

· 哲学通俗读物 ·

科学研究 的方法

周 昌 忠

福建人民出版社

· 哲学通俗读物 ·

科学研究的方法

周 昌 忠

福建人民出版社

一九八三年·福州

表

科学研究的方法

周昌忠

福建人民出版社出版

(福州得贵巷27号)

福建省新华书店发行

福建新华印刷厂印刷

开本787×1092毫米 1/32 6.5625 印张 144千字

1983年8月第1版

1983年8月第1次印刷

印数: 1—4,000

书号: 3173·287 定价: 0.55元

330220

前 言

科学方法是科学认识活动的一个必不可少的要素。二千多年前，古希腊的亚里士多德以他创立的形式逻辑为古代希腊的自然科学提供了“工具”。十六世纪，英国的培根又用归纳法为正在登临历史舞台的近代科学装备了“新工具”。后来的几个世纪里，尤其是十九世纪以来，随着自然科学的不断进步，科学方法也有了很大发展。形式逻辑发展到了现代阶段——数理逻辑，从黑格尔到马克思发展了辩证逻辑，科学认识心理学研究活跃地开展，信息论、控制论和系统论等带有浓厚方法论色彩的学科先后形成。这一切不仅使原有的科学方法更有效地发挥作用，而且还形成和发展了一些新的科学方法。

今天，各门思维科学和认识科学都把科学方法作为主要研究对象，同时科学方法已经成为一个越来越受重视的专门研究领域——科学方法论。

本书试图对迄今已形成的、为各门自然科学所普遍应用的各个一般科学方法从两方面作一番简单扼要的叙述，即一方面勾勒各个方法的历史，另一方面介绍它们的各项基本原则。书中逐一地对所述的各个论点，引用古今中外科学史上的生动事例作为佐证。就此而言，它也可以说是一本“科学方法例话”。

读了这份“现代科学工具说明书”，科学工作者或许能更自觉地或者更有效地使用它们。如果这样，那末这本书也就有了它现实的实践意义。

发展马克思主义哲学的科学方法论，恐怕是不可计日程功的长期的事业，需要科学工作者和哲学工作者协同作持久的努力。为了建立关于科学方法的系统理论，应当把对一般科学方法的逐一研究和系统整理作为必不可少的基础工作。只有这样，才能进一步作出准确的哲学概括。本书力图给这个基础添砖加瓦，而这大概便是它的理论意义所在。

本书借鉴了国内外一些已有的研究成果，同时也作了一些新的探索，尤其是那些晚近发展起来的方法。作者不揣才疏学浅，想以这样一本小书来实现上述目标，充其量只能是抛砖引玉。书中错误不当之处，敬请读者不吝指正。

目 录

前	言	
一	观 察	1
二	实 验	7
三	解 释	13
四	定 义	19
五	比 较	25
六	分 类	30
七	类 比	35
八	分 析	41
九	综 合	47
十	归 纳	54
十一	求现象间因果联系的方法	61
十二	预 测	69
十三	历史方法	75
十四	问 题	81
十五	假 说	89
十六	模 型	96
十七	形 式 化	102
十八	数 学 化	110
十九	公 理 化	117

二十	模 拟·····	124
廿一	<u>思维实验</u> ·····	131
廿二	计算机方法·····	138
廿三	信息方法·····	145
廿四	控制论方法·····	152
廿五	系统方法·····	159
廿六	想 象·····	167
廿七	直 觉·····	174
廿八	灵 感·····	181
廿九	美 感·····	188
三十	辩证逻辑方法·····	195

一 观 察

古希腊最早的哲学家泰勒斯（公元前七到六世纪）开创了所谓自然哲学。这种关于自然界的朴素学说纯粹以观察为根据。泰勒斯看到种子发芽、植物生长、动物生活都离不开水，因此提出水是万物的本原，一切产生于水，又复归于水。

