

STEM 教育理念与跨学科整合模式

余胜泉 胡翔

(北京师范大学 教育技术学院,“移动学习”教育部 — 中国移动联合实验室,北京 100875)

[摘要] 随着创客日益受到社会关注,开展创客教育已成为教育界讨论并实践的热点。创客教育不能滑入到在中小学推广创造发明的歧途,而应是推进跨学科知识融合的 STEM 教育,在帮助学生打好扎实的科学、技术、工程和数学知识的基础之上,培养学生创新精神与实践能力,促进创新型、创业型人才的成长。本文阐述了 STEM 教育的跨学科、趣味性、体验性、情境性、协作性、设计性、艺术性、实证性、技术增强性九个核心理念,介绍了相关课程、广域课程两种跨学科整合模式,分析了三种跨学科整合的取向:学科知识整合取向、生活经验整合取向、学习者中心整合取向,并提出了跨学科整合的项目设计模式。

[关键词] STEM 教育; 跨学科整合; 课程整合模式; 整合性课程; 创客教育

[中图分类号] G434 [文献标识码] A [文章编号] 1007 — 2179(2015)04 — 0013 — 10

李克强总理在 2015 年政府工作报告中指出,要推动大众创业、万众创新,并亲身探访深圳柴火创客空间,国务院办公厅随后印发《关于发展众创空间推进大众创新创业的指导意见》。随着“创客”风靡全国,开展创客教育也成为教育工作者热烈讨论的话题。但很多人对创客教育的理解存在一定误区。创客教育不是一味鼓励学生荒废学业、不切实际地去搞创造发明、创业,而是强调创客的兴趣驱动、动手实践、创意创新的核心品质,推进跨学科知识融合的 STEM 教育,在帮助学生打好扎实的科学、技术、工程和数学知识基础之上,培养其创新精神与实践能力,促进创新型、创业型人才的成长。

一、STEM 教育及其发展

STEM 是科学(Science)、技术(Technology)、工程(Engineering)和数学(Mathematics)四门学科的简称,强调多学科的交叉融合。STEM 教育并不是科学、技术、工程和数学教育的简单叠加,而是要将四门学科内容组合形成有机整体,以更好地培养学生的创新精神与实践能力。STEM 教育(STEM Education)源于美国。美国科学教育学者最早于 20 世纪 50 年代提出科学素养概念,并得到了其他国家科学教育学者的普遍认同,认为提高国民的科学素养是提升国家综合实力的关键。这与 20 世纪前半叶科学的迅猛发展是分不开的:那时科学在公众心中是万能的,科学被认为是社会发展进步的不竭动力。随着科学知识体系的相对稳定,以及技术和工程给生活带来的翻天覆地的变化,技术素养等因此进入公众视野。例如,斯坦福大学赫德教授 1975 年指出:“技术素养与科学素养应当并列成为科学教学的主要目标”(Hurd, 1975)。

到 20 世纪 90 年代,美国国家科学基金会首次使用 STEM 描述涉及一至多门 STEM 学科的事件、政策、项目或实践(Byhee, 2010)。在此之前,常见的缩写是 SMET,即科学(Science)、数学(Mathematics)、工程(Engineering)和技术(Technology)。例如,1986 年,美国国家科学委员会发布《本科科学、数学和工程教育》报告,首次明确提出“科学、数学、工程和技术教育集成”的纲领性建议,SMET 因而被视为 STEM 集成的开端(朱学彦等, 2008)。2001 年后,STEM 逐渐取代 SMET,成为四门学科的统称。在小布什两届任期内,STEM 作为新概念不断出现在美国各种改革政策和项目甚至法律中(赵中建, 2012)。例如,2007 年 8 月,美国国会通过《国家竞争法》,批准 2008 年到 2010 年间为联邦层次的 STEM 研究和教育计划投资 433 亿美元;同年 10 月,美国国家科学委员会发布报告《国家行动计划:

应对美国科学、技术、工程和数学教育系统的紧急需要》，警示美国时刻不忘加强对学生开展 STEM 教育。

奥巴马总统执政之后，对 STEM 教育的重视提升到新的层次。上任初，他便颁布了《美国振兴及投资法案》，将增加财政投入支持 STEM 教育写进法案；第一任期内，奥巴马先后宣布实施“竞争卓越计划”“为创新而教计划”以及“新科技教育十年计划”等，不断加大对 STEM 教育发展的关注度与投入力度，对确保美国国际竞争力产生了深远影响；2014 年，白宫和美国教育部提出 STEM 国家人才培养策略，针对中小学 STEM 教育提出实现各州 STEM 创新网络合作、培训优秀 STEM 教师、建立 STEM 专家教师团、资助 STEM 重点学校和增加 STEM 科研投入等切实、具体的规划，受到世界的广泛关注(杨光富，2014)。

值得注意的是，美国 STEM 教育的推广不是在政府指导下单纯依靠学校推动，而是动员了全社会特别是企业界的力量。正如奥巴马总统指出的：“国家的成功取决于美国在世界创新中的作用，所有首席执行官都应该知道公司的未来取决于下一代员工的创新能力，而这又取决于今天我们怎么教育学生——尤其是在 STEM 方面。我们的成功不能单靠政府的支撑，还要依赖于教师、家长、企业、非营利机构和更广泛的社区等”(Sabochik, 2010)。在美国，盖茨基金会和纽约卡内基公司支持一百多位企业 CEO 创建“变革方程”公益机构。他们通过利用资金、独特的资源和影响力试图(钟柏昌等，2014)：1) 促进 STEM 公益教育事业；2) 激励青少年学习 STEM；3) 推动基于 STEM 的教育改革。同样，英国为了促进企业职工参与学校的 STEM 教育，仅 2009—2010 学年就花费约 1300 万英镑专项经费(其中，国家级机构投入约 700 万英镑；各地相关机构投入约 200 万英镑；企业投入约 400 万英镑)(Mann, 2012)。

