

美国《本科 STEM 教育监测指标》述评

李 谦 赵中建

(华东师范大学 国际与比较教育研究所, 上海 200062)

[摘要] 美国国家科学院2018年1月发布的国家本科STEM教育质量监测指标,包括3个STEM教育改革总目标、11个行动目标和21个监测指标,回应了美国总统科技顾问委员会的要求和本科STEM教育改革现阶段的需求。尽管美国现有数据库不能满足该指标体系的要求,指标研制委员会提出三种解决数据缺失的方案以供选择。该指标体系的发布再次凸显了美国对本科STEM教育和STEM专业人才培养的重视,同时预示了教学改革是未来美国本科STEM教育改革的重心。

[关键词] STEM教育;监测指标;本科;美国

[中图分类号] G434

[文献标识码] A

[文章编号] 1007-2179(2019)03-0044-09

2012年2月,美国总统科技顾问委员会发表了题为《致力于卓越:增加100万科学、技术、工程、数学专业大学毕业生》(Engage to Excel: Producing One Million Additional College Graduates with Degrees in Science, Technology, Engineering, and Mathematics)报告,回应了美国前任总统奥巴马向科技顾问委员会提出的要求:“研制政府最应采取的明确行动建议,确保美国未来几十年保持STEM教育领袖地位”(赵中建,2018)。该报告不仅制定了本科STEM教育的十年发展计划,还建议国家科学院、工程院和医学院制定评估本科STEM教育质量的指标体系。五年后,在国家自然科学基金会的支持下,上述三大科学院合作组建了由STEM专业人士、管理者、教育学家和经济学家构成的指标制定委员会(以下简称“委员会”),并于2018年1月发布《本科STEM教育监测指标》(以下简称《监测指标》)。这份由代表美国科学界最高水平的三大学术机构主导、全美

相关专家通力合作完成的《监测指标》,进一步明确了本科STEM教育改革的目标和途径,确定了国家监测本科STEM教育质量的标准,还解释了大数据之于监测指标体系的重要性。更关键的是,该《监测指标》特别指出了教育研究在本科STEM教育改革过程中的重要性,提出了许多新的研究领域供相关人员参考。由此可见,《监测指标》不仅会对美国本科STEM教育改革有重要指导作用,对政府部门、私人资助者和产业界也有重要参考价值,也将对美国高等教育发展产生影响。由于我国目前缺乏类似的监测指标用以衡量本科STEM教育质量,因此《监测指标》对我国具有借鉴意义,值得关注和研究。

一、概念框架和基本内容

委员会基于组织理论视角,将本科教育视为复杂的开放系统,并为之建立了基础模型。该模型由四部分组成:输入,代表学生入学阶段;过程,代表学

[收稿日期]2018-12-18

[修回日期]2019-04-30

[DOI编码]10.13966/j.cnki.kfjyyj.2019.03.005

[基金项目]2018年度全国教育科学规划国家一般课题“中美高校创客空间培育路径的比较研究”(BDA180028)。

[作者简介]李谦,博士研究生,华东师范大学国际与比较教育研究所(logol990@outlook.com);赵中建,教授,华东师范大学国际与比较教育研究所。

生教育经历;环境,代表学术组织结构和文化特征;成果,代表学生对 STEM 知识和技能的掌握及证书获得(见图 1)。虽然并非所有学生的学习生涯均可描述为线性过程,如学生休学或退学、转专业等,但总体上说,该模型框架代表了学生完成高等教育的过程。另外,考虑到综合评估学生教育经历和教育环境是本科 STEM 教育指标体系的核心(National Academies, 2017),《监测指标》也将重点放在过程和环境环节(环境围绕过程)。需指出的是,虽然环境包括院校、系别及各级政府、家长、雇主、民间机构等高等教育系统内外部的诸多主体,但委员会本着降低成本的需要将负责本科 STEM 教学工作的院校内部环境选为主要监测对象。

以上述模型为基础,在兼顾其他学者提出的高等教育变革模型的同时,委员会回顾了美国本科 STEM 教育的现状及需要改进的地方,并围绕教育质

社会背景:全球竞争、日益多样化的学生、问责压力、日新月异的技术(基本框架外)

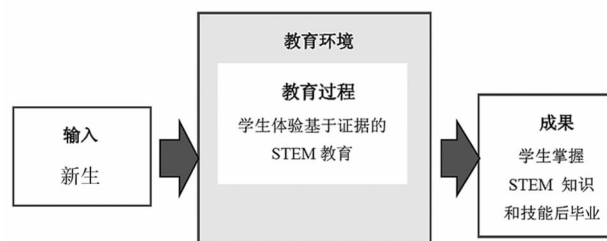


图 1 本科 STEM 教育基础模型

资料来源: National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine(2018), P38。

