

高等学校教材

科学技术研究方法

水蕴华 主编



西北工业大学出版社

内 容 简 介

本书从科技研究程序、获取科学事实与数据、进行思维加工及工程技术研究等四个方面介绍了科学技术研究的各种方法。通过引用许多著名科学家和发明家的典型经验说明问题。特别侧重于创造性思维方法的总结，虚实结合，从哲理高度加以分析，使读者从中得到较深的启示。

本书对科学技术工作者、理工科大学学生和研究生有较大的实用价值，也可供哲学工作者和自然辩证法工作者参考。

高等学校教材

科学技术研究方法

主 编 水蕴华

责任编辑 胡梦仙

*

西北工业大学出版社出版

(西安市友谊西路127号)

陕西省新华书店发行

空军工程学院印刷厂印装

*

开本787×1092毫米 1/32 9.5印张 196千字

1988年8月第1版 1988年8月第1次印刷

印数1—4000册

ISBN 7-5612-0083-8/N·1(课) 定价:1.60元

目 录

绪论	1
一、科学技术研究方法学的研究对象	1
二、科学技术研究方法的历史发展	3
三、学习科学技术研究方法学的意义	8
第一章 科学技术研究的一般过程	13
第一节 选定科研课题	13
一、选定科研课题对科学认识的重要意义	14
二、选定科研课题的基本线索	18
三、确定科研课题的一般原则	23
第二节 搜集事实材料	31
一、科学事实的特征及其在科学认识中的作用	31
二、搜集科学事实的直接方法与间接方法	37
三、经验事实与理性思维	42
第三节 提出和验证假说	47
一、科学假说的特征及其在科学认识中的作用	47
二、科学假说的提出	51
三、科学假说的验证	56
第四节 形成科学理论	59
一、科学理论的基本特征及其功能	59
二、科学理论的结构	64
三、科学理论的确立与发展	74
第五节 理论复归实践	77
一、理论向实践复归的必要性与可能性	77

二、理论向实践复归的复杂性	80
三、科学—技术—生产系统的一般程序	86
第二章 科学技术研究的经验方法	91
第一节 科学技术研究经验方法的	
基本形式及其作用	92
一、科学技术研究经验方法的基本形式	92
二、科学技术研究经验方法在科学认识中的作用	101
第二节 科学技术研究经验方法的物质技术条件	
与理论指导	112
一、科学仪器在观测实验中的作用	112
二、理论思维对观测实验的指导作用	118
第三节 科学技术研究经验方法与世界观	123
一、观测实验需要科学态度	123
二、观测实验需要辩证方法	133
三、正确认识与把握机遇	136
第三章 科学认识的思维加工方法	145
第一节 整理概括经验事实的思维方法	145
一、分析方法	146
二、比较方法	149
三、分类方法	154
四、归纳方法	159
五、抽象与概括方法	167
第二节 建立系统理论的思维方法	171
一、综合方法	172
二、演绎与逻辑证明方法	177
三、公理化方法	185

第三节 随机探索性思维方法·····	189
一、类比方法·····	189
二、直觉思维·····	198
三、科学想象·····	207
四、理想化方法·····	214
第四节 科学技术研究的数学方法·····	221
一、数学方法的特点及作用·····	221
二、数学模型的提炼·····	228
三、电子计算机与数学方法的发展·····	235
第四章 工程技术研究的一般方法·····	238
第一节 工程技术方法论概述·····	238
一、工程技术方法论的形成及其基本内容·····	241
二、工程技术方法论的性质及其意义·····	245
第二节 工程技术研究的综合方法·····	245
一、系统论方法·····	245
二、信息论方法·····	256
三、控制论方法·····	263
第三节 工程技术的发明创造方法·····	272
一、工程技术发明的一般思考方法·····	272
二、工程技术中的创造技法·····	281
结束语·····	290
主要参考书目·····	292

绪 论

一、科学技术研究方法学的研究对象

任何一项实践活动或认识活动都离不开一定的方法。欧洲文字中“方法”一词来自希腊文，意为沿着某种道路运动。哲学家亚里士多德、弗·培根等把方法理解为工具和手段；黑格尔虽然反对把哲学方法当作工具和手段，但肯定具体科学的方法仍然是工具和手段，他在《逻辑学》中指出：

