

# 从验证到创造 ——中小学STEM教育应用模式研究

傅 骞, 刘鹏飞

(北京师范大学 教育技术学院, 北京 100875)

**摘要:** 随着社会对人才需求的不断提高, 以培养创新型复合人才的STEM教育正逐步在全球普及推广。该文首先描述了STEM教育的概念及发展历史, 然后根据STEM教育应用成果的不同, 把STEM教育应用模式分成了验证、探究、制造和创造四大类, 每一类又可以根据应用成果达成方式的不同可以细分为支架类和开放类, 并重点描述了各个模式的应用步骤及典型案例。该文进一步指出各个模式之间并非泾渭分明, 教师需要围绕目标, 从学习者特点、学习环境等因素出发进行灵活选择和综合应用。

**关键词:** STEM教育; 应用模式; 创客教育

**中图分类号:** G434      **文献标识码:** A

随着社会对人才需求的不断提高, 以培养创新型复合人才的STEM教育正逐步在全球普及推广, 多个国家都发布了本国的STEM教育发展规划, 中国的教育部也在其发布的《关于“十三五”期间全面深入推进教育信息化工作的指导意见(征求意见稿)》中明确提到“有效利用信息技术推进‘众创空间’建设, 探索STEAM教育、创客教育等新教育模式, 使学习者具有较强的信息意识与创新意识”, 其中的“STEAM教育”就是STEM教育扩展版——将STEM加入A(Art艺术)。而创客教育和STEM教育有着紧密联系, STEM教育是未来教育的重要发展方向, 对于中国的传统教育模式更有着重要的意义。

## 一、STEM教育的概念

STEM是科学(Science)、技术(Technology)、工程(Engineering)和数学(Mathematics)四个英文首字母的缩写, 简言之STEM教育就是科学、技术、工程、数学的教育, 但现实问题往往无法单凭STEM中的某一门学科知识来解决, 必须依靠多学科的协同, 因此STEM教育关于如何综合运用STEM知识解决现实问题的能力的教育, 也就是STEM素养教育。

STEM教育的目标就是提升学习者的STEM素养, 但对于STEM教育的定义, 学术界存在着三种理解: 第一种认为STEM教育是一门后设课程, 即在学习者学习STEM相关的独立课程之外再学习一门如何综合运用STEM知识的独立课程; 第二种认为STEM教育是一门有机整合STEM知识的独立课

程, 由它代替传统的STEM所涉及的课程, 培养学习者的综合运用各专业知识的能力<sup>[1]</sup>; 第三种则将STEM教育视为一种教学策略, 其核心目标是通过灵活应用探究性学习、基于项目的学习和基于设计的学习等学习方式, 来培养学习者综合利用STEM知识解决现实问题的能力。

本文的STEM教育将采用第三种观点, 从学习方式和学习目标出发来界定STEM教育可以更好地为课程教师指明STEM教育的方向。基于此定义, 本文认为STEM独立学科的学习也可以是STEM教育, 其关键在于学习者是如何学习知识和运用知识的, 如通过学习者自主的实验设计来验证牛顿三大定律便属于STEM教育; 利用数学知识来合理安排职工工资和社保也属于STEM教育。STEM教育对于中国来说具有更重要的意义, 中国从来不缺乏STEM所包含的各独立学科知识的学习, 但由于不注重知识的理解和应用, 学习者的STEM素养并不高, 这一点必须通过加强STEM教育来提升。

## 二、各国STEM教育的发展战略

STEM教育理念的提出最先来源于美国, 1986年美国国家科学委员会发表了《本科的科学、数学和工程教育》的报告, 首次明确提出“科学、数学、工程、技术教育的集成”的纲领性建议, 被视为美国STEM教育的里程碑。从国家的国际竞争力和国家安全角度出发, 美国历届政府都注重STEM教育的投入。20世纪90年代美国国家科学基金会将科学、数学、工程和技术简称为SMET, 2001年正

式更名为STEM；2006年布什总统公布《美国竞争力计划》，并为该计划投资1360亿美元，支持美国科技与教育的发展；2007年布什总统签署了《给未来技术、教育和科学领域杰出成就创造机会》法案，将“加强从小学到研究生的科学、技术、工程和数学综合教育”视为21世纪教育改革的目标；2009年奥巴马颁布一项“竞争卓越”的全国性教育计划，由政府拨款资助STEM教育；奥巴马在2010年的一次演讲中强调STEM教育在保持美国国家领导力与同经济快速增长的亚洲国家成功竞争方面的重要作用。亚洲一些国家诸如中日韩等，已经在环保科技方面投入了大量的政府投资，让这一领域在接下来几个十年里致力于成为新的经济增长点。奥巴马表示，美国的国际领导力将依赖于国家如何教育我们的孩子，特别是在STEM方面。2014年奥巴马政府签署《2015年STEM教育预算》，继续加大财政支持，发展美国的STEM教育，2015年12月正式颁布了STEM教育法案，从教师培训、社会协助、校内外相结合等角度详细规划了STEM教育的新动向<sup>[2]</sup>。

