

3D 打印技术在服装领域中的应用

张梅¹, 王军^{1,2}, 潘力¹, 张春媛¹

(1.大连工业大学 服装学院, 辽宁 大连 160034; 2.天津工业大学 艺术与服装学院, 天津 300387)

摘要:近年来,3D 打印技术在服装中的应用越来越广泛。首先总结了3D 打印技术在服装领域的应用动态和典型案例;其次对3D 打印过程中的3个关键部分:建模软件、成型工艺以及打印材料中的现有技术进行了汇总,分析了各类技术的特点及其在服装中的适用性;最后,探讨了3D 打印技术应用于服装领域的关键问题,展望了其应用前景。

关键词:3D 打印; 服装领域; 建模软件; 成型工艺

中图分类号: TS941.19

文献标识码: A

文章编号: 1001-2044(2018)12-0001-06

DOI:10.16549/j.cnki.iissn.1001-2044.2018.12.001

Application of 3D printing technology in fashion field

ZHANG Mei¹, WANG Jun^{1,2}, PAN Li¹, ZHANG Chunyuan¹

(1.School of Fashion, Dalian Polytechnic University, Dalian 116034, China)

(2.School of Art and Fashion, Tianjin Polytechnic University, Tianjin 300387, China)

Abstract: In recent years, the use of 3D printing in fashion industry is more and more extensive. Firstly, the application dynamic of 3D printing in the field of fashion and typical cases is summarized. Secondly, three key parts of the existing 3D printing process, including modeling software, modeling technology and printing material, are summarized, and characteristics of various types of technology and applicability in fashion are analyzed. Finally, the key problems of application of 3D printing technology in fashion industry are discussed, and the prospects of application in the future are provided.

Key words: 3D printing; clothing field; modeling software; modeling process

近年来,3D 打印技术不断被应用于服装领域,给服装带来了新的活力。然而,因服装产品的特点,使得3D 打印技术应用于服装领域依然面临着诸多挑战,例如:人体不规则的曲线和曲面,服装需要符合人体体型特征,使得精确模型的建立非常困难;服装美感和面料精细度的要求也使得现有打印工艺尚需很大提升,而现有材料尚难满足人体对绝大多数服装舒适性的要求。

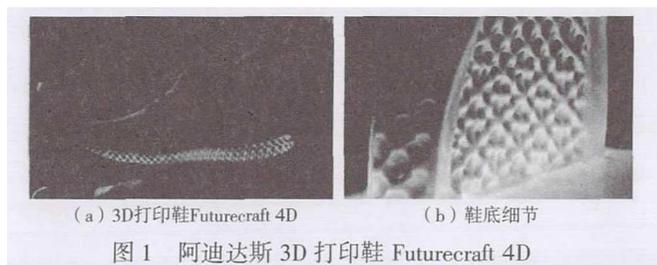
本文总结了3D 打印技术在服装领域的应用情况;汇总分析了3D 打印建模、成型、材料3个关键环节现有技术及其在服装中的应用现状和适用性;探讨了当前3D 打印技术在服装应用中的制约因素和未来应用前景。

1 3D 打印技术在服装中的应用现状

1.1 3D 打印鞋子

目前,鞋类是3D 打印技术在服装领域中最成熟的应用领域。

耐克公司于2013年制作出世界上首款3D 打印足球鞋 Vapor Laser Talon Boot^[1],其鞋底为3D 打印而成。此款鞋性能良好并且轻便,但打印时间长、成本过高,难以量产。阿迪达斯于2016年推出了其首款3D 打印鞋 Runner^[2]。该鞋实现了小批量生产,但成本依然很高,每双售价达到333美元。2017年初,阿迪达斯又推出第二款3D 打印鞋 Futurecraft 4D,外观效果见图1^[3]。



该鞋采用了新型的CLIP技术^[2],比传统的叠层3D 打印方法快25~100倍,20 min即可打印出鞋底。该鞋计划到2018年底生产10万双,初步实现3D 打印鞋的批量生产。然而,该鞋售价较高,预计将超过300美元。

