

科学方法丛书

科学方法概览

李建珊 等著

科学出版社

2 0 0 4

内 容 简 介

《科学方法丛书》是一套以中等以上文化程度读者为对象的科普读物，以科学史和科学实践中的典型事例来说明相关方法。本书是其中之一，分为三个部分：第一部分是科学方法总论，包括科学方法的定义、特征、作用及历史发展。第二部分是近代以来的一般科学研究方法，包括经验方法、理性思维方法和科学理论评价方法。第三部分是现代的科学方法及其发展趋势。

图书在版编目(CIP)数据

科学方法概览/李建珊等著. - 北京: 科学出版社,
2002

(科学方法丛书)

ISBN 7-03-009468-9

I. 科… II. 李… III. 科学方法论 IV. G304

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 053573 号

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

http: //www. sciencep. com

新蕾印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2002 年 7 月第 一 版 开本: 850 × 1168 1/32

2004 年 7 月第二次印刷 印张: 8

印数: 4 001—5 500 字数: 206 000

定价: 16.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换〈环伟〉)

目 录

第一章 绪论	(1)
一 什么是科学方法	(1)
二 科学方法论及其研究对象	(6)
三 学习和研究科学方法论的意义	(8)
第二章 科学方法的历史发展	(14)
一 古代自然认识的方法	(14)
二 近代科学的新方法	(22)
三 休谟、康德、孔德对近代科学方法的反思	(40)
第三章 科学方法的特征、作用与起作用机制	(47)
一 科学方法的特征	(48)
二 科学方法的作用	(56)
三 科学方法起作用的机制	(63)
第四章 科学研究的经验方法	(74)
一 科学观察方法	(74)
二 科学实验方法	(83)
三 整理经验材料的方法	(92)
第五章 科学研究中的理性思维方法	(99)
一 科学抽象方法	(99)
二 逻辑思维方法	(108)
三 科学创造中的直觉与灵感	(115)
第六章 科学理论评价方法	(130)
一 科学理论评价的实质和作用	(130)
二 科学理论评价的标准	(133)
三 科学理论评价的主体选择	(139)

第七章 现代科学中的创造性思维方法	(142)
一 爱因斯坦对现代科学方法的贡献	(142)
二 量子力学引出的方法论问题	(149)
三 创造学与创造技法	(158)
第八章 横向科学和新的普适方法	(169)
一 横向科学的特点	(170)
二 研究结构的方法	(175)
三 研究演化的方法	(186)
第九章 新世纪科学方法发展趋势	(196)
一 方法和理论的同步发展	(197)
二 跨学科趋势对科学方法的影响	(204)
三 价值思考对未来知识创新的方法论作用	(228)
参考文献	(242)
后记	(244)

第一章 绪 论

在探索的认识中，方法也就是工具，是主体方面的某个手段，主体方面通过这个手段和客体发生关系。

——黑格尔 (G. W. F. Hegel, 1770~1831)

跛足而不迷路能赶过虽健步如飞但误入歧途的人。

——弗兰西斯·培根 (Francis Bacon, 1561~1626)

从近代科学诞生之日起，在人类探索大自然及其客观规律的过程中，就不再是完全靠人类的经验直观和哲学思辩，而是开始自觉运用一定的专门的研究方法。为了更好地揭示自然界的规律性，寻求更有效的研究方法，一些哲学家和自然科学家对研究方法本身进行了深入的分析与研究。例如：亚里士多德 (Aristotle) 对逻辑方法的研究；弗兰西斯·培根、笛卡儿 (R. Descartes)、伽利略 (G. Galilei) 和牛顿 (I. Newton) 等人对近代科学方法进行的研究；希尔伯特 (D. Hilbert) 对公理化方法的研究；维纳 (N. Wiener) 对控制论方法的研究，等等。这些伟大的科学家与哲学家对科学方法论的探索，为同时代和后世科学家所进行的科学研究活动奠定了极其重要的基础。在自然科学突飞猛进发展的今天，为了能够跟上时代的步伐，适应社会发展对于科学研究的迫切需要，更好地认识自然界未知的客观规律，少走弯路，我们必须对科学方法进行全面而深入的研究，逐步建立和完善科学方法论的新体系。

一、什么是科学方法

(一) 科学、方法与科学方法

讨论什么是科学方法的问题，首先要涉及的两个基本概念就

是“科学”和“方法”。

什么是科学呢？19 世纪以来的传统观点认为，科学就是系统化了的实证知识。但是，这个定义仅仅从结果、从既成的形态上概括科学的本质特征。它既不符合科学进化与革命引起科学知识体系变革的事实，也不符合 20 世纪以来科学作为人类活动所产生的巨大社会功能的事实。因此，传统的科学定义已经过时，必须代之以新的科学定义。我们基本上赞成这样的定义：“科学是人类活动的一个范畴，它的职能是总结关于客观世界的知识并使之系统化；科学是一种社会意识形态。在历史发展中，科学可转化为社会生产力和最重要的社会建制。……从广义上说，科学的直接目的是对客观世界作理论表达。”（李建珊译自《苏联大百科全书》“科学”条目）

什么是方法呢？所谓方法就是主体从实践或理论上把握客体而采用的一般思维手段和操作步骤之总和。

了解了“科学”和“方法”这两个概念，就可以讨论“科学方法”的概念了。所谓科学方法，简单地说，就是科学研究中常用的一般方法。但是，不是所有在科学中使用的方法都叫做科学方法。在这里要特别注意区分两个概念，即“科学方法”和“科学研究中使用的方法”。

科学研究中使用的方法种类繁多，我们可按其普遍性程度分为三个层次：第一层次是各门学科的特殊的研究方法，例如生物化学中的原子示踪法，固体物理学中用 X 射线研究晶体结构的方法，地质学研究古生物的化石来确定地层的相对年代的方法，等等；第二层次是各门学科研究的一般方法，如观察实验方法，科学抽象方法，逻辑方法，技术预测和评估方法，系统方法，数学方法等；第三层次就是最具有普遍意义的哲学认识方法，如归纳方法，演绎方法，矛盾分析方法等，它适用于自然科学、社会科学和思维科学。

这三个层次的方法之间不是孤立的，而是紧密联系着的特殊与一般的关系。其中，第一层次的方法是各门具体科学研究的内

容，第三层次的方法是哲学认识论和方法论研究的内容。第二层次方法来源于第一层次方法。自然科学的一般研究方法是经过许多科学家的无数科学实践，从自然科学的特殊研究方法中概括和提炼出来的，如一般的实验方法就是从物理实验、化学实验、生物实验等特殊的实验方法概括出来的。而第三层次方法一方面来自对第一层次和第二层次方法的抽象，另一方面又能够反过来指导第一层次和第二层次方法的发展。这一点是由哲学认识方法的普遍性所决定的。