从教育目标来说，STEM 教育的基本目标是培养学生的 STEM 素养。美国州长协会(National Governors Association) 2007 年颁布的“创新美国：拟定科学、技术、工程与数学科目议程 (Innovation America: Building a Science, Technology, Engineering and Math Agenda)”共同纲领中指出，在知识经济时代，只有具备 STEM 素养的人才能在激烈竞争中取得先机，赢得胜利。他们认为，STEM 素养是个体在科学、技术、工程和数学领域以及相关交叉领域中运用个人关于现实世界运行方式的知识的的能力(秦炜炜，2007)。显而易见，STEM 素养包含了科学素养、技术素养、工程素养和数学素养，同时又不是四者的简单组合：它包含运用这四门学科的相关能力、把学习到的零碎知识与机械过程转变成探究真实世界相互联系的不同侧面的综合能力。STEM 作为一个有机整体，有其独特的内涵与特征。

二、STEM 教育的核心特征

STEM 教育中四门学科的教学必须紧密相连，以整合的教学方式培养学生掌握知识和技能，并能进行灵活迁移应用解决真实世界的问题。融合的 STEM 教育具备新的核心特征：跨学科、趣味性、体验性、情境性、协作性、设计性、艺术性、实证性和技术增强性等。

(一) 跨学科

将知识按学科进行划分，对于科学研究、深入探究自然现象的奥秘和将知识划分为易于教授的模块有所助益，但并不反映我们生活世界的真实性和趣味性(Morrison, 2009)。因此，分科教学(如物理、化学)在科学、技术和工程高度发达的今天已显出很大弊端。针对这一问题，理工科教育出现了取消分科、进行整合教育的趋势。STEM 教育因此应运而生，跨学科性是它最重要的核心特征。

美国学者艾布特斯(Abts)使用“元学科”(meta— discipline)描述 STEM，即表示它是代表科学、技术、工程和数学等学科的统一的知识领域，它们存在于真实世界中，彼此不可或缺、互相联系(Morrison, 2006)。跨学科意味着教育工作者在 STEM 教育中，不再将重点放在某个特定学科或者过于关注学科界限，而是将重心放在特定问题上，强调利用科学、技术、

工程或数学等学科相互关联的知识解决问题，实现跨越学科界限、从多学科知识综合应用的角度提高学生解决实际问题的能力的教育目标。

(二) 趣味性

STEM 教育在实施过程中要把多学科知识融于有趣、具有挑战性、与学生生活相关的问题中，问题和活动的设计要能激发学习者内在的学习动机，问题的解决要能让学生有成就感，因此需有趣味性。STEM 教育强调分享、创造，强调让学生体验和获得分享中的快乐感与创造中的成就感。有的项目还把 STEM 教育内容游戏化(将游戏的元素、方法和框架融于教育场景)，因为将基于探索和目标导向的学习嵌入游戏中，有利于发展学习者的团队技能、教授交叉课程概念和负责的科学内容主题，可以得到更多、更理想的教育产出(Johnson et al. , 2013)。例如，芬兰大学和美国北伊利诺伊大学合作成立了 Finnish — US，在 K — 16 阶段开展基于游戏的 STEM 教育(见网址：go.nmc.org/fins)。

(三) 体验性

STEM 教育不仅主张通过自学或教师讲授习得抽象知识，更强调学生动手、动脑，参与学习过程。STEM 提供了学生动手做的学习体验，学生应用所学的数学和科学知识应对现实世界问题，创造、设计、建构、发现、合作并解决问题。因此，STEM 教育具有体验性特征，学生在参与、体验获得知识的过程中，不仅获得结果性知识，还习得蕴含在项目问题解决过程中的过程性知识。这种在参与、体验中习得知识的方式对学生今后的工作和生活的长远发展会产生深刻影响。例如，我国台湾学者赖恩莹等利用乐高作为模组教具培养学生有关齿轮、力矩等工程概念(Lai , Zhang & Wang , 2012)。学生通过搭建乐高组件测试相关原理，不仅可以了解物理概念与知识，还在工程设计体验中感受到这些知识的重要作用，将抽象的知识与实际生活连接起来，很好地体现了 STEM 教育的体验性特征。

(四) 情境性

STEM 教育具有情境性特征，它不是教授学生孤立、抽象的学科知识，而强调把知识还原于丰富的生活，结合生活中有趣、挑战的问题，通过学生的问题解决完成教学。STEM 教育强调让学生获得将知识进行情境化应用的能力，同时能够理解和辨识不同情境的知识表现，即能够根据知识所处背景信息联系上下文辨识问题本质并灵活解决问题。STEM 教育强调知识是学习者通过学习环境互动建构的产物，而非来自于外部的灌输。情境是 STEM 教育重要而有意义的组成部分，学习受具体情境的影响，情境不同，学习也不同。只有当学习镶嵌在运用该知识的情境之中，有意义的学习才可能发生。教师在设计 STEM 教育项目时，项目的问题一方面要基于真实的生活情景，另一方面又要蕴含着所要教的结构化知识。这样，学生在解决问题的过程中，不仅能获得知识，还能获得知识的社会性、情境性及迁移运用的能力。情境性问题的解决，可以让学生体验真实的生活，获得社会性成长。

