

张雪雁, 郭金龙, 成倩, 等. 山普拉墓地出土眼珠的结构工艺研究[J]. CT 理论与应用研究, 2021, 30(2): 161-169. DOI:10.15953/j.1004-4140.2021.30.02.03.
ZHANG X Y, GUO J L, CHENG Q, et al. Study on the manufacture technical of eye beads unearthed from Sampula cemetery[J]. CT Theory and Applications, 2021, 30(2): 161-169. DOI:10.15953/j.1004-4140.2021.30.02.03. (in Chinese).

山普拉墓地出土眼珠的结构工艺研究

张雪雁¹, 郭金龙², 成倩^{3✉}, 王博², 雷勇¹

1. 故宫博物院, 北京 100009
2. 新疆维吾尔自治区博物馆, 乌鲁木齐 830091
3. 国家文物局考古研究中心, 北京 100013

摘要: 新疆和田地区的山普拉墓地位于古丝绸之路南线的洛浦县城西南 14 公里处。20 世纪 80 年代, 考古人员对山普拉墓地进行多次发掘, 其中玻璃珠类共计发现 1369 颗。本文主要以 X 射线 CT 技术为基础, 对其中具有典型性代表的 4 颗蜻蜓眼玻璃珠从玻璃眼珠的基体、眼部装饰、气孔和珠孔等方面进行了深入分析, 从而推测了最晚公元 4 世纪的历史背景下, 玻璃眼珠的制作工艺。

关键词: X-CT; 玻璃珠; 结构工艺

DOI:10.15953/j.1004-4140.2021.30.02.03 中图分类号: P 575 文献标志码: A

20 世纪 80 年代, 位于塔克拉玛干沙漠南缘和昆仑山北麓的和田地区洛浦县西南 14 公里处, 发现了大量的古代墓葬, 该墓葬群是新疆最重要的考古发现之一。山普拉墓葬群分布在昆仑山前的戈壁台地上, 主要分为两期, 早期为公元前 1 世纪至公元 3 世纪中期, 也就是中原西汉末期至东汉末期; 晚期为公元 3 世纪中期至公元 4 世纪末期, 处于中原的魏晋时期^[1]。山普拉墓地是古代于阗国的一个比较大的公共墓地, 于阗是丝绸之路南线上的重要的地区, 是当时的经济、贸易、文化交流的重镇。

墓葬出土文物类型丰富, 有早期陶器、木器、织物、装饰品珠饰、海贝、海螺、珊瑚珠等, 由于山普拉墓地位于内陆地区, 出土各类装饰品揭示了丝绸之路的商业贸易的繁荣景象, 同时也体现出和田地区是丝绸之路上一处重要的贸易交流驿站。玻璃珠在山普拉墓地中出土数量较多, 共 1369 颗, 颜色类型颇为丰富, 器型及装饰纹路也较为多样。本文主要研究“蜻蜓眼玻璃珠”(简称眼珠), 即以两个以上的眼睛形状作为装饰的圆形带孔珠子, 该遗址出土此类玻璃珠 21 颗, 本研究选取了 4 枚较为典型的蜻蜓眼珠对其进行结构检测和分析。

X 射线计算机断层扫描技术(X-ray computed tomography, X-ray CT)作为一种无损检测手段, 一直以来都广泛应用于医学和工业领域, 而在文物研究中的应用是近年来才发展起来的。故宫博物院在 20 世纪 80 年代开始使用 X 射线二维成像对文物样品进行检测^[2], 当时尚未有 X-ray CT 技术应用, 因此二维 X 射线成像在当时成为主要的探测文物内部结构

收稿日期: 2020-11-25。

基金项目: 国家自然科学基金(陆海丝绸之路出土玻璃制作工艺与产地的同步辐射应用研究(U2032130))。

的无损检测手段之一^[3]。

近年来由于 X 射线技术的发展, CT 技术已经可以扫描大部分的文物样品, 且由于 CT 技术具有高精度和三维定位的特性, 可以对物体的结构进行微米级甚至纳米级的测量和区分, 非常符合对文物结构的探索手段的需求, 可以认为在 CT 技术的辅助下, 科研人员将看到以前所不能看到的结构和缺陷信息, 将更多的猜测和较为笼统的语言描述变成现实的图片展示, 对于文物的科学价值研究和保护修复具有非常大的意义。

