



3D打印技术在金属文物复制中的应用*

——以中国国家博物馆馆藏鎏金铜观音造像、双兽首三轮盘的仿制为例

The Application of 3D Printing Technology in the Replication of Metal Relics:
Taking the Imitation of Gold-plated Bronze Guanyin Statue and Double Dragon Heads Three
Wheels Plate in the National Museum of China as Examples

张鹏宇

Zhang Pengyu

(中国国家博物馆, 北京, 100079)

(National Museum of China, Beijing, 100079)

内容提要: 出于展陈或文物保护的目的, 博物馆经常需要对一些具有重要价值的金属文物进行复制。本文以中国国家博物馆馆藏鎏金铜观音造像、战国双兽首三轮盘的仿制为例, 通过比较与复原实验的方法, 摸索出集3D数据采集、3D模型制作、3D打印、传统上色等一整套完整的工序, 成功地将3D打印技术融入金属文物传统复制工艺中, 更好地提升了传统文物复制的效率, 克服了不适宜采用传统翻模铸造工艺进行复制的难题。同时, 也为3D打印技术运用到金属文物修复中奠定坚实的基础。

关键词: 3D打印 3D扫描 3D建模 金属文物

Abstract: For the purpose of exhibition or cultural relics protection, we often need to replicate some important metal relics. In this paper, taking the imitation of the gold-plated Guanyin statue and the Warring States double dragon heads three wheels plate in the National Museum of China as examples, through the comparison and restoration experiment method, a complete set of processes including 3D data collection, 3D modeling, 3D printing and traditional skill of doing old are explored. The 3D printing technology is successfully integrated into the traditional metal replication process, which improves the replication of traditional cultural relics. The efficiency overcomes the problem that it is not suitable to use the traditional

* 本文为中国国家博物馆馆级科研项目“3D打印技术在文物保护修复中的应用研究”(项目编号: GBKX2019Y19)阶段性研究成果。



flip casting process for replication. At the same time, it also laid a solid foundation for the application of 3D printing technology to the restoration of metal relics.

Key Word: 3D printing; 3D scanning; 3D modeling; metal relics

一、引言

截至2016年10月31日，第一次全国可移动文物普查结果显示，我国可移动文物共计108154907件/套，按照普查统一标准登录文物完整信息的为26610907件/套（实际数量64073178件）。约有16%的可移动文物存在残缺或严重残缺的问题，其中1.81%腐蚀损毁严重，亟需修复^[1]。虽然文物保护理念和技术有了长足的发展，预防性文物保护也越来越被重视，通过控制环境可以预防、减少、减轻各种因素对文物保存带来的影响^[2]，但通常只能延缓它的腐蚀速度，而不能杜绝这一现象。因此，利用数字化技术记录其完整的信息，并在此基础上利用3D打印技术完成复制，尽可能还原并向观众展示其艺术价值、科技价值、社会价值、文化价值。另外，对于那些变形、腐蚀非常严重的文物，很难采用传统的修复技艺将其复原，为了展览的完整性或教育效果，经常需要利用数字化技术和3D打印技术，复制文物进行展示。出于文物保护的需要，一些对环境要求比较苛刻、保存状况较差的文物，也不宜展示原件，在展陈时需要展示这些文物的复制品。这些珍贵文物不适宜采用传统的翻模工艺进行复制。此外，对于缺损严重、纹饰精细的器物，采用传统的技艺进行修补既费时费力，又很难取得良好效果。因此，将3D打印技术结合三维扫描建模这种与文物零接触、打印精度高、耗时少的新方法运用到文物保护修复与复制中成为一项重要的课题。

