美国中小学实施 STEM 教育个案研究*

——以北卡罗来纳州科学和数学学校为例

李 谦 赵中建

摘要:美国北卡罗来纳州科学和数学学校是美国较为成功地实施 STEM 教育的学校之一,它属于 STEM 精英学校。该校的 STEM 课程呈现出广度与深度并重、强调学习情境的生活性和真实性、注重实践性以及培养学生的高阶思维等特征。其研究性学习也颇具特色,包括研究经验的培养、导师制项目、科学研究(含物理、生物和化学)、计算机科学研究和数学研究等。此外,该校还十分注重通过人文学科建设、学生发展课程、课外活动来提高学生的基本素质。在科学精神与人文素养并重、给予学生充足的自我发展空间、充分利用社会资源等方面,该校均为我国开展 STEM 教育提供了有益的启示。

关键词:美国;中小学;STEM 教育;个案研究

作者简介:李 谦 / 华东师范大学课程与教学系硕士研究生(上海 200062)

赵中建 / 华东师范大学课程与教学研究所教授(上海 200062)

美国的“科学、技术、工程和数学”(Science, Technology, Engineering, and Mathematics, 简称 STEM)学校主要有以下几种类型:STEM 精英学校(Selective STEM Schools)、STEM 全纳学校(Inclusive STEM Schools)、STEM 职业技术学校(Schools with STEM-focused Career and Technical Education, CTE)、STEM 综合学校(STEM in Comprehensive Schools)。^[1] STEM 精英学校是围绕一个或多个 STEM 学科开展教学活动的学校,之所以称之为精英学校,是因为入学门槛很高,一般只录取符合本校招生标准的一小部分学生。这些学生对 STEM 有着更为浓厚的兴趣,同时也更有能力学习 STEM 课程。STEM 精英学校致力于为学生提供能使之获得 STEM 文凭并胜任 STEM 职业的高质量教育,为此,它们整合多方面的资源来支持学生的学习,包括优秀的师资、完善的课程体系、高级的实验设备和科学家的指导等。另外,这些学校还经常为在其学区内的公立学校的教师和学生提供有助于专业发展的辅助项目。在美国,大概有四种类型的 STEM 精英学校:(1)寄宿制学校(State Residential

Schools);(2)独立学校(Stand-alone Schools);(3)校中校(Schools-within-a-school);(4)半日制课程学习中心(Regional Centers with Half-day Courses)。^[2] 本文所介绍的北卡罗来纳州科学和数学学校(North Carolina School of Science and Mathematics, 简称 NCSSM)是一所只招收 11 年级和 12 年级学生的寄宿制学校,属于 STEM 精英学校,同时也是一所公立的男女混合制寄宿学校。笔者将重点从其 STEM 课程设置、研究性学习两方面分析其 STEM 教育的开展,以期为我国 STEM 教育的发展提供一定的启示。

一、NCSSM 的 STEM 课程

NCSSM 是一所 STEM 精英学校,其核心课程观是培养学生探索性的世界观和创新能力。在这种课程观的指引下,NCSSM 设计了对学生来说十分具有挑战性的课程,很多从 NCSSM 毕业的学生都认为 NCSSM 的部分学业要求甚至比大学的要求更高。

NCSSM 的 STEM 学科建设比较全面,工程与技术、数学和科学均有涉及。NCSSM 可供学生选课

* 本文系上海市教育科学规划课题(编号: B12012)“美国中小学 STEM 教育研究”成果之一。

的STEM课程,几乎覆盖了该学科的所有核心的领域,另外,NCSSM也参加了AP项目(Advanced Placement Program),并根据其学校特色设置了很多AP课程供需要的学生选择。NSCCM的课程种类繁多,学生可以根据自己的兴趣和需要自行选择,但是达不到开课标准的课程将不会开课。笔者经过对NCSSM的STEM课程内容介绍的分析,总结出其STEM课程的四点特征:

(一)课程设置广度与深度并重

NCSSM根据学校与学生的双重需要设置了比较全面的STEM课程,为学生提供多样化的选择,有利于激发学生对STEM领域的兴趣,同时,志同道合的学生在一起更易于开展合作学习。NCSSM对学生毕业所需的学分以及必修课程具有硬性要求,例如数学学科,学生需要修满5学

