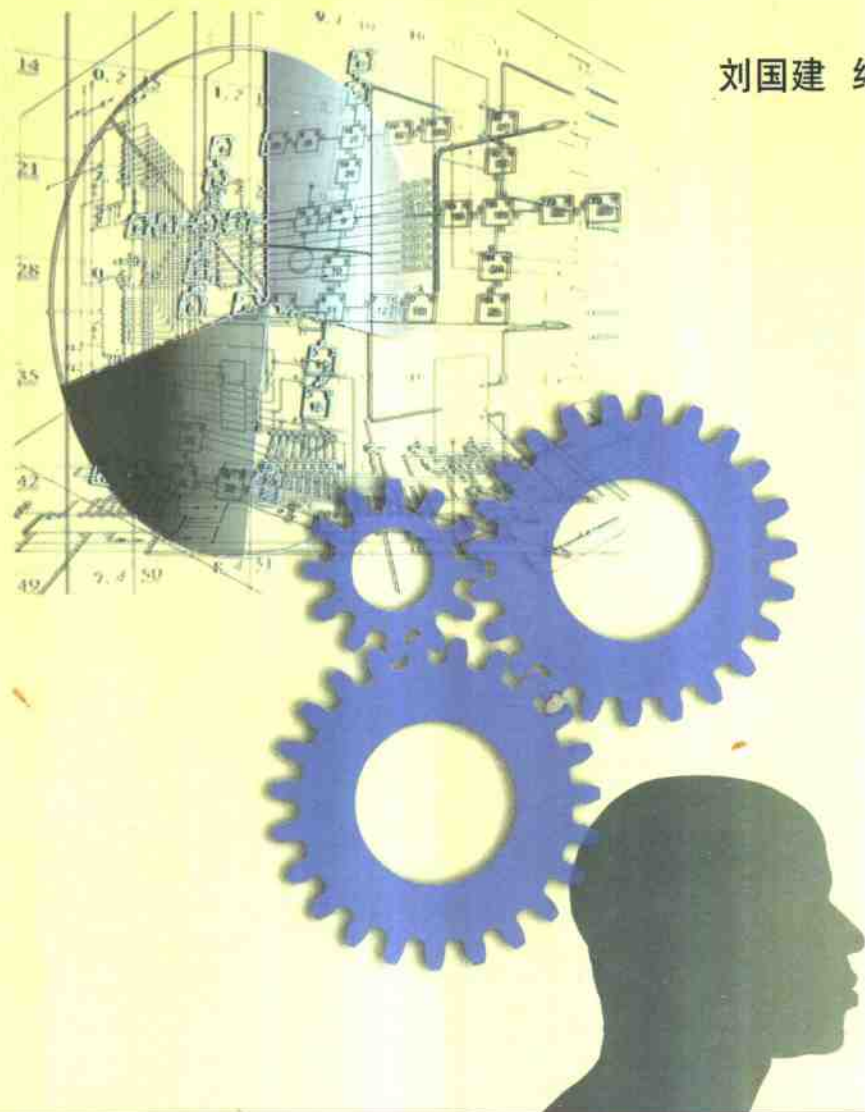


科学技术研究方法导论

刘国建 编著



世界图书出版公司

科学技术研究方法导论

刘国建 编著

世界图书出版公司

广州·上海·西安·北京

图书在版编目(CIP)数据

科学技术研究方法导论/刘国建编著. —广州:广东世界图书出版公司,
2002.8

ISBN 7-5062-5512-X

I. 科...

II. 刘...

III. 科学研究-研究方法-高等学校-教材

IV. G304

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 043394 号

科学技术研究方法导论

出版发行:广东世界图书出版公司

(广州市新港西路大江冲 25 号 邮编:510300)