显然，只有第二层次的方法才是我们所说的“科学方法”。它是在第三层次方法即最普遍的哲学方法的指导下，经过对上述第一层次方法的高度概括和抽象而产生的自然科学研究的一般方法。

那么，什么是科学方法呢？它的严格定义是：科学方法是科学认识主体为从实践上和理论上把握科学认识客体（即科学对象）而采用的一般思维手段和操作步骤之总和。它包括科学研究中的实验观察方法、科学抽象方法、逻辑思维方法、数学方法、创造性思维方法、构建理论的方法、综合科学方法、科学评价方法等等。

（二）科学方法的认识论基础

科学认识是相对于日常生活中的常识性认识以及高度抽象的哲理性认识而言的。人类的科学认识活动包括十分丰富而广泛的内容，它在不同的层次、角度和意义上进行。我们可以根据不同的标准将认识活动划分为不同的类型。如果从认识活动的目的、认识主体及认识成果等方面进行考察，人类的科学认识活动可以分为探索性认识活动和继传性认识活动两大基本类型。前者以探索、发现、创立前人未有的认识成果为目的，后者以学习、继承、传播前人知识为目的。前者就是本书所讨论的科学研究活动。后者则包括科学教育、科学普及、科技情报工作等。探索性

的科学认识面对的是未知的领域，这种活动的结果是提供关于自然界的具体确定的新知识。为了保证这种活动的成功与有效，需要有与探索活动相适应的科学方法。

科学探索活动的认识论结构包括如下要素：科学认识的主体、客体和主客体相互作用的中介——科学工具。科学认识主体不仅具有一般的社会存在物的规定性，而且具有知识经验、方法技能、价值标准和从事科学实践活动等方面的特殊规定性。科学认识的客体是客观事物中特定的一部分，是进入主体认识和实践范围的客观事物。科学认识工具是指科学研究中所用的仪器和方法、符号、语言等。在这些现实的科学认识结构中，作为有目的地改造客观世界活动的主体，始终处于主动的地位。但是主体之所以具有能动性，不仅在于他具有丰富的科学知识，更重要的是他具有从事科学探索活动所必须的创造和运用科学工具的能力。

科学认识工具，是科学工作者从客体中获取科学认识成果的手段。认识工具可分为两种类型：物质形态的认识工具——科学仪器和思想形态的认识工具——科学方法。前者被人们称为认识工具的“硬件”，后者则被称为认识工具的“软件”。人类在认识客观自然规律过程中，创造了帮助自己进行观察、测量、计算、存储信息的各种物质手段，如各门学科使用的实验仪器、计算机等。人类借助这些物质形态的认识工具，拓宽了研究对象的深度和广度，使先前人类认识范围之外的客观事物也进入了人类研究的视野，使人的认识能力得到很大提高。思想形态的认识工具指的是科学认识的方法。自然科学是迄今人类获得突出成就的领域，人们不仅把自然界及其运动规律作为科学的研究对象，创立并日趋完善了物理学、化学、生物学、天文学等科学，而且也把自然科学认识活动本身作为研究对象，探索了科学认识的进程和一般研究方法（即前面所述第二层次的研究方法）。和其他科学门类（如人文科学、社会科学、技术科学）相比，自然科学的研究方法最为成熟，最具代表性，它的一些方法体现了人类探索性认识活动的规律性。这是因为自然科学的发展历史最为悠久、也

最为连续，并且与学者传统（哲学思辨传统）和工匠传统（工艺、经验传统）均有着极为密切的关系。科学研究工作者掌握了这些经过数百年乃至上千年形成的方法，将为他们的科学探索开辟广阔的前景，使科学研究工作得以顺利进行。

科学认识是在科学实践的基础上展开的。科学实践（包括科学观察和技术试验）是从生产性与非生产性实践中分化出来的，又是与生产实践相对独立的实践活动。在当今时代对于人类的整个社会实践活动具有重大意义的科学实践与科学认识活动，乃是科学方法得以孕育和产生的重要基础。反过来又对科学实践和科学认识活动具有巨大的反作用。科学认识和科学实践的认识论规律制约着科学方法的发展与变化，对科学方法论的研究离不开科学认识论的探讨。

从认识论角度看，科学方法具有如下内涵。

1. 科学方法是以观念形态存在的认识手段

科学方法是通过科学认识主体的活动而表现出来的，它是主体把握客体的主观手段。在科学认识的系统中，科学方法处于实现主体与客体相互作用的中介地位，从而在科学认识中起着重要作用。只有通过这个中介，主体才能完成对客体的科学认识活动，也正是在科学认识和科学实践的过程中，科学方法才不断地得到体现与发展完善。

黑格尔指出：“在探索的认识中，方法也就是工具，是主体方面的某个手段，主体方面通过这个手段和客体发生关系。”在科学认识活动中，科学方法正是这样一种精神手段。从整个科学认识过程看，不论是问题的提出、课题的确定与论证、实验的设计、新事实的发现与解释，还是假说的构想、理论的推演与证明、理论的检验与评价等等，都是主体理论思维或者创造性想象的结果，都是主体运用各种程序化与非程序化方法的结果，或者将某些思维手段和操作步骤重新组合的结果。这些均属于一般的观念形态的认识手段。它们先于物质手段而产生，并且指导物质

手段的创造与发明。只有当这些观念手段转化为物质手段（包括实验设备等等），并且两者结合在一起，而对客体实现变革，才能获得关于客体的新的信息，才能促使科学认识的深化与发展。

2. 方法由理论转化而来

我们所讲的方法和平常所讲的理论是什么关系？可以说，科学方法中的基本内容首先是经过检验的科学理论。

当然，这并不是说，方法等于理论。两者的区别在于，科学理论是过去研究活动的最终成果，它是对已知事物的认识；而方法则是进行未来研究活动的手段，它所面对的是未知的事物和领域。但是，理论一经证明是正确的、有效的、科学的，那么它在同一知识领域、甚至在不同领域里建立其他新理论的过程中，作为出发点和条件，在实质上起着方法的作用。物理学中的量子力学在化学和生物学中的作用，就是理论转化为方法的最有力的说明。