量和教育公平两大主题确定了下一阶段美国本科 STEM 教育的三个总目标。为了阐明本科 STEM 教育的基础模型和三个总目标,委员会又制定了 11 个行动目标,即实现总目标的具体和可衡量的步骤;为了衡量这些行动目标的完成程度,委员会开发了 21 个监测指标(考虑到实用性,每个行动目

表一 本科 STEM 教育监测指标体系

基础框架	行动策略	监测指标
目标一:鼓励学生参与基于证据的 STEM 教育实践和项目,提高 STEM 概念和技能的掌握水平		
过程	1.1 课堂内外均采用基于证据的教育实践	1.1.1 课程开发和授课使用基于证据的 STEM 教育实践 1.1.2 促进课堂外使用基于证据的 STEM 实践
环境	1.2 支持 STEM 教师开展基于证据的教育实践并促进其深入应用	1.2.1 教师参与专业发展的程度 1.2.2 对基于证据的课程开发或课程再设计的支持或激励的可用性
环境	1.3 重视本科 STEM 教学的制度文化	1.3.1 运用能有效测量教学效果的方法 1.3.2 机构和部门人事决策考虑基于证据的教学
过程	1.4 STEM 教与学质量的持续提升	无
目标二:为学生选择 STEM 专业和获得学业成功而争取教育公平、多样化和全纳性		
输入	2.1 参与高质量本科 STEM 教育项目和体验的公平性	2.1.1 加强已录取学生和在校注册学生 STEM 准备的制度结构、政策和实践 2.1.2 注册和持续修读 STEM 学术项目课程的学生数 2.1.3 公平的基于证据的 STEM 教育项目的学生参与
成果	2.2 STEM 证书获得者的多样性	2.2.1 与所有领域学位和证书获得者的多样性相比,STEM 学位和证书获得者的多样性 2.2.2 与两年 STEM 项目的学生多样性相比,从两年转到四年的 STEM 项目的学生多样性 2.2.3 学生在 STEM 学术项目中的学习时间和获得学位之间的关系
环境	2.3 STEM 教师群体的多样性	2.3.1 STEM 教师的多样性与 STEM 研究生学位持有者的多样性比较 2.3.2 STEM 研究生导师的多样性与 STEM 研究生的多样性比较
环境	2.4 机构和 STEM 院系的全纳性环境	2.4.1 攻读 STEM 证书的学生在学术项目和部门中感到被接纳和支持 2.4.2 执教 STEM 学科课程的教师在学校感到被接纳和支持 2.4.3 机构实践得到文化上的响应和接纳,并在整个机构中保持一致
目标三:根据不同 STEM 学科的需要,提升 STEM 证书完成率,确保培养充足的 STEM 专业人员		
过程	3.1 为所有学生提供充分的基础准备	3.1.1 基础课程完备,包括发展性教育课程,确保 STEM 项目准备就绪
过程	3.2 成功注册和完成 STEM 学习项目	3.2.1 从课程到年级,保持 STEM 学位或证书课程的学生数量 3.2.2 与所有从两年项目到四年项目的转学数相比,从两年 STEM 项目到四年 STEM 项目的转学数
成果	3.3 STEM 证书获得	3.3.1 按机构类型、转学状态和人口特征分类,获得 STEM 证书的学生数

资料来源: National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine(2018), P5-7。

标的监测指标不超过3个),从而构成了完整的本科STEM教育监测指标体系(见表一)。

目标一:鼓励学生参与基于证据的STEM教育实践和项目,提高STEM概念和技能掌握水平。

目标一对应模型中的教育过程和环境。美国虽然有些学科已开始确定所有本科生都应掌握的核心概念和技能,但由于STEM领域的学科众多,划分公认的STEM核心知识和技能集合十分困难,更难以设立统一的学生评价标准,所以《监测指标》没有选择学生对STEM知识和技能的掌握为监测对象。委员会指出,美国本科STEM教育的一大问题是经过研究证实的可以提高学生对STEM知识和技能的教、学方法没有得到应有的重视和推广,对STEM学位获得率造成了直接影响。为了督促提供本科STEM教育的机构重新审视其教学方法、课程设置的课外教育项目,鼓励这些机构在课堂内外开展基于证据的STEM教学实践,委员会设立了目标一,并将STEM教育质量的监测重心放在如何促进学生学习和提高学位获得率。同时,委员会认为无论课堂内外,实施基于证据的STEM教学实践均需要来自一线教师和工作人员的配合,而这将涉及教师和工作人员所在学术单位和机构的文化,即教育环境的支持,包括规范条例、资源分配、评价体系及奖励和表彰制度等。委员会认为教育环境的支持主要体现在两方面:一方面,学术单位和机构关于本科教学、学习价值的陈述与对教学的重视程度应一致;另一方面,教学评价体系应是健全和可靠的,奖励和表彰制度是其重要组成部分。

