

文章编号:1005-1538(2021)01-0064-09  
DOI: 10.16334/j.cnki.cn31-1652/k.20200301683

# 鲁国故城遗址出土蜻蜓眼玻璃珠的科学研究

郭思克<sup>1</sup>, 管杰<sup>1</sup>, 褚红轩<sup>1</sup>, 刘松<sup>2,3</sup>, 董俊卿<sup>2,3</sup>, 李青会<sup>2,3</sup>

(1. 孔子博物馆, 山东济宁 273100; 2. 中国科学院上海光学精密机械研究所科技考古中心, 上海 201800;  
3. 中国科学院大学材料与光电研究中心, 北京 100049)

**摘要:** 本研究利用能量色散型 XRF、共聚焦激光拉曼光谱分析技术、光学相干层析成像技术、超景深光学显微系统等多种无损分析技术对山东曲阜鲁国故城遗址出土的 7 颗蜻蜓眼玻璃珠进行了科学研究。基于获取的蜻蜓眼珠化学成分、物相结构、内部物理结构、表面显微形貌等相关信息, 确定了这批蜻蜓眼玻璃珠的成分体系、制作工艺、产地来源和器物功能。研究表明, 蜻蜓眼玻璃珠来自于楚地, 是当时社会稀有而珍贵的奢侈品, 是鲁国与楚地相互交流与联系的实物证据。

**关键词:** 蜻蜓眼玻璃珠; 鲁国故城; 战国早中期

**中图分类号:** K876; O433.4 **文献标识码:** A

## 0 引言

蜻蜓眼玻璃珠, 是指造型类似眼睛或是以中心圆斑和单层及多层外围圆圈形成的类似“眼睛”图案进行装饰的一类珠饰总称。多层“眼圈”纹饰与蜻蜓的复眼结构特征有些相似, 故称其为蜻蜓眼珠。西方学界则称“眼珠”(Eye Bead)<sup>[1]</sup>。广义上的蜻蜓眼珠具有多种材质类型, 包括红玉髓、玛瑙、滑石、玻璃、费昂斯、陶质、骨质等, 狭义上的蜻蜓眼珠则主要指蜻蜓眼玻璃珠<sup>[2]</sup>。作为输入我国最早的玻璃器之一, 蜻蜓眼玻璃珠对我国古代本土玻璃技术的起源与发展起到了重要作用。其在国内传播与发展, 体现了古代中外文化的碰撞、交流与融合<sup>[3]</sup>。蜻蜓眼玻璃珠是当时社会贵族阶层所需的奢侈品和丝绸之路上广泛分布的贸易品。科学揭示蜻蜓眼玻璃珠的多元物理化学信息, 对研究古代社会的人群思想意识、宗教信仰, 以及不同地区之间的贸易往来和文化技术交流都有着重要意义。

山东曲阜鲁国故城是周代鲁国的都城, 从西周初年至战国末年, 延续了八百多年左右, 是当时中国东部地区的重镇之一。鲁国故城遗址中发掘出土了丰富的文物, 研究这些文物资料对于了解当时的社会

有着重要意义。本研究选取了鲁国故城遗址出土的 7 颗蜻蜓眼玻璃珠, 利用多种现代分析技术对其进行科学研究, 确定了其成分体系、制作工艺、产地来源等相关信息。

## 1 分析技术

### 1.1 能量色散型 X 射线荧光光谱分析技术

采用型号为 OURSTEX 100FA 能量色散型 X 射线荧光光谱分析仪进行化学成分分析。该设备采用金属钨(Pd)作为 X 射线源靶材, X 射线管的激发电压最高可达 40 kV, 最大功率为 50 W, 辐照到样品表面的 X 射线焦斑直径约为 2.5 mm。该设备主要由 4 个单元组成: 探测器单元、高压单元、控制单元和数据处理单元。其中, 探测器单元又包括低真空探测单元和大气探测单元。本次测试采用低真空探测单元。数据处理单元主要包括控制软件及定性、定量分析软件。仪器相关参数及定量分析方法参阅相关文献<sup>[4]</sup>。此设备已经成功应用于新疆、广西、湖北、浙江等地出土的古代玻璃器研究<sup>[5-6]</sup>。

### 1.2 共聚焦激光拉曼光谱分析技术

采用 LabRAM XploRA 型激光共聚焦拉曼光谱仪对样品进行物相结构分析。该设备由法国 Horiba

收稿日期: 2020-03-15; 修回日期: 2020-08-05

基金项目: 国家重点研发计划资助(2019YFC1520203), 上海市科普项目资助(18dz2304700)

作者简介: 郭思克(1966—), 1990年毕业于山东大学历史学专业, 孔子博物馆馆长, 研究馆员, 国家文物鉴定委员会委员。E-mail: gaj35@163.com

