

## 人才培养

# 美国中小学科学教育框架和课程标准对我国中小学科学教育的启示

杨晓春

上海成趣信息科技有限公司

关键词：科学教育 学科核心概念 跨学科概念

## 美国中小学科学教育框架

### 背景介绍

2012年 美国发布了《中小学科学教育框架》<sup>[1]</sup>（以下简称《科学教育框架》）。该框架由美国国家研究理事会、美国国家科学院之行为和社会科学及教育分部、科学教育委员会、新的中小学科学教育标准概念框架委员会制定。该框架旨在帮助实现科学和工程教育的愿景，在该愿景中，学生在多年学习中将积极参与科学和工程实践，并运用跨学科概念来加深对这些领域核心概念的理解。课程的目的是为所有学生提供科学和工程教育；为未来将成为科学家、工程师、技术专家和技术人员的人提供基础知识。该框架主要关注第一项任务：所有学生应该知道什么，以便为他们的个人生活以及作为公民在这个技术丰富和科学复杂的世界中发挥作用做准备<sup>[1]10</sup>。该框架概述了为学生提供高质量科学教育所需的三个方面。这三个方面的整合为学生提供了科学内容的背景，科学知识是如何获得和理解的，以及科学是如何通过具有跨学科普遍意义的概念联系起来的。以下描述了框架三个方面的具体内容。

### 维度1：实践

维度1描述了两种实践，即科学家在研究和建

立关于世界的模型和理论时采用的主要实践，以及工程师在设计 and 建立系统时采用的一套关键的工程实践。框架特别说明使用“实践”一词，而不是“技能”这样的术语，是为了强调从事科学调查不仅需要技能，还需要各种实践所特有的知识，也即对科学和工程本质的理解。学生需要通过亲身体验以下8条实践<sup>[1]42</sup>，以理解科学和工程实践。

1. 提出问题（对于科学而言）和定义问题（对于工程而言）；
2. 开发和使用模型；
3. 计划和执行调查；
4. 分析和解释数据；
5. 使用数学和计算思维；
6. 构建解释（对于科学而言）和设计解决（对于工程而言）方案；

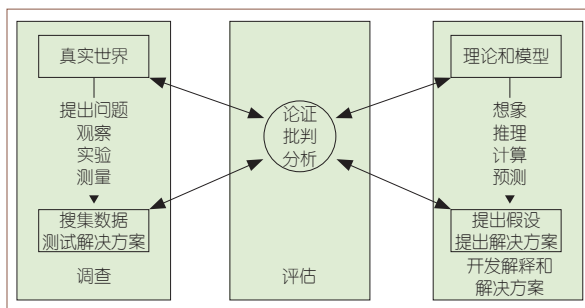


图1 科学家和工程师的三个工作领域<sup>[1]45</sup>

7. 参与论证；
8. 获取、评估和交流信息。

如图1所示，科学家和工程师的工作领域涉及的过程较为相似，均包括三个过程：(1)调查和经验探究；(2)使用推理、创造性思维和模型构建解释或设计；(3)评估模型的有效性（对科学而言）或适应性/有用性（对工程而言）<sup>[1]44</sup>。科学和工程实践的提出是强调科学探究过程中知识和技能的融合，框架也解释了科学和工程实践的相同和不同之处。表1解释了科学和工程实践的差别。

## 维度2：跨学科概念

跨学科概念是不同学科的宏观概念，在所有科学领域都有应用，是连接不同科学领域的一种方式。它们包括模式，因果关系，规模、比例和数量，系统和系统模型，能量和物质，结构和功能，以及稳定和变化。跨学科概念有助于学生理解知识的整体

性，并且跨学科概念并不是《科学教育框架》所特有的。它们与《国家科学教育标准》(The National Science Education Standards)中的许多统一概念和过程、《科学素养基准》(The Benchmarks for Science Literacy)中的共同主题，以及《大学成功科学委员会标准》(The Science College Board Standards for College Success)中的统一概念相呼应。

## 维度3：学科核心概念

学科核心概念指科学知识的内容。当今信息时代，科学知识不断发展增加，教师在学生中小学期间不可能详尽地教授与某一学科相关的所有内容。科学教育的一个重要作用不是教授“所有的事实”，而是让学生准备好足够的核心知识，以便学生将来能够自己获得更多的信息。注重科学和工程中有限的思想和实践的教育应该使学生能够评估和选择可靠的科学信息来源，并使他们能够在中小学之后继

