

# 论科学建模的问题表征理论及其启示

邢红军, 王玉婷, 李杰

**摘要:**当前,科学模型的建构主要有要素取向、行为取向、认知取向和建构取向四种不同的研究取向。要素取向侧重模型建构的要素解析,行为取向关注模型建构的外显认知行为,认知取向注重模型建构的内在认知行为,建构取向强调模型建构的主客体相互作用。尽管这些研究取向从不同侧面反映了模型建构的特质,但建模的认知机制尚未得到有效揭示。鉴于此,本文建构了问题表征取向的科学建模理论,包括抽象表征、赋值表征、图像表征三个外部表征和知识表征、方法表征、数学表征三个内部表征,并得出以下启示:科学建模理论要兼顾理论性与可操作性、兼顾外部表征与内部表征、兼顾静态性与动态性。

**关键词:**模型;科学建模;问题表征;关键能力

**中图分类号:**G633.7 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-0186(2023)02-0116-07

**DOI:**10.19877/j.cnki.kjcf.2023.02.013

自20世纪80年代科学建模教学理论产生以来,模型建构一直受到全世界科学教育界的广泛关注,并在各国的基础教育课程文件中得以体现。所谓科学建模,就是针对自然现象,抽象出其主要特征,依据科学与方法建构出能够对其进行解释的关系与结构,并将这种关系与结构用科学语言进行表达的活动。翟小铭等人的研究表明,模型建构主要有四类不同的研究取向,即要素取向、行为取向、认知取向和建构取向。深入讨论这些模型建构的研究取向,对于建构新的科学建模理论具有重要的启示意义。

## 一、模型建构的研究取向分析

### (一) 要素取向

模型建构的要素取向从科学家的经验与思维特点出发解剖建模过程。这种取向认为,科学建模过程遵循科学认识的一般规律,是一步一步建

构科学模型的过程。这个过程可以被分解为若干要素,模型由一个一个建模要素构成。科学建模教学理论的创立者海斯特斯(Hestenes)等人通过内省与实践相结合的方式,提出模型建构是应用一定的科学理论产生自然过程模型的过程,建模本身是一种“过程性知识”,主要表现为对描述、构想、衍生和验证四种建模要素的运用能力。<sup>[1]</sup>哈伦(Halloun)继承并发展了海斯特斯的思想,认为模型是科学知识的核心,而科学建模就是建构和应用这些知识的过程。<sup>[2]</sup>哈伦认为,在问题解决的过程中,模型的选择、建构、验证、分析和利用是五个重要元素,而科学建模能力则是驾驭这些建模元素的能力。

有研究认为,模型建构的要素取向强调建模过程与专家科学研究过程的一致性,反映的是一种经验的析解。但基于专家经验的析解难以替代对学生建模认知过程的分析,因此,要素分解方

**基金项目:**全国教育科学“十三五”规划2019年度国家一般课题“核心素养的关键能力构成及其表现研究”(BBA190024)。

**作者简介:**邢红军,首都师范大学教师教育学院教授、博士生导师(北京 100048);王玉婷,首都师范大学教育学院博士研究生(北京 100048);李杰,北京第十九中学高级教师(北京 100089)。

法往往会破坏模型建构的整体性，难以真实刻画完整的科学建模过程。<sup>[3]76</sup>

我们认为，模型建构的要素取向本身并无对错之分，关键在于能否找到模型建构的真正要素。从这个意义上看，要素分析方法并没有破坏模型建构的整体性。由于整体由部分构成，该方法实际上是一种行之有效的模型建构方法，重点在于我们如何运用。

## （二）行为取向

如果将模型建构看作刺激与反应的强化过程，模型建构的行为取向就应运而生。这种取向将复杂的科学建模心理认知过程解释为简单的对刺激的反应过程，认为建模教学的目的就是通过强化刺激与反应之间的联系以提高学习者的建模能力。在分析科学建模过程时，这种取向凸显了其中的外显部分，即将现象、结构或过程表征为可用来交流和推理的各种显化模型的过程，而建模能力就是显化模型表征并用它们来交流的能力。这种观点来源于史密斯（Smith）等人的研究。<sup>[4]</sup>

