

玻璃产品的 3D 成型方式及现实意义

郑勇

(天津工业大学, 天津 300387)

摘要: **目的** 将窑制玻璃产品从一般的历史性论述中分离出来, 将它置于技术和制作技艺过程中进行讨论。**方法** 对窑制玻璃融合成器的前期对相关的技术进行分析, 定量的对不同技术的优缺点进行了对比, 通过 3D 打印介入窑制玻璃“胎骨”方法进行论述和分析, 阐述 3D 对于窑制玻璃成型技术改进的积极作用。**结果** 通过对古法制器与 3D 技术进行比较分析, 证明 3D 制胎在窑制玻璃中显示出的该技术的绝对优势和难以比拟的优秀特质, 这对于现代窑制玻璃技术的普及有重要意义。**结论** 窑制玻璃在技艺上的进步和变革能促使玻璃艺术呈现出新的形态, 在现实生活中逐步发挥出自己的作用。

关键词: 窑制玻璃; 脱蜡铸造; 热弯曲; 3D 制胎

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2019)14-0018-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.14.004

3D Molding Method and Practical Significance of Glass Products

ZHENG Yong

(Tianjin Polytechnic University, Tianjin 300387, China)

ABSTRACT: The work aims to separate the kiln glass product from the general historical discussion and discuss it in the process of technology and production techniques. In the early stage of the kiln glass fusion device, relevant technologies were analyzed, and the advantages and disadvantages of different technologies were quantitatively compared. Through the discussion and analysis of 3D printing intervention with kiln glass "bone of tyre" method, the positive effect of 3D on kiln glass molding technology improvement was expounded. By comparing and analyzing the ancient glass making machine with the 3D technology, it was proved that the 3D tyre making technology showed its absolute advantages and incomparably excellent characteristics in kiln glass, which was of great significance for the popularization of modern kiln glass technology. The progress and reform of kiln glass technology can promote glass art to take on a new form and gradually play its role in real life.

KEY WORDS: kiln glass; lost wax casting; thermal bending; 3D tyre making

就传统玻璃在铸造工艺领域, 其产品形态无非是极为复杂或是极为简单的两种外在表现形式。随着艺术形式的发展、审美趣味的变迁以及当代哲学思潮的影响, 传统的铸造理念与当代复杂性的科学交叉共生, 在科技的渗透下, 技术不断介入玻璃艺术创作并融入了开放性与多样性的新鲜元素。过去的铸造之道, 突破了传统的范式与营造精神的制约, 开启了铸造样式多变而复杂的全新模式。诚如在这些模式中

3D 打印技术开启了玻璃艺术技艺的变革, 英国科学家 JunKamei 研究出 3D 打印服装的“Amphibio”方案; 荷兰首饰艺术家 Jonathan Boyd 利用 3D 技术打印出复杂多结构的首饰; 此外, 3D 打印汽车、陶瓷、漆艺等不胜枚举。3D 技术与艺术珠联璧合, 通过各种复杂性、错位、扭曲衍生、折叠、非线性的制器样式, 打破了传统制器几何形态固话模式的形式制约, 通过技术与器物技艺的结合创造出了产品非线性空

收稿日期: 2019-04-08

基金项目: 天津市艺术科学规划项目 (A18020); 国家艺术基金项目 (02040220161206317485)

作者简介: 郑勇 (1987—), 男, 天津人, 博士, 天津工业大学讲师, 主要研究方向为工艺美术。

间、动感塑性的外在体量与复杂流动的曲面的新造型，为新时期的玻璃制器之道注入了新鲜血液。在这些变革过程中，现代玻璃艺术在形式层面、设计层面利用3D技术走向了多元化和多样化的时期，传统制作技术也悄然发生了改变^[1]。

1 溯源——窑制玻璃及传统“胎骨”成型技术

1.1 窑制玻璃

玻璃也名琉璃，是一种特殊的物质，科学家们用“第四种状态”去界定玻璃的自然特征，即它不符合通常用来描述物质的三种状态——固态、气态和液态。玻璃材料并不是单质而是化合物（通常指钠钙玻璃），通常科学家用“类玻璃态”来描述玻璃。玻璃是一门铸造艺术，对母胎的要求极为严格，20世纪晚期，斯蒂文·温伯格等当代玻璃艺术家相继发声，透明、透光、多色的玻璃艺术渐渐被世人关注和认知。