表1 科学和工程实践的差别<sup>[1]50-53</sup>

实践过程	科学	工程
提出问题和定义问题	提出科学问题，并发展能解释科学问题的理论	定义需要解决的工程问题，并确定解决问题的标准
开发和使用模型	构建和使用各种模型和模拟仿真检验对科学问题的解释，以助力发展解释科学问题的理论	利用模型和模拟仿真分析现有系统，以便了解可能出现的缺陷或测试应对新问题的可能解决方案
计划和执行调查	计划和进行系统的调查，选择依赖变量和控制变量，搜集观察结果和数据以检验现有理论和解释，或者修改和发展新的理论和解释	使用调查获取指定设计标准或参数所必需的数据，并测试设计。通过调查确定设计在各种条件的有效性、效率和持久性
分析和解释数据	使用工具识别数据中的重要特征和模式，确定错误来源并计算确定性程度	通过分析数据比较不同的解决方案，确定解决方案在给定的约束条件下需要满足的设计标准
运用数据和计算思维	数学和计算用于构建模拟仿真、统计分析数据以及识别、表达和应用定量关系。数学和计算方法有助于预测系统行为，并且测试预测结果	工程设计工作中，需要对既定关系和原则进行基于数学的分析，并通过计算获得工程设计相关的指标。设计仿真为设计的开发和改进提供了有效的测试平台
构建解释和设计解决方案	科学解释是将理论明确应用于特定情况或现象，可能需要为所研究的系统提供基于理论的模型。一个科学解释的理论需要被证明其解释现象的广度以及解释的连贯性和简洁性均优于其他解释，才能被接受	设计解决方案，需要平衡功能、技术可行性、成本、安全性、美观性以及合规性。根据评估标准在一系列可能的解决方案中选择最优方案
参与论证	通过推理和论证，维护和审查其提出的科学解释，以便得出最佳解释	通过推理和论证比较备选设计方案，寻找最有效的设计以满足规范和约束的要求
获取、评估和交流信息	清楚且有说服力地传达科学发现并了解他人的科学发现，评估科学发现相关信息的科学性，并整合这些信息	清晰有效地沟通工程设计内容，评估获取的信息并有效利用，以便改建或做出新的工程设计

续发展,成为科学学习者、科学知识的使用者,甚至成为这种知识的生产者。在制定科学和工程领域的核心概念之前,《科学教育框架》委员会设计了以下核心概念需要满足的标准。核心概念必须至少满足其中两个标准(但最好是三个或四个)<sup>[1][31]</sup>:

1. 在多个科学或工程学科中具有广泛的重要性,或者是单一学科的关键组织原则。
2. 能为理解或研究更复杂的概念和解决问题提供关键工具。
3. 与学生的兴趣和生活经历有关,或与涉及科学或技术知识的社会或个人问题有关。
4. 深度和复杂性会不断增加,在多个年级段具有可教性和可学性。也即,这个概念可以让低年级的学生接受,但又足够广泛,可以维持多年的持续学习。

框架将学科核心概念分为四个主要领域:物理学、生命科学、地球和空间科学,以及工程、技术和科学的应用。同时,根据维度2跨学科概念,由于各领域之间存在着多种联系,因此在某些情况下,核心概念或核心概念的要素出现在多个学科中(如能量)。现实中,科学家们越来越频繁地在跨学科团队中工作,模糊了传统的学科界限。跨学科概念与学科核心概念之间是相互促进的。学生对跨学科概念的理解应该通过在学科核心概念的教学中反复使用来强化;反之,跨学科概念可以提供一个连接结构,支持学生从某一门学科理解科学,并促进学生理解特定学科研究的现象。因此,这些跨学科概念的教学不应脱离学科背景下提供的例子。此外,在各学科中使用这些跨学科概念的共同语言,将有助于学生认识到相同的概念在不同的学科背景下是相关的<sup>[1][10]</sup>。