公司生产,采用高稳定性研究级显微镜,配有反射及透射柯勒照明,物镜包括 $10\times$ 、 $100\times$ 和LWD $50\times$ 。采用532 nm高稳定固体激光器(25 mW)和相应的滤光片组件,以及计算机控制多级激光功率衰减片。同时采用了针孔共焦技术,与 $100\times$ 物镜配合,空间分辨率横向优于 $1\ \mu\text{m}$ ,纵向优于 $2\ \mu\text{m}$ 。该光谱仪拉曼频移范围为 $70\sim 8\ 000\ \text{cm}^{-1}$ (532 nm),光谱分辨率 $\leq 2\ \text{cm}^{-1}$ ,内置四块光栅(2 400 gr/mm、1 800 gr/mm、1 200 gr/mm、600 gr/mm)。光谱重复性 $\leq \pm 0.2\ \text{cm}^{-1}$ 。本台谱仪在中国古代玻璃化合物着色剂和玉石内包裹体的分析中得到成功应用<sup>[7]</sup>。

### 1.3 光学相干层析成像技术

采用日本Santec公司IVS-2000型光学相干层析成像(OCT)系统对样品内部物理结构进行分析。该系统为扫频源OCT系统主要由四部分构成,分别是扫频源、干涉仪单元、OCT探针以及计算机单元。扫频源中心波长为 $1\ 315\sim 1\ 340\ \text{nm}$ ,谱峰半高宽为 $110\ \text{nm}$ ,扫频频率为 $20\ \text{kHz}$ ,激光最大功率为 $50\ \text{mW}$ 。OCT探针扫描范围为 $0\sim 20\ \text{mm}$ 。干涉仪单元则基于延迟线集成的马赫-泽德干涉系统。在硅酸盐材料中,轴向分辨率达到 $5.3\ \mu\text{m}$ ,轴向探测深度达到 $5.3\ \text{mm}$ ,横向分辨率 $< 5\ \mu\text{m}$ 。该技术已经成功应用于中国古代瓷釉断层结构分析<sup>[8]</sup>。

### 1.4 超景深光学显微系统(OM)

采用基恩士VHX-5000型超景深光学显微系

统对样品表面进行显微观测。该设备由日本基恩士公司研制,配备有两种型号的光学显微镜头,型号分别为VH-Z20( $\times 20\sim 200$ )、VH-Z100R( $\times 100\sim 1000$ ),可实现 $20\times$ 至 $1000\times$ 的显微观测。同时,本系统还具有自动对焦、全幅对焦、深度合成、多角度观测、超高分辨率和高清晰度显示、三维合成、实时观测以及三维测量等先进功能。

## 2 分析样品

曲阜鲁国故城遗址共发现玻璃珠饰25颗,集中于两座战国早中期的大型墓葬,分别是M52和M58。其中M52出土玻璃珠饰11颗,均为蜻蜓眼玻璃珠,M58出土14颗,包括11颗蜻蜓眼玻璃珠、1颗六棱桶形玻璃珠和2颗玻璃管<sup>[9]</sup>。本次所分析的玻璃珠饰均为蜻蜓眼玻璃珠,共7颗。根据蜻蜓眼玻璃珠纹饰的图案特征,可大致分为三类。第一类是偏心圆式纹饰,此类纹饰由中心圆点“眼珠”和周围多层“眼圈”构成,“眼珠”偏向一侧,与“眼圈”形成偏心圆结构,此种纹饰为主要装饰纹饰;第二类是嵌套“眼睛”纹饰,即大的“眼睛”中包含7颗小“眼睛”,亦有学者称其为“七星纹”<sup>[10]</sup>。此种装饰仅见于样品W000703;第三类则是同心圆式纹饰,与第一类较为类似,但其“眼珠”和“眼圈”为同心圆。仅W000699样品基体表面装饰有网格纹饰,应为白色,但由于风化等原因,导致其表面颜色偏黄。样品详细信息见表1,样品照片如图1所示。

表1 鲁国故城遗址出土蜻蜓眼玻璃珠样品信息

Table 1 Information list of glass eye beads excavated from ancient Qufu City of the State of Lu

