

国家“十五”重点图书

“探索科学的艺术——科学方法论”丛书

丛书主编 路 宁 刘跃进

遨游系统的海洋 ——系统方法谈

欧阳光明 郭 卫 王 青 著

**THE ART OF
EXPLORING
SCIENCE**

Systematical
Methodology



上海交通大学出版社

国家“十五”重点图书

“探索科学的艺术——科学方法论”丛书

遨游系统的海洋 ——系统方法谈

丛书主编 路 宁 刘跃进

欧阳光明 郭 卫 王 青 著

上海交通大学出版社

内 容 提 要

本书力求完整地论述了系统科学方法所涉及的基本理论问题,用尽量通俗易懂的语言,把系统科学的理论与它们在实际中的应用置于历史故事的背景之中,使之融理论性、科学性、趣味性于一体,并辅以适当的插图、人物照片及各种图例等,将系统科学方法尽量全面地介绍给读者,以供有一定知识层次的青年、大学生、研究生以及科技、管理等方面的实际工作者们了解、掌握和应用系统科学的思维和方法,使之接受并受到启发,从而自觉地在实践中认识和运用系统科学方法解决社会问题、学科问题以及其他各类复杂的问题。

图书在版编目(CIP)数据

遨游系统的海洋:系统方法谈/欧阳光明著. —上海:
上海交通大学出版社, 2006

(探索科学的艺术:科学方法论丛书)

ISBN 7-313-04210-8

I. 遨 ... II. 欧 ... III. 系统方法—研究
IV. N941

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第002845号

遨游系统的海洋

—系统方法谈

欧阳光明 郭卫 王青 著

上海交通大学出版社出版发行

(上海市番禺路 877 号 邮政编码 200030)

电话: 64071208 出版人: 张天蔚

上海锦佳装璜印刷发展公司印刷 全国新华书店经销

开本: 890mm×1240mm 1/32 印张: 6.875 字数: 194千字

2006年4月第1版 2006年4月第1次印刷

印数: 1—3050

ISBN7-313-04210-8/N·017 定价: 15.00元

版权所有 侵权必究

前 言

科学方法是科学的灵魂,是科学家与科学对象之间的桥梁和通道。从一定意义上说,一部科学史就是一部科学方法不断丰富发展的历史,就是一部科学方法的进化史。科学革命从本质上说就是科学方法的革命。高明的导师在指导博士研究生时,总强调传授方法过于告诉结论就说明了这个道理。科学方法是科学的重要基础和组成部分,是科学活动得以开展的必要条件,是科学水平发展的标志。“工欲善其事,必先利其器”。了解和掌握科学方法对于了解和掌握科学具有十分重要的意义,对推动科学与社会的发展也具有重要的意义。因此,自科学产生以来,人们总是花极大的力量来关注和研究科学方法,于是形成了一门专门研究科学方法的学问,这就是科学方法论。为了向广大读者介绍科学方法,了解直至树立科学的方法和理念,正确把握科学与非科学及反科学的界限,坚持正确的科学观和科学方法论,我们编写了这套《科学方法论》丛书,将正书名起为《探索科学的艺术》是希望强调方法在获得正确结论中的独特的作用。

科学是什么?

这好像是一个不成问题的问题。其实不然,它是一个争论得非常激烈的问题,直到现在争论仍在进行,人们从各自的角度在不同层面上理解科学这个概念。一般可以从三个层面对科学进行描述:科学是系统化的知识;科学是一种社会活动;科学是一种社会建制。第一种描述是从科学的内部进行刻画的,后两种则是从科学的社会价值的角度进行刻画的。但是,作为一个科学工作者,我们似乎应当从综合的高度、尽可能从较全面的方位来处理这个问题。这样做应当是可能的。从这样的理念出发,科学是不是可以做这样的表述:科学是人类运用科学工

具作用于科学对象的过程及作用结果的统一。因而科学是一个历史范畴。

科学方法是什么？

这里讲的科学方法不是指科学的方法，而是指科学研究的方法，是人们为达到一定的科学目的所选取的手段、途径或活动方式和规范。科学方法是人们在科学研究中所遵循的途径和所运用的各种方法和手段的总称。从科学方法论讲科学方法通常指各个科学部门中较为通用的一般的科学研究方法，是人们揭示客观世界奥秘、获得新知识、探索真理的工具。从这个意义上讲，科学方法必然是科学的方法，它具有程序化的特点和自觉能动性的特点。科学方法是正确反映客体的通道，科学方法为科学的发展定向开路，为成功的取得作铺垫。科学方法使科学认识程序化、规范化和最优化，在纷繁复杂的科学研究中，科学方法可以提供一条正确的路径和思维定式。

