

3D 打印融入中小学 STEM 教育项目的设计与教学 ——从国外融入 3D 打印的典型 STEM 教育项目谈起

首新¹, 胡卫平¹, 刘斌²

(1. 陕西师范大学 现代教学技术教育部重点实验室, 陕西 西安 710062;

2. 陕西师范大学 教育学院, 陕西 西安 710062)

摘要: 3D 打印融入 STEM 教育项目近年来受到国内外研究者的普遍关注。但是, 有关现有 STEM 教育项目整合 3D 打印之后, 如何改进设计和教学, 还存在一些争议和质疑。本文在探析国外典型项目、追踪文献结果的基础上, 探讨了 3D 打印融入中小学 STEM 教育项目的设计理论、设计要点、以及教学理念、实施过程等; 并据此构建了我国中小学融入 3D 打印的 STEM 教育项目的顶层框架, 以期从理论与实践两个层面厘清融入 3D 打印的 STEM 教育项目设计与教学思路, 从而为我国发展该类教育项目提供一定的参考。

关键词: 3D 打印; STEM 教育; 项目设计; 教学设计

中图分类号: G434 **文献标识码:** A doi:10.3969/j.issn.1005-2232.2017.04.008

3D 打印又称增量制造 (Additive Manufacturing, AM), 可指任何打印三维物体的过程, 其原理是基于对 3D 模型的三维扫描而进行逐层分割, 并将逐层分割的薄片通过塑料或金属粉末等可粘合材料层层堆积打印出来。由于技术的发展, 3D 打印在工业制造、医药、建筑、生物科技、服装等领域已有广泛应用。

3D 打印也融入了教育领域, 推进了数字制造与 STEM 教育的融合发展^[1]。埃尔文 (Irwin, 2014) 认为, 3D 打印带来了 STEM 教育前所未有的“变革”, 特别是开源的、DIY 的 RepRap 3D 打印机^①广泛运用于 STEM 学习活动中, 学生在 STEM 课堂中探索 3D 打印的应用潜力, 如设计制作物体模型、绘制地形图、制造零部件等^[2]。通过体验这些活动, 学生对概念的理解、创造力、问题解决能力等都有所提升, 并且其对信息化社会的适应力也有增加^[3]。目前, 融入 3D 打印的 STEM 教育项目已成为 STEM 教育创

收稿日期: 2017-05-30

基金项目: 陕西省重点科技创新团队项目 (项目编号: 2014KTC-18); 中央高校基本科研业务费专项资助项目“基于项目的 STEM 学习国际比较研究” (项目编号: 2016CBY017); 北京师范大学中国基础教育质量监测协同创新中心研究生自主课题资助 (项目编号: SXSP-2016A2-15001)。

作者简介: 首新, 陕西师范大学现代教学技术教育部重点实验室博士研究生; 胡卫平, 陕西师范大学现代教学技术教育部重点实验室教授, 博士生导师; 刘斌, 陕西师范大学教育学院博士研究生。

通讯作者: 胡卫平, Email: weipinghu@163.com

① RepRap 是 Replicating Rapid-prototyper 的缩写, 意指快速复制原型。RepRap 能够通过复制和组装其自身的塑料部件实现自我复制, 是“技术免费”的廉价 3D 打印机, 其开源特性意味着任何人都可以自由的改进和制造满足个性需求的 RepRap-3D 打印机。由于上述优点, 它很快引起了教育界的关注, 成为中小学实施 STEM 教育的新型工具。

新发展的重要形式。

一、研究背景

我国对发展先进制造与3D打印技术的重视也激发了3D打印融入教育领域,据笔者了解和一些报道所见,在馆校结合、公司拉动、技术完善、教研创新等众多因素的驱动下,融入3D打印的STEM教育项目呈蓬勃发展之势,如开发校本课程,编写中小学适用的教材,基于3D打印STEM教育项目创新人才培养模式,建设课程内容、资源交流平台等,但是由于其处于初期,发展快速,也存在不少问题。

一是教学目标不明确。目前我国融入3D打印的STEM教育项目还停留在利用新技术激发学习兴趣的初浅阶段,离发展学生创新设计能力还有一定距离,能够真正体验建模、设计、测试、打印、改进等一系列过程的学生尚少。究其缘由,主要是由于教学过程随意、教学形式单一,课程目标不能很好地分解成单元教学目标,导致了目标与内容之间缺乏连贯性和系统性。

二是教学内容混乱。虽然我国不少中小学开发了3D打印校本课程,但是由于缺乏教学内容整体架构,各种内容充斥于教学活动中。目前,STEM课程还是以学科课程为主,其课程内容主要遵循学科课程标准,因此融入3D打印的STEM教育项目也应该充分挖掘学科课程标准中适用于改编成融入3D打印的内容,而不是拼凑各种教学案例。虽然已有中小学各类3D打印教材,但其权威性、指导性、适用性并没有得到教学实践的有效反馈,对学校3D打印教育项目来说,急需严格依照学科课程标准的要求编写教材,促进内容的规范化和标准化。

三是教学过程随意。STEM活动的教学过程不同于传统课堂教学,其有效教学过程应是基于项目的、基于设计的、基于CDIO(Conceive、Design、Implement、Operate)工程教育理念的过程。目前中小学融入3D打印的STEM活动的教学形式单一,教学过程多由教师自行决定,STEM教育项目的核心是设计,因此,其教学过程要改变单一传授的形式,而在STEM项目活动中借鉴工程教育理念,实现问题到测试、构思到运作的螺旋渐进过程。

四是项目发展缺乏宏观规划。目前,3D打印STEM教育项目掺杂着公司、团体等的利益需求。当然,发展这些项目需要公司、相关利益团体等积极参与,国外典型的3D打印教育项目建设也正是由于各方力量参与才促进了其内容的多样化,但是由于我国对3D打印教育项目尚缺乏定位,教育系统也没有制定相应的发展规划,仅依靠个体兴趣爱好和市场供需关系显然不利于其发展,在国家支持发展3D打印技术这一大背景下,相关教育部门亟待制定整体的、区域的3D打印教育项目发展规划。