在德国，由于语言的关系，STEM教育通常被缩写为MINT(Mathematik, Informatik, Naturwissenschaft und Technik)教育。而德国政府之所以引进美国STEM教育理念，是因为在作为欧洲主要经济体的德国出现了高质量的综合性劳动力匮乏的现象，这是极不利于工业科技持续发展的。因此，在德国的政府报告中多次提到“需要用MINT教育来弥补该缺陷”的观点。德国联邦教育与研究部在其调查报告《MINT展望——MINT事业与推广指南》中甚至指出“保证劳动力的数量和质量是联邦政府活动的重心”<sup>[3]</sup>。德国将专业技术人才的创造力视为解决当前科技发展中遇到的问题、迎接未来挑战的核心，因此中小学阶段的MINT教育更关注学生在MINT职业上的兴趣和发展。德国希望将MINT教育与终身教育结合起来，创造一种可持续发展的MINT教育，因此促进MINT教育链的发展成为其教育目标之一<sup>[4]</sup>。德国教育通过对儿童和青少年进行MINT的兴趣吸引和机制激励，让他们不断沿着MINT教育链获得发展。德国在多个政府报告中提及MINT教育及相关领域，意图借助政府的支持推动MINT的实施。

日本在二十世纪六七十年代实行的教育以书本知识和应试为主，后来随着社会发展的需要，教育的重心发生变化，以促进学生的全面发展和提高学习能力为目标，在中小学推行“宽裕教育”(Yutori Education)政策，通过缩减课时、精简知识和减少

学分等措施，力图创造宽松的学习环境来培养学生的“生存能力”，然而宽裕教育并没有提高学生的生存能力，反而导致了学生学业的下滑，具体表现为日本学生在PISA测试中的表现不佳和TIMSS推理能力的不足。日本政府将这种后果归结为基础教育的薄弱，并开始关注美国的STEM教育，以寻求解决途径。日本小学阶段的STEM教育相对侧重STEM研究型人才的培养，增加学生对STEM相关学科的兴趣和热情，高中阶段实施STEM精英教育。不过日本至今未曾在正式政府文件中提出STEM教育一词，而是以一种局部的、潜在的方式实施该教育。

韩国为增强国家科技竞争力而引入了整合型人才教育的概念，从中小学时期就对学生进行STEAM素养的教育，培养中小学生的知识整合应用能力与科技创新能力，进而为提升国家竞争力奠定青少年人才基础。2011年韩国教育部颁布《搞活整合型人才教育(STEAM)方案》，提出实施要以数学和科学为中心，实现与工程技术相结合的STEAM课程，培养适应社会的具有STEAM素养的综合型人才，方案同时归纳了四类STEAM课程实施方案，为各中小学实施STEAM课程提供指导。韩国政府指定和扶持整合型人才教育示范学校，也是推动开展整合型人才教育的重要手段<sup>[5]</sup>。

澳大利亚从2013年起开始提高对STEM教育的重视，经历了从某些州(如昆士兰州)致力于实施STEM教育到在国家层面制定发展STEM教育战略的过程。2013年澳大利亚首席科学家办公室发布了《国家利益中的STEM战略》，设定了2013-2025年的战略发展目标；其中《澳大利亚提升战略》对教育层次制定了以下具体政策：培养STEM专业教师、提高学生STEM素养、提高课程设计的科学性和合理性、加强与国家课程标准的联系、保证人才培养模式与市场需求相适应。2014年澳大利亚首席科学家办公室颁布了题为《STEM：澳大利亚的未来》的文件，对STEM教育和培训做了详细的规划。2015年12月澳大利亚联邦及各州和地区教育部长在“教育委员会”会议上签署《STEM学校国家战略2016-2026》，通过采取国家行动，改进澳大利亚学校的科学、数学和信息技术教学与学习<sup>[6]</sup>。

### 三、STEM教育的应用模式

STEM教育作为一种教学策略，在实际应用时，必须以解决现实中的实际问题为目标，以STEM知识的综合运用为手段。根据具体目标的不同，本文把STEM教育分成验证型、探究型、制造型和创造型四种不同的应用模式。验证型STEM教

育应用的目标是让学习者通过综合运用STEM知识验证一个学习者已经明确的结果，其核心是学习者的验证过程和方法而非结果；探究型STEM教育应用的目标是让学习者通过综合运用STEM知识去发现并解释某些学习者未知的现象，其核心是学习者的探究过程及结果；制造型STEM教育应用的目标是让学习者通过综合运用STEM知识去完成一个已有形态物品的生产和改良，其核心是学习者的工程实践能力的培养；创造型STEM教育应用的目标是让学习者通过STEM知识的综合运用去完成一个创新物品的设计和制造，其核心是创新的设计。

根据教师在STEM教育应用中给定的限定不同，各个模式又可以分为支架式和开放式，所谓的支架式就是由教师给定框架，包括目标和实现方式，然后由学习者在此基础上实施，而开放式则更多地由学习者自行提出目标并自行完成任务，需要学习者更多的主观能动性，当然，支架式和开放式之间并无明确的界限，教师在应用过程中可以根据学习者的不同、目标的不同灵活把握。另外，考虑到STEM教育应用的项目学习属性，下面的各类应用都以小组协作的方式展开。

#### (一)验证型STEM教育应用

验证型STEM教育应用的目标是学习者完成对已知结果的验证，例如定律或现象，但这些定律或现象并不是此类应用的重点，怎样通过STEM知识的综合运用来验证这些结果并达到加深理解、领悟科学才是其关键，本研究总结的验证型STEM教育应用基本步骤如下：