二、3D打印技术在馆藏文物保护中的应用

1. 国外应用实例

2007年，罗马-日耳曼中央博物馆受保加利亚旧扎格拉地方历史博物馆委托，对一件拉普基特（Rupkite）附近遗址出土的6—7世纪的铁质头盔进行保护修复。头盔出土时都是碎片，腐蚀严重，非常脆弱，经过清理粘接后，于2010年采用结构光3D扫描技术对这件头盔进行扫描建模，结合3D打印技术、现代精密铸造技术和传统随色技术对其进行了复制。没过多久头盔原件就彻底腐蚀损毁^[3]。2008年，美国普林斯顿大学和阿克罗蒂里发掘队等机构合作开展阿克罗蒂里遗址破碎壁画的数字化及修复工作，设计了一套数字化系统，实现了碎片的虚拟拼接和修复^[4]。2009年，英国伯明翰博物馆与伯明翰大学珠宝设计学院合作，利用3D扫描、建模等方法结合图形处理软件，将3D打印与精密铸造结合，复制复原了一件变形严重、镶嵌宝石的馆藏黄金项链以及马修·博尔顿的半身像和烛台，用于展示展览^[5]。2009年，意大利保护专家利用三维数字化技术及3D模型重建技术，对皮埃特拉尼科地区一件在地震中破碎成多块的圣母玛利亚陶土雕像进行修复。通过模拟拼接，避免实物拼接可能造成的二次损害；在残留的彩色装饰痕迹的基础上，再现了雕像的原始色彩^[6]。希腊雅典大学信息与电信学院的乔治·帕帕亚诺等人采用曲线匹配、深度缓冲、区域映射、曲面匹配等技术，将破碎的文物在计算机中进行虚拟还原^{[7][8][9]}。



2. 国内应用实例

国内很多学者通过对3D打印技术应用于文物复制的可行性研究,使得3D打印技术结合三维扫描和建模技术应用于文物复制中,成品率高、仿真度高、耗时少、成本低^{[10][11][12]}。

依托文化遗产数字化保护与虚拟现实北京市重点实验室,故宫博物院与北京师范大学共同探讨了3D打印技术在文物保护领域应用中涉及的技术和方法。通过文物仿制、文物碎片拼接和残缺文物修复的典型实例,对利用三维扫描和3D打印技术开展文物保护的实际应用作了初步探讨,并对3D打印技术在文物保护应用中的不足和注意事项进行了分析^[13]。故宫博物院还利用计算机模拟修复、3D打印技术与传统金属文物修复技术结合,对馆藏辽代金属面具进行了修补复原^[14]。上海博物馆文物保护科技中心运用比较与复原实验的方法,采用三维扫描这种非接触式的文物信息采集技术,对上海崧泽遗址博物馆馆藏新石器时代的灰陶镂空陶豆进行复制,杜绝了复制工作给文物带来的二次损害^[15]。扬州博物馆举办的“花树摇曳,钿钗生辉——萧后冠实验室考古与保护成果展”上,展出了萧后冠原尺寸3D打印的树脂模型。

通过对运用3D打印技术修复文物过程的展示,提高观众文物保护的意识,加深对科学文物修复的理解。2016年,陕西历史博物馆举办了“巧手良医——陕西历史博物馆文物保护修复工作展”。在这次展览展出了一批高科技设备,并对馆藏文物鹿形金怪兽进行了复制和展示,复制品与文物原件难辨真假。3D打印技术逐渐融入文物修复过程中,提升了文物修复的效率。

三、馆藏鎏金铜观音造像、双兽首三轮盘的仿制

采用3D打印技术对馆藏鎏金铜观音造像、双兽首三轮盘的仿制工作是以中国国家博物馆馆藏文物3D数字化信息采集工作为背景,在对馆藏青铜爵这

类结构简单文物复制的基础上,尝试对鎏金文物或结构复杂的金属文物进行仿制,通过一系列实验,为3D数据采集、模型处理等标准的制定提供参考依据。同时,也为3D打印技术在更复杂文物复制中的应用进行探索。

鎏金铜观音造像为五代十国吴越时期佛教造像,高53厘米。观音头顶花冠,冠前正中为化佛,头微低,右腿抬起,置于石座之上,左腿自然垂落。右侧石座下置一净瓶。身后圆形背光,外缘上、左、右各饰一火焰。

双兽首三轮盘为春秋晚期青铜器,通高15.8、口径26厘米。由盘、三轮和双兽首组成,三轮盘敞口、浅腹、圈足,盘周饰编织纹,盘底装有三个可以转动的轮子,每轮有六根辐条,其中一轮上有回首双兽与圈足相连,兽首有冠,身饰鳞纹、三角纹等。

