

科学核心素养中科学思维的内涵分析

——兼论模型建构、推理论证、创新思维的关系

叶宝生 董 鑫

摘要：《义务教育科学课程标准（2022年版）》在课程总目标中明确规定，科学课程旨在培养学生的科学核心素养。科学核心素养的核心是科学思维，其包括模型建构、推理论证和创新思维三个二级指标。科学模型以科学事实为依据，是人脑中建构的对客观事实及其关系或规律的反映，用来解释科学事实和推测科学变化结果。推理是从已有判断推出一个新的判断，论证则是根据一个或一些已知为真或为假的判断来确定另一个判断真实性或虚假性的思维过程。论证往往借推理。创新思维是指重新组织已有的知识经验，提出新的方案或程序，并创造出新的成果的思维活动。从三者关系的角度来看，模型建构是推理论证的应用，没有推理论证就无法建构科学模型，也无法实现模型解释，而创新思维则蕴含在模型建构之中。

关键词：科学核心素养；科学思维；模型建构；推理论证；创新思维

《义务教育科学课程标准（2022年版）》（以下简称《标准》）明确提出科学观念、科学思维、探究实践、态度责任四个方面的科学核心素养^{[1]4-6}，指出课程目标就是在科学教育中落实科学核心素养。《标准》的课程总目标相应地分为四个方面，即掌握基本的科学知识，形成初步的科学观念；掌握基本的思维方法，具有初步的科学思维能力；掌握基本的科学方法，具有初步的探究实践能力；树立基本的科学态度，具有正确的价值观和社会责任感。^{[1]6-7}对于科学核心素养四个方面之间的关系，《义务教育科学课程标准（2022年版）解读》作出了清晰阐释：“科学课程要培养的学生核心素养各要素之间相互依存，共同构成一个完整的体系，体现了科学课程的育人价值。”“科学观念是科学课程本质属性的集中体现，是其他素养的基础；科学思维不仅是学习科学所应具备的关键能力，也是适应现代社

会发展的核心思维方式，而且可以迁移到其他领域，是科学课程要培养的学生核心素养的核心；探究实践是学生形成其他素养的主要途径，同时也是一种关键能力；态度责任是学生基于对科学观念的深度理解，在探究实践的支撑下，通过科学思维内化而形成的必备品格，是社会主义核心价值观在科学课程中的集中体现。”^[2]可以看出，科学思维既具有科学独特性，也具有社会广泛性，可称为“科学课程中最主要的核心素养”。落实科学思维素养培育具有突出的教育意义。

《标准》将科学思维解释为“从科学的视角对客观事物的本质属性、内在规律及相互关系的认识方式”^{[1]4-5}，并将其分为模型建构、推理论证、创新思维三个要素。其中，模型建构是指“以经验事实为基础，对客观事物进行抽象和概括，进而建构模型；运用模型分析、解释现象和数据，描述系统的结构、关系及变化过程”；推

理论论证是指“基于证据与逻辑，运用分析与综合、比较与分类、归纳与演绎等思维方法，建立证据与解释之间的关系并提出合理见解”；创新思维是指“从不同角度分析、思考问题，提出新颖而有价值的观点和解决问题的方法”。^{[1]5} 针对科学思维，《标准》提出了“掌握分析与综合、比较与分类、抽象与概括、归纳与演绎、联想与想象、重组思维、发散思维、突破定势等基本的思维方法及其在科学领域的具体运用；能基于经验事实抽象概括出理想模型，具有初步的模型理解和模型建构能力；能够合理分析与综合判断各种信息、事实和证据，运用证据与推理对研究的问题进行描述、解释和预测，具有初步的推理与论证能力；能对不同观点、结论和方案进行质疑、批判、检验和修正，进而提出创造性见解和方案，具有初步的创新思维能力”^{[1]6} 的目标要求。无论是核心素养中对科学思维的解释，还是课程目标中对落实科学思维的要求，都是统领性的，具有宏观指导意义。对于科学教师来说，深入理解科学思维，需要准确把握模型建构、推理论证和创新思维的关系，对教学过程进行系统设计。因此，本文基于科学学科特点分析模型建构的内涵，基于逻辑学分析推理论证的特点，基于创造心理学分析科学学习中的知识创新，并进一步分析三者的关系，希望对科学教师的教学实践有所帮助。