传统的运动鞋生产通常需要经历设计、制作原型鞋、制模、批量生产4道工序,前3个工序耗时很长,且制造模具非常昂贵,优点在于批量生产易于实现。与之相比,3D 打印技术由于采用电脑虚拟建模之后直接

收稿日期: 2018-02-27

基金项目: 辽宁省教育厅科研项目(L2015051,2016J00);教育部人文社科青年基金(17YJC760096);辽宁省科学“十三五”规划基金(JC17DB052)

作者简介: 张梅(1980—),女,在读硕士研究生,主要从事服装数字化技术与应用的研究。

通信作者: 王军。E-mail:wangjundl@126.com。

打印,在建模设计方面具有明显的速度优势,且因不需要物理制模而节约了大量制模成本。但其缺点在于打印材料昂贵,这导致了3D打印鞋类价格往往远高于同类产品。

1.2 3D打印服装

除鞋类外,3D打印技术也越来越多地应用于服装领域。传统的制衣是通过设计、制版、裁剪、试样、放码,试样成功后才能批量生产。而使用3D打印技术,只需在计算机里设计出三维模型,再经过成型技术将材料叠加一层一层打印出来即可。3D打印技术没有裁片余下的废料,也不需要制版,加工过程简单,颠覆了传统制衣流程。

1.2.1 3D打印内衣裤

2013年,Shapeways携手Swarovski推出了3D打印内衣^[4]。该内衣质量约435.92g,质地结实耐用。目前,该公司在网上销售3D打印内衣,提供量身定制服务,为3D打印技术开辟了一条新的道路。

2016年,Tamicare公司和英国利兹大学合作,3D打印出一次性可降解的内裤^[5],该内裤是由3D打印机在打印无纺布Cosyflex的同时直接形成内裤形状。Cosyflex具有良好的透气性、伸缩性、悬垂性,而且可以通过3D结构基板来创建出彩色印花图案、压花、穿孔、装饰等工艺,可以做到在同一片上无缝衔接。该公司每台打印机一年可以打印1000万条同品质内裤,从而为3D打印服装的批量生产开辟了先河。

1.2.2 3D打印上衣和礼服

以色列设计师Danit Peleg^[6]于2015年成功地打印出红色夹克上衣,其材质为强韧柔软的FilaFlex。随后,她又针对传统打印材料较为僵硬的特点,通过复杂的3D结构设计,实现了衣服的拉伸弹性效果,但是打印时间很长,平均一件衣服需要约400h。荷兰设计师Iris van Herpen^[7]于2010年开始在T台上展示她的3D打印作品。2014年她的“Biopiracy(生物海盗)”系列作品亮相,其中3D打印的裙子引起时尚界关注,见图2^[8]。2015年,她又推出了如图3所示的“Magnetic Motion(磁运动)”3D打印透明水晶礼服^[7]。这些服装先由3D打印出具有三维立体外观的模型,然后再用人工缝纫进行二次加工,高科技的材料加上人工雕琢使服装在视觉上非常惊艳。



图2 3D打印裙子



图3 3D打印透明水晶礼服

1.2.3 3D打印技术新领域

1.2.3.1 智能裙子

荷兰设计师Anouk Wipprecht于2015年3D打印出一条名为Spider Dress的智能裙子,见图4^[9]。



图4 Spider Dress 智能裙子

该裙子将英特尔的爱迪生芯片和呼吸感应器相连,如果传感器注意到穿着者呼吸增强或者有人靠近时,机械肢体通过感应移动到进攻位置,从而给3D打印技术在服装中的应用带来了新思路。

1.2.3.2 生态内衣

意大利设计师Samuele和Rosanna2017年合作完成了一套“Coral”的3D打印比基尼系列作品^[10]。此系列作品所用的材料PLA和PLA Flex可以从玉米淀粉等原料中获取,是可生物降解和具有生物活性的热塑性材料。该系列内衣质地轻薄,耐磨性和舒适性良好,更具有创意的是将棉花插入了3D打印的内衣中,

使其具有类似普通内衣的有机结构。

2 3D 打印关键技术现状

上述表明,3D 打印技术在服装领域的多个方面得到了很好的应用,而且在部分领域,如鞋类和内衣中,已经可以实现规模化生产。技术是支撑 3D 打印在服装中应用的基础,同时也是制约其进一步发展的因素。为进一步分析 3D 打印技术在服装中的应用前景和存在的问题,对 3D 打印技术的 3 个关键技术现状进行了汇总,并分析了其在服装领域的适用性。