本文主要以 X 射线计算机断层扫描技术作为主要的技术手段, 对山普拉墓地出土的装饰品珠饰—眼珠作为研究对象, 对其工艺的流程顺序进行细致详细的揭示, 证实了古代眼珠的制作工艺。

1 方法介绍

故宫博物院在 20 世纪 80 年代开始使用 X 射线光管对文物进行成像拍摄, 主要研究对象为青铜器, 当时的成像方式主要是二维成像, 用胶片和显影液进行图像的收集和冲洗。X 射线 CT 检测系统是在 20 世纪 70 年代诞生的, 在当时仅用于医学疾病检测^[4-5], 而随着现在科技发展和交叉学科的应用^[6], CT 技术已经越来越多的应用在考古学领域^[7], 用于对文物内部结构、伤况的探测^[8-10], 这种无损探测内部结构的科技手段越来越受到国内外学者的关注。

本文实验是在上海光源的硬件基础上完成的。上海光源的 X 射线成像线站编号为 BL13W, 是首批运行的 7 条线站之一, 可以进行多种 X 射线成像^[11-12]。实验条件, X 射线能量 65 keV, 样品到探测器距离为 70 cm, 曝光时间 0.35 s, 图像像素尺寸为 $9\ \mu\text{m} \times 9\ \mu\text{m} \times 9\ \mu\text{m}$, 每组数据共计扫描 720~1 000 幅图像用于重建, 重建软件为 VG Studio Max 3.0。

2 样品简介

本文所选 4 个样品均为新疆山普拉墓地出土的蜻蜓眼玻璃珠, 编号分别为 S-2、SC-1、SC-4 和 SC-5。这 4 个眼珠外观看均是中心穿孔, 外壁附有眼睛形状的装饰花纹, 从外观上



图 1 和田山普拉墓地位置

Fig.1 location of the Sampula Cemetery, near Hohtan city



图 2 四件样品实物图

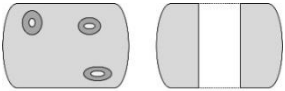


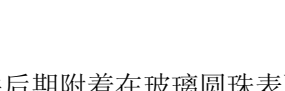
Fig.2 The pictures of four samples

看,这4个眼珠属同一类型,除眼珠的颜色不同外,器型均相似,样品图片见图2,样品信息见表1。

3 分析与讨论

编号为 S-2 的镶嵌式白色眼珠,周身分布有 6 处眼饰,每只眼睛都是由 4 个同心圆环组成,从内到外分别为钴蓝色、白色、浅黄色、白色;编号为 SC-1 的镶嵌式蓝色眼珠,周身装饰 5 只眼睛,其中 2 只为连体式眼睛,眼睛由 3 个同心圆环组成,瞳孔颜色为黑紫色,外部为红色和黄色;SC-4 号眼珠上面有 9 只眼睛,眼睛的颜色从内到外依次是蓝色、白色、蓝色,其中瞳孔为蓝色;SC-5 号眼珠上面分布有 7 个眼睛,眼睛部分是 4 层圆环嵌套型。本文将主要从玻璃眼珠的基体、眼部装饰、气孔和珠孔等方面进行详细分析。

表 1 样品描述
Table 1 The description of the eye beads

样品编号	名称	尺寸/mm	遗址时代	珠形图示
S-2	镶嵌式 白色眼珠	腹径 10.52~10.83, 高 7.35, 孔径 4.0	公元 3 世纪中期~4 世纪 末期	
SC-1	镶嵌式 蓝色眼珠	腹径 9.74~10.64, 高 9.5, 孔径 3.5	公元前 1 世纪中期~4 世 纪末期	
SC-4	镶嵌式 白底蓝色眼珠	腹径 10.56~12.22, 高 11.21, 孔径 3.97	公元前 1 世纪中期~4 世 纪末期	
SC-5	镶嵌式 蓝底黄色眼珠	腹径 9.75~10.59, 高 7.26, 孔径 3.52	公元前 1 世纪中期~4 世 纪末期	