样品编号	尺寸/mm	质量/g	描述
W000699	高度:约26.67;珠体直径:约26.87;孔径:约8.47	34.56	深蓝色球形基体,基体表面有浅黄色网格纹饰,每个网格内有1颗“眼睛”;12颗偏心圆式“眼睛”均匀分布于珠体表面上中下三部分,其中上下部分“眼睛”为对称分布;“眼睛部分”由深蓝色“眼珠”和9层蓝白相间“眼圈”构成。
W000701	高度:约21.62;珠体直径:约23.17;孔径:约8.15	20.16	深蓝色球形基体,12颗偏心圆式“眼睛”均匀分布于珠体表面上中下三部分,其中上下部分“眼睛”为对称分布;“眼睛”由深蓝色“眼珠”和7层蓝白相间“眼圈”构成。
W000703	高度:约20.58;珠体直径:约21.11;穿孔直径:约7.41	15.16	深蓝色球形基体,6颗偏心圆式“眼睛”均匀对称分布于珠体上下两端,珠体中间分布有3颗七星纹式“眼睛”,9颗小同心圆式“眼睛”分布于七星纹“眼睛”上下左右四方;偏心圆式“眼睛”由深蓝色“眼珠”和9层蓝白相间眼纹组成,七星纹“眼睛”由位于中心的1颗棕黄色“眼睛”和围绕其周围的6颗深蓝色“眼睛”构成,眼圈则为白色和棕黄色相间的3层眼纹构成,小同心圆“眼睛”则由棕黄色“眼珠”和5层蓝白相间“眼圈”构成。
W000705	高度:约14.19;珠体直径:约15.39;穿孔直径:约4.64	5.90	深蓝色球形基体,6颗偏心圆式“眼睛”均匀分布于珠体上下两部分,上下两部的每两颗“眼珠”之间有2个小“眼睛”间隔;偏心圆式“眼睛”由深蓝色“眼珠”和5层蓝白相间“眼圈”构成,小“眼睛”则由深蓝色“眼珠”和1层白色“眼圈”构成。
W101401	高度:约22.74;珠体直径:约25.46;穿孔直径:约8.68	27.83	深蓝色球形基体,8颗偏心圆式“眼睛”上下对称分布于珠体表面,珠体中间位置均匀分布有4颗小的同心圆式“眼珠”;偏心圆式“眼睛”由深蓝色“眼珠”和7层蓝白相间“眼圈”构成,同心圆式“眼珠”则由深蓝色“眼珠”和3层蓝白相间“眼圈”构成。

(续表1)

样品编号	尺寸/mm	质量/g	描述
W101402	高度:约 14.07;珠体直径:约 15.56;穿孔直径:约 4.72	5.88	深蓝色球形基体,6颗偏心圆式“眼睛”均匀分布于珠体上下两部分,上下两部的每两颗“眼珠”之间有2个小“眼睛”间隔;偏心圆式“眼睛”由深蓝色“眼珠”和5层蓝白相间“眼圈”构成,小“眼睛”则由深蓝色“眼球”和1层白色“眼圈”构成。
W101403	高度:约 14.81;珠体直径:约 15.57;穿孔直径:约 6.75	6.34	深蓝色圆柱形基体,15颗同心圆式“眼睛”分布于珠体上中下三部分,其中上下端部“眼珠”对称分布;同心圆式“眼睛”由深蓝色“眼珠”和3层蓝白相间“眼纹”构成,珠体表面风化较为严重。



图1 鲁国故城遗址出土蜻蜓眼玻璃珠样品

Fig.1 Photos of glass eye beads excavated from ancient Qufu City of the State of Lu

### 3 分析结果

#### 3.1 化学成分与物相结构分析

为确定蜻蜓眼玻璃珠物相结构,对7颗蜻蜓眼玻璃珠基体进行拉曼光谱分析,典型拉曼光谱如图2所示。由图2可知,在 $500\text{ cm}^{-1}$ 和 $1000\text{ cm}^{-1}$

附近分别有包络存在,分别对应玻璃中Si-O键的弯曲和拉伸振动,其他区域无明显特征峰。表明蜻蜓眼珠基体均为玻璃质<sup>[11]</sup>。7颗蜻蜓眼玻璃珠的化学成分定量分析结果如表2所示。由表2可知,7件蜻蜓样玻璃珠基体中均含有PbO、BaO和SiO<sub>2</sub>,其含量范围分别为20.95%~33.38%、8.05%~15.45%和35.60%~54.40%,表明7颗蜻蜓眼玻璃珠均为铅钡硅酸盐玻璃,简称铅钡玻璃。蜻蜓眼玻璃珠基体中还含有K<sub>2</sub>O、CaO,其含量分别为0.86%~3.37%、1.39%~5.94%。MgO、Na<sub>2</sub>O的含量相对较低,低于1%。

