

绪 言

自然辩证法是研究自然界和科学技术发展一般规律以及人类认识自然和改造自然一般方法的学科,它是马克思主义哲学的重要组成部分,是对于人类认识自然和改造自然的成果与活动进行哲学概念与总结的产物。

自然辩证法是一门哲学性质的学科。一方面,它要把人类科学技术活动中建立起来的科学规律和理论进行哲学总结,使之提升为更具一般性的哲学概念和原理;另一方面,自然辩证法不能替代具体的各门科学技术,它要从世界观和方法论的高度把握自然界、科技活动以及科技发展的一般规律。这样,自然辩证法理论就有了中间层次的普适性和抽象性,它比马克思主义哲学普遍原理的普适性和抽象性要小,但又比具体的科学技术有更高的普适性和抽象性。

自然辩证法产生和发展的历史也完全说明了它源于自然界和科学技术,同时又高于具体科学技术的学科性质与特点。

自然辩证法的产生,是与人类认识自然界的漫长历史过程密切相关的。在古代,古希腊人以自然哲学的形式,达到了对自然界自发唯物论和朴素辩证法的认识水平。古希腊人把自然界作为一个整体加以观照,认为自然界存在的依据和发展变化的原因在于自然界自身,整个自然界都处在永恒的产生和消灭过程中。这种天才的机体论自然观,是后来各种自然观的胚胎和萌芽。但由于受到当时人类实践和认识水平的局限,古希腊人的自然观带有浓厚的直观、思辩、猜测的特点。在以后长达一千多年的中世纪时期,为宗教神学服务的经院哲学占据了统治地位,神创论的自然观使人们

DAF 77/07

在对自然的认识水平上出现了倒退,从而也就束缚和禁锢了科学技术的发展。从15世纪下半叶开始,欧洲城市商品经济发展和地理大发现,推动了西方的文艺复兴运动和宗教改革运动,科学重新兴起,挣脱了宗教神学的桎梏,走上独立发展的道路。1543年波兰天文学家哥白尼发表了《论天体运行》,比利时医生维萨留斯发表了《论人体构造》。这两本划时代的不朽著作诞生于同一年,看起来是历史的巧合,却成为近代科学创始的起点。近代科学把对自然界的认识建立在观察和实验基础之上,并把数学方法引进来与观察、实验方法密切结合,在17世纪获得了巨大的成就。弗兰西斯·培根的经验论认识论和归纳法方法论,笛卡儿的唯理论认识论和演绎法方法论,都是对当时自然科学发展的哲学概括,又极大地促进了近代自然科学的发展。

由于近代科学在它的早期主要运用把自然界分解为各个部分分别研究的分析方法,使人们相对忽视了自然界各部门之间的联系和变化发展。17世纪的牛顿力学达到近乎完美的地步,又使得一切无机自然界的现象都可以由牛顿力学给出合乎逻辑的解释,因此机械论的自然观应运而生。然而随着科学技术的不断进步,18世纪下半叶出现了以机器大工业取代工场手工业的技术革命,19世纪自然科学从分门别类搜集经验材料阶段进入对材料进行理论概括阶段,形而上学地机械认识自然界的理念和方法受到挑战。特别是这一时期自然科学在各个领域相继涌现了一系列新发现,如细胞学说,能量守恒与转化定律,生物进化论等,在本质上深刻地揭示出自然界内在的辩证联系和发展。科学技术的进步和发展,向人们提出了根据并总结当时科技发展最新成就、以辩证论自然观取代机械论自然观的要求。这一任务历史地落到了马克思主义创始人身上。马克思和恩格斯都对自然辩证法的创立给予了高度重视,特别是恩格斯更是为一整套“关于自然科学的辩证思想”形成和确立进行了大量研究。《自然辩证法》、《反杜林论》、《路德维希·

费尔巴哈和德国古典哲学的终结》等一系列著作,从当时哲学所能达到的最大高度,对人类认识和改造自然的各种成果和活动进行了科学的概括和总结,实现了人类自然观、科学技术观、科学技术方法论的拨时代变革。

进入 20 世纪以来,以物理学的三大发现(x 射线、放射性、电子)和两大理论(相对论、量子力学)为代表的现代物理学革命,开创了现代科学技术蓬勃发展的新时代。自然科学的研究从宏观低速运动为对象向两个不同层次拓展,一是向宇观高速运动层次,另一个是向微观原子内部结构层次,涌现了宇宙学、粒子物理学、分子生物学等一系新兴基础学科,向人类展现了全新的自然图景和科学图景。自然界各种不同物质运动形式之间的相互转化和内在统一的客观规律,各种自然现象之间相互联系和依存规律不断地被揭示出来。同时,现代科学革命带动了现代技术革命,进而又引起了新一轮的产业革命,最终导致社会生产力的巨大进步,并带来人类物质生活、社会关系、精神生活和思维方式的极其深刻的变化。这一切,又要求人们从哲学的高度对其进行新的概括和总结。科学技术的发展没有止境,人们关于科学技术的哲学思考也不会有终点。自然辩证法本质上上是一门开放的学科,它必须随着科学技术前进的脚步不断发展和探索。

本书的编写也是作者多年从事自然辩证法研究和教学实践的一个总结,一种探索。自从把自然辩证法作为理工类硕士研究生的学位课程以来,许多学校的自然辩证法教学工作大体经历了三个阶段。^① 1980 年以前为第一阶段,以恩格斯的《自然辩证法》一书为教材,结合现代自然科学提供的材料,讲授自然辩证法原著和专题。1981 年到 1986 年为第二阶段,以当时教育部组织编写的《自然辩证法讲义》为教材,分自然观、科学观和自然科学方法论的“三

^① 陈其茶著:《自然辩证法导论》序言,复旦大学出版社,1995 年。

大块”体系进行教学。1987年以来为第三阶段,各校(特别是研究生教育规模较大,设有研究生院的国内重点高校)寓科研于教学之中,根据不同学科门类研究生的特点,在国家教委制订的教学大纲总体要求下,对自然辩证法的教学内容进行了精炼、深化、补充和完善,并涌现出了一批各具特色的教材和教学参考书。这本《自然辩证法新编》也是这一背景下的产物。本书在结构上与传统的“三大块”体系有所不同,是按照自然观、科学观、技术观和科学技术社会观四大部分来组织自然辩证法教学内容的。这一安排最主要的考虑是传统的“三大块”结构体系比较偏重自然科学(也就是通常意义上理科)方面的内容,相对地关于工程技术(通常以工科称呼之)方面讨论就很少,这对于广大工科类的硕士研究生而言,显然存在较大缺憾,因此本书特别增加了第三篇技术观。本书内容安排中除第一篇自然观与其他教材比较相近外,科学观、技术观和科学技术社会观则把一般教材中的科学方法论和科学技术观的主要内容进行重新编排,并根据自然辩证法及其相关学科的最新研究成果作了较多的充实和探讨。

第一篇自然观。自然观是以自然界的整体为研究对象,从整体上对自然界进行哲学思考所获得的根本观点。马克思主义的辩证自然观在进入20世纪以后,得到了进一步的研究和发展。特别是本世纪中期系统科学思想的出现,极大地丰富了辩证自然观的内容。60年代以来,耗散结构论、协同学、超循环论、相变和突变理论、混沌学、分形论等一系列系统自发运动、自我组织理论的出现,更为我们从研究存在到研究演化、从追求简单性到探索复杂性、从了解他组织到认识自组织提供了坚实基础,并有利于形成当代的自组织的辩证自然观。本篇的任务在于以辩证自然观为指导从整体上对自然界的物质构成及演化作出合理的说明,以把握自然界(包括天然自然和人工自然)的变化趋势,并对人类与自然界的关

系予以严肃认真的探讨。

第二篇科学观。自然辩证法的科学观是关于自然科学及其发展的一般规律的根本观点。对此有科学内在形象和外在形象两种不同的视角。本书第二篇重在从科学内部考察科学理论、科学方法、科学发展及其相互联系,注重哲学层面的剖析。这方面,本世纪20年代兴起的西方科学哲学为我们提供了丰富的材料。西方科学哲学以自然科学为研究对象,出现了许多不同的流派。以数理逻辑方法对科学知识的结构作静态逻辑分析的逻辑实证主义,以可证伪原则作为哲学基础的批判理性主义,主张科学哲学与科学史研究相结合的科学历史主义,以及后来独具一格、异军突起的科学实在论,都分别从本体论、认识论和方法论的角度进行了关于自然科学的哲学研究。了解、研究、分析和评价西方科学哲学关于科学理论、科学方法、科学发展的主要观点,对于我们树立辩证唯物主义的科学观有重要的借鉴意义。

第三篇技术观。技术和科学既有密切的联系,也存在一定的差别。技术的产生虽然比自然科学的产生可以追溯得更远,但是人类从整体上对技术进行哲学分析和思考的时间却要比对科学的哲学研究晚得多,而且至今还很不成熟。尽管如此,20世纪下半叶以来,西方技术哲学或技术论的研究还是取得了相当进展。西方技术哲学关注技术的本质,力图跟踪和捕捉技术发展所面临的问题,并从理论上予以解释和说明。这些都为本书讨论技术发展、技术本质和技术方法提供了有益的启示。事实上,自然辩证法关于工程技术及其发展一般规律的研究也有内在形象和外在形象两种视角,而本篇的讨论重在前者。这种在自然辩证法教学中单独讨论技术观的目的在于帮助理工类硕士研究生,特别是工科研究生能对今后所要从事的工程技术研究有更为理性的把握。

第四篇科学技术社会观。从科学技术的外部探索科学技术的社会建制、社会组织、职业规范、社会价值及其与社会的复杂关系,是本篇讨论的内容。现代科学技术已经成为社会巨系统中一个必

不可少的子系统,成为国家体制中最重要的部门之一。现代科学技术在社会全面进步和经济高速增长中具有决定性的作用;另一方面,科学技术的负面效应也表现得越来越明显,人口爆炸、资源紧缺、环境污染等消极后果正在给人类带来许多新的社会经济、政治和文化诸多方面问题。自然辩证法的科学技术社会观需要借鉴当今世界上科学社会学、技术社会学和可持续发展研究的最新成果,正确地回答这方面的问题。

对自然辩证法的教学内容作出上述编排虽然是作者实践的总结和思考,但还是带有很大探索性的。自然辩证法是一门具有很强的综合性、交叉性、边缘性的学科,它的体系有相对独立性却又同时具有较大的开放性,只要科学技术在发展着,对自然辩证法的体系结构和内容的探索就永远不会停止,我们愿意和广大的读者共同继续这样的探索。

目 录

第一篇 自然观

第一章 自然界的系统存在	3
第一节 物质系统的基本属性	3
一、物质系统的分类	4
二、物质系统的整体性	5
三、物质系统中整体与部分的关系	6
四、物质系统与环境的关系	8
第二节 物质系统的层次结构	11
一、物质形态的多样性.....	11
二、非生命系统的层次结构.....	14
三、生命系统的层次结构.....	16
第三节 层次结构中的一般规律	17
一、层次与复杂性.....	17
二、层次与结合度.....	19
三、上层系统与下层系统的相互作用.....	21
第四节 物质系统的若干哲学问题	24
一、物质与时空.....	24
二、宇宙的有限与无限.....	27
三、物质的可分与不可分.....	30

第二章 自然界的演化发展	35
第一节 演化观念的逐步确立	35
一、从“第一推动”到演化	35
二、演化的时间方向性特征	38
三、演化的两种方向	40
第二节 重要物质领域的演化进程	43
一、宇宙的演化	44
二、恒星的演化	46
三、太阳系及地球的演化	48
四、生命起源与生物进化	50
第三节 进化机制及其哲学讨论	53
一、进化的条件与过程	54
二、进化与退化的关系	58
三、偶然性在进化中的意义	60
四、自然界演化的周期性	63
第三章 人与自然界的共存	67
第一节 人与自然的相互依存关系	67
一、人类从动物界的分化	67
二、人与自然界关系的变迁	70
三、人与自然的对象性关系	73
第二节 人与自然关系演化的新特点	76
一、人类的新进化	76
二、人工自然的发展	79
三、人与自然关系的新变化	82
第三节 人与自然的协调发展	84
一、人与自然协调发展的紧迫性	84

二、协调发展的涵义和条件.....	87
三、中国人与自然协调发展的难点与出路.....	90

第二篇 科学观

第四章 科学理论	98
第一节 科学划界	98
一、科学划界问题及其意义.....	98
二、科学哲学关于划界的基本观点	100
三、关于划界问题的评论	105
第二节 科学语言	107
一、两种语言符号系统	107
二、科学语言的分类	109
三、科学概念与科学命题	112
第三节 科学理论的结构	113
一、科学理论结构的“正统观点”	113
二、亨普尔对“正统观点”的修正	117
三、奎因的网络模型	119
四、关于科学理论结构的评论	120
第四节 科学理论的评价	122
一、逻辑经验主义评价模式	122
二、批判理性主义评价模式	124
三、科学历史主义评价模式	127
四、对各种评价模式的评论	129
第五章 科学方法	133
第一节 科学发现与科学证明	133

一、从发现逻辑到证明逻辑	133
二、科学研究一般程序与科学方法	136
第二节 科学问题	138
一、科学问题:科学研究的起点	138
二、科学问题的基本类型	140
三、科学问题的来源	143
第三节 科学观察与科学实验	145
一、科学事实及其性质	145
二、科学观察	146
三、科学实验	148
四、观察和实验中的若干认识论问题	150
第四节 逻辑方法	153
一、科学抽象及其意义	153
二、比较与分类	154
三、分析与综合	155
四、归纳与演绎	156
五、数学方法	158
第五节 非逻辑方法	160
一、非逻辑思维的基本形式	160
二、直觉与灵感	161
三、形象思维与科学想象	162
四、非逻辑思维与逻辑思维的关系	163
第六节 系统科学方法	165
一、系统科学及其方法	165
二、常用的系统科学方法	166
三、自组织理论方法	169

第六章 科学发展	172
第一节 科学进步与科学发展	172
一、科学的目标	173
二、科学进步	175
三、科学发展	179
第二节 科学发展的模式	181
一、科学发展模式的主要观点	181
二、关于科学发展一般模式的评论	186
第三节 科学解释与科学合理性	188
一、科学解释的类型	190
二、语言层次与科学解释	191
三、科学的合理性	194
第四节 科学实在论	197
一、科学实在论与反实在论的争论	197
二、科学实在论在传统立场上的转向	200
三、关于科学实在论转向的评论	202

第三篇 技术观

第七章 技术发展	207
第一节 古代手工技术	207
一、石器时代	208
二、铜器时代	209
三、铁器时代	211
四、古代动力技术和信息技术	213
第二节 近代工业技术	215

一、蒸汽技术革命	215
二、电力技术革命	218
三、机械化大生产的工业技术	221
第三节 现代科学化技术	226
一、电子计算机技术	227
二、原子能技术	229
三、航空航天技术	231
四、高新技术群	233
第四节 技术发展模式讨论	235
一、技术发展的宏观模式	235
二、技术发展的微观模式	238
第八章 技术本质	241
第一节 技术的本质	241
一、形形色色的技术定义	241
二、技术的本质特征	244
三、技术的基本属性	245
四、技术要素分析	247
第二节 技术的分类	249
一、技术分类的原则和标准	249
二、根据技术基本属性的分类	251
三、根据基本运动形式的分类	252
四、根据生产劳动过程的分类	254
第三节 技术的体系结构	257
一、技术系统与技术体系	257
二、技术体系的演化变革	259
三、技术联系方式与技术结构	261

第九章 技术方法	265
第一节 技术创造过程与技术方法	265
一、技术创造的一般程序	265
二、技术方法的基本特点	268
三、技术方法的若干原则	270
第二节 技术预测方法	271
一、技术预测的意义和特点	271
二、技术预测方法的理论基础	273
三、技术预测方法的主要类型	275
第三节 技术评估方法	277
一、技术评估的作用与特点	277
二、技术评估的原则与程序	279
三、技术评估的常用方法	282
第四节 技术发明方法	284
一、技术发明的一般过程和步骤	284
二、技术原理的构思方法	286
三、常用的发明创造技法	289
第五节 技术设计方法	291
一、技术设计的历史发展与地位作用	291
二、技术设计的一般方法	293
第六节 技术试验方法	296
一、技术试验的作用和特点	296
二、技术试验程序和常见类型	298

第四篇 科学技术社会观

第十章 科学技术的社会体制化	303
第一节 社会制度和科学技术体制	303
一、社会制度及其构成要素	303
二、科学技术体制和体制化	306
三、从社会体制看科学与技术关系	307
第二节 科学家和技术专家角色的形成	309
一、角色的概念	309
二、古代科技活动主体的社会角色	310
三、近代科学家和技术专家角色的出现	313
四、现代科学家和技术专家角色的确立	317
第三节 科学技术的社会组织	320
一、科学技术社会组织的分类	320
二、科学技术共同体	322
三、“无形学院”和“创新者网络”	324
第四节 科学技术的体制目标和社会规范	326
一、科学技术的体制目标	326
二、科学技术的社会规范	329
第十一章 科学技术与社会的互动	333
第一节 科学技术推动社会全面进步	333
一、科学革命：哥白尼—牛顿革命.....	333
二、技术革命和工业革命	334
三、政治革命：英国、法国和美国的革命	336
第二节 科学技术促进经济增长	338

一、“科学技术是第一生产力”的定性说明	338
二、技术进步促进经济增长的定量分析	339
三、传统解释的局限性	341
四、当代经济增长的知识经济学解释	343
第三节 社会对科学技术发展的影响	346
一、科学知识的社会建构	346
二、技术的社会塑造	349
第四节 技术经济范式与社会制度框架的匹配	352
一、诺斯的制度创新论	352
二、技术经济范式理论	353
第十二章 科学技术的社会价值观	359
第一节 对科学技术价值的反思	359
一、科学技术：一柄双刃剑	359
二、技术悲观主义	361
三、技术乐观主义	365
第二节 对科技价值的评价与行为取向	367
一、正确评价科学技术的价值	368
二、走现实主义的发展道路	370
第三节 以科技促进经济和社会全面进步	373
一、经济和社会对科技的迫切需求	373
二、我国实施两个战略的关键环节	376
后 记	382

第一篇 自然观

自然观是关于自然界以及人与自然关系的总体看法、观点。它是在人以自然界为对象的认识、实践活动过程中产生的，也是人类关于自然界知识的有机组成部分。

自古以来，人类便对整个自然界充满了探索的欲望；而人类最早的一些关于自然的知识，便是以哲学自然观的形式出现的，如物质的基本结构、宇宙模型、世界的起源等。人类发展的每一个历史时期均有相应类型的自然观产生，如古代的机体论、神创论自然观，近代的机械论自然观，现代的辩证论、系统论自然观。人类之所以执着地要从总体上把握自然的本质，归根到底是由自然界对于人类的意义决定的。自然界是人类一切知识的来源，没有自然界，人类的思维、观念、语言和符号不可能产生，即使产生也不可能有用武之地。自然界直接蕴育了人类，她造就了人类起源、进化所必不可少的生态条件，为人类社会的发展提供了资源环境保障。自然界的实际状况及人对实际状况的认识又直接与人类社会的状况（如哲学观念、伦理标准等）产生互动。总之，人类的历史与自然的历史是一个统一体，人类的未来与自然界的未来也可以视为一个统一体，这便是自然界对于人类的意义。

人类早期的自然观，一般是以哲学方法综合日常经验而形成的，因此是比较纯粹的哲学产物。而近代科学诞生之后，自然观就必须以科学和技术为基础了。科学技术知识使人类对于世界的许多局部有了深刻、精确的理解，也使得人类进一步认识、改造自然

的力度不断加大。但是,科学技术对物质世界的局部描述,不能取代对自然界的总体思考。人类依旧需要对自然界的物质构成及演化作出合理的说明,需要把握深受人类活动影响而对人类至关重要的那部分自然界的发展趋势,还要对人类自身的前途、命运作出严肃的预测。所有这些,都是自然观的任务,都与当代自然科学及技术的具体知识有关,但又不包含在具体知识当中。因此,研究当代自然观,必须以马克思主义哲学的唯物辩证法为工具,对当代科技的重要成就进行总结、提升,最终形成合理的对自然的总体看法。

应当说明,当代科技成就是形成自然观的必要基础,这些成就将给自然观赋予时代的特征,使当代自然观与过去所有时代的自然观相比,都更深刻。但同时,自然观的重要结论,虽然可能和某个具体的理论有密切的关系,但又不是用严密的数学、逻辑方法可以得出的。自然观具有整体性,所以必定超越具体理论,在研究方法上也必定超越形式逻辑和数学推理;只有辩证法可以帮助人们实现由具体知识向自然观的超越。

自然观也不是僵化的东西。一方面,自然观建筑在科技知识基础之上,它必定还会因为科技水平的提高而改变;另一方面,研究自然观的主要方法是辩证法,辩证是对立面、对立观点不断冲突、螺旋上升的过程,应用辩证法不可能一蹴而就,结论也不可能一成不变,而只能向正确、合理的方面不断逼近。因此,自然观必须保持其开放性,才能前进,如果强求形式、内容、结论的不变,那么就与辩证法的本质相背离,所得到的东西最终将毫无价值。

第一章 自然界的系统存在

构成世界的物质有哪些？它们又是如何构成这个世界的？这是人们思考自然界的存在时，所要回答的两个主要问题。现代自然科学的发展，尤其是本世纪呈爆炸性增长的科学知识，使我们得以勾勒自然界的物质构成谱系和存在发展的总体规律。要在总体上把握丰富、复杂的自然界，必须有一个合适的着手之处，才能不被纷繁的现象所迷惑。当代系统科学的发展，正好为我们提供了这样一个着手之处。系统概念及系统科学规律几乎适用于自然界存在的所有方面，这是其他任何一个学科的知识所无法比拟的。恩格斯曾指出：“我们所面对着的整个自然界形成一个体系，即各种物体相互联系的总体，而我们在这里所说的物体，是从星球到原子，甚至到以太粒子，如果我们承认以太粒子的存在的话。”^①自然界所有的物质存在构成了一个总的系统，非但如此，所有的具体事物不是系统，便是系统的一个部分。系统方式在自然界中具有普遍性，系统观可以成为我们把握存在的一般工具。

第一节 物质系统的基本属性

系统是一个宽泛的概念，在不同的学科中有不同的定义。按自然、社会、思维三大哲学研究领域分，系统可分为自然系统、社会系统、思维系统。其中，自然系统是所有物质系统的总体。自然界中每一个物质系统都是某些有一定属性的部分经特定的关系组合而

^① 恩格斯.《自然辩证法》，人民出版社，1971：54.

形成的整体。物质的系统构成方式便是事物普遍联系的具体形式，了解物质世界的一般规律，必须从了解物质系统的分类及系统基本属性入手。

一、物质系统的分类

物质系统的分类，必须从一定的角度来进行，我们只能选取若干比较重要的角度，来认识物质系统的类型。

首先，从系统与环境的关系进行分析，物质系统可以分为孤立系统、封闭系统和开放系统。所谓孤立系统是指与外界既无物质交换，也无能量交换的系统。这种系统严格地讲，只是一种理想化模型，实际上它对应的只是与环境交换的物质、能量极少，乃至可以忽略不计的系统。封闭系统指的是与环境仅有能量交换，而无物质交换的系统。开放系统指的是与外界环境既有物质交换，也有能量交换的系统。孤立系统不受环境的任何影响，因此与后两类系统有本质差别；封闭系统与开放系统均会受到环境的影响，这两类系统的差别并不大，况且现代科学业已表明，物质与能量本质上是统一的，能量交换本质上就是物质交换。因此，后两类系统均可视为广义的开放系统，只是开放程度有所不同。

其次，从物质系统所处的状况看，系统又可分为平衡态系统、近平衡态系统和远离平衡态系统。系统若处于平衡态，则系统内部处处无差异，例如温度处处相同，压力处处相等，电位不存在梯度，物质密度均衡；而且平衡态系统中这些处处相等的量，也不会随时间而改变其数值，即温度、压强等量非但处处相等，而且时时相等。近平衡态系统是指内部有一定差异，但这种差异只能导致线性相互作用的系统；远离平衡态系统是指内部有较大差异，足以导致系统中出现非线性相互作用的系统。近平衡态、远离平衡态系统又统称为非平衡态系统，但两者的性质差异很大。通常我们可以用昂萨

格倒易关系来区分近平衡态系统与远离平衡态系统。^①

再次,我们可以从系统内部相互作用特点角度,将物质系统分为线性系统与非线性系统。前者指比较简单、要素之间呈线性关系的系统,后者则是指存在正反馈、自催化等非线性作用的较为复杂的系统。

以上几种区分远不是物质系统的全部分类,每一个涉及系统概念的学科都可能提出适应于该学科特点的系统分类法,如从人的认识程度看,物质系统分为白系统、灰系统与黑系统;从人对物质过程的影响看,物质系统又可分为天然系统、人工系统及天然—人工复合系统。这些划分也是有必要的,但以物质系统自身性质为依据的划分往往具有更根本的意义,因为物质系统的许多属性的描述都是与这些分类相关的。

二、物质系统的整体性

现代科学研究成就表明,一切事物,除某些最基本的粒子外,都是由一定的部分组成的。因此自然界中绝大部分东西,都以物质系统的形式出现。物质系统与其他系统一样,是由若干要素组成的综合整体,这个整体具有各个单独要素所不具有的质,这便是系统的整体性。系统因其整体性而表现它的本质,而要了解物质系统的整体性,就必须了解要素与系统的联系与差别。

首先,要素是相对于一定的物质系统而言的。要素本身可能就是一个物质系统,但当它参与构成更大的系统时,便成了大系统的一个子系统,这种子系统从大系统的层次看,便是要素。例如,一个生物学意义上的人这一系统由消化、呼吸、循环、排泄、骨骼、生殖、神经等要素组成,而这些要素本身也是系统,其中消化系统便是由口腔、食道、胃、肝、肠等器官构成的。所以系统与要素的划分必定

^① 关于昂萨格倒易关系,可参阅有关“耗散结构论”的书籍。

是就某个层次而言的。

其次,系统由要素构成,然而并非所有的东西堆积在一起都可以构成系统。部分的组合能否称之为系统,要看在整体中是否可以找到部分中所不具有的性质——这种新的性质又取决于部分之间的“特定关系”。如果不存在特定的相互制约关系,整体便不能成为系统。堆积在一起的某些东西之间也是有关系的,它们之间肯定存在时间关系、空间关系、数量关系,但这些关系如不是特定相互制约关系,这些东西便不构成一个系统。如一堆石头作为一个整体,是由许多石块构成的,然而由于石块之间只需任意堆积所造成的任何一种空间关系,便可形成石堆,一个石块与其他石块之间没有特定的相互制约关系。石堆所具有的体积、数目、质量等性质,每一个石块也有,石块之间的叠加并未造成整体具有部分所不具有的性质。概言之,这样一堆石头,不是一个物质系统而只是一堆积物而已。一只时钟则可以称为一个物质系统,因为时钟所有的零部件随意堆积在一起尚不能称为时钟,这些零件需以特定的方式组合在一起,相互制约,才有了钟的整体功能,这种整体功能又是任何一个零部件所不具有的。

可见,物质系统需要的不仅是部分,而且需要部分之间特定关系,这种特定关系,使部分得以成为要素,使得物质系统具有整体性。

物质系统中要素之间的特定关系的本质是什么呢?物质系统区别于其他东西的标志又是什么呢?回答这些问题,需要我们了解整体与部分的关系类型。

三、物质系统中整体与部分的关系

由于物质系统不是要素的简单堆积,物质系统中整体与部分的关系,必定有不同于堆积物中整体与部分的关系之处。

整体与部分的关系,可分为加和性关系与非加和性关系两种。

所谓加和性关系,是指各个部分可以用简单相加的办法逐渐建立整体的特性;换言之,整体的特征能够分解为各个要素的特征之和,即我们通常所说的“ $1+1=2$ ”。如作为一个整体的微观物质系统的电荷数,是其各个部分电荷数相加之和;一个宏观机械系统的总机械能,是它各个部分动能、势能的总和;一堆石头的总质量是每块石头的质量之和,这些均是加和性关系的体现。然而仅有加和性关系,整体的一切均可表述为部分之和,新质便无从出现,整体也就不能称为系统。物质系统中必须包含非加和性关系。

所谓非加和性关系,是指整体的特征是独立的部分所不具有的,部分也无法以简单相加的方法建立整体的特征,我们通常称这种关系为“ $1+1>2$ ”。正常人的每一只眼睛都有一定的视觉感知能力,但两只眼睛的综合视觉能力却不是两眼视力简单相加的结果。如人分辨事物远近的功能便不是每只眼睛可以单独完成的,两眼的综合分辨率也不是两只眼单独分辨率之和。再如一个由大量气体分子构成的热力学系统,具有温度、压强等特征,但构成系统的部分(即分子)却既没有温度,也没有压强。化合物水由氢、氧两种元素构成,但水的化学性质却与游离的氢、氧都不同,常温下水是液体,而不是气体;且水既不具有氢的可燃性,也不具有氧的助燃性。以上这些例证都是非加和性的体现,它们都表明,当整体与部分之间存在非加和性关系时,整体就有了新的属性,甚至导致各个部分原有的属性消失。

非加和性关系是由各个部分之间的相干性造成的。相干性是一种耦合的性质,它指各个部分之间彼此存在约束、选择、协同。如在一个原子中,原子核与电子之间的制约使电子受到时空状态、随机性、自由度等方面的约束;由于约束,排除了一部分可能的状态,保留了另一部分可能的状态,这便意味着选择,最终使得核与核外电子协同构成了原子,使原子具有了金属性、非金属性等原子核与核外电子所不具有的新属性。再如激光器件,当工作物质原子出现

粒子数反转时,它们便按一定的模式相互约束,在大量可能的光子辐射方式中选择一种,最终协同发出激光,若每一个工作物质的原子的核外电子从外层轨道向内层轨道的跃迁相互不制约、不选择、不协同,激光器就不可能发出激光(即表现出非加和性)。可见,非加和性来源于各个部分之间的相干性关系。当相干性造成非加和性关系时,整体便有“新质”出现,便成为了物质系统。前文所说的要素之间的特定关系,从本质上说就是部分之间的约束、选择和协同关系,特定关系的标志便是整体与部分之间的非加和性关系,某个整体是否构成系统,也可由非加和性关系来判别。

如果整体由于部分的相干性出现新属性,则整体(已成为系统)在相关的属性上,便表现出非加和性。但相干性不可能改变各个部分原有的所有属性,如 DNA 双螺旋结构中双链之间的协同,不会改变每一个链的质量。因此,当相干性不改变各个部分的某种性质时,系统在这一属性上仍表现为加和性关系。物质系统必定包含非加和性,这也是一切系统的基本特点,仅有加和性的整体,肯定是堆积物。但物质系统中也肯定包含加和性的一面,否则自然界中所有的守恒定律(如质量守恒、能量守恒)便不会成立。非加和性标志着新属性的产生,而加和性则表现出物质系统存在与发展中连续与继承的一面。物质系统仍有非加和性,使我们在研究它们时,仍可以采用分析法,即通过某些量的分解实现部分与整体之间的过渡。

四、物质系统与环境的关系

凡是与物质系统的组成要素发生相互作用而又不属于该系统的事物,均属于系统的环境。在自然界中,由于一切事物之间都存在直接或间接的联系,所以物质系统的要素与外部的一切事物都存在相互作用。广义地看,一个物质系统之外的所有东西均可视为该系统的环境。但如果环境的内涵过于宽泛,就难以发现系统与环

境的具体关系。因此,有必要作出说明:本书所说的环境,是指物质系统的直接环境,即物质系统外部的、与系统内要素发生直接物质、能量、信息相互作用的那些事物。有些学者主张用这样的方法来判别环境:凡是在本层次上看作是某个物质系统环境的東西,在更高一个层次上看就与该物质系统一同成为某个更大物质系统的要素,^①即直接环境可与物质系统共同构成更高一级的物质系统。如果外部的东西不符合上述条件,便不能视之为直接环境。由这个标准,我们可以断定环境具体包括哪些事物,如某个人体器官的环境就是人体其余的器官,不能把地球上乃至宇宙中的一切均视为该器官的环境。

环境对于物质系统是不可缺少的。从系统与环境的关系角度,可将物质系统分为孤立、封闭、开放三类,其中只有孤立系统与外界没有物质、能量、信息相互作用。然而,孤立系统只是对某些实际物质系统性质的理想化描述,它只存在于理论中。绝大部分情况下,物质系统肯定会受到来自环境的影响,这些影响对于系统的意义甚至可能是决定性的。我们可以从下述几个方面理解环境对物质系统的意义:

首先,环境提供了物质系统存在的外部条件,一切物质系统的存在都不同程度地依赖于环境。生命系统便是如此,它的维系需要一定的温度、湿度、营养物质、空气等,一旦生命系统周围缺少这些条件,生命将消亡。例如,在极端缺水、酷热的沙漠中,不但绝大多数植物难以长久生存,甚至细菌也难以存活下去。当然,不同的物质系统对环境的要求是不一样的。同样是在生命难以长期存在的沙漠中,由高分子材料组成的汽车轮胎却可以较稳定地存在,不过一旦环境温度高于 10^4K ,一切分子都将不复存在。总的说来,越是远离平衡的开放系统,对环境的要求也越高(即所要求的环境阈值

^① 张华夏.《物质系统论》,浙江人民出版社,1987:190.

越小),这类物质系统从低序走向高序或维系某个有序状态时,均需不断从环境中输入负熵,这种熵交流便意味着物质系统需要特定的环境。如人只要活着,就需要不断地从环境吸入氧气,向环境中排出二氧化碳等废物,如果大气成分变化过大,即使再强壮的人,也不再可能生存。

其次,物质系统的功能只有在环境中才得以表现。物质系统既然不是孤立的,那么它所实现的功能就必定受到环境的影响。功能实际上是系统内部要素结构与外部环境相互作用的结果,因而系统的功能对环境是有所要求的。一支水银体温表所表现的功能,便是人体与该表相互作用的结果,如果这支体温表不是用于人,而是置于沸水中,它就会失去功能。激光干涉成像装置可以拍摄物体的全息照片,但如环境中振动稍大,全息像便拍摄不成了。可见,物质系统的功能往往会因环境的改变而丢失。另一种常见情形是,同一个物质系统,会在不同的环境中表现出不同的功能。如一个人通常兼有多重角色,必须完成多种任务,这正是因为他(她)生活在多重环境中。

再次,环境对于物质系统还具有调控作用。决定物质系统发展变化的当然首先是其内因,如生命个体的生长、发育及其最终性状,首先取决于其DNA结构;但外因也是不容忽视的,环境中温度、湿度、营养成分对生物性状影响也很大。众所周知,人的后天营养条件会直接影响人的身高、体重等。调控作用使人有可能利用环境的变化,来实现对物质系统的改变。中国宋代学者苏颂就发现,契丹的马匹特别强壮,是因为契丹人养马不是圈养,而是“纵其水草”;宋代的刘蒙也描述了将小花朵的“野菊”种于“园圃肥沃之处”,最终成了大花朵的“甘菊”的过程。环境的调控作用不仅能影响物质系统的发展,还可能选择物质系统本身的发展方向。以生命系统为例,环境中温度、湿度、离子浓度及另外的物理—化学因素可以导致基因的变异,进而导致生物性状变异,这种变异如果更适

应于环境,该生命系统便可以更好地存在下去,否则它将被淘汰。

有人主张,物质系统的功能仅由系统本身的要素结构决定。然而将系统孤立起来,仅着眼于系统内部的人恰恰忘记了,系统是事物联系的主要表现形式,系统方式的优点就在于能深刻指明联系的具体形式,将普遍联系进一步清晰化。如果永远局限于系统的内部分析,那么引进系统概念深入研究自然界的一切努力都不会成功。

第二节 物质系统的层次结构

物质系统可以与其环境中的其他因素共同构成更大的系统,物质系统中的要素通常本身也是子系统。整个自然界就是由大大小小的系统和子系统逐级构成的。因此,物质系统便呈现出显著的层次结构。

一、物质形态的多样性

物质形式是千姿百态、多种多样的,而且还表现为一个发展的过程。即使暂不考虑自然界发展的历史,我们也只能对现实世界物质的种类作挂一漏万的描述。

我们可以把自然界中所有的物质分为非生命与生命两大类。

非生命的物质构成从宇观、宏观到微观的大小不一的物质系统。在宇观领域中,有星云、行星、恒星、星系、星系团、超星系团、总星系等系统,其中仅恒星就又可分为红外星、主序星、脉动星、中子星、白矮星等多种形式。在宏观领域中,非生命物质包括有机物、无机化合物、单质等形式,其中无机化合物就有 100 多万种。而在微观领域中,人们已发现 110 多种元素,400 余种基本粒子,所有的基本粒子按其质量、寿命、自旋及参与的相互作用形式可分为轻子类和重子类,前者包括光子族和轻子族,后者包括介子族和重子族

(见表 1-1)。

表 1-1 基本粒子表

分类	名称	符号	静止质量 (以 MeV 为单位)	自旋 (以 h 为 单位)	电荷(以电子电 荷 e 为单位)
光子	光子	γ	$0 (< 7 \times 10^{-22})$	1	0
轻子	中微子	$\begin{cases} \gamma_e \\ \bar{\gamma}_e \end{cases}$	$0 (< 60\text{eV})$	1/2	0
		$\begin{cases} \gamma_\mu \\ \bar{\gamma}_\mu \end{cases}$	$0 (< 60\text{eV})$	1/2	0
		$\begin{cases} \gamma_\mu \\ \bar{\gamma}_\mu \end{cases}$	$0 (< 0.65)$	1/2	0
		$\begin{cases} \gamma_\mu \\ \bar{\gamma}_\mu \end{cases}$	$0 (< 0.65)$	1/2	0
	电子 正电子	e^-	0.511003	1/2	-1
		e^+	0.511003	1/2	+1
	μ 子	μ^-	105.6595	1/2	-1
		μ^+	105.6595	1/2	+1
介子	π 介子	$\begin{cases} \pi^0 \\ \pi^+ \\ \pi^- \end{cases}$	134.965	0	0
		$\begin{cases} \pi^+ \\ \pi^- \end{cases}$	139.569	0	+1
		$\begin{cases} \pi^- \\ \pi^+ \end{cases}$	139.569	0	-1
	k介子	$\begin{cases} k^+ \\ k^- \end{cases}$	493.71	0	+1
		$\begin{cases} k^- \\ k^+ \end{cases}$	493.71	0	-1
	η 介子	$\begin{cases} k^0 \\ k^0 \end{cases} \begin{cases} k^0 \\ k^0 \end{cases}$	497.7	0	0
		$\begin{cases} k^0 \\ k^0 \end{cases}$	497.7	0	0
		η	548.8	0	0
重子	质子 反质子	p	938.28	1/2	+1
		\bar{p}	938.28	1/2	-1
	中子 反中子	n	938.28	1/2	0
		\bar{n}	939.573	1/2	0
	Δ 超子 反 Δ 超子	Δ	939.573	1/2	0
		$\bar{\Delta}$	1 115.6	1/2	0
	Σ 超子	$\begin{cases} \Sigma^+ \\ \Sigma^0 \\ \Sigma^- \end{cases}$	1 115.6	1/2	+1
		$\begin{cases} \Sigma^+ \\ \Sigma^0 \\ \Sigma^- \end{cases}$	1 189.37	1/2	0
		$\begin{cases} \Sigma^0 \\ \Sigma^- \end{cases}$	1 192.47	1/2	-1
		$\begin{cases} \Sigma^- \\ \Sigma^0 \end{cases}$	1 197.35	1/2	-1
		$\begin{cases} \Sigma^- \\ \Sigma^0 \end{cases}$	1 189.37	1/2	0
	反 Σ 超子	$\begin{cases} \Sigma^- \\ \Sigma^0 \\ \Sigma^+ \end{cases}$	1 189.37	1/2	0
		$\begin{cases} \Sigma^0 \\ \Sigma^+ \end{cases}$	1 192.47	1/2	+1
		$\begin{cases} \Sigma^+ \\ \Sigma^0 \end{cases}$	1 197.35	1/2	0
	Ξ 超子	$\begin{cases} \Xi^0 \\ \Xi^- \end{cases}$	1 314.9	1/2	-1
$\begin{cases} \Xi^0 \\ \Xi^- \end{cases}$		1 321.3	1/2	0	
反 Ξ 超子	$\begin{cases} \Xi^0 \\ \Xi^+ \end{cases}$	1 314.9	1/2	-1	
	$\begin{cases} \Xi^+ \\ \Xi^0 \end{cases}$	1 321.3	1/2	0	
Ω 超子	Ω^-	1 672.2	3/2	+1	
					-1

生命大体上可分为微生物、植物和动物三类形式。生命种类极其众多,已发现的生物约 200 万种,未发现的应大大多于这个数字。各种生命的结构各具特色,生物越是高等,结构也越复杂。如低等植物中的菌藻类植物个体有的是单细胞的,有的是多细胞的,但都未形成根、茎、叶的分化,器官结构也极简单;高等的种子植物,则毫无例外地是多细胞的,有根、茎、叶、花、果等器官,而且其细胞、组织、器官、系统的结构也远比菌藻类植物复杂。原生动物的个体只由一个细胞构成的,而高等哺乳动物则有极其完整的呼吸、消化、排泄、血液循环等系统。各种生命的营养方式也不一样。微生物的细胞构成最简单,营养方式为吸收;植物细胞构成相对复杂,营养方式为光合作用;动物的细胞构成最为复杂,营养方式为摄食。所有的动植物可按门,纲,目,科,属,种进行具体划分。如家犬便属于动物界中的脊索动物门,脊椎动物亚门,哺乳纲,真兽亚纲,食肉目,犬科,犬属,家犬种。苹果则属于植物界的种子植物门。被子植物亚门,双子叶植物纲,原始花被亚纲,蔷薇目,蔷薇科,苹果属,苹果种。

将物质分为生命与非生命,仅仅是多种可能划分方式之一。自然界如同一颗多截面的钻石,因你选取的角度不同,而折射出不同的光芒。我们还可以采取其他划分方式描述自然界物质种类,例如我们可以按物质的状况将其划分为固态、液态、气态、等离子态、超密态、真空场、反物质态等。固态、液态物质内部聚集力较强,有确定的体积,统称为凝聚态。气态则没有一定的体积,分子之间相互排斥,又称非凝聚态。气态物质温度如达到数千度,原子的外围电子就会游离出来,原先的中性原子就电离成为正离子和电子,这便是等离子态。超密态指原子在超高压时,分子之间、原子之间、原子核和电子之间的间隙完全消失,即发生所谓“坍塌”的物质状态,这类状态的物质密度十分惊人,如中子星密度可达地表水密度的 $10^{14} \sim 10^{15}$ 倍。真空场指没有实物粒子存在、能量处于最低的基态

量子场。反物质状态则是由反粒子(如反质子、反中子)构成的物质状态,关于这一物质状态的具体情形,尚有待当代科学的进一步探索。

仅以上若干对物质的分类方式,已使我们觉得眼花缭乱了。但这个世界正如古罗马哲学家卢克莱修断言的那样,具有“井井有条的自然本相”。在我们看来,由众多物种构成的自然界之所以井井有条,不仅是因为各种事物本质上是统一的(如它们均有基本粒子构成上的统一性),而且还因为自然界物质系统的层次性,即物质世界明显地呈现出层次结构。层次结构指的是,要素经相干性关系构成物质系统,而物质系统之间又通过新的相干性关系构成更大物质系统的逐级构成的结构。无论是在生命、非生命领域,物质总是呈现出层次结构。

二、非生命系统的层次结构

非生命领域的物质,是按一定的尺度、质量、能级、运动规律形成不同层次的系统的。正如恩格斯指出的那样:“关于物质构造,不论采取什么观点,下面这一点是非常肯定的:物质是按质量的相对大小分成一系列较大的、容易分清的组……可见的恒星系、太阳系,地球上的物体、分子和原子,最后是以太粒子,都各自形成这样的一组。”^①这种一系列的“组”便体现出了层次性。宏观系统的层次性通常比较清晰、常见,而微观系统与宇观系统的层次性则有必要详细描述。

微观系统通常指空间尺度小于 10^{-8} 米的物质,包括分子、原子、原子核、基本粒子以及与它们相关的场等物质系统。分子是微观系统中的最大层次,它是物质形态中能保持其化学同一性不变条件下分割的极限。分子的大小和质量大体在 $10^{-10} \sim 10^{-8}$ 米和

^① 恩格斯.《自然辩证法》,人民出版社,1971:248.

$10^{-25} \sim 10^{-18}$ 千克之间。相对于我们日常所见的宏观物体而言,分子小得“正如数学上的微分和它的变数一样”。^①分子是由各种元素的原子构成的,原子本身的性质及其空间排列方式决定了分子的性质。原子尺度在 $10^{-10} \sim 10^{-9}$ 米之间、质量在 $10^{-26} \sim 10^{-24}$ 千克之间。在质量和尺度方面,原子与分子的差别不像分子相对宏观物体的差别那么大,但是原子与分子在性质、构成方面有很大差异,因此应把它们视为物质结构上的两个不同层次。原子由原子核和电子构成。原子核大小仅占原子大小的十万分之一到万分之一,质量却占 99.9% 以上,电子与原子核之间的电磁相互作用使两者共同构成了原子。作为原子核心部分的原子核,是由质子和中子(统称“核子”)组成的紧密合体。核子与原子核的质量、尺度差别也不大,但依旧是属于两个层次的。核内部的质子与中子之间、中子与中子之间、质子与质子之间以强相互作用方式联结成一个整体,强相互作用是由核子之间交换 π 介子产生的。

中子、质子、电子以及后来陆续发现的几百种基本粒子是微观系统中的基本层次。大部分基本粒子是不稳定的共振态粒子,而且各种基本粒子的其他属性也相差很大,因此基本粒子不完全是同一层次上的东西。现在看来,参与强相互作用的粒子(如质子、中子)有一定的大小和内部结构,强子被认为由三个夸克组成,而介子由两个夸克组成,夸克之间则通过胶子结合在一起。

宇观系统通常指尺度大于地球尺度的物质系统。宇观系统有总星系、星系、恒星(星云)等层次。总星系就是“我们目前所观测到的宇宙”,尺度约 150~200 亿光年。总星系由大约 10^{11} 个星系组成,总质量约为 2×10^{52} 千克,其中每一个星系都是由大量恒星和星际弥漫物质构成的恒星系统,星系的平均质量大约相当于太阳质量的 10^{11} 倍。浩渺的银河系,只不过是一个由 1 000 亿颗恒星构

^① 恩格斯.《自然辩证法》,人民出版社,1971:246.

成的普通星系,它的形状如同一个大铁饼,中心厚度 1.2 万光年,直径 10 万光年;银河系中心是一个高密度的核,叫银心,太阳处于银心到银河系边缘三分之二的地方。总星系与星系之间还可以存在一些中间层次:一群恒星如分布得比较集中,便形成了星系团,若干个星系团还可以构成超星系团,银河系便与其他约 20 个星系构成了一个星系团。据估计,宇宙中有一半以上的星系是参与构成星系团的。可见,星系团与超星系团可以是星系与总星系的中间层次。

对于我们人类最重要的恒星是太阳,它的质量为 1.929×10^{30} 千克,体积为 1.412×10^{27} 立方米,表面温度约 6000°C ,太阳与地球等九大行星、数千颗小行星、难以计数的彗星、流星等共同构成了太阳系系统。从太阳系结构我们可推断,其他的恒星也是有更细致结构的。

很难说总星系是否就是宇观系统的上限层次,但它是现代天文学、天体物理学所能发现和解释的最高层次。

三、生命系统的层次结构

生命是自然界演化的一个奇迹。尽管它的分布远不像非生命物质系统那样广泛,从物质组成上看,它甚至与非生命系统的组分重合;但由于生命系统结构、功能的特殊性,它仍可被视为一类有别于非生命系统的独特系统。

生命中最基础的结构是蛋白质、核酸等大分子。核酸是决定生命遗传特征的物质基础,蛋白质是生命活动得以实现的物质基础。构成核酸与蛋白质的核苷酸、氨基酸属于有机小分子,如一分子脱氧核苷酸是一分子磷酸、一分子脱氧核糖、一分子含氮碱基构成的,这些小分子物质可被视为非生命领域的东西。

蛋白质、核酸、脂类等大分子可组成细胞,进而形成组织、器官、系统、个体等生命层次。作为万物之灵的人类个体,就是按上述

层次构成的。当然,由于生物物种的不同,生命系统中的层次结构情况十分复杂。有的低等生物的个体是由单细胞组成的,这类生物的层次就比较简单;相形之下,人的层次要复杂得多,而且构成人体细胞的结构也更完备。

众多的生命个体聚集在一起便构成了种群,种群是生物物种生存、繁衍的基本单位。生活在某个区域内的不同生物种群便构成了生物群落。生物群落当中各个种群之间有相互制约、相互影响的关系,其中任一种群的变化,都会导致其他种群的变化。生物群落与其生存区域内的非生命环境共同构成了生态系统,生态系统内存在物质、能量的转化与循环。阳光、大气、土壤等构成的非生命环境,为植物的生长提供了可能。植物则将太阳能及非生命物质转化成了植物生命系统内部的物质和能量;动物靠直接或间接消费植物来维持生存;微生物则承担着分解动植物尸体,使之回到非生命环境的重任。一个生态系统是非生命环境、植物、动物、微生物的统一,它是生命系统的最高层次,当然这一最高层次已有一部分与非生命系统重合了。

第三节 层次结构中的一般规律

物质系统的层次结构是物质世界的普遍图像,简要描述各级层次固然必要,揭示层次结构中存在的—般规律更是自然观研究中不容回避的任务。令人欣慰的是,中外科学家、哲学家在对层次结构的研究中,已发现了一些得到公认的东西。

一、层次与复杂性

美国系统科学家 E. 拉兹洛将物质系统的层次结构描述为“箱

子里面有箱子”的中国套箱式等级结构^①。在层次结构中,较低层次自然系统参与构成较高层次的自然系统,这便是逐级构成的等级结构;其中参与构成新系统的物质系统可称为下层系统,而被构成的新系统可称为上层系统。

通常人们认为上层系统总比下层系统的结构要复杂一些,如若干个原子可以构成简单的分子,而简单的分子可以形成相对复杂的聚合物等等。然而事实是,“上层系统并不一定比它的下层系统更复杂”^②。例如,一个二氧化碳气体分子的结构要比碳原子和氧原子的结构简单得多。 CO_2 分子结构可以像大型建筑上的桁架一样用模型表示出来,原子之间的作用方式是化学共价键。而碳、氧原子内部结构和核与电子的相互作用方式表达起来要难得多。蚂蚁社会的结构尽管十分精致,但也要比一个蚂蚁个体的结构简单得多。

为什么层次的上升不意味着物质系统复杂性的递增呢?前文提到过,下层系统作为子系统参与构成大系统,需在下层系统之间形成一种相干性关系,这样才有新质产生,也才意味着不同层次的物质系统有本质差异。实际上,相干性关系与被构成系统的结构是完全相关的。如果随着层次的上升,这种相干关系并不同步变得更复杂,那么被构成系统的结构也不会比参与构成的子系统结构更复杂。大多数情况下,相干关系所造成的上层系统往往在结构上要比下层系统内部结构简单一些。原因是较简单的上层系统结构及相干关系,可以较多地忽略下层系统的某些特征,使上层系统与下层系统之间较易协调,“组织层次更高而不那么复杂的系统就可以有效地控制较低层次上更复杂的系统。”^②因此,复杂性随层次上升而下降,是实现等级之间控制所必需的。试想,如果一个国家的

① 拉兹洛.《进化—广义综合理论》,社会科学文献出版社,1988:34.

② 拉兹洛.《进化—广义综合理论》,社会科学文献出版社,1988:34.

法律条文复杂到对个人的心率、呼吸次数都要作硬性规定的地步，又有那个公民愿意且能够遵守呢！

这里需要作一点补充说明，我们断言上层系统结构相对于下层系统可以更简单，有一个前提是我们已将下层系统视为一个要素，对于一定的系统而言，要素的属性是给定的，而要素本身的结构可以暂时忽略。如果考虑下层系统的详细结构，那么毫无疑问，上层系统的“总结构”会比下层系统、下下层系统都更复杂。蚂蚁社会的结构比蚂蚁个体的生理结构简单，然而考虑到蚂蚁本身的结构，甚至进而考虑到蚂蚁身体内细胞、分子、原子、基本粒子的结构，蚂蚁社会的“总结构”便不知比蚂蚁个体的生理结构复杂多少倍了。

如果对一切物质系统作科学考察时，都要考虑其“总结构”，那么科学研究几乎不可能。实际上，科学家研究某个物质系统时，总是将相对下层系统视为要素，只将上层系统本身的结构与功能视为研究的切入点。当然，物质系统的多层结构，也使科学家在研究同一问题时，可以从多个层次进行分析与综合。如当代学者在对爱滋病进行研究时，有人从个体层次入手，研究哪些人易感染；有人从细胞和亚细胞水平入手，研究发病的具体机制和治疗手段；有人则从社会角度入手，研究爱滋病泛滥的社会起因和社会后果等。横看成岭侧成峰，这种多层次、多学科对同一问题既独立又综合的研究方式正是现代科学的一个显著特征。

二、层次与结合度

在自然界物质系统的层次结构中所有系统均服从“层次越高，结合度便越弱”的结合度递减规律。所谓结合度是指物质系统内部要素之间结合的牢固程度，通常可以用要素间的结合力（如万有引力）或使该物质系统解体所需的能量级（结合能）来衡量，但这些衡量标准无法标度社会系统、生态系统等高层次系统的结合度。

在对物质结构的探索中,人们发现破坏原子所需的能量及为兆电子伏特,只能算是“低能”。而现代加速器、对撞机所提供的能量是以吉电子伏特计的,如 1988 年建成的北京正负电子对撞机(BEPC)能量为 5.6 吉电子伏特,只有这么高的能量,才能“打开”基本粒子,探知其内部结构。从结合力角度看,将目前所知“最基本”的夸克结合成强子的力为最大;将中子与质子结合成原子核的核交换力尽管也十分惊人,但无法与夸克之间的结合力相比;而将核外电子与原子核结合在一起的电磁力又比核交换力弱整个一个量级;不过,电磁力比将原子结合成分子的共价键、离子键作用力还是要强得多。这种结合度的递减趋势,我们甚至在日常生活中也能感受到,如高等生物对高温的耐受力就远远低于病毒。

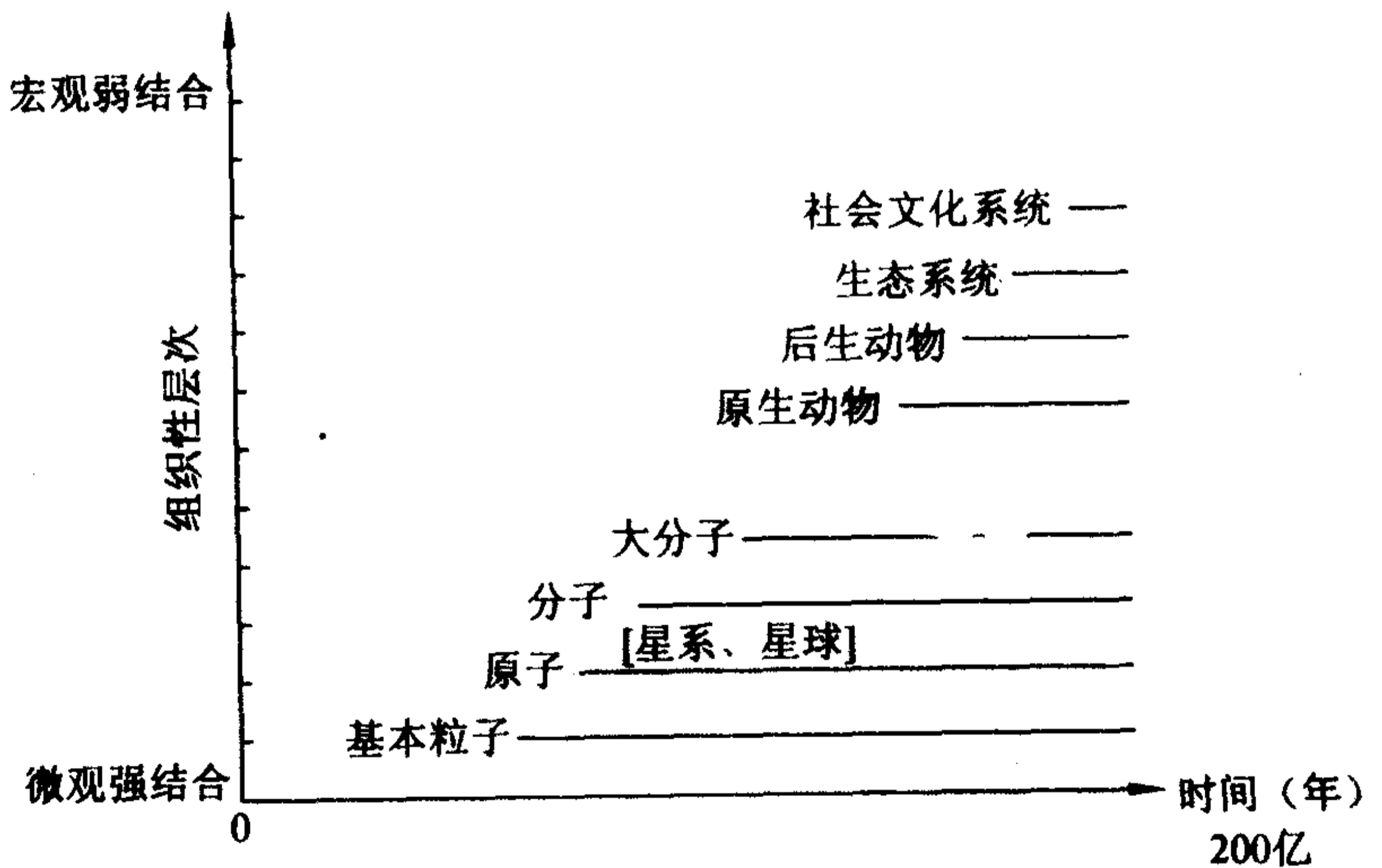


图 1-1 结合度递减趋势图

拉兹洛指出:结合度的递减,使我们发现层次结构是一个绝妙的连续统一体。(见图 1-1)“当我们从初级组织层次的微观系统走向较高层次的宏观系统,我们就是从被强有力地、牢固地结合在一

起的系统走向具有较微弱和较灵活的结合能量的系统。具有强大结合力的相对小一些的单位就好像是在构造较高组织层次上的、较大的并且结合较弱的系统时所用的建筑板块一样。所构成的这些系统又依次成为体积更大、组织层次更高、结合得更松的单位的建筑板块。”^①拉兹洛的比喻使我们易于理解，结合度随层次的上升而递减，其实是件自然而然的事。人们在建大楼时，必须使用钢筋水泥构件，如果你企图用土坯堆成大楼，其结果只能是倒塌。如果上层系统的结合度不是弱于而是强于下层系统的结合度，下层系统就会被上层系统的结合力破坏，“皮之不存，毛将焉附”，上层系统本身也会因下层系统被破坏而崩溃。现代天体物理学已揭示了这种上层系统“压垮”下层系统的情形是存在的。在恒星一生的晚年，构成恒星的原子的核外电子可能被“压进”核中，形成致密物质，这时原子核、核外电子均已不复存在，原子本身当然也不会存在了。

正因为存在结合度的递减趋势，高层系统的形成与瓦解通常不会影响低层系统的稳定存在，这使我们可以人工构造物质系统时，不必一切都用原子和基本粒子拼凑，而可以从较接近的低层系统做起。例如，进行基因重组研究时，就不必从小分子有机物开始彻底地基因重新构造，只需对现成的基因进行局部的“切割”和“焊接”就行了。结合度的递减也告诉我们，研究某个物质系统时，将其下层系统的内部结构黑箱化是完全可行的，因为在我们所研究的系统中，要素是稳定的，通常不会因为对上层系统的操作而改变下层系统。

三、上层系统与下层系统的相互作用

上层系统与下层系统之间以双向因果链的方式相互作用。下

^① 拉兹洛，《进化—广义综合理论》，社会科学文献出版社，1988：32。

层就是上层系统的结构基础,而上层系统则是下层系统的环境。下层系统作为原因在高层系统中引起一定的结果,这是上向因果链;而上层系统作为原因在下层系统中引起一定的结果,便是下向因果链。

在我们探索科学规律时,必须揭示出上向因果链内容,才能发现上层系统的本质。例如,我们要揭示生命的本质,就必须了解从蛋白质、核酸直到细胞、组织、器官、系统乃至生命个体的上向因果作用;再如,历史上科学家为了解释化合、分解等化学现象,不得不杜撰出“亲和力”,而当人们揭示了原子的核外电子结构时,化学键及化合、分解的本质才得到了合理的解释。下向因果链的作用也是不容忽视的。世界上所有的东西在元素和基本粒子层次上都是统一的,然而物质世界的内容又是那么丰富,这正是因为下向因果链可以使同样的下层系统表现出不同的特征。如同样是氢原子,它可能构成弥漫在星际的星云尘埃,也可能参与构成地球上的生命。显然,这种不同正是由于下向因果链所造成的,即上层系统作为原因限制了下层系统的运动,使下层系统在服从自身所处的那个层次的规律的同时,也受到了上层系统的控制。恩格斯曾非常清楚地列举过关于有机系统和生命系统的事例,正好可以说明双向因果链的作用,“相反地,对有机世界的一切化学研究,归根结底都回到一个物体上来……它就是蛋白质。”“当化学产生了蛋白质的时候,化学过程就像上述的机械过程一样,要超出它本身的范围。就是说:它要进入一个内容更丰富的领域,即有机生命的领域,生理学当然具有生命的物体的物理学,特别是它的化学,但同时它又不再专门是化学,因为一方面它的活动范围被限制了,另一方面它在这里又升到了更高的阶段。”^①(重点号为引者加)

认识这种层次结构中双向因果链的存在既有自然观上的意

^① 恩格斯.《自然辩证法》,人民出版社,1971:226.

义,也有方法论上的意义,因为双向因果链实际上揭示了相邻两个层次系统的规律性的关系(如图 1-2)。

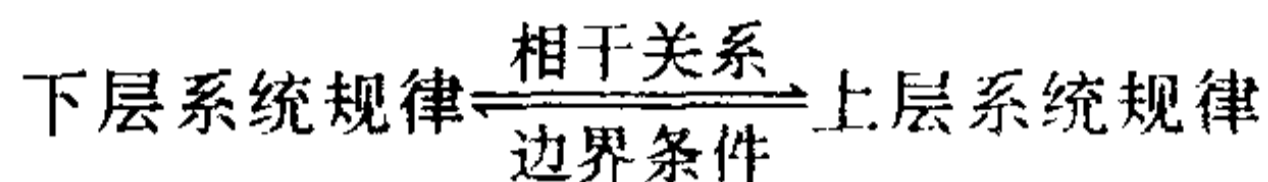


图 1-2 上、下层系统规律的关系

“ \rightarrow ”指上向因果链 “ \leftarrow ”指下向因果链

上向因果链的存在清楚地告诉我们:上层系统的规律虽然受到下层系统的影响,但却不能简单地归结为下层系统的规律。因为,上层系统的规律虽以下层系统规律为基础,但上层系统却是由下层系统经相干性关系构成的,相干性关系实质上并不包含在下层系统之中,而是存在于下层系统之间,故而不能必然地从下层系统规律导出上层系统规律。历史上曾流行过一种还原主义倾向,如近代数学家拉普拉斯就主张将一切运动都归结为质点的运动,他认为如果知道某一时刻自然界的一切力量、一切组成部分的相互关系,那么就可以用力学公式概括所有物体的运动,可以对未来如同对过去一样了如指掌。法国百科全书派代表人物伏尔泰也认为:“如果全部自然界,一切行星都要服从永恒的定律,而有一个小动物,五尺来高,却可以不把这些定律放在眼中,完全任性地为所欲为,那就太奇怪了。”^①显然,拉普拉斯和伏尔泰只承认基础层次(即质点层次或原子层次)的规律,而其他层次东西的运动、变化规律均可归结为基本层次的规律,这是典型的“还原”。恩格斯针对还原主义倾向提出了他的质疑:“终于有一天我们可以用实验的方法把思维‘归结’为脑子中的分子和化学运动,但是难道这样一来就把思维的本质包括无遗了吗?”^②如果找不到上层系统内部的相干关系,而仅仅去寻找最基本层次的规律,以此取代一切,是完全行

^① 转引自 W·C·丹皮尔.《科学史》,商务印书馆,1995:280.

^② 恩格斯.《自然辩证法》,人民出版社,1971:234.

不通的。当然，另一方面还应看到，上层系统的规律并非无源之水，而是以下层系统的规律为载体的，有时上、下层系统会表现出奇特的相似性。例如“熵”、“序”等概念原先只适用于普通的热力学系统，当代科学家则将这些概念成功应用于生命、信息等领域，但这不能与历史上的还原主义相提并论。

上层系统实际上为下层系统限定了一个边界条件，这就是下向因果链的成因。下向因果链的存在不会改变下层系统所服从的规律。如对于一个理想气体系统而言，它实际上对每一个气体分子的活动范围作出了限定，而单个的气体分子仍然服从质点力学的规律。下向因果链可以使下层系统拥有它单独存在或处于其他上层系统中时所不具备的特点。一个无生命物体中，物质温度可趋于绝对零度，而人体中物质温度总是在正常体温附近。这启示我们，对于一个具体系统，除了考虑其下层系统的规律和相干性关系外，还需要考虑其上层系统的限定。例如，某些实验室中制成的东西要用于大规模的生产，就不得不考虑工厂技术条件、经济需求、公众心理等上层系统中的限定因素了。

第四节 物质系统的若干哲学问题

当代自然科学发展速度之快、涉及领域之广、研究之深均是前所未有的，然而在科学发展的前沿，总会产生这样或那样的问题，这些问题必须以辩证方法去思考。这些问题的思索对科学探索往往起一种前导作用，当然有关问题的结论只是揭示了物质的某种可能性，这就决定了我们的结论必须是开放的而不是封闭的，我们的探索必须是持续的而不是一劳永逸的。

一、物质与时空

时间与空间是什么？这个问题今天尚未有一个最终的答案。在

通常意义上,时间反映了物质运动的持续性、顺序和阶段性,空间则反映了事物的广延性。经典力学的集大成者牛顿将时空看作与物质无关的东西:“绝对的、真正的和数学上的时间自身在流逝着,而且由于其本性而均匀地,与任何其他外界事物无关地流逝着”,“绝对的空间,就其本性而言,是与外界任何事物无关而永远是相同而不动的。”^①后来许多学者都继承了牛顿的观点,他们将时空看作事物存在的一种场所,即使物质不存在了,这个场所依旧可以存在;因而有物质必定有时空,有时空却未必有物质。近代先验哲学家康德则认为空间、时间均是感性直观形式,是表象中的主观要素。康德的论断否定了时空的客观性,尽管在对事物的认识中,时空概念的确是不可或缺的主观形式,但这并不能说明时空本身是先天的,只能说明时空与物质不可分离。

关于时空与物质的关系,古希腊哲学家亚里士多德曾论述道:“没有和物质分离的虚空”,“如果有虚空,就不可能有任何运动”。^②他还认为“时间既不是运动,也不能脱离运动”。^③恩格斯在19世纪科学成就的基础上总结道:“一切存在的基本形式是时间和空间”,^④“物质的这两种形式离开了物质,当然都是无,都是只在我们头脑中存在的空洞观念、抽象。”^⑤这些论述今天已被许多科学新发现所充实。

1905年,爱因斯坦提出了狭义相对论,初步揭示了物质与时空关联的具体形式。狭义相对论证明:一个物体的尺度大小及某两个事件之间的时间间隔大小均是参照系的选择有关的。根据洛伦兹变换,我们可以推知在如图1-3的两个惯性参照系中,如果一

① 引自塞耶编.《牛顿自然哲学著作选》,上海人民出版社,1974:19~20.

② 亚里士多德.《物理学》,商务印书馆,1982:113~118.

③ 亚里士多德.《物理学》,商务印书馆,1982:113~118.

④ 《马克思恩格斯选集》第3卷,第91页.

⑤ 恩格斯.《自然辩证法》,人民出版社,1971:213.

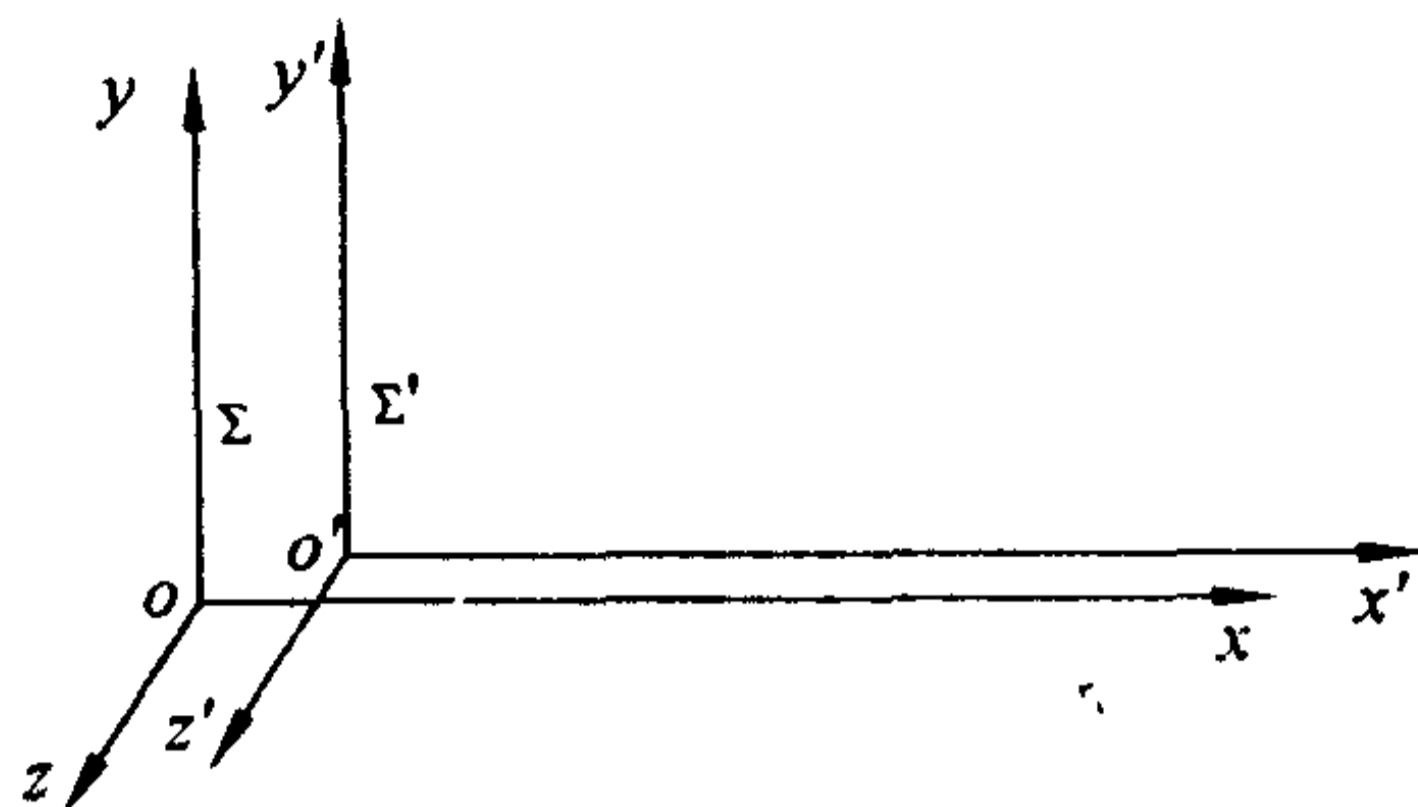


图 1-3 图中两个参照系 Σ 、 Σ' ，后者相对于前者的速度为 v 。

根尺子相对于 Σ' 参照系静止，其静止长度 l_0 ，而在相对于 Σ 参照

系静止的观察者所进行的同时测量中，测得的长度 $l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$ ；显然 l 小于 l_0 ，这便是尺缩效应。同样， Σ' 系中静止的一只原本走时很准的钟，在相对于 Σ 系静止的观测者看来，会发现钟走得比它静止时慢了，这便是钟慢效应。甚至在一个参照系中先后发生的两件事，在为一个参照系中的观测者看来，先后顺序可能颠倒过来。可见，时间间隔、空间间隔均是相对于一定的参照系和观测者而言的，因而是与运动相关的（运动与物质显然不能分开），时空与物质之间以确切的方式联系着；离开了物质与运动我们根本无法对时空进行讨论，爱因斯坦在广义相对论中进一步指出：时间和空间的几何结构从根本上看是由物质分布决定的；引力场相当于时空的弯曲。物质分布较密的地方，时空就产生较大曲率；反之，时空曲率就较小。“物体的几何性状和时钟的运行都是同引力场有关的，而引力场本身又是物质所产生的。”^①根据广义相对论原理，爱因斯坦预言，在引力场中时间将延长、空间将弯曲，静止质量为零的光子也会受到引力场的影响而不再直线行进，因为光子所通过的空间本身已经弯曲了。这些预言不久就被科学事实印证了。

当代科学理论也从其他角度证明，时空与物质不能彼此分开。

① 《爱因斯坦文集》第一卷，商务印书馆，1977：112。

如天体物理学等学科表明,时间和空间在宇宙大爆炸发生前根本不存在,只是大爆炸发生后经时空量子化过程而形成。量子化的时空具有特征长度 $l_p \sim 10^{-33}$ 厘米, $t_p \sim 10^{-44}$ 秒,小于这些长度,时空便没有意义,因而时空具有与物质类似的量子特征。并且真正的没有物质的真空是不存在的,真空只是基态量子场,它也可以发生涨落、极化、相变等过程,甚至可能从中产生实物粒子。

可以肯定,离开物质的时空与离开时空的物质一样是不可思议的。没有物质的空间,只能是纯数学意义上的空间,它在真实的世界中是不存在的。

二、宇宙的有限与无限

人类对宇宙的认识自古以来就有有限论和无限论之争。近代以来,经布鲁诺与牛顿等人的努力,宇宙无限论渐渐地占据了主导地位。尤其是牛顿力学体系,能成功地解释当时所知的所有天文现象,而牛顿理论所采取的空间模式,正是欧几里德的平直无限的空间。牛顿认为,宇宙是一个由无穷多的星球均匀地分布在无限的绝对空间当中的体系,星球由于万有引力而在各自的轨道上进行机械运动。康德在他早期的天文学研究中,虽然将宇宙的状况看作一个历史性过程,但他所描述的宇宙仍就是“恶的无限”,即“重重世界、层层星系”的重复。

宇宙无限论在经典科学时代,的确是有充分理由的,这种宇观使我们得以回避宇宙的边缘、起始、终结等难题,然而宇宙无限论并非无懈可击。1823年,德国天文学家奥尔勃斯对均匀而无限的宇宙模型提出了有力的质疑:如果,星球是无限多且均匀分布,那么全部天空看上去就永远光辉夺目,人在任何时刻、任何方向上都可以看到无限亮的天空。但实际上,地球非但未因表面照度无限大而化为灰烬,而且还有明显的昼夜之分,这与理论预言是完全矛盾的,这便是著名的“光度佯谬”。1894年,另一位德国天文学家西利

格尔又指出,当宇宙中存在无限多恒星时,宇宙中任一点(包括地表)必定有无限大的引力势,这便是“引力佯谬”。为了消除上述两个佯谬,人们做过许多努力。1908年,瑞典科学家沙利叶在前人思想的基础上提出:假定宇宙中的系统是球形的,那么宇宙的层次越高,物质密度便越小,两个佯谬就越可以消除了。但是如果宇宙高层次密度趋于零,而宇宙是无限的,必定导致宇宙物质密度为零的结论,这显然是不可能的。

1917年,爱因斯坦走出了关键的一步。他根据广义相对论原理修正了欧氏几何学与牛顿力学关于空间平直无限的概念,认为宇宙是一个弯曲的封闭体(三维超球面),体积有限但没有边界;宇宙中的每个天体虽然在局部区域中运动,实际上整个宇宙都是静态的和稳定的。爱因斯坦的静态宇宙模型是有限的模型,所以有关无限论的佯谬都被克服了。该模型又是一个弯曲、封闭模型,所以它在强调宇宙有限性的同时,却不存在平直空间体积有限时必定有边界的难题。1929年,美国天文学家哈勃,根据天文观测结果指出:河外星系普遍存在红移现象,而且红移量与星系距我们的尺度成正比。按照多普勒效应,哈勃的发现意味着河外星系在远离我们而去,距离我们越远的星系,其“退行”速度也越大,宇宙在膨胀着。现代天文观测资料进一步表明,所有已发现的河外星系、射电源、类星体的谱线都存在红移现象,因此宇宙的确是膨胀的。哈勃等人的发现虽然否定了宇宙总体上呈现静态的看法,但却证明了爱因斯坦空间模型的合理性。因为如果采用欧氏空间模式,天体的普遍退行只能意味着地球是宇宙的中心。为了解释宇宙的起源及膨胀现象,比利时的勒梅特和美国的伽莫夫相继提出了大爆炸模型,认为宇宙是由“原始原子”或“原始火球”爆炸而来的。这一理论经发展后与许多科学事实吻合较好,因而被认为是关于宇宙起源的“标准模型”。由大爆炸模型可知,宇宙时间上有起源,而空间尺度也是有限的。

如果大爆炸理论是正确的,那么,毫无疑问它是对传统宇宙无限论的一个打击。我们是否应彻底放弃宇宙无限论呢?应该指出:自然观念的确会受到相关科学理论的挑战,这种挑战常常会自然观有关内容的彻底转换,但不一定意味着某个观念的终结。究其原因在于,自然观相对具体科学理论而言,更具有普遍性和猜测性,所以是相对独立的。现代宇宙学指出:宇宙是有限的,物质和时空均是有限的;然而我们却注意到,宇宙无限观念却仍然存在着,且有其意义。

当代宇宙论是一个假说林立的学科领域,除了所谓的大爆炸“标准模型”外,还有许多其他模型。大爆炸模型虽然受到较多的科学事实的支持,但也存在若干疑问。一般认为,“标准模型”仍是一个假说。退一步说,即使大爆炸模型已是公认的独一无二的宇宙起源理论,它也不一定等同于“自然本相”,正如彭加勒所说的那样,一切理论都是广义的假说。具体的科学结论固然是自然观所必须考虑的,但以尚不成熟的假说上升为哲学结论,摒弃宇宙无限性观念,恐怕是武断的;即使是成熟的科学理论,在将它纳入自然观时,也要注意理论的条件性。

人类认识宇宙范围和尺度的历史,也会使我们意识到,不可轻易抛弃宇宙的无限性观念。古代学者们心目中的宇宙,实际上不过是肉眼所能看到的那部分大地和天空而已,哥白尼日心说中所说的宇宙就是太阳系,赫歇尔所说的宇宙是银河系。20世纪30年代以后,尤其是二次大战后,由于大直径望远镜的制造,人们观测到的宇宙尺度渐达50~100亿光年;50年代后由于射电天文学的发展,人类的视野又扩大到150亿光年以上。可见,一个宇宙尺度的极限都只是一个阶段的极限,如果将150~200亿光年的视野作为宇宙的不可突破的最终边界,很可能是给人类认识能力划地为牢。况且,人类视野的不断扩大及目前宇宙仍在膨胀的事实,使人们联想起数学上的无限是对任意大数的“超越”,而宇宙及人对宇宙的

认识能力也正在突破原有的界限,这两者何其相似!如果宇宙的扩大没有最终的边界,而人类对宇宙的认识能力也会进一步扩大,宇宙就存在不断“超越”趋于无限的可能。

我们还应看到,当代宇宙学虽认为宇宙有限,但严格地讲,只是“我们生存的这个宇宙”才是有限的。爱因斯坦等人认为,我们的宇宙的空间在宇观尺度上是一个弯曲的黎曼空间形状,三维弯曲空间与一维时间构成了一个四维连续统,就空间而言,我们的宇宙是封闭的,这个封闭的“超球面”大小肯定有限。而且这个空间外面没有任何东西可以进入,里面则没有任何东西可以逸出。正因为如此,虽然我们的宇宙是有限的,却没有理由断定我们的宇宙之外就什么都没有,也许还有其他宇宙(另一个总星系)存在着,然而我们却无法觉察它。

从宇宙无限论与有限论的冲突中,我们看到,哲学自然观所关注的是宇宙最终可能的样子,而自然科学具体理论所关注的是我们目前所观测到的所有天体现象及其理论解释,两者之间有冲突并不奇怪。在具体的关于宇宙的科学研究中,科学家们只能根据理论推论与观测事实说话,故而理所当然地认为宇宙是有限的。而在对宇宙的自然观思索中,只要还存在除有限论之外的其他可能,就不能放弃无限论;相反,我们还要尽力为无限论辩护。否则,自然观就失去了全面性和对具体理论的批判性,失去了在科学发展中的超前预见功能。总之,自然观如果苟同具体的科学结论,就没有严肃的批判功能;自然观如果不顾具体的科学结论,就只是思维游戏,对人类知识的进步不但无用,反而有害。

三、物质的可分与不可分

关于宇宙无限性的讨论涉及了层次结构的上限,而物质可分性讨论的则是层次结构的下限。物质的可分,指的是事物内部仍存在差异性,即整体仍可分辨或分解为若干部分;如果内部没有差异

性,便无法识别其内部结构,更谈不上分解它,它也就不可分。关于物质的可分性问题的争论已持续了四千余年。古代中国名辩家学者公孙龙认为:“一尺之棰,日取其半,万世不竭”,而墨家则认为,物质的分割会有“非半”的时候,分割到最后便得到不可再分的“端”。近代科学诞生之后,类似的分歧依然存在。17世纪,法国的笛卡儿认为:“宇宙之中,并不能有天然不可分的原子或物质部分存在。因为我们不论假设这些部分如何之小,它们既然有一定的广袤,我们就永远能在思想中把任何一部分分为两个或较多的更小部分,并可因此承认它的可分割性。”^①而同时代的化学家玻义耳则指出:“我说的元素的意思和那些讲得最明白的化学家说他们的要素(Principles)的意思相同,是指某种原始的、简单的、一点没有掺杂的物体。元素不能用任何物体构造,也不能彼此构造”^②(重点号为引者加),显然,玻义耳认为物质可分是有一个极限的。

在近代科学发展的过程中,人们认识到原子是物质结构的基本单位,大多数19世纪的科学家认为原子是物质可分的下限,往下不可再分。值得一提的是门捷列夫在研究原子的属性随原子量增加而呈周期性的变化时,就曾设想,原子可能是复合的,所谓不可分,只是指通常的化学力量不可将原子分开。他的预言后来果真被证实了,1897年电子被发现,1919年质子被发现,1932年中子被发现……迄今人们已陆续发现了几百种粒子,原子的确不是层次结构的下限,它是可分的。正如恩格斯所指出的那样:“从前被描成可分性极限的原子,现在只不过是一种关系”^③“原子绝不能看作简单的东西或已知最小的实物粒子。”^④

原子被“打开”后,人们便关注着,所有的基本粒子均可以再被

① 笛卡儿.《哲学原理》,商务印书馆,1962:44.

② 柏廷顿.《化学简史》,商务印书馆,1979:77~78.

③ 《马克思恩格斯全集》第31卷,第309.

④ 恩格斯.《自然辩证法》,人民出版社,1971:247.

打开吗？1964年，美国物理学家盖尔曼在研究介子和重子排列时，发现这些粒子有一定的对称性。在此基础上，他提出了强子（包括质子、中子、介子等）结构的“夸克模型”，认为强子是由更为基本的单元——夸克组成的。现在科学家们认为，夸克包括上夸克、下夸克、粲夸克、奇异夸克、顶夸克、底夸克六种；重子是由三个夸克组成的，如质子便是由两个上夸克加一个下夸克构成；介子则是由两个夸克组成的。使夸克组合成强子的力强度极大，虽然有种种迹象表明六种夸克的确存在，可是迄今仍未发现自由夸克，且按量子场论预言，夸克根本不可能被分离出来，这就是“夸克幽禁”现象。科学在向自然观发问：夸克等已知的“最基本”的粒子也可以分吗？困扰物质无限可分论的另一个难点是，一些粒子与其他粒子间的关系不是通常的构成与被构成的关系，而是相互转化的关系，如正负电子对与高能光子之间的关系就是相互转化。这种转化能否认为也是“分”的一种表现呢？

思考层次结构是否存在下限，就须首先消除一种误解，即认为物质可分是数学分割或机械分割。数学分割是可以无条件地不断进行下去的，一维的直线的确可以“日取其半，万世不竭”，然而物质层次结构却会因层次的变化而出现质的差异，如宏观事物可以视为连续体，而微观粒子体系却不是连续的。机械分割实际上只是“切割”，它无需发现系统的要素和结构，只是将事物不改变其本质地缩小。这种分割肯定会遇到下限，无论如何也不能将一个水分子“切割”成两个水分子。因此，数学上空间或量的无限可分割及机械上可分割的有限性不意味着实物结构可无限分割或不可无限分割。另一种常见的定式是，把可分仅理解为将物质系统的部分游离出来，实际上，一些微观系统的要素只有在系统中才存在，将它们分离成游离态的东西是不可能的。故而，可分不仅包括“使整体打开成为若干独立部分”，还应包括“能分辨某个整体中的部分”，即能找出统一体的对立面来，该统一体就是可分的。

按照以上对物质可分含义的理解,夸克是否可分,就要看可否解体成为若干部分,或可否分辨夸克内部的差异性。量子色动力学指出,夸克之间被多种称为胶子的传播子“黏接”在一起;当夸克间距很小时,它们之间的作用力很弱;而当间距增大,胶子传播的作用力也增大;当间距趋于无穷大,作用力也趋于无穷大。这意味着,即使你以再大的能量轰击强子,你也只能得到另一些强子,而不可能得到游离的夸克。被“幽禁”的夸克使得强子本身成了一个黑箱,夸克则是人们对黑箱结构进行推测的产物,因而目前它仍是一种“符号模型”。我们声称强子可分是在“可分辨”而不是“可分割”的意义上的论断,至于探索夸克内部的差异性,肯定还有很长的路要走,第一步要做的就是探索得到游离夸克的可能性。夸克在现有科学理论的框架内被认为是不可游离的,然而我们前面已分析过,每一个层次物质系统规律均有其特殊性,化学规律只适用于原子、分子及其组合,量子场论适用于夸克以上的层次;而夸克本身比一般粒子层次更低,它可能不完全服从量子场论,因此不能从理论上完全排除夸克游离的可能。如果是这样,目前实验未得到游离夸克,便可能是由于加速器、对撞机的能量不够造成的。“幽禁”是否真实,仍有待进一步的理论和实践证明。

至于那些粒子间的相互转化现象,的确使我们产生了到底谁构成、谁被构成的困惑。不过,转化现象中某些粒子转化成其他粒子,而自身却“消失”的事实本身启示我们,这些粒子是有内部结构的,一个不能再分的、不存在部分的东西,其表现形式和性质便不会改变,因为它内部已经没有什么相干性关系了,当然更谈不上因相干性关系变化而产生其它新性质。

以上分析,只是针对目前某些被视为层次结构下限的物质形式而进行的,观点也绝非定论,只是说明了突破现有的物质可分“下限”的可能性。但自然观不能无视可能性。人类对层次结构最低层的探索与对最高层的探索一样,是一个不断突破的过程,突破

往往就是对传统认识中最“可靠”部分的突破。因此,只要逻辑与实践尚能容许现有认识之外的另一种可能性,我们就不能抛弃这种可能性。这种关于另一种可能性的思索虽不违背逻辑和事实,却又不是纯逻辑可以得出的,故只能用辩证法进行。辩证法的结论是辩证的、开放的、可错的、有待不断充实的,忘记了这一点,自然观就成了一种形而上学。摇摆不定固然不可取,盲目声称某类观点绝对正确,更与辩证法毫不相干。

本章进一步阅读书目

1. 张华夏. 物质系统论. 杭州:浙江人民出版社,1987
2. 拉兹洛. 进化——广义综合理论. 北京:社会科学文献出版社,1988

复习思考题

1. 什么是系统的非加和性?它对我们把握物质系统的整体性有何意义?
2. 双向因果链的存在有何启示意义?
3. 为什么要坚持自然观的批判性?

第二章 自然界的演化发展

在初步探讨了自然界的存在之后,我们又面临着另一个问题:自然界目前的存在是从来就有的呢?还是经历一个过程发展而来的呢?世界目前仍在发生的物质系统的变化启示我们,物质世界的现状并非是过去的样子,也不会是它将来的样子,世界上的一切都是演化的结果。既然世界是发展的,仅研究世界的现状就远远不够了。“存在和演化并非是彼此对立的,它们表达出现实的两个方面”,^①我们需要进一步研究演化现象及其一般规律,使之与人们对存在的认识相互补充,才能在头脑中形成较为全面的物质世界的图景。

第一节 演化观念的逐步确立

今天,人们普通承认演化是真实的。但在历史上,“自然界存在演化”这一观念的确立,却不是轻而易举的,对各类具体演化现象的认识,更经历了曲折的过程。

一、从“第一推动”到演化

现代科学对演化现象极其关注,但近代科学发展之初,科学还不是恩格斯所推崇的那种“关于过程、关于这些事物的发生和发展,以及关于把这些自然过程结合为一个伟大整体的联系的科

^① 普里高津.《从混沌到有序》,上海译文出版社,1987:370.

学。”^①即使相对较成熟的牛顿等人创立的经典力学,也否定了自然界演化过程。牛顿力学中的力主要包括两类:质点间相互接触而产生的近距作用力和超距作用的万有引力,这两类力的方向均与质点的连线方向重合,它们可以用来说明直线变速运动的产生原因和圆周运动、椭圆运动得以维持的原因,因而牛顿力学规律适用于天体和地球上的所有运动。但只要稍加注意便可发现,自然界中如果只有质点连线方向上的作用力,那么地球绕日所作的近似切向运动如何形成,就是一个无法说明的问题。换言之,牛顿力学只能说明天体运动的现状,却无法说明其成因。牛顿将切向(横向)运动的产生归结为自然以外的原因——上帝的“第一推动”,“没有神力之助,我不知道自然界中还有什么力量竟能促成这种横向运动。”^②我们认为,牛顿的“第一推动”论并非一无是处,至少牛顿意识到若完全以他的力学看问题,世界的现状便成了不合理的东西。然而牛顿以非自然的原因解释自然现象,并且他显然将“第一推动”之后的世界作为一个基本不会再发生整体和本质变化的体系,即使有某些局部的本质变化(如人的出现),那也是上帝直接插手的结果,这是我们所不能接受的。牛顿的这种认为自然界本身不能产生演化的观点,无疑属于“僵化的自然观”。

第一次在僵化的自然观上打开缺口的人是康德和拉普拉斯。康德是德国著名哲学家,早期曾研究过自然科学问题,尤其是天文学问题。1755年,他出版了《自然通史和天体论》(中译本书名为《宇宙发展史概念》),提出著名的星云假说。康德力图“要在整个无穷无尽的范围内发现把宇宙各个巨大部分联系起来的系统性,要运用力学定律从大自然原始状态中探索天体本身的形成和运动的

① 《马克思恩格斯选集》第4卷,第241页。

② 塞耶.《牛顿自然哲学著作选》,上海人民出版社,1974:62.

成因。”^①“大自然是自身发展起来的,没有神来统治他的必要。”^②他将大自然的现状看作其自身发展的结果,原始星云是现今太阳系的始祖。星云是一种炽热、弥漫状态的物质,它们的密度很小、种类多样,自身在永恒地旋转着。在引力的作用下,分散的微粒逐渐形成小的聚集物,小的聚集物又逐渐形成大的团块。当大小不同的聚集物互相靠近时,在斥力的相互作用下,使得向引力中心下落的微粒偏转,形成围绕引力中心的圆周运动。处于中心的团块质量特别巨大,就形成了太阳,周围较小的团块便是行星。行星密度从内向外逐渐减小是因为太阳引力将较重的质点吸引在自己的周围。行星质量由内向外增加则是由于太阳巨大引力的影响,离太阳近的行星不可能形成很大的质量,而越是外围的行星,轨道面积也越大,能吸引的质点就多。康德还推断:太阳密度应与所有行星混合密度相等,土星以外还会发现新行星,土星光环是尚未形成卫星的微粒组成的等等。

康德星云学说虽有一些显著的缺陷,但仍不失为一种极具创见的思想,但由于种种原因,他的学说在几乎半个世纪内未产生什么影响。1796年,法国科学家拉普拉斯发表了《宇宙体系论》,在书的第七个附录中,他提出了与康德相似的星云学说。他认为太空最初弥漫着巨大的球形星云,炽热地缓慢旋转。后来由于冷却而不断地收缩,根据角动量守恒原理,星云收缩时,转动速度必定增大,离心力也越来越大,在离心力与引力作用下,星云便趋于扁平的盘状。离心力一旦与引力达到平衡,边缘物质便不再收缩。这样的过程可多次重复,形成若干个气体环,环内物质相互吸引形成行星,中心物质收缩为太阳。拉普拉斯出色的力学和数学知识使他的星云学说比康德学说更精致、更有说服力。他的假说一经提出,便引

① 康德.《宇宙发展史概论》,上海人民出版社,1972:3.

② 康德.《宇宙发展史概论》,上海人民出版社,1972:3.

