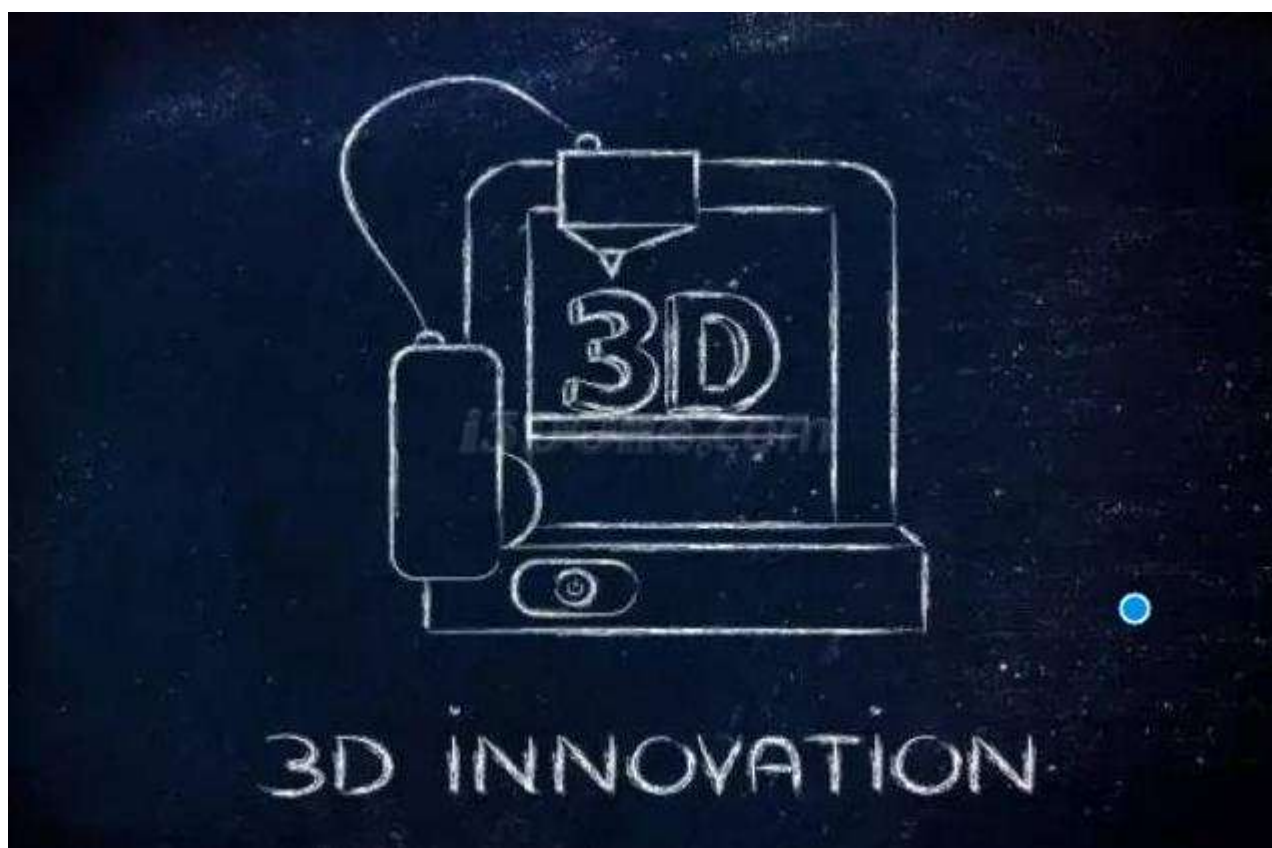


3D 打印教育创新：创客空间、创新实验室和 STEAM

一、引言

近些年来兴起的开源系统和创客运动，引发了制造技术的革命，并演变成为第三次工业革命的主要形式，3D 打印等数字桌面制造工具、开源硬件和互联网是其重要的构成元素。《经济学人》、《福布斯》、《纽约时报》、《连线》等主流媒体先后从工业、商业、信息产业等多方面强调了 3D 打印的重要性（Wired, 2010-2014; Vance, 2011; The Economist, 2012; Hart, 2012）。2012 年初，美国政府规划未来四年内在 1000 所学校引入“[创客空间](#)”，配备 3D 打印机和激光切割机等数字制造工具，通过实践培养新一代的设计师和生产创新者（Dougherty, 2012）。2015 年，我国第一次将“创客”写入政府工作报告，确定支持发展“众创空间”，为创业创新搭建平台。致力于预测影响全球教育领域的教学、学习和创造性探究新兴技术的新媒体联盟地平线报告，更是连续两年在基础教育、高等教育和图书馆教育的三个版本中，将教育应用中主流技术的重要进展聚焦到 3D 打印上（L·约翰逊等，2014）。文献分析表明，在医学、机械工程、建筑、材料、电子工程以及教学科研等领域，基于 3D 打印的学术性研究与日俱增。



二、3D 打印教育创新分析

1. 3D 打印教育特性

3D 打印是一种以三维数字形式立体构造物理对象的一种快速成型技术（Rapid Prototyping, RP）（王娟等，2015），原理是先将实体模型分为若干薄层，每次打印材料生成一个薄层，通过塑料或粉末状金属等可粘合材料，层层叠加生成物体，这已成为当前增材制造（Additive Manufacturing, AM）技术的主要存在形态。

理论上，任何 3D 数字模型都可以实现 3D 打印成型，最常用于概念模型评估、迭代设计、工程评价、定制、模型展示及工具和成品制造。基于 3D 打印显著特征和多样化创新应用，3D 打印教育特性体现为：

（1）塑造可重用的多态教育对象