在推进STEM教育项目创新发展、规范3D打印教学应用、保证3D打印融入STEM课程的过程中,必须切实有效地解决上述问题。他山之石,可以攻玉,国外特别是发达国家和地区的3D打印技术发展较早,目前已较为成熟,相关课程、学科专家也已关注其重要的教育功用和价值,一些国家和地区在大面积试点之后,已逐步在各级各类中小学实施融入3D打印的STEM教育项目。因此,评述国外3D打印的典型教学应用,研究其课程设计、教学过程、实施策略等,有助于我们解决上述3D打印融入STEM教育项目中的诸多问题,为STEM教育的创新发展提供良好的契机和路径。

二、国外融入 3D 打印的典型 STEM 教育项目及特点

目前,一些发达国家和地区已经实施了各级各类STEM教育项目,将3D打印应用于STEM学习过程中,成为发展学生各项STEM能力的新形式。从资助类别来看,我们可以将其分为两类:一类是由政府直接拨款主导而发展起来的教育项目,典型的有英国3D打印教育试点工程、南澳大利亚3D打印

教育推广项目；一类是政府引导，社会机构、公司资助开发或自行开发的一系列活动或课程，如美国 PLTW 部分项目、日本 DHM 项目、Stratasys 3D 打印课程等。我们选取了一些国家目前实施的典型设计项目进行分析，以期管窥3D打印在STEM教育领域的创新发展及实施现状。

（一）美国 PLTW 部分项目

美国项目引路（PLTW）机构是该国K-12阶段STEM课程的主要提供者。马萨诸塞州伍斯特理工学院的研究团队实施了3D打印与PLTW课程整合的项目研究，他们将PLTW工程课程中的“桥梁”内容进行了修订，其主要过程是让学生运用CAD软件进行桥梁建模并基于受力计算来分析桥梁的承重性能，然后将小组一致认同的桥梁模型打印出来接受承重测试^[4]。

该项目有“静力”和“材料”两个模块，“静力”模块包括3D打印介绍和演示、桥结构介绍、桥结构设计、桥结构制作四个程序，“材料”模块包括受力分析、材料介绍、材料测试、MakerBot 3D打印机实操四个程序。“静力”模块的内容是学习“材料”模块的基础，3D打印技术在“静力”模块起技术支撑作用，而在“材料”模块起设计支撑作用。

通过分析该项目内容的实施进展报告^[4]，发现其主要包括如下特色：第一，加深科学、工程核心概念理解。PLTW课程一直认为核心概念是进一步开展项目学习的基础，因此上述两个模块的内容都是以概念理解为起点。第二，训练21世纪技能。21世纪技能是PLTW课程目标之一，在融入了3D打印技术之后，PLTW更强调工程设计过程，开拓了发展21世纪技能的新路径。第三，遵循课程标准对内容的引领。PLTW主要遵循并整合了“下一代科学课程标准”“共同核心数学和英语州立标准”“技术教育大纲”等教育标准的规定，协调各标准对STEM各学科的要求，使3D打印与现有课程内容达成无缝对接，鼓励学生在融合3D打印的STEM活动中运用整合性知识解决问题。第四，各利益主体联合推行。PLTW课程开发集合了优秀中小学教师、科研机构、企业、社会团体等各利益主体的力量，如上述研究项目从设计、批准、论证到实施、评价，是州教育部门、审查委员会、赞助商（IRB）、执行教师、伍斯特理工学院项目开发者等共同努力的结果。

（二）英国 3D 打印教育试点工程

英国教育部于2012-2013年开展了3D打印融入STEM学科的试点项目，寄希望于通过3D技术创建新型学习“枢纽”，让师生的学习通过制造和分享过程而产生。该项目致力于探索技术促进STEM教学的创新型方式，在计算机、设计&技术和工程、科学、数学、跨学科STEM课程中融入3D打印。

该项目有21个试点学校，每个学校的实施内容略有不同。根据3D打印与内容的契合度，可归纳为两类：第一，3D打印作为新型学习工具融入设计、制作类课程，缩短产品测试、制作时间，如Highworth女子文法学校的学生设计不同形状的薄片并打印出来，作为物理课“寻找质心”的材料；第二，3D技术作为内容主体形成新型互动活动课程，如Balcarras学校的学生在SpaceClaim系统中自主设计3D模型，他们运用Replicator G程序探索如何将CAD生成的.stl后缀的文件转换成.s3g文件，以便MakerBot 3D打印机识别并打印产品。

通过分析、归纳该项目的评估报告^[5]，发现如下特色：第一，3D打印产品辅助教学。一些试点学校尝试利用3D打印机制作原子模型、地形图、碱基序列等，将实物模型用于STEM课堂，帮助学生理解抽象的科学概念。第二，设计为中心的内容序列。更多的试点学校将3D打印融入到设计学习过程中，突出3D打印前产品的设计和打印后产品的改进。第三，链接STEM各学科或形成STEM跨学科内容。试点学校一方面将3D打印融入到STEM各学科之中，一方面建立跨学科STEM内容，促进3D打印课程的全面发展。

（三）日本 DHM 项目

DHM项目源自微软日本和3D打印服务提供商Kabuku、Avatar合作发起的“基于Minecraft^①的编码和3D打印教育项目”，该项目是对日本经济、贸易与工业部（METI）鼓励3D打印教育的积极回应，METI早在2014年就启动了3D打印教育资助项目，对工业学校进行了试点，并在2015年将资助3D打印教育的财政预算扩展至整个中学阶段。现在，日本的3D打印教育正处于全面推广阶段。

“建造数字房屋（DHM）”课程共10个单元，每个单元45分钟^⑥。课程使用Minecraft游戏情境让学生了解编码过程和3D打印技术，学生在Minecraft游戏情境中设计建筑模型并借助Avatar 3D print.app可将作品打印出来。在建筑游戏中进行问题解决，学习编码和3D打印是该项目的特色，这也有助于学生理解3D数据与真实世界的联系。日本公益组织Litalico从2014年开始也发起了“Qremo项目”，目前已有数千名学生参与了该项目课程，如Suginami小学开设了“海生物进化后的样子”的STEM课程，学生首先将了解3D打印过程，然后运用软件设计富有创意的海生物进化后的模样，再将设计的产品打印出来，最后对产品做进一步的修饰^②。