分,除了入校时数学水平就比较高的学生外,其他学生必须要学习MA305初等微积分和建模(MA305 Precalculus and Modeling)或MA355初等微积分和高级建模(MA355 Precalculus and Modeling with Advanced Topics)这两门课程。又如工程技术学科,学校2013-2014学年拟开设的课程就达21门之多(见表1)。这样做的原因在于NCSSM认为,在STEM领域为学生日后的发展打下坚实的基础更为重要,因此并不局限于高中水平的课程学习,对高中教育与大学教育的衔接也十分重视,十分有利于学生的对知识的深入学习。常规课程之外,NCSSM还设置了相应的AP课程供学生选择。据统计,NCSSM每个毕业班均有大约82%的学生参与了AP考试,NCSSM有72%的学生在考试中得到了4或5分的成绩(平均为34%)。

表1 2013-2014年NCSSM拟开设的工程技术类课程

开课部门	课程类别	课程编号	课程名称	学习时间	学分
工程技术	计算机科学	CS310	数据库	一学期	1个核心选修学分
		CS402	计算机科学A I (AP课程)	一学期	1个核心选修学分
		CS404	计算机科学A II (AP课程)	一学期	1个核心选修学分
		CS406	高级编程	一学期	1个核心选修学分
		CS408	计算机系统要素	一学期	1个核心选修学分
		CS410a	数据结构	一学期	1个核心选修学分
		CS410b	数据结构II	一学期	1个核心选修学分
		CS410c	数据结构III	一学期	1个核心选修学分
		CS490、CS492、CS494	高级计算机科学	一学期	1个核心选修学分
	工程	EE310	工程制图	一学期	1个核心选修学分
		EE316	机器人技术入门	一学期	1个核心选修学分
		EE318	工程基础	一学期	1个核心选修学分
		EE350	工程-机械入门	一学期	1个核心选修学分
		EE352	工程-电子入门	一学期	1个核心选修学分
		EE354	建筑学	一学期	1个核心选修学分
		EE356	土木工程与环境入门	一学期	1个核心选修学分
		EE452	生物医学仪器	一学期	1个核心选修学分
		EE454	统计学	一学期	1个核心选修学分
		EE456	电路	一学期	1个核心选修学分

(二)强调学习情境的生活性和真实性

NCSSM认为通过核心课程为学生营造一个真实的学习情景十分重要,因此在设置学习情境时会考虑选择学生生活所遇到的问题,具有鲜明的生活性特征,而从现实生活中寻找素材,也就意味着学习情境具有真实性。STEM教育是一个偏理

工的多学科交融领域,其教育过程不是讲科学技术工程和数学进行简单的叠加,而是强调将原本分散的四门学科内容自然组合形成整体。^[3]而现实世界中的诸多问题,例如生态失衡、环境污染、资源短缺等,这些都是最自然的STEM学科的组合,均可以成为STEM教育的素材。这种学习环境

有利于吸引学生的注意力,激发学生的兴趣,并提高学生对社会问题的关注度。

(三) 注重课程的实践性

STEM 教育强调实践性,因此课程结构中实验类的课程比较多,课程内容的实践性倾向比较突出。NCSSM 的学生拥有很多实践机会,实践出真知,通过时间,学生不仅能够锻炼动手能力、提高团队合作能力,又丰富了研究经验,十分有益于学生对 STEM 学科的整合性学习。同时,学生还可以利用自己的研究成果参加各级各类的竞赛,一举两得。

(四) 注重培养学生的高阶思维技能

在 NCSSM,无论是工程、技术、数学还是科学,均重视对学生高阶思维的训练。所谓高阶思维技能,即指解决问题、科学决策、批判性思考和创新性思维的能力。^[4] 首先,NCSSM 的 STEM 课程设置多样化且具有挑战性,满足了不同学生团体的需求,对发展不同学生的高阶思维技能奠定了基础。其次,在课程学习中,学生有大量的机会自主设计并开展研究项目,也可以参加比赛,在这个过程中,学生的高阶思维技能得到了充分的锻炼。最后,NCSSM 的教师十分乐意与学生一起参与研究,教师参与可以给予学生更多的支持和帮助,并且有针对性地训练学生的高阶思维技能。多年的教学实践证明,NCSSM 培养出的学生不仅能够掌握技能、快速理解管理与利用时间的价值,还能将之转化为一种特殊的职业道德,从而为未来发展奠定坚实的基础。