起了人们的重视,也导致了康德《宇宙发展史概论》在 1799 年再版。后来,亥姆霍兹将两人的学说合称为康德—拉普拉斯星云学说。

19 世纪的科学家们从更多的角度,论证了自然界的演化。赖尔在《地质学原理》中提出了关于地球缓慢进化的渐变论,这个学说使人们相信“不仅整个地球,而且地球今天的表面以及生活于其上的植物和动物,也都有时间上的历史”。^①达尔文的进化论揭示了生物物种在自然选择中会经历由简单到复杂的进化过程,也证明生物界的一切都是自然界演化的结果。细胞学说、能量守恒与转化定律、热力学第二定律均从不同角度揭示了自然界的历史性。演化的观念在 19 世纪终于取代了“第一推动”论,确立了自己的地位。

二、演化的时间方向性特征

演化使自然界和物质系统过去、现在、将来均呈现出差异性,而且不会自动向原有状态回复。演化无疑是一种运动和变化过程,但并非所有的运动和变化都是演化。例如一个摆动的理想单摆,在经历一个周期后,系统便回到了原初的状态,系统的环境没有任何改变,这种变化就不是演化。我们认为,凡是可以称为演化的运动变化,必定有它的时间方向性(时间箭头),即描述演化过程的规律中,必定包含时间箭头。

在某些科学规律中,时间是没有方向性的,它可被视为与三维空间无差别的第四维几何座标。牛顿力学第二定律方程、量子力学薛定谔方程中的时间均没有方向性,而是时间反演对称的。如牛顿力学第二定律方程形式为 $F = m \frac{d^2r}{dt^2}$, 若进行时间反演,即用 $-t$ 取

^① 《马克思恩格斯选集》第 3 卷,第 451 页。

代 t , 代入方程中, 方程形式将完全不变。方程时空反演对称意味着时间没有方向性, 利用该方程既可以预知未来, 也可以推测过去。还意味着, 用该方程描述的所有过程, 原则上必定存在一个相反的过程; 换言之, 如果没有时间箭头, 一个过程必定是可逆的。不仅牛顿方程中没有时间箭头, 在相对论和量子力学中, 时间都只是描述可逆运动的几何参量, 它不能标志时间的物理内容。

在另一些科学规律中, 时间具有明显的方向性。描述规律的方程中若出现时间箭头, 便意味着该规律只有当时间是由过去、现在走向将来时才成立; 一旦进行时间反演, 方程将面目全非。例如关于热传导的傅立叶方程的一维形式是:

$$\frac{\partial T(X, t)}{\partial t} = -\lambda \frac{\partial^2 T(X, t)}{\partial X^2}$$

上式中 T 为温度, X 为位置坐标, t 为时间。对该方程进行时间反演, 则方程变为:

$$\frac{\partial T(X, t)}{\partial t} = \lambda \frac{\partial^2 T(X, t)}{\partial X^2}$$

这表明热传导过程中的规律, 一旦时间反演便不再可能成立了。以傅立叶方程处理一个与外界隔绝的、温度不均匀的铁杆中的热传导问题, 会发现该铁杆最终将自发达到温度处处相等的状态, 这时不可能存在一个反过程向原初状态回复, 因为铁杆中一旦达到热平衡, 系统初始状态就被“忘却”了, 故不可能有一个相反的自发过程了。在以上这个过程中, 时间不再是一个普通参量, 而是和物质系统演化过程有对应关系的量。由于用有时间箭头的方程描述的过程不存在时间反演对称, 所以时间箭头总是和不可逆过程相联系的。

时间箭头可以用来判别演化, 正是因为一切不可逆过程都是存在时间箭头的, 而只有不可逆的运动变化过程才能称为演化过程。可逆与不可逆是研究运动变化本质的重要概念。所谓可逆, 指的是一个物质系统从某一状态出发, 经过某一过程达到另一状态,

如果存在一个反过程,能使该物质系统回到原初状态,且能消除前一个过程在环境中的影响,则前一过程便是可逆的。相反,如果一个物质系统从一个状态经一个过程过渡到另一个状态,这时便再也没有办法使系统与环境完全复原,该过程便是不可逆的。由于可逆过程中(如一个单摆的摆动过程中),系统以及环境的状态虽在不断变化,但每一步变化都存在相应的逆向变化,所以可逆变化过程中的状态改变不会导致要素或结构、功能的新旧交替,只能导致简单循环,故可逆过程不能称为演化。不可逆过程中由于系统与环境不可能同时完全复原,所以这种状态变化必定留下不可消除的影响,它显然意味着系统或环境(及更高层次的系统)的新旧交替,这才是真正意义上的演化。

严格地讲,可逆过程只是一种理想化过程。不仅热传导、物质流动、能量转化、生物进化过程是不可逆的,即使没有时间箭头的经典力学、相对论、量子力学所适用的实际过程,也具有不可逆性。如真实的单摆的摆动过程会由于空气阻力等因素而出现不可逆的振幅衰减。薛定谔方程形式上虽然可逆,但一旦对量子过程进行测量,便会出现“波包简并”的不可逆现象。可见,不可逆过程比可逆过程更加真实,更加普遍。自然界中绝大部分变化过程,都是某种演化过程。自然界的历史是由一切相互联系、相互转化的物质系统的演化过程构成的,“世界不是一成不变的事物的结合体,而是过程的结合体”。^①

三、演化的两种方向

演化现象举不胜举,但所有的演化均可以分为两大类:进化与退化。进化指物质体系由无序到有序、由低序到高序的演化过程和趋势;退化则指物质系统由有序向无序、由高序向低序的演化过程

^① 《马克思恩格斯选集》第4卷,第239~240页。

和趋势。通常认为,进化对物质世界更具有积极意义。世界上今天的物种如此丰富,而大爆炸之初,无论是物质形式还是物质间的相互作用方式,都是极其单一的。今天这个令人目不暇接的世界,主要是进化造就的。但人类最早精确认识并深入研究的演化现象却是退化。

19世纪上、中叶,科学家们在研究热运动及热机原理时,重新审视了一些司空见惯的物理现象,如两个温度不等的物体接触,热量会自发由高温物体流向低温体物;摩擦可以生热,但对两个接触物体加热,却不会导致摩擦。总结这些有关物理现象,科学家们得出了热力学第二定律,该定律内容为“热量由低温物体传给高温物体且在环境中不留下任何影响是不可能的”(克劳修斯表述);“从单一热源吸热作功而不产生其他影响是不可能的”(开尔文表述);后来,克劳修斯又引进熵(S)的概念重新表述热力学第二定律:一个孤立系统会自发趋于平衡态,它的熵则会不断增大,直到达到一个最大值,即 $dS \geq 0$ (式中等于号成立时,系统使达平衡态,熵也达最大值)。

上述定律所描述的过程正是退化过程,“熵”与“序”具有内在的联系,熵增加的过程便是序降低的过程。从统计意义上看,熵可以定义为

$$S = k \ln W$$

式中 k 为玻尔兹曼常数, W 则指热力学系统所允许的所有宏观分布数目(亦称热力学几率)。直观地看,熵越大,系统允许的宏观分布方式越多,说明系统的随意性越大,也就越缺少秩序(无序);反之,熵越小,系统允许的宏观分布方式越少,随意性也越小,便越有序。故此,人们也将退化过程称为熵增加过程。热力学第二定律揭示了不可逆过程可以导致退化,孤立系统不可逆过程的方向,只能是退化的方向。第二定律告诉我们,孤立系统不可逆过程的最终局面必定是最无序的平衡态。比如,一个存在内部温差的热力学系

统,会因不可逆的热传导走向热平衡;一个密度不均匀的气体系统,会因不可逆的物质扩散,最终走向均匀分布的物质平衡状态;一个有电位梯度的系统,会因不可逆的电荷移动,达到电位处处相同的状态等等。所有这些现象,都可用热力学第二定律给予解释。

热力学第二定律能清楚地说明退化的本质、退化的度量及孤立系统退化的结局,而这一切都离不开熵的概念。熵概念提出之后,“研究复杂系统的倾向就继续不断……人们的兴趣从物质转到了关系、联系和时间”(普里高津语),^①熵概念还为人们研究演化中的进化方向提供了重要武器。不过,最早引入熵概念的克劳修斯等人,却极少研究进化现象及其本质。

对演化中的进化趋势的最早的较全面发现,应归功于 19 世纪的另一位伟大学者达尔文。1831 年底,达尔文开始了著名的贝格尔舰环球航行,他在这次全球范围的考察中发现了许多生物物种演化的事实。例如在南美洲西北部的加拉巴哥斯群岛上,达尔文采集到 26 种鸟。这里原本没有鸟,26 种鸟的共同祖先是来自北美洲迁移来的一种雀,其中 25 种都是这种雀的变种,这 25 种雀各有与环境相适应特点,但这些特点又相互关联,如嘴的大小可以排成一个渐进的序列,他认为这是由于生活环境的不同而发生的变异。从大量的演化事实中,达尔文创立了他的生物进化论。这一理论的要点是:生物必定经历生存竞争,在生物的种内竞争和种间竞争过程中接受自然界的考验,拥有适应于生存竞争的生物性状的那些生物便被保留了下来,不适者便被淘汰了。生物可以发生变异,这种变异是进化的原料,自然选择则是进化的途径。新物种产生的过程是“偶然变异——自然选择——变异积累——新种产生”,一切高级生命及完善的器官都是进化的结果。达尔文的进化论将生物物种也看作是自然界自身进化的结果,这也是自然观的一个划时代进

^① 转引自林德宏,《科学思想史》,江苏科技出版社,1985:240.

步。今天,我们已清楚地知道:除了生命领域外,进化现象也存在于物理、化学、社会等领域,进化与退化一样是普遍存在的,不可逆过程如发生在物质系统的非线性远平衡区,便可能进化。进化本质与标度也可以用熵来表示,进化与退化是关联的……但在达尔文时代,以上这一切尚未被披露出来。

客观地讲,达尔文的主要贡献在于客观地揭示了生命领域内进化现象的存在,而他对进化的本质的说明有较大的缺陷。19世纪的学者们对进化与退化的了解深度是不对称的。进化论与热力学理论都与自然界的演化相关,它们各自涉及了演化的一个方向,对进化的本质缺乏了解,使人们陷入了热力学第二定律与生物进化论相冲突的窘境之中。热力学第二定律指出物质的演化是朝着熵增加、有序程度下降的方向进行的,达尔文进化论则指出生物进化是朝着有序程度提高的方向进行的,于是人们不得不把生命与非生命割裂开来,认为非生命领域遵循热力学第二定律,走向无序;而生命则遵循进化论,走向有序。事实上,无论是生命还是非生命领域的物质系统,都存在两个演化趋势,这两个趋势并行不悖、相互统一,两大物质领域也浑然一体,密不可分。解决19世纪的进化论与热力学的矛盾,需要我们更深入、更全面地了解演化现象,进而准确地说明两种演化(尤其是进化)的机制,最终揭示两种演化趋势的统一性。

第二节 重要物质领域的演化进程

“整个自然界,从最小的东西到最大的东西,从沙粒到太阳,从原生生物到人,都处于永恒的产生和消灭中,处于无休止的运动和

变化中。”^①这种运动变化造成了目前自然界层次结构只是一个连续过程的截面。

一、宇宙的演化

宇宙的演化研究主要涉及两个问题：一是宇宙是如何产生的，二是宇宙的现状是怎样形成的。对这两个问题，我们只能根据一些较可信的科学结论，给出一个大致的描述。

伽莫夫的大爆炸理论主张宇宙起源于一个高温高密的“原始火球”，后来“火球”中的基本粒子相互作用导致爆炸，并且向四面八方均匀膨胀。伽莫夫及其他人还根据该假说提出了两个重要预言：宇宙中的氦占质量总构成的25%~30%。作为大爆炸的遗迹，宇宙中应存在5K的背景辐射，这些预言与后来发现的事实是吻合的。但是，伽莫夫的假说仍有视界问题、磁单极子问题、平度问题等难以克服的困难，这导致了科学家以暴胀宇宙论修正大爆炸模型。按照修正过的大爆炸理论，宇宙初始阶段的“剧情”大致是这样的：（一）宇宙初始状态是一个奇点，时间和空间都不存在，除此之外我们对它一无所知。（二）从奇点到普朗克时间阶段，宇宙的温度极高，物质密度极大，这一阶段所谓“超大统一力”的作用方式和“超重X玻色子”的物质形式占统治地位，宇宙处于随机涨落的混沌态。（三）当时间推进到 10^{-35} 秒时，温度下降到 10^{28} K，由于X玻色子逐渐消失，膨胀着的宇宙产生出一种张力，这种张力造成宇宙的急剧膨胀；这个“暴胀”阶段持续大约 10^{-32} 秒，宇宙同时膨胀了 10^{20} ~ 10^{50} 倍。这一阶段结束时，X玻色子完全消失，大统一的作用力也分解为引力、电—弱力和强核力，夸克、轻子等最基本的粒子也产生了。这时我们可以说，宇宙已经形成了。

形成后的宇宙仍处于膨胀之中，继续膨胀的过程已持续了

^① 恩格斯.《自然辩证论》，人民出版社，1971：16.

10^{18} 秒(约 200 亿年),在这段时间内,宇宙温度和物质密度持续下降,产生出了远离热力学平衡的物质能量系统。形成后的宇宙经历了这样几个演化阶段:(1)基本粒子形成阶段。当宇宙时为 10^{-10} 秒时,四种相互作用方式完全分开,强子已经形成了; 10^{-6} 秒时,宇宙中占统治地位的正是强子。随着温度和密度的进一步降低,新产生出来的强子就越来越少了,由已有强子分裂或成对湮灭成为高能光子等轻子的过程便占据了主导地位;于是 10^{-2} 秒时,宇宙进入了轻子时代。此时宇宙物质成分以电子、 μ 介子、中微子等为主。这个时期中由于粒子衰变分解和正反粒子湮灭过程的持续进行,光子和中微子越来越多,当温度降至 10^{10} K 时,宇宙便进入“光子海洋”式的辐射阶段。(2)辐射核合成阶段。大爆炸开始后一秒,宇宙进入上述辐射阶段,但宇宙仍然太热和太密,还不能形成持久的物质—能量系统。但当宇宙时为 1~3 分钟时,宇宙温度下降为 10^9 K,辐射阶段也进入了后期。其后由于中子失去了自由存在的条件,与质子结合形成氘核,氘核还可以进一步相互作用生成氦核,核合成阶段(可能仅仅持续了几分钟)结束时,氢核约占 74%,氘核占 1%,氦核约占 25%;此时宇宙的温度下降到 10^8 K 以下,进一步形成更重元素的核聚变反应已不可能在这一阶段实现了。(3)实物阶段。宇宙时 1 万年后,温度下降到 10^5 K,自由电子被原子核俘获,形成了稳定的原子。此前,由于实物粒子密度下降比辐射密度慢,宇宙中辐射已退居次要地位。随着大多数带电粒子都以电磁作用的方式集中到原子中,宇宙中主要是气状物质,万有引力占据支配地位。由于辐射压减退,当发生某些扰动时,均匀的气体中的一部分会逐渐形成气云,进而形成星体和星云,成为我们今天所看到的宇宙。实物演化阶段持续时间最长,第一代恒星形成已耗时约 50 亿年,至今宇宙仍处在这一阶段。

宇宙的未来,存在多种可能性,弗里德曼、罗伯逊、沃克等人根据广义相对论求得引力方程的非静态解,包括开模型、平模型与闭

模型,前两个解意味着宇宙将永远不可能回到原初的状态,甚至将一去而不复返地膨胀下去,而闭模型解则预示当宇宙膨胀到某一最大体积后,将开始收缩过程,温度随之越来越高,最终又回到宇宙时间零秒时的情况,然后在一定的条件下,宇宙又一次开始大爆炸。究竟哪一种能成立,取决于宇宙质量的大小,目前尚无定论。受到较多事实支持的是开模型解,这个解所引起的关于“原始火球”来源的自然观难题是显而易见的;不过,也有一些证据是支持闭模型解的。

二、恒星的演化

恒星是宇宙中实物存在的主要形式。关于恒星演化的理论目前已比较成熟,因此我们可以对“恒星的一生”作出较细的描述。

恒星的一生大致经历引力收缩阶段、主序星阶段、红巨星阶段、脉动阶段、高密阶段或爆发阶段和超密阶段等几个阶段。

恒星的物质来源于星际空间存在的许多由气体和尘埃组成的巨大分子云。这种气体云中密度较高的部分在自身引力的作用下会变得更密一些,当向内的万有引力强到足以克服分子热运动及辐射所导致的向外压力时,物质会迅速落向中心,只需几万年到几百万年时间,星云就会收缩成为一种介于星云和星体之间的气体尘埃盘,盘中物质仍会不断落到被称为原恒星的中央天体上。由于下落物质的引力势能不断转化为热能,所以气体热运动加剧,气体压力逐渐增大并抵消一部分引力的力量,原恒星收缩速度减慢,但温度仍继续上升,当温度上升至 10^7K 以上,足以引发热核反应时,一颗恒星便诞生了。恒星的质量应在 $0.1\sim 100$ 个太阳质量之间,更小的质量不可能触发核反应,更大的质量会由于辐射压太大而解体。

恒星形成后光和热的来源是热核反应。当这种反应产生的辐射压力与引力平衡时,恒星的体积和温度不再明显变化,进入一个

相对稳定而长期的演化阶段，这便是主序星阶段。迄今发现的恒星有 90% 处在这一阶段，太阳目前也处于主序星阶段，它在此阶段已长达 50 亿年，今后还将在这一“壮年期”停留约 50 亿年。

红巨星阶段可称为恒星的“中年期”。在主序星内部，热量是向里传递的，中心温度最高，因此中心部分核反应最为猛烈，当核心部分的氢完全聚变成氦以后，这时的中心温度尚不足以引起氦核的聚变反应，所以中心产能完全停止，辐射压力也下降。恒星中心的压力无法再抵抗引力，星核将在引力的作用下收缩。引力能所转化的热能一方面造成恒星外壳急剧膨胀，使恒星表面积增大，单位面积辐射能减少，表面温度降低；另一方面使星核温度重新上升，达到引发氦聚变的程度，结果 3 个氦核聚变成 1 个碳核。并放出大量的能量，从而使恒星内部的引力与斥力再次走向平衡，恒星也又一次相对稳定。这种恒星体积膨胀、且以氦核聚变为主要能量来源的阶段便是红巨星阶段。由于氦核反应经历的时间短，所以红巨星阶段时间也不会很长。太阳的红巨星阶段预计只有几亿年。

红巨星阶段过后，恒星内部由于各个部分吸引排斥的矛盾变化，类似于由主序星向红巨星过渡的过程还会再次重复，氧、硅等较重元素也被合成，直至最终合成最稳定的铁核。在此期间恒星的体积和大小发生周期性的变化，恒星也就进入了脉动阶段。脉动阶段过后，恒星内部的核燃料耗尽，原来由核反应维持的巨大辐射压消失，星体在引力的作用下收缩，直至出现新的斥力与引力抗衡。于是恒星也进入了“晚年”。

恒星的归宿，取决于它的质量。初始质量小于 8 倍太阳质量的恒星将直接进入高密阶段，成为颜色发白而尺度极小的白矮星，其密度高达 $10^8 \sim 10^{11}$ 千克/米³。在这样高的密度下，星体内部存在巨大的电子简并压，使引力与斥力均衡。初始质量为太阳质量 8~50 倍的恒星在核燃料耗尽后，将发生猛烈的喷发，几天内亮度陡增上升万倍乃至上亿倍，这时的恒星被称为超新星。有的恒星经喷发后

完全瓦解,有些则留下一部分超密物质构成中子星。中子星由中子紧紧堆成,密度达 $10^{17} \sim 10^{18}$ 千克/米³,内部斥力形式为中子简并压。中子星不再发出可见光,但可因快速自转而发出脉冲电波,因此还是可以直接探知的。初始质量超过太阳质量 50 倍的恒星,最终将成为黑洞。这种天体的引力强大到连光线也无法逸出的地步,人们只能通过周围物质间接探知它的存在。一般认为,某些发出 X 射线的双星系统中,那个质量很大而又不可见的部分,就是黑洞。黑洞中的物质虽然不可能逃出,但仍可能存在“蒸发”现象,因而会向弥漫物质转化,重新加入新天体的形成过程中去。

三、太阳系及地球的演化

地球是太阳系中的一颗行星,而太阳则是处于主序星阶段的众多恒星中的一个。近代关于太阳系起源的理论始自康德,后来又经过了多次修正。根据这一理论,大约 50 亿年前,太阳还是一团缓慢旋转的气体云。由于其他天体的引力扰动或超新星爆发的冲击波,气体云开始坍缩,密度较大的核心变为原始太阳,周围旋转的尘埃和气体,形成薄盘状的原始太阳星云。原始太阳星云会因引力不稳定局部扰动而分裂成大量引力束缚的团块(星子)。星子质量为 $10^{15} \sim 10^{17}$ 千克,尺度相当于小行星尺度,有一部分星子就是今天的小行星和彗核;另一部分则因为引力和碰撞而合并成为星胚。这些星胚进一步吸引周围物质,最终成为各大行星和卫星。这时,太阳系也就形成了。在靠近太阳的区域内,只有难溶的岩状物可以保留下来,气体和易挥发物都会跑掉,所以水星、金星、地球、火星(统称为类地行星)质量较小、密度较高。在远离太阳中心的地方,温度也较低,能保留较多由轻元素组成的物质,所以木星、土星、天王星、海王星(统称为类土行星)主要由氢、氦、冰、氨、甲烷等组成,体积较大,密度较低。

计算表明,各颗行星形成所需的时间不太一致,内层行星形成

需要时间相对较短,地球形成需要 10^8 年。可见,地球虽比太阳稍稍年轻,但年龄差别不大。

地球迄今的历史约 46 亿年。原始地球所获得的星子是比较冷的,但是每个星子落到地球上,它的动能都将转化成热能,星子堆积所造成的内部压缩又导致地球内部温升,加之放射性元素衰变所造成的热积累,原始地球温度会逐渐上升。当其局部温度超过铁的熔点时,铁、镍及硫化铁熔化,并因密度大而流向地球的中心部位,形成原始液态铁质地核。地球在形成过程中温度的进一步上升会引起原始地球上大部分物质的熔融,硅酸盐等较轻的熔融物质上浮形成地幔。当地幔中的物质又进一步分化时,更轻的物质从地幔中分离出来,上浮至地表,形成原始地壳。原始地壳又经一系列变化而稳定下来,最终形成多层结构的地球内部围层(如图 2-1)。

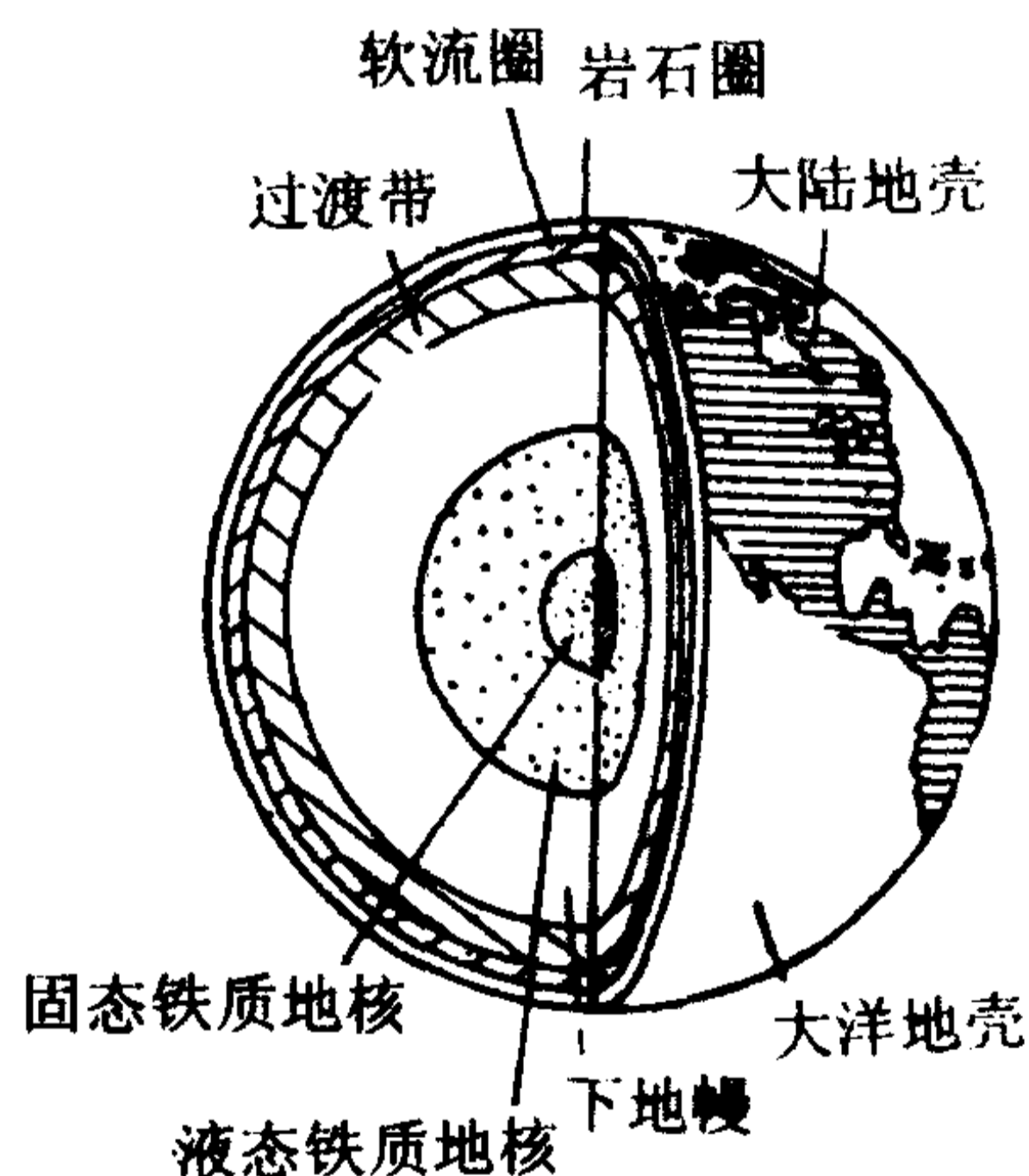


图 2-1 地球内部的多层结构

地球内部分化为多层结构时,原先潜藏于其他物质中的大量气体会因物质升降而逸出地表,这些气体由于地球引力而被固定在地球周围,形成原始的大气圈,原始大气主要成份是一氧化碳、

二氧化碳、氨、甲烷和水蒸气。原始的水圈是从原始大气中分化出来的,由于地表温度下降,水蒸气便凝结回到地面,成了地表水,当然,另有一部分地表水可能是在漫长的地球演化进程中以其他途径加入水圈的。

原始地球形成其内、外圈层后,演化依然在继续。地壳层仍然在显著的运动变化中。根据板块构造学说,整个地壳可分为欧亚板块、非洲板块、美洲板块、印度洋板块、南极洲板块和太平洋板块。这些板块中大部分既包括海底地壳,又包括大陆地壳。板块由地幔层软流圈驮载着;由于软流圈的流动,板块也随移动。整个地壳都由于板块的移动而进行着大规模的水平移动,地壳的移动便造成了大陆和海底的漂移,而板块间的挤压不仅会导致地震火山活动,也会导致强烈的造山过程或形成巨大的海沟。可以说,今天的地貌正是地壳的运动所造就的。与地球内部圈层的进一步演化相对应的是外部圈层的进一步演化。原始海洋是强酸性的,经过一系列过程,今天的海洋已不再呈强酸性,而是溶解着大量氯化钠、碳酸盐、硫酸盐物质的海洋。原始大气圈也由于紫外线促进水的分解、藻类光合作用释放氧等原因,逐步由其原始成份演化成今天以氧气和氮气为主要组分的大气。

地球演化不仅造就了今天的地球,更为地球上生命的演化提供了物质保证和环境保证。生命在地球上的诞生反过来又影响了地球。

四、生命起源与生物进化

生命有别于非生命,生命现象最本质的内容就是自我复制,实现这一本质内容的则是以蛋白质和核酸为主体的多分子体系。生命正式出现以前,地球上已开始了由无机分子向有机分子,再向生物大分子的化学进化,化学进化是生命进化的前奏,也是生命的来源。

地球的原始大气中极少含氧,更没有臭氧层,地表受到很强的紫外辐射,加上闪电、陨星撞击等因素的作用,甲烷、氨、水、一氧化碳等原始大气物质开始合成有机物,包括氨基酸、含氮碱基、糖类等。已有许多实验证明核酸的组分(核苷酸)和蛋白质的组分(氨基酸)在生命出现前的条件下可以被合成。俄国生物化学家奥巴林认为,大量有机物分子会逐渐汇聚在海洋中,形成“原始汤”,这是原始生命诞生的温床。在海洋中,氨基酸、核苷酸等有机小分子物质,经过长期积累,相互作用,在适当的条件下,通过缩合或聚合作用,就形成了原始蛋白质分子和核酸分子。有人已通过模拟实验获得了类似蛋白质和核酸的物质,这表明在原始地球上,产生高分子有机物是可能的。蛋白质和核酸等高分子有机物在海洋中越积越多,浓度不断增加,由于水分蒸发、粘土的吸附作用等原因,这些高分子有机物可以浓缩分离出来,高分子之间相互作用形成小滴状的多分子体系。这些小滴漂浮在原始海洋中,外面逐渐形成原始的界膜,使小滴与海洋环境分隔而形成了一个独立的多分子体系,这个多分子体系已经能与外界环境进行物质交换活动,进而形成生命。从多分子体系向原始生命的过渡,是生命起源过程中具有决定意义的一步。目前人们对这一步的具体过程知道得尚不清楚,也未能做到在实验室里验证这一步,但已有人应用系统科学中的数学模型对从“原始汤”向原始生命过渡的全过程进行了模拟。可以肯定的是,在原始地球上,具有催化功能的原始蛋白质和能起模板作用的原始核酸结合之后,这两个成分相互作用,便可以形成具有原始代谢作用和能进行繁衍的原始生命。此后,便开始了生命出现以后的生物进化阶段。

地球上最早的原始生命尚不具备细胞的形态,它们的构造远比现在存在的最简单的动植物更简单。原始非细胞生命应当与现有的非细胞形态的微生物——病毒相似。病毒体积十分微小,组成十分简单,只含有 DNA 或 RNA 中的一种核酸,核酸构成病毒的

核心,外面则是蛋白质构成的外壳。由于病毒只有在寄生环境中才能生存和复制,所以尚不是严格意义上的生命,它们在原始环境中以何种形式存在,仍有待探讨。细胞膜的形成是非细胞形态生命向细胞生命进化中的关键一步,膜可以有选择地从环境中摄取养分,并排出代谢产物,因而能大大提高生命活动的效率。原始膜比现代细胞膜简单得多,根据推测,海洋中的磷脂等极性脂类在水面上自发单层排列,后因水的波动,脂类分子可以包裹在多分子体系外面而形成原始膜。随着原始生命的不断进化,原始膜的结构与功能进一步完善,最终形成了细胞膜;同时膜内又分化出执行各种功能的蛋白质,兼有了DNA和RNA。膜及膜内各组分协同,便形成了原核细胞。原核细胞中核物质与细胞质之间没有核膜,因此还没有真正意义上的细胞核。原核细胞由于有氧呼吸,内部结构功能进一步分化后形成了真核细胞。

真核细胞的形成标志生物演化走向一个新阶段。在真核细胞的基础上,单细胞生物进化成多细胞生物,进而分化成动物和植物。植物又形成了菌藻植物、苔藓和蕨类植物、裸子植物、被子植物的发展序列,动物则沿着无脊椎动物向脊椎动物方向发展。脊椎动物又从鱼类、两栖类、爬行类,再分别向鸟类和哺乳类方向进化,人类正是从哺乳类动物中的猿类进化而来的。地球上所有的动植物构成了一个同源序列(如图 2-2)。

综合以上几个重要物质领域的演化进程,我们可以发现所有物质系统演化中的物质来源是统一的,而且不同领域演化中的物质系统地构成了一个序列,世界的确如恩格斯所说是一个“过程结合体”。我们还看到,物质世界演化过程,是一种由简单走向复杂,由单一走向丰富的过程,进化在这一过程中是不可缺少、随处存在的。那么,进化的动力和具体的机制是怎样的呢?

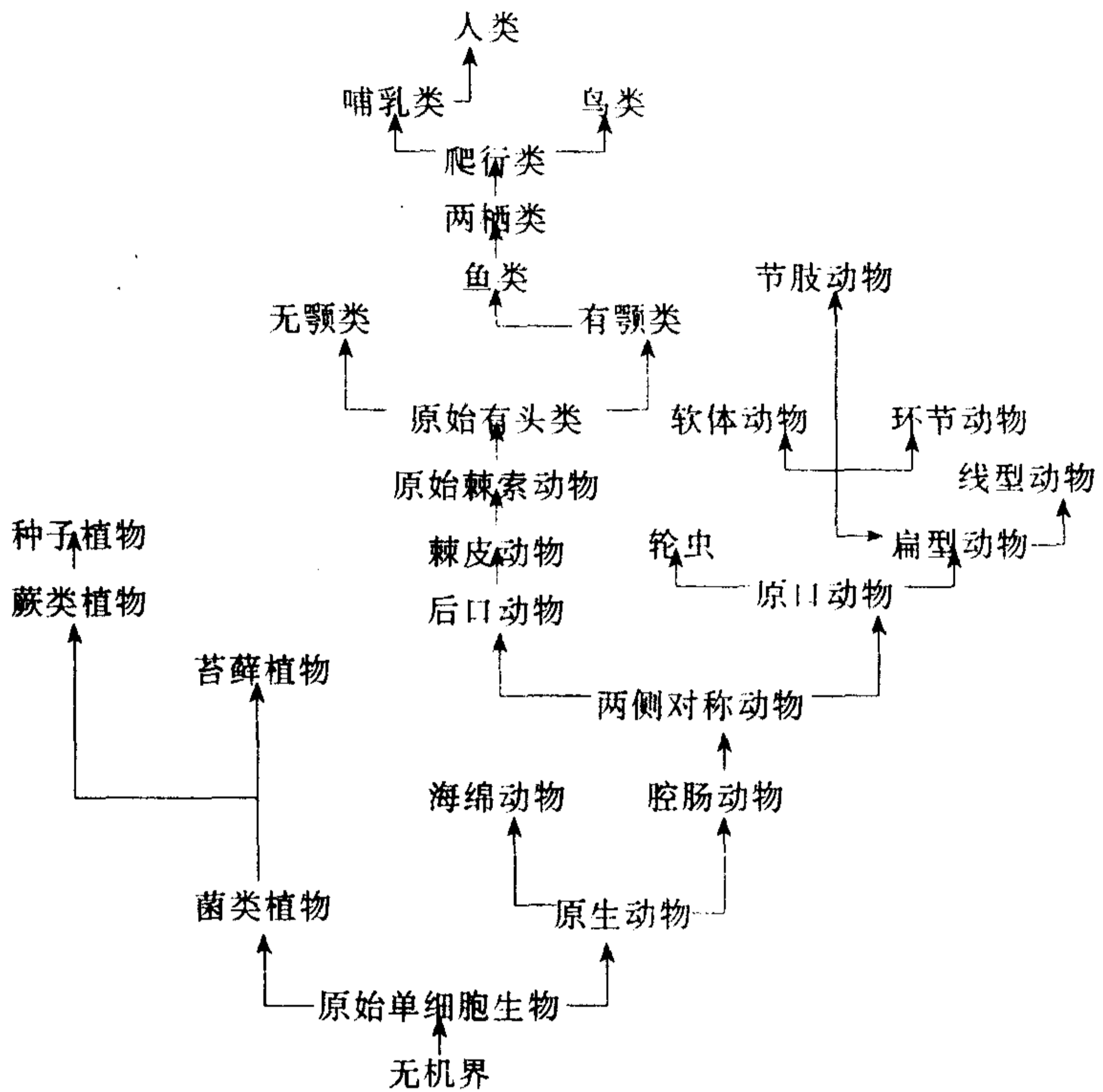


图2-2 动植物序列图

第三节 进化机制及其哲学讨论

自然界进化的具体形式是多种多样的，然而所有的进化又都有相似之处。实际上，这些相似之处，正好说明了进化机制的关键所在。进化机制的揭示，开拓了自然观的全新视野。

一、进化的条件与过程

进化的机制是当代多门学科的一个研究热点,目前相对成熟的自组织理论对进化的条件与实际过程已能作出较好的说明,这些说明被认为是具有普遍意义的。我们可以用激光器的发光为例,来解释自组织理论的有关要点。

一个激光器的结构如图 2-3 所示,包括工作物质(发出激光的材料)、泵源(向工作物质输入能量的能源)、谐振腔(产生激光振荡并选择激光波长、方向的腔体)。而激光是指位相一致、方向一致、频率(颜色)一致、偏振方向一致、强度很大的光辐射场。相对于普通光而言,激光是高度有序的。激光也是由于原子在两个能级间跃迁造成的。当泵源输入能量,提高原子的能级后,会从高能级再回到低能级而发出光子。原子由高能级到低能级的跃迁方式可分为两种:一种是原子内部运动状态变化引起的自发辐射跃迁;另一种是在外来光子的诱导下发生的受激辐射跃迁,后一种辐射跃迁有一个显著的特点,即辐射出的光子的频率、传播方向、偏振方向和位相均和诱导原子发生受激辐射跃迁的光子相同。如果绝大部分激发态原子以受激辐射方式发出光子,光源发出的便是激光。相反,如果自发辐射占主导,非但光强很弱,而且与普通光相比并无多大优越性。

为了让受激辐射占据主导,必须先使工作物质的原子大部分(50%以上)处于高能级,即实现粒子数反转分布。正常情况下,处于低能级的原子数总是大多数,这便是粒子数的正常分布;而泵源一旦功率足够大,便可以不断将低能态粒子激发到高能态上,从而实现粒子数反转。在反转情形下,现有的方向、频率等性质相同的若干光子(可视为极弱的激光)在前行过程中,碰到处于高能态原子的可能性也较大,而碰到处于低能态原子而被吸收的可能性较小。初始极其微弱的激光辐射场,就被处于高能态的原子逐次放大。

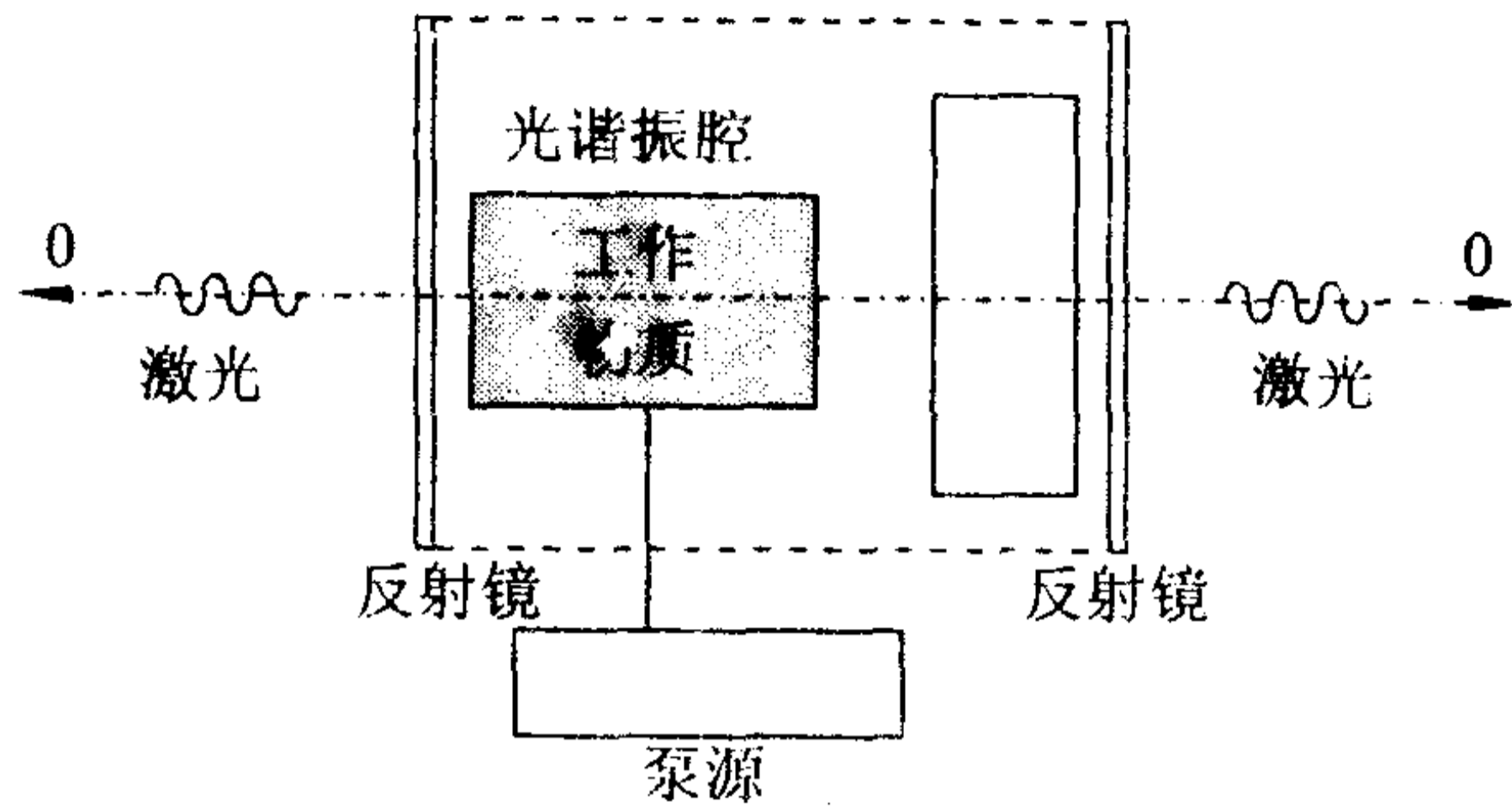


图 2-3 激光器的结构

为有一定强度的激光。

激光器在粒子数正常分布情形下,发出的光与普通光无异,光的频率、方向、位相等均有多种可能,因此这种光是比较无序的,而反转分布情形下发出的激光各方面都比较严格地一致,是高度有序的。由发出普通光到发出激光的过程便是一种进化过程。从这种简单进化过程中,我们可以发现一般进化的共同条件和大致步骤。

第一,得以实现进化的物质系统都必须是一个开放系统。热力学第二定律告诉我们,一个孤立系统的熵一定会随时间变化而自发增大,直到熵最大为止。一只激光器,如果取消了它的泵源部分,系统只能处于粒子数正常分布状态,无论如何也不能发出激光。同样,一个生命个体,如果不能摄入物质、能量,也不能排出废物,生命将走向终结。有序的伯纳德对流,一旦失去能量输入、输出,对流就会随之停止。可见,一旦失去开放性,没有和外界环境全面的物质、能量、信息交换,物质系统非但不能走向更加有序,连原有的序也会失去。

第二,物质系统要实现进化,还必须处于远离平衡的状态。在激光器中,泵源输入功率太小,原子就仍处于粒子数正常分布的近平衡态,不足以使原子之间形成协作。只有输入功率足够强,使系

统到达粒子数反转分布的远离平衡态时,激光才可能发出,在伯纳德对流系统中,必须让系统处于两个温差足够大的热源之间,系统才能达到远离平衡态,进而形成规则对流。有关理论研究也表明,平衡态系统不会自发离开平衡态,而近平衡的开放系统的自发发展方向通常不外乎平衡态或定态(不平衡但状态不再随时间变化,熵产生率 ds/dt 最小的状态)。开放物质系统要走向有序,必须先以外界的力量使它远离平衡区和近平衡区,到达远离平衡的状态。非平衡是有序之源。

第三,形成有序结构的系统整体上须符合远平衡开放条件,就要素而言,则需要素之间存在非线性相干协作。如果系统内各要素之间只存在线性作用,要素的功能“合力”就只是量的增长,而不会实现质的突变。激光器的发光便是一个极好的例证,发光原子若各自发光,线性叠加,所得到的无非只是强度增大一些的自然光。只有原子产生非线性作用,才能形成位相、频率等均一致的激光。非线性的相干作用,还使系统在突变的临界点上出现多个可能的发展方向(相应的非线性方程表现出多个分支解),像激光器这样在临界点上只有一个未来发展方向的物质系统是非常特殊的,这是因为我们人为地设置了某些选择过程造成的。物质系统在进化过程的一系列临界点上都拥有多个分支,于是形成了“分叉树”(如图 2-4)。

第四,系统中的正反馈可以促使系统的突变迅速被放大,形成非线性相干效应。激光工作物质原子中若绝大多数都处于高能态,几乎每一个激光光子在行进过程中都会碰上高能态原子,进而造成受激辐射,导致激光光强的倍增。在激光器刚刚发出激光时,每一瞬间的光强都是上一瞬间那个较小的光强诱导造成的,而这时的光强又可以诱导产生更大的光强,这便是典型的正反馈。化学的自催化反应中,生成物可以成为催化剂,于是反应速度也越来越快,形成宏观有序的化学行为。正反馈对于进化的意义在于,它能

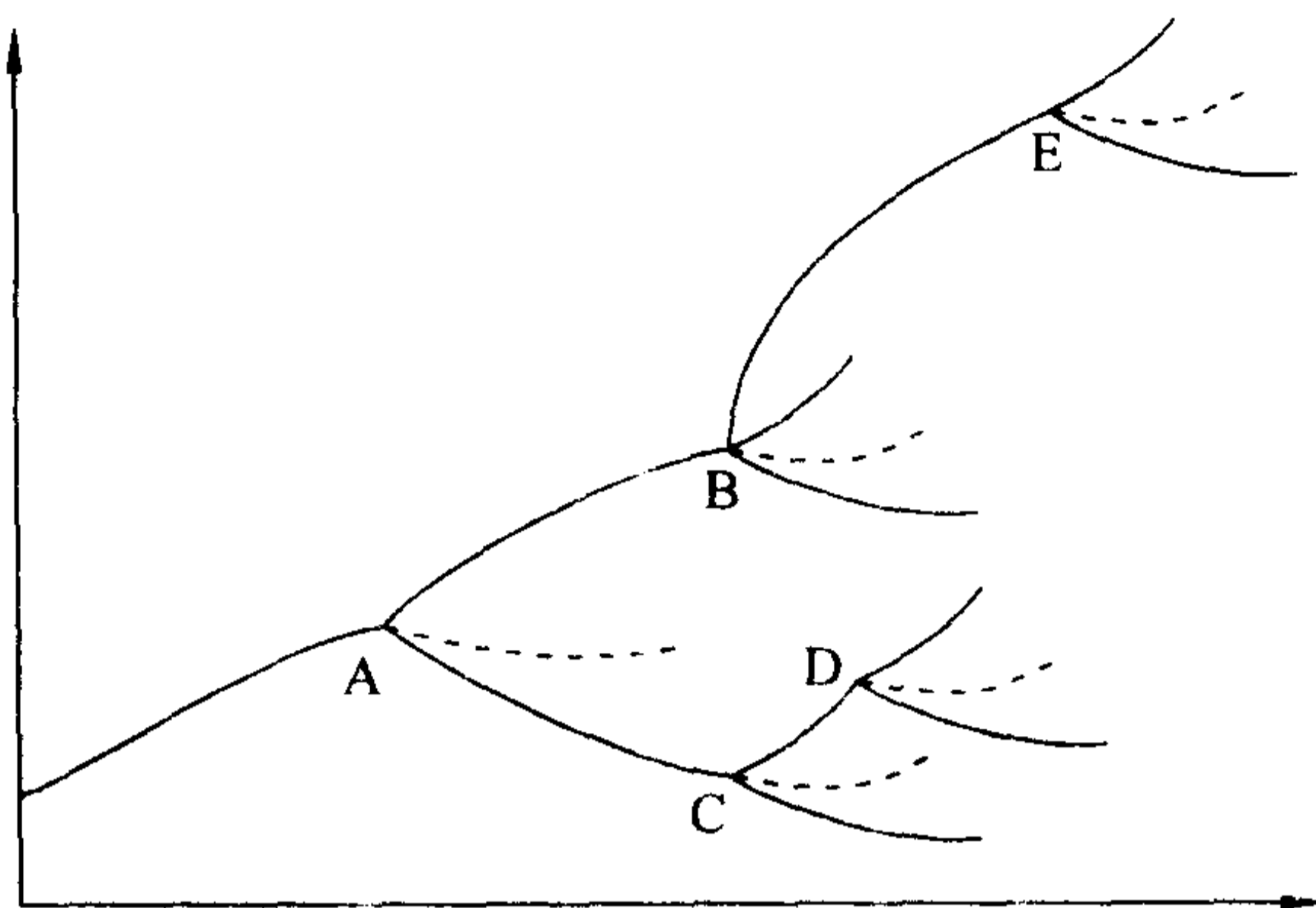


图 2-4 物质系统进化“分叉树”

图中虚线表示原先状态失稳，

实线代表进化方向，A、B、C、D、E 均为临界点。

使微观要素协同造成宏观秩序。

第五，涨落是一切进化过程的质变起点。涨落是系统对宏观统计平均状态的微小偏离，它是随机的、偶然的。对于平衡态系统而言，涨落会被自动收敛，但在进化的突变临界点上，涨落会放大，直接导致系统向有序过渡。例如，激光器中少数光子的协同便是对原子完全自发辐射的微小涨落，当粒子数分布正常时，这些协同的光子很快会被吸收掉，而在粒子数反转的临界点上，协同光子的强度会被进一步放大，最终形成激光束。

以上这些进化的条件和大致过程，已由自组织理论给出了一般的理论证明。虽然我们的有关说明是定性的和具体的，但不能因此否认自组织理论的普遍意义。比较图 2-4 给出的进化分叉树与图 2-2 中的生物进化序列，可以发现两者的相似之处，这便印证了自组织理论所描述的进化机制具有一般性。自组织理论的成果，使前面提及的生物进化论与热力学第二定律的矛盾迎刃而解，孤立系统的退化与开放系统的进化在同一理论模型中得到解释。当然，

要将自组织理论用于一切进化过程的具体描述,目前仍是困难的。尽管如此,自组织理论对我们形成更全面、更正确的演化观,仍有不可替代的作用。

二、进化与退化的关系

进化与退化是演化的两个方向。当代科学的发展,使我们更多地看到物质系统进化的一面,如宇宙演化中,弥漫的星云进化成为星系;生物演化中,简单生命进化成复杂的生命。对进化的深入研究表明,进化与退化是不可分割的,两者存在密切的具体关系。

首先,我们看到绝对的进化与退化都是不可能实现的。进化不可能是绝对的。弥漫的星云可以进化成天体,但构成星云的物质不可能完全发展成星系。宇宙间只要有空间就有物质,任何一个局部都会保持一定的离散度。热力学第三定律更明确指出,绝对零度是达不到的,宇宙中的进化不可能达到一个完美的极限。而退化也不是绝对的。控制论创始人维纳曾指出,虽然整个宇宙有熵增加的趋势,但某些局部仍会出现自组织现象,这些局部的发展方向和整个宇宙的发展方向相反,同时它们内部的组织程度有着暂时和有限的增加趋势。在宇宙中,进化与退化是共存的。

其次,进化与退化常常包含在同一个过程当中。人的产生是进化的结果,但人在进化中,结构与功能也有局部退化的地方,如人的盲肠已丧失了功能,作为人类祖先的动物所必备的尾巴,在人类身上也仅剩几块愈合在一起的尾骨而已。在基本粒子组成原子、分子、生命的过程中,一方面物质系统的有序程度提高了,另一方面物质系统适应能力却下降了。非平衡态系统的进化理论还揭示,某些系统由于控制参量的改变,会由有序态进入混沌态,从宏观时空结构看,系统的有序程度下降了,但从微观的时空结构看,系统的有序程度却上升了。例如,水流绕过圆柱体流动时,流速达一定阈值,圆柱体后侧,便会形成对称性旋涡的有序结构;但随着流速的

进一步提高,却会使旋涡出现动荡,甚至形成湍流,于是该系统就进入混沌。这种混沌便是多个尺度上的系统特征“嵌套”在一起造成的,它完全不同于平衡态的无序,而是进化与退化交织在一起的表现。

再次,系统的进化是以环境的退化为代价的,向熵减少方向演化的系统必定是一个开放系统。对于开放系统而言,熵的变化 dS 将由系统内部的熵产生 $d_i S$ 和环境的熵输入 $d_e S$ 决定的:

$$dS = d_i S + d_e S$$

上式中 $d_i S$ 表示系统的内部熵产生,该项不可能小于零; $d_e S$ 表示环境对系统的熵输入(亦称“熵流”)。系统的总熵要减少,就必定要从环境中输入负熵流,这意味着系统必定要向环境输出正熵流。可见,开放系统变得更加有序,必定以环境某些方面变得更加无序为条件,进化以退化为代价。人类社会的进化往往是以生态环境的恶化为代价,一个人的生存需以消费有序的物质为代价。甚至在人类认识领域中,也存在进化以退化为代价的现象,例如量子力学的互补原理指出,对一个物理量的精确测量,便意味着不可能得知另一个相关物理量的精确量值。

进化以退化为代价,是每一个当代人应当确立的观念。因为在人类本身发展极其迅速的今天,自然界的资源、能源正在迅速耗散,环境也在迅速恶化。我们应该将进化以退化为代价的观念视为当代自然观的一个重要内容,深入思考人类某些重大行为的代价是什么。

另外还需说明,尽管我们认为进化的作用是积极的,而退化作用主要是消极的,但这只是就整体而言,从一个具体的退化过程看,它与进化的结合也会使这个世界变得更加丰富多彩,如海洋中的鲸类便是陆生动物向水生动物退化的产物。而从一个具体的进化过程看,它也可能由于代价过大,使这个世界更加荒凉、寂寥。

三、偶然性在进化中的意义

“任何一个被我们称之为偶然的東西，其唯一的原因都是由于我们缺乏完备的知识”，17世纪荷兰哲学家斯宾诺莎的这一论断曾为许多人所接受。人们一般认为：自然界中的一切是由必然性控制的，偶然只是人类认识的盲点。科学追求的是规律，而规律如不是完全必然的，便是尚不完备的知识。牛顿经典力学显然增强了人们对必然性的信念。拉普拉斯式的决定论认为，只要知道了每个质点的某一瞬时位置和速度，就可以推知宇宙过去和现在任意时刻的具体情形。这种宿命的决定论将存在与演化中的一切偶然性都排除了。

然而拉普拉斯的论点看上去虽毫无疑问，却很快受到了来自科学本身的挑战。18世纪法国数学家克雷洛在研究三体之间的引力问题时，发现不可求解现象。20世纪初，彭加勒等人也发现，牛顿力学方程只有在处理单体及两体问题时，才可能得到精确的解；当处理三体及多体问题时，由于物体之间复杂的相互作用，使微分方程不再可积，便不可能得到精确解了。彭加勒还注意到，系统中初始条件的细微变化会导致巨大的差异，使运动呈现不规则、不确定的特征。“初始条件的微小差别在最后的现象中产生了极大的差别；前者的微小误差促成了后者的巨大误差。预言变得不可能了，我们有的是偶然发生的现象。”^①这些足以说明，牛顿力学等只承认必然性的科学规律，是只对某些物质层次、某些具体模型才适用的规律，更广泛、更全面地看，偶然性也是不容轻视的。

当代许多学科的发展，使我们对偶然性作用的认识深入了。统计力学表明，宏观体系的行为不完全取决于描述个体行为的规律。量子力学表明即使在基本的物质层次上，偶然性也是存在的。曾经

^① 彭加勒.《科学的价值》，光明日报出版社，1988：390.

深入人心的爱因斯坦的名言“上帝不掷骰子”，并未受到科学的支持。特别是在自组织理论揭示的演化规律中，偶然的涨落和干扰在进化过程中的重要作用得到了确切的承认，我们从中可以得到许多启示。

涨落曾被认为对系统的行为没有决定性作用，但在非线性远离平衡条件下，当物质系统达到临界点时，微小的涨落在非线性相互作用下，会导致系统向全新方向演进。例如，当激光器内工作物质已达到粒子数反转时，它将可能发出激光，激光的光强变化可以用下式表示：

$$\frac{dI}{dt} = (D - A_c)I - \beta I^2$$

其中 D 、 A_c 和 β 分别为增益系数、损耗系数和饱和系数； D 和 A_c 的值显然与粒子数分布有关，当粒子数反转时， $D > A_c$ 。方程有两个定态解：

$$I_1 = 0, I_2 = (D - A_c) / \beta \text{①}$$

上述 I_2 解表明，激光光强将由极小开始放大，直至达到 I_2 值，这是易于理解的。 $I_1 = 0$ 则意味着，即使粒子数已经反转，系统已达到临界点，系统在理论上仍可能不发出激光，这是为什么呢？其实， $I_1 = 0$ 正好对应于系统中尚未出现涨落的情况。如果不出现初步的、微弱的协同，正反馈机制便不能发挥作用。只有当激光光强出现对“零”的微小偏离，它才可能被进一步放大，激光光强才能由 I_1 过渡到 I_2 ，实现进化，这个微小的偏离便是涨落，它的出现是随机的、偶然的。

可以说，是偶然性，而不是必然性在进化的关节点（即系统的临界点）上起了决定性作用。当系统到达临界点时，何时实现质的飞跃，是偶然的；当一个关节点上有多个进化分叉时，系统进入哪

① 沈小峰等.《耗散结构论》，上海人民出版社，1987.

一个分叉也是偶然的。正是因为偶然性的关键作用，生命、思维、社会、经济等复杂系统的发展变化，在许多细节上是难以预料的。

偶然性不仅在进化中的确存在，而且必然性一般不能彻底排斥偶然性；有时，偶然甚至是由必然转化而来的。在当代系统科学非常关注的混沌现象中就充斥着偶然性。令人吃惊的是，这里的偶然性正是来自于必然性。著名的“费根鲍姆序”表明，体系在外部参量随时间的变化中可以从简单、规则、有序的周期行为走向复杂的、偶然的非周期行为，这是由于周期无限地加倍造成的。例如，一个非线性电子线路，输入低电压时，输出电压与输入电压一样。但随着输入电压的增加，输出电压频率会经历二分频、四分频、八分频等等的变化。当输入电压超过某一阈值时，输出电压会具有各种倍周期频率，这些频率相互套叠，使系统进入混沌，输出电压整体上便不再有明显的周期。描述这种过程的数学方程也表明，不包含偶然因素（无随机项）的非线性方程，经多次迭代，方程的解就会出现不确定性，使系统进入混沌。可见，即使某些规律在形式上是完全必然的，它也可能包含着偶然性。

从只承认自然界及科学规律中的必然性，到承认并重视偶然性，是科学发展促成的一个自然观方面的重要转化。然而，我们不能走向另外一个极端，否定必然性。应该看到自然界有多个层次，演化包含众多具体过程，许多层次、许多过程仍是受必然性支配的。

例如，根据力学规律，我们可以非常精确地预知或推测今后及古代的日月食时间，这便是必然性的证据。还应看到，物质系统的进化过程是一个必然与偶然交替起支配作用的过程。如一个系统由于控制参量的改变而逐渐远离平衡态，这是必然的；而在临界点上引起质变的涨落又是偶然的；经涨落放大后进入某一进化分叉后，系统的发展又呈现出必然性。必然与偶然对进化而言缺一不可。我们尤其不能忘记，偶然往往来自于必然，而大量的偶然中也

很可能体现出必然的特征,统计力学及混沌理论均表明了必然与偶然是可以互变的。如果偶然中不存在必然,它就真的会成为科学的禁区,认识的盲点。

必然与偶然之间的关系正如恩格斯总结的那样,“偶然的东​​西是必然的,必然的东西自己规定自己为偶然性;而另一方面,这种偶然性又宁可说是绝对的必然性”。^①

四、自然界演化的周期性

周期性是指事物随时间的变化而向其原来的出发点回归,这不是简单的回复,而是辩证法所说的否定之否定。具体而言,周期性不同于可逆过程的自发无条件复归,也不是指简单宏观系统(如单摆)的复归,而是复杂物质系统整体上呈上升趋势的复归。

物质系统演化的周期性,体现在自然界的多个方面。天体演化所经历的“星云——恒星——星际弥漫物质——新一代恒星”的历程,全球气候经历的“温暖期——寒冷期——温暖期”的演化,均体现出这种周期性。演化的周期性正受到越来越多的科学证据的支持。例如,现代天文观测发现宇宙中存在着和弥漫物质在一起的早期恒星及某些似云非云、似星非星的天体,这表明新一代恒星仍在形成当中,整个恒星演化不是一次性过程,而是有多个周期、多次循环的过程。

然而,宇宙及物质系统的演化有终结吗?这一问题具体的科学证据难以回答的。历史上,克劳修斯曾将热力学第二定律用于宇宙,得出了“热寂说”。在同意能量守恒并可以发生转化的前提下,克劳修斯认为能量的正转化相对于负转化占有绝对优势。所谓正转化就是能自发进行的转化,如热不能自发转化为机械能,却可以由高温区自发流向低温区,而负转化是不能自发进行的过程。例如

^① 恩格斯.《自然辩证法》,人民出版社,1971:198.

要将水与水中杂质以过滤等方式分离开来,你就必须先以其他能量转化为动能,让水流动起来,这样正转化中就有了负转化。所以正转化总是超过负转化。这个宇宙中各种能量将转化为机械运动,而机械运动又将转化成热运动。由于宇宙可以视为一个孤立系统,因此,热将在保持机械平衡的物质中平均分布,以后便不再有任何变化了。这说明宇宙中最后虽然仍有热,但是却没有宏观定向的热运动了,宇宙将处于死寂的状态,而且是熵最大、最混乱的状态。英国科学家金斯是这样理解宇宙的热寂状态的:“能量还是存在着,但已失去了一切活动的的能力,它无力再使宇宙运动起来,正如一潭死水不能使水车运动起来一样,我们将处于一个死寂的、虽然也可能是热的状态。”^①

热寂说如果的确成立,那么宇宙的演化发展中必定有一个终结,周期性也将不复存在。针对热寂说,麦克斯韦曾设想过著名的麦克斯韦小妖,来实现没有正转化伴随的负转化。玻尔兹曼则认为第二定律对于有限孤立系统是正确的,但不是绝对的规律。他指出自然界有可能出现起伏的运动,破坏热平衡。恩格斯则指出,热寂说无论以什么形式提出来,实质上都是说:“能消失了,如果不是在量上那也是质上消失了。”^②

应该指出,热寂说不能视为一个自然科学的具体结论,而是一种自然观假说。它将宇宙看作是孤立的体系,并且将原来适用于宏观系统的热力学第二定律用于宇观系统,因而热寂说不会立即导致科学的全面危机。然而克劳修斯毕竟提出了一个难以回答的问题:离散度越来越高的能量(还有物质),是否可以再次聚集起来?麦克斯韦小妖假说已经被布里渊等人否定了,玻尔兹曼的批评也只是原则性的。如果完全接受热寂说,承认宇宙发展有一个终局,

① 转引自林德宏.《科学思想史》,江苏科技出版社,1985:237.

② 恩格斯.《自然辩证法》,人民出版社,1971:262.

我们也将面临另一个难题：这个宇宙开始时的运动是由何而来的呢？热寂说成立与否，直接关系到演化有无终点、层次结构是否会最终解体，也关系到演化的周期律在宇宙整体演化中是否成立，因此不容忽视。极端的论断会促使人们更深入地去思考，从这个意义上说，热寂说还是有其积极意义的。

恩格斯猜测：“放射到太空去的热一定有可能通过某种途径（指明这一途径，将是以后自然科学的课题）转变为另一种形式，在这种形式中，它能够重新集结和活动起来。”^①今天的自然科学已经在这方面取得了一定的成就。弗里德曼在解爱因斯坦的引力场方程时，得到了一个“闭模型”解。按照这个解，宇宙在膨胀到某一最大体积后，将开始收缩，温度也随之升高，能量、物质再次聚集起来，到当初的演化起点，然后再次进行新一轮宇宙演化。“闭模型”的解也受到一些关键事实的支持，如果此解成立，那么演化的周期性在宇宙演化中也是成立的。自组织理论已揭示了远离平衡态系统的进化机制，而今天的非平衡态热力学也正在探讨近平衡态系统相变的理论机制。有关研究终将揭示弥散的物质和能量重新聚集起来的途径，从而在根本上揭示宇宙及各个物质层次的演化非但存在周期性，而且存在无限循环的可能。

人们在初步认识了演化现象之后，说明演化机制的热力学理论却将“热寂说”的难题放在我们面前，今后自然科学理论及有关哲学探讨肯定会解决这一难题。但很可能，另一个更大的难题又会随之出现，关于演化的思索永远不会因为阶段性成果而停止，自然观的发展也有周期性特征。

^① 恩格斯.《自然辩证法》，人民出版社，1971：23.

本章进一步阅读书目

1. 沈小峰等. 耗散结构论. 上海: 上海人民出版社, 1987
2. 王德胜等. 自然辩证法范畴论. 北京: 北京师范大学出版社, 1986

复习思考题

1. 演化包含哪些内容? 物质系统实现进化的条件有哪些?
2. 为什么必须重视偶然性在演化过程中的作用?

第三章 人与自然界的共存

人是自然界的生物物种之一。自从自然界中分化出人类以后，世界的历史就可以称为人和自然关系的变革史。人类的出现不仅是生物进化的一个重大飞跃，而且对除人之外的那部分自然界也有重要意义。人依赖于自然界而存在，自然界又受到来自人类的极大影响。研究自然界的现状与未来，必须考察人与自然的关系，因为人类已成了一种可以改变自然界演化进程的重要力量。对人类自身未来的思索，也离不开对人与自然界关系的认识，因为归根到底，人还是自然界的一个部分。

第一节 人与自然的相互依存关系

一、人类从动物界的分化

人类的产生，是自然界演化发展、生物界长期进化的结果。生物进化到一定阶段，出现了以树栖生活为主的森林古猿。后来由于地理、气候条件的改变，使森林大面积消退，古猿被迫在地面上求生存。于是在长期而残酷的物竞天择中，古猿的形体结构和生活习性发生了很大改变。强化了直立姿势，而前肢可以使用天然工具，树栖素食习性被肉植兼食习性所代替，群居协作也成为抵御敌害和捕食动物的必要保证。伴随上述变化过程，它们的智力水平、思维能力也都有了极大的提高。于是，人类作为一种新生物物种诞生了。

各门生命科学已为人源于动物界提供了充分的证据。首先，比

较解剖学证明,几乎人类的所有的的主要器官同脊椎动物(特别是哺乳动物)是同源的。如人手的骨骼同陆生脊椎动物的前肢结构同源,人类与类人猿无论在外形和内部构造上都很相似,这只能用人与动物有共同起源来解释。其次,比较生理学表明,人血与猿血最为接近,与别的灵长类动物也较接近,与其它哺乳动物就相差更远些。再次,生物化学与分子生物学对各类生物细胞色素 C 的氨基酸成分分析,也反映出各类动物与人的进化亲缘关系,愈是接近于人的动物,其细胞色素 C 与人的成分愈相似;黑猩猩和人的细胞色素 C 的氨基酸成分完全相同,猕猴和人在这方面则存在一个氨基酸的差别。除上述科学证据外,胚胎学与古生物学也从不同角度说明了人的进化历程。

人类的产生过程也是人从动物界分离出来的过程。但生物学意义上的人的产生,还不意味着人已从动物界中分离了出来。据考古研究,人的产生经历了古猿、猿人、古人、现代人等几个环节,旧石器时代古人的头骨化石就具备了现代人的特征,但严格讲,那时的古人类只是具备了近似于现代人生理特征的一种动物而已,因为那时的古人类虽然已开始发展自己的能动性,但依旧较多地服从纯粹生物学规律。普通动物一般只能消极地适应自然界,正如恩格斯所说:“猿群满足于把它们由于地理位置或由于抗拒了附近的猿群而分得的地区的食物吃光。它们从事于迁移以及和附近的猿群的斗争,以获取新的食物地区,可是除了无意识地用它们的粪施一点肥,它们就没有能力从这个食物地区得到比自然界所供给的数量更多的东西。”^①“动物仅仅利用外面的自然界,单纯地以自己的存在来使自然界改变;而人则以他所引起的改变来迫使自然界服务他自己的目的,来支配自然界”。^②

① 恩格斯.《自然辩证法》,人民出版社,1971:153.

② 恩格斯.《自然辩证法》,人民出版社,1971:153.

今天的人类,之所以能区别于猿和其他动物,是劳动造就的。劳动是人对自然界的自觉的能动性活动。一般认为,劳动是从制造工具开始的,工具的出现“意味着人所特有的活动,意味着人对自然界进行改造的反作用,意味着生产。”^①更准确地说,只有当使用制造的工具成为占主导地位的生存方式时,才有了真正意义上的劳动。而此前原始人类的进化中,尽管他们使用和制造工具的能力也在增强,但此类行为与动物的某些类似行为能力尚无本质差别,例如黑猩猩在搏斗与捕食中也会利用树枝,甚至还会改变树枝形状。应该说,古猿、猿人等所进行的只是“准劳动”。“准劳动”虽未使人最终实现从动物界的分化,但却是实现分化的前期途径,因为没有“准劳动”,就不会有劳动。

真正的劳动及“准劳动”使人从自然界分化出来,这是因为劳动促进了人的器官功能的分化、语言的形成、智力的发展,更重要的是劳动具有社会性。社会性决定了人在与自然界相互作用的过程中,必须进行协作,这就逐渐形成人类的社会关系及存在于社会关系中的社会规律。人一旦受到社会规律和生物规律的共同支配,就彻底摆脱了纯粹动物阶段,而成为一种社会的存在。社会化的人可以通过整体的主动索取活动,去改变自然界,这时的人类便不再是一个只会消极地去适应自然界的生物物种,而是能不断发展自身的能动能力、与除人之外的自然系统进行平等相互作用的特殊物种。

劳动虽然造就了人的社会性,但真正的劳动与社会性一样,经历了一个逐渐形成的过程,劳动在造就自身的过程中,也造就了社会性。一旦使用制造工具成了占主导地位的生存、生产方式,人的社会性也就趋于成熟,标志人与动物根本内在差别的能动性也初步形成。真正的劳动是人从动物界分化过程的里程碑,但这个里程

^① 恩格斯.《自然辩证法》,人民出版社,1971:19.

碑本身却是经历一个漫长的过程而形成的。因此，人从动物界分化出来这一结果是明确的，但具体的时间界限却是模糊的。

二、人与自然界关系的变迁

人类社会是经历漫长的发展过程而形成的，它形成之后，也仍处于不断的发展之中，人与自然相互作用方式也同样经历着不断的变化与发展。人与自然相互作用的历史大致可分为采集狩猎阶段、原始农业阶段、传统农业阶段、近现代工业阶段等。

在跨度达二三百万年的整个旧石器时代中，人类主要靠采集和狩猎手段从自然界获取现成的物质和能量。这一时期是人从动物界分化出来的临界时期。在采集和狩猎阶段的大部分时间内，人仅仅是生态圈中一个普通环节，其生存、繁衍基本上由自然界（尤其是生物界）自身的规律所支配。人们并未进行生产活动，对赖以生存的食物生长加以干预，只是靠采集天然的植物、捕鱼、狩猎活命。人们在获取食物的过程中使用了天然的、简单的石块和木棒，至多只是对天然器物加以极小的改造，这时的劳动只是使用天然工具和使用制造简单工具交叉进行的“准劳动”。人的食物资源和其他生存资源仅限于自然界的恩赐，而人消费所产生的剩余物也是自然界所能完全同化的。当时的人还没有今天意义上的价值观念、社会制度，但已出现了社会化的萌芽。在“准劳动”的过程中，人一般采用群体协作的方式来适应严酷的环境。群体内部，成员们相互合作来与自然界抗争，以维持低水平的供需平衡。采集狩猎阶段中，人基本上还是消极地去适应自然，并未主动地去索取，只是在获取手段上有了小小的进步。因此，人这时尚未完成从动物界的分化，人与自然的关系也没有表现出尖锐的对立。

在大约1万年以前开始的新石器时代早期，人类开始进入原始农业阶段。随着农业的萌芽、发展，人类开始利用种植、养殖所获得的成果生存，天然食物虽然仍很重要，但所占比例却有所下降。

原始农业的出现,是以制造工具的水平 and 规模的进步为条件的,最早的农业耕作以新石器时代的石刀、石铲、耒耜等为主要生产工具,离开这些工具,农业生产几乎是不可能的。在这一阶段,制造工具已逐步占据了主导地位,制造工具的质量、功能、数目与旧石器时代的制造工具相比有了质的进步,真正意义上的劳动也就出现了。于是,人彻底地从动物界中分化、独立了出来。人的独立有多方面的表现,就社会形态而言,原始的公有制氏族社会形成了;就人的能动性而言,人已不再消极等待自然的恩赐,而是通过生产去改造自然界,去主动地索取,人与自然相互作用方式已发生了根本变革。

人的能动性对人类未来意义巨大,但它并不是一开始就能给人类带来富足,原始农业生产的技术水平与产量都是低下的。人类最初只是将种子播在地里,任其自然生长而已,后来有了刀耕火种、抛荒轮作等方法,但产量仍极其不足。这决定了原始农业阶段人口规模不可能很大,人均消费不可能很高,人的需求也尚不足以构成对自然界太大的压力。原始农业生产规模、方式不会对自然界产生强烈的扰动,生产、消费也不会产生自然界不能同化的废物,因此,原始农业阶段人与自然的关系依旧是和谐的。不过我们应该记住,这种和谐是以人的低密度、低消费为条件,以人在疾病、洪涝、干旱及战争等不可知灾难面前束手无策为代价的。人类在这一阶段尚未彻底改变在自然面前的被动地位,人类也显然不能满足于原始农业阶段人与自然的低水平和谐。

人类对自然界的大规模改造开始于传统农业阶段。相对于原始农业阶段而言,传统农业的技术与产量均有了大幅度的提高。从工具质料上看已从石器向金属过渡;从工具种类上看,也远远超过新石器时代的品种;从驱动工具的动力源上看,也由纯粹依靠人力,转向部分地依靠畜力、自然力。农业作物品种也走向多样化,而且粗放的播种方式也向精耕细作的方式转化。随着传统农业的发

展,传统的养殖业、畜牧业和手工业也发展起来了。由于生产力的发展、农业产量的提高,人口规模得以扩大,社会形态也向封建社会过渡。在传统农业阶段,人类虽已成规模地向自然界主动索取,但人类生产、消费所使用的资源,主要是气候资源、土地资源、生物资源,而社会产品也只是农业畜产品和初级手工加工产品,生产与消费中产生的废物仍是自然界可以降解的。因此,当时还不存在人与自然的大规模全面冲突。

当然,不和谐在这一阶段已初露端倪。传统农业的精耕细作方式需要较大规模的人口,人口数目上升反过来又需要更大的农业规模。农业规模的扩张可能会带来水土流失、森林草场减少、水源枯竭、盐碱化和荒漠化等“副产品”。可以这么说,在人类加强自己的能动性,从被动走向主动去迫使自然界适应于人类自身的同时,也就开始造就了人与自然之间的不和谐,有时这种不和谐在局部甚至十分严重。恩格斯曾谈及这样的例子,“美索不达米亚、希腊、小亚细亚以及其他各地的居民,为了想得到耕地把森林都砍完了,但是他们却梦想不到这些地方今天竟因此成为荒芜的不毛之地。因为他们把森林砍完之后,水分积聚和贮存的中心也不存在了。阿尔卑斯山的意大利人,因为要十分细心地培养该山北坡上的松林,而把南坡上的森林都砍光了,他们预料不到因此却把他们区域里的高山牧畜业的基础给摧毁了,他们更预料不到这样就使山泉在一年中大部分时间都枯竭了,而且在雨季又使洪水倾泻到盆地上去。”^①这正是传统农业阶段人与自然之间关系局部恶化的写照。

始于近代工业革命的近现代工业阶段是人类历史上人口增加最快,发展最迅速,财富增加最多,社会变动最剧烈的阶段。在这个阶段中,人类以前所未有的能动性力量,彻底地改造了自然界,进而造就了人在自然界面前的主宰地位。具体而言,人类消耗越来越

^① 恩格斯.《自然辩证法》,人民出版社,1971:158.

多的化石能源和其他矿产资源,使自己的活动强度和对自然界的干预能力有了巨大提高,自身的物质需求得到了较大程度的满足。然而,大量使用不可再生资源 and 能源及生产、消费过程所形成的一系列问题,也尖锐地摆在了人类面前。

总的来看,在人与自然相互作用方式的发展历程中,人由一个微不足道的普通物种,崛起成为一种与自然界对等,甚至很大程度上决定了自然界发展进程的力量,现代人与自然的关系,也表现出相互依存的特征。

三、人与自然的对象性关系

人的产生与人类社会的发展,使得人与自然的关系发生变化,最终造就人与自然相互依存相互制约的关系。人不可能脱离自然界而存在,而自然界的现状与人类的活动也是不可分的。

自然界在漫长的演化过程中,造就了人类。生命的起源、生物的进化、人类的出现与分化,都是自然界发展演化的结果。地球演化所造成的环境变迁,不仅为人类的产生提供了自然条件,而且,环境始终是人类赖以生存的条件。从物质方面看,自然界为人类提供了自然资源和空间。科学研究表明,人体是一个高度有序的系统,如果切断他与外界的物质交换、能量交换,他就只能走向死亡。自然界将人类所必需的空气、水、食物、温度、土地、森林、矿藏、阳光等许多东西源源不断地奉献出来,依靠这些东西,人不仅得以延续,实现进一步的生物进化,而且可以通过劳动来改造自然界,使之更适于人的生存发展。就精神方面看,人的认识必须以自然界为对象。心理学实验表明,如果将正常人的感官与外界完全隔绝,非但不可能进行认识活动,而且会使智力正常的人陷入幻觉和混乱之中,过长时间的“感觉剥夺”甚至会使人失去语言能力和判断力。

自然环境不仅对于生物学意义上的人必不可少,它还会直接

影响人类生产力水平、社会组织与制度等社会特征。例如资源总量与分布、内陆与沿海、平原与山地、热带与寒带的不同条件会显著地影响一个社会的经济类型、生产、生活方式。但就人类社会发展的全过程而言,自然环境的影响不会是最终起决定性作用的因素。

人离不开自然界,同样自然界也离不开人类。这个判断是就自然界的现状而言的,这并不是说,人类如果不存在了,自然界也就会随之灭亡;而是说,作为人类能动性活动的对象,自然界已经打上了人类的烙印。地球目前的状况不是纯粹的自然界演化的结果,人类也在起着重要的作用。人对自然界的影响方式是多种多样的。首先,人类可以通过大规模的水土改良、开垦梯田、砍伐树木、建立城镇、修筑水库等活动,有力地改造自然界本来的地表面貌。大规模的人工活动正在逐渐地改变地球表面的外观形态,形成新的地貌结构。其次,人类还通过开采矿产、开挖河流、排放废弃物、加工产品,改变了地球上的物质组分和自然界的物质流动方向。近现代工业阶段以来,人类对物质组分和物质流动的影响与日俱增。目前全世界每年开采的矿产总量达1 000亿吨,人类活动每年所造成的物质迁移总量也十分惊人,使用这些矿产、移动这些物质,对于自然界的后果是不言而喻的。目前人类所合成的化合物中有许多是以前自然界中从未有过的,即使是地球上原有的东西,其丰度也由于人类的影响而加速改变。根据南极冰层钻探实验,公元1700年以前,地球大气层中的二氧化碳浓度始终稳定在 270×10^{-6} 左右,而1988年的二氧化碳浓度已达到 350×10^{-6} 以上,从浓度上升趋势看,今后二氧化碳浓度将更快地增加。再次,人类还可以作为触发因素,改变自然界某些演化过程的方向和进程,这是因为人类的活动可以调整自然系统的内部状态,或控制某个关键因素。例如人类向大气中排放二氧化碳、甲烷等可以吸收长波辐射的气体,会造成“温室效应”,使全球气候变暖;通过排放温室气体,“扭转”了自然界原有的气候演化方向。另一种更为常见的情形是,自然界

业已进行的演化的速率会因为人的活动而加快。如人类活动每年在每平方公里地表可造成土壤侵蚀达 $1\ 500\sim 85\ 000\text{m}^3$,而天然原因造成的侵蚀只有 $12\sim 500\text{m}^3$;抗生素使用仅几十年,就已经出现了以抗生素为食的微生物,而通常情况下,进化产生这样的微生物需要上千万年。

人与自然之间相互依存、相互制约的关系,便是人与自然的对象性关系。虽然,任何其他自然物之间,也可能存在相互依存、相互制约的关系,但人与自然之间的对象性关系却比一般自然物(物质系统)之间的关系更进了一步,人由于自身行为的主动性、目的性、创造性(可统称为能动性),已占据了关系中的主动地位。能动性的人类活动——实践成了人与自然对象性关系的纽带。而在其他自然物的关系中,自然物只是以自身的天然属性相互适应,造成相互依存、制约的关系特征,这还算不上对象性关系。列宁说:“世界不会满足了,人决心以自己的行动来改变世界。”^①人的能动性是人区别于一般动物及其他存在物的内在标志,人的能动性实践活动也造就人与自然的对象性关系同一般物质系统之间关系的本质差别。

应当说明,人可以主动地改变自然界,可是这种改变的后果不太可能全部被事先预计到。在人对自然界的影响中,有一部分是人类有意识地造成的,而更多的却是无意识地造成的。如尼罗河上的阿斯旺大坝建成后,人类如愿以偿地得到了预计中的水利、电力,但大坝所引起的纳赛尔湖水资源的渗漏和蒸发,尼罗河下游两岸良田的贫瘠化、尼罗河三角洲及地中海生物资源破坏等一系列后果,均是人类始料不及的。人类活动的自觉或不自觉的后果,使作为人改造对象的自然界不仅按自身的趋势演化,也按人类活动的指向而演化。这些后果对人而言也具有双重意义,一方面人有意识

^① 《列宁全集》第38卷,第229页。

地为自己创造了更好的生存发展条件；另一方面，受人影响的自然界的某些演化趋势又直接危及了人类生存和发展的前景。人类本着美好的愿望种下“龙种”，却可能不自觉地收获“跳蚤”。归根到底，人与自然之间的对象性关系不仅意味着人的能动性，而且意味着人的受动性，即人仍是自然界的组成部分，人仍受自然规律的制约。“因此我们必须时时记住：我们统治自然界，决不像征服者统治异民族一样，决不像站在自然以外的人一样，——相反地，我们连同我们的肉、血、头脑都是属于自然界的；我们对自然界的整个统治，是在于我们比其他一切动物强，能够认识和正确运用自然规律。”^①人和自然的对象性关系的良性发展，必须以能动性与受动性的统一为前提，而能动性与受动性的统一，又以充分认识、正确运用自然规律为基础。

第二节 人与自然关系演化的新特点

一、人类的新进化

人和自然的对象性关系对人与自然双方都产生了深刻的影响，于是人的进化、自然界的演化及人与自然的关系的调节方式都表现出引人瞩目的新特点。

人类产生之后，进化过程并未停止，但是在目前的人类进化中，纯粹生物属性的进化已不再占主导地位了。当代人类的进化是在人的能动性充分发挥，社会迅速进步的基础上，通过人的社会属性改变而实现的新进化。这种新进化可能包含生理机能水平的提高，但当代人类机能水平的提高主要不是靠生物属性的改变，而是靠社会属性的改变来实现的。

^① 恩格斯.《自然辩证法》，人民出版社，1971：159.

古人类学告诉我们,在从人类祖先向人进化的过程中,其面部、脊椎、大脑及其他部分的特征都发生了很大变化,但早期的变化比较剧烈,而后期变化则比较平缓。以人最为重要的器官大脑为例,人类祖先古猿的脑容量仅为 500 多毫升,猿人的脑容量已达 1 000 毫升左右,而古人的脑容量为 1 500 毫升左右,以后的变化就不十分明显了,现在人类大脑体积依旧约 1 500 毫升。尽管古人类史分期仍有待进一步明晰化,但古猿—猿人—古人—现代人之间的时间间隔与脑容量变化的不对称,却是显而易见的。现代脑神经科学也指出,尽管现代人的营养条件、学习条件及外界信息的多样化有助于脑的发育、脑神经网络回路的形成,但人的脑结构却始终处于一个相对稳定的阶段;从结构和功能可塑性看,人的大脑早已达到了一个相当高的水平并基本稳定。有些学者直接了当地认为,人类由采集狩猎阶段直到工业化阶段,体质没有发生多大改变。^①

与人类生物属性进化趋势渐趋平缓极不相称的是,人类认识世界、改造世界的能力却在加速发展着。古代的长城、大运河、金字塔固然体现了古代人巨大的能动性,但这些工程与今天人们改造自然的速度、规模相比,却又显得微不足道。在人的生理机能基本上没有发生显著改变的条件下,人类靠什么使自己对自然界的影響力发生了质的飞跃呢?正是人的新进化。

人类的新进化可以分为体外进化与体内进化。体外进化表现为人以各种各样的工具延长肢体感觉器官和思维器官,或弥补综合生理机能的不足。人的体力是极其有限的,奔跑、游泳、攀岩、搬运的能力比许多动物均有所不如,人更不具备在空中自由翱翔的本领。但人可以用船只、汽车、起重机、飞机等延长自己的肢体,使

^① 张诗忠.《生物进化与人类进化的比较》,上海社会科学院出版社,1997,第一章.