3D 打印技术是模型通过打印机打印出来的过程,此过程不同于传统的制造过程。打印时,首先需要根据制造对象在软件系统中建立相应的模型;之后,将模型的数据导入打印控制软件中,并对模型进行切片分层,形成离散的切片;然后对切片进行数据处理,把每个切片的数据传给匹配的 3D 打印机;打印机获取每个切片信息后再利用成型材料迅速准确地将切片逐层打印从而形成三维原型;最后,再把各层截面黏合起来,最终制造出实体^[11]。根据打印过程,可将 3D 打印关键技术分为建模技术、成型工艺技术以及材料技术。

2.1 3D 建模技术

模型是制造的基础,3D 打印制造与传统工业制造一样都需要先建立模型。在传统服装制造中,其模型即是工业纸样。生产时根据生产服装各部位的尺寸绘制出每个部位的纸样,将纸样分别放在面料上合适的位置,做出准确的记号,按照记号裁剪出布片,最后将布片缝制起来。服装传统的生产过程就是“剪裁”到“增材”的过程。

而 3D 打印技术的模型在软件中生成,是虚拟的三维模型。因而,服装设计师可进行快速建模和调整。而且,3D 建模可实现复杂的服装结构设计,甚至可以通过结构设计在材料僵硬无张力的条件下改善衣服的拉伸弹性效果。同时,3D 建模还可以全方位地将作品进行虚拟展示,不仅可以保证服装在制作前的精准度,而且还压缩了修改不合格产品的时间。建模是 3D 打印应用于服装领域最大的优势。

服装 3D 建模的难点在于曲线和曲面的建模。这是因为,人的体型是由不规则的曲线、曲面构成的,而服装要符合身体的体型特性,故其模型也是由不同曲面构成的。3D 建模时,需要建模软件才能够对这种曲面体型特性进行准确建模,因此曲线建模功能强的软件更适合于服装的 3D 建模。

当前常用的 3D 建模软件及其特点如下:

(1)3DS Max,由美国 Autodesk 开发,主要应用于动画建模、工业设计、建筑设计、多媒体等领域,操作简单易学,资源丰富,价格低廉,有渲染效果,但是尺寸精度不高,无法获得确切的尺寸,曲面建模相对于 Maya 和 Rhino 较弱,且插件较多^[11,14-15]。

(2)Maya,由美国 Autodesk 开发,主要应用于动画电影、影视广告等领域,高级三维动画软件,具有曲线和曲面的造型工具,功能完善,操作难度大,渲染效果逼真^[14,16]。

(3)SolidWorks,由法国 Dassault Systèmes 开发,主要应用于机械设计、工程、制造、生物医学等领域,可用于复杂的三维空间曲面的设计建模;具有易学易用、功能强大、技术创新三大特点;可以提供不同设计方案,减少错误的产生^[11,15,17]。

(4)SketchUp,由 Last Software 开发,主要应用于建筑方案、园林景观、室内、工业设计等领域,低端设计软件,操作便捷,侧重设计过程变现,渲染效果弱,曲线建模稍逊色^[11,18]。

(5)Creo Parametric,由美国 PTC 开发,主要应用于机械、电子、工业设计、汽车、航天、家电等领域,参数化技术曲面建模软件,具有拐角倒角特征功能,能够对模型进行编辑且简单快速^[18]。

(6)Rhino3D,由美国 Robert McNeel 开发,主要应用于工业设计、机械设计、产品开发、场景设计等领域,曲线建模强大且效率高,模型不易修改,渲染效果不够逼真^[11,14-15]。

(7)UG,由德国 Siemens PLM Software 开发,主要应用于航空航天、汽车通用机械、模具和家电等领域,是高度集成的软件系统,可以用于整个产品的开发过程,具有强大的实体造型、曲面造型、虚拟装配产生工程图等功能^[11,14-15]。