3D 打印作为 3D 数字制造技术，体现出的最大特征是精准、全息地快速成型。结合数字扫描，3D 打印能快速精准地打印出自然物体和人造物体的可重用制品。由真实的生活经验、技术以及工具整合形成的创意，不仅可以设计蓝图呈现，更可以通过 3D 打印塑造为多态教育对象。珍贵的标本、化石和历史文物等作为教具和学具受购置、安全和维护成本制约，3D 打印重塑可重用的教育制品，可以保证在信息不失真的条件下，传播珍贵历史人文遗产。

（2）蕴含“设计思维”的个性化创造工具

3D 打印将个性化定制关键的影响因素如技能、成本、时间都降低到最低点，不需要增加额外的成本，不需要掌握专业的工艺，就可以打印出复杂、多样化的构造体；不仅实现独立的零部件成型，更能将所有装配部件作为整体一次性打印成型。在差异化教育模式探索中，3D 打印能使不同教育层次的个人以专业水平实现从想象到产品的个性化创造，满足学习者对个性化创意设计进阶的不同需求。这样，3D 打印最大限度地促成了学习者从教育消费者到创造者的转变。

（3）打造虚实结合的教育创新应用平台

紧凑、便携的 3D 打印作为改变时空限制的制造技术，拓展了制造即服务的新模式。基于网络的 3D 打印服务支持协同制造，作为一种新型数字技术，教育工作者和学习者能够在 3D 打印制造平台上开展课堂或自主研发项目。中小学的科学创新实验室、大学的学术性创客空间以及博物馆的制造空间，都是围绕培育和激励这项技术应用创新而开展的主要形式。

2.3D 打印促进基于创造的学习

3D 打印的三个教育特性促进基于创造的学习。创造是人的本性，创造是认知、社会和情感活动的重要组成部分，具体体现是新颖的独创性想法或行动，是和理解、运用社会文化背景知识产生出某种新颖和有价值产品的创造性思维及活动紧密相连的。在人类进化过程中，心智和动手能力是实现创造的两个关键要素，其养成是持续终生的过程。

（1）有创造的“做”中学

杜威的“做中学”（或“从做中学”）（Learning by Doing）影响教育理论与实践已有百年，践行的基本教育原则是“以学生活动来架构课程，以直接经验的获得为核心旨趣，

在情境化的教学场域中,通过学生的各种‘做’——观察、实验、探究、劳作、游戏等来组织实施教学(屠锦红等,2014)。”基于3D打印的各种“做”中学活动,通过3D打印塑造的多态教育对象能够对各种学习策略提供有效的支撑。比如技术与工程教育中的结构设计和机械设计,使用3D打印技术个性化打造实物模型,如机器人和航模零部件、建筑结构以及类生物组织如骨骼,让学生的想象转换成作品,抽象工程术语转化为可视化的三维模型绘制,学习者自然而然完成了创造者的蜕变。

