



核心概念视域下的 美国本科 STEM 课程设计

——以密歇根州立大学为例

洪志忠 程菁菁

摘要:STEM 教育是培养大学生跨学科素养和复杂问题解决能力的有效路径。基于核心概念的课程设计是美国本科 STEM 教育的重要特征。本研究结合密歇根州立大学的案例,回答本科理工科课程改革为何要基于核心概念、如何确定核心概念、如何基于核心概念设计课程内容结构、如何构建基于核心概念的教学与评价等关键问题。结合国际经验和本土实际情况,我国本科理工科教育教学需要将聚焦迁移能力、跨学科素养的培养,加强核心概念对课程整合的引领,重视基于证据的教学与评价作为改革的方向。

关键词:核心概念;本科教育;STEM;课程设计

DOI: 10.13734/j.cnki.1000-5315.2021.01.016

收稿日期:2020-07-06

基金项目:本文系 2016 年度教育部“基础学科拔尖学生培养试验计划”研究课题“中美两国基础学科拔尖学生人才培养模式的比较研究”的阶段性研究成果。

作者简介:洪志忠,男,福建厦门人,教育学博士,厦门大学高等教育发展研究中心助理教授,硕士生导师,研究方向为课程与教学论、高等教育基本理论,E-mail: hongzhizhong@xmu.edu.cn;
程菁菁,女,浙江温州人,教育学硕士,浙江省科技宣传教育中心科员,研究方向为科学教育。

以知识融合和技术创新为主要特征的新经济崛起对高等教育人才培养提出了全新的挑战。我国高等教育的人才培养由于受传统专业教育模式、封闭办学等因素的影响,在课程目标、教学设计、学习评价等方面仍存在明显短板,难以有效地帮助学生形成适应新经济发展要求的跨学科素养、复杂问题解决能力和创新创造能力^①。在高等教育发达国家,加强 STEM 教育被认为是应对外部需求变化、提升教育教学质量的一条有效途径。2015 年,《自然》(*Nature*)杂志在“培育 21 世纪的科学家”的专辑中指出,为解决健康、能源、安全和环境等领域复杂的、跨学科问题,有效的 STEM 教育对于高素质科学人才培养至为关键^②。自 2011 年起,美国大学联盟(Association of American Universities,简称 AAU)发起了一项本科 STEM 教育改革计划,众多研究型大学在实践中涌现出丰富的成果。其中,密歇根州立大学(Michigan State University,以下简称 MSU)是 AAU 挑选的试点学校,其基于核心概念的课程改革效果突出,成为一项经典案例。在全美化学学会(American Chemistry Society)组织的相关考试中,MSU 的学生并没有因为课程内容和知识点的减少而表现出成绩的下滑^③,同时在该校自主设计的围绕核心概念展开的实践性评价测验中表现出良好的设计推

① 邬大光《大学人才培养须走出自己的路》,《光明日报》2018 年 6 月 19 日,第 13 版。

② Stephen E. Bradforth, Emily R. Miller, William R. Dichtel, et al., “Improve undergraduate science education,” *Nature* 523, no. 7560 (July 2015): 282.

③ Melanie M. Cooper et al., “Organic chemistry, life, the universe and everything (OCLUE): A transformed organic chemistry curriculum,” *Journal of Chemical Education* 96, no. 9 (August 6, 2019): 1869.

理能力^①。

本文围绕基于核心概念的课程设计,以 MSU 为案例,重点探讨理工科课程改革为何需要聚焦核心概念、如何确定核心概念、如何以核心概念设计课程内容、如何实施基于核心概念的教学及评价等关键问题,以期为我国本科课程建设和人才培养提供经验参照。