“在探索的认识中，方法也就是工具，是主观方面的某种手段，主观方面通过这个手段和客体发生关系……”。^①随着人类实践和认识活动的发展，方法概念使用得越来越广泛，它的含义也越来越丰富。如果对人们广泛使用的方法概念作某种综合性的理解，方法大体包括实现某种任务所必须遵循或使用的途径、程序、方式、手段以至技巧等的总和。以方法作为自己的研究对象的学科叫方法学，它系统研究方法的性质、条件、作用和发生发展的规律。

自然科学和生产技术作为认识和改造自然的科学知识体系，有自己的一整套研究方法。这一整套研究方法，按其普适性程度可以分为三个层次。最高层次是哲学方法，它是一切科学的最普遍的方法，当然也适用于自然科学和生产技术研究。最低层次是各门自然科学和生产技术学科中的一些特殊的研究方法，它只适用于比较狭窄的个别学科的研究，是

^① 转引自《列宁全集》第38卷，人民出版社，1959年版，第236页。

一些专门性的技术手段和操作方法。例如：研究天文学必须使用望远镜；研究地质学离不开采集岩石和化石；研究化学常常是瓶瓶罐罐、烧烧拌拌；研究生物学总要和解剖刀、显微镜打交道。介乎二者之间的另一个层次是自然科学和生产技术的一般研究方法，这是各门自然科学和生产技术学科共同使用的一些方法，如观察、实验、逻辑方法、数学方法等。

对这三个层次的研究方法，各有不同的学科进行研讨。哲学方法是一般哲学研究的对象。各门科学技术的特殊方法只能和本门学科的研究过程结合起来加以研究和改进。科学技术的一般研究方法则是科学技术方法学的研究对象。

作为科学技术方法学研究对象的科学技术一般研究方法，既与其他两个层次的研究方法有着明显区别，又与它们有着不可分割的联系。

科学技术一般研究方法与各门科学技术学科特殊方法的关系是一般与特殊的关系。特殊性中存在着一般性，一般性是从特殊性中概括出来的。科学技术一般研究方法是从各门自然科学和技术科学的特殊方法中概括出来的共性，是人们在认识和改造自然界各方面事物中所获得的共同经验的总结。例如：观察方法就是在天文观测、地质观察、生物学观察等对各种自然现象的观测考察中概括出来的一般性；实验方法则是物理实验、化学实验以及各种技术科学实验中所包含的共性；数学方法是最初在天文学、力学研究中得到成功的应用以后逐渐变成各门自然科学、技术科学广泛应用的一般研究方法的。

科学技术一般方法与哲学方法的关系是特殊与一般

的关系。一般性的东西总是渗透在特殊性的东西中，对特殊性的东西起指导作用。任何关于科学技术研究方法的学说都是一定的哲学见解在科学技术领域的具体运用和体现。

作为自然辩证法学科组成部分的科学技术方法学是以辩证唯物主义认识论原理为理论基础的，是辩证唯物主义认识论基本原理和科学技术研究的具体活动相结合的产物。所有的科学技术研究方法构成一个完整的体系，这种研究方法的系统化正是以马克思主义认识论为指导的。整个的科学技术研究以科学实践为基础，研究过程主要划分为经验层次和理论层次；通过经验层次获得事实、数据，运用理性加工方法上升为理论层次，形成科学假说，通过科学实践检验假说、发展假说，达到成熟的科学理论。这些方法之间互相区别又密切联系，构成完整的认识过程，所遵循的原则正是科学认识运动发展的辩证规律。即使是个别的科学技术研究方法，也只有从辩证唯物主义认识论的高度，才能更深刻地揭示它们的实质，认识它们在研究过程中的地位和作用。当然，科学技术方法学并不是辩证唯物主义认识论的简单搬用，而是从科学技术研究的特殊认识过程出发，以唯物辩证法为指导方向，对科学技术研究的具体方法进行科学的概括总结的结果。

二、科学技术研究方法的历史发展

科学技术研究方法是在人类认识和改造自然的长期实践活动中产生和发展的，它的发展是和自然科学以及技术科学的发展相适应的。科学技术每前进一步，必然要求研究方法也前进一步，科学技术每出现新的成果，也会转化为新的方