电 话:020-84451969 84451010

E-mail:pub@gdsw.com.cn

经 销:各地新华书店

印 刷:广东省韶关新华印刷厂

版 次:2002 年 8 月第 1 版

2002 年 8 月第 1 次印刷

开 本:850×1168 1/32

印 张:8.625

字 数:216 千字

印 数:0 001~3 000 册

书 号:ISBN 7-5062-5512-X/Z·0030

出版社注册号:粤 014

定 价:13.80 元

如发现因印装质量问题影响阅读,请与承印厂联系退换。

目 录

第一章 绪 论	(1)
第一节 科学技术研究方法概述.....	(2)
第二节 自然科学方法与社会科学方法、科学方法与技术 方法的关系.....	(8)
第三节 科学研究方法的特性和功能	(15)
第四节 学习和研究科学技术方法的意义	(25)
第二章 科学研究的感性方法	(30)
第一节 科学事实及其获取	(30)
第二节 观察方法	(36)
第三节 实验方法	(47)
第三章 科学研究的理性方法	(62)
第一节 科学抽象与理想化方法	(62)
第二节 比较与类比	(69)
第三节 归纳与演绎	(76)
第四节 分析与综合	(86)
第五节 想象与直觉	(89)
第六节 数学和数学模型方法.....	(100)
第四章 科学研究的系统科学方法	(111)
第一节 系统科学方法的原则和作用.....	(111)

第二节	信息方法·····	(117)
第三节	反馈控制方法·····	(124)
第四节	功能模拟方法·····	(127)
第五节	黑箱辨识方法·····	(130)
第六节	系统整体优化方法·····	(134)
第七节	层次结构方法·····	(142)
第五章	工程技术研究的一般方法·····	(154)
第一节	技术方法的特征、种类、程序·····	(154)
第二节	工程技术创造发明构思方法·····	(162)
第三节	工程技术方案设计方法·····	(185)
第四节	试验方法·····	(192)
第六章	社会科学研究的的基本方法·····	(206)
第一节	社会调查研究问卷法·····	(206)
第二节	德尔菲预测法·····	(226)
第七章	科研选题及学术论文写作方法·····	(250)
第一节	科研选题的方法·····	(250)
第二节	工程技术选题的方法·····	(259)
第三节	学术论文写作的方法·····	(264)

第一章 绪 论

当今时代,科学技术的作用越来越大,其地位也越来越突出,正如邓小平同志高度概括的那样:“科学技术是第一生产力。”如果说,18世纪后半叶的蒸汽机革命的发生,归功于“生产→技术→科学”的作用,19世纪后半叶电力革命的发生,归功于“科学→技术→生产”的作用,那么,20世纪中叶以后的原子能和电子计算机的发明和使用,则归功于“科学 $\rightleftharpoons$ 技术 $\rightleftharpoons$ 生产”的双向互动作用。也就是说,无论是生产过程,还是技术发明,都要在科学理论、技术思想的指导下才得以进行,科学技术的不断进步,促进了当今社会生产力的巨大发展。

现代科学技术之所以有如此巨大的作用和突出的地位,是与其伴随的方法体系的发展和思维方式的变革分不开的。人们运用科学理论指导技术设计和生产过程,主要是运用该理论所提供的科学方法。所谓科学方法是指科学研究主体与客体对象发生关系并正确反映客体的主观手段。^[1]在科学研究中,人们总要运用一定的方法,遵循一定的原则和步骤,才能获得一定的认识。学习科学知识固然重要,学习科学活动过程中所遵从的规则、程序、手段,即科学技术方法更为重要。

第一节 科学技术研究方法概述

一、科学技术研究方法的历史发展及其特点

一门成熟的科学理论,既为人们提供科学知识,更为人们提供科学方法。科学技术工作者把人们在生产、实验、试验中获得的经验、事实,整理加工形成科学理论的同时,也形成了若干对客观事物认识的程序、规律;或者运用已有的科学方法,对感性材料进行加工制作,形成科学理论。科学方法随着科学理论的产生而产生,也随着科学理论的发展而不断丰富和发展。