在DHM、Qremo项目推进过程中，主要体现如下几个要义：第一，重视游戏情境，游戏的最大优势是能抓住学生天生爱好心理和对新鲜的互动媒体的好奇心^⑦，使整个课程内容由简单说教转向师生互动沟通，DHM项目的每个活动都基于时下流行的Minecraft游戏情境，极大地激发了学生的探索热情和创造欲。第二，体现程序设计与3D打印的整合，日本政府正在考虑从2020年开始将“程序设计课程”纳入小学义务教育阶段，这将极大地促进诸如3D打印机等数字制造工具投入学校，促进STEM教育项目与新技术的整合。第三，关注3D打印与艺术的融合，特别是小学3D打印教育项目，在于激发学生的设计灵感、创造力和对美的追求。在设计3D模型时，日本课程注重模型的对称、比例；在装饰打印后的产品时，关注色彩、线条、形状等。

（四）共同特征

除了上述典型项目，国外还开展了许多教育实践和教学应用，如据澳大利亚首席科学家办公室发布的《STEM项目索引（2016）》显示^⑧，已实施或正在进行的小学到中学的国家级、州级以及国际交换STEM项目300多个，涉及科学、数字技术&ICT、技术和工程、数学等多个学科，以及整合性和跨学科的STEM项目，3D打印作为一种新设备、新学习工具、新技术被引入课堂，在此不再赘述。基于对这些项目的分析，归纳其要义，我们可以梳理出国外特别是发达国家和地区融入3D打印的STEM教育项目的几个共同特征：

第一，技术的教育创新应用。技术的教育功用一直秉承创新教育目标培养路径的作用，引入3D打印技术本身不是学习技术，而是革新课程内容、优化培养策略、创新教学目标实施路径，从而实现新形势下的技术与内容的整合。如PLTW项目中3D打印机主要起缩短作品制作周期的作用，日本DHM项目借3D打印之名同样重视程序设计和艺术教育。

第二，多元化的内容设计主体。3D打印教育项目的开发和建设是一项系统工程，虽然学校教师是实施的主体，但内容开发需要各方力量参与。目前，国外3D打印教育处于蓬勃发展时期，一些公司和社会团体由于商业、经济利益关系特别热衷于3D打印教育项目的开发，国外的项目设计者包括公司、大学研究所、社会组织、创客团体、学校机构等，各方努力形成了3D打印融入STEM教育的生态环境，促成了其课程内容的多样化。

第三，紧密联系课程标准。课程标准是开发、设计、实施课程内容的指导性文件，国外STEM教育项目的开发同样遵循课程标准规定的内容和目标，如上述PLTW课程一直与“下一代科学课程标

① 《Minecraft》是由Mojang AB和4J Studios开发的高自由度的电子沙盒游戏。

② 资料来源：Qremo项目官方网站（<https://wonder.litalico.jp/course/digital-fabrication/>）

准”“共同核心数学和英语州立标准”“技术教育大纲”联系紧密；英国在进行3D打印试点项目同样考虑了科学、数学、技术标准所规定的“关键期”目标。因此，要重视课程标准对STEM教育项目的引领，特别是学校3D打印STEM教育项目应特别遵循课程标准规定的学段目标或内容目标。

第四，21世纪技能导向的教学目标。21世纪技能倡导协作学习、高阶思维、信息素养等对学生生活和未来职业的重要作用，这与我国最近提出的学生发展核心素养类似。3D打印STEM教育项目已脱离传统理科课程形成的教学方式，其设计为中心、项目为形式、技术为媒介的教学过程着眼于各项21世纪技能的提高，如PLTW、DHM项目涉及STEM、艺术、信息技术等多个学科，以及整合的和跨学科的STEM内容，这种以解决问题为目标的教学活动将极大地促进21世纪技能的实现。

三、3D打印融入中小学STEM教育项目的设计

上述对融入3D打印的典型STEM教育项目特色及共同特征的梳理基本概括了其教学理念和优势所在。另一方面，我们还期望依据有关STEM教育领域3D打印应用的研究文献，寻找这些项目设计与教学的理论基础和实践策略，为系统分析项目的设计和教学提供量尺和标准。

（一）构建渐进、自主的课程层级

课程层级是对STEM内容宏观层面的把控，由于STEM教育项目融入了3D打印，其课程框架也会因具有3D打印某些约定俗成的技术特征而与传统STEM课程大相径庭。虽然DHM、PLTW没有明确的说明其项目内容的整体架构，但从其内容逻辑来看，技术促进学习的思想以一种螺旋渐进的形式展现出来，这便体现了技术支撑的课程层级。针对3D打印的教育功用，布朗（Brown，2015）适时提出了STEM活动中的3D打印课程层级框架，该框架考虑了项目活动的复杂性、操作难度、学生活动的自主性、活动完整程度等，主要包括打印试验（Print Trials）、设计性实验（Design Experiments）和工程测试（Engineering Tests）三个螺旋渐进层级（表1）^[9]。借鉴这一框架我们可以深入分析融入3D打印的STEM教育项目的整体规划策略。

首先，是底层“打印试验”课程内容的设计，即学习使用3D打印机的过程，主要包括两种设计取向，一是把打印试验设计成为一个项目活动，在展示3D打印机的基础上，利用网络论坛现成的文件进行3D模型打印，检验打印效果，PLTW部分项目就是将3D打印作为一种工具，缩短产品制作周期，实质上也是这一目的；二是把打印试验看成一个项目活动的初级阶段，在学习3D打印机结构及各部分作用的基础上打印现成的3D模型，以达到进一步认识3D打印过程的目的，英国一些试点学校大部分采用这种形式开始某一项活动，目的是激发学习动机，让学生对产品设计充满期待。