目标一包括四个行动目标。行动目标1.1鼓励高校在课堂内外均使用基于证据的STEM教育实践,委员会建议高校在课堂教学中恰当使用主动学习^①和形成性评价;在课外项目中合理发挥咨询和指导等方法的作用,并针对课堂内外的STEM教育实践分别设置一个监测指标。行动目标1.2涉及对教师的支持,包括但不限于教师专业发展的机会、教学设施的改善、用于教学改进的经费等,委员会也鼓励高校外部的相关机构对教学改革予以力所能及的帮助。针对行动目标1.2,委员会设立了两个监测指标。行动目标1.3鼓励学术单位营造支持教学改进的组织氛围。在《监测指标》中,组织氛围指组织成员对具体和可确认的实践以及政策的共同认知,

这些实践和政策代表了组织文化的“表面特征”,而非深层次的、无意识的价值观。委员会提出了两个体制惯例方面的监测指标,分别涉及评教和人事决策。行动目标1.4涉及从课堂、系别到院校层面的持续性质量提升,但考虑到本科STEM教育实践的复杂性和多样性,目前委员会没有就此提出具体监测指标。

目标二:为学生选择STEM专业和获得学业成功而争取教育的公平、多样化和全纳性。

目标二对应模型中的输入、教育环境和成果。委员会认为公平、多样化和全纳性是三个截然不同的概念,但三者对确保美国STEM教育体系满足国家和个人发展需求至关重要。首先,目标二是实现目标三的基础,即扩大来自较低社会经济地位的学生数量;其次,当今许多最具挑战的科学和技术问题本质上都是全球性的,而这些问题的解决大多需要从不同社群的观点出发综合应用不同学科领域的专业知识;最后,美国国民经济持续复苏,为女性、少数民族和种族、伤残人士提供公平就业机会,将促进经济增长,缩小收入差距。

目标二包括四个行动指标,这些行动目标代表一个公平、多元、全纳的本科STEM教育系统的最佳状态。行动目标2.1与本科STEM教育公平相关,鼓励高校为所有学生提供公平的、接受STEM教育的机会。与该行动目标对应的监测指标有三个,用于督促高校在提高学生知识准备、丰富学生STEM学习经验以及帮助学生在重要学习中取得进展等方面采取行动。行动目标2.2涉及STEM领域学生群体的多样性。如果说行动目标2.1指向教育机会公平,那么行动目标2.2则更多指向教育结果公平,因为其理想状态是美国的STEM学位获得者的人口统计学分类能够反映本国人口普查的分类数据。行动目标2.1对应的三个监测指标主要用于收集STEM领域学生、学位和证书获得者的多样性信息,以及所有学生的学习时间和获得学位之间的关系。行动目标2.3关注STEM教师群体的多样性,其理想状态是STEM教师多样性可以代表整个美国社会的种族和民族多样性。该行动目标有两个与研究生多样性相关的监测指标,因为获得研究生学位是拥有高校教师身份的先决条件,而且STEM教师的多样性不可能超过STEM研究生学位持有者的多样性,所以

通过测量 STEM 教师与所有潜在 STEM 教师(STEM 研究生学位持有者)的多样性即可衡量 STEM 教师多样性方面的进展。行动目标 2.4 关注的是教育环境的全纳性。委员会认为营造全纳性、支持性氛围有助于促进和确保院校和国家在实现 STEM 本科教育的多样性和公平性方面取得进展,行动目标 2.4 的监测指标有三个,前两个分别涉及学生和教师对所在机构的归属感,后一个涉及学术机构为打造全纳性教育环境所做的努力。

目标三:根据不同 STEM 学科的需要,提升 STEM 证书完成率,培养充足的 STEM 专业人员。

目标三对应模型中的教育过程和成果,旨在增加 STEM 毕业生和证书持有者的数量以迎接巨大的社会挑战。与前两个目标不同的是,目标三的提出和实现均基于委员会的假设。在提出目标三时,委员会假设注重技术的社会在发展经济和应对全球竞争时更需要具有 STEM 专业知识和技能的人才,这并非意味着有 STEM 专业知识和技能的人将全部成为 STEM 劳动者,而是说 STEM 知识和技能的价值能体现在广泛的职业中,造福所有社会部门。目标三的实现基于委员会的另一个假设,即学生参与基于证据的 STEM 教育实践(目标一),且在教育过程中获得全面的公平和接纳(目标二)。也就是说,目标三的实现建立在完成目标一和目标二的基础上,且其完成程度受前两者完成程度的影响。目标三的实现还受招生等因素的影响。

目标三包括三个行动目标。行动目标 3.1 关注学生 STEM 准备,认为高校应该增强发展性教育和计算机科学教育,委员会为此设立了一个监测指标。行动目标 3.2 鼓励高校为学生提供明确的指导,帮助了解完成 STEM 学习项目所需的课程要求并做出适合自己的选择。委员会为行动目标 3.2 设计了两条监测指标,一条用于统计通过各种方式学习 STEM 的学生数量,另一条用于收集 STEM 领域的转学学生数量与所有从两年项目转至四年项目的学生数量之间的差异。行动目标 3.3 指向教育结果,其对应的监测指标所统计的是按机构类型、转学状态和人口特征分类,获得 STEM 证书的学生数量。