一 基于核心概念来设计 STEM 课程的原因

在 STEM 教育的发源地美国,本科阶段的 STEM 教育一直在国家层面受到高度重视。STEM 教育萌芽于美国国家航天局(NASA)对科技后备人才培养的探索。由 NASA 负责的教育活动直接将教学过程与其本身的工作任务联系起来,将学生带到科学研究的环境中,向他们提出真实的项目任务,要求学生通过自主探究来设计方案和操作实验来解决问题。NASA 逐渐意识到,这种基于综合性项目的学习经历能够更有效地帮助学生掌握 STEM 工作的规律,为此专门研制了相应的 STEM 课程以推广此种“做中学”经验。然而,走出 NASA 的 STEM 课程在教育实践中出现了只有活动没有目标、只动手不动脑的问题,并未达到预期的理想效果,给教育系统带来了更多亟待解决的问题^②。教育研究者指出,这些相互独立的 STEM 项目使得课程变得支离破碎,对学生的评价也难以操作,因而不能达到理想的教学效果。

来自认知心理学的研究成果支持了教育研究者的观点。心理学家布鲁纳(Jerome Seymour Bruner)在 20 世纪 60 年代引领了学科结构运动。他认为:“一门学科的课程应该决定于对能达到的、给那门学科以结构的根本原理的最基本的理解。教专门的课题或技能而没有把它们在知识领域更广博的基本结构中的脉络弄清楚,……是不经济的。”^③课程设计需要强调这些基本观念,以这些观念为基础,直至学生掌握与这些观念相适应的知识体系,并形成在不同情境中运用知识进行迁移的能力。虽然学科结构运动因为缺乏配套的教师专业发展支持而陷入低潮^④,但其强调学科核心概念的思想依然对后续的教育改革产生了深远影响。另一项关于专家和新手知识结构的对比分析同样强调了以核心概念组织知识体系的重要性。研究表明,专家与新手的知识结构表现出不同的特征:专家的知识通常围绕着核心概念组成一个系统连贯的知识框架,新知识能在知识框架中实现同化,更易于理解和运用;新手的知识往往是对相关领域的事实和公式的简单罗列,片段化知识的堆砌将令他们在学习中遭遇困难^⑤。NASA 提供的项目式 STEM 课程最大的问题在于“做学分离”,学生在学习过程中缺乏连贯有效的知识结构,也就难以为学生建立系统的知识体系、实现知识和能力的迁移提供支持。美国国家研究院(National Research Council,简称 NRC)一项针对本科生 STEM 学习情况的调查报告反映了核心概念对于 STEM 学习的影响:许多本科生感到 STEM 专业的学习越往后越困难,这一问题的根本原因在于他们在专业学习的最初阶段没有准确、合理地掌握 STEM 学科的核心概念^⑥。

核心概念(core concepts)是指对某一个学科发展具有重要意义的少数关键概念,能够将学科内的知识联结为一致的整体。核心概念是理解和解释学科领域内其他概念与问题的基础,凝聚了整个学科的中心思想,具有基础性、关键性和可迁移性的特征。在此基础上,STEM 核心概念表现出更为丰富的内涵。STEM 本身作为一个整合性概念,强调要建立学科内知识、学科间知识以及理论知识与实践之间的联系,因此反映 STEM 领域这种复杂联系的核心概念所关注的就不仅仅是来自学科内部的知识,而且具有了跨学科的特征。STEM 核心概念更类似于“大概念”(big ideas),包括整合了某一学科内知识的核心概念,以及侧重跨学

①Ryan L. Stowe, Melanie M. Cooper, “Arguing from spectroscopic evidence,” *Journal of Chemical Education* 96, no. 10 (August 21, 2019): 2082.

②Kam Yee, “America COMPETES Act’s effect on NASA’s education and public outreach programs,” *Space Policy* 31, (February, 2015): 28.

③布鲁纳《教育过程》,邵瑞珍译,文化教育出版社 1982 年版,第 47 页。

④陆有铨《躁动的百年——20 世纪的教育历程》,山东教育出版社 1997 年版,第 357—358 页。

⑤John D. Bransford et al., eds., *How People Learn: Brain, Mind, Experience, and School*, Expanded Edition (Washington, DC: National Academy Press, 2000), 48-50.

⑥Susan R. Singer et al., eds., *Discipline-Based Education Research: Understanding and Improving Learning in Undergraduate Science and Engineering* (Washington, DC: National Academies Press, 2012), 2-3.

