

# 佛山石湾陶瓷艺术的数字化保护及利用研究

范劲松, 安 军

(佛山科学技术学院工业设计与陶瓷艺术设计学院, 广东佛山 528000)

**摘要:** 文化遗产和艺术作品的数字化保护与数字内容应用是近年来国内外文化界和科技界的一个共同研究热点, 也是我国积极推动文化创新和文化产业发展的重要内容。为了更好地开展我国首批非物质文化遗产的佛山石湾陶瓷艺术的数字化保护工作, 研究了非接触式光学三维扫描设备进行表面反光的陶瓷作品三维数据扫描和形态整合的问题。同时研究了利用 HDR 技术进行陶瓷表面色彩纹理信息采集和复原的技术方法, 得到完整的陶瓷作品数字化模型, 达到了对文化遗产数字化保护和数字内容建设的目的。最后, 讨论和研究了文物数字化内容的宣传和推广方法, 并给出了实际应用的案例。

**关键词:** 数字化文物保护; 数字内容; 石湾陶瓷; 文化创新

**中图分类号:** TQ174.74 **文献标识码:** A

## 0 引言

随着现代信息技术的飞速发展, 如何利用现代科技手段来有效地保护文化遗产和艺术作品、最大限度地挖掘和提升文化遗产数据中蕴藏的价值, 是摆在人们面前的一个重要课题。党的十八大提出了“扎实推进社会主义文化强国建设”, 推动“文化产业成为国民经济支柱性产业”的战略目标。将科学技术的最新成果与文化创新发展相结合已经成为我国各级政府积极倡导和鼓励的重要方向。在这样的背景和形势下, 深入开展陶瓷艺术的数字化保护与数字内容利用具有非常积极的社会意义和应用价值。

## 1 石湾的艺术陶瓷

中国是陶瓷之国, 广东佛山是陶瓷文化的南国重镇, 佛山石湾陶瓷可追溯到距今五千年的新石器时代, 经过秦汉时期南北文化的交融, 石湾陶瓷广泛吸纳各方艺术形式, 取得了长足的发展, 到唐、宋形成了规模化生产模式, 在明、清时达到了空前的鼎盛时期, 所谓:“石湾之陶遍二广, 旁及海外之国”(屈大均《广东新语》), 为佛山赢得了“南国陶都”的美誉。建于明正德年间的龙窑“南风古灶”五百年薪火不绝, 至今仍烧出令世界称奇的陶艺作品。石湾陶瓷又称“石湾

公仔”(图1), 它题材丰富、形神兼备、栩栩如生。在创作技法上, 石湾陶瓷技法多样, 海纳百川, 作品具有胎壁厚、釉层厚, 其窑变釉的釉质腻如凝脂、厚重质朴、斑驳雅拙的特色<sup>[1]</sup>。这些独特的艺术风格和精湛技艺使石湾陶塑技艺被列入首批国家级“非物质文化遗产”名录(国发[2006]18号, 编号Ⅷ-3)。

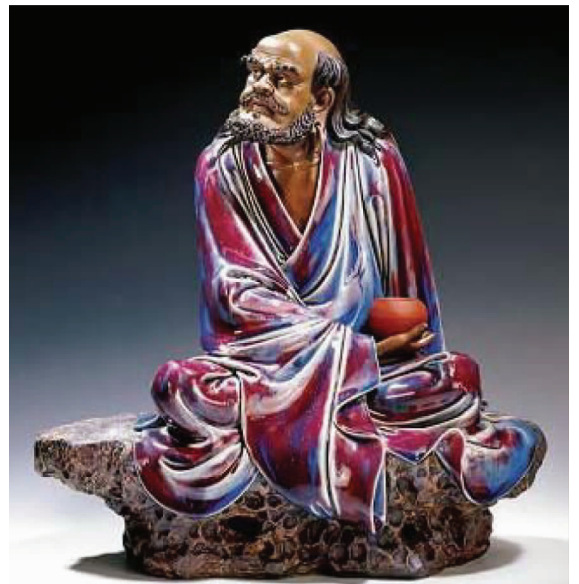


图1 石湾陶瓷艺术

Fig. 1 Shiwan ceramic art

收稿日期: 2015-01-26; 修回日期: 2015-10-10

基金项目: 广东省哲学社会科学“十二五”规划2011年度项目资助(GD11XYS04), 2013广东省高等学校高层次人才项目资助(粤财教[2013]246号), 佛山科学技术学院“创新强校工程”2015规划项目资助(佛科院科[2016]1号)