委员会制定这三个相互联系、互为支撑的总目标的目的是要改善美国本科 STEM 教育体系的各组成要素以及要素之间的相互作用关系。这里有两点

需特别指出:一是三个总目标没有指明行为主体,或者说行为主体很多。这可以理解为美国社会关于 STEM 教育改革的一种共识,即不同利益相关方均有责任和义务促进 STEM 教育质量的提升。具体到本科教育,《监测指标》提出的三个目标的实现将涉及本科生教育系统内外不同组织的合作和努力。二是美国正在尝试建设高质量的 STEM 教育管道,《监测指标》是美国 STEM 教育发展战略的组成部分。通过将《监测指标》与两份 K-12 阶段 STEM 教育报告^②相比,可以发现,尽管《监测指标》的适用对象是本科教育,但其总目标与两份 K-12 阶段报告提出的目标有明显相似之处,由此可以认为《监测指标》不仅是对总统科技顾问委员会要求的回应,更是对美国整体 STEM 教育发展战略的回应。

二、优势及局限性

近年来,美国高等教育面临诸多困境,如不断飙升的大学成本、居高不下的退学率和持续上升的学生债务等,这些问题在美国社会引发了关于高等教育质量和价值的讨论,使加强高等教育问责的呼声高涨。美国各级政府对此高度重视,纷纷呼吁明确高等教育责任,并对其进行质量监督,如美国联邦教育部提出建立大学等级评定系统,允许政策制定者、家长、学生和机构对高校的录取、负担能力和成果进行比较。然而这种以毕业率和毕业生收入为重点指标的高校质量评估方法没有获得美国高等教育机构和高等教育协会的认可,尽管如此,美国仍有许多州采取与上述提议大同小异的所谓基于绩效的资助制度,有些甚至都没有考虑生源的差异性。委员会同样不赞成以毕业率和毕业生收入为重点指标衡量高校和高等教育的质量,认为这种简单的指标不能准确反映高校和高等教育的质量。

(一)《监测指标》的优势

本科 STEM 教育监测指标体系的优势在于能帮助人们全面了解美国本科 STEM 教育总体状况。首先,虽然指标来源于统计资料或数据,但可将原始数据与目的、意义和背景结合在一起,为人们提供易于理解的相关条件或现象的信息;其次,每个指标都有时间分量,这意味着它不仅表示某个条件或现象在既定时间的状态,还可以显示该条件随时间推移而产生的变化,帮助人们了解该条件或现象的发

展规律和趋势;更重要的是,除了显示其评估对象的基本信息,完整的指标体系还可以为评估对象各组成部分间的协同工作提供参考意见。为了充分发挥指标体系的长处,使《监测指标》能反映本科 STEM 教育随时间发展所取得的进展,并为本科 STEM 教育改革提供准确指导,委员会不仅收集和审查旨在提高本科 STEM 教育质量的策略性文献和基于学科的教育研究成果,通过现有监测系统获取本科 STEM 教育最新进展,还利用多渠道广泛收集相关专家和公众的建议和意见,为该监测指标体系打下坚实的理论和实践基础,使之尽可能涵盖美国本科 STEM 教育所有需要长期追踪的关键问题。

此外,本科 STEM 教育监测指标体系还与其他联邦层面的 STEM 教育政策有继承与发展关系,并在逻辑上保持一致,如在制定行动目标时,委员会选择以美国国家科学技术委员会(National Science and Technology Council)2013 年发布的《联邦 STEM 教育 5 年战略规划》(Federal STEM Education 5-Year Strategic Plan)作为主要参考,这个以联邦投资为驱动的战略是对总统科技委员会 2012 年报告的继承与发展。《联邦 STEM 教育 5 年战略规划》有 4 个战略目标:1)促进基于证据的教学实践;2)提升社区学院的 STEM 教育;3)拓展本科生研究经验;4)推进数学入门关键环节的成功(National Science and Technology Council, 2013; 赵中建, 2015)。委员会对上述战略目标的 1、3 和 4 进行整合和修改,将之纳入《监测指标》行动目标中,第二个目标因其机构适用范围局限于社区学院而被舍弃。

(二)《监测指标》的局限性及改进方案

《监测指标》的上述优势并不意味着这一指标体系是完美的。首先,该监测指标体系未经过实践和评价性研究的检验,其价值有待考证。更严重的问题是,即使证实该监测指标体系的价值,其具体实施也面临严重阻碍。这是因为作为量化指标体系,高质量数据是保障本科 STEM 教育监测指标体系顺利实施的关键,但根据委员会对现有数据系统的调查,美国各中学后教育阶段数据库所存储的数据无论是在样本多样化程度还是数据类型上均与《监测指标》的实施要求相差甚远,难以发挥《监测指标》的全部功能。例如,高等教育综合数据系统(Integrated Post-secondary Education Data System)是美国

