

文章编号:1671-1513(2007)02-0052-04

# 科学结论的逻辑问题

## ——科学研究规律探讨之四

陈洪<sup>1</sup>, 孙宝国<sup>2</sup>, 李雨民<sup>3</sup>, 杜毅<sup>4</sup>

(1. 美国杜克大学, 美国 NC 27708; 2. 北京工商大学, 北京 100037;

3. 中国医学科学院放射医学所, 天津 300192; 4. 上海凯信生物科技有限公司, 上海 201809)

**摘要:** 讨论了科学研究的成果——科学结论的逻辑问题, 因为从特定的事例归纳到普遍的规律存在着“归纳逻辑谬误”, 所以, 在科学研究中特别要注意科学结论外推的局限性. 介绍了波普的关于科学结论的证实和证伪的观点: 科学本质上是一系列命题的集合, 现实世界的综合命题本体, 至少在原理上可以用经验的观察来证伪, 这就是科学, 科学不是以它的学科内容或声称掌握某种知识的确定性为特征, 而是以建立和检验命题的方法为特征的. 最后, 讨论了科学结论的解释功能和预言功能.

**关键词:** 逻辑; 证实; 证伪; 科学结论**中图分类号:** G 304**文献标识码:** A

科学逻辑是一种应用逻辑, 它运用现代逻辑的工具对科学知识和科学思维本身进行探讨和反思, 它包括: 科学问题的逻辑、科学发现的逻辑、科学检验的逻辑、科学解释的逻辑以及科学理论的逻辑结构等, 这些都是科学哲学的范畴, 这里讨论的科学结论的逻辑问题也属于这个范畴.

任何科学活动, 包括科学研究都有其目的性: 或探索规律, 或寻求解释, 或解决问题, 或提供证据, 或创造方法, 因此, 科学研究必须给出一个科学结论, 这个结论使用论证, 而且能够提供论证所需要的一般原理和事实证据. 大的科学研究可能产生一种科学理论, 小的科学实验可能给出变量间的因果关系, 总之, 科学结论是科学研究的成果, 这些成果的总和构成了一种理论体系, 即我们所说的“科学知识”. 科学结论有几种表达方式: 语言、模型、方程(或其他数学表达)、曲线、图表等.

科学知识是用语言表达的, 所以科学知识首先是语言. 逻辑经验主义者认为: 经验科学理论由 4 种语言因素——理论名词、观察名词、陈述词和逻辑词构成. 观察名词指出观察对象或过程, 以及这些对象的可观察属性, 如对象的几何形状、颜色、物理状态等等; 理论名词是不能用简单的观察名词表述

的, 必须具有一定专业知识才能理解的概念, 如电子、波长、基因; 陈述词一般为动词, 如排列、升高、加压等; 逻辑词包括联结词和量词, 如“...当且仅当...”, “如果..那么...”, “..所以...”, “..有...”等. 含有观察名词的语句是观察陈述, 如“月亮在十五时是圆的”. 理论名词加陈述词是理论陈述, 如“DNA 在空间排列成双螺旋形状”. 尽管逻辑经验主义的两种语言模型论后来受到一些挑战, 但它们至今仍被看作经验科学理论结构的正统观点.

在自然科学中, 很多学科的研究成果以模型的形式体现, 经典物理学、化学、天文学、生物学、地质学等都有很多我们熟知的模型. 模型的使用大大地推动了本学科的发展, 具有不可替代的作用. 方程、曲线、图表是科学结论的数学表达形式, 它们反映了变量之间的数量关系, 也称为“数学模型”. 绝大多数的数学模型可以转化为语言表达.

## 1 科学结论产生的两种模式

### 1.1 归纳

19 世纪中叶的科学哲学公认观点是, 科学考察是从对事实的自由而无偏见的观察开始的, 接着对

收稿日期: 2006-09-01

作者简介: 陈洪(1943—), 男, 北京人, 教授, 博士, 主要从事 DNA 突变、核酸药物、超临界 CO<sub>2</sub> 方面的研究.

