

文章编号: 1005-1538(2024)02-0022-11
DOI: 10.16334/j.cnki.cn31-1652/k.20220502534

广西越州故城遗址玻璃珠饰的科学研究

韦伟燕¹, 刘松^{2,3}, 李青会^{2,3}, 林强⁴

(1. 中山大学社会学与人类学学院, 广东广州 510275; 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; 4. 广西文物保护与考古研究所, 广西南宁 530022)

摘要: 本研究利用能量色散型 X 射线荧光光谱分析、共聚焦激光拉曼光谱分析、光学相干层析成像、超景深光学显微观测等多种方法对广西越州故城遗址出土的印度-太平洋玻璃珠饰进行科技分析, 获取了玻璃珠的化学成分、物相结构、内部物理结构、表面显微形貌等综合物理化学信息, 确定了玻璃珠的玻璃体系、制作工艺(着色工艺、成形工艺)和产地来源, 探讨了以丝绸之路为主线的国内发现魏晋南北朝时期印度-太平洋玻璃珠可能的输入路线。广西越州故城遗址发现的印度-太平洋玻璃珠为中外文明交流提供了新实物证据, 对深入研究我国南北朝时期中外文明交流具有十分重要的学术价值和研究意义。

关键词: 印度-太平洋玻璃珠; 越州故城遗址; 魏晋南北朝; 科技分析; 丝路交流

中图分类号: K876; O433.4 **文献标识码:** A

0 引言

印度-太平洋玻璃珠(Indo-Pacific glass beads), 或称为印度-太平洋单色拉制玻璃珠(Indo-Pacific monochrome drawn glass beads), 是古代玻璃制品中延续时间最长、地理分布范围最广的一类珠饰。此类玻璃珠主要采用拉制工艺进行制作, 最早出现于公元前 4 世纪至公元前 3 世纪左右, 并一直持续近两千年, 广泛分布于亚洲、欧洲和非洲等地^[1]。此类珠饰的直径通常小于 6 mm, 最小直径可小于 1 mm; 形状主要有扁圆形、管形、算珠形等; 透明度可分为乳浊、半透明和透明三种类型, 其中乳浊类型颜色主要有红色、黄色、绿色、橙色、黑色等, 半透明和透明类型颜色主要有不同色调的蓝色、绿色、紫色、琥珀色等。

玻璃珠饰作为一种装饰品, 自古以来便深受世界各地人们的喜爱。由于其具有便携性、耐久性的特点, 玻璃珠饰也成为了古代贸易交换中最为常见的商品类型之一^[2]。印度-太平洋玻璃珠是众多玻璃珠饰类型中的一种, 其所具有的时空分布特征, 使其成为研究基于丝绸之路器物传播路线、远距离贸易、区域内部和区域之间交流的典型器物类型。

Carter^[3]对柬埔寨铁器时代的多个遗址中出土的印度-太平洋玻璃珠饰及其他玻璃器物进行了研究, 探讨了柬埔寨与其他地区之间的交流和联系, 确定了至少 2 个珠饰交易网络。Katsuhiko 等^[4]以日本弥生时代和古坟时代墓葬出土的印度-太平洋玻璃珠为研究对象, 探讨了日本通过海上丝绸之路与南亚和东南亚之间的联系。

本研究选取了广西越州故城遗址出土的各色印度-太平洋玻璃珠饰, 利用 X 射线荧光光谱分析(XRF)、共聚焦激光拉曼光谱分析、光学相干层析成像(OCT)、超景深光学显微观测(OM)等方法对其进行了科技分析, 获取了化学成分、物相组成、内部物理结构、表面形貌等综合物理化学信息, 确定了玻璃珠饰的玻璃体系、制作工艺等, 探讨了越州故城遗址出土印度-太平洋玻璃珠的产地来源、可能的传播路线, 以及我国南北朝时期岭南地区与东南亚、南亚等地区之间的交流和联系。

1 分析方法

1.1 能量色散型 X 射线荧光光谱分析

采用型号为 OURSTEX 100FA 的能量色散型 X

收稿日期: 2022-05-04; 修回日期: 2022-06-23

基金项目: 国家重点研发计划项目(2019YFC1520203)资助

作者简介: 韦伟燕(1986—), 女, 2017年博士毕业于吉林大学考古学专业, 副研究员, 研究方向为战国秦汉考古、东南亚考古, E-mail: weiyen.wei@qq.com

射线荧光光谱仪进行化学成分分析。该设备采用金属钨(Pd)作为X射线源,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。设备主要由四个单元组成:探测器单元、高压单元、控制单元和数据处理单元组成。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器单元。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考文献[5]。此设备已被成功应用于新疆、广西、湖北、浙江等地出土古代玻璃器的研究^[6-7]。

1.2 共聚焦激光拉曼光谱分析

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×、100×和LWD 50×。采用532 nm高稳定固体激光器(25 mW)及相应的滤光片组件,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×物镜配合,空间分辨率横向优于1 μm,纵向优于2 μm。光谱仪拉曼频移范围为70~8 000 cm⁻¹(532 nm),光谱分辨率≤2 cm⁻¹,内置四块光栅(2 400 gr/mm、1 800 gr/mm、1 200 gr/mm和600 gr/mm)。光谱重复性≤±0.2 cm⁻¹。本台仪器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^[8]。

1.3 光学相干层析成像

采用日本Santec公司IVS-2000型光学相干层析成像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:扫频源、干涉仪单元、OCT探针和计算机单元。扫频源中心波长为1 315~1 340 nm,谱峰半高宽为110 nm,扫频频率为20 kHz,激光最大功率为50 mW。OCT探针扫描范围为0~20 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 μm,轴向探测深度达到5.3 mm,横向分辨率<5 μm。该技术已被成功应用于中国古代瓷釉的断层结构分析^[9]。

1.4 超景深光学显微观测

采用日本基恩士公司VHX-5000型超景深光学显微系统对样品表面进行显微观测。该设备配备有两种型号的光学显微镜头:VH-Z20(×20~200)和VH-Z100R(×100~1000),可实现20×至1000×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。本系统已被成功应用于中国古代治玉工艺的科学研究^[10]。