目前中学后教育阶段较有代表性的数据库之一,有许多每年更新的高质量数据,但该数据系统的调查对象只包含首次入学的全日制学生,休学、转专业、半日制的学生没有包括在内。为了解决数据问题,委员会提出三个可供选择的方案:

方案一:创建全国学生记录数据系统,扩大对学生和教师群体的调查。委员会建议创建全国学生记录数据系统^③,要求各机构收集并提供关于学生教育经历和活动的标准数据,以及对个体学生的行政管理数据。这个数据库将为诸多与学生 STEM 项目进展相关的指标提供更准确和完整的数据,同时还可用于监测不同性别、种族和民族、社会经济背景、身体不利状况和获得佩尔助学金资助资格(该助学金主要反映学生所处的社会经济地位)的学生在 STEM 项目中取得的进展和成果,以便进行相关的纵向分析。

方案二:加强国家教育数据中心的的数据收集工作。目前美国可以合法地进行数据收集的只有国家教育统计中心(National Center for Education Statistics),委员会提供的第二个方案需要国家教育统计中心以三种方式改变其数据收集工作:扩大高等教育综合数据系统关于本科教育重要方面的调查;扩大大一新生纵向调研;更新和扩展中学后教育机构教职工的国家调研。需指出的是,将数据收集工作交由教育机构,这一方案无疑会增加中学后教育机构收集数据的负担,且鉴于目前各教育机构之间的数据不能共享,转学学生的相关数据将可能缺失。

方案三:综合运用非联邦来源的数据。这一方案将由联邦机构或者其他组织承担,不需要联邦政府投入大量资金,只需整合现有关于学生和教师的数据资源就可为本科 STEM 教育监测指标体系提供有限支持。在这种情况下,教育部等联邦机构或其他组织可以直接从中学后教育机构获取数据或寻求中学后教育阶段调研机构的支持。但这两种办法都要确定获取数据的方法并验证方法的可行性和有效性,需要联邦机构或其他组织为调查机构提供奖励或其他帮助,而且前者同样会增加中学后教育机构相关工作人员的工作量和时间。

委员会提供的三个方案各有优劣。方案一的优点在于能够为《监测指标》提供多数与学生相关的高质量数据,但目前建立新数据库的议案尚未由国

会通过;方案二的优点在于能实现对现有数据库的充分利用,但教育机构的工作负担重;方案三的优点在于节约成本,但数据质量不高。值得一提的是,这三种方案都需要对学生和教师进行额外的定期调查以补充相关数据。此外,委员会特别指出,随着 STEM 教育的开展、教学和评估技术的进步以及测量系统的改进,当制定的监测指标体系不能发挥其应有作用时,仍需对其进行修订。

三、分析与思考

从 1986 年《本科科学、数学和工程教育》的出版到 2018 年美国三大顶尖学术机构携手促成《本科 STEM 教育监测指标》的发布,30 余年来 STEM 教育一直是美国本科教育的热点之一。期间,许多重量级报告描绘了本科 STEM 教育发展的大致脉络,联邦政府提供的政策和法律保障以及经费支持向人们展示了美国提升本科 STEM 教育质量的努力和决心。但纵观美国本科教育 30 多年的改革历史,从国家层面长期衡量本科 STEM 教育进展的指标体系实属首例,这不仅凸显了联邦政府对本科 STEM 教育和 STEM 教育专业人才的重视,也显示了美国本科 STEM 教育改革已到了新阶段,并呈现出未来的发展方向。

(一)STEM 专业人才和具有 STEM 素养公民的培养并重

美国自二战以来形成的超级大国地位持续受到威胁,中国、印度、韩国等国在 STEM 教育领域的发展势头屡次被提及,这些国家关于 STEM 教育的内容也时常被用来凸显 STEM 教育的重要程度和提升 STEM 教育质量的紧迫程度。作为国家层面的报告,《监测指标》与其他报告一样对效率、标准和生产力格外关注,将解决国家的经济需求放在首位(Apple, 1986),即为技术创新和经济持续增长培养大量 STEM 专业人才。STEM 专业人才所提供的一系列科学发现和技术创新是促进就业和国家经济增长的动力已成为国际共识。在此背景下,美国担心本科 STEM 教育的教学和学生支持方面的缺陷继续存在,放任 STEM 领域有能力学生的流失而不采取积极措施,不仅难以维持美国 STEM 教育的领先地位,甚至还可能失去超级大国的国际优势。