(2) 完整的基于创造的人性化学习

代表了当今教育改革新思路与发展趋势的“21世纪技能”,旨在培养学习者未来必需的技能(学习与创新技能,信息、媒介和技术技能,生活与职业技能)。我国新课程改革纲要提出的设置“综合实践活动课程”(信息技术教育、研究性学习、社区服务与社会实践活动以及劳动与技术教育),倡导“自主、合作、探究”的多元学习方式,注重联系学习者日常生活社会生活经验,在科学和艺术人文知识的学习基础上,加强社会责任、创新精神和动手实践能力的培养。赋含“设计思维”的3D打印教育创新平台开辟的是基于创造的个性化学习空间,从提出探究问题开始,到构建新颖的独创性想法和构思,最后制造出某种有社会价值的创意产品。这是一个“学”与“做”的循环迭代过程,实现真正完整的基于创造的人性化学习体验与实践。

三、3D打印教育创新应用

笔者通过相关文献的分析和国内外相关网站的检索,包括阅读报刊文摘、报告、论文以及其他材料,再结合各类项目开展的实际状况,重点系统梳理了当前有代表性的3D打印教育创新应用项目。笔者对所属教育类型、用途和存在形式进行分析,并根据存在形式将3D打印教育创新应用项目划分为创客空间、创新实验室、STEAM课程三类,提供典型案例加以具体阐述,旨在为3D打印教育应用创新的实践探索提供借鉴。

1. 创客空间

创客空间(Makerspace)是配备创客所需设备和资源的开放的工作场所。在创客空间里,可以依托互联网支持协同创新,利用3D打印机等桌面制造设备与工具完成个人产品的DIY制作。对于想方设法把自身各种创意转变为实际产品的创客来说,3D打印资源的可重用性是实现快速创新应用的保障。在针对美国图书馆的调查显示,3D打印主要出现在公共图书馆和学校图书馆,公共图书馆给不同能力、层面的社会大众传授3D打印使用方法,并指导相关的设计与制造,高校图书馆将3D打印用于支持师生开展日常教学与科研活动。如实现大众历史文化传播的史密斯学会的Smithsonian X 3D项目,用于机械工程教育的特拉华大学机械工程系的Design Studio项目,哈佛大学和伊利诺伊大学厄巴纳-尚佩恩分校开展协同创新的微电池项目,探索器官制造的澳大利亚卧龙岗大学生物绘图仪项目,开创科学仪器制造新途径的密歇根理工大学的开放可持续发展技术研究小组的开源、可3D打印光学实验室项目。还有值得一提的是,麻省理工学院的比特与原子中心,开展跨学科的数字制造技术与实验,研究实现比特数据与原子物体的相互转化,并推行制造实验室

(FabLabs),配备3D打印机等桌面制造设备以及编程工具,方便学习者利用这些技术进行科学探究,该项目已经扩展到包括中国在内的世界各地。创客运动开启了基于创造的学习的创新人才培养模式新探索,不同社会文化背景的个体在创客空间里,可以创造性地思考,借助于可重用的3D打印资源,最终实现自己问题解决的方案和构想。这不仅包括非正式学

