快速成型制造方法及其在纺织服装制造中的应用前景

马乾坤[a]，裴泽光[a,b]，陈　革[a,b]，骆祎岚[a,b]

（东华大学，a. 机械工程学院，b. 纺织装备教育部工程研究中心，上海　201620）

摘　要：近年来，以3D打印为代表的快速成型制造技术在诸多领域得到了广泛的应用。作为一种全新的制造方法，快速成型制造所具有的增材制造、极高的材料利用率、个性化制造、满足复杂结构的产品制造的特点，使其受到越来越多行业的青睐，具有巨大的发展潜力和广阔的应用前景。文章介绍现阶段比较成熟的几种快速成型方法，分析各方法的工艺原理、成型过程、所用材料以及所面临的发展瓶颈，此外，结合纺织服装制造的行业特点，分析了快速成型制造，尤其是3D打印技术在纺织服装制造行业的应用前景与所需要解决的关键技术。分析表明，新材料的研发和专用成型设备的研制是快速成型制造在各个行业得以更加广泛应用的前提，也是其在纺织服装制造行业得以应用的关键。作为一种新型的制造方法，快速成型制造与传统的制造方式的相互补充与融合是未来制造业发展的趋势。

关键词：快速成型制造；3D打印；新型制造方法；纺织；服装制造

中图分类号：TH16　**文献标志码：**A　**文章编号：**1009－265X(2014)02－0053－05

Rapid Prototyping Manufacturing Method and Its Application Prospect in Textile and Apparel Manufacturing

MA Qiankun[a], *PEI Zeguang*[a,b], *CHEN Ge*[a,b], *LUO Yilan*[a,b]

(a. College of Mechanical Engineering; b. Engineering Research Center of Advanced Textile Machinery, Ministry of Education, Donghua University, Shanghai 201620, China)

Abstract: In recent years, rapid prototyping manufacturing technology represented by 3D printing has been widely applied in various fields. As a brand new manufacturing method, rapid prototyping manufacturing is favored by more and more industries and has great development potential and wide application prospect due to its characteristics of additive manufacturing, extremely high utilization ratio of materials, personalized manufacturing and conformance to product manufacturing with complicated structure. This paper introduces several mature rapid prototyping methods in the current stage, analyzes technical principles of each method, prototyping process, materials used and development bottleneck, and meanwhile analyzes the application prospect of rapid prototyping manufacturing especially 3D printing technology in textile and apparel manufacturing and key technologies to be solved according to industrial characteristics of textile and clothing manufacturing. The analysis shows that the research and development of new materials and the development of special prototyping equipment are the premise of wider application of rapid prototyping manufacturing in each industry as well as the key to its application in textile and apparel manufacturing. Mutual complementation and integration of rapid prototyping manufacturing as a new manufacturing method and traditional manufacturing methods is the development trend of manufacturing in the future.

Key words: rapid prototyping manufacturing; 3D printing; new manufacturing method; textile; apparel manufacturing

收稿日期：2013－07－20

作者简介：马乾坤(1993－)，男，河南周口人，本科生，专业为机械工程。

通信作者：裴泽光，E-mail：zgpei@dhu.edu.cn

0 引 言

人类文明的发展是伴随着一次次的技术革命进行的，而工业革命是人类进行技术革命的集中体现。始于18世纪末期英国的第一次工业革命，以纺织产业的机械化为标志将工人从繁重的体力劳动中解放出来，极大地提高了生产效率；20世纪早期以亨利·福特将流动生产线用于汽车的生产为标志开启了第二次工业革命的序幕，自此批量生产开始为社会创造价值与财富。此时，第三次工业革命正在悄悄地到来。

英国《经济学人》杂志认为制造的数字化将是未来科技发展的趋势，智能软件、新材料、机器人、新工艺以及基于网络的服务将作为标志性技术共同推动第三次工业革命，而3D打印则会作为一种新的制造方式在第三次工业革命中占据举足轻重的地位[1]。3D打印，亦即三维打印，是快速成型制造方法的一种，伴随着3D打印产业的快速增长，以及3D打印技术在工程、航空、教育、医疗等领域的应用进展，以3D打印为代表的快速成型技术越来越多地受到人们的关注。