得任何其他动物的力量、速度均相形见绌；人甚至可以借助于航天器，到达任何其他动物所无法企及的外空间。人的感觉能力在动物中也不突出。人的视觉只能觉察可见光波段，只能在几米内才分辨一根头发丝；耳朵能接收的声音也有频率和强度上的限制；人的鼻子不仅对气味的感觉能力不如许多野生动物，还易因气味的长时间刺激而导致灵敏度下降，出现“久而不闻其臭”的情况。但是人类借助于望远镜、显微镜、声纳、雷达、电子鼻，不仅使自己的感觉能力超越了所有的动物，而且感知的领域已由地表附近的宏观低速现象，扩大到了百亿光年以外的宇宙、纳米级大小的微观体系。人的思维器官经过长期进化，脑容量在灵长类中首屈一指，即使脑容量比人大得多的动物（如鲸、象），它们的脑神经细胞总数也远不及人类。人脑的神经细胞总数大约有 150~500 亿个，神经细胞之间的突触网络又异常密集，造就了人类非凡的推理、直觉、情感能力。然而人脑依旧有一些明显的弱点，如计算速度较慢，记忆容量有限，形成长久记忆较困难等。现在人的大脑也因信息技术的发展而得到了延长，计算机可以大大弥补人脑在计算速度和信息存贮方面的不足，而网络技术使得信息获得、传输效能有了质的飞跃。依靠这些延长，人得以在有关脑的生物属性进化较慢的前提下，实现了智力上的革命。人的综合生理机能也出现了体外进化趋势，例如人抵御寒冷不再仅仅靠毛发隔热、内脏和肌肉产热，利用房屋、衣服等可以延长人维持体温的功能。

人的体内进化则是人类精神世界的进化。精神世界的内容不是天生的，当然也不是大脑结构、机能水平决定的，而是与人的后天实践活动密切相关的，体内进化的内容包括思维方式的嬗变和知识水准的提高，这些具体的进化虽具有强烈的个人色彩，但又是以全社会的知识积累和教育为动力的。例如，在机械力学创立并成功应用于方方面面时，机械分析的思维方式便盛行起来；而当代人倡导的综合思维方式又是与信息科学、系统科学的发展密不可分

的。教育对人类知识水准提高的作用更是不可替代的。

无论是体内进化还是体外进化,与传统生物学意义上的进化均有明显的不同。首先,人类的新进化不是靠基因改变来实现的,新进化依据的是以科学技术知识为主体的人类知识的全面进步;因而新进化是无法遗传的,人类只能通过学习、实践来持续新进化。其次,从进化的速度看,人类生物属性进化的某些关键步骤可能是突然发生的,但整体过程却肯定要经历长的时期。相形之下,新进化则呈现出明显的加速趋势,这一点可以从人类历史分期中得到印证。归根到底,新进化的加速度来自于不断增长的知识提供的越大越大的原动力。第三,人类的新进化具有社会性特征,新进化与知识进步密切关联,但任何专属于某一个人的知识都不可能直接导致人类的新进化;只有当专属于个人的知识得到相当程度的普及,并与其他社会化的知识构成网络时,才会引起新进化。很难设想,一位高明的计算机专家若回到远古,他除了普及某些远古人类可能接受的初等知识外,还能做些什么。

人类新进化的直接作用是让人的能动性力量不断增强。人类生物属性的进化为新进化提供了必要的生理条件,但仅仅靠生物属性的进化,人类绝不会与其他动物有本质的能动性差别。随着时间的推移,人的生物属性的进一步改变对增强能动性力量所起的作用可能显得更加微不足道,而人类新进化的作用还会继续扩大。

二、人工自然的发展

人主动介入自然界的演化,导致了人工自然的产生与扩大。所谓人工自然指的是人的能动活动变革了的那部分自然界,具体地看,人工自然包括:受人类活动直接影响的那部分自然界及人利用自然界的质料创造出的自然界中原本不存在的人工自然物。

受人类实践活动影响的那部分自然界主要是生态环境,但目前实践活动也直接影响了外层空间等其他自然界的组成部分。今

后,实践活动肯定会对更多的物质领域造成直接的影响,这是因为人类的实践能力会因人类的新进化而不断增强。早期的人类是以“生态力量”影响自然界的,这种力量虽然不十分强,但已不同于普通动物以被动方式参与自然界的演化。如古代人的养殖、种植行为开始时只是对自然过程的模仿,但这些行为实际是对物种进行了人工的选择和有意地放大,由此导致的自然界局部变化已微弱地改变了整个自然界的某些演化进程,使自然界朝着有利于人类的方向发展。近代以来,人的能动性力量迅速增大,使得人类渐渐成为一种“地质力量”。按照人类的矿物开采量、货物运输量、物质及能量的使用量看,人对于自然界的影响已经可以与火山爆发、溶洞形成、造山运动等地质现象所引起的变化相当,因此称人类目前的影响力为“地质力量”并不过分。而且真正的地质力量推动的自然界的演化过程,大多数较为缓慢,而人类近期某些活动对生态环境的改变往往非常迅速,只有灾变性的地质力量才能与人类目前的影响力相提并论。

人工自然物指人类创造的新工具、新材料、人工建筑、人工智能机、人工信息、新生物物种等。人工自然物的内容不是一成不变的。总的看来,随着人类知识与实践能力的发展,人工自然物的数量与种类也在增多,而且人工自然物是人利用天然质料加工转换而成的,加工转换的深度(即加工转化所涉及的运动层次)也随人类认识与实践能力的变化而变化。最早期的人工自然物,主要是通过机械运动(如打击)改变天然物的外部几何形状得到的,后来的人工自然物的创造则更多地靠物理过程和化学过程来实现。本世纪的人工自然物的创造越来越多地涉及到生命运动和信息运动。这充分表明人类对天然物加工转化的深度增加了。随着人工自然物数目、种类及加工深度的变化,人工自然物的功能也在发生质的变化。于是,人工自然物在物质和精神上直接满足了人类越来越多的需要。从人的劳动过程看,如果没有人工自然物,人在与自然界

打交道时,就不得不承担控制机、操作机、动力机的三重角色,今天的人类已经不再以自己的体力作为主要动力源,不再以双手作为主要操作“工具”,并正在越来越多地让计算机承担控制生产过程的任务,而人类自己正在从重复性的劳动中解脱出来。还应该指出,人工自然物是由人创造的,人是人工自然物的纽带和发展驱动者,只有当人存在时,人工自然物才能进一步发展,一旦人类不复存在,人工自然物便会混同于整个自然界当中,消极地参与自然界的演化。

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

目前,有关对象性关系条件下自然界的演化规律的研究正在深入。有些学者主张用“智慧圈”、“文化进化”、“知识进化”等概念来讨论自然界演化的新趋势。这些观点虽然尚不成熟,但却可以解释许多问题。譬如,只有用文化进化、知识进化中的加速度规律,才能合理说明人工自然演化中的加速趋势。更重要的是智慧、文化和知识都离不开人,强调它们在人工自然及全部自然演化中的作用实际上是强调了人的作用,换个角度看,就是强调了人工自然演化是外部指令导致的“他组织”过程。“他组织”可以加快自然界的演化进程,使自然界演化方向出现前所未有的趋势,但“他组织”指令

来自外部,就十分容易导致自然系统诸要素之间的不协调及人与纯粹自然之间的不协调。

三、人与自然关系的新变化

人对自然界演化的“他组织”作用,意味着自然界中原有的状态和进程受到了干扰,这种干扰很可能使自然界失去平衡。这里所说的平衡,指自然界各主要系统都可以稳定存在的状态,随人的活动力度不断加大,自然界的平衡在越来越多的领域内被打破了。

自然界在自身的长期变化中,达到了奇妙的自洽,因此能较长期地稳定存在下去。例如人生存的直接环境(生态系统),是由非生命环境、生物的生产者、生物的消费、生物的分解者共同构成,每一个环节与其他环节维持着动态平衡。这种动态平衡不是热力学意义上的平衡,生态系统恰恰是一个远离平衡态系统,其中生物与非生命环境之间、植物与动物之间、动物与动物之间存在着物质、能量的循环,并且因此存在着反馈、协同机制,使系统可以稳定地存在下去。如果人类的行为对任意一个环节构成较强的干扰,都可以导致原有的平衡被打破。例如,在某些地区,人们为了保护珍贵的草食动物,就有意猎杀肉食动物,这样便导致了草食动物数量的膨胀,过多的草食动物会将它们赖以生存的植物资源消耗殆尽,进而整个区域的生态系统就会崩溃。

非平衡的系统面对干扰很可能失稳,而人类能动活动肯定会形成对自然界某些方面的干扰,因为人的行为会放大自然界的涨落。一旦干扰被放大到突变的临界点附近,原有的动态平衡状态失稳,自然界就会向新状态过渡,而这往往对人类是不利的。更为严重的是,当代人类对付自然界不利于人的变化的主要手段就是进一步地扩大人工自然,例如面对着植被破坏所引起的干旱,人类所采取的措施通常是从更广的领域内用更加有力的手段攫取水资源。面对全球气候变暖,人们最常见的办法,就是用人工手段营造

一个最适宜于人的小气候。这些做法几乎无一例外地会加剧自然界的环境恶化,使得人类不得不更沉溺于人工自然的进一步营造,最终导致人与自然关系由初步不协调走向恶化。

人类打破自然界的平衡并不是从现代才开始的。有人甚至认为,从远古时代的猎人与农夫开始,人类就开始了推翻自然界平衡以利于自己的活动。然而,古代人只能破坏自然界某些局部的平衡,而且一旦破坏程度加剧,这种破坏便以人口大量消亡的方式得到抑制。以传统农业社会为例,“人工自然扩大—人口增加—自然界平衡被打破—社会动荡—人口消亡—再次营造人工自然”的调节模式曾多次发挥作用。在工业化阶段以前,人类对自然界平衡的影响是局部的,上述调节模式的存在,也是因为人尚未完全占据人与自然关系中的主导地位。而近现代科学技术和社会制度等方面的进步却使人类完全占据了主导地位,人成了自然界的主人。这时人类对自然界平衡的破坏作用已涉及到生态环境的方方面面,但人类总体上有能力维护人的生存以及人的生活质量,于是过去的调节模式便失效了,自然界危机进一步加剧成了人与自然关系恶化之后的唯一代偿方式。

由于人类已有能力在一定时间内维系自身的存在与发展,人口会进一步增加,人类知识也会继续加速增长。人口压力导致了扩大人工自然的紧迫性,人类知识又为人工自然的迅速扩大提供了可能性,所以人工自然的扩大是必然的。作为人工自然扩大的后果,自然界肯定会向新状态过渡,但是如果不审慎地扩大人工自然,建立长期有利于人类的新状态是不可能的。

自然界不断失去平衡,是人与自然关系恶化的集中体现。人类虽不会立即因为人与自然关系的恶化而毁灭,但是人类现有的发展方式却已变得岌岌可危。人类以自然界物质、能量的大规模使用为代价营造人工自然物,往往因为环境的迅速恶化等原因而失去作用,甚至某些人工自然物尚未发挥作用,供其发挥作用的自然界

的相关条件就不复存在了。于是出现了修建不久的水库无水可蓄，刚开发的良田很快贫瘠化、荒漠化之类的尴尬。更为严重的是，作为生产和运作人工自然物主要物质条件的不可再生资源、能源正在变得越来越稀缺。随着资源、能源的消耗，适应人类生存的天然环境也正在变得越来越稀缺。人类如果漠视这一点，整个自然系统势必发生某种质变。这一质变对于自然界而言是中性的，毕竟地球只是茫茫宇宙中的一颗行星，即使它不复存在，自然界也依旧存在，但对于人类而言，自然界任何整体性变化都不是中性的，不利于人类的质变将使人类无处藏身。人类能动地改造自然的本意是使自然界产生有利于人类的积极变化，从一定意义上说，人类已经部分地达到了目的，然而，随着人与自然关系的恶化，人类意识到，必须追寻一条能够保证人类进一步发展，又不从根本上损害自然界的发展道路。

第三节 人与自然的协调发展

一、人与自然协调发展的紧迫性

人类在改造自然中体现了自身的发展，但人又是自然界的一个部分。当人与自然之间出现裂痕时，人类也就受到了自然界的教育。为了人与自然的共同未来，人应当学会尊重自然，实现人与自然的协调发展。

归根到底，人与自然关系的恶化是由于现代人类对自然界的影响力已超出了自然界对人类活动的“承载力”。例如，人类对大部分资源、能源的消耗已超过了自然界的再生能力。人与自然之间的不协调关系常被具体表述为“全球问题”，因为制造它的是全人类，受到问题困扰的也是全人类。罗马俱乐部的米都斯等人曾将“人口问题”、“粮食问题”、“不可再生资源问题”、“工业化问题”、“环境污

染问题”视为“五个最终决定和限制我们星球增长的基本因素。”这五大问题正是全球问题的要害所在，而解决这些问题，已迫在眉睫。

人口问题是引发其他问题的基本因素。1750年，全世界总人口约7.6亿，本世纪初为16亿，1987年7月11日，世界人口达到了50亿，到本世纪末人口总数将突破60亿。保证如此巨大的人口的生存与发展，成了压在自然及人类自身肩上的沉重负担。我国人口目前居世界第一位，到下世纪20年代，我国人口总数将达到15~16亿，吃饭、穿衣、居住、就业等基本需要将形成对农业、工业、交通等方面的持久而巨大的压力。人口的基数很可能迫使人们不得不从自然界超额攫取。况且，人类现有的生活质量还有待提高，全人类都存在着发展的愿望，压制这种愿望是极不现实的，但以现有的增长方式满足这种愿望，势必更加加剧资源和环境方面的恶化。这种恶化的趋势目前已十分明显。

在环境方面，目前人类面临着二氧化碳温室效应、臭氧洞、酸雨、沙漠化、热带雨林消失、核威胁等重大公害。这些公害已存在多年，但人类仍在不由自主地扩大着这些公害，如大气环境的恶化已直接危及人类生存。工业化以来，大气中的二氧化碳浓度已上升了30%以上，而其中10%是近30年来人类的大规模排放活动造成的。温室气体浓度的加速上升，使全球年平均气温也明显上升，本世纪最热的8个年头，全部出现在80年代以后。如果大气中二氧化碳浓度继续快速上升（这几乎是必然的），地球表面年平均气温还会继续升高，随之而来的将是海平面上升、气候异常、自然灾害频发等后果。对大气环境的另一个重要威胁来自平流层的臭氧消耗。平流层的臭氧能大量减少太阳辐射到地面的紫外线。但本世纪人类制成了氯氟烃化合物，广泛地应用于制冷、工业溶剂和火箭中。截止1985年，已有65万吨氯氟烃化合物溢出进入大气。这些化合物在大气平流层经复杂的物理、化学过程使臭氧遭到破坏，臭

氧层变薄甚至在南极形成了面积比整个欧洲还大的“臭氧空洞”，这样地面的紫外辐射就增强了，而人和动物将是最直接的受害者。虽然人类已有意识减少氯氟烃制冷剂的使用，但显然难以马上停止这类化合物在所有方面的使用。有些科学家还指出，氯氟烃不是臭氧层变薄的唯一原因，人类在平流层中的飞行活动也消耗了大量臭氧，而今后一段时期内平流层的飞行活动不会减少，而且还会增加。

在资源方面，人类目前消耗的能源和其他物质资源绝大多数都是不可再生的。有些东西即使可能再生，也因为“生长周期”过长而失去了对人类的意义，石油的形成经历了2~3亿年，这已远远超过了人类的历史长度。目前，人类虽致力于可再生资源的开发和利用，但这类资源在近期内不会在人类使用的资源谱系中占主要份额，而且，人类对某些可再生资源（如森林、草场、野生动物资源）的使用强度已经过大，这些资源能否真的再生还是个未知数。即使像太阳能、风能、水能、潮汐能这样总量巨大且的确可以再生的能源，由于其分布的时空及使用技术方面的限制，可供人类利用的部分也十分有限。从目前主要不可再生资源的消耗量与总贮量的关系可知，人类已面临十分严重的资源短缺，许多资源只够维系数十年。人类正在把自然界经亿年发展而积累的许多厚赐，在一两代人的生存和发展中消耗完毕。

早在上述严重局面尚未出现时，就有某些思想家意识到了科技可能带来的负面作用，但除恩格斯等极少数人之外，这些思想家却大多采取了对近现代工业文明的诋毁态度，有人更对原始的混沌初开状态大加歌颂。对此，我们的看法是，原始文明固然有人与自然协调的可取面，古代人的生活方式及古代思想家关于自然的思想也有不少可供借鉴之处，但总的看来，古代的和谐是以人的极低消耗和在自然灾害、疾病面前无能为力甚至动辄人口迅速减少为代价的。盲目歌颂远古文明是不切实际的，而“回到自然”意味着

我们至少需要放弃工业文明为我们所带来的一切,那样我们将再无能力维持数十亿人的生存。当代人果真“回到自然”,只会有一小部分人幸存下来,这些幸存者痛定思痛之后,势必为摆脱古代文明的局限而重新开始书写一本奋斗史,直到人类重又在自然界面前站起来。

当然,从人类的前途考虑,我们绝不能听任人与自然的关系继续恶化下去。我们应该寻找一条道路,使人类能在尊重自然的前提下长远地发展下去;也使自然界确立新的平衡机制,进而为人类的发展提供可靠的保障,这条路便是协调发展之路。

二、协调发展的涵义和条件

面对着自然界给我们的教育,人类努力去寻找协调发展之路。1972年6月5日,联合国在瑞典斯德哥尔摩召开了举世瞩目的人类环境会议,向全世界发出呼吁:“人类业已到了必须全世界一致行动共同对环境问题采取更审慎处理的历史转折点。由于无知或漠视会对生存及福利相关的地球,造成重大而无法挽救的危害。反之,借助于较充分的知识与较明智的行动,就可以为自己以及后代子孙,开创一个比需要与希望尤佳的环境,实现更为美好的生活。提高环境质量与创造美好的生活远景甚为广阔,现今最需要的是——一种持重而平静的心情,热切而有秩序的工作,以期在自然界获得解放。人类必须与大自然协同一致,运用知识建造一个更美好的环境,为了现在以及未来千秋万代,维护并改善人类的环境,业已成为人类必须遵循的崇高目标。此一目标要求,须与已经建立的世界和平与世界性经济与社会发展的基本目标,步调一致,协调无间”。^①这一宣言中,包含了协调发展观念的诸要点。

首先,宣言强调人类需摆正自己在自然界中的位置,这正是协调发展观念的基础。人与自然冲突的产生,并不是因为人不应该发挥自己的能动能力,而是因为人类在发挥能动性的同时,没有相应

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

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

再次,协调发展的观念既考虑到当代,又考虑到千秋万代,包含着“持续性”的价值观。持续指某个过程或状态可以长久地加以维持,而人类之所以要与自然协调发展,正是因为我们不希望人类

的进化过程与生态环境毁于一旦。为此,当代人必须充分考虑后代人的利益。具体而言,当代人不能忽视后代对资源、环境所拥有的权力,要充分重视生态持续、经济持续、资源持续,做到对自然资源的高效、循环使用,避免对环境的重大破坏,使未来人类也能维持并提高他们的生活质量。当代人类应当树立一种跨越时空的全新道德观,以约束我们的行动,在考虑我们的需要的同时,绝不能对后代人满足他们的需要的可能性构成危害。从一定意义上说,协调发展就是可持续发展。在研究实现协调发展的具体措施时,人们应注意资源的承载力、环境的缓冲力、经济的生产能力、大众的需求、能力、社会的调控能力等因素的协同,因为这些因素协同与否,直接决定了发展是否可持续的。

以上人类协调发展观念的确立,是实现人与自然协调发展、共同进化的首要条件。但真正实现协调发展,光有正确的观念是不够的,我们还需要完备的知识和合理的社会制度作为保障。应该看到,全球问题的产生与知识(主要是科技知识)增长是有一定关系的,但不能因此否弃知识;相反,只有人类知识的进一步发展,才会使人类拥有与自然和谐相处、共生同存的能力。人与自然的关系主要是由人类调控的,我们要有必要的手段,才能将这一关系调控好,而手段取决于我们知识的完善程度。以能源问题为例,目前能源谱系主要由煤、石油等化石能源构成,这些能源按现有的速度消耗下去,将很快用完,即使再探明较大的新贮量也无济于事。只有当我们的知识允许我们去使用低污染、低成本、高热值、贮量极多或可再生的新能源时,煤和石油的消耗量才会显著下降,我们才可能将它们作为更有价值的资源,加以高效而有节制的利用,而不是一烧了之。现在科技工作者在新型核能、太阳能等方面的研究成果已使我们看到了一线曙光。

同时,我们还应看到,与自然界打交道的不是个体的人,而是社会的人,人与自然的矛盾,说到底也是社会造成的。因此,要恰当

地调控人与自然的关系,就必须建立合理的社会制度。衡量社会制度合理与否,不能仅看该制度对人类社会内部矛盾的调节作用,还要看它是否如《人类环境宣言》所说,与协调发展的目标“步调一致,协调无间”。

人类只有一个地球。在茫茫宇宙中,这里是我们目前仅知的一块能庇护人类的乐土。保护这片乐土。是全人类的共同任务。有人过多地将希望寄托在地球之外的某个地方,这是十分不切实际的。尽管有许多细节仍待探讨,但有一点是可以肯定的:地球之外的地方,也许可以作为一小部分人太空旅行的驿站,却难以独立维持大量人口高质量的生存。另外,向月球、火星移民的计划无不以地球上现有能源、资源的大量消耗为代价。既然如此,我们为什么不立足于地球去营造美好的未来呢?只有人与自然协调发展,共同进化的动态过程,才是人类最恰当的归宿所在。

三、中国人与自然协调发展的难点与出路

中国自改革开放以来,经济高速增长,工业化、城市化迅猛发展,也在人与自然的关系方面遇上了一系列紧迫问题。

首先是人口负担日益加重。中国人口基数大,每年净增人口相当于澳大利亚全国人口,农村人口多,公众文化素质较低,未来中国人口的峰值可能接近16亿。众多的人口的基本需求会对资源、环境、资本构成巨大压力。文化素质不高的劳动力难以实现充分就业,而且对社会的稳定产生了不良影响;人口老龄化使社会保障任务艰巨,经济增长后劲不足;农业人口比重大,使得农业现代化步伐减慢;人力资源开发不足,使人力无法成为高效的社会推进剂。为了减轻人口负担,化不利因素为有利因素,我国必须对人口规模进行适度控制,但生育观念转化是一个社会问题,它受社会文化、经济、科技、教育等多种因素的制约。因此要真正有效控制人口的增长速度,必须立足于发展经济、加强精神文明建设和促进劳动者

文化素质的提高。人口控制目标实际上是一个系统性系列目标,实现上述目标的途径便在于科教兴国。

我国协调发展中的另一个严重问题是,随着人口增加和资源加速消耗,我国的人均资源占有量不断减少,资源保证程度下降。我国资源总量虽然较丰富,但人均主要资源占有量却远低于世界平均水平,如中国人均土地面积为世界人均的三分之一,水资源为四分之一,森林面积为六分之一,人均草地面积为三分之一,矿产资源的潜在价值的人均数也只有世界人均的二分之一。今后我国人均资源占有量还将随人口的增长而继续下降,而随着经济的增长,资源消耗会大幅度增加。即便从目前看,淡水、原油、耕地等关键性资源的短缺状况已越发严重。面对这种状况,我国必须建立资源节约型国民经济体系,走资源低消耗、环境低污染、经济高效益的发展之路,这就要求必须靠自然资源的深度利用,而不是单纯靠向自然界索取。当然“节流”丝毫不意味着我们没有必要去“开源”,只有既“开源”又“节流”,我国才能主要靠自己的资源来满足十几亿人民的物质现代化需求。就我国实际情况来看,“开源”与“节流”都有很大余地。中国矿产资源平均开发利用率只有 30%~50%,比发达国家低 10%~20%;中国实现每百万美元国民产值的能耗折算成标准煤,为发达国家的 6 倍;中国矿产资源勘探程度较低,煤油、气、金、铜的探明储量只有预测量的 20%~25%,非金属矿产资源已探明的 80 种矿产中,形成一定生产能力的只有 20 余种;中国还拥有 300 万平方公里的海洋国土,那里的资源和空间将为我国的发展提供有力的保障。^①然而节约型的国民经济体系不是唾手可得的,它需要既有的较强经济实力和不断发展且迅速推广的科技知识为基础。

环境问题是我国协调发展的又一重大障碍。我国地域辽阔,自

^① 黄鼎成等。《人与自然关系导论》,湖北科技出版社,1997:373~374.

然条件复杂,生态基础脆弱,自然灾害频繁,总体上看,我国的环境污染及生态破坏正在日趋严重。在生态方面,恶化的迹象已十分显著。据1992年卫星遥感测算,我国的水土流失面积为179.4万平方公里,占总国土面积的18.7%。沙漠化土地约150万平方公里,而且每年仍在以2000平方公里以上的速度扩大,森林、草场资源锐减,牧草产量持续下降,木材采伐量也远远超过林木生长量。生物物种加速灭绝,15%~20%的植物处于濒危状态,珍贵野生动物分布区显著缩小,种群数量锐减。水资源日趋匮乏。1949年以来,全国湖泊减少了500多个,面积缩小1.86万平方公里,华北地区地下水位每年平均下降12厘米。在环境污染方面,情况也十分严峻。我国水体质量严重下降,据1987年的监测结果,有42%的城市饮用水源受到严重污染,80%以上的河流受到不同程度的污染,全国约有7亿人饮用大肠杆菌超标水。空气因为煤的大量使用也受严重污染,大量粉尘、二氧化碳使大气肮脏不堪;酸雨不断蔓延,甚至危及了我们的邻国;城市中不断增加的汽车排出的氮氧化物更对城市空气污染起了推波助澜的作用。更令人不安的是,我国的环境污染正在由城市向农村蔓延。1978年以前,农村主要污染物仅限于农药、化肥,目前乡镇企业排污已成为农村环境恶化的主因。以上仅列举了我国环境恶化的部分现象,实际上远不是全部。我国日益恶化的环境正在成为制约经济发展的主要因素,也直接危及了全体中国人的生存。需要指出,当前我国发展经济,提高人民生活水平的任务刻不容缓。环境问题实质上是没有国界的,一国经济越是积弱累贫,该国人民就越会成为全球环境恶化的最先牺牲品。只有让环境保护与经济发展相得益彰,中国的协调发展才能成为现实。因此,环境问题不可能孤立地解决,必须将环境保护纳入经济发展战略加以考虑,即在发挥政府的主导作用,健全、完善环保法律、法规体系的前提下,将环保纳入各项经济工作中去,进行综合决策。只有这样,才能既发展经济,又避免短期行为。当然,

正确的决策仍需以有效的手段来实施,没有科学技术与教育的发展,一切美好愿望仍会落空。产业结构向低污染方向转化、发展环保产业、人工恢复生态平衡、开发清洁能源、提高全民环保意识等工作,无不有赖于科学技术和教育的进步。

从以上叙述可以看出,中国的协调发展面临着许多重大的困难,而且为了实现由发展中国家向中等发达国家的过渡,我国必须保持相当高的经济增长率。一定时期、一定范围内的人与自然关系进一步恶化是难以彻底避免的,但整体、持续恶化又是我们绝对不能接受的。利用社会主义制度的优势,培养全民协调发展意识,切实实施科教兴国战略,才是我国人与自然的协调发展的正确途径。由于我国的具体国情,应该特别强调科技与教育的作用。无论是单纯经济增长还是协调发展的具体措施都是以科学技术为基础的。中国的人口、资源、环境状况决定了中国比其他任何国家都更迫切地需要科学技术和教育支撑。在一定意义上说,中华民族的未来全系于“科教”二字。

本章进一步阅读书目

(1)张诗忠. 生物进化与人类进化的比较. 上海:上海社会科学院出版社,1997

(2)黄鼎成等. 人与自然关系导论. 武汉:湖北科技出版社,1997

复习思考题

(1)人类的新进化主要的内容有哪些?它与传统生物进化有何不同?

(2)为什么必须实现人与自然的协调发展?结合我国实际,谈谈实现协调发展的必要条件。

第二篇 科学观

自然辩证法的科学观是关于科学及其发展的一般性认识和由此形成的总观点。基于不同的理论视角,人们可以得到关于科学及其发展的不同认识。一般来说,对科学及其发展的认识有两个既相互联系又相互区别的角度,其一是从科学内部考察科学理论、科学方法、科学发展及其相互联系,从而形成科学的内在形象;其二是从科学外部探索科学的建制构成、职业规范及其与社会的复杂关系,从而形成科学的外在形象。前者多从哲学层面剖析,主要属于科学哲学的研究范畴;后者则偏重于社会学考察,主要属于科学社会学的研究领域。相应地,关于科学观的理解也就有了狭义和广义之分。狭义科学观是指从科学的内在知识特性出发来理解科学及其发展所形成的总观点。广义科学观则是在狭义科学观基础上,进一步从科学的外在社会特性着眼来理解科学及其发展所形成的总观点。狭义科学观集中体现在科学哲学中,而广义科学观则还包括科学社会学的内容。本篇侧重于狭义的科学观,即从科学哲学的视角来理解科学及其发展,而有关科学与社会关系的内容将在第四篇“科学技术社会观”中予以介绍。

一、科学哲学的源起

科学哲学(Philosophy of Science)指的是以科学为对象、对有关科学的诸方面作哲学分析的哲学学科。也可以说,科学哲学是关于科学的哲学,或对科学的哲学反思。作为哲学的一个分支学科,

科学哲学的地位类似于价值哲学(伦理学、美学)、法哲学、神学哲学等等。

科学哲学的萌芽虽然可以追溯到古希腊,在亚里士多德的著作中已经开始了科学方法的系统探索,但是现代意义上的科学哲学的诞生、形成、发展和演变则是 19 世纪中叶以后的事情。19 世纪中叶,在自然科学突飞猛进的同时,哲学也在发生着重大的变革,以经验主义作为认识基础并以语言逻辑分析方法为特征的关于科学的哲学学派形成并发展起来了。具体地说,这一时期有代表性的著作主要有:约翰·赫歇尔的《自然哲学研究导论》、休厄尔的《归纳科学的哲学》、J. S. 穆勒的《逻辑学体系》。这三部著作的出版,被认为是科学哲学正式成为一门独立学科的标志。^①

到 20 世纪 20 年代,在现代物理学革命的推动下,伴随着逻辑实证主义、维也纳学派的建立,科学哲学得到迅速发展,达到了历史上的全盛时期,并形成完全独立的研究领域,引起了哲学界和科学界的普遍重视。这一时期科学哲学发展的主要标志是:在自然科学内容上,以最新物理学为主;在认识论上,主张感觉、“经验”是第一性的,宣称要在哲学和科学领域中清除形而上学;在方法上,把从伽利略以来的数学演绎和观察实验相结合的方法加工得更加精细,更加符合自然科学的认识过程;在逻辑学上,系统地应用了数理逻辑作为它的主要工具之一。此时的科学哲学不仅有自己的学派、学会、刊物,而且发展成为一股思潮,其影响至今犹存。以至于严格意义上的现代西方科学哲学,主要指的就是逻辑实证主义或逻辑经验主义。

二、科学哲学的内容与性质

科学哲学的研究内容是由它的研究对象决定的。科学哲学的

^① 黄顺基,陈振明. 西方科学哲学之我见,《自然辩证法研究》,1989:(4).

研究对象就是科学。由于科学既是思维成果,又是思维方式,还是思维发展,因此,科学哲学既要研究科学成果,即科学理论,又要研究科学活动,即科学方法和科学发展。也就是说,科学哲学要对科学作整体的哲学分析。一方面要分析科学本性、科学语言、理论结构、理论评价、认识程序、论证模式等科学研究的逻辑模型;另一方面,又要揭示科学发现、知识增长、动力机制、进步与革命、作用与趋势等科学发展的动态规律。总之,科学哲学是研究科学理论、科学方法和科学发展的哲学学科。

具体地说,科学哲学关于科学理论的研究主要涉及这样一些问题:科学的划界问题,即什么是科学?科学与非科学、伪科学的分界是什么?分界的标准是什么?科学的语言问题,即什么是科学语言?科学语言与自然语言的区别是什么?科学理论的结构问题,即科学理论是由哪些要素构成的?这些要素(数学的、逻辑的、观察的、理论的、“形而上学”的等等)之间的联系又是怎样的?科学理论的评价问题,即如何评价科学理论?什么是评价科学理论的标准?证据对理论的支持如何评价?能否用其它科学理论或哲学观点对科学理论进行评价?

科学哲学关于科学方法的研究主要涉及这些问题:科学的发现与证明问题,即科学理论地发现、检验、接受或拒斥等活动是否遵循逻辑或方法论规则?方法论在科学发现中起什么作用?逻辑在科学检验和科学发现中起什么作用?科学问题、观察和实验方面的问题,即科学研究从哪里开始?什么是科学问题?科学问题的类型与来源?观察是否渗透理论?实验中是否能够排除主观的干扰?科学研究的逻辑方法和非逻辑方法问题,以及系统科学方法问题。

科学哲学关于科学发展的研究主要解决这样一些问题:科学的变化是否意味着进步?什么是科学进步?如何衡量科学进步?科学进步的机制是什么?科学是如何发展的?科学发展的模式是什么?如何理解科学的合理性?等等。

科学哲学作为以科学为研究对象的哲学学科,它的性质是由科学和哲学两方面决定的。一方面,科学哲学的研究对象是科学,而科学是以探索自然奥秘和阐明自然规律为己任的知识体系和实践活动,科学本身具有超越民族、阶级和意识形态的特点。与此相应,科学哲学与一般人文哲学相比有着很大的区别,它在很大程度上也是超越民族、阶级和意识形态的。另一方面,科学哲学毕竟也是一门哲学学科,在具体问题的诠释和研究中又不可避免地受到来自不同民族文化背景的哲学传统的影响,也正是这种影响带来了各种科学哲学流派的立场、观点和方法的不同,从而使人们对科学及其发展的认识和理解产生了众多分歧。可以说,恰是科学哲学的两重性,使得对科学内在形象的刻画多姿多彩,也为我们多视角更全面地理解科学及其发展提供了可能。

第四章 科学理论

科学观首先要回答“什么是科学”这一基本问题,而提到科学,直接反映在人们脑海中的就是科学理论。科学理论是经过实践检验的系统化了的科学知识体系,它是由科学概念、科学原理以及对这些概念、原理的理论论证所组成的体系。可以说,作为科学知识体系的集中体现的科学理论,是人们认识并理解科学的起点。

第一节 科学划界

一、科学划界问题及其意义

要对科学理论做出恰当的说明,首先就要在科学与非科学之间做出明确的划分。科学作为一种特定的系统化的知识,必定有自己的特殊性,从而使自己与一般的知识区别开来;也正是因为具有这些特殊性,某一类知识才被称为科学。寻求科学与其他知识的区别及其标准,回答“什么是科学”这一问题的科学哲学领域就属于科学划界研究。科学划界问题是科学哲学的基本问题。

科学划界思想最早可以追溯到亚里士多德,他认为,“科学通过其原理的确实可靠性而与意见、迷信区分开来,通过对第一因的理解而与工艺区别开来。”^①在这里,亚里士多德强调科学的特性在于它的确实可靠性,而科学方法既是其重要组成部分,又为实现这种确实可靠性提供了手段。亚里士多德的科学划界思想在整个

^① 转引自陈健. 方法作为科学划界标准的失败,《自然辩证法通讯》,1990:(6).

中世纪后期和文艺复兴中支配着关于科学本质的讨论。17、18世纪的思想家之间虽然存在着方法上的分歧,但是,科学的确实可靠性仍被普遍地接受为科学的本质属性。培根、莱布尼兹、笛卡儿、牛顿和康德都赞同这一意见,而其中培根是一位承上启下的人物,他第一次明确地提出科学的本质特征就是科学的方法。在培根看来,科学具有一种独特的、恒定的方法,而且这种方法具有确实可靠性。到19世纪,随着认识论中可错论观点的出现和胜利,科学的确实可靠性就弱化到了方法的确实可靠性。这一时期,将科学方法作为科学划界标准的有孔德、赫姆霍兹和马赫等人。孔德认为“从培根以来的一切优秀的思想都一再地提出除了观察到的可以依据的事实之外,没有任何真实的知识。”^①马赫则把感觉经验视为认识的界限。可以说,从亚里士多德到19世纪末的哲学家们都试图捍卫科学的确定性,并为此付出了极大的努力。

至本世纪20年代,随着维也纳学派的建立,现代科学哲学进入了鼎盛时期,维也纳学派的逻辑经验主义也因之被称为标准科学哲学。逻辑经验主义把科学划界作为他们的科学观的基本点,因而成为现代科学哲学的一个最基础性问题,是任何一种科学观都必须首先回答的问题。

尽管关于科学划界的标准有着不同的看法,关于科学的本性也有着不同的认识,但是科学划界本身却是一项亘古常新的课题,它不仅有利于明确科学的知识特性,而且能够有效捍卫科学的尊严和社会形象。即使是20世纪科学昌明的今天,各类伪科学、反科学仍屡见不鲜。值得注意的是,伪科学、反科学与非科学是有本质区别的。科学与非科学本没有好坏、对错之分,它们只不过标明了两类不同性质的知识而已。但伪科学则不然,它本质是一种骗术,是打着科学的旗帜、披着科学外衣来行骗;而反科学则是公然违背

^① 转引自陈健. 方法作为科学划界标准的失败,《自然辩证法通讯》,1990:(6).

科学规律,公开反对科学。科学划界的现实意义在于,它虽不能一劳永逸地确立起科学恒定的界限,却能通过对科学知识的多方面特性的立体刻画为我们树立起更清晰的科学形象,从而能够使人们更容易地在人类知识中辨认出科学与非科学知识,以便更有效地揭露伪科学和反科学。对于科学普及程度较低、文化较落后的国家和地区来说,伪科学、反科学很容易流行,而科学划界就具有特别的紧迫性和现实性。

二、科学哲学关于划界的基本观点

本世纪 20 年代以来,科学哲学关于科学划界的处理大致有这样四种观点,即:逻辑经验主义的观点、批判理性主义的观点、历史主义的观点以及邦格的科学划界的多元观点。

逻辑经验主义所主张的划界标准就是经验主义的意义标准。在逻辑经验主义看来,科学理论是由有意义的命题组成的。只有有意义的命题才是科学的命题,否则便是非科学的命题。而命题是否有意义,就在于是否能用逻辑分析和经验证实的方法确定其真假。如果一个命题能用逻辑分析的方法加以证明,那么这个命题就具有逻辑意义,逻辑的、数学的命题就是这一类命题。如果一个命题能被经验证实,那么这个命题就具有经验意义,经验科学的命题就是这一类命题。如果一个命题既不能用逻辑分析方法加以证明,也不能用经验事实加以证实,那么这个命题就没有意义。可以看出,逻辑经验主义以意义标准来作为科学划界的唯一标准是与它的证实原则紧密联系在一起。但是证实原则实际上是行不通的。因为科学定律一般都是全称命题,而全称命题在空间时间上是无限的,它不可能被有限的观察证据所完全证实。如果采取这个要求,那就要把很多重要的科学命题都当作不可能证实的命题而加以摒弃了。

为了避免这个困难,后来逻辑经验主义用“可检验性”或“可验

证性”来代替“可证实性”作为科学划界的标准。这就是不要求一个命题能够被观察证据完全证实,而只要求能被观察证据部分地证实,或逐渐地确证。但这又带来了新的问题:当一个命题在一定程度上被已做的观察所确证时,有没有一条明确的规则,可用来确定这种确证程度已足够高,因而可以接受这个命题,或者足够低,因而可以拒绝这个命题,或者是介于两者之间,以致在获得进一步的观察证据以前,既不接受也不拒绝它呢?逻辑经验主义的著名代表人物卡尔纳普也承认这里并没有一般的规则可用来限定人们的决断,因此对一个命题的接受或拒绝永远含有约定的成分。

最先在科学划界问题上提出不同看法的是批判理性主义者波普尔。波普尔提出可证伪性原则用以反对逻辑经验主义的意义标准和可证实性原则。波普尔认为,科学与非科学、伪科学的区别就在于它们是否具有可证伪性。科学命题或科学理论不可能是经验证实,因为单称结论的真,不能传递到全称的前提上。而且可证实性原则实际上是以归纳法的信念作为基础,但归纳原则和归纳推论是根本不可能证明的,因而可证实性原则也是不可能实现的。然而,科学理论虽然不能被经验证实,却能被经验证伪,其逻辑根据是全称陈述与单称陈述之间的逻辑关系的不对称性。例如,无论人们看到多少只白天鹅,也不能证实“白天鹅皆白”这一结论,但只要看到一只黑天鹅,就可证伪它。在这里,波普尔所采用的逻辑方法是演绎法,而不是逻辑经验主义所坚持的归纳法。从这一前提出发,波普尔进一步指出,科学是经常出错的,而伪科学有时却能碰上真理,若用证实原则作为科学划界标准,就会把哥白尼、牛顿理论这样的科学理论作为非科学排除于科学之外,而把像占星术那样的伪科学划到科学这边来。而可证伪性标准只是把科学与非科学、伪科学加以区分,它既不是意义标准也不是真理标准。但批判理性主义的划界标准本质上却与逻辑经验主义一样,它们都强调经验或逻辑在科学划界中的唯一合法地位。

科学哲学中的历史主义学派在科学划界问题上与逻辑经验主义、批判理性主义的立场根本不同。历史主义者认为科学是一种社会事业,它与社会的其他精神活动形式存在着多方面的联系和相互作用,因此科学与非科学之间并不存在绝对分明的界限。历史主义者在科学划界问题上又可以分为两派,一派以库恩、拉卡托斯等为代表,承认科学与非科学、伪科学划界的必要性,但同时又否认逻辑经验主义和批判理性主义的逻辑的或经验的绝对化标准,坚持一种相对的、变化的科学划界标准;另一派则以费耶阿本德为代表,否认科学划界的必要性,主张科学不能与其他知识领域划分开来,也不应该做这样的划分。

库恩虽然承认科学应与非科学、伪科学有明确的区别,但他同时也指出,像逻辑经验主义或批判理性主义那样把科学划界标准简单化为经验证实或经验证伪,都是由于对科学采取非历史、非社会观点的结果,因而不合理的。库恩认为,与科学本性相联系的不仅是科学理论与经验事实的关系,而且是认识论以外的社会学和心理学的因素。因此,单纯从科学理论与经验事实的关系中去寻找区分科学与非科学、伪科学的标准是不全面的。库恩认为科学与非科学、伪科学的区分就在于是否在范式的指导下从事解决疑难的活动。

与库恩不同,费耶阿本德认为科学与非科学不可区分,也不应区分,科学与非科学的宗教、神话、巫术等在人类的认识活动中都起着重要的作用,即使科学本身的发展,也常常需要这些非科学的精神活动来帮助。对科学与非科学实行人为的划分,只能对知识的进步造成危害。费耶阿本德的科学划界“消解论”是历史主义走向极端的典型表现。

与逻辑经验主义、批判理性主义和以库恩为代表的历史主义的一元科学划界标准不同,邦格提出了他的著名的多元划界标准。邦格坚持认为在科学与非科学、伪科学之间可以做出“精确的”区

分,但划界的标准必定是多元的。科学是一种复杂的东西,不可能用一种特征来刻划,伪科学也一样。“我们判断一块金属是不是真金,除了看颜色和光泽之外,还要考察许多其他属性。同样,判断一个知识领域是不是科学也要考察它的许多特征。”^①

邦格给出的科学划界模型将科学视为一个知识领域,他把知识领域定义为:

$$E=(C,S,D,G,F,B,P,K,A,M)$$

就任何特定时间 t 而言:

E 为特定的知识领域, C 为确定知识的团体(共同体), S 为承认 C 的地位的社会, G 为 C 的总体看法,世界观或哲学, D 为 E 的论域,即 E 所谈论的事物, F 为 E 的形式背景或从其它知识领域借来的有关 D 的一组前提, B 为 E 的特殊背景, P 为问题组合或 E 可能处理的一组问题, K 为 E 所积累的特殊知识储备, A 为 C 在对 E 的提高上所抱的目标, M 为方法体系或 E 中所有可用的方法。在邦格看来,各个知识领域大致由这十个部分组成,而元素的不同则可区别出不同的领域。既然科学是一个知识领域,也必定由这十个元素构成,只是其具体特征不同罢了。

科学知识领域的十个元素的具体特征如下:

(1) E 的十个组成部分都各自随着同一领域或有关领域(特别是那些提供 E 中形式背景 F 和特殊背景 B 的领域)的研究成果发生变化,不管这种变化多么缓慢。

(2) E 中从事研究的社会团体 C 由这样一些人组成,他们受过专门训练,彼此交往密切,并且开创和维护一种研究传统。

(3) 承认 C 的地位的社会 S 鼓励或至少容忍 C 的成员进行研究。

(4) 论域 D 由过去、现在和未来的真正实体(而不是自由变动

^① Bunge M. 什么是伪科学?,《哲学研究》,1987:(4).

的思想)所组成。

(5)世界观或哲学背景 G 包括:(a)一种认为现实世界是有规律的本体论。(b)一种实在论立场(而不是唯心主义或约定主义)的认识论。(c)一种推崇清晰、精确、深刻、融贯和真理的价值体系。(d)主张自由探索真理的精神(而不是为功利,符合大家意见或教条)。

(6)形式背景 F 是一个由最新的逻辑或数学组成的集合(不是空集,也不是由过时的形式理论构成的空洞的东西)。

(7)特殊背景 B 是由从与 E 有关的其它研究领域中最得到的最新的和有理由认为得到确证的数据、假说和理论组成的集合。

(8)问题组合 P 完全由关于 D 的分子性质(特别是规律)的认识问题以及有关 E 的其它组成部分的认识问题所组成。

(9)知识储备 K 是一个由最新的和可检验的理论、假说和数据组成的集合,它们与 B 和以前在 E 中取得的理论、假说和数据相一致。

(10)目的 A 包括发现或使用 D 的规律,把有关 D 的假说加以系统化以及改进 M 中的方法。

(11)方法体系 M 只包括可考察的(可检验的、可分析的、可批评的)和可辩护的程序。

(12) E 是一个更大的知识领域的组成部分。也就是说,至少有另一个(相邻的)研究领域使得:(a)这两个领域的整体看法、形式背景、特殊背景、知识储备、目的和方法体系具有真正重合的部分。(b)一个领域的论域包括在另一个领域的论域之中。^①

邦格认为,不能满足上述十二个条件的知识领域就不能称之为科学。

① 转引自陈健. 科学划界的多元标准,《自然辩证法通讯》,1996:(3).

三、关于划界问题的评论

在科学哲学领域,虽然各派学者关于科学划界问题的认识及其确立的划界标准各有不同,但除了极端的历史主义者,像费耶阿本德之外,各派学者基本上都承认科学划界问题是科学哲学所要解决的基本问题,波普尔甚至称之为“认识论的基本问题”。邦格则进一步指出,科学家和哲学家容易把迷信、伪科学甚至反科学当作无害的废物,甚至当作可供大众消费的东西,这种态度是不适当的:“第一,迷信、假科学和反科学并非可以通过循环处理就变成有用的废物,它们是思想的病毒,可以侵袭包括普通人在内的任何人,使整个文化瘫痪并使之反对科学研究。第二,迷信、伪科学和反科学的兴起和传播是重要的社会心理现象,值得用科学方法加以研究,也许可以用来当作指示文化健康状态的标志。第三,假科学和反科学是任何科学哲学值得加以检验的典型问题。这样,一种哲学的价值确实只能通过它对于科学与非科学、高级科学与低级科学、活的科学与死的科学之间的区别的觉察程度来评估。”^①

而关于科学划界标准的选择,逻辑经验主义和批判理性主义将科学理想化,把理论与经验事实的关系看作是决定科学本质的唯一因素,企图从这种关系中去寻求科学划界的普遍的、绝对的标准;极端的历史主义者则完全否认理论与经验事实的关系在决定科学本质中的意义和作用,而把社会学、心理学因素的作用片面地夸大,从而认为除了科学共同体的共同信念以外,无所谓科学与伪科学的区分标准;温和的历史主义者把科学理论看作是有一个历史过程的理论体系,在这里科学划界的标准不再是恒定的、不变的和绝对的,而是历史的、发展的和相对的,并有主观的介入,渗透着心理和社会因素。但是,总的说来,从逻辑经验主义到温和的历史

^① Bunge M. 什么是伪科学?,《哲学研究》,1987:(4).

主义,都在试图用一种特征或一元标准来区分科学与非科学、伪科学。无论是逻辑经验主义的证实标准、批判理性主义的证伪标准,还是历史主义的历史相对标准,都是一元标准。试图用一元标准来对科学这项复杂事业进行划界,用邦格的话说是“犯了简单化”的错误。应该说,邦格的多元标准弥补了逻辑经验主义、证伪主义和历史主义划界标准的不足。而且邦格以追求“精确性”闻名,他把精确化与可错论结合起来,认为如果有一种精确的意义和一个明确的指称类,就可用科学谓词精确地称呼它。邦格强调,科学知识域同样有着精确的标准。这就是邦格给出的科学知识域的十二个条件,任何不能满足这十二个条件的知识领域都是非科学;任何一个本身不是科学却自称为科学的知识领域都可称为伪科学。但是邦格并没有说明,他设立的科学知识域的十二个条件是否同样重要,应不应对某些因素“加权”。因而,邦格没有考虑量化的划界标准是否可能,他的所谓精确性其实也是相当模糊的。另外,邦格的科学划界模型是静态的,他没有考虑各个构成要素的变化、要素与要素之间的相互关系,以及在判别时对各个要素进行不同的加权。

总之,科学划界的努力本身就是一项无止境的事业。不同时代、不同学派的不同观点共同刻划着这项事业进步的轨迹。从绝对标准到相对标准、从一元标准到多元标准、从静态标准到动态标准,无不标志着划分科学与非科学、伪科学这项事业的进步。尽管直到今天,科学哲学仍无法给出一个清晰的、一致的、可操作的科学划界标准,但科学的基本形象,也即科学知识区别于其他人类知识的基本点是清楚的,作为科学划界标准的必要条件也是明确的。

尽管逻辑经验主义将“可检验性”作为科学划界的唯一标准是有问题的,但毋庸置疑,可检验性也确是科学区别于非科学的一个重要方面。另外,像历史主义强调科学划界中的“价值判断”,也即社会的、心理的因素,其重要性同样也是不能忽略的。在科学划界中,事实判断与价值判断必定是统一的,但事实判断应该是价值判

断的基础和前提。

因而,确立科学划界标准必须遵循这样的前提,即:科学划界的标准应该是多元的、全方位的,而不是一元的、单层面的;科学划界的标准是发展变化的,并具有随历史发展的相对性,而不是静止的、绝对的;科学划界标准应是相对精确的、可操作的,而不能是随意的、没有现实意义的;最后,科学划界的对象不仅仅局限于科学理论或科学知识,而应包括科学实践在内。明确了这样几条原则,人们就可以结合具体情况,进一步深化、发展科学划界这项亘古常新的人类事业。

第二节 科学语言

一、两种语言符号系统

科学理论是通过科学概念及其相互关系来构建的,科学概念是科学理论的基础,是科学知识之网的网结。但是,“纯粹”的概念是一种无定型的精神性的东西,它还必须借助它的代替物——物质性的、可感知的符号(语言、文字等)加以完善并得以显示。不然,人类既无法使自己的思想清晰化,更无法做到互相交流和沟通。符号是人类实践的伟大创造之一,而创造和运用符号的活动也是人区别于动物的重要标志。人不仅生活在物理世界里,同时也生活在自己创造的一个复杂的符号世界中,其中科学符号是人类符号系统中的一个重要子系统,它是科学实践、科学抽象的产物,又是推动科学发展不可或缺的工具或手段。因而,要理解科学概念,把握科学理论的结构及其特征,必须首先明确科学符号的来源及其特性。

广义地说,符号是一定的可感知的物质对象,它在贮存、传递某一对象的信息方面充当另一对象的代替物。符号不但必须具有

物质性和可感知性,而且必须具备一定的含义。符号的含义是人的历史性的社会实践活动所赋予的。任何符号都是物质形式和含义(或授义)的统一。人类的语言(文字)是人类最普遍地使用着的符号系统,而其中最基本、最普遍的形式是自然语言符号系统。自然语言是某一社会中历史地形成的一种民族语言。它以特定的语音、文字(对不同民族其具体表现形式有所不同)作为存贮和传递社会集团所需信息的手段。这种手段是人类在一切活动中交流思想、认识、情感、意志所必需的,当然也是保存和传播科学知识的通用工具。

自然语言符号系统的最大特点是它的多义性、歧义性、语法结构不够严格和统一。自然语言符号系统的这三方面特点一般说来不会影响正常的社会信息交流,而且还会有助于以诗歌、小说等形式来表达思想和感情。但在科学理论的构建中,如果完全运用自然语言符号来表达概念,进行推理判断,就会出现歧义甚至悖论,成为科学理论所不能容许的缺陷。而且,运用自然语言符号系统来表达事物的复杂关系和规律时,也常常会显得过于累赘和繁琐,限制科学思想的深化。

在人类实践的基础上,逐渐从自然语言符号系统中演化出了一套人工语言符号系统,也称之为科学语言系统。科学语言系统是由各学科的专门科学术语(符号)组成,这些符号具有单义性、无歧义性和明确性,可以用来表示严格定义的科学概念,表示事物之间的特定关系和运动变化规律。例如,当人们说“氧”的时候,人们不知道是指氧元素还是氧气,但是人工语言符号 O 和 O_2 就可作出明确区分。这种新的术语的引进,和旧的用语、词汇在新的、专门的意义上的使用(如“力”、“功”在科学中的重新定义),便构成了人工语言符号系统发展的第一阶段,即“科学行话”阶段。

人工语言符号系统发展的第二阶段叫形式化语言,它实际上是以数学、数理逻辑符号语言为蓝本的科学语言。形式化语言的外

在特点是：代替日常语言的词汇，引进了构成这些语言的字母专门符号，以紧凑性和可观察性为特色；在这些语言中不仅提供了原始的标志（语言字母），而且准确鲜明地定义了建立名称和表述含义的规则，定义了把一些表述（判断、公式等符号系列）变成另一些表述的规则。因而，形式化语言比原来的人工语言，即科学行话的形式化程度更高，并具有更大的精确性与适应性。由于各门科学的语言从类型上说基本上是描述性、断定性而非评论性的，在描述性语言中又以分析陈述为主。这样，各门科学就更有可能充分运用形式化语言，来表达自己的深刻复杂的内容及演算化的推理。正如玻恩所说，运用科学符号形成的“思维结构”，仿佛是事物本质的“镜象”，“符号是深入到现实背后的自然实在里去的方法的一个必不可少的部分”。^①形式化语言发展到今天，又有了能被计算机识别的形式化语言——计算机语言。人们还在努力开发具有更强的符号处理功能的智能机，这将是科学技术发展的一个新飞跃，也是语言符号发展的一个新飞跃。

当然，无论人工语言符号系统如何发展，它总是建立在自然语言符号系统基础之上的。只有借助自然语言才可能建立人工语言，即确定或描述它的符号含义和它的构成与变换的规则。因此，自然语言符号又称为元语言。没有自然语言，人工语言是不可能存在的。另外，自然语言在记载观察实验结果，在“前概念”的形成过程中，在科学的普及和教育中都是必不可少的。人工智能研究如果解决了自然语言理解（处理）技术，则自然语言在科学理论建构及科学思维中的应用还会增强。

二、科学语言的分类

科学概念与科学理论的分析必须以科学语言的分析为基础。

^① 玻恩.《我的一生和我的观点》，商务印书馆，1979：84、94.

根据逻辑经验主义的观点,科学语言可以分为两类:观察术语和理论术语。其中观察术语又可分为三个层次:经验定律、概念的值和原始实验数据。它们构成了科学语言层次的等级系统。

在这个等级系统中,下面层次依次为上面层次提供检验基础,上面层次具有更高的预见力并对下面层次提供解释。值得注意的是,观察术语和理论术语的区别并不是同一种语言的不同用法,而是两种不同科学语言的区别。其中观察术语是不受理论污染的、对不同理论保持相对中立的语言,它具有不可更改的确实可靠的性质。

但是,究竟什么是观察术语,什么是理论术语,逻辑经验主义者并未给出确切的说明。他们起先认为,观察术语所指的对象是可以直接观察的,理论术语所指的对象是不可以直接观察的,但后来又发现这种截然的两分法存在着很大的困难。首先,在观察某物之前,必须先明确究竟注意该物的哪些方面,而这取决于观察者的知识和他关心的是什么,观察和理论是互相渗透的。其次,观察某物不一定非要看见它,如森林看守人只要看见烟,就观察到森林着火;也可以通过中介的影像来观察某物,如在镜子里看自己等。鉴于此,卡尔纳普提出,可直接观察的标志是观察术语可否用最简单的工具作比较少量的观察来确定。但是,这个标准仍然不足以区分观察术语和理论术语。第一,某种东西不能直接观察到,可能是指不用仪器或不观察与它不同的其他东西就不能观察到。例如细胞核,只有用显微镜或电子显微镜,只有产生镜像和反射才能观察到。这样,是否就因此认为细胞核是不可观察的呢?“不用仪器观察不到”,如果是指不用仪器在任何方面都不能观察到,那么“动能”、“熵”、“质量”、“电荷”等等就可归入观察术语,因为我们往往不用仪器也能观察到它们的某些变化。如果是指不用仪器就不能测量某种东西及其性质,那么“质量”、“水”、“重量”等应列为理论术语,因为不用仪器是不能测量它们及其性质的。第二,所谓比较

少量的观察也是不明确的。观察次数指的是对该对象必须观察的次数,还是指必须重复的实验次数,还是指所观察的该对象不同特征的数目,还是指在能够进行最终观察以前初步研究的数量?不管指的是哪一种,都不能用来区分观察术语和理论术语。例如,物理学家可以根据一两次观察就鉴别出云室中的 α 粒子,而象“深佛青”这样的颜色术语可能要作许多次观察才能确定一个物体是否具有这种颜色。况且,如果观察术语是用来指可观察的物体的术语,那就根本没有观察术语了。因为任何一个可用来指可观察物的术语也可用来指不可观察物而不改变其意义。例如牛顿用“红色”来指由红微粒组成的红光。那么是不是可以说,观察术语有时可用来指可观察物,而理论术语决不能用来指可观察物呢?这也不容易行得通。如果这样,许多理论术语,如“引力吸引”、“电荷”、“质量”等等就是观察术语了,理由是人们可以用手指接触终端来确定电荷的存在。而且,理论术语来源于科学理论,这些术语常常指可观察物,例如达尔文进化论,起初提出时就是指可观察物。此外,具有认识意义的观察报告又常常使用理论术语。在“电子束被磁场吸引而偏斜”这条观察报告中,“电子束”、“磁场”、“吸引”等都是理论术语。由此可见,观察术语和理论术语很难截然分开。也正是在这个意义上,历史主义倡导所谓“观察渗透理论”,强调科学语言的不可分性,极端的历史主义者如费耶阿本德甚至否认科学语言与自然语言之间有意义的区分。但是,在现实的科学实践中,我们又不能不看到,科学语言与一般的人类自然语言又确实有着明显的不同,而且即便是科学语言本身,在具体使用中也是有所分别的。虽然逻辑经验主义截然区分观察术语与理论术语有诸多不合理之处,但也不能不看到这种区分又极富启发性。现在的问题是如何找到一个符合于科学实践的科学语言的分类原则,这是直到今天还在不断探索的课题。

三、科学概念与科学命题

科学概念是用科学语言表述的反映科学研究对象某方面属性的思维形式。科学概念同任何概念一样,具有既相互区别又相互联系的两方面的特征,即概念的外延和内涵。外延是指概念所涉及的类的总和。内涵是概念中所思考的属性、关系和本质特征的总和,这种总和会随着认识运动的深化时而增加、时而减少。内涵方面的变化也会引起外延方面的相应变化。当然,科学概念还有不同于其它概念的逻辑特征。

首先,科学概念应该是可以明确规定其涵义的。虽然科学概念的可确定性归根到底来自事物本质的确定性和实在性,它是可以通过实验手段来表征的。但这里所说的可确定性是指概念在逻辑上的可确定性,或可接受性。所以,科学概念的制作是允许有科学猜想和假设成分的。这时对概念的可确定性的要求,主要是指它能在现实或历史上的一定科学概念之间构成可演绎的网络,从而得到某种逻辑上的支持。比如“量子”概念在未经证实以前,显然是包含假设成分的,而且是一种与世俗看法相左的假设,但它与辐射、波粒二象性、物质波以及波动力学等概念和理论处于一定语义网络之中,所以仍然是具有可确定性的。

其次,科学概念不仅需要具有逻辑上的可确定性,而且必须具有实践上的可检验性。可检验的含义指可直接检验或可间接检验。爱因斯坦曾明确主张:“物理学中没有任何概念是先验地必然的,或者是先验地正确的。唯一地决定一个概念的‘生存权’的,是它同物理事件(实验)是否有清晰的和单一而无歧义的联系。”^①

最后,科学概念的内涵与外延一般都不是一成不变的,总会随着历史的发展而发生相应的变化。从人类认识史的经验来看,由于

^① 《爱因斯坦文集》第1卷,商务印书馆,1976:118.

客体的发展变化和主体认识为实践所限等原因,主体把握客体本质的程度总是近似的、不完全的。任何科学概念都不可能是凝固的、绝对不变的。科学概念的科学性和生命力就在于,它能随着实践和认识的发展而不断发展、深化、修正甚至更新。

科学概念之间的相互联系就构成了科学的基本原理或定律,而它们同时又是科学关于研究对象的基本关系的反映,是科学理论赖以建立的基础。科学的基本原理或定律在语言、结构上表现为命题的形式,一般用全称命题来表述。牛顿力学中的三个基本定律,爱因斯坦狭义相对论中的相对性原理和光速不变原理等等都可以表述为这样的全称命题。一个全称命题本质上可演绎出的用于实践检验的结论在数量上是无限的。

与全称的理论命题相对应的,是单称的事实命题。一个单称事实命题是一个个别存在的陈述,例如“铀具有放射性”、“氩具有化学惰性”、“水分子由两个氢原子和一个氧原子构成”等等。这些命题都是关于科学事实的单称命题,而象“所有微观客体都具有波粒二象性”、“整个宇宙都在膨胀着”等等之类的陈述则是全称命题,是对科学事实加工提炼之后得出的理论论断。明确科学命题的不同类型对于理解科学理论的结构以及科学哲学中各种关于科学理论结构的观点是非常有帮助的。

第三节 科学理论的结构

一、科学理论结构的“正统观点”

科学哲学中逻辑经验主义关于科学理论结构的观点被称为“正统观点”。在逻辑经验主义看来,科学理论是由概念和命题组成的体系,概念之间和命题之间存在着一定的联系,这种联系就是科学理论的结构。

逻辑经验主义者认为,一个成熟的理论应该由四种基本要素构成:抽象演算、抽象演算的说明或模型、对应规则、经验定律。

(1)抽象演算。抽象演算是由无解释的公设所组成的公理化的演绎系统,它不明显地定义了这个系统中的基本概念。在公设中出现的非逻辑词,除了由它在公设中的地位所产生的含义外,没有意义,亦即不指称任何实际事物,公设本身也不断言什么,它只是陈述的形式,不是陈述本身,并无实际内容。例如,欧几里得几何学中的一些基本概念,如“点”、“线”、“面”、“全等”、“之间”等在抽象演算中是无意义的。如果赋予这些概念以经验内容,则非但无助于演绎工作的进行,通常还有碍于演绎的精确性。一般用谓词变量“P”、“L”、“P1”等来表征这些概念。这些谓词变量无定义,唯一可说的是,它们是能满足公设提出的条件的一切事物(不明显定义或无固定意义)。

再例如,下列类演算:

基本词项:A、B 是任意的两个类。

① $A \vee B$ 表示其元素或者属于 A,或者属于 B,或者同时属于 A、B 两者。

② $A \cdot B$ 表示,其元素既属于 A 也属于 B 这样的类。

③ $\neg A$ 表示,其元素不属于 A 这样的类。

④ \wedge 表示空类,即任何元素都不属于 \wedge 。

这类演算并没有说明它指称什么,实际上它也许并不指称什么,也许能指称为一切事物。因此这个演算并无实际内容,但是却具有明确的形式特征,故而是抽象演算。

(2)抽象演算的说明和模型。模型往往是一个直观事物,它用相对熟悉的概念和形象的材料说明抽象演算,使抽象演算不仅具有形式特征,也具有实际内容。一般说,令 P 为公设集,令 P* 为将每一个 P 中的谓词变量代换为对于给定的 K 的元素类有意义的谓词而得到的一个陈述集;最后令 P* 由有关 K 中元素的真陈述

组成,则 P^* 是 P 的一个模型。

抽象演算的模型中一般包含两类假说:断言理论实体存在的假说以及关于这些实体行为的假说,前者叫存在假说,后者叫描述假说。例如,气体分子运动论中的模型:“假定存在着一个个球形的气体分子,它们都在不停地运动。由于分子数目大,运动中自然会发生碰撞。假定这些碰撞不损失能量,是弹性碰撞。”在这个模型中,球形的气体分子是观察不到的,是“理论实体”,这是一个存在假说,除此而外,还有若干假说,如“弹性碰撞”等。

在理论形成过程中,抽象演算与其模型孰先孰后?要看所处理的公理系统是实质公理系统还是形式公理系统。对于实质公理系统,是先有对象,即模型,后有公理系统,即抽象演算,比如欧几里得几何、牛顿力学、爱因斯坦相对论等就属于这种类型。对于形式公理系统,则是先有一个由毫无实际意义的基本概念、原理所组成的公理系统,即抽象演算。这时对象域是未知的,可能有对象,也可能没有。比如希尔伯特几何学中的“点”、“线”、“面”等概念毫无实际意义,但通过几条公设,如“过两点可做一条直线”等,可以推出一个公理系统。这些公设不明显地定义了这些概念。希尔伯特说,这些概念指的是什么我们并不知道,它可能指面包、椅子、数或者其他东西,究竟确切指的是什么,必须由基本公设来确定。为了使这样的系统具有实际意义,就必须给它找一个实际的对象,即模型。希尔伯特找到的模型是代数。“点”代换为由实数组成的序偶 (a, b) ，“线”的模型则为方程 $AX + BY = C$,这个模型符合基本公设提出的条件,如“过两点可做一条直线”(由两个实数序偶可唯一确定一个方程)。众所周知,这个模型就是解析几何。

(3)对应规则。表征观察术语与理论术语之间是有联系的,或者说使这两种术语之间实现转换的是“对应规则”。例如,在光谱学中,观察术语有“原子的线状光谱”,理论术语有“能级”、“电子轨道”、“电子跃迁”等,对应规则:电子在不同能级轨道之间的跃迁对

应于不同波长的光。

关于对应规则有不同的表述,比如“C假说”、“桥的原理”、“操作定义”、“语义规则”、“解释规则”、“词典”等。这些表述是就对应规则的不同作用而言的。对应规则主要有三个作用:第一,定义理论术语。对一个理论术语的定义往往就是一条定律,比如力=加速度 \times 质量。从这个意义上说,对应规则具有元理论的性质。第二,保证理论术语具有认识意义。借助对应规则,理论就能过渡到经验,从而作出解释和预见。第三,规定将理论用于观察现象的实验(操作)程序。

逻辑经验主义很强调对应规则的作用,但也提出应注意这样几点:第一,对应规则不能把所有的理论术语都与观察术语相联系。第二,正如词典中的注释不能穷尽一个词的意义一样,对应规则对理论术语的定义是部分的。对一个概念的定义包括两方面的内容:一是根据概念在理论体系中的功能使其获得系统意义;二是根据对应规则使概念获得经验意义。只有穷尽所有可能的对应规则才能完全经验地定义一个理论术语。第三,对应规则随理论的变化而不断地变化。一方面,在理论运动中,由于实验手段的不断完善,越来越多的理论术语成为观察术语,从而修正或取消了一些对应规则;另一方面,由于经验材料不断被概括上升为理论,从而改进或补充了一些对应规则。第四,理论术语与观察术语之间的联系十分复杂,往往不是单独一个对应规则所能反映的。

(4)经验定律。经验定律是从大量经验材料中概括、归纳出来的不变的关系。比如在一定温度下,气体的压力与体积成反比的定律等。经验定律中的所有术语都具有经验意义,都与某种实验程序相联系。之所以将经验定律作为理论的基本要素,是因为随着对应规则的不断丰富,经验定律可以通过对应规则从理论的基本原理中逻辑地导出,从而成为理论逻辑结构中的一个组成部分。

二、亨普尔对“正统观点”的修正

逻辑经验主义关于科学理论结构的观点受到亨普尔的全面批评。亨普尔认为，“科学理论可以比作一张错综复杂的空中之网，网结代表了它的术语，而连接网结的网绳一部分相当于定义，一部分相当于包括在理论中的基本的以及派生的假说。整个系统好像是漂浮在观察平面上，并且由解释规则固定在观察平面上。可以把这些解释规则看成一些细线，它们不是网的一部分，但是把网上的某些点和观察平面的特定位置连接起来。借助于这种解释性的连结，网就能作为一种科学理论起作用，从某些观察材料开始，我们可以通过解释性的网绳上升到理论之网的某些点，进而通过定义和假说达到其他一些点，而其他的解释性网绳使得可以从这些点下降到观察平面。”^①亨普尔的这个比喻性的理论结构模型也称为“部分解释理论”，因为理论之网上并不是每一个网结都被解释性细线将其与观察平面相连接，理论中只有部分网结与经验直接相连，理论是作为整个系统而具有经验意义的。

70年代以后，亨普尔又对自己上述关于科学理论结构的观点进行了修正。亨普尔把他关于理论结构的新见解用这样的公式来表示： $T = \langle I \cdot B \rangle$ 。

这就是说，一个理论由两组原理构成。第一组(I)称为内在原理，它们详细地说明了由理论假定的实体和过程，以及支配这些实体和过程的理论性定律。第二组(B)称为连接原理，它们指出了理论所假定的基本过程和可观察现象之间的关系。例如，在气体分子运动中，内在原理是在分子水平表征微观现象性质的那些原理，它包括：内在实体——理想分子，内在过程——分子的随机运动，内在规律——统计规律。若用气体分子运动论来解释波义耳定律，则

^① 转引自舒炜光，邱仁宗，《当代西方科学哲学述评》，人民出版社 1987：78。

连接原理有：(1)压强在数值上等于理想分子每秒钟对容器单位面积施加的总动量 $[P = \frac{2}{3} \cdot \frac{N}{V} \cdot (\frac{1}{2}m\bar{v}^2)]$ 。(2)温度对应于气体分子的平均平动动能 $(\frac{2}{3} \cdot K \cdot T = \frac{1}{2}m\bar{v}^2)$ 。通过这两个连接原理，便可以从气体运动论导出波义耳定律： $PV = C$ (常数)。

亨普尔的内在本原理和连接原理虽然与正统观点关于理论的两个部分有相似之处，但是，亨普尔关于科学理论结构的基本观点却与正统观点有着很大不同。

第一，亨普尔认为，一个理论的内在本原理——从而相对应的抽象演算——一般必须含有除理论术语以外的前理论术语，例如，经典气体分子运动论的基本假设赋予原子和分子以质量、体积、速度、动量和动能等这样一些特征；而这些特征在先前对宏观现象的研究中早已被论及了。光的波动说也使用这样的先前已用过的概念如波长、频率等等。因此，正统观点的抽象演算，一般地说，并非除逻辑和数学符号以外仅仅含有新理论术语的完全无解释的系统。

第二，亨普尔认为，对于经验科学来说，理论的公设并不构成基本概念的不明显定义，除了公理化的纯数学理论，如希尔伯特几何学以外。否则的话，公理化理论的真理有了先天地保证，就没有进行经验研究的任何必要了。

第三，亨普尔认为，对应规则并不保证其所定义的理论术语具有确实可靠的性质。他指出，那些被对应规则所保证的大多数理论术语，严格说来，最终都要被它们对其发展起了重要作用的那个理论认为是假的。即使一个术语原来由于规定被当作真语句引进来，它随即参加了这个理论的其他陈述分子的俱乐部，并且由于进一步的经验发现或理论发展而成为可以修正的。

三、奎因的网络模型

逻辑经验主义关于科学理论结构的正统观点以及亨普尔对它的修正,都是建立在两种语言,即观察术语与理论术语区分的基础上,这一基础受到各种批判。普特南指出,两种语言的区分是没有根据的,因为,(1)一切名词,包括观察名词,都至少有应用于不可观察的事物的可能性。如果观察名词只能用来指称可观察事物,那么就根本没有观察词,因为观察词总是可能在不改变其意义的条件下应用于不可观察的事物,就如牛顿用“红色”(观察词)来假设红光是由红色粒子(不可观察事物)组成的一样。(2)用来指称不可观察事物的名词并不都是理论名词,而且有些理论名词主要是指称可观察事物的,例如“卫星”虽然是一个科学理论名词,但它所指称的事物是可观察的。(3)观察陈述或观察报告可能并且常常含有理论名词,例如陈述:“我们在实验中也观察到两对电子——阳电子偶的产生”,就是这样的例子。(4)一个理论陈述或一个科学理论可能仅仅指称可观察事物,达尔文进化论最初提出的形式就是如此。所以,普特南认为,在科学理论中,根本不存在“如何能解释理论名词”这样的问题,为提出这个问题而创造的两种语言的区分以及建筑在其上的科学理论结构是不合理的。

奎因则沿着这条路线进一步批评了正统观点的“还原论”原则,即所谓理论陈述孤立地通过对应规则与观察陈述相联系,从而使理论陈述取得经验意义的原则。在此基础上,奎因提出了他的关于科学理论的网络模型。他认为,科学理论不是孤立的单个命题陈述,因为“整个科学是一个力场,它的边界条件就是经验,在场的周围同经验的冲突引起内部的再调整”,因此“在任何情况下陈述都可以认为是真的……反之,由于同样原因,没有任何陈述是免受修

改的”。^①也就是说,理论名词和理论陈述是从科学的整体,从语言的网络中取得它们的意义,并不是由它们各自孤立地通过一定方式还原为观察名词和观察陈述而获得经验解释。在奎因看来,科学是由许多相互联系、相互影响的命题和原理组成的错综复杂的大网络,因此,在科学理论中,彼此在意义上相互独立的命题是不存在的,对一个命题的重新解释必然会引起对它周围的一些命题的重新解释。同经验事实发生联系的是科学的整体,而不是单个命题。科学整体只在自己的边缘同经验接触,从边缘到其内部是普遍性逐渐增加的科学定律,愈到中心,就愈远离经验。整体的边缘与经验发生矛盾时,不是引起某个命题的改变,而是导致内部的调整。至于调整哪个部分以适应经验事实,则有较大的选择自由,即使边缘部分的命题与经验事实发生冲突,也可以通过对整个网络的调整而保存这一命题。奎因的这个网络模型观点对于正统观点无疑是彻底的否定。在奎因之后,许多科学哲学家都主张用网络模型来代替两种语言的模型。

四、关于科学理论结构的评论

由于人们很大程度上是依靠科学理论来系统地、精确地、深入地理解自然界现象和过程的,因而,科学哲学家们对于科学理论的各项问题都进行了深入的研究。这些问题包括科学理论的结构、功能、性质和评价等,其中科学理论的结构问题是关于科学理论的基础性问题,历来受到各学派科学哲学家的重视。逻辑经验主义作为现代科学哲学的起点和典型代表,对科学理论的概念之间和命题之间的逻辑关系及语言关系进行了深入细致的研究,提出了关于科学理论结构的系统而完整的看法,这对于科学哲学深入研究科学理论的逻辑构造无疑起了积极的推动作用。但是,由于逻辑经

^① 奎因.《从逻辑的观点看》,上海译文出版社,1987:40~41.

验主义所处的历史时代及其视野的限制,他们的目的是要在更复杂的条件下贯彻经验主义的意义标准,以更精细的方式确定理论概念和理论命题的经验意义,这就不能不使他们的许多观点陷入一定的片面性,如两种语言的绝对区分,理论陈述取得经验意义的“还原论”原则等。但同时我们也应该看到,逻辑经验主义关于科学理论结构的正统观点所提出的问题,即科学理论中理论陈述与经验陈述的关系问题毕竟是科学理论结构中的基础性问题,关键在于如何恰当地理解两者之间的关系。

亨普尔对正统观点进行了修正,他已不再把科学理论看作一个最初没有经验解释的公理系统。亨普尔认为,对于经验科学来说,用正统观点所谓公理化演算来表达理论,不仅其可能性值得怀疑,而且从必要性来看,也是不合理的。此外,亨普尔所说的连接原理与正统观点的对应原则也是根本不同的,他并不像正统观点那样把连接原理看作是用来配给公理化演算的表示式以经验内容的特殊的语句集,因而把它与内在原理作严格的区分,相反,亨普尔认为内在原理和连接原理的区别是模糊的,两者都既含有先前使用的名词也含有理论名词,具有同等的认识地位,都是理论的一个部分。所有这一切都表明,亨普尔关于科学理论结构的观点已经在一定程度上离开了逻辑经验主义的正统观点。而奎因的网络模型则更是与卡尔纳普等所代表的两种语言模型大相径庭。后来历史主义学派的科学哲学家一般都接受奎因的观点。尤其值得注意的是,历史主义者还强调从科学理论的历史过程来考察科学理论的结构,这就是如何从科学理论的结构来说明科学理论在历史的动态的发展过程中所呈现出的诸多特征。例如,科学史表明,科学理论常常表现出显著的韧性,它能够通过调整某些辅助假设的办法来消除反常,甚至于把反例变为正例,以及作出新事实的预言等。对于科学理论的这样的审证,在其理论结构上也应该有相应的性质作为内在根据。这是从科学理论的历史发展过程所表现出来的功

能来研究其内部结构,与逻辑经验主义从逻辑的语言角度来考察科学理论的概念之间和命题之间的关系,是完全不同的。历史主义者把科学理论看作是一个开放系统,它能够在与经验事实相互联系和相互作用中不断地调整自己的结构,从而使自己更加完善,更加与经验事实相协调。

然而需要指出的是,在发展科学理论结构的整体性和可调整性的观点中,又产生了另一种极端的看法,即认为科学理论中的任何陈述都可以被确定是真的,只要我们对科学整体中其他部分作出足够的调整,即使是一个很具体的陈述,如果它与经验事实不符,也可以用幻觉为理由而保全它。这种极端观点强调科学理论中那些并不与经验事实直接联系的部分,只是一种用来解释经验事实的人为的虚构,只要在解释经验事实中能保持理论整体上的融洽一致,人们就可以对理论作出任意的调整和虚构。显然,这种极端的观点与科学实践并不符合,应该说是对科学理论结构的整体性和可调整性所作的歪曲解释。

所以,对于科学理论结构的问题,既要克服逻辑经验主义把理论术语、理论陈述与观察术语、观察陈述作严格区分,孤立地将理论术语和理论陈述通过对应规则与观察术语和观察陈述相联系,从而取得意义的片面观点,也要防止那种把科学理论结构的整体性和可调整性绝对地夸大,从而否认构成科学理论的概念、陈述和原理的客观真理性的片面观点,这也许正是现代科学哲学在新的发展中必须加以解决的一个问题。

第四节 科学理论的评价

一、逻辑经验主义评价模式

科学理论的评价是关于人们如何接受和选择理论的问题。评

价科学理论是为了在相互竞争的多种理论中作出合理的选择,以促进知识的成长和科学的进步,所以科学理论的评价问题在科学哲学各流派中一直受到普遍重视,形成了不同的评价标准和评价模式,其中有代表性的包括逻辑经验主义代表人物卡尔纳普的归纳支持理论、批判理性主义代表人物波普尔的可证伪性与逼真性标准以及历史主义代表人物库恩的理论评价模式。

逻辑经验主义的科学理论评价模式尽管经历了许多变化,但其基本内容就是将经验证实原则和归纳逻辑结合起来,其中典型的代表就是卡尔纳普的归纳支持理论。在卡尔纳普的评价模式中,评价科学理论的标准就是分析构成科学基础的观察陈述即经验证据和被检验理论之间的逻辑关系,根据这种逻辑关系来确定理论在多大的程度上被确认,而在归纳逻辑中,是用逻辑概率来表示单称命题对全称命题、前提对结论、证据对理论的非必然的支持或确认程度。

卡尔纳普的归纳逻辑的基本思想是这样展开的,他假定一种语言系统 L 的基本命题函项具有形式 $P_j(x_j)$,将 L 的所有的基本谓词和个体名称分别代入这个函项,便可形成 L 的所有的基本句子。现在构造出这样一个合取式,使得 L 中的每一个基本句子或者它的否定式在其中出现。这个合取式就是所谓的状态描述。 L 中有若干状态描述,每一个这样的状态描述可以看作表达了相对语言系统 L 的一个“可能的世界”,因为它在 L 中最详细地描述了世界的一种可能状态。任何两个状态描述之间都是互不相容的,所有这些状态描述的集合便穷尽了世界的一切可能性。因此,所有状态描述的概率之和为 1。接下来的问题是如何确定每个状态描述的概率。似乎可以根据无差别原则赋予每一个状态描述以同等的概率。假定 L 中共有 K 个状态描述,那末每个状态描述的概率就是 $1/K$ 。但卡尔纳普认为这样处理欠妥当。因为有些状态描述在逻辑结构上是不同的,因此只应对“同构”的状态描述给予同等概率。根

据状态描述在逻辑结构上的同异,卡尔纳普把 L 中的状态描述分为 m 组,其中任何一组中的状态描述都是逻辑同构的,而不同组的状态描述是不同构的。不同的组所包含的成员数 n_j 往往也是不同的。他首先把概率平分于各个组,即每一组的概率都是 $1/m$,然后把 $1/m$ 的概率又平分给任何一组所包含的各个状态描述,每个状态描述的概率是 $\frac{1}{mn_j}$ 。由于各组成员数 n_j 往往不同,所以,各组的状态描述的概率也就往往不同,但同一组内的各个状态描述的概率一定是相同的。不难看出,这里先后两次使用了无差别原则。第一次使用的结果就是赋予每一组以相等的概率,第二次使用的结果就是赋予任一组内各个状态描述以相等的概率。按照上述方法, L 的每一个状态描述的概率便“先验”地确定下来了。状态描述的概率一旦确定下来, L 的任何一个句子的概率也就随之确定了。这是因为 L 中的任何一个非逻辑假的句子 j 都等于一个由若干状态描述组成的析取式 j' ,而 j' 的概率恰恰是它所含状态描述的概率之和。卡尔纳普把句子 j 先于任何事实证据的概率称为它的“空确认”(null confirmation),记为 $C_0(j)$ 。此外,根据他的概率定义容易证明,一个假说或理论 h 相对于证据 e 的确证度为:

$$C(h, e) = \frac{C_0(h, e)}{C_0(e)}$$

既然在理论上任何 $C_0(h, e)$ 和 $C_0(e)$ 均可确定,那么,任何 $C(h, e)$ 自然也可以确定,从而就可以计算出一个理论的确证度。有了确证度就有了评价理论的标准。因为在卡尔纳普看来,一个正确的、可接受的理论必须是具有更高确证度的理论。卡尔纳普关于科学理论评价的归纳支持模型本质上是通过分析理论与证据的逻辑关系来评价理论。

二、批判理性主义评价模式

批判理性主义的代表人物波普尔站在科学“可错论”立场上,

反对卡尔纳普等逻辑经验主义者的归纳支持的评价模式。波普尔首先论证了把证实或确认作为理论评价的要求是不可能实现的。波普尔认为,科学的目的并不是要提高理论相对于经验证据的高确认度,也即高概率,因为一个理论相对于证据的概率越高,它的内容便越贫乏,实际上一个理论的可确认性与所经受的严峻检验的确认程度,是随着可检验程度而增加的,因而应当与逻辑概率成反比。这与逻辑经验主义者借助于概率演算推导的确证函数,即确证度与理论成立的逻辑概率成正比是针锋相对的。波普尔认为,如果高概率是科学的目的,那么科学家就应当尽量少说,并且最好只说同义反复的话,而实际上,为了科学的进步,我们希望得到的是内容丰富而深刻的,概率则是较低的理论。因此,波普尔科学理论评价的第一个标准,就是要求理论比背景理论具有更多的经验内容。因为理论的经验内容愈多,就意味它愈可检验、愈可证伪。所以这个标准也就是要求选择具有更高的可检验性或可证伪性的理论。

波普尔的第二个评价标准要求理论经受住“严峻检验”。理论经受“严峻检验”与逻辑经验主义的“经验证据”含义不同。“严峻检验”与背景知识有关,而背景知识是由在检验时刻被科学界和社会暂时接受为毫无问题的陈述所组成。什么是严峻的检验呢?如果理论和背景知识合在一起所预测的结果和单独由背景知识所预测的结果不同,前者概率高,后者概率低,这种检验即为严峻的检验。换句话说,一个理论的预测是背景知识所预料不到的,与背景知识的陈述相违反,它是这样的出乎预料,这样的不可信,但这种预测却得到确认,这种预测的检验即是严峻的,进而背景知识将被这一理论所修改。波普尔提出检验严峻性的评定是:设背景知识为 K , 理论为 T , 对 T 进行检验所得到的证据为 E , 那么 E 越是不可信, 相对于 K 和 T , E 的概率越高, 这个检验就越是严峻的, E 给 T 以极大支持。如广义相对论受到了爱丁顿率领的考察队对日食观测

的严峻考验,经过严峻检验,发现了当时背景知识意想不到的在强引力场周围的空间是弯曲的,爱丁顿的证据给新理论以莫大支持,背景知识将为之修改,这种预测的检验就是严峻的。波普尔理论评价的“严峻检验”标准,表明能够给理论以支持的证据是有时间性的,比逻辑经验主义的观点前进了一步。

波普尔理论评价的第三个标准是理论的逼真性。波普尔把科学理论所具有的逼近真理的性质称为“逼真性”,而把逼真性的程度称为“逼真度”。一个理论愈进步,它就愈符合事实,就愈接近真理,它的逼真度就愈高。为了定义逼真度,波普尔把科学理论看作为真内容与假内容的统一。一个理论,如果它经受严峻检验得到确认,就表明它的内容具有一定的真证性;但任何理论都只是对世界的猜测,因而它的内容又必然有一定虚假性。假定理论 a 的内容以及真内容和假内容都是原则上可度量的,那么就可用下述公式来定义理论 a 的逼真度:

$$V_s(a) = C_{TF}(a) - C_{IF}(a)$$

这里 $V_s(a)$ 表示理论 a 的逼真度, $C_{TF}(a)$ 表示 a 的真内容, $C_{IF}(a)$ 表示 a 的假内容。显然,理论的逼真度与它的真内容的量成正比,与它的假内容的量成反比。一个理论的真内容愈多,假内容愈少,它的逼真度就愈高。一般地说,一个理论在下列六种情况下,可以认为其逼真度比旧理论高:

(1)比旧理论作出更精确的断定,而且这些更精确的断定经受住了更准确的检验。

(2)比旧理论说明更多的事实。

(3)比旧理论更细致、更详尽地描述或说明事实。

(4)能通过旧理论所不能通过的检验。

(5)能提出旧理论没有提出过的或者对旧理论是不适用的新的实验检验,并且通过了这种检验。

(6)能把旧理论无法统一的问题统一起来或联系起来。

但是,要一般地把逼真性概念应用于理论的评价,则存在着根本性困难,这不仅因为理论的真内容和假内容难以量化,而且两者之间在质上是不可比较的。总的说来,波普尔的理论评价标准,归根到底都着眼于科学的进步,要求理论比其先行者具有更多、更深刻的内容,表现了科学哲学对科学理论的深刻性的追求,这对于逻辑经验主义仅仅着眼于追求科学理论的确实性,一味要求理论相对于证据具有高概率,无疑是一个突破。

三、科学历史主义评价模式

对于逻辑经验主义和批判理性主义的理论评价模式,科学历史主义的代表人物库恩提出了全面的挑战。库恩认为,科学理论评价的原则是随历史而变化的,在不同历史时期持不同范式的科学家有不同的评价标准,根本不存在象逻辑经验主义者所说的那种普遍的、超越历史的评价原则和标准。库恩指出,不论是卡尔纳普还是波普尔,他们的评价观念都植根于这样的假定:理论的评价和选择可以用语义上中立的技术加解决。这就是用共同的基本词汇把不同的理论的观察推断陈述出来,然后计算它们真假的某种比较测度,以此作为在它们之间进行评价和选择的基础。他认为这种企图从逻辑和语言的分析中引伸出理论的评价标准是根本行不通的,因为这是把评价仅仅局限于被检验理论与观察证据之间的佐证关系的分析和说明。按照库恩的看法,这种情况只是常规科学中才出现,这时科学的主要任务是应用范式去解决难题,在这里,评价就是要确定应用范式去解决难题是否成功,因此把解决难题的方案和观察实验加以对比,看它们是否一致,就成为评价的标准。但是,在非常规科学中,在相互竞争的范式的选择中,评价就完全不同了。库恩认为,观察和实验可以而且必须有力地限制可接受的科学信念的范围,但是,它们不能单独决定一组特殊的科学信念。在范式和理论的评价和选择中,库恩承认有一些决定“什么样的科

学理论是好的”的客观价值标准,诸如:

(1)理论应当精确。就是说,在这一理论的范围内从理论导出的结论,应表明同现有观察实验的结果相符合,能够更好地说明现象,不仅包括量的方面,也包括质的方面。

(2)理论应当一致。它不仅要内部自我一致,而且要与现有适合自然界一定方面的公认理论相一致。

(3)理论应有广阔视野。一种理论的结论,应远远超出于它最初所要解释的特殊观察、定律或分支理论,能预言旧范式完全没有意料到的现象。

(4)理论应当简单。它给复杂的现象以秩序,否则现象就成了各自孤立的混乱一团。

(5)理论应当产生大量新的研究成果。它应能揭示新的现象或已知现象之间前所未知的关系,应能解决使旧范式导致危机的各种问题。

这五条标准概括起来就是:科学理论的精确性、一致性、广泛性、简单性和有效性。在库恩看来,这些标准只是用来作为科学家所共同使用的价值准则,而不是用来作为评价的算法规则。“科学家在相互竞争的理论之间作选择不仅依赖共有准则,而且取决于一些随个人经历和个性不同而各异的特异因素。”^①这些特异因素就是各人的个性心理、所受教育、专业研究的先前模式以及所接受的社会思潮的影响,等等。这正是造成理论选择差异的个人主观因素。由此库恩得出结论,“每个人在相互竞争的理论之间进行选择,都取决于客观因素和主观因素的混合,或者说共有准则和个人准则的混合。”^②既然个人选择常常因主观因素的作用而发生差异,那么是否还有共同体的共同选择呢?库恩认为,既有个人选择,也

① 库恩.《必要的张力》,福建人民出版社,1981:323.

② 库恩.《必要的张力》,福建人民出版社,1981:319.

有共同体的选择。一种新理论为科学家集团接受之前,已通过许多人的研究工作而经受了时间的考验,因此选择的决定权应当由科学家集团操纵。这些专家尽管在理论评价中没有严格的算法规则,尽管他们对理论的偏爱还包含着个人经历和个性所决定的特异性因素,但在有关相互竞争的范式和理论的优缺点的争论中,他们最后仍会形成一种一致的意见,从而作出最终的评价。

库恩的理论评价模式,对于把评价局限在抽象的逻辑标准范围内的传统观念来说,显然是一个根本性变革。在库恩的评价模式中,既有客观标准,又有主观决断,强调把知识和认识主体结合起来,这对于逻辑经验主义把知识看作完全独立于主体、独立于社会文化环境的抽象观点,无疑是一个进步。另外,库恩把对一个理论前途的信念或信仰,看作是与理论的评价和选择有关的最重要的因素,而且指出这种信念或信仰不是来自证据的分析,而是来自科学家敏锐的洞察力,这种见解也是十分深刻的。

四、对各种评价模式的评论

评价科学理论是为了促进科学知识的增长,是在理论的竞争中选择更可靠、更有前途的理论。关于科学理论的评价问题,现代科学哲学形成了两类有代表性的观点,这就是以卡尔纳普、波普尔为代表的分析经验论的观点和以库恩为代表的历史主义观点。前者强调理论与证据的一致,这似与人们的直觉相符,也可以解释科学史上的许多事例,但它不能解释科学家为什么有时要接受一个还缺乏证据支持甚至于还存在一些反例的理论;后者反对根据证据来评价理论,认为理论和证据之间存在着复杂的相互联系和相互作用,如果以一时的证据来评价理论,就会对具有发展前途但一时还缺少证据的理论作出错误的判定。但是历史主义的评价模式又很容易将理论评价引向相对主义,从而导致科学的非理性化。两种观点都从某一个侧面反映了理论评价的性质和特点,但也都有

一定的片面性。因此,科学哲学家大多认为,合理的评价模式必须综合考虑到各种因素的作用,那种试图用一种或很少几种简单的评价标准来决定理论命运的做法是不可取的,而且理论的评价不能仅仅停留在对理论本身的分析,还必须结合现实的科学家的评价活动本身去探索。

在现实中,科学家们对理论的好坏作出评价时,会受到科学以外的因素(诸如库恩所说的个人的个性、某种偏好、价值观念以及其他社会因素)的干扰和影响。但评价科学理论不应随心所欲,为个人偏爱所左右。因为科学的基本价值是追求真理,这与追求理论的解决问题能力和有效性是统一的。尽管对真理性、有效性等概念可能有不同的理解,具体规范也是不精确的、模糊的、可变的,但我们还是可以大致概括出理论评价的几个要点:

(1)理论同经验事实的一致性。即从理论推出的可检验的结论应该与实验检验的结果相符合,以表明理论具有真理性与精确性。理论与实验结果符合得越好、越广泛,理论的可接受性也越大。特别是在新、旧理论的交替时期,新理论往往以更好、更广泛地与实验结果相符合为特点,它不仅能说明旧理论已说明的现象,还能说明旧理论不能说明的现象。

(2)理论内在逻辑的完备性。这个标准从来都在选择和评价各种理论中起着重大作用。由于科学理论是具有一定逻辑结构的理论体系,因此必然要求理论内部在逻辑上自治。理论不仅应保持内部逻辑上的一致性,而且还要与公认的有关理论保持一致性。理论内在逻辑的完备性之所以能成为评价科学理论的重要规范之一,还因为自然界具有复杂性和多样性,对于某种理论总可以增加许多辅助性假设,使之与某些事实相适应。因此,只以外部证实作为评价标准是不充分的,还应该考虑到科学理论具有相对的独立性与自主性。有许多新科学理论不是通过实验和科学事实的积累建立的,而是先构造理论,演绎出可供检验的结论,然后再由实验加

以验证。这种方法既显示了科学认识的相对独立性,也说明了追求科学理论内在逻辑的完备性是非常重要的。

(3)理论的简单性。自然科学理论体系应具有最大的简单性,即该体系所包含的彼此独立的基本概念和基本定律最少。这是因为:第一,理论的基本概念和基本定律越少,它的整个理论体系在逻辑上的完备性也越容易判断,理论体系内部的无矛盾性也越易于实现;第二,反映自然界本质的规律表述得越简单,也越容易通过观察实验进行检验,使实验具有容易重复、反复检验的优点;第三,科学理论的基本概念和基本定律尽可能少,意味着每个概念中包含的经验内容尽可能多,这样的理论体系才具有应用的广泛性。此外,理论的简单性也与科学家追求物质世界的统一性,追求理论形式的简单、和谐、对称与理论的数学美有关。

(4)理论的预见性。科学理论应当有广阔视野,能预言那些未知的、或在理论建立时未被解释的现象,能超过最初所解释的那些经验事实,产生大量新的研究成果。这样的理论体系属于进化的研究纲领。科学理论的功能不仅表现为能够解释已知的自然现象,更重要的是表现为能够预见目前尚未观察到、但却能为尔后科学实践观察到的自然现象。科学史表明,一个科学理论所揭示的自然规律越深刻、越普遍,它的预见性便越强;预见到的现象越多,它的实践和理论意义也越大。

本章进一步阅读书目

1. 邱仁宗编著. 科学方法和科学动力学. 北京:知识出版社, 1984
2. 舒炜光, 邱仁宗主编. 当代西方科学哲学述评. 北京:人民出版社, 1987
3. 林超然主编. 现代科学哲学教程. 杭州:浙江大学出版社,

1988

复习思考题

1. 科学与非科学划界的基本标准是什么?它有什么现实意义?
2. 试结合自己的专业,分析科学语言分类的意义和进行分类的基本原则。
3. 如何评价科学理论结构的“正统观点”。
4. 试比较批判理性主义和科学历史主义关于科学理论的评价模式。

第五章 科学方法

科学理论是科学研究活动的产物,科学研究活动离不开科学方法。“方法”一词的希腊文原意是“遵循某一道路”,指规定为了实现一定的目的,必须按一定的顺序采取的步骤。科学方法,按其本意,也就是指为了获得科学知识,在科学研究活动中所应该遵循的程序。现代科学哲学达到的成就之一是认为不存在科学发现和发明的机械程序或万无一失、一成不变的方法,正如不存在包治百病的灵丹妙药一样。但是,不存在包治百病的灵丹妙药并不等于不存在针对具体症状的药,没有一成不变的方法也并不等于没有方法。科学方法贯穿于科学研究活动的始终,并伴随科学的发展而不断充实、丰富和提高。

第一节 科学发现与科学证明

一、从发现逻辑到证明逻辑

探讨有关科学方法的问题必须首先分析科学研究活动,离开了具体的研究活动,方法就成了无源之水。对于科学研究活动,英国的物理学和天文学家赫歇耳最早区分出了它既相互联系又相互区别的两个方面内容,即科学的发现和科学的证明。他认为科学定律的发现和理论的提出,同它们得到证明和被认为可以接受是两个不同的问题,但赫歇耳同时也认为对于科学研究活动来说,发现更为重要,科学方法主要是关于发现的方法,归纳和假说就是两类最重要的科学发现方法。赫歇耳的思想有着深刻的哲学和科学发展的历史背景。从亚里士多德的《后分析学》以来,到17世纪、18

世纪的著名思想家培根、笛卡儿、洛克、莱布尼兹和牛顿等，都相信关于科学发现的一些规则是可以通过哲学的分析而给出明确表述的。不过在那时，人们对科学发现问题和科学证明问题并没有加以区分。因为他们相信一种正确的发现逻辑将自动证明其产生的理论的正确性，那种与发现逻辑相分离的证明逻辑是多余的。这种看法实际上是同当时占统治地位的所谓可靠论的科学观联系在一起的。这种科学观把科学看作是绝对可靠的知识，认为可靠性是科学的本质，它不会随时间的推移而改变。既然肯定科学是绝对可靠的知识，那也就必然地合乎情理地断定科学理论本身必定是按照某种严格的规则系统来发现和确立的，因为这种支配科学理论得以产生的严格的规则系统正是科学可靠性的基础和保证。

但是从19世纪中叶起，科学认识的可靠论者所追求的发
现逻辑开始受到怀疑，而科学的证明逻辑则越来越受到重视。促使这种转变的原因，一方面是当时企图明确表达发现逻辑的种种设想和努力都归于失败。在18世纪，由于培根和牛顿的倡导，人们曾相信从多个单独的事例中形成一个全称陈述的归纳法，就是这种决定着科学可靠性的发现逻辑。而达朗贝尔、普里斯特列以及其他许多启蒙哲学家甚至还认为可以实现一种发现的归纳机器。但是后来人们发现，科学的更深刻的内容并不仅仅是，甚至并非主要是由那些从单个事例中归纳而得出的全称陈述所组成，而往往表现为一种具有深层结构的、其中某些概念并没有对应的观察物的解释性理论。象当时的光的波动理论，物质的分子原子结构理论等，都强烈地显示了科学理论的这种特征。这就不能不引起人们对那种把归纳法看作发现逻辑的观点表示极大的怀疑。另一方面，随着科学和哲学的发展，科学认识的可靠论本身也在19世纪的二三十年代起开始瓦解了。非欧几何的出现，表明理性主义者企图把科学的可靠性归结为先验理性直觉证明是不可能的，这就在根本上动摇了他们所主张的可靠论的基础；非牛顿物理学的出现，使人们看到经

验主义者可靠论的两个支柱——经验基础的确实性和归纳推理的正确性已摇摇欲坠,这表明他们所主张的科学认识可靠论也同样是不可靠的。在科学知识的可靠论逐渐被可错论取代的情况下,越来越多的哲学家开始相信,科学命题虽然不可能通过寻求它与其前提的逻辑关系而实现对它的先验证明,但却可以通过寻求它与其推断的逻辑关系而给它作出后验的评价。所以,在可靠论走向瓦解的同时,证明的逻辑也就日益受重视,并不断得到发展。

最早明确指出科学哲学所涉及的只是证明的前后关系,而与发现的前后关系无关的是莱辛巴哈。按照他的看法,科学发现的行为是无法对其进行逻辑分析的,那种能用来制造“发现机器”的逻辑规范是不存在的,所以探讨科学发现的过程和机制并不是科学哲学的任务,而是属于认知心理学、科学社会学以及科学史的研究领域。科学哲学所能做的工作,就是分析所给予的事实同作为说明该事实而提出的理论之间的逻辑关系,从而确定该理论在所给予的事实、所提供的检验下所具有的可信程度。莱辛巴哈的观点不但被逻辑经验主义者所接受,而且波普尔也完全赞同。波普尔认为理论的发现来自灵感,科学家借助灵感对问题作出普遍性的猜测,每个发现都含有“一种非理性因素”,在构想和发明理论的阶段,既不需要运用逻辑分析,也不接受逻辑分析。

逻辑经验主义和波普尔学派把发现问题排除于科学哲学之外,似乎又走向了另一个极端,必然使自己的学说同科学的实践发生矛盾。50年代末,汉森发表了《发现的逻辑》、《发现的模式》等著作,对逻辑经验主义的观点提出了批评。他认为假说的发现,是通过在现象中发现某种模式、模型来实现的,也有一个理性的过程,因此,科学哲学不但要研究证明逻辑,而且,更重要的是要研究发现逻辑。在汉森之后,随着历史主义科学观的影响日益深入,科学哲学家越来越重视发现问题的研究,有关研究发现问题的著作也急剧增加,证明逻辑还是发现逻辑的问题成为科学方法研究的核

心问题之一。

科学发现与科学证明是科学研究活动中既相互区别又相互联系的两个方面,它们是紧密联系、不可分开的。在科学发现中,既存在着直觉这样的非逻辑思维活动,也存在着从前提到结论这样的逻辑思维过程,两者互为因果,彼此相互促进。说科学发现是创造性思维活动,并不意味着科学发现就是一种非理性过程。在科学发现中,固然存在着灵感、顿悟这样的非逻辑因素,但对于整个创造活动来说,基本的、主要的仍然是理性过程。理性并不仅仅就是逻辑,把理性等同于逻辑是不对的,理性概念比逻辑要宽。在理性中,也包含着非逻辑的推理,这是科学发现过程中的一种重要的思维活动。因此,决不能因为不存在科学发现的逻辑,就认为科学发现问题只能归历史学家和心理学家去研究,恰恰相反,它应该而且可以从认识论和方法论的角度进行探讨。当然,这种探讨不应该仅仅理解为逻辑分析,而应在更广意义上理解为理性的分析、方法论的分析。

二、科学研究一般程序与科学方法

科学方法种类繁多,按其对象和适用范围大致可以分为三个层次:第一层次是各门自然科学中的一些特殊的和具体的研究方法,如现代化学常用光谱分析的方法确定研究对象的成分和含量,现代物理学用高能加速器来研究微观粒子运动规律,现代天文学用光学望远镜和射电望远镜等技术来观察天体运动规律等,由于各个学科领域所研究对象的性质、状态和属性不同,因而研究方法也有其独特之处;第二层次是适用于各门自然科学的一般研究方法,它是从具体、特殊的研究方法中提炼和概括出来的,并随着各门自然科学具体研究方法的发展而发展,如实验方法并不是指具体的物理实验、化学实验、生物实验等,而是研究各种不同的实验所具有的共同特征和规律,实验方法虽然会由于学科不同、研究对

象不同而有所差别,但一些基本的环节和过程是相同的;第三层次是概括面最广、抽象程度最高,普遍适用于自然科学、社会科学、思维科学的研究方法,也即哲学方法。

科学哲学中关于科学方法的研究主要是对上述第二层次方法的研究,也就是关于适用于各门具体自然科学的一般科学方法的研究。第二层次的一般科学方法也有很多种,形成了一个关于科学方法的学说或理论体系,即科学方法论。在这里,各种科学方法并不是彼此孤立、互不相干的,而是相互联系、彼此衔接地贯穿于科学研究的全过程。在科学研究过程的各个环节上,不同方法所起的作用是有区别的,而科学研究过程的一般程序像一条红线将不同科学方法有机地串联起来。可以说,科学研究的一般程序从总体上大致勾划出了科学方法论的体系框架。

科学研究虽然没有固定的程序和模式,但在一般情况下,科学研究过程总是由几个相互连接的环节组成,这些环节大致包括这样五个:

(1)科研选题。这一环节是从发现或接触各种科学问题开始的。在整个科学研究过程中,选题是具有战略意义的一步。在这个环节上,发现和确认问题、分析问题的类型和来源都具有重要的方法论意义,它直接决定着未来科学研究的走向。

(2)获取科学事实。这个环节的主要工作是根据已经选择的科学问题的需要搜集和整理事实材料,这里既包括通过文献检索获取间接经验事实,又包括对直接经验事实的获取,而获取直接经验事实的基本方法就是观察和实验。观察和实验方法是这一环节的两类基本方法。

(3)进行思维加工。这个环节的主要工作是基于已有的材料,运用逻辑方法和非逻辑方法进行科学抽象,形成科学假说。在这个环节上,科学研究过程中的发现活动与证明活动相互交织、相互作用表现得最为明显,因而有关科学发现的非逻辑方法和有关科学

证明的逻辑方法同样起着重要作用。

(4)验证。这个环节的主要工作是对已形成的假说进行实践检验,所运用的主要方法仍是观察和实验,但通常也要辅之以逻辑方法。

(5)建立理论体系。这一环节的主要工作是把已确证的假说和先前的理论尽可能统一起来,形成比较严密的有内在逻辑关系的体系。这一环节所运用的科学方法主要是逻辑方法,尤其是公理化方法在这里起着决定性作用。

第二节 科学问题

一、科学问题:科学研究的起点

科学研究作为一项创造性的探索活动,它的逻辑起点在哪里?这一直是致力于科学方法研究的科学家和哲学家们感兴趣并激烈争论的问题之一。早在古希腊时代,亚里士多德就曾明确提出过科学发现逻辑的一般程序,即是:从观察个别事实开始,然后归纳出解释性原理,再从解释性原理演绎出关于个别事实的知识。在这个程序中,科学研究的起点必然是观察,也就得到所谓“科学始于观察”的论断。近代科学革命以后,以培根为代表的古典归纳主义学派,从理论上和实践上大大发展了亚里士多德关于“科学始于观察”的看法。培根从认识论的角度,从感性认识与理性认识的相互关系上,揭示出认识的基础是实践,并进一步强化了经验观察在科学研究过程中的第一位的作用。培根认为,观察和实验是科学认识过程中获得感性认识的首要环节,离开了感性认识的基础,理性认识将会成为无本之木、无源之水。只有通过科学实践,才能使感性认识经归纳、整理上升为理性认识。以经验科学为特征的近代科学也从实践方面为“科学始于观察”的观点提供了许多有力的佐证。

因而,观察和实验是科学研究的逻辑起点的观点被近代大多数科学家和哲学家所接受。

随着现代科学的发展,人们开始注意到,现代科学研究的实际过程很难与传统的“科学始于观察”的程序模式相符合。从观察和搜集材料开始,然后经过归纳上升为理论的关于科学研究的观点受到现代科学家和哲学家们的质疑和批评。

著名科学家爱因斯坦的亲身科学实践表明,科学研究的逻辑起点不是一般的观察,而是问题。爱因斯坦广义相对论的发现,并不是因为他观察到了新奇的实验事实,而是出于想解答某些发人深思的疑难问题。当爱因斯坦建立起狭义相对论后,便引出一个“引力疑难”问题,即“惯性系具有表示自然规律的等效性,那么,坐标系是否也有更进一步的等效性呢?”对惯性与引力之间相互关系问题的思考,促使爱因斯坦深入地研究下去,从而获得了一种更广泛、更普遍的理论——广义相对论。爱因斯坦明确指出,“提出一个问题往往比解决一个问题更重要。因为解决问题也许仅仅是一个数学上或实验上的技能而已,而提出新的问题,新的可能性,从新的角度去看待旧的问题,却需要有创造性的想象力,而且标志着科学的真正进步”。^①

批判理性主义代表人物波普尔则根据现代科学发展的规律和特点,从理论上对“对科学始于观察”进行了批判,并系统阐述了“科学始于问题”的观点。波普尔指出,观察和实验都离不开理论,尽管通过观察可以引出问题,但观察过程总是要渗透、伴随着预设的问题,观察总是要选择的,它需要有一个挑选出来的观察对象,一项确定的任务、一种兴趣、一种观点、一个问题。观察要首先回答观察什么,为什么观察和如何观察的问题。漫无目标的观察实际上是不存在的。波普尔在一次演讲时,一开始就宣布“请观察!”听众

^① 爱因斯坦,英费尔德.《物理学的进化》,上海科学出版社,1962:66.