## 下一代科学标准(NGSS)

### NGSS介绍

基于《中小学科学教育框架》通过一个合作的、由各个州领导的过程,2013年4月,美国中小学科学课程标准——下一代科学标准(Next Generation

Science Standard, NGSS)正式发布。其内容和实践都很丰富,并以一种连贯的方式安排在各学科和各年级中,为所有学生提供国际基准的科学教育。NGSS定义了学习成效预期(performance expectations),描述了学生必须做什么才能体现出对科学的熟练程度。科学工程实践与学科核心概念、跨学科概念的各个部分结合在一起,构成了学习成效预期。每个NGSS标准都包含三个维度:学科核心概念(内容)、科学和工程实践以及跨学科概念。严谨的学科内容和应用的整合反映了科学和工程在现实世界中的实践方式。为了显示与框架的一致性和连贯性,NGSS将适当的学习目标按照它们在框架中出现的顺序包含在基础框中,以确保从事课程设计和教学评价的教育工作者能清晰理解学习成效预期的意图。科学的核心概念在整个中小学阶段连贯地建立起来。NGSS强调,从一个年级段到另一个年级段,知识是集中和连贯地进阶,以便允许学生在整个科学教育中建立一个动态的知识积累过程。通过将工程设计提高到与各级科学课堂教学中的科学探究相同的水平,以及强调工程设计和技术的核心概念,科学和工程得以融入科学教育。NGSS的创新之处是要求学生在实践、学科内容和联系的交叉点上操作,并且保证整体的连贯性<sup>[2][XVI]</sup>。

针对NGSS的局限性,NGSS做了如下解释<sup>[2][XVII]</sup>:

- NGSS不是要将科学教学限制在单一的科学和工程实践上。NGSS只规定了学生在教学结束后应该能够做的事情,而不是规定教师应该如何教授这些材料。
- NGSS确定了学生需要知道的最基本知识和实践的最基本材料。标准的编写方式为教育工作者和课程开发人员留下了很大的裁剪空间。NGSS并非要详尽列出所有中小学科学教育内容,也不阻止学生在适当的时候超越该标准。NGSS并没有规定或限制课程和教学选择。
- NGSS没有定义科学领域的高级工作。根据大学和职业学院的教职员工的评估,NGSS为高级工作奠定了基础,但应鼓励希望进入科学、技术、工程、数学(Science, Technology, Engineering and Mathematics, STEM)领域的学生通过额外的课程学习来



追求他们的兴趣。

虽然 NGSS 注意考虑不同人群的需求，但无法包含对所有不同能力层次和需求的学生所需的必要支持。

## NGSS中的初中物理科学学习成效案例

NGSS 以核心或主题为线索，将学生的掌握程度（或学习成效预期）分条具体化，并详细解释每个学习成效预期，将学生的预期行为与科学和工程实践的具体条目、核心概念、跨学科概念相联系。图 2 展示了初中学生对物理科学学习成效预期的例子。

如图 2 所示，学习成效预期具有标准的格式。每套学习成效预期都有一个标题，标题格式为学段（MS 即初中）－学科核心概念和子概念（即物理核心概念和子概念 PS4）。标题下面是一个包含

具体学习成效预期的方框。每个学习成效预期的格式与标题类似，格式为学段－学科核心概念和子概念。每个代码后面的数字表示该陈述在框架中作为学科核心概念出现的顺序。学习成效预期后面都有一到两个较小的补充说明。补充说明包括澄清声明，为绩效期望提供例子或额外的澄清；以及评价边界声明，规定了大规模评价的限制。学习成效预期是说明学生应该能做什么，以证明他们达到了标准，从而为课程、教学和评价提供同样明确和具体的目标。下面蓝色、橙色和绿色的基础框分别列出了学习成效预期包含的三个方面：科学工程实践、核心学科概念和跨学科概念。这些概念被组合在一起，形成了上述的学习成效预期。最下面的部分列出了与同一年级其他相关学科核心概念的联系（如 LSI.D 是生命科学中的

信息处理），与低年级和高年级相关学科核心概念的联系，以及与语文和数学的相关通用州标准的联系。

学习成效预期是对学生应该知道什么和能够做什么的可评价的陈述。除了上面基于学科核心概念的组织结构，NGSS 还提供了一种主题安排的组织结构，以便找到学科核心概念的自然联系，并制定适合不同年级的学习成效预期。例如，物理科学包括以下主题：物质的结构和属性、化学反应、力和相互作用、能、波和电磁辐射。学科核心概念“波及其在信息传输技术中的应用”对应的主题名称为“波和电磁辐射”。基于主题的组织结构中，个人学习成效预期的编码结构与基于学科核心概念的结构相同。也就是除了标题不一样，其他内容都是一