3.1 基体

根据图 2 和图 3 所示,这 4 件样品的眼饰部分是单独制作并后期附着在玻璃圆珠表面,这个玻璃珠被称为“基体”。分别从图 3 眼珠横截面 CT 扫描图像上看出编号为 SC-1、SC-4 和 SC-5 的眼珠,其基体整体为均质玻璃。有趣的是,不同于前 3 件样品,S-2 号眼珠截面 CT 扫描图像显示,玻璃釉层下包裹了整个胎体,胎体区域颜色偏深,且疏松多孔,显示出材料的密度是低于表层釉质的密度。珠孔中心也发现一层薄薄的白色釉料,且层厚均匀。由于 S-2 眼珠的低密度胎体的内部和外部均发现有白色釉料层,且釉料成分均匀度较好,同时釉料厚度相对比较均匀,从而间接反映出该眼珠的制作很可能是在玻璃熔炉里内胎蘸取包裹玻璃质而成。

此种情况说明,在制作眼珠的过程中,工匠很可能为了节省材料降低成本而选择了一种折中的制作方式,即用比较廉价的材料制成珠

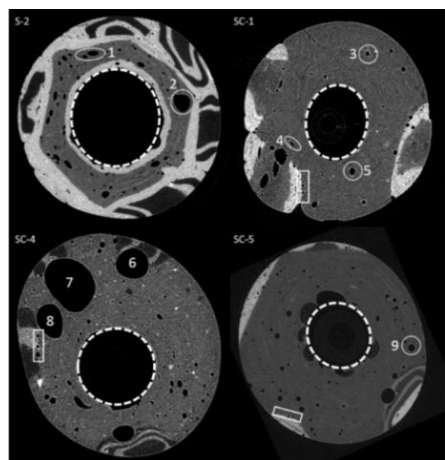
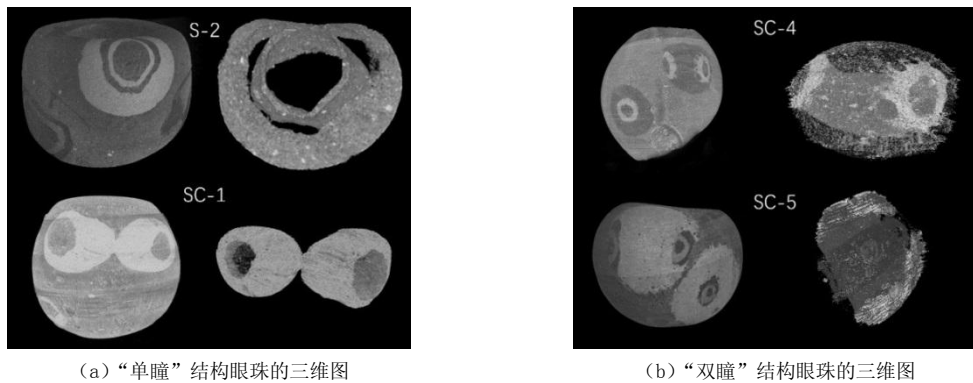


图 3 不同眼珠横截面 CT 扫描图像
Fig.3 The different cross section images with four beads

核，而用较为昂贵的材料进行涂覆，从而形成“貌似”均一材料制作的玻璃珠样式。由于在古代社会，玻璃属于较为昂贵的装饰物，丝绸之路上重要的贸易品，因此其原材料的价值也较为高昂。为了节省成本，工匠可以选择相对廉价材料作为内核，以玻璃釉质包裹，从而达到与玻璃珠同等的效果。

3.2 眼部装饰

在这 4 个眼珠中，可以看出眼部装饰花纹为嵌入式结构，经过外力挤压后嵌入珠体。将 4 个眼珠综合分析来看，眼珠的形状主要分为两种，一种是同一个眼睛装饰上有一个类似“瞳孔”的装饰，简称“单瞳”纹饰，第二种则是同一个眼睛装饰上分布两个“瞳孔”，简称“双瞳”纹饰。从图 4 中可以看出，编号 S-2 号眼珠和 SC-1 号眼珠属于“单瞳”结构，而其他两颗眼珠上面不仅有“单瞳”结构也有“双瞳”结构，“双瞳”结构仅出现在 SC-4 和 SC-5 号珠子上，而在其他两颗珠子上并没有发现。出现这种情况的原因，初步判断很可能是由于工匠们在制作时，由于失误或者故意造成眼部花纹的不同。