2 样品

2.1 背景信息

越州故城遗址位于广西壮族自治区钦州市浦北县,其地处浦北、合浦、博白三县交汇之处,距浦北县城约60公里,是全国重点文物保护单位。越州故城城址始于南朝宋泰始七年(471年),废于隋朝(581年—618年),前后延续一百多年。2020年7月至12月,广西文物保护与考古研究所联合中山大学对越州故城进行调查、勘探与发掘,出土了数量众多、材质丰富的文物样品,包括陶器、瓷器、铁器、玻璃珠等,其中玻璃珠共出土两千多颗,有红、蓝、黄、绿、褐等多种颜色。

2.2 玻璃珠饰信息

所分析的广西越州故城遗址出土印度-太平洋玻璃珠饰,根据其颜色和透明度特征,大致分为五类:乳浊棕红色、乳浊橙色、乳浊黄色、半透明浅绿色、半透明蓝绿色。玻璃珠体积较小,其外径范围为1.70~3.39 mm,厚度范围为0.51~1.94 mm,玻璃珠饰基本信息如表1所示,显微照片如图1所示。

表1 广西越州故城遗址出土印度-太平洋玻璃珠的基本信息

Table 1 Information list of Indo-Pacific glass beads found at the city site of Yuezhou, Guangxi

序号	样品编号	颜色	透明度	外径/mm	厚度/mm	孔径/mm
1	YZGC-LB1	浅绿色	半透明	3.04	2.65	0.96
2	YZGC-LB2	浅绿色	半透明	2.94	1.59	1.08
3	YZGC-LB3	浅绿色	半透明	2.91	1.65	0.98
4	YZGC-LB4	浅绿色	半透明	残	1.94	残
5	YZGC-LB5	浅绿色	半透明	残	残	残
6	YZGC-DB1	蓝绿色	半透明	3.39	1.75	1.05
7	YZGC-DB2	蓝绿色	半透明	3.17	2.78	1.11

(续表 1)

序号	样品编号	颜色	透明度	外径/mm	厚度/mm	孔径/mm
8	YZGC - DB3	蓝绿色	半透明	3.08	2.15	1.34
9	YZGC - DB4	蓝绿色	半透明	3.12	1.84	1.05
10	YZGC - DB5	蓝绿色	半透明	2.76	1.20	1.07
11	YZGC - Y1	黄色	乳浊	1.79	1.98	—
12	YZGC - Y2	黄色	乳浊	2.06	1.49	0.77
13	YZGC - Y3	黄色	乳浊	1.70	2.11	0.71
14	YZGC - Y4	黄色	乳浊	2.09	1.76	0.80
15	YZGC - Y5	黄色	乳浊	2.10	1.50	0.93
16	YZGC - O1	橙色	乳浊	2.06	2.30	0.81
17	YZGC - O2	橙色	乳浊	2.48	1.63	0.85
18	YZGC - O3	橙色	乳浊	2.13	2.05	1.10
19	YZGC - O4	橙色	乳浊	1.84	1.61	0.82
20	YZGC - O5	橙色	乳浊	2.24	1.74	0.80
21	YZGC - B1	棕红色	乳浊	3.64	1.53	1.45
22	YZGC - B2	棕红色	乳浊	3.36	1.70	1.50
23	YZGC - B3	棕红色	乳浊	2.82	2.18	0.92
24	YZGC - B4	棕红色	乳浊	2.97	2.17	1.24
25	YZGC - B5	棕红色	乳浊	2.44	2.24	1.27



图 1 广西越州故城遗址出土印度 - 太平洋玻璃珠显微照片

Fig. 1 Photos of Indo - Pacific glass beads found at the city site of Yuezhou, Guangxi

3 结果和讨论

3.1 玻璃体系

越州故城遗址出土印度-太平洋玻璃珠化学成分定量分析结果如表2所示。

由于样品 YZGC-LB5 和 YZGC-Y1 体积较小,且表面不规则,测试结果十分不理想,故表2中未包含此两件样品的定量分析结果。由表2可知:Na₂O 含量范围为 3.32%~10.53%;CaO 含量范围为 0.26%~3.56%;MgO 含量低于定量分析方法检出限而未检测到;Al₂O₃ 含量范围为 0.01%~8.42%,其中 YZGC-LB2、YZGC-DB1、YZGC-Y2、YZGC-Y3、YZGC-Y4 和 YZGC-Y5 的 Al₂O₃ 含量

低于3%,其他样品中 Al₂O₃ 的含量范围为 3.24%~8.42%;K₂O 含量范围为 0.52%~1.56%。上述化学成分分析结果表明,广西越州故城遗址出土的印度-太平洋玻璃珠以 Na₂O 作为主要助熔剂,而且因 MgO 和 K₂O 的含量均较低,故 Na₂O 的来源是矿物而非植物灰。此外,CaO 含量也相对较低(<4%),而除上述几件 Al₂O₃ 含量低于3%的样品之外,其余样品的 Al₂O₃ 含量水平相对较高。上述化学成分特征与矿物碱型钠铝硅酸盐玻璃(简称矿物碱型钠铝玻璃,m-Na-Al)相一致^[11],可确定除 YZGC-LB2、YZGC-DB1、YZGC-Y2、YZGC-Y3、YZGC-Y4 和 YZGC-Y5 外,其余玻璃珠均为矿物碱型钠铝玻璃。

表2 广西越州故城遗址出土印度-太平洋玻璃珠化学成分定量分析结果

Table 2 Chemical compositions of Indo-Pacific glass beads found at the city site of Yuezhou, Guangxi

