

3D 打印技术在我国食品加工中的发展前景和建议

吴世嘉¹, 张 辉², 贾敬敦^{2*}

(1. 江南大学食品学院, 食品科学与技术国家重点实验室, 江苏 无锡 214122;

2. 中国农村技术开发中心, 北京 100045)

摘 要: 目前我国食品加工业正处于高速发展时期, 在科技创新发展战略的驱动下, 传统食品加工技术必然迎来革命性的变革。3D 打印技术是一种以数字模型文件为基础构造物体的新技术, 概述了 3D 打印技术在我国食品加工应用中的发展前景, 并提出了目前存在的问题和挑战。建议政府和科研单位加大对食品 3D 打印技术的政策扶持和科研投入, 培养专门人才, 同时加强宣传普及, 积极推动 3D 打印技术在食品加工业中的应用。

关键词: 科技创新; 3D 打印; 食品加工制造

doi: 10.13304/j.nykjdb.2014.634

中图分类号: TS201

文献标识码: A

文章编号: 1008-0864(2015)01-0001-06

Prospect and Suggestion of 3D Printing in China's Food Manufacture

WU Shi-jia¹, ZHANG Hui², JIA Jing-dun^{2*}

(1. State Key Laboratory of Food Science and Technology, School of Food Science and Technology, Jiangnan University,

Jiangsu Wuxi 214122; 2. China Rural Technology Development Center, Beijing 100045, China)

Abstract: China's food manufacture is in the quick developing period, and traditional food processing technology definitely meets revolutionary mutation due to by the development strategy of science and technology innovation. 3D printing is a new manufacturing method based on digital model file. In this paper, the application and challenge of 3D printing in China's food manufacture were introduced and discussed. Therefore, government and scientific research institutes were suggested to increase policy support and research strength, train professionals and strengthen the publicity in order to actively promote 3D printing technology application in food processing.

Key words: science and technology innovation; 3D printing; food manufacture

党的十八大明确提出“科技创新是提高社会生产力和综合国力的战略支撑, 必须摆在国家发展全局的核心位置”。强调要坚持走中国特色的自主创新道路、实施创新驱动发展战略。食品工业在世界经济中一直占据着举足轻重的地位。目前我国食品行业正处于高速发展时期, 但同时也存在消耗大、利润低、缺乏自主研发技术等问题。尤其随着经济的发展和人民生活水平的提高, 我国居民的饮食习惯和饮食结构也发生了巨大的变化, 人们不再仅仅满足于温饱需要, 开始重视食品

的营养、质量安全和加工工艺, 越来越多的人开始追求个性品味。因此, 加快食品科技创新是食品行业持续稳定发展的根本出路, 现代食品行业的发展需要科技创新的支持, 只有拥有强大的自主创新能力, 我国的食物技术和食品行业才能在激烈的国际竞争中把握先机、赢得主动。3D 打印(3D printing)技术是 20 世纪 80 年代诞生的一项革命性技术, 目前 3D 打印技术正处于蓬勃发展时期。本文阐述了 3D 打印技术的发展过程以及在各行业中的应用现状, 提出了 3D 打印技术在

收稿日期: 2014-11-04; 接受日期: 2015-01-09

基金项目: 国家自然科学基金项目(31401576); 国家 863 计划项目(2011AA100801); 江南大学自主科研计划(JUSRP11436)资助。

作者简介: 吴世嘉, 副教授, 博士, 主要从事食品加工营养研究。E-mail: wusj@jiangnan.edu.cn。* 通信作者: 贾敬敦, 研究员, 博士, 主要从事农业政策和战略研究。E-mail: jiajd@most.cn

我国食品加工业中的发展前景和面临的挑战,给出了我国食品加工业发展 3D 打印技术的若干建议,以期为实现科技创新、驱动食品行业快速发展提供新思路。

1 3D 打印技术的发展简史

3D 打印技术以计算机三维设计模型为蓝本,通过软件分层离散和数控成形系统,利用激光束、电子束等方式将金属粉末、陶瓷粉末、塑料、细胞组织等特殊材料进行逐层堆积黏结、最终叠加成形,制造出实体产品^[1]。

3D 打印技术起源于 18 世纪西欧的雕塑艺术,最早由美国麻省理工学院发明^[2]。20 世纪末到 21 世纪初是 3D 打印技术蓬勃发展的重要时期^[3-4],这一时期科学家发明了立体光固化成型技术、熔融沉积成型技术、选择性激光烧结技术等多种 3D 打印技术,并且诞生了多家 3D 打印设备制造企业,包括 3D Systems 公司、Stratasys 公司和 Z Corporation 公司等。