二、研究性学习

研究性学习是一种基于项目的探究性学习,它是一种深层次的学习方式,对于培养学生的技术素养和问题解决能力大有裨益。这种学习方式建立在学生所掌握的基本知识与技能的基础之上。这里提到的基础并非限于某一学科,而是学生在学习过程中所获得的知识与技能的总和,将研究性学习与常规课程有机地结合在一起,有利于拓宽学生的学习范围,加深学生对原有知识技能的理解,帮助学生融会贯通所学知识技能。

NCSSM 的研究性学习项目分为 5 种:研究经验的培养、导师制项目、科学研究(包括物理、生物和化学)、计算机科学研究和数学研究。每种研究性学习项目都设置了相应的课程供学生选择。另外,对于想要参加国家级竞赛的学生来说,夏令营

活动尤为重要,可以帮助他们百尺竿头更进一步。同时,NCSSM 也鼓励低年级的学生参加夏令营研究活动。

在 NCSSM 的研究性学习项目中,研究经验的培养很重要。初学者(刚入校的学生)可能无法有效地解决一些在研究过程遇到的问题,例如,如何获取和处理信息、如何调整研究步骤、如何深入理解研究结果等。要解决这些问题,就需要培养学生的研究技能,让他们在综合性实验中不断积累研究经验,为今后的科研工作打下基础。这是一种经验准备过程。导师制项目中也有类似的过程,申请导师制项目的学生,在向学校提出申请后,需要在低年级的春季学期通过专门的课程学习,才可在高年级的秋季和冬季学期拥有校外的导师(一名或多名)。

除此之外,迷你学期(Mini-Term)是 NCSSM 比较有特色的一个学术研究项目。学校在每年早春抽出一周的时间(常规班级不上课),允许学生参加由一名或多名教师组织的迷你课程,学生也可以在成年人的帮助下自行设计、开展学术项目。每位学生必须完成两个迷你学期的学习。迷你学期中的学术主题众多,涉及到实验室、计算机、艺术、科学等方面的扩展学习。

当然,NCSSM 对研究性学习也有一定的要求,那就是学生需要在学习过程中创作出至少一件有形的、有价值的作品,并要以口述、海报(也可两者皆有)的形式在 NCSSM 研讨会上进行成果展示,以这种形式“结题”。学生的研究成果凝结了他们的努力和创造力,他们在接受外部评价的同时也能够进行自我评价,这种内源性的评价对学生的自我发展极有帮助。

与其他精英高中一样,NCSSM 并没有关起门来做研究,而是加大了与高校和科研机构的合作力度。依靠大学和科研机构的协助和支援,NCSSM 举办了很多高质量的讲座,可以为学生提供与各研究领域的一线研究人员及技术人员之间交流的机会,开阔了学生的视野。学生还可以利用大学以及研究机构所提供的资源进行各种实验操作,从而增加了他们接触尖端科技的机会。

NCSSM 为学生提供充分的机会和资源,目的在于引导学生形成研究意识,认识到对现象的认识和理解来源于有效的研究成果。当学生认识到这一点后,他们在探索现象的过程中自然会选择

以研究的方式来追寻现象的本质。此时研究已然成为学生自身学习的需要,因而有利于保持学习热情与兴趣。NCSSM 希望学生通过不断参加各级各类的研究项目来发展自己的研究技能,争取在高中阶段便使自己的科研能力达到大学的要求。

三、其他课程与课外活动

NCSSM 力求将学生培养成具有 STEM 特长的全面发展型人才,其宗旨是保证每位学生不仅能够获得完整的基础训练(包括 STEM、语言艺术、历史和一门外国语),而且可以熟练掌握电脑、实验设备的使用以及获取科学和数学知识的方法。

(一) NCSSM 的人文学科建设

NCSSM 在偏重 STEM 教育的同时,并没有忽视

对学生人文素养的培养。人文素养是人类精神的内在组成部分,是学生健康成长的必要条件,也是健全的民主社会中一名合格公民所需具备的基本素质之一。因此,学校从英语和历史、艺术和世界语言这三个领域出发,为学生提供了丰富的人文科学的课程,涵盖了艺术、戏剧、英语、历史与社会科学、音乐、世界语言等多个类别。除表 2 所列课程外,还有关于美国、亚洲、非洲、拉丁美洲历史,西欧文化和西方文明,以及法语、汉语、日语、拉丁语等若干门课程。这些课程不仅为学生提供了在跨学科视角下学习和思考的机会,还锻炼了他们的批判精神和创新能力。NCSSM 希望学生不仅能够通过这些课程实现自我发展,还可以从中收获快乐。

