

# 科学模型的演进及其认识论特征

文 祥<sup>1</sup>, 曹志平<sup>1</sup>, 易显飞<sup>2</sup>

(1. 厦门大学 哲学系, 福建 厦门 361005; 2. 长沙理工大学 科技与社会发展研究所, 湖南 长沙 410114)

**摘 要:** 模型是人们科学理解和解释研究对象的重要桥梁。模型作为对研究对象“数学筹划”的结果, 必然具有简约近似的特征。模型的不同形态和精细程度表征了科学研究的不同发展阶段。随着科技的发展, 科学模型从实体到观念化、从理论到数字化、从定性到定量、从计算机模拟到仿真, 逐步从形象变得抽象, 最后却又从高度抽象回归到形象。另外, 理解科学模型具有的主体性、诠释学特征, 这对于理解当今科学哲学发展的新动向具有启发性。

**关键词:** 科学模型; 模型演进; 认识论特征  
**中图分类号:** B028      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1674-117X(2011)04-0029-05

## Evolution of Scientific Models and Its Characteristics of Epistemology

WEN Xiang<sup>1</sup>, CAO Zhiping<sup>1</sup>, YI Xianfei<sup>2</sup>

(1. Department of Philosophy, Xiamen University, Xiamen Fujian, 361005 China;  
2. Institute of Sci - Tec and Social Development, Changsha University of Science and Technology, Changsha 410114 China)

**Abstract:** In scientific research, model is an important bridge to understand and explain the objects of study. Model, as the research object, is the result of “mathematical projection” and it is bound to be simple and approximate. The different forms and sophistication degree of Models show different stages of development in scientific research. With the development of science and technology, science models have evolved from being physical to conceptualized, theoretical to mathematical, qualitative to quantitative, and computer simulation to reality simulation, which means a gradual development from concrete to abstract, but finally returned to concrete from the high level of abstraction. This process reflects the essential requirements of visualization nature of human thinking.  
**Key words:** science models; evolution of models; characteristics of Epistemology

科学模型,就是以对象原型的各项认知特征为样本、标准或基准进行模拟之后的“凝固了的”概念或理论,可简要分为实物和观念两种基本形态。它是我们理解和解释科学研究对象的基本手段。所以如此,是“由于人们很难真正或真实触及原型,必须借助模型获得对原型的间接接触”<sup>[1]51</sup>。这种情况,在微观领域变得异常突出和明显。科学模型变成了一个具有本体论和认识论双重意义的科学哲学概念。

### 一 科学模型的历史演进

#### (一)从粗糙到精细的实物模型

追溯起来,磨制石器就是以打制石器或自然界天然物为对象进行模拟的产物。早期人类在长期的实践活动不断总结后渐渐懂得了效仿自然。尽管自然物与现代科学研究中的模型相去甚远,但从人类运思的角度来说,与科学模型并无本质区别。人类的认识对象就是从简单逐渐转向复杂,并且后

收稿日期: 2011-03-09  
作者简介: 文 祥(1972-),男,湖南醴陵人,厦门大学博士研究生,主要从事科学史与科学哲学研究;  
曹志平(1965-),男,陕西澄城人,厦门大学教授,博士生导师,主要从事科学哲学研究。  
易显飞(1974-),男,湖南醴陵人,长沙理工大学副教授,博士,主要从事科技哲学和 STS 研究。

面的研究总是直接或间接以前面的制成物为模型。随着人类认识能力的提高和对事物认识的加深,对对象的关注从外部渐次深入到内部,实物模型的制造也更加精细。如用于各种实际工程上的实物模型,在原理、结构、材料等方面都是很复杂的,要求也很高。实物模型的这种变化,既很好地说明了人类科学技术是累积进步的,也表明了人类的认知能力是建立在具有直观性的形象思维基础上的,体现了在人们运思和研究过程之中模型的不可或缺性。