1 快速成型制造方法的分类

快速成型技术，又叫快速原型制造技术，是一种以现代CAD/CAM技术、激光技术、计算机数控技术、精密伺服驱动技术以及新材料技术为基础的集成制造方法。该技术的基本原理在于，通过计算机软件对待制造零件的CAD模型进行切片处理，得到零件每个截面上实体分布情况的参数，将这些参数通过计算机数控技术控制实体生成装置逐层生成实体，逐层生成实体的过程伴随着每层实体的堆积，从而制造出所设计的零件。根据快速成型制造过程中每层实体产生的方法不同，可以将快速成型制造方法分为立体光固化成型法、层叠实体制造法、选择性激光烧结法、熔融沉积成型法和三维打印。

1.1 立体光固化成型法

立体光固化成型（SLA-Stereolithography Appearance），又称立体光刻成型，已成为目前世界上研究最深入、技术最成熟、应用最广泛的一种快速成型工艺方法。它以液态光敏树脂为原料，通过计算机控制特定波长与强度的激光在液态光固化材料表面逐点扫描凝固，经过逐层的固化成型后便可以得到层层叠加的三维实体[2]。这种方法具有成型快速、自动化程度高、制造出的实体表面质量和尺寸精度高、能够加工结构外形复杂和传统加工方法难以成型的原型等特点。

立体光固化成型法的工艺原理如图1所示。首先由计算机软件将设计的三维CAD零件模型通过切片软件进行分层处理，液槽中充满液态光固化树脂材料，激光系统在计算机控制下根据分层后得到的该层实体分布信息在液态表面上扫描。当一定波长和强度的紫外激光束照射在液态光敏树脂上时，被扫描区域的树脂薄层迅速发生光聚合反应而由液态转变为固态，完成该层的固化后，未被扫描区域内的光敏树脂仍是液态。随后工作台下降一个层厚的高度，此时已固化好的树脂表面上又分布满一层液态树脂，用刮板将黏度较大的树脂液面刮平，然后进行下一层的扫描，新固化的树脂与前一层的树脂便牢固地粘接在一起，如此逐层固化直至完成零件最后一层的固化，便得到零件的模型。

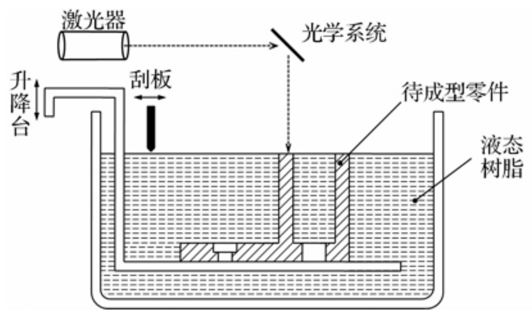

图1 立体光固化成型工艺原理示意图

当模型固化完成后，控制工作台从液态槽中升起，将实体取出后进行清洗，随后在强紫外激光下将部分未完全固化的树脂完全固化，以此得到充分固化的零件实体模型。

立体光固化成型法具有较高的自动化程度且适用于结构复杂的模型的制作，生成的零件模型具有较高的尺寸精度和表面质量，但较高的设备运行维护费用和光敏树脂材料价格、受到限制的材料使用种类，以及光固化过程中产生的污染和制件的变形，都从某种程度上限制了该技术的发展和广泛应用[3]。

1.2 层叠实体制造法

层叠实体制造技术（laminated object manufacturing，LOM）又称薄形材料选择性切割，是几种最成熟的快速成型制造技术之一。它使用成本低廉的纸材作为原型材料，而且可以获得具有较高精度和特殊品质的木质原型，在产品概念设计和模具行业得到了迅速而广泛的应用[4]。