当时，人类的知识程度还很低下，更谈不上有观察工具，所以泰勒斯的观察实际上只是一种直接的直观，他提出的学说也只是朴素的臆测。

近代自然科学是欧洲文艺复兴的产物。这个思想启蒙运动使人们冲破中世纪教会散布的愚昧思想，打碎教义的枷锁，转向周围世界的实际。就科学方法而言，观察和实验方法的广泛采用，是促成近代科学产生的关键因素。

例如，十六和十七世纪在欧洲出现了一批所谓博物学家。他们的工作实际上就是依据观察建立动植物分类学。在这之前，科学家们抱残守缺，把古典学术著作奉为圭臬，不敢越雷池半步。比如在植物学领域，人们言必称提奥弗拉斯特、普林尼和第奥斯科里德这三位古希腊先贤，以为他们已对植物界做了详尽无遗的研究。及至博物学家登上舞台，他们首先打破这种桎梏，走出做注释的书房，投身到大自然中去亲自观察。这些近代植物学的先驱通过观察取得了巨大成就。他们到处发现前人所不知道的植物群，尤其是认识到不同地

区有不同的植物群。作为观察研究的成果，所谓《植物书》如雨后春笋般地涌现，书中不仅有细致的文字描述，而且还配有精致的插图。这些周密观察的结果，反过来又促进了观察技巧的改良。另外，供观察研究用的植物园也纷纷建立起来。这样，植物分类学取得长足进步，植物分类更加精确，更加合乎科学，植物间的亲缘关系更加明了。

今天，观察已经成为科学研究的一种基本方法和必要步骤，各门科学都要用到它。在有些科学领域里，观察不仅是搜集材料的手段，甚至对整个学科的建立起着根本性的决定作用。

我国地理学家竺可桢毕生从事物候观察记录，创立物候学就是一个有力的例证。物候学是研究在一年之中动植物的生长发育和气候变化的关系，以及各种物候历年出现日期的迟早变化。他早在一九二四年就开始观察物候，勤观察勤记录。从一九三六年一月一日到逝世前一天（一九七四年二月六日），从未有一天漏记，遗留下了四十多本日记。每天日记开头都详细记载着他亲自观察的当天的气温、气压、风、云和物候。在长期观察研究的基础上，他于一九六三年发表了《物候学》一书（后来在一九七三年又作了增订）。辛勤的劳动结出了丰硕的成果。

观察就是通过感官和辅助仪器来认识处于自然状态下的事实。

观察有五个要素：观察的对象也即事实；观察的主体也即观察者；观察的环境条件；观察的工具也即感官和仪器；知识。

作为观察对象的事实一般可以分为四种：事件、过程、现象和实物，而它们在实际上往往是相互包含的。

事件就是在时间——空间，更确切地说，在一个时空区域中发生或者出现的变化。例如，闪电和雷是气象事件，基本粒子衰变是高能物理事件。过程是许多事件按一定先后次序组成的序列，其中每个事件都参与决定继起的事件。事件和过程是相对的。例如，闪电在气象学上作为事件看待，而在大气物理中又是进一步分析研究的对象也即当做过程：大量原子时间上略有参差地发射以有限速度传布的波群。实际上，经过相当深入的分析，大多数事件均可看做过程。此外，在纷乱的事件中，探寻整理出过程，是一项十分繁复的工作。在观察的基础上，这还需要应用理论研究的方法，例如假说。比方说，恒星演化的过程是观察不到的，但是我们可以根据在观察星光留在照相板上的痕迹之类的事件，提出关于恒星演化过程的假说，然后再通过对上述事件的进一步观察来检验它。现象就是认识主体能够感觉得到的事件或者过程，也就是说，观察者可以观察到的事件或过程统称为现象。一切观察都离不开实物。观察实物例如天体的形态、结构和位置等固不必说，即使事件、过程和现象等也都是发生在实物之中。

环境条件是观察中的一个重要因素。首先，应当让观察对象保持处于自然状态之下，这也就保证了观察的客观性，这是保证观察结果可靠的必要条件。其次，作为自觉的认识活动，观察需要在一定的环境条件下进行，这关系到观察的可能性、观察结果的可靠性和价值。同时，在观察中注意考虑环境条件的因素，会导致有重要意义的科学发现。例如，北魏农业科学家贾思勰在观察中注意到母畜孕期的环境条件和幼畜的生活条件对动物发育和生长有很大影响，结果发现，选羊种最好是用腊月、正月生的小羊作种。除了观察对象方

