

## 第五章 广西合浦汉墓出土玻璃器

### 科技分析及其来源探讨

#### 第三节 广西合浦汉墓出土玻璃珠饰的科技分析

玻璃珠饰是广西合浦汉墓出土玻璃器的大宗，其中单色玻璃珠数量最多，包括印度太平洋拉制珠、多面体珠、双锥珠等。除了珠子外，广西合浦汉墓还出土有耳珥、胜形饰、蛙形饰、狮形饰、玻璃璧等多种器型。本节分析了广西合浦汉墓出土的部分玻璃珠饰，对其玻璃体系进行了划分。首先重点介绍了广西合浦汉墓出土的铅钡硅酸盐玻璃（铅钡玻璃），然后对钾硅酸盐玻璃（钾玻璃）等其他玻璃体系进行了介绍。同时，对其他学者所分析的广西合浦汉墓出土的玻璃珠饰化学成分结果进行了汇总。

##### 1、铅钡玻璃

铅钡硅酸盐玻璃，简称铅钡玻璃，为我国自制玻璃体系，主要流行与战国中晚期至西汉。<sup>[16]</sup>广西合浦汉墓出土铅钡玻璃器数量较少，这一点与广州地区相似。广西合浦两汉时期出土的铅钡玻璃数量仅有 26 件，器型主要有耳珥、璧、剑璜、双锥形饰（榄形饰）等，样品信息如表 4 所示，典型样品照片如图 3 示。

表 4 广西合浦汉墓出土铅钡玻璃样品信息

序号	器名	数量	年代	出土地点	简述	资料来源
1	耳珥	1	西汉早期	广西省罗泊湾	半透明蓝色	广西博物馆藏品
2	榄形饰	1	西汉早期	1976 年贵县罗泊湾 M1	深绿色，圆榄形，中穿孔。长 1.6、中径 0.6 厘米。	[17]
3	鼻塞	1	西汉早期	1976 年贵县罗泊湾 M1	绿色、半透明。长 1.3、大端径 0.8、小端径 0.55 厘米。	[17]
4	璧	1	西汉晚期	1972 年合浦望牛岭 M2	正面饰谷纹，内外缘旋刮宽带一周，背平素，无纹较薄。肉径 12.9、好径 3.2，厚 1、边缘厚 0.2 厘米。	广西博物馆藏品
5	剑璜	1	东汉早期	1990 年合浦黄泥岗 M1	图案由祥云阴线配减地卷云纹组成，长 10.3、宽 2.8 厘米。	合浦县博物馆藏品
6	剑璜	1	东汉早期	1990 年合浦黄泥岗 M1	图案由祥云阴线配减地卷云纹组成，长 10.3、宽 2.8 厘米。	合浦县博物馆藏品
7	耳珥	2	东汉晚期	1978 年昭平北陀乐群 M5		[17]
8	方塔形玻璃珠	1	东汉晚期	1986 年合浦风门岭 M10 出土	茶色，表面有泥锈	合浦县博物馆藏品

序号	器名	数量	年代	出土地点	简述	资料来源
9	璧	1	东汉	1956年贵县加工厂 M3	绿色，谷纹排列整齐致密，内外缘饰凹弦纹一匝。正面泥土锈蚀，表皮局部脱落，背面平素光滑。外径12.2、内径2.8厘米。	广西博物馆藏品
10	耳珰	2	东汉	1955年贵县高中部 M14	蓝色，长1.3、大端径0.7厘米。	广西博物馆藏品
11	心形片	1	汉	1976年合浦县罐头厂 M10	无色透明，中部稍凸，长1.4、宽1.1厘米。	合浦县博物馆藏品
12	耳珰	1	汉	贵县高中部 M13	蓝色	
13	榄形饰	12	汉	1990年10月23日合浦县环城乡五旗岭 M3 出土	蓝绿色双锥形珠饰，12粒	



