

模型研究动态

Development of Model Research

连长云

(长春地质学院, 博士 长春 130026)

利用模型研究自然界的事物、现象和过程是科学研究中的一种重要方法。随着现代科学技术的迅猛发展,特别是电子计算机的广泛普及,模型方法的应用领域日趋扩大,从自然科学、社会科学乃至思维科学,模型方法越来越多地被应用并产生了巨大的社会 and 经济效益。

一、模型及其对科学研究的意义

所谓模型,是指人们为达到某种特定目的而对研究对象所做的一种简化描述。这种描述可以是定性的、也可以是定量的;可以借助于具体的实物,也可以通过抽象的形式。通过研究模型来揭示原型(被研究对象)的形态、特征、本质及发展规律的方法,称为模型方法。H·霍兹认为,“模型是认识主体借助于类比(同源)或其它物质系统和理想系统对这些类比(同源)的运用,是对可能的和现实的过程、关系和功能作物质的或观念的再现的产物”。这一论述概括了模型的认识论特征,指出了模型可以以物质的(物质模型)或观念的(思想模型)形式出现,表明了模型方法在一切科学研究中的意义,具体可以概括为以下几点。

1. 模型是沟通客体(现实世界)和科学理论的桥梁

科研中的绝大部分工作是由形式化过程和建模工作组成的。通过观察和实验,在一定的理论指导下,人们可以建立反映某一研究对象本质特征及规律的模型,并通过不断地修改与完善,使模型尽可能地接近原型。如果经过实践检验,证明模型是正确的,则该模型及相应的建模知识就上升为科学理论。可见,模型是人类打开现实世界大门的一把钥匙,又是通向科学真理的桥梁。

2. 模型是成功地进行科学研究的有效手段

现代科学研究正向三个方向发展:在尺度方向,从宏观领域深入和扩展到微观和宇观领域;在时间方向,研究对象已经从现存的自然物延伸到自

然物的起源及其演化的全过程;在水平方向,科学技术综合的趋势日益增强,出现了“大科学”的概念,研究对象是极为复杂的大系统。在这种情况下,观察越来越失去直观性,实验也越来越难以直接施加于真实对象或系统;而模型方法正好适应了科研发展的这一特点,通过对客体的形式化,建立起模型这样的中介系统,从模型的研究中获得对真实客体的本质特征和演化规律的认识,这就有效地弥补了观察和实验的局限,充分发挥了人的主观能动性,使得科学研究具有了浓厚的理性内含。

3. 科学研究离不开创造性思维,而模型是创造性思维的精髓

众所周知,创造性思维是思维活动中最积极和最富有成果的一种思维形式,也是科学思维的最高形式。科学研究的发展离不开创造性思维的应用。通过综合分析和抽象概括,借助于假说这一形式,对研究对象提出一个崭新的模型是科学研究中的基本方法。因此,模型集中了创造性思维的精华。H·霍兹认为,“想象的可能性借助于模型对它们所实现的对象进行检验,各种理论之间的联系也借助于模型建立起来,发生知识的新的综合,以揭示新的实物和方法,建立新的系统结构”;“认识的目的在于更好地控制我们周围的自然环境和社会环境,更好地支配我们的行为以及我们的体力和脑力活动,从这个基本原理可以得出结论:模型起着特别重要的作用,模型对科学的意义在继续增长”。

4. 模型和科学研究的互动

模型具有典型的动态特征。所谓模型的动态性,指的是模型总是处于变化之中。已经建立的被证明正确的模型对科学研究向更高的阶段发展具有巨大的推动作用;另一方面,科学研究工作的不断深入,资料的逐步累积和认识的渐次提高,又会使现有模型被修正和完善,或者完全被抛弃。模型和科学研究的这种互动特征正是推动科技的持久发展和人们思维方式不断改变的原因之一。

事实上,模型对科学研究的意义似乎更多地在于

于认识论方面,它向科学工作者提供了一种全新的、变化和发展的思维方式。利用模型方法,人们可以避免盲目性和纯经验思想,更多地以理性方式认识事物,从而有效地推动科学技术的进步。

二、模型研究现状

可以说,模型方法已经广泛地应用于自然科学、社会科学和思维科学中,而且在一些领域已经取得了令人瞩目的成果。这一方面是由于现代科学研究的对象已经转向那些非常复杂而庞大的系统,迫切需要应用模型这种研究思路;另一方面也是由于模型方法在研究那些不能或难于直接观察的事物或过程时是行之有效的。纵观当代科学领域中模型研究的现状,可以得出如下一些认识:

1. 模型的研究已不再局限于静止的或单一的事物,而开始触及事物运动变化的过程或多元体系

人们现在已经逐渐认识到,如果不把事物放到其生消演化的历史背景中进行综合分析,那么,要获得对该事物本质特征的认识几乎是不可能的。因此,目前多数建模工作都是基于动态演化模型这一基本思路进行的,时间已不再是无谓的因素,而是事物发展不可缺少的座标。以变质地质学中变质作用演化及其压力—温度—时间轨迹的研究为例。变质作用是发生于地壳中的热事件,在一次变质事件全过程中,温度和压力是随时间进程而连续变化的动态过程。但长期以来,变质相的研究只注意了变质峰期的温压条件,递增变质带概念则侧重于这些条件在空间上的强度分带,变质相系的研究也未能从本质上阐明一次变质事件全过程中压力—温度条件在时间上的变化规律。在这种情况下,以一次变质事件全过程中压力—温度条件随时间而变化的态势和特征为主题的研究出现了。通过这种动态研究,不仅可以了解一个地区当时地壳中的热历史,而且能够对该区当时的大地构造环境及其演化的动力学机制作出有效的分析和判断。可见,研究事物的动态演化模型,可以深刻地认识事物的本质特征,把握事物发展演化的内在规律。此外,将研究对象看作是一个诸要素组成的系统而非单一的孤立事物也是目前模型研究的一个主要特征。

2. 模型方法已经渗透到科学研究的各个领域,成为科技工作者经常采用的一种方法

模型方法最早发端于自然科学,但由于其独特的认识和预测功能,目前已经在社会科学和思维科学中得到了广泛的应用。矿床模型是现代矿床学研究矿床这个难于直接观察的“黑箱”(至多是个“灰箱”)的主要方法。具体研究时,可将成矿条件和控矿因素作为“黑箱”的输入,而把矿床的特征或属性作为“黑箱”的输出,通过研究输入—输出的对应关

系来解剖这个“黑箱”(矿床)。利用已经建立的矿床模型,可以评价和预测一个未知地区的相应的资源特征。我国著名矿床学家张贻侠教授指出,“对于矿床这个复杂的、不能直接看到其形成过程的、又难于解剖的原型来说,模型几乎是唯一可行的研究方法”。经济学领域的经济计量模型是以现有的经济理论作为标准,并假定现有的经济理论是正确的,通过建立经济时间序列之间的数量关系来阐述和再现经济理论;或者从现有的经济时间序列这一基本事实出发,以数据为基础,在不损失重要信息的前提下,建立一个尽可能简洁的经济计量模型。在思维科学领域,随着思维研究的不断发展,探讨人类思维本质的迫切愿望已经成为可能。匈牙利学者福尔曼(Fuhrmann)在香农(Shannon)的信息理论和皮特(M. C. Pitts)的神经元模型基础上,发展了一个新的系统模型。该模型反映了神经系统的复合功能,它将结构与功能、语法和语言融为一体,思路新颖别致、给人以深刻的启迪。当然,由于神经系统的独特性,这方面的研究还有很多工作要作。此外,在人口控制、自然灾害评估与防治、环境系统分析乃至股票预测等领域,模型方法已经成为必不可少的首选方法。

3. 新理论、新方法与新技术影响并渗透到建模工作中

随着科学技术的飞速发展,模型的功用日渐增大,对建模的理论和方法的要求日益迫切。目前,新理论、新方法与新技术的加盟已经使模型研究进入一个新的阶段。这方面的内容主要包括:

(1) 系统思想

所谓系统,是指由两个以上相互联系、相互作用的要素组成的具有一定结构和功能的有机整体。系统论的奠基人贝塔朗菲将系统定义为“处于一定相互联系中的与环境发生关系的各组成部分的总体”。深刻认识系统思想在模型研究中的作用是至关重要的。有了系统的观念,就能明确建模目标与层次,把握建模水平,明了模型的功用与局限,并给予现有模型充分发展完善的余地。例如,矿床是地壳的子系统,地壳是地球的子系统,而地球又是太阳系的子系统。在每一个子系统中建立的模型只适用于该系统,如果要使现有模型推广到较高一级的系统,则模型的改造、发展与完善势在必行。这也是模型动态特征的表现之一。

(2) 模糊系统理论

模糊系统理论是在现代控制论基础上发展而来的。现代控制论针对较高精度和信息完备的复杂系统,从研究对象的内部结构、参数等特征,应用状态函数描述系统行为。在工业领域及航天工程中,现代控制论获得了极大的成功。但对一些信息不完备的系统,应用现代控制论的一套理论进行建模则

难以奏效,因为很难对此类系统建立精确的数学模型。这样,模糊系统理论应运而生了。美国学者扎德(L. A. Zadeh)于1965年首先提出“模糊集”的概念,并利用隶属函数作为刻划和描述模糊量与定性信息的一种量度。到了70年代中期,随着大量的试验工作和卓有成效的科研成果,模糊理论日益成熟。近年来,模糊系统模型已经在诸多科学领域取得了令人瞩目的成就。