(8)Blender,由荷兰 Blender 基金会开发,主要应用于三维包装设计、首饰设计、游戏模型、三维动画等领域,支持曲线曲面建模;开源的 3D 制作软件,可以下载 Blender 的源代码,对程序进行修改;集成了用于制作各种 3D 内容的工具套件;自带的虚拟现实开发工具;优势在于强大的材质贴图功能,使得模型更加逼真^[19]。

理论上讲,这些软件通过功能开发均可不同程度地应用于服装设计领域。

2.2 3D打印成型工艺技术

设计出模型之后,就是成型过程,工艺是决定成型效果的主要因素。当前主流的成型工艺有5种^[11]:选择性激光粉末烧结(Selected Laser Sintering, SLS),熔融沉积制造(Fused Deposition Modeling, FDM),激光固化(Stereo Lithography Apparatus, SLA),叠层实体制造(Laminated Object Manufacturing, LOM)和三维打印成型(Three Dimensional Printing, 3DP)。下文简要分析了前3种工艺原理、优缺点及其在服装中的应用案例,探讨第4种成型方式LOM可应用的潜能。由于3DP技术目前缺少实际应用案例,是否被应用到服装中无从考证,因此本文暂不介绍此技术。

2.2.1 SLS成型

SLS工艺多使用粉末状材料,在计算机的控制下,利用激光束根据分层信息进行有选择的烧结,一层完成后继续下一层的烧结,全部烧结完后去除多余的粉末,就得到烧结成型的零件^[11]。该技术的优点在于适用材料比较广泛,未经过烧结的材料可以循环使用以降低成本,尤其是材料价格较高时更能体现它的价值。缺点是工艺精度由颗粒的大小决定,颗粒越细微精度越高,反之就低^[20]。

目前SLS技术在服装中的应用较多,如设计师Jenna Fizel和Mary Haung于2011年用此技术3D打印出世界上第一款比基尼并在网上出售^[21];耐克公司在2013年打印出轻质的鞋板^[22],之后新百伦公司为一款运动员特制鞋子打印出了道钉^[23];纽约设计师Michael Schmidt和建筑师Francis Bitonti于2013年为名媛Dita Von Teese创作了一件3D印花裙^[24]。

对鞋底而言,由于没有非常高的精细度要求,因此该技术适用性较强;但对于衣服来说,目前SLS的颗粒大小还无法达到面料的精细度,因此用SLS打印出的服装还很粗糙厚重。

2.2.2 FDM成型

FDM工艺以热溶性丝材料为主,将丝加热熔化后,利用计算机控制打印喷头,根据截面轮廓信息将材料涂抹在工作台上,并快速冷却成一层截面,反复此步骤,最后完成实体原型^[11,25]。FDM成型工艺主要优点是加工过程没有化学处理,不需要树脂固化,机器和材料的价格不高。主要缺点是成型物件表面粗糙,需要二次加工再精细整理;同时,该建模结构与各向异性的表面形态对于沉积角度的依赖性很强,削切工艺参数

的确定也非常困难^[26]。

如前所述,以色列设计师Danit Peleg于2015年在打印其作品《红色夹克》时尝试使用了各种打印机^[6],但成型工艺均为FDM工艺输出。

2.2.3 SLA成型

SLA(光固成型)工艺是以液态光敏树脂为成型材料,通过计算机控制的激光束或者紫外光在光敏树脂表面进行扫描,每扫描一次使其固化成一层,每层固化完成后工作平台向下移动一个层高,层层反复来构建3D实体,是一种快速成型方式。采用这种工艺成型的零件,有较高的精度且表面光洁,但其缺点是可用的材料范围不宽泛,并且材料成本较高,另外激光器的价格不菲,导致零件的制作成本偏高^[27]。

2.2.4 LOM成型

LOM(叠层实体制造)工艺又称分层实体制造法,成型材料为被涂覆热熔胶的薄片,激光束按照分层CAD模型所获得的数据,将薄片一层层地切割成型并利用热熔胶把切片黏结在一起,去除多余的层片,然后通过热压或者其他形式将层与层之间黏结起来^[11,28]。这种分层实体制造法在加工过程中没有变形或相变现象,不需要后处理和支撑结构,适用于大部件的构建,更主要的是成本低。当然也有不足之处,薄片需要切割成型,切割下来的余片造成材料的浪费;另外成型实体精度不高,不适用于复杂的内腔结构建造^[20]。