科内容组织的共通概念^①。为了克服 STEM 课程“广而不深”的缺点,核心概念的提出有利于课程知识的整合,有助于学生思维的纵深发展和知识迁移能力的培养。

在实践中,强调核心概念的课程改革实践呈现出从基础教育领域向高等教育领域扩散的趋势。虽然 STEM 教育最早出现在高等教育领域,在实践层面却是基础教育走在了前列。在美国,NRC 出台了《K-12 年级科学教育框架》(*A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas*,以下简称《框架》)和《下一代科学标准》(*Next Generation Science Standard*,以下简称《标准》)等指导性文件。但是,“我们没有理由认为刚毕业的高中生与刚入学的大学生会有什么截然不同的学习方式”,“况且之所以把研究对象限定在 K-12 阶段主要是由于经费的限制”^②。尽管上述两份文件主要是为 K-12 阶段的学生编制的,但其中的理念与方法对本科教育,尤其是本科起始阶段,同样具有指导意义。这也是 MSU 在进行基于核心概念的课程改革时将《框架》和《标准》作为重要参考的原因所在。

二 如何确定 STEM 课程的核心概念

核心概念对于课程整合的作用与价值在美国 STEM 教育研究领域获得广泛认同,许多权威研究机构都开始编制针对各学段和各学科领域的 STEM 核心概念,《框架》是其中的典型代表。该框架对如何编制 STEM 核心概念以及围绕核心概念的课程结构进行了系统的梳理,对美国大学 STEM 课程设计产生了广泛影响。

(一)三个维度的核心概念

为了统整课程和实现学生的深度学习,核心概念的数量必须是关键的、有限的,而非追求覆盖过多的知识点。如何从众多的学科知识点中筛选出“少而精”的核心概念,《框架》首先确定了遴选核心概念的标准,指出至少符合下列 2 条以上才能成为核心概念:

- 1.对科学或工程学的多学科领域都有重要的价值,或者是单一学科重要的组织性概念(organizing principle);
- 2.可作为理解和探究更复杂的概念及解决问题的重要工具;
- 3.与学生的兴趣和生活经验相关,或者与需要科学或工程学知识支持的社会问题、个人问题相关;
- 4.具有可教性和可学性,随年级增长可不断提高深度和复杂性。^③

以此为依据,《框架》从“学科核心概念”“跨学科概念”“科学与工程实践”三个维度编制了核心概念清单(如表 1 所示)^④。

表 1 三维核心概念的内容

维度	内容	
学科核心概念	物质科学	1.物质及其相互作用;2.运动和静止:力和相互作用;3.能量;4.波及其技术和信息传递方面的应用
	生命科学	1.从分子到生物体:结构和过程;2.生态系统:互动、能量和动力;3.遗传:遗传和变异的特征;4.生物进化:统一性和多样性
	地球与空间科学	1.地球在宇宙中的位置;2.地球系统;3.地球和人类活动
	工程、技术与科学应用	1.工程设计;2.工程、技术、科学与社会的联系
跨学科概念	1.模式;2.因果关系:机制和解释;3.尺度、比例和数量;4.系统和系统模型;5.物质和能量:流动、循环和守恒;6.结构与功能;7.稳定与变化	
科学与工程实践	1.提出问题和界定问题;2.开发和利用模型;3.计划和实施研究;4.分析和解释数据;5.使用数学和计算思维;6.构建解释和设计解决方案;7.基于证据参与辩论;8.获取评估和交流信息	

①郭玉英、姚建欣、张静《整合与发展——科学课程中概念体系的建构及其学习进阶》,《课程·教材·教法》2013年第2期,第44—45页。

②James T. Laverty et al., “Characterizing college science assessments: The three-dimensional learning assessment protocol,” *PLOS ONE* 11, no. 9 (September 8, 2016): 3.

③National Research Council, *A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas* (Washington, DC: National Academies Press, 2012), 31.

④National Research Council, *A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas*, 3.