从时间维度看，玻璃技艺萌芽于公元前5000多年前，以吹制玻璃为主。玻璃制品作为一种独立的材料在公元前2000年被广泛使用，窑制技术及其相关的工艺在美索不达米亚和埃及这两个文明地区应用得较为广泛。中国玻璃萌芽于3000余年前的西周玻璃制品，春秋战国时，已制造了7种颜色的玻璃。从西汉开始，玻璃作为用来制作日用品的材料。魏晋南北朝时期至隋唐时期，随着国外技术的传播，玻璃技术有了大幅提升，艺术和技术都达到一个新水平。清朝前中期是我国玻璃业发展的高峰，中国的工匠们创造了许多玻璃新品种。从空间纬度看，捷克、英国等国家的玻璃制作技艺都在世界具有较高水平。玻璃艺术在中国的发展相当缓慢，随着我国对物质文化遗产研究的重视，近几年清华大学美术学院、中国美术学院、上海大学等高校对窑制玻璃的重视逐渐让窑制技术成为中国玻璃工艺的星星之火，但烧成技艺还比较落后，因此，对技术的创新迫在眉睫^[2]。各种玻璃见图1。



a 伊斯兰玻璃（9-12世纪） b 意大利玻璃（公元2世纪） c 中国古玻璃（北燕） d 现代玻璃（王建中）
a Islamic glass (9th to 12th century) b Italian glass (2nd century) c Antique Chinese glass (North Yan) d Modern glass (WANG Jian-zhong)

图1 各种玻璃
Fig.1 All kind of glass

1.2 “胎骨”成型技术

窑制玻璃烧成技术落后症结于其制胎的复杂性，玻璃工艺兼有雕塑造型以及金属铸造特点的创作手段，是一种低效、缓慢、限制多的成型方法，从艺术的角度看，在特定的温度下窑炉的成型难以掌控，很难用视觉进行监控，缺乏即时反馈；从技术的角度看，在窑制玻璃技艺中一些主要的因素可以归纳为材料（固体玻璃）、温度、模具（胎体），这3个要素是玻璃艺术成型和完成的关键所在。材料为客观因素，温度为技术因素，模具是玻璃实践者的创作和作品成型的关键，因此，胎骨的优劣是一件作品成败的关键。虽然许多精美的玻璃给人留下了难忘的印象，但是复杂的制作模具和模型难度常隐藏于作品的背后。成型工艺可分为铸造工艺和热弯曲工艺^[3]。

1.2.1 铸造工艺

窑制玻璃胎骨铸造方法分为“阳模法”和“阴模

法”，铸造介质较多，最基础且常用的是脱蜡铸造工艺。脱蜡铸造与“失蜡法”有异曲同工之效，不同的是窑制玻璃应用得较为基础。脱蜡就是让包裹蜡型的石膏模具利用高温蒸汽进入模内，蜡受热后流出模具。制作胎骨过程中需要热熔掉蜡台的阳模，利用耐火石膏的阴模进行玻璃填料烧成。传统制作胎骨方法主要有两种，一种是完成胎骨的泥塑作品直接翻制石膏模型，再利用溶蜡或浇铸蜡模的方法制作成蜡模的胎骨，再翻制成耐火石膏模具，进行脱蜡处理后得到需要的阴模。一种方法是翻制硅胶模具，利用模具来制作蜡模的阳模达到重复利用的功效。铸造工艺（填料铸造、软化铸造、单一空洞铸造、失蜡铸造）见图2。