在古代,人们对自然界的认识,主要依靠不充分的观察事实和简单的逻辑推理以及猜测,直观地、笼统地解释自然界的现象和事物的一般性质。研究方法的特点是直观、笼统思辨的方法。在中国古代的科学技术中,突显出研究方法的这一特点。比如西汉时期的《汜胜之书》,就直观地综合了我国北方特别是关中地区的耕作制度及技术方法。北魏贾思勰所著的《齐民要术》一书,笼统综合了公元6世纪以前的农业生产技术及其方法。还有约成书于战国时期的《黄帝内经》,既笼统综合了人体生理、病理、诊断、预防以及药物治疗过程的一般方法,还猜测了人的健康和疾病与自然环境的关系。中国古代的科学技术,其理论思想注重综合,其行为模式注重工艺过程、工艺方法和实际操作的效益,^[2]造就了一代又一代的“能工巧匠”。三国曹魏时期的扶风人马钧制造了装有可自动离合的齿轮传动装置的指南车,创造了龙骨水车,制造了水转百戏等,被称为“巧思绝世”的机械制造家。^[3]还有中国古代印刷术、火药等的发明,把中国古代实用型科学技术推向高潮。但中国传

统的认识方法是笼统的、直觉的,缺乏分析。中国古代科学方法缺乏实验,这是中国没有产生近代科学的重要原因。^[4]从 15 世纪下半叶开始,随着资本主义的兴起和生产的发展,特别是哥白尼(1473—1543)的《天体运行论》(1543 年)的发表,使自然科学从自然哲学中分离出来,并逐步形成了各自独特的研究方法,使古代直观、思辨的方法逐步被实验和分析方法所代替,从而使近代自然科学得以迅猛发展。

实验方法和分析方法是近代研究方法的主要特点。实验方法虽早在古希腊阿基米德的研究中已有尝试,在中世纪后期也为一些哲学家和科学家所重视,但真正在实践中予以具体运用的则是意大利的达·芬奇(1482—1519)。达·芬奇提倡实验方法,认为科学如果不是从实验中产生并以一种清晰的实验结束,便是毫无用处的,充满荒谬的,因为只有实验才是确定性之母。^[2]他通过大量的实验,给出了桥梁的承重能力与桥柱的粗细成正比而与其长度成反比的关系。继达·芬奇之后,荷兰的斯台文、英国的吉尔伯特(1540—1605)等,都利用实验方法获得了对自然现象的新认识。随着实验方法的兴起,数学方法以及分析、归纳等方法也被普遍采用。如开普勒(1571—1630)成功地运用数学方法对他的老师——丹麦天文学家第谷·布拉赫(1546—1601)观察的天文数字进行加工整理,发现了行星运动三大规律。伽利略(1564—1642)既重视实验方法,又重视数学方法。他对实验既作出理论分析,又用数学方法对实验结果定量的予以表示。他认为自然界是用数学语言写成的书,要读懂这本书,除了用实验方法外,还必须掌握数学语言。为此,伽利略在自己的科学活动中,创立了实验方法和数学方法相结合的近代科学研究方法,并运用这种方法,揭示了单摆规律、落体规律、惯性规律、抛射体运动规律,奠定了经典力学的基础。^[2]同时,伽利略的实验方法、数学方法和分析方法深刻地影响了与他同时代和在他以后的科学家们,成为现代科学研究的基本方法。

科学研究方法的发展,提出了从理论上进行总结、概括的可能性和必要性。对这项工作作出杰出贡献的,一个是英国的弗兰西斯·培根(1561—1626),另一个是法国的笛卡儿(1596—1650)。弗兰西斯·培根继承了罗吉尔·培根(13世纪)、达·芬奇等人的思想,强调实验对科学的极端重要性,同时重视理性的作用,最后建立了实验归纳法。他认为,要得到正确的知识必须从事实出发,通过实验收集大量资料,然后进行对比分析,排除无关因素,找出个别事物中的普遍规律^[2]。他在1620年出版的《新工具》(以区别于亚里士多德的《工具篇》)一书中,不仅阐明了归纳法的重要性,而且提供了归纳逻辑中判明因果联系的求同法、差异法和共变法。弗兰西斯·培根一生并没有作过一次实验,提出一个自然科学概念,但他建立的实验科学方法论是对科学发展的巨大贡献,他还提出了“知识就是力量”的著名口号。由于培根在理论上对实验方法作出了重大贡献,马克思称他为“英国唯物主义和整个现代实验科学的真正始祖。”“按照他的学说,感觉是完全可靠的,是一切知识的源泉。科学是实验的科学,科学就在于用理性方法去整理感性材料。归纳、分析、比较、观察和实验是理性方法的主要条件。”^[5]