(五) 协作性

STEM 教育具有协作性，强调在群体协同中相互帮助、相互启发，进行群体性知识建构。STEM 教育中的问题往往是真实的，真实任务的解决离不开其他同学、教师或专家的合作。在完成任务的过程中，学生需要与他人交流和讨论。建构主义指出，学习环境的四大要素包括“情境”“协作”“会话”和“意义建构”(何克抗，1997)。STEM 教育的协作性就是要求学习环境的设计要包括“协作”和“会话”两要素：让学生以小组为单位，共同搜集和分析学习资料、提出和验证假设、评价学习成果；同时，学习者通过会话商讨如何完成规定的学习任务。需指出的是，小组学习最后的评价环节以小组成员的共同表现为参考，而不是根据个人的表现进行独立评价。

(六) 设计性

STEM 教育要求学习产出环节包含设计作品，通过设计促进知识的融合与迁移运用，通过作品外化学习的结果、外显习得的知识 and 能力。设计出创意作品是获得成就感的重要方式，也

是维持和激发学习动机、保持学习好奇心的重要途径。因此，设计是 STEM 教育取得成功的关键因素。美国学者莫里森认为，设计是认知建构的过程，也是学习产生的条件(Morrison , 2005)。学生通过设计可以更好地理解完成了的工作，从而解决开放性问题。在这个过程中，学生学习知识、锻炼能力、提高 STEM 素养，因此设计性是 STEM 教育的又一核心特征。科学在于认识世界，解释自然界的客观规律，技术和工程则是在尊重自然规律的基础上改造世界，实现对自然的控制和利用，解决社会发展过程中遇到的难题。按照科学和数学的规律开展设计实践是科学、数学、技术与工程整合的重要途径。

(七) 艺术性

也有人提出 STEAM 的概念，强调在 STEM 中加入“Art”学科。这个“A”狭义上指美术、音乐等，广义上则包括美术、音乐、社会、语言等人文艺术，实际代表了 STEM 强调的艺术与人文属性。STEM 教育的艺术性强调在自然科学教学中增加学习者对人文科学和社会科学的关注与重视，例如在教学中增加科学、技术或工程等相关发展历史，从而激发学生兴趣、增加学习者对 STEM 与生活联系的理解以及提高学生对 STEM 相关决策的判断力；再如，在对设计作品的评价中，加入审美维度的评价，提高学生作品的艺术性和美感。概括来说，STEM 教育的艺术性是以数学元素为基础，从工程和艺术角度解释科学和技术。

(八) 实证性

实证性作为科学的本质(Nature of Science)的基本内涵之一，是科学区别于其他学科的重要特征，也是科学教育中学习者需要理解、掌握的重要方面。STEM 教育要促进学生按照科学的原则设计作品，基于证据验证假设、发现并得出解决问题的方案；要促进学生在设计作品时，遵循科学和数学的严谨规律，而非思辨或想象，让严谨的工程设计实践帮助他们认识和理解客观的科学规律。总之，STEM 教育不仅要注重科学的实证性，更强调跨学科情景中通过对问题或项目的探索，培养学生向真实生活迁移的科学精神和科学理性。

(九) 技术增强性

STEM 教育强调学生要具备一定技术素养，强调学生要了解技术应用、技术发展过程，具备分析新技术如何影响自己乃至周边环境的能力。在教学中，它要求利用技术手段激发和简化学生的创新过程，并通过技术表现多样化成果，让创意得到分享和传播，从而激发学生的创新动力。STEM 教育主张技术作为认知工具，无缝地融入到教学各个环节，培养学生善于运用技术解决问题的能力，增强个人驾驭复杂信息、进行复杂建模与计算的能力，从而支持深度学习的发生。

三、STEM 课程的跨学科整合模式

在课程方面，STEM 教育代表了课程组织方式的重大变革。目前中小学最广泛应用的课程模式是分科教学模式，即数学、科学等学科教师负责教授各自科目，很少重视学科之间的联系。然而，要让学生为未来的职业发展做准备，他们必须超越学科的界限进行思考。有研究表明，学习者接受 STEM 教育有助于获得对数学和科学等内容更加深入的理解(Frykholm & Glasson, 2005)；同时也有助于培养他们获得在真实世界应用这些知识解决问题的能力，因为这些问题从本质上就是跨学科的 (Asghar et al. , 2012)。因此，STEM 教育的课程设计应该使用“整合的(integrated)课程设计模式”，即将科学、技术、工程和数学等整合在一起，强调对知识的应用和对学科之间关系的关注(Herschbach , 2011)。

(一) 跨学科整合的模式

针对 STEM 教育整合的课程设计，美国马里兰大学赫希巴奇(Herschbach, 2011) 提出两种最基本的课程模式：相关课程(the correlated curriculum)模式和广域课程(the broad fields curriculum)模式。相关课程模式将各科目仍保留为独立学科，但各科目教学内容的安排注重彼此间的联系。例如，上物理课可能需要学生预先掌握数学概念，数学和物理教师要通过沟

通,将这两次课安排在时间节点相近且数学课教学排在前面。相关课程模式与学校目前的课程模式很相近,但最大的区别在于前者需要不同学科之间的教师对课程安排进行详细、周密的协调和计划。

广域课程模式则取消了学科间的界限,将所有学科内容整合到新的学习领域。STEM教育的广域课程模式不再强调物理、化学甚至科学作为独立的学科存在,而是将科学、技术、工程和数学等内容整合起来,形成结构化的课程结构。赫希巴奇指出,最常用的整合方式是通过活动(activities)形成连贯、有组织的课程结构(见图1)(Herschbach,2011)。例如,教师围绕建构和测试太阳能小车组织课程。在这样的课堂里,教师通过设计太阳能小车,将科学、技术和工程等STEM学科相关知识均包含在内,让学生通过活动进行学习。