作者简介: 范劲松(1968—), 男, 教授, 1995年博士毕业于重庆大学。佛山科学技术学院工业设计与陶瓷艺术设计学院, 研究方向: 数字化文物保护, 数字图像处理, 艺术设计, E-mail: jackfan68@hotmail.com

目前,石湾陶瓷艺术和我国其他的文化遗产一样面临着在保护、传承和弘扬方面的严峻挑战。而且由于陶瓷文物的易碎性,以及近年来酸雨对陶瓷表面的侵蚀等问题,使佛山石湾陶瓷艺术的保护显得更加急迫和重要。同时,传统的展示方式难以有效扩大陶瓷艺术的传播范围和受众数量,难以与文化遗产主题内容相关的其他形式和类别的信息整合在一起,使传统文化的传播和研究受到了很大的制约。

## 2 文化遗产数字化保护与应用的研究现状

文化遗产的数字化保护及其数字内容建设是一个多学科交叉的新兴领域,已成为当今世界各国文化界的重要研究课题。各国学者和研究机构对文化遗产的数字化技术及数据利用方法开展了广泛深入的研究。其中具有代表性的研究成果有:美国加州斯坦福大学的研究人员于1999年在意大利的佛罗伦萨开展了一个名为“数字米开朗基罗项目”的研究课题,将7m高的大卫雕像用20亿个采样点以0.5mm的精度进行三维数据采集<sup>[2]</sup>;美国德克萨斯A&M大学的W. Yan, A. Behera等研究了高动态范围数字图像(HDRI)技术在古建筑文化遗产保护中色彩信息还原的应用;意大利ENEA研究中心的D. Abate等人于2011年对博洛尼亚城的中世纪博物馆中的雕像进行三维数据采集和处理,最后得到了可供远程观看的高精度渲染模型<sup>[3]</sup>;在国内,香港城市大学的S.-K. Chow等提出了一种针对中国紫砂器皿进行真实感三维重建的算法和交互式展示系统<sup>[4]</sup>;浙江大学计算机学院网络与媒体实验室在国家自然科学基金项目“多媒体与智能技术基础及艺术复原”的支持下,开展了敦煌文物的三维数字化扫描和复原<sup>[5]</sup>;秦始皇兵马俑博物馆研究室联合德国巴伐利亚州文物保护局于2007年开展了秦兵马俑遗址与文物的数字化保护工作,采用数字化全景拍摄和文物三维摄影的方式对古遗址和兵马俑进行了数据的采集<sup>[6]</sup>。

从目前的研究情况来看,在传统陶瓷文物的三维数字化扫描及重现方面,尚未见到令人满意的结果发表,尤其是在具有丰富肌理、表面特别光洁的窑变釉陶瓷方面研究应用;其次,由于目前三维数字化的扫描设备都是基于光学测量原理,对于表面反光性强的如陶瓷物体常出现采集数据缺失的现象,需要对其进行深入研究;另外,目前各国进行三维扫描重建的技术对物体表面色彩和纹理信息的复原效果不够理想,需要探索更好的技术方法来获取和重建

文物的表面色彩和纹理信息。

## 3 石湾陶瓷的数字化保护方法

陶瓷作品的数字化保护工作有着区别于其他物品的数字化的地方。首先,作为珍贵的文化遗产和艺术作品,在进行三维形态的数字化扫描时必须采用非接触式的扫描方式,以免对作品造成不必要的损害。目前的非接触扫描都是利用光学原理进行工作,对于反光的物体经常会出现表面空洞的数据缺失现象,这对于表面窑变釉厚、反光强烈的佛山石湾陶瓷来说,无疑是需要重点研究和解决的问题。另外,石湾陶瓷的表面纹理和色彩信息非常丰富,需要探索和研究如何将陶瓷表面的色彩信息准确复原到陶瓷三维数字化模型表面的方法。

