

论近代科学研究方法的特征

张礼建, 郑荣娟

(重庆大学 贸易与行政学院, 重庆 400030)

摘要:近代科学研究方法通过以近代科学的形成、发展过程为线索,在理清各阶段发展的特征基础上,着重从近代科学发展中具有较大影响的科学家和哲学家的学说和思想,特别是形成的研究方法,概括出近代科学研究方法的特征,阐明近代科学的发展与近代科学研究方法之间的紧密关系。

关键词:近代科学;研究方法;研究特征

中图分类号:G304 **文献标识码:**A **文章编号:**1008-5831(2004)05-0074-04

On the Characteristic of Research Methods for Latter-day Science

ZHANG Li-jian, ZHENG Rong-juan

(College of Trade and Public Administration, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

Abstract: Based on elaborating latter-day science and its characteristics, this paper regards the forming and development process of the latter-day scientific research methods in latter-day science as the clue, probe the thinking and methods of influential scientists and powerful philosophers during the course of latter-day scientific research, and study the inter-dynamic relation between the latter-day science and the research methods of the later-day science, then summarizes the basic characteristics of the latter-day natural science research methods. It is benefit for understanding the great effect of the characteristics of the latter-day natural science research methods in forming, developing and perfecting of latter-day science.

Key words: latter-day science; research methods; characteristic of research

从近代科学兴起到牛顿经典力学建立这段科学发展史来考察,经过从哥白尼、开普勒、伽利略开始觉醒,通过笛卡尔、弗兰西斯·培根、莱布尼茨和牛顿等一些大科学家和哲学家的共同努力,对近代科学的研究形成了几种具有代表性的科学研究方法。这些方法在我们今天从科学史角度来看,形成了与古代、现代不同的独特的科学研究方法特征。

一、近代科学方法的孕育及其形成的基础

现代意义上的科学之所以没在古希腊罗马出现,其主要原因是学者传统和工匠传统的长期分离,缺乏理性精神和实验精神的结合。我们认为古希腊科学的基本特征是:一方面把经验常识作为科学起源和检验科学理论的标准;另一方面处于上层地位的学者们崇尚理性思维,强调逻辑的严谨性,同时蔑视手工艺人和感性经验。这集中表现在亚里斯多德三段论的演绎系统和欧几里德的几何公理化方法。

这种演绎为主的学术氛围不利于实验理性的产生。古罗马只是从实用角度出发,轻视理论科学的总结。古希腊的这种“科学”以自然哲学的面目呈现出来,以一种思辨形式考察自然。

在这样的情况下形成了古代的一种研究方法特征:思辨、猜测,注重逻辑的推导。在一定程度上讲,在古希腊并没有真正使经验概括的知识转化为批判和反思的对象,结果理性推理和感性经验一直处于分裂和对立状态。所以,古希腊罗马时代不会产生自然科学。当然在后期出现的阿基米德,他通过实验注重技术并运用数学分析中的穷竭法求面积和体积,总结了杠杆原理和浮力定理,从而奠定了静力学的基础。这有点接近近代科学研究的方法。正如科学史家丹皮尔所认为的:“他的工作比任何别的希腊人的工作都更具有把数学和实验研究结合起来的真正现代精神。在结合的时候,只解决一定的有

* 收稿日期:2004-05-16

作者简介:张礼建(1963-),男,四川达川人,重庆大学贸易与行政学院副教授,主要从事科学思想史、科学方法论研究。

限的问题,提出假说只是为了求得它们逻辑推论,这种推论最初是用演绎方法求得的,然后又用观察或实验方法加以检验。”^[1]所以我们认为他的这种实验理性蕴含了近代科学实验的萌芽,非常具有近代科学研究方法的特点。但后来的古代学者们并没把这种注重实验的方法进行下去。中世纪,天启信仰扼杀了人们的科学理性,更加不可能产生独立的自然科学。但到了中世纪后期,奥卡姆提出了一个方法论原则,即“不要增加超过需要的实体”。^[1]他力图用“奥卡姆剃刀”攻击经院哲学,为结束经院哲学在中世纪独占局面作出了一定贡献。具有近代科学思想先驱者罗吉尔·培根,对经院哲学的形式主义方法提出了猛烈批评。他提倡用实验方法去研究自然科学,同时也很重视数学方法。他认为数学推理的结论应由实验经验加以确证。他倡导的这种经验主义和理性主义相结合的研究方法在阿基米德那里只是开端,到了他这里却提到了原则的高度,以令人耳目一新的面貌“预演了近代科学研究方法及其基本思想。”^[2]所以,就有这样的说法,“如果说古希腊科学离近代科学已是一步之差,那么中世纪后期就已到了科学的边缘。古希腊科学的理论优势加上中世纪科学思想的先入为主,造就了近代科学诞生的温床,同时为近代科学研究方法的最终形成提供了丰富的养分。”^[3]文艺复兴时期达·芬奇把对实验的剖析和光学原理应用于艺术中的抽象思维,实现了感性经验与理性经验在近代的第一次综合,到弗兰西斯·培根提倡“经验和理性职能的真正的合法的婚配”,并认为这种“婚配”将使工匠的手艺因运用科学方法而变得更有成效。所以说,正是在这种前提条件中孕育之后的结合和成熟,才具有近代科学研究方法的独特性。

