级发展,这个过程永远不会完结。

作为自然科学先锋和主力军之一的力学,从 17 世纪建立自己的完整理论体系之时起,便在自然科学和工程技术的许多领域大显身手,不断向深度和广度进军。三百多年来,特别是进入 20 世纪的现代力学时期以来,力学的发展可以认为是沿着以下三个主要方向进行的。

一、深入认识物质结构不同层次中物质的运动形式及各种相互作用,发现新的力学现象及基本规律

在科学发展史中,由于物质结构及物质运动形式的基本规律是在自然界普遍起作用的规律,所以每一次在这方面作出的理论上的重大突

* 1980 年 8 月 28 日,在山西太原工学院的报告(录音稿)。

破,都是影响极其广泛而深远的。17 世纪建立的牛顿力学体系便是这样的重大突破所达到的第一个高峰。它在其后的 300 年间发展得如此之完美和成功,不但它自己在 19 世纪达到其黄金时代,而且带动和促进整个自然科学特别是数学和物理学达到其黄金时代。牛顿力学体系很早就是整个物理学、天文学等自然科学的理论基础,是一切机械、土木建筑、水利工程、交通运输、动力工程、仪表制造、武器制造等工程技术的理论基础,对整个近代文明和现代文明作出了无法比拟的巨大贡献。它的机械唯物主义自然观曾经统治整个自然科学领域达 200 年之久。

然而,不少著名科学家曾经指出,在漫长的力学史中,不止一次出现过这样一种意见:似乎力学作为一门基础科学,它的发展已经完成了。到今天还有人认为,力学只是关于物质宏观运动规律的科学,自从牛顿力学体系建立后,作为基础科学它已没有什么事要做了,在当前,电子计算机和力学工作便是现代力学了。

其实,牛顿力学体系只是力学发展过程中达到的第一个高峰。世界是无限的。在人类认识世界的无限过程中,牛顿力学体系不过是对物质结构和物质运动形式的基本规律的第一个近似模写。它在常规尺度和速度的范围内是真理。而在迄今为止以前人类的生活、生产和科学实验活动中,绝大多数人直接接触到的自然现象是在常规尺度和速度范围内,所以人们往往把牛顿力学看作就是力学。事实上,早在 19 世纪末就发现建立在绝对化时空、绝对化质量和决定性因果律上的牛顿力学体系的局限性。到 20 世纪初终于出现了两门新兴的力学,即描述宇观世界或物质高速(光速量级)运动规律的相对论力学和描述微观世界物质运动规律的量子波动力学。它们是力学发展中的两个新高峰。1955 年法国著名物理学家和力学家德布洛意对此说了一段非常精辟的话:“力学的原理取得了如此高度的完美性,以致 50 年前,大家相信实际上它已经完成了它的发展。可是正在这时,相继出现了两个非常出乎意外的古典力学的发展——一方面是相对论,另一方面是波动力学。它们导源于或者解释非常微妙的电磁现象,或者解释原子尺度范围内的可观测过程的需要。相对论力学只打乱了人们对于时间和空间的传统观念,它在某

某种意义上,却完成并给古典力学加上了皇冠;量子 and 波动力学则给我们带来了更为激进的新概念,并迫使我们放弃基层现象的连续性和绝对决定性概念。今天相对论和量子力学,形成了我们对整个力学现象领域认识的前途中的两个最高峰。”^①

两个新兴力学体系是现代力学的标志。它们形式上和古典牛顿力学体系截然不同,但却都是牛顿力学的继续发展。当它们趋于常规状态时便都转化为牛顿力学。它们的兴起并不是对牛顿力学的否定,而是对牛顿力学体系的大大扩展,使力学的范畴从常规情况向微观(分子、原子、基本粒子)和宇观高速(星系、整个宇宙)两个方向大大延伸。诚然,牛顿力学已经历了三百多年的发展。但它并没有失去生命力,在它的范畴内力学工作者还大有用武之地。可是,就力学的发展来说,两个新兴力学体系的建立还不到一个世纪,应该说它们更有潜力可以发挥。它们已经引起整个自然科学和一系列工程技术带根本性的变革(基本粒子物理学、宇宙学、核技术等)。从现在科学技术加速发展之快的情况来看,力学工作者今后在这两个新兴力学范畴内驰骋的天地也是辽阔无垠的。

目前我国科学技术与世界先进国家相比差距很大,我国力学工作者的数量和质量与四个现代化所要求的相比差距很大。现实情况迫使我们不能把较多力量投入到发展两个新兴的力学体系和探索更新的力学体系方面。但我们还是千万不要忽略这两个极其重要的方向。对力学工作者来说,当前下列几个分支值得予以注意。

1. 规范场论

深入研究物质结构的基本粒子物理学是当前物理学研究的前沿,吸引着许多著名的物理学家、力学家和数学家。要深入了解物质更深层次的结构,需要推广关于物质结构的时空概念,搞清楚迄今已经知道的自然界存在的四种基本相互作用(引力相互作用,电磁相互作用,弱相互作用,强相互作用)之间的关系(当然,有可能存在新的基本相互作用类型,这是尚待探索的)。我们对引力相互作用和电磁相互作用比较了解,对弱相互作用和强相互作用,则需要继续深入研究物质的原子核结构和基

^① 转引自:谈镐生,力学和它的发展,力学学报,第3期(1978),250页。

本粒子结构才有可能了解。各种基本相互作用彼此很不相同,存在着能否把它们统一起来的问题。如果不能统一,也要探索它们特有的基本规律。目前认为有可能把弱相互作用与电磁相互作用统一起来。当前流行的假设是所有的已知相互作用都是一些规范场的表现,而规范场是由一个完全的对称性原理以及跟一些守恒荷相联系的长程力来表征的。我国已有一些力学工作者在从事规范场论的研究工作,并已取得一些可喜的成果。

2. 宇宙流体力学

宇宙中的物质 99% 是流体(包括液体、气体和等离子体)。宇宙流体力学是利用发展得比较成熟的流体力学理论和方法,经过必要的改进去研究宇宙空间介质的各种现象以发现其一般规律。近 30 年来国际上许多流体力学家转到这方面工作,对天体演化、宇宙湍流、恒星大气的流体力学特性、太阳风与恒星风、地球磁层、宇宙线起源及其与介质及磁场的相互作用等问题,都取得了引人注目的成果。譬如美籍中国学者林家翘所发展的密度波理论,精确描述了星际介质在星系引力场作用下的运动,阐明了星系旋臂结构的形成机制和运动规律,得到观测证实,受到天体物理学界的广泛重视。我国也有一些力学工作者在这方面工作,并得到了较好的结果。

3. 相对论流体力学

在天体演化中,当超新星猛烈爆炸时,如中子星在四维时空中大爆炸后坍缩成“黑洞”时,物质获得接近光速的速度,这时必须用相对论流体力学来描述此种物质的运动。人类已经实现行星际航行,进一步要实现恒星际或星系际航行,就要采用光子火箭等技术,这也需要进行相对论流体力学的研究。国外已有不少人在搞这方面工作,我国则刚刚开始有人去搞。

我国从事以上这些方面工作的人尚少,应当给予积极的支持和鼓励。我们力学工作者要有雄心壮志,在当代科学的前沿取得重大的突破,对四个现代化作出巨大贡献,对人类作出巨大贡献。

二、力学基本定律和各种具体物性的结合,发展了许多特殊的力学分支学科

20 世纪力学发展的一个极大特点,是与工程技术、生产实际紧密结合。力学几乎在一切科学技术领域起着重要作用,成为它们的理论基础。航空航天技术的迫切需要特别刺激力学取得了大发展。力学的大发展又带动和促进许多科学技术特别是航空航天技术取得震撼世界的成果。

1. 非平衡流动和分离流动

20 世纪流体力学发展特别迅速。19 世纪末 20 世纪初飞机已经飞离地面。但 19 世纪发展得很完美的理想流体力学,得到的却是飞机不可能飞起来的结论。解决这个矛盾的是 20 世纪初出现的机翼升力理论和边界层理论。这奠定了现代空气动力学的基础,是流体力学史上划时代的贡献。从此,航空航天技术建立在可靠理论的基础上,一日千里地飞速发展。30 年代出现了气体动力学(可压缩流体力学),飞机突破所谓声障,实现了超声速飞行。50 年代出现了高温气热动力学,提出烧蚀防热办法解决洲际导弹、航天器再入大气时的发热问题,突破所谓热障,实现了航天飞行和洲际导弹发射。1980 年 5 月 18~21 日我国向南太平洋发射洲际导弹试验成功,表明我们关于高温气热动力学的研究为这次发射成功作出了贡献。60 年代欧美实现载人登月飞行后,航空航天领域主要问题基本解决,大批流体力学工作者转向能源、大气海洋、宇宙、环境保护、生物等科学技术领域。但在我国,对高速飞行器的防护、遥控、机动飞行、通讯等以及对大功率激光器等的发 展有理论指导意义的高速高温气体动力学,特别是非平衡流动和分离流动等的研究,还需大力进行。

2. 湍流

湍流是自然界和工程技术中普遍存在的流动现象。它和人类生存、国民经济、国防建设以及自然科学的许多领域都有密切关系。例如,没有湍流扩散,地球表面大气中的有害物质就很难散出,人类将无法生活;

没有宇宙湍流,星系、天体就不可能形成和演化;没有湍流传热传质,工程技术中的许多过程就无法进行,等等。因此,湍流基础理论、湍流边界层、大气湍流、海洋湍流、等离子体湍流、湍流传热传质、宇宙湍流等问题,是航空航天、气象、海洋、水利、化工、动力、受控热核反应、宇宙学等的重要研究项目。湍流是流体力学一百多年的老大难问题,吸引过不同时期力学、物理学、数学、工程学领域里不少最伟大的人物去进行艰苦的研究,几经起落,至今尚未把问题解决。近十多年来,由于现代测试技术和电子计算机的发展,在实验中发现了一些与湍流有关的新现象如拟序结构、向湍流转捩时的猝发现象等等,数值计算和湍流大尺度结构问题也取得一些可喜的进展,湍流研究工作又大为活跃起来了。湍流问题是流体力学中最基本的问题之一,它的突破将带动整个流体力学的发展。国际上许多国家投入很大力量进行这一问题的研究。我国著名物理学家和力学家周培源同志 30 年代就从事湍流研究,他在 1945 年发表的论文现在重新引起国际上的注意,但在国内却有后继乏人的危险。目前国内虽然开始注意湍流研究,但抓得不紧,进展不大。同国外相比,无论在理论研究、实验工作或数值计算方面,差距都比较大。