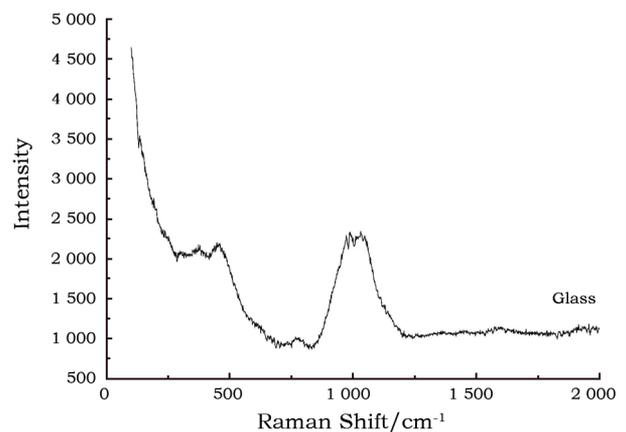


图2 玻璃相拉曼图谱:W101403

Fig.2 Raman spectrum of glass phase: W101403

表2 鲁国故城出土蜻蜓眼玻璃珠化学成分定量分析结果

Table 2		Chemical compositions of glass eye beads excavated from ancient Qufu City of the State of Lu (%)													
样品编号	测试区域	Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MnO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CoO	CuO	SnO <sub>2</sub>	PbO	BaO
W000699	深蓝色基体	0.88	0.44	3.64	35.60	5.90	1.95	5.94	0.77	3.17	0.46	1.09	0.07	24.65	15.45
W000699	深蓝色眼珠	0.83	0.35	4.56	43.33	0.80	2.99	3.38	1.23	0.49	0.11	0.14	0.08	25.31	16.41
W000699	白色眼纹	0.76	0.59	4.93	46.21	0.47	3.53	2.26	0.75	0.29	—	0.10	0.07	27.37	12.65
W000699	浅黄色条纹	0.89	0.40	2.28	26.36	10.50	1.70	7.93	0.45	4.81	—	1.68	0.06	26.26	16.67
W000701	深蓝色基体	0.73	—	5.16	52.59	1.38	3.37	1.40	0.67	0.28	0.03	0.26	0.06	20.95	13.12
W000701	深蓝色眼珠	0.78	0.32	4.15	48.48	0.77	2.80	1.88	0.96	0.35	0.08	0.17	0.08	27.03	12.14
W000701	白色眼纹	0.86	0.47	3.82	45.26	0.83	2.88	2.03	1.13	0.38	—	0.16	0.08	27.18	14.92
W000703	深蓝色基体	0.81	0.31	3.68	54.40	0.25	0.86	1.39	0.98	0.32	0.04	0.07	0.07	26.24	10.57
W000703	深蓝色眼珠	0.78	0.33	3.59	51.21	0.18	3.04	2.22	0.87	0.51	0.16	0.11	0.12	24.42	12.47

(续表2)

样品编号	测试区域	Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MnO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CoO	CuO	SnO <sub>2</sub>	PbO	BaO
W000703	白色眼纹	0.96	0.37	3.73	50.22	0.11	1.81	1.49	0.59	0.34	—	0.08	0.08	30.71	9.50
W000703	棕色眼纹	0.87	0.21	3.86	48.08	0.17	2.94	1.73	0.68	0.63	—	0.08	0.08	31.96	8.70
W000703	眼珠残破处	1.09	0.24	3.47	50.62	0.20	0.79	1.91	0.79	0.50	0.13	0.08	0.11	27.35	12.71
W000705	深蓝色基体	1.01	0.42	3.30	44.49	0.17	1.78	2.32	0.92	0.50	0.10	0.12	0.14	33.14	11.59
W000705	深蓝色眼珠	1.10	0.29	2.82	41.59	0.07	0.51	2.24	1.17	0.52	0.15	0.12	0.20	35.83	13.38
W000705	白色眼纹	1.09	0.27	3.05	42.96	0.12	0.67	2.08	0.90	0.46	—	0.08	0.19	37.31	10.84
W101401	深蓝色基体	0.79	0.32	4.06	47.44	1.43	1.57	2.67	0.92	0.80	0.10	0.27	0.06	28.46	11.11
W101401	深蓝色眼珠	1.08	0.38	3.34	36.64	0.70	1.58	3.29	1.40	0.72	0.24	0.18	0.17	35.43	14.86
W101401	白色眼纹	1.02	0.58	3.73	38.84	0.26	1.33	3.81	1.43	0.53	—	0.12	0.11	34.82	13.41
W101401	基体浅黄色处	0.93	0.48	1.10	19.21	15.69	0.48	8.95	1.23	6.75	—	1.83	0.09	36.20	7.04
W101402	深蓝色基体	0.97	0.36	3.65	43.48	1.44	1.27	2.07	0.83	0.43	0.07	0.12	0.13	33.38	11.80
W101402	深蓝色眼珠	0.96	0.36	3.35	45.61	0.11	0.94	2.38	0.88	0.53	0.09	0.09	0.19	34.56	9.95
W101402	白色眼纹	0.90	0.28	3.60	47.43	0.14	0.85	2.24	0.66	0.49	—	0.09	0.17	34.47	8.67
W101403	深蓝色基体	0.77	0.48	4.09	48.66	0.73	1.83	3.57	0.80	0.49	0.07	0.15	0.25	30.06	8.05
W101403	深蓝色眼珠	0.98	0.41	3.75	46.35	0.19	1.77	3.78	0.99	0.50	0.10	0.14	0.27	32.29	8.48
W101403	白色眼纹	0.80	0.54	3.79	50.43	1.18	1.05	3.35	0.64	0.42	—	0.16	0.29	29.64	7.72