(1)明确问题。验证型STEM教育应用的目标是完成对已知结果的验证，该结果既可以由老师给定，也可以由学习者提出，同时该结果既可以是某种现象，也可以是某条定律。

(2)设计方案。设计方案的第一步是必须确定要验证的现象，因为定律也必须通过现象来验证，然后再根据现象设计合适的验证方案，其核心是实现现象的可观察或可记录性。

(3)评估方案。考虑到方案实施的代价，实施方案必须经过师生协同评估，评估的重点包括现象和定律之间的充分性(验证定律)和方案的可行性(包括安全、成本、作用等内容)。

(4)实施方案。在完成方案的可行性评估之后，学习者可以开始验证计划，本步骤的重点是现象的观察和记录，如果遇到无法解决的情况一定要重新回到步骤2进行新的设计。

(5)分析数据。通过对观察得到的数据和现象进行分析，并结合必要的现象和定律之间的充分性得

出本次验证的结果，如果无法验证，分析可能存在的原因，并回到步骤2进行新的设计和实施。

(6)分享反思。反思本验证方案的有效性和可改进性，并分享自己的验证过程，总结本次验证掌握的技能。

#### 1.案例一

科学课探究的问题：验证水中溶氧量会受不同因素影响而发生变化。课程设计过程如下：

(1)明确问题：学生针对自己做出的对水中溶氧量影响因素的猜想设计验证实验，通过控制变量的方法验证猜想——水中溶氧量会受不同因素影响而改变；(2)设计方案：使用控制变量的实验方法，对不同的实验条件进行控制，配合使用测量水中溶氧量的仪器，通过小组讨论，确定实验需要开展的具体步骤及展开过程中需要注意的重要事项，另外确定个体分工，分别确定掌控实验进度、负责操作仪器与记录数据及实验过程的人；(3)评估方案：小组内讨论确定好实验方案后，与教师沟通，共同评估实验的可行性与严密性，教师适当进行指导与鼓励；(4)实施方案：小组按照评估后的方案，有序开展验证计划；(5)分析数据：针对学生得到的一系列数据，教师引导学生结合自己的观察记录和测得数据进行数据分析，解答学生在实验中的问题。有的学生可能得到与他们在学校学习课程中所学(其他条件不变，水氧含量和水温呈反比)一致的数据，有些可能没有。教师需要解释“这种与我们学到的不一致情况在实验中很常见”，鼓励学生猜想还有哪些因素影响水氧含量(如气压、水压、水深、水生植物的光合作用、水生动物的呼吸活动、水域的面积等等)；(6)分享反思：实验小组制作海报，要求呈现研究问题、研究过程、测量数据及结论，与同学们交流分享整个研究活动并互相评价。教师做好指导和相应的点评及对活动的总结。

#### 2.案例二

《验证牛顿第二定律——力使物体获得加速度》的课程设计如下：(1)明确问题：物体运动状态的改变是因受到外力作用。通过实验验证牛顿第二定律——力使物体获得加速度；(2)设计方案：根据已经学习的运用打点计时器、砝码、小车等工具进行验证牛顿第二定律的实验，通过分组讨论，使用智能设备与身边容易获得的材料设计出一个可行的实验方案；(3)评估方案：小组通过反复推敲所涉及的实验方案后，与教师进行交流，得到一定的实验改进建议，并对实验设计进行优化，使新的实验方案可行性得到确定；(4)实施方案：小组按照评估后的方案，分配好小组内组员的分工情况并开展验证

计划；(5)分析数据：结合实验中使用的智能设备对实验获得的数据进行处理分析，把无效数据合理剔除，并对其他数据进行细致分析，最终得到科学的实验数据分析结果；(6)分享反思：实验小组制作海报，要求呈现研究问题、研究过程、测量数据及结论，与同学们交流分享整个研究活动并互相评价，并讨论如何对实验进行进一步的优化。教师做好指导和相应的点评及对活动的总结。

## (二)探究型STEM教育应用

探究型STEM教育应用的目标是去发现并解释学习者未知的现象，无论是探究过程还是解释现象都将综合运用STEM知识，从而培养学习者的科学探究精神和能力。探究型STEM教育应用的本质是探究型学习在STEM教育中的特定应用，其应用基本步骤如下：

(1)发现问题。探究型STEM教育应用需要学习者自己去寻找需要探究的问题，根据教师限定条件的多少，学习者发现的问题具有一定的指向性，但绝对不能是限定的，发现问题的能力也是STEM素养的重要组成部分。

(2)收集证据。收集证据是探究型STEM教育应用的最重要环节，根据探究问题的类型，证据收集过程可以分为三大类：一类是直接观察类，此类过程学习者无需借助任何设备直接靠人体自身感知即可；另外一类是仪器记录类，此类过程学习者需要借助现有的仪器或设计新的仪器来记录数据，发现规律；最后一类则是设计交互类，此类过程学习者需要设计专门的交互方案，通过不断的交互完成环境的准备、问题现象的触发和对应数据的收集工作。和验证型STEM教育应用类似，探究型STEM教育应用的收集证据过程也可以细化成设计方案、评估方案和实施方案三个阶段。