法在科技研究中得到应用。科学技术的发展经历了古代、近代和现代三个历史时期，相应于科学技术的发展，研究方法也经历了这样几个历史时期。

古代自然科学，总的说还处于萌芽状态，它最初包括在自然哲学之中，后来才逐渐分化出了一些学科，如古代天文学、古代力学和古代数学。古代的自然科学，认识自然的主要方法是直接的观察和猜测性的原始抽象。直接的观察是历史上最早产生的认识自然的方法，它的特点是把自然界作为一个整体，笼统地加以考察。人们通过直接观察，获得了关于自然界的最初的经验知识。（个别古代科学家曾经尝试用实验方法对某些问题进行研究，如阿基米德，但只是个别的事例。）由于直接观察所获得的经验事实很不充分，很不精确，所以引伸出来的理性结论只能是带猜测性的。这种猜测结合某些简单的逻辑推理，形成了一种原始的抽象，在古代科学中起了重要的作用，创造出了诸如“五行学说”、“四元素说”乃至古代原子论这样一些学说。在逻辑推理方法方面，古代学者结合科学工作研究了归纳和演绎问题。德谟克里特写了《论逻辑》，对归纳法进行了初步研究。亚里士多德写了《工具篇》，研究了演绎法，制定了演绎推理的三段论式，并阐述了形式逻辑的基本规律。中国古代的墨家也对形式逻辑做过一些研究。古代的学者依靠直接观察获取自然界的信息，通过猜测性抽象得出一般性见解，进而运用演绎推理去解释更多的事实，在促进古代天文学、力学、数学的建立和发展上发挥了积极作用。例如：托勒密提出了比较系统的宇宙学说，欧几里得建立了几何学的公理化体系；阿基米德总结出一些基本的力学定律。但是，毕竟这个时期自然

科学发展水平很低，各种科学方法只是萌芽，具有朴素、零散、原始的特点，还有待于进一步发展。

近代科学技术是随着资本主义生产关系的兴起和大生产的出现、发展而产生和发展的，在生产实践的推动下，各门自然科学学科从哲学中一一分化出来，对自然现象进行分门别类的具体深入的研究。与此相适应，古代的科学研究方法获得了改进，同时形成了新的科学研究方法。

由于大生产为科学研究提供了新的技术手段，古代的直接观察方法发展为通过仪器进行观测的间接观察方法，大大提高了观察的广度、深度和精度。随着深入认识与有效改造自然界的需要以及新的技术手段的出现，一种新的科学实践形式——科学实验从生产实践中分化出来。文艺复兴时期的达·芬奇首先大力倡导实验方法。近代实验科学的奠基人之一伽利略系统地运用科学实验方法，发现了自由落体定律和惯性原理，显示了实验方法的巨大能动性。被马克思称为“英国唯物主义和整个现代实验科学的真正始祖”的弗·培根从理论上对实验方法进行了论述，揭示了实验方法的特点和巨大作用。

这一时期，为了把一个个事物或过程分解为各个部分、方面进行细致的研究，并收集和初步整理由观察、实验得来的大量经验材料，因而促进了分析、比较、分类、归纳等逻辑方法的发展。弗·培根在自己的主要著作《新工具》中，强调了归纳法的重要性，对归纳的三种方法——求同法、差异法和共变法作了详细的论述，克服了简单枚举归纳法的局限性。

对自然界进行精确的定量研究的需要，推动了数学方法

的发展。与近代力学发展相适应，耐普尔发明了对数，笛卡尔创立了解析几何，牛顿和莱布尼兹分别创立了微积分，这些方法很快在近代科学中得到广泛应用。笛卡尔写了《方法谈》和《形而上学沉思录》两部方法论著作，特别强调了数学方法和演绎方法的重要性。

弗·培根的实验归纳法和笛卡尔的数学演绎法各有其积极的贡献，但也有一定的片面性。对近代科学的兴起作出重大贡献的伽利略、牛顿等人把实验方法和数学方法结合起来，创立了近代力学。牛顿全面运用实验归纳、数学演绎、分析综合等方法，写出了划时代的著作《自然哲学的数学原理》，总结出力学二条基本定律和万有引力定律，完成了经典力学的理论体系。

从18世纪后期到19世纪后期，近代科学技术进入全面繁荣发展的新阶段，自然科学从分门别类的研究进到阐明自然界各个过程的联系，从研究既成事物的特性进到系统研究事物的发展过程。与科学内容的发展相适应，实验方法和数学方法都有了新的提高，形成科学理论的综合方法、假说方法更有了显著的进展。一些优秀的科学家综合运用近代科学研究方法，提出了能量守恒与转化定律、经典电磁理论、原子分子学说、化学元素周期律、星云假说、地质渐变论、细胞学说、生物进化论等，有力地推动了自然科学理论的发展。