NRC 认为各学科的教育者和教育研究者可以以三维核心概念体系为参考,积极开发各 STEM 学科的核心概念,并进一步设计基于核心概念的整合课程。学科核心概念是三个维度核心概念体系的核心。学科核心概念首先将 STEM 学科划分为生命科学、地球和空间科学、物理科学,以及工程、技术和科学应用四大领域,再针对这些领域的特点分别提炼出了 2—4 个核心概念。跨学科概念提供了在 STEM 学科领域中反复出现的一些重要概念。跨学科概念超出了单一学科的界限,为不同学科领域提供了一种连接性的结构。这种连接性表现为跨学科核心概念其实已经或多或少地反映在“学科核心概念”中。例如,跨学科概念中的“5.物质和能量”体现在物质科学领域的“3.能量”和生命科学领域的“2.生态系统:互动、能量和动力”;跨学科概念中的“6.结构与功能”则在生命科学领域的“1.从分子到生物体:结构和过程”中有所反映。“科学与工程实践”所描述的 8 项实践类别是从专业的科学家和工程师的操作实践中提炼出来的,强调了科学学习的实践性,更有助于学生们获得对科学和工程的本质的深刻理解。

(二)编制本科阶段化学核心概念

根据《框架》提供的核心概念遴选标准以及三维核心概念清单,MSU 的课程研发团队从本校课程改革的需求出发编制了化学、物理、生物等 STEM 专业的学科核心概念。

以化学为例,该团队首先基于学科性质选择了《框架》中的物质科学领域核心概念(物质及其相互作用、力和相互作用、能量、波及其在技术和信息传递方面的应用)作为参照。“物质科学”涵盖了物理与化学学科。在编制过程中,物质科学领域的前三个核心概念都能很好地反映在化学学科的内容中,但“波及其在技术和信息传递方面的应用”是物理学科的特有知识,在化学学科中并无明显的对应。因此,该团队转而从跨学科概念中选择了在化学中也有重要体现的“稳定与变化”这一概念,既体现了学科本质,又反映了跨学科的特点。

该团队由此商定了四个化学核心概念:1.静电键合的相互作用力;2.原子/分子结构和性质;3.能量;4.化学系统的变化和稳定性(如表 2 所示)^①。这四个概念概括了研发团队期望学生在化学基础课程中掌握的主要内容(“组织性概念”),能够帮助理解和解决复杂的化学问题(“复杂的概念理解及解决问题的重要工具”),并为化学高阶课程的大部分内容奠定了基础(“不断提高深度和复杂性”)。

表 2 MSU 的化学核心概念

1.静电键合的相互作用力:吸引力和排斥静电力 控制原子中电子和原子核之间的相互作用,以及原子和分子之间的非共价和键合(共价和离子)作用。这些力的强度取决于所涉及电荷的大小和它们之间的距离。
2.原子/分子结构和性质 物质的宏观物理和化学性质由三维结构、电子密度分布以及粒子非共价相互作用的性质和程度决定。
3.能量 能量变化要么是引发化学系统变化的原因,要么是化学系统变化的结果,这可以从不同层面进行判断,但总是遵循着能量守恒定律。 (1)宏观层面:原子和/或分子集合的相位和反应的变化伴随着由原子/分子尺度的能量变化引起的能量变化。 (2)原子/分子层面:当原子和分子相互作用时,动能和势能就会发生变化。当化学键形成或非共价产生时,能量被释放到周围环境中,相反,需要能量来打破化学键和非共价作用。 (3)量子力学能级和变化:能级在原子和分子中被量子化,导致能级之间转换的离散能量。这是电子和其他亚原子粒子的波粒二象性的直接结果。
4.化学系统的变化和稳定性 能量和熵的变化、竞争过程的速率以及对立力量间的平衡影响了化学系统的稳定。

三 如何基于核心概念设计课程内容结构

STEM 教育的一大特征是强调课程内容应当围绕核心概念进行组织。在确定好核心概念之后,如何能够基于少数关键的概念将有关的学科知识联系起来,《框架》引入了认知心理学中的“学习进阶”(learning

^①Melanie M. Cooper, Lynmarie A. Posey, Sonia M. Underwood, “Core ideas and topics: Building up or drilling down?” *Journal of Chemical Education* 94, no.5 (March 16, 2017): 544.