从广义上说，在人们把一种较为成熟的理论移植到一个新领域，或者在建立边缘学科和交叉学科的理论基础的过程中，被移植的理论均具有重要的方法作用。

二、科学方法论及其研究对象

（一）什么是科学方法论？

科学方法论是关于一般方法的理论，是关于科学研究一般方法的性质、特点、内在联系和变化发展的理论体系，是关于获取科学认识的一般程序的系统理论。

科学研究的一般方法主要是指获得感性认识以及将感性认识上升到理性认识过程中所运用的各种思维的以及操作的方法。其中包括：发现和提出问题的方法、观察实验方法、科学抽象方法、逻辑方法、数学方法、创造性思维方法、系统科学方法、跨

学科方法等等。它们是适用于自然科学的各个领域的普遍方法。以下各章将选择其中最重要的内容，详细地加以论述。

（二）科学方法论的研究对象

以往的科学方法论著作把科学方法论的研究对象仅仅局限于获得感性认识和理性认识的一般方法的研究，是不够的。我们所理解的科学方法是广义的，因此，科学方法论的研究对象也应当是广义的。

科学认识的一般过程是发现和提出科学问题，通过观察、实验获取科学事实，在此基础上运用各种研究方法经科学抽象，提出假说，确证后形成科学理论，科学理论形成之后，除了进一步加以实验的和逻辑的检验之外，还要进行社会价值的评价，等等。科学方法论就是研究这一系列程序如何进行，以及怎样才能有效地进行的理论。因此，科学方法论的研究对象是科学研究的一般方法和科学研究的一般程序的系统理论。

实际上，科学研究的程序并没有固定的模式，但一般来说，以基础学科为例，科学研究的一般程序大体包括以下六个环节：

（1）选题。这个环节开始于发现和接触各种科学问题。经过广泛收集有关背景资料，全面估价自己的研究能力和现有的研究条件，并对课题做出论证，对其可行性有了初步的估计后，才能把课题确定下来。在整个科学研究过程中，选题是具有战略性意义的一步。在这个环节上，发现和确认问题的方法起着重要作用。

（2）获取科学事实。这个环节的主要工作是按课题的需要收集和整理事实材料。一方面，通过文献检索获得间接经验，另一方面，通过观察、实验获得直接经验。获得科学事实的过程是不能完全脱离理性思维的，特别是在实验的设计以及对观察、实验结果的处理中，理性思维起着更为重要的作用。

（3）进行思维加工。这个环节的主要工作是基于已有的直接

和间接材料，运用逻辑思维、形象思维、直觉思维的方法，进行科学抽象，形成科学假说。在这个环节上，科学研究的创造性表现得特别明显，因而创造性思维方法起着重要的作用。

(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。通过将假说演绎出的新预言与实验结果相比较，对假说的完善程度做出评价，再进而决定是提出新假说还是完善充实原有假说。验证主要是通过实验和观察进行，但也常常辅之以逻辑判定。

(5) 建立理论体系。这个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。在这一环节上，公理方法，从抽象上升到具体的方法，逻辑与历史相统一的方法起着明显的作用。

(6) 理论评价。这一环节包括对于科学理论体系的认识论评价（其中包括实验的和逻辑的检验与评价）和价值论评价（其中包括对于科学理论的经济、社会的、物质的、精神的、人文的价值的全面评价）。关于最后一点，过去很多著作都没有重视和强调。这是由于对于科学活动的理解比较狭窄，以及没有注意到现代科学的新特点所致。在科学技术的不适当运用导致全球性问题以及科学技术自身和人的异化问题的今天，强调理论评价问题，特别是科学理论的人文价值评价的问题，具有非常重要的学术意义和现实意义。

科学研究中的上述程序所运用的方法，应当说均属于科学方法论的研究对象。

三、学习和研究科学方法论的意义

认真学习和深入研究自然科学方法论，无论对于科学研究、科学教育（乃至一般教育）以及科学普及工作的发展，还是对于科技哲学以至于马克思主义哲学的发展，都有着十分重要的意义。

(1) 学习和掌握自然科学方法论，有利于优化科研人员的知识结构和思维品质，提高科学研究人员的能力和水平，推动自然科学的迅速发展。

我们知道，科学中的新概念、新理论的建立，一项科学事实的发现都具有某种规律性。人类在探索自然界客观规律的过程中，逐步形成了一系列科学研究的方法，对这些方法进行整理和研究，找到其内在的规律性，无疑是很重要的。人们对关于这些规律的研究即科学方法论研究，有助于我们更加自觉地、正确地掌握和运用这些研究方法，少走弯路，以便比较顺利地达到对自然界客观规律的正确认识。一部科学史，也是一部科学研究方法发展的历史。在科学发现和科学理论创造的过程中，众多科学家不仅提出了一些具体、个别的科学方法，而且还自觉或不自觉地概括出了关于科学研究的一般方法。他们之所以能够在其科学领域里做出重大贡献，除了当时的生产力和科学实验水平的条件外，还往往与他们正确地创造和运用了科学研究的新方法有极为密切的关系。让我们看看科学史上发生的几个重要事件。

丹麦天文学家第谷·布拉赫 (Tycho Brahe)，20 年如一日，运用观察方法进行天文观测，积累了大量准确的行星运动资料。开普勒 (Johannes Kepler) 是第谷的学生，他在整理这些资料时，发现无论是托勒密体系，哥白尼体系，还是老师第谷的体系，都无法同第谷的行星观测资料吻合得很好，但开普勒对第谷观测的可靠性、精确性深信不疑，他想问题一定是出在体系方面。他把第谷的眼睛当作自己的眼睛，而把主要精力放在理论概括和数学计算方面，坚持进行数年大量繁杂的数学计算，最终提出了开普勒三定律，完成了观察方法同数学方法在天文学上的完美结合。著名科学家伽利略为了证实亚里士多德自由落体观念中的逻辑矛盾，做了斜面实验。他在木板上刻上光滑的槽子，让不同重量的小球从同一高度斜面上滚下，发现它们滚动的速度相同，但不匀速，而是越滚越快。调整斜面夹角到 90° 时，小球的滚动就成了自由下落，于是他通过斜面实验揭示了自由落体运动