弗兰西斯·培根强调实验和经验,对数学和演绎的作用估计不足,使他自己陷入了认识上的片面性。而与他同时代的法国哲学家、科学家笛卡儿则倡导科学研究中的演绎法,强调数学方法的意义。他在1637年出版的《科学中正确地运用理性和追求真理的方法论》一书中认为,只有运用数学方法和演绎方法才能获得对事物的必然性的真理性的认识。

笛卡儿的方法论是从研究数学中概括出来的,认为理性是一切知识的源泉,这是片面的,不过他并不排斥实验,认为实验的功能在于确立演绎的结果与物理实验之间的一致性,这又与培根的思想产生共鸣。

培根与笛卡儿关于科学研究方法的观点似乎是相互独立的,

其实他们是相互补充的,是从不同侧面反映了近代自然科学研究方法的特点,对近代自然科学的发展都产生了重大影响。正如牛顿概括自己的那样,他的全部成就都是用归纳方法从实践中推导出来,并用数学的演绎方法加以论证的。这个时期科学方法上的发展可以概括为归纳主义传统和“假说—演绎”传统。

19 世纪的力学、光学、热学、电磁学等都取得了光辉的成果。而由电子、X 射线和天然放射性的发现,引发了对整个 20 世纪产生巨大影响的物理学革命。物理学革命从原子“实体”破门而入,随之而来的是物质结构的秘密逐层被揭开,给人类展示出微观领域的丰富多彩的自然图景。20 世纪上半叶的各门学科都向自己的小尺度进军,并把较深层次的考察同更大尺度层次的探索结合起来,在宏观、微观研究上均有了新的突破,带来了如量子力学、空间科学和计算机科学等一大批新学科的建立。同时像电子显微镜、射电望远镜、高能加速器等一系列新仪器和新设备先后产生。观察和实验由地面发展到空间,由宏观深入到微观,并突破了过去种种条件的限制,在精密、快速和自动化等方面达到了新的水平。这些都为新的科学方法和技术方法的诞生提供了丰富条件,并由此而产生了适合各门具体学科的科学方法。高度分化与高度综合,是现代科学技术发展的一个重要特点。进入 20 世纪之后,各门自然科学蓬勃发展。学科越分越细,分支越来越多;与此同时,学科之间互相交叉,互相渗透,使整个自然科学形成一个有机联系的整体。综合性学科(如环境科学)的出现,横断学科(如系统科学)的诞生,管理科学的发展,自然科学与社会科学的互相渗透,都是科学整体化的具体表现。

不同学科的理论和方法的互相移植,以及各门学科的理论和方法的综合运用,是现代科学技术整体化发展的重要条件,特别是 20 世纪 90 年代产生的系统论、控制论、信息论,以及 70 年代产生的耗散结构理论、协同学、超循环理论等自组织理论,给科学技术

研究方法带来了革命性的变革,不仅突破了自然科学各学科的界限,而且突破了自然科学和社会科学的界限,为不同学科领域的研究提供了普遍适用的方法,从而有力地促进了现代科学技术的发展以及整体化的进程。

在现代科学技术的高度分化和高度综合过程中,科学技术方法也呈现出分化发展和综合运用特点。一方面,各门具体学科深化发展,促使研究者们深入研究适合各门具体学科发展的具体方法,促进了科学方法的丰富和发展。另一方面,一些科学家和哲学家开始对科学技术方法从整体上进行综合研究,以探索各种方法之间的联系、发展规律及其功能。人们对科学方法的研究越来越重视,出现了许多关于科学方法研究的学派,产生了许多关于科学方法的专著,使科学方法发展成为完整的理论体系。