有研究评论，行为取向的观点将复杂的模型建构心理认知过程解释为简单的对刺激的反应过程，过于强调其中的外显成分。因此，这种取向难以深入解释学生在模型建构过程中真实发生的内在认知机制。<sup>[3]76</sup>

我们认为，行为取向对模型建构过程的外显具有一定的合理性。因为人的大脑是一个“黑箱”，模型建构过程的内在认知机制并不能被确切地认知。即便人们提出了一些关于内在认知机制的观点，它们往往也仅是一种假设，最终还是要靠模型建构过程中的外显部分来证实。换言之，模型建构的成功与否，最终还是要靠实验来证实。如果模型（理论）计算的结果与实验的结果一致，该模型就得到了证实。反之，该模型就需要修改或被抛弃。

## （三）认知取向

持认知取向观点的学者重拾被行为取向所抛弃的模型建构“心理、意识”的研究思路，试图揭示模型建构认知发展的内在机理。这种取向认为，科学建模并非简单的模型表征过程，而是一整套的信息接收、加工、提取和输出的过程。外部情境在头脑中形成“心智模型”，心智模型成

为模型建构的核心和推理、解释与预测的工具，科学建模能力则是内在心智行为活动水平的体现。<sup>[5]</sup>这种取向承认“同化”“顺应”在模型建构过程中的作用，认为建模能力表现为对复杂心理过程的操控水平，试图揭示建模过程认知发展的内在调控机理。

有研究认为，对于认知取向中的心智模型，人们只能通过外在表现间接推知其情况。且对于心智模型，学界一直存在“框架理论”和“碎片理论”两种不同观点。前者认为学生心智模型完善的过程是基于“框架”的选择过程，后者则认为是不完整的心智模型内部结构重组的过程。二者孰是孰非，学界尚未达成共识。

我们认为，认知取向的根本问题在于将科学建模的过程与计算机信息处理进行类比，认为科学建模过程就是信息接收、加工、提取和输出的过程。由于将人类大脑的信息处理机制与计算机信息处理的机制的类比尚未获得科学实验的证实，认知取向依然处于理论假设阶段。

## （四）建构取向

建构取向认为，模型建构是行为主体主动与外界发生关联并进行认知操作的过程。这一过程并不是单纯的信息加工，而是以已有知识为基础建构心智模型。这种取向认为，外部环境刺激、内部认知过程和模型建构行为是一个统一的整体。<sup>[6]</sup>特别需要指出的是，这种取向认为，模型建构过程是一个主客体相互作用的过程。也就是说，建构取向既强调内在的思维活动，也强调外在的行为表现。这就使模型建构研究进入了一个较深的理论层次。<sup>[3]77</sup>

我们认为，在模型建构中强调主客体相互作用是一种深刻的建模思想。恩格斯认为，“相互作用是我们从现代自然科学的观点考察整个运动着的物质时首先遇到的东西。……相互作用是事物的真正的终极原因。我们不能追溯到比对这个相互作用的认识更远的地方，因为正是在它背后没有什么要认识的了”<sup>[7]</sup>。历史上，一代代哲学家、心理学家都曾试图揭示相互作用的本质，但都没有从根本上给出一个令人满意的答案。同样地，上述建构取向的模型建构理论也未对模型建构中主客体的相互作用机制给予明确的解释。

不难发现，上述四种模型建构的研究取向各

具特色，但又各存不足。要素取向侧重科学家经验的析解，崇尚还原论的认知取向，重视模型建构的要素构成与作用，也注重要素与整体的关系。行为取向注重建模的外显行为，但对模型建构的内部认知机制关注不够。认知取向注重内在的建模认知过程，但对模型建构的外部认知机制关注不够。建构取向强调建模过程中内隐和外显两方面的特质以及在此过程中的主客体相互作用。如果以科学建模定义中的“抽象、知识、方法”等关键词作为标准来审视，我们发现，以往的科学建模取向都有意无意地忽略了科学建模的关键成分，从而在一定程度上使自身成为“海市蜃楼”。这可能是目前模型建构研究取向存在的最大问题。因此，对模型建构的研究取向展开深入研究，发掘新的思路，就显得尤为必要。