(3)分析数据。对于探究型STEM教育应用而言，数据分析的过程要比验证型复杂得多，验证型的数据分析结果是确定的，而探究型则是未知的。数据分析可以采用结论推导的方法，也可以采用猜想验证的方法，数据分析的成果是可以描述的现象或规律。

(4)解释结论。考虑到证据收集和数据分析的复杂性和不确定性，学习者必须从理论的角度来解释观察到的现象和规律，否则极有可能得到错误的结论。考虑到解释结论又可能超出学习者的能力，相互协作和教师支持是必须的。

(5)分享反思。当学习者完成了问题的发现和探究以后，学习者需要反思本探究问题的可渗入性及可迁移性，培养更好的问题发现能力；归纳整个证

据收集过程和数据分析过程的方法，并考虑必要的改进；同时完成相关方法和结论的发布分享。

### 1.案例一<sup>[7]</sup>

美国内布拉斯加大学奥马哈市分校信息科学技术学院开设的STEM课程——安卓加速器应用程序(Android Acceleration Application)，面向高中生开设，涉及到的学科领域包括数据分析与概率论、物理学和计算机科学。该课程的目的并不是学习如何编写程序，而是通过编写程序来体验工程设计的过程，用编写程序这种形式开发一款Android应用设备，来探究设备的加速度与力的关系。该课程单元包括两节课和两项活动：(1)第一节课是应用程序设计课程，学生通过MIT(麻省理工学院)研发的APP Inventor的在线平台学习，了解如何创建Android应用程序，然后应用学到的技能创建自己的应用程序，使用该设备收集Android设备的加速度数据并且将数据存储到数据库中；(2)第一节课后跟随的活动就是应用手机内部传感器(特别是加速器)开发一款Android应用设备，学生将按照工程设计的步骤，找出问题，制定解决方案，实施解决方案，测试解决方案和重新设计，完成设计任务；(3)第二节课学生使用滑动的Android设备收集速度和时间的数据，来探究加速度，学生先根据加速设备形成假设，然后根据牛顿第二定律探究设备上的力是如何变化的，引入不同类型的加速度来探究；(4)第二节课后跟随的活动就是使用Android设备测量加速度，利用加速度和时间的关系绘制速度时间曲线，理解加速度与施加的力的关系。

课程结束后通过测试学生对速度、加速度和力的关系来评价学生的学习水平，通过询问学生工程设计过程是如何进行数据收集的这种问题来评价学生是否真正在课程中理解了物理与工程的融合。

### 2.案例二<sup>[8]</sup>

美国科罗拉多大学博尔德分校工程学院设计了一个关于空气污染的STEM课程，涉及的学科是物理科学、地球与空间、工程技术，面向的是小学高年级学生。课程实施的过程如下：(1)学生通过调查空气的组成、性质、大气层和空气在日常生活中的重要性来学习空气质量的概念，并用糖果拼图和饼状图的方式将空气成分展示出来；(2)探究有形的或无形的空气污染的来源和影响，通过阅读报纸上天气预报的版面内容、学习空气质量指数(AQI)的概念，创建AQI信息的图表，并且解释气象工程师是如何使用这些AQI数据的；(3)通过学习天气和水循环的过程来学习污染物扩散的严重后果，学习诸如气压、湿度、饱和度、对流等气象的基本概念，让

学生探究相对湿度对天气的影响,了解大气运动是如何影响污染物的移动的;(4)使用简单模型研究温室效应;(5)通过讨论和交互式模拟探究地球臭氧空洞的成因及影响,能够解释工程师是如何致力于研究减少臭氧消耗的;(6)识别造成学校和家庭室内空气污染的来源物,探索可以减少和放置空气污染的措施,比如应用各类除尘器清理空气污染;(7)通过建立和观察可以治理空气污染的简单模型,使学生体验工程师所设计的治理和防止空气污染的现代工业技术。每节课最后都有评价环节,允许学生头脑风暴,提出自己的想法和建议,课后将在课程中学到的知识用在生活中,比如去调查自己的社区是否存在污染物传输的现象,并将自己的观察和想法记录下来与师生分享。

通过该单元课程,学生达到的目标是掌握关于空气的科学概念,理解水循环的模型,能解释气候和水循环与空气污染的关系,而且强化了用工程学来解决与实际生活息息相关的空气污染问题的认识。

### (三)制造型STEM教育应用

制造型STEM教育应用的目标是让学习者通过STEM知识的综合运用去完成一个已有形态物品的生产和改良,其核心是学习者的工程实践能力的培养;考虑到学习者必然经历一个从模仿到改进的过程,本文总结的制造型STEM教育应用的基本步骤如下:

(1)情境引入。制造型STEM教育应用的目标是完成一个具有实际应用价值的物品生产,并在生产过程中培养学习者的STEM综合能力,所以对于制造型STEM教育应用来说,情境引入有两方面价值:一方面是理解将要完成的物品的应用价值,激发学习者的参与热情;另一方面则是通过情境的介绍让学习者更好地领悟物品的应用场合,激发学习者的改进热情。

(2)设备培训。此处所指的设备包括工具、零件和材料。制造型STEM教育应用目标的完成离不开设备的支持,为了让学习者更好地并且更安全地使用设备,专业的培训是必要的。但需要注意的是,这里的设备培训并不是把所有设备的使用全部讲一遍,而是只针对本次将会用到的功能做一个简单的介绍,让学习者在后面的模仿中深入学习,重点强调设备使用的安全规则。