马克思和恩格斯在创立辩证唯物主义哲学的同时，十分重视科学方法论的研究。他们一方面批判地继承了黑格尔的辩证法思想，另一方面认真总结当时的自然科学新成果，为自然科学方法论的研究和发展奠定了理论基础。恩格斯在《自然辩证法》一书中对自然科学研究方法作了全面的精辟

的论述，对于自然科学方法论的研究具有重要的指导作用。

19世纪末到20世纪初，以物理学革命为开端，科学技术发展到现代时期。19世纪末相继发现了一系列新的实验事实，在此基础上创立了相对论和量子力学，使自然科学研究从宏观、低速领域进入微观、宇观和高速领域。另一方面，现代科学技术高度分化又高度综合，各门学科互相渗透，从19世纪就出现的边缘学科，到了20世纪大量涌现；现代科学与现代技术也紧密结合，日益一体化，整个科学技术出现了综合化、整体化的趋势。

在这种情况下，科学技术研究方法也发展到一个新阶段。

科学实验的组织日益社会化，实验手段日益现代化，冲破了过去种种条件的限制，在大型化、精密化、快速化、自动化等方面达到了新的水平。观察实验方法也更加理论化，观察实验与理论思维更加密切结合，不可分割。

数学方法越来越广泛地被应用到科学技术的各部门中，一些以前应用数学较少的学科也大量使用数学方法，出现了数学地质学、生物数学等新学科。电子计算机的发明和应用使科学技术研究面目一新，它不仅能够高速、准确地进行计算，解决过去凭人力无法胜任的复杂运算问题，而且能够进行逻辑推理和证明，从而实现用机器代替人的部分脑力劳动。

科学方法的移植和渗透，已成为现代科学技术迅速发展的重要条件。在这种移植和渗透的过程中，产生了象系统方法、信息论方法和控制论方法等新的科学研究方法。系统论、控制论、信息论这些横断学科的理论和方法，具有广

泛的适用性，它原则上可以应用于一切领域，成为普遍适用的新的科学方法。

在现代科学技术发展中，有一些科学家如爱因斯坦、维纳等非常重视科学方法的探讨，他们对某些科学方法作了深入的考察和巧妙的运用，爱因斯坦对理想化方法、探索性演绎方法就运用得卓有成效。还有一些哲学家也很注意科学方法的总结和研究。随着现代科学技术的发展，科学技术研究方法也将不断进步，日益丰富。

三、学习科学技术研究方法学的意义

我们无论做什么事情都要讲究方法。方法对头，才能收到成效；方法巧妙，将会事半功倍；方法不好，必然事倍功半。毛泽东说：“我们不但要提出任务，而且要解决完成任务的方法问题。我们的任务是过河，但是没有桥或没有船就不能过。不解决桥或船的问题，过河就是一句空话。不解决方法问题，任务也只是瞎说一顿。”^①要从事科学技术研究，当然也应该注意研究方法。

对于科学技术研究方法进行探讨学习，有着多方面的重要意义。

首先，正确的方法是科研工作获得成效的重要保证。

有的科学家把科学研究比作惊险的侦探故事，有的科学家把科学研究比作在坎坷山路上探险开路，这说明探索自然界奥秘是极为复杂困难的事情。在这样的工作中，如果没有正确有效的方法而盲目瞎撞，取得成功的可能性是非常小

① 《毛泽东选集》合订一卷本，人民出版社，1968年版，第125页。

的。许多哲学家和科学家都高度估价科学方法的作用。弗·培根在《新工具》中把科学方法比作夜行时的指路明灯，他说：“赤裸裸的手和无依无靠的理智，都是不能有多大能为的。手需要有工具和帮助，理智也是一样，有了才能做成工作。正如手的工具产生运动或指导运动一样，心的工具向理智提供指点或提供警告。”^①笛卡尔在《方法谈》中也说：

“……那些只是极慢地前进的人，如果总是遵循着正确的道路，可以比那些奔跑着然而离开正确道路的人走在前面很多。”^②著名科学家巴甫洛夫十分强调研究方法对科学发展的推进作用，他说：“初期研究的障碍，乃在于缺乏研究法。无怪乎人们常说，科学是随着研究法所获得的成就而前进的。研究法每前进一步，我们就更提高一步，随之在我们面前也就开拓了一个充满着种种新鲜事物的、更辽阔的远景。因此，我们头等重要的任务乃是制定研究法。”^③

