

内 容 提 要

本书叙述进行科学研究和将其成果运用到生产中去的方法。提示了制订实验、理论和综合性研究计划的有关问题。

科学研究：对象、方向、方法

〔苏〕巴利切夫斯基 著

正魁业 沈工 王春林 译
张遇龄 王跃臣 刘芝瑞 校

轻工业出版社出版

（北京阜成路8号）

轻工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

•

787×1092×毫米 印张：7 字数：151千字

1984年8月 第一版第一次印刷

印数：1-16,100 定价：1.45元

统一书号：15042·1870

目 录

第一章 科学与科学研究方法	1
第一节 科学是发展了的知识系统 现代条件下 科学的发展	1
第二节 科学研究的方法	6
第二章 科学研究的对象及其结构	15
第一节 研究对象的形式及结构	15
第二节 研究对象的选择	18
第三节 研究对象的状态特征	22
第四节 科学研究的形式	25
第五节 基础科学研究的结构	28
第六节 应用科学研究的结构	31
第三章 科学研究方向的选择	37
第一节 研究课题的具体化	37
第二节 按研究课题检索科学文献, УДК系统	41
第三节 按研究课题检索专利资料	45
第四节 科技和专利文献工作的程序	47
第四章 理论研究	49
第一节 作为模型设计的科学方法——理论研究 的特点	49
第二节 理论研究中假设的采用	59
第三节 理论关系式的校验	63
第五章 实验研究	65

38525

1

第一节	作为科学方法的实验特点	65
第二节	实验研究的结构	73
第三节	实验进行条件的选择	77
第四节	实验研究规模的确定	82
第五节	测量研究对象参数时重复试验 次数的确定	85
第六节	实验关系式精确度的确定	91
第七节	测量仪表的精度	103
第六章	综合研究	105
第一节	综合研究的组成	105
第二节	技术对象综合研究举例	108
第三节	量纲分析在综合研究中的应用	117
第四节	量纲分析举例	118
第七章	工艺研究	126
第一节	工艺过程作为研究对象的特点	126
第二节	工艺过程精度的研究	134
第三节	工艺措施效率的研究	147
第四节	工艺过程进行条件的研究	153
第八章	用实验统计法建立工艺过程 模型	160
第一节	用最小二乘法确定因素和指标的联系形 式	160
第二节	过程指标和因素联系程度的研究	167
第三节	因素对工艺过程指标影响程度的估计	175
第九章	工艺研究中实验的数学设计	180
第一节	积极的工艺多因素实验	180

第二节	工艺过程线性模型的建立·····	185
第三节	利用数学模型求解工艺过程的优化条件 ·····	194
第四节	多因素工艺过程的非线性模型的建立 ·····	197
附 录	·····	209

第一章 科学与科学研究方法

第一节 科学是发展了的知识系统

现代条件下科学的发展

在科学产生之前，人们就具有了关于他们周围事物和现象的知识，但这些知识是支离破碎和杂乱无章的。和日常知识不同，科学知识是不能单靠积累经验事实的方法来得到的。它们相互之间必须协调一致，即它们以一定的方式构成系统。例如，从古代就知道摩擦生电和带电体火花放电现象，但是仅仅在发现电子之后，才有可能把这些现象形成系统并建立了关于电的科学。惯性与落体规律的发现，以及借助“质量”、“惯性”、“加速度”的概念把它们联结成系统，构成了力学的基础。

可见，科学知识乃是相互联系的概念的一个严密系统，而这些相互联系的概念反映了自然界和人类社会有规律的发展过程。**概念**——是反映事物的普遍和本质特征的思想。要区别科学的和日常的概念，诸如“电子”、“质量”、“能”等等，这些可以作为科学概念的例子。在科学概念中也使用在物质世界中遇不到的那些概念：“理想气体”、“点”、“平面”、“绝对刚体”等等。相互联系的概念的系统构成了理论。