## 二、科学建模的问题表征理论

海斯特斯认为，科学研究（或学习）的过程就是对自然世界建模的过程。事实恰恰如此，通过模型建构，人们不仅能够解决生产、生活中存在的问题，也能够解决科学学习乃至科学研究中存在的问题。因此，可以说模型建构的本质或核心就是问题解决。模型建构的问题表征取向应运而生。

20世纪80年代以后，问题表征研究逐渐从知识贫乏（knowledge-lean）领域转向知识丰富（knowledge-rich）领域。在物理教育领域，麦克德莫特（McDermott）和拉金（Larkin）等人较早对问题表征展开研究。他们将物理问题表征分为四种类型：文字表征、朴素表征、物理表征（或科学理论表征）与数学表征。<sup>[8]</sup>在数学教育领域，赫加蒂（Hegarty）、迈耶（Mayer）和蒙克（Monk）等人根据信息提取方式的不同，将数学问题表征分为三种类型：数字表征、关系表征与图式表征。<sup>[9]</sup>在化学教育领域，约翰斯顿（Johnstone）将化学问题表征分为三种类型：宏观表征、微观（粒子）表征与符号表征。<sup>[10]</sup>各学科领域中问题表征研究的逐渐成熟，为科学建模问题表征理论的提出打下了扎实的基础。

回顾以往模型建构的认知取向，不难发现，它们都各具一定的理论基础，如要素主义、行为心理学、信息加工心理学以及建构主义心理学

等。本研究提出的模型建构问题表征理论以系统科学的协同学理论为基础，把模型建构的问题表征过程看作连续与突变相结合、独立与关联相结合、协同与竞争相结合、控制与自发相结合、必然与偶然相结合的自组织表征过程，从而形成科学建模的问题表征理论。

科学建模的问题表征理论并非“故弄玄虚”，而是要解决以往尚未解决的问题，通过建立新的理论，真正体现科学建模的认知规律。基于这一思想，我们在原始问题自组织表征理论的基础上，建立了包括抽象表征、图像表征、赋值表征、知识表征、方法表征、数学表征的科学建模问题表征理论。不难发现，这一理论与科学建模的定义具有高度一致性。它既涵盖了科学建模定义中的“抽象、知识、方法”等关键词，又弥补了一些缺失的关键词，从而成为一种较好的科学建模理论。

为了使科学建模的问题表征理论更加直观，基于诺贝尔物理学奖得主费曼“我不能普遍地理解任何事物，我心中必须怀着一个特例”<sup>[11]</sup>的思想，我们结合一个真实情境来阐述科学建模的问题表征理论。具体情境如下：人骑自行车转弯需要倾斜一定的角度，当这个角度是多大时，才能实现顺利转弯且不至于倾倒。

### （一）抽象表征

抽象表征是对研究对象进行去粗取精、去伪存真、由此及彼、由表及里的改造和加工的过程。它需要去除研究对象表现出的假象，忽略研究对象的表面特征，抓住研究对象的本质，从而获得关于研究对象的普遍与本质认识。

抽象表征一般包括以下三个过程。（1）隔离。即暂时不考虑研究对象与其他对象之间的联系，只把需要研究的现象从总体现象中抽取出来。（2）简化。即决定舍弃什么，保留什么。这是抓住主要因素、忽略次要因素，对研究对象进行简化的一种方式。（3）提炼。即排除那些非本质因素，在纯粹状态下对研究对象的性质和规律进行考察，把事物的本质因素提取出来。