3. 高速水动力学

近些年来国外许多科研人员已把注意力从开发外层空间转到开发海洋。海洋科学技术已成为非常活跃的领域。提高水面和水中运动物体的速度,是当前人们极为关注的问题。20 世纪前半叶空气动力学的惊人发展奠定了航空航天技术取得神话般进展的理论基础,并且普遍影响着当代一切工程技术的发展。对比起来,水动力学和航海技术所达到的成就远远落后了。现代超声速飞机的速度可达 2 000 公里/小时(≈ 600 米/秒)以上,而现代最快快艇的速度却大大低于 100 节($=100$ 海里/小时 ≈ 50 米/秒),即现代造船技术还处于非常低的亚声速阶段。现代飞机提高速度 100 米/秒($=360$ 公里/小时)是不太费劲的事,现代大型舰艇提高速度 10 米/秒($=36$ 公里/小时)却是非常可观的成绩。提高水中运动物体速度的主要障碍是水动力阻力,尤其是摩阻(水动力阻力包括粘性阻力即摩阻、兴波阻力和涡旋阻力)。目前许多发达国家非

常注意研究物体在水中作高速运动时的各种水动力效应：非线性水动理论、气蚀机理、三维物体空泡绕流、弹体出水入水的非定常空泡流动等问题的研究。利用有空穴形成的脱体绕流可以大大提高水中物体运动速度，对这个新动向应予注意。国外还有人在考虑超高速水动力学问题，即速度达到高亚声速甚至超声速时的问题（水中声速约为1 500米/秒）。这时要考虑水的可压缩性。最近的将来还不可能造出高亚声速或超声速舰艇。但现代科学技术发展一日千里，谁能料得到哪一天会出现超声速的水中舰艇和导弹等呢？！

4. 渗流力学

主要研究流体在多孔介质、裂隙介质中的运动规律。自然界普遍存在着多孔和裂隙介质，如岩体、土壤，植物的根、茎、枝、叶，动物的小血管、微血管、肺泡系统，等等。现代工程技术日益广泛采用各种类型的人造多孔体。这些多孔介质及其中流动的特点是：孔内径很小（毫米量级至微米量级），表面分子力作用显著，表面现象突出且复杂，微观和宏观非均质性严重，流动中往往伴有复杂的物理和化学过程，等等。这些特点把渗流力学与流体力学其他分支明显区分开来。如果从1856年法国工程师达西提出渗流基本定律时算起，渗流力学到现在已有一百多年历史。但现代渗流力学是本世纪20年代随着大规模开发石油和天然气开始形成的，直到现在仍基本上与开发石油和天然气一起迅速发展。

现代渗流力学大致包括地下渗流、工程渗流和生物渗流三个方面。工程渗流是指各种工程装置中人造多孔介质渗流，涉及化工、冶金、原子能、轻工、环境保护等许多部门。如化工中的过滤、洗涤、浓缩、分离、吸附以及填充床等装置内具有复杂物理变化和化学变化的过程，都有复杂的单相或多相、均质或非均质的渗流力学问题。生物渗流是指动植物体内的有关流动。生物渗流力学对了解人体生理及植物生长情况有重要作用，对疾病防治及发展农业有密切关系。地下渗流包括地下水渗流和油气田渗流。地下水渗流对开发地下水资源、保护水坝等水工建筑物、土壤改良和排灌工程、地热开发、城市地面沉降、污水处理、海水入侵等有重要意义。油气渗流理论是现代渗流力学的主要内容，是大规模开发

油气田、提高油气采收率的理论基础。关于渗流力学对油田开发的重要作用,有如下的事例。

美国民主德国克萨斯油田于 1930 年发现,同年投入开发,到 1939 年共钻了探边井和开发井达 3 万口以上,井网密度为 1~8 公顷/井。由于井网过密,不但耗费大量钻井费用,油田还大量产水,原油产量和压力都迅速下降。后来的渗流理论证明,该油田钻了大量不必要的井,主要是由于错误地认为井网越密采收率越高。研究还表明,该油田的压力影响可扩展到 112~128 千米,因此应该把油田作为一个整体来对待。这样,只需已钻井的 $1/60$ 即 500 口井就能够达到 3 万口井的采油水平。可是,巨大的浪费已经造成了。

美国在石油危机以后采取两条途径增加石油后备储量。一是加强勘探,一是增加已开发油田的可采储量,即推广三次采油法。据统计,到 1974 年初,美国探明的原油地质储量共 600 亿吨。其中 142 亿吨已采取,占地质储量的 23.8%;55 亿吨还可利用一、二次采油法采出,占 9.2%。因此美国一、二次采油的采收率为 33%。剩余的地质储量中约有 40% 无法采出,残留地下;其余 27% 的一半(近 81 亿吨)可用目前及最近将来的三次采油法在比较经济的条件下采出,另一半要靠未来的新方法采出。

苏联于 1946~1947 年采用边外注水方式开发杜玛兹油田,采出量比用老法高好几倍,节约资金 3 亿多卢布。1954 年起用边内注水方式开发罗玛什金诺油田,到 1961 年节约基建投资已达 13.5 亿卢布。

我国有丰富的油气资源,油气开发工业迅速发展,成长了一批渗流力学工作者,近年来在双重介质渗流理论等方面取得了一些较好成果。但我国油气开发和渗流理论的水平同国际上相比差距还较大。要想实现合理开发和大大增加采收率,必须提高渗流力学研究水平。此外,工程渗流和生物渗流也应加以注意。

5. 多相流体力学

流体力学过去主要研究单一物态流体介质的流动。自然界和工程技术中大量存在着由两种或两种以上物态(固体、液体、气体、等离子体)

的介质混合成的介质。如果不同物态的物质之间存在着界面,则每种物质称为该混合介质的相。由二相或二相以上(至少有一相为流体)的物质组成的流动系统,称为二相或多相流动系统。大气中雨、雪、云、雾、灰尘和放射性微粒等的运动,江河中的泥沙运动,化工和冶金装置中的反应过程,导弹再入大气时遇到雨雪风沙,核反应堆中的流体(水或液态金属)循环,煤的气化和液化,空气和水的污染,生物系统的血流和毛细管输送等,都是多相流动。国际上近 20 年来极其重视多相流动问题,几乎每年至少有一次国际性或地区性的多相流体力学会议,并且在流体力学、传热传质、化学工程、动力工程、原子能工程、生物力学等方面的学术会议中,也都有多相流动方面的专题会。可是,多相流动问题比单一流体流动问题困难得多,至今虽积累了丰富的实验资料,建立了不少有用的经验公式,甚至在某些特殊方面如稀薄气体多组分混合物的理论有相当深入的研究,却仍然未能把一批一批的特殊问题概括抽象成理论研究课题而予以突破。要是在寻求最大的概括性与通用的方程方面获得成功,那将是划时代的惊人成功,将成为现代流体力学的新的奠基石。目前国际上有不少第一流优秀流体力学家在此领域工作,我国对此还未给予足够重视。

6. 材料力学性能

现代工农业和科学技术对材料提出越来越高的要求。近年来国际上对材料科学的研究非常活跃,进展十分迅速。材料力学性能研究工作主要研究各种工程结构材料(金属、高分子聚合物、陶瓷、复合材料等)在各种常规和极端条件下的弹性、塑性、粘性、流变特性等力学性能及其破坏规律,要求从宏观、细观、微观各个层次进行理论和实验研究,深入了解材料的物质结构、结构与力学性能间的关系等,为按预定力学性能设计新材料和使用新材料提供理论依据。它是固体力学的基本组成部分,是各种工程设计的基础。它的突破将引起工程技术的大变革,并推动力学和材料科学的发展。

在各种工程结构材料中,当前值得特别注意的是高分子材料和复合材料。人类漫长的历史经历过石器时代、青铜器时代和铁器时代。目前

可以说仍处于铁器时代。每出现一种划时代的新材料都使生产工具极大改进,生产力飞跃发展。本世纪中叶出现高分子材料,人类就开始进入高分子材料时代。这种真正“人造”材料可以按人们对材料性能的需要,从多种原料按一定规律设计生产出来。它品种多,性能范围广,生产和加工方便,因而生产量大,用途广泛。例如美国,高分子材料产量有凌驾于金属材料之上的趋势,如 1973 年高分子材料总产量已达 2 000 万立方米,而金属(包括钢铁和有色金属)总产量才 1 660 万立方米。我国至今没有多少力学科研单位认真进行高分子材料力学基础研究,这是应当引起注意的。

现代复合材料是近 30 年来随着航空航天等尖端技术发展起来的新型结构材料,它由两种或两种以上具有不同物理和力学性能的材料经人工复合而成。它可以按人们对材料性能的特殊要求,选择合适的几种组成材料,按一定的方式组合,从而克服单一材料的某些弱点,发挥各组成材料的优点,达到高性能的要求。60 年代先后研制成功的硼纤维和碳纤维增强复合材料,标志着现代新型复合材料的出现(例如碳纤维比强度是钢的 2.3 倍,比刚度是钢的 4.8 倍,因此碳纤维增强复合材料具有比强度和比刚度都很高的特性,并且抗振、抗疲劳性能和冲击韧度都很好,高温蠕变变形小)。复合材料已成为航空航天和原子能技术不可缺少的材料,使用范围越来越广,特别在条件恶劣环境中有很大发展前途。为了合理设计和使用有特殊性能的复合材料,必须深入研究复合材料整体和各个组成材料特有的物理和力学性能,包括微观和宏观性能、动态性能、层向剪切、断裂机制等。

7. 结构优化设计和计算结构力学

在各种载荷及工作条件下对工程结构进行力学分析,是一切工程设计的基础。结构优化设计要综合考虑许多因素,包括经济、材料、工艺、使用等各个方面的因素,对结构的各种反应,包括各部分的应力、变形、振动频率、总体的承载能力、结构重量等,进行力学分析,达到预定的最理想的要求。高速电子计算机出现后,近 20 年来出现了固体力学中极为活跃的新兴分支学科计算结构力学,结构优化设计发展更加迅速。结