二、科学技术研究方法的分类

科学技术研究方法,是关于科学研究和工程技术研究的一般方法的性质、特点、原则、程序、作用、内在联系和变化发展的规律性的理论体系。它是以近代和现代的科研实践及其成就为依据,总结科学技术各种研究方法的性质、作用、彼此联系和发展的规律性而形成的一般理论。关于科学和科学方法论发展的内在规律、动力以及一般模式,在科学哲学那里已讨论得比较明晰。我们这里讨论的科学技术研究方法是就不同层次方法予以阐述,力图表明其实用性及其意义和把握的基本途径。它既包括科学发现过程中的研究方法,也包括技术发明所必需的方法,既有自然科学领域的方法,也有社会科学领域的方法。现代科学技术研究方法种类繁多,适用范围各异,从不同角度可以作出不同的划分。

如按科研环节和步骤,可分为选题方法,资料搜集方法,获取感性材料的观察、实验方法,加工感性材料的理性思维方法,检验

理性认识的验证方法,表述理论体系的方法。如按研究成果是否含有量的关系,可以分为定性研究方法和定量研究方法两类。如按普遍性程度和适用范围不同,可划分为3个层次:其一是各门学科所特有的专门研究方法,如社会学中的社会调查方法;天文学中的射电观测法;生物学中的移植法和基因转移法等;其二是适合于各门学科的一般研究方法,如科学假说方法等;其三是适应于自然科学、社会科学、思维科学的更普遍的方法,如矛盾分析法、历史与逻辑相统一的方法等。如按认识发展程序和过程可划分为3种类型:一是经验认识方法,如试错法、试验法、观察法、实验法等;二是理性认识方法,如科学假说、科学抽象、逻辑分析、形象思维、直觉思维、数学方法等;三是综合方法,如系统科学方法、矛盾分析法等。

技术研究的方法,如按普遍性程度,可分为一般技术方法和专业技术方法。如按技术开发过程的各个环节分类,可分为规划方法、技术发明方法、设计方法、工程技术试验方法等。以上科学技术研究方法的划分是相对的,各种方法之间总是相互联系、交互作用的。由于感性认识阶段渗透着理性认识因素,所以理性认识方法也往往运用在感性认识阶段;由于理性认识要以感性认识为基础,所以,感性认识方法也会在理性认识中得到应用。另外,科学方法与技术方法之间不存在绝对的界限,许多科学研究方法,如逻辑分析法、数学方法、系统方法等,在现代技术研究中也被广泛地应用;而技术方法也会被运用于科学研究过程中(如移植方法)。

第二节 自然科学方法与社会科学方法、科学方法与技术方法的关系

一、自然科学方法与社会科学方法之异同

自然科学与社会科学研究对象的不同(自然科学的研究对象是运动着的自然界的物质形态、结构、性质和运动规律;社会科学的研究对象是各种社会现象及其运动发展规律),决定了它们研究方法(或研究手段)的各异;而自然现象与社会现象同属自然历史过程,它们在本质上的统一性,表明主体在作用于客体的手段上又具有某种一致性。自然科学与社会科学间的相互联系,伴随着研究方法上的相互渗透。讨论社会科学和自然科学方法的联系与区别,有助于我们了解它们各自所具有的功能,为深入探讨科学研究方法的体系与结构提供必要的依据。^[6]

1. 自然科学方法与社会科学方法的联系

现代科学技术发展的整体化趋势,使自然科学与社会科学方法间的彼此渗透、移植、相互结合成为可能。关于这一点近几年来有关文献和论著中都已反复强调或说明过,但都较笼统,具体阐述不够。现就自然科学与社会科学方法的相同点,作些具体阐述。

(1)具有哲学上的统一性。自然科学和社会科学方法虽丰富多彩,各有其特色和用途,但都不能离开哲学方法的指导。首先,哲学方法源于自然科学和社会科学方法,或者说,自然科学和社会科学方法中含有哲学方法的本质内容。因此哲学方法具有着普遍