莫明其妙,不知道要观察什么。波普尔认为,这就是没有问题引起的。

科学问题是科学研究的逻辑起点。这一观点反映了现代科学研究活动的本质特征。从现代科学理论发展的进程来看,科学理论的萌发、进步以及新旧理论的交替、更迭,并不是简单地起源于经验观察,而是来源于理论本身的不完备性所引发的问题。因为任何科学理论的真理都是相对的、有条件的,都是特定时代的产物和某一认识水平的反映。理论与实践的矛盾,理论本身或不同理论之间的矛盾往往构成科学研究的基点和突破口。另一方面,从科学研究的具体过程来看,具有不同知识结构和理论背景的科学认识主体无需在低层次上重复前人的认识过程,但可以在不同的研究起点上,通过不同的科学问题展开科学认识和探索。科学认识主体总是以科学问题为基本框架,有选择地搜集事实材料,有目的地进行科学观察和实验,而与问题无关的东西往往任其流散,不在科学认识主体中引起信息效应或思维共鸣。这种研究聚焦于问题,通过问题展开研究的方式,能有效地提高科学研究的成效。

当然,“科学始于问题”并不否认以实践为基础的认识一般规律,它们是从不同角度提出的不同命题。“科学始于问题”着眼于科学研究的程序,而“认识以实践为基础”则着眼于认识的来源。两者层次不同,并不构成矛盾关系。作为认识的一般过程,实践是认识的基础,认识过程的每一个阶段既是已有的实践和认识的终点,又是新的认识和实践的起点。科学问题这种认识形式既包含先前实践和认识的成果,也预示着进一步实践和认识的方向。

二、科学问题的基本类型

自然界本身无“问题”可言,只有当具有智能的认识主体——人作用于自然界,参与认识和主动适应于自然的过程时才会引发一系列“问题”。事实上,人的各种智能活动过程,特别是思维过程,

虽然各自都有其特殊的规律和特点,但总可以在一定条件下还原成一个等效的“问题——求解”形式。因此,波普尔才说:“人类理解的活动实质上与一切解题活动并无二致。”^①劳丹也明确指出,“科学本质上是一种解题活动。”^②

从科学的角度看,广义的问题定义应该是:“某个给定的智能活动过程的当前状态与智能主体所要求的目标状态之间的差距。”^③如果用 P 表示问题,以 S_i 表示智能主体所要求的目标状态,以 S_p 表示给定智能活动过程的“当前状态”,则有公式 $P = S_i - S_p$ 。而“问题求解”就是消除 $(S_i - S_p)$ 差距的过程。当然这只是对“问题”的一种广义的、普适性描述,而科学问题则具有更为丰富的内涵。

首先,科学问题的设置,不仅与科学家个体的“当前状态”有关,而且还与科学共同体的“当前状态”有关。有时就个体而言,某一“问题”的设置是成立的,但置于群体(科学界)则不成为“问题”,或是一个早已解决的问题。这就是为什么科学研究的起始阶段,常常要求科学家全方位、系统地查阅国内外已有的研究成果和资料,目的就在于评价该问题研究是否存在差距,是否有探索意义。因此,科学问题是指在特定时代,科学认识主体在分析当时科学背景知识基础上提出的科学认识上的差距和矛盾。

其次,科学问题的提出不是孤立的,它蕴涵着问题的指向、研究的目标和求解的应答域。若仅仅只有问题,而没有求解目标或应答域,这样的问题即使来自科学领域,也很难成为科学问题,因为其求解范围是一个无所限定的全域。所谓研究的目标,从宏观上讲,是要解决科学理论与经验事实的匹配、科学理论本身的自治性、统一性和逻辑简单性等等;从微观上讲,是搞清问题产生的来

① ② 劳丹,《进步及其问题》,刘新民译,华夏出版社,1990:11.

③ 林定夷. 科学问题与科学目标,《中国社会科学》,1991:(5).

龙去脉,解决问题的难点所在,以及解决问题的方法、手段,从而揭示客观研究对象的因果性和规律性。因此,科学问题设置本身就伴随科学认识主体的一系列深刻思考,包含了问题的意义、求解的目标、预设的求解范围和方法,为解决问题提供了较明确的指向。这就是为什么提出和设置一个科学问题比解决科学问题更难的原因所在。

要对科学问题进行更深入地研究,揭示其中所蕴涵的方法论意义,就必须对科学问题进行分类,研究不同类型科学问题的基本特征及其意义。波普尔虽然把科学问题的重要性提到了科学研究起点的高度,但并没有进一步对科学问题作更细微的研究。当代美国科学哲学家劳丹第一个把科学问题作了详细的分类研究,他把科学问题分成经验问题和概念问题两大类。

(1)经验问题。如果人们对所观察的自然界中任何一事物感到新奇或企图进行解释,就构成了一个经验问题。例如“为什么重物会自然下落?为什么孩子的相貌很像他们的父母”等等,就是一些经验问题。这里需要说明的是,经验问题并不等同于经验事实,经验问题总是发生在一定的背景之中,部分地受到背景的规定,在某一背景中提出的问题在另一种背景中就未必成为问题,因此什么东西可以被看作是经验问题,部分地依赖于我们的理论。尽管如此,经验问题仍属于第一层次的科学问题,它们是与构成一个科学领域的客体有关的重大问题。

经验问题又可以分为三类:①未解决问题,任何理论都未能予以充分解决的经验问题;②已解决问题,由一个理论所充分解决的经验问题;③反常问题,某一理论虽然未能解决,但却已成为与此理论相竞争的一个或多个理论解决的经验问题。在这里,已解决问题有利于理论地位的确立,反常问题为反对某个理论提供了证据,未解决问题只为我们指出新的理论探索方向。从科学方法论意义上说,未解决问题为科学的发展和进步提供了推动力,把未解决问

题转变成已解决问题是理论确立其科学地位的途径之一。

(2)概念问题。它是这种或那种理论所显示出来的问题,是理论所特有的,不能独立于理论而存在。如果说,经验问题是有关某一领域的实体的第一层次问题,那么概念问题就是有关理论的概念结构基础是否牢靠的更高层次问题。一个理论 T 产生概念问题有两种情况:① T 或是显示出某种内部不一致,或是基本范畴含混不清,这时可称为内部概念问题;② T 与另一个理论 T' 相冲突,且持 T 观点的人认为 T' 是由理性牢固确立起来的,这时可称为外部概念问题。

从方法论意义上说,虽然不见得所有的概念问题都比经验问题更重要,但至少大多数概念问题,在大部分时间里,比大多数经验问题,甚至反常问题更重要。科学家们一般认为解决一个概念问题比解决一个经验问题要困难得多。本世纪以来,科学中最大的争论不是经验问题而是概念问题。劳丹认为,“在最简单的情况下,当一个理论连同适当的初始条件或边界条件推出问题的一个陈述时,它就解决了一个经验问题。当一个理论不存在它的前驱理论的概念困难时,它就解决或取消了一个概念问题”。^①

三、科学问题的来源

从根本上说,科学问题来自于科学实践和生产实践,并渗透和贯穿于科学研究活动的全过程。具体地说,科学问题的来源主要有以下几个方面:

(1)科学理论与科学实践的矛盾所产生的科学问题。传统的科学理论难以解释新的经验事实,是现代科学发展中产生科学问题的重要来源之一。随着科学实践的发展,实验技术和手段不断完善,以及大量新的经验事实被揭示,必然会加剧理论与实践的矛

① 转引自林超然主编.《现代科学哲学教程》,浙江大学出版社,1988:250.

盾,从而引发一系列的经验问题。例如,现代物理学革命的起因,就是经典物理学理论难以解释 19 世纪末、20 世纪初不断涌现的新的物理实验事实和现象,如“黑体辐射”、“光电效应”等,从而产生出大量足以动摇经典物理学大厦根基的问题,如“能量究竟是连续的还是不连续的”,“经典物理学能否有效解释微观物质世界的运动规律”等。

(2)科学理论体系本身的内在矛盾所产生的科学问题。科学理论体系的构建,在逻辑上应该是自洽的。当科学理论内部出现逻辑困难,如逻辑推理过程出现“断点”或发生“跳跃”,或导出相互矛盾的命题或结论时,就会产生需要进一步探讨的所谓内部概念问题。科学中的“悖论”、“佯谬”就是内部概念问题的典型形式。例如,亚里士多德动力学理论指出,物体运动的速度与物体所受的力的大小成正比,因此,重物下落的速度与物体的重量成正比。伽利略通过一系列的假设和严密的逻辑推导,揭示了亚里士多德理论中的悖论。伽利略首先根据亚里士多德的动力学理论假设,重物的下落速度 V_1 大于轻物的下落速度 V_2 ; 然后设想把重物 M_1 和轻物 M_2 捆绑在一起考察其下落的速度,结果出现了相互矛盾的两种推论: ①因为 $M_1 + M_2 > M$, 所以 $V_{(M_1+M_2)}$ 的下落速度应大于 $V_1(M_1)$; ②由于轻物 V_2 小于重物 V_1 , 应产生一种抵消作用, 所以二物捆绑后的下落速度应 $V_1 > V > V_2$ 。

正是这一动力学悖论的提出,促使伽利略发现了传统动力学理论中的逻辑缺陷,进而发现了自由落体定律。

(3)不同科学学派和科学理论之间的矛盾所产生的科学问题。在一个学科领域中,对同一事物,可以有不同学派运用不同理论进行解释,如天文学中的日心说与地心说,地质学中的渐变论与突变论;或者在不同学科领域之间的理论产生了矛盾,如生物系统自发地向有序性增加、熵减少的方向演化,而非生命的孤立系统则向有序性减少、熵增加的方向演化。物理学与生物学演化方向的矛盾,

促进了非平衡态热力学的发展,这些都是外部概念问题产生的重要根源。

(4)经验事实积累到一定阶段时产生的科学问题。分门别类地研究自然界或自然现象是近代科学革命以后,科学研究的一大特点。然而科学的任务不仅在于描述、归纳、整理经验事实,而且在于从理论上概括和把握各种自然现象的内在联系。因此,经验事实积累到一定阶段,自然就会提出“如何统一解释和揭示那些曾经被分门别类研究的自然现象之间的内在联系”之类的问题,而这一类科学问题的提出常常给科学带来飞跃。如元素周期律的发现、能量守恒与转化定律的发现等都是建立在这类问题之上的。

(5)社会经济发展和生产实际需要所产生的科学应用问题。例如工农业生产需要、社会生活与健康需要、生态平衡与环境保护的需要、军备和战争的需要等都会提出大量问题。这些问题经过一定程度的抽象、转化,可以成为基础理论研究中重要的科学问题。

第三节 科学观察与科学实验

一、科学事实及其性质

科学观察与科学实验是获取科学事实的最基本、最普遍的方法。科学事实是指通过观察和实验所获得的经验事实,是经过科学整理和鉴定的确定事实。经验事实一般可分为两类:事实Ⅰ,指客体与仪器相互作用结果的表征,如观测仪器上所记录和显示的数字、图像等;事实Ⅱ,指对观察实验所得结果的陈述和判断。

事实Ⅰ既与客体有关,也与人所设置的认识条件有关,同一客体在不同仪器上的显示可以是不同的。如压力的变化究竟表现为汞柱的上升还是压力计指针的摆动,取决于认识手段。同样,事实

I 既与客体的本性、仪器的性能有关,也与人用以描述事实的概念系统有关。同一事件在不同概念系统中所作出的描述也可以是不同的。因此,科学事实属于认识论的范畴,它体现的是事件在科学认识主体中的记述和判断。没有事件发生,自然不会有科学事实;没有主体所设置的认识条件(包括概念系统),也无法记载科学事实。事件不存在正确或错误的问题,而经验事实则存在着可错性。一般来说,科学事实具有下列性质:

(1)科学事实应该是个别存在陈述。例如,“铀具有放射性”、“氦具有化学惰性”、“水分子由二个氢原子和一个氧原子构成”等等均是科学事实,而“所有微观客体都具有波粒二象性”、“整个宇宙都在膨胀着”等等之类的普遍陈述,则不看成科学事实,而看成对科学事实加工提炼之后的理论论断。强调科学事实的个别性,是为了突出它主要来自感性物质活动,而不是主要来自理性抽象活动。

(2)科学事实应该可复核、可重现。如果一个事实根本无法复核并重现,那就无法成为科学事实。强调科学事实的可重复性,是为了尽可能排除错觉和假象,消除对事实描述和判断中可能存在的谬误。

(3)科学事实应该比较精确、系统。例如,迈克尔逊—莫雷实验,其直接目的是判定以太是否存在,但是考虑到诸如地势、地球自转和公转等因素对测量的影响,要得出精确的结果就需要在高山、低谷、白天、黑夜、夏季、冬季分别进行,从系统化的经验材料中确立起一个精确的科学事实。

科学事实的上述性质就决定了它不仅是形成新概念、新理论的基础,而且还是对科学假说和科学理论进行评价的基本手段。

二、科学观察

所谓观察,可以简单地理解为人脑通过感觉器官对客观现象

的感知过程,而把观察这种认识方法运用于科学研究过程,就称之为科学观察。一般认为,科学观察是人们有目的、有计划、有步骤地通过自己的感官去反映自然界各种事物现象的活动。科学观察有两个最主要的特点,即感知性和目的性。一方面,科学观察是一种感性认识活动,它要通过人的感觉器官或借助科学仪器来感知客观自然现象,从而获取科学事实。另一方面,科学观察又不象日常观察那样大多是随意地、消极地接受外界对感官的刺激,而是出于特定的科学研究需要进行的有计划、有步骤的认识活动。

从不同角度可以对科学观察进行不同的分类。根据人们获取观察对象信息的要求不同,可以有定性观察和定量观察之分。定性观察主要考察自然界事物的某种特征以及事物之间的某种联系,通过定性观察能够回答“是不是”、“是什么”之类问题。定量观察是指人们为了获得观察对象量的规定性而进行的观察,它能够对观察对象的特征进行数量上的反映和描述,使观察事实的可靠性和观察陈述的可检验性得到提高。科学研究中精确、严密科学定律的建立,无不依赖于定量观察。定量观察需要借助观察工具才能进行,一般以间接观察居多。

按照观察过程是否使用仪器中介,可以有直接观察和间接观察之分。直接观察在观察者和观察对象之间不存在任何中介,具有简单、方便、较少客观条件限制等优点,至今在地理学、地质学、气象学、医学等领域仍不失为一种基本的经验认识方法。但是,由于人类感官感知客观事物在范围、速度、准确性等方面存在不可避免的局限,从而引进了观察的中介——观察仪器,发展出形形色色的间接观察。间接观察放大了人的观察范围,提高了观察的精确性和观察速度,能够克服人的感官带来的某些错觉,有明显的优越性。

观察方法作为一种最基本的科学研究方法,在科学研究活动中有着十分重要的地位和作用。首先,启示性观察有助于研究课题的形成。在观察中人们会发现目前理论没有预见到的现象,发现可

以确证或证伪某种假说的事实,发现对解决另一类问题有启示的线索,这样就为人们提供了新的研究领域,进而形成新的研究课题。其次,探索性观察有助于科学假说的建立。通过各种探索性观察,可以获得许多科学事实,从中可提出各种科学假说,进而创建出新的科学理论。爱因斯坦曾明确指出,“从来没有一个真正有用的和深入的理论果真是由纯粹的思辨去发现的”。^①第三,检验性观察验证或否证科学理论。对科学理论的检验,一个重要且常用的方法是从被检验理论推演出关于经验事实的结论,然后通过科学观察来检验这些结论。如英国天文学家爱丁顿 1919 年对日全食的观察为广义相对论提供了有力的证据。当然,如果观察结果与理论推导的事实结论不相符合,则会动摇理论信任度,甚至否证理论。

三、科学实验

科学实验方法是人们根据一定的科学研究目的,运用科学仪器、设备等物质手段,在人为控制或模拟研究对象的条件下,使自然过程以纯粹、典型的形式表现出来,以便进行观察、研究,从而获取科学事实的方法。与科学观察方法相比,科学实验方法是在人工创造的条件下,在变革和控制研究对象的过程中去观察客体的,因此它比观察方法能获得更精确可靠的科学事实。科学实验是主动地从自然现象中索取人们所期望的东西,而观察主要是搜集自然现象所提供的东西。具体地说,科学实验方法的特点主要表现为:

第一,科学实验可以简化和纯化研究对象。科学实验能将对象置于严格控制条件下,反自然过程加以简化和纯化,排除各种偶然、次要因素和外界的干扰,使对象的某种属性或联系以纯粹的形式呈现出来。

^① 《爱因斯坦文集》第 1 卷,商务印书馆,1976:107.

第二,科学实验可以强化和激化研究对象。为了揭示事物的变化规律,有时要在特殊条件下对其进行强化和激化,如在超高温、超低温、超高压、超真空、超导电性、超强磁场等条件下,可以发现在常温常压下材料所没有的性质。超导性质的首次发现,就是荷兰物理学家卡曼林—昂尼斯 1911 年对汞进行 4.173K 的超低温实验时做出来的。

第三,科学实验可以重复或再现研究过程和结果。在自然条件下发生的现象,由于受时间或其他因素的限制,往往无法进行反复的观察。而在科学实验中,人们可以使用实验手段,使实验的过程和结果有规律地重复出现。如植物栽培实验中人为控制环境温度、光照、湿度等条件,就能使植物生长过程在较短时间内被多次重复观察。

根据不同的标准,可以将科学实验方法分成不同的类型。按照实验的目的分,有探索性实验、验证性实验和判断性实验;按照实验中研究对象的质与量关系分,有定性实验、定量实验、定性定量实验;按照理论与应用的关系分,有纯粹实验、中间实验;按照实验的认识作用分,有析因实验、对照实验、结构分析实验、功能分析实验。而一般的实验分类则是依照实验的对象和手段来分,可分为直接实验和模拟实验。直接实验是在实验仪器直接干预对象的条件下观测对象所输出的信息;而模拟实验是一种间接实验,先设计出反映对象属性的模型,然后用实验手段作用于模型,通过模型实验了解原型(对象)的性质及其运动规律。模拟实验又可以分为物理模拟、数学模拟和功能模拟。物理模拟是根据相似理论,构造出与对象相似的物理模型,通过模型实验了解原型变化的物理过程;数学模拟是原型与模型之间在数学方程或数学模型相似的基础上,通过计算机求解来研究对象性质的一种模拟方法;功能模拟是以控制论为理论基础、以功能相似为目标的模拟实验。

尽管各类科学实验方法的作用和对象有所不同,但它们的设

计程序或实验过程却是大致相同的。科学实验的基本过程一般都包括准备、实施、结果处理几个阶段,其中准备阶段的实验设计是整个研究中极其重要的环节,它不但影响实验能否得到科学的结果,而且关系到实验的人力、物力和时间的经济合理性。另外,在进行实验规划和设计时,特别重要的是要考虑实验应具有可重复性。可重复性是进行一切科学实验所必须满足的。为了实现实验的可重复性,必须确定实验参数合理的误差范围,使实验结果具有可比性。

随着科学的发展,科学实验已逐步发展成为一个相对独立的社会实践领域,在现代科学研究中发挥着十分广泛的作用。科学实验不仅是检验人类对客观事物认识正确与否的主要标准和手段,而且已经成为许多科学新理论的基础和源泉,成为科学抽象的必要前提。

四、观察和实验中的若干认识论问题

观察和实验作为两种获取感性材料的基本方法,一直是科学哲学的主要研究对象之一,也是科学方法研究的基础,其中蕴涵着相当丰富和深刻的科学认识论问题,值得作深入探讨。

1. 观察与理论的关系

观察与理论的关系问题是科学认识论的核心问题之一。在这个问题上,科学哲学中存在着两种不同的观点:一种认为观察是独立于理论之外的纯粹中性观察,只有经过这种观察才能进入形成理论的阶段;另一种认为不存在纯粹中性的观察,任何观察都渗透着理论。前一种观点主要为逻辑经验主义所持有,而后一种观点就是著名的“观察渗透理论”说,为波普尔及大多数科学历史主义者所坚持。从科学发展历史和实际科学研究过程来看,“观察渗透理论”的观点是合理的。

首先,观察不仅是接收信息的过程,同时也是加工信息的过

程。人在观察过程中必然对外界的信息进行挑选、加工和翻译。这就与人的理论知识背景有关。不同的知识背景、不同的理论指导、甚至不同的生活经验,对同一事物会得出不同的观察陈述。

其次,任何观察陈述都是用科学语言表达出来的,而科学语言总与特定的科学理论联系着,当使用语言时,理论的框架也就出现了。比如,当用波长为 7 000 埃这个术语来表示红光时,就暗含着光谱、波长、光学测量仪、实数集等一系列概念所构成的理论框架。

也正是在这个意义上,爱因斯坦认为,“是理论决定我们能够观察到的东西”,“只有理论,即只有关于自然规律的知识,才能使我们从感觉印象推论出基本现象”。^①当然,渗透在观察中的理论主要是经过实践检验的理论,这种理论与由观察材料形成或由观察验证的猜想和假说是区别的。

2. 实验对象与测量仪器的相互作用

科学实验通常由三部分组成:实验者、实验对象和测量系统,亦即根据实验设计而选择的仪器、测量手段等组成的系统。在经典物理学中,测量系统或测量仪器与实验对象之间的相互作用一般是不予考虑的,这是因为人们认为这种情况下,或者仪器对客体的影响不重要,可以忽略不计,或者可以采取适当的技术措施加以补偿,抵消测量仪器对客体造成的影响。但是进入微观领域,测量仪器同它所测量的微观客体有无法忽略的相互作用,使被测量客体的运动状态受到严重干扰,以致无法说明客体在受干扰前究竟是一种什么情形。因而,如何认识客体与测量仪器的相互作用就成为科学认识论所要关心的重要问题。

首先,我们必须坚持微观客体的客观实在性,明确它并不是依赖认识主体才能存在的,不能将主体、客体与测量仪器混淆起来。

其次,也必须认识到主体不可能离开测量仪器去研究客体性

^① 《爱因斯坦文集》第 1 卷,商务印书馆,1976:211.

质,绝对孤立不受任何测量仪器干扰的客体运动是无法观测到的。要充分重视测量仪器对主体认识的积极作用,它是人们认识自然的桥梁,而不是主体认识客体的屏障。当然,也应看到它对主体认识客体会带来干扰。

第三,在判定从客体所获得的信息时,必须充分考虑测量仪器与客体相互作用的因素,特别是对微观现象和一切不能忽略其与仪器相互作用的客体,在描述它们的性质时原则上应该包括对实验设备、测量仪器系统的描述,说明观测的条件性。

3. 判决性实验

假定关于同一个科学论题存在着两个(实际上还可能是多个)相互竞争的科学理论或假说 H_1 和 H_2 ,它们几乎同样地经受住了以往的实验检验。这时候,如果能给出某种新的实验检验,对于这一检验,假说 H_1 和 H_2 分别作出了相反的预言 E 与非 E ;如果这一实验检验的结果确实肯定了预测 E (同时否定了非 E),那么就可以对这两个相互竞争的假说作出裁决:认为第一个假说 H_1 得到了决定性的支持或确认,同时第二个假说 H_2 也就被否决了。

不难看出,在判决性实验中包含着三个基本要素:①判决性实验必定与一组相互竞争的假说有关;②该组相互竞争的假说可以推出相互矛盾的预言;③其预言结果可以在实验中得到实际检验。例如,1850年傅科实验肯定了光的波动说否定了光的微粒说;1919年爱丁顿对日全食的观测结果与牛顿力学的推论相悖,而与广义相对论的预言一致,被认为是对广义相对论的验证。

但是,伴随现代物理学革命,人们开始对判决性实验的作用提出了质疑。原来被认为是确定无疑的光的波动说,由于光电效应的实验研究和实验中验证了光子的存在,使光的微粒说在20世纪初得以“复活”并得到发展。傅科实验的判决性结论亦被否定。由此许多科学哲学家认为,在科学中不会有判决性实验,一旦碰到反例,人们总可以适当调整理论系统的某一部分而保留另一部分。但

仍有一些学者坚信判决性实验是存在的,如吴健雄实验对于宇称守恒和宇称不守恒两个对立假说所起的判决性作用。关于判决性实验是否存在的争论仍是科学哲学的热门话题之一。这种争论给人们的启示是多方面的。它说明,观察和实验对理论的检验有确定性的一面,也有不确定性的一面。确定性表现在,特定条件下可以重复的科学观察和实验总是具体的和确定的,它在支持一个假说的同时,又可能为证伪另一个假说提供科学事实。因此,在一定科学背景下,判决性实验对检验理论有裁决作用。而它的不确定性则表现为,由于实验技术与有关的科学理论都在发展,已有的实验结果可能被否定或作出新的解释,又由于理论本身是有结构的和相互联系的,所以很难直接判定假说的哪一部分有错误。从根本上说,理论和假说的检验是一个历史过程,常常不是一次实验或观察所能完成的。

第四节 逻辑方法

一、科学抽象及其意义

科学抽象是理性思维的一种形式。它是在人们获得感性材料以后,运用理性思维进行一番去粗取精、去伪存真、由此及彼、由表及里的加工制作,从纷繁复杂的现象中抽取本质规律的过程。完整的科学抽象过程包括思维运动的两次飞跃,即由感性的具体上升到抽象的规定,再由抽象的规定上升到思维的具体。

科学抽象在科学研究过程中的主要作用首先表现为可以帮助人们撇开许多次要的或无关的因素,使研究对象和研究过程得到比在实验条件下还要彻底的纯化和简化。在实际科学研究中,再高明的实验设计和再精细的实验措施,也难以完全避免非本质的东西,总有想纯化而纯化不了的地方。伽利略的斜面和小球做得再光

滑,也不能完全消除摩擦;波义耳的气体压力实验温度控制再严格,也难以完全做到温度绝对不变。而科学抽象过程中,无摩擦、无温度变化的理想状态就可以想象,次要的非本质的东西可以撇开,从而使事物的内部过程和规律以纯粹的形式显露出来,便于抓住本质。其次,科学抽象还能帮助我们撇开不同事物的不同形态和不同内容,从而抽象出事物的共同特性。例如,微生物、动物、植物的细胞结构虽然在不同生物体中的表现形态和内容有不同之处,但具有很大的相似性,从而通过科学抽象可以把握生物体的统一性。抽象对于我们勾划事物从起点出发、由低级形态向高级形态发展的过程也很重要。达尔文根据对自然界生物的大量考察,通过科学抽象提出了进化理论;孟德尔从生物性状的遗传现象,抽象出遗传因子的存在和遗传规律,都是这方面的例子。

科学抽象过程具有三方面特点:①从已知中区分出新的未知的东西,从表面并无联系的现象中找出内在的本质联系;②力求认识和理解这些新的共性,总结出规律性的理论;③高层次的抽象能够演绎出低层次的抽象,并得到实验验证。

总之,科学抽象必须依赖于观察和实验,同时科学抽象又超越观察和实验所获得的事实,以理论的形态出现,具有极大的创造性。

二、比较与分类

比较方法是对彼此有某种联系的事物进行对照,从而揭示它们的共同点和差异点的一种科学方法。通过比较,揭示客观对象之间的异同,是人类认识客观事物最原始、最基本的方法。在科学研究中,人们要认识事物,首先是从认识事物的属性开始的。而一个事物的属性,从广义上说,就是它与其他事物之间的共同点和差异点。只有把一个事物与其他事物放在一起比较,才能鉴别出该事物与其他事物相同和不同之处,才能认识该事物的一般属性和特殊

属性。

分类方法是根据事物的共同点和差异点将事物区分为不同种类的一种科学方法。分类以比较作为基础,人们通过比较,揭示事物之间的共同点和差异点,然后在思维中根据共同点将事物集合为较大的类(逻辑学上也称母类,属),又根据差异点将较大的类划分为较小的类(逻辑学上也称为子类,种)。当然较大的母类和较小的子类都是相对而言的,而且子类之间也有差别。一个子类区别于其他子类的特有的属性称为子类差(种差)。通过分类,我们就可以将事物区别为具有一定从属关系的不同层次的大小类别,形成各种概念系统,反映客观世界中事物间的区别和联系。

比较与分类方法在科学研究中有着广泛的应用。借助于比较与分类,人们一方面可以初步整理事实材料,并通过对大量事物的分类,形成种或类的概念,为研究同种类各事物之间的联系提供基础。例如,通过对大量化学元素的属性进行比较后,按原子序进行分类,就可以找到各类元素相互间的规律性联系,从而揭示出化学元素的性质随原子序数递增呈周期变化的规律。另一方面,运用比较与分类人们还可以发现新的科学事实,建立新的科学概念和学科。例如盖尔曼 1962 年将当时已发现的 9 种重子进行比较和分类排列后,发现在该分类系统中存有空缺,于是预言了其中还应当具有一种粒子,并指出它的电荷、奇异数、质量、自旋、宇称等性质,两年后科学家果真发现了 Ω^- 粒子。

三、分析与综合

整体和部分 is 自然界普遍存在的一对基本矛盾。作为思维操作的分析与综合,是思维主体对认识对象按照一定目标进行这样或那样的分解与组合。分析是把客观对象的整体分解为一定部分、单元、环节、要素并加以认识的思维方法。综合是在分析基础上把对客观对象一定部分、单元、环节、要素的认识联结起来,形成对客

观对象统一整体认识的思维方法。初级的分析、综合运用是形式逻辑关于部分与整体可逆的分解加和原则。辩证逻辑则进一步把分析看成主要是分析事物矛盾的思维方法。在对各种矛盾及矛盾诸方面进行周密分析的基础上,从矛盾的总体上认识客观对象多种规定性的统一,就是辩证的综合。分析与综合相互依存、相互渗透和相互转化,它们是形成科学概念、构成科学理论体系和发展科学理论的重要逻辑方法。

以分析为主的还原主义方法在近代自然科学的发展中起了重要作用。近代自然科学发展的一个基本特点就是把事物一段段、一层层地分解研究,比如由宏观物体到分子、原子、基本粒子,现在又到了层子或夸克。对生物的研究也如此。这样越分越细,一方面是研究越来越深入;另一方面也容易只见树木,不见森林。当科学家们通过亲身的科学实践越来越认识到这种机械的还原主义方法的局限性时,就在科学思维方式上产生出新的系统分析方法。还原主义方法的着眼点是要把事物分成各个细部,去找出它们是由什么组成的。系统分析方法的着眼点正相反,主要地是要找出这些细部如何相互作用产生整体效应。这个整体是系统的、有组织的有机整体,是局部和整体、低层次和高层次的辩证统一。传统分析与综合方法的逻辑起点是分析,逻辑程序是先分析后综合:分析→综合,是一个单向进程的思维过程。系统分析的逻辑起点则是综合,其逻辑程序是综合 \rightleftharpoons 分析 \rightleftharpoons 综合双向并存和反馈。它要求从系统整体出发,以总体优化为目标,把综合贯彻始终,坚持在综合指导和控制下进行分析,通过逐步的综合达到总体的综合。

四、归纳与演绎

归纳方法是从个别或特殊的事物概括出共同本质或一般原理的逻辑思维方法,逻辑学上又叫归纳推理。归纳方法的一般原理是:如果大量的 A 在各种各样的条件下被观察到,而且如果所有

这些被观察到的 A 都无例外地具有 B 性质,那么就可以归纳出所有的 A 都有 B 性质。归纳方法虽然是科学研究中从大量经验事实中找出普遍特征的重要方法,但归纳结果往往只概括一类事物表象上的共同点,未必能确切反映事物的本质,迄今人们并没有发现从特殊前提到一般结论的普遍适用的逻辑桥梁。

与归纳方法从个别到一般的过程相反,演绎方法是从一般到个别的认识方法。它从一般性的原理出发,对个别的或特殊的事物进行分析、推理,从而达到相应的结论。三段论是演绎方法最一般的形式,它由大前提、小前提和结论三部分组成。大前提是已知的一般原理或假设,小前提是所研究的个别事实的判断,结论就是从一般已知原理或假设推出的对个别事实的新判断。最简单的三段式如:所有的金属导电,铝是金属,因此铝导电。演绎方法在逻辑学中称为演绎推理。只要前提为真,又遵从形式逻辑关于推理形式的规则要求,则真值是必然下传的,结论是恒真的。演绎推理反映了科学思维最基本的要求,它在科学研究中是不能违反的;但作为科学方法也有它的局限性,由于演绎推理限于比较固定的、单词的推理形式,这对于自然科学研究需要处理的众多参量和复杂关系来说,无疑又是很不适应的。

演绎方法衍生出的一个重要方法是公理化方法。公理化方法是从尽可能少的基本概念、公理、公设出发,运用演绎推理规则,推导出一系列的命题和定理,从而建立整个理论体系的方法。由公理化方法所得到的逻辑演绎体系称为公理化体系。公理化方法最早的倡导人是亚里士多德,第一个古典的公理化体系是欧几里德的《几何原本》,后来它又在牛顿力学中得到光辉的体现,在现代则更加发展并被普遍推广。

组成公理化系统的一般程序是:①选择只作公设的概念为基本概念,选择一类自明的陈述作为公理,它们是无须证明就被置入系统的;②制定推理(推导)规则,用以指导本系统的所有演算;③

依据规则从原初概念推导出新的概念,从公理演绎出新的陈述;④遵循同样的步骤,从导出的陈述和公理中进一步导出其他陈述;只要需要,这一过程可以一直进行下去。传统的公理化方法,其基本概念和公理还要求首先具有自明性、本体论上的先验性等等,而在以现代数学为代表的、由纯形式方法发展出的公理化系统中,这些都已不再成为必要条件。所以,欧氏几何和非欧几何的公理化系统,虽然具有相互矛盾的公理,但在科学的园地中,它们仍然是相容的。

公理化方法在构造科学理论体系时有着重要作用,但也有其局限性。哥德尔的不完备性定理说明了任何一个公理体系不可能既是完备的,又是无矛盾的。任何公理化体系都是人类认识的一个阶段的总结,都不可能是绝对严格、绝对完备的。

自从培根倡导归纳法、笛卡儿倡导演绎法以来,历史上就长期存在着归纳主义的“归纳万能论”同演绎主义的“演绎万能论”争论。但是,从科学研究的实际过程来看,归纳和演绎总是相互联系和互相补充的,归纳是演绎的基础,演绎是归纳的指导。恩格斯曾对归纳和演绎的关系作过精辟的总结:“归纳和演绎,正如分析和综合一样,是必然地相互联系着的。不应当牺牲一个而把另一个捧到天上去,应当把每一个都用到该用的地方,而要做到这一点,就只有注意它们的相互联系,它们的相互补充”。①

五、数学方法

恩格斯曾经指出,“纯数学的对象是现实世界的空间形式和数量关系。”②这是对19世纪中叶以前数学发展历史的很好概括。随着现代数学的发展,法国布尔巴基学派在本世纪30年代提出了数

① 恩格斯.《自然辩证法》,人民出版社,1971:206.

② 恩格斯.《反杜林论》,人民出版社,1970:35.

学是“研究抽象结构的理论”的观点。前几年,美国数学家 S. 马克朗则提出数学是对反映客观现实世界和人类实践活动的形式结构的不断发现,这个观点从实践的认识论出发,是对数学的一种有价值的概括。

数学的研究对象及其本质属性,决定了数学方法的基本特征。首先,数学方法具有高度的抽象性。在数学中,各种量、量的关系、量的变化,以及在量之间进行的推导和演算等等,都是以符号形式表示的,它使数学变为一种完全脱离自己内容的符号形式系统。其次,数学方法具有精确性,即逻辑的严格性及结论的确定性。数学的高度抽象性使数学研究能在纯粹化的状态中进行,从而使它获得了单义性、精确性和直观性,并使逻辑程序获得了相对独立性。因此,一切数学结论都具有逻辑上的必然性和量的确定性。也正因为这样,数学方法才给予精密的自然科学以某种程度的可靠性,没有数学,这些科学是达不到这种可靠性的。第三,数学方法应用的普遍性。数学的高度抽象性,使它成为不受任何具体内容局限的形式科学,这便带来了它应用的普遍性。现在,随着信息时代的到来和计算机的普遍应用,数学方法正更加广泛地渗透到科学技术的各个领域,数学化、计量化已成为科学技术发展的一个重要趋势。

数学方法的特点决定了它在现代科学技术发展中的基础性作用。数学方法不仅为科学技术研究提供简洁精确的形式化语言,使人们得以有效把握微观世界、宇观世界和许多难以接近的宏观对象,并对其中的复杂现象的内在联系进行描述;而且还为科学技术研究提供了逻辑推理的工具和数量分析、计算的方法,这一方面使通过运用数学方法而得出的科学结论、原理等具有逻辑的必然性和可靠性;另一方面从定性描述进入定量分析和计算,也是一门科学达到成熟的重要标志。

数学方法在科学研究中的应用与其他许多科学方法,包括实验方法、观察方法等等,都是相辅相成、互相依赖的。这是因为:第

一,数学知识本身是人们长期从事生产和科学实践的产物,没有实践也就没有产生数学的需要和可能;第二,构成各种数学模型的具体数据、参量、变量等都是在经验或观察实验中得到的,感性的经验材料是数学模型赖以建立的基础;第三,数学模型的各种数学结论正确与否,能否与客观现象相符,都要通过实践的检验和修正。因此,不管数学方法的作用如何重要,都不能替代和贬低其他科学方法的作用,而应当把各种方法有机结合起来灵活地加以应用。

第五节 非逻辑方法

一、非逻辑思维的基本形式

科学研究方法一般分为两类:一类是获取感性材料的基本方法,如观察和实验;一类是对感性材料进行科学抽象、加工制作的理性思维方法。后一类科学研究方法又可以分为逻辑方法和非逻辑方法。非逻辑方法主要指运用潜意识、直觉、灵感、想象、形象思维于科学研究所产生的方法。通常人们也把非逻辑思维带来的方法称为创造性思维方法。钱学森曾提出对人的有意识活动——思维科学的研究分为三门学科,即逻辑思维学、形象思维学和灵感。^①这种区分明确了研究创造性思维方法的重要意义。

所谓创造性思维活动,就是指在进行科学研究时,一种不受或较少受思想束缚,常常超越思想常规、摆脱成见、构筑新意,并有想象力参与,以达到科学研究上产生突破的一种思维活动。这种运用创造性思维活动去进行科学研究,作出发现、发明的方法就是创造性思维方法。

目前对创造性思维的研究主要有两个角度:一是从心理学角

^① 钱学森,系统科学、思维科学与人体科学,《自然杂志》,1981:(1).

度来研究思维过程,运用心理观察和心理控制的方法,加强人的记忆力、理解力、想象力和直觉能力;二是从大脑神经生理学角度研究思维微观机制,但是取得的进展都还是初步的。我们这里所说的创造性思维着重从科学方法论层次上去认识自然科学、生理学、心理学研究的成果。

一般地说,非逻辑思维,也即创造性思维的基本形式主要包括:潜意识、直觉、灵感、想象、形象思维等。潜意识也叫下意识、无意识,是指人脑中不自觉地贮存的知识、经验和方法,具有潜伏性、模糊性的特点,潜意识是产生直觉、灵感、想象和形象思维活动的基础。直觉是指对事物现象作出的直接判断,具有直接性、快速性、理智性的特点。灵感是指对问题认识的突然顿悟,具有瞬时性、随机性、情感性的特点。想象是人们依据一定的直接和间接的经验材料,对研究对象的一种重新构建,或者是一种设想,具有灵活性、清晰性、创造性等特点。形象思维是指人脑借助于形象进行创造性想象的思维活动,具有直观性、鲜明性、生动性的特点。

二、直觉与灵感

直觉思维是指不受某种固定的逻辑规则约束而直接领悟事物本质的一种思维形式。直觉思维有时还伴随着被称为“灵感”的特殊心理体验和心理过程,它是认识主体的创造力突然达到超水平发挥的一种特定心理状态。在直觉和灵感中还都包含着使问题一下子澄清的顿悟。科技史上的许多重大的难题,往往就是在这种直觉和灵感的顿悟中,奇迹般地得到解决的。

直觉和灵感有这样三个基本特征:①认识发生的突发性。直觉和灵感都是认识主体偶然受到某种外来信息的刺激而突然产生的随机过程。②认识过程的突变性。直觉和灵感是思维过程实现质变的、表现为逻辑上跳跃的突变形式。它可以一下子使感性认识升华为理性认识,使不知转化为知。③认识成果的突破性。直觉和灵

感能打破常规的思路,突破思维定势和逻辑规律的束缚,从而成为突破性创造的催生婆。当然,直觉和灵感所直接产生的新线索、新结果往往还具有一定的模糊性,尚有待于用逻辑方法等手段进一步改造、制作和加工。

直觉和灵感的方法论意义在于它们是非逻辑思维的重要形式,也是发挥科学认识主体思维能动性的突出表现。直觉和灵感都是创造主体长期从事科学研究活动的实践经验和知识储备得以集中利用的结果,是创造者日积月累地针对要解决的问题所思考的各种线索凝聚于一点时的集中突破,是创造者显意识与潜意识的豁然贯通。灵感还包含着丰富的情感因素,是创造主体整个身心的活动。爱因斯坦认为,物理学家的最高使命是要得到那些普遍的基本定律,然而要通向这些定律并没有逻辑的道路,“只有通过那种以对经验的共鸣的理解为依据的直觉,才能得到这些定律。”因此他明确提出“我相信直觉和灵感”。^①

三、形象思维与科学想象

形象思维是指人脑借助于形象进行创造性想象的思维活动。简单地说,就是人们凭借形象来进行的思维活动,用形象来思考和表达思维的活动。形象思维具有如下一些基本特征:一是运用形象,如图形——视觉形象,音响——听觉形象,运动——综合形象等等。通过视觉形象,可以“如见其人”,通过听觉形象,可“如闻其声”,通过嗅觉形象,可以“如入芝兰之室”,通过味觉形象,可以“味若酸梅”,通过触觉形象,可以“如芒刺背”等等;二是依靠想象力,借助类比、联想、想象把记忆中能反映自然本质特征的那些形象,加以选择、提炼、塑造、构思出新的形象;三是无一定程式束缚的创造性思维活动,通过个别来表现一般。

^① 《爱因斯坦文集》第1卷,商务印书馆,1976:102,284.

形象思维总是与想象力密切联系在一起。想象是根据过去贮存在大脑中的知识、经验、方法及其在大脑中已经形成的暂时联系,进行重新组合的思维活动,包括对已经形成的暂时联系的重新建构。要想形成对未来可能出现事物的形象,就需要把过去在大脑中产生的兴奋点和形成的暂时联系,依靠自己的想象力重新组合建立新的联系。爱因斯坦认为,“想象力比知识更重要,因为知识是有限的,而想象力概括着世界上的一切,推动着进步,并且是知识进化的源泉。严格地说,想象力是科学研究中的实在因素。”^①杰出的物理学家波尔甚至认为,科学家要有“病狂的想象力”。20世纪的大数学家希尔伯特则认为数学家比诗人更需要想象力,他曾对人谈到自己的一个学生因为想象力差而改行当诗人去了。可见培养丰富的想象力是科技工作者提高科学思维能力不可缺少的重要环节。

形象思维与科学想象在科学发展中具有重要的方法论意义。借助形象思维在科学研究中所激发的想象力能作出新的科学发现。阿根廷学者邦格指出,“创造性想象富于形象,它能够创造概念和概念体系,这些概念在感觉上没有和它相应的东西,但是在现实中是有某种东西和它对应的,因此它孕育着新奇的思想。”^②美国科学家布罗诺夫斯基则认为,“想象就是人脑中形象的操作,文学、艺术的操作以及理性的操作都属于这种想象”,“想象是构成形象并使它们以新的排列移入人脑的能力”。^③正是形象思维与科学想象的巧妙结合,常能触发“灵感”,做出科学发现。

四、非逻辑思维与逻辑思维的关系

科学研究过程本质上说是逻辑思维与非逻辑思维交互发生作

① 《爱因斯坦文集》,第1卷,商务印书馆,1976:284.

② 周昌忠.《创造心理学》,中国青年出版社,1983:211.

③ 布罗诺夫斯基.想象的天地,《世界科学译刊》,1980:(4).

用的过程。通常的情况是,非逻辑思维开拓思路,逻辑思维最终完成,逻辑思维与非逻辑思维交织在一起应用。但是,逻辑思维与非逻辑思维毕竟是两种不同的思维形式,它们既有相通的一面,又有相区别的一面。非逻辑思维与逻辑思维的区别主要表现在:

(1)两者的特点不同。非逻辑思维是一种较少思想束缚、超越思想常规、摆脱成见、构筑新意以达到科学认识上产生突破的思维,带有较大的启发性、灵活性、弹性;逻辑思维是重在抽象过程,以理论形态,通过概念、判断、推理等思维形式来揭示对象本质,具有严密性、自洽性和明确性的特点。

(2)两者的作用不同。非逻辑思维是实现创造发明的灵魂,能赋予逻辑思维巨大的生命力;逻辑思维是实现创造发明的基础,特别是科学理论体系的建构中更不可缺少逻辑思维的作用。

(3)两者所属的层次不同。逻辑思维还属于一般的智能结构,非逻辑思维则集中反映创造力,虽然逻辑思维能力与创造性思维能力不无关系,但是有很强逻辑思维能力的人不一定具有很强的创造性思维能力,反之亦然。

另外,我们也应该看到,逻辑思维也具有创造性的内容,例如归纳法、演绎法的运用,分类法、类比法的运用,也能促进人们发现新的问题,觉悟到本来未知的东西;而非逻辑思维方法的运用,同样渗透着逻辑方法,潜意识、直觉、灵感、形象思维的活动都不同程度地借助于逻辑思维的能力。一个完整的创造过程,特别是重大的科学理论的发现过程,基本上都经历了逻辑思维(作为基础)→非逻辑思维(实现跳跃)→逻辑思维(加以完成)这样的阶段。

总之,在科学研究中不应当把逻辑思维与非逻辑思维看成不相干的东西,在对两者作出区分的同时应肯定它们的互补关系。

第六节 系统科学方法

一、系统科学及其方法

广义的系统科学泛指以系统为研究对象的学科群,它主要研究系统的类型、一般性质和运动规律。系统科学作为一个完整的学科体系包括了系统学、系统方法学和系统工程学三大组成部分。其中系统学是系统科学的基础理论,它研究一般系统的基本概念、基本性质和基本规律以及系统分类,包括系统概念论、系统分类学和系统进化论,以及若干其它分支学科。系统方法学研究系统科学的基本方法,它基于系统理论提供认识 and 解决各种实际系统问题的思考方式和方法理论。系统工程学是系统科学中的实用领域,它由系统方法加运筹学、计算机科学等组成。

系统科学自本世纪诞生以来发展异常迅猛。本世纪40年代首先产生了系统科学一般性的理论,以贝塔朗菲的一般系统论、申农的信息论和维纳的控制论为代表;60年代又产生了自组织理论,以普利高津的耗散结构理论、哈肯的协同学和艾根的超循环理论为代表;70年代以后又发展出了非线性动力学理论,以菲根鲍姆的混沌学理论、曼德勃罗的分形几何学理论和斯各特的孤波学理论为代表。这些理论,为科学技术的发展提供了新思想、新观点、新方法。同时,也经科学方法的研究带来了革命性变化。

系统科学方法是按照系统科学的理论和观点,把研究对象视为系统来解决认识和实践各种问题的方法的总称。系统方法要求人们,把研究对象看作一个整体,把事物的普遍联系和永恒运动看成一个总体过程,全面地把握和控制对象,综合地探索系统中要素与要素、要素与系统、系统与环境、系统与系统的相互作用和变化规律,把握住对象的内环境与外环境的关系,以便有效地认识和

改造对象。可以说,从系统的整体性和动态性出发,运用有效的系统模型去模拟现实系统并寻求系统的整体优化,是系统科学方法的最为突出的特点。

系统方法在科学研究中的作用主要表现为三个方面:①系统方法是认识、调控、改造、创造复杂系统的有效手段。系统方法是扬弃了传统科学的简单性原则而产生的。世界上的事物和过程是复杂的,是由多种因素或子系统的复杂相互作用所构成的,传统的从实体上进行还原的分析组合方法把复杂问题不适当地简化了,而系统方法则着眼于系统的整体思考,提供了解决复杂问题的钥匙。②系统方法为人们提供了制定系统最佳方案以实行优化组合和优化管理的手段。在认识自然和适应自然的过程中,系统方法可以帮助人们制定最佳方案,实行优化组合与管理,取得尽可能大的效益,用最少的投入,取得最多的利益。③系统方法给人们提供了新的思想模式。系统方法突破了传统科学方法只侧重分析的方法框架,倡导从总体上进行思维,建立综合学科、交叉学科和边缘学科,促进自然科学和社会科学的统一,促进科学家和哲学家的联盟,帮助人们打破两种科学、两种文化的界限,建立统一的世界图景和文化图景,建立起系统的自然观、科学观和方法论。

二、常用的系统科学方法

系统科学方法是一个内涵极为丰富的方法群,常用的系统科学方法就有信息方法、控制方法、反馈方法、系统分析方法、系统模拟方法、系统决策方法、动态规划方法、综合评判方法、分解—协调方法、黑箱方法和功能模拟方法等多种,这里只择其要者进行简要介绍。

(1)系统分析方法。系统分析方法是确定系统的组成、结构、功能、效用,而对系统各构成要素、过程和关系进行考察的方法。对系统的这种分析最早应用于化学定性分析,后来拓展到定量分析

和结构分析,在系统论产生之后经移植和扩展,充实以现代内容,从而形成了系统分析方法。

系统分析方法要求人们准确地记录下系统各要素和过程各阶段的数据,然后运用这些数据对系统进行研究。一般是把有关数据排列在流程图上,并在做出初步设计决策前,仔细审核这些数据。数据审核无误,便依据它们设计各种方案,并根据目标的要求比较、选择方案。有些管理问题,在进行系统分析时,还可以用图论的、数学的、物理的系统模型,进而运用计算机对模型进行分析。目前,系统分析方法已经广泛地应用于计算机硬件的研制和软件的开发,技术产品的仿制、改造和创新,环境科学和生态系统的研究,城市的规划和管理,等等。

(2)信息方法。信息概念在通信科学理论没有形成以前,仅被看作是消息的同义语。信息论的创始人申农从通信科学的角度认为信息的本质在于,它是认识主体接收到的、可以消除对事物认识不确定性的新消息、新内容、新知识。信息必须从其发送者发出,以信号的形式在信道里传递,到传递终端,再转化成信息并由其接收者接收。因而,从传递过程,即从信息源(信息发送者)经过信道(信息的传递途径)再到信宿(信息的接收者)的关系来看,信息是主客体之间认知与被认知的关系,是事物普遍联系中的一种特殊的联系。

信息理论可以转化成方法。信息方法是现代通信理论、控制论、自动化技术、电子计算机技术的综合运用。信息方法把研究对象抽象为信息及其变换过程,通过信息的获取、传输、加工、处理、利用、反馈等过程,来揭示对象的本质和规律,进而认识和调控对象。信息方法已被广泛运用于科学研究、技术开发和工程技术的组织管理。

(3)控制方法。控制是指一个复杂的系统根据内部和外部条件的变化,进行调整以克服系统的不确定性,使系统稳定地保持或达

到某种特定状态或者使系统按某种规律变化的过程。控制方法则是以系统为对象、功能为目标、信息为基础、反馈为手段,达到系统控制最优化目的的方法。控制方法的运用应把握三个基本环节:①了解系统运动所面临的可能状态,这是对系统施控的前提;②明确控制目标及其在系统运动的可能状态中的位置;③控制最佳条件,实现系统运动向控制目标转化。

控制方法的最大特色是控制过程的随机调节。在实现随机调节过程中,反馈是一个最为重要的环节,它使系统成为闭环,不断克服不确定性,消除误差,逼近期望值。

(4)黑箱方法。黑箱又称黑系统,指内部要素和结构尚不清楚的系统。对于黑箱人们只能了解它的输入和输出,不能或不便直接剖析内部。黑箱方法就是通过探索功能而推测结构的方法,它通过考察黑系统的输入和输出的动态过程,即研究其功能或行为方式,以推测和探索系统内部结构和运动规律。运用黑箱方法,主要采取以下步骤:①通过研究输入和输出研究黑箱;②系统分析功能,确定几个可供选择的黑箱模型;③对黑箱模型进行检验和选择;④阐明黑箱的结构和运动规律并加以应用。

黑箱方法提供了研究复杂系统和不能打开或不便打开的黑系统的研究方法,这对人脑、黑洞之类系统的研究具有重要意义。实际上,科学面对的原初系统一般都是黑箱,如早期的人体解剖学、细胞学的对象。随着运用黑箱方法进行初步研究,可以使黑系统逐渐转化成灰系统,再进一步转化为白系统。人们的认识就是一个不断地接触、研究黑箱和转化黑箱的过程。

(5)功能模拟方法。所谓功能模拟方法是指在暂不考虑系统内部组成要素及结构的条件下,应用模型来再现原型功能的方法。两个系统功能的相同或相似是功能模拟的基础。所谓相似,是指两个或两个以上系统的相应参数或物理量可以互相放大或缩小,即可以互相通约。功能相似是指两个系统内外联系和关系中表现出来

的特性和能力的指向、效果都可以互相通约。采用功能模拟方法，要尽量做到使模型与原型在功能上相似，为此首先要系统研究原型的功能，把握其主要内容；其次，确立与原型功能相似的模型；第三，进行模拟，成功后用以说明原型的功能，并加以应用。

功能模拟方法在科学技术和生产管理中有着广泛的应用，它不仅可以模拟不能接触的事物的功能，如危险环境、宇宙天体；还可以用于脑科学和思维科学的研究，制造新一代计算机、研制语言翻译机等，也可以用于仿生学研究，发展新型技术。

三、自组织理论方法

非平衡自组织理论是系统科学的一个重要分支，它本身也是一个学科群，包括许多门类。其中，最具代表性的有耗散结构理论、协同学、超循环理论、生命系统论、资源物理学、突变论等。非平衡自组织理论提出了许多新的科学思想和科学方法。在这些思想和方法中蕴含着许多重要的方法论启示，已引起人们的普遍重视。

各种非平衡自组织理论尽管背景和对象有很大差别，但它们都试图解决一个普遍性问题，即有序与无序相互转化的机制与条件问题。自组织理论认为，开放系统，在远离热平衡的非线性区，通过引进负熵和正反馈循环，经涨落或起伏，会从无序状态产生有序结构。耗散结构理论、协同学、超循环理论等，都从不同的侧面研究过这种情况。另外，非平衡自组织理论还研究了系统由有序通向混沌的道路，如倍周期分岔进入混沌、茹勒—泰肯道路通向混沌和阵发混沌等，已得出了一些带有普遍性的结论。

自组织理论的方法论意义主要表现在以下三个方面：

(1) 自组织理论的方法是描述系统质变的方法。自组织理论为了描述偶然随机涨落而造成的多种质变可能的过程，采用了数学分支点理论和突变论数学方法。具体做法分三步：①求出可能涨落的概率；②选择概率高的涨落类型；③描述涨落后的质变。而对于

涨落导致的质变类型,则多采用突变论的数学方法做进一步描述。这些方法的应用说明,数学绝不能仅停留在单纯的对量的描述阶段,而应当探索对复杂多样的质和质变的描述。

(2)自组织理论的方法是统一决定论与非决定论的方法。经典的动力学理论,从时间的可逆性和简单性原则出发,认为任何一个系统,只要知道了它的初始状态,就可以根据动力学规律推算出它随着时间变化所经历的一系列状态。拉普拉斯曾将这种思想方法推广到整个宇宙,确立起决定论的基本观点。

概率论和统计的概念引入物理学以后,科学思想发生了重大变化,促使科学家从决定论的那种“经典科学缔造的神话”中走了出来。概率论和统计的观点认为,一个系统的未来状态,并不是完全确定的线性因果链,而有许多偶然的随机的因素,人们只能从大量的偶然性中寻求必然的趋势,世界的发展遵循着统计的规律。

决定论和非决定论在历史上一直存在着尖锐的争论。随着非平衡自组织理论和相关科学的发展,人们看到了解决这一对立、统一决定论与非决定论的希望。通过对系统演化临界点上行为的研究,自组织理论指出,稍微复杂一些的系统,由于大量的随机因素和不同的涨落形式,它的未来是不确定的,也就是说在临界点处系统的解是非决定论解。然而在到达临界点之前,又是动力学的和决定论的解。因而,正如布鲁塞尔学派一再指出的:动力学和随机性、决定论和非决定论,总是相伴相随、相互联系地出现。

(3)自组织理论的方法在于选择新目标、追求新范式。传统科学追求简单性、必然性、决定论的目标,以分析为基本研究范式,而自组织理论则扬弃了传统科学的目标和范式,探索了复杂性、偶然性、非决定论,强调了综合性和整体性的研究范式。未来学家托夫勒在为普里高津《从混沌到有序》一书的“前言”中指出:普里高津“试图去‘把这些细部重新装到一起’,这里具体地说,就是把生物学和物理学重新装到一起,把必然性和偶然性重新装到一起,把自

然科学和人文科学重新装到一起”。^①也即提出了科学大统一的研究目标和范式。

本章进一步阅读书目

1. 波普尔. 科学发现的逻辑. 北京: 科学出版社, 1986
2. 汉森. 发现的模式. 北京: 中国国际广播出版社, 1988
3. 孙小礼主编. 科学方法. 北京: 知识出版社, 1990
4. 袁灿, 鲍健强, 许为民编著. 科学技术研究方法论. 杭州: 浙江大学出版社, 1993

复习思考题

1. 如何理解科学发现与科学证明的关系?
2. 为什么说科学问题是科学研究的逻辑起点?
3. 为什么说“观察渗透理论”?
4. 结合实际谈谈系统科学方法的应用。

^① 普里高津等著.《从混沌到有序》,上海译文出版社,1987:5.

第六章 科学发展

科学知识不是静态的,它伴随科学研究活动的拓展和深入而发展变化着。科学知识的动态发展是刻画科学内在形象不可缺少的维度之一。科学哲学在经历了它的标准时期,即逻辑经验主义时期之后,研究视野开始转向科学知识的评价和选择方面,从而把研究重点放在科学知识的动态发展上。这样就导致了对研究科学知识发展变化的“科学动力学”(Science dynamics)的重视。对科学发展的重视,也进一步使科学哲学研究由纯粹科学理论内部的结构问题进入到科学理论与外在世界的关系问题,从而科学进步、科学合理性以及科学指称(即科学概念、理论是否有实在的对应问题)也就成为科学哲学家们所不能回避的重要问题。围绕科学发展的研究,科学哲学进入到一个新的发展阶段。

第一节 科学进步与科学发展

严格地说,科学与科学进步是有区别的。科学发展强调的是科学知识内在结构的变化,以及这种变化的内在机制的主要特征。科学发展并不一定都是向着预设科学目标的变化。科学发展既可以表现为进步,又可以表现为退化。科学进步就是朝着既定科学目标的发展。从这个意义上说,科学进步必定与科学目标相联系,并用接近目标的程度来衡量进步的程度;而科学发展则具有更广泛的意义,它主要关心的是科学发展的模式以及如何用模式来解释科学发展的历史事实。

一、科学的目标

关于科学目标的研究在科学哲学中处于基础性地位,不同的科学哲学流派对科学目标往往有着不同的理解,彼此间差异较大,争论也很激烈。

逻辑经验主义虽然侧重研究科学的静态的逻辑结构,并不太关心科学的发展问题,但他们从科学理论的结构分析出发,为了更有效地阐述意义标准,而将科学的目标定位在追求科学理论的精确化,也即科学理论的更高的可证实性或可确证性。逻辑经验主义的理论精确化目标是建立在两种语言的区分的基础上,理论术语通过对应规则与观察术语发生联系,在获得意义的同时使理论变得更为精确,具有更高的可证实性或可确证度。严格地说,逻辑经验主义对科学目标的理解仅仅局限于科学理论或科学语言本身,而没有进入到科学认识、科学活动或科学实践的层次。实际上,科学目标必定是科学实践活动的产物,它在很大程度上标明了人们对于科学实践活动中科学理论与外在世界的某种特定关系的理解。由于逻辑经验主义忽略科学活动本身,仅对科学活动的结果,即科学理论进行静态的结构分析,因而他们所理解的科学目标很难反映出科学活动的内在特征。外在世界并未在逻辑经验主义的理论视野中出现。

波普尔最早明确提出了科学目标的问题,他认为,认识论要把科学进步和知识的成长作为自己的中心问题,科学哲学的任务并不是仅仅研究科学知识的结构,而是还要研究科学知识的成长和进步;不仅要关心科学语言,更要关注科学活动以及科学理论与世界的关系问题。

在此基础上,波普尔提出了科学的目标就是通过批判以找到愈来愈接近真理的理论。波普尔所理解的真理就是与事实相符合。波普尔坚持实在论立场,承认客观真理,认为真理不依我们的权力

喜爱而改变。一个理论可以是真的,即使没有人相信它;另一个理论可以是假的,尽管我们充分地相信并接受它。然而,波普尔所说的科学寻求真理,并不是指科学能够认识真理。他不同意唯物主义的反映论,认为唯物主义反映论断言认识就是客观现实的反映是一种朴素的、幼稚的认识论观点。在波普尔看来,真理是永远得不到的,因为它在我们可以达到的范围之外。但真理却可以被科学所探索,科学可以根据问题对它作出探索性的猜测,而且可以通过不断的猜测而逼近真理。因而,科学的目标就是不断地逼近真理。

库恩和费耶阿本德等历史主义学派的代表人物坚决反对波普尔关于科学目标是逼近真理的观点。库恩站在实用主义立场上,认为科学理论不过是科学家集团所共同使用的工具,对于工具,不存在什么“真理性”或“虚假性”的差别,只要能有效地用来解决问题,就是好的,或比较好的;否则,就是不好的,或坏的。而且,按照库恩的观点,理论是科学家集团看待世界的方式,不同理论的更替是格式塔变换;同时观察又渗透着理论,不可能存在一种中性的、客观的比较理论优劣的标准。所以,库恩认为,前后相继的理论之间是不可通约和不可比较的,新旧理论的更替取决于科学家集团的共同信念,并不表明后来的理论比前面的理论包含着更多更深刻的真理内容。

费耶阿本德则走得更远,他甚至不承认科学会有什么统一的或前后一贯的目标,他将科学看作是不可比的各种知识杂乱无章地增长的海洋,其中每一个理论、每一个童话、每一个神话都有自己的目标,这些目标不必一致,也不可能一致,但它们却都处于同等重要的地位,成为科学这个集合的一部分。在费耶阿本德看来,科学本质上是一种无政府主义事业。

波普尔的批判理性主义和库恩等的历史主义关于科学目标的不同理解代表了科学哲学中在科学目标、科学进步和科学发展问题上的两类典型观点,即理性主义和工具主义。理性主义强调科学

作为一项理性事业必定有一个统一的目标追求,这就是真理或近似真理;而工具主义则突出科学中的经验和实用的成分,强调具体科学理论的有效性目标,怀疑甚至否定科学有超越经验之上的前后一贯的目标追求。这两类观点都面临着一定的困难,从工具主义立场看,真理或逼近真理都是无法确定的;而从理性主义立场看,仅强调理论的有效性目标将使科学变成一种无政府主义事业,最终滑入非理性主义泥潭。这两类观点的争论直到今天仍是科学哲学发展的主题,只不过今天人们更多地看到的是两者不同程度杂合后的观点。

总之,关于科学的目标至今仍是一个争论颇多的问题。理解科学目标以及关于科学目标的不同观点应注意把握和区分这样两个层面的涵义:

第一,科学目标与科学家的个人动机是两码事。科学家从事科学研究的个人动机可能千差万别,但科学作为一项事业却有着不依赖于科学家个人动机的目标追求,科学的目标是什么决定着在科学事业中什么被看作是成功的。

第二,科学目标是有层次的,既有作为一项事业的终极目标追求,又有作为某一阶段具体活动的现实目标追求。正象科学家个人的终极目标追求和现实目标选择不必每时每刻完全一致一样,科学的不同层次的目标也未必完全一致。在不同历史阶段中,科学的现实目标总是多元的和丰富多彩的。

二、科学进步

对科学进步的理解总是与科学目标紧密联系在一起,不同的科学目标决定着不同的科学进步模式。

逻辑经验主义认为科学的目标在于追求科学理论的精确化,即科学理论更高的可证实性或可确证性,相应地,科学进步的方式有以下三种:

(1)科学理论的确证度提高。有些科学理论,虽然曾被广泛承认,但后来由于技术上的革新提高了观察与测量的精确度,使人们发现原科学理论所作的预见不合适,因此改变了确认度。如哥白尼的行星圆形轨道理论,被开普勒的行星椭圆轨道理论所代替,之后,牛顿发现行星轨道也不完全是椭圆的,作了进一步修改。这样,随着科学认识的深入,改变着确认度逐步提高。

(2)继续确证的理论扩展到更大范围。许多科学理论在原来范围内得到确证,但同时扩展适用于更大范围,如经典质点力学扩展到刚体力学。

(3)不同种理论被归化入更全面的理论之中。种种难以比拟的科学理论,都有很高的确认度,都被归化(或包括)在某种内涵更广的科学理论之中。

逻辑经验主义者坚持认为科学进步主要通过后两种方式实现。理由是,当一个理论最初被提出并接受检验时,预见失败将会导致对它的摒弃;但是如果理论在起初的范围内成功地通过了种种实验,那么理论就在这个范围内得到了很高的确证度。一旦它拥有高度的确证度,理论就不可能再被否证。因为如果一个理论要被否证,就得预见它遭到失败,但这在起初范围内是不可能的,因为理论在那个范围内是高度确证的;确切地说,后来的否证是对起初范围以外新现象预见失败的结果,而这些新现象不同于先前检验过的现象。然而那些现象是新的这一事实意味着进行检验要求有新的实验技术,这些技术必定作为新增加的对应规则引入理论 TC 之中。但是这样做,实际上就是用一种关系密切的新理论 TC' 代替 TC ,因而被检验的就是 TC' ,所发生的任何否证也即是否证了 TC' 而不是否证了 TC 。因此,一旦一个理论得到了很高的确证度,就不可能被否证。确切地说,任何否证都不过是否证把理论扩展到比原来更大的范围。但是另一方面,每一步扩展都是一个新的理论,在承认它以前必须经受实验的检验,一旦通过检验,得到了

很高的确证度,它也就相对地不受否证影响了。这种理论范围的扩展是理论归化的一种形式。理论归化的另一种形式是一个理论被吸收进一个内涵更广或更全面的理论中。例如,热力学归化入统计力学,开普勒定律归化入牛顿力学。理论归化是逻辑经验主义最重要的科学进步方式。

波普尔将科学目标定位于不断逼近真理,并用逼真性表示科学理论逼近真理的性质,理论的逼真度愈高,表示它接近真理的程度愈高。因而,科学进步的过程就表现为科学理论的逼真度不断提高的过程,逼真性是与理论的内容相联系的,即与真实性内容成正比,与虚假性内容成反比,所以检验理论是否进步,在理论方面就要看它包含的经验内容是否更加丰富,也即可检验性是否更加高,在经验方面要看它是否能经受经验的检验,如果这两方面的要求都满足了,那它就是一个进步的理论。波普尔曾明确指出:“看科学的进步,以下两个逻辑问题很关键:第一,一种新理论要成为一种发现或前进一步,应当同以前的理论有矛盾,至少也应引出某些有矛盾的结论。但是从逻辑的角度看,这就意味着它应当同它的前驱根本对立,应当推翻它。在这个意义上,科学的进步,至少是显著的进步,总是革命的。第二,科学进步在一定意义上又是保守的,新理论不管多么革命,总是可以充分解释旧理论的成就。在所有旧理论获得成功的地方,它也必须成功。甚至更大的成功。在这里,旧理论必须成为新理论的良好近似,而在这以外,新理论还要取得各种更好的成就。”^①

波普尔的科学进步模式考虑到了科学理论的可错性,比逻辑经验主义的理论归化观念有了改进,但也存在难以克服的困难,即作为表明理论是否经受经验检验的观察证据,其真值是有条件的,并将随着科学认识和实践的发展而发生变化。这样,在被检验的理

^① 转引自林超然主编,《现代科学哲学教程》,浙江大学出版社,1988:111.

论的内容中,真实部分和虚假部分的比例也将是变化的,因而其逼真性也将是不确定的,逼真性作为理论逼近真理的程度的标准也因此而被破坏了。

与波普尔和逻辑经验主义完全不同,库恩认为科学只有工具主义意义上的进步。他把科学的进步比喻为进化之树,就象生物进化一样,是一种单向的不可逆的过程,后来的理论在应付环境变化或解决难题方面总要比早期的好。所以,库恩指出,随着时间的推移,科学理论作为一个整体来说,总是越来越同自然界匹配。不过,这种匹配,仅仅是工具与工具对象的相匹配,而不是说科学理论越来越广阔和越来越深入地反映自然界的真实情况。费耶阿本德走得更远,他连这种工具主义意义上的进步也不承认。由于费耶阿本德否认科学目标的统一性,自然也就坚持科学中没有统一的衡量进步的尺度,因而,也就根本无进步可言,所有的只不过是各种知识杂乱无章地增长着。

库恩和费耶阿本德的观点在科学哲学中引起激烈的争论,不断受到批评和指责,但他们对理性主义科学进步模式的批评也有合理的地方,如不可能存在中性的观察陈述,理论逼真性确定的困难等。面对理性主义和工具主义两类科学进步模式,美国科学哲学家劳丹认为必须在两者之间寻找一种新的方案,这便是他所提出的“解决问题”的科学进步模式。

劳丹将科学目标看成是寻求与建立具有高度解决问题效力的理论,因而科学进步就表现为后继理论比先行理论能解决更多的问题。同以往将经验问题作为基本问题的传统观点相反,劳丹认为大多数概念问题比大多数经验问题对于科学理论发展来说更为重要。衡量一个理论解决问题效力的大小,就可由这个理论所解决的经验问题和概念问题的数目和这些问题的重要性来决定。在劳丹的科学进步模式里,科学目标不再被看作是探索真理和逼近真理,这就避免了由此而产生的如何确定理论逼真性的困难。另一方面,

他又肯定理论是可比较的,肯定科学是不断进步的,这就纠正了库恩、费耶阿本德由于否认理论的可比性和科学进步而陷入相对主义的错误。但是,劳丹把解决问题作为科学的目标,使他在真理问题上不能摆脱工具主义的立场,尽管他声称他的模式原则上并不排斥有高度真理性或高度逼真性的理论,但这毕竟同科学唯物主义的传统是格格不入的。在这方面,邦格的观点具有一定的代表性,他把认识和实践的价值分为真理(内在价值)和有用(工具价值)两方面。一方面,他坚持科学的目标是追求真理,认为科学总是倾向于接受一个已经通过某种确证的检验、被充分证明为真的命题,科学总是朝着真理这个目标不断进步;另一方面,他也强调有效性是衡量科学技术价值的一个重要方面,认为技术的目标是追求有用。邦格认为,真理与有效性之间的关系是复杂的,不能把它们等同起来,那种认为有用就是真理的实用主义观点是不可取的。

三、科学发展

科学作为特定的认识活动是在实践和认识的交互作用中展开它的发展过程的。早期的科学主要以生产实践为认识的源泉,到了近代,科学实践兴起并脱离生产过程成为独立的社会实践,科学便越来越依靠科学实验作为主要的认识源泉。因此,近代科学是科学实验和科学理论的有机统一体。理论和实验相互联系、相互渗透、相互统一、相互转化,形成科学的动态进化过程,实现科学的自我运动和自我发展。

科学发展的特征、规律和内在机理是科学哲学的重要研究领域。一般来说,关于科学发展的研究要回答的主要问题有:科学是怎样发展的?科学发展的一般形式是什么?什么是科学知识增长的动因和机制等。由于逻辑经验主义主要侧重于静态的科学理论结构的分析,关注的是“科学应该是什么”的问题,而相对忽略“科学是什么”的问题,也就没有将理论结构分析置于历史的和现实的

科学活动之中,因而并没有明确提出科学发展的模式,也没有对上述关于科学发展问题给出明确回答。但是,从另外一个角度,逻辑经验主义按照归纳主义观点来说明科学知识增长的特征,认为科学知识来自对经验事实的归纳,科学发展就是通过归纳获得的科学知识的不断增加,因此,科学发展是一个渐进积累的直线发展过程,其中没有中断,没有革命;观察事实越多、越深入,通过归纳逻辑得出的科学理论越被高频率经验证据所证实,那么它就越普遍,解释力和预见力越强,非科学的错误成分也就在这个过程中不断地被剔除。一般教科书中对科学的发展历史基本上是按照这种模式来叙述的。库恩曾尖锐地指出,按照这种“标准教科书”的观点,“科学的发展成了一点一滴的进步,各种货色一件一件地或者一批一批地添加到那个不断加大的科学技术知识的货堆上。”^①逻辑经验主义所勾画出的这幅积累式的科学发展图景,虽然从一个侧面反映了科学不断进步的总趋势,但其根本缺陷是只看到了科学发展过程中量的变化,而没有看到也许是更重要的质的变化,也即忽视了科学中的革命,因而不能解释人们怎样提出逻辑上和传统理论上的不同的革命性新理论。

20世纪50年代以来,科学哲学的研究重点转到了科学知识的动态发展上,并注重将科学哲学研究与科学史、科学社会学研究有效结合起来,把科学发展研究放回到更广阔的科学史和科学活动的背景中,研究的落脚点放在“科学是什么”而不是“科学应该是什么”的问题上。许多科学家和科学哲学家对逻辑经验主义的科学发展观进行了批判,并开始明确地提出和探索科学发展模式的问题,其中最有代表性的是波普尔的批判理性主义模式、库恩的科学革命论模式和拉卡托斯的科学研究纲领模式等。

^① 库恩.《科学革命的结构》,上海科学技术出版社,1980:1.

第二节 科学发展的模式

一、科学发展模式的主要观点

1. 波普尔的观点

波普尔最早明确提出了科学发展模式问题。他从证伪主义立场出发,把科学的发展看作是一个不断地证伪理论、推翻理论的过程。他认为,猜想和反驳是科学发展过程中最基本的环节,科学发展的历史就是大胆地提出假设,通过证伪,然后推翻理论的过程,科学知识的增长,就意味着不间断的革命。基于此,波普尔提出了他的科学发展模式,即 $P_1 \rightarrow TT \rightarrow EE \rightarrow P_2$ 。在这个模式中,科学从问题(P_1)开始,经过试探性理论(TT),又经过批判性检验、排除错误(EE),进而提出新的问题(P_2)。这四个环节循环往复,推动科学不断前进。

波普尔的批判理性主义科学发展模式有这样四个特点:

第一,波普尔把科学看成一个永无止息的动力学系统,强调科学发展是一个不断革命的过程。他反对逻辑经验主义仅仅对科学进行静态的逻辑分析,强调从动态角度去揭示科学知识增长的机制,从而在现代科学哲学的发展中开了动态研究科学发展模式的先河。

第二,波普尔把“问题”看作科学发展的动力,作为科学发展模式的重要环节。科学发展从问题 P_1 开始,又以新的问题 P_2 结束。问题是起点,又是终点。问题是科学探索的起点和主攻方向,善于发现问题是科学研究取得成果的首要步骤。科学的历史也就是问题的历史。波普尔指出,“不应当把科学的历史看作是理论的历史,而应当看作是问题处境,以及不断地试图通过解决问题改进这一

处境的历史”。^①

第三,波普尔主张在科学探索中要大胆猜测,反对狭隘的经验论。他把试探性理论(*TT*)作为科学发展模式的第二个环节,认为试探性解决问题就要大胆猜测,这种猜测既不受理论约束,也不受感觉经验制约。他说:“对于科学,最基本的是,它是由尝试性的、假说的、推测的理论所组成的。这意味着任何理论,不管它曾经获得何等的成功,也不管它曾经经受过何等严格的检验,都是可以被推翻的。”^②

第四,波普尔强调科学的革命精神和批判精神,认为科学只有在不断批判、不断否定中才能前进。波普尔科学发展模式的第三个环节是经过批判性检验,排除错误(*EE*)。只有通过批判的检验,才能真正通向真理的轨道,这就是所谓“批判的理性”。波普尔在强调对理论进行无情的批判和否定时,指出在知识领域不存在任何不向批判开放的东西,即使权威也应该经受批判的洗礼。科学家不仅应有敢于批判和否定别人理论的精神,而且应有批判和否定自己理论的勇气。波普尔曾写道:“爱因斯坦给我的印象最深的一点是:爱因斯坦对他自己的理论具有高度的批判精神,这不仅表现在他试图发现并指出它们的局限性,而且也表现在他对所提出的每一个理论试图找出在什么条件下,他将把理论看作被实验反驳。这就是说,他试图从每个理论推导出可受实验检验的预见,他把这些实验看作对他的理论是判决性的。因此,如果他的预见被反驳,他就放弃他所提出的理论。”^③

2. 库恩的观点

与波普尔“不断革命”的科学发展模式不同,库恩刻划出一个

① 转引自林超然.《现代科学哲学教程》,浙江大学出版社,1988:104.

② G. 怀特劳编. 爱因斯坦对我的科学观的影响——波普尔访问记,《自然科学哲学问题丛刊》,1980:(3).

③ 转引自林超然主编.《现代科学哲学教程》,浙江大学出版社,1988:106.

常规科学和科学革命相互交替的科学发展模式,即:前科学→常规科学(形成范式)→反常→危机→科学革命(新范式战胜旧范式)→新常规科学……

在这一模式中,库恩用范式(Paradigm)而不是传统的理论来说明科学的发展。范式一词来自希腊文,用在语法中,表示词形变化,如名词变格和动词变位的规则及示例。库恩所说的范式,一般是指特定的科学共同体从事某一类科学活动所必须遵循的公认的“模型”,它包括共有的世界观、基本理论、范例、方法、仪器、标准等等同科学研究有关的所有东西,它实际上是科学共同体从事科学活动的共同立场,共同使用的认识工具和手段。范式是库恩科学发展模式中的主要理论观点,也是理解这一模式的关键。

前科学阶段。库恩根据科学史研究,把科学的“早期发展阶段”或初始阶段,称之为前科学阶段。前科学的特点,是从事同类学科的科学工作者形成许多学派,对共同研究的问题基本观点很不一致,许多理论经常争论,相互批评和竞争,没有为大家都能接受的公认理论,也就是没有形成该学科的范式。

常规科学阶段。范式的出现使百家争鸣转到定于一尊,促成了常规科学的产生。范式的产生是一门科学达到成熟的标志。这种形成了范式的成熟科学就是常规科学。常规科学活动本质上就是科学共同体在范式支配下的一种“解难题活动”,它集中研究范式内肯定有解的难题,并提供解决难题的方法。常规科学活动的任务是不断验证和发展范式,促进范式不断自我完善和自我发展,这是科学渐进性发展时期。

反常,科学研究不断地揭示出意料之外的新现象,当科学家发现了范式预期之外的新事物、新现象、新发现,用范式难以解释,这就是反常现象。反常的出现,推动更多科学家通过观察实验搜集更多的反常去证实反常。科学史表明,反常的科学发现往往预示了范式的更新和革命。

危机。当反常现象大量出现,并成为常规科学无法解决的难题时,人们开始怀疑范式,失去对范式的信任,科学共同体开始分化,这时反常便导致了危机。危机的出现有可能打破旧范式的统治而转向接受新范式。

科学革命。旧范式向新范式的过渡就是科学革命。危机发生后,一些思想解放、具有革命批判精神的成员,就不再盲目迷信旧范式,而是勇于创新,去建立新理论、新范式取代旧理论、旧范式,以解释和吸收反常。“科学革命在这里被当作是那些非积累的发展事件,在其中一套较陈旧的范式全部或局部被一套新的不相容的范式所代替”。^①换句话说,科学革命就是冲破旧理论创立新理论,新范式战胜和取代旧范式,强调新旧范式不相容,革命是质变、飞跃。

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

库恩的科学发展模式有两个鲜明的特点,首先,他的范式理论提出了一种新的科学观,即科学不是停留在已有的知识体系上,而是不断探求新知识,放弃旧范式、旧理论,接受新范式、新理论的创造性活动。库恩高度赞扬青年人在科学共同体范式转换中的先锋作用,认为他们较少保守思想,思维敏捷,勇于创新,乐于接受新鲜事物,坚定地献身于新理论、新范式。其次,库恩从科学史的研究中看到,科学作为一种社会事业,其发展受科学内部因素和科学外部因素相互作用的制约,因而,他不仅把范式看作认识论上的知识体系,而且看作知识的社会形式、科学共同体的信念和行为规范。范式不仅要依靠它本身的科学性,而且要依靠心理学的、社会学的条件——科学共同体对范式的信念以及社会的政治、经济条件和文

^① 库恩.《科学革命的结构》,上海科学技术出版社,1980:75~76.

化因素等。

3. 拉卡托斯的观点

拉卡托斯从科学史研究出发,在吸收了波普尔和库恩模式的合理成分的基础上,创立了“科学研究纲领”模式,以解释科学发展现象。

拉卡托斯认为,任何时代的科学理论体系实质上都是一套科学研究纲领。科学研究纲领是一个有组织的、有严格内在结构的科学理论系列,它由相互联系的硬核、保护带和启示法组成。

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

保护带是科学研究纲领的可反驳的外围弹性地带,是保护硬核免遭反驳而提出的辅助性假设集合。当研究纲领受到经验事实反驳时,通过修改、调整辅助性假设来保护硬核。

启示法是形成科学研究纲领的方法论,它包括:(1)保护“硬核”的反面启示法,是反面的禁止性规定,禁止科学家们把经验反驳的矛头指向硬核,而把它引向保护带;(2)完善和发展纲领的正面启示法,是鼓励科学家积极提出、修改或调整辅助性假设的保护带,来消除反常,保护“硬核”,以发展研究纲领的规则。

拉卡托斯认为,每个时代、每门学科并非仅有一种纲领存在,而是有不同的研究纲领的竞争。一个研究纲领经过调整辅助假设后,能够对经验事实作出新的成功的预言,就是进化的,否则就是退化的。科学的发展,就是进化的研究纲领通过竞争取代退化的研究纲领的过程,它本质上是优胜劣汰的社会选择过程。其模式表现为:科学研究纲领的进化阶段→科学研究纲领的退化阶段→新的进化的研究纲领取代退化的研究纲领→新的研究纲领的进化阶段……

拉卡托斯的科学发展模式的特色主要表现在:

第一,拉卡托斯把科学理论看作是有内在结构的整体,即由彼此联系的硬核、保护带和启示法等组成,因而经验的反驳并不能立即淘汰理论,任何理论体系都可通过修改和调整保护带和背景知识,使其从经验反驳中挽救出来。这比较符合科学理论具有坚韧性的历史事实。

第二,拉卡托斯肯定了科学研究纲领之间更替的连续性和继承性,新纲领只有继承旧纲领的全部合理的经验内容,并有新的预见,才能取代旧纲领。

第三,拉卡托斯认为,科学史是一部相互竞争的研究纲领的历史,这种竞争开始得越早,对科学进步越有利。他指出,在库恩模式的常规科学阶段上有一个范式垄断着整个学科,不会有其他竞争者,这种情况在科学史上是非常罕见的。

二、关于科学发展一般模式的评论

科学发展的一般模式是关于科学发展的主要特征与内在机理的完整的描绘。一个成功的或较好的科学发展模式不仅能合理地解释科学发展的历史事实,而且能对科学发展的规律性作出深刻的说明。一般来说,科学发展模式总是同某种科学哲学立场和观点相联系,并建立在这种特定的科学哲学立场之上。

波普尔批判理性主义发展模式无疑是建立在他的证伪主义立场上的。这一模式在现代科学哲学的发展中,虽然开创了动态地研究科学发展模式的先河,对后来科学历史主义思潮的兴起起了积极的促进作用,但由于它过分简化了科学的实际发展过程,否认了科学知识的继承和积累,否认科学发展包含着量变渐进的过程,因而难以符合科学发展的历史事实。另外,波普尔在他的科学发展模式中过于强调猜想、想象、灵感在科学假说形成中的作用,却忽视了逻辑思维的基础性作用;而且他从证伪主义立场出发在推崇演绎法的同时却片面地否定了归纳法的作用。这些都是造成他的科

学发展模式陷入困境的重要原因。

库恩的基本思想是将科学哲学与科学史结合起来,着重研究科学发展的动态的历史结构。根据科学史研究的结果,库恩反对波普尔关于科学发展是一种不断革命的观点,认为这是一个悖论,因为单有否定和推翻,就不可能有增长。库恩指出,这是波普尔把科学事业中的非经常性革命的特点赋予了整个科学事业的结果。库恩的工作就是要把进化和革命结合起来,同时又考虑到科学内部因素和外部因素相互作用同时制约科学发展的特征。因而,库恩的范式论科学发展模式一方面强调常规科学和科学革命的不断交替的过程;另一方面又突出了科学革命所实现的新旧范式的更替,主要不是依靠经验检验和逻辑论证,而主要是依靠非科学因素,依靠科学共同体对新范式的信念或信仰。这又使得库恩的科学发展模式在以下两方面陷入困境:

首先,库恩过分夸大范式在常规科学中的绝对统治,片面强调常规研究的定向性和收敛性,这就使他的常规科学变成了一种盲目的教条主义统治的东西,难以符合科学发展的史实。

其次,库恩过于强调范式的更替决定于科学家集团在信念或信仰上的更替,否认范式更替中的连续性,这就使他的科学革命变成了主要受非科学因素支配的、纯粹是科学共同体的社会心理跃变过程的产物,革命前后的新旧范式由于基于不同信念,具有不可比性,范式转换成了“格式塔”式的心理转变。这样,无论范式的产生还是范式的转换都具有浓重的非理性色彩。

拉卡托斯既反对库恩模式中常规科学阶段一个范式一统天下的观点,更反对库恩把科学革命归结为非理性的信念的变换。拉卡托斯在自己的科学发展模式提出,一个新的研究纲领要代替旧的研究纲领,必须具备这样几个条件:能容纳旧研究纲领的成功,具有比旧研究纲领更多的经验内容,这些多于旧研究纲领的经验内容有一部分已得到观察和实验的确证。但是,拉卡托斯的发展模

式同样存在着难以克服的困难。他虽认为科学家应有批判精神,但对研究纲领的“硬核”却是例外。他主张应不惜任何代价使“硬核”免受批判,要批判的不是“硬核”,而是“保护带”,即初始条件和辅助假说。拉卡托斯关于必须保护研究纲领不可证伪的硬核的观点从本质上取消了科学研究纲领实现革命性变革的可能性。

要完整、准确地理解科学发展,必须将各种科学发展模式有机整合起来。因为无论波普尔的批判理性主义模式,还是库恩的范式论模式,亦或拉卡托斯的科学研究纲领模式无疑都是从某一个侧面反映出了科学发展的某一方面特性,只有将它们拼接起来,才能概括出科学发展的全貌。在试图对各种发展模式进行综合的工作中,邦格的观点非常具有启发性,他提出了一种称为生物心理社会学的科学发展的观点。邦格对各种科学发展模式作了批判性考察,认为无论是经验论者,还是唯理论者;是心理学主义者,还是社会学主义者,他们对科学发展的观点都是只看到某一个方面而忽视了其他方面,因此应把这些观点综合起来,把科学哲学、科学史和科学社会学综合在一起进行研究。关于科学发展模式,邦格主张进化式,即将渐进式和革命式加以综合的模式。邦格认为科学的发展既是间断的,又是连续的,任何革命都只是部分地,而不是全部地改变了知识的系统。邦格的思路有助于我们在科学发展问题上做出更进一步的探索。

伴随科学发展研究的深入,科学解释被赋予了更丰富的内涵,并与科学合理性问题结合在一起成为科学实在论兴起及其与反实在论持续论战至今的重要契机之一。

第三节 科学解释与科学合理性

所谓科学解释,简单地说,就是运用科学理论对现象进行理解,寻找现象的原因与根据,回答“为什么”的问题。事实上,科学家

在从事科学活动的每一个时刻都在不断地提出并解答问题。因而，科学解释既是科学理论的一项重要功能，又是科学研究中一种最普遍、最基本的活动。科学解释的深度和广度标志着科学进步和发展的水平。科学哲学从逻辑经验主义开始就非常注重对于科学解释的研究，但由于研究的侧重点不同，不同流派对科学解释的理解也有较大差异。

一般说来，涉及科学理论和科学解释至少有两个问题科学哲学家们必须回答：科学理论是什么？科学理论干什么？前者涉及理论的内容和结构，后者则是关于理论与世界的关系问题。前历史主义时期的科学哲学家们普遍关注于科学理论的结构和内容。逻辑经验主义对“科学理论是什么”的回答至少在40年代前被认为是正统观点。这种观点是经验主义与约定论的结合，建立在科学语言的区分之上，认定核心理论陈述是约定的，观察句子是经验的，理论的基础就是观察句子，科学解释就是根据演绎的逻辑规则从理论陈述推演出观察句子，无须涉及外在世界。伴随奎因的“本体论承诺”，外在世界开始步入科学哲学的视野，尤其是60年代历史主义学派兴起以及由此引发的关于科学合理性的争论，使科学哲学研究深入到科学活动层次上，不仅要问科学理论是什么？更要问科学理论干什么？而且，指称、真理与科学进步和科学发展的关系也成为科学哲学家们所不能回避的问题。科学解释的内涵也发生了变化，由逻辑经验主义的单纯探讨理论陈述与观察陈述的关系转向既探寻理论与外在世界的关系，又寻求理论与科学共同体的关系。对于科学解释所涉及的两类新型关系的不同侧重往往表明科学实在论和反实在论的不同立场，也形成对于科学合理性问题的不同理解。因而，透过不同类型的科学解释可以很好地理解科学合理性问题，也可以较好地把握直到目前还在进行的关于科学实在论的争论。

一、科学解释的类型

科学解释一般分为四种类型：

(1)演绎—规律解释。例如，“昨夜窗外结冰，为什么今天窗内湿淋淋的？”对这个问题的科学解释是：昨夜窗外结冰，窗内玻璃附近空气温度下降，以致这里的水蒸气密度比饱和蒸汽密度大，于是水蒸气凝结在玻璃窗上。这里，被解释的是一个单称的自然事件，解释的依据是水汽冷凝结的经验规律。又如，“为什么冰浮在水面？”最简要的解释是：冰的密度比水小。这里被解释的是一个全称的经验规律，而用于解释的则是阿基米德原理，力学的平衡原理加上冰的密度和水的密度这些特定条件。这是以经验规律来解释经验规律。再如，“为什么水加盐后冰点下降？”对这个问题要用分子结构理论来解释。被解释的是一个全称规律，用来解释的是物质结构理论以及热力学理论。这个实例是用理论规律解释经验规律。在所有这三个实例中，解释的基本逻辑特点是从包含着普遍规律的前提逻辑地演绎出被解释事件。这种解释称为演绎—规律解释。

(2)归纳—概率解释。例如，“张三昨天患了感冒，为什么注射青霉素后今天退烧了？”其简要的解释是：因为青霉素疗效极高。这里，被解释的是单称事实，而用来解释的是表明青霉素疗效高的统计规律。这个解释不是从前提中逻辑必然地蕴涵被解释的陈述，而是以一定的概率支持结论的成立。又如“为什么光滑豌豆与皱皮豌豆杂交后，第二代有四分之三是光滑豌豆，有四分之一是皱皮豌豆？”可用孟德尔的遗传定律来解释。这里，被解释的是孟德尔发现的经验统计规律，用于解释的则是孟德尔的基因分离和基因结合定律。这是以理论的统计规律来解释经验的统计规律。这里，前提不是以逻辑必然性演绎出结论，而是以极高的或然性支持结论。所以这类解释称为归纳—概率解释。

(3)目的论解释或功能解释。例如，“为什么古罗马的加西阿斯

要谋杀凯撒国王？”历史家普鲁塔哈的解释是，加西阿斯对极权暴政非常憎恨。这里被解释的是单称的历史事件，而用来解释的是某种预期的自觉目的。这种解释叫目的论解释。而对这样一个问题，“人为什么有两个肺？”生物学的一种解释是因为肺有呼出二氧化碳和吸进新鲜氧气的吐故纳新功能。这是用器官所实现的功能来解释一般的规律，称为功能解释。

(4)发生学解释。例如，“为什么英语中有许多拉丁语词？”语源学的解释是因为英语中许多词起源于拉丁语。这是用系统的过去状态来解释系统的现在状态，叫做发生学解释。

逻辑经验主义主要关心的是前两类解释，而且着重研究的是这两类解释的基本逻辑特点，并不关心用于解释的理论或规律的来源或真假问题，也即不涉及理论和世界的关系问题。科学实在论者同样关注的是前两类解释，但他们已不再对解释的逻辑特征感兴趣，而主要探讨用于解释的理论或规律是否为真，以及其中核心的理论术语是否有所指称的问题，也就是主要关心理论与世界的关系问题。而反实在论者和部分历史主义者则主要关心后两类解释，他们认为科学解释除了涉及理论和世界的关系外，更主要的是涉及理论与科学共同体的关系，是科学共同体运用理论对现象进行解释，因而，科学解释问题是一个依赖语言环境的问题。要对这些不同的观点有一个准确的理解和把握，必须深入到科学语言的层次分析上，因为科学解释离不开科学语言的运用，它本质上是用科学语言表达的关于外在世界的理解和描述。

二、语言层次与科学解释

对科学语言进行逻辑分析一般采用语言哲学的指号学分析方法。这种方法主要在于分析出语言的三个维度：语形、语义和语用。它把语言分析为符号(指号)、符号的意义(符号和实在的关系)以及符号的使用者三个层次。语形着眼于符号之间的关系，语义着眼

于符号与实在的关系,语用则在语义考虑中引入使用者的因素。这样,科学语言的分析便在语形、语义和语用这三个层次上展开。

(1)科学语言的语形分析。当对科学语言作语形的逻辑分析时,其任务就在于用人工符号语言去重建科学知识系统,从而把科学知识系统的逻辑结构用人工语言纯粹地表述出来,也即揭示科学语言符号之间的关系。这种语形分析表明,科学语言符号构成一个公理化形式系统。这个系统的构成是:标示基本概念的语词——初始符号;标示基本定律的语句——公理,由此推出的定律——公式,以及形成规则和推理规则。应当指出,这种语形分析具有极为重要的意义,正如萨普斯所指出的,“哲学在科学中的功能在于阐明概念问题,在于弄清楚任何学科的基本前提……就这种阐释和重建而言,哲学分析的基本方法正在于使该科学领域中具有基本意义的那些概念和理论得到形式化和公理化。”^①

(2)科学语言的语义分析。语义分析的任务是确定词项和语句等表达式以及整个语言系统的意义性条件和授义方法。首先是语词的意义,科学语词的语义是经验内容和关于其本质的理论内容;其次是语句的意义,它一方面由构成语词的意义决定,另一方面又有其作为整体的意义,后者反过来影响构成语词的意义;第三是整个理论的授义,这是为了使一个形式系统成为一个有具体经验内容的科学理论。语义分析侧重于概念、理论与外在世界的关系问题,因而,理论的真理性问题是语义分析的主要问题之一。真值语义学制定了确定表达式对状态描述成立的规则(称为语义规则或变程规则)。这规则是说,一个语句 B 对一个语言 S 的一个状态描述 D 成立,如果当 D 为真,即当 D 描述的可能事态是实际事态时, B 也为真。

(3)科学语言的语用分析。从历史上来说,语用分析是继语形

^① 转引自沈铭贤,王森洋主编.《科学哲学导论》,上海教育出版社,1991:207.