二、近代科学研究方法的在科学研究的过程中逐渐展现出的特征

在伽利略时代之前的近代科学研究方法是萌芽状态,只有从伽利略之后,运用于科学研究的实验方法才破土而出,真正实现了两种传统的结合,感性经验真正地转化为理性分析和概念批判的对象,近代科学才作为一种更高级的姿态出现。

首先是理想实验方法的凸现。近代首先大力倡导实验方法的是罗吉尔·培根和达·芬奇。到了伽利略更创造了一种具有时代特色的理想化实验,其理想实验方法是在实验者限定的条件下对自然界的积极怀疑,而不是以往培根所主张的观察实验即只对

自然界自发出现的现象纯粹观察。伽利略坚持认为,“我们能够从一些实验中引出某些超越了经验的有效结论。”^[4]他用因果关系对此作了充分的解释,认为通过发现一个单一事实的原因所获的知识,为心灵理解和确定其他事实提供了准备,不需求助于实验。伽利略针对亚里斯多德的力学论断:“重的物体比轻的物体下落速度更快”、“力是产生运动的原因”等传统观念,从逻辑上和实验上进行了分析反驳和检验,使实验方法系统化并上升到理想高度,奠定了近代研究方法的基础。

实验方法在近代之所以成为核心方法,是这种方法促进了近代实验科学或经验科学发展,并产生了系统的能较好地解释自然及其现象的理论知识体系,使实证科学得到广泛的认同。由此,近代自然科学走上了分门别类的研究过程中。在16、17世纪形成了以力学为带头学科,数学、天文学、化学、生物学、地质学等各门自然学科的配套发展,这些学科形成的科学知识只有在实验方法进行验证后才能得以最终确立,使人们对自然的认识和研究更加深入和精确。正如恩格斯所说:“在希腊人那里是天才直觉的东西,在我们这里是严格科学的以实验为依据的研究结果,因而,也就具有确定得多和明白得多的形式。”^[5]

在近代,人们对实验方法进行了自觉和广泛的运用,并取得了一系列成就。例如:吉尔伯特的磁学实验;赫尔蒙特运用实验论证水是形成万物的质料;帕斯卡利用气压计做实验得出帕斯卡定律;波义耳将严格的实验方法引入化学得出波义耳定理;梅奥通过实验发现氧的存在;牛顿的三棱镜实验得出光的微粒论,同时,惠更斯提出的光的波动说,于19世纪中期也得到了实验证实;17世纪胡克对空气进入动物血以及由此产生的结果进行了实验研究等。

哲学家们积极倡导实验方法。弗兰西斯·培根在他的著作中第一次系统地提出了实验方法和归纳方法,构建了唯物主义经验论。他认为,“科学是实验的科学”。“自然的奥秘也是在技术的干扰之下比在其自然活动时容易表露出来”。^[6]洛克认为,一切知识最终都来自于经验,它们或者是感觉直接给予我们的,或者是过去的感觉给予我们的观念的复合^[7]。吉尔伯特特别强调实践经验,认为只有通过实验才能直接研究自然,知识来源于经验而不是直觉或推测。他的实验号召力不仅使他在磁、电学领域取得很大成就,而且对后人也有极大的影响。

其次是数学方法在近代自然科学中的广泛运用。在古代,柏拉图继承了毕达哥拉斯派的数学方法,同时又从本体论和认识论方面纠正了毕达哥拉斯提出的“数学和谐性假说”。柏拉图并不把数学模型强加给自然现象,而是从自然现象中抽取出现象之中的和谐数学关系,也就是说柏拉图运用数学作为工具或方法把他所主张的“理念”与自然现象相联系。这种“数学和谐性”就是柏拉图的数学理性,也是数学主义的由来。