(3)模仿制造。模仿制造环节的关键是让学习者尽快地完成制造,感受制造带来的快乐,所以教师在这个环节只需要描述怎么做,不需要讲解其中的原理和知识要求,学习者自然地会跟着模仿,无需

深入思考,从而尽快达成目标。

(4)知识讲解。当学习者完成了既定制造目标后,自然就会从欣赏作品过渡到思考原理,这时候教师再开始知识点的讲解会起到更好的效果,包括工作原理、加工要点、设计理念等内容。

(5)协同改进。模仿的目标是为了更好地改进,当学习者了解了自己所完成作品的工作原理和应用情境后,就有可能激发学习者的创新意愿,通过小组之间的协作对原有设计进行合理地改进,制造出更有价值的作品。

(6)分享反思。当学习者完成了改进后的作品以后,需要总结此次制造项目掌握的技能、设计思路以及改进方式,并通过与不同学习者之间的分享交流,享受制造的乐趣,提升参与制造的热情。

#### 1.案例一

MIT动手创新课程中有一节课:制作电报机,面向的是初中的学生,涉及的学科是物理学和工程学,通过该课程要达到的目标是了解发报机的工作原理,动手制作简易的电报机,能用光或声音表达,理解现代信息通讯技术的重要性。教学过程如下:(1)问题情境引入:从古至今人们是如何进行远距离信息传递的?(2)制作简易的电报机:学生根据以下步骤进行制作:把电池用胶布粘在硬纸板的一角;把按键开关用自攻螺丝固定在硬纸板的中央;把二极管用自攻螺丝固定在硬纸板的空位置上;最后把电池、开关、二极管全部串联起来;(3)测试自制的电报机,了解发报机的工作原理:引导学生思考如何利用电报机进行远距离的信息传递,然后学生分组讨论,设计电码,电码可以是二进制,也可以是莫尔斯代码,最后分三种形式进行测试:第一种是同小组的两位同学之间背对背,一个发送电报,另一个接收电报;第二种是两个不同的小组背对背,一个发送电报,另一个接收电报;第三种是各组按照任务单向演示台发送电码,将最后结果显示在大屏幕上;通过三种形式的测试,各小组分析自己制作的电报机的优劣,并进行改进;(4)师生总结整个活动过程的各个环节的感受,学生自由提问,教师引发学生进一步思考:除了利用光之外,还可以怎样利用其它方式进行信息传递?如何保证信息的有效传播?

通过制作电报机,学生们将物理学知识和工程学思想融合在一起,在动手做中体会学习的乐趣,这极大地激发了学生进一步学习和探索的热情。

#### 2.案例二<sup>[9]</sup>

美国国防部资助的“明尼苏达星战”项目是一个旨在培养学生的科学、数学和技术兴趣的非盈利

教育项目, 该项目的主要活动是让学生以工程师的身份参与, 为探索火星的模拟任务设计和建造模型火箭。随着3D打印技术的兴起, 该项目引入了3D打印机。使用3D打印技术进行教学的过程如下: 首先向学生传授火箭的基础知识, 之后学会应用CAD设计软件设计火箭模型, 然后应用3D打印技术将设计的火箭模型的组件制作出来, 以测试不同的火箭设计。之后学生会测试火箭部件并且收集火箭的落地位置以及在谷歌地图上的位置定位等相关数据, 然后分析结果, 与项目负责人工程师讨论组件的设计是如何影响其飞行路径的。

在这一项目课程中, 3D打印技术发挥着制作飞机模型组件以及建构学习火箭设计知识的探究情境方面发挥了重要作用, 具体表现为: 首先, 3D打印技术提供了模型组块快速生成的能力, 使原来只能在电脑中存在的设计方案可以通过3D打印机制作出来, 这种将理念模型实体化的技术, 实现了学生的设计方案, 为后续火箭的测试和试飞提供了技术支持; 其次, 使用3D技术进行教学, 塑造了一种真实的问题情境, 通过火箭模型的制造成型和测试、试飞, 学生们会真切体会到自己的设计与成果建立的真实联系, 这会极大程度地增强学生日后学习的热情和进行工程设计的兴趣。研究发现, 3D打印技术在该项目的应用得到师生的一致认可, 对该项目的顺利进展发挥了积极地推动作用。

### 3. 案例三<sup>[10]</sup>

美国科罗拉多大学波德分校工程学院整合教学项目中设计的STEM课程——声音, 面向三至五年级的学生设计, 涉及的学科领域是物理科学、科学与技术, 其目标是让学生掌握声音的物理学知识, 并能应用工程设计理念和所学知识完成一系列制作活动, 培养学生“学以致用”的能力。课程设计如下: (1) 向学生展示声波装置, 以直观式教学, 让学生认识声波, 了解音频工作者的工作及其工作环境, 通过学习能够将音频师的工作同电影和音乐联系起来, 能够解释音频工程师是如何使用声音的科学知识操纵声音的; 理解声波是如何传播和变化的, 特别是当声音穿过不同介质时会发生哪些现象, 以及如何根据环境控制声音的增强和减弱, 然后通过问题讨论(为什么声音可以以自己的方式从收音机或MP3播放器中传出呢?) 评价是否掌握了这些知识; (2) 在第一个实践活动中学生需要分析声音特性的材料, 建模麦克风的位置使其产生一个特定的音乐形象; (3) 将学生带入一个声音传播的演示情境中, 利用一个由金属瓶身和PVC杆构成的简易传声装置认识声波, 观察声音在紧绷的杆上产生波