随着打印材料不断取得突破,技术不断成熟,近年来 3D 打印已被成功应用到国防、航空航天、汽车、工业设计、生物医学等众多领域,并取得了很多突破性进展^[5-10]。3D 打印而成的汽车、飞机、人工颞骨、火箭引擎喷嘴等物件相继问世^[11-13]。

近年来,3D 打印技术已经开始逐步从高、精、尖的工业制造开始渗透到我们日常生活的方方面面。2011 年 6 月,全球第一款 3D 打印的泳衣问世。2013 年 3 月,美国运动品牌 New Balance 推出了一款专用于赛道的跑鞋,该跑鞋使用 3D 打印技术来定制鞋底板。特别是 2011 年 7 月,英国研究人员开发出世界上第一台 3D 巧克力打印机,这也预示着 3D 打印食品成为现实。

2 我国食品加工业的现状和需求

我国食品加工业纵向来看发展良好,产量、产值呈现逐年增长态势;产品质量提高、种类丰富;加工企业整体效益提升。但是横向比较而言,食品加工业自身还有许多问题,与世界发展水平相比差距较大。我国食品加工企业整体特点是生产和加工集约化程度低、规模小,加工设备、技术工

艺落后、技术人才匮乏,无法采用先进的加工技术,加工技术水平偏低,使得加工层次少、增值低、浪费和污染严重、产品质量不稳定。

当前我国正处于全面建设小康社会的进程之中,我国居民的膳食结构也正处于温饱到小康的转型期,随着人们保健意识的增强和对自身健康状况的关注,对营养合理、符合健康要求的食品需求十分迫切。然而多年来,我国食品加工业比较注重技术、设备方面的改进和提高,产业规模的扩大,但对改善、提升食品的营养品质和指导居民合理膳食、均衡营养重视不够,没有将现代营养科学纳入食品加工业发展的指导方针中去,而且流水线的产品无法满足日益突出的食物营养健康需求。这些问题能否解决直接影响到我国能否最终建立现代化的食物生产和营养保障体系。

因此,目前我国食品加工业面临着新的挑战,要求对食品加工技术和加工设备进行革命性的创新。

3 3D 打印技术在食品加工中的发展情况

国外 3D 打印技术应用于食品加工业的研究已经取得了一些成果,主要方向还是着重在开发新的食物来源、均衡的营养饮食、航天食品以及个性化食品等方面。欧美国家有专业的研究团队和明确的研究目标,形成了自己的专利技术,并且已有成品设备在出售;西班牙的“Foodini”食物打印机已经接受预定^[14];英国科学家们经过欧盟和世界粮食组织同意,开发了一种方法可以把食用昆虫转换成面粉,再通过 3D 食物打印机打印出来。这个项目被称为“昆虫焗”,所制作出来的昆虫面粉富含蛋白质和矿物质,可以和奶油、奶酪、巧克力或香料混合打印成面包等其他食物,而且经过加工的昆虫食品并没有虫子外观,人们更容易入口^[15];美国国家航空航天局开发出了一种可打印出“匹萨”、营养面糊及各种其他食品 3D 食品打印机,特供宇航员在空间使用^[16,17];北美最大的巧克力制造商 Hershey 和 3D 打印公司(3D System)达成了合作开发协议,双方将共同探索和开发使用 3D 打印技术来生产可食用食品,包括糖果和点心。荷兰应用科学研究院研发的 3D 食品打印机,通过在电脑里预存 100 多种立体图形,从而可以打印出上百种形状的立体小点心^[18]。

我国早在 20 世纪 90 年代初开始 3D 打印技术的研究,研究力量主要集中在清华大学、华中科技大学、北京航空航天大学、西北工业大学、西安交通大学、华南理工大学、上海大学和中国科学院等单位。目前,这几所高校仍是我国 3D 打印技术的研究重地,其中华中科技大学的优势在于激光粉末烧结技术,清华大学侧重塑料堆积技术和生物医学领域,北京航空航天大学 and 西北工业大学主要集中在金属 3D 打印机领域,西安交通大学则主要集中在光固化领域。但是在食品生产加工方面仍主要停留在探索尝试阶段,并未实现大规模的实际应用。然而结合我国复杂的国情,如食品加工设备、加工技术水平低、食品浪费和污染严重;人口众多、环境污染严重、耕地面积越来越少,导致粮油等必需品不充足。相对地,随着经济的发展人们的营养问题从营养不良转变为营养过剩,特别是不合理的饮食结构,摄入大量高脂、高糖、高盐的“三高”食品,导致新陈代谢紊乱、体重超标,提高了冠心病、癌症、糖尿病、高血压、中风和其他疾病的患病风险。另一方面,我国的空间站工程已正式启动,随着航天飞行时间的延长,作为航天员健康保障基础的航天食品将发挥越来越重要的作用。综上所述,我国更应该充分挖掘 3D 打印技术在食品加工中的应用潜力。