(a) “单瞳”结构眼珠的三维图

(b) “双瞳”结构眼珠的三维图

图 4 不同结构眼珠的三维图

Fig.4 Three-dimensional view of the structures of the different beads

通过图 4 的 CT 图像结果可以看到，在不同眼珠的三维上，“单瞳”和“双瞳”结构为镶嵌式。对两种眼珠结构进行提取发现，造成这两种情况出现的原因可能是两种不同结构在珠体上的放置方式上的区别，简单认为，“单瞳”结构为竖直放置，“双瞳”结构为横向放置。放置方向的不同导致了眼睛成型结构的区别，从而影响外观效果。

3.3 气孔

编号为 S-2 号眼珠的低密度内核中，有大量的气泡存在，在图 3 的 CT 扫描截面图像上显示为一个大小不等的孔状。气孔分布不均，形状各异。从气孔的形状可以看到，气孔变形是有规律的，并不是无序变化。气孔形状主要分为 3 种：圆形、椭圆形和不规则形。圆形气孔主要存在于玻璃珠体或胎体中，以及周围没有眼睛装饰的部位；而在有眼纹装饰的局部区域，气孔多呈椭圆形，其气泡的长轴方向垂直于受力方向；不规则形气孔则因为大多数气泡位于两个眼睛装饰区域的中间。

出现气孔形状各异的原因主要是由于眼珠中眼睛状花纹是镶嵌制成的，在镶嵌过程中，需要对眼部装饰进行挤压。受到外力挤压后，基体内原有的气泡会被直接影响导致变形。

统计研究发现椭圆形和不规则形状气孔很可能是由制作过程中，工匠镶嵌眼部至玻璃珠体造成人为挤压形成的。

当气孔位于没有眼睛装饰的部位时，则为圆形气孔，如图 3 中 3 号、5 号和 9 号气孔所示；当受到一个方向的力时，气泡截面的形状由圆形变为椭圆形，如图 3 中 1 号和 4 号气孔所示；而当受到两个方向的力时，气孔的形状挤压为不规则形状，如图 3 中 2 号气孔所示。根据气孔的形状可以判断珠子成型时的受力方向，该方向决定于眼部压进珠体本身时的方向，即气孔变形如果为椭圆形，则挤压方向是与椭圆的长轴垂直的方向，而当有两个方向的力进行挤压时，则气孔变形是由不同方向的力同时挤压形成。

此外，在眼睛与珠体接触的部分多有一排较为密集的气孔，这一排气孔的位置说明眼睛的制作顺序是在胎体成型后镶嵌在上面的，在制作时由于胎体已经成型，眼珠镶嵌时会引入空气，从而在接触面形成密集气孔，如图 3 中方框所示。同时由于空气引入不均匀，因此气孔的大小不均，此种情况可见编号为 SC-4 眼珠中的 6 号、7 号和 8 号气孔。

通过分析 CT 扫描基体气泡截面图像中的气孔的形状，可以印证，眼部纹饰是通过单独加工后切面，并将薄片通过按压的方式镶嵌入熔融软化状态的玻璃基体，与其融为一体。

3.4 珠孔

在本次研究的 4 个代表眼珠，其珠孔在图 3 中显示都为近似圆形。根据资料^[13]显示，在古代珠子的制作方式多为使用金属棒进行穿孔制作。在编号为 S-2 的眼珠中，珠孔呈圆形，且珠孔内壁有类似表面釉层的釉料存在，这种情况也进一步说明了 S-2 号眼珠在制作时，很可能是内核先周身包裹玻璃质，后通过金属棒穿孔制作（图 5）。

在 SC-1、SC-4 和 SC-5 号眼珠中，珠孔内部并无内胎存在，且内部材料成分均一。3 个眼珠的珠孔形状都近似为圆形（图 3），尤其在 SC-5 号眼珠中，珠孔边缘还有一些并不平整的凹陷或者凸起，但可以拟合成一个近似的圆形，这可以推测出截面为圆形的金属棒很可能在公元 4 世纪就是玻璃珠制作过程中的重要工具。