MS-PS4 Waves and Their Applications in Technologies for Information Transfer		
<b>MS-PS4 Waves and Their Applications in Technologies for Information Transfer</b> Students who demonstrate understanding can: <b>MS-PS4-1. Use mathematical representations to describe a simple model for waves that includes how the amplitude of a wave is related to the energy in a wave.</b> [Clarification Statement: Emphasis is on describing waves with both qualitative and quantitative thinking.] [Assessment Boundary: Assessment does not include electromagnetic waves and is limited to standard repeating waves.] <b>MS-PS4-2. Develop and use a model to describe that waves are reflected, absorbed, or transmitted through various materials.</b> [Clarification Statement: Emphasis is on both light and mechanical waves. Examples of models could include drawings, simulations, and written descriptions.] [Assessment Boundary: Assessment is limited to qualitative applications pertaining to light and mechanical waves.] <b>MS-PS4-3. Integrate qualitative scientific and technical information to support the claim that digitized signals are a more reliable way to encode and transmit information than analog signals.</b> [Clarification Statement: Emphasis is on a basic understanding that waves can be used for communication purposes. Examples could include using fiber optic cable to transmit light pulses, radio wave pulses in wifi devices, and conversion of stored binary patterns to make sound or text on a computer screen.] [Assessment Boundary: Assessment does not include binary counting. Assessment does not include the specific mechanism of any given device.] The performance expectations above were developed using the following elements from the NRC document <i>A Framework for K-12 Science Education</i> .		
<b>Science and Engineering Practices</b> <b>Developing and Using Models</b> Modeling in 6-8 builds on K-5 and progresses to developing, using, and revising models to describe, test, and predict more abstract phenomena and design systems. • Develop and use a model to describe phenomena. (MS-PS4-2) <b>Using Mathematics and Computational Thinking</b> Mathematical and computational thinking at the 6-8 level builds on K-5 and progresses to identifying patterns in large data sets and using mathematical concepts to support explanations and arguments. • Use mathematical representations to describe and/or support scientific conclusions and design solutions. (MS-PS4-1) <b>Obtaining, Evaluating, and Communicating Information</b> Obtaining, evaluating, and communicating information in 6-8 builds on K-5 and progresses to evaluating the merit and validity of ideas and methods. • Integrate qualitative scientific and technical information in written text with that contained in media and visual displays to clarify claims and findings. (MS-PS4-3)	<b>Disciplinary Core Ideas</b> <b>PS4.A: Wave Properties</b> • A simple wave has a repeating pattern with a specific wavelength, frequency, and amplitude. (MS-PS4-1) • A sound wave needs a medium through which it is transmitted. (MS-PS4-2) <b>PS4.B: Electromagnetic Radiation</b> • When light shines on an object, it is reflected, absorbed, or transmitted through the object, depending on the object's material and the frequency (color) of the light. (MS-PS4-2) • The path that light travels can be traced as straight lines, except at surfaces between different transparent materials (e.g., air and water, air and glass) where the light path bends. (MS-PS4-2) • A wave model of light is useful for explaining brightness, color, and the frequency-dependent bending of light at a surface between media. (MS-PS4-2) • However, because light can travel through space, it cannot be a matter wave, like sound or water waves. (MS-PS4-2) <b>PS4.C: Information Technologies and Instrumentation</b> • Digitized signals (sent as wave pulses) are a more reliable way to encode and transmit information. (MS-PS4-3)	<b>Crosscutting Concepts</b> <b>Patterns</b> • Graphs and charts can be used to identify patterns in data. (MS-PS4-1) <b>Structure and Function</b> • Structures can be designed to serve particular functions by taking into account properties of different materials, and how materials can be shaped and used. (MS-PS4-2) • Structures can be designed to serve particular functions. (MS-PS4-3) <b>Connections to Engineering, Technology, and Applications of Science</b> <b>Influence of Science, Engineering, and Technology on Society and the Natural World</b> • Technologies extend the measurement, exploration, modeling, and computational capacity of scientific investigations. (MS-PS4-3) <b>Connections to Nature of Science</b> <b>Science is a Human Endeavor</b> • Advances in technology influence the progress of science and science has influenced advances in technology. (MS-PS4-3)
<b>Connections to other DCIs in this grade-band: MS.LSI.D (MS-PS4-2)</b> <b>Articulation across grade-bands: 4.PS3.A (MS-PS4-1); 4.PS3.B (MS-PS4-1); 4.PS4.A (MS-PS4-1); 4.PS4.B (MS-PS4-2); 4.PS4.C (MS-PS4-3); HS.PS4.A (MS-PS4-1); (MS-PS4-2); (MS-PS4-3); HS.PS4.B (MS-PS4-1); (MS-PS4-2); HS.PS4.C (MS-PS4-2); HS.ESS1.A (MS-PS4-2); HS.ESS2.A (MS-PS4-2); HS.ESS2.C (MS-PS4-2); HS.ESS2.D (MS-PS4-2)</b> <b>Common Core State Standards Connections:</b> <b>ELA/Literacy –</b> <b>RST.6-8.1</b> Cite specific textual evidence to support analysis of science and technical texts. (MS-PS4-3) <b>RST.6-8.2</b> Determine the central ideas or conclusions of a text; provide an accurate summary of the text distinct from prior knowledge or opinions. (MS-PS4-3) <b>RST.6-8.9</b> Compare and contrast the information gained from experiments, simulations, video, or multimedia sources with that gained from reading a text on the same topic. (MS-PS4-3) <b>WHST.6-8.9</b> Draw evidence from informational texts to support analysis, reflection, and research. (MS-PS4-3) <b>SL.8.5</b> Integrate multimedia and visual displays into presentations to clarify information, strengthen claims and evidence, and add interest. (MS-PS4-1); (MS-PS4-2) <b>Mathematics –</b> <b>MP.2</b> Reason abstractly and quantitatively. (MS-PS4-1) <b>MP.4</b> Model with mathematics. (MS-PS4-1) <b>6.RP.A.1</b> Understand the concept of a ratio and use ratio language to describe a ratio relationship between two quantities. (MS-PS4-1) <b>6.RP.A.2</b> Use ratio and rate reasoning to solve real-world and mathematical problems. (MS-PS4-1) <b>7.RP.A.2</b> Recognize and represent proportional relationships between quantities. (MS-PS4-1) <b>8.F.A.3</b> Interpret the equation $y = mx + b$ as defining a linear function, whose graph is a straight line; give examples of functions that are not linear. (MS-PS4-1)		