的适用性。其次,人们要进行科学研究,总是离不开运用相应的思维方法,要么遵从马克思主义哲学提供的思维方法,要么接受形而上学思维,或者其他形式的哲学思维,即人们不能离开哲学的思维方法来完成思维过程。从这个意义上来说,哲学方法总是支配着自然科学和社会科学方法,且起着指导作用。再次,我们经常讲哲学对科学的指导,从实质上讲应是思维方法上的指导。正如恩格斯所说:“马克思的整个世界观不是意义,而是方法,它提供的不是现成的教条,而是进一步研究的出发点和供这种研究使用的方法”^[7]。以上说明了自然科学与社会科学方法统一于哲学认识。

(2)具有逻辑上的联系性。表现为两方面:一方面,任何一种科学方法都是基本概念和基本原则在逻辑的轨道上运行后确立为一种方法的。所以任何一种科学方法的形成都是建立在逻辑方法基础上的。另一方面,自然科学和社会科学方法之间存在着相应的逻辑联系。无论自然科学还是社会科学方法的形成都要运用归纳和演绎,或分析和综合,或抽象和具体,或类比和假设等基本的逻辑方法。若把任意一种方法看作一个系统的话,那么这个系统则是以基本的逻辑方法和标明这个系统特色的基本概念作为要素生成的。同样把自然科学方法和社会科学方法看作系统,上述逻辑方法必贯穿其中。因此,它们之间具有逻辑上的内在联系性。

(3)具有继承上的共同性。自然科学和社会科学理论的产生和发展表现为一个理论对另一个理论的继承与突破。理论上的继承与突破必然要求科学方法上的变革,这种变革不是彻头彻尾的否定而是辩证的否定即“扬弃”。新方法是对已有方法的继承、突破与发展。例如,数学物理方法,就是继承了现有的数学方法,突破了现存的物理方法。形式上是综合,实质内容是继承与突破。同样,社会科学方法也是如此。

(4)具有综合上的渗透性。体现在两个方面:一方面相互渗透是在各自领域内部进行的。现代科学发展的综合性趋势表现在某

个领域里发展出了许多交叉学科。就自然科学(即天、地、生、数、理、化)来讲,它再也不是近代意义上的含义了。某一学科与其他学科的综合就能生成一群分支。如以化学学科为主体,就有物理化学、数学化学、海洋化学、地质化学、天体化学,还有电化学、光化学等学科群。理论的相互渗透与综合,引起所用方法的渗透和综合。如物理化学的生成,就有了物理方法和化学方法的渗透与综合。同样地,社会科学理论的相互渗透,也必然要引起其研究方法间的渗透和综合。另一方面,相互渗透是在自然科学与社会科学之间进行而引起的研究方法的综合。由于自然科学理论与社会科学理论之间在现代发生了强烈的渗透与综合,产生了一系列跨学科的边缘学科,如自然辩证法、系统论、信息论、控制论、耗散结构论等,也随之出现了这两个领域间方法的强烈渗透与综合,产生了一系列适用于自然科学与社会科学理论研究的某些通用的方法,如系统方法、信息方法、黑箱方法、移植方法等。近年来亦有大量的自然科学方法被移植于社会科学的研究。

(5)具有共同上的自然属性。大家知道,自然科学只具有自然属性,没有阶级性;而大部分社会科学中的学科(如哲学、伦理学、文学等)既有自然属性,又具有阶级性。但作为科学认识的手段,不论是自然科学方法,还是社会科学方法,都只有自然属性,不具有阶级性。这就是自然科学与社会科学方法属性的一致性。

2. 自然科学方法与社会科学方法的相异

由于社会和自然是统一的物质世界的两大部分,所以自然科学与社会科学两领域在研究方法上有许多共同点是必然的。但社会领域是由有思维和有意识的人组成的。人的活动是受思想和意识支配的,人组成的社会有着自然所没有的特点和规律。因此适用于自然领域的某些研究方法只有经过改造才能适用于对社会的研究。所以自然科学与社会科学方法虽然有许多共性的东西,但