当然,生活中也有大量用于教学演示、参观展览、玩具收藏等功能的各种实物模型,虽不是直接用于科研,但也起到了诠释科技与满足好奇的科普功能,对于从整体上提高和推进人类科技进步也具有一定的作用,仍然显现出了模型的形象性对于人类认知的重要功能。

## (二)从形象到抽象的观念模型

观念模型是指非实物形态的模型。为了便于说明清楚,把简单的观念模型称之为概念模型,复杂系统化的则称为理论模型。前者如脑中的“船”、“汽车”、“物体碰撞”等可感知的“图象”都属于概念模型,后者如牛顿理论、气体分子运动论、相对论等都属理论模型。前者因能在脑中以形象的方式想象出来而易于理解,后者因脑中一下子无法想象出与之对应的“存在物”来而难以理解。但是,如果能将理论模型逐步还原到概念模型,理论模型就变得相对容易理解了。

下面以气体分子运动论为例,来说明理论模型从形象到抽象的发展。该理论从最初提出假设到理论成型,经过了无数人长期的艰苦努力。“早在十七世纪胡克就指出气体的弹性是由于相互独立的硬粒子与器壁相碰而产生的”<sup>[2]3</sup>,“到1738年伯努利认为气体压强是由分子碰撞器壁而产生的。1744年,罗蒙诺索夫说热是分子运动的表现,把机械运动的守恒定律推广到了分子运动的热现象中”<sup>[3]</sup>。“19世纪,克劳修斯、麦克斯韦及玻尔兹曼三位科学家为气体分子运动论的发展做出了重要贡献。到了20世纪,人们仍然在不断发展和完善该理论”。<sup>[2]3</sup>气体分子运动论的基本内容有如下几点:

(1)气体是由分子组成,分子是很小的粒子,彼此间的距离比分子的直径大得多;(2)气体分子以不同的速度在各个方向上作匀速直线运动,直至和其它分子或器壁碰撞时才改变方向;(3)在非碰撞情况下,气体分子之间相互作用是很弱的,甚至可以忽略;(4)气体分子相互碰撞或对器壁的碰撞可认为

是完全弹性碰撞;(5)分子的平均平动动能与热力学温度成正比。<sup>[4]</sup>该理论以气体中大量分子作无规运动的观点为基础,根据力学定律和统计规律,阐明了气体对容器壁的压强是由于大量分子与器壁碰撞而产生,气体温度的升高是分子平均动能增加的结果,初步揭示了气体的扩散、热传导等现象的本质,解释了许多有关气体的实验定律,是联系气体微观粒子行为与宏观现象的初步理论。该理论模型远比简单而形象的概念模型复杂和抽象。

## (三)从定性到定量的数学模型

数学化了的理论模型就称为数学模型。继续来看上面提到的气体分子运动论。该理论发展的初期,还只是一些定性的描述,后来在定量方向不断发展。有以下几个基本公式:(1)波义耳—马略特定律。一定质量的气体,当温度维持不变时,气体的压力和体积的乘积为常数,即: $pV = \text{常数}$ ;(2)盖·吕萨克定律。一定质量的气体,当压力维持不变时,气体的体积与其绝对温度成正比,即: $V/T = \text{常数}$ ;(3)查理定律。一定质量的气体,当体积维持不变时,气体的压力与其绝对温度成正比,即: $p/T = \text{常数}$ 。这3个公式习惯上称为气体三定律。具体应用常为针对一个恒值过程连结的两个气体状态,已知3个参数而求第4个参数。例如:初始压力和体积为 $p_1$ 、 $V_1$ 的气体,经等温膨胀后体积变为 $V_2$ ,则由波义耳—马略特定律,即可求出膨胀后的气体压力为 $p_2 = p_1 V_1 / V_2$ 。但是,至此三条定律都只能从一宏观量到另一宏观量,还没深入到微观量层次。