1.2.2 热弯曲工艺

热弯曲或者热熔工艺是利用玻璃在温度和重力的作用下弯曲下垂及玻璃在温度作用下表层产生延

展及融合成型的特征,热弯曲工艺拓印工艺(上)和覆盖见图3,主要的技法有拓印、下陷、覆盖、悬吊、

叠层、拼粘、碎玻璃粘合等,其中拓印和覆盖都需要用磨具进行塑型。

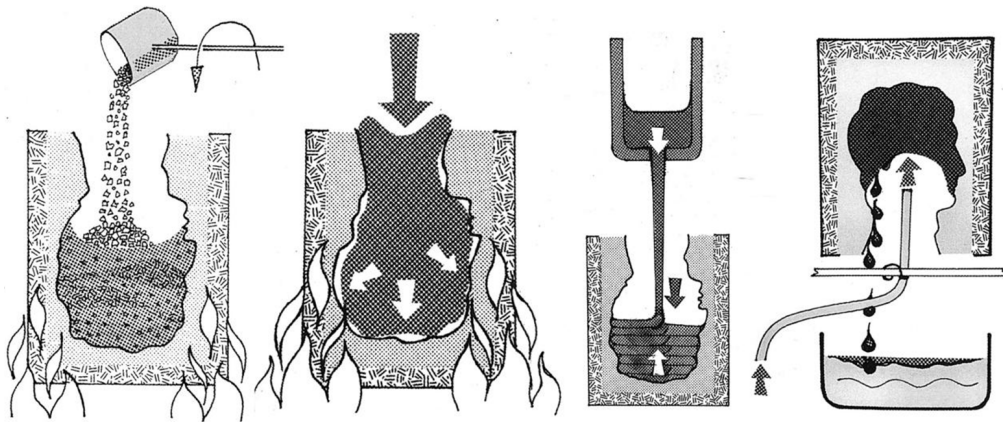


图2 铸造工艺(填料铸造、软化铸造、单一空洞铸造、失蜡铸造)

Fig.2 Foundry technology (packing casting, softening casting, single cavity casting, lost wax casting)

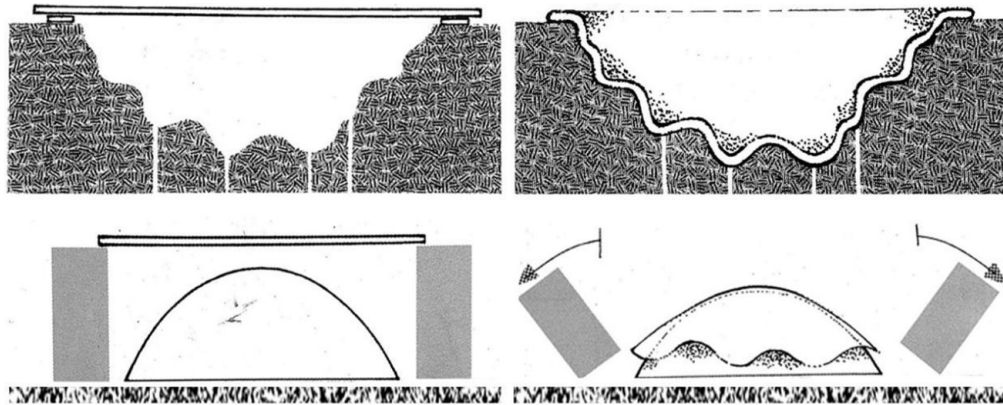


图3 热弯曲工艺拓印工艺(上)、覆盖

Fig.3 Rubbing process (upper) and covering of thermal bending process

1.3 传统工艺的弊病

从窑制玻璃塑型来讲,对胎体要求非常严谨细致,蜡胎成型后不允许反复修正。传统的制胎方法,石膏极易其容易破损且非常耗时耗力,尤其是大型产品的制作,作品的精度和成功率都会大打折扣。从制作成本的角度来说,一件窑制玻璃胎体的制作,从绘图到最后完工要经历几个月的时间,不管是时间还是人力都耗费了太多资源,使一件作品的成本大大增加,局限了玻璃艺术的设计和创意的实现,因此急需新技术来打破这一瓶颈。

2 3D 打印技术在窑制玻璃工艺设计中的运用

基于玻璃制作周期长、技术难度大、母胎精度要求较高等特征,传统泥塑技术在作品精度、对称性、视觉张力、作品的可变通性、易修改性等方面客观上达不到玻璃艺术品的需求,因此需要3D打印技术介

入来改变传统手制中出现的弊病。3D打印技术又称增材制造,是快速成型技术的一种,该技术通过三维建模设计出玻璃艺术品的蓝本,通过软件分层离散和数控成型系统,将三维实体部件经分层处理得到的二维截面信息,以点、线或面作为基本单元,利用激光束、电子束、热熔喷嘴等方式将粉末、热塑性材料等特殊材料进行逐层堆积粘结,最终叠加成型,制造出实体玻璃原型或者玻璃艺术品的部件。3D打印区别于传统的减材(如切削加工)和等材(如锻造)制造方法,可以实现传统方法没有办法或很难达到的复杂玻璃结构制造,通过3D打印技术建造出玻璃的阴模或者阳模或者蜡模,甚至是直接打印玻璃,是由三维打印机通过使用3D打印机喷头挤压材料经过齿轮传送装置对基本轮廓直接制造的过程。3D智能化打印技术的使用,能够克服人工制胎造成的误差,通过精准的技术水平达到准确而精美的产品实体,从始至终地,脱离误差的可能性,也同时实现了窑制从设计到成品一体化的规范,保证了3D打印玻璃不断设计创造的可能性^[4]。王建中作品见图4。