柏拉图强调数学方法在认识自然中的地位,为后来近代科学家们自觉寻求自然现象的内在数学定量关系做出了重大贡献。

近代哥白尼突破了托勒密体系天文几何学方法的复杂性,“他(哥白尼)的观念把天文学事实抛入一个比较简单和比较和谐的数学秩序之中”。^[4]哥白尼点燃了柏拉图数学主义在近代的复兴之火。开普勒把第谷观察到的天体现象也归结为数学的和谐性,从而支持了新的天文学体系,得出行星三定律。“所有确定的知识必定是它们的定量特征的知识,完美的知识总是数学的”。^[4]伽利略、笛卡尔和牛顿在数学主义从自然观转变到强调方法论过程中起了重要作用,并且使得“几何学主义在自然中取得了胜利”。^[4]伽利略在近代第一个系统采用数学方法,坚持认为大自然这本书是用数学语言写出的。在他看来,只有用数学证明了的,才是科学的。笛卡尔创立的解析几何学,实现了几何学与代数的统一。后来,牛顿继承了伽利略的方法论思想,创造了微积分这一数学形式来表述力学规律,并认为“自然在很大程度上呈现出一种简单、均匀的数学秩序”。^[4]他用“自然哲学的数学原理”作为其伟大著作的书名,也充分说明数学方法在牛顿研究方法中的根本地位。虽然弗兰西斯·培根强调科学方法中的经验性质,但他也曾意识到数学的科学作用,他说:“当物理学由数学来限时,对自然界的研究就能很好地进行。”^[8]莱布尼茨也认为科学知识应该数学化。他把代数符号运用于演绎逻辑中创立了数理逻辑,这种新的严密逻辑规则取代了传统演绎规则,使科学方法向形式化和精确化方向推进。

一系列数学上的成就使得数学方法在近代自然科学中基本被确定。复兴的数学主义或数学方法在近代成了科学家进行理论思维的辅助工具和表现方式,用以揭示自然客体对象的内在结构和规律。

其三是数学方法和实验方法的结合是近代科学

研究方法的最显著特征。我们知道在古代前期,数学方法和实验方法只是分别从属于长期对立的学者传统和工匠传统。古代后期,阿基米德有了实验方法和数学方法结合的开端,但在那时只是作为自然知识或自然哲学的一部分。中世纪后期的罗·培根同时重视实验方法和数学方法,但在实际中并没有真正把它们结合起来。直至近代,伽利略对理想实验过程进行解释时,运用了数学方法把实验中的斜面处理为量的组合,并在定量分析推理过程中去除了阻力、摩擦力以及能量损耗从而建立了精密的科学理想方法。正如亚·沃尔夫说的:“伽利略对于落体定律、摆和抛射体运动的研究,提供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。”^[9]也就是说,实验——数学方法在伽利略手中得到了发展与完善。同时与以往不同,伽利略在研究中的这一方法特征是在近代自然科学完全摆脱了旧自然哲学环境下形成的。一方面在实验中运用数学方法进行反复的精确测量,使自然定律的数学具有经验的强力支持,从而彻底摆脱了神秘主义的目的论。“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”。^[1]另一方面他在实验中并不满足于经验直观,而是把这种直观转化为数学形式或对日常经验采用科学抽象和理想化方法。“伽利略对于经验的这种超越并非一种哲学上的自觉,而是由科学区别于常识的本质特征决定的一种科学家的自发意识。”^[10]

实验方法作为检验认识事物标准,保证了经验科学的确定性;数学方法又保证了科学的精确性。伽利略的实验——数学方法同时实现了经验科学的确定性与精确性。因此说,伽利略对近代精密科学的形成和发展具有不可磨灭的功绩。实验——数学方法是近代科学研究中的一般程序和经典方法,伽利略就是这种科学研究方法和传统的奠基人。

诚然,把这种方法加以巩固并典型化的是牛顿。他认为力学体系的正确性和精确性应由实验来检验。在实验——数学方法上,他吸收了亚里斯多德“归纳——演绎”方法的合理性,实现了归纳——演绎法与实验——数学方法的综合。他还把实验——数学方法分为三个主要步骤:首先通过实验对观察现象进行化简;其次是借助微积分对实验化简后的现象进行阐述;再次进行严格的实验来证实最终的结论。他在伽利略基础上使实验——数学方法更进一步地完善。近代物理学就是在伽利略和牛顿把数