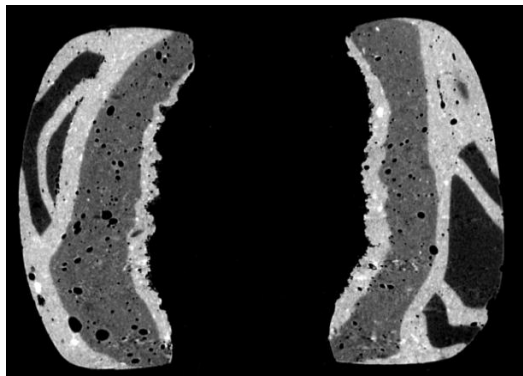


图 5 S-2 号眼珠纵向截面图^[14]

Fig. 5 The longitudinal cross section of the bead S-2

4 讨论

通过对山普拉墓地出土的 4 个眼珠进行分析和总结，发现在古代制作眼珠时，仅针对眼珠的形状区别可能有两种，一种为正常的与蜻蜓眼类似的样式，另一种则为文中发现的同一处眼饰上面分布两个瞳孔的眼珠样式^[15-16]。但本文仅讨论此种由单一同心圆环所制作形成的眼珠。在 CT 扫描结果对其进行分析后，这两种不同样式的眼珠其制作工艺存在不同。

眼珠起源于公元前 14 世纪的埃及，主要纹饰为“眼睛”，在当时，西亚人认为眼睛

是神人眼睛的象征，具有无穷的力量，能驱恶辟邪，是神圣的象征。为了使眼睛更为形象并接近人眼，眼睛多用浅色和深色交替制作而成，浅色多为白色。随着东西方文化的交流，眼珠逐渐从西方传入了中亚地区^[17]。

根据本文中对眼珠不同部位的 CT 结果分析，可以初步断定眼珠的制作工艺顺序，图 6 为眼部工艺流程图。首先，以 S-2 眼珠为例，将不同颜色的熔融玻璃料按照深蓝色-白色-黄色-白色的顺序，由内至外层层包裹，回炉复烧至融合形成同心圆柱形。在冷却硬化后下，将同心圆环切成薄片或小段，将这些小同心圆环在玻璃珠基体熔融状态下，通过挤压嵌入进眼珠的胎体中从而形成眼睛样式的装饰。眼睛部分的装饰则分为两种制作方式，第一种为同心圆薄片横截面贴合玻璃珠基体表面放置；另外一种则为同心圆环纵向面贴合珠体放置，从而形成类似样品 SC-5 中的一处眼饰两个瞳孔的花纹。待玻璃眼珠逐渐冷却后，眼饰与珠体融为一体。