4 3D 打印技术应用于食品加工业的优势

3D 打印技术最突出的优点是无需机械加工或模具,就能直接从计算机图形数据中生成任何形状的物体,从而极大地缩短了食品研制和加工的周期,通过摒弃生产线而降低了成本,提高了生产效率,大幅减少了材料浪费。3D 打印技术具有传统食品加工业从未有过的高度加工灵活性,由于喷涂的位置、次数、速度都可以随意控制,不同的材料可以通过不同的喷头喷涂,同时由于将众多传统加工过程合在一台机器上进行不断重复“打印”,因此向工业生产转化过程中不存在规模化的问题,能节约大量时间和资金,真正体现快速成形技术的优势。3D 打印技术简化了生产工艺,缩小了车间设备的占地面积。相应的也会减少能源的使用,降低二氧化碳排放,有利于环保。总体来说,3D 打印技术将会为食品领域带来全新的概念和动力。

4.1 3D 打印技术能够利用新型食品资源,解决食品供应问题

根据联合国的统计数据,现在世界人口数量约为 70 亿,预计到 2040 年前,世界人口将达到 80 亿,世界上的人口越来越多,这将引发一系列的问题,我国是人口大国,粮食不足、食品短缺将会是未来需要面对的一项重要难题。3D 食品打印技术可以利用全新的食材,包括目前从人类潜在的不常食用的东西中获取营养元素,运用 3D 打印机制成健康营养的非传统食品。比如单细胞蛋白,它是利用工农业废料及石油废料通过人工培养得到的微生物菌体,不仅生产效率高,而且所含的营养物质极为丰富,包括蛋白质、氨基酸、多种维生素、碳水化合物、脂类和矿物质等,非常适合作为 3D 打印的食物原料。除此之外还有富含蛋白质的昆虫、藻类等,这些食品原料均可作为 3D 打印的原材料,打印成食品或可部分缓解与粮食产量相关的食品供应问题,从而开辟一种粮食生产和食品来源的新途径。

4.2 3D 打印技术能够科学调配营养,提供健康食品

世界卫生组织(World Health Organization, WHO)公布的一项调查表明,全世界亚健康人口的比例已占到 75%。公众最为关心的健康问题是控制体重、增强免疫、抗氧化和营养补充。根据《中国食物与营养发展纲要(2014-2020 年)》,现阶段要努力提升我国食物与营养健康科技创新能力,“以人为本,以健康为导向”建立满足营养健康需求的食品加工业。3D 打印技术可以提供科学合理的营养饮食,根据不同人群所需营养的比例对材料盒中的食物原料进行配置,打印出适用于不同营养需求的青少年、老人、孕妇和病人食品。而且对于有吞咽困难或不能正常进食的病人,利用 3D 打印技术可以打印出外观和味道与原来的食品相似,但口感柔软超级顺滑“凝胶状”食品,对咀嚼或吞咽困难的人来说很安全。利用 3D 打印技术,不仅可以开发出营养搭配、科学合理的新产品,还可以开发营养强化食品和保健食品,不仅能够为预防营养缺乏症服务,还可以为防止因营养失衡造成的慢性非传染性疾病服务。从而建立起一种科学的饮食理念,降低肥胖、“三高”和其他由饮食结构不合理引发疾病的概率。

4.3 3D 打印技术使用简便,打开航空食品新局面

目前小型化的 3D 打印机可以做到车载、船载、机载,安装在不同的交通工具舱室内,由蓄电池供电,为远行以及户外工作者提供了极大的方便。随着宇宙空间成为当今世界各国研究的热点,我国载人航天工程经过十多年的发展也取得了突破性进展,并将逐步进入到空间站时代。载人航天技术也将面临着保障航天员在太空环境中长期生活的问题,研究重心将集中于长期生命保障系统的研制和应用上。其中食品的供应与服务是整个生命保障系统的重要组成部分。3D 打印机中的材料盒可以存放碳水化合物、蛋白质、色素、调味剂及微量元素等营养成分,保质期可长达 30 年,完全杜绝了食材变质和浪费的现象,从而为宇航员们提供了保质期更长久的食物。而且载人飞船可自行携带 3D 食品打印机,不需要繁重的食品加工设备和加工工艺,宇航员们随时可以自制可口、新鲜的食物。能够从食物和营养的角度最大限度地满足航天员心理和生理需求,保障航天员的身体高效工作,实现“让航天员象在地面一样饮食”的目标,用营养、能量、健康的食品确保航天任务的顺利完成。