打印试验的目的是熟悉技术，一旦学生掌握了基本操作技术，创造性活动就在“设计性实验”阶段发生了。设计性实验与仅打印现成的3D模型不同，该阶段的课程内容开始寻求利用CAD、Sketch Up等3D模型制作软件设计实用的、有创意的产品。设计性实验的重点在3D模型设计和精炼，这是反复迭代的过程，也是设计创新能力和技术技能快速发展阶段，逐步体现出了3D打印融入STEM教育项目的价值，即从提高学生操作能力、观察能力和制作能力逐步过渡到培养其创新性和创造力，促进21世纪技能的发展。DHM项目内容较为聚焦，它提供的虚拟游戏情境最能体现这一主旨，学生必须设计符合条件的建筑模型迎合游戏需要，从而达到问题解决的目的。当然，真正的问题解决绝非实验中发生，它应该有“测试”过程。

“工程测试”与“设计性实验”的不同之处在于它设计的产品直指解决实际问题，需要考虑产品的比例、规模以及与其它产品的契合度等因素。下面以设计自行车载手电筒支架的简要过程说明“工程测试”理念^[2]：①明确目的——设计一个合适的车载手电筒支架；②草图设计，包括支架的结构、大

小、规格、部件、操作方法等;③3D模型设计,在3D模型制作软件中根据草图不断修订支架的结构、大小、局部比例,全方位展示草图结构;④产品测试,将设计好的3D支架模型打印出来,与手电筒、自行车把手进行契合度测试。工程测试的过程并非是直线序列的,在3D模型设计时可能会返回修订草图,再进一步改进模型,或者测试结果不理想而再次修订模型,这样螺旋式前进,直到打印出的产品测试合格。上述伍斯特理工学院研究团队设计的“材料”模块实质上就是这一过程,学生是在熟悉不同材料硬度、韧性,分析结构最合理的桥模型基础上打印出最佳模型,并检测其承重性能。

表1 3D打印课程层级理念下的STEM项目设计

	PLTW 工程课程“桥梁”项目	3D 打印教育试点工程	DHM 课程	
工程测试 (Engineering Tests)	“材料”	3D 技术作为内容主体	设计建筑模型	学习编码
设计性实验 (Design Experiments)	“静力”	3D 打印作为新型学习工具		
打印试验 (Print Trials)	基础		基础	

(二) 发展为高层次思维而教的教学目标

技术融入课程的重要目的之一就是为发展高层次思维提供支架,技术可以提高课程层次,进而变革课程。根据普恩特杜拉(Puentedura, 2006)等人的观点^[10],技术对课程的作用主要包括替代、增强、修正、重构四个由低到高的层级,其中重构是指技术带来了课程全方位的革新。显然,3D打印是修正、重构层次使课程发生本质变革的技术,它融入STEM教育项目形成了全新的教与学形式。施罗克(Schrock, 2013)将普恩特杜拉的观点与布鲁姆的认知过程水平相结合,技术重构层次的课程对应评价、创新水平。评价、创新都是高层次认知水平,因此,融合3D打印的STEM教育项目是以发展学生高层次思维为目的的。

这一思想被分解到了教学活动之中,使活动的每个阶段都具有明确的意图。从教师“教”的角度看,STEM活动对高认知水平的追求避免了应用技术的形式化,教师只是借助3D打印这一技术和设备,提高学习兴趣和学习体验,缩短产品制作周期,创新基于设计的教学过程。3D打印技术的教学革新在于为教学提供支架,进一步创建丰富的探究、合作环境。从学生“学”的角度看,由于目标使然,学习也并非停留在技术层面,学生历经问题、想象、计划、创造、改进、产品测试等工程设计过程,实现问题解决能力、创造力、合作交流能力等高层次思维的发展。因此,3D打印增强学习体验,优化学习效果本质是发展各项能力,参与英国试点项目的教师杰米(Jamey)谈到,学生远离了工程实践操作(如学习如何使用锯子),但却能够从工程设计中体会数学、科学知识如何作为整合的过程作用于产品设计之中^[11]。

同时,教学目标也是课程层级的进一步细化和延伸。不同教学阶段,3D打印承担的作用也不同,如PLTW“桥梁”项目中,3D打印技术在“静力”模块起技术支撑作用,而在“材料”模块起设计支撑作用;DHM课程也设计了从模仿、设计,到创造、改进的初高级内容,这与不同阶段的教学目标是一致的。从另一些研究我们也可以发现教学目标的高认知导向,以及课程层级对教学目标的约束,如日本学者太田(Ohta, 2016)为培养学生创造力实施了为期15周的3D打印STEM教育项目^[12],其教学大纲如表2,可以发现其既有体现3D打印课程层级,又脱离技术本身实现了发展高层次思维的教学目标。

(三) 对核心知识、概念融入单元序列的关注

对核心知识、概念的关注并非与高层次思维的教学目标背道而驰,相反,结构良好的知识、概念体系有助于发展学生的思维和关键能力,它是思维与品质的基础。建构主义学习理论认为,个体知识体

系的形成是积极主动的内化过程,活动对知识网络的形成和发展起着关键作用。融入3D打印的STEM

表 2 培养创造力的 3D 打印 STEM 教学大纲

周	内容概要	课程层级（Brown）	技术层级（Puentedura）	认知水平（Bloom）
1,2	使用彩泥、纸等材料充分发挥想象力形成产品基本构想。	打印试验	——	——
3,4	学习使用 3D 打印机。			记忆、理解
5,6	多种 3D 建模软件之间的变化。	设计性实验	修正、重构	
7,8	设计产品，使抽象的概念具体化。			工程测试
9,10,11	创建一个“能动”的产品。	——		
12,13,14	创建一个“好玩”的产品（课程考核任务）。			——
15	作品陈述及讨论。	——	——	

活动在知识表达、呈现等方面与传统的讲授式不同,它以项目活动为基础,提倡做中学,让学生自己探索知识间的联系,学习新知识。DHM项目所创设的游戏情境,PLTW“桥梁”课程营造的技术支持、设计支撑氛围,英国试点工程所搭建的3D技术主体都是注重让学生自主设计、打印、改进模型,并从中体验3D打印技术及衍生概念和主题知识。