progressions)理论,结合核心概念,建立了贯通性的课程结构,为各阶段、各领域的STEM课程开发提供了内容条件与科学指导。

(一)基于核心概念框架构建的连贯课程体系

学习进阶理论与学科结构运动的“螺旋式课程”(spiral curriculum)有相似之处,描述了学生概念学习所遵循的连贯的、典型的学习路径:一个核心概念在不同学习阶段所表现出的具体内涵是不同的,因而学生对于每个核心概念的学习不是一蹴而就的,学生对于这个概念的理解将随着学习阶段的推进而不断深入^①。

基于这一认识,《框架》以核心概念为主体,应用学习进阶理论,设计了一个整体保持一致的、深度发展的课程框架。首先,《框架》对应每个学科核心概念开发了若干个次级概念,这些次级概念是关于核心概念的进一步阐释;随后,将每一个次级概念结合各个年级的课程要求设计具体的知识内容,并且内容的编排随着年级的增长呈现出从简单到复杂、从宏观到微观、从具体到抽象的进阶态势。同时,跨学科概念与科学和工程实践也在每个年级阶段的具体内容中有所体现,从而将学科核心概念所对应的每个次级概念连接起来。由此,课程内容便围绕着“核心概念”所建立的框架形成了横向联系、纵向连续的课程体系。

(二)围绕核心概念整合本科化学学科的课程内容

《框架》发布后为全美各州的课程改革提供了理论支持,围绕核心概念设计的STEM课程学习材料不断涌现。依据《框架》的核心概念来开发课程遵循的是“自上而下”的顶层设计逻辑。但在学校教学情境中,限于经费等要素,要推翻已有课程体系去设计全新的课程显然是一个过于庞大的工程。因此,MSU借鉴《框架》所描述的方法,以一种“自下而上”的方式来改革STEM专业的基础课程。其重点不在于另起炉灶,而是要利用核心概念对已有的课程结构进行调整,使每个主题单元的内容都明确地与核心概念联系起来,反复强调学生要围绕核心概念去理解和解释新的知识。

仍以化学为例。化学基础课程中通常都会设置“相变”这一单元,而在单元中往往只是从熔点、沸点等能直观观察的结构和性质变化来介绍这一内容。MSU团队认为,相变并不是可以简单概括的零散知识点,它作为一个主题性的知识是需要与四个核心概念联系起来理解的。这些概念包括相变过程中一些相互作用的形成或破坏、从气体到液体再到固体的变化能量是如何转移的、为什么相变点温度不发生变化或为什么系统的熵为负也可以发生冻结等。这些内容其实分散在化学课程的各个单元中。教师以往习惯于默认学生在完成整个课程学习后便能够主动建立起这种联系,但实际上学生们常常会以单元来划分知识,并不容易发现每个单元之间共通的知识内容^②。

因此,MSU团队专门确认了哪些学科知识是可以作为一个主题单元来展开的,即单元设计。例如“化学反应速率”这一知识,以往总是与数学计算联系起来套在其他主题单元中。但化学反应速率是理解化学变化的重要知识,贯穿于整个化学学习过程。如果教师仅仅提供要求学生记忆的公式而不引导他们理解化学反应速率背后的内涵,学生在面对复杂的反应公式的高阶学习时必将难以理解这些符号。因此,MSU团队将“化学反应速率”设置为一个独立的单元,联系结构变化、相互作用力、能量变化、化学系统的稳定性等核心概念向学生解释化学反应速率的深刻内涵。

四 如何构建基于核心概念的教学与评价

基于《框架》提供的内容条件,美国国家科学研究院进一步主持编制了《标准》。《标准》是美国进入21世纪以来的首个全国性科学课程标准,最大的创新之处在于设置了学习预期(performance expectation)来呈现关于学生学习结果的行为特征,为科学课程、教学和评价提供具体的目标。

(一)学习预期为教学与评价提供依据

所谓学习预期,指的是学生在经过某个阶段对某一学科核心概念的学习后应该达到的行为表现。《标准》对学习预期的设计巧妙融合了《框架》中的科学与工程实践、跨领域概念和学科核心概念三个维度,并在

^①张颖之《理科课程设计新理念:“学习进阶”的本质、要素与理论溯源》,《课程·教材·教法》2016年第6期,第116页。

^②Melanie M. Cooper, Lynmarie A. Posey, Sonia M. Underwood, “Core ideas and topics: Building up or drilling down?” *Journal of Chemical Education* 94, no. 5 (March 16, 2017): 543.