之谜。伽利略在他所研究的科学领域中，以实验方法为中心，广泛采用了各种研究方法，并在希腊化时代重视经验传统的基础上，创立了科学的实验方法；法国物理学家德布罗意（L. V. de Broglie）在研究中发现力学和光学理论有许多相似之处，当光学中的新发现——光的量子性得到证明之后，他联想到：既然光具有波粒二象性，那么物质（粒子）是不是也存在波动性呢？他不但运用类比方法提出了物质波理论，而且还进一步通过类比推理提出物质波的定量表示——德布罗意关系式，为量子力学的创立奠定了坚实的理论基础。爱因斯坦（A. Einstein）创立狭义相对论，同他采用独特的思想实验方法，直接揭示出暗含在经典物理理论中的矛盾是分不开的。他曾经作了关于同时性的相对性的一个“理想实验”，即：当两道闪电同时下击一条东西方向的铁轨时，对于站在闪电中间的铁道旁边的观察者来说，这两道闪电是同时发生的。但是对于乘坐一列由东向西高速行进的火车上的观察者来说，这两道闪电并不是同时下击的。这就是所谓“同时性的相对性”。这一概念的提出，是狭义相对论得以建立的关键。

科学史表明，科学家在其所从事的科学研究活动中，都自觉地运用了科学的研究方法，从而为他们的科学发现进程注入了一针催化剂。无怪乎天文学家拉普拉斯（P. S. de Laplace）说：“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。”（拉普拉斯：《宇宙体系论》，上海译文出版社 1978 年版，第 445 页）生理学家巴甫洛夫也说过：“初期研究的障碍，乃在于缺乏研究法。难怪人们常说，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。”（《巴甫洛夫选集》，科学出版社 1955 年版）因此，科技工作者必须学习和研究科学方法论，以养成良好的思维品质，掌握创造性的思维方法，提高从事科学研究工作的能力和水平，促进自然科学的发展。

(2) 科学教育工作者学习和掌握科学方法论，可促进教学质量的提高和全民族科学教育水平整体的发展。

人类的认识活动除了探索性认识活动之外，还有一种基本类型即继传性认识活动，它使人类的既有知识得以继承和传播。学生作为这一认识活动的主体，通过学习前人积累的知识结晶，从而间接地认识客观世界。在教学中，教师不仅要讲清楚学科的基本概念，基本理论，而且有必要讲讲科学史上一些科学发现和科学理论的建立过程，讲讲在此过程中运用的科学方法。同时，教师要积极创造条件，通过学生解题、实验、实习、毕业设计、论文写作等各个教学环节，使学生在科学研究方法上得到实际锻炼，逐步培养他们独立解决问题和进行科学研究工作的能力，使学生能够融会贯通地掌握知识，从而提高教学质量。相反，如果教师采取灌输式教学方法，机械教学，照本宣科，那么学生学到的只是一些死的知识、肤浅的知识，淹没了学生的创造潜质，妨碍了其创造能力的发展。没有创新就谈不上发展，没有人类不断的探索，继传性认识活动就成了无源之水，继传的内容便会逐渐枯竭。因此，从这一方面来说，教给青年学生一些科学方法和科学方法论的知识，对于当今世界各国教育界十分强调的素质教育具有重要的意义。就我国而言，对学生进行科学方法的培养与训练，从长远来看，不仅有利于学生个人创造力的提高，而且有利于民族整体教育水平的提高。

在当今社会，拥有先进的科学技术是一个国家和民族自立、自强的重要保证。当前，不同国家、不同集团之间的竞争，包括政治、经济、军事、外交等方面的竞争，归根结底是科学技术的竞争与较量。因此要想使我国在国际竞争中占有一席之地，我们必须发展科学，加强基础科学和应用科学研究，积极研制开发科技新成果，缩短科技成果向现实生产力的转化过程。而这些目标的实现都要以认识科学成果的产生过程和科学研究的一般方法为前提。

(3) 科学方法论的学习与研究对于丰富、发展和捍卫马克思

主义哲学具有重要意义。

科学方法论是科学技术哲学的一个有机组成部分，是一般哲学在自然科学研究方法这一领域内的具体运用。因此，研究自然科学方法论，能反过来丰富和发展马克思主义哲学。例如，运用理想化方法，就是在抽象思维中，抓住主要因素，排除次要因素的干扰，使研究条件达到超越于现实的理想境界，使研究对象的本质得以充分暴露。像物理学研究中的“质点”、“刚体”、“理想气体”等科学概念，都是经抽象了的理想模型。这种理想化模型实际上反映了事物的主要矛盾和矛盾的主要方面决定事物本质的辩证法；热力学中运用的统计方法反映了必然性和偶然性的辩证法；比较方法体现了同一性和差异性的辩证关系；系统方法表现了整体和部分的辩证法。因而，学习和掌握科学的研究方法能丰富马克思主义哲学的辩证法。在科学方法论中，归纳和演绎、分析和综合、抽象和具体等方法体现了对立统一的辩证关系，深入研究这些方法就能大大充实辩证逻辑的内容。

认真学习和深入研究自然科学方法论，有助于批判自然科学中的唯心主义和形而上学观点，从而捍卫了马克思主义哲学。比如有人把科学抽象曲解为纯粹主观的，就不符合科学方法论的观点。又如，如何看待和解释科学研究中的直觉、灵感和想象，防止唯心主义、特别是打着马克思主义旗号的形形色色的机械唯物主义货色乘虚而入，也是科学方法论应当解决的问题。如 20 世纪 40 年代由一批著名科学家从不同角度提出的系统方法把研究对象置于系统的形式中，从要素、系统整体和外部环境的相互联系与相互作用中综合地进行考察。系统方法要求人们在研究具体系统时，必须从系统整体出发来研究系统的各个方面，其中尤其是应当把要素或要素构成的局部当作与系统整体相联系的一个部分去考察，反对孤立地考察，从而使系统方法同传统的机械论方法区别开来。系统方法是唯物辩证法普遍联系观点的具体体现和实际应用，它的出现，改变了人们传统的简单分解和机械相加的观点，使人类的思维方式发生了深刻的变革，从而有力地反击了

形而上学的孤立、静止、片面的观点，捍卫并发展了唯物辩证法。

综上所述，努力学习和深入研究科学方法论，无论是对发展科学研究、科学教育，提高全民族精神文化素质，还是对发展马克思主义哲学都是非常重要的。

第二章 科学方法的历史发展

我相信在科学上并没有平坦的大道……在我们前进的道路上荆棘丛生，只有经历了不断试探、一再失败，才能寻找出合适的方法，在我们身后开辟出我们赖以前进的道路。

——玻恩（Max Born，1882～1970）

严格意义上的科学方法当然是近代科学的产物。但是作为这些方法的起源和雏形，则早在古代人类对自然的初步认识活动中就已经以萌芽的形式存在着。它们是近代自然科学借以兴起的方法。不过，近代科学之所以产生，还需要创造直接面对自然的方法。这些方法在近代科学产生和发展的过程中，发挥了巨大的作用。而它们经过 18～19 世纪哲学大师的反思，又孕育了现代科学借以发生和发展的一整套新方法。