对于前述人骑自行车转弯的真实情境，在抽象表征过程中就需要忽略自行车的车轮、车身形状等无关因素，把人和自行车抽象成一个直杆。

## (二) 赋值表征

赋值表征是模型建构特有的一种表征状态。在这一环节,需要根据解决问题的要求,设置常量和变量,有时还要设置一些中间变量,即仅在模型建构过程中出现但不在最后的模型表达式中出现的变量。

赋值表征的本质是一种特殊的、高层次的假设。假设是从现有材料出发,对研究对象提出的一种带有推测和假定意义的理论形式。赋值表征中的假设是以科学建模的逻辑前提的面貌出现的。它是在经验事实的启示或引导下,通过自由的约定、创造、发明、想象、洞见和领悟而得到的。

赋值表征一般包括以下三个过程。(1) 联系。即考虑变量的设置与抽象表征的关系,因为正是抽象表征的结果为赋值表征提供了启示与方向。(2) 分析。为了进行恰当的赋值,必须对研究对象进行深入的分析。这种分析既包括机理的分析,如这个现象的本质是什么,可能需要运用哪些知识来解决;又包括状态的分析,如受力情况如何、运动状态如何等。(3) 赋值。即在联系与分析的基础上,尝试对研究对象进行赋值。这种赋值并不是一蹴而就的,它需要不断的尝试、修正,直至符合要求。

对于前述人骑自行车转弯的真实情境,因为要研究人与自行车做匀速圆周运动时的平衡情况,赋值表征过程中需要设如下物理量:(1) 地面对直杆(即人和自行车的抽象表征)的支持力为  $N$ ; (2) 直杆受到的摩擦力为  $f$ ; (3) 直杆的质量为  $m$ , 所受重力为  $mg$ ; (4) 直杆运动速度为  $v$ ; (5) 直杆的质心为  $C$ , 直立时质心到地面的距离为  $L$ ; (6) 转弯半径为  $R$ ; (7) 直杆与地面之间的夹角为  $\theta$ 。

## (三) 图像表征

图像表征是把抽象出来的研究对象用图像的形式加以表征的过程。按照美国心理学家布鲁纳的智力发展过程理论,图像表征指认知主体使用图像或其他图形来反映自身关于外部世界的知识与经验,通过表象的制造将概念符号化,把自己看到的物体画出来或者用一些形状或图表加以表示。

在图像表征中,认知主体可以同时对事物的

两个以上的特征加以反映,甚至可以在头脑中一时间浮现事物的所有因素。因此,图像表征既不受时间顺序的束缚,也不受逻辑顺序的束缚,可以一览无余地表征构成事物的各种要素,是认知主体对事物的全貌和本质结构的感知。<sup>[12]</sup>

图像表征一般包括以下三个过程。(1) 感知。先对抽象表征提炼的研究对象产生感觉,这是对研究对象个别属性的认识;再通过各种感觉的结合,形成对研究对象整体的认识,这是知觉的过程。若研究对象未在眼前真实呈现,人们也能够观念中保持研究对象的形象并使之复现时,就到达了表象阶段。表象不仅是一种映象,还是一种操作,即人的心理操作是可以通过表象的形式进行的。(2) 想象。即在头脑中对已储存的表象进行加工改造以形成新形象的心理过程。想象能突破时间和空间的束缚,并有预见未来的效果。想象一般包括再造想象与创造想象。前者是根据他人的描述或自己的观察,在头脑中形成新形象的过程;后者是不根据他人的描述或自己的观察,在头脑中独立地产生新形象的过程。(3) 作图。即把头脑中的再造想象与创造想象用图像的形式表达出来,或把实验数据用图像的形式表征出来的过程。

对于前述人骑自行车转弯的真实情境,可给出图 1 所示的图像表征。

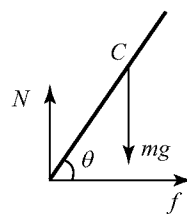


图 1 人骑自行车转弯的图像表征

## (四) 知识表征

知识表征是确定模型建构需要使用的概念和规律并加以运用的过程。知识表征在科学建模过程中处于核心地位,因为科学建模就是运用不同知识来逐步建构模型的过程。如果没有知识表征,科学建模不可能得出最后的结果。