图 4 王建中作品
Fig.4 Works of WANG Jian-zhong

2.1 3D 打印玻璃基本成型法则

2.1.1 蜡膜打印

窑制玻璃的蜡模打印主要利用 3D 打印的光固化成型技术（简称 SLA 或 SL）主要是使用光敏树脂作为原材料，利用液态光敏树脂在紫外激光束照射下会快速固化的特性，光固化成型技术见图 5。光敏树脂一般为液态，它在一定波长的紫外光（250 nm~400 nm）照射下会立刻引起聚合反应，完成固化。SLA 通过特定波长与强度的紫外光聚焦到光固化材料表面，使之由点到线、由线到面的顺序凝固，从而完成一个层截面的绘制工作。这样层层叠加，完成一个三维蜡模实体的打印工作。打印出来的蜡模精度较高，超越了以前的纯模型，可用于标准熔模材料和铸造工艺的熔模铸造应用，是窑制玻璃后期失蜡铸造的前提条件。

2.1.2 耐高温石膏模 3D 打印

石膏胎是玻璃制造最重要的介质。耐高温石膏模型打印主要是利用三维印刷成型，又称为喷墨粘粉式技术和粘合剂喷射成型，3DP 打印技术使用的原材料主要是粉末材料，如陶瓷、金属、石膏、塑料粉末等。利用粘合剂将每一层粉末粘合到一起，通过层层叠加成型。3DP 设备在控制系统的控制下，喷粉装置在平台上均匀地铺一层粉末，喷粉打印头负责 X 轴和 Y

轴的运动，按照模型切片得到的截面数据进行运动，有选择地进行粘合剂喷射，最终构成平面图案。在完成单个截面图案之后，打印台下降一个层厚单位的高度，同时铺粉辊进行铺粉操作，接着再次进行下一次截面的打印操作。如此周而复始地送粉、铺粉和喷射粘合剂，最终完成三维成型件。和许多激光烧结技术类似，3DP 也使用粉床作为基础，但不同的是，3DP 使用喷墨打印头将粘合剂喷到粉末里，而不是利用高能激光来融化烧结^[5]。石膏模 3D 打印步骤见图 7。