随着人们的继续努力,后来又有:(4)道尔顿定律。相互不起化学作用的混合气体的总压力等于各种气体分压力之和,即: $p = p_1 + p_2 + \cdots + p_n$ 。该定律表明了各组分气体压力的相互独立和可线性叠加的性质。(5)阿佛加德罗定律。同温同压下,等体积的任何种类气体,均有相同的分子数,或者说相同分子数的不同种类气体占据相同的体积。该定律表明气体分子体积确实可以忽略不计。这两条定律已经深入到气体微观特性及其定量关系的研究,同时较前3条定律也更抽象。

在上述基础上,有科学家综合得出了理想气体的状态方程: $pV = Nm\bar{v}^2/3 = nRT$ 。此方程综合了波—马定律、查理定律和盖斯定律,运用起来更方便,更重要的是它定量地沟通了宏观量与微观量。如,气体的压力是由单位体积中分子的数量、分子的质量和分子的运动速率所决定的,整体表现为“分子群”对器壁碰撞作用的统计平均值的宏观结果,这

是对微观世界物质运动规律的一个深化。不过,该方程所依据的基本假设是忽略气体分子间的作用力和分子体积,以及假设气体分子间的碰撞是完全弹性正碰,因而工程上具体运用时要予以修正。

由此可知,理论模型的数学化从定性到定量的演变是人类认识客观世界的巨大进步。没有对原型的某个或多个特性变化的规律的长期研究和深刻把握是无法建构起定量化的数学模型的。但是,理论模型也变得越来越抽象了。

#### (四)从部分模拟到整体仿真的数字化模型

在自然科学实践中,人们往往认为,一种理论只有成功运用了数学表达才算达到了完善。也就是说,确立了数学模型的理论才是研究得到深入的标志。上面提到的气体分子运动论的数学模型的建立,就是该理论发展深入的重要阶段。不止于此,随着计算机技术的广泛运用,人们对客体研究的广度和深度达到了前所未有的水平。在工程技术中,人们运用有限元的分析方法,将抽象的数学模型输入计算机处理,然后,多种数字化了的性质在计算机上联结起来就能复原出形象的“原型”,也即仿真。这时,理论模型不是更抽象,而是从抽象又回归到了“形象”。

下面以“数字黄河”为例进行扼要分析。自1998年美国原副总统戈尔在一次《数字地球》的演讲之后,数字化思想在中国产生了深远的影响,“数字中国”、“数字北京”、“数字长江”等概念形成并迅速流行。“数字黄河”就是2001年7月水利部黄河水利委员会提出来的。<sup>[5]</sup>意思就是以黄河流域为对象,运用遥感(RS)、数据收集系统(DCS)、全球定位系统(GPS)、地理信息系统(GIS)、网络和多媒体技术、现代通信等高科技手段,建立具有三维虚拟模型的防汛减灾、水量调度、水土保持工程管理等功能的应用系统,为黄河的开发、治理提供决策支持。<sup>[6]</sup>显然,任何单个指标体系的理论模型都是高度抽象的数学模型,但是,功能强大的计算机系统通过数字化处理却可以综合联结多项指标体系,然后以虚拟三维图形直观地模拟“原型黄河”的真实变化图景,这是迄今为止科学模型发展的最高水平。

## 二 科学模型的认识论特征

科学模型经历从形象直观到抽象,又从高度抽象回归到形象直观的这几个阶段,反映了科学模型认识论地位的提升,表现出科学模型具有形象直观性、简约相似性和主体诠释性等认识论特征。

### (一)形象直观性

形象直观性的要求是人类思维的本质要求。文学艺术的创作需要形象思维这个早已是一种共识,而人们认为在抽象的科学研究中似乎应该不是这样的。事实上,科学研究虽然抽象,但仍然具有形象直观的基本要求,“作为科学研究的重要方法,形象化在没有逻辑通道的科学研究初期有着无与伦比的促发思维的作用,经常被科学家采用”。<sup>[1]12</sup>其实不止于此,不管在科学研究的初期还是在科学理论高度抽象化的成熟期,形象直观性思维在人们对事物的认识过程中始终起着基本思维元素的作用。