构优化设计目前已不只是停留在分析和说明结构上,而是进一步设计和改造结构了。不但如此。过去往往是一个元件一个部件地分别进行设计,例如分别按梁、板、壳、拱、杆系等分开计算,并要作许多简化假定。由于现代数学、计算机及计算算法的迅速发展,目前已有可能把整个结构作为一个整体来进行优化设计。例如美国近年来对波音 747 型客机的 JTGD-7 推进系统,就是把整个进气系统、低压仓、高压仓、涡轮机本体及尾锥等作为一个整体来进行分析。工作量这样庞大的分析计算,在十多年前简直不可想像。目前各工程领域的计算结构力学研究异常活跃。美国 70 年代起特别重视能源问题。计算结构力学在反应堆结构的设计、运转和维护等方面发挥了巨大作用。例如阿贡实验室和弗兰克林研究中心进行了反应堆的静力和动力分析,包括地震和各种复杂工艺条件下的反应堆壳体和管道的三维有限元分析,涉及结构动力学、热弹性力学、流体与结构耦合问题和材料科学等学科。和能源有关的另一迫切重要问题,是海洋钻井采油平台的力学分析。美国麻省理工学院(MIT)的康诺(J. J. Connor)教授等对此做了大量研究,把整个处于海洋多种不定因素环境下工作的海洋平台作为一个复杂的物理系统,将计算技术和海洋平台的力学分析结合起来,建立综合考虑海洋波浪随机性、结构非线性、地基衰退性的数学模型,用计算机来模拟海浪/结构/土壤的耦合现象,研究其动力随机反应规律,为这类工程结构设计奠定了理论基础。此外,在安全方面当前最活跃的断裂力学研究中,材料的塑性断裂、蠕变和温度对断裂的影响、应力强度因子的计算等,也都由计算结构力学来完成。计算结构力学还进入了宏观和微观相结合的材料机制领域,如复合材料的应力分析、复合材料断裂力学、动态断裂、应力波传播、微观晶粒位错等。总之,目前计算结构力学不仅对固体力学的许多复杂问题提供了经济和方便的实用分析手段,而且对加深总体力学现象和结构关系的认识,对新的力学构思作出判断,部分地代替复杂实验工作以加速研究进程等,都起了很大作用。我国已有一些计算结构力学工作者,并已作出了一些较好的成绩。但整个说来与国际水平相比差距还较大。必须抓紧加强培养人才和改善计算设备条件,这对于固体力学适应四个现

代化的迫切需要是当务之急的战略性措施。

8. 断裂力学

它主要研究带裂纹材料的裂纹扩展规律和发生断裂的条件。第二次世界大战期间,美国近 2 000 艘全焊接“自由轮”货船在使用中发生一千多次脆断破坏事故,其中 238 艘完全报废。1938~1942 年有 40 座焊接铁桥突然折断倒塌,事前未见异常现象。1950 年美国北极星导弹壳体在试验时爆炸,该壳体用 D6AC 高强度钢制造,屈服强度 140 公斤/毫米²,经传统力学性能试验认为合格,破坏应力还不到屈服强度的一半。1954 年英国两架彗星号喷气式飞机先后在地中海上空意外失事。许多国家多次发生高压锅炉、石油及化工容器或管道无故爆炸或损坏事故。这些严重事故引起人们普遍重视。美国 1959 年在国防部和科学院的建议下组成专门委员会,动员许多研究机构搞弹塑性力学、疲劳、材料试验等方面的专家,在有关部门配合下专门对材料的断裂韧度问题进行了研究,几年时间便取得显著进展,在 60 年代中期形成了固体力学的一门新兴分支学科断裂力学。

为什么超高强度的合金钢材料,竟会在实际破坏应力还不到材料屈服强度的一半时就发生突然的脆性断裂呢?原来,固体力学过去总认为材料是均匀、连续、没有任何缺陷的,在这基本前提下提出材料的传统力学性能指标。实际材料不可能绝对均匀,在生产和加工过程中不可避免地要产生一些微小的裂纹和缺陷。在一定应力下这些裂纹会逐渐扩大(但人们不易觉察到),直到突然断裂,就像带裂纹的玻璃只需轻轻一掰就破裂一样。航空航天飞行器、舰艇、高压容器等因为所处的特殊工作条件,为了保证安全,常常片面追求材料的高强度。殊不知带裂纹的材料,强度越高,韧性反而大大降低,更易发生突然脆断。经过近 20 年的研究,目前断裂力学已经有了比较严密的理论,并积累了大量实验资料,国际上学术活动极为活跃,对工程技术和生产实际起了重大作用。

9. 运动稳定性

一般地说,任何力学物理系统和工程技术中都有运动稳定性问题。它研究某些确定性或随机性的干扰对运动状态的影响,建立判别该状态

是稳定或不稳定的法则。它是一般力学和应用数学的基本问题,在各种工程技术,特别是控制系统、陀螺系统、电力系统、武器系统、航空航天技术等方面有广泛的应用。它主要有两类分析方法。一是研究系统内部状态特性的稳定性理论,即研究系统由初始状态激励而引起的内部状态随时间变化的规律的方法,李雅普诺夫稳定性理论是其典型代表。一是研究系统输入输出特性的稳定性理论,即把系统看作输入输出信号所在赋范空间之间的映射,研究此映射的有界性而确定系统的稳定性,波波夫方法和圆盘定理是其代表,此外尚有利于非线性信息量非常多情况的哈代德(E. K. Haddad)方法(波波夫方法和圆盘定理用于非线性信息量比线性信息量少得多的情况)。当前国内外极感兴趣的两个新领域,大系统的稳定性和人造卫星姿态动力学,便是以运动稳定性理论为其重要理论基础。所谓大系统,是指由许多子系统用一定方式耦合而成的大型复合系统,它需要利用比较定理,通过对子系统稳定性的研究,解决大系统的稳定性问题。卫星姿态动力学中弹性卫星的数学模型及稳定性,空腔充液卫星混合系统的稳定性,是当前很有实际意义的问题。并且这些问题也都是非线性力学的重要研究课题。

10. 非完整系统力学

作为力学基础理论的分析力学,到 19 世纪已发展得很完美。可是那时还不知道有非完整约束系统(独立坐标数目与坐标的独立变分数目不相同的系统)的存在。19 世纪末德国学者赫兹第一次把约束和力学系统分为完整和非完整两大类。从此出现非完整系统力学。近二十多年来苏联、美国、罗马尼亚、保加利亚、法国、加拿大等国许多力学工作者从事这方面的研究。我国 60 年代起也有人作此工作。这是力学的基础理论研究。工程实际中,研究相连多体刚体系统(一般链式系统)如各种链、机械手和机器人、各种缆索如电缆等、天线、遥控和各种操纵器、人体模型等,研究带有滚动轮子或旋转圆盘的系统如各种车辆的运动、飞机起飞着陆时的滑行、轮子或圆盘在平面或斜面上的运动、支承在框架上的陀螺的运动等,研究电机、流体机械、飞机或航天器等,都以这门分支学科的研究成果作为理论基础。

三、力学与其他各自然科学的相互渗透,发展了许多交叉学科和新兴学科

20 世纪初各门自然科学独立发展的趋势明显。第二次世界大战后,特别是 60 年代以来,科学技术的异常迅速发展使各门科学在各自领域里的研究进行得很深入,必须进一步考虑涉及其他领域的交叉或耦合问题,出现了互相渗透的综合研究的趋势,发展了许多交叉学科和新兴学科。

1. 爆炸力学

爆炸是在极短时间内产生大量极高温度和压力的气体的猛烈变化现象。其主要特点是高温、高压和瞬时,以此区别于其他力学问题。化学炸药、核裂变和聚变、高速碰撞、强脉冲电流作用于金属丝、强激光作用于一定介质等都会产生爆炸。爆炸力学研究爆炸的产生及其对周围介质的作用,包括激波的形成与传播,介质的流动、变形与破坏,以及相变、光和电磁效应等。它是力学、物理学和化学的交叉学科,与固体力学、流体力学、物理力学、材料力学性能、超高压物理、固体物理、分子物理、化学反应动力学等有极密切的联系。它在国民经济中,特别在国防建设中有极重要的作用。核武器、激光武器的研制和防护,常规武器的研制和防护,都以爆炸力学作为理论基础。工程大爆破和定向爆破、爆炸加工和合成工艺、爆炸合成金刚石等的发展,爆炸力学的理论指导起着关键作用。动态超高压技术为高压物理研究服务,用强激光和相对论电子束来实现可控热核反应点火,也是爆炸力学的重要应用。

第二次世界大战推动了爆炸问题的研究,形成了爆炸力学的基础。我国 50 年代开始这方面研究工作,60 年代有较快的发展,在大爆破和定向爆破、爆炸成型机制、核爆炸试验和防护、聚能理论、爆轰理论、穿甲破甲理论、水下爆炸波和结构的相互作用等方面,都取得较好的成绩。林彪和“四人帮”的干扰破坏使我们和国际水平的差距拉大了。目前国外核武器已发展到中子弹水平,空战武器和常规武器不断更新,激光武器接近实用阶段,激光点火实现可控热核反应可望于 80 年代中期成功;

我国各种基本工程建设和农田水利建设规模宏大,国防现代化和工农业现代化对爆炸力学基础理论研究的要求异常迫切。在这方面单纯搞引进,搞模仿,搞“画、加、打”(画图、加工、打靶)是不行的,只能得到少慢差费、永远落在别人后面的恶果。

2. 地球物理流体力学

这是流体力学与地球物理学的交叉学科,主要内容包括地球及行星大气、海洋、河流、地幔等的动力学,海洋大气相互作用,旋转流体、分层流体的一般理论等。这些研究对象有许多共性,如所考虑的时间尺度和空间尺度比较大,起主要作用的是引力、旋转以及能量的交换和转移过程等。它们有各自的特点,参数不尽相同,物性有差异,能量交换和转移具体形式不同等。深刻研究它们的共同运动规律和各自的特殊规律,形成了地球物理流体力学。它是近 20 年来十分活跃的学科。先前从事航空航空气动力学的力学家大量转入这方面,出现一派繁荣兴旺的景象。

严格说来,过去的气象学只是描述的科学。早期流体力学有两大分支,一是空气动力学,一是大气动力学。20 世纪空气动力学轰轰烈烈发展,但大气动力学研究的大气运动,时间尺度和空间尺度比空气动力学的大得多,因此难于研究得多,在相当长时间内发展较慢。近 20 年来转入大气研究方面的流体力学家多了,大气动力学研究进展迅速,促使气象学成为精密的科学。例如数值天气预报的成就,便是大气动力学研究的凯歌式的胜利。二十多年前报准天气还不可能,目前数值天气预报已成为日常天气预报的基本手段,预报范围从小区域直至全球,每天的预报已很可靠,五天左右的预报基本上可靠,还可以进行半个月的天气形势预报。取得如此巨大成就的主要原因,除了出现取得大量可靠气象资料的现代科技手段和电子计算机以外,是有关流体力学理论问题的研究取得了进展,如平流动力理论、长波理论、涡旋理论等。从全球到毫米量级湍流扩散尺度的各种行星大气运动的数值模拟,也能有效地进行了。