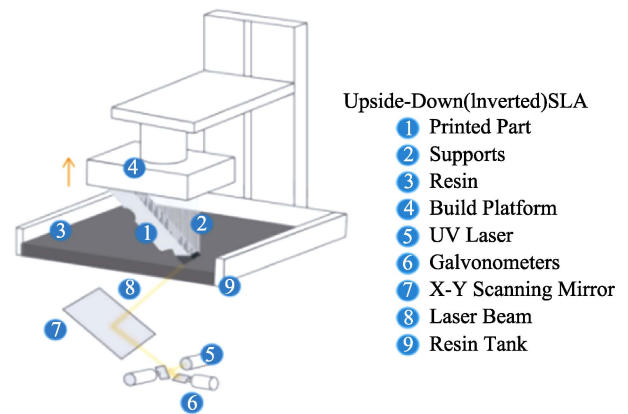


图 5 光固化成型技术
Fig.5 Stereo lithography appearance

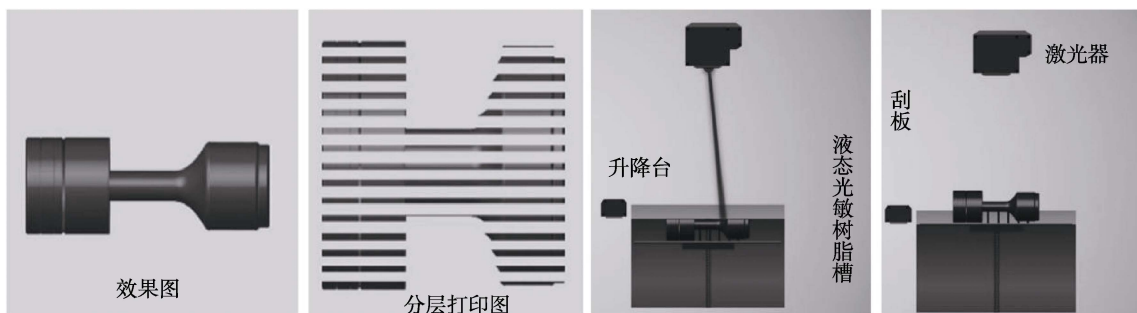


图 6 蜡膜打印步骤
Fig.6 The printing procedure of wax film



图7 石膏模 3D 打印步骤
Fig.7 The 3D printing procedures of plaster mold

2.1.3 3D 玻璃打印

3D 打印玻璃是玻璃艺术多变性的巨大技术革新，它源自于 NeriOxman 在麻省理工媒体实验室的 Mediated Matter 团队研发而来的 3D 打印熔融玻璃技术。3D 打印熔融玻璃的技术见图 8，这个基于麻省理工的研究小组制造出了一种可挤出熔融玻璃的增材制造机器，并将该项目命名为 G3DP。这个发明取法于 4500 年前古老的玻璃制造工艺，技术采用了古老工艺中缠绕玻璃条的方法，去掉核心模具，创造出了一种适合玻璃材质的 3D 打印技术。这种打印理念是把传统的玻璃产品制造技术与现代玻璃工业技术相结合，改变了玻璃产品的生产模式，并为未来玻璃

制品的应用创造了极大的潜能。G3DP 的设计基础是一种双层加热室，上层作融窑室，下层用于退火。其工作原理是打印机的顶部主要是一个小融窑，玻璃材料放在这个部分，当融窑达到一定的温度，大约 1900 华氏度（约为 1038 摄氏度）时，很容易将其中的玻璃融化。下面的打印部分是一个由氧化铝-锆石-硅制成的喷嘴，功能和常见的桌面熔融沉积成型 3D 打印机热端类似。熔融玻璃从融窑中流下来，通过喷嘴挤在一个制作台上，慢慢冷却变硬。如果想停止打印，只需用压缩空气降低喷嘴温度。熔融玻璃技术生产了一系列花瓶和碗，该工艺可以开发用于生产建筑外墙、照明装置和玻璃艺术品打印^[6]。

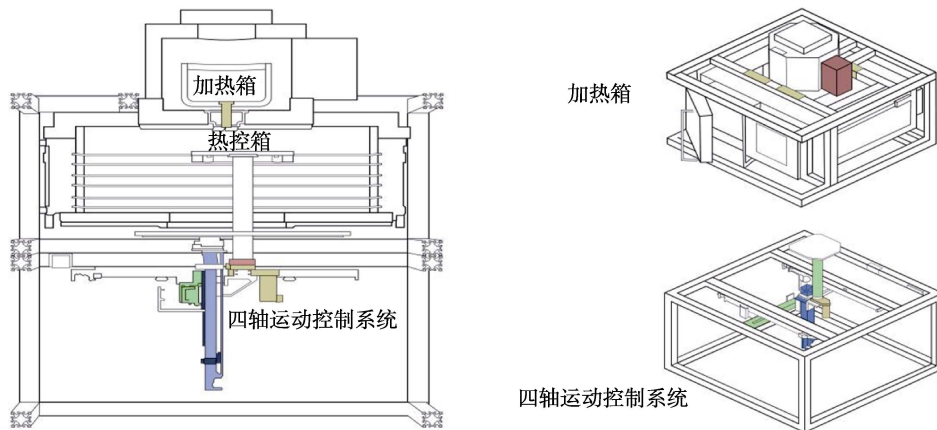


图8 3D 打印熔融玻璃的技术
Fig.8 The flown glass made by 3D printing technology

2.2 逆向成型法

窑制玻璃的 3D 打印过程中除了常规的打印胎骨的方法，还可以采用逆向设计法，其简称为 RE，又称反求工程，是通过对玻璃作品的小样进行测量仪测绘得到数据的前提下设计制作 CAD 模型。通过 3D 打印技术按照自己的比例进行模具的打印。通过逆向进行分析研究，能够方便得到物体功能特性等相关数据，用于新产品的开发，适合玻璃艺术单品性的特征，能够缩短实验周期，对于小批量的作品制作有极大的好处。3D 打印逆向成型法步骤见图 8，逆向成型法主要分成 4 个部分：三维模型、离散过程、堆积过程、