采用合适的科学方法开展研究就会获得较高的成功率。一般来说，科学方法、技术创新，往往可能促成科学技术的重大发现和发明。一些科学家、发明家能够取得重大成就，是和他们在方法上锐意进取密切相关的。从历史上来看，科学是随着研究方法所获得的成就而前进的。因此传播和普及科学方法，加强对公众科学研究、技术开发能力的培养，是提高公众的科技素质、造就一代新人的需要。

科学方法是怎样分类的？

科学方法是具有一定结构的一个体系，按照不同的标准可以做不同的分类。这些标准之间也可能有交叉。哲学方法是层次最高、应用最普遍的方法，能够运用于以自然界、社会和思维为研究对象的所有科学部门。往下是一批基本的通用的科学方法，如逻辑方法、数学方法、系统方法、实验方法等。再往下是各个具体科学领域的科学方法，如生物学的方法、地学的方法等。科学方法还可以按照适用范围的大小，区

分为一般科学方法和特殊科学方法。一般讲来,越是科学研究的低层,要掌握的科学方法越是特殊;而越是科学研究的上层,要掌握的科学方法越一般。这是因为具体的工作对象明确,可变性小,于是更需要技巧,而上层工作面宽,需要全局性的、路线性的指导,于是更多的是涉及原则问题。

按照认识层次可有经验性科学方法、理论性科学方法等。经验性科学方法是获取经验材料或科学事实的一般方法,如观察方法、调查方法、测量方法等。理论性科学方法,包括分析、综合、归纳、演绎、类比等逻辑方法以及假设方法、思想实验、理想化方法等。横向学科方法指的是由数学、一般系统论、信息论等横向学科抽取出来的一般方法,如系统性方法、黑箱方法、反馈方法、信息方法等。特殊科学方法是个别科学领域或学科所运用的各种特殊方法,如物理中的光谱分析法,化学中的电解法,生物中的同位素示踪法、医学中的免疫法,心理学中的精神分析法,人口学中的人口普查法等。现代科学方法是建立在实践经验和经实践检验过的科学理论的基础上的。

科学研究离不开各种思维活动,人类思维所遵循的方法也是科学方法。思维方法是人们认识世界和改造世界的精神活动形式、方式和程序的总称。人的一切活动,无论认识活动还是实践活动,都离不开思维和思维方法。思维方法的类型是与思维类型相对应的。按照思维活动所运用的信息形式,思维方法区分为抽象思维方法和意象思维方法。按照思维结构的程式化程度,思维方法区分为逻辑思维方法和直觉思维方法。按照思维过程的方向性,思维方法区分为逆向思维方法、侧向思维方法、发散思维方法、收敛思维方法等。限于本丛书的既定目标,我们没有专门介绍思维方法的计划,不过读者从丛书涉及的内容可以或多或少体会到一些思维的规律。

科学方法与非科学方法

科学方法与非科学方法之间没有不可逾越的鸿沟。科学方法是一个边缘不清晰的、但又是一个具有稳定内核的家族。之所以这样说,首

先是因为科学与非科学之间是没有清晰的界限。特别是 1962 年 T·库恩的《科学革命的结构》出版以来,历史主义的观点对于科学与非科学的界限的讨论提出了社会文化的标准,人们对于这个问题的理解更增加了新的内容。现在可以看出,科学与非科学的界限是相对的。在牛顿体系下的科学概念,在爱因斯坦体系下就可能会变成非科学概念;在欧几里得的几何里过直线外的一点只可以作一条直线与已知直线平行,但是在非欧几何里,结论就完全不同,有的认为可以作至少两条,有的又说一条也不存在。因此,科学方法与非科学方法之间也没有清晰的界限。例如过去认为人多好办事的观点在软件工程里却行不通,很多软件设计过程证明,增加人的参与可能延缓工程的完成。是否科学一切应当看条件,在一定条件下的科学方法,当条件发生变化时,就可能变成非科学方法,反之亦然。在科学与非科学之间有着一个广阔的融合的地带。在这里,不同领域的方法之间相互过渡、转化表现为科学方法边界的不清晰。这也是正常的和必需的。在存在非此即彼的地方要充分注意到亦此亦彼。但是,我们在这里要强调的是,作为科学,以下几点是必须具备的不变的要素或内核:理性、真理、逻辑、可重复。