理论——是客观世界在人类意识中的反映和用于改造现实的知识系统。它是在综合社会生产和科学活动的经验基础上形成的，并能描述和解释物质世界发展的基本规律。著名化

学家布特列罗夫 (А. Н. бутлеров) 曾写道:“只有借助理论, 综合成有机整体的知识, 才称其为科学知识; 实际知识的严整联结才构成了科学”。

实践是理论真实性的标准。从辩证唯物主义观点看, **实践**——这是感官客体的活动, 旨在改造事物和现象, 并赋予它们以形式和内容, 来满足人类的需要。物质的、生产的活动是它的基本形式。实验研究也属于实践活动。

科学知识系统的发展, 它的完善和改进、充实、系统化, 以及科学结果的实践检验, 都借助于研究来进行。科学**研究**——是对一定的对象(事物和现象)的研究过程, 目的是为造福社会而揭示它发生、发展和改造的规律性。这个研究在两个紧密相联的水准上进行:

1) 经验阶段: 它的基础, 是对新的事实认识的积累, 对它们的分析、综合和总结这样一个过程, 最后得到适于实践目的的经验规律性。

2) 理论阶段: 在这个阶段进行知识的综合, 从具体领域中形成普遍的规律性。

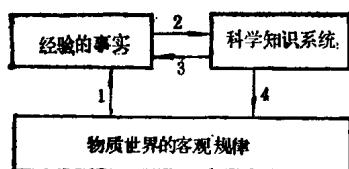


图 1-1 科学知识系统形成图

1—试验数据积累过程 2—试验数据的整理和科学知识系统建立过程
(理论研究) 3、4—系统的实践检验过程及其在人类活动中的应用

在现代科学中成功地利用了这两种互相补充和取长补短

的方法(图1-1)。这两种方法在创立科学知识系统中的作用,门捷列也夫(Д. И. Менделеев)是这样阐述的:“科学大厦不仅需要材料,而且需要蓝图,这要用劳动来建造。无论是材料的制备,还是把它砌筑起来,为了拟定蓝图,及其各部分的协调一致,寻求获得最有用材料的途径,都需要付出劳动”。经验研究的结果,是建立理论和检验它的真实性以及以后发展和完善的原始材料。另一方面,对于经验研究,理论能选出其本质联系,阐明和概括其结果,预测最有前途的研究领域。例如,化学领域的实验研究,在发明元素周期表之后,大大地简化了。理论要用大量的概念使科学知识更为准确。例如,在中世纪,算术运算是在大学里学习的。这是由于当时使用罗马数字的复杂性造成的。十进制计算和阿拉伯数字的引入,大大简化了所有数学运算。而理论就作为解释经验研究的结果之用,例如,观察和研究在威尔逊(Вильсон)室里的相互作用的基本粒子的运动轨迹。

科学知识系统在人类社会生产的实践活动过程中受到检验。科学与实践的联系是科学发展的基本规律之一,而不仅仅是限于检验科学知识。科学是在认识过程的实践中发展起来的。

生产的发展——织布机的发明,大型舰船建造,蒸汽机的使用等等——在科学面前提出了新的课题。科学是不能孤立发展的,因为它的规律的发现是在生产的应用中得到的。例如,如果不利用在取得真空时蒸汽的冷凝、列依布尼茨(Лейбниц)蒸汽缸和蒸汽泵的科学研究成果,蒸汽机的发明是不可能的。十七~十八世纪技术的成就,是以能正确了解发生在技术对象中的物理过程的科学发展为前提的。在实践基础上发展起来之后,科学便照亮了它成功地解决实际课

题的理论基础的道路。利用已被认识的自然规律，人们便能创造从前不能实现的技术目标。生产作为创造物质财富的过程，包括人类适当的活动（劳动），劳动对象和劳动手段（首先是生产工具），在现阶段，由于生产的发展，科学参与了它所有过程：在科学的基础上，出现新的劳动对象（如，塑料）；实现最新劳动工具的制造（如，数控机床，激光装置，为强化工艺过程的超声波发生器）；完善人类的劳动，工艺的改进（出现了新的非机械的和连续的工艺过程）。