知识表征一般包括以下三个过程。(1) 判断。即先判断模型建构需要用到什么样的知识。这并不容易做到,因为在此过程中所需要的知识往往是隐性的,不是一眼就能看出来的。这一过

程需要我们透过现象看到本质。(2) 提取。人们学习的知识通常都是以认知结构的形式储存在大脑中的, 因此, 需要激活大脑深层的认知操作和记忆中的认知机制, 以完成对所需知识的提取。(3) 应用。即在完成知识提取的基础上, 对其加以应用。

对于前述人骑自行车转弯的真实情境, 知识表征包括二力平衡条件、向心力公式以及力矩平衡原理, 它们需要在模型建构的不同阶段分别加以应用。

#### (五) 方法表征

方法表征是确定模型建构中需要使用的科学方法并加以运用的过程。心理学把科学方法分为强认知方法与弱认知方法。前者是特定专业领域的独特认知方法, 往往与专业知识紧密结合在一起, 不容易被区分开来, 也可称之为学科方法; 后者是可以被运用到各种问题解决过程中的一般策略和方法, 属于通用的问题解决方法, 也可称之为思维方法。模型建构中的方法主要指学科方法而非思维方法。有研究认为, 知识领域的问题解决更多地依赖特殊问题解决方法, 即学科方法, 较少地依赖一般认知策略与方法, 即思维方法。所以, 想提高问题解决能力, 就要不断地练习、概括, 想形成一定结构的问题图式, 就要逐渐发展学科方法。这充分说明了学科方法在模型建构中的价值与作用。

方法表征一般包括以下三个过程。(1) 结合学科概念加以运用。方法表征虽然是单独运用的, 但其与概念表征关系密切。(2) 结合学科规律加以运用。由于知识与方法之间具有因果关系, 知识的获得与运用都要借助科学方法来实现。(3) 结合数学知识加以运用。方法表征的最终实现要归于结合数学知识加以运用。按照以科学方法为中心的知识—能力结构图<sup>[13]</sup>, 知识运用过程遵循从知识到方法再到数学的顺序。由于科学建模的过程就是一种知识运用的过程, 方法表征必须与数学相结合。

对于前述人骑自行车转弯的真实情境, 方法表征包括受力分析法、假设法(假设人与自行车绕着质心而非与地面的接触点转动)以及演绎推理法。

#### (六) 数学表征

数学表征是指在模型建构过程中选择恰当的数学工具并进行必要的推导时所运用的数学步骤。由于模型通常需要量化的表达, 数学就成为科学建模的工具与保障。

数学表征一般包括以下三个过程。(1) 选择数学工具。这是数学表征的第一步。模型越复杂, 所使用的数学工具就越复杂。爱因斯坦在进行广义相对论研究时感到自身数学知识的欠缺, 最终在数学家格罗斯曼和希尔伯特的帮助下, 才建立了以黎曼几何和张量分析为基础的广义相对论。(2) 列方程。即表示模型建构过程中的定量关系。通常来说, 模型建构需要列的方程不止一个, 模型越复杂, 需要列的方程数目就越多。列方程之后还需要解方程, 根据运算规则得出模型的表达式。(3) 验证模型。得出模型的表达式并不意味着模型建构已经完成, 还需对其进行理论验证与实验验证。只有通过了验证, 模型建构的过程才算完成。

对于前述人骑自行车转弯的真实情境, 其数学表征过程如下。在竖直方向上, 有  $N=mg$ , 在水平方向上, 有  $f=\frac{mv^2}{R}$ 。选质心为转动轴, 摩擦力与支持力对质心力矩和为零, 即  $NL\cos\theta=fL\sin\theta$ , 得到  $\cot\theta=\frac{f}{N}=\frac{mv^2}{R}\cdot\frac{1}{mg}=\frac{v^2}{gR}$ 。当自行车与竖直方向夹角为  $\theta=\operatorname{arccot}\frac{v^2}{gR}$  时, 自行车可以安全转弯。