这些事实进行归纳推理而形成一般规律,最后进一步归纳到更广的一般性,形成人们所称的理论,再把这些规律和理论预言的结果同所观察的事实比较,核对规律和理论的真实性。约翰·斯图亚特·穆勒总结了这种科学归纳观点,至今这个观点仍然是科学研究方法论的重要内容,并在试验性科学研究中被广泛采用<sup>[1]</sup>。

## 1.2 演绎

进入 20 世纪,在维也纳学派和美国实用主义者的著作中出现了科学解释的“假定-推理模式”,直到 1948 年,“假定-推论模式”才被当作科学解释的一种正确模式确定下来<sup>[2]</sup>。“假定-推论模式”也称为“演绎法”,演绎法认为,所有真实的科学解释都有一个共同的逻辑结构:它们都至少包括一个一般规律,再加上有关起始的或边界条件的阐述,即前提,从这个前提出发,使用一般规律,我们就可以逻辑地推出结论,即关于我们所要解释的事件的阐述,在这个推论过程中我们不需要借助任何其他帮助,而只需要逻辑推理。这种方法在理论研究(如理论物理、量子化学、宇宙学等)中经常使用。

## 2 科学结论的逻辑问题

科学归纳观点认为,科学以经验开始,通过观察和实验的加工,借助归纳法建立起一般规律。然而,在证明归纳的正确性方面存在一个逻辑问题,自从休谟(古希腊哲学家)以来的哲学家一直为这个问题感到忧虑。举一个具体的例子:人们从太阳在早晨升起这个经验中推断出“太阳总是在早上升起”这个一般规律,尽管这个规律在我们现在的宇宙条件下是真的,然而,这个规律是以经验为基础的,是站不住脚的,因为从逻辑上讲,我们根本不可能保证迄今所经历过的事件必然和将要发生的事件一模一样。逻辑不能保证,从真的前提一定推出真的结论,推断将来要发生的事件在逻辑上是不能以过去的经验为基础的,因此,从特定事例归纳到普遍规律,在方法上需要一种非逻辑跳跃。而只有“数学归纳法”才经得起逻辑的考验。休谟并不否认我们不断地把个别事例一般化而得出“理论”,但他否认这种归纳在逻辑上是正确的,这就是著名的“归纳问题”。

这里向我们提出一个严肃的问题:如何把观察和实验的材料使用归纳法建立结论?我们的一切观察和实验都是在一定条件下进行的,因此,我们的结论是在这个条件下的结论,任何超出实验条件的推论(尤其是一般规律)在逻辑上都是禁止的。然而,

逻辑的禁止不等于不可以推论,事实上,无论科学研究,还是工程技术工作,推论是不可避免的。推论的真实程度可以用犯错误的概率来度量:第一类错误为“弃真”,第二类错误为“存伪”,这两类错误的概率都可以用“假设检验”的基本方法计算出来。我们必须小心翼翼地外推,一般说来,一个结论的外推不能超过试验区间的  $1/3$ ,大范围的外推不但逻辑上不允许,在科学研究和工程技术上也是危险的,因为可能导致错误的结论。不管什么时候,只要说某种关系在低至 5%,甚至 1% 的显著性水平上是有统计意义的,就等于承认了这样的判决:即接受(yes)一个虚假的假设的风险要比拒绝(no)一个真实的假设的风险大,或拒绝(no)一个真实的假设的风险比接受(yes)一个虚假的假设的风险小。例如,问题:白糖是不是甜的?(假如我们不知道白糖甜不甜)假设答案有:白糖是甜的(真);白糖是苦的(假);白糖是酸的(假);白糖是辣的(假)等等。“弃真”就是拒绝“白糖是甜的”这一假设,其结果是我们犯了“弃真”的错误;“存伪”就是接受“白糖是苦的、白糖是酸的、白糖是辣的”等假设答案,其结果是我们犯了“存伪”的错误。在这个例子中,“弃真”犯错误的次数为 1 次,而“存伪”犯错误的次数为 3 次或更多,即拒绝(no)一个真实假设的风险比接受(yes)一个虚假假设的风险小。

科学研究的结论实际上是某个问题的答案假设,事实上在科学发展过程中,我们遇到很多同一问题有几个答案,甚至相互矛盾的答案的情况,这些答案都可以给这个问题以解释,然而只有一个答案为“真”。这时候,接受其中一个答案(可能为真,也可能为假)比拒绝所有答案要冒更大的风险。科学家的任务是为每一种答案寻找证据或寻找反证,在证据和反证之间,反证的作用更强,因为证据需要无限多(穷举法,现实是不可能的),而反证只需一例就可以。对于找到反证的“科学结论”,我们不说这个结论存在一个例外,而说这个结论是不成立的,所以被拒绝。对于找不到反证的答案(科学结论),为“真”,并被科学家暂时接受,而寻找证据和反证的过程将贯穿整个的科学活动,并成为科学研究的主要目标之一。

从归纳法或演绎法得出的结论永远也不能证明任何事情实质上是真的,但是你能证明某些事情实质上是假的,我们可以把它当作科学方法论的一个重要的论断。让我们再举例说明这一论断,问题:地球上存在不存在黄金?我们可以给出两个假设答