相对说来,海洋科学研究要比大气方面进展慢一些。国外目前正把大量力量转向海洋方面,今后相当长时间内关于海洋方面的地球物理流

体力学研究将是流体力学的一个主要方向。例如英国著名流体力学家 J. 莱特希尔最近转而研究海浪海流等流体力学载荷对近海结构物的作用。海洋湍流,大洋环流和中尺度环流,海浪,海洋大气相互作用等重大问题正受到高度重视。此外,分层流动和旋转流动的研究,对大气、海洋、工程应用都有重要理论意义和实际意义。以分层流动来说,热电厂排出的热水从下游溯流而上侵入抽水管进口,海水咸水倒流侵入江河入海口,江河中的泥沙流,海水的密度分层或温度分层,大气中冷暖气流的分层等都有分层流动问题。例如东北某热电厂要从水库里抽水冷却,原先按苏联的冷热水混合的理论进行计算,结论是抽水进口和热水排出口应相距很远,才能保证抽进的冷水温度低于设计要求的温度。这就要开挖很长的渠道和隧道,耗费很大。后来根据分层流动理论进行分析,认为排出的热水与水库冷水的温差虽然不大,但在一定条件下热水层和冷水层是不相混的。计算结果与实测结果很符合,这样就可以把抽水口与排水口安置在距离很近的地方。仅作这样一项改进便可节约投资上千万元。应用分层流动理论来解决大气污染、江河湖海污染等问题有很大的实用价值。

3. 物理化学流体力学

在自然界和航空航天、化工、冶金、石油、动力、原子能等工业中,存在着大量同时发生物理变化和化学反应的流动。为了深刻认识和掌握这些复杂变化的流动的规律,50 年代开始形成了一门新的交叉学科物理化学流体力学。以化工问题为例,我国科学工作者在实验室进行化学反应研究所取得的成果,与世界先进水平相比差距不大。可是,要在工业规模实现这些反应而得到化工产品,却要走凭经验逐级放大的少慢差费道路,开发周期常在 10 年以上,装置运行的可靠性和经济性也不高。近 20 年来国外研制新型大型化工装置十分重视缩短放大周期和进行优化设计。化工装置中的物理变化和反应过程绝大多数是以流体的流动作为载体和媒介进行的,所以流动状态的好坏往往是决定反应过程好坏的主要因素。国外有大量流体力学家投入化工过程和系统的基础理论与应用基础研究工作,即物理化学流体力学研究工作。他们在了解和掌

握流动规律和反应规律的基础上建立数学模型,充分利用电子计算机进行数值实验,搞成了一次放大几万倍的数学模拟放大法,取得了无法估量的经济效益。

物理化学流体力学的研究对象很复杂,内容异常广泛,涉及非牛顿流体力学、多相流体力学、分子流体力学、传热传质学、燃烧学、湍流理论、边界层理论、渗流力学、电化学流体力学、等离子体动力学,等等。这么复杂的对象和广泛的内容,单靠化工界冶金界来搞很吃力。而像化工、石油、冶金、动力等工业对国民经济影响极大,所以国外很注意把现代科技成果特别是尖端科学技术的成果转用于民用工业。据报道,美国花费在宇宙研究上的巨额资金,很大程度上由于把相应的研究成果广泛应用于民用工业部门而得到了补偿。苏联近年来也很注意把尖端科技成果转用于民用工业。苏联国家科学技术委员会主席、著名力学家 B·B·斯特鲁明斯基院士亲自抓这个工作。1978 年他亲自主持召开了“利用空气动力学成就强化化工过程”的全苏学术讨论会以推动这方面工作。我国物理化学流体力学基础理论研究工作几乎无人进行,尖端科技成果转用于民用工业的问题似乎还未引起有关方面注意。

4. 生物力学

目前人类对于远到银河系以外的宇宙空间和深到基本粒子的微观世界都已有相当深刻的认识,但对生命过程及人本身的了解却非常不够。常见的许多生理现象和病理现象,大多只有定性的了解,缺乏足够的定量精密规律知识,甚至有许多现象连定性的了解也很不够。虽然一个多世纪以前就开始有力学家对人体生理现象进行研究,但长期以来只是个别人的一些个别的活动,是偶一为之的而不是大量的系统的研究。20 世纪力学的大发展,研究范畴扩展到了生命现象领域。二十多年来很大一批力学家向这方面进军,形成了风靡一时的一门重要交叉学科生物力学。

简单说来,生物力学是试图了解生命的力学,也就是用精密科学的力学的理论和方法,定量或定性地分析研究生物系统的构造和功能的关系。美籍华裔学者、著名生物力学家(原是空气动力学家和应用数学家)

冯元桢 1976 年在第 14 届国际理论与应用力学大会的总报告中曾说,“空气动力学使我们能够设计一架飞机并预言它的性能,对于生物器官来说,生物力学使我们能够了解器官的正常功能,并由功能的变化预言该器官的变化;如果没有生物力学,就不可能正确了解生物学的问题,这就好像没有空气动力学而要造出一架好飞机那样不可思议。”生物力学以人体正常生理力学为中心内容,主要包括生物材料的力学性能,生物系统内部流体力学(心血管系统动力学、呼吸系统动力学、人体器官内部血液流动和物质交换规律、植物和动物体内物质及能量的传输过程等),生物系统外部流体力学(昆虫、鸟类飞行力学,水生动物游泳力学,植物群通风与呼吸、光合作用的关系,植物根系分布与土壤渗流的关系等),肌肉力学,生物系统结构静力学,生物系统运动学,生物系统控制过程动力学(高等动物神经控制过程,体内各系统功能的自动调节,体温、体液等平衡的维持等),生物热力学,生物流变学,等等。生物力学不仅是生理学和医学的理论基础之一,而且对工农业也有重要意义。

5. 理性力学

可以说,牛顿的《自然哲学》是理性力学的第一部代表作品。牛顿从四个独立概念[绝对化的质量,绝对化的空间,绝对化的时间,力(或场)]出发,根据几个公理(三大运动定律),用演绎推理方法给出了像几何学那样具有数学严格性的整个力学体系,其精确性丝毫不亚于几何学。经过 18、19 世纪许多力学大师对分析力学的发展,完整和完美的牛顿力学体系的大厦已经牢牢建立了起来,以致有人认为牛顿力学体系不需要再发展了。但是力学并未因此而停止前进。20 世纪初相继出现相对论力学和量子力学两个新兴力学体系。牛顿力学同各种具体物性相结合以及同其他自然科学互相渗透,大大扩大了力学的范围和丰富了力学的内容。于是,20 世纪 40 年代中期有一批力学家重新提出了“理性力学”,致力于恢复和发扬很久以来被忽视的力学与数学紧密联系的传统,发掘和复兴被忽视多年的具体力学理论与抽象数学模型的结合,并提出认真重视力学基础理论研究的问题。他们提出,现代理性力学一方面要对自然界千变万化的物质运动现象加以概括抽象,澄清含糊的概念和原理使

之严密,分析具体的理论和模型使之具有普遍性,统一有关的观点和方法使之系统化,以便使力学基本理论成为像数学科学那样抽象、严密、普遍和系统的完整体系;另一方面,要回到原来的具体分支学科中去,为它们提供可靠的理论基础。但是,在 50 年代应用力学盛极一时的时候,有人曾对理性力学提出非议和责难。其实,在各分支学科发展得比较充分之后,像理性力学这样把各分支学科所得的特殊规律加以检验和考察,去粗取精,去伪存真,概括抽象成更一般的规律,更深刻地理解自然现象的本质,这是力学发展的必然趋势。经过三十多年的坚持研究,现代理性力学终于站住了脚。力学基本理论的真正建立,并经得住实践和时间的检验,首先要在物理上符合客观实际,同时要在数学表述上是成功的。现代理性力学的特点和威力就在这里。它力求从极少数基本概念和公理(从客观实际中科学地概括抽象得来的)出发,利用现代数学基本概念和方法以及新发展的数学基本概念和方法,进行严格的逻辑推理,建立完整的力学基本定律体系,既能总结概括已有的理论,能解释已经发现的现象,又能预言尚未出现的现象,并经过科学实验和生产的实践予以证实。现代理性力学这门力学基础理论分支的重新兴起和发展正是方兴未艾,它应当对推动整个力学的发展起到应有的作用。

*

*

*

现代力学的范畴和内容远远不止以上 18 个分支学科和课题。许多非常重要的分支和课题这里没有叙述,以下略举一些名称:岩体土力学,地球构造动力学,流变学,非牛顿流体力学,弹塑性动力学,振动理论,电磁流体力学与等离子体力学,传热传质学,物理力学,等等。事实表明,作为基础科学的现代力学,贯穿在一切自然科学和工程技术之中。这个特点只有数学和物理学才能同它相比。具体说来,现代力学有如下几个特点。

现代力学的第一个特点也是最大的特点,是它的研究对象、范畴、理论和方法不断向物质结构的无限大和无限小方向的不同层次扩展,向有机界直至生命现象领域扩展,是它同其他自然科学特别是物理学日益联

系密切。力学是历史上头一个发展成功的精密自然科学,物理学本来是在它的基础上发展起来的。19 世纪力学被纳入物理学中成为其一个组成部分。实际上在 19 世纪以前,力学家与物理学家、数学家很难区分,大力学家就是大物理学家和大数学家。20 世纪初科学技术猛烈发展,自然科学各分支分化剧烈,力学从物理学中独立了出来。到 60 年代,在各门自然科学继续深化和迅速发展的同时,它们重又互相渗透和综合,并有结成统一的科学综合体的趋势。例如,研究宇宙的结构和演化的不仅有天文学家和物理学家,还有力学家和化学家。研究化学反应中的动力学规律的不仅有化学家,还有力学家和物理学家。固体、液体、气体、等离子体的结构和性质,以及其中发生的过程,既是物理学和化学研究的范围,也是力学研究的范围。生物和生命现象的研究,要靠力学、物理学、化学、生物学和医学联合作战。力学和物理学之间的联系尤其密不可分。它们的研究对象和范畴都是从星系、宇宙到分子、原子、基本粒子;物质和场中与运动不可分的基本相互作用,物理学在研究,力学也在研究。它们的理论和方法也是大同小异。所以力学和物理学简直是你中有我,我中有你。苏联著名力学家谢道夫院士曾说:“物理学和力学的研究对象及研究方法之间的差异,常比它们的不同具体研究课题之间的差异小得多。物理学和力学在原则基础方面是一个不可分的整体,它们的许多差异只是在术语上。”

现代力学的第二个特点,是它同工程技术及生产实际的紧密结合。从牛顿建立力学体系时起,经历三百多年的发展,力学成为几乎一切工程技术的理论基础,没有哪一个工程技术领域可以离开力学的理论和方法。工程技术提出的无数问题,反过来大大推动力学的基础研究大发展。可以说,没有现代力学的发展,就没有现代的工农业和国防,反之亦然。

现代力学的第三个特点,是它拥有现代实验手段和计算手段。这使力学实际上能够解决物理和力学基本模型已经清楚的各种复杂具体问题,并且能够发现许多新现象和新问题作为力学基础研究的内容或提示解决问题的途径。计算机把力学工作者从繁重的计算工作和实验工作