动, 理解声波是能量的脉冲, 可以在空气、固体、液体等介质中传播, 声波具有能量, 通过贝尔发明电话的故事强化学生探索声音科学世界的热情; (4) 在第二个实践活动中建模和分析一个简易电话, 所需材料是纸杯、图钉、尼龙绳等, 首先学生需要分析声音是如何通过连接绳子的纸杯进行传播的, 然后他们讲纸杯和尼龙绳连起来制成一个简易电话, 最后, 他们改变绳子的距离, 重新设计简易电话。通过制作简易电话, 使学生认识远程通讯使世界联系更紧密的重要性; (5) 向学生介绍声音环境是如何影响房屋建筑的设计的, 通过几个实例让学生学习声学工程的设计, 并让学生使用不同的材料、厚厚的窗帘、吸音板等, 来制造一个声音环境良好的房屋。

将学生常见的生活现象——声音, 与学生不甚了解的音频师的工作联系起来, 会充分吸引学生的兴趣, 通过制作简易电话和具有良好声音效果的房屋了解声音工程对人类生活的重要性, 让学生体验小中见大的科学乐趣。将物理学科与工程学科相结合, 让学生们成为小小工程的制作者。

#### (四) 创造型STEM教育应用

创造型STEM教育应用的目标是让学习者通过STEM知识的综合运用去完成一个创新物品的设计和制造, 其核心是创新性的实现, 是基于设计的学习在STEM教育中的特定应用。当然, 在实际的应用中, 创新物品的方向是有指向性的, 否则, 学习者会出现因选择太多, 无从入手的情况。从基于设计的学习模式出发, 创造型STEM教育应用基本步骤如下:

(1) 情境引入。创造型STEM教育应用的目标是完成一个创新物品的设计和制造, 虽然非物化作品的设计也在创新之列, 但考虑到成果验证的方便性, STEM教育中的创新以物化成果为主。创新来自于生活中的问题, 所以教师需要引入极具吸引力的情境激发学习者从中寻找需求并明确创造方向。

(2) 创新引导。当学习者有了明确的目标以后, 教师需要从两方面对学习者的创新进行引导, 一方面是创新的方向, 教师需要根据学习者确定的创新物化目标提供可行的创新方向和思路的指导, 具体的创造行为由学习者完成; 另一方面则是创新的可行性, 教师需要对学习者的创新目标进行可行性分析, 防止学习者设定一个在当前条件下无法实现的创新目标。

(3) 协同设计。当学习者有了切实可行的创造目标以后, 就可以采用小组协作的方式, 让每个成员从自己的专业背景出发, 完成作品的结构、机械、

电子、传动、外观、动力、人机交互等方面的设计,并进行必要的评估,设计—评估—再设计是一个迭代过程,直到得到一个大家都认可的设计方案为止。

(4)制造验证。有了详细的设计方案以后,学习者就可以开始进行作品的实际制造过程,考虑到设计和制造之间的差异性,一旦在制造过程中出现无法解决的问题,学习者必须回到步骤3进行设计的修改。

(5)应用改进。当完成了创新作品的制造以后,学生就可以把它放到现实的环境中进行有效性的验证,包括自身功能和用户体验两方面,并形成改进意见,必要时重新回到步骤3开始新一轮的设计过程。

(6)分享反思。当学习者完成了自己认可的创新作品以后,教师需要鼓励学习者进行必要的产品文稿设计和展示包装,并进行充分地作品分享,通过分享让学习者喜欢上创新,同时通过分享中的观众交互,反思作品的进一步改进。

#### 1.案例一<sup>[11]</sup>

澳大利亚昆士兰科技大学教育学院Lyn D English和Donna T King对工程设计中的STEM学习做了一个纵向研究,选取昆士兰2所私立小学和3所州立小学,对四年级的学生实施培养学生航空航天领域问题解决能力的STEM课程,为老师提供详细的课程手册,包括额外的网络资源,为学生提供工作手册,让学生独立完成任务。课程是从三个水平进行的:第一个阶段是学习航空航天工程和航空动力学的知识,包括认识飞机的结构、学习流体力学原理、探究影响飞机飞行的影响因素;第二个阶段是选择合适的制作材料,使用恰当的测量方法和材料折叠的方法,使用工程设计软件,绘制2D飞机图纸或者设计一个3D飞机模型(注:根据学生个人能力和学习水平,可以设计不同复杂程度的作品),该阶段遇到的问题比较多样,包括飞机材料、形状、尺寸的确定,飞行性能的好坏等,需要学生综合运用数学、物理和工程的知识 and 技能解决问题,然后对初步设计的飞机进行测试,与教师、同学交流想法和改进意见,从而改进设计;第三个阶段是对初步设计进行优化,再测试,直到产出满意的作品,最后给出飞机的设计过程的书面说明和详细的计算过程。