样品 编号	质量分数/%													含量/($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)							
	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	CuO	PbO	SnO ₂	Cr	Ni	Zn	Rb	Sr	Zr	Pb	
YZGC-LB1	10.12	n. d.	8.42	74.70	n. d.	1.42	2.92	0.25	0.06	1.61	0.50	n. d.	n. d.	31	n. d.	n. d.	14	371	397	44	
YZGC-LB2	8.89	n. d.	0.01	87.09	n. d.	1.04	0.64	0.70	0.09	1.24	0.31	n. d.	n. d.	7	n. d.	22	5	102	256	62	
YZGC-LB3	8.89	n. d.	4.20	80.87	n. d.	1.56	1.13	0.99	0.08	1.50	0.78	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	21	267	878	56	
YZGC-LB4	3.32	n. d.	6.15	84.67	n. d.	0.88	1.51	1.08	0.09	1.74	0.56	n. d.	n. d.	4	n. d.	n. d.	22	235	622	125	
YZGC-DB1	8.14	n. d.	1.60	84.79	n. d.	0.77	1.52	0.15	0.35	1.49	1.19	n. d.	n. d.	7	n. d.	13	n. d.	88	87	60	
YZGC-DB2	7.73	n. d.	6.68	76.28	n. d.	1.40	3.56	0.64	0.50	2.18	1.03	n. d.	n. d.	57	6	45	24	252	521	52	
YZGC-DB3	10.41	n. d.	4.89	76.94	n. d.	1.21	2.83	0.55	0.43	1.90	0.83	n. d.	n. d.	27	n. d.	n. d.	18	186	408	21	
YZGC-DB4	9.30	n. d.	5.30	77.53	n. d.	1.06	3.04	0.54	0.44	1.91	0.88	n. d.	n. d.	32	4	22	19	204	420	29	
YZGC-DB5	10.34	n. d.	3.70	80.03	n. d.	0.65	1.80	0.18	0.36	1.55	1.37	n. d.	n. d.	39	3	41	8	173	232	77	
YZGC-Y2	9.95	n. d.	2.19	80.86	n. d.	0.60	0.51	0.65	0.10	1.81	n. d.	2.95	0.38	33	n. d.	10	n. d.	43	90	M	
YZGC-Y3	6.15	n. d.	1.13	85.29	n. d.	0.72	0.26	0.63	0.12	1.54	n. d.	3.73	0.44	35	34	7	n. d.	45	92	M	
YZGC-Y4	5.71	n. d.	2.43	83.56	n. d.	0.59	0.61	0.72	0.11	2.02	n. d.	3.73	0.53	25	n. d.	6	n. d.	64	151	M	
YZGC-Y5	7.43	n. d.	2.19	82.61	n. d.	0.52	0.46	0.68	0.11	1.93	n. d.	3.63	0.43	34	n. d.	4	n. d.	58	134	M	
YZGC-O1	6.53	n. d.	4.73	68.60	n. d.	0.94	1.89	0.67	0.09	3.49	13.07	n. d.	n. d.	60	196	306	n. d.	92	138	49	
YZGC-O2	5.64	n. d.	6.65	67.15	n. d.	1.12	2.25	0.67	0.10	5.55	10.87	n. d.	n. d.	52	153	423	6	93	76	133	
YZGC-O3	5.55	n. d.	5.35	70.78	n. d.	0.86	2.19	0.59	0.08	5.05	9.54	n. d.	n. d.	48	186	251	4	104	90	65	
YZGC-O4	3.59	n. d.	3.24	77.64	n. d.	0.60	1.66	0.42	0.08	4.47	8.29	n. d.	n. d.	32	100	196	n. d.	55	48	29	
YZGC-O5	3.67	n. d.	3.68	75.98	n. d.	0.93	2.62	0.45	0.10	4.80	7.77	n. d.	n. d.	45	96	227	6	71	54	69	
YZGC-B1	9.41	n. d.	5.76	75.03	n. d.	0.93	2.09	0.60	0.12	3.66	2.24	0.17	n. d.	60	41	102	8	144	274	M	
YZGC-B2	10.53	n. d.	5.25	74.29	n. d.	1.00	2.13	0.62	0.12	3.90	2.00	0.17	n. d.	90	35	103	7	141	221	M	
YZGC-B3	10.03	n. d.	6.13	74.34	n. d.	1.04	2.17	0.65	0.15	3.59	1.80	0.10	n. d.	25	29	72	8	161	221	M	
YZGC-B4	9.31	n. d.	4.94	76.72	n. d.	0.87	1.96	0.55	0.12	3.57	1.83	0.14	n. d.	53	36	56	6	130	240	M	
YZGC-B5	8.10	n. d.	4.96	77.45	n. d.	0.92	1.95	0.55	0.11	3.79	1.99	0.18	n. d.	59	27	47	8	143	197	M	

注:“n. d.”表示没有检测到;“M”表示此种元素为主量或次量组分。

图2为广西越州故城遗址出土玻璃珠部分组分和微量元素二维分布图。从图2可以看出,半透明浅绿色和半透明浅蓝色玻璃珠中CaO和Al₂O₃存在明显的线性正相关关系,线性拟合度R²值分别为0.8226和0.9166,表明半透明浅绿色玻璃珠和半透明浅蓝色玻璃珠在CaO、Al₂O₃的矿料来源上分

别具有一致性,同种颜色的玻璃珠采用了相同的矿物原料制作而成。因此,尽管YZGC-LB2和YZGC-DB1的Al₂O₃含量水平(<3%)相对较低,但两者与其相同类型的玻璃珠饰的产地应是一致的。对于乳浊黄色玻璃珠和棕红色玻璃珠,其玻璃基体中CaO、Al₂O₃含量均较为集中,表明同类型的玻璃珠

样品中 CaO 、 Al_2O_3 的原料配方较为相似;而乳浊橙色玻璃珠样品中 CaO 、 Al_2O_3 含量较为分散,表明其原料或配方存在一定差异,且乳浊橙色玻璃珠样品中 CaO 、 Al_2O_3 线性关系较弱。

乳浊黄色玻璃珠饰(YZGC - Y2、YZGC - Y3、YZGC - Y4、YZGC - Y5)的 Na_2O 含量范围为 5.71% ~ 9.95%,其 CaO 、 Al_2O_3 的含量范围分别为 0.26% ~ 0.61%、1.13% ~ 2.43%,含量水平均相对较低(图2),其化学成分与钠钙玻璃、钠铝玻璃等玻璃体系存在一定差异,仅可确定其为富钠玻璃(soda glass)。

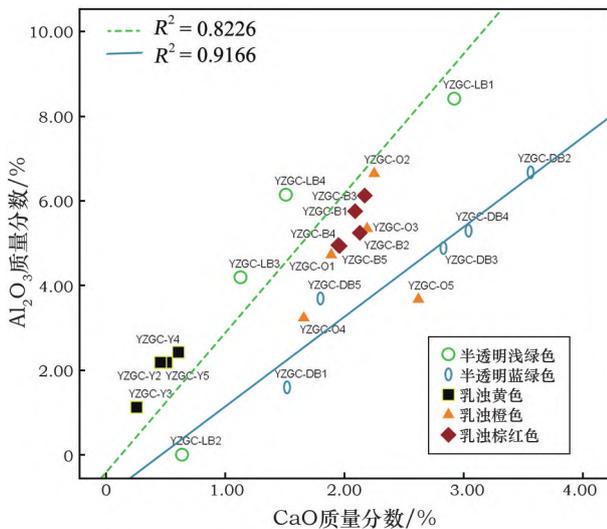


图2 广西越州故城遗址出土印度-太平洋玻璃珠组分二维分布图(CaO 对 Al_2O_3)