国外3D打印STEM教育项目的核心知识体系可归纳为两部分,一是与3D打印相关的新概念和术语,布朗(Brown, 2015)认为STEM活动中学生需要掌握的3D打印相关核心概念包括数位产品网格、打印切割、立体平版印刷等^[9],这些核心概念是学习3D打印技术的基础。二是以项目式学习的方式统整的相关知识,让学生在了解3D打印基本概念的基础上再重点学习的STEM学科知识。因此,构建3D打印教育项目核心知识体系整体原则是,基于3D打印知识以主题内容的形式联系STEM各学科知识,形成板块的、组块式的知识网络,反映课程内容的骨架,对核心概念、技能、方法等提供可视的“路线图”。

(四)重视项目利弊的权衡与评估

在项目实施过程中或阶段性结束时,相关部门或研究团体都会出台项目报告跟踪进展并评估项目实施过程中学生的兴趣、对学业成绩的影响、认知发展以及教师的支持等,如张伯伦(Chamberlain, 2015)等人就对PLTW课程“桥梁”项目从内容、效果、师资等方面进行了全面评估,一致认为3D打印融入现有PLTW课程是激发PLTW教师使用3D打印整合STEM内容最有效的形式,这有助于教师用他们熟悉的方式教学,并逐步添加新内容^[4];英国教育部对实施一年多的3D打印教育试点工程也进行了精细的评估,触及内容、策略、师生体验、效果等多个方面,为3D打印全面融入计算机、设计&技术和工程、科学、数学、以及跨学科STEM课程中提供了证据支持和策略论证。

目前,从一些项目评估报告以及实证研究文献来看,大部分认同3D打印在激发学习兴趣、促进基于设计的学习、发展高层次思维等方面的重要作用。如参与“明尼苏达星际基地”项目式STEM活动的教师约翰逊(Johnaon)直言,3D打印提高了学生参与项目的积极性,更重要的是,学生对设计中的数学分析也充满好奇和兴奋感^[13]。法尔克(Falek, 2014)等人设计的“建设X城市(The City X Project)”3D打印教育项目希望将工程设计过程融入整个活动之中,提出了需求分析、问题界定、创意形成、原型设计、产品测试、分享等六阶段单元设计思路,这六个阶段实质上就是工程设计过程,它们分别融入到了各单元之中,培养学生诸如情感素养、同理心、设计思维、创造性问题解决、社会文化素养等在内的STEM素养^[14]。纽约科学馆发布的“儿童创客项目指南”则展示了在社区、科技馆等教育环境下如何开展3D打印STEM活动,以及如何利用3D打印将创客项目与STEM活动进行有效的整合^[15]。总之,STEM理念下的3D打印活动使学生的动机、兴趣、生活技能和部分数学技能都有显著提高,虽然活动前

后对STEM学科的热情并无显著增长^[16], 但对科学、工程和数学持更为积极的态度。

当然, 尽管大部分师生倾向于对3D打印融入STEM教学持积极态度, 但有研究也显示, 有大约10%的学生不满意项目内容或对3D打印的教育功用持消极的态度。例如, 张伯伦的调查报告显示, 10%的学生不满内容呈现方式, 2.5%的学生对3D打印融入其它非工程课程持怀疑态度^[4]。英国的试点工程也得到了相似的结论, 虽然3D打印能全面促进学生参与学习过程, 但部分教师和教育管理人员认为若要大面积推广3D打印融入STEM课程体系, 还面临着改变教学方式、教师培训、技术支持等诸多问题。大量的项目研究证明, 3D打印如何契合内容, 并依据内容发展、构建、创造高认知的学习任务, 是体现3D打印教育功用, 以及挖掘3D打印教育价值的重要手段, 融入3D打印的STEM教育项目应随时监控学生的学习动机、学习兴趣, 以及在发展设计思维、创造性思维等方面的积极作用。

四、3D 打印融入中小学 STEM 教育项目的教学

STEM教育项目不同于传统学校课程或活动, 它不仅是项目式学习 (Project Based Learning, PBL) 过程, 而且遵循基于设计的学习 (Design Based Learning, DBL) 过程。STEM活动首先是项目式学习过程, 紧密围绕某一主题内容循序渐进的进行合作、探究、交流, 上述典型项目的大部分活动都是从限定的主题出发, 进行创意激发, 以此开启跨学科学习之路。另一方面, 随着3D打印融入现有STEM教育项目, 整个学习过程又体现了设计思维, 本质上可理解为CDIO理念下的STEM项目教学过程。

CDIO代表构思 (Conceive)、设计 (Design)、实现 (Implement) 和运作 (Operate), 是最新的工程教育理念。CDIO本质上是创造性过程, 是囊括众多复杂子系统的工程实践活动, 其实施过程既有简单的复制又有灵活的动态生成, 其中设计是CDIO的核心, 设计会促进偶然性因素随机发生, 创造新功用、新性能、新性质、协调性好的全新产品, 并触发整个项目活动发生一系列连锁反应。3D打印STEM教育项目融入CDIO工程教育思想, 使项目活动既充满了探究性、创造性, 又增加了风险性、不确定性和开放性, 这体现了工程设计追求没有“最优解”, 只有“满意解”和“妥协解”的教育目标^[17]。

图1呈现的是CDIO理念下融入3D打印的STEM教育项目的教学实施模式, 其要素包括问题 (Problems)、创造性设计 (Create Design)、设计 (Design)、实施 (Implement)、测试 (Test) 等^[18]。该模式是CDIO理念运用于教学的具体化, 展示了STEM教育项目的工程设计取向, 由于3D打印技术的引入以及3D建模中的数学考量, 它实际上体现了STEM思想。