一、古代自然认识的方法

近代自然科学就其思想内容而言，既是对古代希腊罗马自然哲学成果的扬弃，又是对其中科学思想萌芽的继承和发展。而在研究自然的方法上，既要继承和运用从古代和中世纪发展而来的现成方法，又必须创造适用于深入研究自然现象和过程，从而建立科学理论体系的新方法。

近代科学产生之前的古代和中世纪就已经出现的直觉方法、逻辑方法和数学方法不仅造就了古代希腊罗马自然研究的辉煌时代，而且对近代自然科学的兴起有着重要的方法论指导作用。现对它们的产生、发展和基本特征分别加以介绍。

(一) 早期自然哲学的直觉方法

关于什么是直觉,国内学术界众说纷纭。有的把它与灵感相等同,有的把直觉理解为顿悟,也有的认为直觉就是感性直观。另外,有人把直觉理解为一种心理过程,也有人则把它看成一种认知过程以至认识成果。但是依笔者的观点,在早期哲学史和科学史上对人类认识自然起过重要作用的直觉方法,主要是指人们在经验基础上不经过逻辑推理而凭借理性直观一下子获得对事物本质的洞见的能力和方法。

古代和中世纪哲学家们对于直觉方法的认识作用给予了很高的评价。比如古代希腊的毕达哥拉斯(Pythagoras)学派认为“直觉是高于观察的”;在他之后的希腊哲学家柏拉图(Plato)指出,理念的直观是直接知识的形式;希腊哲学的集大成者亚里士多德则认为,直觉就是对原始真理、原始前提的了解,它是科学知识的始创性根源。中世纪早期教父哲学的主要代表奥古斯丁(S. Augustine)认为,人类靠直觉可以认识神圣的观念;经院哲学的集大成者托马斯·阿奎那(Thomas Aquinas)主张,“关于上帝的最高级的知识……只能由直觉取得”,它是“极为幸福的洞见”;经院哲学的反叛者威廉·奥康(William of Occam)强调,经验是知识的源泉,而“关于个别事物的抽象认识是以同一对象的直观认识为前提的”。

古代哲学家不仅十分崇尚直觉方法,而且借助直觉方法得到了成为近代科学思想萌芽的若干天才的自然哲学的认识成果和可贵见解。

比如,古希腊哲学中的爱奥尼亚学派凭借直觉方法把自然界万物的变化看作成一种循环:从空气、水和土开始,经过动植物的身体,又复归到空气、土和水;在这个循环中,本原物质(空气、水、土)是永恒的,而包括天体在内的万物则注定归于毁灭,并且复返于原来未分化的宇宙混沌状态。又比如,毕达哥拉斯关于地球围绕一团不可见的“中央火”转动的思想,阿那克西曼德(Anaximan-

der)关于动物与人类的起源和进化的猜测,德谟克利特(Democritus)和伊壁鸠鲁(Epicurus)的原子论等等自然哲学的思想成果,无一不表现了希腊人的天才的直觉能力。

直觉方法从它产生时起就不是单独地被运用的,而总是要同其他方法、特别是同科学抽象方法以及逻辑方法综合起来运用,从而得到对自然现象的本质的、理性的认识。比如,在西方哲学史上第一个探究世界本体即万物本原问题的泰勒斯(Thales)所提出的“万物的始基是水”的思想,就既包含了他对世界本质的直觉,又包含了对大量具体自然事物的共性的抽象。正是由于这种抽象,使得他的直觉不是停留在感性直观的水平上,而是达到了本质的、普遍性的认识。又比如,亚历山大利亚时代的欧几里得(Euclid)所建立的几何学体系是从少数被认为是“空间的不证自明的公理”出发,按照逻辑原理推演出的一系列命题、定理的集合。在这里,作为逻辑推理的基本前提和出发点的公理和公设乃是在经验事实基础上通过对图形的直觉的构想得到的;然后,人们再以这些“一望便知其为真”的公理作为“第一原则”,经过演绎逻辑推出一系列命题、定理和结论。欧几里得几何学的建立充分体现了“喜欢根据第一原则来建立理论”的希腊精神,把几何学公理看作不证自明的事实,是希腊哲学家和数学家共有的直觉观念;然而,不借助逻辑方法,欧几里得几何学体系的建立是不可想象的。

(二) 古代逻辑方法

在近代科学方法产生之前对人类认识自然起过重要作用的逻辑方法,主要是指以亚里士多德为代表的古代逻辑以及中世纪后期“异端”的经院哲学家们提出的作为近代科学方法萌芽的若干逻辑方法。

在科学思想史和科学哲学史上第一个研究科学方法问题的亚里士多德,从他对广泛的自然现象的长期研究经验中概括出了关于科学研究程序和关于科学理论结构的重要思想。前者就是他的

著名的归纳-演绎法。亚里士多德认为，科学研究首先必须从仔细地观察开始（事实上他的不朽著作《动物志》正是对自然做长期经验考察的产物），经过简单枚举法或直觉归纳法而上升到一般原理；然后，再以一般原理作为推理的大前提，运用演绎法推论出需要解释的自然现象。这个程序如图 2-1 所示：

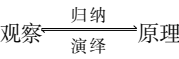


图 2-1 亚里士多德的归纳-演绎程序

亚里士多德对科学理论结构思想的贡献，集中表现为他关于科学是演绎系统的思想。他认为，科学的目的就在于解释，即说明支配着自然现象和低层次自然定律的原因；或者说，科学的目的就是试图用普遍性程度较高的规律来解释普遍性程度较低的规律，直至经验观察结果。而要揭示不同层次的规律之间必然的因果联系，从而实现可靠的科学解释，他认为惟有运用“巴巴拉式”三段论（即大前提、小前提及结论皆为全称肯定命题的推理方法）进行演绎推理方才可能。于是，每门科学就成了用演绎法组织起来的一组陈述。不过，作为该门科学最普遍规律的“第一原理”不是演绎而来的，而是在观察中运用直觉或归纳得到的不证自明的公理。亚里士多德的“科学是演绎系统”的理想包括三个方面：①公理与定理有演绎关系，②公理本身是不证自明的真理，③定理与观察结果相一致。亚里士多德的上述理想在他的时代未能成为现实（因为他所构造的所谓“物理学”体系，不过是一个自然哲学的思辨体系，其中的 5 条大前提并非属于公理，接下来的结论也不是演绎推理的结果）。但是，他关于科学是演绎体系的理想，在后来欧氏几何学与阿基米德（Archimedes）静力学中却部分地得到了体现，并在近代科学中得到了补充和发展。欧几里得运用亚里士多德的上述思想，在《几何原本》中建立了数学发展史上第一个公理化系统；而阿基米德则将亚里士多德的公理化方法引进经验自然科学领域，从而推导出表现为数学形式的杠杆原理，实现了数学与早期经验科学的第一次联姻。