另一方面,《监测指标》对培养具有 STEM 素养

的公民给予同样重视。国家研究委员会本科科学教育委员会的报告将美国描述为由技术知识精英和多数弱势群体共同组成的国家(National Research Council, 1999),但国家对人才的需求不仅局限于少数 STEM 专业人才,多数有 STEM 素养的劳动力同样重要。正如诺贝尔物理学奖得主威曼(Wieman, 2007)所言:“我们需要更有科学素养的民众应对人类目前面临的全球挑战,只有科学才能解释并可能缓解全球变暖等问题,同时还要做出明智的决策。”《监测指标》对培养具有 STEM 素养公民的重视可以从委员会采纳的本科 STEM 教育的定义中得到印证:“首先,本指标体系适用于所有两年制和四年制的 STEM 教育项目,包括学士学位、副学士学位和各类公立、私立、营利和非营利高等教育机构的学位证书。其次,该指标体系同时适用于帮助学生为‘中等技能’(middle-skill)工作(此类工作对员工的教育背景要求较低,一般低于学士学位但又高于高中学历)作准备的员工进修项目。最后,委员会将通识教育的 STEM 入门课程也计算在内。”

从人口发展趋势看,扩大 STEM 弱势群体的参与将是美国实现上述两个目标的重要前提,而达成这一前提需要在提升质量和促进公平两方面付诸行动。自 20 世纪 80 年代以来,提升质量和促进公平一直是美国教育的两大目标,围绕两者是否可以兼得的讨论从未停歇,STEM 领域的质量和公平问题同样引人关注。随着研究的不断深入,越来越多的学者认可为所有学生提供良好的教育是保障 STEM 教育系统卓越性和有效性的关键的观点,委员会同样持肯定态度,视公平为本科 STEM 教育质量的核心要素,将公平作为衡量和提高质量的重要维度。从问责角度看,委员会所指的本科 STEM 教育的公平性是 STEM 领域本科生的多样性程度能与美国的总人口结构保持一致,本科 STEM 学生群体所应具有多样性包括但不限于社会经济水平、性别认同、种族和民族、宗教、第一代大学生、婚姻状态和父母信息、服兵役情况、伤残情况和年龄等,其中,委员会认为伤残人士、女性、黑人和美洲印第安人在 STEM 教育中的比例应进一步扩大。

(二)《监测指标》的发布回应了美国本科 STEM 教育改革需求

在全球竞争日益激烈的时代,美国大力发展本

科 STEM 教育与培养有竞争力人才密切相关。美国政策决策者和科学界在诸多报告中再三强调训练有素的 STEM 劳动力对国家创新能力和经济竞争力的重要性,如 2005 年发表的《迎击风暴》(Rising Above the Gathering Storm)指出美国继续维持领军地位的关键在于投资和发展自身的研究和教育能力,并培养强劲、有才华和创新能力的 STEM 劳动力队伍。这一建议在美国政府行政部门和立法机构引起强烈共鸣,并直接体现在随后出台的《美国竞争法》(America Competes Act)等法律中。时至今日,有关竞争力人才培养的一些关键问题仍未得到解决,其中之一便是潜在的 STEM 劳动力储备危机:美国 STEM 劳动力构成以男性为主,且绝大多数是白人和亚裔;未被充分代表的群体数量严重不足,而这部分群体恰恰是美国人口增长最迅速的群体(Summers et al, 2006)。美国人认为这一危机的根源在于高等教育 STEM 教学和学生支持方面存在缺陷,使许多有能力且对 STEM 感兴趣的美国本土学生(尤其是未被充分代表群体的学生)难以在这些领域获得学位,导致 STEM 领域在招收研究生时不得不提升对国际学生(尤其是中国和印度生源)的依赖程度,在某些特定工程领域,博士学位几乎被其他国家的学生包揽。另外,随着各个国家、地区竞相采取积极行动吸引最优秀的人才为本国、地区服务,高技能工人的流动性与之前相比大幅提升,包括那些有 STEM 教育背景或工作经验的人(OECD, 2012)。美国认为外籍 STEM 劳动力的强流动性会对美国本土的发展造成严重威胁(National Research Council, 2011)。

美国政府高度重视本科 STEM 教育的改进工作,针对本科 STEM 教育质量提升推出了系列政策。例如,2017 年 9 月,特朗普签署“总统 STEM 教育备忘录”,要求给予各阶段 STEM 教育更多行政关注,并确定联邦政府每年至少投入 2 亿美元用于 STEM 教育,同时呼吁社会企业参与,鼓励年轻人从事 STEM 领域的学习和研究^④。美国一些民间组织,尤其是高校团体也在积极探索本科 STEM 教育改革之路。如美国大学协会(Association of American Universities)正在开展提升 STEM 教学质量计划,希望能解决研究型大学本科 STEM 教学改革所遭遇的体制和文化障碍^⑤。美国高校本身也在积极寻找 STEM 教学改进方法。康奈尔大学为了实现教学法