Fig. 2 Two-dimensional plot for the chemical compositions of Indo-Pacific glass beads found at the city site of Yuezhou, Guangxi (CaO vs. Al_2O_3)

3.2 着色工艺

所分析的广西越州故城遗址出土印度-太平洋玻璃珠的着色工艺可分为三种类型:化合物着色、金属颗粒致色和过渡金属离子着色。

乳浊黄色是由锡酸铅晶体着色。在乳浊黄色玻璃珠样品(YZGC - Y2 ~ YZGC - Y5)中均检测到了锡酸铅晶体的存在。图3为锡酸铅($\text{PbSn}_{1-x}\text{Si}_x\text{O}_3$)的特征拉曼光谱图(YZGC - Y3)。由图3可以看出,锡酸铅($\text{PbSn}_{1-x}\text{Si}_x\text{O}_3$)的拉曼特征峰主要位于 135 cm^{-1} 、 324 cm^{-1} 和 445 cm^{-1} 附近,这与文献[12]的研究结果是一致的。根据表2中的化学成分分析结果,仅在乳浊黄色玻璃珠饰中检测到了 PbO 和 SnO_2 的存在,而其他类型珠饰中并未检测到,这进一步验证了乳浊黄色玻璃珠中锡酸铅的存在。

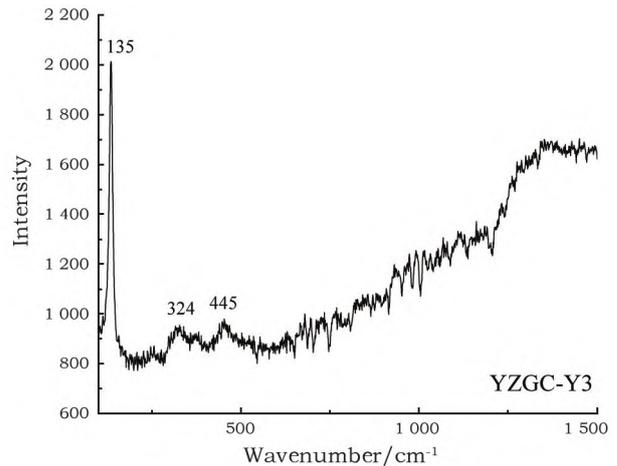


图3 锡酸铅晶体($\text{PbSn}_{1-x}\text{Si}_x\text{O}_3$)特征拉曼光谱图(YZGC - Y3)

Fig. 3 Raman spectrum of the lead stannate crystal ($\text{PbSn}_{1-x}\text{Si}_x\text{O}_3$) of YZGC - Y3

乳浊橙色玻璃珠(YZGC - O1 ~ YZGC - O5)和乳浊棕红色玻璃珠(YZGC - B1 ~ YZGC - B5)都与金属铜颗粒存在直接联系。化学成分分析结果(表2)表明,上述两种类型中 CuO 的含量水平明显高于其他样品。乳浊橙色玻璃珠样品中 CuO 的含量水平(7.77% ~ 13.07%)又高于乳浊棕红色玻璃珠中 CuO 含量水平(1.80% ~ 2.24%)(图4)。已有研究表明,“铜红”玻璃珠中的颜色主要与金属铜颗粒存在密切关系,不同粒径的金属铜颗粒会形成不同色调的红色和外观特征^[13]。另外,在乳浊橙色玻璃珠中检测到 Cu_2O 晶体的存在,而在棕红色的玻璃珠中基本检测不到^{[14]246}。这表明两种颜色的铜红珠与 Cu_2O 晶体也存在密切关系。“铜红珠”在烧制过程中,基体内部的铜离子被还原,铁离子起到了还原剂的作用^[15]。由于玻璃基体中铜、铁含量的差异,导致玻璃基体中铜离子的还原程度存在差异,棕红色玻璃珠中以铜纳米颗粒为主,而橙色玻璃珠中 Cu_2O 晶体数量明显增多,这可能是导致两种类型“铜红珠”颜色差异的主要原因。

半透明浅绿色玻璃珠(YZGC - LB1 ~ YZGC - LB4)和半透明蓝绿色玻璃珠(YZGC - DB1 ~ YZGC - DB5)主要是以铁、铜离子着色为主,其中绿色主要为铁离子着色,而蓝绿色则是铁离子和铜离子共同着色。化学成分分析结果(表2)表明:浅绿色玻璃珠 Fe_2O_3 含量范围为1.24% ~ 1.74%, CuO 含量范围为0.31% ~ 0.78%;蓝绿色玻璃珠 Fe_2O_3 含量范围为1.49% ~ 2.18%, CuO 含量范围为0.83% ~ 1.37%。蓝绿色玻璃珠 CuO 的含量明显增加,这与本研究结论是相一致的(图4)。

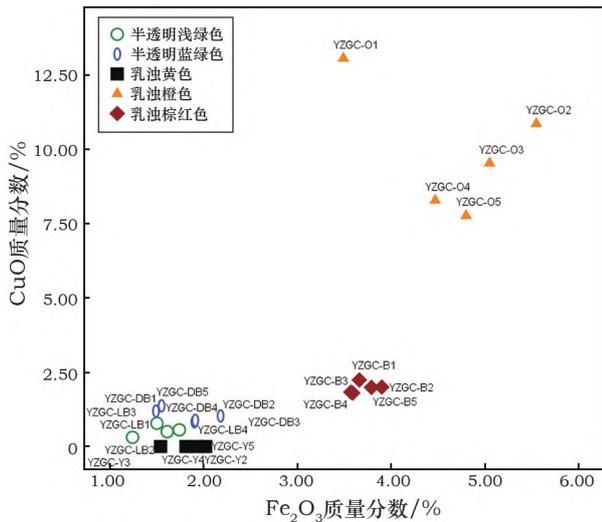


图 4 广西越州故城遗址出土印度 - 太平洋玻璃珠组分二维分布图 (Fe_2O_3 对 CuO)

Fig. 4 Two - dimensional plot for the chemical compositions of Indo - Pacific glass beads found at the city site of Yuezhou, Guangxi (Fe_2O_3 vs. CuO)

3.3 成形工艺

印度 - 太平洋玻璃珠的制作主要采用拉制工艺,通常为批量化生产,需要多位经验丰富的工匠相互配合,同时还需要多个窑炉和专业的制作工具——体现出了玻璃制作技术的专业化^[16]。