图2 物理科学学习成效预期例子<sup>[2]63-64</sup>

样的。标题分别为“波和电磁辐射”和“波及其在信息传输技术中的应用”的学习成效预期具有相同的结构。

## 我国的义务教育科学课程标准（2022年版）

2022年4月，我国教育部颁布了新修订的课程方案和义务教育各学科课程标准。《义务教育科学课程标准（2022年版）》（以下简称《课程标准（2022年版）》）<sup>[3]</sup>具有以下几个特点<sup>[4]</sup>。

第一，一到九年级整体设计，设置了四个学段，体现了进阶要求。第二，提出要培养核心素养，即学生在学习科学课程的过程中，逐步形成适应个人终身发展和社会发展所需的正确价值观、必备品格和关键能力，是科学课程育人价值的集中体现，包括科学观念、科学思维、探究实践、态度责任等方面。第三，强调综合性和实践性，提出设立跨学科主题学习活动，加强学科间的相互关联，带动课程综合化实施，强化学科的实践性要求。第四，提炼十三个核心概念组织课程内容，旨在让学生通过核心概念的学习形成核心素养。课程方案还提出了科学课程的四个跨学科概念。跨学科概念的形成依赖于核心概念的学习。课程方案以核心概念为主线，旨在让核心概念、跨学科概念、技术与工程实践三者实现有机整合。核心概念与跨学科概念如图3所示。第五，课程方案以核心概念的进阶和学段为经线，以学科核心概念、学习内容和内容要求为纬线，构成了一个纵横交汇的内容框架，建构了完整的课程内容体系。同时，每一个核心概念的学习，都有相应的学业要求、相关的教学提示和活动设计与之匹配，这有利于更好地开展教学活动。第六，学业质量标准规定了学生的学业成就表现，反映了学生的掌握程度，也反映了课程

目标的实现程度。

课程内容设计方面，根据学段目标、学生特点以及学科核心概念的本质特征，提出每个学段的内容要求、学业要求、教学策略建议和学习活动建议。学业要求与教学提示增强了指导性，细化了评价与考试命题建议，实现了教、学、评的完整性。

课程方案附录的教学案例包括核心概念、学习内容与要求、教学目标、教学思路、教学过程和案例评析，突出核心概念在真实情境中的应用，对教师教学起到了示范和启发作用。其中教学目标包括了核心素养的科学观念、科学思维、探究实践和态度责任四个方面的内容。教学思路提示了如何分析现实情况，教学过程的先后顺序以及相应的原因。教学过程具体化地展示教学思路，解释了每个教学环节的教学活动和设计意图。案例评析部分评价和分析了案例在教育教学中的价值。

## 《课程标准（2022年版）》与NGSS的比较

下面将简单分析《课程标准（2022年版）》与NGSS的异同。在两国的标准中，科学教育的目的是一致的，都是为学生的学习生活和未来的职业发展奠定良好的基础。NGSS的学习成效预期和《课