科学方法的历史观

科学方法是一个历史的概念,科学方法家族是一个不断新陈代谢的生长的家族。

从宏观历史上看,科学方法是一个不断发展和生长的家族。所以,我们要充分注意从历史的角度来把握科学方法,特别要注意从科学方法的整体上来把握它。在这个过程中,有的方法得到了发展,有的方法被历史所淘汰。但是,有一个逻辑线索是不变的,存在着历史的逻辑不变性:由低向高,由简到繁,由单一到多元,由不成熟到成熟。科学方法的历史与科学的历史是同步的,随着科学的发展而发展,它是一个无限展开的系列。

任何历史的否定都是辩证的否定,对于科学方法来讲更是如此。不管是淘汰也好,发展也好,总是一种扬弃,精华被保留下来,糟粕被剔

除。在区别精华和糟粕的过程中,方法会显示出特别的重要,就像风力和风向对于打谷场上的扬场,起着关键的作用。

科学方法形成的多个途径

科学方法的形成有多种方式方法,可以由科学研究进展或已有科学成果的转化,由非科学方法的转化,由已有科学方法的发展等,但是不管怎样,它总是源于科学实践。科学方法与科学实践是紧密相连的。科学方法不是游离于科学之外的一种框架。相反,它是融于科学之中的,只是我们在研究问题的时候对其做了抽象的处理而已。科学方法的形成是一个创新的过程,同时也是一个与已有方法的交流和交锋的过程。在这个过程中,新的科学方法得以发展和成熟。此外,不同的科学方法之间还存在移植、渗透作用,在交叉中产生新的科学方法。

与实践不同的是科学方法都有一个提升过程,它是从很多的实践活动中抽象出来又在实践中得到证明是行之有效的一种规律性的东西。即使是特殊的科学方法也有其普适性。同时,即使是一般的科学方法,在具体实施时,也要根据实际情况作适当的变化。一成不变的科学方法是没有的,而这种美好的愿望本身就是不科学的。

科学方法论的发展趋势

有的学者指出,目前在西方科学哲学界,科学方法论正处于一个发展的低谷。科学方法论面临五种困境:对归纳逻辑的反对、反对方法、当代科学方法论家的自悖、元方法论的困境以及对评价规则的质疑。同时指出认清这些困境的目的在于寻求科学哲学更深层的理论变革和发展机遇。这个问题确实应当引起我们的注意。在 20 世纪 80 年代,也许是十年浩劫造成积压的喷发,我国在科学方法论方面的研究曾经出现了一个高潮,出现了以舒炜光教授为突出代表的一批学者,他们的工作极大地推动了中国科学哲学的发展,推动了中国科学方法论的发展。虽然目前在科学方法论的研究中出现了上面所说的困境和问题,

但是,这并不能说科学方法论的研究已经停顿;相反,也许这正是科学方法论获得更大发展的契机。

进一步,进入新世纪以来,我国的经济正在蓬勃发展,科教兴国已经确定为基本国策,可望在未来的几十年中,中国的经济会有较快的发展,科学技术作为第一生产力必然地会获得优先发展。巴西的足球踢得好是因为足球的普及,中国将青少年派到巴西去学足球,很大程度上是为了感受这种全民皆球的氛围。一样的道理,随着科学的优先发展,科学方法将得到普及,形成一种氛围,这必定导致科学方法更快的发展。

本丛书的立意

在有关科学方法的书籍和文章大量问世的今天,如何为广大公众献上一套通俗的、有用的科学方法论的书并不是一件容易的事。选取最重要的方法,以全新的通俗方式进行撰写,是我们一贯的想法,也是本丛书的宗旨。但真正做起来却并不容易,甚至具有相当的挑战性。