图 5 为部分典型玻璃珠饰表面微观形貌特征。从图 5 中可以明显观察到珠饰表面平行于珠饰穿孔方向的拉制条纹痕迹。图 6 则给出了部分珠饰的内部物理结构 OCT 图像。由于 OCT 技术对玻璃基体中的异相(未熔融颗粒、气泡、金属纳米颗粒、析晶等)会产生强烈的散射,不透明玻璃珠饰的内部物理结构信息会因玻璃基体中乳浊剂的存在而被掩盖^[17]。因此,图 6 中只给出了半透明玻璃珠饰内部物理结构的 OCT 图像。通过图 6 可以明显看出,在珠饰内部也存在着平行于珠孔方向的条纹痕迹。这种平行于珠孔的痕迹是拉制工艺的典型特征——主要是由于玻璃基体中所含杂质、气泡等,在熔融状态下被拉伸时,所形成的平行于穿孔方向的拉制痕迹。

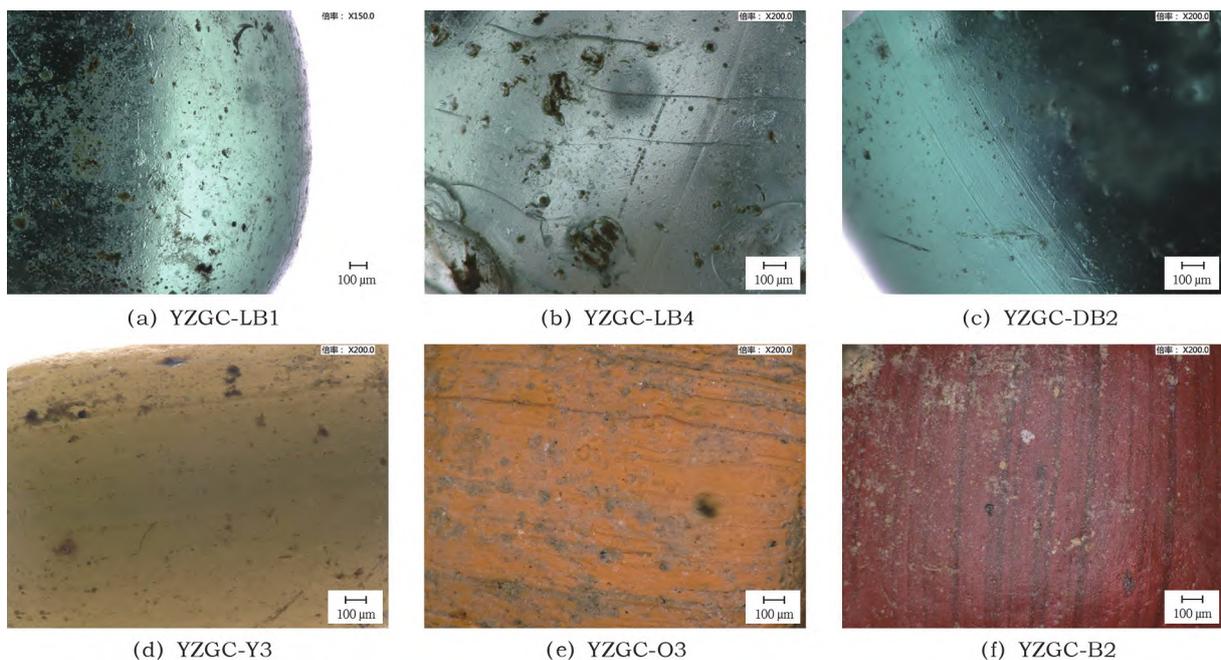


图 5 广西越州故城遗址印度 - 太平洋玻璃珠的表面拉制工艺微观特征

Fig. 5 Micromorphological characteristics of the drawing technique for Indo - Pacific glass beads found at the city site of Yuezhou, Guangxi

3.4 产地来源

Dussubieux 等^[18]对世界范围内发现的矿物碱型钠铝玻璃进行了系统研究,依据玻璃基体中主次量组分和微量元素,将矿物碱型钠铝玻璃分为六个亚类,其中亚类 5 仅有一件样品(来自土耳其),本研究暂不

考虑此种亚类。表 3 给出了其他五个亚类矿物碱型钠铝玻璃的时空分布特征^[11,18]。前文提到越州故城遗址的起讫年代为公元 5 世纪中后期至公元 7 世纪初左右。从表 3 中可以看出,在越州故城遗址的年代范围内,仅存在一种矿物碱型钠铝玻璃亚类,即亚类 1。



图 6 广西越州故城遗址印度 - 太平洋玻璃珠的内部物理结构 OCT 图像

Fig. 6 OCT images of the inner structures of Indo - Pacific glass beads found at the city site of Yuezhou, Guangxi

表 3 不同亚类矿物碱型钠铝玻璃的时空分布特征^[11,18]

Table 3 Temporal and spatial distribution of the sub - types of mineral soda aluminum silicate glass

亚类	分布区域	年代范围
亚类 1	印度南部、斯里兰卡	公元前 4 世纪至公元 5 世纪
	东南亚	公元前 4 世纪至公元 11 世纪
亚类 2	非洲、印度西海岸地区	公元 9 世纪至公元 19 世纪
亚类 3	印度、东南亚	公元前 4 世纪至公元前 3 世纪
亚类 4	东南亚、南亚、非洲	公元 14 世纪以后
亚类 6	非洲、东南亚	公元 9 世纪至公元 13 世纪

Dussubieux 等^[19]还对南亚和东南亚地区的矿物碱型钠铝玻璃进行了钕(Nd)、锶(Sr)、铅(Pb)元素同位素分析,以确定不同矿物碱型钠铝玻璃的

产地。根据 Nd 同位素分析结果,矿物碱型钠铝玻璃亚类 1 可分为低 ϵNd 值类型和高 ϵNd 值类型。低 ϵNd 值类型样品主要来自于泰国和马来西亚,而

高 ϵNd 值类型样品主要来自斯里兰卡。来自东南亚的低 ϵNd 值类型样品的 Nd 同位素分析结果与印度南部初级玻璃制品是相似的。另外,泰国的矿物碱型钠铝玻璃亚类 1 样品年代相对较早,约为公元前 3 世纪至公元 4 世纪,而马来西亚的样品则为公元 9 世纪至 11 世纪。因此, Dussubieux 等认为东南亚地区的矿物碱型钠铝玻璃亚类 1 样品可能来自于印度南部地区,而且此种类型的玻璃在东南亚地区的生产制作历史超过千年。