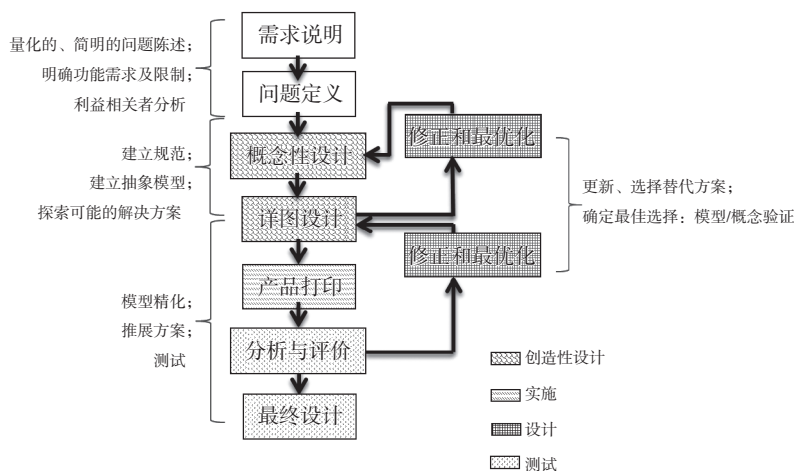


图1 融入3D打印的STEM教学实施模式

（一）问题定义

问题定义即是创设问题情境，将问题与产品（或作品）设计联系起来，以解决问题驱动产品设计。问题情境是真实的社会情境，与工业生产或日常生活发生联系，围绕解决一个实际问题或社会问题展开。在界定问题时应简要陈述问题的焦点，分析利益相关者的认同度，明确产品对解决该问题的实际功用及限制。

（二）设计与创造性设计

创造性设计是基于解决问题为目标的原型设计和3D模型设计。学生使用快速成型的工具和材料创建原型，并与小组同伴协商模型的结构、规格、尺寸、兼容性等方面的问题，从而构建针对问题解决的初步方案；然后在CAD、Sketchup等软件上设计3D模型，并用3D打印机打印出来进行测试。设计是基于测试结果对原型和3D模型进行改进，通过新一轮的同伴讨论和教师指导反馈，改善3D模型。设计与创造性设计可以形成一个迭代环，期间思维能力发挥着重要作用，学生在反复的改进试验中进行思考与尝试，从而以最佳产品的形式解决问题。

（三）实施

实施是指将3D模型打印出来，对产品功能、效用等方面进行评价，并与原型进行结构、功能、兼容性等方面的对比。实施与测试往往交织在一起，实施的特点是能够快速将创意设计变成实物产品，验证想法的可行性与缺陷，并为下一步满足更苛刻的产品要求（如要求从环保、节能和可持续发展的角度开发产品）奠定产品原型。

（四）测试

测试是指用打印出来的产品反馈原型是否达到预期标准，若同伴的分析、教师的反馈、产品实际的效用与预期标准差异较大，会返回“设计”阶段，进一步进行模型修正和原型改进。从适用性来看，测试是模型精化的过程，期间充斥着对模型的过程性评价和分析，只有学生、同伴、教师三方达成一致，模型改进才能称之为模型精化。从发展性来看，测试是推展方案的过程，实施3D打印教学活动时应避免机械的遵循逻辑合理性，因为工程设计需要运用“不完全决定逻辑”，采用发展的观点看待产品及其衍生功能。推展即不断发展、循环3D打印教学实施模式，追求外观更美、结构更简、功能更全的产品。理念上而言，产品没有最好只有更好，因此，“实施与测试”阶段也是无止境的。

五、我国中小学融入3D打印的STEM教育项目顶层设计构想与思考

（一）顶层框架规划与教学模式设计

从课程与教学来看，3D打印技术与教育的融合离不开设计、开发、探索和创新3D打印教育项目和教学模式，3D打印STEM教育项目需要在基本教育理论的支撑下进行系统设计、深度思考，使其脱离技术范畴而展示教育功用。综合上述国外融入3D打印的典型STEM教育项目的特征，设计、教学等方面的经验，我们尝试构建我国中小学融入3D打印的STEM教育项目顶层设计框架及教学实施模式（如图2）。

整体而言，3D打印课程层级是内容设计的骨架，CDIO理念是教学实施的指导思路，二者共同构成了STEM教育项目的理论层和实践层。在理论层面，3D打印课程层级还应加强与课程教学基本理论的联系，寻求活动理论、做中学思想和基于项目的学习等多个方面的理论支持，系统梳理、深度剖析3D打印课程层级与这些经典理论之间的关系，构建其广阔的理论支撑基础。在实践层面，应注意将CDIO思想转化为针对3D打印教学过程的实施要素，形成适用于3D打印教学的实施模式，并深入教学实施

过程探索资源和技术的开发、设计、运用和管理。

融入3D打印的STEM教育项目设计框架：依据3D打印课程层级，以及教学目标与内容的关系，其

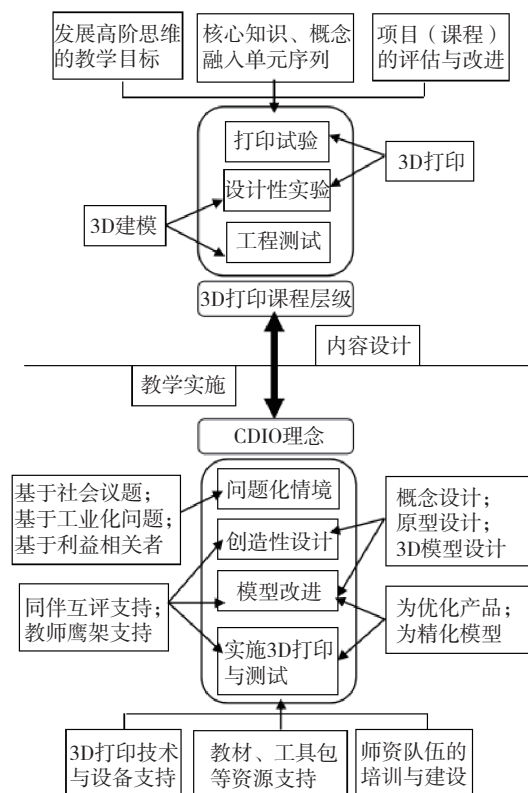


图2 融入3D打印的STEM教育项目设计与教学顶层规划

顶层设计遵循如下要点。①依据3D打印课程三级层级明确整体内容深度，从年龄来看，7-13岁左右的学生适合打印试验、设计性实验层级的课程，14岁以上左右的学生适合设计性实验、工程测试层级的课程；从内容来看，旨在了解3D打印过程及简单建模的内容适用于打印试验、设计性实验层级，而以产品的3D建模为目的内容则需考虑工程测试层级。②明确教学目标与单元目标，整体教学目标应是发展学生高阶思维，并将这一目标按层级指标分解到单元目标之中。③制定单元序列，单元之间可以是主题模块化的，也可以是内容连接性的，在具体设计时应考虑STEM思想，创建学科集成、内容整合、技术创新的单元链。④设计多元化的评价指标，评价方案整体上应可以展现项目实施效果，师生满意度，以及项目发展路径、深度及广度等，由此决定项目的发展和改进路线。