我们这套书定位在讲述科学方法的普及类读物,由以下四种方法组成:数学方法、系统科方法、逻辑方法、实验方法,相应的书名分别为《通向完美的桥梁——数学方法谈》、《遨游系统的海洋——系统方法谈》、《攀登理性的阶梯——逻辑方法谈》、《走进实验的殿堂——实验方法谈》。为什么选取这四个方法呢?这是因为:我们认为,任何科学都是一个逻辑的系统,都离不开逻辑的构架。首先世界是一体化的,任何科学必须放在与他周围共存的环境才能检验出它的正确及意义。任何一个正确科学结论都离不开实验的检验,而且实验常常会提供科学研究的课题。任何科学都离不开数学,正如马克思说过的,任何科学只有应用数学才能达到完美的地步。

古希腊的亚里士多德创立的形式逻辑奠定了逻辑学的基础,建立起三段论式逻辑推理方法,创立了相应的逻辑工具——公理化方法。欧几里得运用公设、公理,演绎出了一本《几何原本》,成为万代师表。近代以来,公理化方法被进一步地形式化,在科学的发展中发挥了重要

的作用,是公认的重要方法。

英国人罗吉尔·培根首提“实验科学”,即运用实验方法的科学。后来,达·芬奇、伽利略又进一步运用了实验方法。弗兰西斯·培根则成为“英国唯物主义和整个现代实验科学的真正始祖”,他主张把学者传统与工匠传统结合起来,把理论与实际结合起来,通过记录一切可以得到的事实,进行观察、实验,加以排列、分类、归纳,最后总结出事物的内在联系。

如果将科学分成公理科学和实验科学,那么这两种方法分别是它们的一般方法。

科学发展到现代,系统地看待和处理科学问题已经成为一种十分重要的科学方法。在大科学中,众多的要素和众多的关系只有用系统的思维和方法才能准确地把握和描述,特别在科学日益分化与综合的发展趋势下,系统性越来越具有重要的意义。

科学史表明,数学是科学研究和科学表达的重要手段。科学,特别是自然科学大多离不开数学手段,离不开数学的表达。数学能使科学变量的依存关系有一个更清晰的表述,同时丰富的数学成果为科学研究提供了大量现成的结论。当今各行各业普遍应用了数字计算机,于是数学也就无所不在,数学方法也就无所不用了。

如果将科学研究分成个体研究与整体研究两个层次,其中个体研究是探讨对象本身的属性,整体研究是考虑对象在外界作用的变化,那么数学方法和系统方法将起着不可替代的作用。

正是基于上述认识,我们在科学方法论的宝库里,重点选取了上面四个方面作介绍,这并不是说其他方法不重要,这纯粹是我们在设计本丛书时的自我选择。是一个个性化的问题,而不是一个科学逻辑的问题。也许别的学者会作其他的选择和设计,这是完全正常的。

本丛书的特点

作者认为本丛书有如下值得一提的特点。

科普定位。本书是明确定位在科学方法的普及上,用大众可以接

受的方式介绍最基本的科学方法及历史。

为大众读者服务的宗旨。把科学方法介绍给大众,让大众掌握科学方法,是本丛书的基本宗旨。

例证与理论结合。本丛书特别注重例证的价值,注意在大量的科学史中选取合适的例子,用以说明抽象的科学方法论的原理。

寓道理于故事之中。本丛书特别强调要用故事说话,尽可能多地写一些故事,以求雅俗共赏。

专家执笔。本丛书的作者大部分是专门从事科学哲学、科学学和实际科学研究的专家学者,他们对科学方法问题有着深刻的理解和研究,并有多部著作出版,同时还对科普有着独特而深刻的理解。

手法灵活。本丛书采取灵活的表现方式说明科学方法的原理,表现手法丰富、灵活。

读者定位。读者定位为高中以上的各类人群,因此可以有广阔的市场。

体例新颖。尽可能采取独特的表现方法和版面方式,使读者耳目一新。

我们在上海交通大学出版社的大力支持下,编撰并出版了这套《探索科学的艺术——科学方法论》丛书。囿于我们的知识与能力,不足之处,恳请读者赐教。

路 宁

2005年10月

目 CONTENTS录

系统科学总论

1. 一个古老的哲学理念——整体性 4
2. 由管理系统思想发展而来的科学方法
——系统工程的兴起 6
3. 一切都是系统——系统科学的基本理论 8
4. 一个全新的视野——系统科学与社会发展 12
5. 一朵正在盛开的奇葩——中国系统科学的发展 16