7 颗蜻蜓眼玻璃珠的基体均为深蓝色,着色离子为 Co 离子,CoO 的含量范围为 0.03% ~ 0.46%。同时也检测到了一定量的 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 和 CuO。深蓝色“眼珠”与基体的化学成分基本一致,而白色“眼圈”处主要是由于着色元素 (Co、Fe、Cu) 离子含量低。在样品 W000699 基体和表面浅黄色网格条纹处,以及样品 W101401 基体浅黄色处均检测到了较高含量的 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 和 CaO,推测工匠在制作加工玻璃时,采用了富含 P、Ca 的原材料,并非是表面污染物。样品 W101401 珠体表面棕黄色处检测到了较高含量的 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (6.75%),推测棕黄色眼圈应该是由铁离子致色。

利用拉曼光谱分析技术对蜻蜓眼玻璃珠基体进行测试分析之外,还对珠体的不同部位进行了测试,并检测到少量晶体物质,如表 3 所示。由表 3 可知,在样品 W000701 和 W101402 的蓝色“眼圈”中分别检测到了钠长石 (NaAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>) 和无定形碳 (C);在 W000703 的棕色“眼圈”中检测到了重晶石 (BaSO<sub>4</sub>) 的存在;在 W000703 和 W101403 的白色“眼圈”中则检测到了石英 (SiO<sub>2</sub>)、白铅矿 (PbCO<sub>3</sub>) 和氧化铅 (PbO) 等晶体。无定形碳可能是在玻璃珠烧制过程中形成,其他晶体可能是未熔融的原料残留晶体,如钠长石、重晶石、石英等,也可能是在长期风化过程中所形成,如白铅矿、氧化铅。

表3 鲁国故城出土蜻蜓眼玻璃珠拉曼测试分析

Table 3 Raman results of glass eye beads excavated from ancient Qufu City of the State of Lu

样品编号	测试区域	拉曼图谱	晶体物相
W000701	蓝色基体		钠长石 (NaAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> )

(续表 3)

样品编号	测试区域	拉曼图谱	晶体物相
W101402	蓝色“眼圈”		无定形碳(C)
W000703	棕色“眼圈”		重晶石(BaSO <sub>4</sub> )
W000703	白色“眼圈”		石英(SiO <sub>2</sub> )
W101403	白色“眼圈”1		白铅矿(PbCO <sub>3</sub> )

(续表 3)

样品编号	测试区域	拉曼图谱	晶体物相
W101403	白色“眼圈”2		氧化铅 (PbO)

### 3.2 制作工艺分析

偏心圆式“眼睛”是本次所分析鲁国故城出土 7 件蜻蜓玻璃眼珠的主要眼珠纹饰之一。图 3a 给出了样品 W000699 表面一颗偏心圆式“眼睛”显微形貌图像。从图中可以清晰看到半透明的深蓝色眼珠,以及半透明蓝色和乳浊白色相间的“眼圈”。OCT 图像中则明显地可以看出半透明蓝色“眼珠”和“眼圈”与乳浊白色“眼圈”的差异。图 3b 为“眼珠”部分三维 OCT 图像,其中不透明“眼圈”结构为乳浊白色“眼圈”部分,透明部分则为深蓝色“眼珠”

和“眼圈”。图 3c 为“眼睛”部分二维 OCT 图像,其中黑色部分为半透明深蓝色的“眼珠”和“眼纹”,而白色半圆圈结构则为乳浊白色“眼圈”,清晰地显示了“眼睛”部分的分层结构,表明“眼睛”部分在制作时是采用了分层制作工艺。七星纹式“眼睛”是样品 W000703 较为特殊的一种装饰。图 4 给出了样品 W000703 其中一颗七星纹“眼睛”的显微图像及 OCT 图像。从图中可以明显区分半透明深蓝色“眼珠”和“眼圈”,以及乳浊白色“眼圈”。“眼睛”部分制作也是采用分层制作工艺。