习环境中培养艺术人文等方面的终身教育,也涵盖正式学习环境下的创新实验与 STEAM 教育。

2.创新实验室

通过提高 3D 打印机等数字工具与资源为学习者提供适宜的学习环境和学习资源,许多面向正式学习环境的教育创新应用也应运而生,如 HodLipson 发起探索科技创新的 Fab@Home 项目和 PauloBlikstein 创设的科学探究与工程教育项目 FabLab@School。Fab@Home 的学校项目 Fab@School 由美国国家科学基金会(National Science Foundation)、摩托罗拉(Motorola Inc.)和麦克阿瑟基金会(MacArthur Foundation)资助,该项目旨在探索如何将 3D 打印融合到小学课程中。该课程计划创设一个任务驱动的学习情境,在解决实际问题过程中结合 3D 打印技术,增强对数学和科学抽象概念的理解和应用,体验和掌握工程和设计的核心概念和准则,促进学生创新能力和动手能力。弗吉尼亚大学的 Glen Bull 和他的专家团队为该项目创立了称为“边做边学”的课程计划(胡迪·利普森等,2013)。该课程计划讲述了一个生活在非洲村落的小男孩,借助一本有关能源的书,反复尝试和修改,最后找到了制作自己风力发电机的最佳设计方案。学生跟随故事情节,利用清晰图解信息,使用软件设计风车叶片和齿轮等零部件,然后 3D 打印和测试他们自己的风力发电机。学生通过一系列动手实验了解动能、电流和传动比等抽象的科学和工程概念。不同于传统的实验室关注可预测的验证实验,这些创新实验室的学习情境基于的主要是有关科学和设计的开放式问题,遵循学习者的差异化学习过程,利用 3D 打印等技术强化协作和创造性地解决问题。此类创新实验项目核心部分包括:指导教师使用具有本地特色和全球化的课程计划,并注重与学校课程的融合;一系列可让学习者从事尖端科学研究和工程项目的活动设计;一套适合科学的实验装备(除去 3D 打印和扫描等数字化制造设备外,还配备易用的建模与仿真软件以及各类传感器)。

3.STEAM 教育

近几年,一些国家和组织探索 3D 打印应用于 STEM 课程,以推动技术驱动的教学创新,使得技术与工程教育和艺术人文教育融合成为学校文化的一部分,这被称为 STEAM 教育。英国教育机构在 2012-2013 年策划的一个探索科学与工程教育及教师教育的实验项目证实,3D 打印作为一种课程教学资源,对学生的参与和学习有积极的影响(Department for Education, 2013)。美国斯特塔西有限公司在职业教育领域推广技术与工程教育的 3D Printing Curriculum 是典型的 STEAM 学习资源包。STEAMtrax 是由 3D 打印机制造商 3D 系统公司(3D Systems Inc.)设计的面向中小学的一种科技创新课程,将 3D 打印技术和工程设计整合到科学、数学、人文艺术的核心理论知识实践体验中,在相关的学习情境里,培养问题解决、协作、沟通和批判性思维的基本技能。STEAMtrax 课程模式是基于问题探究的教学模式,通过主题式故事情境设计,借助 3D 设计和打印技术增强的科学实验工具包(Hands-on Science Kits),提供自主探究和动手实验的学习机会,建构核心科学理论知识和应用技能。这种主题式课程设计能灵活地配合开展形成性评价和总结性评价,包括工程教育指标的评估。

The City X Project 创设了创新工作坊(the City X Workshop)开展体验学习。该项目在建设外星球 X 城市情境中,学习者扮演不同的虚拟市民角色,与专业人士一起通过集体智慧,解决相关的健康、安全、通信、交通运输等一系列具有代表性的真实社会问题,最终提出可 3D 打印的创意设计。为把设想变为现实,创新工作坊采纳的是蕴含“设计思

维”的工程设计模式,如下表所示,课程分为三个单元,每个单元2小时。The City X Project 提供免费的在线工具包,包括教学指导手册、学习者训练手册和3D打印讲义等。通过创新工作坊的学习,掌握3D技术和STEM(科学、技术、工程和数学)技能,实现问题解决能力、创造力、批判性思维等素质培养教育。

表 创新工作坊的课程模式

单元	教学组织	步骤	教学设计
第一单元	学习者扮演虚拟市民角色,分别分配需要解决的问题;通过头脑风暴制定解决问题的方法。	需求分析	在解决所面临挑战背景下,分析虚拟市民角色的需求和感受。
		问题界定	明确个人问题和社会问题的关系,清晰描述个人面临的要解决的问题,理解个人问题涉及到的更大的社会问题。
		创意形成	思考问题解决的各种想法,通过协商(即交流、评价)制定合适的解决方案。
第二单元	学习者使用快速成型的基本工具和材料,创建原型,然后测试原型并向同伴和指导老师组进行反馈;根据反馈,通过快速迭代的方法,改善设计。	原型设计	基于选定的解决方案,快速成型一个原型样品。
		测试	测试原型,发现需求和功能设计等方面的潜在问题,反馈如何改善。
第三单元	使用易用的3D建模软件,创建原型的3D模型,并在课堂里使用3D打印机打印并及时展示和分享。	分享	创建最终产品,解释产品设计,向其他人演示产品的使用。