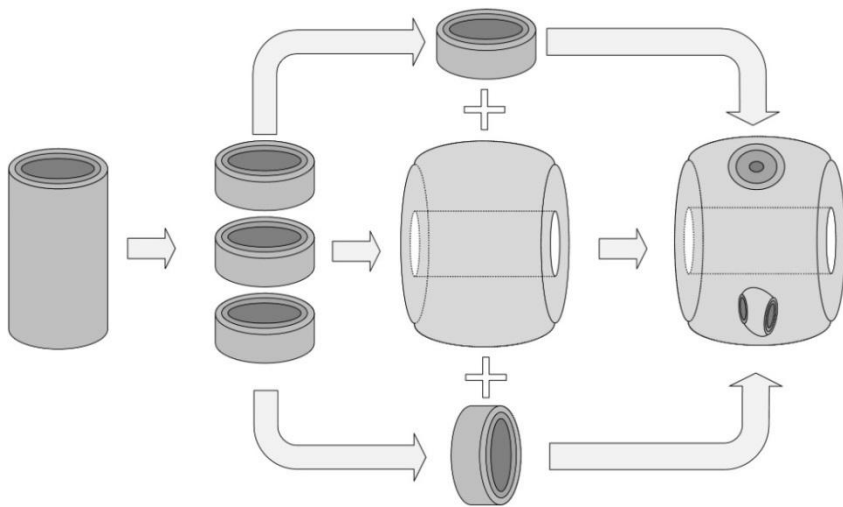


图 6 眼珠工艺制作流程

Fig.6 The process of eye beads manufacture

在《中国古代玻璃》一书中，作者关善明曾对战国时期的蜻蜓眼眼珠的制作工艺进行过简单的推测，其推测眼睛部分的制作工艺为在一个半球状凹槽的模板上通过依次叠加不同材质的原料，从而形成眼睛装饰物（图 7）^[18]。同时在杨益民研究员对战国时期河南浙川申明铺遗址出土蜻蜓眼的结构研究中发现^[19]，战国时期蜻蜓眼的结构与本文所研究的眼珠有很大区别，根据其推断，图 8 中显示战国时期蜻蜓眼中眼部结构为层叠状，即先添加一层玻璃液，待其凝固后再添加另外一层玻璃液，如此重复三至四层，从而形成眼睛的效果，这种战国时期眼珠的制作工艺则更接近于关善明研究者对眼珠工艺的解读。

而本文中根据 CT 扫描结果可以发现，与关善明研究者不同的是眼睛部分是通过切割成薄片后挤压成型的方式，这样做大大提高了成珠效率，对于珠子这种大量使用的装饰品来说，提高效率会很大程度上减少工匠的制作时间，使得珠子的制作变得简单且更具流程化，极大降低制作成本。

此外，根据图 8 显示，申明铺遗址蜻蜓眼珠孔内壁未挂釉，露出内胎。而本文中编号

S-2 虽然通过 CT 扫描发现内胎，但由于整体包括珠孔也包裹着玻璃质，从外观无法察觉。似乎也显示出山普拉墓地蜻蜓眼的制作工艺更为精巧细腻。

新疆和田山普拉墓地遗址出土的玻璃眼珠与上述两类发现蜻蜓眼的制作工艺的迥异，反映出很可能它们的产地来源存在差异性，对于山普拉出土蜻蜓眼产地来源的探讨将另撰文深入讨论。

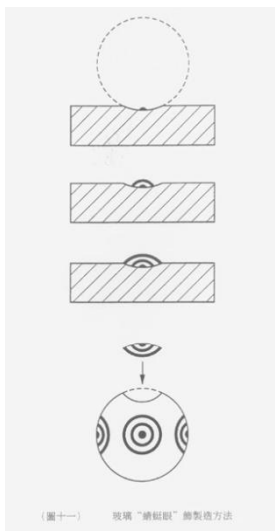


图 7 《中国古代玻璃》一书中眼珠工艺描述^[18]

Fig.7 Eye beads technology in “Early Chinese glass”

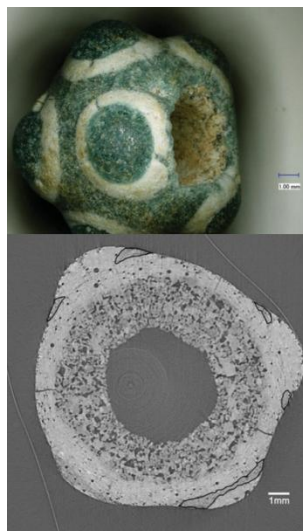


图 8 战国时期蜻蜓眼内部结构^[19]

Fig.8 The inner structure of dragonfly eye bead in Warring State Period

本文通过对新疆山普拉墓地出土 4 个眼珠的 CT 扫描，得到了它们的内部结构。从内部结构的分析推断出眼珠的制作工艺，其工艺证明的因素主要有 4 个方面。

(1) 从 CT 断层图上区分出珠体是否存在内胎，是否为均一材质，仅仅通过观察和表面分析无法判断，这也体现出 CT 断层扫描技术对文物无损分析内部结构的优势。

(2) 观察眼珠的样式，目前发现山普拉墓地眼珠的两种样式，一种为“单瞳”样式，另一种为“双瞳”样式。从 CT 结果中对不同样式的眼睛部位进行提取，证明这两种眼珠样式的区别在于眼饰部位的放置方向，这是在以前有发现但未经实验证明，此次通过 CT 扫描技术印证了眼珠的制作工艺。

(3) 根据胎体与眼睛部分接触面下方的气孔形状，可以判断眼珠在嵌入进胎体时的挤压方向，根据以上 4 个样品的气孔形状判断，判断挤压方向与基体中椭圆形气孔的长轴方向垂直；不规则形状气孔很可能为两个相近眼饰受挤压而形成的。