中解放出来,使最优秀的力学家们得以把自己的精力集中到最富有创造性的研究工作上。这样,现代力学的研究重心便真正转移到概括抽象所研究现象和过程的本质,建立新模型,发现基本规律等方面,把力学认识世界的能力推进到更高的水平。

国际上发达国家传统上极端重视力学研究工作,这在很大程度上促进了它们的科学技术迅猛发展。美国和苏联对如何进行力学研究各有特色,其共同点则是对力学基础理论研究都有雄厚的力量,同时又都有数量和质量足够的力学工作者紧密结合国民经济和国防建设各部门的具体课题开展研究。因此它们随时都能够抽出很大力量投入当前最迫切要求发展的具有重大理论意义和实际意义的研究方向和课题上去。美国有一个全国理论与应用力学委员会,参加该会的有航空航天学会、机械工程学会、土木工程学会、物理学会、应用数学学会等 16 个学术团体。苏联的全国理论与应用力学委员会每四年召开一次全国理论与应用力学大会,规模一次比一次大,1976 年第 4 届大会共出席 3 500 人,其中苏联科学院和各加盟共和国科学院院士和通讯院士 92 人,科学博士和教授 677 人,科学副博士 2 000 人。法国曾经在数学、力学和物理学方面在世界领先。据了解,不久前法国总统德斯坦曾谈到,法国近些年来忽视力学基础研究吃了大亏,今后要大力加强这方面工作,扭转被动局面。

我国解放前几乎没有什么力学研究工作可言。解放后,1956 年和 1962 年两次制订全国科学技术发展规划,力学研究工作从无到有,发展极快。两弹试验成功就是明显的标志。但是现在来看,就在这两个全国规划期间,也还存在对力学基础理论研究不够重视和抓某些重点忽略了对其他某些必要的分支部署一定力量坚持下去的问题。“史无前例”的“文化大革命”期间,林彪、“四人帮”的干扰破坏使力学科研工作停顿了六年。1972 年毛主席和周总理排除“四人帮”干扰,多次指示要抓自然科学基础理论研究。力学界为此曾于 1972 年底召开了全国“力学学科基础理论研究座谈会预备会”,决定在广泛深入调查研究的基础上,于 1973 年召开全国“力学学科基础理论研究座谈会”,以便根据突出重点,

远近结合,统筹兼顾,加强领导的原则,制订1973~1980年力学学科发展规划。由于“四人帮”的干扰破坏,准备制订规划的座谈会流产了,这样又耽误了整整六年,使我国与发达国家相比正在缩小的差距,拉大到相差15年至20年之久。在党中央的关怀下,1978年专门召开了全国力学学科规划会议,订出了一个较好的规划。可是,由于国民经济和科学技术遭受破坏太大,百废待举,客观上困难重重;由于国民经济和国防建设中急迫需要解决的具体力学问题多如牛毛,力学工作者的数量和质量都与此很不适应,力不从心,顾此失彼;由于力学界有些同志及某些领导对力学基础理论研究实际上不重视,总存在“远水不解近渴”的想法,下不了决心抓基础理论研究这个根本;特别是由于国家科委和科学院有关领导实际上没有认真采取有效措施进行领导和落实规划,所以到今天虽然制订出规划整整两年了,我们的力学研究工作实际上几乎依旧是各行其是的放任自流状态。时乎时乎不再来!难道我们的有关领导真的还要再等六年才认真腾出力量来抓这个与四个现代化成败攸关的力学学科规划吗?

为什么建国31年了,我国力学研究工作的发展不能更快些呢?苏联1947年十月革命30周年时,出了记述苏联力学理论研究成就的《苏联力学30年》。我们建国30周年时却拿不出多少理论成果来汇编成册。第二次世界大战期间及战后,苏联力学家在飞机、坦克、其他武器和整个工业方面都作出巨大贡献,同时还取得大量国际水平的理论成果。世界第一颗人造地球卫星是苏联发射的,这曾使美国整个朝野异常震惊。直到今天,总的来看苏联力学理论水平依然是国际第一流的,力学工作者的数量和质量依然是居于世界前列的。分析我国力学研究落后的原因,除开林彪、“四人帮”等的干扰破坏外,可能有以下几个方面。

(1) 历史的和认识上的原因。长达二千多年的封建统治以及封建统治阶级和文人学士历来鄙视科学技术,严重阻碍我国科学技术的发展。历史上我国虽有许多光辉的发明创造,但不重视把经验上升为理论并形成理论体系,是我们的一个致命弱点。解放时旧社会留给我们的的是一个一穷二白的底子,也留给我们一个不重视基础理论研究的不良传

统。后果是解放后多年来理论研究成果和人才未能大量涌现。

(2) 浪费人才和不培养人才。解放后我国还是有一批水平相当高的力学家的,有些还是国际上第一流水平的。这些有专长的人才国家最可宝贵的财富,理应千方百计使之人尽其才。实际上这些人的力学专长没有真正得到发挥,而把宝贵专长和大好时光消磨在别的各种各样所谓重要的事情上去了。在国外,一个高级研究人员平均每年至少要出一篇水平较高的论文,至少要带出一个博士水平的人才。我们有不少从国外回来的力学专家。就算有 5 位第一流的力学家吧,以 20 年计,每人每年平均带出 1 个博士,其中每 4 个博士中有 1 个是国际第一流水平的,到现在也就应该有 100 个博士,其中 25 个是国际第一流水平的。打个对折,也应该有 50 个博士,其中 12 个是国际第一流水平的。这并不是过高的要求。1980 年 8 月 18~22 日在加拿大多伦多举行的第 15 届国际理论与应用力学大会,5 篇大会总报告为苏联、意大利、英国、加拿大、美国各 1 篇;21 篇分组会邀请报告为美国、联邦德国各 3 篇,苏联、英国、日本各 2 篇,意大利、加拿大、荷兰、比利时、法国、波兰、丹麦、瑞士、奥地利各 1 篇;14 篇在分组会上宣读的论文为美国 4 篇,日本、法国各 2 篇,苏联、英国、加拿大、联邦德国、荷兰、波兰各 1 篇。我国仅在小组会上宣读几篇论文。这是多么强烈的对比呵!苏联著名力学家 B·B·斯特鲁明斯基院士担任着苏联国家科学技术委员会主席职务,但他一直没有脱离力学科研工作,不但一直带人搞科研,还每年自己发表分子流体力学等方面的论文。为什么我们就做不到呢?问题症结在哪里?尤其令人不解的,目前我们一面到处叫喊缺乏人才,一面却听任许多可以在合适岗位上发挥作用的人才在不合适的岗位上虚度年华(解放后我们自己培养出和送到国外培养出的力学人才有相当大的数量)。这个严重问题不知有多少人呼吁过了,却年复一年得不到解决。如此蹉跎下去,我们力学科研事业赶超世界先进水平还有什么希望呢?

(3) 科研工作条件跟不上。认真落实各项政策、知识分子生活条件适当改善等这里就不说了。近来我国力学工作者到国外工作一段时间的多了,他们在国外能较快取得有一定水平的成果,回国后却无法有所

作为或有多大作为。联想到一二十年前回国的许多力学家,他们不少在国外干得“轰轰烈烈”,是“英雄”,回国以后却往往默默无闻。难道国外真是“江南”,我国真是“淮北”,橘逾淮而为枳?使用不当是原因之一。其他原因如科研单位不配套,人员不配套,设备不配套,经费分配使用不当,等等,都存在很多问题。日本流体力学工作者访问团团长今井功教授(国际上著名力学家)1979年11月2日在科学院力学所报告时说:“日本现有的高速风洞、激波管都比中国力学研究所和绵阳气动中心的设备小,我们认为日本运转和操作这种设备的经验对中国的大型设备的运转可能有些参考价值。反过来,我们也期望中国大型设备的研究成果。”有识之士都清楚,像绵阳气动中心和无锡水动中心那些号称亚洲第一的实验设备,花了大量人力物力,利用率却很低。第一要有人并使用得当,同时还要经费、设备、科研单位的设置等等配套、分配、使用等得当。

(4) “外行领导内行”的不良影响。有些力学单位有些领导情况是,懂行的作不了主,真正作主的不懂行或不甚懂行。如果真能虚心一点,广泛听取专家和群众意见,择优而从,那倒也可把领导工作搞得好一点。实际情况是外行硬充内行率意拍板的多。这样领导科研工作,后果可想而知。国家科委,科学院,如何领导好全国、全院力学科研工作,如何订力学学科规划和计划,如何加强领导、落实措施,使之真正贯彻实行,似乎没有人很好过问。抓规划而没有科研经费作后盾,用行政命令办法,谁也不听你的。“渤海2号”沉没在大海里的3700万元,如果拿来作为力学科研经费,不知要起多么大的作用呵。领导问题是关键问题。看来这些年这个问题是解决得不够好的。

教学与科研^{*}

今天在场的多是高等教育界的同志。我想谈谈高等教育界里的一个重大问题,就是教学与科研的关系。我所谈的都是我个人的意见,不代表任何人、任何组织或者任何领导部门,所以不要把它看成是一个气候的预测,而只是一个参考材料。教学与科研问题,在教育界里是一个非常敏感的问题,是新中国成立以后历来有争论的问题。我今天来谈这个问题只是我个人的意见,不一定成熟,供大家参考。

在 1955、1956 年制定科学规划期间,发生了一场大的争论,就是高等学校与科学院的关系的争论。一种观点认为高等学校必须要搞科研,另一种观点认为高等学校与科学院要分工,高等学校是培养学生的,是教育工作,而科学院专管科学研究,意思是说高等学校用不着做很多科学研究,可以做一点教学研究。这个争论当时没有得出任何结论,以后也经常发生争论。教学与科研是什么样的关系,什么样的地位?这个问题到 1966 年发展到登峰造极的地步,科学研究不要了,教学也不要了。打倒“四人帮”以后,在 1978 年召开全国科学大会的时候,党中央发出来一个亲切的号召,就是我们高等学校应该有两个中心:一个是教学中心,还有一个是科学研究中心,这个号召是深得广大高等学校教师欢迎的。教学与科研不是没有矛盾的,我们知道一切事物都有矛盾,在矛盾斗争的过程中,事物才能发展。最近,我还看见一本非常有名的杂志上提出来教育是传授知识的。教授嘛,总是传授知识嘛!授的是知识;而科研叫做创造知识的,说客气一点叫发展知识,因此,它们有矛盾。是不是真是这样?我有我的看法。我觉得它们是略有矛盾的,可是我们就是要让这个矛盾在斗争的过程中,在互为前提、互为依托的过程中,在培养

^{*} 1980 年 10 月 5 日,在福建政协、民盟会议上的报告。选自《福建盟务简讯》,1980 年第 21 期。

人才这一根本目标上,达到和谐的统一。因此,我大胆地来谈这个非常敏感的问题。我想谈下面几个问题:

第一个问题,高等学校的教育与中小学的教育根本差别在哪里?