4.4 3D 打印技术能够丰富食品样式,满足个性化需求

3D 打印技术还可以制造出传统食品生产技术无法制造出的外形,另外在具有良好设计概念和设计过程的情况下,3D 打印技术还可以简化生产制造过程,快速有效又廉价地生产出单个物品。3D 打印技术可以满足人们对理想食品的情感需求。用户可以在电脑里预先存储上百种立体形状,通过打印机的控制面板挑选出自己喜欢的造型,打印出形象各异的立体食品,增加生活的乐趣。

5 3D 打印技术在我国食品加工中面临的挑战

发展基于 3D 打印技术的新型食品加工技术是食品加工业革命性的创新发展,能够在未来解决我国食品加工业和食品产业面临的诸多问题。然而,3D 打印技术能否在我国食品加工业发展并应用仍然面临着一系列的疑问和挑战。

①新生的 3D 打印食品能否被人们接受。我国是一个历史悠久的国家,自古以来的饮食习惯以熟食为主,注重食物的“色、香、味”俱全。而由 3D 打印机打印出来的食物虽然可以在外观、口味上与传统工艺生产的食品保持一致,但是还打印不出热气腾腾的熟制食品。3D 打印食品首先诞生于欧美国家,这也与这些国家的饮食习惯有关,因此长期以来习惯了东方传统食品的中国人能否接受这样的打印食品还有待调研。

②用于食品加工的 3D 打印技术能否突破限制。与常规的 3D 打印技术和 3D 打印设备不同,3D 打印技术要在食品加工中普及必须先改进现有的技术设备,制造适合加工食物原料的 3D 打印机,尤其针对中国传统原料产生的问题,如面粉糊打印精度过高会产生喷头堵塞,导致打印精度降低,产品质量得不到保障等问题,如何通过改进技术加以解决仍需进一步研究。

③用于食品加工的 3D 打印材料是否符合要求。3D 打印的材料问题是其成为主流生产制造方式的瓶颈之一,要打印适合我国饮食习惯的食物,能否研制出适合于 3D 打印的粉末状或液化状食品原料,能否研制出不同营养成分、不同口感食品的加工工序和原料配比,都是研究者们需要重视的问题。

④3D 打印食品的安全能否得到保证。3D 食品打印机设备本身的卫生以及设备的自动化清洗如何保证?打印出的食品其微生物检测和剩余原料的保藏等问题都需要研究人员进一步研究探索。

6 关于我国食品加工业发展 3D 打印技术的建议

3D 打印技术的发展和应用将有助于推动食品行业的发展,为食品生产加工开辟一条新的道路。但面对目前存在的问题和瓶颈,为推动 3D 打印技术在我国食品加工行业的发展和应用,提出了以下几点建议:

6.1 加大科研力度,提供专项经费支持

3D 打印技术的发展需要依托多个学科领域的尖端技术,包括信息技术,即先进的设计软件及数字化工具,辅助设计人员制作出产品的三维数字模型;精密机械,即高精度、高稳定的打印设备;

材料科学,即具有合格的物理化学性质并且能够液化、粉末化、丝化的原材料。同时 3D 打印技术要应用于食品加工领域需要结合食品化学、食品工艺、食品感官评定等技术协同发展。因而需要国家以及各相关领域同时投入较大的研发力量,设立专项基金,重点推进数字化技术、软件控制、打印装置、打印材料等关键技术的研发。鼓励各研发主体探索不同的技术路径,帮助 3D 食品打印领域的研发团队、企业申报国家、省级科研项目,争取国家、省级政策和资金支持^[19~21]。加强国外交流与合作,学习国外先进的技术与经验。