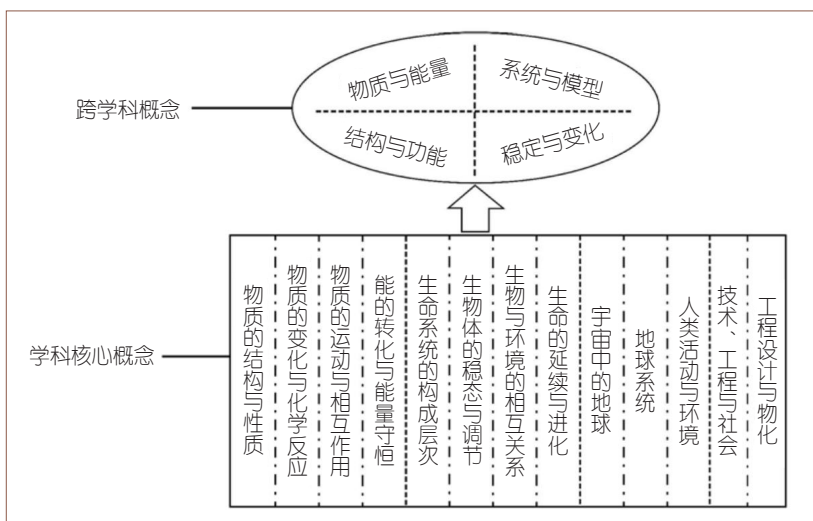


图3 科学课程的内容结构<sup>[3]16</sup>

程标准（2022年版）》中的学业质量相似。

## 核心概念的比较

两国的课程标准均设计了学段以体现进阶要求，学科核心概念也近似。如表2所示，美国科学教育框架的三个方面与我国科学教育核心素养内涵有对应关系。需要强调的是，NGSS并未包括态度责任相关的目标<sup>[2]XVIII</sup>，NGSS解释说，如果指定代表兴趣、动机、坚持和职业目标等品质的学习成效预期相关内容，并不能保证框架的愿景可以实现<sup>[2]XIX</sup>。

表2 中美两国中小学科学教育结构比较

我国科学教育核心素养内涵	相对应的美国科学教育框架
科学观点	学科核心概念和跨学科概念
科学思维	科学和工程实践
探究实践	
态度责任	框架里并未包括

两国的课程内容也存在相似性，我国采用物质科学、生命科学、地球宇宙科学、技术与工程四大领域，与美国的物理科学、生命科学、地球和空间科学，以及工程、技术和科学的应用相对应。《课程标准（2022年版）》淡化了四大领域的名称，强化了十三个核心概念，核心概念的具体学习内容与NGSS有一些细微差别。两国物理核心概念的比较如表3所示。

表3 中美两国物理学科核心概念比较

我国物理学科	美国物理学科
1.物质的结构与性质	1.物质和物质间的相互作用
2.物质的变化与化学反应	2.运动和静止：力和力的相互作用
3.物质的运动与相互作用	3.能
4.能的转化与能量守恒	4.波及其在信息传输技术中的应用

在我国，能的转化与能量守恒、生物与环境的相互关系两个核心概念均在三到四年级学段才出现，而NGSS要求学生在幼儿园阶段掌握核心概念PS3.B（能量守恒和能量转移）以及核心概念ESS2.E（植物和动物能改变它们的环境）。对于核心概念“生命的延续与进化”，NGSS要求学生在小学二年级掌握，而我国是在三到四年级学段才出现。

## 跨学科概念的区别

两国的课标中，跨学科概念均包括物质与能量、系统与模型、结构与功能、稳定与变化等四个概念，但NGSS还包括了模式、因果和规模、比例和数量这三个跨学科概念。在解释跨学科概念的联系时，NGSS指出了思考七个跨学科概念的一种方式。首先，模式是相对独立的，因为模式是科学和工程的所有领域中普遍存在的一个方面。模式的存在自然表明了模式的根本原因。模式在解释数据时也很有帮助，可以提供有价值的证据来支持一种解释或一个问题的特定解决方案。其次，因果关系是科学的核心所在。科学调查的目标是找到支撑一个现象的原因。结构和功能可以被认为是因果关系的一个特例。科学家和工程师都需要了解结构以做出因果推断。再次，系统和系统模型可被科学家和工程师用来研究自然和设计的系统。在决定建模时，规模、比例和数量是必不可少的考虑因素。最后，能量和物质是任何系统模型的基础，系统是用物质和能量描述的。而稳定与变化是描述一个系统如何运作的方法<sup>[2]88-89</sup>。