第二个问题,研究生的培养与大学生的培养根本的不同在哪里?

第三个问题,高等学校教师的培养与中小学教师教师的培养根本的不一样在哪里?

第四个问题,科学研究是怎样进行的?

第五个问题,教学与科研应该怎么样结合?

我为什么谈最后一个问题?因为现在有两种不良的倾向。一种是很多学校提出来的,说:你再讲两个中心,那么我们学校的老师就没人愿意上课,都要去搞科研了,这是一种说法。因此我们要提以教学为主,这倒是很有针对性的。至于为什么教师都要去做科研,不愿意教学?这个问题没有答复。第二种是教师力量较强的学校,搞两批人马进行工作,一批专门教学,一批专门搞科研,为此而成立研究所。两套人马来做两种工作,放在一个单位里领导。当前是这么一个情况,我认为这两种情况都不对。我们谈这个问题就要谈归根到底为什么都不对?对的应该怎么样?所谈的都是我个人的意见。

我们首先讲高等学校的教育与中小学教育不同在哪里。很多人没有辨明白。没有辨明白,不怪我们高等学校的教师,因为我们长期以来接受的是苏联 50 年代的那一套。这一套是学习那时候苏联有些教育家的一种看法,而这一套他们在 60 年代也变了。这个不是社会主义与资本主义教育的问题,而是教育的基本规律是什么的问题。我们知道中小学教育一般是属于国民教育,教给他们一定的科学文化知识,主要是传授一些应该有的知识。文化中包括颜色怎么调和,这种图画应该怎么欣赏,生物与我们人类的关系等等,应该如何正确对待。国民教育的目的,重点是在传授知识。小学里应该适应小学生擅长于模仿的这一特点,要求他们背诵一些东西,要求他们记一些东西,引导他们在一定的文化条件下,逐步练习去理解一些问题,因此他们的教师做的是教人的工作,与传授知识的工作是同样重要的。可是到了大学就不是这个样子了,大学

教育可以说是一种学术教育,或者按照我们通常说的,叫做专业教育。对专业教育现在有个偏见,专业教育有的专到最后是缝纫机变成专业了,这样专下去,酿造专业是做啤酒的一个专业,而做葡萄酒是另一个专业了。这不是我们大学教育的办学方向。大学教育适当地分专业是一定要的,因为我们的知识太广泛、太复杂了,分是万不得已,一定要分。可是我们也要知道尤其在现代,世界上科学发展是一日千里,差不多3~5年,知识的累积量会增加1倍。1980年我们所拥有的知识量是1975年所拥有知识量的2倍。从前不是这样子,大概每30年才增加1倍,因此,教学的内容是相当稳定的。为什么我们现在发生这个问题?因为近十年来发展太快了,叫知识爆炸,是这样一个局面。你看就在这30年来,出来多少新的从前闻所未闻的东西。在宇航里给我们提出来多少新的东西,生物学里提出来多少新的东西,再加上人类从来没有接触过的计算机信息处理这一套办法,过去我们都没有碰过。30年前的大学生,对于这些是一窍不通,可是现在国外一个年轻的大学毕业生就会掌握这些工具来进行工作,而我们的教师眼前还处于30年以前的状态。当然我并不是说他的专业水平还是30年以前的,而是说他使用的工具落后于现实,落后得很多。知识在膨胀,膨胀到爆炸的局面。在这种条件之下,难道我们还用从前的古老办法,为了培养一个人必须把我们当前所有的知识都教给他们,这样一种教育法行吗?因此,有些人提出来四年制不行了,要五年,甚至要六年,有的大学实行过六年制。念六年行不行?按这样一种想法,60年也不行,因为知识是靠别人传授给你的。但是大学里的学习绝不是仅限于知识的传授。那么大学教育的主要目的是什么呢?主要目的应该是教会学生用自己的劳动来获得他所需要的知识,从一个被动的先生教学生听,不教不会、一教就会的教学方式,变成一个不教也能会这样一种教学方式。在这个四年里,我们要使一个青年来一个这样的转化,从被动地接受,转到主动地学习,引导他自己去获得知识,而不是一切知识都放在课堂里讲。何况有些知识你讲了也没有用。可现在的情况是你非讲不可,因为有所谓一个体系,这个体系现在是我们教学计划的框框。有所谓基础课、所谓中级技术课以及所

谓专业课,这还不止,还有所谓专门化课。专业课、专门化课里有很多有用的知识,可是也有许多学生 30 年来一次也用不上的知识。我说那是百科全书式的教育,这种教育是没有用的,因为这种知识至少是别人早在五年、十年以前就总结出来的东西。因为你不会把不大稳定的科学教给学生。学生毕业以后,环境变了,科学在发展,他碰到的问题都是当前的问题,而且是紧紧结合祖国建设所需要的问题,你看这个学生怎么来适应国家对他的要求?他已经习惯于一切东西都要教师讲,不讲他就不会。这种学生到了工作场所以后,凡是先生教过的他的确会,可是如果先生没有教过,他就得改行了。从发展的情况看,我们做教师的人,大家都知道只要你一接触实际问题,那么绝不限于你所学习的那一点东西。你还得去看很多你所不熟悉的东西,把它变为熟悉的之后再来处理这些问题。可是我们在教学中恰恰不是这样,教学里只教熟悉的东西,就是人们已经长期总结下来的东西。当然那些不成熟的东西不应该放在课堂里讲,这是对的,可是没有培养学生能在一定的时间里,用他自己的劳动来熟悉过去没有教过的东西,那么他就不能适应工作的要求。这个要求比较高,可是是实际的。那么有人就要说了,你说了半天,还是通才教育那一套思想,不过伪装了一点花色的衣服来迷惑人罢了。我说不是,这不是通才教育,是一个为适应四个现代化建设需要的一个教育方法。比如说大学教育要培养几个能力,其中包括分析问题、解决问题的能力,这个是最起码的。而最重要的,还是要有获得工作中所需要的知识的能力。自己获得知识是科研工作中的第一要求。要向群众学习,要向过去研究过这问题的人学习,要向现在正在研究这问题的人学习。这三条,在科研里叫调研,调研的过程是使你把不懂的东西变成懂得的东西。我们教过学生这个没有?没有。我们的教学计画是死板板的,32~34 门课程在四年里都得教会学生,以为这样培养的学生是万无一失的了。可是到现场后,他需要的知识就可能是在你那 34 门课之外的,这样学生就会说,我的专业不对口,很少会有所学的专业完全与实际工作吻合的,因为事物发展得太快了。五年前毕业的学生,谁知道有微处理机。微处理机现在是所有工业生产中最关键的东西,在学术工作中也是很关键的问题。

题,可是我们谁都没有学过。那么没学过的就不用吗?肯定不能,我们要实现现代化就不能不用。那怎么办呢?你就得自己去学。现在还有一种想法,说我得去进修,你这教师得给我开一门课,这是很普遍的,人人都要进修,人人都希望给他开一门课。当然我们有人开课是好的,但是没有人开课你怎么办呢?你还得学会它,除非不想工作。因此,假如这叫改行的话,你就得改行。我说不叫改行,假如这也叫改行的话,我想我这一辈子到现在已经改了七八十个行了。我做过的工作领域是怎么来的?我在大学学的是物理,研究院里念数学,最后论文是雷达,这是哪来的?毕业以后搞了相当长时间的火箭和宇航。为了搞宇航,我学了不少控制论的东西,学了不少空气动力学的东西,学了不少地球物理。回国以后叫我教力学,我就教力学,现在变成力学专家,其实我的力学是回国以后才学的。在“四人帮”时期我毫无办法,什么事情都不让我做,我自己搞电化学,我搞了六年电池,这有什么关系?你不懂,但工作需要,你就去学嘛!这叫改行?这不叫改行,也不可能在工作中所遇到的问题都是你学过的东西。可是你不习惯这个,习惯于不教不会、一教就会那种思想的话,那么你每改一个行都要听课。所以现在进修第一条要听课,认为听课是进修最关键的东西。我看这不是一个办法。我们现在高等学校的教育与中学教育没有什么区别。中学教育的确是在课堂里产生知识,要与整个自然界结合起来产生知识,那样的学生就更好。最近报上不是登过三个小孩要到蛇岛去的事情吗?其中有人搞动物研究搞得很好嘛,这些小孩就是很有能力的小孩。通过自学会获得知识,这些小孩在小学里就有这个能力了,将来前途无量。他用不着先生教的,他用一本书与自然一结合,就会搞出标本,就慢慢上去了,这是我们现在所要培养的人才。按理说小学里就应该注意这个问题,可是现在大学里还不注意这个。我们大学里的教育方式是中小学里的教育方式,强调辅导,强调老师要到学生宿舍去,强调这个宝贝非得抱在手里,吃饭还得亲自嚼细了以后喂到他的嘴里,让他去吃。大学教学方式应该把学生放出去,引导他自学。当然开始不习惯,与他在中学的习惯方法不适应,开始必须要有一定的辅导。可是很快就要放出去,你要让他走路,大人老拉

着他是不行的,让他摔几跤爬起来就行了。我们都引导过小孩学走路,学走路就得把他放到地上,大人离开他五六米,看他怎么办,他最后还是要走一段路,到他母亲身边去的。可能中间会摔几跤,摔了几次爬起来就行了。如果不是这样,整天扶着他,将来这个小孩就会一个肩膀高、一个肩膀低。我们大学教育也是这样。比如我教一门课,我讲的是这个课的核心精华部分,知识性的东西不讲,下课以后,指定一些材料,是哪一本书哪一段让学生自己去看,提几个问题,让他去思考,这就够了,逐步让他学会自己学习。首先在学校里让他向书本学,这个能力很重要。因为一本教科书不可能从头到尾都写得那么好,尤其是理科,文科也是这样。比如一本中国通史,作者对秦汉史非常熟悉,写得非常好,可是一到唐宋史,他不大熟悉,就写得差一点。如果你讲中国通史,讲秦汉史的时候参考那一本中国通史,讲唐宋史时参考另一本中国通史,让学生自己去学,你呢,提纲挈领地几个观点问题交待清楚就行了。这样你讲课也好讲,学生的能力也培养起来了。可以不可以这样做呢?我看完全可以,因为我已碰到过好几类老师,其中有一类老师就是这样的。比如说我学电磁学的时候,是赵忠尧教授讲授的,他现在科学院工作。这门课共一个学期,每星期三小时,一共是15个星期。那个时候学期短得很,15个星期45堂课讲一本厚厚的电磁学。讲到交流电机与直流电机的时候,他只讲了三堂课,把工学院的直流电、交流电这两本书全讲完了。他讲的是最主要的部分,剩下的怎么办呢?他说我停一个星期的课,这三堂课我不讲了,你们把这两本书拿去自己阅读,因为他以前也是这么辅导的,最后我们也都读下来了。我虽然不是工学院毕业的,但是我经过那一段学习,对交流电机、直流电机的问题也知道一些,一般还骗不了我。我们这45堂课,实际上他讲了不到三十几堂课,所以经常停停课,叫我们自己去阅读。我们学得很好,学了三本书,电机系的两门课、物理系的一门课。这也不是什么天才教育,我们不是什么天才,是逐步引导我们这样学习的,是可以这样教的。教学就要讲究教学法,这就是最大的教学法。可是我们不讲这个,讲的是什么黑板上的书写写得整齐,一二三四五、大一小一、甲乙丙丁,说这些东西也叫教学法。我们反对这