表 2 2013-2014 年 NCSSM 拟开设的部分人文类课程^[5]

开课部门	课程类别	课程编号	课程名称	学习时间	学分
人文	艺术	AR302	艺术应用	一学期	1 个追加选修学分
		AR304	陶艺	一学期	1 个追加选修学分
		AR306	摄影	一学期	1 个追加选修学分
		AR308	平面与媒体设计	一学期	1 个追加选修学分
		AR312	丙烯画	一学期	1 个追加选修学分
		AR314	油画	一学期	1 个追加选修学分
		AR316	数码艺术摄影	一学期	1 个追加选修学分
		AR318	复合媒材	一学期	1 个追加选修学分
	戏剧	DR302、DR304、DR306	表演工作坊	一学期	1 个追加选修学分
	英语	AS303a、AS303b、AS303c	写作与美国研究	一学年	2 个英语核心学分、2 个历史 / 社会核心学分、2 个核心选修学分
		AS305a、AS305b、AS305c	美国研究	一学年	2 个英语核心学分、2 个历史 / 社会核心学分、2 个核心选修学分
		EN352	非裔美国人研究	一学期	1 个核心选修学分
		EN354	小说写作入门	一学期	1 个核心选修学分
		EN356	电影研究入门	一学期	1 个核心选修学分
		EN358	现代戏剧: 谁怕爱德华·阿尔比?	一学期	1 个核心选修学分
		EN362	神话经典: 史诗与悲剧	一学期	1 个核心选修学分
		EN366	诗歌写作入门	一学期	1 个核心选修学分
		EN368	语法	一学期	1 个核心选修学分
		EN402	1603 年之前英国文学	一学期	1 个英语核心学分
		EN404	1603-1837 年间的 英国文学	一学期	1 个英语核心学分
		EN406	1837 年至今的英国文学	一学期	1 个英语核心学分
		EN410	文学主题	一学期	1 个英语核心学分
					

(二) 学生发展课程

学生发展课程主要包括体育与健康和学生生活这两门课,体育设有学分,学生生活没有学分,

但它们都是必修课。由于 NCSSM 是一所寄宿制学校,为了能够使学生更好地适应学校的生活,学生还需修习两门“学生生活 (Student Life)”课程,

其中一门讲授公共建筑、种族多样性、酒精与毒品、性教育、公共演讲、领导技能与面试技巧,另一门则是关于成功策略、性侵与性骚扰、财务管理及大学准备等内容的。

(三) 课外活动

在常规学习之余, NCSSM 的学生都有丰富的课外活动。首先, 每个学生都必须参加两年的校园服务和一个社区服务项目(由北卡罗来纳州的非营利性组织发起的), 据统计, NCSSM 的所有学生每年参与的社区服务超过 22,000 小时。其次, 除了学术性的活动外, NCSSM 还拥有 100 多个各种类型的俱乐部可供学生自由选择, 这些俱乐部涉及到课外活动的各个方面。

四、结语与启示

自从 1904 年美国纽约史蒂文森高中(Stuyvesant High School)的建立开始, STEM 高中在一百多年的发展历程中, 逐渐成为各州和各学区“皇冠上的宝石”, NCSSM 的成功也绝不仅仅出自偶然。在 1980 年建校之初, NCSSM 的定位就是一所强调数学和科学专业的公立寄宿制学校, 并倡导卓越教育。NCSSM 争取为每一位学生提供独特的学习体验: 寄宿制学习环境、齐全的硬件设施、训练有素且具有奉献精神的教职工和有理想有天赋的同伴群体, 以及可以支持有效 STEM 教学的学校文化和环境。明确的定位以及不懈的努力, 使 NCSSM 很快成为全球类似学校的典范。

我国学校在开展 STEM 教育的过程中, 可以向 NCSSM 借鉴学习以下几点:

(一) 科学精神与人文素养并重

科学精神与人文素养对人的健康发展同样重要, 以前那种“学好数理化, 走遍天下都不怕”的想法是片面的, 不仅使学生在成长过程中丧失了很多乐趣, 而且也违背了现代人的基本素质要求。NCSSM 尽管是以数学和科学见长的学校, 但不论在数量上还是质量上, 其人文学科建设相对于 STEM 学科来说均不逊色, 为学生的全面发展提供了丰富的资源。