科学技术发展的历史表明，一些著名的科学家之所以能够在科学上作出重大贡献，除了其他条件以外，还与他们善于运用正确的科学方法密切相关。欧几里得成功地运用了演绎方法，在两千多年以前就推演出几何学的宏伟体系；伽利略巧妙地将实验方法和数学方法结合起来，发现了自由落体定律和惯性原理，为近代力学奠定了基础；爱因斯坦创造性地运用了理想实验法，创立了相对论，为现代物理学的发展开辟了道路。他们的成就在同时代的学者中处于遥遥领先的

① 北京大学哲学系编译：《西方哲学原著选读》上卷，商务印书馆，1981年版，第345页。

② 北京大学哲学系编译：《西方哲学原著选读》上卷，商务印书馆，1981年版，第362页。

③ 《巴甫洛夫选集》，科学出版社，1955年版，第49页。

地位。这些典型事例说明，在基本相同的时代条件下进行科学研究，有的人能迅速而深刻地洞察问题的本质，成效显著；而另一些人却长期徘徊不前，建树不多。这里主观原因起着决定作用，而其中研究方法的不同又是一个重要的因素。

既然如此，我们对科技史上那些行之有效、结出硕果的研究方法进行总结研究，寻求其发展的规律性，必将有助于科技工作者更加自觉地、系统地掌握和运用这些方法，少走弯路，更快更好地达到对自然规律的正确认识。德国物理学家赫尔姆霍茨曾说过：“我欣然把自己比做山间的漫游者，他不谙山路，缓慢吃力地攀登，不时要止步回身，因为前面已是绝境。突然，或是由于念头一闪，或是由于幸运，他发现一条新的通向前方的蹊径。等到他最后登上顶峰时，他羞愧地发现，如果当初他具有找到正确道路的智慧，本有一条阳关大道可以直达顶巅。”^①可见，是否在当初就具有找到正确道路的智慧是至关重要的。找到正确道路的智慧当然取决于很多因素，但是，自觉掌握科学技术方法学知识无疑能够增进这种智慧，使科技工作者足智多谋，由事后诸葛亮变为事前诸葛亮。

科学技术方法学是科学技术发展过程中的那些正确有效的研究方法的系统的理论总结。科技工作者学习这门科学，就能通晓科学技术研究过程的一般规律，掌握科学技术研究过程的各个基本环节和应该遵循的各项原则，自觉地按照正确的思想方法和研究方法办事，提高科学技术研究水平，获

① 见W.I.B.贝弗里奇：《科学研究的艺术》，科学出版社，1979年版，第64页。

得较多较好的研究成果。特别是面向陌生的新领域进行开创性的探索工作时，常常会遇到极其复杂的问题，经历曲折漫长的过程，显然，只有凭借正确的研究方法作为向导，才能在认识的长征中找到正确的道路。

其次，学习科学技术方法学也是进行科学教育、培养科技后继力量的重要环节。

科学技术人材的培养造就，离不开向前人学习，继承前人创造出来的精神财富。这主要包括两方面的内容：其一是前人总结出来的具体科学知识，如各门课程中所阐述的科学范畴、原理、定律等；其二是前人在获取这些知识的过程中所运用的研究方法和积累的经验教训。对于第一方面的内容，几乎所有的学生都了解其重要意义；而对于第二方面的内容，其重要性就不一定是每个人都了解的。其实，比较起来，对于科研人员的培养来说，后者更为重要。哈里特·朱克曼在《科学界的精英》一书中谈到诺贝尔奖金获得者中高徒向名师学习什么的问题时指出：“一位化学奖金获得者代表他们当中很多人说：‘彼此的关系是：看看他们怎样活动，怎样思考，怎样对待事物。（不是指具体的知识？）完全不是。我想，这是学习一种思考方式。肯定不是学习具体的知识，至少在劳伦斯的例子中是如此。经常有一些比他懂得更多的人在他的周围。不是为了学习具体知识。而是为了学习那种真正能够解决问题的工作方法。’有位物理学家把学习具体知识和学习一种显然是高质量的思想方式之间的差别总结为主要科学工作上的技巧与传统之间的差别：‘我知道研究的技巧。我对物理学懂得很多。我有言语、歌词，但是谱