(4) 从 CT 结果中提出来的单独眼睛部位的照片可以看出，所有的眼睛部位都是由不同密度不同颜色的玻璃料叠加成同心圆环的方式制作成的。

CT 断层扫描技术的应用极大的提高了对玻璃质文物内部结构的分析和制作工艺的认知。通过文中对眼珠工艺制作的分析，展现当时制作眼珠的步骤和流程。蜻蜓眼的多色和复杂多样的工艺，体现出最晚至公元 4 世纪魏晋时期，古代工匠对玻璃，即人类文明发展中最早出现的人造材料之一，已经具有高度的认识水平。工匠在玻璃的材料、颜色、塑形、

火候的控制、退火等等工艺流程有着高超的掌控能力,体现古人的技术智慧和艺术表现力。希望能通过本文的研究,对之后出土蜻蜓眼玻璃饰品的工艺研究提供一些科学参考。

参考文献

- [1] 新疆维吾尔自治区博物馆, 新疆文物考古研究所. 中国新疆山普拉—古代于阗文明的揭示与研究[M]. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社, 2001.
Xinjiang Uygur Autonomous Region Museum, Xinjiang Institute of Cultural Relics and Archaeology, Sampula in Xinjiang of China, the revelation and research of ancient civilization of Khotan[M]. Urumchi: Xinjiang People's Publishing House, 2001. (in Chinese).
- [2] 苗建民, 宋朝忠. 青铜器的 X 射线无损检测技术[J]. 故宫博物院院刊, 1991, (3): 93-96.
MIAO J M, SONG C Z. X-ray nondestructive testing of bronzes[J]. Palace Museum Journal, 1991, (3): 93-96. (in Chinese).
- [3] 史宁昌, 刘建宇, 张雪雁. X 射线成像技术在故宫文物保护中的应用——以故宫藏青铜器检测为例[J]. 故宫学刊, 2017, (1): 276-281.
SHI N C, LIU J Y, ZHANG X Y. Application of X-ray imaging technology in cultural heritage protection of the Palace Museum: A case study of the imperial Palace bronze detection[J]. Journal of Gugong Studies, 2017, (1): 276-281. (in Chinese).
- [4] KEYRILAINEN J, FERNANDEZ M, Karjalainen-Lindsberg M L, et al. Toward high-contrast breast CT at low radiation dose[J]. International Journal of Medical Radiology, 2008, 249(1): 321-327.
- [5] BETZ O, WEGST U, WEIDE D, et al. Imaging applications of synchrotron X-ray phase-contrast microtomography in biological morphology and biomaterials science. I. General aspects of the technique and its advantages in the analysis of millimetre-sized arthropod structure[J]. Journal of Microscopy, 2007, 227(1): 51-71.
- [6] 马文国, 刘傲雄. CT 扫描技术对岩石孔隙结构的研究[J]. 中外能源, 2011, 16(7): 54-56.
MA W G, LIU A X. The study of the pore structure parameters in rocks by CT scanning technology[J]. Sino-Global Energy, 2011, 16(7): 54-56. (in Chinese).
- [7] JANSSENS K, DIK J, COTTE M, et al. Photon-based techniques for nondestructive subsurface analysis of painted cultural heritage artifacts[J]. Accounts of Chemical Research, 2010, 43(6): 814-825.
- [8] STELZNER J, GAU F, SCHUETZ P. X-ray computed tomography for non-destructive analysis of early Medieval swords[J]. Studies in Conservation, 2015, 61(2): 86-101.
- [9] 刘圆圆, 李元吉, 郑鹏, 等. 双能 CT 技术在小尺寸青铜器病害诊断中的应用研究[J]. 原子能科学技术, 2015, (10): 1909-1913.
LIU Y Y, LI Y J, ZHENG P, et al. Application research of dual energy CT technology in defect diagnosis for small size bronze[J]. Atomic Energy Science and Technology, 2015, (10): 1909-1913. (in Chinese).
- [10] 张朝宗, 郭志平, 张朋, 等. 工业 CT 技术和原理[M]. 北京: 科学出版社, 2009.
ZHANG C Z, GUO Z P, ZHANG P, et al. Technology and principle of industrial CT[M]. Beijing: Science Press, 2009. (in Chinese).
- [11] 陈荣昌, 杜国浩, 谢红兰, 等. 上海光源 X 射线成像实验站相位衬度 CT 初步结果[J]. 核技术, 2009, 32(4): 241-245.
CHEN R C, DU G H, XIE H L, et al. Preliminary results for X-ray phase contrast micro-tomography on the biomedical imaging beamline at SSRF[J]. Nuclear Techniques, 2009, 32(4): 241-245. (in Chinese).
- [12] 陈荣昌, 谢红兰, 杜国浩, 等. 基于玻恩近似相位恢复的 X 射线显微 CT 实验研究[J]. 光学学报, 2010, 30(4): 1106-1111.
CHEN R C, XIE H L, DU G H, et al. Experimental investigation on X-ray micro-computed tomography by phase retrieval with born approximations[J]. Acta Optica Sinica, 2010, 30(4): 1106-1111. (in Chinese).
- [13] KANUNGO A K. Glass beads in ancient india and furnace-wound beads at purdalpur: An