研究结果显示,通过一系列STEM课程的学习,学生可以完成初步的设计,并进行较为复杂的再设计飞机模型,而且学生在第二阶段和第三阶段频繁地使用了数学思维和工程思维,能够将相关的

数学知识和科学知识应用到航空工程设计中来,为飞机的飞行提出可行性的建议。

#### 2.案例二<sup>[12]</sup>

EiE(Engineering is Elementary)项目是波士顿科学博物馆创办的项目,其目的是培养孩子的工程和技术素养,EiE课程实现了工程、技术和科学的充分融合,是典型的STEM教育。现以《一个惊人的想法:报警电路的设计》的EiE单元课程为例进行分析。

该课程单元涉及的学科领域包括物理学和工程学,面向的是3-5年级的学生,课程设计如下:该单元共有5节课,在准备课中认识什么是技术和工程师(不算在正式课程中)。第一节课,情境导入,让学生阅读关于Emily报警器的故事,引起学生的好奇心和进一步探索的兴趣,使学生初步了解工程设计的内容;第二节课,学习电的基本知识,主要是理解和掌握导体、绝缘体、电压、电流等科学概念,认识常见的电力技术,认识电能作为一种人类生活广泛使用的能源对人类社会的重要应用;第三节课,结合前面学的基本电学知识,进一步学习电路,先是认识电路的构成,其次学习画简单的电路图,然后学习不同结构的电路图的工作原理,最后构建一个电路原理图;第四节课,设计一个报警电路系统,运用工程设计过程设计报警系统,画出满足要求的电路图,并阐明该电路的工作原理,然后在初步设计的基础上与教师和同学讨论和提问,设想不同的解决方案,进而完善第一阶段的报警电路系统设计;第五节课是能力提升课,利用“设计报警系统”这一主题将前四节课所学的内容贯穿起来,综合之前所学的物理学知识和工程设计理念,进行报警系统的工程设计,全方位检验了学生的学习效果。纵观这一课程单元,前四节课属于基础课,逐步向学生传递知识信息和训练基本技能。

EiE课程的特点是持续时间比较短,适合低龄的学生学习,通过提供教学支架或加入较短的活动来充实课程内容。每个单元由多节课组成,每节课之间彼此相连,课堂上提供学生头脑风暴的机会,训练学生的思维能力,而且重视课堂管理和使用教学策略,帮助学生掌握优化变量、解释数据等技能<sup>[13]</sup>。

#### 3.案例三<sup>[14]</sup>

世界在运动项目课程依托美国国家标准,通过设计与学龄学生相适应的教学活动,将科学、技术、工程和数学带入生活。该项目面向的是K-8阶段的学生。AWIM项目挑战赛,由几个不同的活动组成,项目提供课程主题、简单的课程计划、教师

手册、故事书和配套工具。AWIM项目的设计主要包括以下几个阶段：确定挑战目标、建构知识、设计任务、建造和测试、再设计、呈现作品。具体而言，确定挑战目标是在给定的虚拟情境中确定待解决的问题或任务；建构知识是学生建构解决问题所需要的知识和技能；设计是学生通过小组合作设计他们自己的玩具以满足情境提出的要求；建造和测试是学生团队建造作品，并测试他们的设计是否符合要求；再设计是根据测试结果和师生交流的意见对初期设计的作品进行修改完善，呈现是将最终设计的成果展示给大家。

下面以《油回收船的设计》为例进行分析。油回收船挑战将教师、学生及行业志愿者聚集起来共同在物理科学中探索，挑战过程还将应用到数学和科学的概念和技能。第一课，学生被引入一个挑战的情境，收到一个虚构的玩具公司向他们发出的挑战——设计油回收船，然后他们将看到一个分离器原型；第二课学生加入设计团队，通过三步打造一个分离器。首先，他们使用分离器赫尔模型和指令建造船体，然后使用回形针支撑船体起航，最后在分离器上安装桅杆；第三节课设计油回收船的外观，需要确定形状和面积；第四节课分享初步设计成果；第五节课对设计好的分离器进行测试；第六节课测试油回收船；第七节课学生就测试的结果分析讨论，制作反映结果的图表；第八节课重新设计油回收船，满足分离器和帆的性能要求。学生在完成任务挑战的过程中，就不断强化了运用工程的方法解决实际问题的能力。

#### 四、结束语

STEM素养对于一个国家的国际竞争力、经济发展水平以及国民素质都有着重要的意义，这一切都需要靠STEM教育的正确开展来完成，所以说STEM教育具有及其广泛的应用前景。本文从不同STEM教育应用学习成果把STEM教育应用分成了验证型、探索型、制造型和创造型，但这样的分类并不是绝对的，它只考虑了学习者的最终成果。若从中间过程考虑，验证、探究、制造和创造是有可能交替出现的，所以教师在使用时需要教师需要围绕目标，从学习者特点、学习环境等因素出发进行灵活选择和综合应用，使STEM教育的效果达到最好。

#### 参考文献：

- [1] Morrison, J. & Bartlett, R. STEM as a curriculum: An experiential approach[EB/OL].[http://www.mheonline.com/assets/pdf/STEM/articles/stem\\_as\\_curriculum.Pdf](http://www.mheonline.com/assets/pdf/STEM/articles/stem_as_curriculum.Pdf), 2009-03-04.