矿物碱型钠铝玻璃亚类 1 具有低含量水平铀 (U) 元素和高含量水平的钡 (Ba)、锶 (Sr)、锆 (Zr) 元素,其中 Sr、Zr 元素含量范围分别主要集中在 228 ~ 518 $\mu\text{g/g}$ 、141 ~ 981 $\mu\text{g/g}$ ^[11]。图 7 为所测试的广西越州故城遗址出土印度 - 太平洋玻璃珠中微量元素 Zr、Sr 的二维分布图。由图 7 可以看出,半透明的绿色和蓝绿色玻璃珠以及乳浊棕红色玻璃珠中含有较高含量的 Sr、Zr,与矿物碱型钠铝玻璃亚类 1 的化学成分特征是相符的。尽管本研究所分析的乳浊橙色玻璃珠中 Sr、Zr 的含量水平相对较低,但根据目前所发表的分析数据,乳浊橙色玻璃珠均为矿物碱型钠铝玻璃亚类 1^[11]。微量元素特征存在差异的原因是多方面的,与风化、珠饰大小、仪器设备参数等都存在一定关系。

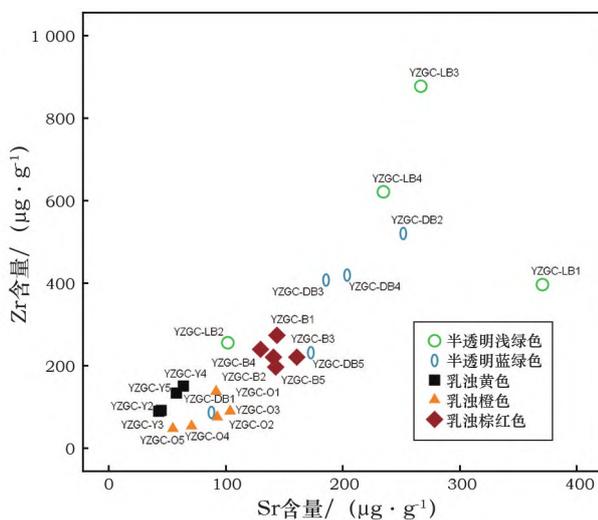


图 7 广西越州故城遗址出土印度 - 太平洋玻璃珠组分二维分布图 (Sr 对 Zr)

Fig. 7 Two - dimensional plot for the chemical compositions of Indo - Pacific glass beads found at the city site of Yuezhou, Guangxi (Sr vs. Zr)

乳浊黄色玻璃珠中主要助熔剂为 Na_2O ,但其 CaO ($< 1\%$)、 Al_2O_3 ($< 2.5\%$) 的含量较低。相似化学成分的玻璃珠饰在东南亚地区有所发现,数量相

对较少^[20]。因此推测,越州故城遗址出土的部分印度 - 太平洋玻璃珠饰与东南亚地区存在联系。

综上所述,广泛分布于南亚和东南亚地区的矿物碱型钠铝玻璃亚类 1 的产地在南亚地区,而且此种类型的玻璃在东南亚地区的生产制作历史超过千年。本研究所分析的印度 - 太平洋玻璃珠均属于矿物碱型钠铝玻璃亚类 1,其初级玻璃产地为南亚地区,可能以初级玻璃或成品玻璃珠的形式,与东南亚地区进行交流,进而传入我国。富钠玻璃型印度 - 太平洋玻璃珠则与东南亚地区存在密切联系。

3.5 我国南北朝时期的印度 - 太平洋玻璃珠及其传播路线

我国汉代的大量印度 - 太平洋玻璃珠主要分布于广西^[21]、广东^[14]、河南^[15]等地区,其玻璃体系以钾玻璃为主^[22],与本研究所分析的矿物碱型钠铝玻璃存在明显差异。根据目前所发表的考古资料,河南洛阳地区^[23]、山西大同地区^[24]是北魏时期印度 - 太平洋玻璃珠发现较多的地点,而在我国南方地区的湖北雷家坪也发现了六朝时期的印度 - 太平洋玻璃珠^[25]。河南洛阳永宁寺(始建于 516 年,是皇家御用寺庙,专供皇帝、太后礼佛)出土的印度 - 太平洋玻璃珠(图 8a)数量有 15 万颗之多,除极少数为水晶、玛瑙外,其余均为玻璃珠,有红、蓝、黄、绿和黑等多种颜色且色彩鲜艳;珠体最大直径约 0.35 cm,直径小的不足 0.1 cm;主要用于装饰各类佛像、菩萨像,以及作为珠帘^[26]。山西大同恒安街北魏墓出土一件项饰(图 8b),此件项饰是由印度 - 太平洋玻璃珠、金珠、珍珠、水晶等多种材质珠饰构成,按照出土时珠饰的相对位置复原而成^[24]。山西大同御昌佳园墓葬中也有相同类型的玻璃珠出土^[24]。化学成分分析结果表明,在河南洛阳地区和湖北雷家坪发现的印度 - 太平洋玻璃珠的玻璃体系均以矿物碱型钠铝玻璃为主^[25-26],与越州故城遗址出土的玻璃珠饰是相同的。但由于未做微量元素分析,因而无法确定其亚类。

公元 5 世纪的平城(今山西省大同市)在中国历史中占有重要地位,在促进中外交流方面发挥了重要作用。《魏书·西域传》中记载:“世祖时,其国人商贩京师,自云能铸石为五色琉璃,于是采矿山中,于京师铸之。既成,光泽乃美于西方来者。”上述文献记载表明了北魏时期,西域人士到平城进行商贸活动,而且还在“京师”制作出了玻璃。山西大同地区北魏墓葬中出土的金耳饰表明当时平城与中亚地区也存在联系^[27]。此外,辽宁北票北

燕冯素弗墓出土的一批罗马玻璃、河北景县封氏家族墓地出土的多件罗马玻璃器^[28]也为我国北方地区与罗马帝国之间的交流提供了实物证据。山西

大同地区和河南洛阳地区发现的北魏时期印度 - 太平洋玻璃珠可能是通过陆上丝绸之路传入我国的。



(a) 河南洛阳永宁寺出土^[23]



(b) 山西大同恒安街北魏墓出土^[24]