论文作者及所在单位的研究人员通过长期的研究,探索出了一套适合陶瓷艺术数字化保护的完整方法,较好地解决了表面色彩信息丰富的陶瓷艺术作品在三维信息获取和表面色彩复原方面的问题,并在实际工作中得到了很好的应用。

### 3.1 陶瓷三维形态的扫描与重建方案

对于陶瓷文物的三维形态获取,可以采用目前在工程领域广泛应用的反求工程(Reverse Engineering, RE,也称为逆向工程)技术,它是指利用一定的现代科技手段和设备对实物或模型进行三维形态数据的采集,再把测量得到的点云(data cloud)数据通过三维几何建模方法重构实物的几何数学模型的过程。

在工程应用中,人们主要关心的是如果精确地获得实物表面形态数据,测量对象主要是工业产品、机械零件或者模型。如果这些测量对象表面反光强烈(如金属抛光面),可以通过对其表面喷涂哑光显影材料的方法来实现数据的完整测量,或者采用表面接触式的三维数据采集设备,而不用过多顾及是否会轻微损坏测量物体。

对于陶瓷文物的三维形态测量却不能按照上述工程领域中惯用的方法进行。众所周知,文化遗产是人类的宝贵财富,任何的保护手段和技术方法都不得以损害文物为代价。因此在陶瓷文物的数字化采集过程中必须始终保证非接触和非损害<sup>[7]</sup>。

根据文物的不可接触和不可移动性,采用了基于结构光反射的非接触式扫描仪——德国Breuckmann公司的smartSCAN3D扫描仪。由于佛山陶瓷表面具有釉质反光强的特点,如果直接对其进行数据扫描的话,得到的点云就会出现由于数据缺失而产生的空洞现象,如图2所示。



图 2 表面反光造成的扫描数据空洞

Fig. 2 Data holes caused by surface reflection

为了克服上述的缺点,在构建数据采集光照环境时采用了多组照明、多次扫描的技术方法,即在所有设备和测量对象完全不动的情况下,采用不同组别的环境照明,得到同一位置下多组测量数据。再利用相应的计算方法进行拼接处理,实现艺术作品三维数据的完整获取,其技术流程如图 3 所示。

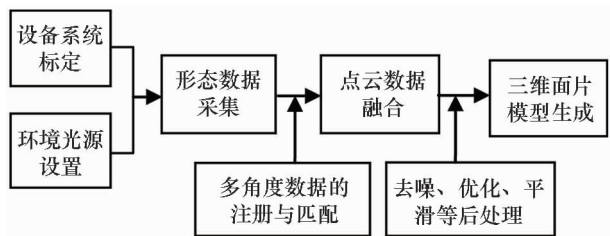


图 3 陶瓷三维形态的扫描与重建方案

Fig. 3 The 3D scanning and reconstruction method for ceramic artworks

在实际应用中以石湾陶瓷典型的达摩像和陶瓷茶杯为例,进行了三维的形态扫描与重建。搭建了如图 4 所示的光照环境,分别在文物的左前方和右后方、右前方和左后方放置两组灯光。由于灯光组 1 与灯光组 2 在空间位置上呈正交的状态,使物体在两种光照条件下的明暗差异达到最大。首先在打开第一组灯光的情况下对陶瓷物体进行三维扫描,

再在打开第二组灯光的情况下进行扫描。两次扫描过程中除了光线条件改变以外,其它参数一律不变,从而得到两组空间位置完全相同,但数据空洞出现的位置不同的点云数据(图 2、图 5)。