一、模型建构的内涵分析

模型建构是科学思维的首要二级指标。模型的概念最早源自物理学。物理学模型不是凭空产生的，而是有其前因后果。在物理学研究中，要找到客观世界的规律，首先要基于研究目的抓住事物的主要矛盾，将研究对象理想化、模型化，所谓的研究模型就此产生。如研究物体的运动，我们只关注物体的运动轨迹，不关心其大小、形状，因此，将物体看成具有质量的点，建立了质点模型。在研究模型中，既有像质点、刚体、理想气体这样的实体模型，也有像自由落体运动、简谐振动这样的过程模型。如简谐振动就是物体在与位移成正比的回复力的作用下所做的振动幅度不变的往复运动，包括小角度短时间摆动的单摆运动、弹簧振子短时间的往复运动等。确定理

想化的研究模型后，下一步就是对其进行研究，寻找其属性或运动规律，得到解释模型。如质点的匀加速直线运动规律、简谐振动规律，都反映了研究对象的运动特点，可以用来解释物体的运动现象并预测下一时刻物体的运动状态。在解释模型中，既有形象模型（如原子结构），又有抽象模型（如牛顿第二定律）。物理学的规律一般追求数学表达，因此，用数学方程或函数表达的抽象解释模型也叫数学模型。模型建构的目的就是解释人类所观察到的事实。可以发现，物理学研究的对象与物理学研究的成果都离不开模型化的过程。纵观物理学史，没有模型就没有物理学。一个物理理论就是一个模型和一组将这个模型的元素与观测相连接的规则。^[3] 因此，科学家在进行物理学研究时，如果不将研究对象简化、纯化，就建立不出研究模型，也就归纳不出解释模型，最终也就找不到事物的属性和规律。

我们再考察生物学模型（或者说生命科学模型）。生物学模型即通过解剖学，依据生命体客观事实，将研究对象转变为可描述其原型结构的模型（如血液循环系统模型、心脏结构模型、肾单位模型等）。其中，原型是指生物学事实。与物理学模型不同的是，生物学模型都是从客体出发直接建立的，都是用来解释客体的存在状况。值得注意的是，这一过程并没有将研究对象模型化。如在人体骨骼模型的建构过程中，并没有把人体骨骼这个研究对象理想化，而是直接运用解剖学原理将骨骼构成从真实的人体中剔除出来，最终呈现形象的骨骼模型。上述生物学模型由于其形象化特征，可被称为实体模型或形象模型。除了实体模型，生命科学中还存在食物链与食物网和生命体结构与功能相适应等关系模型，以及进化论和遗传规律等规律模型，这些模型又称作抽象模型。抽象模型是在大量观察的基础上概括总结出来的，同样没有将研究对象模型化。在建构生物学模型时，虽不需要将研究对象模型化，但模型建构的最终目的是找出研究对象存在的结构、揭示研究对象具有的功能，因此这些模型是解释模型。更明确地说，生命科学领域所运用的模型都是解释模型。这一结论与生命科学的学科特征直接相关。生命科学中研究的结构，是生物体的构成单位，是生物体自我复制、自我生长而

来的,不是由于外部力量形成的。将生物体的结构简化、纯化,会导致研究模型与客体不符。因此,生物学模型中不存在研究模型,只存在解释模型。生命科学是通过观察、基于事实和直接认识的方式建构模型的。