层叠实体制造技术的原理如图2所示。首先，计算机通过切片软件对待成型零件的CAD模型进行分层切片处理，并得到模型在高度方向上的一系列横截面的轮廓线。计算机控制伺服驱动系统带动

材料送进滚筒转动，使纸卷转动并在激光切割台面上自右向左移动预定的距离，同时升降台上升至切割位置，由于纸的下表面涂覆有热熔胶和添加剂，新一层纸张在热粘压机构的加热和加压作用下与上一层纸材粘接在一起。激光切割器在该层纸材上切割出分层截面的轮廓线和长方形边框，并在轮廓区以外、长方形边框以内的区域切割成方形小网格以便成型完成后去除废料，当该层成型之后，降低一层纸材的厚度以便送进新的一层纸材进行粘接和切割，如此逐层粘接和切割直至整个模型的完成。

从系统中取出切割完成的模型后，将网格状废料手工剥离，并进行修补、打磨、抛光和表面涂覆等后置处理，从而得到具有一定表面质量和机械强度的零件模型。

层叠实体制造法利用的原材料价格便宜而使模型制作成本降低，且制件精度高、制作速度快，但不能用于塑料件的直接制作，同时制件的抗拉强度和环境适应性都不够高。

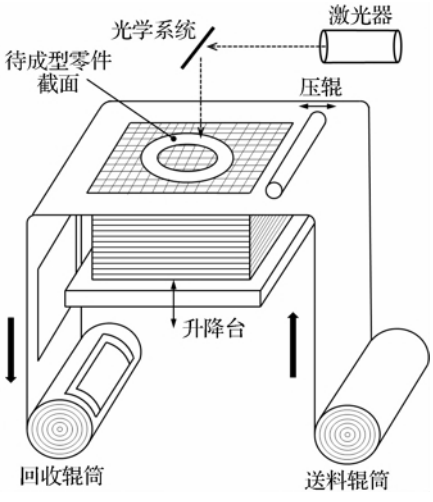

图2　层叠实体制造技术原理示意图

1.3　选择性激光烧结法

选择性激光烧结快速原型技术（selective laser sintering, SLS）又称为选区/选域激光烧结技术，该技术利用受控激光束在粉末材料上逐层扫描使其烧结或熔融后凝固形成三维零件原型制件，其特点是材料适应面广，不仅能制造塑料零件，还能制造陶瓷、蜡等材料的零件，特别是可以制造金属零件[5]。由于任何加热后粘度降低的粉末材料在理论上都可以作为选择性激光烧结的材料，因此该技术具有广阔的应用潜力和潜在价值，而新材料的研制是该技术得到广泛应用的关键。

选择性激光烧结快速原型技术的原理如图3所示。首先，由计算机的切片软件将待制作的零件三维CAD模型进行分层处理，得到一系列具有给定厚度的模型片层，然后将这些分层信息传输到快速成型机中以控制激光器的扫描。铺粉辊将粉末材料均匀地平铺在成型区域内，并通过红外线板将粉末材料预热至刚好低于烧结点的某一温度，随后控制系统根据该层的实体分布情况控制激光器逐点进行扫描，被扫描区域的粉末材料被加热到熔点以上，粉末材料熔化并与前一层已固化的部分粘接在一起，当该层扫描完成后，成型机构下移一个层厚的高度，重复进行铺粉、扫描、烧结、凝固的过程，如此逐层完成烧结之后，便完成了零件原型的初步制作。