总的来说,上述两种课程整合模式各有优劣势。相关课程模式对教师来说比较熟悉,但需要各学科教师之间密切协商与交流;广域课程模式打破了学科间的界限,通过活动促使学生在真实情景中学习各学科的知识,但如何在打破的学科之间取得平衡、建立新的课程结构对一线教师和政策制定者提出了新的挑战(Herschbach,2011)。

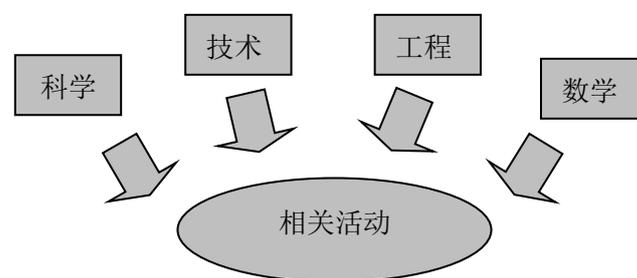


图1 基于活动的课程整合模式

(二) 跨学科整合的基本取向

STEM教育要求四门学科在教学过程中必须紧密相连,以整合的教学方式使得学生掌握概念和技能,并运用技能解决真实世界中的问题。如何将四门独立学科知识紧密关联实现整合,有三种取向:

1. 学科知识整合取向

分析各学科最基本的学科知识结构,找到不同学科知识点之间的连接点与整合点,将分散的课程知识按跨学科的问题逻辑结构化。将各学科内容改造成以问题为核心的课程组织,通过序列化的问题有机串起各学科知识,使课程要素形成有机联系和有机结构。

知识整合取向模式一般采用基于问题的学习模式(problem-based learning),强调把学习设计在复杂、有意义的问题情境中,通过学生合作解决嵌入于真实情境中的问题或与真实世界相关的问题,促进学生对所学知识的理解与建构,从而习得隐含于问题背后的科学知识,形成解决问题的技能和自主学习的能力。它可以使学生通过体验知识获得的过程,促进学生元认知能力的发展,通过应用知识解决问题达成对知识的灵活掌握,并能对知识进行社会性、情境性的迁移运用。解决问题的目的是为了掌握蕴含于问题之中或支持问题解决的知识,问题是多学科知识融合的交叉点与整合点,是触发学生学习与探究的触发器,是创新学习的载体。一般来说,问题解决的过程不会持续很长,具体开展的方式方法也会多样化,比如Web Quest网络探究、5E教学法(engage、exploration、explanation、elaboration、evaluation)、研究性学习等。

2. 生活经验整合取向

注重知识的社会功能,也就是基于学习者的需求,以第三次工业革命为代表的知识经济社会所必须的知识与技能为核心整合多学科知识,然后以项目设计与实施为载体,将学术性的学科知识转化为可解决实际问题的生活性知识。基本做法是从儿童适应社会的角度选择典型项

目进行结构化设计,让学习者在体验和完成项目的过程中,习得蕴含于项目之中的多学科知识与技能,或从改造和完善现有社会的角度,选择挑战性项目。

这种课程整合方式强调社会实践活动以及社会问题解决能力的培养,强调多学科知识融合到真实的社会性项目中,在项目活动中寻找各学科知识的整合点。因此,项目的过程分析、活动设计等社会分析是核心。

生活经验与社会取向课程整合模式一般采用基于项目的学习模式(project — based learning),以实践性的项目完成为核心,将跨学科的内容、高级思维能力发展与真实生活环境联系起来。项目学习一般以开发最终作品或“人工制品”为出发点,在教师的指导下,学生按自己的设计思路,采用科学的方法完成作品设计。作品设计是项目学习贯穿的主线和驱动力,学生在完成作品的过程中进行检索、讨论、演算、设计、观察等学习活动,并解决一个或多个问题,从而获得知识和技能。作品制作是这种学习的重点,但更为重要的是学生在制作作品过程中获得跨学科的知识和技能,并获得创造性运用知识的社会性能力。

基于项目的学习并非只强调学科知识的掌握,还侧重对教材内容以外知识的体验与经历,旨在丰富学生对事物的认识,注重生活经验知识的增长。整个学习过程应真实可信,是反映真实情境和现实生活的体验性活动,体现将学术性学科知识转化为生活经验知识价值取向。

3. 学习者中心整合取向

这种模式不强调由教师预设问题或项目,而由学习者个体或小组调查、发现问题。它不仅强调解决问题能力的培养,还强调发现问题的创新能力,是一种依据学习者需求,以学习者生活经验为基础寻找各学科整合点的模式。它强调学习者成就感与自我效能感,强调学生好奇心与兴趣的维护与保护,强调分享、创造的愉快。在理念上,它清晰地体现了教育的人本主义思想。

学习者中心取向整合模式采用学生主导项目的方式,学生以个人或小组为单位提出任务,任务内容需要学习并运用跨学科知识。学生在项目问题解决过程中,教师发挥协调、指导、检查、监督、计时和评价作用。其优点在于能力较强的学生可以摆脱传统的结构化课堂教学对个人学习与设计活动的约束,能更好地发挥个人能力;缺点在于能力弱的学生会对学习过程中的自由度不适应,需要教师更多的指导;同时由于项目任务非结构化,所以很难实现对学习技能最终结果的全面评估。

学习者中心取向整合模式强调创设学习者可以主动介入、研究与发现的丰富教育环境,让学生在蕴含丰富 STEM 知识的环境中进行交互、探究与发现,创造意义、学习知识,在建构性的环境设计中寻找蕴含 STEM 知识的整合点。