(二) 给予学生充分的自我发展空间

学生是学习的主体, 他们的个性与兴趣, 对最大限度地发挥自身的潜能具有重大影响。尽管 NCSSM 是典型的“严进严出”, 但是 NCSSM 的学生仍然拥有广阔的自由发展空间, NCSSM 为学生提

供的各种各样的学术项目以及丰富多彩的校园活动, 使学生有机会对感兴趣的领域进行深入探索。这些活动并没有影响学生的正常学业, 据统计, 超过 99% 的 NCSSM 学生毕业后直接进入大学深造, 极少数学生毕业后选择去做志愿者工作或者是推迟一年再上大学。

在这个过程中, NCSSM 的教师也发挥了很大的作用。教师既允许学生参与自己的研究项目, 也会参与到学生的研究中去。在研究过程中, 师生会针对研究问题共同进行探讨, 从而带来“双赢”的效果: 一方面, 教师将为学生提供有针对性的学习建议, 引导学生不断探索新知; 另一方面, 教师也能够从中发现自己在教学过程中所忽略的问题, 实现自我提高。

(三) 充分利用社会资源

NCSSM 对其所有用的社会资源能够进行合理的运用, 诸如校友和家的力量、高效与研究机构的资源、政府的支持等。社会资源的支持在 NCSSM 的发展中发挥着极大的作用。同时, NCSSM 也没有“独善其身”。为了回馈社会、实现资源共享, NCSSM 积极加大和各社会部门的合作, 开展了很多外展任务, 例如给全北卡罗来纳州超过 900 名的高中生提供高质量的 STEM 课程和人文课程, 为 2000 多名 K-12 阶段的学生提供课外活动服务, 让更多的学生享受到优质的教育资源; 以及向全州的教师提供数学和科学学科的专业发展服务, 运用多种教育手段使大多数人得到更大的发展。

参考文献:

- [1] [2] National Research Council. Identifying Effective Approaches in Science, Technology, Engineering, and Mathematics[EB/OL]. http://www.nap.edu/catalog.php?record_id=13158, 2014-02-10: 7-16.
- [3] 丁杰, 蔡苏, 江丰光, 余胜泉. 科学、技术、工程与数学教育创新与跨学科研究——第二届 STEM 国际教育大会述评[J]. 开放教育研究, 2013, (4): 20.
- [4] 赵中建. 向国际寻求最优的创新素养培育方式[J]. 上海教育, 2012, (2): 10.
- [5] 北卡罗来纳州科学和数学学校网站: <http://www.ncssm.edu/2014-2-14>.

**The Implementation of STEM Education in American Primary and Secondary Schools
—A Case Study of North Carolina School of Science and Mathematics**

LI Qian ZHAO Zhongjian

Abstract: North Carolina School of Science and Mathematics is one of the Selective STEM Schools in America, which has been successfully implementing STEM education. The STEM Courses provided here present variety and profundity, the learning situations are authentic, come from real life, and they are also practical, and higher-order-thinking-focused. The spectacular research learning in NCSSM including research experience courses; mentorship; research in biology, chemistry and physics; research in computational science and mathematics. In order to improve the fundamental qualities of the students, it has also developed large amount of humanities courses, some student life courses and lots of activities. By Cultivating both Scientific spirit and humanities, giving the students full freedom of self-developing, and taking full advantage of social resources, NCSSM enlightens us for the STEM education in China.

Keywords: America; Primary and Secondary School; STEM Education; Case Study

(上接第 47 页)

Performance-based Assessment:the new standard of teachers' qualification assessment in USA

WENG Weibin

Abstract: In order to train "world class" teachers, reform American teachers qualifications assessment. The core of reform is from the past "exam" way of selecting teachers, to "capacity" selection, Performance-based assessment based on the rise, with "teacher performance assessment"(TAP) is the most representative. A new evaluation method to reduce the applicant's written exam, the score proportion of project, this paper focuses on applicant's teaching practice ability, through a variety of comprehensive data collection of teaching process, including lesson plans, lesson plans, homework arrangement, teaching videos, just in time teaching in the real scene of performance capture applicants, in order to examine the practical teaching ability.

Keywords: USA; teacher qualification ; assessment