6.2 培养专门人才,设立新型学科

3D 食品打印技术是一项多学科交叉的高新技术,涉及信息技术、精密机械、材料科学和食品科学。要使 3D 食品打印技术应用于实际,必须具备掌握多种技术的专业人才。因此,有必要将 3D 打印技术纳入食品或相关学科建设体系,既要培养一批具备食品加工和 3D 打印知识的科技复合型人才,也要培养一大批可熟练驾驭数字制造设备的技术工人。科研单位要进行有针对性的科技创新人才培养计划,同时通过 3D 打印设备生产企业培养实用型技术人员^[22~23]。高校应加强引进具有学科交叉背景的专业教师,对在岗教师进行专业培训或从企业聘请兼职专家。对 3D 打印培训机构进行政策扶持与经济扶持,从而实现 3D 食品打印技术与相应人才的有效对接。

6.3 加强普及宣传,改变传统意识

3D 打印技术是一项新兴的高端技术,并且 3D 打印技术应用于食品领域在我国正处于起步阶段,通过打印制造的食品要想被大众所接受还需要进一步加强宣传,改变原有的传统观念。各高校可以在食品相关专业里面开设一些涉及到 3D 打印技术的课程,相关部门也可以广泛利用媒体、网络、电台和社区活动中心等公共机构进行 3D 食品打印技术的展示、宣传和推广,组织举办 3D 食品打印技术相关讲座,邀请国内知名教授学者、科研人员及企业家进行讲解宣传,开展科普宣传活动,开办 3D 食品打印技术官方网站,使公众了解 3D 食品打印,引导社会各界参与到 3D 食品打印的建设中来,促进 3D 打印技术在食品领域更好的发展。

6.4 加大政府扶持,推动产业发展

国家政策是影响一个新兴产业发展的关键,任何一项技术如果不能得到国家层面的积极支持和配合,就很难得到快速发展。3D 食品打印作为 3D 打印产业的一部分,将其发展规划纳入国家经济发展战略规划,作为科技驱动、转型发展的重点支持领域之一,并将其纳入优先发展产业及产品目录。积极引导食品企业、3D 数字化技术提供商、3D 打印机及材料研发企业和机构、3D 打印服务应用提供商组建产业联盟,率领联盟成员集群发展,尽快实现产业链上、中、下游资源集聚;加强与广大用户间的沟通,尽快打开用户市场。有了行业组织,便于有统一的声音向政府主管部门传达诉求,也便于深化国内外的对话合作。同时利用多方合作平台加强研讨和交流,共同推动 3D 食品打印技术研发和行业标准制定,促进 3D 食品打印行业规范、健康、有序发展^[24~26]。

7 展望

我国食品加工业正处于高速发展时期,在科技创新发展战略的驱动下传统食品加工技术必然迎来革命性的变革。3D 打印技术是目前一项前沿的制造技术,将 3D 打印技术用于食品加工制造中也必将有助于推动食品行业的发展,为食品生产加工开辟一条新的道路。但目前而言 3D 食品打印技术与传统食品加工将会是一个互补的关系,而非完全替代,在一些方面能够弥补传统加工技术的不足,但 3D 打印要成为食品加工的主流技术仍任重而道远。未来需要进一步加强 3D 打印技术和食品领域的融合,特别是经过普及宣传使越来越多的人接受 3D 打印食品。

参 考 文 献

- [1] Chia H N H. Improvement of 3d printing resolution by the development of shrinkable materials [D]. Los Angeles: University of California, Doctor Dissertation, 2014.
- [2] 朱福珍,潘庆勇,张兴福. 3D 打印技术对垦区食物制造业的机遇、挑战与对策[J]. 农场经济管理, 2013, 3: 45-47. Zhu F, Pan Q Y, Zhang X F. Opportunities, challenges and countermeasures of 3D printing technology in food manufacturing of agricultural areas [J]. Farm Econom. Manag., 2013, 3: 45-47.
- [3] 刘海涛. 光固化三维打印成形材料的研究与应用[D]. 武汉: 华中科技大学, 博士学位论文, 2009.