根据上述分析, 科学建模的问题表征理论包含的六种表征可分为外部表征与内部表征(见图2)。应当指出的是, 这六种表征之间不是相互孤立的, 而是相互联系的。人们在进行科学建模时, 往往会在不同的表征之间进行转换, 直至模型建构完成, 而非仅遵循一种线性次序。

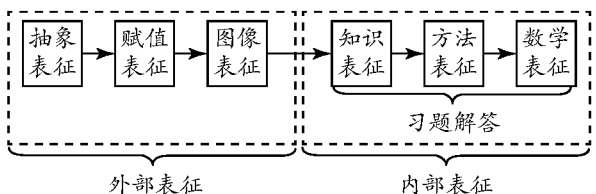


图2 科学建模的问题表征理论

### 三、研究启示

(一) 科学建模理论要兼顾理论性与可操作性

何为理论? 理论可以粗略地定义为一组解释某些现象的相互关联的陈述。理论主要有两种功能。一方面, 理论起着组织数据的作用。它提供了一种框架, 可以借此系统地、有顺序地表示各种数据, 从而帮助我们组织研究的结果。另一方面, 理论发挥着预测功能。它能使我们对其他未曾获得数据的情境作出预测。以这样的标准来评价, 要素取向、行为取向、认知取向和建构取向的科学建模理论还存在着过于注重理论本身的建构而可操作性不足的缺点。所谓可操作性, 是指运用这样的科学建模理论, 能够有效地指导建模实践, 实现模型的关联、解释和启发功能, 同时满足简洁、优美和有说服力的审美标准, 并最终经得起实践的检验。以前述人骑自行车转弯作为模型建构的实例, 科学建模的问题表征理论清晰地界定了抽象表征、赋值表征、图像表征、知识表征、方法表征、数学表征的理论内涵, 体现了对模型建构实践的指导作用。因此, 该理论较好地兼顾了理论性与可操作性, 能够有效地指导人们构建科学模型。

(二) 科学建模理论要兼顾外部表征与内部表征

有研究指出, 模型建构过程具有内隐和外显两方面的特质。内隐的特质即个体依据物理感知而内化的复杂认知行为; 外显的特质即个体在分析处理各种有关信息并建构模型过程中的行为表现。因此, 建构整合内隐和外显两种特征的科学建模能力模型成为当务之急, 确定能反映学生建模外显表现的测评内容成为准确把握建模能力的关键环节。尼科拉乌 (Nicolaou) 等人通过综述大量文献后也得出了类似的结论。<sup>[14]</sup> 只有全面反映建模的内隐和外显两方面的本质特征, 才能真正反映学习者的科学建模过程。本研究表明, 所谓科学模型建构的外显特质就是外部表征, 内隐特质就是内部表征。外部表征是由知觉系统直接觉察到的情境信息, 它能激活知觉操作, 觉察问题结构所属的类型, 形成对问题前景的预见和认知偏好。内部表征则能激活深层认知操作和记

忆中的某种认知机制, 经过想象、推理等操作过程形成对问题解决前景的预见和认知偏好。不难发现, 科学建模的问题表征理论较好地兼顾了模型建构过程中的内部表征与外部表征, 并体现了它们之间的相互作用。这就使建构取向中主客体相互作用的理论愿景成为现实。因此, 科学建模的问题表征理论能够有效地指导人们进行科学建模。