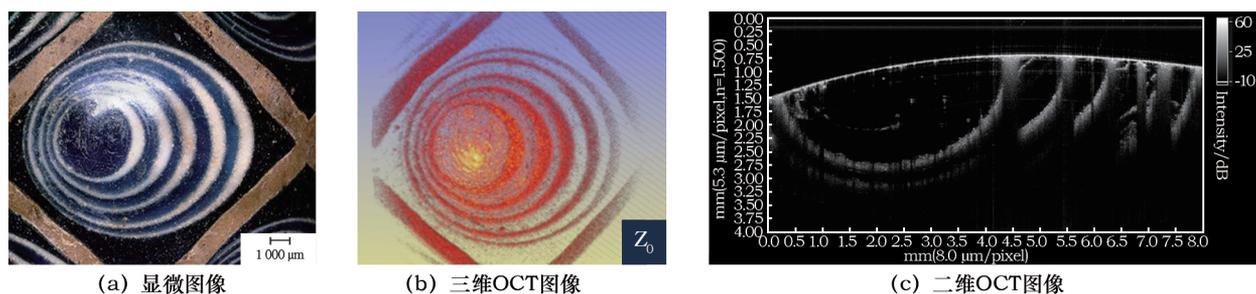


图 3 W000699 偏心圆眼珠显微及 OCT 图像

Fig. 3 Microscopic and OCT images of W000699 axifugal patterns

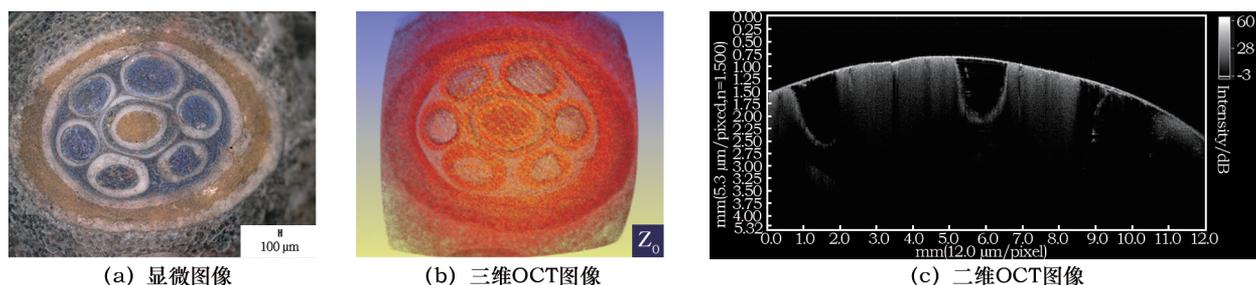


图 4 W000703 嵌套“眼睛”纹饰显微及 OCT 图像

Fig. 4 Microscopic and OCT images of W000703 eye insets patterns

在样品 W000699 表面有白色线条形成的网格纹装饰,在白色线条的局部区域发现有白色线条脱

落的痕迹,如图 5 所示。从图 5 中可以清晰地观察到沟槽底部及边缘的粗糙表面,以及破裂的气泡。

这一微痕特征表明,基体表面的沟槽是采用了冷加工工艺,在珠体制作完成冷却之后,利用硬质工具在珠体表面进行刻划,形成沟槽。图 3b 表明样品 W000699 表面的浅黄色网格纹(“眼睛”纹饰周边的线条)透明度差,玻璃化程度不够高,因此导致其与

玻璃基体的粘合度低,而容易脱落。进一步表明浅黄色线条是在珠体制作完成,并在表面开槽之后,再将浅黄色物质填入沟槽内部。化学成分分析结果(表 2)则表明,此浅黄色物质中含有较高的磷和钙。