最后,我们来看地球科学模型。地球科学模型和生物学模型的建构方式相似,其区别在于生物学模型可以通过直观地观察生物体结构的方式建构出来,但地球科学模型是在大量地学事实、天文学事实的基础上,运用类比的方法和“以今论古”的方法,通过想象联想建立起来的。以大陆漂移学说这一大地构造模型为例,因为没有人真正见过地球大陆漂移的整个过程,该模型的建构是通过想象、类比的方式推断而来的。地球科学模型的这一建构特点主要源于地球科学的研究对象往往非常庞大或形成时间非常漫长,特别是这种漫长的形成时间是人类无法经历的。人们只能基于地学事实或天文学事实,在头脑中搜寻对比物,运用相关经验进行类比、想象、联想,最终建构出地球科学模型。例如,太阳系族谱(即太阳系模型)就是在对行星数量、运行轨迹、距太阳距离、体积、特征等诸多天文学事实考察的基础上,进行简化(一般只表现大行星)和约化(行星的体积相差很大、彼此之间的距离也相差很大,若按真实比例呈现,则会出现体积大的行星可正常显示,体积小的行星只能变成一个点;远距离的行星显示在图中时,近距离的行星则会挤在一起)建构而来的。因此,其研究对象就是天文学事实本身,无法进行模型化。地球科学模型也只存在解释模型,不存在研究模型。其原因在于地球科学具有时空的巨系统性,人们只能观察当前事物的存在状况,而不能真正地观看地球发展的全过程,也就没有直接的证据可用来证明假说。地球科学是通过观察地学事实、天文学事实,运用想象、联想、类比的方式进行模型建构的。

通过对物理学模型、生物学模型和地球科学模型的考察,我们认为,科学是人对自然客观世界的认识,科学模型就是这种认识的表达。人、客观世界和科学模型三者构成认识、被认识、认识结果表达的关系。人是认识的主体,客观世界是认识的客体,模型是主体获得的对客体的认识

结果。科学模型是与某种物质现象或者系统相匹配的概念化系统。或者说,科学模型是为表达某种现象或者系统的结构和功能所呈现的特定图景。^[4]这是模型的内涵解释。我们可以做如下总结:科学模型离不开科学事实,它以科学事实为依据,从科学事实出发;科学模型是人脑中建构的对客观事实及其关系或规律的反映,用来解释科学事实和推测科学变化结果。这就是模型建构的内涵阐释。

二、推理论证的内涵分析

推理论证是科学思维的第二个二级指标。其中,推理是从已有判断推出一个新的判断。从结果来看,产生了新的判断;从过程来看,是运用逻辑方法推导出新的结论。从已知判断推断出新判断的过程依据的方法是逻辑方法。因此,使用逻辑方法作出判断就是推理。由于逻辑思维方法分为归纳、类比、演绎三种,推理也相应地分为归纳推理、类比推理和演绎推理。^{[5]82-83}

归纳推理就是从若干个别的认识前提出发,推出一般性结论的推理。这种推理是对若干个个别事物情况的逐一断定,结论是一般性认识。使用归纳法由多个单称判断得出全称判断的过程,就是归纳推理的过程。归纳法是人类获得对客观世界认识的主要方法,归纳推理对于人类以类的方式认识世界具有重要意义。作为归纳推理结论的一般性认识,是由前提中若干个个别认识概括出来的。运用归纳推理,首先必须收集和占有事实资料。而收集和占有资料的方式就是观察、实验、旁证和调查。对科学来说,主要是观察和实验。^{[5]83-85}在归纳推理的过程中会出现新的判断或结论。由于归纳推理的结论超出了前提范围,会有出错的可能,这种推理也称为或然性推理。

类比推理就是根据两个或两类相关的对象某些属性相同或相似,从而推出它们在另外的属性上也相同或相似的推理。^{[6]173}类比推理首先是在两个或两类事物间进行对比,一个事物作为对比的对象,可称为对比物;另一个事物将被赋予新的属性,也就是类比物。其次,两个或两类事物必须具备至少一个相同或相似的属性,否则就失去了类比的基础。再次,对比物的属性要多于类比物的属性。最后,得到类比物具有对比物剩余

属性的判断。^[7] 类比推理是把某对象所具有的属性推移到与之相似的另一对象, 其结论所作出的判断已超出了前提的范围。因此, 即使前提是真的, 其结论也只是可能为真, 而非必然为真。类比推理的结论受前提的制约程度较低。