另一方面，技术的发展为科学家扩大了可能性，使他们可以建立更完善的科学研究的物质技术手段——超功率实验

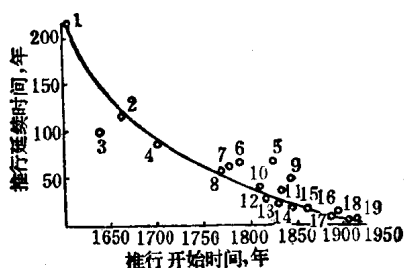


图 1-2 重大科学成就应用期限与开始应用时间的关系
(把发明时间作为开始应用时间)

- | | |
|--------------------|----------------------|
| 1—丝纤维 (1655~1885) | 2—照相术 (1727~1839) |
| 3—蒸汽机 (1680~1780) | 4—水泥 (1756~1844) |
| 5—滴沸 (1874~1839) | 6—电影 (1832~1895) |
| 7—电机 (1829~1886) | 8—电话 (1820~1876) |
| 9—卡普隆 (1889~1939) | 10—无线电 (1867~1902) |
| 11—电子管 (1884~1915) | 12—汽车 (1868~1895) |
| 13—柴油机 (1878~1897) | 14—飞机 (1897~1911) |
| 15—电视 (1922~1934) | 16—晶体管 (1948~1953) |
| 17—尼龙 (1935~1939) | 18—太阳能电池 (1953~1955) |
| 19—激光 (1954~1955) | |

装置，舰船实验室，同步加速器。科学和生产的统一加速了

科学技术的进步，促进了社会生产力的增长，把科学转变为渗入到所有物质生产范围内的直接生产力。可以举出重大科学发明应用到生产所需期限的缩短，作为这种统一的结果的例子（图1-2）。

这样，科学与生产、理论与实践的接近，不仅对实践，而且对科学本身都产生了良好的结果，在科学面前展现了所有新的研究对象或已知对象的新的方面。

科学在自己的发展中做出了一些大大超过生产需要的发明，从而形成了潜在的新思想储备。这些想法不能立刻应用到实际活动中去，在被人类利用之前，要经历若干年精细的劳动和探索。科学发明者本人往往不能预见自己发明的重要性程度和应用范围。例如，格尔茨（Г. Герц）认为，他所发明的电磁波不会得到实际应用。但是在1895年5月，波波夫（А. С. Попов）发表了“金属粉末与电振荡的关系”的报告，展示了一种记录电磁波的仪器。1896年他实现了从一个建筑物向另一个建筑物传递信号。

宇宙空间的研究、宇宙技术的发展，同样不是立即在实践中得到应用的。但是，借助人造地球卫星进行气象的、电视的、工艺的研究，已经给社会带来了实际利益。

这些例子还表明一个重要的科学规律性——科学发展的**相对独立性**。没有这样的独立性，科学就不能开辟实践的道路。为了探讨解决实际课题的理论，科学应该超过实践，作出对于发展物质生产有效的科学预测。

利用先前知识的积累，科学得到不断的发展。在力学、物理学、化学、天文学中，旧的理论永远是新理论的源泉。新的理论不是天才的个人创造的，而是许多代学者有目标的劳动结果。牛顿（И. Ньютон）写道：“假如我比自己的先驱

者看得远，那仅仅是因为我站在巨人的肩膀上。”

这样，科学的发展，作为在旧的土壤上的新理论的不断成长过程，是以科学知识的继承性为标志的。恩格斯（Ф. Энгельс）这样简单陈述这个定律：科学是与继承前代知识的数量成正比地向前发展的。

最近二百年科学是以分化为特征的，即科学知识的分科与加深。从自然哲学中先分离出数学科学系：数学、力学、天文学。在十八世纪出现了物理学和化学，然后出现了生物学、地质学和人类学。科学的分化过程一直继续到现代。由于自然科学阵线的扩大，出现了所有新的知识分支。还产生了从前是分开的各知识分支的联合科学：天文物理学，物理化学，生物物理学，生物化学，物理化学力学等等。这个科学的综合，整体化过程目前是占优势的，虽然并不排除科学知识的继续分解。