虽然亚里士多德的归纳-演绎法在后来欧洲中世纪的大部分时间里受到了经院哲学家的歪曲，但从 13 世纪开始，一些异端的经院哲学家则继承和发展了亚里士多德的科学方法论思想。

首先，13 世纪最有影响的两位科学方法论者格罗塞特及其学生罗吉尔·培根肯定和进一步说明了亚里士多德的科学程序理论。格罗塞特（R. Grosseteste）认为，归纳阶段的任务就是把自然现象“分解”为它的组成要素，而在演绎阶段则要把这些要素重新“组合”为上述这一类现象的一般特点。格罗塞特建议在归纳和演绎两阶段之间增加第三阶段，即用经验检验归纳出的原理。此外，他还提出了用“否定后件推理”来否定某些对立假说的演绎方法。对此，尽管他个人没有一次成功应用的先例，但这种否定法对后来科学的发展有广泛的影响。

格罗塞特的学生罗吉尔·培根（Roger Bacon）认为，运用亚里士多德的归纳程序能否成功，取决于作为归纳前提的广泛而精确的事实知识，而这种事实知识可通过主动的实验得到积累和增加。同时，他进一步发挥了格罗塞特的“第三阶段”思想，指出：对归纳出的原理加以实验检验的程序乃是实验科学的“第一特性”。这一远见卓识在科学方法论史上有重要价值。14 世纪弗雷堡的提奥多里克正是应用了罗吉尔·培根的“实验检验”思想而成功地验证了自己关于虹的成因的假说。

其次，在中世纪后期特别是 14 世纪，一些学者（以邓·司各脱和威廉·奥康为代表）为了使亚里士多德有关归纳程序的思想进一步具体化，提出了获得解释性原理的新的归纳方法——求同法和差异法。其中，邓·司各脱（J. D. Scotus）的求同法是分析产生一种特定结果的某些事例的方法。其程序是：列出与这一结果同时存在的各种因素，然后寻找在每一事例中是否都存在某一因素，如果都存在这一因素则它可能是产生上述结果的原因。邓·司各脱认为，由这种方法得出的结论不具有必然性，而且只适用于一个结果与一个伴随因素的“倾向性联合”的简单情况。

与求同法相映衬，威廉·奥康提出的差异法乃是引出现象间

“倾向性联合”关系的另一种方法。这种差异法的程序是：比较两类事例，其中在一类事例中发生某一结果，在另一类事例中未发生这一结果；如果在发生这一结果的事例中存在某一因素，而在未发生该结果的事例中不存在这一因素，那么可以认为这一因素可能是发生上述结果的原因。但威廉·奥康认为，差异法只适用于发生某一结果的原因是单一的理想情况，为探索现象的各种可能的原因，必须研究多种复杂情况。同时，和邓·司各脱一样，他也认为，科学家通过归纳只能确定现象间的倾向性联合。这是科学方法论历史上对归纳结论可靠性、必然性问题的最早的有价值的论述。

（三）古典数学方法

数学早在原始文明社会中就已萌芽，而它作为“一门有组织的、独立的和理性的学科”则产生于古希腊时代。正如《古今数学思想》的作者、美国数学史家克莱因（M. Kline）所说，希腊人“在数学史上至高无上”。我们认为，尤其从方法论角度看，这个评价丝毫不过分。

在古希腊哲学的各大学派中最先把数学不仅看作知识、而且当成研究自然的方法的，首推毕达哥拉斯学派。毕达哥拉斯从“数是万物本原”的自然观出发，不仅认为和谐的几何图形与数有密切关系，而且认为音乐的和谐也与数密切相关；他甚至猜想“全宇宙也是一个数，并应是一个乐调”。他提出“数的德性应该是完全的、均匀的、和谐的”，“宇宙间存在数学上的和谐”的假说。我们认为，不论从本体论根据和认识论路线上看，这种“数学和谐性假说”都是唯心主义的。因为它把适合现象的数学关系看作事物何以如此的解释，或者说把主观上自由创造的数学模型强加给了自然现象。

但是，如果我们把认识顺序颠倒过来，即不是根据数学和谐性思想的指导把数学模型强加给自然界，而是从自然现象中抽取

出现象之中的数学关系（数学上的和谐），那么，“数学和谐性假说”则具有重要的方法论的启发意义。事实上，它在科学史中的确发生了深刻的影响，甚至一直影响到近代和现代。我们这么说是因为：首先，这一假说是科学史上关于宇宙万物的和谐性和秩序性的第一个假说。它促使后来的学者（自然哲学家和科学家）为探寻自然界的内在秩序和规律作出了不懈的努力，并取得一次又一次质的进展。其次，既然和谐的宇宙是由数构成的，那么自然的和谐就是数的和谐，自然秩序就是数的秩序。这种观点对后来的科学家自觉发现自然现象之中的数量关系，用对自然规律的定量描述（数学描述）代替定性描述，有重要的方法论指导作用。

古希腊哲学家柏拉图继承了科学方法论上的毕达哥拉斯主义倾向。诚然，他作为苏格拉底（Socrates）的学生在本体论和认识论观点上，同毕达哥拉斯学派有明显的区别。他不承认数是万物自身及其本原，而认为万物本原是“理念”；人们认识自然的顺序应当是从“理念”开始，到“数理对象”（即算术数和几何图形），再到“可感觉事物”。但他承认理念可以用数学模型来表征，错综复杂的自然现象可用数学上和谐的关系来解释。在这里，“数理对象”不单单是居于普遍理念和个别事物之间的特殊层次上，而且重要的问题在于，它还是连接理念和可感觉事物的中介。换句话说，数学在主体认识客体的活动过程中，始终起着工具的、方法的作用。