4. 三种整合取向的共性问题及应对

上述三种课程整合取向代表了课程的知识属性、社会属性与人本属性的不同侧面,它们相互联系、相互补充,没有绝对的优劣,各有适合的领域与对象,在课程跨学科整合的实践中应该配合使用多种取向。

不管采用哪种取向的整合模式,将知识情境化与社会化都是其优势,但各学科原有知识体系结构的劣构化是它们面对的共性问题,容易造成学生学习知识结构的不均衡,可能某些知识掌握得较好,有些知识却没有触及(因为所学项目没有覆盖)。这种基础知识的结构性偏差对于中小學生是个很大的问题。创新精神与实践能力培养的可持续性,其根源还在于学习者有良好的知识结构,并能不断自我完善和发展。基础教育领域知识的结构性缺失,会给儿童一辈子的成长带来障碍。因此,STEM 的跨学科整合,一方面要将分学科的知识按问题逻辑或项目逻辑进行跨学科重组,另一方面又要确保设计的问题和项目对所有学科基础性知识结构的全面、均衡的覆盖。设计和实施 STEM 跨学科整合的课程,要在学科知识的系统性与解决实际问题 / 项目中所获知识的随机性之间保持一定的张力和平衡,基于整体知识结构的系统性设计问题,使各问题之间包含的学习议题(如专业概念、原理等)多次地相互邻接和交叉

重叠。

在此过程中，知识地图技术是很好的课程设计工具。知识地图可以对课程的核心知识及其关系予以可视化展示与管理。设计具体学习问题或项目时要对其涵盖知识进行分析，并与知识地图进行关联。当所有学习项目都与知识地图关联时，通过结构化的知识地图，学生可以清晰地了解每个知识点上学习项目覆盖的频次与强度，如果某知识点出现结构性缺失，可以通过定向覆盖的学习问题或项目设计进行平衡调节。

(三) 跨学科整合的项目设计

STEM 跨学科整合最核心、最重要的工作是项目或问题的设计，如果没有良好的结构化项目设计，会导致学习困难、效率不高、挫折感强、学习收获不大等系列问题。

STEM 项目设计强调将知识蕴含于情境化的真实问题中，强调调动学生主动积极地利用各学科的相关知识设计解决方案，跨越学科界限提高学生解决实际问题的能力。

STEM 教育建立在建构主义和认知科学的研究成果之上(Sanders , 2009)。布鲁因(Bruning, 2004)等人指出，**STEM** 教育与认知科学的主张一致：1)学习是建构而不是接受的过程；2)动机和信念在认知过程中至关重要；3) 社会性互动是认知发展的基础；4)知识、策略和专门技术是情境化的。由此可见，**STEM** 教育是一种典型的建构主义教学实践：为学习者提供学习情境，让他们积极地建构知识，从而强化对知识的记忆和促进迁移；以小组为单位进行活动，为知识的社会建构提供优越条件(Sanders, 2009) 。因此，实践 **STEM** 教学模式首先要符合建构性学习所强调的探究、发现、协助等基本要求。

可以说，**STEM** 教育是一种典型的建构主义教学实践，本文参照基于建构主义的教学设计模式(余胜泉等, 2000)尝试提出一种 **STEM** 项目设计模式(见图 2)。本模式在“教学分析”的基础上，以“项目或问题”为核心立足点，设计项目完成或问题解决过程中的学习资源与工具、学习活动过程、学习支架、学习评价等关键环节，同时关注项目完成后，学生获得知识的系统化与结构化迁移，并有相应的强化练习与总结提升。