描述上突出了“科学与工程实践”的内容。以下是高中阶段“物质的结构与性质”主题的部分学习预期(如表 3 所示)^①。

表 3 “物质的结构与性质”主题的学习预期

<p>学生在学习之后能够：</p> <p>HS-PS1-1. 利用元素周期表,并根据源自最外层电子构型去预测元素的性质。[进一步说明:能够用这一模式说明的性质包括金属活动性、化学键类型、化学键数目、与氧气的反应等。][评价范围:评价仅限于主族元素,不要求定量地理解电能的变化趋势。]</p> <p>HS-PS1-3. 计划并实施调查,通过收集物质物理性质差异的证据来推断物质粒子之间电子作用力的强弱。[进一步说明:重点在于理解粒子之间的作用力,而不是知道特殊分子间作用力的名称。粒子包括离子、原子、分子或大分子(如石墨)等。物理性质包括如熔点、沸点、蒸气压、表面张力等。][评价范围:不要求利用拉乌尔定律计算蒸气压。]</p> <p>HS-PS1-8. 发展能够说明在裂变、聚变、放射性衰变过程中原子核组成和能量变化的模型。[进一步说明:重点在于简单的定量模型,如能够反映原子核反应相对于其他变化中能量释放大小的图或表。][评价范围:对于定量计算能量释放大小不做要求。评价仅限于α、β、γ射线的衰变。]</p> <p>HS-PS2-6. 交流关于为什么分子水平的结构对于人造材料的功能十分重要这一科技信息。[进一步说明:重点在于决定材料功能的分子引力和斥力,如为什么导电材料通常是由金属制造的,耐用的弹性材料通常是由长链分子构成的,药物需要与特殊受体形成相互作用力等。][评价范围:评价仅限于说明决定特殊人造材料的分子结构。]</p>
--

上述的学习预期综合体现了 STEM 核心概念的内容,包括科学与工程实践中的“发展和使用模型”“计划和实施调查”“信息的获取、评价和交流”,学科核心概念中的“物质的结构和性质”“核反应”“作用类型”,以及跨学科概念中的“模式”“能量和物质”“结构和功能”等。同时可以发现,学习预期是以可操作、可检验的学习行为语言来描述的,行为是与实践相互联系的,实践的外显表现即是行为。通过强调要将学生内在的知识掌握转化为外显的行为表现并提供描述行为的方式,学习预期充分支持了课程、教学与评价的合理开展。

(二) 基于证据的教学和评价设计

在教学策略方面,主动学习式教学(active learning and teaching)是实施 STEM 学科教学最重要的策略。一项基于 225 项研究报告进行的分析指出,比较讲授式教学与主动学习式教学下本科生 STEM 学科成绩,采用主动学习式教学的课堂中学生其平均考试成绩较之于传统的讲授教学提高了约 6%,并且接受讲授式教学的学生学业失败的可能性是采用主动学习式教学的学生的 1.5 倍^②。主动学习式教学是相对于传统的教师单向知识传递而言的,强调激发学生在知识学习过程中的主观能动性,其实质是一类以学生为中心的教学方法。各 STEM 学科都非常重视对于主动教学策略的研究,使以学生为中心的主动教学贯穿在整个教学过程。第一,主动学习式教学强调讲课过程的互动性,激发学生的课堂参与,例如采取演讲、小组讨论、合作学习等形式;在实验室中,主动教学表现为让学生获得真实的科学研究体验,鼓励学生们设计实验、观察记录数据、收集解释结果,从而尝试完善现有模型,建立起自己的因果模型。第二,鉴于 STEM 学科知识的抽象性,许多研究者建议在 STEM 教学中引入更多的动态模拟技术,以可视化的方式辅助学生理解 STEM 学科的各种图形符号^③。第三,主动学习式教学并不是放任学生不管,而是要引导学生更多地了解到自己的认知过程并改善自身的学习习惯,所以需要注重培养学生的元认知能力。