演绎推理是从一般性认识推出个别性或特殊性认识的推理。在科学上, 就是从一般性的科学原理出发, 考察某个具体事物是否符合科学原理的条件或者符合科学原理规定的类, 得到这个事物是否具有符合该科学原理的属性的结论。演绎推理的前提是一般性或普遍性的认识, 而结论是对具体事物的特殊属性的判断, 前提范围大于结论范围, 也就是说结论蕴含在前提之中。这种推理得出的结论是必然的, 称为必然性推理。也就是说, 从“真”的前提出发, 可以得到“真”的结论。每次演绎推理的成功, 都是对归纳推理、类比推理的证实。^{[5]116-117}

论证与推理有什么关系呢? 论证就是根据一个或一些已知为真或为假的判断来确定另一个判断真实性或虚假性的思维过程。论证往往借助推理进行。由于推理又依赖判断、概念, 可以认为, 论证就是概念、判断、推理及其逻辑规则、逻辑规律的综合运用。^{[6]188} 实际上, 无论是何种推理方式, 都是以论证作为其最终目的的。论证是推理的应用过程, 一般情况下由多个推理构成。如果一个论证过程仅用了归纳推理, 那么它就是归纳论证; 仅用了类比推理, 就是类比论证; 仅用了演绎推理, 就是演绎论证。这是从总的方面对论证形式的分类, 在每个类别的论证形式下, 还会有更为细致的变形。

三、创新思维的内涵分析

创新思维是科学思维的最后一个二级指标。^① 其最基本的特征是新颖性与价值性, 可分为两种水平: 一种是指人具有创造思维, 表现为提供了对整个社会来说具有独特性和社会意义的创造成果; 另一种是指对创造者自身来说具有独特性和价值性的认识成果。^[8] 斯滕伯格 (Stenberg) 将创造力的两种水平称为创造力的两个层

面, 一个是社会层面, 另一个是个人层面。^[9] 对于义务教育阶段的学生而言, 他们的创造力基本属于个人层面的创造力。在科学教育领域, 创造思维更多地体现为学生抽象认识的获得。学生在科学课上所产生的对于自身来说新颖的想法, 或者按照自己的想法所进行的实验, 因其已经在人类社会中出现过, 对于社会来说算不得真正意义上的创造。但对学生而言, 这些想法或实验过程具有一定的个人价值, 因此都可算作学生个人层面的创造。

创造思维表现在显性知识、隐性知识转化的过程之中^[10], 在课堂教学中可观察的是创造的显性知识形态。这种过程的表现有两种: 一是将已有知识联结以形成新知识, 这是从显性知识转化到显性知识的过程; 二是将形象特征抽象化以创造新知识和在新情境中应用科学方法, 这是从隐性知识转化到显性知识的过程。将已有知识联结以形成新知识, 是指学生将所学知识进行逻辑化重组以形成新知识。如学生学习某个单元或主题的知识后, 根据各概念之间的逻辑关系, 建构树状逻辑图、泡状概念图、模块结构图等。将形象特征抽象化以创造新知识, 是指对科学事物或变化过程进行科学观察, 对呈现的各种形象进行抽象概括, 创造出新概念或新认识。科学探究就是面对各种科学形象, 进行形象思维, 获得抽象认识, 对抽象认识进行概括, 获得更抽象的结论。学生独立或在教师的指导下经历科学探究获得新知识的过程就是集体或个体的知识创新。在新情境中应用科学方法, 是指根据实际需求创造性地应用放大法、转化法、对比法等实验方法和归纳法、演绎法、类比法等思维方法。如研究固体的热胀冷缩现象, 可以用对比法, 也可以用转化法, 还可以用旋转放大法。

综上所述, 创造是将已知的知识要素组成内在一致的新整体或新的功能性整体^[11], 也包括在新情境中应用方法和创新方法。创造思维是指重新组织已有的知识经验, 提出新的方案或程序, 并创造出新的成果的思维活动。^[12]