其实,视觉表象如同视觉感知一样,获得了认知心理学领域内最多的关注。记忆研究表明,使用了表象的人,较之没有使用表象的人,能够更好地回忆信息。<sup>[7]188</sup>认知心理学家艾伦·帕维欧的研究表明:“记忆可视觉表象的名词如桌子、椅子等比抽象名词如自由、公正等效果明显好得多。”他是这样解释的:“在任何时候,人会自发地构建名词的视觉表象,并且,名词越是具体,视觉表象就越丰富,记忆效果就越好。这有助于解释为什么具体的图像常常比词语记忆得更好”。<sup>[7]191</sup>既然简单的概念模型因为“形象”的特点而容易被记忆,那么抽象的理论模型如何才能被理解呢?

回顾一下气体分子运动论,就知道从抽象向形象的还原是理解的需要。我们理解该理论的第1、2、3小点时,总是自然而然地将微观分子想象成在空中漂浮运动的宏观小球。脑中构造不出这幅图景的学生,就会不知所云,不能理解理论。理解第4小点时,必然会想到弹性正碰的图景。如果没有做过这种物理实验或完全没有类似经验,那么这一点将是不可理解的。理由就是不能在脑中还原出“弹性碰撞图象”。科学家的形象思维习惯可以提供例证。“著名物理学家麦克斯韦就有一种把抽象概念转化为形象来思考的习惯,美国数学家斯蒂恩也说过:如果一个特定问题可以转化为一个图形,那么,思想就整体地把握了问题”。<sup>[8]</sup>第5点相对最难理解,需要多步还原。先将分子平均平动动能与宏观物体的动能联系起来,然后将动能与物体运动快慢联系起来,再将快慢与温度高低对应起来,最后才能理解第5点。对于没有这些思维的还原过程或无还原思维能力的人来说,是不能理解这一点的。在抽象的逻辑通道中,可能需要多次“还原”,才能到达形象的“可理解物”,从而达到理解的目的。内格

尔说:“一个真正令人满意的科学说明必须为不熟悉的东西‘还原’为已经熟悉的东西;说明可以被看作是按照熟悉的东西来理解不熟悉的东西的努力,由于渴望着发现和利用正待研究的题材和已经了解的材料之间的结构类比,说明也往往确实是这样的”,<sup>[9]</sup>此话也就是这个意思。由此看来,尽管视觉表象只是知觉经验的心理表征,但这种形象思维却深藏于思维的深处,即使是进行抽象思维时也在发挥作用。

## (二)简约相似性

现实世界中的任何事情都有难以穷尽的性状与联系,科学模型相对于原型来说,不可能完全模拟,即使针对单一性状与联系的模拟,也只能是近似的。比如,人的雕塑或者蜡像,外观尺寸比例应该说做到与真人相同不算很难,面部颜色接近真人肤色就不太容易,而音容笑貌已较难表现了,至于胸中的豪迈气概恐怕无法表达出来。因此,实体模型的制造不能不对某些性状进行省略,只表现主要的方面。对于复杂的数学模型来说,如牛顿理论,必须把物体看成质点,忽略其形状、大小以及物体相互之间的万有引力等方面,否则研究将无法进行下去。由此可知,要构建科学模型必定要对研究对象进行简化。黑格尔有句话说的就是这个意思,“将一个具体事物转变为简单性形式有两种方法:或是通过分析作用丢掉具体事物所具有的一部分多样性而只举出其一种;或是抹煞多样性之间的差异性,而把多种的规定性混合为一种”。<sup>[10]</sup>当然,简化不是随意的,需要遵循一定的规范,这在工程技术中有相似三定理来约束。