(3)灰色系统理论

灰色系统是相对白色系统和黑色系统而言的,它输出的信息不如白色系统完备,却优于黑色系统。白色系统的建模已经发展和完善了一套非常成熟的理论;而黑色系统一般很少见。出现在人们面前的大量客观系统是所谓的知之又不全知的灰色系统。灰色系统建模成为一大急待解决的理论课题。我国学者邓聚龙教授于1982年正式创立了灰色系统理论,通过灰色参数、灰色方程和灰色矩阵来描述灰色系统的行为。应用该理论建立的灰色系统模型已经在农业、工程、船舶、医学等众多领域取得了巨大的经济和社会效益。

(4)非线性观

越来越多的研究表明,一些复杂系统中隐藏着非线性反馈机制,而一些貌似简单的系统却表现出复杂的行为,解决复杂(非线性)系统建模问题迫切需要一套不同于线性系统的新方法。近30年来兴起的灾变论、混沌理论(包括耗散结构理论和分形几何理论)及自组织临界状态等理论,针对的就是非线性系统,因而可称之为非线性理论。利用非线性理论与方法建立的非线性系统模型在探索复杂现象本质等方面已卓有成效。

(5)电子计算机的应用

现代科学技术的发展,如果离开了计算机的应用则黯然失色。电子计算机具有信息储存量大、计算速度快、结果准确等优点,因此特别适合于建立模型这样的探索性工作。除了减轻科研工作者的计算负担外,电子计算机还具有验证和补充模型的功能,有时甚至具有启发建模者灵感的独特效能。目前,电子计算机已被视作科学研究中必不可少的合作者,尤其对复杂系统的建模工作更是如此。

三、模型研究发展趋势

目前,模型的研究正在不断地深化与创新。预计在以下几方面,可能取得新的进展。

1. 信息模型

几乎所有的模型(思想模型)都是建立在理论基础之上,如基于震源孕育理论和地震前兆机理研

究的孕震物理模型;基于耗散结构理论的布鲁塞尔模型等。这种模型的可信度是以其所据理论的可信性为前提的,这就要求理论必须是正确的。这种建模思路导致如下结果:一方面,根据现有理论取舍建模素材;另一方面,对建模素材施加技巧使之满足理论要求,从而达到通过模型解释、说明理论的目的,并将模型与理论的符合程度作为判断模型优劣的标准。信息建模则不受现有理论的束缚,它把侧重点放在依据现有数据而非现有理论模式的方向上,也就是说,综合考虑所有的有用信息,在不漏掉重要信息的条件下,逐步约简,最终建立一个客观的事实模型——信息模型,并与现有理论相互印证。信息模型的建立有可能导致新理论的诞生。

2. 中尺度系统研究

所谓中尺度系统是相对宏观系统和微观系统而言的。现代科学已经在宏观系统“放眼无限”,在微观系统“无微不至”,但在宏观与微观之间的空白地段,即中尺度系统,还缺乏深入的研究。在中尺度系统中,一些物质(如某些病毒),其行为既不能用宏观系统也不能用微观系统的相应理论来解释。因此,研究中尺度系统中物质本质特征及其演化行为将成为模型研究的一个新领域。

3. 建模的定量化

众所周知,定量化是衡量科学发展成熟度的一个标志。在硬科学领域,模型研究的定量化已发展得非常完善,而在众多软科学领域,诸如社会科学、生态科学和地球科学中,模型的定量化却是主要的难点之一。这是因为,软科学领域的绝大多数系统属于信息不完备的灰色系统,或者由系统的时空规模宏大,或者由于系统内部诸要素间的耦合异常复杂,使得它们的模型研究大多仍停留在定性(描述性)阶段,模型揭示的往往是系统的一些表象,而系统内部诸要素间的关联及系统成因和演化的本质信息远未清晰而全面地反映于模型之中。因此,深入研究系统的特征、行为及成因并使之定量化,至少对软科学领域而言是一项长期而紧迫的任务,而新理论、新方法和新技术尤其是电子计算机的应用将有助于这一问题的逐步解决。

总之,科学发展提出的问题远比我们能够回答的问题多得多,这也正是探索真理的模型研究常盛不衰的原因。应该指出,模型具有动态特征,充满探索性和诱惑力,因而建模工作既是一种引人入胜的科研活动,同时也是一门兴味盎然的艺术。可以预料,依托于现代科学最新理论、方法和手段的模型研究将继续有力地推动科学技术研究的创新与进步,同时其自身也将不断地得到完善和发展。

(责任编辑 王宏章)