^① 心理学一般是从创造角度来对创新思维进行论述的, 因此本文中对创新思维和创造思维不作区分。

四、模型建构、推理论证、创新思维之间的关系

以上对模型建构、推理论证、创新思维三者的内涵进行了论述，那么，它们之间存在怎样的关系呢？

正如前文所述，《标准》将模型建构解释为“以经验事实为基础，对客观事物进行抽象和概括，进而建构模型；运用模型分析、解释现象和数据，描述系统的结构、关系及变化过程”^[15]。可以看到，基于经验事实对客观事物进行抽象和概括，是抽象思维过程，对应的思维方法是归纳和类比。使用归纳方法获得结论是归纳推理，使用类比方法获得结论是类比推理。因此，建构模型的过程必然运用归纳推理和类比推理。模型解释是用模型描述自然世界的系统结构、相互关系和发展规律，实现科学的解释和预测功能。这是演绎思维方法的应用，也就是演绎推理。因此，模型解释必然运用演绎推理。模型建构和模型解释，一是通过归纳推理和演绎推理，将归纳论证和演绎论证结合在一起，证实模型的成立和阐释模型的功能；二是通过类比推理和演绎推理，即类比论证和演绎论证，共同获得科学模型和模型解释。可以看到，模型建构和模型解释都是通过科学论证实现的。一是利用归纳论证和演绎论证进行模型建构。如我们对大雁进行观察，基于大量事实对其活动进行分析、综合后，归纳得出“大雁的活动具有时间上的周期性节律”这个一般性结论，以此作为建构出的抽象模型。此时，模型的建构已经完成。若时值秋季，我们基于归纳推理得出的一般性结论指出大雁在向南飞，通过演绎推理的方式对大雁在秋季是否向南飞进行检验时，发现大雁确实在向南飞，则模型经过了演绎推理的验证，建构成功。二是利用类比论证和演绎论证进行模型建构。如昼夜交替是地学事实，可通过类比的方式建构模型，利用地球仪和手电呈现“昼夜交替”的现象。如果以地球仪被手电照亮的那一面为“昼”，没被手电照亮的那一面为“夜”，通过以手电为中心、地球仪绕着手电转的方式可类比模拟地球的公转过程，通过让手电不动、地球仪自转的方式可类比模拟地球的自转过程。以上通过类比推理方式建构的两种

模型都可以使地球仪呈现“昼夜交替”的现象，但通过对事实以及演绎推理过程的深入思考，发现地球绕着太阳转对应“一年”，我们真实感受到的昼夜交替则是“一天”。因此，地球自转引起昼夜交替的解释模型更加符合客观事实，由此排除了地球公转引起昼夜交替的解释模型。我们可以从中看出，通过类比推理进行模型建构时，可能会产生多个解释模型，但我们最终要选择与客观事实相符的模型。利用归纳演绎论证和类比演绎论证进行模型建构，在进行模型检验时都运用了演绎推理，区别在于建构模型所使用的方法不同：运用归纳推理建构模型，则为归纳演绎论证；运用类比推理建构模型，则为类比演绎论证。在模型建构与解释（检验）的过程中，基本只存在这两种情况。

综上所述，以经验事实为基础，对客观事物进行抽象和概括的过程，就是模型建构的过程。而只有归纳推理与类比推理，才能对客观事物进行抽象和概括。因此，模型建构过程必然用到推理论证中的归纳推理与类比推理。二者可为建构模型收集和占有事实资料、提供对比物，这样，模型建构才能实现对客观事物的抽象和概括。运用模型分析、解释现象和数据，描述系统的结构、关系及其变化过程，就是利用演绎推理进行模型检验与实现模型解释事实、预测规律功能的过程。因此，模型的检验与模型解释功能的实现必然用到演绎推理。如果通过归纳推理、类比推理建构出来的模型没能通过演绎推理的检验，实现不了解释科学事实的功能，则模型建构没有成功，就要再对所依据的科学事实和运用的推理论证方式进行深入考察，发现其中的问题，重新建构模型。因此，模型建构离不开归纳推理与类比推理，模型检验与模型解释离不开演绎推理。换言之，模型建构离不开推理论证。