## (三)主体诠释性

科学模型的构建,不管是实体模型还是观念模型,都体现了研究对象的可理解性和可解释性。就像吴国盛教授说的:“在数学化这个主题设计之下,自然科学的对象域已经被进行了一系列先天性的规定,这些规定是自然物得以成为自然物的条件,也是科学家接受自然物的方式”。<sup>[11]</sup>这与海德格尔“自然的数学筹划”说的是同一个意思,都是从本体论角度来理解的“预先设置”。现实生活中,科学家理解和解释对象的方式显然不会千篇一律,必然表现出主体的“前理解”的特性。虽然人们习惯上认为“理解”只是人文科学的事情,但实际上自然科学中同样存在诠释学意义上的“理解”。

当代西方科学诠释学的代表人物之一柯克尔曼斯这样说道:“现象学自诞生之日起,就反对一种

单向的自然主义和客观主义的态度来解释科学。现象学所反对的不是科学而是科学主义,也不是经验主义及其成就,而是对科学的实证主义解释”。<sup>[12]</sup>意思是说科学并不是想象中那样的“中立”、“客观”、“与主体无涉”。曹志平教授也认为:“科学解释始于某种前理解结构,前见不仅构成了科学解释的必然内容,而且从本体论上构成了科学解释的可能性条件。如果将科学主体不是看作孤立的、不涉入任何具体的社会环境和文化背景的抽象的人,那么就会发现,具体科学活动中科学主体的判断不能脱离个人前见的制约和影响”。这种“前见”,不但不是科学认识过程所要排斥和剔除的对象,恰恰相反,科学的理解与解释首先要肯定并自觉意识到“前见”的合法存在,承认它是科学活动的先决条件”。<sup>[13]</sup>著名科学家麦克斯韦的一句话暗含了同样的意思。他说:“缺乏训练的探索者所看到的那种最有力地表现出来的特征,也许在经验丰富的科学家看来并不是最基本的现象:任何成功的物理学研究,都依赖于明智地选择什么是被观察到的最重要的现象,并用心灵对那些看上去很吸引人、然而我们还没有充分地在科学研究中获得好处的特征进行随意的抽象。”<sup>[14]</sup>这首先明确地意味着“观察渗透理论”,其次也暗含了主体性的介入是不可避免,也即具有诠释学特征。科学史上,热力学第二定律的多种表达和量子力学的多维解释都是不同理解主体产生不同理论模型的典型范例。

但凡人们运思,必定要用到“凝固了的”概念与理论,因而也一定会涉及到科学模型。观念模型不是别的,正是“凝固了的”人类思维的形式化样式,而实体模型也只是人类思维的“凝固了的”形象化的存在物,是经过“筹划”了的,早已被人类“预先设置”的。从这个意义上讲,观念模型与实体模型只是存在样式的不同,实质一样。从前面科学模型的演进来看,从形象到抽象、从简单到复杂、从定性到定量,以及从数字化模拟到仿真,既可以是对于同一研究对象的不同研究阶段来说的,也可以是对于同一时期不同研究层次的对象来说的,体现了人们在认识事物时历史与逻辑的统一。这对于我们从整体上理解科学技术的发展变化可起到线索的作用。

科学模型,或者是运思的桥梁,或者有助于研发,或者在节约资源、经济、环保、快速、高效等方面发挥着特效。当代计算机的强大功能不仅大大简

化了人工运算,大大加速了研究的进程,还可以在更大程度上综合已有研究成果。当代多种工程技术综合下,运用有限元分析方法,在计算机上进行仿真有着极为重要的意义。例如,在现有技术条件下,运用计算机进行碰撞模拟、战争模拟、核武爆炸模拟、影视制作、动漫研发等等仿真模拟,能够节约大量的人力、物力、财力和时间,并几乎没有污染。

另外,科学模型的几个认识论特征对于我们进行科学研究也具有一定的启发性:

1. 认识到形象直观性要求是人类思维的本质要求,这既有利于自觉地运用形象直观的手段来促进科学研究,也有利于人们自觉地运用形象直观的手段来进行学习或教学。正像前述的气体分子运动论,不能在头脑中还原为“形象模型”的人就能理解。因此在教学实际中,教师总是设法借助图示或计算机来进行形象化演示,帮助学生理解,道理就在这里。事实上,认识此特征还是更深入地认识人类思维规律的切入点。正如我国著名科学家钱学森曾说过的:“形象思维是思维科学研究的突破口”。<sup>[15]</sup>

2. 认识到人类对自然的“数学筹划”内在地包含简约相似的特征,对于人们在认识事物的过程中避免求全责备,自觉抓住主要方面,“悬搁”次要方面,在不同事物之间寻找相似性,把新问题“化归”为已有答案的老问题等,无疑具有启发性。如库仑定律就是受万有引力定律距离平方反比特征的启发而问世的科学模型的成功典范。

3. 认识到科学具有主体性诠释性特征,是“理解科学理解”<sup>[16]</sup>的一个新视角,对于人们认识科学研究是人的活动,是广泛文化背景中的人类活动,以及更加深刻地认识科学的本质都具有启发性。恰如当代科学诠释学的代表人物之一柯克尔曼斯在《论现代自然科学的诠释学特征》一文所说的:“我将努力表明,整个科学过程始终是进行着的即兴表演,它具有彻底的诠释学性质”。<sup>[17]</sup>因此,认识科学具有主体性、诠释性有利于深入理解科学,理解当今英美科学哲学与欧洲大陆科学论融合的趋势,从而跟上当前西方诠释学的现象学科学哲学发展的前沿。

## 参考文献:

- [1] 阎 莉. 整体论视域中的科学模型观[M]. 北京:科学出版社,2008.
- [2] 应纯同. 气体输运理论及应用[M]. 北京:清华大学出版社,1990.
- [3] 徐龙道. 物理学词典[G]. 北京:科学出版社,2004:78.
- [4] 杨德新. 气体分子运动论[M]. 沈阳:辽宁教育出版社,1986:4,104.
- [5] 李国英.“数字黄河”工程建设实践与效果[J]. 中国水利,2008(7).
- [6] 杜 军,张石娃,罗立群. 数字黄河的概念框架和关键技术[J]. 水利水文自动化,2004(1).
- [7] 凯瑟琳·加洛蒂. 认知心理学[M]. 吴国宏,等,译. 西安:陕西师范大学出版社,2005.
- [8] 张 琼,于祺明,刘文君. 科学理论模型的建构[M]. 杭州:浙江科学技术出版社,1990:17.
- [9] 欧内斯特·内格尔. 科学的结构[M]. 徐向东,译. 上海:上海译文出版社,2002:127.
- [10] 黑格尔. 小逻辑[M]. 贺 麟,译. 北京:商务印书馆,2004:247.
- [11] 吴国盛. 让科学回归人文[M]. 南京:江苏人民出版社,2003:145.
- [12] Joseph. J. Koekelmans. *Ideas for a Hermeneutic Phenomenology of the Natural Sciences* [M]. Kluwer Academic Publishers,1993:57.
- [13] 曹志平. 理解与科学解释[M]. 北京:中国社会科学文献出版社,2005:138.
- [14] 杨振宁. 美与理论物理学[J]. 自然辩证法通讯,1988(1).
- [15] 张光鉴,等. 相似论[M]. 南京:江苏科学技术出版社,1992:128.
- [16] M. W. 瓦托夫斯基. 科学思想的概念基础——科学哲学导论[M]. 范岱年,等,译. 北京:求实出版社,1982:7.
- [17] Joseph. J. Koekelmans. *On the Hermeneutic Nature of Modern Natural Science* [J]. *Man and World*,1997,30(3):299-313.

责任编辑:卫 华