- Liu H T. Applications and research of UV-curing three-dimensional printing building material[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, Doctor Dissertation, 2009.
- [4] 李小丽, 马剑熊. 3D 打印技术及应用趋势[J]. 自动化仪表, 2014, 35(1): 1-5.
Li X L, Ma J X. 3D printing technology and its application trend[J]. Proc. Automat. Instru., 2014, 35(1): 1-5.
- [5] Schubert C, Van L, Mark C, *et al.*. Innovations in 3D printing: a 3D overview from optics to organs[J]. British J. Ophthalmol., 2014, 98(2): 159-161.
- [6] Günther D, Heyme B, Günther F F, *et al.*. Continuous 3D-printing for additive manufacturing[J]. Rapid Prototyp. J., 2014, 20(4): 320-327.
- [7] 古丽萍. 蓄势待发的 3D 打印机及其发展[J]. 数码印刷, 2011, 10: 64-67.
Gu L P. 3D printer is poised for a take-off [J]. Digital Print., 2011, 10: 64-67.
- [8] Kaur S. How is "Internet of the 3D printed products" going to affect our lives[J]. IETE Technol. Rev., 2012, 29(5): 360-364.
- [9] Rengier F, Mehndiratta A, von Tengg-kobligk H, *et al.*. 3D printing based on imaging data: review of medical applications[J]. Int. J. Comp. Assist. Radiol. Surgery, 2010, 5(4): 335-341.
- [10] Bassoli E, Gatto A, Luliano L, *et al.*. 3D printing technique applied to rapid casting[J]. Rapid Prototyp. J., 2007, 13(3): 148-155.
- [11] 龙航. 国外先进 3D 打印技术案例参考[J]. 杭州科技, 2013, 5: 53-57.
Long H. Case references of foreign advanced 3D printing technology[J]. Hangzhou Sci. Technol., 2013, 5: 53-57.
- [12] 王雪莹. 3D 打印技术与产业的发展及前景分析[J]. 中国高新技术企业, 2012, 26: 3-5.
Wang X Y. The development and prospect analysis of 3D printing technology and industry [J]. China High-tech Enterprises, 2012, 26: 3-5.
- [13] 王月圆, 杨萍. 3D 打印技术及其发展趋势[J]. 印刷杂志, 2013, 4: 10-12.
Wang Y Y, Yang P. 3D printing technology and its development trend[J]. Print. Field, 2013, 4: 10-12.
- [14] 西班牙推出世界首台 3D 食品打印机[N]. 山东商报, 2014-01-03.
- [15] 戴青华. 未来的 3D 可打印昆虫食品[J]. 食品开发, 2014, 2: 72.
Dai Q H. The insect food could be made by 3D printing in future[J]. Food Develop., 2014, 2: 72.
- [16] 安德华, 宋尧. "3D 打印"航天食物[J]. 载人航天信息, 2013, 4: 24-29.
An D H, Song Y. "3D printing" space food[J]. Manned Spaceflight Inform., 2013, 4: 24-29.
- [17] 一平. 给驾车远行者带来福音的 3D 打印食物[J]. 交通与运输, 2013, 6: 49-50.
Yi P. 3D printing food bring the gospel to drive traveler[J]. Traffic Transport., 2013, 6: 49-50.
- [18] 常荣民. 荷兰研发 3D 食品"打印机"可"打印"百种形状甜点[J]. 食品开发, 2013, 10: 77.
Chang R M. Dutch research 3D food "printers" to "print" one hundred kinds of shapes dessert[J]. Food Develop., 2013, 10: 77.
- [19] 杜升明, 肖春生. 浅谈 3D 打印产业发展思路与对策[J]. 才智, 2013, 4: 301-302.
- [20] 王忠宏, 李扬帆, 张曼茵. 中国 3D 打印产业的现状及发展思路[J]. 经济纵横, 2013, 1: 90-93.
Wang Z H, Li Y F, Zhang M Y. Situation and development of 3D printing industry in China[J]. Econom. Rev., 2013, 1: 90-93.
- [21] 王忠宏, 李扬帆. 我国 3D 打印产业发展现状及建议[J]. 中国产业经济动态, 2013, 3: 7-12.
Wang Z H, Li Y F. Situation and suggestion of 3D printing industry in China[J]. China Ind. Econom. Dynamic, 2013, 3: 7-12.
- [22] 石利琴. 关于 3D 打印技术与技能人才需求的思考[J]. 出版与印刷, 2013, 3: 44-46.
Shi L Q. Thinking about the relationship between 3D printing and talent requirement[J]. Pub. Paint., 2013, 3: 44-46.
- [23] Lipson H. Fabricated: The New World of 3D Printing [M]. New York: John Wiley & Sons, Limited, 2013.
- [24] Martin R L. 3D Printing [M]. New York: John Wiley & Sons, Limited, 2013.
- [25] 沈荣琦, 贾龙飞, 王颖, 等. 浅谈 3D 打印技术[J]. 商情, 2014, 6: 218.
- [26] Griffin M. Design and Modeling for 3D Printing [M]. New York: Maker Media, 2014, 15-22.

(863 课题介绍见 41 页)