创造思维是体现在模型建构和推理论证过程之中的。我们本应分别讨论创造思维与模型建构、推理论证之间的关系，但模型建构必由推理论证实现，推理论证过程包含于模型建构过程之中，二者相互融合，无法单独剥离。因此，以下重点讨论创造思维与模型建构之间的关系，并以其为代表，说明创造思维与推理论证之间的关系。

事实上,学生在产生具有新颖性、价值性的认识模型时,就已经是在创造了。创造思维是无法从完整的模型建构过程中独立出来的,其蕴含在通过事实进行模型建构与组合的过程中。上文在论述创造思维的内涵时,已经说明了其表现形式,即将已有知识联结以形成新知识、将形象特征抽象化以创造新知识、在新情境中应用科学方法。其中,将已有知识联结以形成新知识、将形象特征抽象化以创造新知识,体现在新模型的建构过程中。而在新情境中应用科学方法则体现为在建构模型时借鉴和模仿之前的经验和方法。我们首次确立研究目标并建构模型的过程,属于创造思维活动。随着科学与技术的进步,当首次建构的模型不能对事实作出具有说服力的解释时,就需要对原有模型进行更新和修正。这一过程也属于创造思维活动。因此,无论是首次基于事实进行模型建构,还是未来多次修正与更新模型,都离不开创造思维。由此可见,模型建构是体现创造思维活动的重要环节。同时,推理论证也与创造思维的表现形式有着密切的联系。将已有知识联结以形成新知识和将形象特征抽象化以创造新知识,都是在利用归纳推理收集事实资料的基础上进行创造。在新情境中应用科学方法则是在利用类比推理提供对比物的基础上进行创造。

由此,我们可以这样认识模型建构、推理论证、创新思维三者之间的关系:模型建构是目的,推理论证与创新思维是实现模型建构的手段,通过归纳推理、类比推理的方式建构模型的过程就是创新思维发挥其新颖性与价值性的过程。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国教育部. 义务教育科学课程标准(2022年版)[S]. 北京:北京师范大学出版社, 2022.
- [2] 胡卫平, 刘守印. 义务教育科学课程标准(2022年版)解读[M]. 北京:高等教育出版社, 2022: 46.
- [3] 吴玉梅, 孙小淳. 哲学已死?: 霍金的哲学思想[J]. 自然辩证法通讯, 2022(2): 32.
- [4] 孙可平. 科学教学中模型/模型化方法的认知功能探究[J]. 全球教育展望, 2010(6): 76.
- [5] 叶宝生, 王灵华, 刘春梅. 基于逻辑的小学科学教学设计[M]. 长沙:湖南科学技术出版社, 2019.
- [6] 王海传, 岳丽艳, 陈素, 等. 普通逻辑学:第2版[M]. 北京:科学出版社, 2013.
- [7] 叶宝生, 冯煤生, 曹温庆. 类比推理在小学科学教学中的意义和作用[J]. 中小学教材教学, 2020(1): 39.
- [8] 张大均. 教育心理学:第2版[M]. 北京:人民教育出版社, 2011: 371-372.
- [9] 衣新发, 鲍文慧, 李梦, 等. 斯滕伯格及其创造力研究[J]. 贵州民族大学学报(哲学社会科学版), 2020(5): 152-153.
- [10] 竹内弘高, 野中郁次郎. 知识创造的螺旋:知识管理理论与案例研究[M]. 李萌, 译. 北京:知识产权出版社, 2006: 52-53.
- [11] 安德森, 克拉思沃尔, 艾拉沙恩, 等. 布卢姆教育目标分类学:分类学视野下的学与教及其测评:完整版[M]. 蒋小平, 张琴美, 罗晶晶, 译. 北京:外语教学与研究出版社, 2009: 64-66.
- [12] 彭聃龄. 普通心理学:第5版[M]. 北京:北京师范大学出版社, 2019: 257.

(作者叶宝生系首都师范大学初等教育学院教授;董鑫系北京市东城区史家实验学校科学教师。)

(责任编辑:郭晨跃)