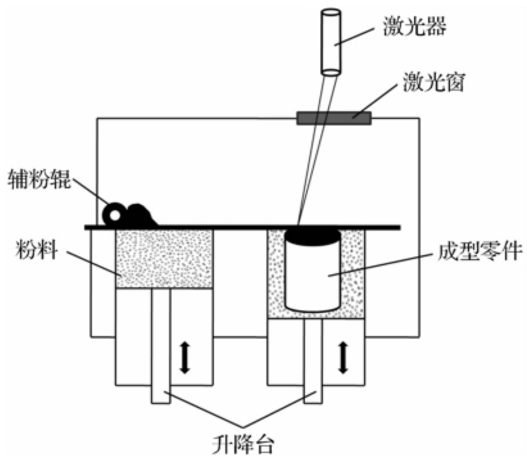

图3　选择性激光烧结快速原型技术原理示意图

当烧结过程完成且零件原型充分冷却后，利用空气负压将未参与烧结的粉末材料吸除后，将零件取出进行高温烧结和熔浸等后处理工艺后，就可以得到所制作的零件。

选择性激光烧结技术可以使用金属粉末、陶瓷粉末、塑料粉末、尼龙粉末等作为材料，大大扩展了快速成型技术的材料选择范围，而且生产的零件精度高、成本低，材料利用率高且烧结过程无需支撑，但该技术也存在着制件表面质量差、机械强度低、烧结过程有污染的缺点，且烧结过程对温度控制及烧结工艺参数的要求也极为苛刻，因此，目前制造出来的零件普遍存在着致密度、强度及精度较低、机械性能不能满足使用要求等一些问题[6]。

1.4　熔融沉积成型法

熔融沉积快速原型（fused deposition modeling, FDM）又称丝状材料选择性熔覆或熔丝成型，该技术利用喷头使热熔性材料加热融化，并在控制系统的控制下将热熔丝从喷嘴中挤出，选择性地涂覆在凝固部分的原型之上而形成制件，对热熔性材料的研制和系统运行中温度的控制是该技术的核心。

熔融沉积快速原型技术的原理如图4所示。将丝状原型材料和支撑材料分别缠绕在原型材料辊和支撑材料辊上,通过送丝系统将丝材分别送至喷头的原型材料熔腔和支撑材料熔腔内,由于喷头的前端装有电阻丝式加热器,丝材便被加热至熔融状态,然后通过喷嘴根据零件模型在该层的分部信息将原型材料和支撑材料选择性地涂覆在工作台上,原型材料和支撑材料分别与前一层的原型和支撑粘接在一起,并在两种材料之间形成原型的界面轮廓,该层成型完成后,喷头上升一个层厚的高度,进行下一层的涂覆,如此逐层循环涂覆之后,便初步得到零件的原型。

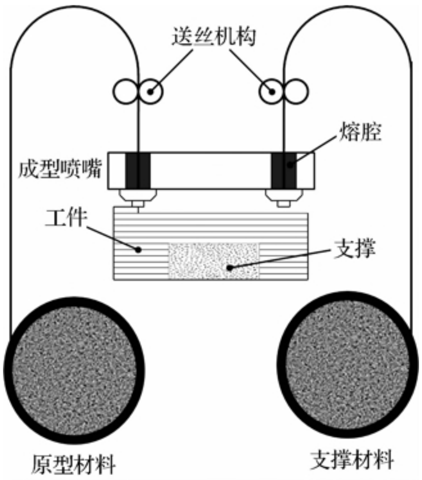

图4　熔融沉积快速原型技术原理示意图

当涂覆完成并将零件原型充分冷却后,去掉支撑材料并对零件表面进行处理,使原型精度、表面粗糙度等达到要求,便得到所制作的零件[7]。

熔融沉积快速成型技术具有系统结构简单、成型速度快、可以制作任意结构复杂零件、对环境无污染的优点,可以使用蜡丝、ABS塑料、尼龙及聚酰胺作为材料,但其所制作零件的表面有明显的层纹,垂直于层厚方向的机械强度较低,需要设计与制作支撑结构,材料的价格一般比较昂贵,约300～400美元/kg,而且制作的零件尺寸精度和表面质量不够高。

1.5　三维打印

三维打印(three dimensional printing, TDP)又称三维喷涂粘接,它的工作过程与喷墨打印机类似,首先铺粉或铺薄层基底,利用喷嘴按指定路径将液态粘接剂喷在预先铺好的粉层或薄层基底的特定区域,当一层完成后工作台下降一个层厚的高度,逐层处理后除去多余的材料便可以得到所需形状的制件[5]。