案,其一,“地球上存在黄金”;其二,“地球上不存在黄金”。如何证明这两个结论的真伪?要证明第一个结论,只须在地球的某个地方找到一点点黄金,这个结论就成立;要证明第二个结论的真伪却不那么容易,我们必须翻遍地球的每一个角落:从地表到地心,从陆地到海洋,如果没有发现黄金,第二个结论成立,如果在某地发现了一点点黄金,第二个结论就被拒绝。如果第一答案为“真”,第二个答案就是它的证伪,反之亦然。

### 3 科学结论的证实和证伪

科学结论的“证实”和“证伪”很早就受到哲学家的关注,休谟认为,在归纳和演绎之间,在证明和反驳之间,在证实和证伪之间,在维护真理和否认真理之间存在着基本的不对称。单个的论断不管有多少,我们都不能通过逻辑从中导出普遍的结论,但是,借助逻辑推理,只需一个论断,我们就能证明任何普遍的论断在逻辑上是矛盾的,而拒绝接受它。我们可以用人们爱用的波普(奥地利科学哲学家)曾经使用过的例子来说明这个道理:不管你看到的白天鹅有多少,都不能推断说所有的天鹅都是白的,但是只要看到有一只天鹅是黑的,就足以拒绝“所有天鹅都是白的”这个结论<sup>[3]</sup>。波普在研究科学结论的分类时,使用了这个基本的不对称原理:科学本质上是一系列命题的集合,现实世界的综合命题本体,至少在原理上可以用经验的观察来证伪的,这就是科学,科学不是以它的学科内容或声称掌握某种知识的确定性为特征,而是以建立和检验命题的方法为特征的。

波普认为,真正的科学理论和伪科学理论间的界限在于,不是是否能由经验证实,而是是否能由实验对它们证伪,或者说它们是否有被证伪的可能性。在科学史中,没有一种理论比牛顿理论有那么多的证实材料和可靠性,但是爱因斯坦的一个伪证,就使牛顿定律的局限性显示出来,牛顿理论的普适性也就终结了。然而,科学和非科学之间所划的界线并不是绝对的:可证伪性和可证实性都是程度性的问题<sup>[4]</sup>。换句话说,我们应该把划分标准看作是描述知识的连续区间,在这区间的一端我们所看到的是某种“硬的”自然科学,如物理学和化学(在与之相邻的地方我们找到“较软的”科学,如生物进化论、地质学和宇宙论),在这区间的另一端我们可以找到诗歌、艺术、文学批评等等。历史和所有社会科学分布在这两端中间的某个地方,很有可能是在这个连续

区间中更靠近科学的一端,而不是在靠近非科学的一端。

波普强调在证实和证伪之间存在不对称的思想有一个理由,从严格的逻辑观点来说,我们永远也不能因为某个假说和事实相符而断言说它是真的。从事实的真实性到“理论”的真实性的推理,暗藏着我们犯了“肯定结果”的逻辑谬误。另一方面我们又能够用事实来否定“理论”的真实性,因为从缺乏事实到“理论”虚假的推理过程中,我们借助了“否定结果”这种在逻辑上是正确的推理过程。用一个便于记忆的公式来总结全部争论,我们可以说:没有证实的逻辑,但是有反驳的逻辑。

简而言之,一个理论是被证实了的,不是由于它和很多事实相一致,而是由于我们不能找出任何事实来拒绝它。一个理论的通用性越强,蕴涵的范围越广,就越容易被证伪,从这个意义上说,人们普遍地偏爱越来越综合的科学理论也许是由于人们已经暗中认识到了这样的事实,即科学进步是以理论的积累为特征的,而理论已经历了严厉的检验。波普还认为:理论应该简单到可证伪的程度,理论越简单,理论的可观察的含义就越严格,从而它的可检验性就越大。正是由于简单的理论具有这些性质,我们才追求理论的简单性<sup>[4]</sup>。

### 4 科学结论的解释功能和预言功能

任何科学结论都具有解释功能和预言功能。从词语的广义上来说,解释是回答“为什么”的问题,就是把那些神秘的和人们不熟悉的事件变成人们所共知的、熟悉的东西。预言是回答“将如何”的问题,即在事件发生之前告诉人们事件发生的时间、地点、状态、危害、结构等。预言仅仅要求弄清楚相关的因素,然而对于解释来说,事情就复杂得多了。例如:最小二乘法回归的外推法是各种各样预言方法中的一种,而回归本身可以不需要依赖什么理论,不管在回归的过程中各种相关的变量之间是什么关系,而且其中也很少是属于原因和结果的概念。最小二乘法并没有解释任何东西,要解释回归变量间的因果关系,还需要其他的“基本理论”。