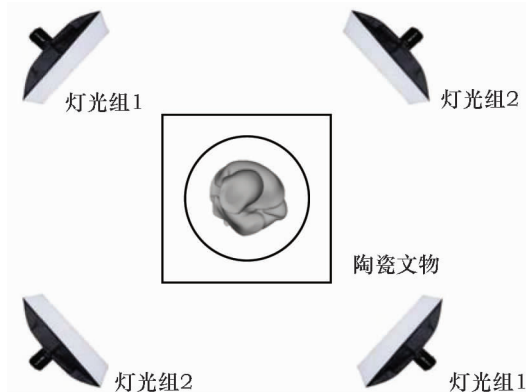


图 4 三维扫描中的灯光组布置方案

Fig. 4 The arrangement for lighting groups in 3D scanning process

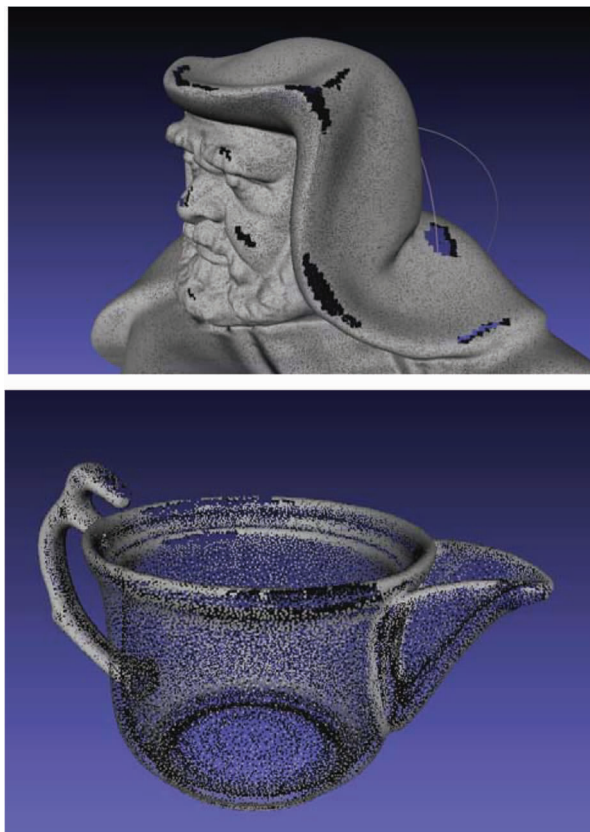


图 5 不同光源位置下的扫描数据空洞

Fig. 5 Different light location result in different holes

接下来要对这两组点云数据进行拼接整合,以使模型表面的点云空洞得到精确的填补。对于点云数据的处理可以使用开源软件 Meshlab。这是由意大利国家研究委员会 ISTI 下设的计算机实验室开

发的一个开源软件,可以在全球最大开源软件开发平台和仓库 sourceforge.net 等著名网站上免费下载使用。

为了使各组数据准确地整合到一起,采用了迭代最近点算法(Iterative Closest Point, ICP)<sup>[8]</sup>。ICP 算法的主要思想是通过最小二乘法迭代计算出两组点云集合对于标志点的匹配关系,即这两个点集之间的变换参数(旋转矩阵  $R$  和平移矢量  $t$ ),从而完成两组点云之间的匹配和对准。

按照上面提出的改变照明环境的方法,在两个不同照明组合下分别得到了两组点云数据,分别为点集  $M$  和点集  $N$ 。首先,在  $M$  和  $N$  中确定  $K$  组对标识点,以此作为初始条件,利用最小二乘法计算误差函数  $F$  的最小值(如下式),此时的旋转矩阵  $R$  和平移矢量  $t$  即为所求:

$$F = \min \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \| N_i - (RM_i + t) \|^2$$

ICP 算法简单,易于实现迭代计算,还能够实现较高的匹配精度,是一个有效的快速算法。在实际应用中可能会出现由于初始点给得不合适,从而导致局部极值而无法收敛的情况。因此在实际工作中,首先利用 Meshlab 的点云预处理功能,先将两组点云里的噪声点去除掉,然后分别在两组点云中的重叠区域内至少定义 4 组对应标识点。由于佛山陶