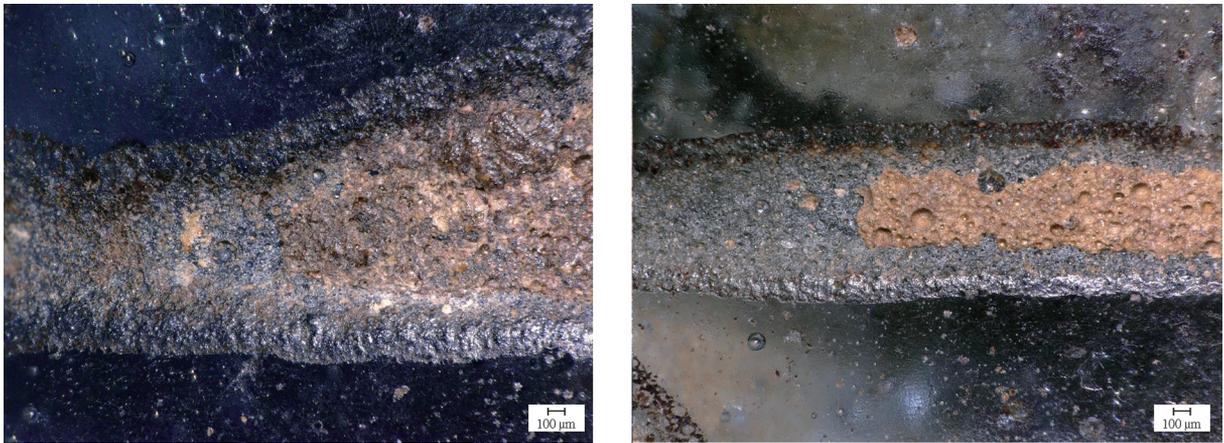


图 5 样品 W000699 基体表面白色线条局部微痕显微形貌图像

Fig. 5 Microscopic images of white lines decorated in the surface of W000699 matrix

### 3.3 产地来源分析

鲁国故城遗址出土蜻蜓眼玻璃珠主要有两种装饰风格,分别是多层偏心圆纹饰和七星纹饰。此两种类型的战国时期蜻蜓眼玻璃珠在湖南、湖北、河南、广东、甘肃等地均有发现(图 6),数量上也是以当时的楚地,今湖南、湖北两地较多。化学成分分析结果表明所分析的蜻蜓眼玻璃珠样品为铅钡硅酸盐

玻璃体系<sup>[12-13]</sup>。铅钡硅酸盐玻璃是我国古代自制玻璃体系之一,流行时间主要集中在战国时期,其生产制作中心位于楚地<sup>[14-15]</sup>。因此,鲁国故城遗址出土的战国蜻蜓眼玻璃珠应为楚地所制作。值得注意的是,战国时期利用钴元素进行着色的铅钡玻璃并不多见,钴料的来源仍不清晰,从西方输入的可能性较大。



图 6 中国出土战国时期偏心圆纹蜻蜓眼玻璃珠

Fig. 6 Glass eye beads with axifugal patterns found in the tombs of Warring States Period of China

### 3.4 器物功能分析

鲁国故城遗址发掘东周墓葬共 12 座,其中大型墓葬有 7 座, M52 和 M58 便在其中。除 M52 和 M58 之外,其他大型墓葬并没有发现玻璃珠饰。虽然发掘报告中并没有明确墓主人的身份,但墓葬的等级表明了墓主人的地位尊贵。M52 的陪葬品中包含有铜剑、弩机、博具。M58 的陪葬品中也包含有铜剑。

尽管发掘报告中未明确墓主人性别,但武器类陪葬品的出现表明两座墓葬墓主人是男性的可能性较大。玻璃珠饰出土时并非靠近墓主人颈部,部分珠饰更是散落在棺外,与其他陪葬品放在一起。上述情况表明, M52 和 M58 两座墓葬中出土的玻璃珠饰并非首饰一类的装饰品,而是一种奢侈品,表明了当时玻璃珠饰的稀有。

## 4 结 论

本研究利用PXRF、OCT、OM、LRS等多种科技分析技术对山东曲阜鲁国故城遗址出土的战国蜻蜓眼玻璃珠进行了科技分析。实验结果表明,所测试的7颗蜻蜓眼玻璃珠属于铅钡硅酸盐玻璃( $\text{PbO} - \text{BaO} - \text{SiO}_2$ ),主要采用钴元素进行着色,使得珠体呈现深蓝色。蓝色“眼圈”部位也是采用钴元素进行着色,白色“眼圈”在化学成分上与玻璃基体相似,但不含钴元素,同时其他着色元素(Fe、Cu)的含量也相对较低。样品W000699珠体表面的白色条纹则富含磷和钙。蜻蜓眼玻璃珠的“眼睛”部分采用了分层制作工艺,而珠体则为模制工艺,个别样品在珠体表面装饰上还采用了冷加工工艺。蜻蜓眼玻璃珠的化学成分和器型风格均表明,鲁国故城遗址出土的这几件蜻蜓眼玻璃珠应该是从楚国地区输入,进一步说明了战国时期鲁国和楚地之间的紧密联系。蜻蜓眼玻璃珠的出土情况表明了玻璃珠在当时是一种奢侈品,较为稀少。