在评价设计方面,MSU 从《框架》和《标准》中获得启示,认识到仅仅转变课程内容和结构对于帮助学生学得合理的学习方式是不充分的,STEM 核心概念的整合应该贯穿于课程、教学、评价的全过程。尤其是,评价的特性常常无意间暗示了学生什么是最重要的知识,对学生的学习有直接影响^④。因此 MSU 将课程评

^①National Research Council, *Next Generation Science Standards: For States, By States* (Washington, DC: The National Academies Press, 2013), 91.

^②Scott Freeman et al., “Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics,” *PNAS* 111, no. 23 (June 10, 2014): 8410.

^③Judith A. Ramaley, “The national perspective: Fostering the enhancement of STEM undergraduate education,” *New Directions for Teaching and Learning*, no. 117 (Spring 2009): 70-71.

^④James T. Laverty et al., “Characterizing college science assessments: The three-dimensional learning assessment protocol,” *PLOS ONE* 11, no. 9 (September 8, 2016): 1.

价也作为其 STEM 课程改革的一项重点任务。

MSU 团队采用了学习预期的设置方法,围绕核心概念展开,强调以实践的方式从学生那里获得关于他们学习情况的可观测行为,以下是一组评价项目的案例:

1. 利用提供的反应公式计算该反应的焓变化: $\text{CH}_3\text{CH}=\text{CH}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$;
2. 基于 1 部分的结果,理解关于这个反应中系统和周围环境之间的能量流动;
3. 画一张能量图,要求显示反应物和产物的相对能量;
4. 根据 3 的回答,讨论相互作用的强度以及反应物和产物转变过程中的能量变化。^①

该评价示例一方面明确地与核心概念联系起来,围绕着核心概念而不是基于零散的知识点来设计内容,呼应了课程学习中的知识整合要求,使核心概念贯穿于学生学习的全过程,提示他们养成联系核心概念进行思考和解释问题的习惯;另一方面,评价项目要求学生运用他们所学的知识内容来预测、建模和解释现象,引导学生以科研工作方式去理解和解决问题,这也正是科学教育的重要目标。这样基于 STEM 核心概念设计的评价,利用了科学与工程实践的方式获得能够反映了学生是如何进行 STEM 学习的可靠“证据”,响应了美国本科 STEM 教育改革行动所号召的“基于证据”的 STEM 教学。

五 结语

MSU 基于核心概念的课程改革是美国高校 STEM 教育中的经典案例,解决了本科 STEM 入门课程“广而不深”的问题,提高了学生的学习表现。其基于核心概念的 STEM 课程设计思路和措施对我国本科理工科教育课程改革具有启示意义。

(一) 聚焦迁移能力、跨学科素养的培养

2018 年,教育部发布了《普通高等学校本科专业类教学质量国家标准》(以下简称《国标》)。此次《国标》的一大特点是涵盖了普通高校本科专业目录中全部 92 个本科专业,分别列出对各专业类知识体系和核心课程体系的建议。但不难发现,立足于单一专业的质量标准在内容和知识点上过于繁复,不利于人才的迁移能力、跨学科能力培养。例如,其中物理学类专业知识“机械运动现象”“热运动现象”和化学类专业知识“化学动力学”“化学热力学”显然存在着交叉概念^②,但被分别列置且由教师按照各自的学科方式区别教授,学生会很难将它们联系起来。如果缺乏对各专业知识的融会贯通,学生将无法把所学的专业知识迁移到另一门学科,特别在需要应用科学知识解决实际问题、技术创新等方面显得后劲不足。另一方面,从外部需求来看,随着经济结构的升级调整,近年来就业市场上许多专业相关度出现了下降的态势^③,新工业革命对科技人才的复合能力、创新能力提出了更高的要求。为使学生获得更好的社会适应性,高等教育教学质量的标准有必要在专业设置的基础上,聚焦学生的跨学科理解和知识迁移能力培养,适当整合各专业的培养目标,《标准》按照学科领域而非具体学科/专业来设置标准的方式正给我们提供了可资参考的思路。