(三) 科学建模理论要兼顾静态性与动态性

由于理论建构的客观需要, 以往的科学建模理论往往过多地强调静态性。它们把理论建构当作一种对所观察到的建模现象进行解释的方式, 因此更强调科学建模的现有知识、理论、假设或原则, 并设法在此基础上增加新的内容。鉴于每种科学模型都具有独特的内涵, 模型的静态性确有一定的合理性。但模型不能止于静态性, 还应当具有一定的动态性。也就是说, 尽管构成模型的要素是不变的, 但这些要素在科学建模的过程中是动态的。例如, 本研究建立的问题表征理论, 其包含的抽象表征、赋值表征、图像表征、知识表征、方法表征、数学表征虽然是不变的, 但科学建模的过程并不一定严格遵循这样的顺序, 我们可以根据需要调整这些表征的顺序或反复使用其中的一些表征。同时, 这些表征之间还存在相互作用。这就是科学建模问题表征理论动态性的一种体现。此外, 该理论的动态性还体现在它承认并尊重现有理论的正确性, 但不将它们看作一成不变的教条, 而是当作进一步研究的基础, 通过持续不断地修改现有理论, 使自身臻于完善。

#### 参考文献:

- [1] HESTENES D. Toward a modeling theory of physics instruction [J]. American journal of physics, 1987 (5): 440-454.
- [2] HALLOUN I. Schematic modeling for meaningful learning of physics [J]. Journal of research in science teaching, 1996 (9): 1027.
- [3] 翟小铭, 郭玉英. 科学建模能力评述: 内涵、模型及测评 [J]. 教育学报, 2015 (6): 76-77.
- [4] SMITH C, SNIR J, GROSSLIGHT L, et al. Promoting 6th graders' understanding of density: a computer modeling approach [R]. Washington D. C.:

- Office of Educational Research and Improvement, 1986.
- [5] SAARI H, VIIRI J. A research-based teaching sequence for teaching the concept of modelling to seventh-grade students [J]. *International journal of science education*, 2003 (11): 1333-1352.
- [6] PAPAERVIPIDOU M, CONSTANTINOU C P, ZACHARIA Z C. Modeling complex marine ecosystems: an investigation of two teaching approaches with fifth graders [J]. *Journal of computer assisted learning*, 2007 (2): 152.
- [7] 中共中央马克思恩格斯列宁斯大林著作编译局. 马克思恩格斯全集: 第20卷 [M]. 北京: 人民出版社, 1971: 574.
- [8] MCDERMOTT J, LARKIN J H. Re-representing textbook physics problems [C] // *Proceedings of the 2nd National Conference of the Canadian Society for Computational Studies of Intelligence*. Toronto: University of Toronto Press, 1978.
- [9] HEGARTY M, MAYER R E, MONK C A. Comprehension of arithmetic word problems: a comparison of successful and unsuccessful problem solvers [J]. *Journal of educational psychology*, 1995 (1): 18-32.
- [10] JOHNSTONE A H. Macro and microchemistry [J]. *School science review*, 1982 (4): 377-379.
- [11] 赵凯华. 定性与半定量物理学: 第2版 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2008: 4.
- [12] 钟启泉, 黄志成. 美国教学论流派 [M]. 西安: 陕西人民教育出版社, 1993: 19.
- [13] 邢红军, 陈清梅. 从知识中心到方法中心: 科学教育理论的重要转变 [J]. *首都师范大学学报 (自然科学版)*, 2011 (6): 23.
- [14] NICOLAOU C T, CONSTANTINOU C P. Assessment of the modeling competence: a systematic review and synthesis of empirical research [J]. *Educational research review*, 2014, 13: 52-73.

(责任编辑: 郭晨跃)

## On the Problem Representation Theory and Enlightenment of Scientific Modeling

Xing Hongjun, Wang Yuting, Li Jie

**Abstract:** At present, scientific model construction has the orientation of element, behavior, cognition and construction which respectively focus on element analysis, external cognitive behavior, internal cognitive behavior, and the interaction between the subject and object. Although different orientation reveals different characteristics of model construction, its cognitive mechanism has not been revealed. Based on this, this article constructs scientific modeling theory of problem representation orientation, which includes three external representations of abstract, assignment and image representation, and three internal representations of knowledge, method and mathematical representation, drawing the conclusion that model construction should give consideration to both theory and operability, external and internal representation, and static and dynamic elements.

**Key words:** model; scientific model construction; problem representation; core competency