1. 数据采集与建模

在采集数据前,首先要确定标准,其主要参数是3D模型的精度、分辨率。为使3D模型数据更真实地反映文物细节,通常选择采用蔡司COMET L3D型号3D扫描仪。相比于常见的激光3D扫描仪、手持式3D扫描仪、关节臂式3D扫描仪,其优势有以下三点:第一,工作的安全距离较大,可以在距离文物近1米远获取3D数据;第二,精度高,是目前扫描精度最高的3D扫描仪之一,点云数据精度可达10微米级,模型精度可达50微米;第三,可根据文物的形貌、精细程度及体量等,选择不同的扫描镜头,高效获得文物的3D模型数据。

这件鎏金铜观音造像表面鎏金层保存基本完好,除局部少量锈蚀外,无尖锐突起,纹理、纹饰繁复,表面光滑;因此对它的数据采集就适当地降低了采集精度,分辨率0.1毫米,3D数据精度50微米。数据采集和处理建模共用时6.5小时。

双兽首三轮盘周身纹饰、双兽首纹饰均非常细密,纹饰纵截面棱角分明。扫描选择采用500万像素镜头进行3D数据采集,3D数据精度30微米。专业数据处理软件对获得的点云数据进行处理,获取初



始3D模型文件。由于三轮盘的三个轮子是可以滚动的，轮子与轴之间的间隙太小，内部结构信息无法采集。因此，在初步获取的3D模型中，轮子与轴是一体的，还需要用Geomagic Wrap软件对初始的3D模型文件进行处理，获得轮子可以自由滚动的3D模型STL格式文件。此外，鉴于之前的经验，对这件双兽首三轮盘的3D模型数据，我们对纹饰进行加深处理。

2. 3D打印模型

模型的3D打印工作选择使用斯特塔西公司生产的Objet500 Connex1型号3D打印机进行打印。这台打印机以光敏树脂为打印材料，采用多喷头打印技术，建模尺寸 $490 \times 390 \times 200$ 毫米，可以根据打印材料的不同，最小层厚精细至16微米，全尺寸精度达到200微米。鉴于本次仿制的目的是摸索3D打印技术与传统金属保护修复技术的结合与应用，考虑到时间和材料成本，我们选择刚性半透明树脂FC720（RGD720）作为打印材料，SUP705为支撑材料，打印层厚32微米。并在Objet Studio软件中，将鎏金铜观音造像模型文件等比例缩小至最长边30厘米进行打印，将三轮盘模型文件等比例缩小至最长边20厘米进行打印。

3D打印技术是一种“自下而上”通过材料累加的制造方法，斯特塔西打印机会在模型悬空位置下方自动打印填充支撑材料，与支撑材料接触的表面会呈现类似磨砂的质感。不接触支撑材料的表面则根据不同的需求，可以选择打印成光滑或磨砂的表面。因此，在打印前，首先要根据文物表面的形貌特点，在Objet Studio软件中设置3D模型的摆放方式，模型的摆放方式不仅决定了打印材料（更确切地说是支撑材料）的用量，更决定了模型的表面质地。虽然磨砂的表面可以后期打磨抛光，但无形中会增加很大的工作量。对于这件鎏金铜观音造像模型的打印，其正面非常光亮，且纹理细节比较多，从展示以及后期处理难易的角度出发，选择将模型正面向上进行打印，保证正面是光滑的，背部可以后期进行磨抛处理。对于双兽首三轮盘模型的打

印，文物表面生长有一层黄绿色的“贴骨锈”，磨砂的表面对后期的随色做旧处理更有利，因此只需要按照节省打印材料的摆放方式，并选择磨砂表面进行打印。

打印出模型后，彻底清除支撑材料，获得文物的3D模型。

3. 3D模型的随色

按照金属文物复制传统随色的方法，首先在3D模型表面喷涂一层浓度较高的酒精漆片，以利于后期着色。由于光敏树脂模型表面非常致密，喷涂的酒精漆片很难渗入树脂模型内部，因此要喷涂均匀，避免在表面形成流痕。

鎏金铜观音造像模型的做旧：第一步，待酒精漆片固化后，在其背面再喷涂一遍，这样原本类似磨砂的背部会变得与正面一样光滑，利于后续制作出鎏金的效果；第二步，用较低浓度的酒精漆片调和金粉进行喷涂，喷涂时也要注意均匀，避免形成流痕，多喷涂几次，每次均要在前次彻底固化后再喷涂新的一层，待彻底固化后用棉布反复擦拭，做出鎏金的效果；第三步，根据鎏金铜观音造像表面锈蚀的颜色特点，用浓度较低的酒精漆片调和矿物颜料，采用崩、点、涂、点泥做锈等方法对其进行做旧处理。