- [2] STEM EDUCATION ACT OF 2015[DB/OL]. <https://www.congress.gov/bill/114th-congress/house-bill/1020/text,2015-10-07>.
- [3] 杨亚平.美国、德国与日本中小学STEM教育比较研究[J].外国中小学教育,2015,(8):23-30.
- [4] W.Bertelsmann Verlag. Hauke Sturm Design, Perspektive MINT—Wegweiser für MINT-Förderung und Karrieren in Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften und Technik.Bundesministerium für Bildung und Forschung[M].Berlin: Bundesministerium für Bildung und Forschung,2012.
- [5] 李协京.整合培养科技创新力[EB/OL]. <http://www.ezhijiao.net/newmodel.asp?newsid=24493&t=221,2015-06-03>.
- [6] 张玉娴.追求公平和卓越—新世纪以来澳大利亚基础教育改革研究[D].上海:华东师范大学,2015.
- [7] Scott Burns, Brian Sandal. Curricular Unit: Android Acceleration Application[DB/OL]. [https://www.teachengineering.org/view\\_curricularunit.php?url=collection/uno\\_/curricular\\_units/uno\\_accelerometer/uno\\_accelerometer\\_unit.xml,2016-02-19](https://www.teachengineering.org/view_curricularunit.php?url=collection/uno_/curricular_units/uno_accelerometer/uno_accelerometer_unit.xml,2016-02-19).
- [8] Regents of the University of Colorado, Curricular Unit: Air Pollution [DB/OL].[https://www.teachengineering.org/view\\_curricularunit.php?url=collection/cub\\_/curricular\\_units/cub\\_air/cub\\_air\\_curricularunit.xml,2016-02-29](https://www.teachengineering.org/view_curricularunit.php?url=collection/cub_/curricular_units/cub_air/cub_air_curricularunit.xml,2016-02-29).
- [9] 李青,王青. 3D打印:一种新兴的学习技术[DB/OL]. <http://www.doc88.com/p-1436193127708.html,2016-02-29>.
- [10] Regents of the University of Colorado, Curricular Unit: Sound [DB/OL].[https://www.teachengineering.org/view\\_curricularunit.php?url=collection/cub\\_/curricular\\_units/cub\\_sound/cub\\_sound\\_curricularunit.xml,2016-02-19](https://www.teachengineering.org/view_curricularunit.php?url=collection/cub_/curricular_units/cub_sound/cub_sound_curricularunit.xml,2016-02-19).
- [11] Lyn D English, Donna T King. STEM learning through engineering design: fourth-grade students' investigations in aerospace[DB/OL]. <http://www.doc88.com/p-7018943203601.html,2016-02-19>.
- [12] EIE. An Alarming Idea: Designing Alarm Circuits [DB/OL].<http://www.eie.org/eie-curriculum/curriculum-units/alarming-idea-designing-alarm-circuits,2016-02-19>.
- [13] 王玲玲.基于STEM的小学科学课程设计研究[D].上海:华东师范大学,2015.
- [14] SAE International, A World in Motion: skimmer challenge[DB/OL]. <http://awim.sae.org/curriculum/skimmer/,2016-02-19>.

#### 作者简介：

傅骞：副教授，博士，硕士生导师，研究方向为信息技术教育应用(fredqian@bnu.edu.cn)。

刘鹏飞：在读硕士，研究方向为数字化科普。

(下转第105页)

## Teacher Professional Development Powered by Technology: Current Situation and Prospect

Zhao Jianhua, Yao Pengge

(School of Information Technology in Education, South China Normal University, Guangzhou Guangdong 510631)

**Abstract:** The new contents and needs have been extended since the application of information and communication technology (ICT) embodied into teacher professional development. Teachers are required to develop pedagogical knowledge and subject content knowledge, as well as technological knowledge. ICT is not only the learning objects, but also the environments and supports for teacher professional development. Therefore, ICT has been considered as a critical issue in the field of educational practice. The current status of the teacher professional development powered by technology has been compared between China and oversea countries based on policies, practice, evaluation, and research in this paper. This paper reveals the trends of teacher professional development in the ICT environment, on the basis of induction of the successful experience and problems from current teacher professional development.

**Keywords:** Teacher Professional Development; ICT in Education; ICT Environment; the Application of ICT in Education

收稿日期: 2016年3月1日

责任编辑: 宋灵青

.....  
(上接第78页)

## From Verification to Creation —A Research on STEM Education Performance Models in Middle and Primary Schools

Fu Qian, Liu Pengfei

(School of Educational Technology, Beijing Normal University, Beijing 100875)

**Abstract:** With the social requirement of talents is on the rise, STEM Education aiming at cultivating creative inter-disciplinary talents has popularized all around the world. This paper firstly describe concept and historical development of STEM Education, then classifies the STEM Education's performance models based on the different outcomes into four parts: verification, exploration, fabrication and creation. Every model can be implemented with scaffolding or open-ended, the procedures and typical cases will be prominently figured in the paper. Furthermore, the distinction among these models is not clear-cut, so teachers should choose feasibly and apply comprehensively in the consideration of program objectives, learners' features, learning environment and other factors.

**Keywords:** STEM Education; Performance Model; Maker Education

收稿日期: 2016年3月1日

责任编辑: 宋灵青