融入3D打印的STEM教学实施：依据CDIO理念，基于项目、基于设计的教学思想，实施3D打印教学可遵循如下过程。①创设问题化情境，问题可来源于社会热点、工业难题、利益相关者的需求，问题的作用是激发学生思考，使其产生认知冲突，积极投入后续的实践活动。②创造性设计，包括概念设计、原型设计、3D模型设计，其中概念设计是基础，指明所设计的产品用途、性能、原理等概念性知识。原型设计和3D模型设计是3D打印教育项目的特色。③模型改进，包括原型和3D模型的修正，其目的包括优化产品，精化模型，或此过程中产生改进RepRap 3D打印设备的想法。④实施3D打印与测试，测试是分析与评价的过程，小组同伴的认可，教师的反馈以及与其它资源的比较都可能成为分析与评价的对象，正是这些迭代反馈，使测试、设计、改进等阶段不断重复，最终促成优质化的产品。另

外,还需发展促进教学的人力、物力资源建设,如3D打印技术完备,教材、工具包等资源的完善,师资队伍的专业化等等,保障3D打印教育项目的持续化良好发展。

(二)实施融入 3D 打印的 STEM 教育项目的关键问题

1. 确立培养核心素养(高阶思维)的教学目标

随着三维教学目标受到越来越多的批判,摒弃过分强调学科技能转而从全面发展的人的角度去树立培养核心素养的教育目标逐渐在人们心中达成一致。国外强调3D打印教育项目对于培养21世纪技能的重要性,这与中国当前正在研究的核心素养本质上是一致的,融入3D打印的STEM教育项目期望实现一个趋向于展示核心素养的进展过程,这样有助于学生理解复杂生活中的现象和事件。3D打印教育项目虽然是一种新的教学形式,但是它与现有STEM课程紧密联系,我们并非要针对3D打印教学活动而重新设计规划课程目标,而是要借鉴现有STEM课程目标体系,指向几项核心能力,从而实现基于现有STEM课程目标体系整体规划3D打印教育项目的夙愿。

2. 发展教师专业知识结构,适应 3D 打印教学过程

虽然我国学者已进行了一些STEM教育、3D打印教育的研究,相关政策文件也支持STEM、创客、3D打印等新教育模式的发展,但是真正将这些教育理念落实到中小学课程之中还有待时日。其中一个重要的原因就是教师,目前教师对3D打印STEM教学理解不清晰,教学过程设计不规范,不知道如何获取相关资源,更缺乏健全有效的教学模式。教师的支持及其能力是决定教育改革、教学创新成效以及持续推进的关键因素。因此,我们在落实3D打印教学应用过程中,要加强教师使用新技术、理解新理念等方面的培训,要注重发展技术支撑下教师的项目教学能力,给予教师在教学实施过程中更多的自主权和决定权,鼓励积极探索新型教学模式和开发校本课程,促进教育技术引领下教师TPACK网络的形成与发展。

3. 保障 3D 打印硬件、系统、环境的完善

目前阻碍3D打印教育项目发展的最大问题还是3D打印技术本身,如操作较复杂,一般的教师还不了解设备及其打印过程,导致学生对3D打印技术的印象也仅仅停留在“打印试验”阶段;成本昂贵,一些学校或学区才只有一两台设备;打印材料要求苛刻,目前适用于教学的打印材料主要是光敏树脂、ABS树脂等,这些材料在打印过程中可能会散发出有毒气体;产品精度较差,一般用于教学的3D打印机生产的实物结构较为简单,较难满足高精度产品需求。此外,学校3D打印教学环境还有待完善,目前的教室多是由科学活动室或理科实验室改造而来,在硬件配置、结构布局、功能规划等方面还需改进^[19]。

4. 优化 3D 打印教育普及平台,建立协同参与机制

创建3D打印教室或创客实验室只是项目实施的基本保障,发展3D打印STEM教育项目是一项大工程,需要政府、社会、学校、研究者共同参与和推进,相关政府部门要从整体设计、区域规划、财政拨款、资源开发等多方面进行政策引导;学校要积极开发3D打印校本课程和教学资源,落实师资培训、课程建设、教学改革,将3D打印教育归入学校中长期发展目标;相关研究者要加强3D打印教育的研究,如整体制定3D打印课程标准,局部规划课程内容,分析3D打印的教育定位等,保障项目的持续发展;社会团体,如公司、基金会、工作室、创客等也可参与3D打印教育项目建设,促进3D打印技术的产学结合、工学结合、研学结合,汇集社会各方力量协同参与,共建3D打印教育的协同创新环境。

5. 开展项目的管理与评价研究

目前国外融入3D打印的STEM教育项目在一定的周期内都会进行内容管理和项目效果评估,如英

国的试点工程更想了解3D打印在STEM课程中的推广价值;美国马萨诸塞州实施3D打印特色PLTW课程之后,着重从课程扩展性能、核心概念理解、21世纪技能发展等方面进行评估,以此决定项目效果或改进路线。目前我国3D打印教育项目缺乏统一规划,在宏观层面缺乏权威数据以考察我国现行3D打印教育项目的实施效果,在微观层面缺乏3D打印与学业表现、思维发展、学习态度等方面之间关系的研究。因此,有必要制定顶层的评价指标,开展相关实证研究,为我国3D打印融入STEM教育项目指明发展方向。

参考文献:

- [1] Bell, L., Brown, A. et al. Educational implications of the digital fabrication revolution[J]. *TechTrends*, 2010, 54(5): 2-5.
- [2] Irwin, J.L.. Evaluation of RepRap 3D Printer Workshops in K-12 STEM[C]. Proceedings of 2015 ASEE Annual Conference, Seattle, WA, 2015.
- [3] Kostakis, V., Niaros, V., & Giotitsas, C. Open source 3d printing as a means of learning: an educational experiment in two high schools in Greece[J]. *Telematics & Informatics*, 2015, 32(1): 118-128.
- [4] Chamberlain, S. Incorporation of 3D Printing in STEM Curricula.[EB/OL][2016-10-10].https://web.wpi.edu/Pubs/E-project/Available/E-project-032316-143804/unrestricted/smchamberlain_msmeyers_IQP_Final_Paper.pdf.
- [5] Department for Education, UK. 3D printers in schools: uses in the curriculum.[EB/OL][2016-10-19].https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/251439/3D_printers_in_schools.pdf.
- [6] Scott J Grunewald. Microsoft Japan Uses 3D Printing and Minecraft to Teach Students Basic Coding.[EB/OL][2016-09-15].<https://3dprint.com/128528/3d-printing-minecraft-teach/>.
- [7] 张金磊, 张宝辉. 游戏化学习理念在翻转课堂教学中的应用研究[J]. 远程教育杂志, 2013(1): 73-78.
- [8] Office of the Chief Scientist. STEM Programme Index 2016. [EB/OL][2017-03-15].http://www.chiefscientist.gov.au/wp-content/uploads/SPI2016_release.pdf.
- [9] Brown, A. 3D Printing in Instructional Settings: Identifying a Curricular Hierarchy of Activities [J]. *TechTrends*, 2015, 59(5): 16-24.
- [10] Puentedura, R. (2006). Transformation, technology, and education.[DB/OL].[2016-10-11].<http://hippasus.com/resources/tte/>.
- [11] Department for Education, UK (2013). 3D printers in schools: uses in the curriculum.[EB/OL][2016-10-19].https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/251439/3D_printers_in_schools.pdf.
- [12] Ohta, T., & Sato, T.. Implementation of a Course with 3D Printing for Cultivating Creativity in Non-Art Major Students[C]. International Conference on Digital Fabrication. Tokyo, 2016.
- [13] Starbase and Dimension Rocket Elementary Students' Design Skills to New Heights.[EB/OL][2017-03-05].<http://www.cimetrixsolutions.com/downloads/CS-Starbase.pdf>.
- [14] Falek, L.. The City X Project.[EB/OL][2016-10-17].<http://www.cityxproject.com/>.
- [15] NYSCI. A blueprint: maker programs for youth.[EB/OL][2017-3-5].http://dmp.nysci.org/system/files/filedepot/1/NYSCL_MAKER_BLUEPRINT.pdf.
- [16] Kwon, H. The Effect of 3D Printing and Design on Students' Motivation, Interests, Mathematical and Real-life Skills: An Informal STEM Education [D]. Texas A & M University, 2016.
- [17] 胡文龙. 基于CDIO的工科探究式教学改革研究[J]. 高等工程教育研究, 2014(1): 163-168.
- [18] Urbanic, R. J. From thought to thing: using the fused deposition modeling and 3D printing processes for undergraduate design projects[J]. *Computer-Aided Design and Applications*, 2016, 13(6): 768-785.
- [19] 雒亮, 祝智庭. 创客空间2.0: 基于O2O架构的设计研究[J]. 开放教育研究, 2015(4): 35-43.

Analysis of Design and Teaching of 3D Printing Integrated STEM Education Projects: a Case Study from Foreign Typical Projects

SHOU Xin¹, HU Wei-ping¹, LIU Bin²

(1. Key Laboratory of Modern Teaching Technology, Shaanxi Normal University, Xi'an, Shaanxi, 710062;

2. Faculty of Education, Shaanxi Normal University, Xi'an, Shaanxi, 710062)

Abstract: 3D printing integrated STEM education projects have been received close attention of domestic and foreign researchers in recent years. However, there are debates and doubt on design and teaching. Based on typical projects Analysis and literature review, this paper discusses design and teaching of 3D printing integrated STEM education projects. Also, top-level design and teaching frame are constructed. We hope that this paper can help to clarify the basic understanding of design and teaching model of 3D printing integrated STEM education projects, and to provide some reference for development of the projects in China.

Key words: 3D printing; STEM education; project design; teaching design

(责任编辑: 张国霖, 吕珂漪)

(责任校对: 刘金松, 山 雨)

办教育的三大规律

廖世承

无论做什么事, 应该先定一具体的计划。所谓计划, 就是依着目的进行的程序。办学校也应这样, 第一步我们应把学校的宗旨定出来, 再审查学校的困难, 分析为各项问题。例如学生精神不活泼, 我们应该怎样使他们活泼? 班中程度参差不齐, 我们应想什么方法来救济? 分数不能代表学生成绩的高下, 我们应如何改良记分法? 每一个实际问题, 就是我们办事的目标、研究的中心。

找到了问题以后, 第二步就要探讨解决问题的方法。例如研究记分问题, 我们可先把现行的“百分记分法”“等第记分法”和“比较的记分法”精密地探讨一下, 看哪一种方法最能襄助我们解决困难? 除了这几种以外, 能否另想一种方法来适应我们的需要。

上边的步骤, 说来很浅近, 但我们果能循此程序做去, 多少总有些事业做出来。可是现近办学的, 只图近功, 不肯分析问题, 按部就班地研求。因此炫新好异, 自埋自揜, 朝闻“设计教学”, 夕即敝帚视之, 相率而轰“道尔顿制”。这样“无目的”“无方法”“无结果”的盲目尝试, 怎样会有成功呢? 等到不成功, 又归咎于介绍者的熒惑人家心意。要知学说固日新月异, 方法亦愈出而愈奇, 我们果能站定脚跟, 新学说、新方法, 非特不足为我害, 且可供我们研究的资料, 左右逢源, 自得其乐。站定脚跟的方法如何? 简单几句话, 就是认定办学的三大规律:

- 一、目的 你想解决什么问题?
- 二、方法 你怎样去解决?
- 三、结果 你发现什么事实?

(原载于《教育与人生》1931年第5期。作者廖世承曾担任东南大学附中、光华大学附中主任, 是上世纪著名的中等教育专家。)