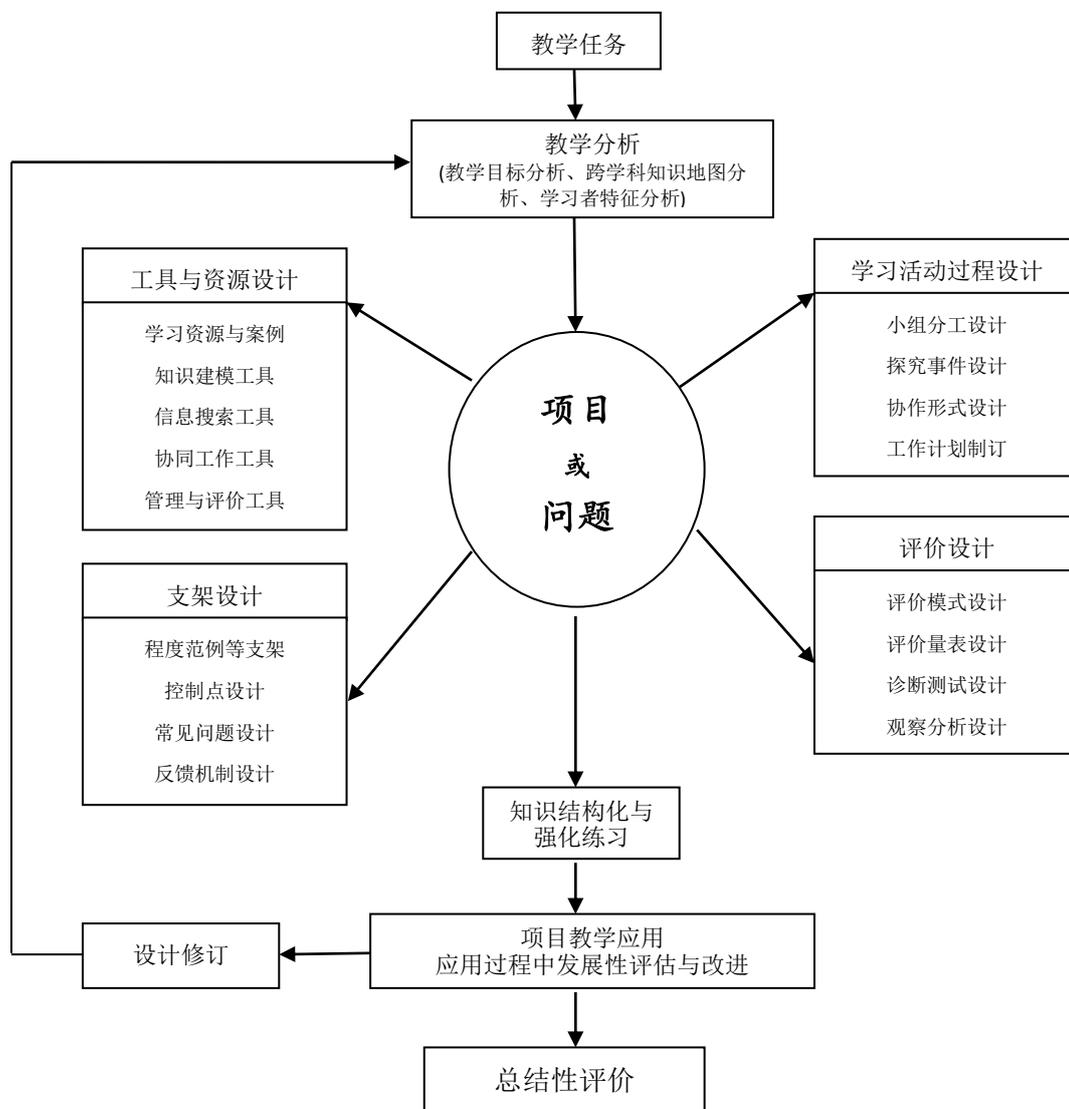


图 2 STEM 跨学科项目设计模式

1. 教学分析

在教学设计前期，教师需要对以下三个方面进行细致分析：1)教学目标；2)学习者特征；3)跨学科知识地图(学习内容)。分析教学目标是为了确定学习主题，对课程的三维目标做具体描述。分析学习者特征是为了确保项目设计适合学生的能力与知识水平，对学习者的智力因素和非智力因素进行充分分析。STEM 教育强调学习要完成真实情境中的任务，而要确保任务中包含教学目标，就需要对学习内容进行深入分析，明确所需学习的知识内容、知识内容间的结构关系和知识内容的类型。这可以通过绘制学习内容的知识地图，展示跨学科知识之间的关联，为整个课程知识均衡覆盖提供基础。

2. 学习任务设计

学习任务是整个 STEM 教学设计模式的核心和立足点。STEM 教学是基于现实情境的，需要学习者置身于真实、非良构的学习任务中。学生学习的过程就是解决实际问题 and 完成实际项目的过程，问题或项目构成了驱动学习的核心，而不像教师讲授那样充当概念、原理的例子。学习任务可以是问题或项目：它们均代表连续性的复杂问题，并要求学习者采取主动、建构、真实情境下的学习方式。

学习任务一定要放在特定情境中呈现，需要将设计的问题在特定情境中具体化。由于教科书中的知识是对现实生活的抽象和提炼，所以设计学习情景就要还原知识的背景，恢复其原来的生动性、丰富性，有时同一问题在不同情景中(不同的工作环境、社会背景)的表现是不同的。STEM 教学要基于前面的教学分析结果，对学习情境进行设计，使得学习问题能够与

真实学习情境相融合，不处于分离或勉强合成的状态。

3. 工具与资源设计

问题解决或项目完成需要学习者在大量信息基础上进行自主学习、意义建构，因此设计适宜的学习环境和丰富的学习资源与工具是 STEM 教学设计必不可少的环节。学习环境设计主要包括教学中需要用到的设备、器材和各种信息化工具，如目前广受关注的 3D 打印机、开源电路板等，还需要一些用来支持或指引扩充思维过程的认知工具，如 Scratch 可视化程序设计工具、概念图工具、SPSS 数据分析工具、网络沟通工具、三维建模工具等。学习资源方面教师需要设计：1)了解有关学习问题的详细信息和必要的预备知识；2)学生在解决学习问题过程中可能需要查阅的信息(为了对学生学习更好地提供指导)；3)强化练习材料(用于学习者在教学活动实施后进行强化练习，从而检测、巩固、扩展所学知识)。

4. 学习支架设计

STEM 教育重视学习者学习主体地位的同时，也不忽视教师的指导作用。STEM 教师既需要保持对各个教学环节的控制、管理、帮助和指导，又需要从课堂主角变为幕后导演，成为学生意义建构的帮助者、促进者。学生在问题解决过程中，不同学生所采用的学习路径、遇到的困难也不相同，教师需针对不同情况给予及时反馈和帮助，指导学生开展独立探索或协作，调动学生参与的主动性；学生在自主学习中，面对丰富的信息资源易出现学习行为与学习目标的偏离，对此教师要在问题解决过程中设置关键的控制点，规范学生学习，同时也有利于学生反思、深化所学知识。因此，针对学生问题解决过程中可能遇到的困难，教师提供起支撑、承载、联结等作用的支架，是确保学生在最临近发展区内进行学习并解决问题的关键。在 STEM 教育项目中，支架可以保证学生在不能独立完成任务时获得成功，提高能力水平以达到任务要求，帮助他们认识到潜在发展空间。支架让学生经历一些有经验的学习者(如教师)所经历的思维过程，有助于学生对知识特别是隐性知识的体悟与理解。学生通过内化支架，可以获得独立完成任务的技能。支架还可以展示学习任务的真实情境，让学习者感受、体验和进入复杂的真实情境。典型的支架包括(闫寒冰，2003)：情境型支架，设置情境帮助进入学习；问题型支架，创设问题情境，引发思维；实验型支架，演示实验、学生实验、家庭实验等；信息型支架，包括教师已有知识、网络知识、材料等；知识型支架，主要是提供评价和产生新的经验和信息的框架；程序型支架，是指做事的顺序；策略型支架，指在不同教学条件下，为达到不同教学效果所采用的手段和谋略；范例型支架指典型事例和范例；训练性支架指通过指导和练习强化学生认知理解，提升学生学习能力。