除了以上所述的快速成型方法之外,以直接光成型、数码累积成型、三维焊接成型、气相沉积成型、全息干涉制造为标志的其他快速成型方法也在飞速发展,不同于车、铣、刨、磨、钻等传统的材料去除的加工方法,快速成型采用了材料叠加的增材制造方法,不仅能够使材料的利用率得到极大的提高、基本上不产生废弃物,而且更能适应复杂结构零件的制作,同时更有利于实现产品依据客户的具体要求而制造。

2　快速成型技术及其在纺织服装制造中的应用前景分析

快速成型方法在改变了产品的传统制造方法,从而也将会带来制造业的一场变革。在传统的产品制造过程中,由于加工方法和加工机床的限制,需要将产品分成许多零件,然后通过装配将这些零件组成为具有特定功能的产品,因此装配占有十分重要的地位,装配的好坏,对产品的质量起着决定性的作用。而快速成型技术是根据零件的每层的截面情况进行材料堆积而层层叠加进行制造的,因此该技术将极大地减少产品中零件的数量,从而缩短甚至去除产品的装配过程和多道工序,实现从设计到产品的直接快速制造。近年来,随着快速成型技术的相对成熟,国内外已经开始了基于快速成型的免装配技术的研究,它利用快速原型技术来实现设计 、加工和装配一体化 ,生产工艺无需装配,从而大大降低生产成本、有效提高工作效率[8]。由于传统的制造方法生产产品的过程中伴随着大量零件的装配,而零件直接的衔接处又是产品最容易产生破坏的环节,快速成型技术通过减少零件的数量和装配环节,从而倾向于提高产品的机械性能和延长产品的使用寿命。

随着3D打印技术的不断发展,越来越多的产品能够使用3D打印技术来加工制造,而在巴黎时装周上亮相的3D打印服装预示着3D打印技术为服装制造业带来的改变。传统的服装制造要经历纺纱、织布、印染、裁剪、缝制等制造过程,而3D打印技术带来了令人难以置信的可能,精致的手工缝纫技术未来或许将被CAD三维模型所取代,把设计完成的服装模型输入到3D打印机里就可以快速得到设计的衣物,这也许会是一个从纺织纤维直接到服装产品的过程。

如果3D打印在服装制造中得到广泛的应用,那么它对传统服装制造业的改变是多方面的。首先,从纺织纤维直接到服装产品的制造过程大大缩短了服装的生产周期,实现了从设计到产品的快速制造,传统的服装制造工艺和大量的产业工人将会被一台台3D打印机所取代;通过计算机技术在纺织服装领域从图案设计、款式设计到生产制造、产品销售的全过程的应用,有利于实现生产过程信息的协同和共享,提高纺织品设计和制造的数字化水平,

使人工智能和自动化技术在生产过程中发挥更大的作用。同时消费者可以根据自己的喜好在计算机上设计服装的三维CAD模型，或者在服装CAD模型库里下载自己喜欢的服装模型，然后通过3D打印机生产所需要的服装，这将真正满足消费者的个性化需求、改变服装制造企业的大量产品积压在仓库的现状。此外，3D打印技术的几乎100%的原料利用率和环保节能的特点将会在服装制造过程中得到突出的体现，3D打印制造服装的过程将不会产生布料的浪费，因为这个过程根本就没有布料，是从纺织纤维直接到服装产品的过程，同时纺织和印染过程中的高污染和高耗能的状况有望得到改善。