四、3D 打印教育创新应用体系

3D 打印技术已跨入技术成熟期,为包括教育在内的社会各领域广泛接纳和掌握,3D 打印教育创新应用研究面对的是构建新一代信息技术融合的基于创造的学习环境,进行理论、技术与应用的协同推进,使得3D打印从象牙塔里的高科技发展成为融入学校、家庭和社会教育常态的具有革命性影响的技术,成为技术支持的教育应用创新不可或缺的元素。这包括不断优化3D打印技术实现,完善3D打印教育服务支持体系,在3D打印教育创新理论不断演进与更新中,丰富基于创造的学习样态,拓展基于创造的学习存在形式。如在电子书包平台中,融入“3D打印技术”和“STEAM教育”,使学习者获得基于创造的个性化学习服务与学习体验,从而培养具有较高设计思维和创新思维等思维品质的21世纪人才。本文据此以层次结构提出了3D打印教育创新应用体系,如图1所示。



图1 3D打印教育应用创新体系

1.技术实现

用户终端包含输入和输出两种，承载着学习者接入和访问 3D 打印制造平台的有效交互实现。终端设备包括 PC、平板电脑、智能手机以及穿戴式计算设备等。终端设备除传统交互式显示外，拓展 3D 显示设备如 3D 投影仪、显示头盔（HMD）、护目镜（Goggles）和体三维显示器（Volumetric 3D Display）等，以构建人、设备与产品实时联通，实现虚拟信息和现实世界的融合呈现。在 3D 打印制造平台中，为体现工业 4.0 个性化和数字化智能制造模式，会使用一系列特定的设备，包括 3D 打印机、3D 扫描仪和激光切割机等来支持灵活的基于创造的学习。

2.服务支持

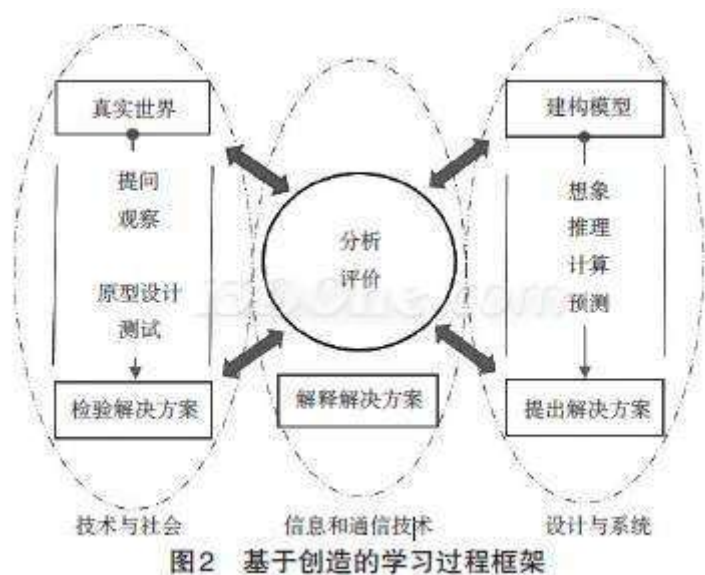
用户终端配置有 CAD/CAM 转换软件，将输入的 CAD 文件（STL 文件）转换为 3D 打印机能识别的 CAM 文件（G-code 文件），自动完成产品打印。3D 打印机接入互联网构成 3D 打印网络，发挥互联网群体智慧支持学习者的交流与创意分享。3D 打印应用服务关键构成是能将学习者的创意转换为 3D 模型的 3D 设计，包括提供 3D 模型创建工具箱、设计库和模型装配。此外，通过 3D 浏览器检索支持多用户终端访问与评价，通过 3D 打印服务提供商（如 Shapeways 和 Ponoko）提供网络化 3D 打印设施和原材料服务，解决个性化定制带来的打印材料和打印尺寸的限制。