5. 学习活动设计

学生是在完成 STEM 教育项目过程中获取知识、认识客观世界的，不是直接从书本或教师处获得知识的，认知与学习发生在完成任务和解决问题的过程中，是通过学习活动这一中介体完成的。因此，有效的 STEM 教育项目设计，必须以有效的学习活动为中介，促进知识的内化，只有这样才能真正提高学生学习效率，促进学生学习的发生。

STEM 学习活动设计，就是教师根据教学目标、教学内容、教学情境灵活选择和设计学习活动，让学生通过参与活动进行学习。不同教学模式往往从不同教学环节和程序安排上显示其特征，每种教学模式都有其自身相对固定的活动逻辑步骤和每阶段应完成的教学任务。不同活动序列组合自然形成不同的教学模式。

6. 学习评价设计

教学评价包括形成性评价和总结性评价。为了在教学活动过程中更好地达到教学目标，教师需要在教学过程中不断进行形成性评价。形成性评价偏向于使用量表、行为观察和知识测验等形式了解阶段性的教学成果和存在问题，及时对教学实施方案进行修改、完善。总结性评价一般安排在教学活动告一段落后，为检验学习效果是否达到预期的教学目标而进行的评价。STEM 教学侧重于培养学习者解决实际问题的能力，比传统的纸笔测试更加灵活多样并关注

学习者的真实能力。例如，它可以对小组合作完成的作品按事先制定的评价标准，由教师或小组间进行评价。形成性评价和总结性评价服务于不同目的，没有孰轻孰重之分，两者均起着举足轻重的作用。

评价过程要改变以往单一的评价方式，强调多元评价主体、形成性评价、面向学习过程的评价，由学生本人、同伴、教师对学生学习过程的态度、兴趣、参与程度、任务完成情况以及学习过程中形成的作品等进行评估。

7. 总结与强化练习

项目结束后需要适时进行教学总结，促进学习者将零散的知识系统化。STEM 教学关注现实问题，着力跨学科运用知识，因此更需要对涉及的知识进行总结，将 STEM 学习的产出从现实问题解决延伸到抽象的知识层面，让学生形成一定的知识体系和结构。教学总结可以由教师独立进行，也可以采取教师指导下学生小组合作汇报等形式进行。

完成教学总结后，教师应根据小组评价和自我评价结果，为学生设计一套可供选择并有针对性的补充学习材料和强化练习。这类材料和练习应精心挑选，既要反映基本概念、基本原理又能适应不同学生的要求，以便通过强化练习纠正原有的错误理解或片面认识，最终达到符合要求的意义建构。

8. 项目方案试用与改进

项目实施过程中，一方面要严格按照设计的方案进行实施，确保教学方案的执行；另一方面，要根据现实教学条件和形成性评价的结果不断修订设计方案，保证灵活性。

四、结语

随着创客在中国的火爆，创客教育出现让人担心的大跃进现象。不遵循教育规律，一窝蜂让学生学习开源电路板、3D 打印、机器人等，过分关注技术的炫酷，缺乏科学的教育设计，缺乏基础性学科知识融合注入，使得创客教育变成学校秀场，出现了泡沫化苗头。因此，本文追根溯源，对 STEM 教育进行梳理和研究。

STEM 在国内还是个新兴领域，但在国外已经受到广泛关注，并有成熟的研究与实践，值得我们借鉴。针对国内 STEM 教育尚未形成完整的理论体系和操作性强的模式的现状，本文通过对国内外现有研究的梳理，总结了 STEM 教育的九大核心特征，并对 STEM 的课程整合模式和整合取向进行分析，然后尝试提出 STEM 项目设计模型，希望能够引起业内的关注、批评和争鸣，促进 STEM 教育实践的健康发展。

值得指出的是，在 STEM 跨学科整合设计中，容易出现学科知识结构性缺失的不足，本文提出通过学科知识地图对项目设计进行总体规划，实现跨学科知识的均衡覆盖。STEM 教育在实施过程中，容易出现伪探究、伪问题解决的状况，从而导致学生挫折感强，形不成系统的知识结构，教师主导地位严重缺失等问题，本文在项目设计中特别强调了总结与强化练习环节。这些针对性的改进措施，以及借鉴中国传统教育在知识掌握方面的优势，可为其他国家的 STEM 教育实施提供参考。

[参考文献]

[1] Asghar, A. , Ellington, R. , Rice, E. , et al. (2012) . Support-ing Stem Education in secondary science contexts [J]. Interdisciplinary Journal of Problem — based Learning, 6(2) : 4.

[2] Bruning, R. H. , Schraw, J. G. , Norby, M. M. & Ronning, R. R. (2004) Cognitive psychology and instruction [M]. Columbus, OH: Pearson.

[3] Byhee, R. W. (2010) . Advancing STEM education: A 2020 version [J]. Technology and Engineering Teacher, 70(1) : 30 — 35. [4] Frykholm J, Glasson G. (2005) . Connecting science and mathe-matics instruction: pedagogical context knowledge for teachers [J]. School

Science and Mathematics, 105(3) : 127 — 141.