后处理过程。针对传统建模能力较弱问题，将逆向工程引入到“胎骨制作”环节，简单快速地完成玻璃模型的创建^[7]。

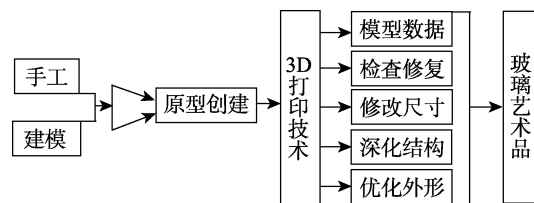


图9 3D 打印逆向成型法步骤
Fig.9 Reverse molding procedure by 3D printing technology

3 窑制玻璃 3D 打印介入意义

日本美学家竹内美雄曾说：“艺术是依靠技术性的活动时对美的价值的生产，是创造性的技术。”当 3D 打印制作出的玻璃艺术品展现在人们面前时候，就会散发出流光、生动、变幻的艺术效果，耐人寻味。毕加索也确信艺术能够引领时代的潮流，技术改变艺术。窑制玻璃多年来受到了技术的制约，很多艺术家的灵感难以实现，3D 打印技术与玻璃艺术的联袂势必可以让玻璃艺术在现代艺术中产生新的创造。

3.1 预见性——玻璃成型效果的预判

3D 打印技术通过数字化技术和三维建模技术，

将创作通过虚拟展示技术和光影技术真实地呈现出玻璃成品效果，能够改变传统窑制玻璃从二维到三维空间铸造过程的不可预知性，并且通过虚拟展示技术可以对玻璃制品的空间比例进行调整，能够技术性地完成一件完美的玻璃制品。打印技术一方面通过参数化设计开辟了巨大的设计空间，拓展了设计的自由度；另一方面通过设计制造的一体化、成型技术的柔性化等优势，可以直接制造出从前不敢想象的复杂形体。这个技术打破了几千年来眼看手做的传统玻璃铸造技术制约成型的速度和精度，更新了手造物创作范式，能够更深层次地挖掘器物之美^[8]，比如胡东方和郭晓燕的作品见图 10。



图 10 胡东方和郭晓燕的作品
Fig.10 Works of HU Dong-fang and GUO Xiao-yan

3.2 推动性——促进玻璃艺术的普及

现代玻璃艺术创作是通过作品来表达艺术家的情感和观念，技术上需要与时俱进，通过借助不同类型的方式以更加全新的姿态去展现出玻璃的美。3D 打印技术的接入，打破了技术的樊篱。让更多个性、创意、多样化以及艺术家思维概念通过虚拟技术表达出来，实现作品的可能性，这个过程中，人仍然是创作的主体。这个过程促使玻璃不是居于庙堂之上的艺术创作手段，而是人人可以触碰的艺术活动，能够推动玻璃艺术的发展。比如斯蒂文·温伯格，70 年代前后，基于条件显示他从事的是各种小单元拼接而成的就有内部空间的窑铸玻璃制作，90 年代，随着窑制进一步开始对玻璃的气泡成型甚至是颜色进行深入研究。时至今日他也通过虚拟技术探索作品的造型、肌理以及内部结构和预测作品的最终升腾路线。3D 技术介入改变了现代玻璃艺术发展及串座的方向，不断地更新了人们对窑制玻璃艺术的认识，这个过程中改变了玻璃艺术品的社会地位，让玻璃艺术涅槃重生^[9]。