3.理论蕴涵

DIY（Doing by Yourself）、[创客教育](#)和做中学作为 3D 打印教育创新理论基础，一方面指导 3D 打印教育创新，另一方面在 3D 打印教育应用实践中不断丰富和完善其理论基础。DIY 与 3D 打印强调的“Doing by Making”交相呼应，通过自己动手体验，发挥学习者的创造力。作为新一代信息技术支持下的培养 21 世纪的设计和 production 创新者的创客教育，着重强调的就是要为学生基于创造的学习体验与实践提供适宜的学习环境和学习资源，特别是 3D 打印机等成本效益和易用性高的数字工具与资源。杜威的“做中学”理论在富技术环境下的支撑 3D 打印教育的“做”中学中与时俱进，得以完善发展。

4.学习样态

教育传播和技术研究者基于 3D 打印启动了一系列的实践研究，创造性地开展了面向科学素养、技术与工程教育素养和人文艺术素养的教育创新应用探究（叶兆宁，2013；Bull et al., 2014）。对比科学家、工程师和设计师创造性的工作过程，基于创造的学习过程包括实证调查要解决的问题，建构解决方案，以及科学和工程研究必需的分析与评价，这些活动形成的是一个循环迭代过程。在这些活动中要尝试使用最合适的技术来解决复杂的问题，提高基于创造的学习素养，使得教育工作者和学习者可以像专业人士一样思考和创造，更有效地开展科学和艺术人文学科“亲自动手”的体验学习。基于创造的学习过程框架如图 2 所示，“技术与社会”涉及技术对社会和自然世界的影响以及由此产生的伦理问题；“设计与系统”涵盖系统地使用技术知识、工具和技能来解决问题的工程设计过程，以及维护和故障排除等日常技术处理的基本原则；“信息和通信技术”包括支持各种沟通方式的现代技术，用于访问、创建和传播信息以及促进创造性解释。



3D 打印教育创新应用，不仅是技术工具的运用，也是创新学习模式的有意义探索。根据面向教育类型的不同，基于创造的学习模式可分为面向基础教育的科创创新、面向高等教育的教研创新和面向职业教育的工学结合。依托开放式的创造空间，不仅可以面向正规学习，也可涵盖需求导向的非正规学习，从而推动人类社会的科技进步与深度学习融合，使整个社会成为基于创造的学习空间。

5.存在形式

目前 3D 打印教育应用主要为创客空间、创新实验室和 STEAM，随着 3D 打印在教育领域广泛应用，针对不同学习情境，比如学校、企业等不同学习场所，或者教师、学生等不同学习对象，3D 打印支持的基于创造的学习研究与实践将不断深入，进而开拓出更多、更具创新的存在形式。

五、3D 打印教育创新发展趋势与建议

3D 打印正逐渐融入我们的生活、工作和学习中，并将成为开拓基于创造的[创新教育](#)必要组成部分，在其渐进发展的过程中呈现以下发展态势：

1. 新技术、新材料和新工艺的发展有力推进 3D 打印教育创新

随着 3D 打印技术日趋成熟和普及，3D 打印将会不断地深化和拓展其应用领域，如建筑、电子仪器、医学、食品、生物乃至太空制造。这离不开满足各种制造需求的新技术和新型材料。FDM、SLA 和 SLS 技术专利开放和工艺创新，与之配套的打印材料也在不断丰富和发展，如光敏树脂、尼龙、金属粉末、陶瓷、玻璃、蛋糕糖霜和石灰混凝土等。Carbon3D 最近公布了成为 CLIP (Continuous Liquid Interface Production) 的新打印技术，相比以往的逐层堆叠打印方式，速度提高了 25~100 倍，并且打印的几何形体更是前所未有。从教育应用创新角度来看，新技术、新材料和新工艺一方面提升了 3D 打印效率，满足了 3D 打印需求，另一方面拓展了 3D 打印教育科研应用范围，构建起基于 STEAM 教育的学习情境，提升基于创造的学习环境，使得动手创意更为便利。

2. 3D 打印服务支持体系的渐进完善

第三次工业革命所带来的生产方式在很多方面是颠覆性的，随着产业结构变化，产业链趋于扁平化，逐渐聚焦到用户终端创意设计与制造，从根本上影响了“工学结合”人才培养模式的核心特征（唐智彬等，2013）。3D 打印服务平台可以支持各类基于创造的学习空间，通过提供相关课程、研讨会和工作坊，将创造和设计融入教与学的实践活动中，满足个性化的长尾教育应用需求，为未来从事受工业 4.0 影响即将发生变革的职业做好准备，或成为创业先锋。