瓷以人物花鸟为主,形态特征非常明确,十分便于定义对应标识点。然后利用 ICP 算法进行迭代,直至误差函数  $F$  达到最小值。

图 6 是对多组数据进行整合后得到的完整达摩像和陶瓷茶杯的点云数据,避免了数据空洞的出现;在点云数据整合完成以后,可以利用 Meshlab 软件的曲面生成工具即可得到三维曲面模型。可以看出采用的方法完整地记录了陶瓷表面的形态信息,很好地实现了表面反光强烈物体的三维表面数据采集,在获得的模型中没有数据缺失现象发生。

### 3.2 陶瓷表面纹理信息的获取与真实再现

为了获得陶瓷作品表面高度清晰和色彩逼真的纹理信息,搭建了一个照明可控的照明环境,采用大幅面数字后背进行拍摄,并利用 HDRI(高动态范围数字图像)技术进行表面纹理信息的采集处理<sup>[9]</sup>。HDRI 是近年来数字图像领域的一个研究热点,较之于传统的数字图像,HDRI 能够记录更加丰富的色彩纹理信息,可以用来记录陶瓷表面高光 and 遮挡部位更加丰富的色彩纹理信息。

在图像数据的获取过程中,使用专业的色彩校正与管理系统(Eye One - XT)对采集的每一组图像数据进行 ICC 校正,使每一个单次曝光的数字图像都不会出现色彩偏差,从而保证了生成 HDRI 时图像融合的色彩准确性;然后利用三维模型表面网格点定义纹理坐标的方式,实现艺术作品表面色彩和纹理数据信息的完整重建,其技术流程如图 7 所示。

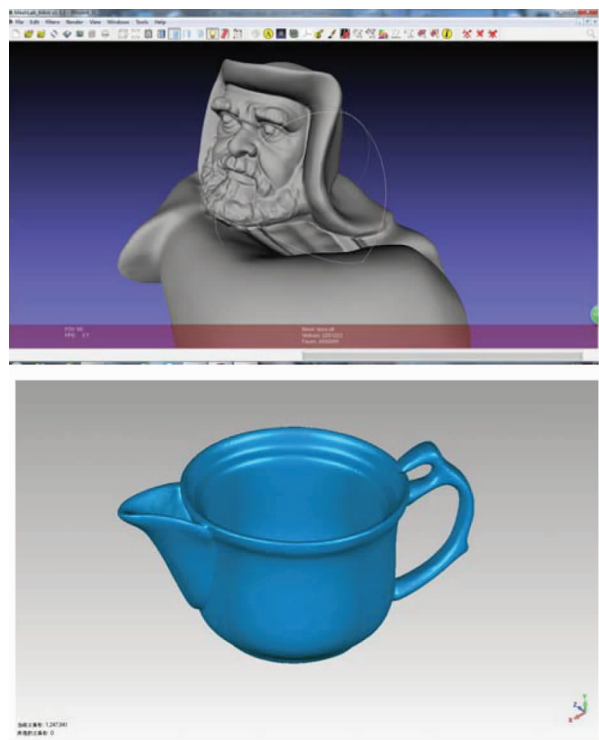


图 6 拼接完成后的陶瓷三维点云数据

Fig. 6 Point cloud data after integration

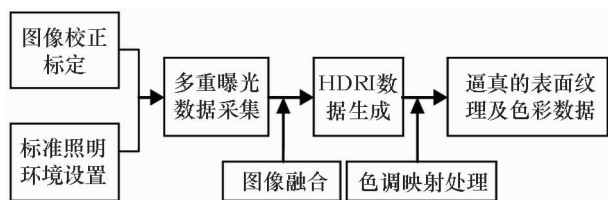


图 7 利用 HDRI 技术实现表面信息的完整重建

Fig. 7 The reconstruction of surface information with HDRI technology

在获取了陶瓷文物表面的纹理数据后,需要将纹理数据与三维模型在空间进行准确映射。为此采用了贴图坐标 UVW 展开的方法来实现纹理色彩与形态的一一对应(图 8)。左图为模型的 UV 展开后的坐标,右图为对应的纹理展开图。为了避免纹理图案变形的出现,需要把黑白棋盘格图像映射到模型上进行标定,然后再用最终的图像纹理替换。