柏拉图不仅强调了数学方法在认识自然中的地位，而且身体力行地把数学用于实际的科学认识的过程中。比如，他把“数理对象”具体化为宇宙结构的几何模型和天体运动的几何模型。他说，造物主在创造宇宙时就把数学模型印在无形式的“原初物质”之上了。他一方面试图用和谐而规则的立体几何图形解释构成万物的各种元素（火、气、水、土和天上物质）及其性质，另一方面把毕达哥拉斯关于日、月、行星的均匀圆周运动的假说，扩展为所有天体的运动模式。尽管当时的天文观测已发现部分星体视运动的不规则性，但柏拉图仍坚信天体作为神圣不变的永恒

存在，其运动必定遵循均匀（匀速度）而有序（正圆形轨道）的原则。这就是天文学史上著名的“柏拉图原理”。这条原则作为数理天文学萌芽的标志直至近代初期还指导着天文学的发展。

但是，应当假定每颗行星作何种均匀而有序的运动，才能够说明表面上的不规则运动呢？或者说，应建立怎样的数学模型才能够“拯救现象”（Save the appearances）呢？这个问题柏拉图没有、也不可能作出完满的回答，但它却激励和启发了后来的自然哲学家去揭示宇宙借以有序的数学模型。

在天文学领域中，在柏拉图的数学方法理论的影响下，欧多克斯（Eudoxus）和亚里士多德先后提出了 27 个天球和 55 个天球的同心球体系；而后，阿波罗尼乌斯（Apollonius）和希帕克斯（Hipparchus）又分别提出本轮-均轮概念和偏心圆概念；最后，托勒密（Ptolemy）集前人之大成，在《至大论》中完成了天文学史上第一个完整的地心体系。这个体系由一系列数学模型所构成，每个模型都用本轮-均轮来复制以黄道带为背景的某一行星的视运动。在古典天文学史上，这个体系较好地解决了天文学上的很多具体计算问题，并在制定历法和指导航海等实践中获得从未有过的成功，以至在天文学史上居统治地位达 1400 年之久。托勒密关于天文学的数学体系在理论和实践上取得的成果，一方面取决于几何学本身的发展和应用，另一方面则由于它力求使数学模型同天文观测事实相吻合。正是在这两点上使托勒密体系作为一种科学理论而同自然哲学区别开来，由于同样的原因，也使托勒密对柏拉图的数学方法论既有所继承，更有所发展。

古代天文学和物理学都十分重视数学方法的运用，这也是数学本身不断发展的基本动力。然而，数学方法在这两个领域中的地位却并不相同。由毕达哥拉斯和柏拉图奠基的天文学家的传统，如前所述，是把自由创造的数学模型强加到现象上去，以拯救现象；而与此形成鲜明对照，由亚里士多德和阿基米德初步建立的物理学家的传统则是从实际观测到的自然现象中抽出数学关系，以便解释现象何以如此。阿基米德本人正是在实验研究的基

础上运用数学手段提出了著名的杠杆原理和浮力定律。上述这两种传统既相互对立、又彼此补充，促进了自然研究中数学方法的形成与完善，并为近代科学中实验-数学方法的产生准备了条件。

二、近代科学的新方法

欧洲的文艺复兴以及近代资本主义生产力的萌芽与发展，迎来了近代自然科学的诞生。如果说近代科学发生的外部（社会）标志是科学已开始成为社会建制，那么它的内部（认识论）标志则是区别于前科学（自然哲学、工艺技术传统等）认识方法的比较专门的科学方法的产生。这些直接面对自然界的新方法的形成与完善反过来有力地推动着近代科学的迅速发展。

（一）伽利略的实验-数学方法

在古代和中世纪，处于萌芽状态并彼此分立的数学方法和实验方法在自然研究中的地位、作用很不相同，并且分别从属于不同的知识传统。古典数学方法基本上从属于以哲学家为代表的学者传统（或思辨传统），并且建立在唯心主义本体论信念的基础之上。尽管它在古典天文学研究中取得了重要成就，但由于轻视以至鄙薄经验观察和实验，致使借它而获得的自然知识不可能摆脱自然哲学的思辩的和猜测的性质。而在阿基米德时代出现的实验方法则基本上从属于工匠传统（其中包括中世纪产生的非生产的炼金活动家的传统），尽管由于这种方法的产生使阿基米德被誉为“近代型物理学家”，但同数学方法相比，它远未成为以学者传统为主流的自然研究的普遍方法。两种方法的彼此割裂及其所隶属传统之间的长期对立，导致了近代以前的自然研究不可能获得对自然界特殊本质和规律的理性认识，因此还根本不能产生科学。

自中世纪末叶起，一些异端的经院哲学家或多或少地看到了

由于两种传统的对立所造成的弊端。如罗吉尔·培根在经院哲学盛行的时期第一个提出了“实验科学”（即运用实验方法的科学）的术语，他清晰了解只有实验方法才能给科学以确定性，同时他认为“数学是一切其他科学的门径和钥匙”，这就肯定了数学在自然研究中的方法论地位。他不仅不把数学同实验相对立，而且强调数学与经验及实验的密切关系。文艺复兴运动的主将达·芬奇（L. da Vinci）一方面十分注重观察、实验等经验直观方法，主张艺术和科学都要从观察入手，认为“理智是实验的儿女”，实验是科学之母；另一方面也注意到，自然界的力和动作必须通过数量的研究来探讨，借助并超越经验而获得数学规律乃是研究自然的目的。哥白尼和开普勒作为近代天文学革命的大胆旗手虽未专门论述科学方法论，然而在他们共同奠定日心说的理论基础的过程中把天文观测和数学计算有机地结合在一起，开创了以实验、观察为基础，以数学为手段的近代天文学的新时代。

不过，天文学中的观测方法不是严格意义上的实验方法，而且由于没有广泛应用科学仪器作为观测手段，使得日心体系在刚刚诞生时还缺乏优于地心体系的强有力的证据支持。正因为如此，可以说，哥白尼与早期开普勒的日心体系在方法论上主要地侧重于数学工具，并且还没有彻底摆脱柏拉图倡导的毕达哥拉斯主义的神秘色彩。当然，这里不包括后来开普勒在注重系统地天文观测的第谷·布拉赫的影响下所取得的成功。

在近代科学中第一个完整地提出、并成功地运用“实验-数学方法”的是伽利略。作为近代科学方法论支柱之一的“实验-数学方法”的基本思想是：针对一个科学问题，必须要以定量实验的观测结果（包括数据）作为认识出发点和判定理论真伪的标准，同时要运用数学抽象来描述关于客体的各种基本概念和基本关系，即用数学符号来表达物理实在及其运动规律。这种方法突出地表现在伽利略的力学研究中。正如英国科学史家亚·沃尔夫在《十六、十七世纪科学、技术和哲学史》中所指出：“伽利略对于落体定律、单摆和抛射体运动的研究，树立了科学地把定量实验与数学论证