上的持续改善,将制度变革作为早期主要抓手,充分调动大学教师的积极性、重视院系内部的合作并发挥院系负责人的带头作用,对 STEM 教学进行深入改革(Lepage, 2016)。在政府和社会力量的共同推动下,美国本科 STEM 教育的成功案例很多。然而,由于之前缺乏相应的质量监测指标,所以无论是相关政府机构还是专业协会均难以准确描绘美国本科 STEM 教育改革取得的整体进展和遇到的问题,这在一定程度上增加了决策者和公众评价改革措施有效性的难度,也对下一阶段的改革部署造成影响(National Academies, 2016)。从这个意义上说,开发本科 STEM 教育指标体系不仅回应了总统科技顾问委员会的要求,更是回应了美国本科 STEM 教育改革的需求。

(三)教学改革成为美国本科 STEM 教育的重点内容

《监测指标》的重点监测对象是教育过程和教育环境两个环节,而这两者对应的具体行动目标和监测指标均指向与 STEM 教学相关的领域。也就是说,对美国本科 STEM 教学及其影响因素进行监测才是《监测指标》的真正意图所在。《监测指标》发布前,许多学者、研究机构和民间组织已指出美国本科 STEM 教学亟需改进的诸多方面,如教师专业化程度不足、教学方法单一、管理制度不利于教学改革等。尽管部分高校本科 STEM 教学改革已有成功的经验,如亚利桑那大学(Williams, 2016),但美国大部分高校的本科 STEM 教学改进工作仍面临重重障碍,此次《监测指标》的发布表明联邦政府对改进本科 STEM 教学的支持态度,可为美国高校本科 STEM 教育改革提供参考。

1. 鼓励高校 STEM 教学活动使用基于证据的教学策略。在学科教学中,传统的讲座式授课是本科 STEM 教学实践最常见的方式,但国家研究委员会发现,传统授课方法在提高学生对 STEM 概念性知识的掌握和端正学生学习态度两方面均不如基于证据的教学策略有效(National Research Council, 2013)。在研究基础上,委员会视基于证据的 STEM 教育实践为提高本科 STEM 教育质量的关键,并将之纳入监测指标体系中。为了使基于证据的 STEM 教学更有据可依,委员会为其制定了三条标准:已获得文献证明的在不同环境或本地特殊环境有效的

STEM 教育实践;建立在被认可的教学和学习理论基础之上,且服务于最佳实践的实施;基于科学的研究方法,有在本地收集的和可靠的证据表明这种做法是有效的。

2. 积极为基于证据的 STEM 教学营造支持氛围。分析表明,采取补充措施深化改革十分必要,尤其是院系层面的鼓励措施(National Research Council, 2013)。委员会认为重视 STEM 教育的组织机构能认可教师和基于证据的教学实践的重要性,鼓励个人寻找和利用与教学相关的现有知识,且会采取比学生评教更有效的评价方式对教学活动进行评估。此外,这样的组织能为使用基于证据的教学策略的教师设立奖励机制。委员会指出,虽然每所院校的使命宣言均会提及对教学质量的重视,但院校和教师的个体差别很大,因此有必要在审查机构的书面政策之余对教学实践进行监测。另一方面,委员会表示良好的组织氛围还将体现在对所有学生的学习支持上,这一点更多涉及本科 STEM 教育的公平、多元和全纳目标。

3. 拓展基于学科的教育研究(discipline-based education research)。基于学科的教育研究指来自不同学科领域的学者在关照学科差异及发展历史的前提下,针对相似的研究问题,用相似的研究方法,并借鉴相似的理论进行的教育研究(Baldwin, 2009)。基于学科的教育研究对教育实践非常重要。许多教学策略的有效性大多被基于学科的教育研究所证实,同时这些研究结果也能帮助教师知其然且知其所以然。尽管委员会没有将基于学科的教育研究纳入监测范围,但这不代表委员会不认可其重要性,相反,委员会认为基于学科的教育研究十分重要,将之视为基于证据的 STEM 教育实践的基础,且两者之间是互为表里,强调基于证据的 STEM 教育实践也就是重视基于学科的教育研究。

四、结 语

综上,为了更清晰地了解美国本科 STEM 教育,为教学实践提供针对性改进建议,并努力为学生创造公平接受 STEM 教育的机会,美国国家科学院发布了《监测指标》。本文对《监测指标》的内容、优势、局限性及其解决办法做了较详细的介绍,并对其之于美国本科 STEM 教育的意义做了简略分析。

目前,美国本科 STEM 教育改革正在稳步进行中,《监测指标》将使接下来的教学改进工作有据可依。可以预见的是,未来美国会有更多高等教育机构参与本科 STEM 教育改革,届时这些高等教育机构如何满足教育改革的需求,以及《监测指标》在其中发挥了怎样的作用将成为笔者持续关注的对象。

[注释]

①由于缺乏学界公认的定义,委员会参考不同定义的共同特征,用“主动学习”指代能够帮助学生在布鲁姆分类法最高层次上建立理解的认知性教学实践。

②这两份报告是国家研究委员会分别在 2011 年和 2013 年发表的《成功的 K-12 STEM 教育》(Successful K-12 STEM Education)和《监测 K-12 STEM 教育迈向成功的进程》(Monitoring Progress Toward Successful K-12 STEM Education)。