图8 我国南北朝时期印度 - 太平洋玻璃珠饰

Fig. 8 Indo - Pacific glass beads of the Southern and Northern Dynasties

在我国南方发现的南朝时期印度 - 太平洋玻璃珠则可能与海上丝绸之路存在密切联系。矿物碱型钠铝玻璃亚类1的印度 - 太平洋玻璃珠广泛分布于东南亚、南亚、非洲等地,尤其是东南亚地区沿海港口城市发现较多^[29-30],表明海上丝绸之路是此种类型玻璃珠饰的主要传播途径之一。本研究所分析的广西越州故城遗址出土的印度 - 太平洋玻璃珠应是由海上丝绸之路传入我国岭南地区的。

4 结 论

本研究利用多种科技分析方法对广西越州故城遗址出土的印度 - 太平洋玻璃珠进行了科技分析检测,获取了玻璃珠饰的化学成分、物相组成、显微形貌和内部物理结构等物理化学信息。研究表明:所分析的玻璃珠均采用拉制工艺制作而成;半透明浅绿色玻璃珠的主要着色元素为 Fe,半透明蓝绿色玻璃珠的则为 Fe、Cu,乳浊黄色玻璃珠采用了锡酸铅进行着色,乳浊橙色和棕红色玻璃珠的着色则与金属铜颗粒存在直接关系。化学成分分析结果表明:半透明浅绿色、蓝绿色和乳浊橙色、棕红色玻璃珠均为矿物碱型钠铝玻璃亚类1,其初级玻璃产地为南亚地区;乳浊黄色玻璃珠的化学成分与东南亚地区发现的部分印度 - 太平洋玻璃珠存在相似性。结合其他相关文献,广西越州故城遗址出土的印度 - 太平洋玻璃珠与南亚、东南亚地区存在密切联系,应是通过海上丝绸之路传入我国岭南地区的。

参考文献:

- [1] FRANCIS P, Jr. Glass beads in Asia: part II. Indo - Pacific beads [J]. *Asian Perspectives*, 1990, **29**(1): 1 - 23.
- [2] KOLEINI F, COLOMBAN P, PIKIRAYI I, *et al.* Glass beads, markers of ancient trade in Sub - Saharan Africa: methodology, state of the art and perspectives [J]. *Heritage*, 2019, **2**: 2343 - 2369.
- [3] CARTER A K. Trade and exchange networks in Iron Age Cambodia: preliminary results from a compositional analysis of glass beads [J]. *Bulletin of the Indo - Pacific Prehistory Association*, 2010, **30**: 178 - 188.
- [4] KATSUHIKO O, GUPTA S. The Far East, Southeast and South Asia: Indo - Pacific beads from Yayoi Tombs as indicators of early maritime exchange [J]. *South Asian Studies*, 2000, **16**(1): 73 - 88.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 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[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 Journal of Lasers,2018,45(1):140-151.
- [10] 袁仪梦,胡永庆,刘松,等.河南固始侯古堆一号墓出土东周玉器的科技分析[J]. 光谱学与光谱分析,2021,41(4):1306-1313.
- YUAN Yimeng, HU Yongqing, LIU Song, *et al.* Scientific and technological analysis of jade unearthed from cemeteries dated from Eastern Zhou Dynasty from Tomb No.1 in Hougudui, Gushi, Henan Province[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis,2021,41(4):1306-1313.
- [11] DUSSUBIEUX L, GRATUZE B, BLET - LEMARQUAND M. Mineral soda alumina glass: occurrence and meaning[J]. Journal of Archaeological Science,2010, 37(7):1646-1655.
- [12] LI Qinghui, LIU Song, SU Bomin, *et al.* Characterization of some tin - containing ancient glass beads found in China by means of SEM - EDS and Raman spectroscopy[J]. Microscopy Research Technique,2013,76(2):133-140.
- [13] BRUN N, MAZEROLLES L, PERNOT M. Microstructure of opaque red glass containing copper [J]. Journal of Materials Science Letters,1991,10:1418-1420.
- [14] 广州市文物考古研究院. 广州出土汉代珠饰研究[M]. 北京: 科学出版社,2020.
- Guangzhou Municipal Institute of Cultural Heritage and Archaeology. Study on beads and pendants unearthed from Guangzhou [M]. Beijing: Science Press,2020.
- [15] XU Siwen, QIAO Baotong, YANG Yimin. The rise of the Maritime Silk Road about 2000 years ago: insights from Indo - Pacific beads in Nanyang, Central China[J]. Journal of Archaeological Science: Reports,2022,42:103383.
- [16] 李青会,左骏,刘琦,等. 文化交流视野下的汉代合浦港[M]. 南宁:广西科学技术出版社,2019.
- LI Qinghui, ZUO Jun, LIU Qi, *et al.* Research on the Hepu Port of the Han Dynasty from the perspective of cultural exchange[M]. Nanning: Guangxi Science & Technology Publishing House,2019.
- [17] 严鑫,董俊卿,李青会,等. 基于 OCT 技术对古代瓷釉断面结构特征的初步研究[J]. 中国激光,2014,41(9):195-200.
- YAN Xin, DONG Junqing, LI Qinghui, *et al.* Preliminary research in section structure characteristics of ancient glaze based on OCT technology[J]. Chinese Journal of Lasers,2014,41(9):195-200.
- [18] DUSSUBIEUX L. Indian glass in Southeast Asia[M]// KANUNGO A K, DUSSUBIEUX L. Ancient Glass of South Asia: Archaeology, Ethnography and Global Connections. Singapore: Springer,2021: 489-510.
- [19] DUSSUBIEUX L, CLOQUET C, PRYCE T O. Isotope analysis and its applications to the study of ancient Indian glass [M]// KANUNGO A K, DUSSUBIEUX L. Ancient Glass of South Asia: Archaeology, Ethnography and Global Connections. Singapore: Springer,2021:175-202.
- [20] RAHMAN S A, HAMZAH M S, WOOD A K, *et al.* INAA of ancient glass beads from Sungai Mas archaeological site, Bujang Valley, Malaysia [J]. Journal of Radioanalytical & Nuclear Chemistry,2008,278(2):271-276.
- [21] 熊昭明,李青会. 广西出土汉代玻璃器的考古学与科技研究[M]. 北京:文物出版社,2011.
- XIONG Zhaoming, LI Qinghui. Archaeological, scientific and technical study on the glass artifacts of the Han Dynasty unearthed from Guangxi, China[M]. Beijing: Cultural Relics Press,2011.
- [22] 刘松,吕良波,李青会,等. 岭南汉墓出土玻璃珠饰与汉代海上丝绸之路中外交流[J]. 文物保护与考古科学. 2019,31(4): 18-29.
- LIU Song, LYU Liangbo, LI Qinghui, *et al.* Glass beads excavated from Han tombs in Lingnan area and Sino - foreign exchanges via the Maritime Silk Road in the Han Dynasty [J]. Sciences of Conservation and Archaeology,2019,31(4):18-29.
- [23] 中国社会科学院考古所. 北魏洛阳永宁寺(1979~1994年考古发掘报告)[M]. 北京:中国大百科全书出版社,1996.
- Institute of Archaeology, Chinese Academy of Social Sciences. The Yongning Temple in Northern Wei Luoyang: excavations in 1979 - 1994 [M]. Beijing: Encyclopedia of China Publishing House, 1996.
- [24] 大同市考古研究所. 山西大同恒安街北魏墓(11DHAM13)发掘简报[J]. 文物,2015(1):13-21.
- Datong Municipal Institute of Archaeology. The excavation of the Northern Wei Tomb (11DHAM13) on Heng'an Street, Datong, Shanxi[J]. Cultural Relics,2015(1):13-21.
- [25] 董俊卿,杨益民,冯恩学,等. 雷家坪遗址出土六朝玻璃珠的相关研究[J]. 江汉考古,2007(3):79-86.
- DONG Junqing, YANG Yimin, FENG Enxue, *et al.* Study on glass beads of Six Dynasties from Leijiaping site [J]. Jiangnan Archaeology,2007(3):79-86.
- [26] 刘壮,张志红. 洛阳北魏大市遗址出土玻璃珠成分分析[J]. 光谱实验室,1999,16(1):74-78.
- LIU Zhuang, ZHANG Zhihong. Analysis of composition in glass beads from the ruins of the Luoyang Northern Wei Dynasty [J]. Chinese Journal of Spectroscopy Laboratory,1999,16(1):74-78.
- [27] 王倩. 巴克特里亚遗珍:大同北魏墓出土的金耳饰[J]. 美成在久,2019(3):34-43.
- WANG Qian. Treasures of Bactria: gold earrings unearthed from the tombs dated to Northern Wei in Datong [J]. Mei Cheng Zai Jiu,2019(3):34-43.
- [28] 齐东方,李雨生. 中国古代物质文化史(玻璃器)[M]. 北京:开明出版社,2018:82-85.
- QI Dongfang, LI Yusheng. The history of material culture for ancient China (glassware) [M]. Beijing: Kaiming Press,2018: 82-85.
- [29] RAMLI Z, NIK ABDUL RAHMAN N H S, SAMIAN A L. X - ray fluorescent analysis on Indo - Pacific glass beads from Sungai Mas archaeological sites, Kedah, Malaysia[J]. Journal of Radioanalytical & Nuclear Chemistry,2011,287(3):741-747.
- [30] LANKTON J W, DUSSUBIEUX L. Early glass in Southeast Asia [M]//JANSSENS K. Modern Methods for Analysing Archaeological and Historic Glass. West Sussex: John Wiley and Sons,2013: 415-457.