[5] 何克抗(1997). 建构主义——革新传统教学的理论基础(上) [J]. 电化教育研究, (3) : 3 — 9.

[6] Herschbach D. R. (2011). The stem initiative : constraints and challenges. [J]. Journal of Stem Teacher Education, 48(1) : 96 — 122. [7] Hurd,

P. D. (1975) Science, Technology, and Society: New Goals for Interdisciplinary Science Teaching [J]. Science Teacher, 42(2) : 27 — 30.

[8] Johnson L. , Adams becker S. , Cummins M. , et al. (2013). Technology outlook for community, technical, and junior colleges 2013 — 2018: An NMC Horizon Project sector analysis [J]. Austin, Texas: the New Media Consortium.

[9] Lai Enying, Zhang Yushan, & Wang Jianhua(2012). Developing students' engineering concepts with learning module aids [A]. 2nd International STEM in Education Conference [EB/OL]. <http://stem2012.bnu.edu.cn>

[10] Mann, A. , & Oldknow A. (2012). School — industry STEM links in the UK: A report commissioned by Futurelab [J]. Education and Employers: 1 — 32.

[11] Morrison, J. , & Raymond, V. (2009). STEM as a curriculum [J]. Education Week, 2009, 23: 28 — 31.

[12] Morrison JS (2005). Workforce and school [C] / Briefing Book. Seek — 16 Conference. Washington, Dc: National Academy of Engineering, [S. l.]: [s. n.]: 2 — 11.

[13] Morrison J. S. (2006). Attributes of stem education: the students, the academy, The classroom [J]. Ties Stem Education Mono-graph Series. Baltimore: Teaching Institute for Excellence in Stem.

[14] 秦炜炜(2007). 全球化时代美国教育的 STEM 战略 [J]. 教育技术资讯 : 10.

[15] Sabochik, K. (2010). Changing the equation in STEM education [DB/OL]. <http://www.whitehouse.gov/blog/2010/09/16/changing-equation-stem-education>, 2014 — 01 — 17.

[16] Sanders, M. (2009). STEM, STEM education, stemmania [J]. The Technology Teacher, 68(4) : 20 — 26.

[17] 闫寒冰(2003). 信息化教学的学习支架研究 [J]. 中国电化教育. (11) : 18 — 21

[18] 杨光富(2014). 奥巴马政府 STEM 教育改革综述 [J]. 中小学管理, (4) : 48 — 50.

[19] 余胜泉, 杨晓娟, 何克抗(2000). 基于建构主义的教学设计模式 [J]. 电化教育研究, (12) : 7 — 13.

[20] 赵中建(2012). 为了创新而教育 [J]. 辽宁教育, (18) : 19.

[21] 钟柏昌, 张丽芳(2014). 美国 STEM 教育变革中“变革方程”的作用及其启示 [J]. 中国电化教育, (4) : 18 — 24 + 86.

[22] 朱学彦, 孔寒冰(2008). 科技人力资源开发探究 —— 美国 STEM 学科集成战略解读 [J]. 高等工程教育研究, (2) : 21 — 25.

(编辑: 徐辉富)

YU Shengquan & HU Xiang

(School of Educational Technology, Beijing Normal University The Joint Laboratory for Mobile Learning, Ministry of Education — China Mobile Communication Corporation, Beijing 100875, China)

Abstract: Today, Maker Education has been a hot topic in both educational discussions and practices. Instead of wrongly advocating direct creation and invention in primary and secondary schools, Maker Education should promote integrated STEM Education. In other words, maker education should foster students' creativity, hands-on, and entrepreneurship based on the learning integrating contents of science, technology, engineering, and mathematics. This article introduces the meaning and development of STEM Education, and then clarify nine core features of STEM Education. Specifically, the nine features are: (1) interdisciplinary (putting emphasis upon integrated interdisciplinary contents rather than every isolated subjects); (2) fun (selecting fun problems or projects to appeal students); (3) process experience (making students learn by doing and experiencing); (4) contextual (learning in a real-life context to avoid rote learning); (5) cooperative (allocating several students into one group to finish complex tasks by sharing respective knowledge and energies); (6) designability (designing their products based on questions and requirements); (7) artistic (paying attention to humanity and social sciences when engaging in STEM Education); (8) empirical (verifying hypothesis, solving problems, and designing products based on empirical evidences); and (9) technology-enhanced (employing various technologies to promote learning and improve students' technological literacy). After that, two types of interdisciplinary curriculum integration models are introduced: the Correlated Curriculum remains as an independent subject while the Broad Fields Curriculum breaks the boundaries of subjects, integrates them into a new learning field through activities, and forms a new curriculum structure. Then, three directions of interdisciplinary curriculum integrations, i. e., disciplinary content oriented, life experience oriented, and learner-centered oriented, are discussed and analyzed. Lastly, the article proposes a design pattern for interdisciplinary integration projects based on constructivism, cognitive science, and core features of STEM Education in order to guide future practices.

Key words: STEM education; interdisciplinary integration; curriculum integration model; integrative curriculum; maker education

[收稿日期] 2015 — 07 — 06 [修回日期] 2015 — 07 — 09 [DOI 编码] 10. 13966/j. cnki. kfjyyj. 2015. 04. 002

[基金项目] 教育部高校科技战略(教育信息化)研究课题“教育信息化对教育革命性影响的内涵、标志和路径研究”项目。

[作者简介] 余胜泉,北京师范大学教育技术学院教授,研究方向:移动教育与泛在学习、信息技术与课程整合、区域性教育信息化、学习平台关键技术等(yqsq@bnu.edu.cn); 胡翔,北京师范大学教育技术学院 2013 级科学与技术教育专业硕士。