双兽首三轮盘模型的做旧：第一步，待高浓度酒精漆片固化后，用较低浓度的酒精漆片调和矿物颜料，在盘身表面崩出一层细密的贴骨锈层。第二步，采用点泥做锈的方法，根据盘身表面锈蚀特点，在贴骨锈层的基础上进行做旧处理。

在对文物进行3D数据采集、模型处理，获取高精度的3D模型数据的基础上，采用高精度、先进的3D打印机打印出文物的模型，再结合传统随色做旧工艺，对这两件相对较复杂的金属文物的复制是可行的。相较于传统的翻模复制，避免了传统工艺中模具、蜡型、铸件的多重收缩，能够最真实地反映文物的大小、形貌等特征。其缺点是质量太轻。

采用酒精漆片调和矿物颜料这种传统的随色做旧工艺在3D模型上进行做旧是可行的，附着效果良



好。3D打印技术具有与文物零接触、打印模型精度高、耗时少等优点。未来还需要从不同方向继续展开实验研究：形貌、工艺不同的金属文物如何复制

等；3D打印如何与现代精密铸造相结合；3D打印材料的性能及其老化特性等。

参考文献

- [1] 国务院第一次全国可移动文物普查领导小组办公室, 国家文物局. 第一次全国可移动文物普查数据公报[R/OL]. (2017-04-07) [2021-03-23]. http://www.ncha.gov.cn/art/2017/4/7/art_722_139374.html.
- [2] 詹长法. 预防性保护问题面面观[J]. 国际博物馆(中文版), 2009(3).
- [3] HEINZ G, LEHNERT U. Conservation of an iron lamellar helmet and creating a copy using 3D-Scanning and 3D-Printing[R]. Tagungsband der Metall ICOMM Working Group, 2013.
- [4] BROWN B J, TOLER-FRANKLIN C, NEHAB D, et al. A system for high-volume acquisition and matching of fresco fragments: reassembling theran wall paintings[J]. ACM transactions on graphics (Proc. SIGGRAPH), 2008, 27(3).
- [5] CANE S, CANE D, COOPER F, et al. Using laser scanning and 3D technology to document and reproduce museum artefacts [C/OL]// Metal 2013, the Triennial Conference of the International Council of Museums Committee for Conservation Metal Working Group, Edinburgh. <http://metal2013.org/sites/default/files/programme.pdf>.
- [6] ARBACE L, SONNINO E, CALLIERI M, et. Innovative uses of 3D digital technologies to assist the restoration of a fragment terracotta statue[J]. Journal of Cultural Heritage, 2013, 14(4).
- [7] PAPAIOANNOU G, KARABASSI A, THEOHARIS T. Segmentation and surface characterization of arbitrary 3D meshes for object reconstruction and recognition [C/OL]. Proceedings 15th International Conference on Pattern Recognition. Barcelona: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2000.
- [8] PAPAIOANNOU G, KARABASSI A, THEOHARIS T. Reconstruction of three-dimensional objects through matching of their parts[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2002, 24(1).
- [9] PAPAIOANNOU G, THEOHARIS T. Fast fragment assemblage using boundary line and surface matching [C/OL]. Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshop. Madison: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2003.
- [10] 张晓青. 3D打印技术应用于文物复制的可行性研究[D]. 北京: 北京印刷学院, 2014.
- [11] 刘杰, 孙令真, 李映. 3D打印技术在文物保护方面的应用[J]. 科技风, 2019(6).
- [12] 郭欢磊, 王聪华. 3D打印技术在文物保护方面的应用[J]. 电脑知识与技术, 2017, 13(29).
- [13] 史宁昌, 曲亮, 高飞, 等. 三维打印技术在文物修复保护中的应用[J]. 博物院, 2017(4).
- [14] 曲亮, 高飞, 刘建宇, 等. 现代科技与传统技艺结合的金属文物保护修复研究——以故宫博物院藏辽代金属面具为例[J]. 博物院, 2018(2).
- [15] 卜卫民. 3D打印技术在古代早期陶器复制中的应用[J]. 工业设计, 2018(5).