个。教学中对学生讲的应该提纲挈领，教会学生怎么去认路，怎么去自学。什么叫认路？比如说有一个人在街上问路，问一个有文化水平的人，这个人一定会告诉你，顺着这一条街到哪个地方拐弯，靠右手还是左手，这个拐弯地方有一个标志是百货公司，大概离这里有多远，拐弯以后走多长距离又有一个标志是电影院，拐一个弯就到了你要去的地方，门是怎么样的，这个人就找到了。碰到一个没有文化的人怎么办呢？那就啰啰唆唆地告诉你一大堆，越说越糊涂，你找不到那个地方。东西太多，反而糊涂。提纲挈领地讲一下，这条路怎么走，容易明白。教学也是这个问题，你何必讲那么多呢？我们最近就遇到一个问题，就是有很多美籍华人来讲学时，我们的老师听了就摇头，他们讲一门课七跳八跳就过去了，就是每一个问题点几下就过去了。我就看见我们有许多青年的、中年的老师说，这个课照他这样讲，学生“坐飞机”啦！我的想法是，假如飞机没有坐过，老让他坐牛车，这个学生是培养不出来的，还是让他“坐飞机”好，让他好好地去自学。国外的讲学的确是如此的，这是好样的。那几个来讲课的人都是有名的人物，像林家翘讲课是非常有名的，也是“坐飞机”的。他讲了几次以后，就找我说，你们怎么回事？我说这是我们二十多年的经验，我们的教学法就得有讲稿，一字一字念，黑板上板书要非常清楚，跳一步他就“坐飞机”。他说当然啰，照我现在这样跳，跳了好几十步了，那就没有办法了。最后他想了一个办法，说这样的话，明天我就不讲了。我说怎么办？他说，我现在规定你们来听课，一共 30 人吧，每个人负责来讲一堂课，题目给他，参考材料给他，由他组织教材，以后我一堂也不讲了。坐在里面的 30 个人，确实从来没经过那样的训练，都是老师了，弄得焦头烂额，勉勉强强搞下来了。我们没有这样的训练，给他材料，由他自己组织，让他来讲，而且两个钟头必须讲完，他这样的做法是有针对性的，对于我们现在教师队伍的情况，是很有好处的，这是一个好教师。林家翘是麻省理工学院有名的教师，麻省理工学院一共有七个终身教授，他是其中的一个，很受尊敬。他讲微积分是出名的，讲课时开始是 30 个人听，一年以后就变成 300 个人听。他们是选课制，课堂里坐不下，他只好分成两班，另一班让他的研究生按他的意图来教学，两

个人分开教。以后所有教微积分的教授都让步了，八个老教授都让步，由他和他的学生完全用他的教学观点来讲，很受欢迎。最近他的讲义出来了，是他的研究生写的。这个研究生现在也是教授，讲义我国已经翻译出来，在人民教育出版社出版了。像李政道，报上不是说他讲得多好吗？实际上开始时很多人听不懂“坐飞机”，不习惯于这样提问题。他提出来的都是焦点，我们用现在通常使用的语言叫矛盾的发展，在科学里早有这种讲法。讲近代物理的发展过程，每一个过程发生多少矛盾，有几个主要矛盾，其中有多少观点，以后每个观点是怎么消除的，最后出来一个新的观点，又进了一步，又发生矛盾，就是那么讲的。后来别人慢慢听懂了。方程式怎么求解，他一字不提，举一个方程式出来解释一番，剩下的求解你自己想办法，有的在书上有，你自己去看，何必写在黑板上。可是分析这许多结果与实际的联系，他就讲得很仔细。所以讲课有各种各样的讲法，教学有各种各样的教学方式，而各种各样的教法培养出来的人就不一样。我们恰恰是死守住苏联专家那一套。苏联专家是有教材的，他讲的都是他的老师传给他的讲义、讲稿。我记得有好几个都是照他的讲稿念，这都是我们习惯听见的许多讲法。最好不要照讲稿讲，要联系实际来讲很多东西。你照讲稿讲就往往会脱离实际，也不了解学生的反应。在讲课时你得注意，听众里有的听呆了，表明他不理解，那么那个地方你该多讲几句；听众表现很活跃，你看到这个情况可以停了，因为他们已经理解了，用不着再讲了。所以讲课要提纲挈领，要引导学生在你讲完课以后，自己深入去研究问题，给他们一定的参考书。现在书很多，参考书要挑选得好，这是很关键的。

现在的趋向是教材要统一，我是反对教材统一的。教学计划要统一，我也反对。教学大纲还要经过集体讨论，我也是反对的。我是“三反对”。为什么教学计划用不着统一？因为各个学校情况不一样，各个地区情况也不一样，统一没有意义，往往是脱离实际的。我想大概搞农科、医科的都理解这种说法。为什么教材不能统一？教材是一个教师的教学经验的总结。假如两个教师是完全持同一个观点，是可以统一教材的，但如果我们相信科学是要在百家争鸣里成长的，那么观点是不可能

完全一样的,尤其是富有经验的教师,观点就更不一样。刚才我已经说过,林家翘的微积分就与麻省理工学院原来的八个教授不一样,他是另外一个学派。如果统一了教材,就抹杀了百家争鸣在科学里的作用。何况现在统一教材时,常用 300 人编写一个某某教材,成立 11 个小组,每一个小组写一章,然后推举两个人筛选,各写各的,最后放在一起,主编一点办法也没有。就算将 11 章一起印吧,同一本教科书里,第 1 章到第 11 章之间,对某一个问题的说法有时是完全相反的。我们知道所有教学意见是不会都一样的,就让它们不一样,让它们百家争鸣,在时间的考验下有的会淘汰,有的会前进,有的会互相渗透、互相吸收。我们国家可以有很多的教材,尤其是高等学校教材,可以有很多种,中国通史可以有很多版本,现在实际上就有很多版本。我们讲历史,观点是不一样的,甚至断代都不一样。铜器时代是什么时候结束的,现在总算争得有点结果,但还有一种版本的中国通史不承认这个是对的,是可以不一样,为什么非要一样不可?大学普通物理的核物理部分,究竟在大学里占有多高的地位,是可以讨论的,为什么一定要一模一样呢?化学问题更多,就是把苏联教材拿出来,每种版本也是不一样的。过去我们受了苏联的骗,这一点我现在可以告诉大家。50 年代,把苏联的教学大纲拿来后,当时我与很多有经验的人谈,这个大纲发下去,叫我们无法执行,功课太重了。后来我到苏联去,我就不相信学生能学得了那么多东西,而且每一个课程大纲之复杂,什么都有,教科书又那么厚。我就问几个我过去与他有点关系,估计他会说老实话的教授。他们说,唉呀!我们是没有办法,上头要统一规定,那我们怎么办呢?只好按教学大纲,把有章节的标题写在黑板上就算讲过去了,只写上标题,下面没有讲,因为不可能那么讲。我们国内是老老实实,有一个标题至少还得讲半个钟头、一个钟头。他们的学生怎么样呢?学生学不了,只好作弊,使作弊现象很普遍。我们的学生老实,不作弊,当然“文革”期间也不老实了,可以交头接耳。这都是骗人的东西,可是我们当他是真的东西。过去我们不敢说,一说就是反苏。我说了,隐隐约约有一点意见,反苏的帽子便戴上了。所以教学大纲、教学计划、教材我不主张统一,不要一刀切。教授的方法,更无

修课知识范围要扩大一点,他自己过去也听过这一类的课,可是他教这门必修课,与他从老师那里学过的观点不一样,因为他有毕业论文的基础,有很丰富的观点。他讲这门必修课和他老师的讲法不一样,有时候他用别人的教材,有他不同的观点,有的自己编教材而不用别人的教材。许多年轻教师还是愿意用别人的教材,用一些观点与他接近的教材来教。他教这门课的时候,课时一般是一星期 3~5 小时。课时增加一点,范围扩大了,可是他还做他的科研工作。有人因为扩大了范围,他在那个必修课范围内找到了新的问题。也有的根本不改行,还是干他原来的东西。有些人不愿意放弃他原来的专题课,还给四年级和研究生开选修课,因为他也带研究生,愿意讲给研究生听他自己的许多观点。这样的教师,如身体好的,就讲两门课,带研究生,自己还在做工作;身体不好的,开了必修课,选修课就放弃了,或者选修课两年讲一次。他的知识范围比原来大了,甚至有人改行了。所谓改行,就是他又找了一个新的问题在做了,做的时候他也懂得先收集材料,把前人的工作进行总结,他也不会随便搞,那一套办法他都会。这样的教师讲得好了,就变成某一方面的专家了,他的研究生也大量出来了,甚至他的老研究生变成了副教授,帮助他带领更多的研究生,他的研究工作就成为一个梯队,一个人至少有一个助手。所谓助手就是副教授。有两个副教授,他就可以带上十个研究生,三个人一起带十个研究生,这是经常的。再过一个时期,他又升了。一般这种升级在国外都是调了学校升的,他自己学校不太升。因为如有 20 个副教授,升谁好?人人都很用功,都有所长,你选谁好?都是三年了,怎么办?一般都是别的学校把他请去升,你怪不了领导,你也可以升嘛,你也可以被别人请嘛。如他再要副教授怎么办?他可以到其他学校请来。他们的教师交流得很经常,他们没有升级的问题,升级问题就是这么解决的。可是副教授升教授,有很多是本校升上去的,当然也有请去的。有的人当了两年的副教授,别的学校把他拉去,升为教授的也有。比较正规的是在本校升。升到教授以后,他有更高的要求,要求什么呢?要求是教基础课的必修课。不论你过去教什么,只要这是基础理论课,那么你在这个系的工作中应该是经常用到的,所以你在适当