和语义分析之后发展起来的。这种分析旨在揭示以语言的应用和应用者为主的一切因素对语义的逻辑贡献或者说对语义的影响。实际上,科学哲学正是通过把语言分析拓展到语用的分析,开阔了视野,从而把社会因素引入了科学形象之中。库恩等历史主义学派的科学哲学家们很大程度上正是通过这种语用分析来建立他们的科学哲学的。

库恩认为,理论或形式系统的意义在于对它们的应用,“科学共同体成员所真正了解的怎样应用符号概括,通过任何符号形式的联结都不可能全部表示出来。碰到一个新问题,他们往往一致认为某一特定的符号式适用于这个问题,尽管以前谁也没有见到过。”^①这就是说,科学共同体能就符号概括所指特定意义取得一致意见,但这不是依靠形式语言本身,而是通过应用,这种应用的典型范例就是一系列的解题活动。理论的基本概念的意义只有通过这种应用才能被理解。不难看出,对语用因素的把握,是库恩走向历史主义的出发点和支点。

从科学语言的三个层次上来看科学解释就不难发现,逻辑经验主义侧重的是对科学解释进行语形分析,从而把握科学解释的逻辑特征,建立起科学解释的形式化模型,但并不注重对理论以及与之相关的解释的意义进行分析;科学实在论者注重对解释进行语义分析,认为用于解释的理论必定是有意义的,而且是在与外在世界相符合意义上的真理;部分历史主义者或反实在论者则强调科学解释的语用学性质,认为科学解释本质上是一个要联系说话者和听众的实用因素,而不是象逻辑经验主义者和科学实在论者所假定的那样,是非实用的、纯粹的理论 and 事实的两项关系,是理论的语形学和语义学特性。

对科学语言的不同层面的强调导致了不同科学哲学流派对科

① 库恩.《必要的张力》,福建人民出版社,1981:296~297.

学解释的不同理解,从而也引发了关于科学合理性的更进一步的争论。从本质上说,“科学解释正是科学研究的重要目的之一”,^①科学发展的历史也可以看成是人类不断对外在世界寻求解释的历史。科学解释不仅与科学理论有关,而且与外在世界、科学共同体以及科学活动有关,科学合理性在一定程度上也可以看作是科学解释的合理性。也正是在这种联系整个科学活动的广泛意义上,我们不应该仅从某一个语言层次来理解科学解释,既然科学活动本质是多层面的,科学解释也就应该是多维度的,其中语形学特性是基础,语义学特性是核心,而语用学特性则是不可忽略的重要条件。也许只有从科学语言三个层次相结合的角度,才能真正完整理解科学解释的全部内涵。

三、科学的合理性

科学合理性是科学哲学的中心问题,它同科学和非科学的划界、科学理论的评价与选择,科学进步与科学发展以及科学解释等问题密切联系在一起。与逻辑主义和历史主义两种科学模式相对应,在科学合理性问题上也有着两种对立的观念,这就是以逻辑经验主义和波普尔批判理性主义为代表的正统观念和以库恩、费耶阿本德为代表的历史主义者的非正统观念。它们之间的主要分歧是:科学合理性是绝对的、超历史的,还是相对的、历史的?科学合理性同科学共同体、同心理学与社会学因素是完全无关的,还是密切相联系的?对于费耶阿本德完全否认科学合理性的非理性主义观点,大多数科学哲学家都是反对的。但是对于库恩在肯定科学合理性的前提下,要求将正统的合理性观念加以修改,使它和科学史更加协调的主张,则长期存在着不同意见的争论。

按照逻辑经验主义和波普尔的合理性观念,科学活动中的某

^① 陆健体.《关于世界的问答——科学说明》,浙江科学技术出版社,1990:3.

个行为或决定如果是合理的,那它必定是以某种客观的、规范性的方法论规则作为标准,合理性就表现为按照这种方法论规则去行动。他们认为,在真正的科学活动中,都隐含着这种使科学研究成为人类寻求可靠知识的最有效和最合理典范的方法论规则,而且这正是科学家的研究工作取得成功的根本条件。科学知识之所以成为合理的、可靠的知识,就是因为它是通过这种方法论规则的应用来决定和保证的。所以,科学合理性总是潜存于科学活动之中,并且是作为科学的质的规定性同科学不可分割地联系着。科学合理性是绝对的、不随时间而变化的。正是基于这种看法,逻辑经验主义和波普尔分别沿着证实和证伪两种不同的方向,都用理性重建的方法建立并提出了这种方法论标准。在逻辑经验主义那里是理论要取得经验证据的归纳支持;而在波普尔那里则是理论的可证伪性要高,而且要经受住经验检验。在他们的方法论标准中都存在着这样的原则,即对一个理论接受或拒斥归根到底都取决于逻辑和经验这两个因素。无论是逻辑经验主义的归纳论证还是波普尔的证伪主义方法论,其评价原则都是对这种建立在逻辑和经验基础上的某种方法论规则的形式、精确的说明,其目的就是要保证规则 and 标准在使用中保持客观,不受认识主体的主观因素的影响。

库恩明确反对科学合理性的正统观念,他认为科学总是同认识主体即科学共同体相联系的,不论在常规科学中对范式的绝对信奉,还是在科学革命中对新范式的信仰,起决定作用的都是科学共同体。不同的科学共同体接受不同的范式,因而也就产生不同的常规科学。由于不同的范式对世界的看法是完全不同的,因而不同的范式就有不同的合理性标准。科学合理性同变化发展着的科学知识一样,也是历史的、相对的。库恩认为,在常规科学中,由于范式的绝对统治,为范式所决定的方法论规则可以得到严格实现,这时才会出现像正统观念所描述的那种以严密的方法论规则为标准

的科学合理性。但是,在由旧范式过渡到新范式过程中,不可能存在一种可用来对相互竞争范式进行评价和选择的严密的科学标准。在这当中既有客观标准,也有主观判断。而且不同时代、不同个人对这些客观标准可以有完全不同的理解,不同的使用。在科学实践中,客观标准和主观因素总是交融在一起而发生作用的。只有考虑到这些复杂因素,才能提出一个更加符合科学史的科学合理性观念。

库恩用历史的观点来看待科学合理性的作法已得到越来越多科学哲学家的认同,人们已经倾向于接受这样的观念,即科学合理性绝没有先验的和一开始就永远确定的基础,它同科学自身一样,具有自己的历史。但对于库恩把与认识主体相联系的心理和社会学因素引入合理性概念的主张,科学哲学家们的反应是不同的。有的反对,如拉卡托斯,认为这是非理性的;有的赞同,认为将合理性的范围作这样的扩大是正确的。应该说,库恩反对把科学合理性仅仅局限于对某种客观的方法论标准的应用是有道理的,因为把科学合理性作这样狭隘的理解,对于正确阐明科学的性质和规律将造成许多困难。后来的科学实在论者对这点都加以肯定,并在他们所建立的合理性模式中考虑到了这个要求,甚至把合理性范围扩大到包括非逻辑的和非形式的推理,认为只要把判断建立在所能取得的最可靠的信念基础上,就是合理的。

但是,库恩把科学合理性过于相对化,以致于否认科学的进步,却是很多科学哲学家,尤其是科学实在论者所不能接受的。可以说,由以库恩为代表的历史主义的兴起而引发的关于科学合理性的争论直到今天仍方兴未艾,而且是目前仍在进行的科学实在论与反实在论争论的焦点问题之一。伴随科学实在论与反实在论之争的日益深入,不难预见,科学哲学关于科学合理性问题的认识和理解也将越来越全面而深刻。

第四节 科学实在论

一、科学实在论与反实在论的争论

科学实在论与反实在论的根本分歧在于对科学理论与外在世界的关系问题的不同理解。这一问题包括一系列子问题,如独立的外部世界是否存在?是否能被认识?科学的目的是什么?科学理论能否真实地描述世界?科学理论中的术语是否典型地有指称?科学理论是否为真或近似为真?科学理论在什么意义上说是真理,是与外在世界相符合上还是在实用或工具主义意义上?等等。对这些问题,尤其是有关指称与真理问题的不同回答便标明科学实在论与反实在论各自的科学哲学立场。“科学实在论信条产生的最初动机并不是哲学家们探索不可知的固执愿望或为了显示只有科学的实体才是真正真实的,而是对操作主义和工具主义挑战的回答,操作主义和工具主义在科学史中一遍又一遍地宣称,科学的实体是人为编造的,它们在像椅子和金鱼等存在的日常意义上并不存在”。^①可以说,科学实在论从兴起之日始就处在与各种反实在论的交锋之中,其发展也在很大程度上受到这种交锋的左右。

70年代末、80年代初以前科学实在论者们所持的基本立场被称为“传统科学实在论”,如塞拉斯、斯马特、早期普特南和波义德等所持的观点。传统科学实在论者将科学、实在和真理视为科学实在论的三个主要概念,其中真理又是表明其基本立场的核心概念,科学研究是寻求真理的过程,科学知识离不开真理,科学发展意味着更接近真理。而且,在他们看来,所谓真理就是理论的术语或陈

^① McMullin E. A Case for Scientific Realism, in J. Leplin (ed) Scientific Realism, University of California Press, 1984.

述与外在世界(实在或事实)相符合。这种观点被称为真理符合论,它是传统科学实在论的标志。

真理符合论承认任何命题都有真值或假值,并认为一个命题的真假取决于它与它所描述的事态符合或不符合,如果某一命题符合于它所描述的事态,这个命题便是真的,否则就是假的,对某一命题的理解就在于知道什么事态与这一命题相符合。在传统科学实在论者看来,成熟科学的理论就是这种符合论意义上的真理或近似真理,理论与世界的关系也就是这种符合论意义上的真理关系,即理论是关于外在世界的日益符合于其本来面貌的描述。在这里,理论的真理性和理论术语的典型指称性密不可分。理论术语的指称是根据关于这些名词所指的对象的知识或信息而确定的,它包容于理论与世界的真理关系中,如果我们关于外在世界是什么的描述为真,那么相应的理论术语便有确定的指称,反之亦然。所以,传统科学实在论者普遍认为,“实在论是建立在这样两条原理上的经验假说:(1)成熟科学中的术语典型地有指称;(2)属于成熟科学的理论典型地近似为真。”^①

但是,对于传统科学实在论者来说,要给出科学理论通过真理符合论与外在世界发生关系的直接证明并非易事。理论直接与外在世界相符合,理论术语直接指向外在世界都难以给出直接辩护,超越于理论和世界之外的用以评判两者关系的“阿基米德点”并不存在。鉴于直接辩护的困难,传统科学实在论者不得不转向真理符合论的间接辩护,即通过科学理论的成功给出理论真理性的证明。因而,传统科学实在论者捍卫其基本立场的最有力、最典型的论证就是:只有科学实在论能对科学应用上和方法上的成功做出最好解释,而反实在论则只能将科学成功解释为奇迹。因为,如果不承

^① Putnam, H, *Meaning and the Moral Science*, Reutleelge & Kegan Paul Ltd, 1978.

认某些实体存在,不承认某些理论的真理性或近似真理性,那么谈论比如说牛顿理论成功地预言现象就是一个奇迹;而且牛顿理论的定律可在“极限情况下”从爱因斯坦狭义相对论中推导出来的事实也就没有方法论意义。

传统科学实在论者对理论与世界关系问题的回答以及捍卫其基本立场的论证,招致来自经验论、建构论、实用主义、工具论、约定论等等多种反实在论形式的多方反对,焦点集中于科学实在论的真理观。在持不同立场的众多反实在论者中,范弗拉森最引人注目。他在1980年出版的《科学的形象》一书中,融经验论、建构论与实用主义等反实在论立场于一炉,对传统科学实在论的基本立场进行了全面批判,并明确、系统地阐述了其冠以“建构经验论”的反实在论立场。范弗拉森主要从以下两方面对传统科学实在论进行批判:

首先,范弗拉森重新解释了真理符合论。他认为,理论模型所符合的不可能是像传统科学实在论者所理解的那种笼统的外在世界,而只能是可观察的现象。我们关于世界信息的唯一来源是经验,它指向外在世界对人类来说可观察的部分。因而,就有着观察和认识极限的人类而言,对于某一理论所能知道的仅限于它关于外在世界可观察的部分所说的是真或者假,除非有上帝的神目,否则人类不可能知道理论与超经验的符合,而且从可观察的经验证据到不可观察的理论假定之间并不存在必然的逻辑通道。真理只能做经验的理解,在更普遍的情况下,真理应由更精确的术语——经验适当来替换。某一理论是经验适当的,当且仅当其关于这个世界中可观察物和事件所说的是真的——当且仅当理论有某种模型使所有表象都与这些模型的经验子结构同构^①。在这里,经验适当与真理的区别在于,真理承诺了整个外在世界,包含了可观察的现

① Van Fraassen B C. The Scientific Image, Oxford University Press, 1980.

象和不可观察的理论假定,而经验适当仅仅要求表象,即那些对可观察现象的直接表示。实际上,理论的经验适当性并不能保证理论的整体真理性。

其次,范弗拉森批评了传统科学实在论者对其立场的间接辩护。他举了这样一个例子:对于老鼠一见到猫就跑这类现象,圣奥古斯丁曾提供过一种解释,认为老鼠认识到猫是它的敌人,因而跑了。这种解释的前提是老鼠认识了“敌我关系”准则。但达尔文主义者给这类现象以完全不同的解释——不要问为什么老鼠见了猫就跑,因为任何物种若不和它们的天敌生活在一起就要灭亡。这就是老鼠见了猫就跑的原因。范弗拉森认为,传统科学实在论借助于真理来解释科学成功就是圣奥古斯丁式的解释,而他的建构经验论则把科学也看成是一种生物现象,一种通过其器官不断与环境作用的活动。因而科学理论的成功并非奇迹,这对有科学头脑的人来说丝毫没有有什么可奇怪的,因为任何科学理论都诞生于激烈的竞争中,只有成功的理论才能幸存。

范弗拉森的批评对于传统科学实在论者来说是灾难性的,他把自库恩开始的科学实在论与反实在论的论战推向了一个新阶段。面对以范弗拉森为代表的反实在论的攻击,科学实在论在传统立场上出现了多方转向的新趋势。对那些传统科学实在论者来说似乎没有更多的选择,要么放弃真理符合论,要么追随范弗拉森走建构经验论的道路。大部分科学实在论者选择的是前一条道路,放弃真理符合论已成为科学实在论转向的突出标志。

二、科学实在论在传统立场上的转向

放弃真理符合论后,各种自诩的科学实在论者对自己立场的阐述差别很大,转向是多元的。有的重新解说真理,在立场中加进某些经验主义、实用主义成分,如埃利斯就明确提出了“真理实用论”;还有的避而不谈真理,对科学实在论作出自然化说明,如吉尔

的“建构实在论”、哈金的“实体实在论”等等。这种种立场大致可分为三类：经验主义、实用主义和自然主义。当然，三类倾向并非泾渭分明，某种转向后的科学实在论可能在两者或三者之间兼而有之，象埃利斯就在明确提出“真理实用论”的同时又坚持自然主义。

(1)经验主义倾向。科伦迪恩详尽地阐明了一种经验主义与科学实在论相结合的立场。他认为，“既然经验论者对科学预测的经验适当性的关注提供了一种评价理论的理性标准，那么我的主要观点是经验论不必与实在论发生冲突。”^①在科伦迪恩看来，科学实在论很大程度上是建立在日常经验基础上的，理论的大部分推理形式与日常经验中的许多非理论信念间的推理没有本质区别。因为对人类来说，日常生活中不可能统观所有可观察现象，总有某些是已观察到的，某些是尚未观察到的，而且在已观察到现象的基础上做出相应的关于尚未观察到现象的预测总是可能的，也是合理的。既然如此，科学中从可观察现象到不可观察的理论实体同样存在着这种预测推理形式，是预测引导着科学的发展，成为科学追求的目标。用经验主义观点来重新解释真理，用日常经验来为其立场辩护成为科学实在论经验主义倾向的一大特色。

(2)实用主义倾向。埃利斯是科学实在论实用主义转向的著名代表。他认为，放弃真理符合论并不等于放弃科学实在论，科学实在论完全可以与真理实用论相结合。根据埃利斯的观点，科学追求不是脱离人类认识价值的所谓关于世界的真理性描述，而是一种可达到的关于自然现象的最好的、可能的解释，这种解释不能离开认识的价值和认识的评价，是知识和理解完美性的理想，真理应该是实用主义意义上的真的仅是最终可辩护的，真理是一种可推理的信念的极限观念。在这里，真理由超越人类认识价值的理论与外

^① Clendinnen F J. Realism and the under determination of Theory, Synthese, 1989, 81.

在世界相符合转向我们关于世界的知识逐步的完善过程,真理不再是以往抽象的理论与世界关系的标志,而是人类认识价值和认识评价的尺度,依赖于人类认识的需要,真理是由外在于认识活动转而内化为符合于认识价值的关于自然的探索和推理过程的累积结果。

(3)自然主义倾向。将自然主义与实在论结合在一起的著名代表人物有胡克和哈金等。胡克很欣赏范弗拉森用“准达尔文模式”来解释科学成功的做法,认为这样可以避免传统科学实在论的诸多含混概念,如“真理”、“近似真理”、“理论术语典型有指称”等的滥用。胡克强调,最有价值的理论就是引导我们达到实在本性的最可接受的理论,真理的价值就体现在这种最可接受性之中。因而,自然主义的本质就在于,科学实在论必须与科学自身的发展相关,科学实在论者必须随着科学发展不断修正自己的理论。

哈金也对传统的规范认识论表现出极度的厌倦,他不愿意纠缠于理论描述和真理等术语的争论中,却认为哲学的最后仲裁者不是我们如何去想,而是我们做些什么,“假定的推测的实体实在性的最好的证据是我们可以着手测量它或者我们理解了它的因果效应。另一方面,我们有这种理解的最好证据是我们能够从头开始制造出运转相当可靠的机器,以利用这种或那种因果效应。所以,工程技术而非理论活动是关于实体的科学实在论的最好证明。我对科学反实在论的批判类似于马克思对他那个时代的唯心主义所做的抨击。我们都认为重要的不是理解世界而是改造世界。”^①

三、关于科学实在论转向的评论

科学实在论的转向除了受到以范弗拉森建构经验论为代表的

^① 转引自卢风. 科学实在论在何种意义上优于反实在论,《科学技术与辩证法》, 1988,(4).

反实在论的批评、启发和推动外,还有着厚重的科学哲学整体发展的历史背景。科学哲学在经历了历史主义改造之后,越来越倾向于否认先于科学的享有特权的哲学见解可用作评价科学理论的基础,将科学知识宁可看成同样是科学研究对象的一种复杂的自然现象,倡导一种对科学的自然主义态度,取消任何对科学的外在预设。面对这样一种对科学进行全方位、泛文化的、自然化的立体考察的科学哲学整体发展的大潮流,做为科学哲学的一个重要组分的科学实在论必须调整自己的立场,以适应科学哲学总体发展的需要。因而,可以说,科学实在论的转向一方面是为了修正、完善传统的僵硬立场以便能更有力地抵御来自反实在论,特别是建构经验论的攻击;另一方面也是适应当代科学哲学整体发展的必然结果。

放弃“真理符合论”成为科学实在论转向的突出标志。转向后的科学实在论者在放弃“真理符合论”的道路上不可避免地要做出两次抉择:

第一,科学实在论要不要联系真理?关于该问题,转向后的科学实在论者并未取得共识,但拒斥真理于科学实在论之外者也并不在少数。做出科学实在论脱离真理的抉择实际上无异于向经验论、工具论、建构经验论等反实在论纲领投诚。因为实在论与反实在论的根本分歧就在于对理论的真理性和工具有效性的不同理解。传统科学实在论者认为,只有坚持理论的真理性能更好地说明理论的工具有效性,而工具有效性反过来又为真理提供了间接辩护,包括建构经验论在内的反实在论却否定理论的真理,或至少否定理论不可观察部分的真理,断言理论仅是科学共同体用于解决问题和做出预测的工具,理论的工具有效性无须真理仍能得到很好说明。正是基于这一根本区别,科学实在论与反实在论表达了对科学理论与科学活动绝然不同的认识论态度,真理也成为区别实在论与反实在论并标明科学实在论核心立场的重要概

念。虽然传统科学实在论在真理的理解上不无问题,但它所坚持的方向本质上说却是实在论者所必须坚持的。如果放弃真理概念,要么象科伦迪恩所做的那样走与范弗拉森相近的道路,坚持预测有效性引导着科学,科学的目的在于获得更强的预测力,但看不出这与将科学的目的规定为解决问题,将科学理论看成预测的工具的种种反实在论观点有什么本质区别;要么沿着哈金的道路,坚持理论真理性与理论指称性的区分,割断科学实践与真理的联系,科学实践仅与寻找、确定、检验理论指称有关,科学的目的在于描述世界而在于干预世界,但问题是描述与干预的有意义的界限在哪里?理论和实践真能绝然无干吗?实际上,对于科学实在论者来说,放弃真理就等于放下武器,从而也就根本消弥了实在论与反实在论的争论。

第二,如果不放弃真理,那么科学实在论该联系怎样的真理观?转向后的科学实在论并未形成统一的真理观,但由于受到传统符合论真理观严重失败的影响,有关真理观的探索大都避免超越人类语言框架直接与外在世界发生接触,因而埃利斯的实用真理论成为转向后科学实在论真理观的典型代表。但是真理实用论把真理理解成是依赖于认识主体的一种可推理的信念的极限观念,虽然与传统的真理符合论严格区别开来,但同时也削弱了科学实在论的论辩力和启发力。科学实在论的核心问题是理论与世界的关系问题,借助于真理概念,科学实在论要求科学不断超越和突破人类原有语言框架去探索更广泛的未知世界,科学正是在这样不断寻求真理的过程中前进,而真理则绝不能被人类语言框架所束缚、所穷尽,真理的意义同样是不断发展变化的,这正是科学实在论的论辩力和启发力所在。而真理实用论将真理概念局限于认识主体,将客观性理解为主体间一致性,实际上是有真理之名而无其实。

转向后的科学实在论在真理问题上所做的两次抉择虽然还只

是初步的和尝试性的,但这种带有经验主义、实用主义和自然主义倾向的抉择却似乎已给科学实在论的发展蒙上了一层阴影,并大有取缔科学实在论的危险。科学实在论要生存、要发展,还必须在真理问题上做出新的抉择。

本章进一步阅读书目

1. 库恩. 科学革命的结构. 上海:上海科学技术出版社,1980
2. 拉卡托斯. 科学研究纲领方法论. 上海:上海译文出版社,1986
3. 陆健体. 关于世界的问答——科学说明. 杭州:浙江科学技术出版社,1990
4. 波普尔. 猜想与反驳. 上海:上海译文出版社,1986

复习思考题

1. 如何理解科学的目标? 科学在何种意义上是进步的?
2. 科学哲学关于科学发展模式有哪些主要观点? 如何对它们进行评价?
3. 科学解释有哪几种类型? 如何理解科学哲学中不同的科学解释观?
4. 什么是科学实在论? 如何评价科学实在论的转向?

第三篇 技术观

技术是人类改造自然能力的标志,是一个历史的范畴。最初的技术,一般是指劳动者的技巧、技能和操作方法。近代科学兴起以后,技术成为科学与生产的中介,其表现形式为技术理论、物质手段和工艺方法的总和。

随着技术的不断发展,它和人们的社会经济生活、文化生活的关系越来越密切,也促使越来越多的人以技术自身作为对象进行研究。在学科上有技术哲学、技术论、技术学的出现,在研究中有侧重技术自然属性或侧重技术社会属性的不同路线。由于技术的领域极为广阔,技术自身存在的双重属性,使人们至今对技术哲学、技术论、技术学的研究对象、体系框架还难以有较为统一的看法,但这并不是说这种研究就没有意义。相反,讨论技术的历史发展及其规律,探索技术的本质及具体的结构,总结概括技术研究的一般方法,正是从事技术科学、工程技术的人们所必须了解和关注的。本篇将围绕上述三个方面,主要从技术自身内部展开技术观的讨论。关于技术外部关系的一般讨论,将放在第四篇进行。

第七章 技术发展

作为历史范畴的技术,它是怎样发展演变的,这是我们在本章要讨论的问题。

对于技术发展的基本阶段划分,许多学者作过有益的探讨。前苏联有的学者主张把技术史的分期与社会经济形态划分一一对应;日本有的学者主张纯粹按工具到机器的发展划分技术史时期;德国有的学者主张以当时占统治地位的技术概念作为技术历史分期的原则;我国有的学者也提出过按原始时代、古代工匠时代、近代工业时代、现代科学时代来划分技术发展阶段。虽然各国学者众说纷纭,观点不尽一致,但也有一些基本的共同点,这就是:应当按照技术发展的内在客观规律,并考虑技术发展状况与社会文明史的内在联系,来客观地把握技术发展的历史进程。本章就是遵循这一基本思想,以人类把不同自然物质和自然力量结合到生产过程中的主导技术为标志,开展技术发展历史讨论的。

第一节 古代手工技术

技术的历史几乎是与人类社会的产生同步开始的。当原始人打制出第一件石器时,人类利用和改造自然的技术史就揭开了篇章。从远古时代开始,直到公元15世纪末,我们称之为古代手工技术时期。这一时期包括欧洲中世纪和中国封建社会的手工技术发展,以材料及其加工为主导技术,经过了极其漫长的数百万年历史发展,并在古代人类文明史上占据了重要地位。

一、石器时代

石器时代是指从人工石器出现到青铜器时代开始为止的历史年代,大约经历了三百多万年,占人类现有历史 99% 以上的时间。这期间,人类以石器为主要生产工具,石器的制作和使用就构成了石器时代的中心技术。与石器时代相对应的社会形态是原始社会,因而也有人把原始社会称为“石器社会”。

按照石器的加工方法和特点,石器时代可分为旧石器时代、中石器时代和新石器时代。

旧石器时代大约从 200 万~300 万年前人类诞生起到 15 000 年前,相当于人类社会历史从原始群落到母系氏族公社出现的阶段。人类在旧石器时代的主要生产活动是采集和渔猎,并普遍使用各种类型的打制石器作为生产工具。打制石器开始以利用天然石块为主,渐渐进展到选择适合的石料并打制为合乎需要的工具。一般认为当时打制石器的方法有砸砧法、锤击法、压制法等,而常用的石器工具有砍砸器、刮削器、尖状器。到了旧石器时代晚期,人类学会了用火,摩擦生火也随着石器钻孔技术的出现而发明。人类通过撞击或摩擦,积累了把机械能转化为热能的经验,也掌握了通过燃烧利用燃料能源的技能,从而使火成为人类可随时用于征服自然的有力武器。

中石器时代作为旧石器时代向新石器时代发展的过渡阶段,大约始于距今 15 000 多年前。这期间,人类的劳动工具仍以打制石器为主,但打制技术开始从直接打制转向间接打制,即采取琢磨技术,使石器按需要进行磨光、磨尖、钻孔等,磨制石器开始出现。

大约 10 000 年前,世界上有些地区率先进入新石器时代,磨制石器是这一时期主要代表。制作磨光石器,先是根据不同用途,选择合适石料,采用不同加工方法,打制成石器的雏形,然后在砺石上加水和沙子磨光,从而制成有锋利刀口的石器。其后,把石斧、

石刀、石镞等安装在木、竹、骨制把柄上的复合工具出现了,用于土地耕作的石锄、石铲、石磨出现了,把木料和有韧性筋腱与石器组合在一起的更复杂的狩猎工具也出现了。从而,原始人就从以简单采集、渔猎为主的生活过渡到以农业和畜牧业为主的生产活动。

在旧石器时代末期,原始的制陶技术开始出现,经过很长的发展历程,人们先后学会淘洗、制坯、装饰、烧制等各道工序。到新石器晚期,制坯已经广泛采用快轮,陶窑的结构也较以前完善,烧制温度可超过摄氏 1 000 度。制陶技术首先是提供了人们烹煮食物和贮藏谷物的容器,同时还因为有了能够久盛液体的容器,引起人们对发酵现象的注意,为酿造、染色、制革等工艺技术出现创造了条件。另外,烧制陶器还帮助人们发现用木炭作燃料可获得更高温度,达到红铜的熔点,从而催产了冶金技术。制陶和冶金都把古代的材料加工技术引向了新的进步。

二、铜器时代

铜器时代是指以青铜冶铸为核心的各类技术相互配合、联系而构成的一个技术时期。

冶金技术所必备的条件是:矿石的识别,高温的形成,还原气氛的控制,金属性能的认识和利用。这些条件,在新石器时代开始具备。人们在寻找石器的过程中发现了孔雀石(铜矿)、红褐色铁矿和方铅矿,也会碰到天然铜和天然铁(陨铁),并在运用中识别和熟悉它们。在烧陶技术发展过程中改进陶窑结构和所用燃料,使窑内温度到达青铜熔点范围。不同颜色的陶制品生产说明人类对窑内的燃烧气氛能够进行控制,其中还原性气氛对矿石变为金属至关重要。

最早的冶金技术是自然铜锻铸技术。自然铜是纯铜,因呈红色又称红铜。它的延展性好,锻铸中可任意赋形,但其硬度不高,制作生产工具受到很大限制,不能取代石器,因而在历史上有一个“金

石并用”的时期。以后,红铜技术发展为铜合金技术,铜锡合金、铜铝合金不仅展延性、熔铸性好,硬度也比红铜高,因其外表呈青色,被称为青铜。

考古学证明铜器时代始于公元前 5 000 年左右。地球上最早掌握古代采矿和青铜冶铸技术的是西亚民族。冶炼的器具主要是坩锅,把锡加到铜里的方法既有在铜熔融时(1 084℃)加入金属锡,也有把金属锡和碎铜块一起置于坩锅内熔融,后者可使铜的熔点降至 950℃左右。熔铸技术上失蜡法得到应用,铸范有石范、青铜范、泥范、陶范等。

铜器时代一般对应的是奴隶制社会。我国进入青铜时代较晚,历经夏商西周春秋。按战国封建说,与奴隶社会相始终;按西周封建说,青铜时代则延伸到封建社会早期。中国的青铜时代历时长达 16 个世纪之久,起步虽晚但发展很快,在商周以后采矿和冶铜技术都具世界先进水平。采矿不仅可在矿脉露头处,还可采地下矿,并成功地解决了地下矿掘进、支护、搬运、通风、排水、照明等一系列技术问题。炼铜上有了热效率和产量都高于坩锅的竖炉,铸范有双面范、复合范、叠铸范等更复杂的形式,方法上不但有范铸法,还辅以分铸法、镶铸法、失蜡法。许多世界罕见的浑厚而精美的青铜制品都在这一时代问世。

根据考古发现,人类最先知道铜和铁的时间差不多,但冶炼技术的发展却是先铜后铁,这是什么原因呢?可能的原因有三方面:一是地表上存在的自然铜比自然铁(陨铁)要多,且自然铜色彩美丽易于被发现;二是陨石铁和地下铁矿之间缺乏明显的共同点,当自然的陨石铁被发现时难以引发先民们从地下去找铁的联想;三是铜的熔点低于铁,冶炼的技术难度也小于铁。因此,铜器时代先于铁器时代可以认为是合乎逻辑的历史必然。

与高度发达的青铜工艺相适应,这一时代的其他技术也有所提高,陶瓷、玉石、骨角、皮革、丝麻、竹木等其他材料的加工制作技

术有新的发展,农耕和畜牧技术也有进步。铜器时代在技术发展史上的地位主要是:以冶铸技术取代打磨技术,是材料加工技术上的一次质变,不但奠定了铜器时代的基础,也为后续的铁器时代到来作好了技术上的准备;铜器时代所发明的技术,至今仍在人类技术成就中占有相当份额和地位。人类的活动从先前主要是增加天然物的产量而转向了主要是对天然物的进一步加工。

三、铁器时代

铁器时代是指以铁的锻打冶铸为核心的各类技术相互影响、配合而构成一个技术体系的历史时期。

在铜器时代发展起来的铜的冶铸技术、设备、经验和理论都为催产铁的冶炼技术打下了良好基础,同时又由于社会生产对于工具在强度、数量方面的更广需求,刺激了铁器技术的发展。铁矿石在自然界中分布广泛,藏量比铜更为丰富,价格也就相对低廉;更重要的是,铁制器比铜制品硬度高,刚性好,更适宜于作为制作生产工具的材料,因而得到飞速发展。据考证,地球上最早冶炼出铁的是公元前 13 世纪生活在西亚两河流域上游的赫梯人。公元前 12 世纪,地中海东岸的腓尼基人也开始使用铁器,然后传至地中海沿岸各国。所以人们一般认为,古埃及和古希腊是最早进入铁器时代的国家。中国大约在公元前 7 世纪才开始炼铁,虽然起步较晚,但起点较高,而且在以后的近 20 个世纪中一直处于世界领先地位。

赫梯人最早发明的铁叫块炼铁,它是在炉温不高的情况下从富铁矿中析出的纯铁与炉渣凝结在一起的固体还原铁。将这种铁在火中加热并不断捶打去掉渣粒,就成为很纯的熟铁。中国一开始炼铁就超过了世界其他地区的块炼铁水平,创造了著名的百炼工艺,在块炼铁技术基础上发展渗碳和锻打技术。大约在公元前 6 世纪的春秋晚期,中国发明了铸铁技术,用液体还原铁矿石的铸铁方

法取代固体还原铁矿石的块炼铁方法。之后,为了克服白口铸铁的脆性创造了退火工艺,发明了展性铸铁,从而使铁器在中国古代的农业、手工业和战争中普遍使用成为可能。

铁器时代的炼钢技术也有重要地位。最早的钢是通过块炼铁渗碳得到的,以后又出现了生铁炼钢技术。古代的生铁炼钢技术主要是炒钢、灌钢和铸铁脱碳钢。炒钢是把生铁片烧至半熔融状态,吹入空气炒搅脱碳成钢,再锻打成型。灌钢是把熟铁片捆在一起并嵌以生铁块,泥封后加热,让熔点低的生铁块熔化后均匀渗透在熟铁片上,灌注到疏松的孔隙之中,再锻打使含碳量均匀并成型。铸铁脱碳成钢是中国特有制钢方法,始于战国、流行于汉魏。它把铸铁工具成捆进行退火脱碳,让工具整个断面转化为钢组织,从而用简单的工艺实现使铸铁工具具有铸钢强度的目的,极大地改善了铁器的使用性能。

铁器时代所对应的社会时期主要为中国的封建社会和欧洲的中世纪,当时的主要社会生产活动是农业。铁器工具的使用,“使更大面积的农田耕作,开垦广阔的森林地区,成为可能”;同时,与农业紧密相联的手工业、建筑业、水利工程也因为生产工具的改进而获得了极大发展,铁“给手工业工人提供了一种其坚固和锐利非石头或当时所知道的其他金属所能抵挡的工具。”^①中国古代铁器农具的重大变革,都与冶铁技术重大发展密切相关。战国时期出现的V字形铁口犁、五齿耙和铁口锄,就是生铁柔化技术运用于韧性铸铁农具生产的结果。唐宋时代的灌钢技术使农具可用钢刃熟铁制作,推动了犁刀的发明和铁塔、踏犁的使用。这些对中国农业社会的进步都产生了重要影响。铁器广泛使用于建筑业和水利工程,大大推动了古希腊罗马时代的文明,也使中国古代的手工业技术达到世界先进水平。

^① 恩格斯.《家庭、私有制和国家的起源》,《马克思恩格斯选集》第4卷第159页.

四、古代动力技术和信息技术

物质、能量和信息,是人类文明的三大支柱。在古代社会,虽然物质材料及其加工技术占据了文明社会中主导技术的地位,但由主导技术带来的能源技术和信息技术也发展到一定水平。

随着材料加工由石器、铜器发展到铁器,生产工具不断进步,人类单凭自身肌肉作为动力越来越难以适应需要,寻求自身肌体以外的动力发展生产就成为必然。人类第一次使用的外在动力是兽力,我国春秋时代就有了牛拉犁,到汉代便开始全面推广牛耕法。牲畜的动力除了进行农业耕作外,还可以驮运、冶铁鼓风等,从而把我国封建社会生产力提到一个较高的水平。欧洲从中世纪起出现了牛拉犁,到9世纪马耕代替牛耕,带轮犁普遍使用,大大提高了农业生产力。风力和水力也是古代重要的动力。风车、风帆、活塞式风箱、水转龙骨水车、水转大纺车等,都是古代动力技术的典型代表。

我国在公元8世纪前后发明的黑色火药,是古代能源动力技术的一大创造。黑火药的发明,源于中国古代的炼丹术。炼丹士在炼丹过程中发现把硝石、硫磺和木炭三者相混,受热后即发生燃烧和爆炸。这个现象受到了人们的重视,并在宋代的军事征战中得到了极大应用。中国的火药制法,在13世纪前半叶传入阿拉伯,后经阿拉伯传往欧洲各国。火药武器的出现,实现了武器史上从冷兵器向热兵器转变的重大进步。火药和火器为西方资产阶级掌握后,“把骑士阶层炸得粉碎”,成为资产阶级登上历史舞台“最强大的杠杆”。^①火药用于生产领域,大大加强了人类与自然界斗争的能力,加速了人类对自然界的索取。

我国古代的四大发明中,除了火药,其他三项发明都可归属为

^① 《马克思恩格斯全集》第47卷,第427页。

古代信息技术。

造纸术是我国古代劳动人民从漂絮和沤麻的生产经验中逐步总结出来的。公元1世纪东汉宫廷中主管御用作坊的蔡伦对这些经验进行提高和推广。这一技术,是用化学和机械加工方法,使植物纤维原料更生,形成纤维素不规则地异向交织。汉代的造纸过程,已经形成了四道基本工序:原料分离成纤维——捶捣纤维使其帚化——网上交织纤维去水分——干燥成纸页。时至今日,造纸的基本原理仍无二致。我国的造纸术先传到朝鲜、越南和日本,8世纪中叶经中亚传到阿拉伯。阿拉伯人征服西班牙后,1150年造纸术才进入欧洲,17世纪又传往美洲。造纸术对于人类的信息存贮和传输提供了至今仍不可缺少的重要手段,是古代信息技术伟大成就之一。

印刷术的发明是在印章和石刻墨拓基础上产生的,7世纪初隋唐相交之时的中国,首先出现了雕版印刷。雕版技术为中国唐朝文化教育所需的书籍和佛经、佛像大量印制提供了条件,但雕版印书中制版需化费大量人力,而且拖延出版周期。到了11世纪上半叶,中国北宋时期富有雕版经验的平民毕昇发明了胶泥活字印刷。据《梦溪笔谈》记载,毕昇的发明含四个基本工序:一是用胶泥制单字并在火中烧确;二是将活字排在涂有蜡的铁板上,加热使蜡稍熔化时压平字面;三是上墨印刷;四是加热铁板拆版取下活字。中国的活字印刷术13世纪传入朝鲜半岛,14世纪抵达欧洲。公元1450年前后,德国人谷腾堡发明了铅活字印刷术,虽然比毕昇晚4个世纪,但在活字材料方面优于胶泥和其他材料。活字印刷术大大加快了书籍出版速度,知识和信息的传播时空大为扩张,促进了社会文化水平提高。它是印刷史上同时也是信息技术上的一次具有重大意义的突破,是文艺复兴时代到来的重要前奏。

指南针技术也可以认为是一种信息技术,它把人类无法直接感知的地磁信息转换为视觉信息。据考证,中国在11世纪已经发

明了指南针,后经阿拉伯国家传入西方,对世界史发生了重大影响。它帮助人们航运、探险,促进了地球上各类人的相互交往,扩大了活动空间。资本主义的世界市场和殖民地也由此得到刺激。指南针和火药、印刷术一起,被马克思称为“预告资产阶级社会到来的三大发明”。^①

第二节 近代工业技术

15世纪以后西欧各国,特别是英国出现了资本主义生产关系,这种新型的生产关系极大地刺激了资本对科学技术的需求,推动了技术革命的产生。与古代手工技术相比,近代工业技术发生了两个方面的重大转移。一方面,曾经在世界技术领域长期居于领先地位的中国,由于落后生产关系的羁绊退出了技术先进国家的行列,世界技术中心由东方转移到欧洲。另一方面,材料及其加工技术的发展使制造更高生产效率的大型工具机成为可能,从而对能源动力提出了新的要求,迫使技术体系内在矛盾的焦点由材料技术转移到能源动力技术上,能源动力技术成为近代各技术中的主导技术,对整个技术体系乃至社会政治经济结构都产生了深刻而久远影响的蒸汽机技术革命和电力技术革命都发生在这一时期。机械化大工业也在这一时期得以确立,人类的技术系统、人与自然的关系、人类社会的变迁都发生了一次质变。

一、蒸汽技术革命

蒸汽用作动力的设想古已有之。公元前一世纪古希腊的亚历山大里亚的希罗就曾利用蒸汽反冲力做过一个装置,但当时的社会生产还没有对这种动力的直接需要,对蒸汽的各种发明只能是

^① 《马克思恩格斯全集》第47卷,第427页。

一种游戏。导致实用性蒸汽机产生的直接动力是矿井排水需要。

近代以来,由于木材缺乏,煤炭逐步代替木材成为酿酒、烧砖等手工业的能源,煤的开采业日益红火。但矿主们普遍头疼的问题是,矿井越深越大,排水也越来越多,传统的动用大量人力和畜力的排水方法不能解决问题,就迫切希望寻找更有效的排水动力机械。与此同时,近代以来的科学发展和工场手工业的进步,也为蒸汽机问世提供了理论和技术上的准备。16世纪意大利文艺复兴杰出代表人物达·芬奇就设计过用蒸汽开动大炮的图样,17世纪意大利的托里拆利证明了大气压力的存在,德国人格里凯成功地进行了著名的马德堡半球实验,英国人波义耳提出了气体压强和体积反比定律,大体上完成了对真空和大气压力的认识。

首先想到利用真空让大气压做功为机械装置提供动力的是法国物理学家巴本,他在1690年制成了第一台带活塞的蒸汽机。这个单缸活塞式蒸汽机的汽缸底部盛有少量水,将汽缸加热产生蒸汽推动活塞至顶端,然后停止加热并冷却汽缸,里面的蒸汽冷凝产生真空,活塞就在大气压力作用下向下滑动,完成一次往复运动,热能转化为机械能。

英国工程师塞维利从巴本机中吸取了利用大气压力的思想,1698年发明了专门用于矿井抽水的蒸汽泵。这种泵没有活塞,由汽缸和三根导管组成。导管一根通蒸汽锅炉,另两根分别为进水管和出水管。蒸汽进入汽缸后冷却汽缸形成真空,并将水从进水管吸入。第二次通蒸汽时把吸入的矿井水从出水管压出。塞维利的蒸汽抽水泵解决了矿井要靠大量马匹带动水泵抽水的难题,受到矿工欢迎,被称之为“矿工之友”。不过,它有两个根本弱点:一是热效率很低,二是抽深井的水需较高蒸汽压,而当时的冶金技术还无法提供能承受3个大气压以上的锅炉。

1705年英国工程师纽可门在巴本机和塞维利“矿工之友”基础上设计制造出性能更优越的纽可门机。它由一个底部封闭、上顶

由活塞密封的立式汽缸为主构成,汽缸底部通过控制阀门与锅炉、冷凝水管、排水管相通。工作时,蒸汽进入汽缸借助泵连杆重量推动活塞上升到顶部,接着切断蒸汽往汽缸内喷水。蒸汽冷凝活塞下方汽缸内空气变稀,外界大气重新把活塞压回,抽水机的活塞通过连杆向上做功抽水。纽可门机依靠大气压力而不是蒸汽压力工作,锅炉的安全性有保障,热效率也有所提高。每分钟可达12个冲程,每冲程可将10加仑水提高466.3cm,代替50人工作。纽可门机受到广泛欢迎,到1712年英国的矿井基本用上了它。

纽可门机同时还存在两方面局限:一是热效率约为1%,煤耗较大;二是只能作往复运动,应用范围有限。对纽可门机作出革命性改进并掀起蒸汽机革命狂澜的则是瓦特。学徒出身的瓦特在英国格拉斯哥大学当机械修理工时有机会对纽可门机进行仔细研究。瓦特首先主攻纽可门机热效率问题,1765年提出单独安装冷凝器的设想,以解决纽可门机因汽缸热冷交替造成热量损失过大的关键症结。改进后的纽可门机工作时将汽缸底部一侧进汽阀门打开通入蒸汽,推动活塞向上运动,然后关闭进汽阀门打开底部排气阀门,让蒸汽进入分离式冷凝器冷凝,汽缸内空气变稀薄,大气压推动活塞下降。这一来,在功率相同时可省煤四分之三。后来,瓦特还把制作汽缸和活塞的材料改为铁,并用加工大炮的内圆钻孔机提高汽缸加工精度,解决蒸汽机漏气问题。1782年,瓦特又把单向作用蒸汽机改为双向作用机,汽缸在活塞的两侧都密闭,利用活门或滑阀,使活塞两侧的空间轮流与冷凝器和蒸汽管接通,让蒸汽动力得到充分利用,耗煤量比同功率的纽可门机低6倍。在蒸汽机热效率获得显著提高后,瓦特又着手改进纽可门机的往复运动问题,1781年利用飞轮转动装置实现了蒸汽机输出功率的平衡调节,1783年在蒸汽机上安装了曲柄连杆机构,制成一台旋转式蒸汽机。瓦特后来在1788年还发明了离心调节器,让蒸汽驱动一个调节杆转动,转动越快,调节杆上的金属球飞离越远,使蒸汽出口

变小,转速减慢;反之则金属球靠近,蒸汽出口变大,转速提高,实现了最早的机械自动控制。瓦特机的优越性能很快为人们认可,使古老的人力、畜力和水力被蒸汽动力所替代,工厂不必只建在水流湍急的地方,大规模生产变为可能,纺织业、采矿业、冶金业迅猛发展,机械制造业也因大量制造瓦特机得以繁荣发达。瓦特机带动了一系列新技术的涌现,把工业革命推向高潮。

二、电力技术革命

蒸汽技术革命从根本上改变了生产方式,提高了科学技术在生产中的地位,并为资本主义制度的最终确立提供了强大的物质技术基础。然而,社会对于动力的需求并没有就此满足,人们对于新的动力的探求也并未停止。蒸汽技术大约经历了一个世纪的黄金时期,它的热效率不高、作为交通运输动力十分不便、动力传输方式笨重、且只能把热能转化为机械能等,局限性日益明显,电力技术的产生和发展就显得必要和迫切。

电力技术革命的产生除了社会对新能源渴求以外,电磁理论的建立也是必不可少的科学背景。1820年,丹麦物理学家奥斯特发现了电流的磁效应,揭示了电可以转化为磁的内在规律,提供了电动机的基本原理。1831年,英国著名科学家法拉第经过近十年的艰苦探索,提出了电磁感应定律,即当闭合电路的磁通量发生变化时,线路里就能产生感应电流,其电动势的大小与穿过闭合线路的磁通量变化率成正比。这一发现为发电机技术提供了基本原理。1864年另一位英国物理学家麦克斯韦以其杰出的数学天赋把全部电磁学理论概括在一组方程式中,统一解释了各种宏观电磁过程,完成了经典电磁理论的集大成重任。

电力技术的产生首先是从电动机发明开始的。1800年伏打发明了电池不仅为电学研究提供了恒稳电流,也为电解、电镀、电照明技术提供了能源。根据电流的磁效应,法拉第在1821年制作了

第一台电动机模型,他让直立在装有水银的容器中的一根小磁针绕着通电导线不停地旋转。模型电动机功率很小,但向人们展示了电能转化为机械能的原理,也为实用电动机发明打下了基础。实用电动机必须有强大的磁场,而天然永磁体无法提供。1822年法国人阿拉哥发现绕在铁块上的导线通电时,铁块会被磁化,并使线圈的磁场强度变大,电磁铁由此产生。1834年德国物理学家雅可比采用电磁铁作转子,制成第一台实用电动机。1838年这台电动机经改进又安装在小船上,成功进行载人航行。此后,发明家纷至沓来,电动机研制进入高潮。

电动机早于发电机出现,是由于伏打电池的功劳。但伏打电池费用昂贵,又是直流电,使得电动机的商用无法实现。电动机要取代蒸汽机作为生产动力,需要寻找伏打电池之外的电源,发电机的研制在电磁感应理论的指导下获得了不断进展,其中德国工程师西门子的发明具有划时代的意义。1866年西门子在他人工作的基础上研制成功第一台自激式发电机,它不需要笨重而昂贵的伏打电池作电能,而是靠发电机自身发出的电流为电磁铁励磁,使得制造大容量发电机进而获得强大电力在技术上成为可能。

1882年,德国电气技师家德普勒建成了世界上第一条远距离直流输电线路。这条全长57公里的线路始端电压1343伏,末端电压850伏,它把远处水电站的直流电送到慕尼黑博览会上,并带动一个水泵把水升高2.5米,造成一个人工瀑布。恩格斯对此给了高度评价:“德普勒的最新发现,在于能够把高压电流在能量损失较小的情况下通过普通电线输送到迄今连想也不敢想的远距离,并在那一端加以利用……,这一发现使工业几乎彻底摆脱地方条件所规定的一切界限,并且使极遥远的水力的利用成为可能,如果在最初它只是对城市有利,那末到最后它终将成为消除城乡对立

的最强有力的杠杆。”^①

由于最早的电源伏打电池提供的是直流电，最早的电动机和发电机以及输送电都采用直流电技术。但是直流电远距离输送需要高电压，发电机的线圈难以承受，而且高压线路的电损耗巨大，上述 57 公里长的输电线路路耗就达 78%，再加上直流电机换向器火花问题难以解决，从而推动着交流电技术登上舞台。1891 年三相交流发电机、三相异步电动机以及变压器都发明出来投入使用。这一年德奥地区建成世界上第一个三相交流输电系统。奥地利劳芬水电站发出三相交流电经升压送到 170 公里外德国法兰克福变电所降压，再供给工业展览会作照明，输电效率达 80%，充分显示了三相交流电在远距输送中的优越性。

电能最早的用途之一是照明。1809 年英国化学家戴维曾以 2 000 多组伏打电池为电源，制成了碳极电弧光灯。真正称得上电力技术革命组成部分的电照明技术，是 1879 年爱迪生发明的白炽灯泡。电灯的关键是合用的灯丝，它要能在通电时发光，并经久耐用。爱迪生试验了 1 600 多种耐热材料和 6 000 多种植物纤维，最后受到英国电机工程斯旺启发，用棉线烧成碳丝，装进灯泡并抽成真空终获成功。爱迪生一生获有 1 300 多项发明专利，特别在电气应用领域更是功勋卓著，被后人誉为“把电的福音传播人间的天使”。

如果说电动机、发电机、电输送和电照明是电力技术革命的“强电”领域的话，那么电力技术革命还有一片宽阔的“弱电”领域，其最主要的是电报、电话和无线电技术，它们把电能的开发和利用，延伸到了信息传输技术中，对以后的信息技术发展具有划时代的作用。

电报是利用电能作为信息传媒的最早技术，奥斯特、安培、亨

^① 《马克思恩格斯选集》第 4 卷，第 436 页。

利都为电报发明作出过贡献,而美国画家莫尔斯在 1837 年完成了实用电报机的发明,并发明了一套莫尔斯电码,用点和横两种符号组成,大大简化了电报系统。1844 年在美国华盛顿和巴尔的摩之间架起了一条电报线路,电报从此由实验步入实用。1847 年,英法两国在英吉利海峡敷设了第一条海底电缆,1856 年大西洋海底电缆铺成,电报成为连接各国的重要通讯工具。

电报传递信息成功激发人们进一步探索用电传递人的声音。这就是电话的发明。电话的原理很简单,就是将声波的振动转变为电流的振动,但要在物理上实现这一转变并不容易。美国人贝尔经过多次实验发现,通过簧片在磁铁附近的振动可以引起电流强弱的变化,反过来电流的强弱变化也会使磁铁附近的簧片发出声音。1875 年第一部电话试验成功,到 1880 年美国就有了 5 万家电话用户。

有线电报和电话的发明带来了通讯方式的根本性变革,但使用中必须有通讯线路,这对通讯范围有很大限制,无线电技术于是应运而生。意大利工程师马可尼在 1895 年实现了相距 1 英里的无线电通讯,后来经不断改进,1898 年实现飞越英吉利海峡 72 公里,1901 年实现跨越大西洋 3 218 公里的无线电通讯。与马可尼同时,俄国科学家波波夫也独立发明了无线电通讯技术,并在俄国得到应用。无线电技术在 20 世纪得到了巨大发展,其基础和发端,则是在电力技术革命时期的 19 世纪。

三、机械化大生产的工业技术

作为近代工业技术体系中的先导技术,蒸汽机技术和电力技术掀起了两次技术革命的狂澜,带动了一大批相关领域新技术的涌现,机器制造技术、金属冶炼技术、有机化工技术和交通运输技术在这一时期都得到了迅猛的发展。

1. 机器制造技术的进步

蒸汽机技术革命的发端实际上是从纺织工具机革命开始的。英国资本主义工业中最早发展的是纺织业,1733年兰开夏的织布工人约翰·凯伊发明了飞梭,它实际上是安装在滑槽里带有小轮的梭子,滑槽两端装上弹簧,使梭子可以极快地来回穿行,布的织幅也大大加宽。飞梭的发明使织布效率提高一倍,原来纺纱和织布之间的平衡关系被破坏,出现了日趋严重的棉纱荒。1765年兰开夏纺织工人兼木匠哈格里弗斯受到手摇纺车被偶然踢翻后纺锭仍在转动启发,发明出一种新的纺纱机——珍妮机,纺纱效率提高8倍,以后又提高到80倍。大型珍妮机需要大的动力,由此产生了水力纺纱机。1779年康普顿综合珍妮机和水力纺纱机的优点,发明了新一代走锭纺纱机——骡机,意为通过杂交制成。骡机效率更高,可装400支纱锭,彻底改变了纺纱跟不上织布的状况,反而造成了织布业的滞后。于是在1784年依靠水力推动的卧式自动织布机发明出来,使织布效率一下子提高40倍,纺纱与织布的不平衡状况得到改变。

棉纺织业的进步及其技术发展,促进了各种机器制造技术发展。受纺织机发明中机械化技术思想的影响,净棉机、梳棉机、漂白机等机器不断被制造出来。不但工作机,还有蒸汽机这样的动力机,都需要制造机器的机器。用机器制造机器,有三个必备条件:一是有制造机床所需知识和技能的设计、操作人员;二是有驱动机床持续平衡运转的强大动力;三是有能经受加工应力的金属材料。这些条件在近代工业发展初期逐渐达到,机床技术也就迅速发展起来了。早期加工蒸汽机汽缸的镗床,加工精度为10毫米,1775年发明的镗床,精度可达1毫米,但采用机械旋盘形式,刀具还需工人用双手握持抵在工件上加工,是一种半机械化工具。1795年,英国人莫兹利发明了刀架和导轨系统,机床改造为完全用铁制造。有了刀架,刀具相对固定又可平行于旋转轴移动,工人只需操作手柄就可控制工件加工,精度大为提高。两年后莫兹利又实现了刀架轴

向推进的机械化,使螺纹的车削达到很高精度,螺杆和螺母在机器制造中的应用更为广泛。由于机床的不断改进,其在机械加工中的地位日益重要,导致了人们对刨床、铣床、钻床、冲床的一系列改进,并对量具和螺丝、螺母、螺栓进行统一标准的创新,机械制造业得到迅速发展。各国纷纷建立机械制造工厂,纺织机械、机床、冶金轧钢设备、锅炉、蒸汽机等各类机械产品大量生产,机械制造技术成为各种工业技术中最重要的领域之一。

2. 冶金材料技术的发展

纺织机械改革、蒸汽机广泛应用、大机器生产迅速发展,使铁的用量剧增,冶金材料技术也进一步得到发展。

早期的炼铁业是用木炭为燃料,随着用铁量的增加,英国的森林资源日见枯竭,生态平衡遭到破坏。改用储量丰富的煤作燃料,最重要的问题是煤中含有硫化物,直接冶炼得到的铁十分脆硬,无法制作机器。1735年英国人阿布拉罕·达比在其父亲多年试验基础上发明了焦炭炼铁法,焦炭炼出的铁,浇铸机器部件容易,又解决了木炭短缺问题,很快得到推广。焦炭炼铁还推进了采矿技术、蒸汽机排水通风、煤炭运输技术的迅速发展。

为了适应制造负荷要求越来越高的机器零件和武器的需要,炼钢技术也发展起来了。1750年钟表匠亨茨曼炼出了较为纯净的坩锅钢。1784年工程师考特发明搅拌法炼钢,他把粉碎成小块的生铁预热后同富含氧化铁的炉渣混合在一起加入反射炉,并在高温中不断搅动,完成脱碳和去除杂质的过程。19世纪上半叶,搅拌法成为当时最主要的冶炼方法,所得钢铁主要用于机器制造。

19世纪中叶开始,炼钢技术又获得突破性进展。首先是英国人贝塞默在1855年发明了吹气精炼法,通过向熔化的生铁中吹入空气提高炉温,并去除铁水中杂质和降低含碳量。贝塞默还改进固定炉为能翻转的炉,创造了转炉炼钢技术。其次是1868年德国人西门子在马丁炉基础上创造的平炉炼钢法。平炉因整炉形状低平

又有一个比较平展熔池得名,分上下两层。下层是蓄热室,利用燃烧后的废气使耐火砖加热,再让冷的空气和燃料通过蓄热室预热,进入上层的反射炉燃烧。平炉熔池很大,一炉可炼上百吨钢,原料广泛,质量也较稳定,与转炉各有千秋。再次是英国冶金学校技师托马斯在 1877 年发明了碱性炉衬,他把含有石灰和镁的白云石在高温下烧成熟料,再与焦油混合制成碱性耐火砖。这种耐火砖作炉衬炼钢时,添加石灰石使炉渣呈高碱性,完成脱磷过程。这使得英国和欧洲 90% 以上地区的富磷铁矿石身价陡增,成为钢铁工业源源不断的原料。

3. 化学工业技术的兴起

在棉纺织业的发展中,由于对织物进行洗涤、漂白、染色等后期加工需要大量的酸和碱,化学工业技术也被刺激起来。1736 年英国医生瓦尔特发明新的制硫酸法,他让硫磺和硝石在密闭玻璃容器中燃烧,产生的气体让水吸收即制成硫酸。1746 年英国化学家罗巴克改进瓦尔特的方法,用铅室代替玻璃容器以解决玻璃易碎问题,体积也增加许多。1827 年法国化学家盖·吕萨克发明了处理铅室法有毒尾气的吸硝塔,硫酸生产形成了脱硝塔——铅室——吸硝塔的完整体系,产量大幅度提高,成本也大大下降。

制酸工业发展为制碱工业提供了大量原料,从而促进了制碱技术的发展。1863 年比利时化学家索尔维注意到将食盐与氨的混合溶液用二氧化碳吸收生成了白色沉淀,成功地设计出碳酸化塔,提出了可以连续生产的氨碱法新工艺,制碱工业获得大发展。制酸和制碱是化学工业的基础,在此基础上,漂白粉、芒硝、硫代硫酸钠、苛性钠、盐酸、硫磺以及制皂、造纸、制药、染料、玻璃等工业技术也蓬勃发展起来。

进入 19 世纪以后,随着纺织、冶金等工业的发展,对化学制品的需求不断增加。冶金工业需要焦炭,炼焦后的副产品煤焦油却造成污染,对煤焦油利用的研究直接导致了有机合成化工技术的崛

起。1856年英国化学家珀金在实验室用重铬酸钾作氧化剂处理苯胺硫酸盐,无意中得到了可作染料的苯胺紫,人工合成染料技术的研究一发而不可收,碱性品红、苯胺蓝、苯胺黑、人工茜素、靛蓝、靛红等一大批有机合成染料被研制出来。对煤化工技术的开发和运用,使德国的化学工业走在世界前列,并带动了合成纤维、制药、油漆、合成橡胶、酸碱、造纸等许多工业,德国由此而成为当时的世界科技中心与经济中心。

4. 交通运输技术的革命

蒸汽机发明后,马上有人想到可以用作交通运输的动力。首先把蒸汽机用到船上是美国工程师菲奇,但真正产生重大影响、并使蒸汽动力用于水运的是美国另一位工程师富尔顿。1807年富尔顿把从英国买来的一台18匹马力瓦特蒸汽机安装在“克莱蒙特号”船上,并在纽约和奥尔巴尼之间行驶取得成功,它的航速比一般帆船快三分之一倍,开辟了水上交通的新时代。汽船航运成功导致汽船制造业的兴盛,1812年英国第一艘汽船“彗星号”下水,之后法国和德国也造出了汽船。1837年英国人史密斯又研制成功用螺旋桨取代明轮的蒸汽游艇,使汽船的航速大为提高,蒸汽机和传动机构在海浪中航行受力不均容易出故障的问题也迎刃而解,在相当长一段时间内,汽船成为西方国家内河和海上航运的主要工具。

与蒸汽机用于水上交通同时,也有人在设法使之驱动陆地的车子。英国工程师乔治·斯蒂文森在许多同代人艰苦探索基础上,通过苦心钻研,于1814年制造出一台蒸汽机车在达林顿矿区铁路上试运行获得较好效果。之后他又设法改进太大的噪音和振动,并主持修建了一条从达林顿到斯多克顿的商用铁路。1825年9月27日,他亲自驾驶由他自己设计制造的“旅行号”机车在新铁轨上试车,取得完全成功,平均时速达29公里。斯蒂文森使全世界认识到铁路运输的巨大威力,美国于1828年、法国于1830年、德国于1835年都建起了铁路,铁路迅速成为世界各国最重要的陆上交通

工具。

蒸汽机用作水陆交通工具主要动力的成功并没有让人类自我陶醉,寻找更轻便更优越动力机械的探索仍在不断进行。在许多人探索的基础上,法国人勒诺于 1860 年制造出世界上第一台内燃机,它以煤气为燃料,二冲程、无压缩、电点火,因体积小运行平稳受到中小企业欢迎。1876 年德国工程师奥拓受到法国人德罗夏提出的四冲程理论启发,制造出一台新的四冲程煤气内燃机,热效率从 4% 一下子提高到 14%。19 世纪中叶,石油的开采和加工提供了汽油、煤油、柴油等燃料,内燃机从使用煤气发展到使用油料。1883 年德国人戴姆莱研制成功汽油内燃机,1892 年另一位德国工程师狄塞尔造出用柴油为燃料的高压缩型自动点火内燃机。狄塞尔内燃机热效率达到 27%~32%,且体积小、重量轻、压力大、效率高,比蒸汽机有更大的优越性,很快成为工业上的主要动力,并直接促进了汽车和飞机的发明。除了交通运输业,内燃机还在军事、农业、发电、工程机械、地质钻探等领域广泛应用,极大地促进了社会生产力的发展。

第三节 现代科学化技术

技术与科学的关系在 19 世纪中叶发生了一次根本性的变化,原来走在技术后面的科学跑到了前面,成为技术发展的理论指导。电磁感应理论对于电力技术革命,合成化学理论对于有机合成化工技术,都提供了科学指导技术的有力证明。进入 20 世纪以后,这种技术科学化发展趋势更为普遍,许多现代技术上的重大发明,如计算机技术、电子技术、原子能技术、生物技术等,无不是在自然科学突破性发现指引下取得的。技术与科学的联系越来越密切,科学技术化和技术科学化的出现,使技术的发展已经离不开科学。

现代科学化技术的另一个重要特点是主导技术及其技术群发

生了新的更替,以电子计算机技术为代表的信息技术居于主导技术的地位。信息技术在现代科学化技术体系中作为起带头作用的核心技术,对整个现代技术系统的发展趋势有决定性影响。它的突破,为其他相关技术的变革创造了条件,最终促使新的技术体系和技术群的建立。

一、电子计算机技术

电子计算机技术是现代技术革命的核心技术,其基础则是本世纪发展起来的电子技术。早在 1883 年爱迪生研制灯泡时发现,给灯泡通电时灯丝与金属板之间有电流通过。1904 年英国发明家弗莱明根据爱迪生效应和汤姆逊电子理论,制成了第一只二极管。1905 年美国物理学家德福雷斯特在二极管正负极之间加上一个栅极,制成第一只三极管,改变栅极的电压,可以改变电子流大小,三极管具有的放大作用为无线电通讯和广播开辟了道路。电子管问世后,因其开关速度比继电器快一万倍,性能更可靠,控制容易,就被人们想到用来制造计算机以替代使用继电器的机电计算机。经过长达三十多年的努力,在第二次世界大战期间,受到军事上迫切需要的强烈刺激,美国宾夕法尼亚大学莫尔学院的莫克莱担当起试制第一台电子计算机重任。从 1942 年 8 月提出方案得到美国军方支持,到 1945 年底总装调试完成,历经三年时间,1946 年 2 月 15 日这台电子数值积分计算机(ENIAC)正式运行。ENIAC 共采用 18 000 多个电子管,70 000 多个电阻,10 000 个电容,15 000 个继电器,重量达 30 多吨,每秒运算次数 5 000 次,比机电式计算机快 1 000 倍。一出现就显示出电子计算机的巨大优越性。

ENIAC 的一个最大问题是计算机程序为外插型,需要预先花大量时间准备程序,大大影响计算机已有运算能力的发挥。在研制 ENIAC 的同时,匈牙利出生的美国数学家冯·诺伊曼主持提出了离散变量自动电子计算机(EDVAC)方案,这个方案对 ENIAC 有

两个重大改进,一是改 10 进制为 2 进制,二是实现程序内存,从而使电子元件的高速度优势得到发挥,使全部运算成为真正的自动过程。1949 年英国剑桥大学造出了第一台按 EDVAC 方案设计的冯·诺伊曼机,电子计算机自此进入工业生产阶段。

40 年代末,美国贝尔电话实验室的肖克莱、巴丁和布拉坦经过十几年的努力,终于研制成功晶体管。1947 年 12 月 23 日第一只晶体管问世,1950 年又发明了晶体三极管。与电子管相比,晶体管具有体积小、重量轻、耗能低、寿命长、制造工艺简单、使用时不需预热等优点。以后,在晶体管微型化的基础上,人们又推出了集成电路、大规模集成电路以及超大规模集成电路,这为电子计算机的升级换代提供了电器元件上的保证。

人们把电子管计算机称作第一代,而把 1959 年诞生的晶体管计算机称为第二代。第二代晶体管计算机的运算速度从每秒几千次提高到几十万次,主存储器容量从几千字提高到十万字,体积、功耗、价格成倍降低。1964 年美国 IBM 公司投资 50 亿美元研制的 360 系列计算机是第三代电子计算机的开端。第三代计算机器件上最突出的特点是使用集成电路,体系结构上最重要的进步是系列兼容,它的运算速度和内存容量分别达到每秒千万次和几百 K 字,比第二代机提高 1 个多数量级。70 年代以来,由于大规模集成电路的问世,电子计算机进入了第四代,其最突出的发展特点是向微型化和巨型化发展。到 1980 年全世界微机拥有量超过 1 亿台,大多用于各个生产环节和自动控制领域,并向办公室和家庭渗透。巨型机的运算速度超过每秒 1 亿次,1976 年美国 CDC 公司的巨型机运算速度达每秒 2.5 亿次,主机体积很小,仅占地 7 平方米,售价则与百万次机相当。人们曾作过估算,自第一台电子计算机问世以来,其发展大致为平均每 5 年提高速度 10 倍,这种势头至今未减。今后的电子计算机将如何发展无人能作出准确的预料,电子元器件的突破,人工智能型计算机开发,都会带来计算机技术

的重大变革。可以肯定的是,作为现代技术核心和先导的计算机技术,不仅在数学和科学研究方面发挥了智能作用,而且开辟了一个信息化时代,对人类社会的各个方面发生了重大影响,并且还会发挥越来越广泛、越来越深刻的作用。

二、原子能技术

原子能就是核能,是原子核发生裂变时释放出来的能量。原子能的开发和利用,其科学背景是 20 世纪初的物理学革命。

19 世纪末物理学有三大发现,这就是 1895 年法国物理学家伦琴、1896 年法国物理学家贝克勒尔、1897 年英国物理学家汤姆逊分别发现的 X 射线、天然放射性和电子。这三大发现打破了原子不可再分的神话,为原子能开发提供了理论储备。20 世纪初物理学革命中爱因斯坦创立的狭义相对论提出了质能关系式 $E=mc^2$,这一公式表明:能量和质量是同一物质的两个不同属性,质量和能量可以相互转化。这一公式在理论上预言了以极小质量转化为巨大能量的可能性。随后,以研究原子核的组成、变化规律及内部结合能为对象的原子核物理学取得了一系列的成果。1932 年英国物理学家查德威克发现了中子,由于中子不带电,不会受到原子核电磁场的影响,因而很容易击中带电的原子核。1934 年意大利物理学家费米用中子轰击铀元素实现了原子核裂变,1939 年德国物理学家哈恩、奥地利物理学家梅特纳、法国物理学家约里奥——居里夫妇等人的实验结果共同揭示了原子核裂变并进行链式反应的理论:铀核在俘获一个中子后裂变成两个大致相等的部分,裂变后的总质量小于裂变前质量,减少的质量转变为很大的能量。裂变过程中铀核又会释放出 2~3 个中子,这些中子会再去轰击别的铀核,从而引起源源不断的像链条一环扣一环那样的反应。链式反应理论是一把钥匙,打开了原子能宝库的大门。

直接刺激原子能技术发展的是军事需要。第二次世界大战爆

发,一大批欧洲大陆科学家为免遭希特勒法西斯主义的迫害纷纷逃往美国,匈牙利物理学家希拉德到美国后得知德国正在研究链式反应,并禁止被其占领的捷克铀矿石出口,就与另两位物理学家一起找到爱因斯坦,希望爱因斯坦给美国总统进言,抢在希特勒之前研制原子弹。爱因斯坦的信被送到罗斯福总统那里,最后被说服成立一个专门机构实施原子武器计划,这就是“曼哈顿工程”。

逃亡到美国的费米负责领导第一个原子反应堆建造。1942年12月2日,在美国芝加哥大学体育场的看台下,可控的链式反应堆正式运行,它以石墨作为中子减速剂,用镉棒吸收多余中子以使其增殖系数等于1,控制裂变反应链式进行。它第一次实现了输出能大于输入能的核反应,宣告了人类利用核能时代的开始。

制造原子弹除了实现链式反应外,还需要进行铀的提纯和分离,以获得容易裂变的铀235和钚239,美国政府为此投入了巨大的人力物力。1945年春三颗原子弹被制造出来,第一颗在1945年7月16日试爆成功,另两颗被投到日本的广岛和长崎。为了完成曼哈顿工程,美国政府利用了大批极有才华的欧洲物理学家躲避战乱逃到美国的机会,并动员了包括15万科研人员在内的50万人力,耗资22亿美元,占用全国1/3的电力。曼哈顿工程也成为20世纪组织科学化大技术系统的典范。

战后原子能和平利用被提上了议事日程。1951年美国建成一座试验型增殖反应堆发电。1954年苏联建成世界上第一座实用型原子能发电站,利用浓缩铀为燃料,采用石墨水冷堆,功率为5000千瓦。1956年英国建成原子能电站,功率为35000千瓦,采用的是天然铀石墨气冷产钚反应堆技术。如果说50年代的原子能和平利用还是实验性阶段,那么到了60年代原子能发电站就进入实用阶段。由于铀资源潜在储量相当丰富,且1公斤铀235释放的能量相当于2400吨标煤释放的热量,100万千瓦的火电厂每年需煤300~400万吨,同样规模的核电站每年只需用天然铀130吨或含铀

3%的浓缩铀 28 吨,因此发展核电在远离化石燃料产地的区域就有很大的经济优越性。60 年代后期世界性的能源危机以及大量使用化石燃料造成的环境污染问题,也给建设核电站的热潮推波助澜。到 1991 年底全球已有 420 座核电站在 26 个国家运行,总装机容量 3.27 亿千瓦,发电量占全世界的 16%。

保证核裂变反应的绝对安全和处理裂变反应产生的大量核废料,是目前核电站建设中两个重要问题。为了克服这些困难,人们正在探索利用核聚变的方法获取核能。核聚变是让几个轻核(如氢)聚合为一个重核,这种反应放出的能量远大于裂变反应,而所取用的原料氘存在于普通海水中,一桶海水能提取的氘的能量将相当于 300 桶汽油。可见原子能技术的开发和利用具有无限广阔的前景。

三、航空航天技术

让人像鸟儿一样能在天空自由飞翔,是自古以来人类梦寐以求的渴望。到了 20 世纪,人类终于依靠现代航空航天技术飞上了天,登上了月球,并向更远的星空进发。

18 世纪人类就已经利用比空气轻的飞行器——气球上了天,这激励着更多的人去探索让比空气重的飞行器上天。当时面临的问题主要有三个:一是动力问题,要制造出适用的发动机;另一个是举力(升力)问题,采用扑翼还是定翼;再一个是稳定操纵问题。18 到 19 世纪人们沿着两条不同的技术路线探索,一条是先解决动力和举力问题,让飞机上天;另一条是先通过滑翔机解决稳定操作问题再安装发动机和螺旋桨。结果第二条道路首先走向成功。德国工程师李林塔尔从 1867 年起研究滑翔飞行,1891 至 1896 年的时间里,亲自进行 2 000 多次滑翔飞行,积累了丰富的经验和数据。美国莱特兄弟从前人那里吸取了很多思想和技术,先后制作了一只翼型风筝和三架双翼滑翔机,在 1900 年到 1903 年间作了

1 000多次滑翔飞行。通过进一步的试验,取得了许多更准确的数据,终于在1903年造出世界上第一架飞机,并于当年12月17日成功进行了人类第一次持续而有控制的动力飞行。试飞共四次,其中最长的—次飞行距离260米,空中逗留59秒,对空速度达每小时48公里。这一成功,宣告了飞行器时代到来。第一次世界大战期间,由于军事需要的刺激,侦察机、驱逐机、轰炸机、强击机先后出现,交战各国共生产出18万架飞机,飞机改变了战争面貌。第二次世界大战期间,航空发展出现了第二次飞跃,飞机的性能和结构大为改进,出现了喷气发动机和喷气飞机,飞机的数量和空军的规模也激增。1945年英国的流量式喷气驱逐机时速达到976公里,美国空军这一年拥有飞机达11.4万架。

二战期间除了喷气飞机,还出现了火箭和导弹,后者又派生出航天器,把航空推向了航天新纪元。现代火箭航天技术的先驱是俄国科学家齐奥尔科夫斯基,早在1903年他就提出了以火箭为动力航天的思想,包括三个宇宙速度的提出和精确计算,但他的思想并没有机会实践。到了二三十年代,作为一战的战败国,德国由于被禁止研制飞机这种进攻性武器,火箭研制受到重视。二次世界大战期间,德国军方组织了以冯·布劳恩为首的火箭研究小组,1942年制成A-4火箭,速度达每秒2公里,射程达190公里。在火箭上装弹头,附上良好的导向装备,就成为导弹。在年仅21岁的布劳恩带领下,德国1943年造出V-2火箭,它以A-4火箭为基础,重6吨,射程达300多公里,速度为音速6倍。1944年德国用它袭击英国,令英国手足无措。

1945年德国战败后,美国俘获了以布劳恩为首的100多名火箭研究人员,苏联得到了V-2火箭和工厂设备。两国激烈的太空争夺战就此展开。苏联在1956年发射成功第一枚洲际导弹“苏联1号”,使其火箭技术领先美国,1957年10月4日,“苏联1号”三级火箭把第一颗人造卫星送上天,其重仅83.6公斤,直径58厘米

米,上面装两台无线电发射机向地球发电波。第一颗卫星发射成功是航天史上划时代的成就,在以后十几年中航天器技术进步神速,到60年代末,有四项重大技术进步:一是1960年航天器回收成功。航天器回收要解决脱轨控制、通过等离子层时精确自动控制、着陆阶段降落伞打开时间控制及密封舱结构材料耐高温等技术难题,美国经过十几次失败于1960年8月11日实现回收,苏联也在同年实现。二是1961年4月12日苏联发射第一艘载人飞船,把宇航员加加林送上地球轨道绕行108分钟,使得美国国内朝野震惊,肯尼迪总统在1961年5月25日国会发誓:“在十年内把一个人送上月球并使他安全返回。”三是1964年8月19日美国发射成功第一颗同步静止轨道通讯卫星,它是大推力火箭、高难度轨道设计、多种元件高度可靠性和极高度控制系统的结晶,苏联和我国分别在1974年和1984年发射成功。四是美国实施耗资240亿美元、先后投入400万人力、120所大学、2万家企业的“阿波罗”计划,采取月球轨道交会法,把载有三名宇航员的飞船送上月球轨道,并有两名字航员于1969年7月18日踏上月球。70年代后,航天器中又出现了轨道空间站和航天飞机,空间技术进入一个新的发展时期。

四、高新技术群

从20世纪50年代开始孕育,到70年代中期,由于计算机技术、软件技术、卫星通讯技术的综合发展,掀起了一场以信息技术为主导技术的新技术革命。科学和技术的界限日益模糊,基于新的科学原理之上的一个高新技术群体迅速崛起,其物化的周期也日益缩短,高新技术的内涵和外延随着历史的进程不断拓展变化,对社会的产业结构、经济结构和社会结构产生着深刻的影响。从70年代以来的情况看,被世界各国认同并列入21世纪重点研究开发的高新技术群,主要包括涉及三个方面的六大技术,即构筑现代文明社会的三大支柱——信息技术、新材料技术、新能源技术,拓展

人类活动领域的两大技术——空间技术、海洋技术,主宰下一世纪的一个前沿——生物技术。

信息技术的主要支撑技术是计算机技术以及信息的获取、传输、处理和控制技术。计算机技术依靠基础元件技术的不断升级换代而进步,从而使功能向高智能方向扩展。现代信息的传输、处理、控制都离不开高性能的计算机。在信息传输方面,网络技术异军突起,使通信技术开辟了新的纪元,发达国家正率先进入信息化的社会。

新材料技术是其他各项高技术的基础保障,任何高新技术产品的涌现,都首先以新材料技术的进展为突破口。现代新材料大致包括电子信息材料、新能源材料、高性能结构材料和功能材料。80年代以来,新材料在理论的新概念、技术的新构思、工艺的新方法等方面进展异常活跃,材料的复合化使得各种新材料层出不穷,促进了高新技术的整体进步。

新能源技术除了对核能的进一步开发和利用外,开发如太阳能、氢能等可再生能源和对化石燃料的清洁、节约利用都受到了各国重视。太阳能热利用、太阳能电池、光化学电池都是利用太阳能的技术成果。燃煤磁流体发电技术则是提高燃煤热效率、减少污染的重要新能源技术。

空间技术以运载器、航天器和地面测控系统为三大支柱技术,研制应用卫星、建造大规模空间站、发展航天飞机和开展太空科学试验在70年代以来都取得神速进步,为人类进一步利用太空打下了坚实基础。

海洋技术也被称为“蓝色技术”,因其资源丰富、面积辽阔而成为地球“第六大洲”。海洋技术包括海洋环境探测、海洋资源开发、海洋生物工程诸方面。1989年日本的“深潜6500号”创造了载人深潜6527米的纪录,获得了水压数百个大气压,水温4℃的漆黑海底世界的信息。海上石油开采技术已使全世界30%的石油产量

和 20% 的天然气产量来自海底。

生物技术在现代意义上与传统截然不同,它包括基因工程、细胞工程、酶工程和发酵工程四大部分。1953 年沃森和克拉克发现生物体遗传的物质基础 DNA 分子双螺旋结构后,基因工程在科学理论指导下登上历史舞台,1972 年世界上第一批重组的 DNA 分子诞生。基因工程技术目前已发展到更高级的蛋白质工程阶段,并完全渗透到细胞工程、酶工程和发酵工程之中,四大工程互相融汇和促进,把现代生物技术带进了一个崭新的纪元。

第四节 技术发展模式讨论

纵观从古至今技术发展的历史进程,许多学者从不同层次、不同角度对其整体的不同侧面进行了广泛的探讨。尽管有许多观点不尽一致,但却为人们对技术发展内在规律的深刻认识和把握提供了有益的思路。本节将结合技术发展的史实,从宏观和微观两个层次介绍技术发展模式的若干观点。

一、技术发展的宏观模式

在内外矛盾作用下发展起来的技术,呈现出一定的规律,而对社会矛盾和技术自身矛盾因素理解不同,就有不同的技术发展模式提出。

日本学者石谷清平从技术结构与技术功能的矛盾角度,提出了技术时代更替模式。石谷认为,技术结构决定技术功能,技术功能满足社会需要。当社会需要增加时,技术就靠不断提高原有结构框架内的单位功能来解决。而如果社会需要进一步增加,则原有的技术总是力图维持固有结构以适应新要求,这就导致技术发展的停滞状态。但是,社会对技术的需要会随着生产力的发展而永无止境地产生,当原有技术功能发挥到极限而无法满足社会需要时,就

要改变旧的技术结构,开发功能更大的新技术。新技术诞生后,结构不断完善,功能相应增强,最后取代原有技术。原有技术或者被淘汰,或者革新后继续存在发挥作用。由于技术结构与技术功能的有限性和社会对技术需求的无限性,这种新技术产生替代原有技术结构和功能过程就构成了技术永无止境发展的石谷模式:社会需要—技术的开发和发展的—新的社会需要—新技术的开发和发展的……铜器功能不能满足高强度生产工具制作需要时,铁器技术及其结构就得以产生发展的过程就是一个例证。

另一位日本学者星野芳郎则从技术发展的渐进性和跳跃性统一出发,提出技术发展阶段论。星野认为,技术发展可分为原理性发展和局部性改良两种形式。所谓原理性发展,就是为达到技术目的,方法从一个原理变到另一个原理,如把自然界的热能变为机械能,产业革命时有蒸汽机技术,19世纪又出现了内燃机技术。所谓局部性改良就是在一个原理范围内发展,如瓦特时代的蒸汽机输出功率不过10马力,而20世纪蒸汽机输出功率可达1万马力,但机械装置的核心原理未变,只是在细部有了无数改进。当社会需求的提高使得无论怎样进行局部性改良也无法满足时,就会要求技术新原理的出现,也即出现了原理性发展。新原理刚刚出现时技术一定是粗糙的,需要通过局部性改良得以逐渐完善,使原理的效能达到最大限度。无论多么优越的原理,如若没有巧妙的局部性改良,则原理还是原理,不能成为技术。然而如果只进行局部性改良,则无论如何也不能出现代替旧技术的新技术。当然,技术的原理性发展和局部性改良也是相对的,从蒸汽机变为内燃机应该说都是原理性的发展,但又同为获得机械能这一大原理的不同方法,所以又是热能变为机械能的某种局部性改良。因而,技术的原理性发展和局部性改良之间是无限连续的关系,就同目的和手段的关系一样,如果把一种手段当作目的看,则有达到这一目的的下一手段,再把这一手段作为目的,也依然如此。一般技术的发展是从局

部性改良开始,接着是原理性发展,再又是局部性改良过程和新的原理性发展。这就是星野的技术发展模式。

我国学者在 80 年代曾经提出过技术发展的梯度递进和跃升发展两种模式。梯度递进模式认为,技术以它的产生地为中心,按一定的梯度向四周转移扩散。在不同的国家和地区存在着事实上的技术差异,从而使技术沿着高技术区域向低技术区域的梯度流动。技术梯度存在是社会经济发展不平衡、自然资源不同、文化价值观念差异等历史原因造成的,有其客观必然性。美国建国后的技术发展也是从东北开始,然后西移,继而向南;日本现代技术从东京湾、大阪湾开始兴起进而扩展到其他地区;我国的东、中、西部之间经济梯度在某种程度上也是一种技术梯度。技术的梯度递进是技术发展渐进性和连续性的表现,其递进速度取决于技术源的技术拥有者的技术保密程度和技术输入地区技术环境的适应程度。技术跃升发展模式指的是某些国家和地区的技术发展以较短时间走完别国在较长时间走过的路程,使技术水平跃升到一个新高度。例如,古代技术处于落后的欧洲,在 18 世纪中叶通过技术革命,迅速超越东方,实现了技术跃升发展;二次世界大战以后的日本,只花了 20 多年时间走完相当于欧美国家半个多世纪的技术发展路程,居于世界技术大国之列。技术跃升模式是技术发展突变性和阶段性的表现。

事实上,技术发展是渐进性和突变性、连续性与阶段性的统一过程。也就是说,技术发展过程中既有其连续积累的历史,也会有连续性中断而表现为阶段性的飞跃。例如晶体管计算机是在电子管计算机基础上发展起来的,反映了计算机发展的连续性;但晶体管技术又不是电子管技术的简单进化,它来自固体物理学的进展。同样,原子弹也不是炸弹的直接进化,而是核物理知识及控制核裂变技术引进到武器制造的结果。晶体管和原子弹对于计算机和武器制造而言,都是技术发展过程中的一次飞跃。否定技术发展阶段

性,认为技术发展只是长期经验积累的结果,只要缓慢改进就会发展的观点,与否定技术发展的渐进性,认为技术发展就是新技术否定旧技术,割断技术之间的历史联系,都是片面的观点。

技术发展连续性与阶段性的统一,是技术的继承性和创新性内在统一所规定的。任何新技术的产生与发展,都既是对旧技术的否定,又是对原有技术基础的继承。特别是复合技术日益增多的现代,根据新的技术目的对原有技术进行继承导致新的综合,就更是继承与创新的统一。继承是创新的基础,创新是继承的目的和发展。继承立足于创新,创新又在新的基础上开始继承,这就是继承—创新—再继承—再创新的技术发展所普遍遵循的内在逻辑。

二、技术发展的微观模式

在微观层次上,从技术发展内在矛盾看,技术目的与技术手段的相互运动是技术发展的重要模式。技术目的来自社会需要并受社会需要的制约,它是对技术发展方向和技术系统功能的设定。技术目的一旦设定,就会产生与原有技术能力的矛盾,就必须变革并发明新的技术手段。新的技术手段产生必然波及其他技术,发生新技术转移,并引起技术领域的连锁反应。如电子计算机发明后,为了减小体积和提高运算速度,需要采用晶体管。这一技术目的,推动了单晶生长技术手段的涌现。以后为了采用集成电路的目的,照相蚀刻、薄膜蒸镀等技术手段又应运而生。因此,技术目的与技术手段矛盾的不断产生及其不断解决,就成为技术发展的重要模式。

对于一项具体的技术而言,其发展模式有三个阶段:一是潜在发展阶段,即运用科学理论和已有经验,构思出技术原理,并经技术设计作出某项发明,这是主观技术向客观技术发展的过程。二是现实发展阶段,即通过技术开发,使潜在技术即发明在现实生产或生活中获得应用变为现实技术。三是推广应用阶段,获得应用的现实技术其功能发挥以后,为社会所承认并在同类产业或相关领域

中推广应用,有些重要技术如主导技术会引起技术体系的变革并促进社会其他技术领域的发展。

就一项具体的技术成果来看,还存在一种可称之为“生命周期”的技术发展模式。这一模式表明,每一项技术在时间序列上都有一个发展过程,这一过程在平面坐标图上表现为一种 S 形曲线

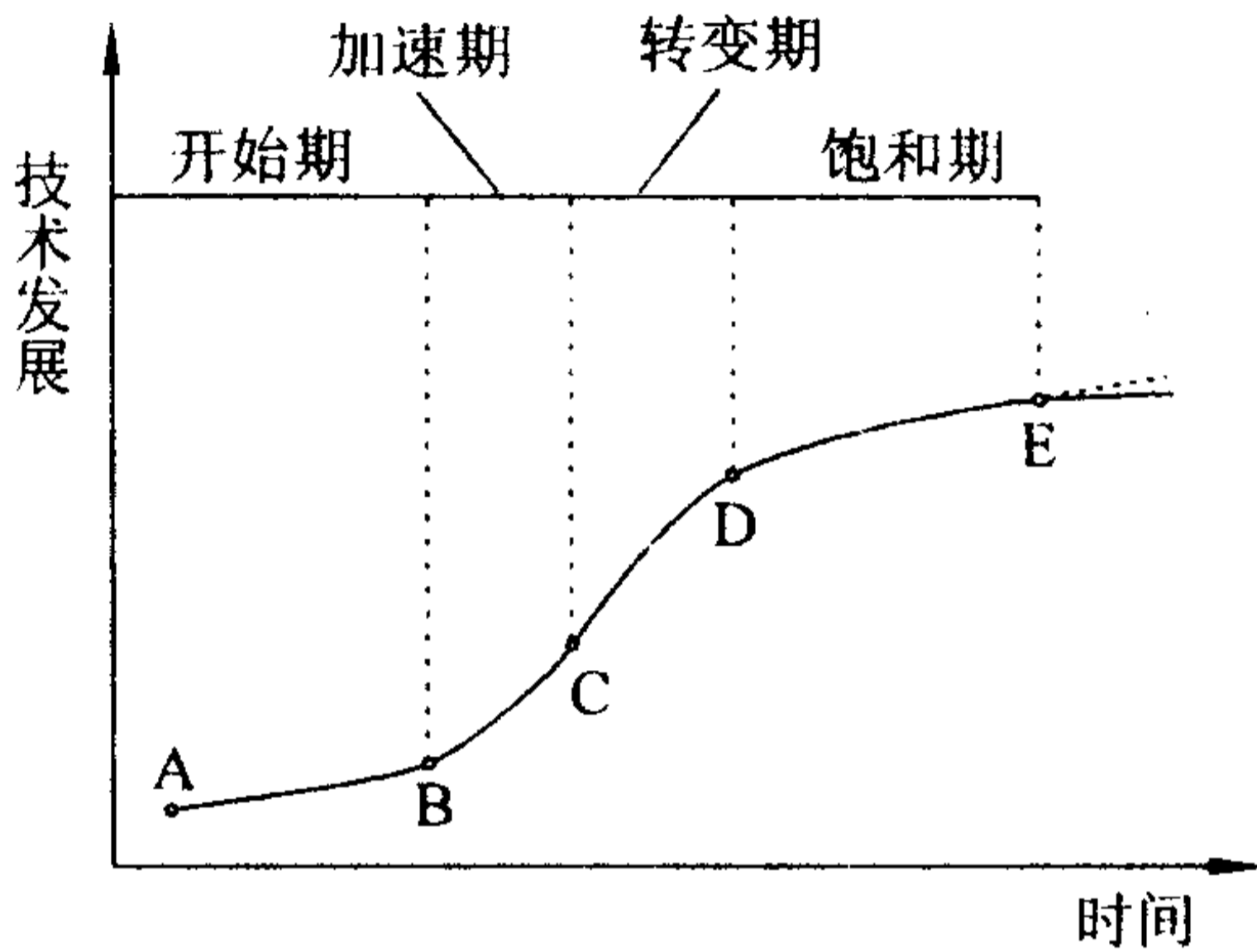


图 7-1 技术发展趋势曲线

的趋势(图 7-1)。由图可见,一项技术和生物一样存在生命周期,一般分为四个时期:开始期,图中 A—B 段是新技术规范出现和新技术萌发的缓慢发展时期;加速期,图中 B—C 段,是新技术在较短时期内加速增长过程;转变期,图中 C—D 段,技术发展在较短时期内斜率改变,进入减速增长时期;饱和期,图中 D—E 段,技术水平接近极限,趋于稳定平衡发展时期。例如自从火车发明以来,火车车速与时间的关系曲线就是 S 形发展趋势。日本火车运行时速与年代的关系如图 7-2 所示。

在图 7-1 的饱和期既是原技术趋近了极限,又潜伏着新的飞跃。如果我们把各种不同的相关技术看作一个连续发展的过程,还可以看出它们按时间序列的更替情况,如图 7-3。

图 7-3 说明,当技术 I 在行将完成它的“生命周期”之前,技术

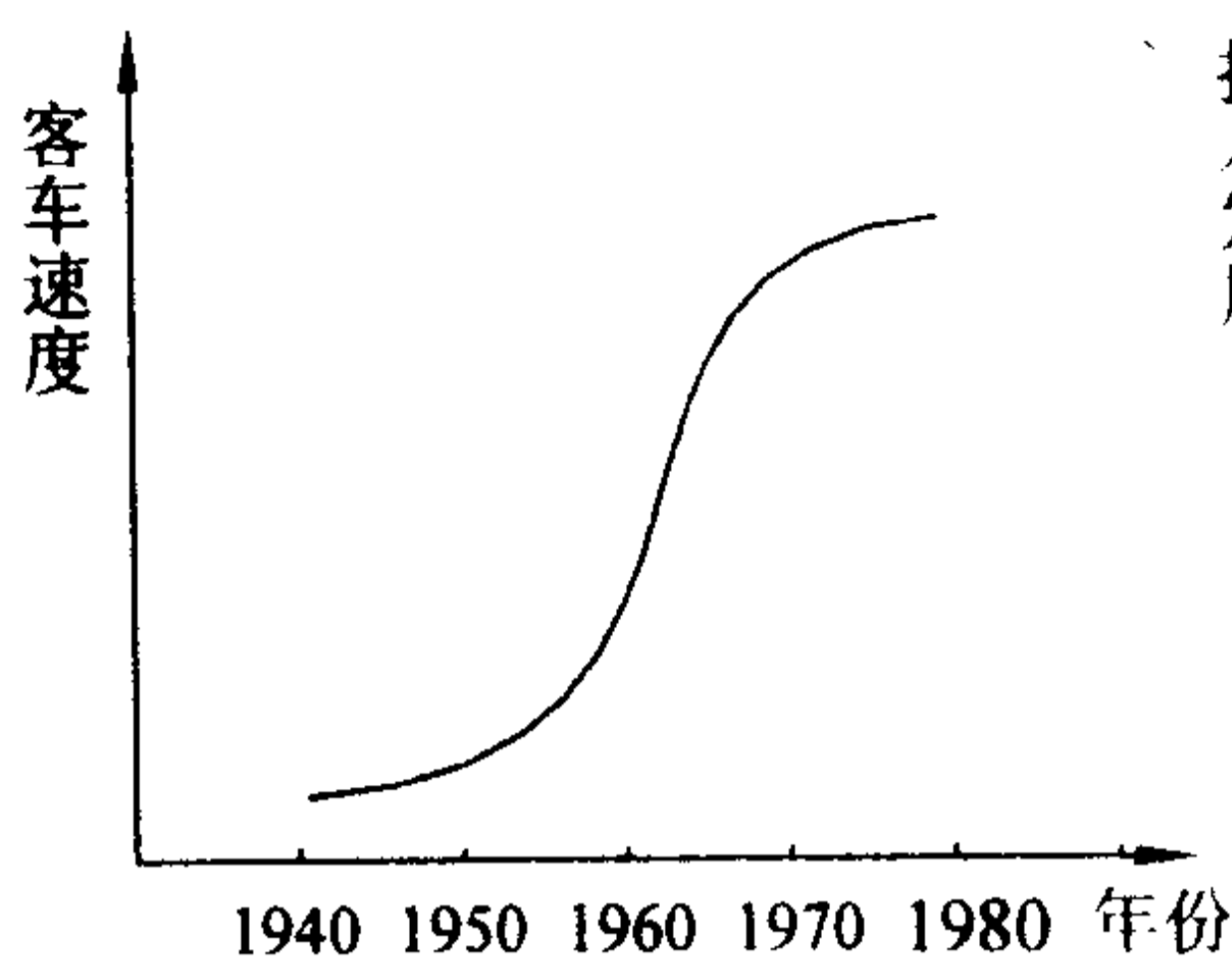


图 7-2 日本火车时速变迁

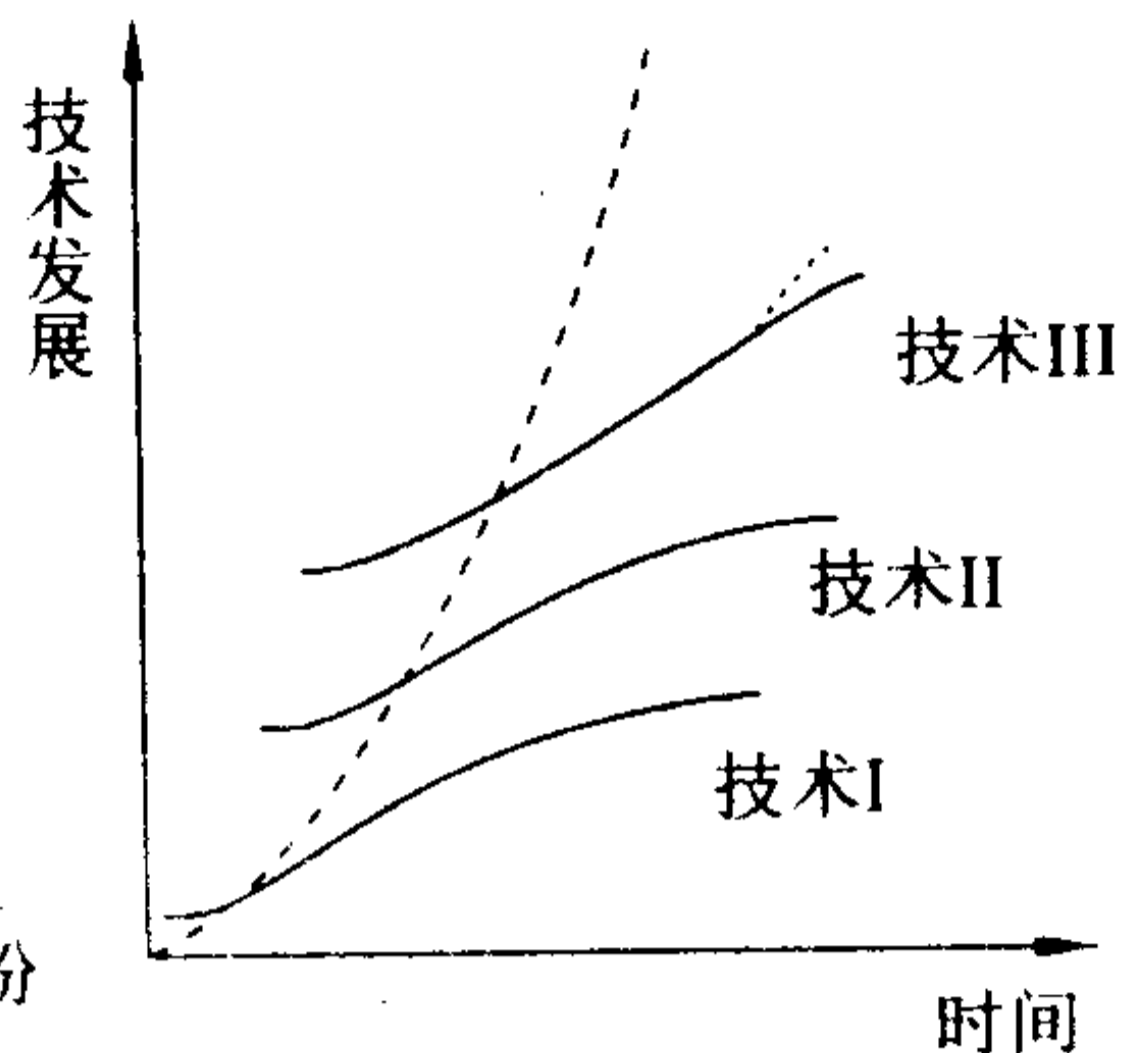


图 7-3 技术发展趋势曲线

Ⅱ 新的“生命周期”便悄悄地潜伏在原有技术Ⅰ的饱和期之中，并进入自身“生命周期”的开始期。随后技术Ⅱ又历经加速、转变、饱和各时期。当技术Ⅱ进入饱和期后，又会潜伏着技术Ⅲ的开始。技术发展的全过程就沿S曲线而增长。例如交通运输领域，马车、帆船、汽船、火车、汽车、活塞式飞机、喷气式飞机的每一种技术，都是随时间而沿S形曲线发展的。S形趋势曲线对于技术发展的科学预测，有重要的意义。

本章进一步阅读书目

1. 中国科学院自然科学史研究所编. 20世纪科学技术简史. 北京:科学出版社,1985
2. 吴国盛著. 科学的历程. 长沙:湖南科技出版社,1995
3. 林永康主编. 技术史概论. 大连:大连工学院出版社,1988

复习思考题

1. 古代、近代和现代的技术发展各有什么特点?相互之间异同和联系如何?
2. 如何理解技术发展中的继承性与创新性、连续性与阶段性的统一?