图 9 是通过上述方法,将获取的色彩信息整合到三维扫描模型上的达摩和茶杯陶瓷作品的计算机三维模型渲染图。可以看出,通过上述技术方法还

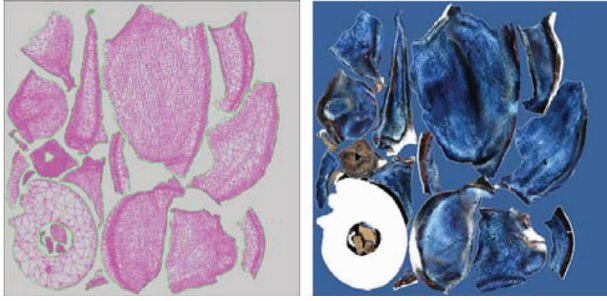


图8 纹理和模型的UVW展开

Fig. 8 The UVW coordinate for texture and 3D model

原得到的艺术作品数字模型在三维形态和表面色彩纹理都与原始作品达到了高度的一致,很好地实现了陶瓷艺术作品的完整数据采集与重建,达到了对文化遗产数字化保护的目的,为今后的历史文化研究和数字内容的宣传推广打下了坚实的基础。



图9 达摩陶瓷作品三维扫描重建后的渲染图

Fig. 9 Computer rendering image of 3D reconstruction model

#### 4 数字内容的应用与推广

一个完整的文化遗产数字化保护活动除了前期的数据采集、存储、管理和真实感模型重建之外,数

字内容的合理利用也是一个关键环节。良好的数字内容利用可以充分发挥现代科技的作用,最大限度地发掘和推广文化遗产的价值,使专家学者能够方便地进行研究,同时也使普通大众能够充分地欣赏和学习<sup>[10]</sup>。当今的互联网技术、虚拟现实技术及多媒体技术飞速发展,再加上移动媒体、多点触控等新型信息传播与操纵方式的出现,为现代社会的文化传播提供了崭新的途径。

在工作中充分利用了上述的信息技术,开展了一系列的传统文化数字内容的推广和宣传的实际工作,已经完成了佛山市文化遗产中心数据库的建设、建立并开通了佛山数字祖庙虚拟交互网站(网址:[http://www.fszumiao.com/zumiao/web/digital\\_zumiao/index.html](http://www.fszumiao.com/zumiao/web/digital_zumiao/index.html))以及在佛山祖庙博物馆内部建立了大型触屏展示系统(图10),使身处异地的人们都能够跨越时间和空间的限制,全面、完整地欣赏和研究



图10 佛山市文化遗产中心数据库(a),数字祖庙网站(b)和大型触屏展示系统(c)

Fig. 10 The center database of cultural heritage of Foshan(a), the website of Digital Ancestor Temple(b) and the large touch screen display system(c)

佛山的传统文化和陶瓷艺术,为传统文化的弘扬和宣传创造了崭新的途径和方式。

## 5 结 语

本研究为表面色彩纹理丰富且反光性强的物体扫描和三维重建提供完整的技术解决方法,对我国数字化文物保护(特别是传统陶瓷艺术)具有积极的推动意义和示范作用,为今后的专家学者研究佛山的石湾陶瓷文化提供有效的手段和途径,同时为人们保护、传承和弘扬我国传统文化艺术探索出崭新的道路。

陶瓷艺术及用品是我国传统文化的重要组成部分,除广东佛山外,江西景德镇、广东潮州、湖南醴陵、福建德化、河北唐山、浙江龙泉、山东淄博等地都是名扬中外的陶瓷艺术之都,拥有各具特色的陶瓷艺术佳作,同样面临着保护、传承和利用的问题。因此本研究成果和技术方法具有良好的应用前景和推广价值。