面以外，观察方面也涉及环境条件的因素。例如，为了观察宇宙射线，高能物理观察站常常设在地。为了这种观察的需要，我国建设了一座目前世界上海拔最高的宇宙射线观察站。为了验证广义相对论预言的星光受太阳引力场偏转，英国天文学家在一九一九年特地赶到巴西和几内亚湾去观察日食。

观察仪器作为肉眼的延长，在观察中具有极为重要的意义。天文学的情况就是典型的例子。只是由于在十七世纪初发明了光学望远镜，天文学才彻底割断了同它的前身——占星术的联系，成为真正的科学。到了二十世纪四十年代，随着观察仪器的改良，主要是射电望远镜的出现和雷达技术的应用，天文学从光学天文学过渡到全波天文学，诞生了射电天文学、X射线天文学、 γ 射线天文学等新的分支。再如，显微镜作为观察仪器在生物学研究中大收“见微而知著”的功效，促成了显微生物学的诞生。

观察是掌握知识的观察者进行的一种认识活动。观察者和知识这两个要素决定了观察具备目的性和自觉性两大特征。这也是作为科学方法的观察同日常的“看”的区别所在。

所谓观察的目的性，是指观察总是为了一定的目的而进行的，它表现在观察的对象、环境条件和工具都是有选择的，而选择是科学研究活动的重要一环。法国大数学家彭加勒认为科学研究活动是从选择开始的，甚至把科学发明归结为选择。同样，选择在观察中也占有重要地位。例如，竺可桢为了比较南京和北京两地的气候差异，选定布谷鸟和燕子作为观察对象。他经过长期观察而确定，南京燕子始见一般在四月三日，过三十天布谷鸟始鸣；北京燕子始见通常在四月二十日，过三十三天布谷鸟始鸣。由此推知了两地气候差异的大

致情况。

所谓自觉性，则是说人们进行观察时总要以一定的知识作为指导，它表现为总要对观察进行解释。例如，一个外行人从显微镜镜筒看去，只见一个个黑斑，可是一个细胞形态学家看到的却是一个细胞液泡。其实，他们“看”到的是同样的东西，只是形态学家用他的专业知识对观察对象作了科学解释。再如，一个中学生看到一台仪器，通常只从科学仪器的角度去看它。但当他从大学物理系毕业后，再看到这台仪器，眼光就不同了，就会从电路理论、热力学理论、金属和玻璃结构的理论、热离子发射、光传播、折射、衍射、原子论、量子力学和狭义相对论等角度去看待它。即使同样是科学家，如果知识和观点不同，观察也会不同。意大利科学家伽利略曾经设想，如果让持日心说观点的德国天文学家刻卜勒和相信地心说的丹麦天文学家第谷·布拉赫一同从黎明的东方看日出，那他们将会“看到”不同的太阳：刻卜勒看见一个静态的太阳，第谷看到的却是一个动态的太阳。

现在来讨论一下观察的步骤。观察分为三个步骤：观察、初步解释、描述。观察包括对象呈现、观察者感知以及仔细观察。

初步的解释就是运用科学知识大略确定对象的性质。明代科学家徐霞客是世界上考察研究石灰岩地貌的第一人。他先后游历了一百多个岩洞，观察到许多石钟乳和石笋，并对它们试作了解释。例如广西上林附近的佛子岭旁的岩洞，他看到其内部“光洁类琢磨者”，同时又见“涧水激涌势壮”，于是就解释岩洞是水的机械作用所造成：“涧与洞皆若磨砺以成”。

描述是用专门术语记叙观察过程及所得，其结果便是观

察资料。达尔文在一八三一年到一八三六年进行的环球考察航行中，对广大地区的植物、动物和地质构造进行了广泛的观察研究，这次考察带回的大量观察资料为这位生物进化论创立者提供了丰富的材料。饶有兴味的是，这批观察资料中两本著名的《植物笔记》在佚失了一百多年之后，于一九八〇年十二月重又在英国剑桥大学植物标本室里发现了。