3.3 泛众性——提高人美的审美

窑制玻璃技术在北欧国家是一种民众化的艺术

活动，基于技术原因在中国认知度较低，3D 打印技术符合时代潮流与趋势，在当下我们不能一味地坚持古法和传统制器的技艺而不求索创新与改变。我们应当更加正视其 3D 打印技术的历史地位和现世的价值。许多艺术家一致推崇艺术的精神境界，艺术家就要像布道者一样传播工艺理念，这个理念的传播不仅是艺术的本身，而且还要使用符合时代的工具，尝试新的技术，采用特殊的材料，要让 3D 打印技术更深入到玻璃、陶瓷、漆艺、纤维等工艺美术领域，打破千百年单一的技术手段和落后的生产方式。传统的东方审美最求“器以载美”，器物能够增添生活的情趣和质量。如果我们制作的艺术品都有极高的创作难度，他们只能居庙堂之上被束之高阁，不能够被大众使用是一种遗憾。由于人的一般本性表现于物质生活之中，随着物质生产的发展，它自然会在人类不同历史时代拥有不同的具体内容，呈现出变化的特征，因此，文化的发展要切中人的一般本性。套用胡塞尔的话来说，就是重返物质生活本身。3D 打印技术让更多的艺术品市场化、平民化，更多的产品被人们去使用。不仅是玻璃的本身，而是更多可以成为负荷道德和情感内容的产品^[10]，比如朱丽越作品见图 11。



图 11 朱丽越作品
Fig.11 Works of ZHU Li-yue

4 结语

玻璃工艺品的品质体现在生活的陈设中，每一件作品都停留着艺术家思维，容纳着创作思想。随着3D打印技术在铸造玻璃工艺中的不断发展，它的性能将得到进一步的发挥。更多深层次的文化底蕴和精神内涵在玻璃艺术品光怪陆离的视觉和光线舞动的线条中赋予其生活空间更多的剧情，简单奢华、晶莹剔透、意蕴悠远的玻璃艺术品和玻璃工艺品终将完成格调与品位的重新定义。现阶段3D打印技术在玻璃铸造中的应用还存在局限性，还没有达到全面普及的条件，因此，我们应秉持一个正确的立场，相信3D打印技术很快可以重新设定古人的密码，让窑制玻璃艺术再次重生，生产与创造出与时俱进、符合时代的产品，这对整个玻璃铸造艺术及相关行业有巨大的推动作用。

参考文献：

- [1] 张贤富. 3D打印对首饰个性化定制过程的重塑研究[J]. 包装工程, 2018, 39(12): 180—185.
ZHANG Xian-fu. Reshaping of Jewelry Personalization Process with 3D Printing[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(12): 180—185.
- [2] 周静, 邬烈炎. 现代玻璃艺术[M]. 南京: 江苏美术出版社, 2002.
ZHOU Jing, WU Lie-yan. Modern Glass Art[M]. Nanjing: Jiangsu Fine Arts Publishing House, 2002.
- [3] 赵辉. 浅谈琉璃失蜡空心铸造法[J]. 大众文艺, 2011(24): 349—350.
ZHAO Hui. Talking about the Lost Wax Hollow Casting Method of Glass[J]. Popular Literature, 2011(24): 349—350.
- [4] 何志明. 3D打印技术对产品的影响[J]. 包装工程, 2018, 39(10): 188—193.
HE Zhi-ming. Influence of 3D Printing Technology on Products[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(10): 188—193.
- [5] 邢小颖, 汤彬, 马运. 3D打印技术在石膏型精密铸造中的应用及工艺分析[J]. 铸造技术, 2018, 39(10): 2282—2284.
XING Xiao-ying, TANG Bin, MA Yun. Application and Process Analysis of 3D Printing Technology in Gypsum Mold Precision Casting[J]. Foundry Technology, 2018, 39(10): 2282—2284.
- [6] 王敏. 玻璃器[M]. 上海: 上海科技教育出版社, 2006.
WANG Min. Glassware[M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Education Press, 2006.
- [7] 毛毛. 快速成型在逆向工程中的实践应用[J]. 中国现代教育装备, 2016(21): 46—48.
MAO Mao. Practical Application of RP in Reverse Engineering[J]. China Modern Educational Equipment, 2016(21): 46—48.
- [8] 郑洪明. 立体主义艺术对现代设计的影响力分析[J]. 包装工程, 2009, 30(6): 179—181.
ZHENG Hong-ming. Analysis of the Influence of Cubism on Modern Design[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(6): 179—181.
- [9] 罗小成. 玻璃艺术创作中的几种时空观[J]. 上海工艺美术, 2011(1): 12.
LUO Xiao-shu. Introduction of Some Space-time Concepts in Glass Art Creations[J]. Shanghai Arts and Crafts, 2011(1): 12.
- [10] 党中华. 浅谈玻璃之美[J]. 现代装饰(理论), 2011(2): 245—246.
DANG Zhong-hua. On the Beauty of Glass[J]. Modern Decoration(Theory), 2011(2): 245—246.