然而3D打印技术要在服装制造业得到广泛的应用还需要更进一步的研究，这是由服装特殊的产品形态、所用原料、使用要求等鲜明的行业特点所决定的[9]。服装的原料包括天然纤维和化学纤维，通过将纤维制成纱线，再经机织或针织工艺制成面料，然后经过裁剪和缝制而成为服装。目前快速原型技术的原料主要为液态树脂、塑料、纸材、金属或陶瓷粉末、蜡、尼龙等，虽然尼龙可以作为纺织材料，且目前已经出现由快速成型技术制造的尼龙材料的泳衣[10]，然而它的性能决定了由尼龙所成型的衣物的柔性较差，不能满足传统衣物柔软舒适的穿着要求，因此适用于3D打印的纺织新材料的开发和现有纺织纤维的熔解是该技术在服装制造业中得以广泛应用的关键，适用于3D打印的纺织新材料或者现有的纺织纤维既需要适合于3D打印耗材的熔解、成型的要求，又需要能够根据不同的颜色需要进行调配适当的染料，同时达到纺织品的相关标准，满足人们对服装的柔软和舒适的要求[9]。3D打印制造服装需要专用打印设备以满足服装对于柔性和致密性的要求，同时需要开发与服装设计相关并可用于3D设备输入的服装三维模型设计软件以及与之相配套的3D人体测量技术。

在上述几种快速成型方法中，立体光固化快速成型过程中伴随着光聚合反应，这是树脂这类特殊材料所具有的特性，而层叠实体制造后处理过程需要手工清除多余的材料，较为费工耗时，对于纺织服装产品上的复杂的曲面结构，废料的剥离更为困难，不易于提高产品的生产效率和自动化水平；而且层叠实体制造出的产品在不同方向上的机械性能有显著的不同，更加限制了该成型方法在纺织服装产品上的应用，因此这两种快速成型技术很难在服装制造中得到应用。利用快速成型技术进行衣服的制作的可行技术主要为选择性激光烧结快速成型技术和熔融沉积快速成型技术，前者需要研制出能够进行选择性激光烧结的纺织材料粉末，或者使现有的纺织纤维适应于烧结成型，而熔融沉积快速成型过程与无纺布的制造过程相似，其关键在于寻找强度和手感均满足要求的可熔融处理的纺织丝材。由此可见，可应用于纺织品的快速成型材料是快速成型技术在纺织服装制造领域得以应用的关键。

3 结 语

快速成型技术自20世纪80年代后期以来得到了迅速的发展和广泛的应用，越来越多地受到各国政府和科研机构的重视并取得了卓有成效的成果，为制造业带来了全新的制造理念。它会不会取代传统制造业的加工模式，颠覆性改变制造业的生产方式。目前，快速成型技术尚处在发展阶段，许多关键技术和新材料的开发仍需要长久的深入研究，在诸多领域仍不能取代传统制造业的地位。快速原型技术有其先进的制造理念和全新的制造方法，然而传统的制造方式也有其优点，因此制造业未来的发展趋势是快速原型制造与传统制造相辅相成、相互补充与融合的过程，而不是快速原型技术完全取代传统的加工制造方式。

参考文献：

[1] The Economist. Manufacturing: The third industrial revolution [EB/OL]. http://www.economist.com/node/21553017, 2012-04-21.
[2] 王广春.快速原型技术及其应用[M].北京：化学工业出版社，2006.
[3] 翟媛萍，侯丽雅，章维一，等.光固化树脂在快速成型技术中的应用[C].新世纪全国紫外线防护与利用学术大会论文集.2001：141-143.
[4] 王广春，赵国群.快速原型与快速模具制造技术及其应用[M].北京：机械工业出版社，2004.
[5] 刘伟军.快速成型技术及应用[M].北京：机械工业出版社，2005.
[6] 潘琰峰，沈以赴，顾东东，等.选择性激光烧结技术的发展现状[J].工具技术，2004，38(6)：3-7.
[7] 赵 萍，蒋 华，周芝庭.熔融沉积快速成型工艺的原理及过程[J].机械制造与自动化，2003(5)：17-18，23.
[8] 钟 山，李国伟，吴家杰，等.基于快速成形的免装配技术研究[J].梧州学院学报，2011，21(3)，53-58.
[9] 吴 迪.服装可以3D打印[EB/OL].http://www.nynet.com.cn/news/63334.html，2012-12-25.
[10] 晓 婷(辑).3D打印比基尼泳衣问世[J].中国纤检，2011(14)：33.

(责任编辑：许惠儿)