第二节 科学研究的方法

在我们周围物质世界的知识的基础上产生所有的科学技术成就，都是在人类生产实践活动进程中获得真知的过程。

物质世界的知识——它的事物，现象，它们的性质和关系——是用生动的直接的观察和抽象的思维实现的。认识的这两个阶段是辩证统一的，并且互相转化，互相补充。“从生动的观察到抽象的思维——В. И. 列宁指出，——并从它到实践——这是认识真理，认识客观现实的辩证方法。”¹对事物和现象的感性观察是认识的出发点，它们以感觉形式反映到人类的意识中。这些形式反映了客观认识的外部方面。寻找

注：1. В.И. 列宁全集，第29卷，152～153页。——著者注

物质世界的规律性，即阐明被研究事物或现象的共有的和本质的性质，这是科学认识的任务。没有以概念形式表现出来的抽象思维、判断和推理是不可想象的。概念是基础，用它建立科学知识系统。借助反映物体共有的和本质的特性的概念，人们能够调查事物和现象的本质。概念的相互关系是用判断和推理产生的。判断——是这样一种思维方式，借助这种思维使肯定或否定真实事物和现象的概念相综合。例如，“铜是金属”，“所有金属都是可塑的”等等。比较某些概念，我们就可以判断真实世界的事物和现象本身。判断之间的联系是靠推理实现的。推理——这是一种思维形式，利用一个或几个已为我们所知道的并以一定方式相联系的判断进行的思维程序，获得关于真实世界的事物和现象的新知识。例如：

- 1) 所有金属都是可塑的；
- 2) 铜是金属；
- 3) 铜是可塑的。

推理允许对新知识进行综合，这些知识是从先前的判断得出来的。每一个单独的初始判断都不能给出新的知识。此外，初始的判断之间的联系，是由真实事物和现象之间的客观关系确定的。

现在我们来讨论被科学采用的科学认识方法。从辩证唯物主义观点来看，可分为普遍的（普遍科学的）和具体科学的（部分的）研究方法。

科学研究的普遍方法——这是唯物辩证法。它确定研究的本质，及其与被研究对象的关系。

在广泛利用普遍科学法的基础上产生了科学的发展。它们中的一部分仅用于理论研究阶段，另一部分用于经验研究

阶段。它们之中有一些可在两阶段中利用。

现在我们分别讨论每一类普遍科学法。

在研究的理论阶段和经验阶段中使用的方法。分析和综合，归纳法和演绎法，类比法和模型法，抽象化和具体化都属于这些方法。

分析和综合。**分析**——这种研究方法是被研究事物客体想象地或实际地分成若干组成单元（对象的一部分或它的特征、性质、关系）。被分开的每一个组成部分都可以单独作为整体的一部分加以研究。**综合**——可以实现在分析过程中把被分解了的事物的某些部分统一起来，建立它们的联系，并作为统一整体加以认识。分析和综合是互相联系的。当研究事物时，如果认为可以先进行纯粹的分析，然后再进行纯粹的综合，这样的想法是错误的。动手分析时，研究者已经对作为一个整体的研究对象有了某些想象。这样，我们看到，分析从研究的开始就同综合一起进行了。在得到研究对象某些单元的最初分析结果后，研究者就可以总结它们，即进行综合。例如，瓦特（Дж. Уатт）把蒸汽机的工作循环分成三个部分：蒸汽的产生、膨胀和冷凝。为了使循环的每一部分实用化，根据保证蒸汽机作为一个整体工作的必要性，创造了相应的装置。

归纳法和演绎法。**科学归纳法**——是这样一种推论，在这个推论中，多数单元特征的普遍结论是在研究参与这个多数单元的特征的必然性的基础上做出的。因此，被研究的事实、事物、现象，都是有步骤地按照事先制订好的计划选择的，而不是偶然的，随意取的。在科学认识的过程中，归纳法始终与演绎法相联系。**演绎法**是一种科学认识的形式，利用它在整个多数特征的知识的基础上，得出该多数中的个别

单元的结论，即这个方法是从普遍的概念转换到部分的概念。归纳法的结论不能导致理论的建立，因为研究个别事实实际上不能全部地完成。因此，科学认识的过程，就是从归纳法的概括向演绎法的结论、结论的检验和更深的概括发展，这样循环以至无穷。