第八章 技术本质

透过从古到今漫长的历史发展线索,我们看到人类对于技术的探索在广度和深度上都日益拓展,关于技术本质的讨论也引起越来越多人的兴趣。本章拟从技术的定义及其本质特性、技术的类型和体系结构等方面,讨论有关技术本质的问题。

第一节 技术的本质

一、形形色色的技术定义

技术和人类社会的产生几乎同步,技术一直陪伴着人类的发展。然而,与我们日常活动密不可分的技术如果要给它一个确切而公认的定义,却又似乎困难重重。许多经济学家、科学家、工程技术专家、哲学家曾经从不同角度给技术下过多达上百种的定义,而且这些对技术进行整体考察后所作出的技术定义,似乎没有完全相同的。这种情况至少说明两方面问题:

一方面说明技术的定义受到了学术界各方面人士的关心。因为讨论技术的定义,并不只是一个理论问题,它会对人们的技术实践产生重要的影响。在现代技术发展中,人们的技术实践活动总是自觉不自觉地反映出他们对技术的理解,而不同的理解必然影响到技术研究、开发、引进工作进行,影响到技术发展战略和技术政策的制定与执行。例如,把技术理解为物质手段,就会在技术引进中只注意成套设备的硬件而忽视软件。但如果把技术理解为技术知识,则工程技术人员的职称评定就会只强调文凭、论文,作出重

理论轻实践的片面导向。可见,对技术的正确理解十分重要。

另一方面又说明技术是一个极为复杂的概念,它所涉及的领域非常广泛,存在于人类的全部活动中。我们社会生活的各个领域无处不有技术的作用,整个社会的政治、经济、文化都以技术作为中介而联系成一个复杂的整体。技术的出现和发展,与人对自然的关系的变化和发展密切相关,人对自然的关系又和一定的社会生产关系、社会文化关系密切联系。由于技术的复杂性,导致了不同的人对技术的理解会有不同的侧重点,产生了形形色色的技术定义。

然而,尽管人们对技术的理解不尽相同,或者只从某个侧面定义技术,不能概括技术的全部本质,但都在一定程度上揭示了技术的某些特征。对现有的具有代表性的技术定义加以分析和综合,有助于我们对技术本质的理解和把握。

事实上,对于技术的理解还有广义与狭义的区别。广义的技术概念,是一个极为宽泛的定义,有的学者就把一切讲究方法、技能的有效活动都称之为技术活动。例如德国技术哲学家卡普在《技术与社会》一书中定义技术为:“在一切人类活动领域中通过理性得到的(就特定发展状况来说)具有绝对有效性的各种方法的整体。”^①日本学者三木清认为,技术就是人类的“行为的形式”,一切有效的行为形式都是技术,因而既有与自然科学相关联的生产技术,也有与社会科学相关联的社会技术,还有把人类客观化的人类技术。按照上述“有效性方法”或“行为的形式”对技术的概括,则一切人们平时称之为“术”的东西,如计算之术、管理之术、医疗之术甚至魔术、巫术等都被囊括了进来,显然过于宽泛。因此我们在这里讨论技术的定义主要从狭义上来把握,是指那些应用于自然、并使天然自然改造成人工自然的技术,即工程技术。

^① 转引自远德玉等著.《论技术》,辽宁科技出版社,1986:48.

对于技术的狭义定义,不同时代和不同领域的学者,也有过很多不同的提法,具有代表性的观点主要有:

其一,方法技能说。技术一词从希腊文演变过来时的原意是指经历熟练过程获得的经验、技能和技艺。方法技能说在原意基础上加以沿用,把技术理解为人们一种能力。日本学者村田富二郎认为:技术是“在生产现场中,直接或间接被充分利用的,只有经过特定训练的人所具备的能力”。^①也有的学者以“人类用以改变环境的各种不同技能的整体”来定义技术。这种观点实际上是人类社会早期对技术构成要素和技术本质理解的反映,看重技术活动中人的经验积累和精神因素,相对忽视科学理论和物质手段的作用。

其二,劳动手段说。活跃于本世纪30年代日本思想界的学术团体唯物论研究会中一批学者最早明确提出这一观点。他们把诸如器具、工具、机械、装置、工厂建筑、附属建筑等一切加工工作中的手段,统称为劳动手段。相川春喜在《技术和技术学的概念》中提出,技术是在生产过程中产生的劳动手段,并明确将技术定义为“劳动手段的体系”,这个体系中的劳动手段,还包括了手、脚、大脑等人的身体器官。这种观点,强调了技术的物质因素,把技术划入客观物质的范畴。事实上,现代技术中许多突破性的技术发明如半导体、激光都是在科学原理指导下取得的,而劳动手段说把技术主要归结为物质范畴,显然忽视了科学理论在技术因素中的地位。

其三,知识应用说。这是第二次世界大战以后日本物理学家武谷三男和技术论学者星野芳郎等人,在批判“劳动手段说”过程中提出的。这一观点认为,技术是人们在生产性实践中对客观规律的有意识的应用;技术不是实体概念,技术是扬弃了实体概念和功能概念的本质概念。与这一观点相近,还有的学者主张技术与科学是同义语,技术是技艺的知识化和条理化,甚至主张技术应当是科学

^① 转引自远德玉等著:《论技术》,辽宁科技出版社,1986:50.

体系中的一个门类。这类观点首先看到了科学理论在近代以来技术发展中的重要作用,肯定了技术与科学的密切联系,但却否认了技术本身的相对独立性,把科学与技术同一化了。我们在技术发展史中看到,有些技术是在已有技术成果基础上移植、综合产生的,并不完全是科学理论直接应用的结果。

上述三种观点,分别从实践经验、物质设备和科学理论的不同侧面,定义了技术某一方面的属性,都具有相对的真理性。但这些定义的一个共同局限是,把技术作为静止的对象看待,只能说明技术整体的某个侧面,未能动态及多侧面地反映出技术的本质属性。

二、技术的本质特征

尽管关于技术本质的观点众说纷纭,而且至今还不能得到一致的结论,但我们倾向于对技术的本质特征作如下的描述:技术是科学理论、实践经验和物质设备在社会生产中动态整合的过程。这一描述蕴含的意思大致有这么几层:

首先,说明技术(尤其是现代工程技术)离不开科学的理论。技术必须建立在人对自然的真理性认识之上,要以科学理论为依据,决不能违背自然的规律。一切巫术、占星术都没有科学理论可作为支撑,游离于科学定律之外,因此不能称之为技术。技术离不开科学理论知识的另一层含义是指技术需要人的理性,不能以本能来解释技术。本能只能解释打火石,说明最初形式技术的起源,但不能解释技术的进化,更不能解释现代科学化技术的产生和发展,否则动物也会变成了技术的拥有者。

其次,是说人的实践经验以及由此获得的技术能力也是技术的一个部分。从技术史的历史考察中,我们知道最早的技术起源于经验,通过实践人们总结出各种经验规则、工艺方法。例如为了穿衣必须织布,而按经纬方向编织棉线的技术原理,就是从实践经验中获得的。通过实践积累经验,人就获得了能力,这种能力是技术

活动的主体人所特有的,是人的能动性的突出表现。它与理论知识有关联,但不是一种简单的正比关系。读了万卷书却完全脱离技术活动的人就难以具备技术能力。能力在变革自然和利用自然的过程中作用十分重要。

再次,是视物质设备为变革和利用自然的重要手段。物质设备本身是一种技术成果和产品,是一定技术水平的物质表现,但不能简单地把它直接等同于技术本身。作为技术产物的工具、机器、装置,只有在同现实的技术活动结合过程中,才能实现人对自然的变革。

第四,也是最关键的,科学理论、实践经验、物质设备三者和技术整体中的结合不是一种静态的线性迭加,而是为了发展社会生产的目的,动态地有机整合的过程。技术总是意味着人对自然的有目的性的变革,是要追求明确的物质目标。为了实现发展社会生产的目标,需要根据具体的需求,综合运用科学知识、经验技能和设备手段。同时,社会生产的目标不是一个静态概念,它随着社会经济的发展总是处于不断变化的过程中,因而技术的各个方面必然会随着社会生产目标的变化而进行动态的整合,使无形的、潜在的技术转化为有形的、现实的技术。还有,技术的发展会推动新的物质手段产生,人们运用新的物质手段进行创造,又会产生出新的知识,获得新的经验和能力。如此不断循环和反复,就把技术推向新的进步。

三、技术的基本属性

日本技术论学者山胁与平在对技术进行分析时,曾经列举了技术的15种特性,这15种特性包括社会性、经济性、生产性、物质性、手段性、系统性、阶级性、革命性、保守性、历史性、选择性、规则性、容许性、动力性和控制性。我国的一些学者则以动态性、综合性、系统性、整体性、保密性、交易性、地域性、层次性、连锁性等术

语来描述技术的基本特性。不管如何描述,其实深入分析一下,各种特性可归结为技术的自然属性和社会属性两大基本特性。

技术的自然属性首先是指人们在运用技术变革和利用自然过程中,必须顺应自然规律,违背自然规律的技术是不存在的。古代人们对自然规律的认识尽管深度和广度有限,但古代技术也离不开对自然规律的不自觉应用。例如一把最原始的粗制石刀就是古人不自觉地对尖劈原理的运用。近代和现代技术当然更要符合自然规律,并且是在自觉的情况下应用自然规律。现代的机械制造技术中,无一能够离开质点力学、刚体力学、固体力学、材料力学等描述自然界物体机械运动的客观规律。技术的自然属性其次体现在任何物质手段都是天然自然和人工自然的产物,这些物质手段的构成,不管在古代还是现代,都需要自然物质基础,归根结底是大自然所提供、所馈赠的物品。技术的自然属性还表现在技术活动本身。技术活动很大程度上是一个自然过程,这种自然过程表现了自然的必然性。例如煤的燃烧产生热能,热能可以转变为机械能和电能;同时煤的燃烧会产生 CO 、 CO_2 、 H_2S 等气体,给大气环境带来不利影响。这些都是在技术活动中必然会出现的符合自然规律的技术后果。人们对技术的利用,都要以相应的自然后果为基础。

技术的社会属性是指人们在变革和利用自然的过程中,必然受到社会各种因素的影响,社会对技术发展方向、运用范围等诸多方面具有强烈的制约。任何技术都有它的目的性,这种技术目的性不可能来自天然的自然界,而是来自于人类社会,是在社会中产生并随社会发展变化的。不同的社会政治、经济、文化条件,对技术目的会有不同的要求。在粮食生产不能满足国民生活需要的落后国家,提高农作物产量必然会成为重要甚至首要的技术目的,而在发达国家显然不会有同样的社会要求。不但技术目的的确具有社会性,为了实现技术目的所作的选择也具有社会性。原子能发电技术是缺少化石燃料资源国家和地区能够选择的较好能源技术之一,

日本尽管缺少石油和煤炭资源,也较早具备这方面的技术基础,却在考虑选用核电技术中较为迟疑,因为第二次世界大战期间日本国土爆炸的两颗原子弹,在日本国民心中留下的阴影长期挥之不去,成为很多人反对发展核电的社会心理障碍。技术的社会属性还反映在技术运用所产生的后果上。蒸汽机技术的发明大大提高了社会生产力,导致了西方国家资产阶级革命的胜利和封建阶级统治结束。汽车、轮船、飞机的出现加速了人和物时空位置变换,缩短了人与人之间距离,增加了社会的流动和人际交流,同时也引起了噪音和大气污染,并引发出石油危机等不良社会后果。

技术的自然属性和社会属性说明,技术总是要受到来自自然和社会的双重限制,也可以把这种双重属性称作技术的外部特性和内部特性。外部特性表征技术受外在条件制约和影响的方面,内部特性表征技术内在的自律要求。就技术的两重性来看,它们之间的关系有主从之分。技术的社会属性是主要的,技术的发展首先是受到外部社会条件的影响;技术的自然属性是从属的,纯粹的技术和自然因素往往是在社会制约的框架之内才起作用。

四、技术要素分析

在关于技术的本质特征讨论中,事实上我们已经构筑了技术要素的框架,即认为理论知识、经验技能、物质设备是关于技术的三个基本要素。但在学术界和实践中,关于技术要素还有许多不同的看法,概括起来,可多达十五六种,例如材料、能源、信息、机器、工具、产品、控制、目的、工艺、科学、能力、劳动对象等等。对此,我们作些简单的分析。

以上罗列的一些要素中,象机器、工具甚至产品等可归属于物质设备之内,而科学、能力可归属于理论知识和经验技能,劳动对象与材料相关联,控制、目的乃至工艺在技术的实行过程中往往表现为一种信息的流动。因此,我们主要讨论是否应当把材料、能源

和信息作为技术要素的问题。

材料包括自然界的天然材料和经过人类加工的人工材料两大类。不管哪类材料,通过人类的技术变革活动,可以成为生活消费品不再进入技术过程,也可以加工成工具设备而成为技术活动中的物质手段,如果笼统地把材料作为技术要素,则容易混淆这两者之间的差别。技术活动是对自然的变革和利用,但材料本身并不直接参与这种变革利用,不应当把被变革的对象与施加变革的行为混为一体。因此,与其视材料为技术要素,不如把材料看作技术的前提或基础更为恰当。

能源在人类变革和利用自然中具有重要的意义,把能源作为技术要素有其合理性。但是能源的用途也有两大类:一类用作生活消费,如人们日常生活中的照明、家电等能源消耗,这显然不宜作为技术过程中的要素看待。另一类用作生产技术活动中的动力,参与人类对自然进行变革的过程。不过,后一类的能源,通常与机器设备的使用联系在一起,在技术发展到现代的条件下尤其如此。由此把能源包含在机器设备等物质手段中而不作为一个独立的技术要素,恐怕是较为合理的。

信息是一个非常广泛的概念,对信息的定义从不同角度出发有不同的表述。信息在自然界和人类社会的各个领域无处不有,现代科学技术活动中也处处离不开信息。一般的科学技术信息我们可以把它们列在科学技术的要素中,而其他领域的信息(如政治信息、文艺信息、生物遗传信息等)虽然有时也会影响技术活动,但毕竟不是所有技术过程中必不可少的。事实上,如果抽去技术活动过程的具体物质形态,技术活动在某种意义上也可视作一种信息流动的过程,其间包含着科学知识、经验技能、物质手段的动态组合变化。这样看来,把信息单列为一个技术要素也未必妥当。

通过以上简单分析,把理论知识、经验技能和物质设备作为技术的基本要素相对比较合理。这三者又可以分为两类:一类是人因

素,体现为科学理论知识和经验技能;另一类是物因素,主要指物质设备,如工具、机器等。在技术活动过程中,人的因素和物的因素又是一种什么样的相互关系呢?我们通常认为人是主要的决定因素,而物是人创造的,是非主要的从属的因素。这种认识有一定道理,但并不完全。事实上技术活动中人的因素和物的因素始终处于不断的相互作用之中。人的因素任何时候都离不开物的因素,并通过与物的因素相互作用而使知识、能力不断增长;物的因素也始终不能离开人的因素,并通过与人的因素相互作用而使工具、机器、设备日益精良。两种因素相辅相成,缺一不可,不能笼统地说哪个主要哪个次要,而应当具体情况具体分析。例如当有了机器设备而不能发挥作用时,人的知识和能力就是矛盾主要方面;当有了技术人才而不能提供设备条件时,物的因素就成为矛盾主要方面了。

在人的因素内部,知识和技能两者关系也受到大家关注,究竟是科学知识重要还是经验技能重要?这个问题的争论由来已久,双方各执一词,都有道理。我们的认识同样是不能简单地肯定一方否定另一方,在技术活动的具体过程中,分别有需要强调知识或强调技能的阶段和场合。在总体的技术活动中,科学知识和经验技能应当是并重的。

第二节 技术的分类

一、技术分类的原则和标准

技术分类是遵循一定的客观原则和技术自身的不同属性,把众多的技术集合成类,并勾划出各种类型技术之间的共同性和差异性。通过对技术进行合理的分类,可以帮助我们正确认识技术的整体结构和体系,揭示多种多样技术之间的区别和内在联系,从而了解各类技术在整个技术体系中的地位和作用。同时,在熟悉各种

技术之间区别和联系的基础上,有助于把握技术分化与综合的总趋势,预见技术体系在纵向深度上出现的新兴技术和在横向广度上涌现的边缘交叉技术。

为了对技术进行合理的分类,需要遵循下列客观原则:

一是整体性原则。整体性强调各种技术之间的相互关联、相互作用,强调对不同表现形式的技术类型从总体联系上加以把握。我们所面对的自然界(包括人工自然),在本质上具有内在的统一性,因此用作改造和利用自然的技术,尽管可以有各种形式和类型,但也必然有着密切的相互联系,从而与自然界的整体性相适应。

二是层次性原则。层次性是自然系统的普遍特点。恩格斯根据 19 世纪的科学认识指出:“物质是按质量的相对大小分成一系列较大的、容易分清的组,使每一组的各个组成部分互相间在质量方面都具有确定的、有限的比值……可见的恒星系,太阳系,地球上的物体,分子和原子,最后是以太粒子,都各自形成这样的一组。”^①今天的科学知识更揭示出我们的世界是一个套箱式的多层次世界。作为一个整体的技术,要与世界的多层次特点相适应,也自然地具有层次结构的特性。

三是动态性原则。技术发展的历史充分表明,人类对自然界的改造和利用是一个从低级到高级、从简单到复杂、从无序到有序的不断进步的动态过程,技术的产生和发展、技术的分类也随之在不断的演化过程中。对技术的合理分类既要尊重各类技术的历史演变脉络,又不能墨守旧习无视已经出现的现实变化。动态性原则还要求我们在技术分类过程中防止僵化的封闭式思维,树立起变化的开放式的观点。

根据技术分类的上述原则,我们可以确定相应的分类标准。前面已经指出,人们对技术的本质认识各异,这必然会影响到对技术

^① 恩格斯.《自然辩证法》,人民出版社,1971:248.

分类的标准。从不同的角度出发,会有不尽相同的分类。下面我们试图根据前述关于技术本质的观点,从技术的基本属性、物质运动形式、劳动生产过程和产业部门结构等不同侧面对技术进行分类。

二、根据技术基本属性的分类

技术具有自然和社会的双重属性,据此我们可以把技术分为自然技术和社会技术两大类。

所谓自然技术,是指人们运用自然规律、技能、方法以及物质手段变天然自然为人工自然的技术。自然技术可分为实验技术、专业技术、工程技术三个层次,分别与自然科学的基础科学、技术科学、应用科学三个层次相对应,如图 8-1。

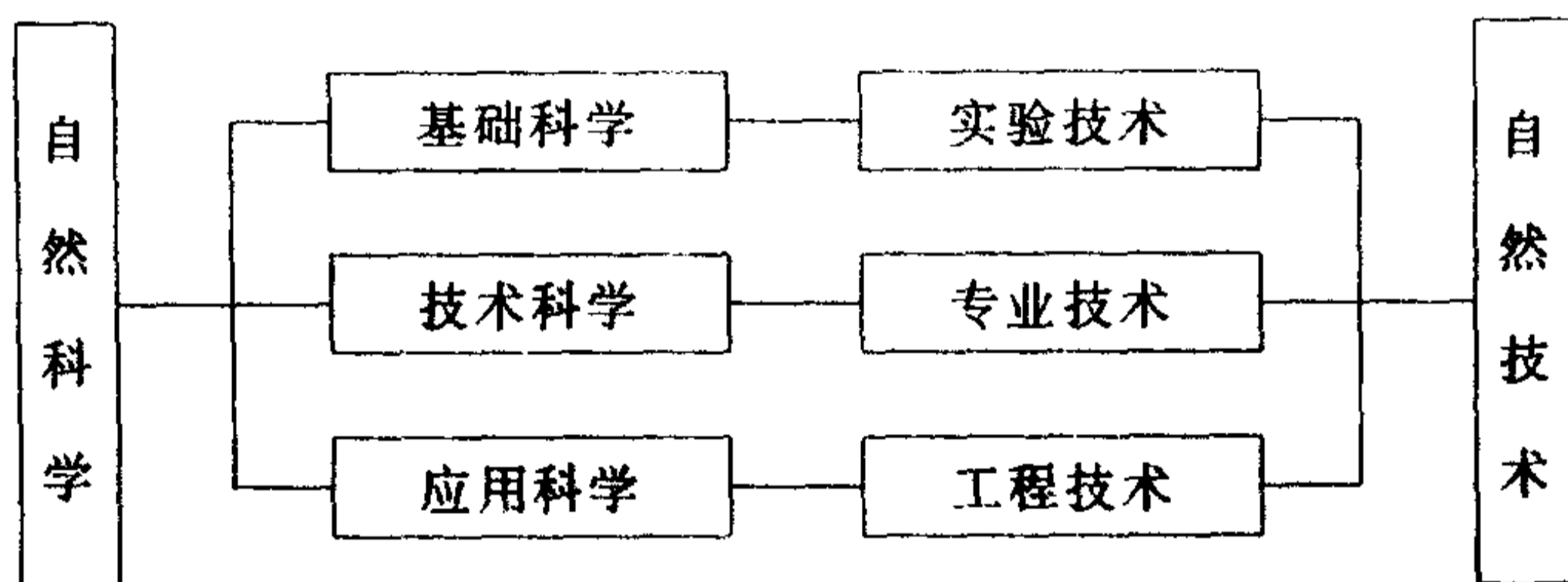


图8-1 自然科学与自然技术

实验技术是根据一定科学理论和科研目的,通过实验设计,在人为条件下利用科学仪器和设备,控制或模拟自然现象的技能和方法的集合。实验技术是基础科学赖以产生和发展的必要条件,又是检验科学理论的唯一手段。实验技术根据其基础科学理论相联系的不同,还可以分为天文观察实验技术、地学实验技术、生物实验技术、化学实验技术、力学实验技术、物理实验技术等类型。

专业技术是与技术科学相对应的专门技术,它以技术科学理论为指导,把技术科学理论转化为生产技术;同时它又是技术科学理论的检验手段,为技术科学的发展开辟道路。例如,激光技术就

是应用激光科学理论进行研究与开发产生的,激光科学理论通过激光技术的中介在生产过程中得到应用。另一方面激光技术又为激光理论的进一步发展提供了物质手段。专业技术因技术科学门类众多、专业复杂而呈现出多样性,象计算机技术、能源技术、材料技术、原子能技术、空间技术、海洋技术都可以看作是专业技术。

工程技术是与应用科学相对应的关于各种产业部门技术的总称,它的功能是运用技术原理和一定物质手段,把天然自然变为人工自然,其过程包括规划、设计、工艺、制造、施工等各个阶段。工程技术一般不是单一的某项技术,它通常是多种技术构成的综合体。从产业部门的角度看,工程技术可分为栽培技术、捕获技术、饲养技术、开采技术、机械技术、交通技术、动力技术、建筑技术等各种类型。

与自然技术相对应的另一类技术为社会技术。技术在被人类利用来改造自然的同时,也被作为一种改造社会的力量应用于社会各个方面。我们可以把社会技术理解为人类社会为了满足精神和物质需要而对科学知识和物质手段的应用。由于人的需要的多样性和复杂性,决定了社会技术同样具有多样性和复杂性。社会技术的类型通常有军事技术、管理技术、教育文化技术、医疗保健技术、社会公用技术、日常生活技术等分法。社会技术与自然技术的区分主要是在技术运用的对象上,即用于改造社会还是改造自然。但在技术内容的构成上,往往有很大的兼容性,绝大多数的社会技术都需要以各种自然技术作为支撑。例如军事技术中的武器装备、通讯联络肯定离不开自然技术,即使指挥决策、后勤保障也少不了自然技术的应用。

三、根据基本运动形式的分类

在 19 世纪,恩格斯根据当时自然科学的研究成果,提出把自然界物质的基本运动形式分为机械运动、物理运动、化学运动和生

命运动四种类型的观点。自然科学中的力学、物理学、化学、生物学四大学科,就是以四种基本运动形式为对象展开讨论的。

按照前述我们对技术本质的理解,以及恩格斯关于自然界物质基本运动形式划分的观点,同样可以成为我们对技术进行分类的依据之一。可以认为,整个技术是由与基本运动形态相对应的四种基本技术构成的。这四种基本技术是:用于改变自然界机械运动状态和自然界形状的广义机械技术,用于改变自然物物性的物理技术,用于改变自然物物质成分的化工技术,用于改变生命运动状态和性质的生物技术。四种基本技术的发展变化和分化组合,实现了人类的技术创造,构成了当今门类繁多、体系庞杂的各种各类技术。

应该说,四种基本技术从人类产生以来就逐步发展起来了,但在不同的历史时期,每一种基本技术的地位和作用并不相同。在以农业为中心的社会条件下,生物技术占有主导地位。原始社会人类采集植物、捕猎动物,是改变动植物时空位置,使之能为人食用的生物技术萌芽。后来发展到牲畜饲养、植物栽培,不仅改变了动植物的运动状态,还改变了生物的特性,形成了适应当时社会需要的各种生物技术。近代以来,随着工业生产的发展,机械技术取代生物技术占据中心地位,机械化生产中所涌现出的各种机械技术成为工业社会基础支柱。现代以来,物理技术和化工技术又在机械技术的带动下成为技术体系中的主角。从热能技术到原子核技术,从电力技术到无线电技术,从普通光技术到激光技术,本质上都可以看作是物理技术的一种形式或延伸。现代社会除了需要不改变物质成分条件下改变物性的物理技术外,还同时需要改变物质成分以改变物性的化工技术,它通过改变原子核外电子的结合状态来实现人类改造和利用自然的目的。随着物理技术和化工技术水平的提高,人们看到现代生物技术正在迅速崛起,现代生物技术已不限于从细胞、个体、群体层次上改变生物的性质和状态,而是深入

到分子水平上实现对生物性质和状态的变革。有人预计,未来的生物技术可能会重新占据主导技术的地位。这样,四种基本技术就经历了生物技术→机械技术→物理技术→化工技术→生物技术的主导技术沿革,并在更高层次上开辟人类技术发展的新时代。

尽管每种基本技术在不同历史时期对自然改造和利用的作用有差别,但四种基本技术在每个历史时期都是密切相关、不能截然分离的。在古代,制陶、冶钢、炼铁,既是化工技术,也有物理技术;酿酒、制酱等,既是生物技术,又需要化工技术和物理技术。现代的化工技术,大多数情况下是在密闭状态下进行的反应,这就离不开制造化工容器和装置的机械技术,离不开测定温度、压力、成分的物理技术。随着科学技术的迅猛发展,各种基本技术之间的相互联系还会越来越紧密。

四、根据生产劳动过程的分类

生产劳动的过程是劳动者运用经验、知识,并借助物质手段改变自然界运动状态和运动形式,实现对自然界利用和改造的过程。生产劳动过程的多样性,决定了运用于其过程中技术的多样性。按照生产劳动过程对技术分类,也就成为技术的一种基本分类。

如果对生产劳动过程加以分析,可以发现任何生产劳动过程都是自然过程与技术过程的有机结合,而自然过程通常可分为有生命自然过程与无生命自然过程两大类,相应的技术过程也有不同的特征。在有生命的自然过程与技术过程结合时,技术过程停止时自然过程仍会进行,例如植物栽培中施用化肥或农药技术后停顿下来,植物仍会继续生长,表现为技术过程与自然过程的不连续性。在无生命的自然过程与技术过程结合时,则两者的结合表现出连续性,如机械零件加工时,若技术过程一停止,改变零件形状的自然过程也同时停止。

与有生命的自然过程相结合的技术,大体可分为三类,即植物

栽培技术、动物饲养技术、人类保健技术。植物栽培技术和动物饲养技术,主要是为了满足人类生活消费的需要发展起来的,其内容涉及到肥料、土壤、饲料、农机等方面;人类保健技术服务于人类的身心健康,研究有效培育儿童、治疗疾病和维持健康,其内容包括对食品、药物、卫生设施、医疗器械等诸多方面研究。总的说来,这类技术与无生命自然过程相结合的技术相比,处于较为滞后的状况,有着进一步发展的巨大空间。

在大量的工业生产中,劳动对象主要是无机自然界,与无生命自然过程相结合的技术过程由此得到了极大发展。日本学者星野芳郎提出将生产劳动过程分为七类:采掘、原材料生产、机械生产、建设、输送、信息处理、能源生产,相应地就有七种以生产劳动过程划分的技术。

1. 采掘技术。为了采取人类所需要的矿石、能源、空气、水,就必须有以自然界资源为对象的采掘技术。采掘技术要包括对资源的探查,并用机械或化学方法获取它们。研究的内容涉及采掘计划及其实施,矿床、煤层、油层、气层的勘测,采矿机械、采煤机械、采油机械、运矿机械、选矿机械使用等。

2. 材料技术。它是利用所采掘的原料并制成具有特定性能材料的技术。材料是工具、机器、装置等物质手段的基础,没有材料技术的发展就不可能有机械技术、动力技术的进步。同时,材料技术本身又需要综合应用机械技术、物理技术、化工技术乃至生物技术四种基本技术。

3. 机械技术。这里的机械技术与作为基本技术的广义机械技术不同,它在生产劳动过程中主要是使物体的机械形态发生变化,重视产品的尺寸要素。由于机械技术是创造一切生活和产业的生产手段,具有涉及整个技术体系的性质,因此在整个技术体系中占有重大比例。

4. 建筑技术。生产劳动过程的建设,是改变自然地形并在其

上形成人类生存和生产场所的活动。建筑技术的内容包括各种设施的建筑计划及其实施,具体指各种建筑物、桥梁、灯塔、堤坝、水库、河道、道路、码头、机场等的建造。建筑技术还涉及水泥、钢材、玻璃、各种塑料、轻合金、建筑机械、成套设备以及河流、土质等领域。

5. 交通技术。交通技术是改变人员和物质时空位置的劳动过程中运用的技术,它要解决的重点问题是如何有效地利用各种交通工具实现人流和物流畅通,内容包括交通计划及其实施,涉及作为交通手段的机车、电车、道路、桥梁、汽车、船舶,甚至火箭、飞机等各个方面。

6. 通讯技术。任何生产劳动过程都存在信息交换和渗透,都需要进行信息处理。信息处理的劳动过程虽然不直接改变自然界的状态,但却是联系各种劳动过程的纽带。通讯技术关心利用光、电、音、符号等形式有效地传递和处理信息,它既包括通讯设施的计划和实施,还包括对电话机、交换机、电视、无线电、雷达等通讯手段的研究。

7. 动力技术。无论人类想用什么方法去支配自然,任何时候都离不开能源动力。天然能源中有以煤炭、石油、天然气等形式存在的化学能,以风力、水力、潮汐等形式存在的动能,以地热、太阳热等形式存在的热能,以原子能形式存在的核能。动力技术就是要把这些能量有效地向机械能和电能转化。由此,水轮机、蒸汽机、汽轮机、燃气轮机、内燃机等各种原动机的设计以及相应的发电、送变电设备等,也都成为动力技术组成部分。动力技术实际上在整个技术体系中处于中心的地位。

上述关于生产劳动过程的划分以及与之相应的技术分类,在一定程度上是对高技术产生以前的技术较为合理的划分。但是随着高新技术的迅猛涌现,人类的生产劳动过程发生了变化,突出的特点是能耗、物耗不断下降,知识、智能在劳动过程中的作用和地

位日益上升,传统技术的比重越来越低,新兴的计算机技术、自动控制技术开始扮演越来越重要的角色。因此,对技术进行更加合理的分类,是仍然需要深入探讨的课题。

第三节 技术的体系结构

一、技术系统与技术体系

技术系统和技术体系两个术语,如果从各种技术之间的联系这个意义上理解,是具有相似含义的,英文译名都是 technological system。但在实际使用中,两者还是有较大差别的。

一般地,我们把从工程学或工艺学角度出发,与同一类自然规律及改造自然的规律有关的、相互联系的技术整体称为技术系统。例如水力发电技术系统就是利用水的势能变为电能的技术过程,它由水坝建筑、水轮装置和发电设备三种主要技术相互联系组合成为一个技术系统。技术系统是由技术要素组成的,不同的技术要素和技术要素的不同组合可以形成不同的技术系统。例如,由劳动力技术要素、劳动对象技术要素、劳动工具技术要素组合可以形成经济学技术系统;由价值、情报、生产、使用等要素组合可以形成社会学技术系统;由主体、工具、控制、动力、材料等要素组合可以形成工程技术系统。由于技术要素的多样性和组合构成的复杂性,就产生了技术系统的复杂性。弄清技术系统及其组成要素的相互关系,有助于揭示技术的内在机制、结构和功能,掌握技术发展的内在规律,为技术预测规划和技术开发提供理论指导。

然而,如前已经指出,技术不但具有自然属性,还有社会属性,因此技术之间的联系不可能仅仅是按自然规律建立起来的。这样,我们就需要从自然规律和社会条件两个方面出发考察技术之间的关系,并把各种技术在自然规律和社会因素共同制约下形成的具

有特定结构和功能的技术系统,称之为技术体系。技术体系是技术在社会中现实存在的方式,它超出了单一工程学或工艺学的范围,把技术之间的联系同时放到社会条件下加以考察。一项新的技术发明产生后,能否在生产中加以应用,并与已有的技术联系起来构成新的技术体系,除发明自身具有实用性外,还要有一系列其他的技术条件,如与之相应的新材料、新工艺、新动力和新知识等物质上和知识上的前提。但这还是不够的,还需要有社会价值观念、文化基础、经济关系的各种条件配合。

技术体系的形成和确立,首先会受到国家、民族和地区具体条件的制约。世界上存在共同的科学原理、技术原理,但却没有由各种完全相同技术所组成的技术体系,因为所有技术体系都有其赖以确立的生存土壤。比如世界各国都有汽车,而汽车的技术原理也基本相同,但各国汽车的设计思想、材料结构、外观造型往往差别很大,其中就有深刻的价值观念、风俗习惯、思维模式在发生作用。一项技术原则上可以为各个国家、民族和地区所利用,但利用的程度、效果在不同的地方是不可能完全一样情况的。

技术体系的形成和确立,同时受到社会经济水平和能力的制约。有许多技术尽管完全可以投入应用,但因为受到经济能力的限制,或者经济上并不能产生效益,也只好不进入现有的技术体系。例如人们看到炼油厂的烟囱顶上总是燃烧着火焰,会想到能源的浪费,希望能加以利用。虽然,人们对这部分能量的回收技术不一定会感到困难,但由于这些烧掉的气体成分和产生量在石油精炼过程中变化很大,要回收需要相当大的投资,采取许多复杂的技术措施。从技术的经济学角度看,投入和回收差距悬殊,倒是烧掉的方法最经济。这样,废气回收技术就暂时不能组合到炼油技术体系中。又如炼钢,从化学角度看直接还原方法最好,这种技术也已被发明了出来,但在经济上却难以承受,所以现代条件下只能采用迂回的方法:先从矿石中炼出含碳量饱和的生铁,再到炼钢炉中脱

碳、脱硫,最后铸成钢锭或连续轧制。许多技术体系的形成,都是在经济条件制约下的一种特定技术要素组合,往往表现出技术先进性对技术经济性的一种妥协。

技术体系的形成和确立,还受到社会整体文化知识水平的制约。一个工程技术体系中,如果主体的文化水平很低,则先进的工具、高度的自动控制、高效的能源动力和优质的材料都决不可能被有效利用,即使配备得很完美,也只能闲置、浪费甚至损坏。西方发达国家的技术体系是与这些国家国民的文化素质相联系的,引进国外先进技术必须同步进行人员培训,其原因也就在此。

二、技术体系的演化变革

我们说,技术是一个历史的范畴,因此,技术体系也同样经历着历史的演化和变革。随着社会的发展和进步,技术体系中的某些技术要素从主要地位退到次要地位甚至退出技术体系的行列,而另一些技术要素则会产生、兴起,加入技术体系的行列,并成为占据主要地位的要素。无论从具有全局意义的社会整体技术体系考察,还是在一个局部、一个产业的范围内来讨论,技术体系既具有相对稳定性,也不可避免存在变革的内在因素。任何一个技术体系,在它开始形成的时候,总是具有较大的能满足社会需要的潜力,然而这种满足社会需要的潜力并非没有极限,当社会需要不断发展超过技术体系原有容纳极限时,相对稳定的平衡就被打破,从而导致技术体系的演化,并产生出新的技术体系逐步取代旧的技术体系。

从全社会整体技术体系的角度,日本技术论学者星野芳郎认为,在近代技术史上曾经出现过三次技术体系更迭。“第一技术体系”的形成和发展在18世纪末到19世纪末。这一时期在资本主义原始积累推动下,由于纺织业的迅速发展,客观上要求提供一种能代替手工劳动的强大动力能源,促成了蒸汽机技术的诞生。随着蒸

汽机技术的广泛应用,制造蒸汽机和各种工作机器所需的坚固耐用金属材料需求大大增加,钢铁工业技术大为发展,并带动纺织、采矿、机械加工和制造、交通运输、化学工业各部门技术的变革。在“第一技术体系”中蒸汽动力技术是主导技术,决定着这一时期技术的趋势和特点。随着资本主义社会从自由阶段向垄断阶段发展,随着社会生产的高速增长,蒸汽动力已经难以满足需要了,社会要求提供更为强大和廉价的动力能源,从而出现了“第二技术体系”。“第二技术体系”中的主导技术是电力和内燃机技术,主导技术的更替引起了原有技术体系的退耦,整个技术体系发生了一系列连锁反应。发电机、电动机的发明和电力广泛应用,促使一系列与电气技术相关的新材料出现;寻找制造电热设备所需要的耐高温大电阻导体,促进了镍铬合金的研制开发;铁镍合金的发现最早与寻找电灯泡中不漏气的引线相关;各类气体、液体、固体物质的电性能也因电力技术应用的需要而被发现,一大批导体、绝缘体为人们所认识并制造出来;电力的应用还带动了控制技术,一系列新兴的技术涌现产生。“第二技术体系”从19世纪下半叶开始到20世纪上半叶,而从20世纪40年代开始则进入了“第三技术体系”时期。“第三技术体系”至今仍在延续,其发端是第二次世界大战期间,军事的需要刺激了火箭、雷达、核能和电子计算机技术产生,到六七十年代又出现了尖端技术群,其中微电子技术处于核心的主导技术地位,并已经逐步取代了工业化时代的“第二技术体系”。星野芳郎关于三个技术体系更迭的观点对我们把握技术体系演变具有很好的启迪意义。

如果对技术体系演变作进一步的思考,我们还可以寻找在技术体系演变背后的若干原因。首先,技术发展的历史告诉我们,技术体系变革的动力来自社会政治、经济、军事等方面对于新技术的需要,这种需要规定了技术体系本身及技术体系内部各类技术发展的先后序列,并引发主导技术的产生和新技术体系形成与发展。

其次,近代技术体系变革过程与自然科学理论的重大发现密切相关。18世纪经典力学的完成和分子热运动原理的发现,为蒸汽动力技术的出现提供了现实科学背景,19世纪中叶法拉第——麦克斯韦电磁理论则为电力的应用提供了直接理论依据,20世纪初期以来的物理学革命和系统科学理论,则是第三技术体系得以形成的理论背景。第三,社会宏观技术体系的变革与主导技术和主导技术群的更替直接相关。因为处于主导地位的技术代表着一定时期技术体系发展的主流和趋势,决定着其他相关技术的性质和方向。

三、技术联系方式与技术结构

从系统论的角度看,任何技术系统或技术体系的功能是由其内部结构决定的,而结构就是系统内各要素相互联系的方式。技术要素之间相互联系的形式是多种多样的,我们这里主要从技术目的和技术手段的关系上来考察一下技术之间的联系方式,这是因为,任何技术之间的联系并不是任意的,技术之间的各种结合,都必须在符合自然规律的基础上符合技术目的的需要,离开技术目的的各种技术结合或者是不存在的,或者是没有意义的。

技术目的和技术手段之间联系有一个目的对应多种手段的情况。比如为了选取铁矿石这一目的,有重选法、磁选法、浮选法等各种技术手段。重选法利用比重不同达到矿石与废石分离的技术目的,属于机械技术;磁选法利用铁矿石的磁性使矿石与废石分离,属于物理技术;浮选法则通过不同化学药剂的作用让矿石与废石分离,属于化工技术。这些技术手段既可以单独使用,也可以在一个地方、一个企业、甚至一个作业过程中以不同的组合方式采用。这是基本处在同一技术水平上多种技术手段的联系结合。还有处于不同技术水平上各种技术手段的联系。像实现控制的技术手段,有人工控制、机电控制、电子程序控制和计算机智能控制等各种处于不同层次的技术,但为了达到控制的目的,这些不同水平的技术

在不同的生产部门或不同企业同时存在并相互联系,构成了现实的技术结构。

技术目的和技术手段之间联系还有一种手段用于多种目的的情况。瓦特对蒸汽机的革命性改进起初仅是为了提高纽可门机的热效率,帮助矿工抽取矿井中的水,限于作为采掘生产技术系统的一部分。后来这一动力技术手段被广泛用于其他技术目的,最终导致整个社会技术体系重大变革。事实上,许多新技术手段刚发明时,其应用范围是难以充分预料到的,像电瓶的发明不是为了电炉炼钢,纯氧制造技术也不是因为炼钢要吹氧脱碳而发明的,但是这些手段后来都进入了炼钢的技术系统,成为其重要的结构组成部分。

技术目的和技术手段之间另外存在一种相互连锁的联系。一项技术总是具有某种特定功能,可用于实现特定的目的。但这一目的有很多时候并不是或不完全是人们所期望的最终目的。例如选矿技术是要选取铁矿,但选出铁矿以后还要炼铁、炼钢、轧制才成为钢材,才能用于制造机器的技术目的。这样,各种技术手段和技术目的之间就存在连锁关系,上一道技术过程中的技术目的会成为下一个技术过程中的手段,从而把一系列技术联系起来。生产过程中,技术目的与手段连锁关系的另一种形式是技术目的引发新的技术手段出现,而新的技术手段又成为一种技术目的,引起相应其他手段的产生。例如由于飞梭的发明,引起了纺织技术、印染技术、动力技术的变革,而印染技术又引起了制酸、制碱技术的发明和应用。生产过程中的不平衡导致了技术目的和技术手段之间的矛盾运动,并推动了技术系统或技术体系的演化发展。

相互依存和渗透是技术目的与技术手段联系的又一种形式。为了实现一种技术目的,很多情况下仅仅使用单一技术手段难以做到,从而就需要若干种技术手段通过一定的相互依存关系组合起来。例如石油化工技术的目的是生产各种石化制品,为此目的需

要有耐高温、高压和腐蚀的化工机械技术,有温度、压力、流量各参数的计量测试技术,有关于产量、质量、人流、物流和设备的自动控制技术等等,只有各种技术手段的有机结合才能达到预定的目的。

技术之间的联系方式决定了技术的结构,而技术结构组成是否合理,存在若干基本的原则,主要有:

目的同一原则。各种不同技术,为了一个共同的目的,结成一个整体、一个体系或一个系统,这里的结合,都必须围绕统一的目的。例如人类要实现开发宇宙空间的目的,就要把火箭技术、人造卫星技术、控制制导技术以及电子、电机、通讯、气象、化工、材料等相关技术组织起来,形成航天工业技术系统。

功能匹配原则。任何一个技术体系或系统,要达到一定的技术目的,需要把各种功能的专门技术,按照它们各自的特点匹配成一个能实现相应技术目的的功能整体。工业机器人实际上是一个能够由电脑控制的多功能机器装置,它需要把电子传感技术、电视技术、录像技术、图像识别和处理技术、计算机技术等不同功能的技术按照功能匹配原则组合构成一个技术系统。如果各项技术之间功能不匹配,就难以实现既定的技术目的。

生产平衡原则。技术总是要用于产品生产之中,生产中既有产品品质的要求,也有产品量的规定。为了在生产上保持均衡,技术的结构必须与之相适应。生产中因某些技术落后成为制约生产效率提高的“瓶颈”时,就必然促进先进技术的发明、引进和应用,以维持系统的平衡。

社会协调原则。技术结构的形成会受到社会政治、经济、文化、教育、道德、民族传统等方面因素的影响。不能设想,在一个经济和文化处于落后状态的地区,会具有很大高新技术比例的技术结构。任何先进技术的引进和采用,都应当与已有的技术基础、文化价值观念、使用新技术的人员和环境相协调、相适应,否则难以形成合理的技术结构,发挥应有的功能。

技术结构是一种历史形态,技术的构成关系总是反映一定历史时期一个国家、民族和地区的经济条件和生产力发展水平,它是一个动态的结构,必然要在技术内外部矛盾的综合作用下,随着技术整体的发展而不断发生变化。技术结构是技术功能的基础,技术结构的变化将引起技术功能的变化,从而推动社会生产力的变化。

本章进一步阅读书目

1. 远德玉,陈昌曙著.论技术.沈阳:辽宁科学技术出版社,1986
2. 邓增树主编.技术学导论.上海:上海科技文献出版社,1987

复习思考题

1. 如何理解技术的本质特征与基本属性?它对工程技术人员有何意义?
2. 技术目的与技术手段之间有哪些联系形式?它们对技术的体系结构形成影响如何?

第九章 技术方法

技术方法是指技术研究和开发活动中人们的行为方式。近代以来随着科学与技术关系的日益密切,自然科学研究中观察、实验、归纳、比较、分析、综合等方法也被移植到技术研究中,使得技术方法迅速发展,形成了错综复杂、纵横交错的技术方法体系。本章从技术创造的一般程序出发,重点讨论技术预测、技术评估等宏观层次技术方法和技术发明、技术设计、技术试验等微观层次的技术方法。这些方法都是从特殊技术方法中抽象概括出来的一般方法,在多数情况下适用于工程技术研究的各个领域。

第一节 技术创造过程与技术方法

一、技术创造的一般程序

技术研究有多种类型,包括技术开发、技术发明、技术革新和技术改造等等。种类繁多的技术研究每一项都有自己的特殊性,但也存在某些共性。一般说来,技术研究本质上是一个不断提出问题并解决问题的创造过程,都要经过提出问题、寻求解决问题的方案或解法、实现解法以及验证等各个阶段。对这个创造过程作一个相对完整描述,可以得到如图 9-1 所示的框图。与这一程序相对应,就是技术一般方法的系列。

图 9-1 所示的技术创造过程,还可以分为四个阶段。

第一阶段为课题规划阶段,包括社会需求确立、技术发展预测、技术目的设定、技术后果评估几个步骤。一切技术创造活动,都

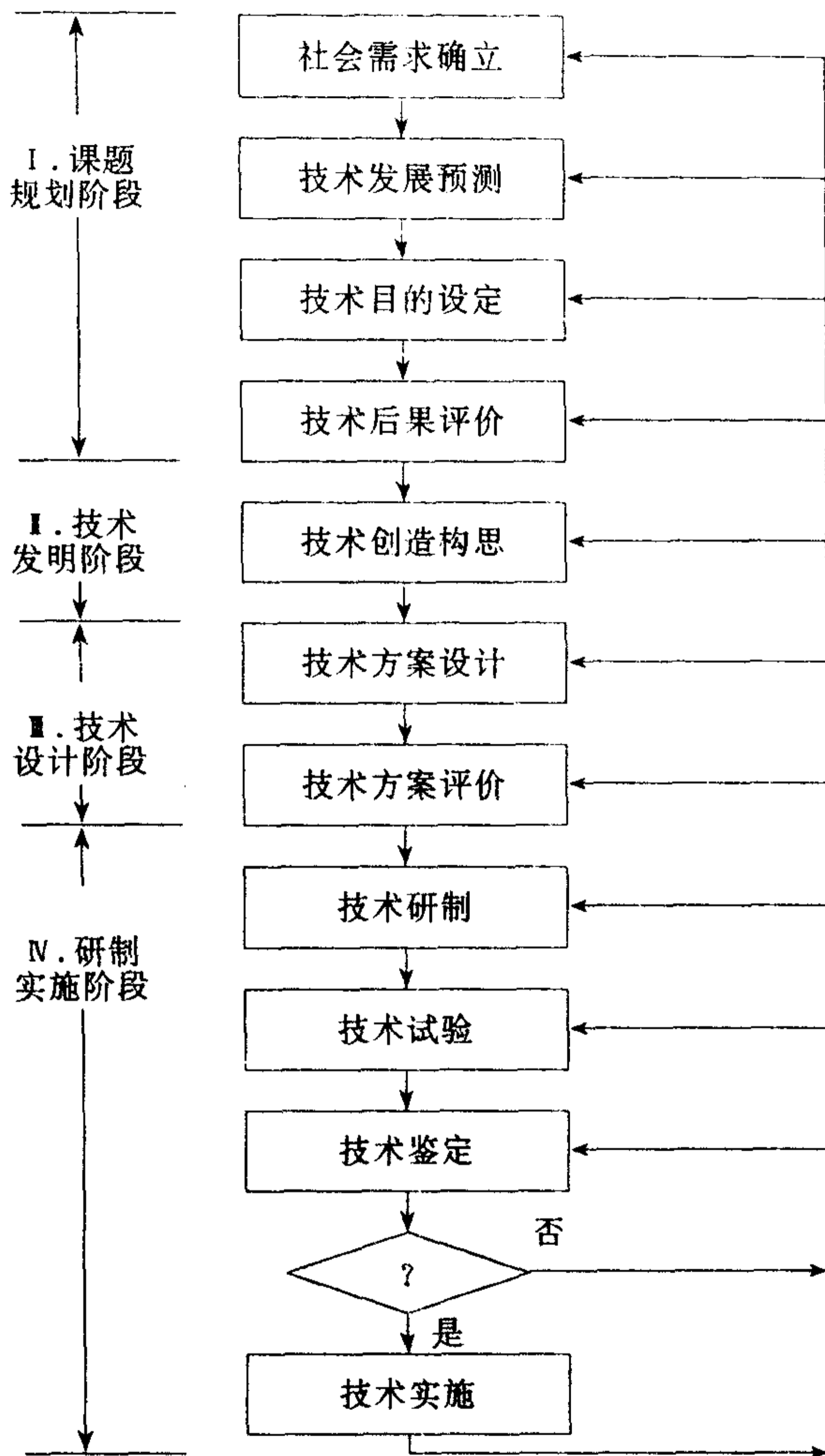


图9-1 技术创造一般过程

是为了适应社会的某种需要(包括科学技术自身发展的需要)而进行的有明确目标指向的活动。对各种社会需要进行深入分析,并对科学技术本身能否满足相关的需要,也即实现社会需要的可能性

作出科学估计,就要进行技术发展预测。经过认真的技术经济预测(预测前和预测过程中必须尽可能全面搜集相关资料和信息),对于技术未来发展的趋势、可能突破的方向、市场实际和潜在需求做到胸中有数,从而就可以确定研究课题,明确主攻方向。这个主攻方向就是技术创造的目标,也就是以技术语言表述的技术目的。设定技术目的之后还必须对将要实现的技术进展从经济、社会以及自然界各个侧面,估计可能带来的近期和长远、积极和消极的后果。

第二阶段为创造构思、也即技术发明的阶段,这是技术创造中最关键、最富创造性的阶段。这个阶段中创造主体要充分利用已知的科学规律和技术成果为客体建立赖以运行的基本原理,是技术创造主体在观念中构建对象性客体的过程。它要寻找能够在既定条件下满足课题要求的新方案,提出技术原理和解决问题的基本思路。这个阶段对人力、物力和时间的有形消耗不太大,但对创造者的创造精神和素质却有特殊的要求。工程技术人员必须善于应用一切逻辑和非逻辑的思维,熟练使用各种创造技法,提出尽可能多的新颖独特的构思方案。

第三阶段为方案设计阶段,它要把创造性构思所获得的设想具体化,通过概略设计、技术设计、施工图设计等若干环节,为所要创造的人工系统寻找和确定一种结构形式以达到预期目的。它既是把技术原理付诸实现的过程,也是对技术原理检验和选择的过程。技术方案设计出来后,还应当深入具体地对其在技术上的先进性、经济上的合理性、工艺上的可行性进行评价。这种评价除了会对某种方案提出肯定或否定意见外,还更多地是为了方案的优化。因此,技术方案设计中往往需要提出多种方案以供比较、借鉴和选择。技术方案的设计及其评价,是技术创造从观念建构向物化建构转化的关节点,这一环节深入、细致、全面,会避免许多重大的浪费和损失。

第四阶段是研制和实施阶段。通过了技术设计方案的评价,技术创造便进入了物化形态的研制、试验环节。它要根据设计提供的图纸和技术文件进行产品研制、小批量试验以及技术鉴定。鉴定通过的技术成果即可转入实施,实施中还可能出现问题,需要反馈到技术设计阶段,进行方案的调整和改进。

技术创造活动实际上是一个十分复杂的过程,过程中各个阶段的划分和前后关系,并不是绝对的,以上给出的一般程序,只是一种粗略的纵向关系的描述。实际的技术创造活动中,还有各个环节、各种方法之间的横向联系,表现为一个阶段会涉及许多不同方法步骤,如方案设计阶段也有创造发明、试验评价的步骤;或者表现为同一个方法步骤会在不同的创造阶段多次使用。就一项具体的技术创造过程而言,虽然总体离不开一般的逻辑程序,但在每个具体的程序阶段又会有不同的具体表现。因此,不能把本身丰富多彩、灵活多变的创造活动程式化,把技术方法的应用绝对化。

二、技术方法的基本特点

人类认识自然和改造自然的具有密切的相关性。科学的任务主要是从实践活动中了解自然,认识自然的本质及其运动、变化、发展的规律,工程技术的任务则重在运用科学所发现的规律直接从事对自然的改造、变革和利用。从根本上而言,两者在许多方面是相通的,因此科学方法的许多成果对于工程技术有直接应用的价值。例如科研选题方法、观察方法、实验方法、逻辑思维方法、数学方法、非逻辑思维方法、系统科学方法既是科学研究方法论的研究对象,又对工程技术的研究具有普遍性意义。

另一方面,我们还必须看到,工程技术对自然规律的运用过程中,有一个再认识的实践过程,一个从理论到现实的转化过程,因而工程技术方法又具有自身的一些特点,这些特点与工程技术的特点是紧密相关的。

首先是技术方法的社会性。由于技术具有自然和社会双重属性,技术的物质形态作为人工自然物要受到自然规律的支配;技术又是社会存在物,要受到社会规律支配。技术方法是实现技术目标、规范技术创造活动的手段,就必须符合技术本身的属性,既要应用自然规律又要应用社会规律,对技术方法的选择,不可避免要考虑各种社会因素的制约。

其次是技术方法的实用性。与科学知识力求反映客观真理并且越精确越好的要求不同,技术知识主要是解决实际问题,往往越实用越好。因此技术方法更多地体现为实践操作规则或模式。有时为了实用会降低精确性要求而取近似解。

第三是技术方法的经验性。科学研究虽然也离不开经验,但由于其目的是要揭示客观事物发展变化的普通规律,因而理论方法的地位更为特殊,其成果形式无一例外具有抽象特征。而技术研究中经验的特征更为显著,不仅古代工匠要运用经验和技能,现代工程技术专家也必须具有丰富的经验才能切实解决具体复杂的实践问题。例如技术运用中安全系数的确定,尽管可靠性理论提供了计算方法和数值,但仍难以囊括全部的不确定因素,需要求助经验和试验。

第四是技术方法的综合性。自然科学研究中为了获得对自然规律的认识,常常要舍弃一些偶然的、次要的因素,在理想化的条件下进行探索。而工程技术研究中那些被舍弃的因素又必须在现实条件中被恢复起来。如钢结构强度问题,力学研究可以撇开大气和电化学腐蚀问题,工程技术研究中就必须考虑腐蚀。每一项技术往往都不是仅与一门学科有关,而要运用多学科综合知识,涉及经济、社会、法律、环境、心理、生理各方面因素。像研制电气控制柜,科学家着眼于电路原理及其效率,工程师则要综合考虑经济成本、配件供应、操作性能、可靠性、可维护性乃至外观美感和与人的界面等等。

三、技术方法的若干原则

从技术创造的一般程序和技术方法的基本特点,我们可以得到技术方法所应当遵循的若干原则。

1. 自然规律与社会规律相统一的原则

工程技术要研究对自然的改造和利用,首先必须遵循自然本身的规律。违背自然规律,尽管有良好的社会动机,在技术上也必定不可能实现。形形色色的“永动机”试验、“水变油”神话最后都归于失败的根本原因就是违背了自然规律。工程技术的研究课题大都来自社会需求,社会的经济发展规律对技术方法的选择有重要影响。国家的技术发展战略、资源能源政策、环境保护法律、劳动安全要求都是社会规律的具体体现,规定着技术研究的目标和方向、规模和速度,决定着技术创造活动的生命。因此,必须把技术活动的整个过程及其方法的应用,放在自然规律与社会规律交叉的结合点上加以考虑。

2. 需要性与可行性相统一的原则

社会的需要是多种多样的,有科学研究领域的技术需求,生产实践领域的技术需求,军事战争领域的技术需求,文教卫生领域的技术需求,生态环境领域的技术需求,等等。社会技术需求又是没有止境的,一种需求满足之后又会产生出更多的技术需求。然而社会对技术需求的满足又是逐步的,它要受到各种主观和客观条件的制约,这些条件包括:理论知识等科学条件,材料、动力、工艺、控制等工程技术本身的条件,资金、成本、市场、劳动力素质等经济条件,资源、地理、污染等环境条件,法律、教育、道德伦理、安全、习俗等政治文化条件。众多的约束条件要求工程技术人员能够统筹兼顾,依据一定的价值标准和技术规范,综合需要性与可行性两个方面,求得合理的工程技术结果。

3. 技术先进性与经济合理性相统一的原则

· 追求技术上的创造性和先进性,是每一个工程技术专家的重要目标。一般说来,技术的先进性意味着动能的完善、效率的提高、可靠性增加。然而在具体的技术活动中,先进性的提高常常又以消耗增加、成本提高为代价,因此一味追求技术先进性并不可取,而要与经济合理性相统一。考虑经济合理性要估算技术项目开发的投入产出关系,核算新技术在整个生命周期中的成本,投产后规模生产的前景及可能的经济效益。现实技术活动中技术先进性受制于经济合理性的情况并不少见。判断工程技术专家水平的高低,最终不在于能提出多少技术上非常先进的方案,而在于能在经济合理性的前提下达到技术上最大可能的先进性。

第二节 技术预测方法

一、技术预测的意义和特点

预测是指根据已知去预见和推测未知,根据事物的过去和现在对事物未来发展的方向、趋势、状态和结果的一种预见和推测。预测要根据客观条件和资料、主观经验和教训、演变逻辑和推断,寻求事物发展可能的规律。预测的范围相当广泛,可以涉及军事、政治、经济、文化、社会环境、人口、资源等众多领域,在本质上是一种科学认识的方法。以技术作为对象的预测我们称之为技术预测,它首先在本世纪四、五十年代出现于美国。这与现代技术革命的兴起密切相关。由于现代技术知识密集,新产品层出不穷,更新周期快,工艺和管理灵活,竞争相当激烈,为了提高新技术的成功率并使它尽快地应用于尽可能广泛的领域,就需要进行技术预测。如果没有必要的预测或者预测不准确,就会导致决策失误而造成损失。例如新建一个大型化工联合企业,从设计到投产需 10 年左右时间,如不能在设计时预见到化学工业 10 年后的发展状况,就可能

使企业不等竣工便已过时。又如前苏联 50 年代把电子管的小型化作为电子技术的主攻方向,没有预见到半导体技术的发展趋势,微电子技术起步迟缓,造成后来计算机工业的落后。可见,准确、科学的预测,是提高政府部门、企业、科研机构决策质量的重要基础。正确预测所带来的不但有社会效益,也有直接经济效益。据估计,科技预测费一般只占科研投资 1%,但每元预测费可以获得约 50 元的经济效益。

技术预测通常都是发展预测,要横跨科学技术和社会经济两大领域,与规划、计划、开发、管理关系极为密切。它的基本任务包括:揭示经济、社会、科技、管理的发展趋势;分析决定这一趋势的主要相关因素;把握相关地区、行业某一个时期社会经济和科学技术发展的特点;预计科技研究成果推广应用的远景;提出促进新技术发展的优化方案和途径。

技术预测的上述任务规定了它的一些基本特点:

概率推断特点。在技术研究与开发活动中,由于受到制约和影响的因素很多,预测目标的发展过程具有很大随机性。预测对象发展的时间序列不是某个确定函数产生的,而应当看作是随机过程产生的。通过对随机过程的概率预测,既给出可能出现的结果状态,还需要给出该结果出现的某种概率。对预测结果的绝对严格的决定性要求是不切实际的,或者说绝对严格决定性事物是不必预测的;另外对于具有充分不定性即完全偶然性的事物也是无法预测的。实际的预测总是具有不定性,这种不定性就是处于严格决定性和完全偶然性两端之间的某种概率,预测所获得的结果实际上是一种概率推断。

结论误差特点。任何预测的结果必定存在误差,没有误差的预测只能是虚假的预测。要使存在误差的预测结果能够使用,就需要重视对误差的估计,提供关于结果准确程度和应用范围的偏差数值。结论的误差度还会与预测期限和精确度要求相关,一般地,长

期预测的不定性也即误差比中短期预测要大,预测的时间越短误差就可能越小。对预测精确度要求越高,预测结果的正确率也会越低。实际预测中,如果能够综合地进行多项预测,其结果误差有可能减少,因为在综合过程中,各单项的不定性会得到一定程度的抵消。

可检验性特点。预测是对事物或事件未来状态和可能结果的一种预见和推测,这种预见和推测最终能否符合实际,是否具有客观真理性,有待时间的检验。这里可检验性的含义有两层:一是预测的结果不应是模棱两可的,预测不是算命和巫术,预测得出的结论必须是明确的,能够被检验(包括验证和否证);二是预测所用的方法也必须经得起检验,这样就在预测和幻想之间划出了明确的界限。因为幻想也可能言中未来发生的某种事物,但它没有经得起检验的科学的方法,言中是一种纯粹的偶然巧合。

二、技术预测方法的理论基础

技术预测是人类的一种认识活动,预测是否可能,预测的前提条件是什么,这其中包含深刻的哲学认识论问题。对于预测,哲学家中间有着两种截然不同的看法。一些哲学家认为,世界上的万事万物瞬息万变,根本无规律可循,要对未来进行预测也根本不可能。另一些哲学家则相信,物质世界不仅有客观实在性,而且有内在规律性,其变化的总体趋势人们是可以通过一定方法加以把握的,因此预测是可能的。我们认为,虽然技术的发展和一切其它事物的发展一样,不可避免要受到各种自然和社会因素的影响,表现出某种偶然性,但是,“在表面上是偶然性起作用的地方,这种偶然性始终是受内部的隐蔽着的规律支配的,而问题只是在于发现这些规律。”^①技术本身发展总是按一定规律逐步演变的,预测正是

^① 《马克思恩格斯全集》第21卷,第341页。

对这种规律的一种认识和把握。

我们从技术发展史上看到,一旦社会对某种技术有了需求,并具备了必要的条件,常常会有几个人同时作出相关发明,例如以内燃机为动力的汽车是由戴姆勒和本茨在同一年分别发明的,贝尔和格雷向美国政府申请电话发明专利的时间前后只差几个小时。这种不约而同的技术发明现象产生,背后蕴藏着技术预测能得以应用的具体原因。

首先,技术具有很强的继承性。任何技术的进步,都是在原有技术基础上产生的。从生产实践经验中产生的技术是如此,以科学理论为指导获得的技术创造也是如此。在现代社会里,从事技术发展研究的工程技术专家,由于受到的教育在总的背景上有相通之处,对前人提供的科学技术成果能够共同积累、继承和借鉴,这就为新的技术创造奠定了重要基础。这个基础,既可供许多人同时作出发明创造所用,也为技术预测提供了逻辑起点。

其次,技术发展总要表现为一个过程。这个过程在不同的专业领域和不同历史条件下会有不同的表现,但过程进行中必定有大量的技术信息在交换和流动,从基础研究完成到应用研究开始,再到开发研究,学术刊物对某个领域的研究进展在报道的数量上总是不断增加的,密切注意各种学术刊物上提供的技术信息,就成为技术预测把握技术发展脉络的重要途径。

第三,技术之间存在着密切的相互联系。一种技术的发明往往和其他相关技术的出现是相互伴随的,在现实对自然的变革中,单一技术总是难以成功,需要多种技术相互配套,综合集成;某个技术的突破,又会带动其他技术的进步。例如当大功率火车机车发明时,由于铁轨接头太多,无法开得较快,于是就出现了焊接铁轨的新工艺,提高了火车速度。火车速度提高后,又出现了如何使之停下的问题,从而促进了空气刹车技术的发明。仔细研究各类技术之间的相互关系并找出规律和趋势,就是预测的重要内容。

技术预测中还存在着两对矛盾也需要认真考虑。一对是连续和突变的矛盾。预测的对象具有连续的变化规律,或者说系统在结构上具有稳定性,是对系统进行预测的必要前提,但当系统的自控制能力不能克服突变因素的影响时,事物的发展方向就会发生变化,出现突然的转折。预测对于可能出现的转折点也要进行研究,并把它控制在尽可能小的预测区间内,使预测规律更接近事物演化的真实规律。另一对是随机与约束的矛盾。预测所能搜集到的大量离散或连续的数据(信息),是预测对象千变万化实际现象的反映,这些数据和信息的出现完全是随机的,但也必然受到一定的约束,这种约束所反映的正是事物的稳定的本质属性。预测的根本任务在于从大量随机现象中抓住对象变化所固有的、必然的、稳定的约束条件。

三、技术预测方法的主要类型

技术预测方法种类很多,而且同系统分析、决策学、数理统计等许多方法交叉重叠。据不完全统计,目前世界上关于预测的方法不下 200 种,大多数都可在技术预测中使用。因而从不同的角度,对技术预测方法可以进行不同分类。

从当前常用预测方法角度看,技术预测方法有利用时间序列推测的方法,包括趋势外推法,模式识别法,概率预测法等;有利用模型模拟的方法,包括动态模型法,相互影响模拟技术,投入产出分析,策略俘获技术等;有定性和整体预测方法,包括专家意见调查法,情景分析法,未来选择技术价值预测等等。

从预测所依据的信息来源分,有以征询专家意见为预测信息来源的调查征询法,有利用过去历史资料及发展规律关系的趋势外推法,有根据一系列参数、条件、因果关系进行模拟的数学模型法。

从预测的学科对象看,有只适用于一门学科的部门学科预测

法,适用于一门学科以上的边缘学科预测法,还有适用各种学科的综合学科预测法。

预测方法的分类远不止上述情况,而且各种分类也并非界限绝对分明。从方法论的角度分析,逻辑分类方法尤其值得重视。在逻辑上可以把预测方法分为类推性预测、归纳性预测、演绎性预测三大类,下面作一简单讨论。

类推性预测方法是指两个技术系统之间具有相同或相似特征,已知其中一个技术系统的发展变化过程,根据类推原则,可以推出另一个技术系统的发展趋势。类推方法的客观依据是技术系统特征之间具有相关联系,先发展的技术系统即先行技术与发展滞后的技术系统能够逻辑类比。例如,军用飞机与民用飞机的速度具有相关性,本世纪 20 年代,军用飞机的速度领先民用飞机 5 年,50 年代领先 11 年,70 年代领先 15 年,据此可以由军用飞机速度类推民用飞机速度的变化趋势。类推预测方法的逻辑基础是类比推理,是一种从个别到个别的逻辑方法,虽然具有较大的创造性,但其结论的正确与否具有或然性。

归纳性预测方法是从各种不同的个别预测判断和陈述出发,经过归纳推理的逻辑步骤,概括出关于未来的普遍的判断和陈述的过程。在定性预测中使用较为普遍的特尔菲法即专家集体预测法,就是一种典型的归纳预测方法。归纳是从个别出发达到一般的逻辑过程,由于个别判断和陈述中包含着某种一般性,因此归纳预测所得到的结论具有一定的可靠性。人们通常认为,这种结论的可靠性常常和所搜集的个别断别和陈述的数量多少成正比,所以为了使归纳预测法的结论更为准确要采用有限度地增加个别事例的做法,例如增加对专家意见征询的人数和次数。但是我们还必须清醒地认识到,由于归纳方法本身存在的不可避免的局限,不管如何增加个别事例的数量,使用这类方法所得的预测结论肯定带有或多或少的或然性。

演绎性预测方法的逻辑基础是演绎推理。它是根据有关预测对象的历史及现状的资料数据,建立相应的数学模型,并运用数学方法求解各种待定系数,从而得到一条预测对象发展趋势的曲线,并进一步外推获得预测对象未来特征的相关参数。趋势外推法,计算机模拟法等是常见的演绎性预测方法。一般而言,演绎性预测方法运用中,如果演绎所依据的前提准确性高,演绎过程中使用的规则和程序合理,并能对推理的边界条件给出相应的界定,其预测所得到的结论可靠性比起类比性预测方法和归纳性预测方法来要高一些。例如,1953年美国的戴维斯博士在空军的协助下,使用速度趋势曲线预测太空探险发展,准确地预言了人类将在1957年和1959年分别使火箭达到进入空间轨道和脱离空间轨道的速度。

实际上,三类预测方法的特点不同,各有优劣之处,具体应用中要有针对性地选择,或者将它们结合起来综合应用,以达到较好的效果。

第三节 技术评估方法

一、技术评估的作用与特点

技术评估是20世纪60年代首先在美国兴起的,以后很快向欧洲、日本、加拿大等发达国家传播,并且影响到发展中国家。从技术自身发展的角度分析,技术评估产生有深刻的时代背景。首先是技术活动的领域不断扩大,涉及到人类活动的每一个领域,技术所造就的大型化、大容量和产品大量普及,使其社会的正面和负面影响日益增大。其次是技术中科学知识因素比重增加,技术从发明到实用的周期越来越短,新技术的迅速实用化和普及化,使人类社会对新技术适应过程过短而产生了问题。第三是技术使用密度大幅度提高后负面效应积累迅速膨胀,从而爆发了一系列的社会和自

然环境问题。另外,随着物质生活的丰富,人们在精神和心理上满足的需要也相应提高,对技术发展的某些不良后果变得越来越难以容忍,对技术提出了更高要求。因此,技术评估应运而生。所谓技术评估,就是采用科学的方法,预先从各个方面系统地对技术实践的利弊得失进行综合评价。技术评估以社会总体利益最佳化为目标,不仅重视技术实践带来的利益,还同时注意潜在的、高次级的、不可逆的消极后果。它着眼于人与技术、社会与技术的关系,着力于长期的、重大的、全局性的问题。

技术评估可以为技术开发提供理论依据。层出不穷的新技术为创造相同使用价值的人工自然提供了多种选择可能,选择什么?如何选择?需要我们将各种技术放到社会、经济、生产、环境等大系统中去,进行全面系统的考察评估,从而作出正确的决策,选择出对社会总体利益最佳的技术加以开发和推广。

技术评估又可以提高技术开发的计划性和主动性。对于企业而言,技术开发是知识经济时代生存与发展的动力源,然而技术开发又是具有很大风险的创造性活动。通过技术评估,可以在很大程度上避免技术开发中的盲目性,降低风险,减少失败,实现有计划的合理开发。

技术评估还有利于实现技术先进性和经济合理性之间的统一。从根本上讲,技术的先进性和经济的合理性应当是一致的,但在具体实践中不能否认两者之间存在某种不一致甚至对立。技术评估则要从长期的、总体的、重大的优化出发,把技术的先进性和经济的高效益结合在一起综合考虑,从而促进技术的全面进步。

因此,技术评估是系统的、有序的、期望指导行动和未来的一项活动,与局部的、单项的技术方案评价不同,有着自身的许多特点:

长期性。技术评估的工作内容丰富,涉及的方面广泛,但评估关心长期的问题甚于近期的眼前问题。技术评估的对象多为与国

计民生息息相关的重大项目,不但要考虑技术的近期、中期和远期影响,还要预测发展趋势及整个影响期间,而技术评价一般着眼于近期的利益问题。

综合性。早期的技术评价是从技术所有者的立场出发,针对某种具体目的进行的,主要研究技术的有用性和经济效益。而技术评估不仅只注意分析技术性能和经济效益,还必须从环境的保护,社会的发展,是否有利于人们生活质量提高等方面,由技术专家和社会学家、法律学家乃至社会公众共同参与,综合运用自然科学、技术科学、社会科学、人文科学的相关知识进行多角度评判。

社会性。技术评估主要以社会宏观系统为对象,以社会总体最佳利益为目标,评估的标准不只是技术的合理性,还要求有社会的合意性,社会的价值判断在技术评估中有着特别突出的作用。因而,技术评估的聚焦点不是学科而是与社会有关的问题,形式不是自由探索而是在社会制约下的定向研究,成果不是精确的公式和定律而是关于技术社会后果的或然性预见。

批判性。技术评估不是描述性、辩护性的,它本质上是一种对技术的、社会的、伦理的批判。有些技术可能会给社会带来暂时的利益却要以牺牲长远利益为代价,有些技术可能会给社会一部分人(集团、地区)带来局部利益却要牺牲大部分人(集团、地区)的利益,因此技术评估重点是充分揭露新技术可能出现的负效应。在对技术的副作用和远期后果进行批判性评估之后,再作抉择,是我们应当具有的一种对全人类包括子孙后代的责任感。

二、技术评估的原则与程序

技术评估是一项综合性强、复杂性大的工作,要保证技术评估的公正性和准确性,需要遵循若干基本原则。

一是系统性原则。技术评估对象是一个由多种因素组成的有机大系统,评估的目标是寻求总体的最优化,因此评估要能够反映

对象系统各方面最重要的功能,从整体、全局、长远利益出发,协调好各子系统之间的关系,以整体统率部分,重视各部分之间的相互作用和影响,达到全面综合的评价。

二是客观性原则。技术评估中目前虽有定性和定量结合的方法,但是评估的结论一般还是表现出定性为主,具有较大的主观成分和任意特性。越是如此,就越要求评估人员在评估过程中尽可能排除主观因素的不利影响,以科学分析为依据,力求评估数据准确可靠,评估结果经得起检验,不以某个集团或个人的局部利益为转移,在全局的、客观的公正立场上,作出符合实际的科学结论。

三是可行性原则。实践证明,在大多数情况下,技术的适用性、可行性并不简单取决于技术本身的先进性,而必须使这种先进性与技术所使用的环境及被应用目的合理耦合。因而评估就必须从需要和可能、现实和未来、政治伦理和经济利益、技术基础和开发能力等多方面进行可行性研究分析。

四是动态性原则。由于技术评估的对象不是一成不变的,它总是受到各种因素影响而处于永恒的变化运动之中。这里的变化不但有必然的能够合乎某种规律的过程,还有许多偶然的带有较大随机性的变异。这样,我们的技术评估就不可能是一次性的一劳永逸的,需要进行动态跟踪,作出滚动性的预测结果。

对于技术评估的程序,不同类型的和要求的评估并不完全相同。例如经济合作与发展组织(OECD)提出的属于决策评估的程序为:

a. 明确问题,从所定技术或开发技术出发,调查被社会各部门提出的影响;从某个问题或某种目的出发,调查什么是解决该问题最有效的技术;

b. 确定评估的性质、范围和必要条件;

c. 列举有关技术的替补方案,详细了解替补技术的物理特性、功能特征、实施范围、将来应用、补充技术、竞争技术,了解替补技

术的未来方向和开发普及因素；

d. 明确受影响的领域,主要考察在经济、职业和社会机构、个人、社会和文化价值、法律制度、社会和政治机构、物理环境方面的影响。并把所有影响按直接影响、严重影响、短期影响、长期后果进行分类,进一步分析产生影响的根源、产生的可能性、发生影响的时间和期限、发生的规模、波及程度、最初应用技术时的状态、可能发生的反抗行为；

e. 明确利害有关者和受影响的部门；

f. 替代方案；

g. 对替代方案综合评价并得出结论。

一般地,可以由图 9-2 给出技术评估的七个步骤：

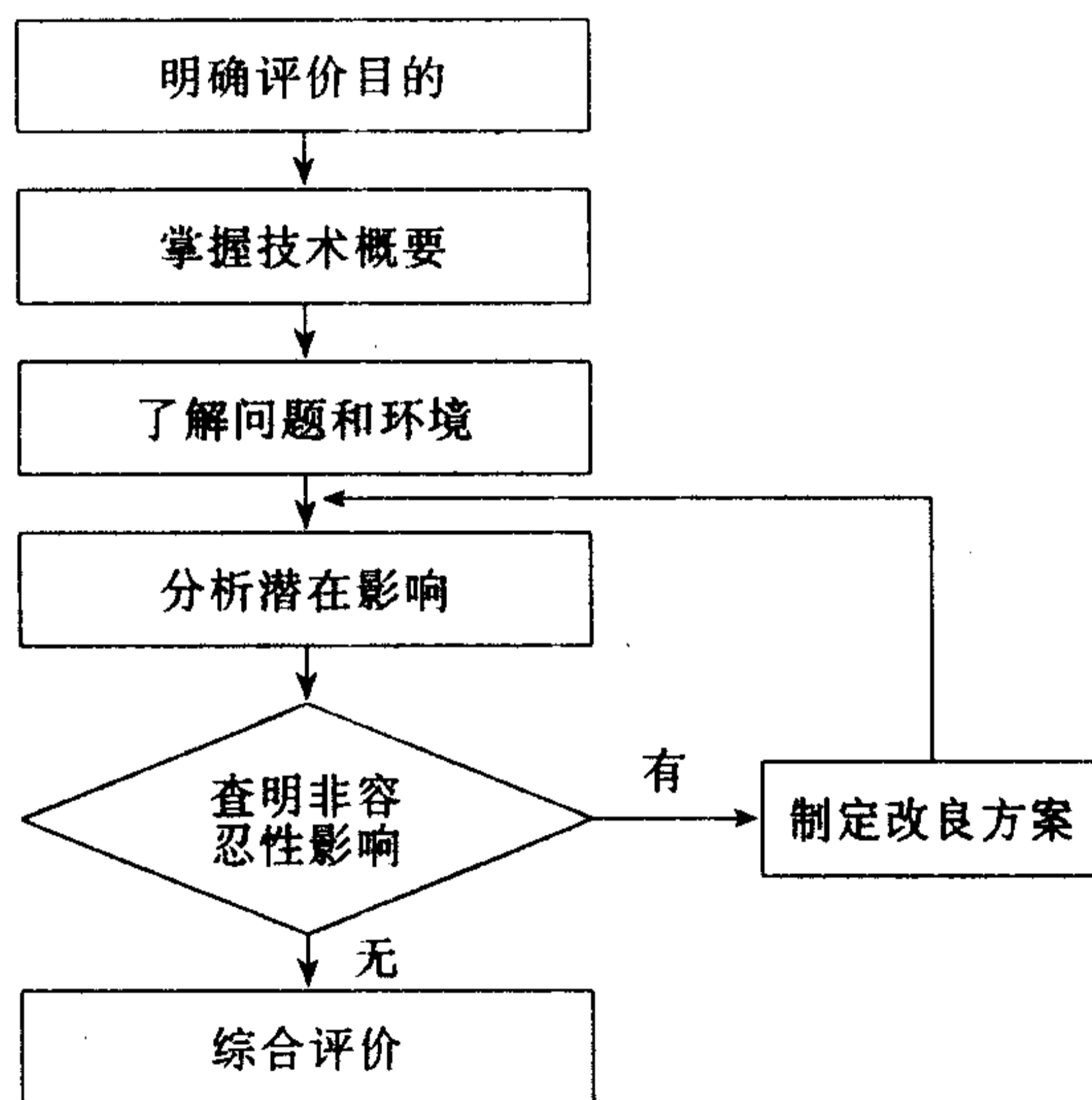


图9-2 技术评估程序框图

明确评估目的就是要确定评估报告最终使用者的需求,限定

评估范围,过宽则泛泛而论、偏离要求,过狭则难免片面性。

掌握技术概要包括掌握新技术开发目的与现有作用相同技术对比,对技术性质、产品结构、工作原理、生产方法、服务方式及开发方法等技术内容有深入了解。

了解问题和环境要求弄清问题产生的原因以及与技术的相互关系、可能产生的后果与社会影响,并要特别关注不同社会价值观带来的认识上差异。

分析潜在影响是技术评估核心环节,从寻找显现的正面影响和潜在的负面影响两个方面入手,对影响的性质、程度、条件先作单个分析,进而作相关分析,从整体上掌握该技术造成的影响全貌。

查明非容忍性影响是在影响分析基础上,对负面影响作出是否会带来危害或具有致命缺陷的判断,如果新技术会引起社会恐慌、造成人体伤残或死亡,即可视作存在非容忍性影响。

制订改良方案是针对致命的非容忍性影响展开的,通过修正开发方向、补救开发措施、限制使用范围等方法予以改良。如果不能解决问题,最终只能停止开发和使用。

综合评价是得出总体的、全面的最后结论,要求用系统分析的方法权衡各种利弊,使技术的正效果得以最大限度发挥,负效果最大可能减少。

上述评估程序在实际操作中,不应当是机械的、一成不变的。由于技术评估对象和目的的差异,也由于技术评估主体的价值观念不同,程序应用会有所区别,但总体逻辑过程仍应具有客观性。

三、技术评估的常用方法

20世纪60年代以来,技术评估方法发展很快,目前已有数百种之多。这些方法分别适用于不同的评估对象和不同的评估阶段。鲁宾斯坦曾经把评估方法分为四大类:专家评价法,包括评分法,

轮廓模型法,检查表格法,实数法等;经济分析法,包括指标公式法,费用效益分析法等;运筹学评价法,如线性规划法,动态规划法,模拟法,相关树法等;综合评价法,即前述三类方法的组合运用。也有人提出实验法、检查表法、脚本法、专家调查法、特尔菲法是技术评估的基本方法。限于篇幅,下面简单介绍技术评估的几种常用方法。

矩阵技术法。它从系统的整体观念出发,站在事物普遍联系的高度,分析研究对象与各种因素之间的相互关联性。由于事物之间的相关性分为随时间变化和不随时间变化两种情况,因而也就有相对应的两种方法。不考虑时间变量的是相关矩阵法,它把评估对象与各评估因子之间的相互联系和相关程度以矩阵形式表示出来,进而获得各评估值以作出评判。考虑时间变量的是交叉影响矩阵法,它从技术之间的相关性出发,考察新技术开发对其他技术促进或抑制的情况,通过多轮的模拟统计,获得各技术发生的最终概率估计,作出新技术开发的评估,这种方法兼有定性与定量结合的优点,相对比较全面。

效果分析法。这类方法评估重点是对象的未来效果即间接效果,而不是直接的第一次效果,常用的方法如效果费用分析法、模糊综合评价法。前者根据技术特性和寿命,分析研究开发、投资和实用各阶段所需费用的关联性,作出效果评价。后者是运用模糊数学的方法,借鉴模糊综合审计的成功经验,力图使对模糊性事物的评价精确化。

多目标评估法。技术通常是一个多目标的复杂系统,与社会系统相互影响和制约,因而评价中必然存在着价值观的对立,例如质量好、成本低、产量高、污染少都可以成为技术目标,这些目标又互相矛盾,如何评估是十分棘手的问题。折衷评价法、化多目标为单目标法、功效系数法等多目标评估法的出现,为此提供了一些工具。例如折衷评价法是把最重要的一对对立目标选出来,确定共同

的评价尺度,再根据各种约束条件提出多种满足多个目标的方案,并比较各方案与对立价值观的异同,作出折衷的选择。

环境评价法。评价对象是生态学、审美学以及人类利益等涉及面非常广的问题,例如在大城市近郊建立大型钢铁企业将产生的环境效应问题。这种评价发生在技术开发和应用的实施之前,具体按照权重和评价分数分级排序的方法进行。

技术再评估法。评估对象为已开发的或需要推广的技术,如农药、高层建筑、核能炼铁、基因重组等技术都被美国政府以法案形式列为技术再评估对象。技术再评估立足于长期、综合、根本的利益,从人的适应力、自然的吸收力、资源的有限性出发,重视价值观变化,重视技术的副作用和负面效果,把技术本身和社会效应两个最基本方面综合起来作出评估。

需要说明的是,所谓常用方法也是一个相对的概念,各种方法各有所长和所短,并在实际运用中发展变化,使用中的关键在于从评估对象实际出发,因地制宜灵活综合,方能取得较好的效果。

第四节 技术发明方法

一、技术发明的一般过程和步骤

技术发明从广义上说,包括从原始发明到趋于完善的全过程。一项比较复杂的技术发明从初始到完善一般要经历萌芽期、突破期、成熟期三个阶段。

从提出技术目的、寻找实现技术目的原理到由技术原理向技术实体物化的阶段,我们称之为技术萌芽期。这一时期的主要矛盾是提出各种创造性的设想和寻找实现设想的各种可能途径,特点是具有很浓的尝试性。例如技术目的比较笼统,还没有分解为系统的具体目标,提出的技术原理带有常识和经验的色彩,形成的物化

技术成果仅仅是一些粗糙的模型或临时搭成的机构,结构的合理性不足,尚不能用于实际需要。为了克服蒸汽机一类外燃机笨重、热效率低的缺陷,人们设想把锅炉和汽缸合并,利用燃烧产生的烟气直接推动活塞运动,这就是内燃机的发端。最初的内燃机虽然毛病很多,性能还比不上蒸汽机,但却开创了一种新的动力技术。

从原始发明到投入实用的阶段被称为技术发明的突破期。这一时期的主要矛盾是寻找实现先进技术目的最佳技术手段,通过不断试验研究逐渐明确原始发明的根本缺陷,并进而在理论上、技术方向上或产品结构上获得突破,找到提高技术性能的根本途径。例如内燃机从原始发明到投入实用,关键是四冲程理论的突破性进展。按照四冲程理论设计的内燃机,具有体积小、转速快、热效率高的特点,成为应用前景广阔的新型动力机器。

对投入实用的技术继续革新和完善的阶段是技术发明成熟期。这一时期要设法不断降低消耗、提高技术性能和经济效益,要扩大技术的应用范围,发展系列化的产品使之适应不同场合和用途的要求。内燃机在19世纪末取得突破性进展后,20世纪就大量发展起来,通过提高转速、提高压缩比、改进结构、改善燃烧等来提高性能,并进一步从节油、降低噪音和废气污染等方面改进,成为现代社会最重要的动力工具之一。

了解了技术发明的一般过程和每个阶段的主要特征,我们就不难找到技术发明的大体步骤,最主要的步骤一般是三个:提出技术目的,构思技术原理,物化技术构思。

1. 提出技术目的。提出技术目的是进行发明创造的起点,目的恰当与否,直接关系后续发明的成败。技术目的应有创新性,或者是前人没有提出过的,或者是在前人基础上有新发展的;技术目的要有科学性,以科学理论和知识为指导,合乎客观事物内在要求;技术目的要有可行性,在现存的技术、经济、社会条件下能够实现,并具有经济或社会的效益。提出技术目的首先是发现技术问

题,技术问题的根本来源是社会需要,不但包括社会政治、经济、文化发展的需要,而且包括科学和技术自身发展的需要。其次是确定和明晰技术要求,通过对技术问题的分析、论证和评价,确定技术的关键问题,并按照分散的原则把一个总的技术目标分解为几个具有相对独立性的次一级目标。例如提高通信质量和效率的光纤通信技术,可以分解为光导材料、激光发射、接收装置等若干下一层次目标,以利分别攻克技术难题。

2. 构思技术原理。明确了技术目的,就要寻找实现技术目的的具体原理和构思,这是技术发明中最关键也最富创造性的环节。技术原理的形成必须依赖已有的自然科学知识和原有的技术实践经验,通过发明者创造性的思考提出。瓦特提出提高热效率的分离式冷凝器原理,就是以潜热理论和纽可门机为基础的。有了技术原理,还需要将其具体化为实现技术目的的构思,这其中需要把一些已有的从属性自然规律和技术经验巧妙结合起来,围绕新提出的技术原理,提出具体的技术设想和方案。方案构思越多,技术原理的实现可能性也就越大。

3. 物化技术构思。从一项技术发明的角度看,这是它最终完成的标志。它要把技术原理构思形成的设想和方案,通过技术实践的途径转化为实物形态的技术实体(如样品、样机)。再好的技术原理构思和方案,在物化过程中都会暴露出原先考虑的欠缺和不足,需要从材料、零部件、工艺参数、工艺过程等方面进行修改、调查和补充。因此物化过程同时也是对技术原理和技术方案的科学性、可行性验证过程。如果最终不能获得实用的技术实体,就不能认为技术发明的实现。

二、技术原理的构思方法

技术原理是技术发明中的核心,它犹如技术系统中的软件,凭藉它才能将技术系统硬件的各个部分组成有机统一的整体,完成

既定的技术目的。技术原理的构思方法很多,概括起来主要有以下几种类型:

1. 原理推演型

这是从科学发现的普遍规律和基本原理出发,推演技术科学和工程科学的特殊规律,形成技术原理。所运用的科学原理,既包括新提出的自然科学规律和发现,也包括原有各种科学原理的新组合,还包括采取一些新条件后发生了新变化的原有科学理论。从科学原理和科学发现出发,要经过一系列实验研究和原理探索,得到一些比较具体的概念或原理,再经过一系列实验研究和构思,才能最终完成从科学原理到技术原理的转化。例如物理学的受激辐射原理提出后,要经过微波波谱学更为具体的原理阶段,最后才形成微波放大器的技术原理。现代技术创造发明的一个重要特点是越来越依赖于自然科学的进步,因而原理推演也就成为技术构思中最为重要和直接的一个方法。

2. 实验提升型

直接通过科学观察和实验中所发现的自然现象,作出理性思维的加工与提升,产生具体的概念或原理,也是技术原理构思的重要方法,科学实验常常由此成为新兴技术的生长点。例如,电磁感应的实验,产生了电机技术的基本原理;爱迪生效应的发现,成了电子管技术原理的先兆。从实验中提升技术原理,关键是对实验现象的挖掘和提炼,因为实验本身所蕴含的技术原理,大多数情况下是以经验形态表现出来的,没有理论的洞察力和敏锐的创新意识,难以搞清经验现象背后的机理,也无法获得新的技术原理。

3. 原理改进型

任何一门科学的发展都会经历从实践到理论再到实践的不断循环往复过程,科学原理在这一发展过程中也表现出不断的改进乃至革命。如传统的材料力学原理对机械结构的强度计算是以材料内部没有缺陷为前提的,这一原理用于技术,在常规压力、温度

等条件下不会发生问题,但在特殊的环境条件下内部的微缺陷会引起致命性脆断。断裂力学的原理取代传统材料力学原理就成必然,并且直接影响新的技术方案形成。

4. 生物模拟型

随着生物界奥秘被人类越来越多地破获,从生物模拟中寻找技术原理构思的途径也日益受到重视。生物界的许多植物和动物,具有小巧玲珑、快速灵敏、高效可靠、抗干扰能力强的特点。对它们的结构和功能关系进行深入剖析从而形成技术原理已经有许多成功的例子。生物模拟首先是根据生物的结构与功能特性建立生物模型,进而用数学形式将生物模型变换为数学模型,最后以电子线路、机械结构、化学结构把数学模型发展为具有某种功能的技术模型。这一过程中存在若干反馈环节,以完善技术原理构思。对于一些较简单的生物模拟,也有省略数学模型过程的。图 9-3 是这一过程的简单描述。

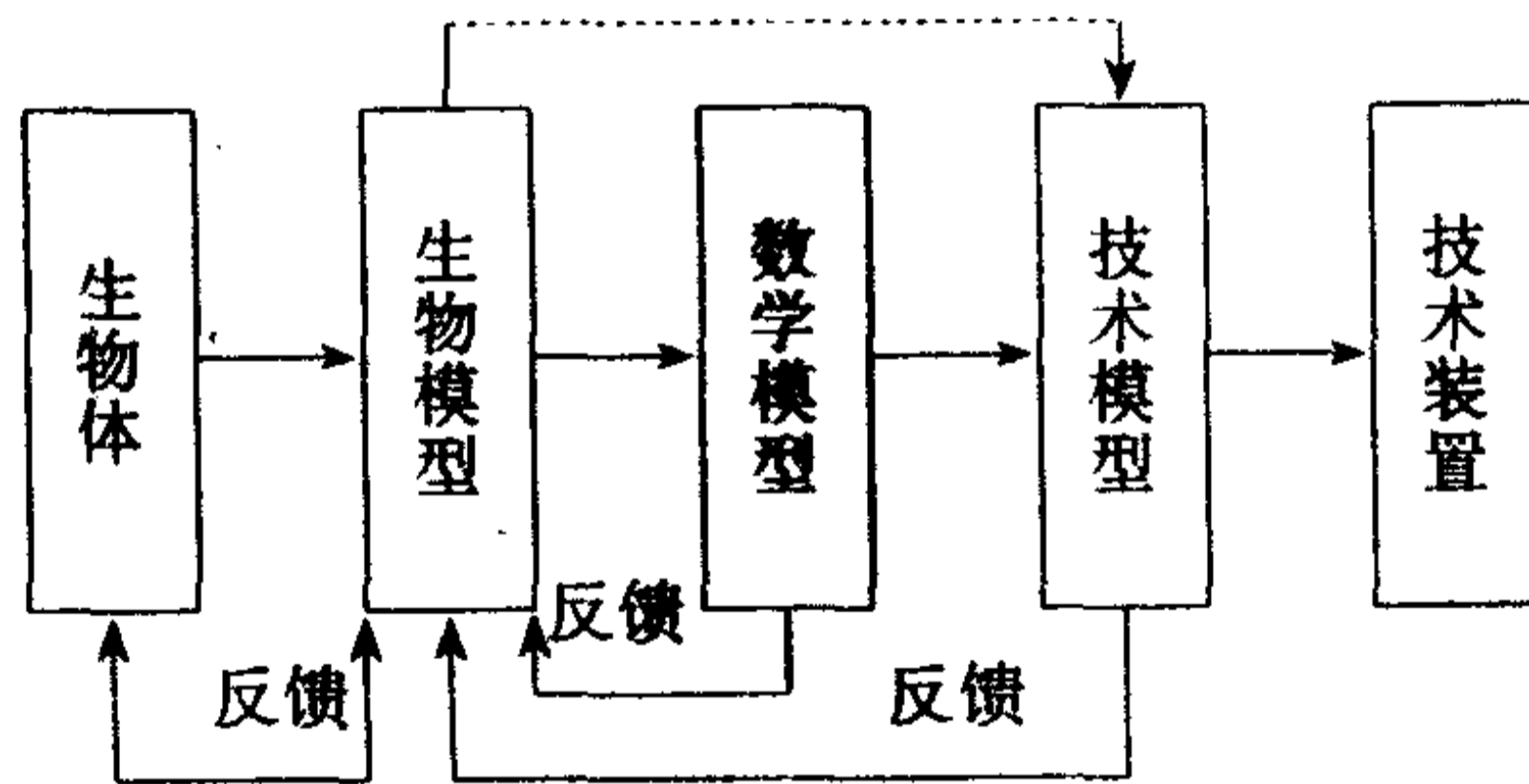


图9-3 生物模拟的技术原理构思过程

5. 移植综合型

将在某个技术领域中已经发现的技术原理移植应用到其他技术领域中并进行综合,形成新的技术和方法,在现代技术研究中极富生命力,是导致技术发明的重要途径,在各个领域中获得普遍应用。移植基本上有两类,一类是局部移植,把某一领域中技术移植

到另一领域,成为另一领域技术系统的一部分;另一类是综合移植,把若干领域中的多种技术综合在一起,产生一个全新的技术应用领域。例如激光技术就是微波技术、光学技术、量子放大技术、真空技术、自动控制技术综合移植的成果。

6. 要素置换型

这是从系统观点出发构思技术原理的方法。当技术的基本功能及基本结构保持不变时,对系统中的某个要素进行置换以提高系统的性能或降低消耗,是技术发明中经常遇到的。一般置换过程中先要明确系统中被置换要素的功能属性,确定该要素与其他要素之间相互关系,然后列出和欲被置换要素具有同样属性的装置。例如时钟系统中有周期摆动器、联接装置、示数装置几个部分,而摆动器这一部分(要素)就有平衡摆轮、石英晶体、音叉、磁控摆动器等多种型式,虽然依据的原理迥然不同,但功能相似可以置换,最终新的要素与时钟系统组合,出现了不同技术原理的新颖钟表产品。

三、常用的发明创造技法

创造技法是运用创造性思维规律去实现技术发明的方法,是激励、启迪技术发明创造的一些从实践总结出来的技巧。许多国内外研究创造技法的学者,已经提出了数百种创造技法,并试图根据不同的标准进行条理化、系统化的分类,这里简要介绍按提出问题、解决问题、程式化三种形式的分类。

1. 提出问题的技法

提出问题在技术发明中有重要地位。对事物司空见惯、习以为常,不能发现和提出问题的人,是无法作出创造性发明的。提出问题的方法很多,在技术发明中常用的有列举法,包括特性列举、缺点列举、希望点列举、成对列举,通过列举有关项目促进对问题全面考察,防止遗漏,从而形成多种构想方案;有设问法,包括检核表

法、5W2H法等,力图把复杂的问题分析成便于解决的若干小问题,以提问的方式详细罗列出问题所涉及的方面、因素、特性,从而发现问题的线索和发明的思路。

2. 解决问题的技法

创造技法中的绝大多数方法属于解决问题这一类。按照思维形式和功能特性,最具代表性的解决问题创造技法有智力激励法,也称头脑风暴法,包括奥斯本智力激励法、默写式智力激励法、卡片式智力激励法;有联想创新法,包括类似联想、对比联想、接近联想、自由联想、因果联想、强制联想等;有类比创新法,包括拟人类比、直接类比、象征类比、因果类比、对称类比、综合类比等;有组合创新法,包括技术手段组合、材料或零部件组合、技术手段与现象组合、现象与现象组合、技术原理组合等。解决问题的各种创造技法应用对研究者破除创造过程中的心理障碍,获得有价值的出乎意料的新奇设想有积极作用。

3. 程式化创造技法

在创造中得到比较深入研究、实施步骤可以按逻辑程序加以编排、借助符号系统可以设计成为发明专家系统的方法,我们视之为程式化方法。例如前苏联发明家阿里特舒列尔提出的发明解题程序大纲——物场分析法,使得解决发明问题可以“按公式”进行,对发明创造的思维过程加以有效组织,以提高发明效率。又如日本学者市川龟久弥提出的等价变换法,抓住创新是对现有事物继承和突破这一本质,认为新旧事物之间存在着等价因素,可以运用等价变换的流程及一些辅助工具实现把低水平技术变换为高水平技术的飞跃。程式化方法虽然有一定程序,但我们必须知道,“创造有法,却无定法”,在运用这一方法的时候,决不能墨守陈规,把本质是推动创新的手段当作了束缚创新的教条。

第五节 技术设计方法

一、技术设计的历史发展与地位作用

广义的设计是指运用科学知识和实践经验,创制满足某种特定功能系统的一种活动过程。知识和经验是一般的抽象物,设计则是具体的个别事物,从抽象到具体的技术设计,是理论与实际协调的充满创造性的过程。在特定的社会、经济、时空约束范围内,设计出满足社会需要的产品,是工程技术人员根本任务,掌握技术设计的基础原则和一般方法,有助于工程技术人员圆满完成这一任务。

设计方法是随着人类生产技术的进步而不断发展的,一般认为经历了经验设计、经验与理论并行设计、现代化设计三个时期。

经验设计时期发生在近代科学产生以前。在古代,设计和生产融为一体,工匠既是生产者也是设计者。设计的主要依据是工匠在长期生产实践中积累的经验知识,设计者并不能解释所设计物品中蕴含的科学规律,也没有复杂的理论计算工具可供使用。成功的制作主要靠经验试探和摸索获得,失败多和效率低是不可避免的。

近代科学产生以后,自然科学的发展为技术设计提供了理论武装,设计工作开始摆脱经验式的传统。特别是数学和力学的进展,使得各种结构设计越来越离不开力学理论与精确计算的结合。然而,这一时期由于对载荷不确定性因素尚未认识,对材料的疲劳特性缺乏了解,对复杂结构的应力分析手段不足,还不得不采用大量经验公式和数据,体现经验特征的安全系数有重要意义。技术设计处于半经验半理论的并行状态。

进入 20 世纪以来,特别是第二次世界大战以后,科学技术出现了整体化的发展,系统工程、控制理论、信息科学、电子计算机的

出现,催产了新的现代化设计时期。现代化设计的最大特点是科学理论与科学方法高度综合,运用数学语言和模型,使设计的科学性大为提高,设计质量更有保证。系统设计、功能设计、优化设计,可靠性设计、计算机辅助设计、自动化设计都是现代化设计的重要方法。

技术设计是在产品投产或工程实施之前,提供关于产品制造、工程施工的全部图纸和技术文件,是技术创造链条中观念建构的最后一步,又是物化过程的第一步,在技术开发活动中有十分重要的地位作用。

首先,技术设计是科学理论和技术原理转化为现实生产力之间的中介。科学理论和技术原理都是观念形态的东西,所具有的价值是抽象的理论价值。要把这种理论价值转化为能满足社会需要的使用价值,变为具体的物质产品形态,这中间的桥梁就是技术设计。通过技术方案设计,找到这一转化的途径、手段和方法。没有正确的设计,再好的科技成果也不会自行成为现实生产力。

其次,技术设计能增加生产建设的预见性,避免根本性的灾害。设计对于产品的性能、寿命、效益以及产品的生产工艺过程具有决定性的影响。通常认为,产品的生产成本75%~80%是由设计决定的,同一个技术原理的实现,不同设计可以表现许多不同的物化成果,而且物化成果的优劣可以差别非常大。设计的错误或不当,与产品制造或使用的不当不同,后者多为局部的偶然的问题,可以通过一定措施补救,而前者则是全局性、根本性的,后患难以消除。因此,在方案设计过程中,需要进行反复论证,有时还必须模拟试验,力求设计方案周到完善,以确保生产施工顺利,产品和工程达到预期要求。

再次,技术设计是组织生产的重要依据。在设计过程中,必须考虑生产设备、工具、原材料的配置,考虑加工方法、工艺过程和生产线的安排,考虑劳动力分配、劳动定额制定,考虑技术管理、财务

管理、安全管理、质量管理等等,这些因素在设计中综合分析并确定之后,就要绘制出设计总图、分图、零部件图、装配图以及设计说明书等技术文件。实现生产过程的组织 and 实施,就是以这些技术文件为依据进行的。

二、技术设计的一般方法

技术设计的方法很多,这里仅对较为典型的几种方法作一简单介绍。

1. 常规设计法

常规设计法也称形式设计法,它是从现有的技术规范、技术手段、技术信息中寻找解决问题方案的最常见设计方法。常规设计的最大特点是立足于现有技术思想,大量的设计手册、零部件目录、专利说明书,都是常规设计的重要工具。具体地说,常规设计的途径包括:(1)从已有的设计规范中找答案。已有的设计规范是人们长期设计经验积累形成的,通常具有简便、省时、省物、省力、可靠的特点。常规设计在已有规范基础加以创新,可能获得某种程度突破。(2)从已知结构元件组合中寻求设计方案。各种简单或者复杂的仪器仪表、机械设备、电子产品,都是运用各种元器件经由各种组合构成的,改变元件的选用和组合方式就可能产生出新颖的设计。(3)从前沿的技术信息和情报资料中寻找思路。这里的信息和情报,既包括与本专业前沿密切相关的领域,也包括本专业领域之外技术发展的新思想和新方法,这样设计人员就能超越个人知识、经验的局限,作出有创造性设计。由上可见,所谓常规设计方法并非一切照旧,照搬照抄,而是要求从常规中创新和开拓。

2. 系统设计法

系统设计法是运用系统的概念和原理,着眼技术系统中整体和要素、要素和要素之间的各种相互作用关系,以求得整体优化的设计方案。系统设计不同于传统设计,它把功能研究作为设计的重

要内容。因为人们对事物的认识,很大程度上是认识其功能;对事物的利用,归根结底也是利用其功能。系统设计从整体功能出发,辩证地协调结构与功能的关系,从而为设计方案的优化提供了基本保证。系统设计对于复杂的设计对象特别适用,是现代设计中极为重要的方法。系统设计的基本步骤为:(1)明确系统的整体功能目标和约束条件;(2)把系统的整体功能分解为部件功能,又把部件功能分解为零件功能,再把确定的部件或零件功能组合成与整体功能等效的功能结构;(3)寻找实现每个特定功能因素的局部解,这种局部解常常不是唯一的;(4)将相容的局部解组成整体方案,由于局部解的不唯一性和组合的任意性,整体方案常常有许多种,需要进行预选;(5)从大量预选后的方案中通过技术评价选出最佳方案;(6)在不改变局部解类型和满足制造、使用、维修、成本约束前提下,进行定形设计,把技术方案转换为技术上可使用的三维形体(如施工图等)。系统设计前三个步骤为系统分析,后三个步骤表现为系统综合,整个过程体现了分析与综合的辩证统一。

3. 功能设计法

功能设计法又称功能——成本设计法或功能价值分析设计法,它着眼于设计对象的功能,并从本质功能的角度考虑经济因素,使功能与经济效果达到平衡统一。功能设计是价值工程提出的设计方法,要求所设计的产品有较高的价值。如果以 V 代表产品的价值,以 F 代表产品的功能,以 C 代表产品的成本,则有公式 $V = F/C$ 。要提高产品的价值 V ,基本途径有五条:提高功能 F 并降低成本 C ;功能 F 不变降低成本 C ;成本 C 不变提高功能 F ;略为降低功能 F 带来成本 C 大幅下降;略为提高成本 C 带来功能 F 大幅提高。功能设计法要认真分析功能与成本之间关系,强调系统整体功能优化,通过简化产品结构、简化加工方法、减少原材料消耗等途径使产品价值提高。功能设计法的基本步骤是两个:一是功能分析,包括确定技术对象的基本功能和辅助功能,分析必要功能和

不必要功能,评定功能实现所需要的成本并作出综合评价。二是方案设计,在功能分析基础上提出若干初步方案,然后结合其他因素选出最佳方案。功能设计法兼顾技术和经济两个方面,体现了用户需求和企业利益的统一。

4. 可靠性设计法

可靠性设计法也称概率设计法,是以 20 世纪 50 年代产生的可靠性技术为基础的设计方法。传统的设计中对载荷、材料特性、零部件尺寸等数据的离散性和不确切因素,靠设计者的经验确定安全系数来处理。采用可靠性设计,运用数理统计工具处理含有不确定因素的设计数据,能使所设计的产品在满足给定可靠性指标前提下,做到结构合理、尺寸适宜,避免凭经验选定安全系数的过于保守或过于冒险的偏颇。可靠性设计的基本措施有:(1)原材料与零部件有机选配,以系统寿命舍取系统要素的寿命,尽可能实现系统组成要素的等寿命,同时失效,同时更换。(2)贮备设计,为了保证一些关键性零部件随时都能完成规定功能;在已有元件水平基础上另外附加一些零部件或手段,使得其中一部分发生故障时,系统仍能正常工作。(3)耐环境设计,设计时采取适当措施,如附加防震、防热、防腐、防潮、防辐射等设计,对系统实行环境保护。(4)维修性设计,在系统故障时能及时、方便、有效、快速进行维修,减少损失。(5)人一机系统设计,根据人类工程学的原理,设计中考虑人的因素,并把宜人性作为基本原则。总之,可靠性设计是一门复杂的综合性技术,它建立在数学统计理论上。可靠性指标具有或然性,需要借助试验、调研、总结经验等方式获得。可靠性设计离不开系统的观点,需要统筹兼顾,整体思考。

5. 最优化设计法

最优化设计是近几十年来随着电子计算机的发展而得到越来越广泛应用的现代设计方法之一,它以数学最优化理论为基础,在满足各种给定的约束条件前提下,合理地选择设计变量数值,以获

得一定意义上的最佳设计方案。与许多传统设计方法相比,最优化设计所具有的特点极为明显。首先,最优化设计可以按最优化计算方法对较多的参数进行不受次数限制的反复调整,而传统设计常常因计算浩繁只能对个别参数进行有限次数探讨。其次,最优化设计以理论分析为主,辅之以实际试验,可以大大缩短设计周期,减少人力和物力消耗。通常的最优化设计运用计算机对方案进行反复优选后,只要对选出的最佳方案进行试验验证即可,而不需要象传统设计那样耗工费时去一一摸索鉴别各方案优劣。第三,最优化设计在数学上表现为求极大值或极小值问题,运用日益先进的电子计算机技术,可以解决复杂的巨系统设计中问题,而传统设计对此常常无能为力。最优化设计的过程主要是两步,第一步先把工程问题转化为数学问题,建立可用计算机求解的数学模型,第二步就是对数学模型求解,寻找最佳方案并进行试验验证。由于最优化设计通过合理确定产品结构、正确选择零部件尺寸及细部要求等变量,可达到节省原材料、缩短设计周期、降低成本、提高产品质量等目的,在新产品研制和旧产品改造中有重要作用。

除了上述设计方法之外,现代设计中还有考虑人的生理和心理要求的工效学设计法,借助计算机体现设计者思想并加以表达的CAD设计法等等,限于篇幅就不再介绍。

第六节 技术试验方法

一、技术试验的作用和特点

技术试验在工程技术研究过程的各个环节中都有十分重要的作用。在技术规划阶段要进行方案可行性研究,需要有各种对比试验;在技术原理构思阶段,需要用模型试验验证技术原理;在技术设计阶段,为了提供并验证设计依据和设计的正确性,要有各种工

艺试验、性能试验、结构试验；到了技术实施阶段，为了实现技术成果的顺利转移，还有中间试验、生产试验等。可以说，工程技术研究离不开试验。

技术试验的具体作用体现在：第一，排除技术对象复杂因素中的一些次要因素，使人们所要认识的性能关系以较为纯粹的形态得以表现，也即技术试验具有简化和纯化认识对象的作用。如要研究合金钢中锰、铬、镍、钛等元素对材料微观结构和宏观性能的影响，人们采用在普通钢液中分别单独掺入某一元素的试验方法进行研究，先得到单一元素对材料结构与性能的影响关系。又如对材料进行强度试验时，我们通常把试样加工成光滑的杆状，而把零件的形状、尺寸、加工工艺的影响暂时排除。第二，技术试验可以把研究对象置于正常生产过程中难以实现的某种极限状态下，通过强化的手段暴露相关问题，达到对研究对象性能和规律的认识。例如机械的疲劳试验，为了缩短试验周期，就要采取按比例加大试验载荷数值的方法，促使机械在较少循环次数的作用下达到疲劳破坏的效果。第三，模拟技术试验方法为昂贵、危险、复杂的工程技术研究提供了可能。在建设高炉、桥梁、堤坝、电站等大型工程项目和制造船舶、飞机、航天器等复杂设备装置中，由于环境的复杂和时空的局限，直接试验在经济上代价过高，在现实中危险性太大，就可以用模拟试验，确保工程安全顺利实施。像美国蒙尼威尔仪器公司制造登月舱自动控制装置时，就在地球上模拟月球环境做试验，试验费达 10 亿美元。如果没有模拟试验，等使用失败后再改进，那是绝对不允许的。第四，技术试验可以为技术设计和研制提供有效的资料数据和经验公式。如产品的疲劳寿命和失效期限，是一项重要技术指标。这一指标的获得，通常是来自试验中概括的经验公式。从经验公式计算得到数据后，设计和研制就有了初步依据；而当初步完成设计和研制后，还需要再行试验，为设计的改进提供新的可靠数据。第五，技术试验是技术成果检验的重要手段。新技术、新

产品、新材料、新工艺的研制完成后,不可能十全十美,可能有尚未发现的缺陷,这就产生了破坏性试验如撞击试验、击穿试验等,以进一步完善新的技术成果。

技术试验和科学实验相比,有许多共同点,也有不小的差别。

技术试验和科学实验的共同之处在于,两者都不是在自然发生条件下进行的,而是利用科学的仪器、设备等物质手段作用于研究对象,对研究对象进行简化、纯化、强化或模拟各种环境条件的处理,从而获取反映事物特性和规律的经验事实。但从认识论和方法论的角度看,技术试验又有与科学实验不同的自身特点。从认识关系看,科学实验重在获得关于自然规律的知识,重点表现出从客观到主观的认识过程;技术试验则重在从科学知识到人工物品的过程,是从主观到客观的创建人工自然过程。从活动目的看,实验不考虑直接为生产服务;而试验要求能为生产需要直接服务,要排除科学知识物化的障碍,寻求最佳的物化途径和结果。从对象范围看,科学实际的对象极为广泛,几乎包括自然界的一切事物;而技术试验的对象范围主要是人工自然,特别在原材料、零部件、技术装置设备、工艺过程中应用较多。从成功概率看,科学实验的探索性强,成功的概率相对低一些;而技术试验大多有科学知识和技术原理指导,困难不在于找到合理的试验方式,而在于如何以较少的试验次数和人财物消耗达到预期效果,有较强的验证性质,成功的把握相对较高。

由上可见,技术试验比科学实验更为接近生产实践,是技术样品工业性生产的预备阶段。技术试验以其试探性和验证性的统一为技术发明的工业化开辟着道路。

二、技术试验的程序和常见类型

技术试验要取得预期的成果,应当遵循以下的基本程序:

1. 明确试验目的。技术试验的任务和目标要通过围绕研究对

象的调查研究 and 理论分析予以明确,抓住主要矛盾和主要因素,以避免试验的盲目性。

2. 拟定试验大纲。根据试验目的,对试验所要解决的主要问题的具体环境和相关条件加以分析,据以确定试验内容、类型、方法、仪器设备,提出试验实施的具体技术路线。

3. 准备试验器材。各种技术试验的目的任务不同,对试验结果的准确性和精确度要求也不同,因此对所用的仪器、仪表、设备及各种试验材料就有不同的选配。熟悉所用仪器的基本原理、结构、性能,考虑试验的实际需要与现实可能,是选配器材的基本要求。

4. 进行试验操作。试验操作要求遵循试验大纲和操作规程,密切注视试验进程,系统详细记录试验数据,并注意记载反映试验条件变化的资料。对于试验进程中出现的意外变化也必须随时记录。试验操作根据研究对象的不同要求多数需要重复进行,特别是有意外变化出现的时候。重复操作的条件如有变化,则结论就会有异,需要格外注意。试验结果的可重复性是试验结论可靠性的基础保证。

5. 处理试验数据。数据处理的数学工具在试验大纲拟定时就应选妥,获得的数据不允许随意取舍和更改,对数据的处理要采取实事求是的科学态度,如果用主观臆想的方法处理数据,用得出的错误结论指导实践,可能会造成有害的后果,那就违背了科技工作的基本准则。

6. 撰写试验报告。完成试验过程后,需要对所得结果有否达到或在多大程度上达到了试验目的进行分析总结。试验报告要求实事求是,有依据,有分析,有结论,也不回避存在问题。

了解了技术试验的基本程序,我们再看一下技术试验的类型。随着科学技术的迅猛发展,技术试验的类型也日益增多,最常见的类型有:

析因试验:它是根据技术发明中已经出现的结果,通过试验来分析和确定产生这一结果的原因。在许多场合,原因找到了,问题就会迎刃而解。由于技术发明是一个涉及众多因素的动态过程,某一结果的产生往往是若干因素综合作用所致,因而析因试验中能否抓住主要原因是能否成功的关键。

对比试验:它有两种基本形式,其一是在相同条件下比较不同技术的性能优劣,其二是在不同条件下比较同一技术性能异同表现。确认技术的优劣、材料的好坏、工艺的效果,都可能通过对比试验进行。要提高对比试验结论的可靠性,必须严格控制比较的条件。

中间试验:也称试生产试验、半工业试验,是把实验室技术成果推向工业性生产的中间环节。实验室的成果是在条件控制严格、操作比较精细的环境下产生的,一旦扩大规模,条件变化大,会出现新的情况。通过中试,以接近或相当生产的规模进行,就能掌握可能出现的技术问题,为正式投产提供完备的技术资料。中间试验具有验证性和探索性双重的性质。

性能试验:技术研究中的性能试验目的,主要是检验研究对象是否具有所要求的性能以及如何运用技术措施去提高性能。性能概念的外延广大,材料的强度、韧性、塑性、抗腐蚀性,机械装置的抗震性,电视机的清晰度、灵敏度,汽车的能耗、速度、舒适度等一切工程技术的功能特性都属于性能范围,因而性能试验是技术研究中最基本的试验类型。

模型试验:这是一种间接性的技术试验,它首先在与原型相似模型上试验,再把模型试验结果适当地应用于原型。模型试验有物理模型和数学模型两种主要形式,前者以模型与原型之间的物理相似为基础,如水坝模型、飞机模型;后者以模型与原理之间的数学形式相似为基础,运用的模型是电路或模拟计算机。由于电子计算机技术的高度发展,数学模型试验得到越来越多的应用。

技术试验的类型多种多样,各有自身的特点和作用,在具体的技术发明创造过程中需灵活掌握,合理选用。

本章进一步阅读书目

1. 吴明泰等编著. 工程技术方法. 沈阳:辽宁科技出版社,1985
2. 袁灿等编著. 科学技术研究方法论. 杭州:浙江大学出版社,1993
3. 邓树增主编. 技术学导论. 上海:上海科技文献出版社,1987

复习思考题

1. 技术方法有哪些基本原则?与科学方法相比有何不同特点?
2. 技术预测的特点和理论基础是什么?
3. 技术评估有什么意义?需要遵循哪些原则?
4. 试举技术发明中的实例说明技术原理构思基本方法。
5. 技术设计、技术试验在工程技术研究中的作用是什么?它们有哪些常见方法?

第四篇 科学技术社会观

与前两篇仅从哲学层面反思科学技术不同,本篇试图以更加宽广的视角来考察科学技术及其与社会的关系。这些视角主要是社会学和经济学的,当然也包括一些哲学层面的反思。其基本结论是,一方面科学技术已经日益成为社会中相对独立的子系统,另一方面科学技术社会的相互作用和相互影响(即互动)又在不断加强,互动的结果总的说来是积极的,但也产生了一些消极后果,这就进一步向全社会包括科学家和技术专家本身提出了如何趋利避害的问题。

第十章 科学技术的社会体制化

从历史上看,科学技术成为一种推动社会进步的重要力量,是近代以后的事。在古代,科学技术特别是科学对社会的作用并不显著,社会对科学技术的需求也有限,科学技术自身未形成体系,缺乏独立性和自主性,其发展完全受制于社会。近代以后,科学技术与社会的相互作用和相互影响(即互动)之所以能逐渐增强,其前提是科学技术本身已经发展成为社会大系统中一个相对独立的子系统,已经成为一种独特的社会体制。

第一节 社会制度和科学技术体制

一、社会制度及其构成要素

1. 社会制度的定义

在社会学中,社会制度(social institution)是指为了满足某些基本的社会需要而自发地或人为地形成的相关社会活动(行动、行为)的规范系统。所谓规范(norm)就是使人可以照着做的标准(standard)或模式(pattern),它可以是自发地形成的,如风俗、习惯等,也可以是人为地设计制订的,如规则、条例等。

在上述定义中,加上了限定词“为了满足某些基本的社会需要”,其目的是要把一部分日常用语中习惯上称为“制度”的东西排除掉。如工厂里为了保证职工按时上下班、不随意旷工等,制订了考勤制度,这种“制度”就不是社会学中所研究的制度,因为它不是为了满足基本的社会需要而产生的。又如,通常人们为了区别人类

社会中的不同发展阶段和不同性质形态的社会,广泛使用资本主义制度、社会主义制度等名词,这些“制度”也不是社会学中所研究的制度。旨在满足开展人类物质生产活动需要的经济制度和旨在满足人类劳动再生产、性行为以及感情交流需要的婚姻家庭制度等社会制度才是社会学中所要研究的社会制度。由此可见,社会学中所称的社会制度是指不论何种性质形态的社会,为了满足其某些基本需要都必须有的制度,尽管这些制度的具体内容可能不尽相同,如同样是经济制度但其中对财产所有方式和资源配置方式的规定则可以不尽相同。

2. 社会制度的构成要素

上述对社会制度的定义是就其最核心的部分而言的,制约社会活动的规范系统应该是一个社会制度赖以存在的基础、核心或灵魂。但是,一种社会制度要能够正常顺利地运转起来,还需要与其他一些相关要素结合起来,形成一个完整的系统才能实现。通常认为,社会制度系统主要由四大要素构成。

要素一,概念系统。指的是用来阐明本制度的终极目标或存在价值的理论观念,其主要作用是向社会成员表明自身存在的意义,使他们在充分理解制度目标的基础上全力依从制度规范。在不同的社会制度中,概念系统的整合形式是不一样的。例如,在宗教制度中概念系统起着特别重要的作用,甚至可以把宗教教义与制度的概念系统视为同一。社会制度的概念系统并不总是特别专门化的,它常常体现在一系列社会学说、理论或思想中,特别集中体现在社会的主导意识形态上。意识形态最主要的功能就是促使各类社会制度的概念系统趋向一致。这样,在分析一个社会的制度体系时,首先必须把握住各类社会制度概念系统之间的共同点和特殊点。在这种前提下,各类社会制度关于自身特殊存在价值和目标的概念才是独立的东西。

要素二,规范系统。它是制度运行过程中起实际作用的要素,

是一系列关于人类特定社会活动行为模式的规定。社会成员的行为直接面对的就是这种规范系统,行为的制约性也反映在这里。我们不能狭义地把这种规范系统理解为达到制度目标而人为制定的规则,它实际上还涉及到更为广泛的内容,大到传统文化规范、道德伦理准则、风俗习惯、法律条文,小到具体的章程、仪式。另一方面,这种规范系统并不是一成不变的。规范系统的改革旨在为相应的社会活动开拓新的天地,以便最充分地发挥社会成员的积极性和智慧,达到规定的制度目标。

要素三,组织系统。这是社会制度的实体部分,是制度及其规范的载体。一般说来,这一系统包括组织首脑、职能部门和组织成员。如经济制度的承担者必然是经济组织,有其领导人以及所有从事该组织经济活动的组织成员;科学制度的承担者应该是科研组织,而科研组织内有学术带头人以及从事相关研究活动的科学家。社会制度的规范作用是通过组织活动来实现的,它把一定数量的社会成员集中在一个被赋予特定目标和职能的组织中,通过组织规范其成员的行为,来体现社会制度协调与规范的功能,维持秩序提高效率,从而满足人们的社会需要。有些社会制度的规范是由组织的准则、规章和纪律来实施的,而有的则通过非组织化的惯例或不成文的习俗来实施。

要素四,设备系统。这是社会制度运行的物质手段。设备系统一般被分为两大类,一类是实用性物质设备,如法律制度得以实行的法庭、监狱,经济制度中的企业厂房、银行大楼,科学制度得以实行的实验室、仪器设备等。它的作用是保证组织活动的正常运行。一类是象征性物质设备,如国家的国旗、国徽,学校的校徽,奥运会的会徽,家族的族徽等。如著名物理学家玻尔设计的族徽,中间是一个中国道家的太极图,它用阴阳形象地表示玻尔提出的互补原理。族徽上还有一句拉丁文铭文“*Contraria Sunt Complementa*”(互斥即互补)。象征性物质设备象征某个组织乃至特定社会制度

的存在价值和终极目标,是概念系统的物质化表现,它起到团结、激励、号召的作用,给人一种精神力量,起到实用性物质设备所不能起的作用。

二、科学技术体制和体制化

科学技术体制是社会制度的一种,对于科学技术而言我国习惯于称体制,与制度同义,英文都是 institution。科学技术体制是一种旨在规范人类对自然力量进行探索和利用的社会制度。人类对自然力量的探索和利用由来已久,但科学研究和技术开发成为独立的社会活动领域则是近代以后的事。这种科学技术制度及其对科学技术活动的规范作用从古到今、从无到有并不断完善的过程,我们称之为科学技术的体制化。这是从系统发育的过程来理解的体制化,即从整个科学技术发展史的角度把握科学技术活动怎样纳入规范化、模式化的过程。在社会学中,也有人认为制度化并不是社会制度本身的演变,而是指制度对人类现实的社会活动产生影响并使之模式化的过程。这种观点似乎是从个体发育的过程来理解体制化,着眼于科学技术体制如何使科学技术活动主体的行为规范化、模式化的过程。两者应该是一致的。

在不同的国家,以及同一个国家的不同历史时期,科学技术体制化的程度是不一样的。如何判断科学技术体制化程度的高低呢?一般可以有三个标准,即自立性、适应性和广泛性。

自立性是指科学技术组织独立于其他社会集团、其他社会活动和行为方式的程度。在自立性程度高的科学技术体制中,科学技术事务很少受到外界势力的影响。相反,在自立性程度较低的科学技术体制中,科学技术事务常处于外界势力的影响之下。中世纪科学处于神学婢女的地位,科学家的行为受到宗教的粗暴干涉,科学成果的评价要服从于神学的价值标准,那时科学的体制化程度是很低的。在高度集权的国家,科学技术体制也往往不完善,科学技

术内部的事务经常受到政治和其他因素的干扰,科学技术不能按照自身的规律及其与社会经济相互作用的规律运行。在自立性很高的科学技术体制中,形成了科学技术共同体内部的行为规范,科学技术活动受这些规范制约,从而有利于实现自己的体制目标。

适应性是科学技术体制通过内部的自动调节适应外部环境变化的能力。外部环境主要是指国家(或地区)的经济社会目标和国际科学技术竞争的环境。一个适应性强的科学技术体制其主要功能和结构应能适应这两者的变化。例如,在工业化时期,科学技术要能够满足工业化过程对新技术、新产品的要求;在高技术竞争时期,科学要能不断地在基础理论方面有所突破,技术要能迅速应用基础理论实现高技术创新;在战争年代又能立即动员科学家和技术专家为战时的科学技术需要服务,等等。如果科学技术组织几经功能的变化还能继续生存发展,那末它的体制化程度是很高的。我国目前正处在科技体制改革的转轨时期,其主要宗旨在于使科学技术面向经济、服务于经济。如果通过科技体制的改革能满足我国经济发展的需要,那么我国科学技术体制化的程度必将大大提高。

广泛性。体制化程度很高的国家,科学技术活动不仅高度组织化,而且形成了一个广泛渗透的组织网络,它渗透到各个地区、各个部门,渗透到社会的最基层。目前,在我国广大农村开展的科技示范户、专业户的活动,以及在企业中的职工技术协会,都会使科学技术更加深入人心,从而提高科学技术的体制化程度。

三、从社会体制看科学与技术的关系

科学技术的体制化,不仅使科学技术成为一种推动社会进步的重要和持久的力量,而且也使科学技术本身发生了巨大的变化。这就要求我们从社会体制的角度来理解科学技术。把科学技术看作为一种社会体制,不仅可以加深我们对科学技术的认识,而且也有利于我们正确把握科学与技术的相互关系。

按照传统的看法,科学就是关于自然现象的知识体系,从词源学上讲科学(science)这个词来自拉丁文 scientia,即知识的意思;而技术(technology)的词源则来自希腊文 techne 和 logos,前者意为技艺、技能,后者意为谈话、说话,合起来的意思便是关于技艺或技能的论述或知识,按美国技术哲学家米切姆(C. Mitcham)的解释,即 knowledge of techne。由此可见,无论是科学还是技术归根到底都是知识。那么两者的差别何在呢?为回答这个问题,传统的观点把知识作了如下区分:普遍的、基本的、抽象的或理论的知识为科学,特殊的、派生的、实际的知识为技术,前者旨在解释自然现象,而后者旨在发明有用的装置和工艺。上述对科学和技术的理解,普遍存在于研究科学和技术的许多学者之中,包括哲学家、社会学家乃至经济学家,如库恩(T. Kuhn)、普赖斯(D. Price)、米切姆、马凯(M. Mulkey)、弗里曼(C. Freeman)和曼斯菲尔德(E. Mansfield)等。

这种理解从一个或几个角度看有其合理性,但是进一步的考察表明,这种理解还存在一些缺陷。事实上,在今天一个局外人如果只是根据这种对科学技术的理解就很难区分一个研究者是科学家还是技术专家。例如,一个科学家为了检验其假说或者作更加精确的测量,有时也需要自己制作专门的仪器、设备,按照上述理解他此时便成了技术专家,气泡室和电子显微镜的发明就是这样的例子。反过来,一个旨在发明有用的装置或工艺的技术专家也可能会发现一些新的经验结果并提出一些解释性的模型,同样道理他此时便成了科学家,如40年代末贝尔实验室的肖克莱、巴丁和布拉顿发明了晶体管,就此而言他们从事的是技术活动,但与此同时他们又发现了半导体的许多重要特性,而这又属于科学研究的范畴,事实上他们后来也因此而获得了诺贝尔物理学奖。类似的科学与技术的相互交迭或相互作用在分子生物学、生物化学和固体物理学中是很常见的。对此,传统的科学技术观就难以解释。

一种新的替代的科学技术观就是把科学技术看成社会体制，而科学与技术的差别就在于它们作为社会体制上的差别，如科学技术具有各不相同的体制目标和精神气质，科学技术共同体的成员遵循各不相同的行为规范，其价值观念也各不相同，等等。以下我们将详细论述作为社会体制的科学技术在其基本构成要素上的差别。

第二节 科学家和技术专家角色的形成

科学家和技术专家是科学技术组织的基本成员，所以在论述科学技术的组织系统之前，本节先来讨论科学家和技术专家角色的形成过程。

一、角色的概念

“角色”(role)是美国社会学家米德(G. H. Mead)较早用于社会心理学中的一个名词。实际上，这个名词在日常生活中流传甚广，已成为习惯用语。在社会心理学中，米德赋予“角色”以特定的含义：角色是一种行为模式，一种符合一个人的社会地位或身份及其权利义务要求的行爲模式；角色也代表一种社会期望，社会(以及他人)总是期望一个人按他的社会地位或身份行事，行为者自己也总是这样要求自己，经常要努力做出迎合这种期望的行为来，因此又叫做“角色期望”。由此可见，一个人的社会角色通常总是与他的社会地位或身份密切相关的。在戏剧舞台上，演员和角色之间可能实际上毫不相干，一个演员可以时而扮演贵妇人，时而扮演仆人；时而扮演教师，时而扮演工人，而演员自己仍是她自己。可是在“人生舞台”上，却不能这样做。他扮演的角色必须符合他的地位或身份，符合这个地位或身份所规定的权利、义务和行为模式的要求。比如，我国古代封建社会的行为规范为：“君君、臣臣、父父、子

子”，就是一个极好的例子。其中的前一个字，指的是实际的角色行为，后一个字指的是与此相联系的身份和地位。如果两者不相一致，就叫做“君不君，臣不臣、父不父、子不子”，就要受到社会的谴责。

一般来说，社会越是原始，社会结构中的社会地位和社会角色就越是简单；相反社会越是发达，社会结构中的社会地位和社会角色就越是分化、越趋繁复。从历史的角度来看，科学家和技术专家角色就是这样从无到有经历了很长时间才逐渐形成的。而科学家和技术专家角色的形成，反过来又反映了科学家和技术专家的社会地位以及科学技术的社会功能得到了社会的承认。

二、古代科技活动主体的社会角色

1. 古代科学活动主体的社会角色

在历史上，科学家角色的出现是很晚的事情。在19世纪中叶以前英语中还没有“科学家”这个名词。不过，这并不是说古代没有科学活动和科学成果。但那时的科学活动和科学成果是由其他的并非科学家的社会角色完成的，这些进行科学活动的、作出了科学成果的人员，并没有形成独立的、固定的科学家社会角色和社会集团。究其原因是，在古代，科学的社会功能十分有限，社会对科学的需要也十分有限。在这种社会条件下进行的科学活动，即使在一个时期达到相当的繁荣，终究不能持续长久。这就是历史上科学发展呈现中断、停滞、甚至倒退等现象的原因。

在古代，从事科学活动、作出科学成果的人有两类，一类是技术人员，一类是哲学家。古代的技术人员大多出身于社会下层，这些人包括工匠、机械师、建筑师、医生，还包括天文—占星术士和化学—炼金术士等等。他们除了有技术上的成就以外，只有在他们也是重要的政治或宗教人物时，他们的名字才会被保存下来。一般来说，这一类人员都是以实际的技艺服务于社会的，各自履行一种公

认的社会功能——技术，因此，他们能被社会接受从而长期存在。在技术活动的某些领域中有可能发现包含某些科学内容的强有力的智力传统。如古希腊人阿基米德是静力学中杠杆原理和浮力定律的发现者，在数学方面他研究过无限分割问题及直线与曲线的比较，求得圆周率的近似值，并确定物体表面积和体积的计算方法。但他能受到他的同时代人的尊敬更主要的是由于他发明了得以保卫他们的家乡叙拉古（西西里岛东部大城）的武器。传说当第二次布匿战争中罗马人进犯叙拉古时，他设计的投石器能抛掷两百公斤重的大石块，而另一种类似起重机的鹤咀钩则能把战船腾空抓起。此外，他还发明过许多实用机械装置，如为了扩大土地灌溉面积而发明的螺旋扬水机，这种装置后来被称为阿基米德螺旋。可见，他的社会身份更多地是机械师而非科学家。但是，古代技术活动的一个共同特点是都有一个直接的实际目标，这种直接的实际目标决定了技术活动只能得到实用的知识，而不是对普遍规律的系统阐述，这就阻挠了从逻辑发展获得的理性知识的积累和提高。

对古代科学作出贡献的另一大类人物是哲学家。在哲学家的兴趣和目的范围内，他们的传统角色最接近于现代的学者和科学家的角色。他们当中不是所有的人都对自然现象感兴趣，但是其中不乏具有科学气质、渴望了解自然的人，正是这些哲学家对早期的科学发展作出了贡献，他们通常也被称为自然哲学家，如古希腊的毕达哥拉斯、泰勒斯这一类人物。然而，只有少数传统社会承认哲学家凭本身的价值维持着一种角色。只有在普通的哲学家与伦理学家的社会作用已经得到发展的传统社会，自然哲学作为一种受逻辑规律限制的智力职业才得以幸存，这样的传统社会为数不多。通常，为了生存哲学必须倾向于一种道德宗教传统，其主要目的是帮助人们应付不可控制的愿望，抑制他们的情感，并且利用他们的能力完成个人或社会的生存与改善的实际任务。只有这种哲学才

是有用的,才能被社会接受。所以,哲学家意欲发现的真理是指精神上 and 道德上的真理,而不是任何一种科学的真理。

总而言之,在古代社会,只有作出科学贡献的不同人物,而没有具有独立社会地位或身份的科学家角色。

2. 古代技术活动主体的社会角色

与科学相比,技术的情况稍有不同。技术是每个社会都必需的东西,诚如美国著名技术史家克兰兹堡(M·Kranzberg)所说:“技术像人类本身一样古老。”事实上,古代的技术都来自生产,而生产是人类最古老的活动,可以说有了人类就有生产。可见,古代技术活动的主体就是生产者;但是反过来生产者却并不一定专职地从事技术活动。开始时,生产者在生产过程中所涉及到的技术因素还是很有限的。后来,随着生产活动本身的分化,其中某些生产活动所包含的技术因素增加,如工具及器具的制造者就要求较高的技能,他们所掌握的技术知识也较丰富,这些人可称为工匠(craftsman 或 artisan)即精于一门或数门工艺技能的匠人。由于古代技术都以生产实践经验为基础,主要是有关手工操作的诀窍和制品的秘方,还由于掌握这些诀窍和秘方的工匠大多出身于社会下层,无文化不识字,所以古代技术知识的传授大多限于家庭内或师徒间的言传身教,这是古代技术得以积累并逐步提高的主要途径。但是,这种言传身教的技术传播方式毕竟有其局限性甚至保守性,这就是所谓传内不传外,家庭之外或行会之外的人是很难获得这些技术的,因此古代技术进展十分缓慢。当然,上述情况也有例外,如前述的阿基米德,还有希罗(古希腊后期的发明家,以发明第一台蒸汽动力装置和求三角形面积的希罗公式而闻名后世)和维特鲁威(古罗马著名的建筑师,所著《建筑十书》在文艺复兴时期、巴洛克及新古典主义时期成为古典建筑的经典)等,这些人则不仅是技术发明家,而且还是学者,有的还著书立说流传至今。事实上,我们现在所知的古代发明家及其发明就是这样一些人和他们的发明,

其他大量的技术发明不是失传了就是发明者不知为何人。

总之,古代技术活动的主体绝大部分是工匠,只有极少数学者型技术发明家,他们有时也被称之为工程师、机械师或建筑师等,但并未形成独立的技术专家的社会角色和社会集团。

三、近代科学家和技术专家角色的出现

1. 近代科学家角色的出现

欧洲中世纪的教会大学,以及后来由此演变和发展起来的世俗大学是孕育近代科学家角色的温床。起初,这些大学的任务是训练和培养神职人员、法官和医生,教师所教授的课程也围绕神学、法学和医学这些专业。后来逐渐有一些教师对科学问题发生兴趣,如教逻辑学的教师会去讨论数学和物理学问题,教医学的教师则去研究生物学问题。最后,终于有一部分教师是靠专门教授自然科学课程而得到工资的。这样,教授自然科学的大学教师这种社会身份和社会职业就逐渐出现了,在这种社会身份和社会职业中孕育着未来科学家角色。

对于近代科学家社会角色的形成有重要意义的,还有另一类人员,这就是以达·芬奇为代表的艺术家和工匠。这些人没有受过正规大学教育,书本知识并不多,但他们所受到的工匠传统的训练和要求,使他们具有尊重经验,擅长观察和实验研究的探索精神,这正是近代科学发展的基本精神。一旦把大学教师所具有的学术传统和这种实验研究的探索精神结合起来,便产生了真正近代意义上的科学研究,而近代科学家的社会角色也就在这个基础上诞生了。

在近代科学家社会角色的形成过程中,17世纪的英国迈出了决定性的第一步。首先是英国上层社会的精英人物开始表现出对科学的兴趣。大约从1645年起,有一批崇尚培根实验哲学的人物开始每周在伦敦聚会讨论科学问题。这一活动最终导致世界上第

一个有影响的科学家组织——英国皇家学会的成立(1660年宣布成立,1662年获得英王查理二世的特许状)。皇家学会的成立宣告了科学活动和科学家角色在英国社会中得到正式承认,因为皇家学会的会员理所当然地应该是科学家。事实上,在皇家学会的第一批会员中有著名的大科学家波义耳、胡克、哈维等人,这些科学家虽然不是现代意义上的以科学为谋生手段的科学家,但是他们毕生活动的主要内容是科学,只不过他们属于当时的社会上层,从现代的职业观念看,他们属于业余科学家的范围。

在英国之后,法国迈出了第二步。1666年法国建立了巴黎科学院,它的建立显然受到了英国皇家学会的推动和影响,但它又与英国皇家学会有很大区别。首先,从成员的状况看,英国的皇家学会是业余科学家的聚会场所;而法国巴黎科学院则是专门家的专门科学机构,虽然它仅限于少数精英人物,与后来发展起来的以科学为职业的大量一般科学家还有所区别,但是这些院士是专职从事科学活动的高级精英人物,显然不同于一般的业余爱好。其次,从经济方面看,英国皇家学会虽得到英王特许,但并不能从国家那里得到任何经济上的赞助,会员还要缴纳为数不小的会费;而巴黎科学院则是国家的科学院,科学院院士可以从国家得到丰厚的年薪,还配备有助手。所以,巴黎科学院的成立和领取国家薪俸的院士制度出现,是在科学家社会角色的形成过程中迈出的重要一步。

最后,在19世纪的德国,科学终于发展成为一种专门的职业,这时科学家终于成为一种与其社会地位、社会身份或社会职业相一致的社会角色。科学变成一种专门的职业和科学家角色的最终形成,是和高等教育的发展、工业的发展分不开的,是大学教育和工业中的研究为科学家的研究活动提供了职业岗位,使科学家成为社会中一种新型的角色。德国的大学最早建立于14世纪后半叶和15世纪前半叶,比意大利、法国和英国要晚一些。但是由于历史发展的特点,德国的大学在18世纪首先演变为研究型大学,建立

了隶属于教授教席的研究组织,率先形成了教师必须进行科学研究以及训练研究生的一整套制度。这些历史发展导致了大学教师—科学家这样一种社会角色的形成,或者说科学家的社会角色在这种研究型大学的教师身份中实现了。此外,德国的企业又率先建立了工业研究实验室,也为科学家提供了许多职业岗位,从而开创了工业科学家的社会角色。至此,作为一种社会角色的近代科学家群体终于诞生了。

2. 近代技术专家角色的出现

与上述近代科学家角色的形成过程一样,近代技术专家角色即工程师的产生也经历了一个长期的孕育过程。工程师的前身是工匠,如前所述,他们以师徒传艺方式习得技能和操作知识,是古代社会里的技术专家。在古代欧洲的文献中,偶有把军事工程的设计者称为工程师的,但那时并未形成独立的工程师社会角色。中世纪后期,贸易的发展促进了桥梁、道路和运河修筑工程的兴起。从16世纪起,欧洲开始出现土木工程师(civil engineer)即民用工程师的概念,当时所说的工程师主要是指一些测量人员和桥梁道路建设者。以民用工程师作为职业约始于1770年的英国,英国的埃迪斯顿灯塔(Eddystone lighthouse)的设计者和其他许多著名建筑物的建造者斯米顿(J·Smeaton)首次公开称自己为民用工程师,以区别于以往的军事工程师(military engineer)。次年,斯米顿还创建了一个名为斯米顿俱乐部的工程师团体。此后,随着生产的发展,又相继出现了采矿、冶金、机械、电气、化工和管理等一系列专业工程师。

工程师角色的出现,除了与近代以来欧洲社会生产发展的客观需要有关之外,还与工程技术教育的昌盛和改革密不可分。近代欧洲的工程技术教育发展与生产发展并不是完全同步的。后起进行产业革命的法国和德国在工程技术教育上领先于英国。1747年,法国建立了以培养土木工程师为主的桥梁道路学院;1794年,

又设立了中央社会活动学校,并于次年改名为巴黎综合技术学校(Ecole Polytechnique),确立了国家综合性科学技术教育体制。德国在1809年创办了柏林大学,并对旧的大学制度进行改革,增加实验科学和技术教育的内容,设立了工学院;1821年起,又开办了柏林实业学校及其他一大批中等专业技术学校。

与此相比,英国的工程技术队伍在相当一个时期内仍采用艺徒制,通过生产实践来培养。1820年代,英国开展了“技工讲习所”(Mechanics Institutes)运动,其宗旨是“向工匠们传授有关工艺和制造业的科学原理”。尽管这一运动为日后英国高等技术学院和理工大学的发展作了准备,但这些技工讲习所当时都只属于成人教育的性质。直到1841年,伦敦大学学院内才设立了民用建筑、机械制造等技术系,以后又由国家专门委员会研究建立高等和中等技术学校。

高等工程技术教育的发展,不仅培养了一大批工程师,而且还导致了技术科学(technological sciences)的诞生。所谓技术科学,可以类比于物理科学(physical sciences,或称自然科学),后者是物理、化学、天文和地理等学科的总称,其研究对象是无生命的自然界或自然系统的运动规律;而前者则研究人工或人造系统即技术系统运行的基本原理。技术科学诞生的前提,是出现了一大批既不同于传统的工匠,又不同于科学家的人物,他们一方面接受过良好的科学训练,另一方面又从事和熟悉技术,这些人便是工程师。反过来说,工程师之所以不同于工匠和科学家,是因为他们掌握了某一门或数门技术科学。这是一种互为因果的关系,这种互为因果的关系在新的技术教育体制下形成一种良性循环。这样,近代工程师队伍便不断壮大,并作为一种社会角色逐渐取代了传统工匠的社会角色。

四、现代科学家和技术专家角色的确立

1. 现代科学家角色的确立

如前所述,近代科学经过了几个世纪的孕育之后,终于在19世纪的德国发展成为一种专门的职业,从而宣告了科学家社会角色的正式诞生。但是,科学家作为一种社会角色在当时还是羽翼未丰的。进入20世纪之后,随着科学对生产和技术指导作用日益显著,科学在现代社会中的重要性已被普遍认识,科学事业已成为社会的事业和国家的事业即所谓大科学,科学已成为对人类历史发展前途和现代国家兴亡起决定作用的一种力量。在这种情况下,科学家在社会中的地位也得到了普遍的承认,科学家社会角色在社会中便稳固地确立了起来。下面,我们以美国为代表简单地回顾一下现代科学家社会角色的确立过程。

在美国,现代科学家社会角色的确立,是与大学中教学和科研体制的改革,工业中研究实验室的大量涌现,国家直属科研机构的兴起三方面发展密切相关的。如前所述,德国的大学在19世纪首先演变为研究型大学,但是德国只是走出了迈向研究型大学的第一步,后来的发展却是由美国完成的。美国大学制度改革的主要成果是系的建立、研究生院制度的形成和以课题为中心的研究组织的产生。系的建立扩大了教授的容量,它突破了德国大学中教席的限制,在一个系内可以有許多水平相当的教授,各自在一个大学科中的不同领域具有权威地位,从而使新的学科和新的人才得以迅速成长。研究生院制度的形成,训练了一大批高质量的研究生,其中大部分将成为未来的科学家,有的在研究生期间所做的工作就已达到了获诺贝尔奖的水平,如研究超导现象的物理学家约瑟夫森。以课题为中心的研究组织则要比德国大学的那种附属于教授教席的研究组织灵活得多,它克服了德国大学把研究组织的全部权力集中于教授一人的弊端,促进了新的研究领域出现和新的研

究人才迅速成长,使美国大学成为科学研究的重要阵地。事实上,在美国,基础科学研究的绝大部分是在大学中进行的。

美国的工业实验室是在19世纪末开始发展起来的。其中成立较早较有名的有通用电气公司实验室、杜邦实验室、柯达研究实验室、美国橡胶公司实验室和贝尔实验室等。二次大战后,这样的实验室更是大量涌现。这些工业企业中的实验室成了吸收科学家和博士学位获得者的一个重要社会环境,而其中的科学家就成为所谓的工业科学家。这些实验室中的研究课题大都是与企业生产紧密相关的产品与技术开发课题,但有些大的工业实验室也从事与工业生产有关的基础科学问题研究。他们的研究虽然需要花费企业大量资金,但他们的研究为企业赚取了更大的利润。这就是一些大的工业研究实验室规模一直在发展的原因。仅以贝尔电话公司实验室为例,这个实验室在1912年雇用的科学家人数是50人,1919年是200人,1925年是350人,在经济危机时期的1934年科学家人数不但没有减少反而增加到500人,到了二次大战后的1947年其雇用的人数猛增到5000人,80年代初进一步增加到20000多人(其中有博士学位的3000人,诺贝尔奖获得者7人,每年经费16亿美元)。由此可见,在美国工业中的科学家已成为科学家队伍的重要成分。

和工业研究实验室一起,改变着科学事业面貌的另一类科学研究机构是国家直接管理的大型科学实验室。美国政府的行政机构大约由80个部、局和委员会构成,其中约有半数以上都有科学研究事业。除了与医药卫生事业有关的科学研究以外,最为人们熟知的是与国防事业相关的科研机构。其中最著名的就是原子能委员会及其所属的五个大的研究基地,分布在加利福尼亚的伯克利、西南部的洛斯阿拉莫斯、东南部的奥克瑞奇、东北部的布洛克海文和芝加哥地区的阿尔贡。这些研究基地是在第二次世界大战中兴起的,聚集着大批的科学家,既进行基础性研究,也进行应用研究。

总之,政府和国家科学事业的发展,使得这一部门中的科学家成为完成科学事业的十分重要的角色。

据美国自然科学基金会的统计,1991年有博士学位的科学家总数是23 3303人,其中35.2%在工商部门,49%在学术部门(主要是大学),7.5%在政府部门,其余是私人顾问和其他。从这个数字可以清楚地看到,大学、工业和政府机构的科学家三足鼎立,构成科学家的整体。现代科学家的角色就是在这三种职业岗位上,在教育、工业和政府所提供的社会环境内,实现自己历史使命的。

2. 现代技术专家角色的确立

现代技术专家角色的确立是与科学家角色的确立相互交织,密切相关的。如前所述,在现代,人们已经很难通过科学家和技术专家所从事的研究工作本身来把他们严格区别开来,因为科学家可能常常去做一些按传统的看法属于技术性质的工作,而技术专家也会在其从事技术活动的过程中作出一些科学发现。事实上,由于技术科学的发展,现代科学与技术的界限已变得模糊不清,传统的科学与技术的两分法,已经应该由“科学技术连续统”(science-technology continuum)的概念取而代之。在这个“科学技术连续统”的一端是纯粹的基础科学,另一端为纯粹的实用技术,而中间部分则很难说是科学还是技术。

这种科学与技术的相互交织的结果,是科学家和技术专家职业岗位的相互交迭。因此,在上述科学家的三种职业岗位上,实际上也有大量技术专家存在。如在大学里,除了进行大量的基础科学研究之外,还进行着大量技术科学的研究,特别是在一些工科大学如麻省理工学院(MIT)和加州理工学院(CIT)等,而且这里也是培养未来的工程师和技术专家的基地。在国家机构所属的实验室里,也有大量技术专家,如国家航天和空间局(NASA)的5 000多名科学家和技术专家中,大部分是技术专家。有资料表明,二次大战后的几年里,美国政府集中了大约30 000名来自物理学、生物

学、工程科学的专家,其中约三分之一是农业科学家,另外三分之一是在国防部工作的各类工程师。在工业研究实验室里,由于大部分研究工作是与企业生产紧密相关的技术课题,所以技术专家的人数更是远远多于科学家的人数。以前述的贝尔实验室为例,在1956年其各类雇员的数目是:物理学家475人、化学家90人、数学家50人、金属学家20人、工程师2300人,其他技术人员2400人,还有附属人员4000人。可见,技术专家人数远远超过了科学家人数。而且,企业中更多的技术人员还不是在研究实验室,而是在生产第一线处理日常生产中的技术问题。可以说,一个企业的生产要能够正常地进行下去,没有这些工作在生产第一线的技术人员将是不可能的。就这一点而言,技术专家的社会经济功能比科学家更加直接和显而易见,从而牢固地确立了其在社会中的地位。

从以上的历史中可以得出结论,科学家和技术专家角色的发展和演变受到两类社会条件的制约和影响。一类是全体公民社会价值的取向以及社会兴趣的变化,它引导人们在不同程度上支持、信奉或从事科学技术;另一类条件是科学技术组织,它鼓励创造精神,提高研究效率及促进科学技术成果的应用。历史上,这两类条件的变化促成了科学家和技术专家角色的出现,从而产生了使科学技术成为社会的一个相对独立的子系统的可能性。而科学技术成为一个独立的子系统之后,科学技术组织的作用就进一步增大,并又反过来要求科学技术组织本身的革新。结果,科学技术组织演变变得越来越复杂。

第三节 科学技术的社会组织

一、科学技术社会组织的分类

科学技术的社会组织是由科学家和技术专家组成的群体。这

个群体当然不是众多个体的简单的聚集,而是个体之间通过互动而形成的有机整体或系统,它能够提高研究效率,加快科学技术发展的步伐。由于互动的方式不同,科学技术组织的形式可以各不相同。这里,我们根据互动的空间范围和组织化程度,把科学技术组织分为两大类,即实体性组织和非实体性组织。前者如各种科学技术研究机构,主要分布在大学、企业和政府部门,这些实体性组织在上一节讨论科学家技术专家角色时已有所论及,这里不再赘述。本节主要讨论非实体性组织,以及它与科学技术发展和知识增长的关系。

所谓非实体性组织,其成员互动的范围比较广,往往超越了某个研究机构,所以也可以称为实体间组织,这种超越实体机构的互动方式在现代科学技术活动中是非常普遍的。在科学技术哲学和科学技术社会学文献中,这种非实体性组织被称为科学技术共同体。从内涵上讲,科学技术共同体这个概念,与各种科学技术专家的社会团体(如化学学会、物理学会,土木工程师协会、机械工程师协会与分科分专业学会,还有总起来的科学技术协会等)有许多重迭的方面,但两者也有区别,主要表现在,前者是一个社会学概念,以成员的互动作为其存在的基础;后者更多地是为了专业的管理和协调方便而建立起来的,所以本节只讨论前者而不讨论后者。

此外,在现代科学技术活动中最重要的一种互动方式是交流,而交流可分为正式交流和非正式交流两大类。正式交流主要指那些由杂志、书籍和其它档案资料等正式出版物而实现的交流;非正式交流包括面对面的谈话、电话交谈、演讲、通信、论文“预印稿”的交流等等,多数是个体之间的互动。非正式交流由于其具有正式交流不可替代的优点,如双向反馈、迅速、高效等,而受到科学家和技术专家的重视。据此,我们又可以从科学技术共同体中区分出一种主要依靠非正式交流而形成的子群体,在科学中称之为“无形学院”,在技术中称之为“创新者网络”,它们也是本节要讨论的内容。

二、科学技术共同体

1. 科学共同体

共同体(community)这个概念,在社会学中是一个基本的概念,通常指与某一个地域范围相联系的人群,所以在普通社会学中都译成“社区”。但是,在科学社会学中,科学共同体这个概念,却首先突破了地域范围的限制,而强调这个科学家群体所具有的共同信念、共同价值、共同规范,以区别于一般的社会群体与社会组织。最早使用科学共同体概念的是匈牙利裔英国科学家(后转向哲学社会科学)波拉尼(M·Polanyi)。但科学共同体概念成为科学社会学家普遍使用的概念,是在美国科学史家库恩 1962 年发表了《科学革命的结构》一书之后。库恩的贡献在于他把科学发展的认知过程和社会过程,通过科学共同体这一概念有机地结合起来,并反过来成功地解释了科学发展的规律问题。

库恩提出了“前科学→常规科学→反常和危机→科学革命→新的常规科学→……”的科学发展模式。其中,常规科学是和特定的范式 and 科学共同体联系在一起的。所谓范式就是一个科学共同体的全体成员所共有的东西,如共同的信念、共同的价值标准、共同的理论框架和研究方法,公认的科学成就和范例等等。反过来说,科学共同体也正是这些具有共同范式的科学家组成的群体。所以,范式和科学共同体这两个概念是融为一体的。库恩的重要贡献正在于把这两个概念联系起来,从而把范式在常规科学和科学革命阶段的运动转换成科学共同体在这些发展阶段上的运动,并通过科学共同体及其成员即科学活动的主体之间的互动,来揭示知识增长和科学发展的特点和规律。这样,传统的认识论问题变成了社会学问题,对知识的哲学分析变成了对科学认识主体的社会联系或互动的社会学分析。

科学共同体内部成员间互动的一种主要方式是科学交流。因

为,属于同一专业、同一研究领域的科学家,其职业岗位可分布在不同的地区(有时是不同的国家)、不同的机构之中,那么形成这种共同体联系的唯一途径就是科学交流。只有通过发表文章、阅读与引证同一领域的文献,参加相关的会议与短期访问、交流和合作,才能使这些分散的人员联系起来。科学共同体在专业问题上的一致,也是通过科学交流逐步实现的,无论是符号系统、模型及范例,无论是概念、理论、方法或仪器工具的使用,都是通过科学交流而逐步取得一致的。科学交流是一种无声的力量,它把分散的科学家的认识汇聚和统一起来,形成不同的研究领域、专业和学科,形成不同层次的科学共同体。

科学交流还是科学家获取学术承认的重要途径。按照社会学中的“交换理论”,提交给科学期刊的论文实际上是一种“礼物”,它交换的报酬是学术承认,期刊接受投稿意味着作者的科学地位已被确定,这是一种学术承认。同行的承认是对角色履行任务的认可。对于科学共同体的不同成员,由于其贡献的大小有别,他们所获得的承认也有程度不同,从而导致了科学共同体的分层结构。这种分层结构又由于“马太效应”而得到进一步的加强和巩固,所谓“马太效应”就是科学中的优势积累效应,它表现为某些科学家一旦具有一定优势后,就有了更多的机会进一步去获得成果和承认,反之则变得更加默默无闻。“马太效应”和分层结构一样,虽然有其一定的消极影响,但由于它们都根源于共同体内同行的承认,而这种承认又是建立在全员成员自愿基础之上的,所以它们又是科学共同体得以维系的重要保证。

2. 技术共同体

模仿科学共同体和科学范式的概念,美国技术史家康斯坦于1980年首先提出了技术共同体和技术范式的概念,此后意大利技术经济学家多西又对此作了进一步的论述。多西认为,技术和科学在发展机制上和程序上有大致相似的性质,所以存在着类似于科

学范式的技术范式。可以把技术范式定义为根据一定的物质技术以及从自然科学中推导出来的一定的原理,解决一定技术问题的模型或模式。以共同的技术范式为基础而形成的技术专家群体便是技术共同体,其任务是在技术范式的指导下从事技术的解题活动。在技术共同体内其成员之间的互动方式,要比科学共同体成员的互动复杂得多。以知识交流为例,在科学活动中新知识的发现者出于获得同行承认和优先权的考虑,通常会尽快将其细节无偿地向同行公开,因而交流渠道畅通无阻;但在技术活动中,技术知识的交流方式则要复杂得多,如可能是通过申请专利有偿地公开,也可能通过出售许可来保证有偿使用,还可以不公开即保密或部分保密,有时甚至公开了也难以交流,因为技术知识中有大量 know-how。总之,由于互动方式不同,技术共同体的结构也与科学共同体的结构不尽相同,有关这方面的深入研究,将是技术社会学的重要课题。

三、“无形学院”和“创新者网络”

1. “无形学院”

科学史家普赖斯在研究现代科学学术交流的社会网络时发现,现代科学即使是最小的分支也有成千上万的同行,所以真正有学问的人就会分裂为非正式的小团体。他认为,任何一个大学科中都有这种小规模、百人左右的优秀人员构成的“无形学院”,其成员通过互送未定稿、通信等迅捷的非正式交流与合作,形成一个强有力的、高产的团体。后来,社会学家克兰又对数学和乡村社会学两个科学研究群体中的科学交流进行了实证研究,阐明了科学与科学活动组织结构之间的关系。

克兰的实证研究主要采用两种途径:一是通过问卷的方法了解科学家在选择课题和适用技术时所受的影响,了解科学家的师生关系;二是通过引证分析了解科学家之间实际存在的种种联系。

通过这些具体可察的资料来说明科学家之间的种种非正式的、不固定的社会联系,从而证实了在上述两个领域内“无形学院”的存在。克兰还根据引证分析的资料说明,在一个学科内大多数的论文很少被引证,而少数的论文却被大量引证,这些被大量引证的论文,其作者又是那些少数的高产优秀科学家,并常常集中发表于少数优秀的杂志上。这些少数的优秀科学家和优秀杂志被称为“核心”科学家和“核心”杂志。其作用是使某些重要的思想和问题在科学交流过程中得到重复和强调,保证这些知识内容的传播和被接受,从而引导研究工作朝着某些方向进行。

最后,克兰还根据其实证研究,对科学交流系统作了分类,并在此基础上说明了“无形学院”与科学共同体的关系。她认为,科学交流系统分为两类:一类是变化不大的正式的学术交流系统,这是任何一个成熟的学科都拥有的正规的学术会议、学术期刊、学术专著、文献摘要和目录索引等,通过这种交流形成庞大的科学共同体;另一类是迅捷的、非正式的学术交流系统,常常出现于学科的前沿和几个学科的边缘,为了尽快获得最新的信息,研究人员大多通过直接交谈、通信等个人联系的方式进行非正式的交流,这就形成了“无形学院”。所以,在科学的前沿,往往是由“无形学院”通过少数人的非正式交流系统创造出新知识,然后由大范围的正式交流系统来评价之,承认之,推广之和传播之。这就是“无形学院”与它所在的较大范围的科学共同体的区别与联系。

在 20 世纪的科学史上,控制论学科的形成是一个典型的例子。维纳在他的《控制论》一书导论中,详细说明了来自不同学科的科学家,经过相当时间的自由讨论,形成了一个学科际的“无形学院”,这个“无形学院”创立了控制论这个学科。后来,控制论发展为一个独立的横断学科,形成了自己的科学共同体。这段历史说明,一个不定型的、依靠非正式交流方式形成的“无形学院”,可以转变为一个拥有一切正式交流体系和比较固定形式的科学共同体。

2. “创新者网络”

“创新者网络”这个概念原出自技术创新经济学,意指一种特殊的创新者组织形态,即网络组织,它介于市场和企业组织之间,是两者互相渗透的产物。与市场或企业组织相比,网络组织是一种松散联结的组织,其核心与成员组织(如企业)之间的联系可强可弱,但成员组织之间有一种合作的关系作为网络组态的联结机制。这种“创新者网络”与技术共同体的关系,颇似“无形学院”与科学共同体的关系。如前所述,“无形学院”实际上是科学共同体中的一个子群体,其特点是成员之间主要依靠非正式的交流,从而能迅速获取最新的信息,因此“无形学院”往往处于科学的前沿、率先创造出新知识。与此相似,“创新者网络”也可以视为技术共同体中的子团体。它与一般的通过创新者(如企业)之间正式的交流(如技术报告、技术资料、杂志书籍、专利转让等)而形成的技术共同体的不同之处,在于它提供了创新者进行非正式交流的机会,使其发生直接的互动,从而提高创新活动的效率。具体的制度安排包括合资项目、签订转包合同、R&D合作、政府主办的联合研究项目,以至人员流动等,这些也就是“创新者网络”的不同类型。不过,有一点需要注意,创新不仅仅是一个技术上的概念,一个技术创新不仅是一个技术发明,更为重要的是它在商业化上的成功,所以“创新者网络”也不仅仅是一个技术上的概念。

第四节 科学技术的体制目标和社会规范

一、科学技术的体制目标

如前所述,在现代人们已经很难通过科学家和技术专家所从事的研究工作本身及其产品来把他们区别开来,他们的职业岗位也常常相互交迭,从而也不可能据此来区别他们。但是,这并不是

说科学家与技术专家、科学与技术就没有差别、完全同一了。关键是要变换角度,从一种新的角度来理解科学技术,当我们把科学技术看作某种特定的社会体制时,两者的差别就立刻显示出来了。第一个差别,也是最重要的差别,就是两者的体制目标不同。

关于科学的体制目标,或科学家从事科学活动的目的或动机,大科学家爱因斯坦曾作过透彻的分析。他说:“在科学的殿堂里有许多房舍,住在里面的人真是各式各样,而引导他们到那里去的动机也实在各不相同。”^①他把这些人分为三类。一类人他们爱好科学,是因为科学给他们以超于常人的智力上的快感,科学是他们自己的特殊娱乐,他们在这种娱乐中寻求生动活泼的经验和雄心壮志的满足;第二类人所以把他们的脑力产物奉献在祭坛上,为的是纯粹功利的目的。爱因斯坦认为,如果殿堂里只有这两类人,那么这栋科学的殿堂就决不会存在,正如只有蔓草就不成为森林一样。因为对这些人来说,只要有机会,人类活动的任何领域他们都会去干。他们究竟成为工程师,官吏、商人还是科学家,完全取决于环境。

还有第三类人,这类人有两种动机:消极的动机和积极的动机。所谓消极的动机,也是最强烈的动机,是要摆脱人们自己反复无常的欲望的桎梏。一个修养有素的人,总是渴望逃避个人生活而进入客观知觉和思维的世界。这种愿望好比在城市里的人渴望逃避喧闹拥挤的环境,而到高山上去享受幽静的生活,在那里透过清寂而纯洁的空气自由地眺望。所谓积极的动机,就是这类人总想以最适当的方式来描绘出一幅简化和容易领悟的世界图景,并试图用他们这种世界体系来代替经验的世界;也就是说,他们渴望看到一种先定的和谐,这种渴望是无穷的毅力和耐心的源泉。这样,这些人就不会分心于比较愉快和容易达到的目标上去,而是专心致

^① 《爱因斯坦文集》第1卷,商务印书馆,1976:100.

志于科学中最普遍的问题。这第三种人的观点也就是爱因斯坦自己的人生观和从事科学研究的动机。他们每天的努力并非来自深思熟虑的意向和计划,而是直接来源于激情。他们工作时的精神状态有点类似于信仰宗教的人或谈恋爱的人,已经达到了一种忘我的境界。这种从事科学活动的动机,是为知识而知识,这是一种非功利的动机,这些人在科学这块土地上辛勤地耕耘,不是为了金钱和自己的利益,而是为了增进认识而探求,他们追求的是客观知识本身。

爱因斯坦的上述论述,是在1918年另一位德国大科学家普朗克60岁生日的庆祝会上发表的。24年之后的1942年,科学社会学之父默顿发表了后来定名为《科学的规范结构》的文章,从科学社会学的角度对此作了总结,明确指出科学的体制目标是“扩展确证无误的知识”,也就是要求科学家应做出独创性的贡献,从而不断增加科学共同体和社会的知识存量。当然,这并不意味着科学对知识的实用价值毫不关心,科学家也确实常常会带着某种应用的意图而去从事研究。但是,归根到底,科学的终极目标在于获得关于自然的知识,以及这种知识在进一步认识自然时的作用。科学的这个体制目标,对于理解后面要论及的科学的社会规范是至关重要的。

与此形成鲜明的对照,技术的体制目标则是纯功利的,确切地讲就是要利用知识来谋利。首先,这里的“知识”可以是技术专家自己创造的,也可以是科学家创造的。但即使是后者,如利用一项已有的科学发现作出一项技术发明,其中有关这项科学发现的知识是已知的,但要根据此作出一项技术发明,发明者必须有所创造。具体来讲,也就是要根据已知的科学原理构思一个技术原理,这个过程是一个创造性的过程,由此而形成的技术原理就是发明者创造的新知识。事实上,正是这些新知识才是他能够获利的本钱。其次,这里的“利”对发明者来说是一种经济收益,而对社会来说则是社

会福利的改进,因为社会能够享受由技术发明所带来的好处。所以,尽管谋利作为技术的体制目标,其出发点不一定是公益的,但它的结果却同时提高了整个社会的福利水平,用经济学的术语说就是实现了“帕累托改进”。因此,技术的体制目标与整个社会的利益是一致的。

二、科学技术的社会规范

社会学家在讨论科学的规范时,把它分为两大类,一类是认识规范或称技术规范;另一类是社会规范。认识规范包括一般的方法论约定,如科学家的科学活动及成果必须要求逻辑一致,经验确证或者否证等,此外还包括各个学科专业所持有的比较具体的专门的东西,大体上相当于库恩所说的范式。认识规范与社会规范,在科学家的实践活动中是紧密交织在一起的,但是我们在进行讨论和分析时可以把它们分离开来。前面在讨论科学共同体时已涉及到认识规范的问题,这里主要讨论科学的社会规范。

默顿在上述 1942 年发表的那篇文章中已经提出了四条科学的社会规范,即普遍主义、公有主义、无私利性和有条理的怀疑主义,并分别进行了说明。虽然,这四条规范经常受到这样那样的批评,但它的经典地位却丝毫未曾动摇。

普遍主义(universalism),这条规范强调科学的标准到处都是一样的。只要是科学的真理,不管它的来源,都服从于不以个人为转移的普遍标准。科学发现的权利和理论论据的评价是根据发现和理论本身固有的价值和科学的标准来进行的,而与国家、种族、阶级、宗教、年龄等等无关。普遍性原则和科学知识的客观性有直接的联系,自然界的规律是普遍的,科学表述的真理与价值和提出这种表述的个人属性没有关系。沙文主义者可以把他们认为是异己的科学家名字从科学历史教科书中抹去,但是这些科学家所提出的科学公式却仍然是科学本身不能缺少的内容。默顿强调指出,

普遍主义这条原则深深地根植于科学的非个人的特性中。他还指出,科学的普遍主义原则还说明科学事业是向所有天才开放的。这就是说,人们追求真理、学习与研究科学的机会是普遍的,不受其他条件限制。

公有主义(communism),这条规范要求研究者不占有和垄断科学成果,因为科学研究是建立在前人知识积累之上的,协作和交流是现代科学研究的基本要素,所有科学发现都是社会协作的产物,因而归属于全体社会成员。任何一个以个人命名的规律和理论都不归于发现者和他的后嗣所有,也并不给这些人以使用和支配的特殊权利。这条科学伦理的理性原则把科学中的所有权要求减少到了最低的限度:科学家的知识“产权”仅限于根据这些发现对知识的贡献来量度、承认和评价。反过来讲,他的发现要得到及时的承认和适当的评价,他就必须尽快公开他的发现以取得优先权,这样才能得到同行的承认,而且他还必须完全公开他的发现,这样才能得到适当的评价。正因为如此,在科学史上,科学家之间争夺科学发现优先权的冲突是很激烈的。但是,要注意的是,科学家所争夺的是优先权而不是占有权或垄断权。优先权之争始终没有向科学知识是公共财富这一点提出挑战。

无私利性(disinterestedness),这条规范要求从事科学活动、创造科学知识的人不应以科学谋取私利。有的社会学家把这条规范所强调的内容归结为“为科学而科学”。也就是说,科学家从事科学活动的唯一目的是发展科学知识而不是其他。科学家不能因为自己个人的其他原因来接受或拒绝一种科学思想或观点,他也不应该以任何方式从自己的研究中谋取个人的私利。默顿指出,从事科学活动的人,决不是为了赚钱或营利,而是热衷于探索和发现,是内在的科学兴趣。特别是,这个问题并不是单纯的道德问题,而是科学体制的要求。他指出这不是主张利他主义,也不是提倡利己主义,因为无论是利他或利己都会把体制的分析与动机的分析混

淆起来。他认为,科学家从事科学活动的动机确实是多种多样的,科学的社会规范就是要在一个宽广的范围内对科学家的行为进行制度上的控制。

有条理的怀疑主义(organized skepticism),这条规范强调科学的永恒的批判精神。它要求所有的科学知识,不论是新的还是老的,都要经过仔细的检验;无论是哪一个科学家作出的贡献都不能不经过检验而被接受,科学家对于自己和别人的工作都应该采取怀疑的态度。有条理的怀疑主义作为科学的社会规范,能帮助科学家发展创新精神。在科学史上,正是由于达尔文大胆怀疑上帝创世的宗教神学,因而提出了科学进化论学说;爱因斯坦也是由于没有恪守牛顿力学,没有把它当作“永恒的真理”,而是运用自己的思考,大胆地进行怀疑,才创建了相对论。大胆的怀疑精神,是任何有作为的科学家应有的行为规范,它是人们在知识生产中认识发展的契机,也是实现科学的体制目标即“扩展确证无误的知识”的必然要求。

以上是默顿提出的四条科学的社会规范,对此尽管有不少争论,但它们毕竟为我们提供了一个基本的范式。事实上它们也的确反映了科学的社会规范中最基本的内容。与此相比,关于技术的社会规范的讨论则非常之少,甚至连一个可供争论、批评的东西也还没有。下面,我们将以科学的四条社会规范作为参照系,通过与科学的比较来探讨一下技术的社会规范问题。首先,技术的评价标准并不一定具有普遍性,因为技术具有两重性,即它的自然属性和社会属性。技术的物质形态作为人工自然物,受到自然规律的支配;同时它还是社会存在物,又受到社会规律的支配。因此,用以评价技术的标准,不仅是技术的合理性,而且是社会的合意性,显然后者并不具有普遍性。其次,与科学的公有主义规范完全相反,技术服从非公有规范,或称独占性(appropriability)规范。具体的制度安排是保密和专利制度。有些作者由此批评默顿提出的科学的公

有主义规范失效了,其实是这种批评本身混淆了科学和技术的体制差别。公有性与非公有性的矛盾恰好表明了科学与技术的区别,同时也是区分科学和技术的一个重要标志。再次,科学的无私利性规范,对技术也完全不适用。事实上按照技术的体制目标,技术恰恰是追求私利的,正是这种私利构成了技术体制的激励机制,如同优先权作为科学体制的激励机制一样。最后,在技术体制中,对怀疑和批判精神的要求不如科学体制强烈。如前所述,在科学体制中,怀疑精神有助于创新精神,而创新是实现科学体制目标的主要途径,所以怀疑精神是科学的体制目标的要求。而在技术体制中,作为其体制目标的获利,则并非必须通过批判、怀疑进而创新来实现。常常是:保密和垄断比创新获利更大、更方便,因为创新的成本很高。总之,由于科学和技术的体制目标不同,它们的社会规范也将有许多差别。这一认识是对我们过去仅从认识论的角度来区分科学和技术的一种补充。

本章进一步阅读书目

1. 何亚平主编. 科学社会学教程. 杭州:浙江大学出版,1990
2. 刘珺珺著. 科学社会学. 上海:上海人民出版社,1990
3. 张碧晖,王平著. 科学社会学. 北京:人民出版社,1990

复习思考题

1. 试从社会体制的角度分析科学与技术的差别。
2. 近现代技术专家角色的形成与技术的体制化有何内在联系?
3. 何为科学共同体? 何为“无形学院”? 试论两者的关系。

第十一章 科学技术与社会的互动

科学技术的社会体制化,表明科学技术已经成为一种独立的社会力量,但这并不意味着科学技术是一个封闭、孤立的系统。事实上,科学技术是整个社会大系统的有机组成部分,它与整个社会大系统及其它子系统有着复杂的相互联系和相互作用。要正确、完整地理解科学技术,除了认识科学技术本身之外,还必须认识它们与社会的相互联系和相互作用。

第一节 科学技术推动社会全面进步

科学技术的发展推动着人类社会物质文明的昌盛和精神文明的进步。对此,我们不妨通过西方近代史上的科学革命、技术革命以及由此引发的工业革命和政治革命这一连串相关的历史事实来加以说明。

一、科学革命:哥白尼—牛顿革命

从16世纪开始,哥白尼—牛顿革命给人们的宇宙观、方法论带来了极其深刻的变革。哥白尼在《天体运行论》中,用日心体系代替托勒密在《至大论》中的地心体系;用太阳中心说取代地球中心说;用地球运动取代地球静止;用观察方法取代思辨方法,由此在近代史上引发了一场意义重大、影响深远的宇宙观的变革。

在哥白尼、开普勒和伽利略等关于天文学和力学方面的一系列重大发现的基础上,牛顿终于把原来泾渭分明的天上和地下的运动,用物理学的规律统一起来。在他的名著《自然哲学的数学原

理》(1687)这部经典力学体系的奠基作中,他建立了一个稳固的经典力学的理论框架,这就是:

(1)基本概念:质点、力、时间和空间。

(2)基本定律:惯性定律、加速度定律、作用力与反作用力定律和万有引力定律。

(3)基本方法:数学方法(微积分运算)和逻辑方法(形式逻辑推理)。

并且,用大量观察与实验的事实,作为这个理论框架的经验内容。这样,他就把整个宇宙的运动,概括在一个统一的力学体系之中,建立了经典物理学的基本理论与基本方法。牛顿的力学体系,直到19世纪末,一直是理论物理学领域中每个科学工作者的纲领。

二、技术革命和工业革命

从18世纪末开始的英国工业革命,它的直接前提是纺织工业中发生的技术革命,从某种意义上说两者是相互交织、难以区分的。如果说,科学革命给人们带来了宇宙观和思维方式的改变,那末,由技术革命触发的工业革命、人类生产方式的重大变革,则大大地改变了人们的生活方式和价值观念。

生产工具的变革,把手工工具改造为机器,在这场革命中起着先锋作用。1765年纺织工人哈格里弗斯发明了珍妮纺纱机,它的效率是旧式纺车的10多倍。1768年理查·阿克莱特发明了水力纺纱机,它是用机械力发动的第一部纺纱机。1779年赛米尔·康普顿综合了珍妮纺纱机和水力纺纱机的机械原理,发明了走锭纺纱机,初步完成了纺纱机的革新,极大地提高了生产效率。

上述这些技术发明的最直接的结果就是英国工业的诞生,首先是棉纺织业的诞生。由于纺纱机的发明和改进,形成了纺与织的不平衡,纺与织之间的相互联系使得这种不平衡必须得到解决。到

1784年,卡特赖特发明了水力推动的自动织机,把织布效率提高40倍。新型纺纱和织布工具机的发明,使所有的棉纺织业部门都革命化了。棉纺织业的技术变革所带来的影响,很快又传到了毛、麻、丝等工业部门。

纺织业的革命继而又引发了整个工业的革命。这个革命沿着两个方向发展出一系列新兴工业:一个方向是沿着纺和织以后的产品所经过的一系列工序,如染色、印花、漂白等,使这些新的工业发展起来,其结果引起机械和化学的需要;另一个方向是与纺织相联系的那些工业部门发展起来,如金属工业、采矿业、交通运输业等等。

工具机的技术革命推动了动力机的技术革命。1698年英国工程师托马斯·塞维利发明了第一台可以实际应用于抽水的蒸汽机,它第一次把蒸汽变成了工业动力,但它的效率很低。1705年英国锻工托马斯·纽可门发明了一种更加适用的大气活塞式蒸汽机,但它的热效率也只有1%。

蒸汽机技术的决定性变革,是在英国一名仪器修理工人詹姆斯·瓦特对它作了重大改进之后。瓦特发明蒸汽机的过程可以分为两个阶段。第一个阶段是提高蒸汽机的效率。1765年他根据英国科学家布莱克提出的有关潜热、比热和热容量的科学知识发明了分离冷凝器,1769年取得这项发明的专利,1776年第一台实用型瓦特蒸汽机开始使用,它的热效率可达2%~4%,比纽可门蒸汽机提高了4~6倍。第二个阶段是把蒸汽机变成普遍适用于工业的万能的原动机。在此之前,蒸汽机所能提供的只是直线往复运动,这对于抽水、提升已经足够了,但却不能为更加广阔的工业用途提供使各种工作机运转所普遍需要的旋转运动。1783年瓦特制成第一台实用的旋转式蒸汽机,次年获得专利。这种蒸汽机在工艺上的应用是普遍的;在地址选择上不太受地点条件的限制。

有了蒸汽作为动力,工业革命才得以继续下去,并建立了控制

机器大工业的机器生产体系,迅速发展起一座座人口集中的城市,当时有人称蒸汽机是工业城市之母。不仅如此,由于蒸汽代替水力和其他动力被广泛使用,需要消耗大量煤炭,于是又引起了能源结构的革命。此外,伴随着机器体系的形成,钢铁生产也急剧发展,并且发生着冶炼燃料由木炭改用焦炭的转变,这就更增加了煤炭的消耗数量。

由技术革命直接引起的英国工业革命,以及由此日益波及世界的工业化运动,对人类社会的发展产生了巨大的影响。人口增加、城市集中、财富增加、生产力空前高涨和工厂制度的建立,特别是工业革命根本改变了农业社会的劳动方式、生活方式和价值观念,创造了一个工业社会。

三、政治革命:英国、法国和美国的革命

科学革命、技术革命和工业革命,带来了社会经济大变动,与此同时,欧洲也发生了深刻的政治革命,它和经济革命是密切联系、相互促进的。欧洲发生的这场政治革命,实质上是用资产阶级的人权(最主要的是所有权)代替宗教神权和封建皇权;用民主政治代替封建的专制统治。它也和工业革命一样,发端于英国,而后扩展到欧洲的其他国家和地区,以及和欧洲联系密切的美国。

马克思指出,1648年英国的革命和1789年法国的革命“宣告了欧洲新社会的政治体制”。这场政治革命的胜利意味着“资产阶级所有制对封建所有制的胜利”。^①在这场政治革命的进程中,由所有制引起的阶级关系的剧烈变动,产生了三股关于社会改革的思潮。

一是自由主义。这是新兴资产阶级的意识形态,是它的政治纲领的思想基础。自由主义的实质是使资产阶级的利益和目的合理

^① 《马克思恩格斯选集》第1卷,人民出版社,1995:318.