3. 跨学科整合，拓展学习新样态的形成

多年以来，教育技术和教学设计领域研究者一直研究设计思维和创新思维等高级思维品质如何教与学的问题（Elizabeth Boling 等，2012）。在基于创造的学习中，需要跨学科整合学习团队，以创新协作推动学习的发生。团队成员可以是来自学校和业界的各个领域，以特色主题项目形式解决一些实际的社会问题。一方面加强新型技术对深度学习的技术支撑，一方面从设计、开发、运行、评估等层面变革教学理念，实现向跨学科的多元学习策略转变。密歇根理工大学的基于 3D 打印和开源技术打造光学创新实验室项目表明，3D 打印能够使科学实验室的成本减少 97%，效率和能力大幅度提高（Zhang et al., 2013）。

4. 3D 打印支持的基于创造的学习环境设计

相比于其他技术支持的教育（如在线教育），目前 3D 打印教育应用服务支持体系还处于成长期，缺乏能充分体现 3D 打印独特性的学习资源，如基于 3D 打印的 STEAM 课程及学习资源包。我国 3D 教育的一大发展趋势是将其作为基于创造的学习平台融入电子书包构筑数字化教育生态新环境（吴永和等，2013），使 3D 打印教育应用服务更实用、更加普适和社会化，成为技术支持的教育创新应用不可或缺的元素。

5. 丰富发展 3D 打印教育相关理论

3D 打印在探索深化“做中学”、体验学习和基于创造的学习等理论的实践过程中，不仅提供了逼真生动的可重用学习资源，也支持创新教育模式的有益尝试。在虚实结合的 3D 打印教育创新应用平台中，学习体验从原子的真实世界延伸至比特的虚拟世界，依托互联网支持协同创新，整合开放式学习空间系统，提供收集和存储学习者足迹和基于创造学习记录的功能，通过学习分析，为学习者提供个性化学习服务，了解学习者学习心理的影响，为教学改革和特色课程设计提供支持。

3D 打印为全新的学习体验提供了新资源、新工具、新环境、新平台。基于创造的学习视角，着重可以从生态发展、融合驱动和产业推进三个方面促进 3D 打印教育创新应用。

第一，推进 3D 打印教育的生态发展。根据 3D 打印行业权威的 2014 沃勒斯报告预测，3D 打印发展趋势将分化为桌面 3D 打印和工业 3D 打印。3D 打印要在不同场所和情境下（如家庭环境、学校环境、社会环境以及之间的连接中）发挥作用，有效地应用于基础教育、高等教育、职业教育、成人教育以及终身教育，构建一个基于 3D 打印技术应用的教育生态系统。

第二，促进 3D 打印教育的融合驱动。3D 打印支持的基于创造的学习体验是虚实结合的，通过与科艺创新、科研创新和工学结合进行有效集成创新，如将 3D 打印应用于 STEAM 课程中，创建新的跨学科学习环境；同时，开发 3D 新资源，研发 3D 新工具，构建 3D 应用服务平台，有效融入人文艺术等学科教学之中。

第三，加速 3D 打印教育的产业发展。《国家中长期教育改革和发展规划纲要（2010-2020 年）》所提到的“充分利用优质资源和先进技术，创新运行机制和管理模式，实现技术对教育的革命性影响”，离不开产学研一体化协作。制定打印技术标准与应用规范，按照市场规范引入核心技术，采用第三方服务方式，为学习提供符合个性化需求的 3D 新资源、新工具和新平台等可持续的优质服务，并逐步实现教育创新创业。

随着 3D 打印从象牙塔里的高科技发展成为融入学校、家庭和社会教育常态的具有革命性影响的技术，我们期盼通过 3D 打印技术与 STEAM 教育等新教育模式的融合，面对第三次工业革命的挑战和机遇，连通学习和创新，开启教育新理论和新实践，探寻创新、创造和创业的新途径。这或许将成为智慧教育时代推动教育变革的重要利器，进而有效促进教育创新和变革。