对已知现象的起因所做的归纳法的结论，需要对实验材料进行小心的校验，目的是揭示其本质。这里，最经常产生的错误是概括的匆忙性，没有充分根据的概括，按照次要的和偶然的特征进行概括，用一般的时间顺序代替联系的内因，用不存在的条件代替条件，也就是毫无根据地把所得到的结论扩大到产生它的具体条件范围之外。所有这些都要求研究者在用归纳法下结论时要特别小心。

例如，我们看一个试样，根据虎克定律，在它的弹性极限内应力和长度的关系（图1-3点1，2，3），假如采用归纳法，我们可以概括出试样在点4和点5的行为，那么我们关于点5应力的判断是不正确的了。我们看另一个例子。埃依列尔（Эйлер）三项式 $Y = x^2 + x + 41$ ，当代入 $x = 0$ 时，

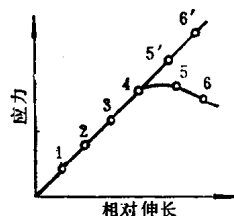


图1-3 对研究应力和相对伸长关系归纳法的应用

等于41；当 $x = 1$ ， $Y = 43$ ；当 $x = 2$ ， $Y = 47$ 。进一步代入 $x = 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10$ ，得到 Y 的值等于53, 61, 71, 83, 97, 113, 131, 151，即都是一些质数。做归纳法概括将断定，对于所有不负的整数 x ， Y 都是质数。在这种情况下我们犯了错误。实际上，当 $x = 11$ 到 $x = 39$ ， Y 值得到质数的形式，而当 $x = 40$ 时，三项式等于 41^2 ，即合数。

抽象化和具体化。抽象化——这种科学认识方法在于，用思维的方法选出研究者感兴趣的事物或现象的特征、联系和关系，并用思维的方法使其区别于所有其它的。在抽象化过程中，要抛弃那些非本质的、附带的和使研究难于进行的事物和现象的特征、性质和关系，即区别开本质的和偶然的，这样，作为抽象化的结果形成了抽象法。在科学研究中广泛使用下述类型的抽象法。

1. **同一抽象法**，是用抽象的方法从事物个别的性质选出普遍的、概括的性质。它广泛应用作为形成关于某种类型的事物的概念，并保持其区别于其它类型的特征。

2. **孤立抽象法（分析法）**，是用思维的抽象和判断事物和现象的一定的性质和关系，这些性质和关系是与这些事物及现象密切相关的。在这种情况下形成了普遍的抽象概念，如“精度”、“热传导”、“可靠性”等等。

3. **理想化抽象法**，这是抽象化的结果。概念，在真实世界中是不存在的，但它反映真实世界的形象。在这种情况下，所研究对象的某些性质达到了极限值。这样，形成了概念：“点”、“理想气体”、“绝对黑体”等等。这些概念用于创建和发展科学理论。

科学认识的过程中，抽象化密切地与具体化相联系。在利用从具体到抽象的方法揭示了所研究事物或现象发展的规律性之后，研究者重又转向具体的研究。现在我们来看在科学认识中利用抽象化和具体化的例子。

假如光线照在一个任意物体的表面上，光的一部分反射，一部分进入物体内部，将自己的能量传给物体。物体越黑，吸收的光线越多。从具体的物理体，学者在运用抽象法之后创造了“绝对黑体”的概念，即能全部吸收照在它上面

的光线的物体。这样的物体在自然界中是没有的，但是当研究“绝对黑体”性质时，很容易确定它与温度的关系。当研究实际物体时，具体化法可以只计算它们按照已确定的吸收系数吸收的那部分能量。引入这个系数之后，提供了对实际物体采用由理想对象而得到的定律，只要用实验方法确定一下它们的吸收系数。

类比法和模型法。按**类比法推理**——这种科学认识方法是根据一些事物和现象与其它事物和现象具有相似之处，从而得到这些事物和现象的知识。类比法由于它的直观性，被广泛应用在科学和技术中。例如，液体流和电流，水中波的传播和空气中声音的传播之间的类比，等等。建立在不同事物和现象的某些方面相似的基础上的类比法，是模型法的基础。