系统与系统理论

6. 什么是系统——从一个眼的“网”的故事谈起 21
7. 系统论的基本原理分析 28

系统方法与系统论的应用

8. 系统方法概述 41
9. 系统论的应用 49

系统工程

10. 系统工程概述	57
11. 系统工程的基本原理	64
12. 系统工程的应用	75

信息论

13. 从“结绳记事”到信息科学——信息论的诞生与发展	83
14. 窥一斑而知全豹——信息方法	96
15. 高新技术发展的领头羊——信息技术	102

控制论

16. 控制论的诞生	111
17. 现代“掌舵”技术的应用——控制论的基本方法	119
18. 控制论已扩展到社会、经济、思维等领域	128

耗散结构理论

19. 时间上空的乌云——耗散结构理论提出的背景	136
20. 处处留心皆学问——谈自组织现象	138
21. 一个也不能少——耗散结构理论形成的条件和特点	141
22. 让理论回归实践——耗散结构理论的应用	145
23. 又一个天才世界观的诞生——耗散结构理论的哲学意义	155

协同学

24. 协同学——富有时代特色的新兴学科	163
----------------------------	-----

25. 自然界、社会系统中的协同之谜	164
26. 几个基本概念	167
27. 协同过程的三部曲	172
28. 几个主要结论	173
29. 协同学的应用和哲学意义	175

突 变 论

30. 数学理论基础——拓扑空间的描述	186
31. 突变论的应用——各个领域内的神奇功效	191
32. 突变论在哲学方法论上的意义——唯有源头活水来	200

参考文献	203
------------	-----

后记	204
----------	-----

系统科学总论

在 19 世纪末,现代科学取得了一些重大的成果,电子、放射性及 X 射线等新发现,使人们对物质世界的认识从宏观领域开始进入到微观领域。到 20 世纪,现代科学的一系列重大突破和世界新技术革命的兴起,成为推动现代社会变革的强有力的杠杆,也成为促进世人思想观念转变的重要根源。20 世纪初诞生的量子论,揭示了微观世界的系统整体性。著名量子物理学家海森堡指出:量子论指出的整体性、复杂性、统计性等特征,对哲学、宗教、伦理和社会政治问题产生了巨大的冲击。而同期诞生的相对论,则揭示了宏观世界的系统整体性。它揭示了物质、运动、质量、能量、时间、空间的统一性,否定了经典物理的绝对时空观,并进而推导到宇宙中四种基本力的统一,为大统一场论奠定了基础。另外,20 世纪其他一些科学领域,如天文学、生物学等也取得了很大的进展,也为系统观的形成提供了有力的科学基础。科学上的重大突破引发了以微电子技术为核心,包括信息技术、激光技术、生物技术、新材料、新能源、空间技术、海洋开发以及系统工程等诸多领域的世界新技术革命。它与以往技术革命最大的不同是,技术与科学、技术与技术、技术与经济、技术与社会之间的相互渗透、相互依赖、相互促进的系统性特征愈益明显。同时,现代人类社会正面临着许多前所未有的困境:核战争的危险、人口的急剧膨胀、资源的枯竭、环境的破坏、贫富的悬殊、社会的动荡,还有许多问题如粮食、交通、工业、城市、经济等,所有这些问题的解决,也需要跨越多种学科的知识。

当代科学的高度分化又高度综合的整体化发展趋势,使得在许多学科连接的研究领域涌现出大批新兴的交叉学科、横断学科和边缘学科。在 20 世纪中叶,尤其是第二次世界大战期间,出现了一批具有典型横断科学性质的技术科学群,这就是电子计算机理论与技术、系统论、信息论、控制论、系统工程与运筹学等,形成了新的学科群——系统科学。到了 20 世纪 70 年代左右,又出现了以比利时科学家普利高津由研究非平衡态热力学而创立的耗散结构理论、德国理论物理学家哈肯以激光理论研究为基础而建立的协同学、德国生物学和物理化学家艾根从研究生命起源问题而建立的超循环理论,还有托姆的突变理论, A·乌耶莫夫的参量型系统理论,以及混沌理论等。这些科学理论以