### 参考文献:

- [1] EISEN G. The characteristics of eye beads from the earliest times to the present[J]. *American Journal of Archaeology*, 1916, **20**(1): 1-27.
- [2] KENOYER J M. Eye beads from the Indus tradition: technology, style and chronology[J]. *Journal of Asian Civilizations*, 2013, **36**(2):1-23.
- [3] GAN Fuxi, CHENG Huansheng, LI Qinghui. Origin of Chinese ancient glasses: study on the earliest Chinese ancient glasses[J]. *Science in China Series E: Technological Sciences*, 2006, **49**(6): 701-713.
- [4] LIU S, LI Q H, GAN F X, *et al.* Characterization of some ancient glass vessels fragments found in Xinjiang, China, using a portable energy dispersive XRF spectrometer[J]. *X-Ray Spectrometry*, 2011, **40**(5):364-375.
- [5] LIU S, LI Q H, Gan F X, *et al.* Silk Road glass in Xinjiang, China: chemical compositional analysis and interpretation using a high-resolution portable XRF spectrometer[J]. *Journal of Archaeological Science*, 2012, **39**(7):2128-2142.
- [6] LIU S, LI Q H, FU Q, *et al.* Application of a portable XRF spectrometer for classification of potash glass beads unearthed from tombs of Han Dynasty in Guangxi, China[J]. *X-Ray Spectrometry*, 2013, **42**(6):470-479.
- [7] ZHAO H X, LI Q H, LIU S, *et al.* Characterization of microcrystals in some ancient glass beads from china by means of confocal Raman microspectroscopy[J]. *Journal of Raman Spectroscopy*, 2013, **44**(4):643-649.
- [8] 钟丹霞,郭木森,胡永庆,等.基于光学相干层析成像的古代瓷器釉层分类研究[J].*中国激光*, 2018, **45**(1):140-151.  
ZHONG Danxia, GUO Musen, HU Yongqing, *et al.* Microstructures of ancient porcelains based on Optical Coherence Tomography[J]. *Chinese Journals of Lasers*, 2018, **45**(1):140-151.
- [9] 山东省文物考古研究所,山东省博物馆,济宁地区文物组,等.曲阜鲁国故城[M].济南:齐鲁书社,1982.  
Shandong Institute of Cultural Heritage and Archaeology, Shandong Museum, Heritage Section of Jinan, *et al.* The ancient Qufu City of the State of Lu[M]. Jinan: Qilu Publishing House, 1982.
- [10] 赵德云.西周至汉晋时期中国外来珠饰研究[M].北京:科学出版社,2016:62.  
ZHAO Deyun. Exotic beads and pendants in ancient China: from Western Zhou to Eastern Jin Dynasty[M]. Beijing: Science Press, 2016:62.
- [11] ZHAO H X, LI Q H. Combined spectroscopic analysis of stratified glass eye beads from China dated to the Warring States Period[J]. *Journal of Raman Spectroscopy*, 2017, **48**(8):1103-1110.
- [12] 喻燕姣.湖南出土珠饰研究[M].长沙:湖南人民出版社,2018.  
YU Yanjiao. Research on beads unearthed from Hunan Province[M]. Changsha: Hunan People's Publishing House, 2018.
- [13] 关善明.中国古代玻璃[M].香港:香港中文大学文物馆,2001:21.  
GUAN Shanming. Early Chinese glass[M]. Hong Kong: Art Museum, the Chinese University of Hong Kong, 2001:21.
- [14] LIU S, LI Q H, GAN F X. Chemical analyses of potash-lime silicate glass artifacts from the Warring States Period in China[J]. *Spectroscopy Letters: an International Journal for Rapid Communication*, 2015, **48**(4):302-309.
- [15] DONG J Q, LI Q H, LIU S. The native development of ancient Chinese glassmaking: a case study on some early lead-barium-silicate glasses using a portable XRF spectrometer[J]. *X-ray Spectrometry*, 2015, **44**(6):458-467.

## Study of glass eye beads unearthed in ancient Qufu City of the State of Lu

GUO Sike<sup>1</sup>, GUAN Jie<sup>1</sup>, CHU Hongxuan<sup>1</sup>, LIU Song<sup>2,3</sup>, DONG Junqing<sup>2,3</sup>, LI Qinghui<sup>2,3</sup>

(1. Confucius Museum, Jining 273100, China;

2. Center of Sci – Tech Archaeology, Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800, China;

3. Center of Materials Science and Optoelectronics Engineering, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract:** In our study, energy dispersive X – ray fluorescence (EDXRF) spectrometry, confocal laser Raman microspectrometry (LRS), optical coherence tomography (OCT) and optical microscopy (OM) were combined to analyze seven glass eye beads unearthed in ancient Qufu City of the State of Lu, Shandong Province. The chemical compositions, mineral phases, surface physical structures and microstructures, glass types, manufacturing techniques, provenances and functions of the glass eye beads were determined. The results obtained show that they were made in the state of Chu and then transported to the State of Lu as luxury goods. These eye beads are physical evidence of exchanges and contacts between the States of Lu and Chu.

**Key words:** Glass eye bead; Ancient Qufu City of the State of Lu; Early and middle Warring States period

(责任编辑 谢 燕;校对 潘小伦)