应当指出，观察资料有待于经过进一步的理论研究之后，对之作出理论解释。例如，达尔文在《植物笔记》中这样描述一处森林：“十分潮湿的气候有利于植物的茁壮繁殖：森林是一个为了主宰一切而进行生死搏斗的复杂的总体。”后来他在一八五九年发表的奠定进化论基础的名著《物种起源》中，提出以“混合群体”的概念来从理论上解释之。再如，一个天文学家把望远镜对准预料会发现某种有意义事物的方向，于是他观察到一个光点，经过解释，他记下观察到日冕中出现的一个耀斑。理论天文学家则对之解释说，这耀斑是太阳发生一次热核反应的结果。

最后是定量观察也即测量的问题。当在观察的基础上，赋予某些特性以数值时，便是进行了测量。

赋予数值称为量化。量化能使概念精确化，例如普通“热”的概念经量化后，可得到“热函”、“比热”、“温度”等量。量化还可使描述和分类精确化，促成精密的假说和理论，以及使能对假说和理论作严格的检验。

观察工具现在变成测量工具，这里主要问题有：选择适当的计量标度、单位和标准；测量设备的设计、制造、测试和检定；读数的标准化。对测量结果，则应根据数理统计学计算测量误差。

二 实 验

实验的思想和方法早在古代就已萌芽。公元前三世纪古希腊的斯特拉顿在研究真空问题时，已对大气和液体进行了关于虹吸等现象的实验。公元前二世纪西汉魏伯阳著的《周易参同契》这部世界上现存最早的炼丹术专著，记载了汞与硫的化合以及铅丹被炭还原为铅的实验。当然，那时这种实验只是零乱地进行的附带工作，整个科学的方法基础还是带猜测性质的纯粹思辨。

近代自然科学是以实验科学的面目登上历史舞台的。最早大量应用实验方法并取得很大成功的是十六世纪英国科学家吉尔伯特。他用实验方法获得了大量有关电和磁的知识。当时这股主张在实验基础上改造和重建自然科学的先进思潮的主要代表人物是英国哲学家、归纳逻辑的创始人弗·培根。马克思把他誉为“英国唯物主义和整个现代实验科学的真正始祖”。他提出，为了“把人类的能力和伟大气魄的界限推到更远的地方”，必须运用观察和实验的方法以及归纳方法。但是，他排斥运用数学和演绎方法，这是他的科学方法思想的局限性所在。

真正把实验方法的思想付诸科学实践，建立科学的实验方法的，是伽利略。他提出实验和观察是科学知识的源泉，也是检验真理的标准。而尤其可贵和重要的是，他的最大功

绩在于把科学实验和数学相结合，把归纳方法和演绎方法相结合，从而为近代乃至现代科学奠定了方法论基础。他本人正是运用这种科学方法推翻了一千多年一直被奉为圭臬的亚里士多德力学，创立了古典力学。这位科学史上的“第一个近代人物”是公认的近代科学奠基者。

实验方法对于人类科学认识的意义是怎么估计也不会过高的。科学方法是真正意义上的科学也即近代科学产生的必要条件之一。实验是科学方法的基本要素。离开实验和观察，理性认识便成为无源之水，无本之木。作为科学实践的基本形式，实验比观察更为重要的是，它还是检验科学理论知识的真理性的基本手段。只有具备经受了检验的知识，科学才得以产生和发展。因此，不仅科学家，而且哲学家和思想史家都对科学实验感兴趣。