由于LOM工艺成本低、安全坚固、效率高,非常适用于服装制版。在服装生产中,有些样板需要人工把原版在加厚的纸版中复制获得,而人工制得需要很多重复性工作,因此可以开发LOM叠层制造技术将CAD中的版型与3D打印机连接,输出加厚的纸样,省去了人工加工过程。

2.3 3D打印材料技术

3D打印的物质基础是材料,材料的多样性是实现打印应用多样性的前提。目前能被打印的材料已经有2000多种^[29],为了能清楚地熟悉成型工艺所用的材料特性,按照成型工艺技术将其分类并统计如下:

(1) SLS,微米级粉体,固态,如塑料粉末、蜡粉末、陶瓷粉末、金属粉末及复合粉体,还有高分子粉体材料如:尼龙(PA)、尼龙与玻璃微球的混合物、ABS、聚碳酸酯(PC)、聚苯乙烯粉(PS)^[11,29]。

(2) FDM,聚合物,固态,以热塑性材料为主,如尼龙(聚酯塑料)、ABS塑料、PLA塑料及铸造石蜡

等^[11,29]。

(3)SLA,光敏树脂,液态,如 Somos Next 材料,Somos WaterShed XC11122 材料、Somos19120 材料和环氧树脂等^[11]。

(4)LOM,薄层片材,固态,一般为涂有热熔胶的薄片材料,主要材料有纸质片材、陶瓷片材、PVC 薄膜、陶瓷薄膜等^[11]。

(5)3DP,粉料,固态,多为金属粉末、石膏粉末、淀粉粉末、塑料粉末,还有一些新型材料如复合材料、陶瓷及陶瓷金属混合物等^[11,29]。

目前,在服装行业中 3D 打印能够应用的材料很有限,主要有 ABS^[12]、TPE^[12]、尼龙或尼龙 12^[21]、PLA 塑料^[30]、TPU 92A-1^[31](热塑性聚氨酯)等。这些材料普遍缺乏传统面料的柔细,性质僵硬无弹性,难以达到传统面料的舒适性。

3 3D 打印技术在服装中的应用展望

3.1 3D 打印技术在服装中的应用瓶颈

如前所述,尽管 3D 打印技术在不断发展,且越来越多地应用于服装领域,然而,由于当前的技术还无法实现传统面料所具有的服用性能,服装款式造型因打印材料的特性受到一定限制,服装打印往往耗时过多,成本颇高,难以批量生产。因此,目前 3D 打印技术依然无法代替传统工艺,更适用于为个性化定制的服装设计服务。

3D 打印技术应用于服装领域中的主要问题可归纳如下:

(1)缺乏适用于服装设计的专业建模软件。当前,对服装进行 3D 建模主要采用现有通用性 3D 设计软件,通过改变其算法和模型进行服装模型设计。然而,服装产品有自身的特性,现有的通用设计软件在某些方面尚难以达到服装模型设计的需求,如:不能根据人体体型曲线特征设计出完整的一件衣服,一般都是设计出部件然后拼合到一起,再用后处理使其弯曲。开发专门的服装设计建模软件,为时尚设计师充分发挥想象力提供有力、便利的工具,是进一步促进 3D 打印技术在服装领域发展的迫切需求。

(2)需要更加精细的成型工艺。尽管已有诸多 3D 打印服装的实例,但其产品往往需要二次加工,如:进一步精细打磨或多个部件拼接,从而增加了工时和成本。此外,复杂结构设计是 3D 打印服装的重要优势,而实现复杂结构设计需要足够精细的成型工艺保

障。因此,进一步开发适用于具体服装穿戴特性的成型工艺,成为保证 3D 打印技术充分发挥其优势的关键。

(3)材料有待进一步丰富。在众多 3D 打印材料中,能用于服装打印的非常有限,且缺乏低成本的柔性材料,这是制约服装 3D 打印技术发展的最大的桎梏。现能应用于服装 3D 打印的材料,打印出的服装产品往往僵硬无弹性,缺乏细软度,不具备传统面料服用舒适性,而且价格很高。目前,尚未找到合适的材料来代替传统的服装面料。