- ethnoarchaeological approach[J]. *Asian Perspectives: Journal of Archeology for Asia & the Pacific*, 2004, 43(1): 123-150.
- [14] CHENG Q, ZHANG X, GUO J, et al. Application of computed tomography in the analysis of glass beads unearthed in Shanpula cemetery (Khotan), Xinjiang Uyghur Autonomous Region[J]. *Archaeological and Anthropological Sciences*, 2019, 11: 937-945.
- [15] 赵德云. 中国出土的蜻蜓眼式玻璃珠研究[J]. *考古学报*, 2012, (2): 177-216.
- ZHAO D Y, Studies on compound eye beads unearthed in China[J]. *Acta archaeologica sinica*, 2012, (2): 177-216. (in Chinese).
- [16] 张宏实. 古域瑰宝-圣眼传奇[M]. 台北: 台北淑馨出版社, 1996: 116-118.
- ZHANG H S. Searching for a good eye[M]. Taipei: Taipei Shuxin Press, 1996: 116-118. (in Chinese).
- [17] 刘光煜. 试论中国早期出土的蜻蜓眼式玻璃珠之功用[J]. *丝绸之路*, 2014, (18): 38-40.
- LIU G Y. On the function of dragonfly eye glass beads unearthed in early China[J]. *The Silk Road*, 2014, (18): 38-40. (in Chinese).
- [18] 关善明. 中国古代玻璃[M]. 香港: 香港中文大学文物馆, 2001.
- GUAN S M. Early Chinese glass[M]. Hongkong: Art Museum: The Chinese University of Hongkong, 2001. (in Chinese).
- [19] YANG Y, WANG L, WEI S, et al. Nondestructive analysis of dragonfly eye beads from the warring states period, excavated from a chu tomb at the shenmingpu site, Henan Province, China[J]. *Microscopy and Microanalysis*, 2013, 19(2): 335-343.

Study on the Manufacture Technical of Eye Beads Unearthed from Sampula Cemetery

ZHANG Xueyan¹, GUO Jinlong², CHENG Qian^{3✉}, WANG Bo², LEI Yong¹

1.Conservation Department, Palace Museum, Beijing 100009, China

2.Xinjiang Uygur Autonomous Region Museum, Urumchi 830091, China

3.National institute of Archaeology, Beijing 100013, China

Abstract: The Sampula cemetery is located in 14 kilometers southwest of Luopu county, Khotan, Xinjiang province, which is on the southern route of the ancient Silk Road. In the 1980s, archaeologists carried out several excavations at Sampula cemetery, which a total of 1,369 glass beads were found. Based on the X-ray Computed tomography, this paper analyzes the structure of the four typical eye beads, so as to infer the production process of the eye beads under the background of the times.

Keywords: X-ray CT; eye beads; Khotan; manufacture technical



作者简介: 张雪雁(1990—),女,2015获得兰州大学硕士学位,目前为故宫博物院馆员,主要从事文物工艺结构研究,X射线成像研究, Tel: 010-85007954, E-mail: zhangxygwp@163.com; 成倩[✉](1977—),女,2006年伦敦大学学院考古系毕业,国家文物局考古研究中心研究馆员,主要从事文物的保护科学研究和古代玻璃科技考古研究, Tel: 13439981545, E-mail: gzcq503@163.com。