什么是实验呢？实验就是给实验对象也即前述的观察事实造成一个人为环境，引入可控制的变化，根据认识目的通过观察把结果记录下来并加以解释。

实验的特点是可以人为地改变实验对象所处的自然状态，使之符合科学认识活动的需要。这里具体可以区分下述三种情况：

(1)在错综复杂的事实中，我们在实验中可以排除那些与研究目的无关的因素，也就是通过简化和纯化而把有关因素集中起来，同时引入可控制的变化，从而达到预期的认识目的，也即发现事物现象间的因果联系。例如，早在古希腊，人们已猜测到空气是传播声音的媒介。但是，直到十七世纪才由德国物理学家盖里克用他发明的抽气机从实验上证实了这个猜测。盖里克在自己的抽气机的容器里悬挂一只由时钟机构敲响的铃，然后把空气渐渐抽去，他发现铃声越来越轻，

直到最后完全消失。在盖里克实验创造的环境中，只有铃声和空气及其变化。再如，古代世界流行一个信念：“植物吃土长大”，甚至连那时最有学问的哲学家亚里士多德也相信。十七世纪著名的比利时实验科学家范·赫耳蒙脱用实验检验了这个说法。他把柳树种子放在一个盛有称量过的干土的瓦盆里，时常浇水和日晒。几年以后，树长成了，他再把瓦盆里的土干燥后加以称量。结果发现干土损失的重量微乎其微，而植物增加的重量好几十倍于前者。这样，他找到了一个因果关系：植物的根、茎和皮是水产生的。这个结论大体上是正确的。

(2) 利用实验可以创造一些自然状态下不易得到或者得不到的环境和条件，从而可以研究实验对象在这些特殊条件和环境下的表现，作出有意义的科学发现。

例如，宇宙射线的研究对于揭示基本粒子世界的奥秘，具有重要意义。但是，宇宙射线很难观测到，机会也很稀罕。至于极端的情形，即便到五千米高的安第斯山脉，或者到印度和南非的一千米深的地下金矿去观测，一年也没有几次机会。宇宙射线是一种高能现象。因此，为了能定量和定性地充分研究宇宙射线，科学家们使用高能实验装置来产生人工的“宇宙射线”供科学研究应用。高能实验装置还产生了理论上预言存在但实际上在地球自然条件下未观测到的基本粒子。这就是说，实验创造了自然状态下得不到的条件。例如，一九五五年建成的美国加利福尼亚大学的六千兆电子伏质子加速器成功地产生了反质子，证实了反物质的存在。其实，超高温、超低温、超高压和真空等特殊条件都是在实验室里人工产生的。

(3) 实验可以使研究对象在任何时候任意多次地重复出

现。这也就是所谓实验的可重复性。实验之促成近代科学的产生，在很大程度上也得力于这一点。因为，原则上每个科学家都可以进行同样的实验来确证某个科学知识的真理性。这样，真理性得到公认的科学知识便迅速积累起来。同时，凡是正确的科学实验都是可以重复的。否则，实验是否成立便属疑问。例如，企图证明“以太”存在的著名光学实验——迈克耳逊—莫雷实验在一八八一年和一八八七两次失败之后，曾任美国物理学会主席的弥勒仍不死心，他于一九二五到一九二六年间在海拔六千英尺的高山上继续做这种实验。事后，他宣布发现太阳系以每秒二百公里的绝对速度（即相对“以太”的速度）向天龙星座前端运动。这个轰动的消息促使迈克耳逊故态复萌，再次从事自己的实验。但是，他和其他人的努力均属枉费心机。这样，弥勒的实验充其量也只是证实“以太”实验的历史上的又一次失败的记录。

除了观察的各个要素以外，实验还具有一个要素——人为环境。这个要素包括可控制的变化和控制两个因素。可控制的变化可以看做为施加于实验对象的刺激，这样实验结果便可看做为对象对这刺激的反应的记录。如果刺激和反应需要精确测量，那就是定量实验，不需要测量的便是定性实验。一般说来，为了发现新的事实，或者给新的理论提供初步的证明，只要做定性实验就可以了。定量实验通常都在深入研究的阶段上进行。例如，丹麦物理学家奥斯特为了证实一切力都相互关联这个事实，便做了一个定性实验：当直导线中有电流通过时，近旁的小磁针发生偏转。后来法国物理学家安培为解释奥斯特效应而构想出一个定量假说，为此他设计并进行了一个定量实验。

实验中的控制就是操作和观察。必须加以控制的有实验