(二) 加强核心概念对课程整合的引领

当前我国本科课程设计中普遍存在两种现象:一是“求全”,课程内容又宽又广,力争知识点全覆盖;二是“师本”,课程开设由教师依据自身喜好裁量,与《国标》的人才培养要求脱节。上述现象出现的原因与核心概念的缺位密切相关。核心概念大体上可以对应我国的学科基础知识,但在我国被列为学科基础知识的内容过多、过繁,教师们备课时面对庞杂的知识点往往无从下手。知识是无限的,而课程内容容量是有限的,高等教育的目标也不是为了打造“一本书的大学”^④,要提高课程的质量和效率必须破解这一矛盾,合理地精简学科基础知识。《框架》围绕核心概念开发课程的方法,为课程设计提供了切实可行的指导,基于关键的核心概念整合课程的理念值得借鉴。

^① Melanice M. Cooper, Lynmarie A. Posey, Sonia M. Underwood, “Core ideas and topics: Building up or drilling down?” *Journal of Chemical Education* 94, no.5 (March 16, 2007): 546.

^② 教育部高等学校教学指导委员会编《普通高等学校本科专业类教学质量国家标准(上)》,高等教育出版社 2018 年版,第 118、134 页。

^③ 郭娇、王伯庆《工程教育本科专业社会需求发展趋势分析——基于中国大学生就业数据的实证研究》,《高等工程教育研究》2017 年第 5 期,第 47 页。

^④ 别敦荣《“一本书的大学”培养不出一流人才》,《文汇报》2019 年 1 月 4 日,第 8 版。

(三)重视基于证据的教学与评价

加强实践教学逐渐成为国内理工科教育的共识,但是开发与实践教学相对应的评价方式还没有引起足够的重视。目前看来,理工类专业的评价倡导在“做中学”的过程中体现成果导向,但如果只偏重“做”,没有兼顾“做”与“学”的关系,这些成果实际上并不足以反映实践教学或实践学习的真实情况。《框架》将科学与工程实践纳为 STEM 教育的三个维度之一时重点强调,“实践”(practice)不同于“技能”(skill),实践是知识与技能的结合^①。那么,对实践能力的评价也不仅要关注技术应用的结果,更要关注学生是否真正理解问题背后的原理以及如何运用学科知识来构建问题解决方案的,这才是体现学生创新能力、知识迁移能力、问题解决能力发展的可靠证据,否则所谓的实践教学可能也只是一种低水平的职业技能培训。对于实践教学的有意义评价需要从学生那里获得反映他们是如何理解特定结构的证据,例如 MSU 以学生表现来评价实践教学。更多地关注学生学习过程的证据,而不是将纸笔测验作为教学和评价的全部依据,这也正是以学生为中心的题中应有之义。

American Undergraduate STEM Course Design Under Core Concepts

HONG Zhi-zhong¹, CHENG Jing-jing²

(1. Center of Higher Education Development, Xiamen University, Xiamen, Fujian, China;

2. Center of Science and Technology Publicity and Education of Zhejiang Province, Hangzhou, Zhejiang, China)

Abstract: STEM education has become an effective way to cultivate college students' interdisciplinary literacy and complex problem-solving ability. Course design based on core concepts is an important feature of undergraduate STEM education in the United States. With the case study of Michigan State University, this paper solves a series of problems including why the reform of undergraduate curriculum should be based on core concepts, how to identify core concepts, how to design content structures based on core concepts, and how to build a teaching and evaluation mechanism based on core concepts. It is our opinion that the educational and teaching reform for China's science undergraduates should be launched on the path of focusing on the training of transfer of learning, cultivating interdisciplinary literacy, playing the guiding role of core concepts to curriculum integration, and attaching importance to evidence-based teaching and evaluation system.

Key words: core concepts; undergraduate education; STEM; course design

[责任编辑:罗银科]

^①National Research Council, *A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas*, 41.