Research on glass beads unearthed from the city site of Yuezhou in Guangxi

WEI Weiyan¹, LIU Song^{2,3}, LI Qinghui^{2,3}, LIN Qiang⁴

(1. School of Sociology & Anthropology, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, 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;

4. Guangxi Institute of Conservation and Archaeology, Nanning 530022, China)

Abstract: Indo-Pacific glass beads, also known as Indo-Pacific monochrome drawn glass beads, are the glass beads with the longest duration and widest geographic distribution in ancient times. These glass beads are one of the most important markers for the study of the Silk Road exchange and interaction, and have important research values and academic significance for the construction of trade and exchange networks under the global perspective. At present, there are few reports on the scientific research on Indo-Pacific glass beads excavated in China either at home or abroad. The spatial and temporal distribution of such glass beads in China is still unclear and lacks systematic research.

Located in Pubei County, Qinzhou, Guangxi Zhuang Autonomous Region, the city of Yuezhou was originated in the Song Dynasty (420 AD-479 AD) of the Southern Dynasties and was abolished in the Sui Dynasty (581 AD-618 AD), lasting for about 140 years. During the Southern Qi period (479 AD-502 AD), Yuezhou governed twenty prefectures (*Jun*), and occupied an important position in the map of the Southern Dynasties. At the city site, a large number of samples, such as pottery, porcelain, ironware and glass beads, etc., have been unearthed. Among them, there are more than 2,000 glass beads in a variety of colors, including red, blue, yellow, green and brown.

In our research, five typical types of glass beads excavated from the city site of Yuezhou were selected, including opacified brownish-red, opacified orange, opacified yellow, translucent light green, and translucent blue-green ones (five samples for each type and 25 samples in total). Energy dispersive X-ray fluorescence spectrometry, confocal laser Raman spectrometry, optical coherence chromatography, and optical microscopy were used to analyze the selected glass beads. The test results show that the glass beads analyzed were mainly made by the drawing process, and the coloring process adopted was mainly of three types: transition metal element (Fe, Cu) ion coloring, metal (Cu) particle coloring and compound (lead stannate) coloring. The major glass system was mineral alkali type sodium-aluminum-silicate glass (mNaAl), and a small number of samples were soda glass. We further compared the contents of the trace elements Sr and Zr with the research results of other scholars, and it is clear that the mNaAl glass beads unearthed from the city site of Yuezhou belong to Subclass 1 of mNaAl glass. Their primary glass provenance was South Asia, and they might have been exchanged to Southeast Asia in the form of primary or finished glass beads and also imported into Lingnan region of China through the Maritime Silk Road.

This research clarifies the coloring mechanism, forming process, glass system and subclass characteristics of the glass beads excavated from the city site of Yuezhou, and also the possible origin sources and spread routes based on the Maritime Silk Road, thus providing new physical evidence for the study of the Silk Road-based exchanges between China and foreign countries in southern China from the Wei Dynasty to the Southern and Northern Dynasties, and a new "link point" for the construction of global trade and exchange networks of Indo-Pacific glass beads.

Key words: Indo-Pacific glass bead; City site of Yuezhou; Wei, Jin and Southern and Northern Dynasties; Scientific analysis; Contact and communication based on the Silk Roads

(责任编辑 张存祖;校对 谢燕)