“解释”发生在事件之后,而“预言”发生在事件之前。对于解释来说,我们是从需要解释的事件出发,找到了至少一条普遍规律和一套起始的条件,这些条件在逻辑上包含了对所要解释的事件的说明。换言之,用一个特别的原因作为对一个事件的解释只不过是把所要解释的事件归纳入一般规律或归纳

入一套规律。对于预言来说,我们是从一条一般规律和一套起始条件出发,从中我们推论出关于一个未知事件的说明。在科学上,预言常被用来检验普遍规律是否在事实上得到确认,解释只不过是“倒写的预言”,因此解释的本质和预言的本质之间有着完美的、逻辑的对称,被称为“对称论题”,它构成了科学解释的“假定-推理”或“覆盖律模式”的核心,这个模式的关键是,它所运用的是演绎法,而不是其他的逻辑论证法则。在解释中所用到的一般规律并不是通过把个别例子进行归纳一般化而引导出来的,一般规律仅仅是一种假定,这个假定可以通过把一般规律运用于对个别事件的预言对这个规律进行检验,但是一般规律本身不能被简化为对事件的观察结果。预言是科学理论的一个重要功能,预言是对事物的未来状态、行为、结果的描述。然而,除了物理、化学等实验科学的理论具有较强的预言能力,其他科学,尤其是社会科学的预言能力是有限的。当我们从科学实验的素材中归纳结论时,必须保持清醒的头脑:这个结论是在实验条件下做出的,而对于结论的外推实际上是完成一种预言,尽管这种预言,如前所述,在逻辑上是不成立的,但实际上是有用的。

## 5 结论

在实验科学、工程技术等领域经常使用“归纳

法”得出结论,这是以经验为基础的研究方法,而有限次的经验不能保证结论的普遍性和真理性,因此在科学家选择理论时可能犯“弃真”和“存伪”的错误,而“存伪”的风险比“弃真”的风险大。在理论研究领域,“演绎”是常用的方法,演绎是以逻辑为基础的。我们都不能通过逻辑从个别结论导出普遍结论,但是,借助逻辑推理,只需一个论断,我们就能证明任何普遍的论断在逻辑上是矛盾的,而拒绝接受它。以上两个原则就是我们提醒科学家和工程师在工作中特别注意的问题。

从更深的层次讨论科学逻辑问题必然涉及哲学。自然界是统一的,但自然科学中有两套描述体系,即确定论和概率论,现在我们讨论的逻辑体系是以确定论为哲学基础的。当我们从确定论和概率论的根深蒂固的人为对立中解脱出来,对偶然性和必然性哲学范畴的认识也必然随之深化,这是一个尚待解决的涉及现代科学逻辑体系的根本性问题。

### 参考文献:

- [1] Stuart J. A system of logic [M]. Honolulu: University Press of the Pacific, 2002.
- [2] 约翰·洛西. 科学哲学历史导论 [M]. 邱仁宗译. 武汉:华中工学院出版社,1982:178.
- [3] 卡尔·波普. 科学发现的逻辑 [M]. 查汝强,邱仁宗,译. 北京:科学出版社,1986:86.
- [4] 卡尔·波普. 猜测与反驳 [M]. 傅季重,纪树立,周昌忠,等译. 上海:上海译文出版社,1986.

## LOGIC OF SCIENTIFIC CONCLUSION

CHEN Hong<sup>1</sup>, SUN Bao-guo<sup>2</sup>, LI Yu-min<sup>3</sup>, DU Yi<sup>4</sup>

(1. Duke University, NC 27708, USA; ; 2. Beijing Technology and Business University, Beijing 100037, China; 3. Inst. Radiation Med., Chinese Acad. Med. Sci., Tianjin 300192, China; 4. Shanghai Kaixin Biotech Co., Shanghai 201809, China)

**Abstract:** Logic of scientific conclusion is discussed in the paper: there is a limitation of extension of a scientific conclusion since there is a “falsehood of inductive logic” from the special objects to a common law. Popper’s view of point about confirmation and falsificationism in scientific conclusions is told: the nature of science is an assemble of a serious of propositions. The propositions themselves, at least in principle, could be falsified by observation of the experiences. The science is with a character to set up and to test the propositions, but the scientific contents or knowledge. Finally, the function of explanation and forecast of scientific conclusion is also discussed.

**Key words:** Logic; confirmation; falsification; scientific conclusion

(责任编辑:叶红波)