## 参考文献:

- [1] 钟汝荣,史 鑫. 石湾善陶:佛山"石湾公仔"[M]. 广州:广东教育出版社,2008:25-78.  
ZHONG Ru-rong, SHI xin. Excellent ceramic in Shiwan; Foshan Siwan art ceramics[M]. Guangzhou: Guangdong Education Press, 2008: 25-78.
- [2] Levoy M. The digital michelangelo project[C]// Proceedings of the Second International Conference on 3D Digital Imaging and Modeling, Ottawa, Canada. 1999: 5-8.
- [3] Abate D, Ciavarella R, Furini G, *et al.* 3D modeling and remote rendering technique of a high definition cultural heritage artifact [J]. Procedia Comput Sci. 2011, 3: 848-852.
- [4] Shu-Kam Chow, Kwok-Leung Chan. Reconstruction of photorealistic 3D model of ceramic artifacts for interactive virtual exhibition [J]. J Cult Herit, 2009, 10(2): 161-173.
- [5] 鲁东明,潘云鹤. 文化遗产的数字化保护:技术与应用[M]. 杭州:浙江大学出版社,2009:35-71.  
LU Dong-ming, PAN Yun-he. Digital preservation for heritages: technologies and applications[M]. Hangzhou: Zhejiang University Press, 2009: 35-71.
- [6] 王 婷. 文物真三维数字建模技术在秦始皇兵马俑博物馆中的应用——以一号坑陶俑为例[J]. 文物保护与考古科学, 2012, 24(4): 103-107.  
WANG Ting. Key scientific research base of ancient polychrome pottery conservation (Museum of The Terra-Cotta Warriors and Horses of Qin Shihuang) [J]. Sci Conserv Archaeol, 2012, 24(4): 103-107.
- [7] 魏 薇,潜 伟. 三维激光扫描在文物考古中应用述评[J]. 文物保护与考古科学, 2013, 25(1): 96-107.  
WEI Wei, QIAN Wei. Review on the application of 3D laser scanning in conservation and archaeology [J]. Sci Conserv Archaeol, 2013, 25(1): 96-107.
- [8] 刘 辉,王伯雄,任怀艺,等. ICP算法在双目结构光系统点云匹配中的应用[J]. 清华大学学报(自然科学版). 2012, 52(7):946-950.  
LIU Hui, WANG Bo-xiong, REN Huai-yi, *et al.* ICP algorithm for point cloud data matching in a binocular structured light system [J]. J Tsinghua Univ (Sci Technol), 2012, 52(7):946-950.
- [9] 范劲松,范彦斌,裴继刚. 高动态范围图像(HDRI)编码及色调映射技术研究[J]. 工程图学学报, 2010, 31(1): 124-128.  
FAN Jin-song, FAN Yan-bin, PEI Ji-gang. Studying on high dynamic range image encoding and tone mapping technology [J]. J Eng Graph, 2010, 31(1): 124-128.
- [10] Pedro Martín Leronés, José Llamas, Jaime Gómez-García-Bermejo. Using 3D digital models for the virtual restoration of polychrome in interesting cultural sites [J]. J Cult Herit, 2014, 15(2): 196-198.

## Digital preservation and content utilization of Foshan Shiwan ceramic art

FAN Jin – song, An Jun

(*school of Industrial Design and Ceramic Art, Foshan University, Foshan 528000, China*)

**Abstract:** Digital preservation of cultural heritage and artworks has become a common hot research area both in cultural and scientific communities all over the world, and it is an important part of the development of culture innovation and culture industry of our country as well. In order to get a better digital preservation of Foshan Shiwan Ceramic Art, which is among the first batch of national – class non – material cultural heritage objects in China, the process of 3D scanning of reflective ceramic surfaces with non – contact optical 3D scanning equipment is discussed. In addition, methods for acquiring and restoring surface textures were also studied, which allowed full reconstruction and preservation of cultural heritage object. Finally, a way to promote cultural heritage content digitally is also proposed, and a practical example is given.

**Key words:** Digital preservation of cultural heritage; Digital content; Shiwan ceramic art; Cultural innovation

(责任编辑 潘小伦)