时期以后,只要你是做那个科研工作的,那么基础理论课当然能教。因此,他们大学一二年级的教授,全部是非常有经验的教授,甚至有在教大学普通物理的,他还在研究物理学的某一问题。大学普通课说起来也没有什么可研究的,对不对呀!他们研究的还是原来的东西,可是他在教大学普通物理。这样的老师,一般都带一大群研究生,四年级和研究生院的选修课是不愿意放弃的,可是三四年级必修课可以放弃,他不教了,换新上来的人教。他自己教一门必修课,基础课的必修课,同时还进行科研工作,所以他们的编制很清楚。教授、副教授的编制是死的,根据课程来编制。这两个头,一个头是你必要的工作;另一个头,你可以两年开一次,是你喜欢的工作。当然,所谓喜欢是指自己教学所熟悉的一部分,科研所熟悉的一部分,与我们不一样。我们现在的問題是不这样做,培养你教微积分就教微积分,那么他现在 60 岁了,整天教微积分,忙得一塌糊涂,他没有做过科研工作,现在也得升他做教授,没有办法,因为他是教学的,从教学这一条路培养。他在教学上有没有观点?有,教学那么多年,还是有观点的。他的观点大部分是从教学用的书本里来的,他有观点,他就局限于这个观点,不是他从工作中形成的观点,这是一个很大的区别。有人说,你可能是瞎说八道。我完全可以证明我的观点是从观察中得来的。我举三个人的例子,都是大名鼎鼎的人。

杨振宁,大家都知道,获得过诺贝尔奖金,他的专长是场论,是规范场论。他现在纽约州立大学讲的课是大学普通物理,规范场论两年讲一次。他的研究工作还是搞规范场论。他有好多个研究生。

李政道也是如此,他是哥伦比亚大学的普通物理的首席讲座,同时,他还经常开一门课,每年换的(他的研究方面比较广阔),开四年级、研究生的选修课,带了一大批研究生。

林家翘,我和他是老同学,比较熟悉。他是物理系出身的,是清华大学物理系 1937 年毕业的。1939 年我与他一起出国。我也是物理系,1935 年毕业的,我那个时候搞 X 光学,是做实验的。我与他一起去加拿大跟了同一个导师,这个导师的专长是应用数学,是物理系出身的应用数学家。林家翘是搞流体力学的,我搞的是弹性力学。他的毕业论文不

是在导师指导下完成的,而是到加州理工大学找冯·卡门,就是航空方面的美国的第一把手,跟他学的。可是,他跟冯·卡门学的只是理论方面的东西,他搞流动的稳定性的,他的毕业论文就是这一篇,是很好的一篇文章。他花很多时间总结了前人的经验,提出了自己的办法,最后在这一方面提高了一步。毕业以后,他到了布朗大学,我就回国了。他到布朗大学以后,给研究生开了一门选修课,就是流动的稳定性的。他在布朗大学做了三年的助教授。1950年左右,他出了一本书,这本书就是讲流动的稳定性的,就是他的论文最后写成讲义演变出来的,这本书很有名。以后麻省理工学院请他去做流体力学的副教授。流体力学在那时候是必修课,设在麻省理工学院数学系,是应用数学专业的必修课。他在那里教了三年,还是做流动的稳定性的,又写了若干篇文章,后来很有名。以后有一位数学老师病了,请他代课,代微积分。那时微积分是麻省理工学院各个学生的必修基础课,这门课有八个教授,每人的教学大纲都不一样,各有所长,但是时间都一样,就是每星期四节课。排课是不一样的时间,学生可以随便选哪个老师。当时八个老教授中,有一个病了,请林家翘来代课,他是年轻的副教授,这本来应该是教授才能讲的课程。他在那里很有名,大家也很重视他,所以请他讲。他讲微积分是用应用数学的观点讲的,讲下来,选他的课程的学生变成300人,上大课堂。后来没有办法,选他课的学生越来越多,只好分为两班,另一班让他的一个已毕业的研究生来教,把他的助教授升为副教授,那个时候林家翘已升为教授了。两个人的观点基本是一样的,两个人同是讲这门课。以后又教了两年,其他的几个教授都垮台了,没有人听那些课了。后来全部的微积分的编制,都给给应用数学的人,就是林家翘系统的人,变成一个学派了。学校照顾这批老头子,八个教授还是由数学系请去。后来他们微积分有16个教授,那八个教授实际上不教微积分,你爱开什么课就开什么课,放松了一点。林家翘就建立了以应用数学为基础的微积分课程。他当了教授以后,教授是五年一聘,五年不出科学成果,他也可以当下去,但是他决心改行。到1958年的时候,他改行成功,变成天文方面的关于星云理论的一个奠基人。他的文章发表后,震动了天文界。从那个时候

起,他成为科学院的院士。再隔两年,麻省理工学院聘他为终身教授,就是叫学院教授,跟一般教授不一样。现在他快退休了,他的微积分不大讲了,大概两三年讲一回,以后都是他培养出来的一批人在讲了,都是教授了。可是他一两年要开一开他星云理论的课,教师选修课,都是他的研究生来听,有时是四年级学生选修一下。一个教师的过程是这么过来的。人的编制在应用数学系,他的权威是天文学,流体力学他也懂得,可是对他来讲是已经过去了。现在谁要研究流动稳定性还要看他那本书,他的书是比较成熟的。当然也没有完全解决问题,还有人在做工作,不过林家翘自己是不做了。

你看,他们的教师是这么上来的,就是从科研的过程中培养教师的,是从专业课培养到基础课的,因此他们的基础课教授的确讲得好,每人都有观点。当然有的观点过时了,学生会放弃它,像麻省理工学院那八位数学教授一样。不过这些数学教授也不在乎,因为他有自己的专长,还有几何,有代数,他们研究过的工作不只是一个方面的。因此,换一句话说,作为一个教师,首先一定要会教学,一定要从事教学工作,这是他的天职。可是要做好一个教师,不是只研究教学法,而是要在科研工作上不断前进,这样才能做一个好教师。我们现在评定教育工作,教学好,受学生欢迎,是指你是一点一划都讲清楚,这叫做讲得好,而不是指你有很多启发性的观点,引导学生钻进去。教师好坏的标准,应该是在他的科学上有没有成就。他在学校里进行科学与研究所里完全不一样,因为他永远与青年在一起。青年与老年不一样,他们总是容易提出自己的观点,很多观点初看可能是不合理的,他也提出来了。所以研究生的第一部分的工作,是总结前人的工作,对于导师来讲是有很重大收获的。研究生提出很多自己的观点,这些观点有的肯定是不对的,可是有许多是老师想不到的,这是老师与学生在教学相长中有很重要意义的。因此,很多科学家不愿意离开学校,愿意在学校里培养研究生,作为终身的任务。研究院就是给他更多的钱,他也不去,因为学校是出人才、出成果的地方,是自己可以不断前进的一个很好的老窝,谁愿意放弃?因此,教学与科研应该是结合的。你看他们结合得多好!并不是有

一批人专搞科研工作,有一批人专搞教学工作,照那样做,科研工作与教学工作都提高不了。教学是必须要完成的任务,是最起码的任务。教书教得好不好,要看你的科研工作有没有贡献,你的观点在不在发展。所有有名的教授,都有他自己的观点。体现这些观点的一批人,就是这个学派。这个学派不是谁封的,是由他们与众不同的观点形成的。他们的学派不是老在一个学校,他们的研究生,他们的副教授、助教授被别的学校请去了,还会发展他们学派的观点,不是老在一个地方。因此,他们的教师成长得比较快,因为他们学派的人在流动,他们在接触不同学派的观点。比如说,我这个系里,有10个、20个助教授,可能是从五六个学校来的,这些助教授各有不同学派的观点,讲课也不一样,也会争论。他们都知道他们的观点与别人的观点不一样,做法不一样,想法也不一样。那么,怎么样才叫有贡献?评定一个科学工作的好坏,该怎样评定?评定一个科学工作,从刚才那个思想看,不外有几种情况:一种情况,他有新的观点,用了新的办法,或者是理论上的,或者是实验上的,解决了一个新的问题,从来没有人解决过,这是最好的一个工作。当然这个新的观点必然要有它的普遍性,因为越有普遍性,这个工作就越好。比如,杨振宁的规范场论有他的特殊性,也有他的普遍性。他的观点提出来了,同时用了一定的新的办法,的确解决了当时没有人解决过的问题,所以他是好的,就是新的有普遍意义的观点,用新的办法解决新的问题是最好的工作。如果是新的观点,用旧的办法,解决了旧问题,可是观点是新的,这也不错。如果用了老观点,用了新办法,解决了旧问题或者解决了新问题,这是次好的,方法还是新的,除非你的方法有普遍意义,这是更差一点的。还有一种,用的是旧观点、旧方法,就是用得好、用得恰当,解决了新问题,这也不错。最不好是,用老办法、老观点,解决了老问题。这样该不该做?在我们国家目前的情况下还是该做,我们当前大量的问题就是这种性质的问题。这个老问题有些不同的条件,你要处理得好,有很好的结论,对国家很有贡献,我们也应该做,可是千万不能一天到晚地做,一天到晚地做提高不了。要做,作为一个任务来做。我们现在有许多问题摆在那里,怎么解决呢?就是要加一点功来做这个工作。没有

人做,我也得去做,就是这样子。但是,我们应该有一个长远计划,长远计划包括新的观点、新的方法、处理一类新的问题。可是这个长远规划里,应该容纳得下这一些局部的问题,就是用老方法、老观点,这个问题明摆着一下可以处理完的,你也得做,作为你培养青年的一个过程,同时也给国家解决了问题。就是走一步,得拿一个东西出来,让领导看看,这个东西解决了问题。你不要拿出一个计划,一来就是 20 年,到 20 年以后才有成果拿出来,这在我们国家是行不通的。我们的国家最好每年都有一些成果拿出来,这些成果只要能够解决问题,管它是老观点、老方法、老问题。可是你也要有长远计划,大量时间是搞长远计划的。但总得有 $1/4$ 、 $1/3$,甚至一半时间,来对付我们国家迫切需要解决的现实问题,也就是把近期的工作与长期的计划结合起来做才行,不能只顾长期的。现在我们有一种倾向,我们国家要搞“四化”,得订个大计划,我的计划要多少钱、多少人,20 年以后我拿出来一个成果,这是通不过的,在国外也是通不过的。所以我们的科研应该是有近、远期相结合的目标,近期的目标是能解决我们社会生产上碰到的若干问题中的一部分,这样把当前紧迫的问题解决了,也站得住脚了。假如你只顾远期的,不顾近期的,那么你最后要垮台。可是,你只是搞实用主义,我们的科学技术就成长不了多少。我们现在要有远大眼光的人去做远期的工作,对于每一个人来讲,都应该把近期的计划与当前的实际结合起来,这样使我们的教学也能搞好,科研也能搞好,队伍也能成长,这是四个现代化要求我们这样做的。