化。在初期,它主张个性发展、自由竞争、保障人身和私有财产的安全,这反映了资产阶级建立政权后的要求。英国革命、法国革命和美国革命实际上意味着自由主义的胜利。

二是民族主义。中世纪宣扬的世界主义,实际上是罗马帝国的宇宙神权,即所有人都是基督教的神民。当资产阶级取得政权后,它要用独立的国家,即资产阶级统治的国家,代表民族的最高权力,因而就以代表“民族利益”为旗号,大力宣传民族主义。法国大革命对民族主义的兴起,起了重要的推动作用。它要求全民族讲法语,在中小学普及爱国主义教育,规定了国旗、国歌与国庆日,这一切都是为了反对宗教统治,反对地方分裂。

三是社会主义。工业革命的“最重要的产物是英国无产阶级”,^①由此又产生了现代社会主义。这一思潮在18世纪法国早期社会主义者那里,表现为和自由主义直接对立,激烈要求进行经济、政治与社会的改革。社会主义在19世纪后期,由于马克思的两个伟大发现——唯物主义历史观和通过剩余价值揭破资本主义生产的秘密,已经发展成为欧洲历史进程的重要力量,在20世纪进一步扩展到全世界。

欧洲政治革命中的资产阶级和新兴的无产阶级,都有自己的政治宣言,这就是近代世界史上最重要的三部《宣言》,它们对人类的命运和前途产生了极为深远的影响。

代表资产阶级利益的是《独立宣言》和《人权宣言》。《独立宣言》是美国宣布13个殖民地脱离英国统治的文件,由托马斯·杰弗逊起草,于1776年7月2日在费城召开的大陆会议上通过。它依据18世纪先进的政治理论,确认天赋人权说(根据“自然法”个人享有的权利包括生存权、自由权和谋求幸福权等),和政府契约说(实际上即人民主权论,主张政府的权力来自人民的委托,国家

^① 《马克思恩格斯全集》第2卷,第296页。

的主权永远属于人民)。

《人权宣言》(其全称为《人权和公民权利宣言》),于 1789 年 8 月 20~26 日由法国国民会议通过,成为 1791 年宪法的序言。它以法国启蒙思想家的政治学说为理论基础,提出了:(1)人人生而自由,权利平等;(2)人的权利包括自由、私有财产、人身不可侵犯和反抗压迫等;(3)在法律面前人人平等,人人有权直接或间接参加立法;(4)没有司法机关命令,任何人不受逮捕;(5)宗教自由和言论自由等,共计 17 条。该《宣言》明确规定了私有财产具有神圣不可侵犯的权利,这充分反映了资产者的利益。

代表无产阶级利益的是《共产常宣言》。它是无产阶级政党的第一个纲领性文献,是马克思主义学说第一次完整的、系统的阐述。它是 1847 年 12 月~1848 年 1 月,马克思、恩格斯受共产主义者同盟第二次代表大会委托共同起草的党纲。自从这一《宣言》诞生以来,社会主义运动在世界范围蓬勃发展,从而深刻地改变着人类历史的进程。

这些政治革命的实践和社会改革的思潮,与当时各国的科学技术革命又是密切相关的。近代的科学技术革命为政治革命提供了重要的思想武器,又通过对工业革命的推动为社会改革提供了物质基础。科学技术成为推动社会全面进步的巨大杠杆。

第二节 科学技术促进经济增长

一、“科学技术是第一生产力”的定性说明

“科学技术是生产力”是马克思主义的一个基本原理。现代科学技术的发展,使得科技在经济发展中的作用越来越显著。进入 80 年代,邓小平高瞻远瞩、审时度势,进一步作出“科学技术是第一生产力”的科学论断,为我国 90 年代乃至跨世纪经济和社会发

展提供了强大的动力。

自从小平同志提出“科学技术是第一生产力”这个命题以来，我国学术界对此已作了不少论证，其中一个共同的核心思想就是把科学技术渗透到马克思的生产力三要素（劳动者、劳动工具和劳动对象）中去，认为科学技术是生产力三要素的一个公共因子乃至三要素的共同的指数，用式子来表示就是：

$$\text{生产力} = (\text{劳动者} + \text{劳动工具} + \text{劳动对象}) \times \text{科学技术} \quad (1)$$

或者

$$\text{生产力} = (\text{劳动者} + \text{劳动工具} + \text{劳动对象})^{\text{科学技术}} \quad (2)$$

从这两个式子显而易见，科学技术已成为生产力中占主导作用的因素，其对生产力发展的贡献已超出了劳动者、劳动工具和劳动对象这三个要素的贡献，因而科学技术是第一生产力。

二、技术进步促进经济增长的定量分析

上述论证方式不禁使人想起，40年前美国经济学家（后来的诺贝尔奖获得者）罗伯特·索洛所作的一项工作，这就是他在1957年发表的《技术进步与总量生产函数》一文中在历史上首次给出的一个测量技术进步在经济增长中贡献的规范方法。这个方法的基本思路如下。

假设总量生产函数的一般形式为

$$Q = F(K, L, t) \quad (3)$$

式中 K 是资本（大体上包括了马克思的劳动工具和劳动对象）， L 是劳动，而此外又包含时间变量 t ，表示生产函数对应的技术水平随时间的推移而不断进步，从而任一资本和劳动组合下的产出量不断增加。

为简单起见，索洛假定技术进步是希克斯中性的，即在每单位劳动配备相同资本量的条件下，技术进步同等程度地提高资本的边际产量和劳动的边际产量，而这又完全等同于同等程度地扩大

了资本量和劳动量,因此总量生产函数就简化为

$$Q=f(A(t)K, A(t)L) \quad (4)$$

这个式子实际上就是上述把科学技术渗透到各个要素中去这一思想的一般数学表达式。如果再假定生产函数是规模报酬不变的,则(4)式还可以进一步简化为

$$Q=A(t)f(K, L) \quad (5)$$

尽管(5)式是经过多次简化后得到的,但仍比(1)、(2)两式更具一般性。而且在其推导过程中即便做了简化,也讲清楚了是在什么假定条件下的简化,因而比较起来索洛的工作似乎更符合科学推理的规范。不仅如此,索洛还在(5)式的基础上,通过一些数学处理,使其能够应用国民生产的实际统计数据测算出技术进步对经济增长的贡献究竟有多大,这就是所谓的“余值”法。其基本原理如下:

对(5)式求时间 t 的导数,再除产出量 Q ,得

$$\frac{\dot{Q}}{Q} = \frac{\dot{A}}{A} + A \frac{\partial f}{\partial K} \frac{\dot{K}}{K} + A \frac{\partial f}{\partial L} \frac{\dot{L}}{L} \quad (6)$$

定义参数 $\alpha = \frac{\partial Q / \partial K}{Q / K}$ 为资本的产出弹性, $\beta = \frac{\partial Q / \partial L}{Q / L}$ 为劳动的产出弹性, $q = Q / L$ 为人均产出, $k = K / L$ 为人均资本,注意到 $\partial Q / \partial K = A \partial f / \partial K$ 等, $\dot{q} / q = \dot{Q} / Q - \dot{L} / L$ 等,和在规模报酬不变条件下 $\beta = 1 - \alpha$,则(6)式化简为

$$\frac{\dot{q}}{q} = \frac{\dot{A}}{A} + \alpha \frac{\dot{k}}{k} \quad (7)$$

由(7)式,只要根据三种数据的时间序列,即人均产出 q ,人均资本 k 和资本的产出弹性 α (可视为资本在总产出中的分配份额),就可以测算出人均资本增长率对人均产出增长率所作的贡献,从而测算出技术进步所作的贡献,即扣除前者以后的“余值”。

根据这个原理,并利用美国 1909~1948 年间的统计数据,索洛在 1957 年那篇文章中测算出技术进步对人均产出增长的贡献

为 87.5%，而人均资本增长对人均产生增长的贡献仅为 12.5%。这一定量结果表明技术进步对经济增长的贡献已超出资本的贡献，成为起主导作用的因素。

此后，另一位美国经济学家丹尼森又在索洛的基础上，详细核算了各个要素对实际 GNP 增长的贡献。表 11-1 是他对 1948~1981 年间增长源泉的研究结果。从中亦可看出，由知识进步等组成的全要素生产率也超出了要素投入对增长的贡献。

表 11-1 增长的源泉(1948~1981 年)

作出贡献的要素	要素对实际 GNP 增长的贡献	
	百分点(每年)	占总体的百分比
实际 GNP	3.2	100
投入的贡献	1.1	34
资本	0.5	15
劳动	0.6	19
土地	0.0	0
全要素生产率	2.1	66
教育	0.6	19
知识进步及其他	1.5	47

三、传统解释的局限性

应该承认，以上这些美国经济学家的工作，无疑也为“科学技术是第一生产力”这一命题提供了重要的证据。但是，无论是我国学者的定性说明，还是美国学者的定量分析，现在看来似乎都还只停留在表面而未深入到根源。就是说都只停留在说明科学技术是第一生产力，而并未说明为什么科学技术是第一生产力，即为什么科学技术能够成为推动经济发展实现经济增长的主导力量。对此

问题,我们下面将试图给出一个知识经济学的解释。也许对大多数人来说,知识经济学完全是个新名词,这里用这个名词主要是想区别于只注重物质资源的传统经济学。为此,让我们先从传统西方经济学对经济增长问题的解释及其局限性说起。

传统经济学的中心任务,就是研究一个经济系统怎么样有效地把有限的或者稀缺的资源(即投入)转变为有用的物品(即产出)。这里,作为投入的资源又称为生产要素,一般分为三类,即土地、劳动和资本。在传统的经济学中,劳动都侧重于体力而忽视智力,资本则侧重于物质资本而忽视人力资本。因而,要想增加产出实现经济增长,就必须增加这些主要是物质资源的生产要素的投入。对于传统的农业社会来说,经济系统的投入基本上仅有土地和劳动两种,资本积累尚未开始。在这样一种经济中,如果起初土地相对于人口而言还是充裕的话,那么经济系统可以通过增加土地的投入(开垦荒地)来增加产出以养活更多的人口,而更多的人口(劳动)又可以通过进一步开垦荒地来增加产出……如此下去,随着人口的不断增长,最终所有的土地都会被占用,新的劳动者开始拥挤在已有的土地上。也就是说,这时只增加劳动而不能增加土地。这样,当土地固定而人口继续增长时,国民产值还会继续增长,但产出的增长一定会慢于人口的增长,而且越来越慢。这就是最早由英国古典经济学家大卫·李嘉图提出的所谓报酬递减规律。其一般表述为:在其他条件不变的情况下,随着一种投入的不断增加其产出的增加是递减的。萨缪尔森把它作为最著名的经济关系之一。事实上,传统经济学在很大程度上就是建立在这个前提之上的。由于报酬递减的作用,传统社会的前景是十分暗淡的,这就是马尔萨斯所描绘的:人口按几何级数增长而粮食只能按算术级数增长,以致最终不可避免地导致饥荒、瘟疫和战争的结局。为此,19世纪的苏格兰历史学家卡莱尔曾经批评描绘这一景象的古典经济学是“令人伤感的科学”。

然而,与古典经济学家强调稀缺的土地及其对经济增长的限制作用不同,后来经济增长的历史是资本和企业家而不是土地和地主占据了支配地位。工业革命带来了工厂制度,带来了动力驱动的机器、铁路、轮船和钢铁。工厂把工人成群结队地组织到越来越大的企业中;机器增加了劳动的生产率,铁路和轮船把世界上相隔遥远的地方联系在一起;钢铁使得创造坚固的机器和更快的机车成为可能。总而言之,通过把劳动与日益增加的资本而不是有限的土地结合起来,西方社会确实又一次实现了经济增长。这个过程就是工业化,它在全球扩展的结果是,世界经济进入了所谓工业经济的时代。

但是,工业经济的主要生产要素——资本,归根到底来自于资源,尽管起初它们是充裕的但毕竟仍是有限的。所以,工业经济经过两三百年的发展,到今天人们又开始提出资源问题等所谓“全球性问题”。按照传统的经济理论,在资源有限的情况下,无情的报酬递减规律仍然要起作用,因此经济增长必然放慢甚至出现负增长。而这与当代经济的持续增长是相冲突的,也就是说传统的经济学无法解释当代经济的持续增长。

四、当代经济增长的知识经济学解释

由上述可见,要解释当代经济的持续增长,必须突破传统经济学只注重物质资源投入而忽视智力资源和知识作为要素投入的局面。事实上,当代经济之所以能够实现持续的增长,原因就在于智力资源和知识已经越来越成为重要的要素投入,在某些产业部门甚至已经是占主导地位的生产要素。如高技术产业,实际上就是一种知识密集型产业。为什么?举例来说,一个高技术产品如一个软件,作为这个软件的物质载体的磁盘,其物质资源的投入是微不足道的,这个软件的价值主要在于它的智力资源和知识的投入。所以,对于高技术产业,知识已经是主要的生产要素。而知识作为生

产要素,它与土地和物质资本等有限的或稀缺的生产要素不同,其不同之处不是在于知识是无限的,或者它已不再具有传统经济学中所说的稀缺性了。事实上,在任何时候、知识都不是可以源源不断地生产出来的。知识与其他生产要素的不同之处在于以下两点:

一是知识生产上的可互补性。它有两层意思:一层意思是指各种知识之间可以存在互相补充、互相解释或互为强化的关系,因此如果把知识作为一种生产要素,知识的再生产可以遵循一种非加和性关系,即产出的知识大于投入的各项知识的简单加和。如对某一事物的不同侧面的认识存在互补性,科学中的典型例子是关于光的本质的认识,先是惠更斯和牛顿分别提出波动说和粒子说,最后由爱因斯坦加以综合提出光的波粒二象性学说,显然后者不是前两者的简单加和,理解后者的关键乃是玻尔所提出的“互补性”。又如对一个事物的不同层次的认识也存在互补性,人的认识总是由表及里、由浅入深,但不同层次的知识是互相依赖和互相补充的,学习数学是一个很好的例子,我们总是先学习初等数学再学习高等数学,前者是后者的基础,但学了后者对前者会有新的理解。知识在生产上的互补性的另一层意思是指,把知识作为一种生产要素与其他生产要素结合,也可以提高这些生产要素的生产率。如一般来说,劳动者掌握的知识越多则劳动生产率越高,资本所凝结的知识越多则资本的生产率也越高。知识的互补性对现代经济是非常重要的,现代经济的任何产品可以说都是通过分工合作的方式生产出来的,其中每一个合作者关于某一生产环节的知识只有与其他合作者关于其他生产环节的知识结合起来,才能生产出有价值的产品。

二是知识使用上的可共享性。这是指一项知识可以被两个以上的人同时互不影响地使用,并且其价值和存量非但不会减小,相反如果存在“用中学”效应可能还会增加。知识的可共享性是它不同于一般经济物品的一个重要特性。一般的物品要么不能共享如

一块面包你吃了我就不能吃,虽可以你我各吃半块但这时我吃影响了你吃;要么虽可以共享但其价值减小了,如一条交通并不拥挤的公路,你我可同时经过且互不影响,但日复一日公路会逐渐损坏。应该指出的是,说知识具有可共享性,并不意味着它一定被共享,如当它处于保密状态时就不能被共享,也不是说可以轻易地或不费代价地共享,如内隐知识就难于共享,但它也不是绝对不能共享,只是需要花费相当的代价(如长期拜师学艺等)才能共享。

从经济学的角度看,知识的上述两个特性的重要性在于,作为生产要素的知识有可能使经济系统摆脱报酬递减规律的支配而出现报酬递增的趋势。为什么?对此要给出一个严格的证明是困难的,但可以从知识的经济特性着手作一些定性说明。如上所述,知识具有互补性,这使得两项知识加在一起的价值可以大于这两项知识各自价值之和,或者当知识与其他生产要素结合时可以提高这些生产要素的生产率。此外知识还具有可共享性,同一项知识大家可以共享和反复使用,由于使用的过程也是进一步学习的过程,所以结果知识非但没有减少反而增加了,即产生了新的知识。这样,知识的使用产生新的知识,新的知识与已有的知识的互补进一步产生新的知识,与此同时不断增加的知识与其他生产要素的结合将不断提高后者的生产率,而生产率的提高又使得更多的人可以从事知识的创造,这就构成了一种正反馈循环,其结果就产生了报酬递增。

知识能使经济系统产生报酬递增的特点,应该引起所有热心探讨科学技术生产力属性的学者的注意。科学技术之所以是第一生产力,其原因就在于知识是唯一能够产生报酬递增的生产要素。当代经济之所以能够实现持续的增长,就是因为知识作为越来越重要的生产要素产生了递增的报酬。换言之,当代经济要想保持这种持续的增长,就一刻也离不开科学技术,一刻也离不开知识(当然知识除科学技术知识之外还包括制度的知识,这一点将在第四

节中详述),而经济学要想解释经济的持续增长,就必须研究报酬递增。这就是80年代以来西方经济学界出现报酬递增研究热的原因。

第三节 社会对科学技术发展的影响

前两节我们讨论了科学技术对社会的影响,这一节我们要反过来讨论一下社会对科学技术的影响。而且,与上一章主要讨论科学技术的组织和科学家技术专家的行为不同,本节着重讨论科学技术本身如何受社会因素的影响问题。

一、科学知识的社会建构

长期以来,存在着一种对科学知识的标准看法,这种看法认为,自然界是真实的、客观的。科学是对自然界的客观对象、客观过程及其相互关系提供准确说明的活动。自然科学的知识以观察作为其基础,科学实验的程序及其标准可以保证科学知识具有可靠的事实基础,科学的理论知识和概括揭示出自然界的真实本性。也就是说,科学知识的产生和接受,有准确的技术标准,这种标准不以科学家个人为转移,不受个人的偏见、感情因素和利益的影响;自然科学知识的内容与社会因素无关,因为这种内容是由自然界本身所决定的。这种对科学的传统的标准看法,影响了对科学社会学的研究。正是因为科学知识的内容是和社会没有关系的,是由自然界得到的、被证明了的东西,所以社会学所关心的东西既不是科学的认识,也不是科学的认识内容,而只是保证得到这些知识的社会条件。以默顿为代表的科学社会学就是这种观点的产物。默顿的科学社会学把科学知识看成是由体制的目的所规定的标准的产物,强调科学的技术和社会规范能够保证创造系统有效的知识,这种观点实际上是实证主义哲学关于科学的标准看法的产物。随

着哲学本身的发展,这种实证主义的科学观也应该被修正了。

70年代中期以后,在英国出现了一批对科学知识进行社会学说明的著作和代表人物。其中比较著名的有:先在剑桥大学后来到约克大学的马尔凯,爱丁堡大学的巴恩斯,巴斯大学的柯林斯等。尤其以爱丁堡大学的影响较大,除巴恩斯之外,还有布鲁尔、埃奇等人,形成了所谓的爱丁堡学派。此外,法国哲学家拉图尔于70年代后期,运用人类学方法,到美国加利福尼亚州的一个科学实验室进行实地考察,后来与英国社会学家伍尔加合作撰书,对科学实验室中进行的科学知识的生产过程进行社会学的说明。从研究方法上讲,大致有两种:一种是宏观的研究方法,这种方法研究科学知识和社会环境条件以及与社会结构有什么关系;另一种是微观的和发生学的方法,这种方法着重研究科学家之间的相互作用怎样形成科学信念。

爱丁堡学派巴恩斯的利益理论是宏观研究方法的代表,他在《利益和知识的增长》一书中指出,科学知识与社会集团的利益之间肯定存在着一种联系。他举了20世纪初期发生的一次学术争论说明这种联系。当时,以卡尔·皮尔逊为代表的“生物统计学家”和以威廉·贝特森为代表的“孟德尔主义者”,就人类遗传和进化问题展开了争论。皮尔逊和生物统计学家们把进化过程看成是一个通过对个体差异和连续选择而可以预知和可以控制的过程;贝特森和他的支持者则主张另一种理论,认为不可预知的、不连续的突变是基本的现象。巴恩斯经过研究后发现,在这场争论中既看不到任何技术理由的分歧,也无从寻找任何科学背景上的原因,所以争论的根源应该转向更宽广的社会环境和利益关系方面去考察。巴恩斯认为,以皮尔逊为代表的生物统计学派之所以坚持遗传和进化是可以预知的和可以控制的连续差异的观点,是出于他们所代表的专门职业中产阶级的利益的要求,这一阶级主张通过有计划地改变社会中不同人群的相对出生率来改善种族,也就是所谓的

优生学的观点,而生物统计学派对人类遗传和进化的上述观点正好直接导向优生学,使优生学合法化。对于孟德尔主义者,巴恩斯也从社会结构的角度进行了分析。他认为,他们之所以强调进化的不连续和不可预知,是因为他们的立场保守,因为他们的阶级和职业利益依赖于传统的社会秩序,依赖于土地、农村、圣经的权威,而不是工业制造、城市和科学的权威。这就使得他们不喜欢优生学和与优生学相联系的学问和宇宙观。

作为微观研究方法的代表,拉图尔和伍尔加在他们独树一帜的著作《实验室生活:科学知识的社会建构》一书中,集中考察了科学家之间的交流,特别是那些导致科学家通过“磋商”而形成科学“真理”决策的说服力语言行为。他们把实验室及科学共同体比作经济学中的“市场”,科学家在这个市场中总是企图最大限度地扩大其“信誉”,这种信誉使科学家有可能得到一系列奖励,如获得研究经费,更易于发表研究成果等。科学家在那些最可能获得奖励的地方投资他们的信誉,从而在总体上加速“信誉循环。”在这种循环中,不同的“信誉通货”或者“资本”(如论文、仪器、设备、资金、数据和承认)相互转换,而这种转换正是科学家从事工作的动力。由此,拉图尔和伍尔加得出结论:所谓真理及其确证并不是科学评价的中心问题,它们不过是科学家为使自己的发明合法化和得到承认的一种辩护而已。

从以上介绍的案例研究来看,目前关于科学知识的社会建构的研究还是非常初步的,对一些问题的说明也显得不够令人信服,但是可以肯定的是社会因素对科学知识的形成必定是有影响的,最明显的例子就是医学,在西方形成了西医而中国则产生了中医。事实上,科学知识是一种社会产品,在不同的社会系统中这种产品的生产,即使投入相同产出即知识也可以各不相同。

二、技术的社会塑造

虽然与科学相比,技术的历史更为久远,对社会生产的影响更为直接、深刻,但对技术的社会学研究远不如科学社会学。只是到本世纪初,美国社会学家奥格本和吉尔菲兰才开始进行了初步的技术社会学研究。他们从20年代起就致力于建构技术社会学,反对把重大发明归结为发明家灵感的闪现,认为从社会角度对发明加以理解比把个人因素放在首位更为合理。沿着这一研究传统本来可以对技术的内在发展获得更深刻的理解,但遗憾的是在此之后却由于另一种技术研究倾向的兴盛而被人淡漠了。自从30年代起,因为英国科学学奠基者贝尔纳的《科学的社会功能》和《历史上的科学》两本著作的影响,在关于技术与社会相互作用的论述中,开始强调技术对社会的影响。尤其是当代一些学者更把它推向极端,形成了所谓技术决定论思潮,这一思潮至今仍然在强烈地影响着技术的社会研究。

然而,技术决定论的研究并不是没有缺点的。技术决定论在处理技术与社会的关系时,片面强调了技术对社会的作用,而忽视了社会对技术的作用。这种理论认为,技术是一种独立的因素,技术的变迁导致社会的变迁。它的最极端的形式甚至认为技术变迁是社会变迁的首要原因。但是,事实上有许多例证表明社会在决定采用何种技术时起着重要的作用,而且同一技术在不同的社会环境中具有不同的效应。于是,面对技术决定论的片面观点,有些学者在70年代开始思考技术的内在发展和社会对技术的作用问题。美国技术史家莱顿就曾注意到,应该把技术当作一种知识体或一个社会系统,从其内部来理解技术。还有像约翰斯顿和多西等这样的学者则提倡按照库恩的“范式”来描述技术知识产生的社会过程。但是,真正与技术决定论相对立的新的技术社会学是在科学知识的社会建构理论产生之后兴起的,技术的社会塑造理论是其中的

主要代表。

社会对技术的塑造可以体现为微观和宏观两个层次。从微观上讲,社会因素可以对某项技术产品的形成和发展方向产生影响。以 19 世纪后期安全自行车的发展为例,对于这种技术产品,便士法新自行车(penny farthing,旧式的前轮大后轮小的自行车),通常有若干社会群体(例如妇女、老人、运动员、旅游者、反对骑自行车者和生产厂家等)与此相关,这样的群体既指建制机构,也指有组织和无组织的人群。每一群体对该技术产品提出各种问题(在本例中就是对自行车提出不同要求,如车轮高度、速度、稳定性、链传动方式、车胎充气与否、安全性,以及青年人或姑娘们对样式、服饰影响的专门要求等),围绕每个问题都有几种解决方案,也就是几种相互争论的办法,其中所考虑的因素甚至涉及司法、伦理和习俗等方面(如图 11-1 所示)。显然在这里社会群体通过提出相关问题而赋予技术产品各种不同的社会意义,由于这些社会群体的社会文化背景和政治地位不同,他们的行为规范和价值观念也不同,因而对技术产品的内容(包括设计、结构等)有着截然不同的解释,而这种不同的解释又由于存在着不同的问题和解决方案链而导致技术产品极不相同的发展路线。例如,提高自行车速度,到 1892 年轮径已增加至 56 英寸,并使用了充气胎。这样对妇女骑车者又产生了另一种意义——不安全,于是又出现了另一些车型设计。技术产品最后演变成什么样子,实际上是不同社会群体之间相互争论或“磋商”的产物,而并不是某种事先可以预测的、必然的结果。

从宏观层次上讲,社会因素对技术发展的影响也是很常见的,其中最重要的当然是经济因素对技术发展的影响,美国经济学家施莫克乐提出的关于技术创新的市场拉动说可以作为这种影响的一个例子。他主要考察了美国四个产业(炼油、造纸、铁路和农业)的投资、产出和专利数量的关系。他发现,这些行业的投资、产出的变化都领先于专利数量的变化。也就是产业的需求在先,发明创新

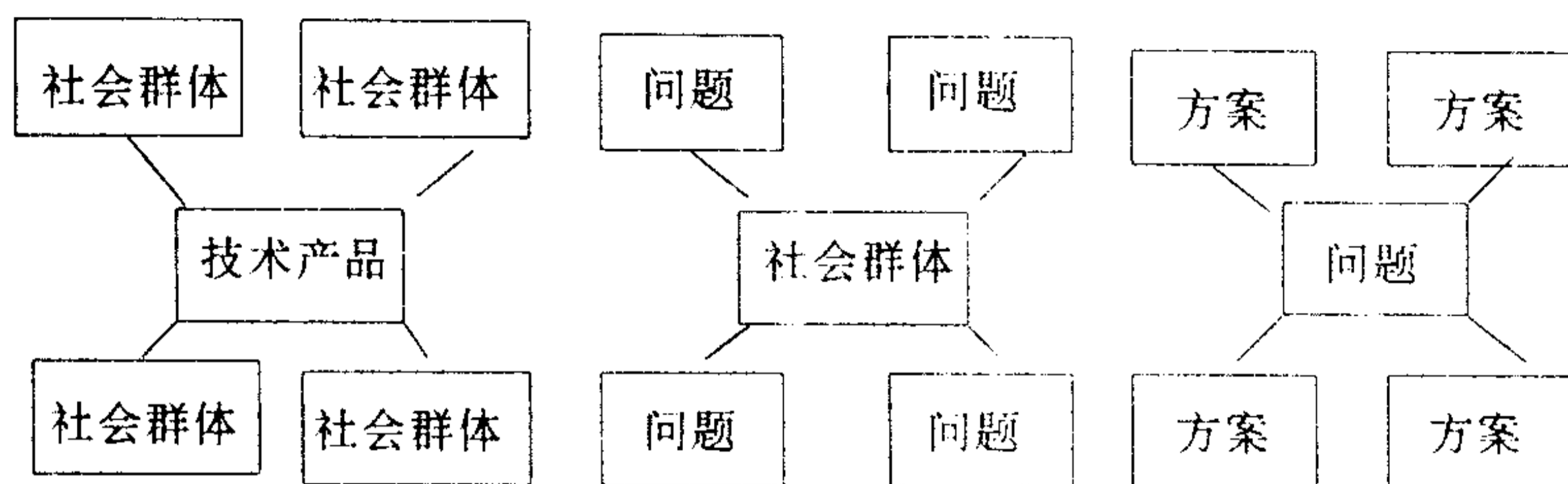


图11-1 一种技术产品与几组相关社会群体、一组社会群体与几个问题、一个问题与几种方案的关系

在后。施莫克乐由此得出结论：专利活动，也就是发明或创新活动，与其他经济活动一样，基本上是追求利润的经济活动，它受市场需求的引导、制约。历史上存在许多例子支持创新的市场拉动说，一般而言，消费者占主导地位的产业常常是市场需求拉动较多的产业。另一位美国学者厄特巴克在1974年的一项工作的结论是：60%~80%的创新是需求拉动的。这项研究表明，市场需求对技术创新是一个很重要的决定因素，但又不是唯一的因素。现在看来，在技术创新中市场需求和技术上的突破常常以互动的方式起作用。在有市场需求的地方，会引导人们从事各种研究开发工作；在有技术突破的地方，必须有市场的眼光，用市场引导研究与开发的方向，技术突破才能真正转化为创新。正如美国经济学家罗森堡所说：技术创新活动由需求和技术共同决定，需求决定创新的报酬，技术决定创新成功的可能性和成本。这实际上说明了社会因素和技术因素是相互作用的。

第四节 技术经济范式 与社会制度框架的匹配

一、诺斯的制度创新论

在传统的各种有关经济增长的模型中,制度因素是被排除在外的,即将制度视为已知的、既定的或将制度因素作为“外生变量”,主要是通过各种物质生产要素的变化去说明生产率的变化和经济增长。其中把经济增长率中不能解释的“余值”归因于技术创新的论调风行一时。那末,是不是可以说,当物质生产要素不变时,尤其是技术不变时,生产率就无法提高,经济增长就不能实现了呢?显然不是,因为历史上存在着反例。例如,在1600~1850年间,世界海洋运输业中并没有发生用轮船代替帆船之类的重大技术进步,但这期间海洋运输的生产率却有了很大提高。这又作何解释呢?美国经济学家、1993年诺贝尔经济奖获得者诺斯正是充分意识到这一点,于1968年10月在《政治经济学杂志》上发表了《1600~1850年海洋运输生产率变化的原因》一文,该文经过对海洋运输成本的多方面的统计分析,结果发现,尽管这一时期海洋运输技术没有大的变化,但由于海洋运输变得更安全和市场制度发生了变化,从而降低了海洋运输成本最终使得海洋运输生产率大有提高。诺斯提出在没有发生技术变化的情况下,通过制度创新亦可提高生产率和实现经济增长。

在上述案例研究的基础上,1973年诺斯又与托马斯合作完成了《西方世界的兴起》一书。在该书中,诺斯开门见山地指出,该书的中心论点是,有效率的经济组织是经济增长的关键,一个有效率的经济组织在西欧的发展正是西方兴起的原因所在。当然,有效率的组织的产生需要在制度上作出安排和确立产权以便对人们的经

济活动造成一种激励效应,根据对交易费用大小的权衡使私人收益接近社会收益。一个社会如果没有实现经济增长,那就是因为该社会没有为经济方面的创新活动提供激励,也就是说,没有从制度方面去保证创新活动的主体应该得到的最低限度的报偿。而传统的观点则是将技术创新、规模经济、教育和资本积累等看作是经济增长的源泉。可是,在诺斯看来,事情并非如此,它们本身就是增长。因此,产业革命不是现代经济增长的原因之所在,而恰恰是其结果。

二、技术经济范式理论

总起来说,在上面的讨论中涉及到三个因素,科学技术、社会制度和经济增长,每一种观点都只是肯定了这三个因素间的单向作用,或科学技术促进经济增长,或社会制度促进经济增长,或其他。一个综合的观点是通过科学技术与社会制度的匹配而实现经济增长。这个观点在80年代就由委内瑞拉女学者佩雷兹和英国技术创新经济学家弗里曼提出来了,可惜并未得到足够的重视。他们提出技术经济范式理论最初是为了解释苏联经济学家康德拉季耶夫发现的“长波”现象。所谓“长波”是指经济活动中的一种周期现象,其周期持续约50~60年,与在此之前发现的持续10年和40个月左右的周期相比最长,故得名。对于这种长波现象,奥裔美籍经济学家熊彼特曾用他的创新理论作过解释,但他基本上把康氏长波看成是一种纯经济现象,佩雷兹和弗里曼的贡献是,他们认为康氏长波不仅是一个纯经济现象,而是表明了技术经济范式与社会制度框架之间的一种匹配(match)或失配(dismatch)现象。为此他们提出了一种创新分类法。

第一类是渐进的(或称增量的)创新(incremental innovation)。这是一种渐进的、连续的小创新,这类创新常常通过所谓“干中学”和“用中学”而出自直接从事生产的工程师、工人和

用户之手,并且常常是市场需求导致的。渐进的创新虽是小创新,但它们的重要性不可低估,它们的综合效果对生产率的增长极端重要,这是因为许多大创新需要小创新的辅助才能充分发挥作用,这些大、小创新是融于一体的或互补的。例如电是一项重大创新,但如果离开了变压器、电线和灯泡这样一些小创新,电就不可能进入千家万户。不过,尽管如此,单个的渐进创新并不会对经济系统产生显著的影响。也许正是由于这个原因,渐进的创新常常被忽视,这当然是错误的,因为各种相关的渐进创新的综合效果是很显著的。

第二类是根本性创新(radical innovation)。这类创新的特点是在生产上有根本性的突破,它们一般是企业、大学或政府实验室精心研究开发的结果,不可能通过对现有产品和工艺的细微改进而实现,因此是不连续的事件。如我们不可能通过对天然纺织品的改进而得到尼龙,也不可能通过对传统的烧煤或烧油的火力发电站进行渐进的改进而建成核电站。这类创新由市场需求导致的迹象较渐进创新不明显,因为对于前者常常并没有现存的市场。当然,研究与开发人员在发明和开发这类创新时总会有某种潜在的市场意识在心头,也总会受到一定的社会和经济环境的影响,他们的目标总是试图把贱金属变成黄金而不是相反。而且,许多有关创新的案例研究也表明,对潜在的用户及其需求考虑得越多,创新成功的可能越大。根本性创新常常是一种产品创新、工艺创新和组织创新的组合,它们对经济系统的影响较渐进创新要大,但单个的根本性创新对整个经济系统的影响也还是较小的和局部的,除非许多相关的根本性创新连结成一组,才会导致全新产业出现,而这就成了第三类创新。

第三类创新是“技术体系”的变革(change of “technology system”)。这类创新是对一个或几个经济部门产生影响,同时导致全新部门(如铁路和半导体产业)出现的影响深远的技术创新;它们

是一系列在技术上和经济上相互关联的根本性创新和渐进创新的组合,并伴随着相应的组织创新。如本世纪 30~50 年代出现的合成材料创新和石油化工创新,加上喷射和挤压模塑机械的发展以及后来在包装、建筑、电器、农业、纺织、服装、玩具和其他许多应用方面的配套创新的组合,就是这样一个新的“技术体系”。另一个例子是,汽车和公路建筑系统的创新,结合新的市场营销和金融创新(如银行贷款购车和交通保险等),使得家庭消费的模式和企业生产组织方式发生了深刻的变化,即出现所谓大量消费和大量生产(通过流水线生产组织方式来实现)。这种大量消费和大量生产后来由汽车业扩散到整个经济系统,就形成了所谓的“技术经济范式”。

第四类创新“技术经济范式”的变革(change of “techno-economic paradigm”)是指“技术体系”的某些重大变革,由于它们的效果如此之大,以致于对整个经济体系都有重大影响,其特点是具有在整个经济中的渗透效应。它们就是熊彼特在解释经济发展中的长波现象时提出的所谓“创造性毁灭的狂飙”(creative gales of destruction)。蒸汽动力、电力和上述大量生产的引入就是这样一些具有深远影响的变革。这里不用“技术范式”而用“技术经济范式”这种表达方式,原因是强调这种变革是相互作用的,包括组织变革和技术变革两个方面,如大量生产(mass production)的引入既包含了技术创新又包含了相应的组织创新,因此已经远远超越了特定的产品技术或工艺技术的范畴。一种新的技术经济范式是在旧的范式中发展起来的,需要经历一个漫长的孕育期和竞争过程。它必须首先在一个或几个产业部门中被证明是有潜力和可获利的,而它在整个经济中的成功扩散只有在经历了一种结构调整危机之后方能实现。这种危机实际上表明了新的技术经济范式与旧的社会制度框架(socio-institutional framework)的失配状态。失配的原因在于社会系统中技术经济范式子系统和制度框架

子系统这两个部分变革速率不同,一般而言技术变革较快而社会制度变革则常常由于既得利益集团的作用而表现出很大的惰性。所以制度变革只有在失配现象达到非常严重即经济出现严重衰退或萧条的程度才会实现,并往往伴随着深刻的社会革命。制度变革的结果是实现它与技术经济范式的匹配,这时经济便逐渐复苏最后达到高涨。由此康氏长波现象便通过技术经济范式与社会制度框架的匹配或失配而得到了比较满意的解释。

根据上述创新分类理论,弗里曼和佩雷兹把西方自产业革命以来的经济发展,归纳为五次康氏长波。它们是:18世纪70年代、80年代到19世纪30年代、40年代为早期机械化康氏长波,19世纪30年代、40年代到19世纪80年代、90年代为蒸汽动力和铁路康氏长波,19世纪80年代、90年代到20世纪30年代、40年代为电机和重化工业康氏长波,20世纪30年代、40年代到20世纪80年代、90年代为福特式大量生产康氏长波,以及现在正在兴起的信息和通讯康氏长波。

下面我们以福特式大量生产康氏长波为例,对技术经济范式与社会制度框架的匹配和失配以及由此而导致的经济活动的周期

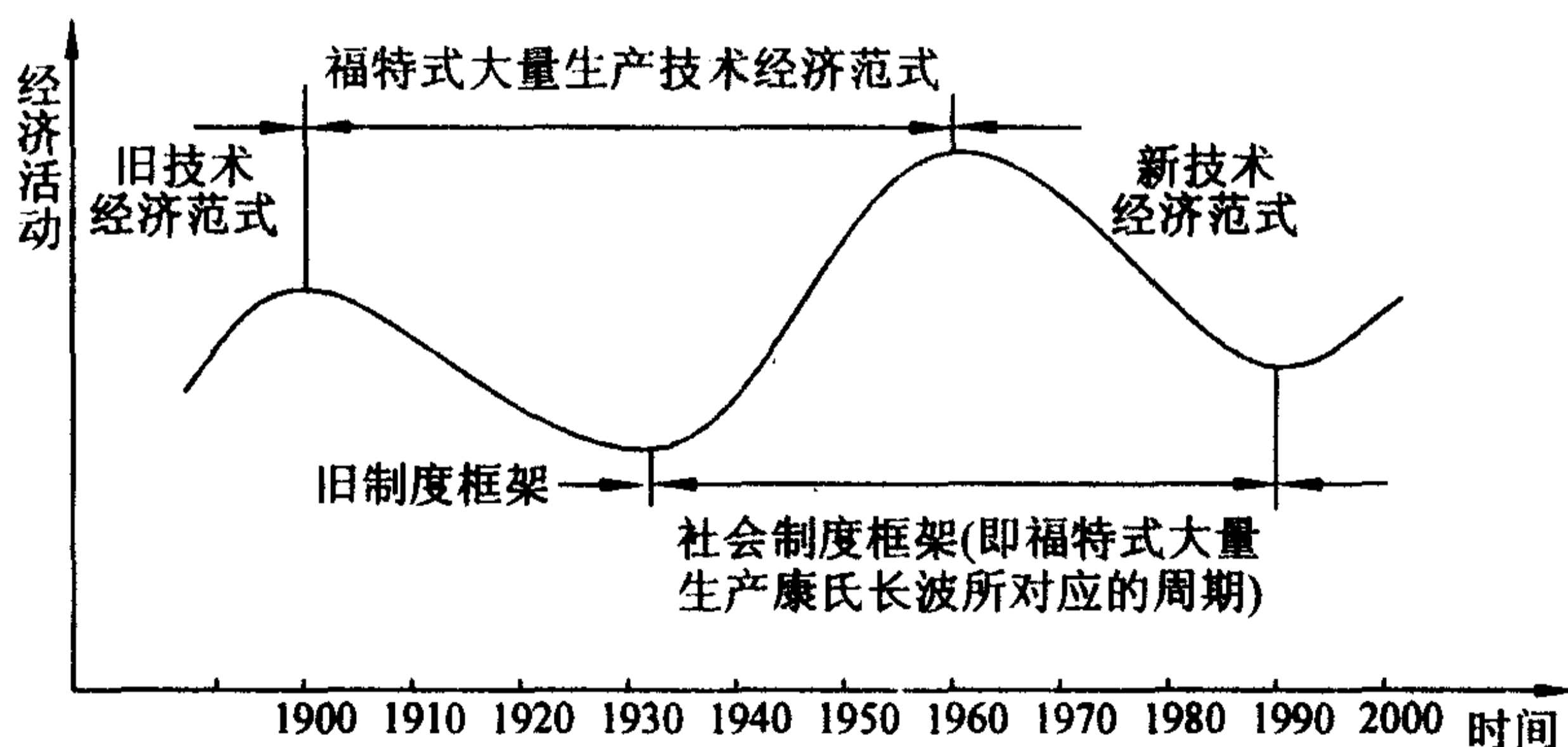


图 11-2 技术经济范式与社会制度框架关系示意图

性,作一简要的说明。图 11-2 是福特式大量生产康氏长波及其相应的技术经济范式的一个示意图,请注意由于制度的惰性所以图中社会制度框架比技术经济范式滞后半个周期。从图中可以看到,福特式大量生产技术经济范式是在旧技术经济范式的生产率增长潜力达到极限时出现的,当旧技术经济范式在旧社会制度框架的配合下推动经济发展至最高点时,也正是旧技术经济范式的生产率增长潜力耗尽之时。物极必反,此后经济开始滑坡。为了超越旧范式的极限,这时福特式大量生产技术经济范式便应运而生了。福特式大量生产技术经济范式尽管其生产率增长潜力很大,但由于旧的社会制度框架并未改变,社会制度框架与技术经济范式处于失配状态,所以经济还将继续衰退。而且,随着这种技术经济范式在经济系统中的扩散,它与旧的社会制度框架的冲突日益严重,从而使经济不断衰退并最终达到危机而跌至最低谷即萧条,此处对应于本世纪二三十年代西方世界的“大萧条”。

另一方面,在经济衰退直至萧条的同时,在社会组织的不同层次上各种制度创新的试验也正在进行,这种试验必然伴随着与旧制度框架下的既得利益集团的斗争。所以,社会制度框架的转变往往需要通过剧烈的社会动荡乃至战争来实现,如本世纪三四十年代爆发的第二次世界大战。二战之后与福特式大量生产技术经济范式相匹配的社会制度框架开始出现。在国家层次上,新制度框架强调政府在经济生活中的作用,所谓凯恩斯主义政策为越来越多的国家所接受,这种政策通过直接的基础结构、国防和公共服务开支以及间接的收入再分配而导致各种各样的需求管理机制;在企业层次上,通过纵向一体化和相应的管理体制出现了一种新的巨型公司组织,跟这种组织相适应的是企业内部普遍建立了研究与开发实验室,它们与大学和政府研究机构的联合就成为“军事—工业综合体”(military-industrial complex)的基础;在国际层次上,布雷顿森林国际货币协议和关税与贸易总协定,为国际贸易和投

资奠定了坚实的基础,此外联合国的成立则为维护新国际经济体制提供了政治上的协调机制。总之,由于建立了与福特式大量生产技术经济范式相匹配的社会制度框架,西方经济在战后开始复苏,期间大量生产范式迅速在经济系统的各个部门扩散,从零售业的超级市场、运输业中的集装箱化到旅游业的由旅行社代办的集体旅行等,这样到六七十年代西方经济几乎达到了普遍繁荣的程度。此后,大量生产技术经济范式也达到了其生产率增长潜力的极限,这时又有一个新的范式即信息和通讯技术经济范式出现,经济发展进入下一个循环。

本章进一步阅读的书目

1. 刘珺珺著. 科学社会学. 上海:上海人民出版社,1990
2. 多西等编. 技术进步与经济理论. 北京:经济科学出版社,1992
3. 柳卸林著. 技术创新经济学. 北京:中国经济出版社,1993

复习思考题

1. 为什么说科学技术是第一生产力?
2. 举例说明社会对科学技术发展的影响。
3. 以信息和通信康氏长波为例说明技术经济范式与社会制度框架的关系。

第十二章 科学技术的社会价值观

在大科学时代,社会诸方面对科技的依赖达到了前所未有的程度。人们深刻地意识到,科学技术的确是最高意义上的革命力量。但同时,科技又被人们称为“一柄双刃剑”,应用科学技术的积极作用和消极作用、正效应和负效应,总是并存的。因此,在对科技的价值进行反思的基础上,致力于增强其正效应,减弱其负效应,让科技推动人类社会可持续发展,是十分必要的。

第一节 对科学技术价值的反思

在历史上,科技曾被无条件地当作人类文明的“通天塔”,但是严峻的现实迫使人们对传统论点作出深刻的反思。

一、科学技术:一柄双刃剑

西方文艺复兴之后,科技进入了一个高速增长的时期。在随之而来的产业革命时代,盛行着人类征服自然界的强烈欲望。急剧发展的自然科学、初步兴起的工业技术,为人类实现征服自然的欲望提供了必要的手段。科学技术的发展创造了巨大的生产力,也使许多重要产业以闻所未闻的速度发展了起来,人类的劳动方式、生活方式都发生了巨大改变。于是,人类赞美科学、崇尚理性,把希望寄托于科学技术。培根认为:“知识就是力量”。这一口号至今仍为人们所认同。

然而,人类尽管因科学技术的发展获得了关于自然界的有效知识,并以此为基础建立了一个工业文明的社会,但却不能解决人

类社会的所有危机。一方面,工业文明一改农业文明“靠天吃饭”的面目,主动地向自然界大量索取;工业文明甚至被人们称为一种“化石文明”,因为它以消耗煤炭、石油等珍贵的化石资源为存在条件。由此造成的资源与环境危机是人类、自然界都不能长期承受的。另一方面,科学技术也不能直接解决人生的价值与意义问题。科学技术知识的发展、物质条件的改善虽使人有可能在初步摆脱生存危机后,去追求人生的价值,但人们在埋头寻找科技知识,并努力向外部世界攫取时,却往往沉湎于创造的过程,忘记了创造的目的;于是,科学技术在满足人们欲望的同时,也成了一种人类的异己力量。席勒认为,随着机器技术的发展,工厂制度的建立,工业文明把人束缚在机器系统孤零零的片断上,机器的轮盘使人失去了生存的和谐与青春的激情。^①卢梭也认为,科学的发展泯灭人的本性,使人性受到压制。这些近代思想家的看法已经在某种程度上为工业文明的实际状况所证实。亨利·福特曾冷酷地道出:在制造“T”型汽车所需的7882种专业化工作中,有949种要求由身强力壮的男工来完成,3338种只需普通健康男工,670种可由无腿男工干,2637种可由一条脚的人干,2种可由没有胳膊的人干,还有一些可以让瞎子来干。福特使我们看到,工业文明很多时候只需要劳动者很少一部分能力,而将真正“健全的人”窒息了。人可以因工业文明得以生存,却很难仅靠工业文明得到幸福。

以上问题到了现代,以更加尖锐的形式摆在我们面前,环境污染、生态危机、资源浪费、军备竞赛、失业加剧等一系列严重问题越来越难以回避。科学技术既为人类勾勒着美好的未来轮廓,也给未来笼罩上了令人担忧的阴影。飞速发展的科学技术是一柄双刃剑,一方面为人类提供了营造未来的巨大能力,另一方面也使人类拥有了毁灭自然界和人类自身的能力;一方面为人类的思想进步提

^① 参见高亮华著:《人文主义视野中的技术》,中国社会科学出版社,1996。

供了巨大的推动力,另一方面又使人类在科学主义与人文主义的冲突中踟躅不前。狄更斯描述英国第一次产业革命的诗句,在今天更易引起我们的共鸣:

这是一个最坏的时代,

这是一个最好的时代。

这是一个令人绝望的冬天,

这是一个充满希望的春天。

我们面前什么也没有,

我们面前什么都有。

.....

当代科学技术进步速度是惊人的,近 30 年来,人类所取得的科技成果,比过去 2 000 年的总和还要多。有人估算,截止 1980 年,人类社会获得的科学知识有 90%是二次大战之后取得的;人类掌握的创造财富的手段也在呈现同步增长。科技的作用必将得到更充分的发挥,但我们不能指望单靠科学技术解决所有的问题,应该加强对科技价值的深刻反思,这样才能认识到科技负效应的本质,进而选择正确的发展道路。只有作出了正确的选择,人类才会有比较光明的前途。

二、技术悲观主义

本世纪以来,陆续有人从哲学、文化等角度对科学技术进行了尖锐的批判,但在本世纪的大部分时期内,特别是二次大战以后,科学技术和社会经济的发展都突飞猛进,耸立的厂房、飞扬的烟尘不仅未使人们警醒,反而被视为欣欣向荣的表现。但 60 年代以后,科技滥用所带来的负效应逐渐加重,以至于人们无法再视而不见。严重的情况首先出现在环境方面。1962 年,美国学者卡逊出版了《寂静的春天》一书,该书描绘了一幅由于滥施农药所导致的死寂的春天的景象,在世界范围内引起了强烈反响。其后,对科技发展

的社会后果问题的讨论空前地热烈起来,技术悲观主义也以新的形式再度出现,并且受到大范围的认同。

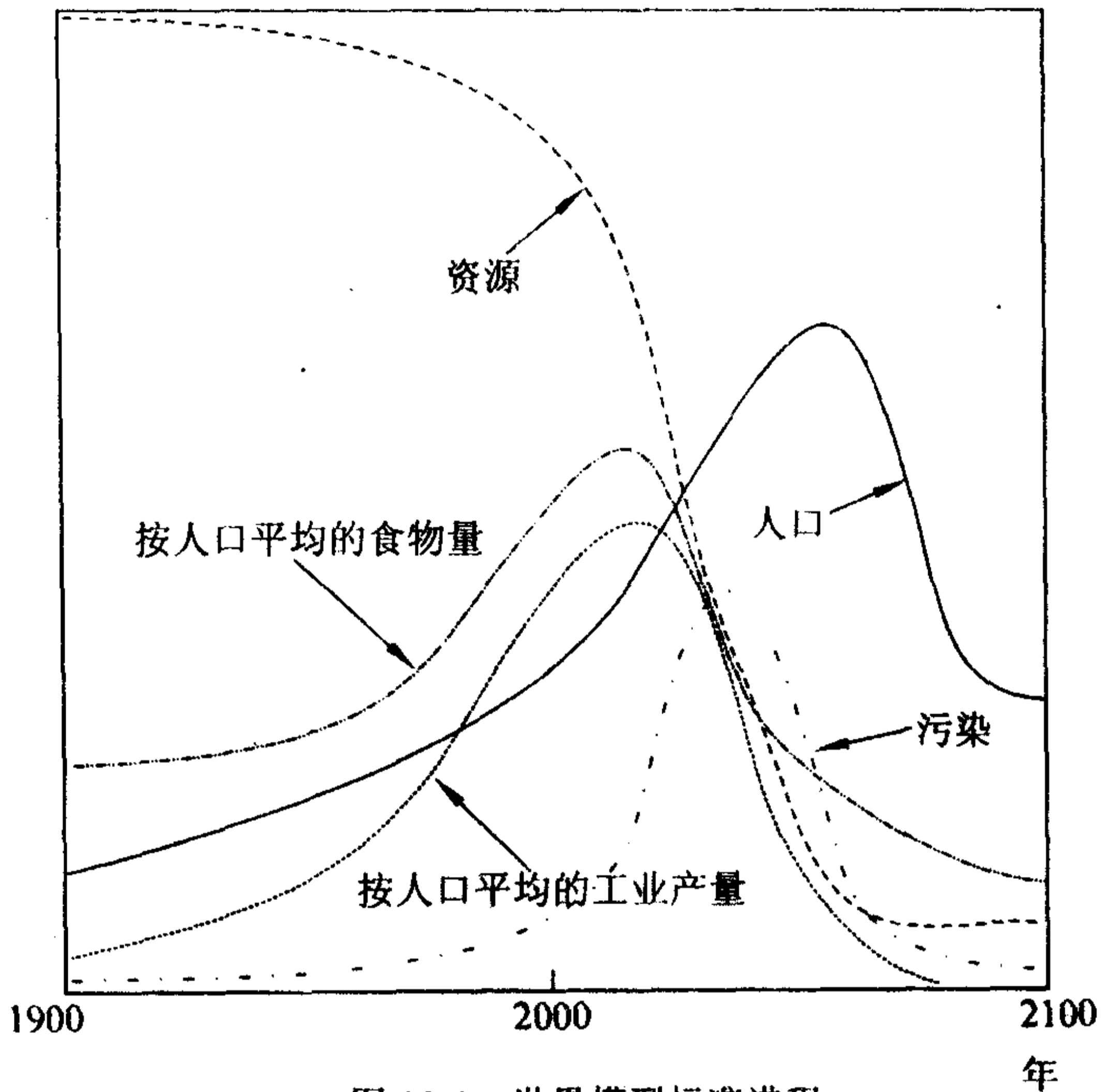


图 12-1 世界模型标准进程

按照“标准的”世界模型进程,假定在历史上主宰世界系统发展的物质、经济或社会关系不发生重大变化。图上所有变量都以 1900 年至 1970 年的历史数值为准。粮食、工业产量和人口按指数增长,直至资源基础和污染在工业化高峰过后都将继续增加一段时间。粮食和医疗服务减少,造成死亡率增高,终于使人口增长停止。

水平尺度表示从 1900 年至 2100 年的时间。通过计算机绘制了五种量随时间推移的进展情况:

人口(人头总数);按人口平均工业产量(美元折算值/人/年);按人口平均粮食量(公斤谷物折算值/人/年);污染(1970 年水平的倍数);不可更新的资源(1900 年储量的余留部分)。

70年代初,在美国麻省理工学院学者米都斯的领导下,一个由25个国家的科学家和学者组成的非正式组织——罗马俱乐部,开展了一项重要和影响深远的研究工作。这个小组研究了控制和最终限制地球上增长的五种基本因素——人口、农业生产、自然资源、工业生产和污染的相互关系,这五个基本量在复杂反馈系统中相互制约,应用系统动力学模型,可以揭示这些量的变化规律。罗马俱乐部列举了五种因素之间重要因果反馈关系,并且给每种因素定量,将得出的数据应用于全世界。他们通过计算机计算了1900年到2100年间五种因素相互作用的情况,计算机所得的曲线图预示了世界的未来。罗马俱乐部假定,将来无论人的价值地位,或者全世界人口——资本系统的作用,都保持与过去100年相同的情况,即我们按照过去一贯的办法行事,由计算机求得并输出的“行为模式”表明:粮食、工业产量和人口将继续按指数增长,并超过了地球的负担能力,由于资源消耗殆尽而出现人口剧减。具体过程可能是:工业产量上升到需要更大资源输入的水平,致使资源枯竭,工业基础崩溃,并累及依附于工业的服务行业和农业系统;死亡率因缺乏粮食和保健而上升,人口终于下降了。以上过程被称为“标准进程”(如图12-1)。罗马俱乐部的结论是:“假设目前系统不发生重大变化,人口和工业增长至少在下个世纪内一定会停止”,事实上,这种“增长阶段不可能再继续一百年”。

为了防止上述后果的发生,罗马俱乐部开出了他们的“药方”——零增长。他们肯定了技术新进展的积极意义,认为资源再生利用方法、污染控制装置、避孕药等,对于人类社会的未来至关重要。这些新技术与严密控制相结合,能使世界系统经历相当长时期而不发生衰退,并能满足人民的基本物质要求。当然,这需要我们先抑制人口增长又抑制工业增长。假如人口增长率、工业增长率都能在一定时期内达到零,而且实行下列政策,那么就会出现长期保持高度生活质量的“全球平衡”的稳定世界。这些政策是:单位工

业产量的资源消耗量下降到 1970 年数值的四分之一；商品消费重点从工厂生产的物质商品转移到教育和卫生类服务行业；单位产量的污染发生量减少到 1970 年数值的四分之一；资本转移到粮食生产上，尽管这种做法看起来并不经济；农业资本转移到增加土壤肥力和保持水土计划上；在工业资本方面采用更好的结构设计，提高其耐久性，加强维修并减少人为的商品废弃，通过这些办法延长工业资本寿命。实行这些政策后，世界将趋于平衡稳定，除资源外，各项指标均实现零增长。但必须尽早实行这些政策，当人口与工业产量水平过高之后，尽管有上面那些政策，资源也会严重枯竭，零增长最终也无法实现。

将来，若要让子孙后代在地球上居住下去，就要设法停止指数增长，但这并不意味着社会的停滞不前。米都斯等人认为，一个社会若不再因增长背上沉重的包袱，就会有更多的精力去解决其他问题。这类活动不需要投入大量不可更新的资源，不会造成环境恶化。譬如，人们可以将精力投入教育、艺术、音乐、宗教、科研、体育和社交中，提高生活的质量。

罗马俱乐部的上述悲观主义观点集中在《增长的极限》一书中，此书出版后不久，就爆发了 70 年代的全球石油危机，客观上使罗马俱乐部的观点名声大噪。平心而论，《增长的极限》中的研究是有许多缺点，如米都斯等人将若干变量综合为一个系统，但未考虑到这些量的增长率在各个不同的国家和地区的差异；再如各种污染物在对环境的影响方面的“能力”各不相同，而米都斯等人则“笼而统之”；更重要的是，这项研究对知识的增长的积极作用考虑不够。由于上述缺点，罗马俱乐部的研究结论是一幅“世界末日图”，不过，他们确实尖锐地提出了事关人类生死存亡的问题。这一研究结果提出的“全球概念”，使人们的眼界扩大到了整个世界，因而功不可没。

二、技术乐观主义

与悲观主义观点截然不同的是乐观主义的观点。当代的乐观主义者承认工业文明潜伏着危机。乐观主义的代表作是美国物理学家赫尔曼·卡恩的著作《今后二百年》。

卡恩也认为当前世界上粮食与能源短缺、环境污染、气候恶化等危机是存在的,但这些危机被悲观论者夸大了。我们周围仍有许多尚未开发的地方,如外层空间、海洋、地层深部等,这当中蕴藏着数量惊人的资源。即使那些已经开发的资源和能源,我们还可以进行“深加工”、节约使用和重复利用。人类利用科学技术过度开发了自然,确实造成了人与环境对立的严重局面,但依靠更好的技术,建立更完善的工艺流程,便能补偿污染问题和资源枯竭问题。生产的不断增长能够为更多的生产进一步提供潜力;地球上的土地和资源足以应付经济发展之需。在人类面前处处存在新的生长点,我们有足够的时间发展新的科学技术,进而依靠新的技术和资源来增加生产,保持并改善环境。卡恩曾预测 80 年代到本世纪末,世界经济将得到发展,特别是中等收入的国家经济将迅速上升,年增长率可达到 5% 到 6%;发达国家的年增长率虽比 60 年代慢一些,但也可达到 3%;最穷的国家则可以实现某些有限的进步。卡恩还预言,在最终不超过 300 亿人口的前提下,只要技术和经济不断发展,今后的经济生活就会高于现时的水平,所以不存在自然因素的制约。人类目前面临的问题不足为虑,可以通过对自然的进一步开发和技术进步来解决这些问题。

另一位著名的乐观主义者是阿尔文·托夫勒。托夫勒称人类历史经历了三次变革的浪潮:第一个浪潮是由于农业的出现,历时近万年;第二个翻天覆地的变革浪潮是由工业革命激起的,历时仅 300 年;新技术革命导致的第三次浪潮大约只需几十年便可完成。第三次浪潮将带来崭新的生活与生产方式,它以多种多样可再生

能源为基础,未来的家庭、学校、企业将发生急剧改变。新的文明将使我们超越工业化时代的标准化、同步化、集权化,超越能源、资金和权力的集中。第三个浪潮是一个全球革命,可以解决人类面临的能源、资源、生态危机。

美国学者罗伯特·博伊德将系统动力学模型加以修改,增加了一个新的“技术”变量和乘数以表达技术对其他变量的影响,从而将系统动力学模型纳入乐观主义观点中(如图 12-2)。

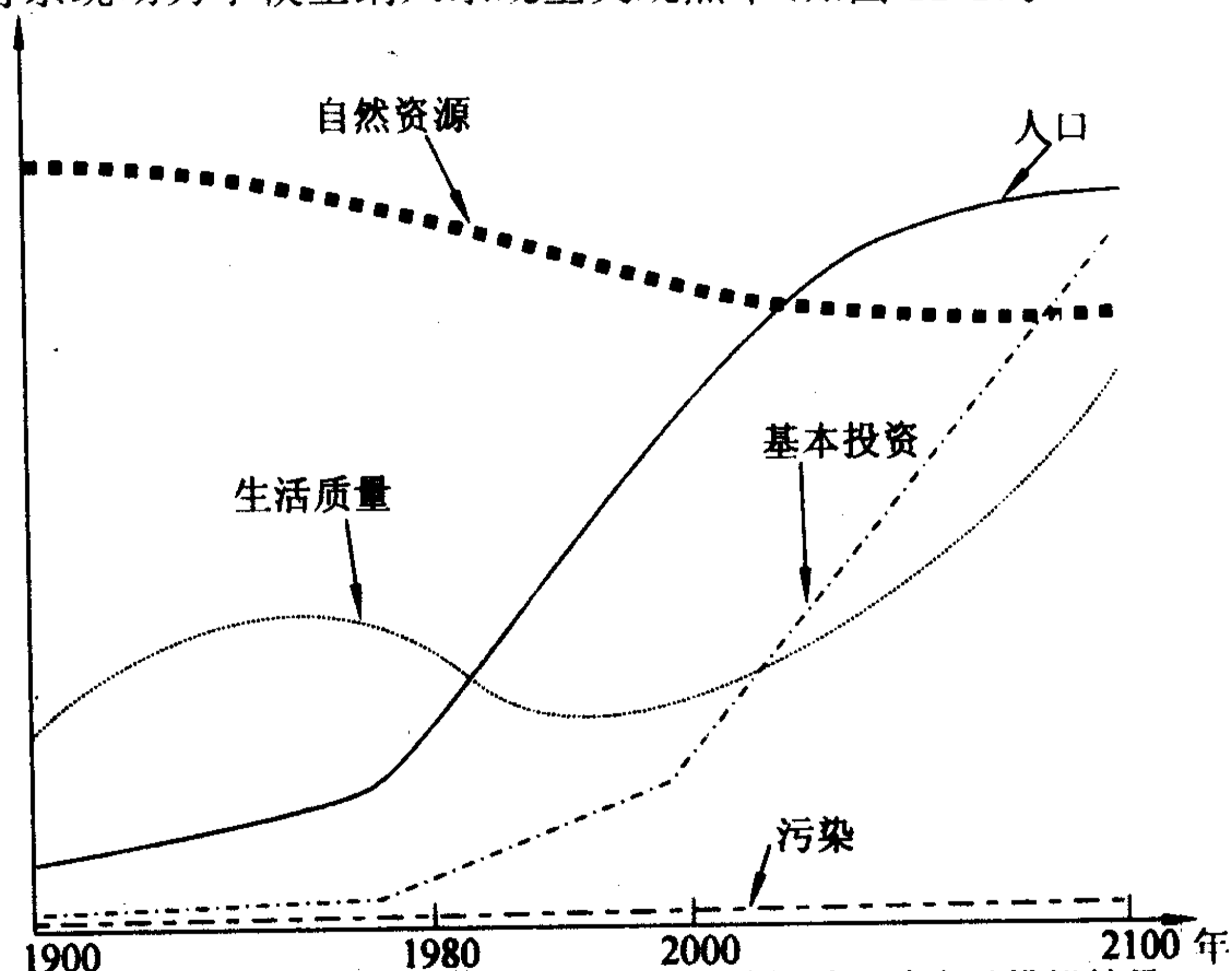


图 12-2 经修改后纳入技术乐观主义假设的系统动力学模拟结果

技术乐观主义有一些可取之处,乐观主义者们对资源、能源、技术进步潜力的估计在我们今天看来是有一定的根据的。例如,海洋过去只是“概念国土”,但当代海洋科技却揭示了海洋是人类最大而又开发最少的矿产、能源、食品宝库。地球上生物每年可生产 1 540 亿吨有机碳,而其中 88% 来自于海洋。海洋中蕴藏着经济价值很高的锰结核、金属软流、热液矿床等。锰结核矿的海底储量为 2~3 万亿吨,为陆地锰资源的 4 000 倍,该矿中还含有 20 多种其

他珍贵金属元素。海洋中有氢、铀同位素等重要核燃料,氢同位素足够人类使用数十亿年,由于太阳的作用,海洋还以波浪、潮汐、温差、洋流、盐度差等形式储存了丰富的可再生能源。再如利用空间技术,我们可以用较少的资本、资源,实现同样的目标;用同轴电缆将我国省会城市联结起来需投资几十亿元,而用卫星只需数亿元。

乐观主义看到了现代科学技术进步的积极作用,对资源潜力抱有希望,对人类环境前景充满了希望。然而,技术乐观主义的盲目性也是显而易见的。首先,乐观主义忽略了全球问题不仅是资源、环境问题,还包含了其他方面(诸如道德规范、价值观念)的问题;即使资源、环境问题将来不复存在,别的问题却依旧可能存在。其次,乐观主义者似乎认为先进的技术可以解决环境、资源危机中的所有难题,但有些难题(如生态圈的恢复)是技术难以解决的,因为自然界的一些微妙机制是亿万年进化的结果,是人工手段几乎不可能再现的。再次,退一步说,即使技术可以解决资源环境危机,我们还面临着对技术的抉择,并非所有的“好”技术都可为人类所用,一个技术系统一旦在社会中占据主导地位,就不会轻易退出舞台。由于社会原因所造成的对某些资源的掠夺性消耗和挥霍浪费也仍将存在,新技术即使再完善,对此也无能为力。

有人认为,乐观主义者和悲观主义者都以不同的形式暗示人们放弃努力,把命运寄托于不可靠的希望和偶然性上。“我们不能上当,世界明天的好坏要靠我们的努力”。^①

第二节 对科技价值的评价与行为取向

要摆脱悲观主义和乐观主义的局限,就应当首先对科学的价值作出全面的评价;以此规范我们的行为,才能作出正确的抉择。

^① J. T. 哈迪:《科学、技术和环境》,科学普及出版社,1984:197.

一、正确评价科学技术的价值

价值是反映客体满足主体需要的关系范畴,它是由主体的内在尺度来衡量的,这一内在尺度便是价值观念;价值观念必须与客体的属性及主客体的相互作用相适应。要树立适当的关于科学技术的价值观念,就必须对科学技术的属性及其对人类的作用有深刻的了解。

科学技术的产生满足了人类的求知欲,但从根本上看,科技是作为人类认识自然和改造自然的手段而产生的,其最主要的作用在于增强人类的实践力量,造成社会的进化。同时科技对社会的作用又具有两重性。一方面它的确使人类社会的进步呈现加速的趋势,将人由微不足道的一个普通生物物种提升到了自然界的主宰;另一方面,科技的发展与应用也会导致事先难以预料的、违背人类利益的负作用。在一定的阶段,这种负作用可能毫不起眼,但随着以科技武装自身的人类的活动力度的加大,这种负作用终于变得不容忽视了。科技对人类社会的双刃剑性质,是由科技的相对真理性决定的。任何时代的科学技术,都是人类实践的阶段性产物,科技知识即使在应用方面是“成功”的,也未必是完备的。完备的知识只能是一个可以不断逼近的“目标”,而且“目标”本身也随着世界的变化而变化。当人类为了满足自身的需求,在阶段性成果的基础上营造适宜于人类生存的条件时,却不可能事先完全预计经人类改造后的那个世界中所有的新规律,所以人类对负效应措手不及并不是什么奇怪的事。负效应过去有,现在有,将来也肯定会有。我们不可能应用科学技术而完全避免科技的负面作用,也不能因为存在负效应就全面诋毁科学技术,只能在认识自然和改造自然的不断实践中,尽力增强其正效应而抑制其负效应。人类迄今为止的实践也表明,负效应虽然不能完全消除,但得到较大程度上的抑制还是可能的。

我们还应看到,科学技术既非“原罪”的也不是完全中立的。科学技术的研究和应用作为人类的一种社会实践,是在一定的社会条件下,由一定的人为一定的目的而进行的。科学技术的社会作用,也只能在社会大系统中才能发挥出来,不能把科技的社会后果(无论是正面的还是负面的)仅仅归之于科学技术。所以科技并不是天生的“恶魔”。完全否定科学技术对人类的作用无异于全部否定人类的能动性实践。然而科学技术更不能被视为完全中立的东西,尽管我们不承认自然科学和技术具有阶级性,但是科学技术毕竟是与一定的主体联系在一起的。爱因斯坦认为:“科学是一种强有力的工具。怎样用它,究竟是给人类带来幸福还是灾难,全取决于人自己,而不取决于工具。刀子在人类生活中是有用的,但它也能用来杀人。”^①这段话通常被人们理解为证明了科技的中立性,但实际它也没有忽视主体的重要性。在我们看来,科技成果只有在与主体分离的条件下,才是完全中立的。这里所说的主体,包括科技成果的创造者、控制者、应用者。科学技术的社会价值所反映的是科学技术与社会的关系,它不能离开主体而成立,因此,主体的作用是关键性的,评价科学技术的功过是非,仅着眼于静态的、与主体分离的成果是不够的,仅着眼于科技工作者也是不够的,综合考察成果、主体,乃至社会状况,才能对科技的作用倾向作出正确的判断。

综合以上分析,我们可以认为科技的作用对人类是必不可少的,但它又不是无所不能的。科学技术是“最高意义上的革命力量”、“历史的有力杠杆”,帮助人类创造出了辉煌的文明。在当代,科学技术已成为第一位的生产力,是经济发展和社会进步的主动力量源。取消这个主动力量源,无异于自取灭亡。科技今后也仍将是一柄双刃剑,因为科技不能覆盖自然界的一切,更不可能决定社会的

^① 《爱因斯坦文集》第3卷,商务印书馆,1979:56.

一切,即使如此,克服科技的消极作用也离不开进一步合理发展、合理应用科技。科技的负面作用只能在一个动态过程中加以控制,而不可能一劳永逸地连根拔去,除非将洗澡水与婴儿一同泼掉。另一个重要的结论是,仅靠科技是无法克服科技的消极后果的,必须对科技成果的主体也进行调控才行,归根到底,这已涉及到整个社会关系调整。科技知识既然不是完全中立的,那么社会对科技创造、传播、应用等一系列环节都应加以适当的控制,这类调控通常需要从主体入手。只有通过社会变革、正确决策、科学管理,才能使科技在物质文明、精神文明等诸多方面都有益于人类。

二、走现实主义的发展道路

前文已指出,消极的悲观主义和盲目的乐观主义都是片面的。世界明天的好坏,并不是先天注定的,也不是科技本身决定的,而是取决于人类今后的行为是否明智。我们既不能回避矛盾,也不能因噎废食。我们还特别要指出,无论是悲观主义,还是乐观主义,都是中国这样的发展中国家无法接受的。

如果按照悲观主义的设想,放弃了发展,发展中国家的前途是十分可悲的。全球问题是全球人类造成的,但主要是发达国家造成的,主要的受害者却未必是发达国家。80年代以来,世界经济又出现了一体化浪潮,各国的经济逐渐形成互补的趋势,这当中出现了若干值得重视的现象。发达国家的产业中传统产业的地位持续下降,1982年到1986年,美国就有400家钢铁企业倒闭。传统产业往往具有劳动密集、资金密集、高消耗、高污染,产品附加值低等特点,这些产业地位下降了,发达国家便卸下了包袱去发展新兴的高技术产业,追求更大的产品附加值。这些新兴产业由于凝聚了大量的科技知识,所以能带来巨大的效益。从每公斤产品的出厂价看,如果钢筋为1,则小轿车为5,彩色电视机为30,计算机为1000,集成电路为2000。不过,原材料、一般工业产品仍是需要的,发达

国家便利用一体化的经济环境,将传统产业的设备、技术向发展中国家转移。所以在全球经济互补中,发达国家输出的往往是高新技术产品,发展中国家通常输出原材料、初级产品,接受发达国家转移的高能耗、高污染产业,甚至被迫储存无法处理的危险废物。在这种情况下,互补不是平等的,越是不发展便越易成为全球问题的最先牺牲品。如果放弃了增长,发展中国家就会处于越来越不利的地位。我们都看到,当许多发展中国家无节制地出口总量十分有限的资源的同时,一些发达国家却绝不开采他们自己地层中的石油,绝不砍伐他们国土上的森林,尽管他们是最大的资源消耗国。

按照乐观主义的一套,在发展中国家也行不通。全球问题正在步步紧逼,任何国家在发展过程中都不能忽视这一点。而发展中国家一般人口众多、产业技术含量低,污染最重的地区通常集中于发展中国家,状况最严重的通常也是发展中国家,发展中国家有时还会成为先进武器的试验场。如果盲目乐观,就会发展越快,受害越重。以中国为例,我国的资源总量虽不算少,但就资源人均占有量而言,我国资源是十分匮乏的,即使是我国贮量为世界第一的煤炭,人均占有量也只有世界人均占有量的二分之一。但同时,由于我国科技落后,资源浪费现象却是惊人的,而我国劳动生产率也只有发达国家平均水平的六分之一。近几年来,我国的空气质量、水体质量直线下降,海洋赤潮屡屡发生;1997年我国温室气体排放量已达到世界第二位(仅次于美国),与我国的经济总量极不相称。如果这种趋势延续下去,中国的前途是十分危险的。当前,我国许多人对全球问题仍认识不清,为了发展经济不惜环境、资源及其他社会后果方面的代价。在这种情形下,即使考虑到科技发展的积极作用和资源潜力,我国走向中等发达国家的道路仍将是一条布满荆棘之途。

放弃增长是不可能的,零增长的理论即使在罗马俱乐部中也逐渐被否弃,但无论如何,在发展过程中,我们要充分注意科技的

负效应,将负效应控制到最小的程度。应该吸收悲观主义与乐观主义的可取之处,走一条现实主义之路,这需要我们做多方面的努力,尤其是在发展和应用科技方面,有一些问题是亟待解决的。

我们必须继续加强科技研究工作。现在我们面临的科技负面后果虽不能完全避免,但随着我们的认识深入,是可能拥有更好的手段来控制负效应的。在发展科技的过程中,应当特别重视有益于环境的科技知识,在这方面,已有了一些令人欣慰的进展。

必须加强对科学技术的社会控制。现代科技的威力越来越大,人类拥有的核力量足以将地球毁灭数十倍,人类最新掌握的基因技术可以改变生物演化的方向。科技可能实现的正面作用越强,可能导致的负面作用也越强。我们不应忘记,科技过去所导致的负效应往往是人类事先意识不到的,今后在我们追求正效应,或希冀以“好”技术消除负效应时,也完全可能再造成新的负效应。例如,科学家们已通过转基因技术,让某些农作物有不受除草剂伤害的功能,但这些作物是否会通过授粉,让杂草也能对抗除草剂呢?当技术的前景还不明晰时,我们当然不能轻率地使用它。社会有必要对科技的研究、传播和应用进行有效地控制;虽然不能把科技看作“潘朵拉盒子”,但也不能重犯前人盲目乐观的错误。

另外,必须改变重自然科学、轻社会科学的倾向。科技的应用造成的负效应已是全方面的,其原因也是综合性的。防止科技应用对环境、资源方面的严重后果,不能仅从技术入手,还要解决造成问题的社会原因,离开社会科学的深入研究,离开社会科学与自然科学、技术的综合,不可能解决环境危机、资源危机。况且,即使是有益于资源和环境的技术,也可能造成其他社会后果,例如影响世界政治格局,造成社会危机等。这类问题的预测和解决,就更离不开社会科学和自然科学的综合发展。就人的因素看,只重视自然科学和技术,势必造就畸形发展、目光狭隘的人,这对于社会是十分危险的。例如,在我国近年关于克隆技术的讨论中,竟有学者主张

用该技术来制造“医学模型”(而不是“人”),这是何等的可怕!

第三节 以科技促进经济和社会全面进步

世界各国都迫切需要经济、社会的全面进步,进步的过程离不开科技的驱动,因而,如何以科技促进经济社会的进步,就成了一个非常迫切的课题。尽管科技的负面作用不容忽视,但仍应将消除负面作用与经济、社会进步统一起来,因为实现正面作用与消除负面作用本来就不是对立的。

一、经济、社会对科技的迫切需求

二战之后,在发达国家的经济增长中,科学技术起了第一位的作用。近年来,以信息产业为代表的一系列新兴产业诞生并飞速发展,有人认为“以知识为基础的经济”(知识经济)正在世界范围内悄然兴起。按照 OECD(经合组织)的解释,知识经济是以现代科学技术为核心的、建立在知识和信息的生产、传播、使用和消费之上的经济。虽然有人对知识经济的概念持有不同观点,但毫无疑问,当前社会正在以经济为核心,发生一场悄悄的革命。

与以往的经济形态相比,今后经济的繁荣将不再直接取决于资源、资本、硬件技术的数量、规模和增量,而是直接依赖于知识或有效信息的积累和利用。以知识为基础的经济方兴未艾,也带动了社会进步。理论界认为,从本世纪 80 年代到下世纪相当长一个全球经济增长时期内,和平与发展将是世界的主题。和平的实现需要以和平为导向应用科学技术,唯有对知识的有效利用,方能促进人类的相互了解,并消除贫困、差异和不平等。将来,信息高速公路所创造的超级信息传递功能会使任何一个地方的政治和经济形势、思想文化、社会变革、自然灾害、科技进展、市场热点、消费时尚在顷刻间传递到世界上所有的地方,这对于维护世界和平无疑是有

利的。在发展方面,不论发达国家还是发展中国家,都必须进一步发展生产力,也都面临着如何实现协调和可持续发展的难题。发展生产力离不开高新技术和高素质人材,可持续发展的一个关键也在于必须有新的科学技术知识解决过去的失误。可持续发展的目标与发展生产力的目标是一致的,新技术往往兼有提高劳动生产率、提供新型产品和降低消耗、减少污染的双重作用,辅以其他社会条件,两个目标是可以同步实现的。总之,经济和社会需要科技知识不断注入新鲜血液。

目前,产品和产业结构的智能化、高级化是经济发展的大趋势。在生产和经营中,研究开发、战略分析、决策、管理、企业策划、形象设计的功能也越来越重要。新兴产业如雨后春笋,而传统产业中也必须引入高新技术知识进行改造。以上这些变化必定导致社会其他方面的同步变化。例如,产业的变化必然造就新型产业主体。知识型劳动者从后台走向前台,数量逐渐超过体力劳动者;产业主体的素质要求越来越高,个人的知识水平决定着就业起点和收入,个人的知识结构决定着就业方向。知识已不仅仅是力量,是真正的财富,是新财富的源泉。在这种知识价值的新时期,社会价值规范、个人的追求都会有彻底的改变。在知识的触动下,经济和社会的全面进步,生产力的发展与经济、社会的可持续发展将成为现实。

有关研究显示,发达国家和发展中国家的差距本质上是知识的差距。发展中国家的自然资源和人口占世界的大多数,但是世界上90%以上的科技投入、科技人员和科技活动却集中在发达国家。很多发展中国家的科技投入还赶不上发达国家的一家企业,几乎没有自己的知识产权,不得不依附发达国家来发展经济,在经济全球化中处于被动地位。发达国家的经济越来越以知识为最主要的资源,对发展中国家的压力也就越大。发展中国家若没有自己的知识产权和知识积累,就只能沦为原料出口地和产品倾销地;它若

追求产业进步,就不得不以高昂的代价来求购发达国家的知识成果,而且往往是过时的知识成果。令人忧虑的是,发展中国家的科技知识落后、生产力水平低下,通常伴随着意识的落后。发展中国家的某些人士往往对于自己的增长过于乐观,忽视了经济发展也有质量(即知识含量)方面的问题,看不到自己短期增长是世界经济格局变化和发达国家有意识进行技术转移的结果,有人还极力主张为某些依赖过时技术的产业争回“世界第一”的位置,全然不顾发达国家中正在发生的技术飞跃和世界市场的未来变化,忘记了真正的竞争力只能来源于自主的创新,这是十分危险的,1997年发生的东南亚经济危机又一次为我们敲响了警钟。

中国这样一个发展中国家迫切需要全方位的发展,因此也就迫切需要科学与技术。仅就经济方面而言,我国经济发展极不平衡,多种生产方式并存,技术参差不齐,市场发育和产业格局正处于变动中,而且还面临着全球经济一体化的冲击,今后经济发展将是国际竞争中获胜的同义语。在这种情况下,我国要进入中等发达国家的行列,就更须依靠科技进步。我国目前正在实施的科教兴国与可持续发展两大战略无疑是十分重要的,也是符合世界潮流的。)作为一个发展中大国,我国在依靠科技进步的过程中,应特别注意:①我国科技的总体水平目前仍十分落后,我们不可能与发达国家进行全方位的科技抗衡,当然更不能亦步亦趋地跟在发达国家后面,必须建立自己的创新体系,选择好突破口,形成局部优势。②必须注重科技知识的产业化,造就科技研究面向经济建设主战场的良好局面;当然,也要重视基础研究,真正做到上游(基础研究)、中游(应用研究)、下游(开发研究)一条龙,让科技成为“源头活水”。③重视教育的作用,以教育提高劳动者素质,形成最佳人力资本,促进社会物质文明和精神文明建设。④不仅重视科技知识,也重视科学决策,因为我国面临工业化和追赶发达国家的双重任务,而我们又不具备发达国家当时的条件(包括政治条件、经济条件和

环境条件),更承受不起它们所造成的失误、浪费和污染。

千里之行、始于足下,为了实施两大战略,我们必须脚踏实地地从每一个环节上入手,更要特别注意其中的关键环节。

二、我国实施两大战略的关键环节

作为我国发展的基本战略,科教兴国与可持续发展是我们必须长期坚持的。我们必须抓住一些关键环节,才能有效实施两大战略,真正以科技进步促进经济与社会的全面进步。

第一,建立国家创新体系,促进科技发展和科技向生产力的转化。^①

国家创新体系是由与知识创新和技术创新相关的机构和组织构成的网络系统,它的主要功能是知识创新(生产)、技术创新、知识传播和应用。国家创新体系可分为知识创新系统、技术创新系统、知识传播系统和知识应用系统(如表 12-1)。知识创新是技术创新的基础和源泉,技术创新是企业发展的根本,知识传播系统培养和输送人才,知识应用系统则促使科技知识转变为现实生产力。为了尽快建设我国的创新体系,我们应充分利用现有条件,提高国立科研机构、企业和高等院校的知识创新能力、技术创新能力和培养各种层次人才的能力,建立并完善现代企业制度、先进高等教育制度和现代科研院所制度,在不久的将来,基本形成适应社会主义市场经济体制、符合科技发展规律的国家创新体系,基本具备能够支撑我国科技和经济、社会可持续发展的国家创新能力。

建立国家创新体系,要注意政府行为和市场作用的结合。如在技术创新活动中,政府应从直接组织技术创新为主,转向以宏观调控、营造法制环境、提供政策指导,提供合作和交流条件为主;而在知识创新活动中,政府应对从事基础研究的国家科研机构和部分

^① 中国科学院.《迎接知识经济时代,建立国家创新体系》,1997.

教学科研型大学给予稳定的支持；政府还应负责制订并实施与社会经济发展相结合的国家科技发展规划和计划，并对实施过程进行评价和监督。

表 12-1 国家创新体系的系统结构及其主要功能

名 称	核心部分	其他部分	主要功能
知识创新系统	国立科研机构 (国家科研机构和部门科研机构)、教学科研型大学	其他高等教育机构、企业科研机构、政府部门、基础设施等	知识的生产、传播和转移
技术创新系统	企业	科研机构、教育培训机构、政府部门、中介机构和基础设施等	学习、革新、创造和传播新技术
知识传播系统	高等教育系统、职业培训系统	政府部门、其他教育机构、科研机构、企业、知识和信息基础设施等	传播知识，培养人才
知识应用系统	社会、企业	政府部门、科研机构等	知识和技术的实际应用

建立国家创新体系，必须创造必要的“环境”。应当完善有关的法律体系，尤其要健全知识产权法规并严格执行，使国家创新体系建立在牢固的法律基础之上。应当制定合理政策，鼓励知识创新和技术创新，形成尊重知识、尊重人才的社会氛围。还要加强基础设施建设，包括国家信息基础设施、科研与教育基础设施、企业研究中心的建设。

国家创新体系顾及了知识从产生到应用的全过程,这样一个体系对我国的现代化进程有不可估量的意义。目前,我国在建立创新体系方面已迈出了可喜的步伐。有关知识创新的863计划(高技术研究发展计划)、攀登计划(重大基础性研究项目计划)、国家重点实验室建设,有关技术创新的“技术创新工程”,有关知识传播的“211工程”,或者已取得喜人成就,或者正在实施之中。但建立国家创新体系的速度、力度还不够。该体系直接关系到中国未来的发展后劲,怎么重视都不过分,因为在当今世界上,科技的发展及转化为经济增长的过程不断加快,我们只能加强自己的创新活动,来应付日益严峻的挑战;否则,我们与发达国家的距离将越拉越大。

第二,发展教育产业,建设全民教育的网络体系。

教育是百年大计,不重视教育的国家从来是没有前途的。教育可以促进新知识的产生,形成人力资本,还可以传播正确的社会意识。改革开放以来我国的教育事业已有相当的发展,但是无论是义务教育、中等教育,还是高等教育都远不能适应科技、经济社会发展需要。我国教育结构、劳动力特征、合格工程师的可获得指标在各国中居倒数位次,而实施两大战略、建设现代化,归根到底要靠高素质的人材。造成我国教育事业相对滞后的原因是多方面的,但一个主因在于教育投入的渠道单一。仅靠政府增加投入,教育的发展空间便很小。唯一可行的办法是,将教育当作一种有投入、有产出的产业来发展,引导全社会的力量共同办学。发展教育产业,就必须改革现有的办学体制,改变政府包办教育的局面。应该让公办学校、民办学校、民办公助学校齐头并进,应当有专门的法律和政策引导社会力量办学,开通企业、社会团体、个人对教育的投入渠道。即使是公办学校,也可以通过产学研结合、收费教育等形式,形成自身的造血机能。

实现教育产业化,首先要解决一个观念问题,即要将知识当作无形资产;还需要有相应的法律保障,使教育产业有可靠的、优惠

的回报。发展教育产业,可以使我国教育的规模、结构、质量全面地发展。

发展教育,不能完全局限于正规的全日制学校教育,而应当以正规学校为主体,建设全民教育的网络体系。60年代,在西方诞生了“终身教育”的思想,这是与当时知识飞速增长,新知识在生产生活中越来越重要的社会发展趋势相适应的。在我国现阶段,实行终身教育已势在必行,因为社会已发展到每一个人都不可能仅用青少年时代所学知识来应付终身各个阶段工作、生活的需要。我国的正规教育机构目前只是以学历教育为主要形式,以青少年为主要对象,不能满足全民终身教育的需求。因此,必须建立全民教育的网络体系。该体系应当有较广的覆盖面,教育内容应当是广泛的和可选择的,办学主体应该是多样化的。

在创办全民教育网络体系方面,世界各国为我们提供了值得借鉴的经验。发达国家的大学普遍设有成人教育,继续教育的机构,为人才“回炉”提供了机会。西方国家的文化机构(如图书馆、博物馆)也承担着进行科普教育和介绍科技发展的重任。一些世界知名企业每年都为在职培训、消费者培训投入大量资金。例如,预计到2000年,摩托罗拉公司每年职工培训方面将投入6亿美元。一些国家的社区、党团也开办各种层次、各种内容的学习培训班,效果十分显著。我国已吸收了国外的许多宝贵经验,不过全民教育的网络体系远未形成,许多办学形式目前仍是象征意义大于实际意义。

发达国家的经验表明,社会越发展,科技的作用便越重要,高素质的人便越不可缺少。美国本世纪50年代白领工人人数超过了蓝领工人;1995年,美国蓝领工人只占社会劳动力总数的20%。有人预计到2020年,美国蓝领工人比例将下降到2%,相当于现在美国农业人口的比例。中国劳动力的结构变化也已初显端倪,未来的绝大部分劳动者都将是“知识分子”,劳动者必须适应时代的要

求。而我国的实际状况是,文盲仍占总人口数的19%,每百万人口中的大学生数仅为印度的五分之一。如果教育不发展,要想发展科技、应用科技,推动经济和社会的全面进步,只能是痴人说梦。

因此,发展教育产业,建设全民教育的网络体系已势在必行、刻不容缓。

第三,特别注重决策科学化,保证重大决策的正确性。

实施两大战略是个系统工程,必须进行科学决策,我国实现现代化任重道远、时间紧迫、历史包袱重,再也经不起重大失误。政府在进行重大决策时,应广泛听取人民群众的意见,反映人民的愿望,代表人民的利益,体现人民的意志,这是正确决策的政治基础。但仅有这个基础是无法保证决策的科学性的。在中国这样一个人口众多、历史悠久、传统文化底蕴丰厚、经济落后的国家里,要做到决策科学化,应特别注重科学技术的作用。决策要符合科学规律,只有通过真正的科学分析,才能从来自社会各界的意见(包括相反意见)中找到共同点,才能把握国家、民族的最高利益,找到解决各种复杂矛盾的恰当方法。领导者要特别重视科学界的意见;不仅重视自然科学家和技术专家的意见,也要重视社会科学在决策中的作用,在各学科的“交叉地带”,形成支持科学决策的“软科学”知识体系。在这一体系中需要有政治学、历史学、社会学、经济学、法学、管理学、未来学、地理学、生态学、统计学、控制论、系统科学,以及基础科学的综合运用和协同。

在科学决策过程中,必须将权威、民主、科学结合在一起。应当彻底摒弃那种事先不作科学研究,不作科学论证,全凭长官意志的决策方式。为了保障决策顺利进行,还应当在软科学知识的基础上,建立健全、灵敏和有效的专家咨询系统和信息反馈系统,加强科学预测、评估、控制、监督,以形成决策过程中的科学制约机制。在决策指导思想,应当引进借鉴当代科学的新观念(如系统的观念),切忌在着手解决现有问题时,对可能产生的新问题毫无准备。

决策科学化是发挥科技作用的最重要的保障,没有科学的决策,科技和教育的作用就会大打折扣,甚至付诸东流。

实施两大战略,是我国现代化的必由之路,也是充分发挥科技正面效应,消除负面效应,走现实主义道路的必由之路。实施两大战略的系统工程,需要全社会努力,需要进行全面、合理的操作。科技工作者更应当负起自己的责任,不但致力于发展科学技术,更要关心科学技术带来的社会后果和自然后果,主动参与科学决策,使我国的现代化目标得以顺利实现。

在历史的机遇和挑战面前,我们不能辜负自己的神圣责任。

本章进一步阅读书目

1. 米都斯等. 增长的极限. 成都:四川人民出版社,1984
2. 冯之浚主编. 知识经济与中国发展. 北京:中共中央党校出版社,1998
3. 高亮华著. 人文主义视野中的技术. 北京:中国社会科学出版社,1996

复习思考题

1. 试举实例说明:科学技术是一柄“双刃剑”。
2. 社会科学、自然科学和技术的综合发展对我国实施两大战略有何意义?

后 记

现代科学技术的迅猛发展,昭示着一个新的时代——知识经济时代的来临,也向人们提出了科学技术及其发展的一系列新问题。作为理、工、农、医和管理类硕士研究生政治理论课的自然辩证法教学与研究,同样面临着新的挑战。我们几位作者都是从事自然辩证法教学与科研数年的青年工作者,从学生在学习过程中提出的实际需要和自然辩证法学科发展的趋势出发,经过认真酝酿,编成此书,也算是对这一挑战的一份思考和回答。

本书的编著过程始终体现了作者群策群力、集思广益的学术共同体规范,从提纲的形成、修改,到各章节的最后完成,都是我们这个小小共同体集体讨论的结晶。全书各章的具体执笔为:绪言和第三篇各章由许为民执笔,第一篇各章和第四篇第十二章由王诗宗执笔,第二篇各章由张钢执笔,第四篇第十、十一两章由王建安执笔。最后由许为民负责统稿。

本书写作过程中参考了大量的研究文献和相关资料,除了各章后面给出的进一步阅读书目之外,尚有许多文献未能一一标注。在此谨对各篇文献的作者表示衷心的感谢!

由于时间匆促,作者的学识和水平有限,书中不尽人意之处和错误肯定不少,敬请广大读者能不吝教正。

作 者

1998年7月于求是园

[G e n e r a l I n f o r m a t i o n]

书名 = 自然辩证法新编

作者 = 许为民 王诗宗等编著

页数 = 382

SS号 = 10850220

出版日期 = 1998年08月第1版

出版社 = 浙江大学出版社

前言
目录
第一篇

自然观

第一章

自然界的系统存在

第二节

物质系统的基本属性

- 一、物质系统的分类
- 二、物质系统的整体性
- 三、物质系统中整体与部分的关系
- 四、物质系统与环境的关系

第二节

物质系统的层次结构

- 一、物质形态的多样性
- 二、非生命系统的层次结构
- 三、生命系统的层次结构

第三节

层次结构中的一般规律

- 一、层次与复杂性
- 二、层次与结合度
- 三、上层系统与下层系统的相互作用

第四节

物质系统的若干哲学问题

- 一、物质与时空
- 二、宇宙的有限与无限
- 三、物质的可分与不可分

第二章

自然界的演化发展

第一节

演化观念的逐步确立

- 一、从“第一推动”到演化
- 二、演化的时间方向性特征
- 三、演化的两种方向

第二节

重要物质领域的演化进程

- 一、宇宙的演化
- 二、恒星的演化
- 三、太阳系及地球的演化
- 四、生命起源与生物进化

第三节

进化机制及其哲学讨论

- 一、进化的条件与过程
- 二、进化与退化的关系
- 三、偶然性在进化中的意义
- 四、自然界演化的周期性

第三章

人与自然界的共存

第一节

人与自然的相互依存关系

- 一、人类从动物界的分化
- 二、人与自然界关系的变迁
- 三、人与自然的对象性关系

第二节

人与自然关系演化的新特点

- 一、人类的新进化
- 二、人工自然的发展
- 三、人与自然关系的新变化

	第三节	人与自然的协调发展
		一、人与自然协调发展的紧迫性
		二、协调发展的涵义和条件
		三、中国人与自然协调发展的难点与出路
第二篇	科学观	
	第四章	科学理论
	第一节	科学划界
		一、科学划界问题及其意义
		二、科学哲学关于划界的基本观点
		三、关于划界问题的评论
	第二节	科学语言
		一、两种语言符号系统
		二、科学语言的分类
		三、科学概念与科学命题
	第三节	科学理论的结构
		一、科学理论结构的“正统观点”
		二、亨普尔对“正统观点”的修正
		三、奎因的网络模型
		四、关于科学理论结构的评论
	第四节	科学理论的评价
		一、逻辑经验主义评价模式
		二、批判理性主义评价模式
		三、科学历史主义评价模式
		四、对各种评价模式的评论
	第五章	科学方法
	第一节	科学发现与科学证明
		一、从发现逻辑到证明逻辑
		二、科学研究一般程序与科学方法
	第二节	科学问题
		一、科学问题：科学研究的起点
		二、科学问题的基本类型
		三、科学问题的来源
	第三节	科学观察与科学实验
		一、科学事实及其性质
		二、科学观察
		三、科学实验
		四、观察和实验中的若干认识论问题
	第四节	逻辑方法
		一、科学抽象及其意义
		二、比较与分类
		三、分析与综合
		四、归纳与演绎
		五、数学方法
	第五节	非逻辑方法
		一、非逻辑思维的基本形式

- 二、直觉与灵感
- 三、形象思维与科学想象
- 四、非逻辑思维与逻辑思维的关系

第六节 系统科学方法

- 一、系统科学及其方法
- 二、常用的系统科学方法
- 三、自组织理论方法

第六章 科学发展

第一节 科学进步与科学发展

- 一、科学的目标
- 二、科学进步
- 三、科学发展

第二节 科学发展的模式

- 一、科学发展模式的主要观点
- 二、关于科学发展一般模式的评论

第三节 科学解释与科学合理性

- 一、科学解释的类型
- 二、语言层次与科学解释
- 三、科学的合理性

第四节 科学实在论

- 一、科学实在论与反实在论的争论
- 二、科学实在论在传统立场上的转向
- 三、关于科学实在论转向的评论

第三篇 技术观

第七章 技术发展

第一节 古代手工技术

- 一、石器时代
- 二、铜器时代
- 三、铁器时代
- 四、古代动力技术和信息技术

第二节 近代工业技术

- 一、蒸汽技术革命
- 二、电力技术革命
- 三、机械化大生产的工业技术

第三节 现代科学化技术

- 一、电子计算机技术
- 二、原子能技术
- 三、航空航天技术
- 四、高新技术群

第四节 技术发展模式讨论

- 一、技术发展的宏观模式
- 二、技术发展的微观模式

第八章 技术本质

第一节 技术的本质

- 一、形形色色的技术定义

		二、技术的本质特征
		三、技术的基本属性
		四、技术要素分析
	第二节	技术的分类
		一、技术分类的原则和标准
		二、根据技术基本属性的分类
		三、根据基本运动形式的分类
		四、根据生产劳动过程的分类
	第三节	技术的体系结构
		一、技术系统与技术体系
		二、技术体系的演化变革
		三、技术联系方式与技术结构
第九章		技术方法
	第一节	技术创造过程与技术方法
		一、技术创造的一般程序
		二、技术方法的基本特点
		三、技术方法的若干原则
	第二节	技术预测方法
		一、技术预测的意义和特点
		二、技术预测方法的理论基础
		三、技术预测方法的主要类型
	第三节	技术评估方法
		一、技术评估的作用与特点
		二、技术评估的原则与程序
		三、技术评估的常用方法
	第四节	技术发明方法
		一、技术发明的一般过程和步骤
		二、技术原理的构思方法
		三、常用的发明创造技法
	第五节	技术设计方法
		一、技术设计的历史发展与地位作用
		二、技术设计的一般方法
	第六节	技术试验方法
		一、技术试验的作用和特点
		二、技术试验程序和常见类型
第四篇		科学技术社会观
	第十章	科学技术的社会体制化
	第一节	社会制度和科学技术体制
		一、社会制度及其构成要素
		二、科学技术体制和体制化
		三、从社会体制看科学与技术关系
	第二节	科学家和技术专家角色的形成
		一、角色的概念
		二、古代科技活动主体的社会角色
		三、近代科学家和技术专家角色的出现

		四、现代科学家和技术专家角色的确立
	第三节	科学技术的社会组织
		一、科学技术社会组织的分类
		二、科学技术共同体
		三、“无形学院”和“创新者网络”
	第四节	科学技术的体制目标和社会规范
		一、科学技术的体制目标
		二、科学技术的社会规范
	第十一章	科学技术与社会的互动
	第一节	科学技术推动社会全面进步
		一、科学革命：哥白尼—牛顿革命
		二、技术革命和工业革命
		三、政治革命：英国、法国和美国的革命
	第二节	科学技术促进经济增长
		一、“科学技术是第一生产力”的定性说明
		二、技术进步促进经济增长的定量分析
		三、传统解释的局限性
		四、当代经济增长的知识经济学解释
	第三节	社会对科学技术发展的影响
		一、科学知识的社会建构
		二、技术的社会塑造
	第四节	技术经济范式与社会制度框架的匹配
		一、诺斯的制度创新论
		二、技术经济范式理论
	第十二章	科学技术的社会价值观
	第一节	对科学技术价值的反思
		一、科学技术：一柄双刃剑
		二、技术悲观主义
		三、技术乐观主义
	第二节	对科技价值的评价与行为取向
		一、正确评价科学技术的价值
		二、走现实主义的发展道路
	第三节	以科技促进经济和社会全面进步
		一、经济和社会对科技的迫切需求
		二、我国实施两个战略的关键环节