基于以上解释，在我国中小学科学教育中，也可以考虑加入模式、因果和规模、比例和数量这三个很重要的跨学科概念。

## 科学和工程实践方面的差别

关于科学学习的方式，我国标准中强调“科学探究”和“技术与工程实践”，而美国提出“科学和工程实践”，前美国科学教师协会（现更名为美国科学教育协会，National Science Teaching Association，NSTA）主席哈罗德·普拉特（Harold Pratt）解释了美国的中小学科学教育框架为何提实践而不是探究。回顾科学教育的历史可以明确转变的过程。20世纪60年代美国科学教育改革运动的一个主要创新是引入科学过程，以取代科学方法。科学过程将重点从学生记忆科学方法的五个步骤转移到学习具体的基本过程，如观察、澄清、测量、推理和预测。为了补充这一新的重点，改革后



的新教材纳入了活动、实验室和调查,让学生有机会学习科学的过程,同时发展对科学学科概念结构的理解。在1960—1990年期间,人们对科学探究这种科学教学方法的兴趣和支持不断增加,该方法强调学习科学概念并利用探究的技能 and 能力学习这些概念。《美国全民科学》(*Science for All Americans*)等出版物都表达了这种向科学探究的转变。在20世纪90年代,科学探究是《科学素养基准》(*Benchmarks for Science Literacy*)和《国家科学教育标准》(*the National Science Education Standards*)的基础。与《探究》(*Inquiry*)和《国家科学教育标准》一起,《美国全民科学》和《科学素养基准》对国家标准和探究在学校科学课程中的地位产生了重大影响。重要的是,科学探究扩展并改进了早期的科学过程,而且提供了对科学更丰富的理解,为学生提供了一套认知能力和更有效的学习策略。人们注意到,面向科学过程和科学探究的改革确实使人们更加重视使用活动和调查作为学习科学概念的教学策略。然而,科学探究并没有像预期的那样被广泛实施。在标准发布后的15年里,研究人员推进了大众对学生如何学习科学和科学运作方式的认知。这些和其他领域的进展已在《将科学带入学校》(*Taking Science to School*)和《准备好,开始,科学!》(*Ready, Set, Science!*)两本出版物中得到了综合,这两本出版物美国中小学科学教育框架产生了重大影响。《将科学带入学校》描述了精通科学的学生具有连接科学的内容和实践的四种能力,即精通于认识、使用和解释自然界的科学解释,生成和评估科学证据和解释,了解科学知识的性质和发展,以及富有成效地参与科学实践和讨论。《准备好,开始,科学!》回答了“什么是实践而不是探究”,并将整合四种能力的教学称为“作为实践的科学”。科学实践涉及做一些事情和学习一些东西,其重点是做和学不能真正分开。因此,“实践”包含了以下几个定义:一是反复做某件事,以便变得熟练(如练习小号);二是彻底学习某件事,使其成为第二天性(如练习节俭);三是使用一个人的知识来达到一个目标(如在法律

实践或教学实践中)。科学探究是科学实践的一种形式。因此,美国中小学科学教育框架中提出的观点不是要取代探究,而是要扩大和丰富科学的教学和学习。人们应该注意到对与科学实践相一致的教学策略的强调。当学生参与科学实践时,各项活动成为学习实验、数据和论据、社会讨论、模型和工具以及数学的基础,也成为发展评价知识主张、进行经验调查和发展解释的能力的基础<sup>[5]LOC730-768</sup>。

在课程方案的表述中,《课程标准(2022年版)》并未给出非常清晰的实践过程要求,只是解释了探究实践活动包括观察、实验、记录、测量、制作、调查等,并在附录4列出了学生必做的探究实践活动。NGSS则非常清晰地描述了实践的八个方面,并且在学习成效预期描述中对科学和工程实践有非常明确的要求。NGSS强调,科学和工程实践不是教学策略,其本身就是学习成效的指标和重要的学习目标。在实际应用中,需要思考使用的顺序,以及如何利用每一种实践培养学生对学科核心概念的理解,思考学生可以利用哪些实践探索现象和表征<sup>[6]LOC385</sup>。

## 教学评价方式的差别

《课程标准(2022年版)》提出了评价建议,并在学业要求中列出了学生应该“知道”或“理解”的内容。这些要求需要转化为可以评价的指标,以确定学生是否达到标准。不同的解释有时会导致评价与课程和教学不一致,因此会带来评价上的困难。NGSS以建立学生的知识和能力的方式,制定了学习成效预期,说明学生应该能够做什么,以证明他们已经达到了标准,从而为课程、教学和评价提供了同样明确和具体的目标。由于NGSS是在教学结束时完成考核,高质量的教学将使学生在整个教学过程中参与多项实践。在基于NGSS评价过程中,需要思考以下问题<sup>[6]LOC405</sup>:第一,评价程序或任务是否与学习成效预期相一致?第二,三个方面都被评价了吗?第三,建立怎样的中间评价或形成性评价来检查学生的进步并改善教学?