学分析方法引入物理实验之后,力学、物理学以至整个近代科学,才真正开始发展为精密科学。

其四是假说方法与一套严密的逻辑推导规则相结合也是近代科学研究的方法特征。由于实验观察方法和数学方法,近代科学才具有确定性和精确性,但科学理论的形成,这些经验方法远远不够,还必须有逻辑推理的理论思维——科学假说。科学假说是针对某一旧理论无法说明或解释新的事实和新现象,在资料收集比较丰富的基础上,提出的一种假定性理论说明。这个假说是否正确或能否上升为科学理论,要求对材料和现象进行一系列的逻辑推理和观察实验论证。如果论证结果正确,就要逐步系统化和合理化使之成为普遍接受的科学理论。哥白尼的“日心说”和开普勒的行星运动定律在很大程度上是一种数学假说,这个数学假说是基于毕达哥拉斯学派的“数学的和谐性”思辨,但不是先验的,为了论证假说,他们运用了大量的数学方法来分析归纳行星运动。开普勒对此就有很明确的表示“有效的数学假说必须是在观察到的世界中能够严格地加以证实的假说”。^[4]

在假说论证过程中必须要以严密的逻辑推理来保证。最早对假说引入一套完整的逻辑推理的是笛卡尔,为了辩护他的涡旋假说,他提出了“以直观——演绎的逻辑方法为核心,以事实验证为补充的逻辑模式。”^[10]伽利略在反驳亚里斯多德的论断时,也曾在假设的基础上,运用分析逻辑推理的方法进行论证。牛顿虽然主观上竭力排斥假说,但是他的引力论、绝对时空观、光的微粒说以及以太说等都采用了假说的思辨方法。他认为自己的理论根本不是一个猜测性假说,原因在于:他认为在简化的实验中,对数学表征的定律,是通过再次严格实验进行一系列的合理推理、归纳,作出的最一般结论形式。他还认为,“可以把他的方法称为从现象中演绎出运动原理的方法。”他声称,他的力学三大定律和万有引力定律是用分析——综合方法发现的。所以,牛顿把他的力学称为推理力学。其实,归纳——演绎或分析——综合等逻辑方法可以说在牛顿的假说成就中已得到充分的展现。我们知道,近代前期只有力学达到理论综合局面,其他领域只是处于资料收集阶段。19世纪自然科学进入了全面发展和理论大综合时期,需要系统地整理大量的积累经验材料,使之上升为理论,从而提出了一系列的科学假说。如:门捷列夫的化学元素周期律利用假设作前提在归纳、

分析元素性质的基础上创立了元素周期律理论;康德——拉普拉斯的星云假说中也运用了分析和综合方法;赖尔的地质渐变论运用了“将今论古”的历史比较方法;细胞学说和生物进化论的创立中也大量运用了比较、分类、归纳等逻辑方法。科学假说在近代后期成为了一种重要的研究方法,同时带动了分析、比较、分类、归纳、演绎等逻辑规则的运用与发展,为辩证法的发展奠定了基础。

三、结束语

从历史角度看,近代科学研究方法的形成及其特点是与近代科学变革、发展及其思想倡导密切相关的。尤其是实验科学的崛起,唯物主义经验论的确立,使自然科学在与经院哲学传统斗争中不断取得胜利。数学主义在近代的复兴,数学——实验方法及其与归纳——演绎等逻辑方法的综合,促使近代精密科学的形成发展与完善。近代精密科学把对自然的研究提升到第一位,简化了人类对自然的认识和研究,突破了古代自然哲学的目的中心论。如果说近代自然科学是因为它的自身特点,才有整个科学发展史上的辉煌,那么近代科学研究方法的独特性一方面是由于从近代科学革命所带来的突破性;另一方面原因是具有一定思想影响的科学家和哲学家所倡导的主张,以及他们的实证方法和思辨方法相结合造成。

参考文献:

- [1] W·C·丹皮尔. 科学史及其与哲学和宗教的关系[M]. 上海:商务印书馆,1975.
- [2] 鲍健强. 科学思维与科学方法[M]. 贵阳:贵州科技出版社,2002.
- [3] 马建明. 从古代中西特点的比较谈近代中国科学落后的原因[EB/OL]. <http://www.ihns.ac.cn/readers/mjml.htm>.
- [4] 爱德文·阿瑟·伯特. 近代物理科学的形而上学的基础[M]. 徐向东译. 北京:北京大学出版社,2003.
- [5] 恩格斯. 自然辩证法[M]. 北京:人民出版社,1972.
- [6] 吴岱明. 科学研究方法学[M]. 长沙:湖南人民出版社,1987.
- [7] 远德玉,丁云龙. 科学技术发展简史[M]. 沈阳:东北大学出版社,2000.
- [8] 陈衡. 科学研究的方法论[M]. 北京:科学出版社,1982.
- [9] 亚·沃尔夫. 16-17世纪科学、技术和哲学史[M]. 上海:商务印书馆,1985.
- [10] 李建珊. 科技文化的起源与发展[M]. 天津:南开大学出版社,2004.