3.2 3D 打印技术在服装领域的应用展望

尽管 3D 打印技术在服装领域的应用尚未成熟,但随着技术的发展,其仍具有较好的应用前景。

例如:可利用 3D 打印技术实现复杂结构设计,开发新的服装面料。可开发具有内部空洞结构的服装材料、防水透气的功能性材料,还可以在内部空洞结构中添加轻型材料,以减轻材料对身体的压力,并且获得更好的保暖性等。再如,可将虚拟试衣与 3D 打印相结合,做到真正的量身定做。虚拟试衣技术可扫描人体从而获得准确的人体参数;与 3D 打印建模技术结合,可利用这些参数直接生成打印模型;而打印模型可在虚拟世界里进行虚拟打印,并以三维方式显示人体的着装效果,最终通过调整生成满意的着装效果和打印模型,从而打印出量身定做且令客户满意的服装。

此外,3D 打印技术还可与其他科技结合,开发更加智能的功能服饰。未来通过在打印过程中嵌入感应器、电路和微处理器等智能设备,可实现服饰对环境的感应、决策和人体交互,真正实现服饰的智能化、功能化。

4 结 语

本文研究表明,尽管 3D 打印技术在服装领域有诸多应用案例,且在个别领域如制鞋和内衣打印方面已经具备了规模化生产的能力,然而,由于关键技术层面的限制,其在服装领域中广泛大规模应用依然存在诸多制约,主要体现如下:尚缺乏针对服装的专业建模软件,成型工艺的精细度尚无法满足要求,柔性打印材料也需要进一步开发。不过,随着技术的发展以及跨学科交融互通,3D 打印技术在服装领域中依然具有非常好的应用前景。



参考文献:

[1] 小呆.耐克推全球第一款 3D 打印足球鞋[EB/OL].(2013-02-

- 28) [2017-12-05]. <http://news.mydrivers.com/1/255/255985.htm>.
- [2] 朝晖.3D打印!阿迪达斯旗舰跑鞋3D Runner开卖;2 298元 [EB/OL].(2016-12-13) [2017-12-05].<http://news.mydrivers.com/1/511/511611.htm>.
- [3] 革命来临! Adidas联手Carbon量产新款3D打印运动鞋 [EB/OL].(2017-04-08) [2017-12-05].http://www.sohu.com/a/132585891_181700.
- [4] 3D打印翅膀现身2013维多利亚的秘密年度内衣秀 [EB/OL].(2013-02-28) [2017-12-05].<http://www.cnbeta.com/articles/tech/264244.htm>.
- [5] ALAN FARNHAM.New 3-D Printer Makes Ladies Panties by the Millions [EB/OL].(2013-11-12) [2017-12-05].<http://abcnews.go.com/Business/dimensional-printer-makes-disposable-panties/story?id=20856873>.
- [6] danit peleg 在家3D打印毕业作品. [EB/OL].(2015-07-28) [2017-12-05].http://www.designboom.cn/news/201507/danit-peleg-在家3D打印毕业作品_3419.html.
- [7] [设计师]美到窒息的3D概念时装——Iris van Herpen [EB/OL].(2015-10-02) [2017-12-05].<http://www.vccoo.com/v/f5d915>.
- [8] 3D Printing and Iris van Herpen's Biopiracy Fashion Show in Paris [EB/OL].(2014-03-07) [2017-12-05].<https://i.materialise.com/blog/3d-printing-and-iris-van-herpens-biopiracy-fashion-show-in-paris/>.
- [9] Michelle Starr.Robotic Spider Dress defends your personal space [EB/OL].(2014-12-22) [2017-12-05].<https://www.cnet.com/news/robotic-spider-dress-defends-your-personal-space/>.
- [10] aRks studio的3D打印比基尼究竟是什么鬼 [EB/OL].(2017-07-03) [2017-12-05].https://baijia.baidu.com/s?id=1571888853197899&wfr=pc&fr=app_lst.
- [11] 杨继全,郑梅,杨建飞,等.3D打印技术导论 [M].南京:南京师范大学出版社,2016.
- [12] Eddie Krassenstein.Airwolf 3D Presents "Sandy the Materials Girl" at CES with Fully 3D Printed Dress, Accessories, & Shoes! [EB/OL].(2015-01-05) [2017-12-05].<https://3dprint.com/34941/sandy-the-materials-girl/>.
- [13] Jimmy Wohl.MAKERBOT EXPLORERS | FRANCIS BITONTI'S NEW SKINS [EB/OL].(2013-09-06) [2017-12-05].<https://www.makerbot.com/media-center/2013/09/06/makerbot-explorers-francis-bitontis-new-skins>.
- [14] 吴怀宇.3D打印三维智能数字化创造 [M].北京:电子工业出版社,2014.
- [15] 蔡晋,李威,刘建邦.3D打印一本通 [M].北京:清华大学出版社,2016.
- [16] 余的的,张晔.三维动画软件的应用发展及其技术走势 [J].电子技术与软件工程,2017(13):65-67.
- [17] 郑少京,吕志强.主导3D打印技术的关键-3D建模 [J].办公自动化,2015(14):61-62.
- [18] 范葛芹,周荣生,卢其飞.基于Google SketchUp的数字化校园三维建模技术的研究 [J].软件,2017(1):53-57.
- [19] 张斌,陈春歌.Blender在虚拟现实领域中的应用 [J].计算机光盘软件与应用,2013,16(8):140-142.
- [20] WONG K V, HERNANDEZ A. A review of additive manufacturing [J].ISRN Mechanical Engineering,2012(2):30-38.
- [21] N12 3D-printed bikini by Continuum Fashion and Shapeways [EB/OL].(2011-06-07) [2017-12-05].<https://www.dezeen.com/2011/06/07/n12-3d-printed-bikini-by-continuum-fashion-and-shapeways/>.
- [22] NIKE DEBUTS FIRST-EVER FOOTBALL CLEAT BUILT USING 3D PRINTING TECHNOLOGY [EB/OL].(2013-02-24) [2017-12-05].<https://news.nike.com/news/nike-debuts-first-ever-football-cleat-built-using-3d-printing-technology>.
- [23] New Balance uses 3D printing technique to customize track shoes [EB/OL].(2013-03-08) [2017-12-05].<https://www.boston.com/uncategorized/noprimarytagmatch/2013/03/08/new-balance-uses-3d-printing-technique-to-customize-track-shoes>.
- [24] 3D-printed dress for Dita Von Teese by Michael Schmidt and Francis Bitonti [EB/OL].(2013-03-07) [2017-12-05].<https://www.dezeen.com/2013/03/07/3d-printed-dress-dita-von-teese-michael-schmidt-francis-bitonti/>.
- [25] 王春净,夏成宝.3D打印技术在航空制造领域的发展初探 [J].机械制造,2014,52(602):51-52.
- [26] ALBERTO B, LUANA B, FRANCESCO V. Finishing of Fused Deposition Modeling parts by CNC machining [J].Robotics and Computer Integrated Manufacturing,2016(41):92-101.
- [27] 冯春梅,杨继全,施建平.3D打印成型工艺及技术 [M].南京:南京师范大学出版社,2016.
- [28] 3D Printing Fashion Flop: the Parametric Sculpture Dress [EB/OL].(2014-01-09) [2017-12-05].<http://www.additivefashion.com/3d-printing-fashion-flop-parametric-sculpture-dress/>.
- [29] 邱海飞.3D打印成型工艺及其应用研究 [J].中国塑料,2016(11):76-83.
- [30] JENIFER H. MakerBot and Designer Francis Bitonti Collaborate on New Skins Workshop To Create Fabulous 3D Printed Dress [EB/OL].(2014-03-12) [2017-12-05].<http://www.businesswire.com/news/home/20140312006034/en/MakerBot-Designer-Francis-Bitonti-Collaborate-Skins-Workshop>.
- [31] Hannah Rose Mendoza.3D Printed Fashion Presents Dresses Which Are Actually Comfortable [EB/OL].(2014-09-25) [2017-12-05].<https://3dprint.com/16385/3d-printed-fashion>.