③该建议建立在两项研究基础上:一是 NCES2005 年组织的关于建立全国学生记录数据库的可行性研究。研究结果证明,这项行动在技术和财政上都可行,且最终有助于减轻教育机构所承担的向中学后教育数据库提交数据的负担;二是高等教育政策研究所 2016 组织的创建国家学生记录数据系统的方法研究。该研究发现,国家学生贷款数据系统包括国家学生记录数据系统所需的大部分数据,因此该研究建议新数据库的创建要充分利用现有国家学生贷款数据系统。

④见白宫网站新闻,网址:<https://www.whitehouse.gov/articles/president-trump-signs-memorandum-stem-education-funding/>。

⑤见美国大学协会网站介绍,网址:<https://www.aau.edu/education-service/undergraduate-education/undergraduate-stem-education-initiative>。

[参考文献]

- [1] Apple, M. W. (1986). National reports and the construction of inequality [J]. *British Journal of Sociology of Education*, 7 (2): 171-190.
- [2] Baldwin, R. G. (2009). The climate for undergraduate teaching and learning in STEM fields [J]. *New Directions for Teaching and Learning*, (117): 9-17.
- [3] Lepage, G. P. (2016). Launching a large-scale transformation of STEM teaching at a research university [C/OL]. *Improving undergraduate STEM education at research universities: A collection of case studies*. <https://www.aau.edu/sites/default/files/files/RCSA2016.pdf>.
- [4] National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. (2016). *Barriers and opportunities for 2-year and 4-year STEM degrees* [R/OL]. <http://www.nap.edu/catalog/21739/barriers-and-opportunities-for-2-year-and-4-year-stem-degrees>.
- [5] National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. (2017). *Developing indicators for undergraduate STEM education preliminary public draft* [EB/OL]. <https://sites.nationalacademies.org/cs/>

groups/dbasssite/documents/webpage/dbasse_173980.pdf.

[6] National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. (2018). Indicators for monitoring undergraduate STEM education [R/OL]. <https://www.nap.edu/download/24943>.

[7] National Research Council. (1999). Transforming undergraduate education in science, mathematics, engineering, and technology [R/OL]. <https://www.nap.edu/catalog/6453/transforming-undergraduate-education-in-science-mathematics-engineering-and-technology>.

[8] National Research Council. (2011). Expanding underrepresented minority participation [R/OL]. <https://www.nap.edu/download/12984>.

[9] National Research Council. (2012). Discipline-based education research: Understanding and improving learning in undergraduate science and engineering [R/OL]. <https://www.nap.edu/catalog/13362/discipline-based-education-research-understanding-and-improving-learning-in-undergraduate>.

[10] National Research Council. (2013). Discipline-based education research understanding and improving learning in undergraduate science and engineering [R/OL]. <https://www.nap.edu/catalog/13362/discipline-based-education-research-understanding-and-improving-learning-in-undergraduate>.

[11] National Science and Technology Council. (2013). Federal STEM education 5-year strategic plan [R/OL]. https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/default/files/microsites/ostp/stem_stratplan_2013.pdf.

[12] Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). (2012). International outlook [EB/OL]. <http://www.npdata.be/BuG/165-NV-A-migratie/OECD-Migration-Outlook-2012.pdf>.

[13] Summers, M. F., & Hrabowski, F. A. (2006). Preparing minority scientists and engineers. [J]. *Science*, 311(5769):1870-1871.

[14] Wieman, C. (2007). Why not try: A scientific approach to science education? [J]. *Change the Magazine of Higher Learning*, 39(5):9-15.

[15] Williams, A. (2016). SAIL Program to focus on improving student learning techniques [EB/OL]. <https://uanews.arizona.edu/story/sail-program-focus-improving-student-learning-techniques>.

[16] 赵中建(2015). 美国 STEM 教育政策进展 [M]. 上海: 上海科技教育出版社, VII.

[17] 赵中建(2018). 美国中小学 STEM 教育政策分析 [J]. *中国民族教育*, (Z1):3-6.

(编辑: 李学书)

A Review of Indicators for Monitoring Undergraduate STEM Education in the United States

LI Qian & ZHAO Zhongjian

(*Institute of International and Comparative Education, East China Normal University, Shanghai, 200062, China*)

Abstract: *In January 2018, the U. S. National Academies released a set of indicators to monitor the quality of undergraduate STEM education at the national level. The work was produced in response to the President's Council of Advisors on Science and Technology's recommendation for undergraduate STEM education reform. These 21 indicators are aligned with the Committee's 3 goals and 11 objectives in this area. Although existing U. S. databases cannot meet the requirements for these indicators, the committee has offered three solutions to address this problem. The effort highlights the importance that the U. S. government attaches to undergraduate STEM education and its resulting talent cultivation and indicates that teaching reform would be the focus of future undergraduate STEM education.*

Key words: *STEM education; indicators; undergraduate education; United States*