## NGSS对我国中小学科学教育的启示

《课程标准(2022年版)》提到,在广义的理解中,科学也包括技术与工程。笔者认为这种说法欠妥。

《中小学科学教育框架》对科学、工程和技术做了以下解释。科学不仅是反映当前对世界的理解的知识体系,也是一套用于建立、扩展和完善这种知识的实践。将科学视为一套实践,表明理论发展、推理和验证是更大的活动组合的组成部分,其中包括参与者和机构的网络、专门的谈话和写作方式、发展代表系统或现象的模型、做出预测性推论、建造适当的仪器以及通过实验或观察对假设进行验证。

工程学的主要目标是解决因人类的具体需要或愿望而产生的问题。工程的核心概念包括工程设计以及工程、技术、科学和社会之间的联系<sup>[1]201-212</sup>。技术是因满足人类需求或欲望而对自然世界的任何修改。工程是用一种系统的、迭代的方法来设计对象、过程和系统,以满足人类的需求。科学的应用是将科学知识用于特定目的,决定是否要做更多的科学研究,决定是否设计产品、工艺或一些方法,决定是否研发新技术,或者是否预测人类行为的影响。

基于上文的分析,NGSS对我国中小学科学教育的启发包括以下四方面。

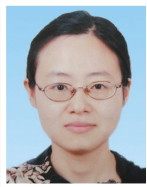
第一,NGSS的学习成效预期设计的可读性和可理解性较高。学习成效预期实现了科学与工程实践、学科核心概念和跨学科概念三个方面的融合,同时也清晰地展示了与其他科学学科的联系,与学生不同阶段科学学科学习内容的联系,以及与语文、数学等基础学科的联系。

第二,跨学科概念的设计是全面的。其中,模式和因果关系这两个概念的教学将为学生未来从事科学和工程工作打下良好的基础。

第三,详尽和充分的科学教育框架为制定课程标准提供了良好的基础。课程标准在附录中提供了丰富的补充材料,如概念性转变、大学和职业准备、初中和高中的示范课程图谱、与数学标准的联系等。科学框架的基础性工作和课程标准的补充材料均有

利于科学教育教师深刻理解课程标准的设计和引导,从而促进其在教育教学的过程中得到较好的效果。

第四,为教师教学提供了充分的支持。由于NGSS的连贯性,教师可以灵活地在一个年级内以任何顺序安排学习成效预期活动,以适应当地的要求。NGSS的官方网站<sup>[7]</sup>提供了教师专业学习的相关材料和工作坊课程,例如如何理解NGSS、科学和工程实践的教学案例等。希望我国中小学科学教育工作者,能够在国家课程标准的指导下,吸收其他科学教育的先进经验,发展良好的科学教育教学方法论,推动我国中小学科学教育高质量发展。



杨晓春

CCF 专业会员。上海成趣信息科技有限公司独立顾问。主要研究方向为机器学习、工业软件、计算机教育。  
jane@janeyoungtech.com

(本文责任编辑:李涛 谭晓生)

## 参考文献

- [1] National Research Council Report. *A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas*[M]. Washington, D. C. : National Academies Press, 2012.
- [2] NGSS Lead States. *Next Generation Science Standards: For States, By States*[M]. Washington, DC: National Academies Press, 2017.
- [3] 中华人民共和国教育部. 义务教育科学课程标准(2022年版)[M]. 北京: 北京师范大学出版社, 2022.
- [4] 喻伯军. 《义务教育科学课程标准(2022年版)》的主要特点与教学建议[J]. 教学月刊小学版(综合), 2022(05): 17-21.
- [5] Pratt H. *The NSTA Reader's Guide To A Framework For K-12 Science, 2nd Edition*[M]. Arlington: NSTA press, 2013.
- [6] Pratt H. *The NSTA Reader's Guide to the Next Generation Science Standards* [M]. Arlington: NSTA press, 2013.
- [7] NSTA. Professional learning [EB/OL]. [2022-07-02]. <https://ngss.nsta.org/professional-learning.aspx>.