模型法——这种科学认识方法在于，用专门的相似物、模型来代替被研究的事物、现象，并对其进行研究。模型应该包含原型的本质特征。在科学研究过程中，最广泛采用的是保存原型物理性质的物理模型，以及原型和模型都能用同样数学方程来描写的数学模型。物理模型的例子——采用风洞装置研究气流对不同物体的阻力。电场和磁场数学方程的相似之处，允许人们利用磁的现象来研究电的现象，或者反之。这是数学模型的例子。

理论研究阶段用的方法。形式化、假设、理论均属于这个阶段的方法。

形式化——用反映对象内容的形式的单元来研究各种不同对象的方法。例如，数学就是用表现含有判断内容的公式形式代替具有这个内容的结论。

假设——在研究过程中，“假设”具有重大意义。一种假设，其真实性在科学和技术的某一定阶段是不可能得到证实

的。假设作为科学认识的一种手段，始终是超出已知事实总和的范围，并且确定研究进行的方向。例如，英国物理学家马克斯韦尔（Д.Максвелл）提出了一个假设，认为在自然界中不仅存在短光波，也存在着长光波。经过25年，无线电波的发现证实了马克斯韦尔的假设。这个假设曾是为发现无线电波而进行实验的基础。

理论——它是揭示某些真实领域的基本发展规律的相互联系的知识系统，旨在进一步改造客观现实和人类。

经验研究阶段用的方法。这些方法包括为获得经验知识而进行的观察和实验，也就是在试验基础上获得的知识。按照研究者和被研究对象之间的相互关系，分为直接的，间接的和模型的经验研究。

当研究对象时，如果不使用特殊科学仪器，那么这种经验研究称为直接的(图1-4, a)。常常在生物学、农业方面进行这些研究，因为在这些地方外部因素的变化和研究对象对它们的反映，不用特殊仪器就可以直接看出来。在间接研究时，就要有专门仪器(图1-4б)。利用模型化方法进行的研究，称为模型研究(图1-4B)。对象本身相对于自己的模型称为原型。对模型研究的结果，在进一步的研究中，再运用到原

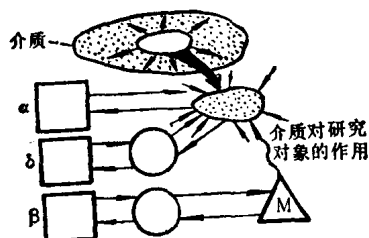


图 1-4 对研究对象的研究方式

И—研究者 П—科学仪器 M—研究对象模型

型上去。

下面讨论进行经验研究的特点。

观察——这是研究客观现实事物和现象方法的一种形式，即事物和现象存在和发生在自然界以及社会之中，并能人类直接感觉到。观察以有目的性的特点区别于感觉（客观世界事物和现象的反映）：人们仅仅观察那些对他们在理论和实践上有兴趣的东西。这样，科学观察就是对周围世界事物和现象有针对性的感觉。科学家仅仅选择能说明被研究对象本质的事实。事实的选择是在确定的假设和理论基础上进行。要区别通常的（定性的）观察和测量（定量的观察）。根据是观察现象本身或者仅仅观察该现象与其它现象相互作用的效果，存在着直接和间接的观察。例如，在威尔逊室中根据蒸汽凝结的水泡痕迹来研究微粒的轨迹——这是间接观察。

观察的特征——是在间接研究的情况下，研究人员在对研究对象观察的每一过程中，对研究对象没有或只有不明显的影响：只是记录参数的数值。同时，观察对象时的条件变化的顺序取决于外部因素变化的顺序。

实验——这种研究方法，在精确考虑由研究者给定的条件下，可以观察被研究的现象并能控制它。实验与观察相似，也可以是定性的（在研究的初期）或是定量的。

伽利略（Г. Галилей）被公认是科学实验方法的奠基人。他提出，所研究的现象应该从无关的影响中清理出来并加以数学处理。例如，伽利略为试验梁的强度进行了一系列实验，其结果做出了下述结论：

- 1) 梁的断裂强度与它的横截面积成正比，而与长度无关；
- 2) 当同一梁弯曲时，产生较大应力之处是弯曲变形大