它们之间还是存在着重大的差异性。

首先,它们间的主导方法不同(所谓主导方法是指在同一领域,在众多的方法中,经常被用到的起决定性作用、处于主导地位的一类方法)。自然科学以实验方法(或试验方法)作为主要研究手段,发现物质运动规律,揭示事物的本质,证伪某种假说。而社会科学则以观察(或调查研究)的方法作为主要研究途径,透视社会的痕迹,发现社会运动发展的规律。实验方法与观察方法在本质上有以下不同点:

(1)从内容上看:实验方法是简化、纯化、强化、优化研究事物的自然过程,或以典型的形式再现客体;而观察方法只能尊重客观的社会过程,即对社会所发生的现象和过程不进行人工干预或控制的情况下进行有计划、有目的地观察。

(2)从特征上看:可重复性是实验方法的根本特征,就是说,在相同的实验条件下,重复此项实验,应该得出相同的实验结果,它决不会因人、因时、因地而异。不能再现的实验结果是不能支持相关科学理论的。而社会现象,则因时间和地点的不同有着不尽相同的内容,即社会历史不具有重演律。

其次,它们的存在形态相异。自然科学的研究多是量化的手段,而社会科学的研究大体是以定性描述的方式出现。大家知道,人类认识事物,首先是认识事物的质,即人们要认识这个事物,总要把这个事物同其他的事物区别开来,进而认识这个事物的量。所以自然科学最初大体是以描述形态存在着。只是人们不满足这种存在状态,加上数学工具的功能不断提高,使得今天的自然科学大多是以量化的形式存在。一般地,自然科学研究大量使用的是定量分析的方法;社会科学研究则大量运用定性分析的方法。这是由于社会现象及其运动形式较自然界具有更复杂的情形,尽管其有着内在的量化关系,但这种量化关系是极不分明和不确定的,许多观察因素是极其不稳定的,这些是造成至今为止社会科学不

能“大面积量化”的主要原因。

第三,它们的结构不同。我们通常所说的基础理论研究的方法(如数学方法、实验方法等)、技术理论研究的方法(如模型方法、试验方法等)、应用理论研究的方法(如设计方法、生产过程的各种试验方法等),即指自然科学方法具有多层次性,且在每个层次里既有理论认识的方法,也有经验认识的方法。例如在基础科学理论研究的层次,研究者通过研究工具、仪器、设备作用于研究对象,获得关于研究对象的第一手的事实材料。在此阶段,研究者使用观察、实验和模拟等方法。这些取得事实材料的方法和对事实材料进行加工和整理的方法即为经验方法。然后研究者把通过经验方法所获得的事实材料,再通过科学抽象,使用归纳、演绎、假说、数学、逻辑、模型等方法上升为科学理论。这个阶段所使用的方法即为理论方法。所以自然科学研究方法呈立体网络状结构。社会科学研究虽离不开理论思维方法,但更多运用的是感性认识的方法,而形象思维所直接依赖的基础是感性认识的方法,这形成了社会科学研究大体上以感性方法为主、以理论方法为辅的平面结构状态。

第四,它们的功能有异。自然科学发展史表明:“认识一个天才的研究方法,对于科学的进步……并不比发现本身更少用处”。^[8]某项重大科学发现(或发明)的重大意义在于,它不仅告诉了我们某些真理,回答了某些疑难问题,提供了某项具体知识,开阔了人类的视野;同时还在于它提供了新的思想、新的原则,提供了寻求真理的主观手段。重大成果本身可以提炼和转化为自然科学方法。而某种自然科学方法一旦产生,可以在相当长的历史时期内,导致一系列新成果的产生。例如,系统理论虽是贝塔朗菲在研究生物学时形成的重大理论成果,但由这一成果所带来的系统方法,导致了阿波罗登月的成功,导致了人们思维方式的重大革新。工业文明越发达,系统方法就越能释放出巨大的“能量”,所以