相结合的典范,它至今仍是精密科学的理想方法。”

我们以落体定律的发现为例来说明。

伽利略对落体运动的研究是以对亚里士多德理论的批判为起点的。他首先批判了亚里士多德关于“自然运动”趋向“自然位置”的解释,极力主张把这类目的论解释从科学解释中排除出去。基于这种思想,并鉴于该时代“万有引力”概念尚未提出等历史条件,伽利略给自己规定的任务是:要发现的不是物体为什么降落,而是怎样降落,即依照怎样的数学关系而降落,并且将自己在研究中提出的一系列假设、猜测和逻辑推论同实验的结果比较,这就使他的研究同自然哲学的、非科学的研究区分开来,这是科学方法上的一个大发展。

然后,他用思想实验和归谬法具体驳斥了亚里士多德关于落体速度与重量有关的错误理论。为正面提出落体运动定律以取代亚里士多德的错误理论,伽利略走过了一条曲折艰难的路。在他晚年发表的《两种新科学》(1638)中,他以自己提出的“匀加速度”和“惯性”等重要概念为前提,以几何图解法等数学方法为手段,首先推导出:一个从静止开始坠落的物体,如落下时间为 t ,末速度为 v ,则在 t 时间内经过的距离与始终以匀速 $v/2$ 运动所经过的距离相等($s = v/2 \cdot t$)。然后,他根据“速度与降落时间成比例”的假设导出了落体定律,物体坠落所经过的空间按时间的平方而增加。用现代数学语言表述,这个定律可写成 $s = 1/2 \, gt^2$ 。

为验证上述假设及其数学推论,伽利略精心设计了斜面实验。由于落体运动速度太快,又无快速摄象机之类现代化仪器,伽利略决定让一个小球在光滑斜面上滚动,以便“冲淡重力”。其根据在于:斜面越陡,球滚得越快;作为其极限情形,即当斜面倾角为 90° 时,小球将沿该面自由落下。他采用水钟作为计时工具,经过多次实验发现,对于任何给定的倾角,实验数据与上述假设及其数学推论都基本上符合,即“小球所经过的距离总是同所用时间的平方成比例”。他从斜面实验中还发现:沿斜面下落物体

的末速度仅随垂直高度而变,而与斜面倾角无关。而这个规律在“摆-钉”实验(详见约翰·洛西:《科学哲学历史导论》,华中工学院出版社,第58页)中,又得到进一步证实(图2-2)。

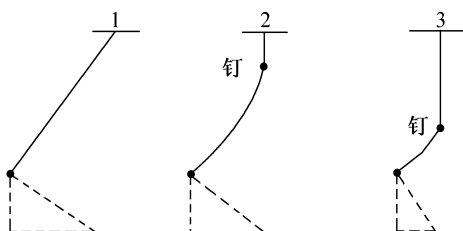


图 2-2 伽利略的摆-钉实验

对伽利略科学认识活动的深入研究表明,他的“实验-数学方法”既不同于古代数学方法论的毕达哥拉斯主义,又区别于中世纪末期以来出现的科学方法论的经验主义。

人们往往引证伽利略关于“自然界这本书是用数学写成的”这句名言来说明他在方法论上的毕达哥拉斯主义倾向,如美国科学哲学家约翰·洛西的《科学哲学历史导论》一书就持这种观点。然而,在笔者看来,伽利略的方法论同毕达哥拉斯主义在本体论和认识论方面都有本质区别。首先,尽管伽利略认定数学是理解自然的基本指导工具,为了运用数学抽象对运动进行一种全新的描述,他的确把注意力倾注于可量度的事物并竭力寻找自然现象间的数学关系,但正如著名科学史家丹皮尔所说,“他所寻找的不是神秘的原因,而是要了解支配自然变化的永恒定律”。同时,他还从亚里士多德和经院哲学分析运动时采用的模糊的目的论范畴,跳到关于时间和空间的确定的数学观念。从伽利略开始,“时间和空间在物理科学中具有了本原而根本的性质”。其次,伽利略的方法不同于古代数学方法的又一特点是他非但不鄙薄经验、忽视实验,恰恰是在巧妙地设计实验并反复精确地测量的基础上归纳和提炼出数学关系。这就使得对自然定律的数学表述具有一定程度的客观真理性和可靠性,而这一特点,也是彻底摆脱

毕达哥拉斯主义的神秘色彩的根本保证。

另一方面，伽利略也不是一个经验主义者。他深知在空气中发生的实际的落体运动以及其他加速运动同他的数学描述并不完全吻合（而是基本上符合）。然而，为了揭示纷繁复杂的现象背后的本质，即“在混乱经验中发现不变的模式”，伽利略在实验基础上广泛利用了科学抽象、思想实验和理想化方法。实际上，他的落体定律和单摆定律所描述的是“真空中的自由落体”和“理想摆”的运动规律，这是突破各种主客观条件的束缚、大胆舍弃现实中存在的次要因素或偶然因素（其中包括当时已知的空气阻力、摩擦力以及尚不清楚的转动惯量带来的能量消耗等）影响的结果。其次，在伽利略看来，实验对假说的确证有时未必能立即实现。有时即使实现了也不具有绝对的性质。比如，伽利略认为，前文所述的摆-钉实验对于斜面运动假说的证实仅仅是一种间接确证，而不是直接确证。应当补充说明的是，伽利略对于经验的超越并非是一种哲学上的直觉，而是由科学研究自身需要导致的一种自发意识。

总之，伽利略成功提出的“实验-数学方法”既不是脱离实验基础的单纯数学方法，也不是缺乏科学抽象和理想化的单纯实验方法。它是在发展了阿基米德开创的实验方法的新的根基上对古希腊数学方法的复兴。“实验-数学方法”开辟了实验科学向精密科学发展之先河，特别是为牛顿力学的建立直接奠定了知识的方法论的基础。

（二）弗兰西斯·培根的科学归纳法及其发展

与近代科学同步产生的另一种方法——科学归纳法是由弗兰西斯·培根首创，而由穆勒等人加以完善的逻辑方法。这种方法与上述的“实验-数学方法”不同，它不是科学家在科学研究中实际运用的方法，而是哲学家把实验科学中自发运用的某种归纳方法从自然科学中搬到哲学中来并加以提炼、发挥而形成的一般