(a) 榄形玻璃珠 (土 10900)，西汉早期，1976年贵县罗泊湾 M1



(b) 耳珰 (土 10901)，西汉早期，贵县罗泊湾



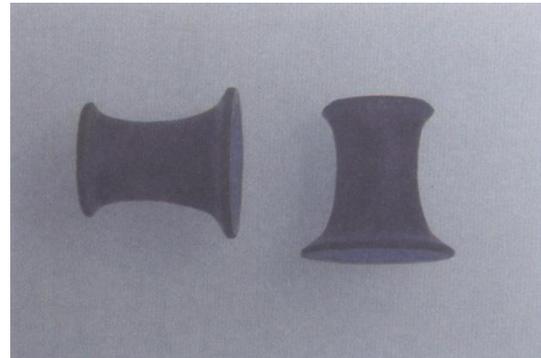
(c) 玻璃璧，西汉晚期，1972年合浦望牛岭 M2



(d) 玻璃璧，东汉，1956年贵县加工厂 M3



(e) 剑璏，东汉早期，1990年合浦黄泥岗 M1



(f) 耳珰，东汉，1955年贵县高中部 M14



(g) 方塔形玻璃珠，东汉晚期，1986年合浦风门 (h) 心形片，汉，1976年合浦县罐头厂 M10 岭 M10 出土



(i) 双锥形饰(000733)，汉，1990年10月23日合浦县环城乡五旗岭 M3 出土

图3 广西合浦汉墓出土铅钡玻璃珠饰

表4给出了广西合浦汉墓出土铅钡玻璃化学成分分析结果，同时包含其他学者的分析结果。由表4可知，广西合浦汉墓出土铅钡玻璃中  $PbO$  的含量范围为 16.91–55.79 wt%， $BaO$  的含量范围在 3.62–17.4 wt%。深蓝色耳珥样品由  $Co$  离子着色，其他样品则为  $Fe$ 、 $Cu$  离子着色。器型特征表明，铅钡玻璃珠饰器型主要为双锥形珠饰、耳珥、璧、剑璜等。西汉时期铅钡玻璃器有4件，其中西汉早期有3件，东汉时期铅钡玻璃器有8件，还有14件样品为汉代。

表 4 广西合浦汉墓出土铅钡玻璃化学成分分析结果

器名	出土地点	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	数据来源
耳珰	广西省罗泊湾	1.75	1.19	1.97	49.14	0.04	0.62	4.45	n. d.	0.73	0.09	0.11	0.08	30.9	8.94	PXRF
榄形饰	1976年贵县罗泊湾 M1	1.32	0.35	4.93	40.2	n. d.	1.03	1.14	n. d.	0.65	n. d.	0.92	0.08	37.54	11.83	PXRF
鼻塞	1976年贵县罗泊湾 M1	7.2			39.87			0.29				0.81		34.4	17.4	[10]
剑璜	1990年合浦黄泥岗 M1	0.89		1.22	29.28			2.73	0.12	0.17		0.001		PbO+BaO~50	PbO+BaO~50	[15]
				7.1	63.7		0.2	0.7	0.09	0.36		0.01		22.41	5.4	HXRF
耳珰	1978年昭平北陀乐群 M5	5.1	2.24	1.99	55.04		0.27	2.67		0.315				22.28	8.28	[10]
方塔形玻璃印章	1986年合浦凤门岭 M10			2.05	18.901	0.349			0.499	0.262		0.03		24.595	12.485	HXRF
璧	1956年贵县加工厂 M3		9.3	15.11	39.54		0.35	7.74	0.15	0.57		0.18		PbO+BaO 30~50	PbO+BaO 30~50	[15]
		3.4	7.4	6.1	51.3		0.6	6.1	0.12	1.34		0.25		17.8	5.6	PXRF
耳珰	1955年贵县高中部 M14	1.64	0.26	0.83	45.86			0.7	0.18	0.2	0.05	0.009		PbO+BaO~45	PbO+BaO~45	[15]
心形片	1976年合浦县罐头厂 M10			4.62	51.74	0.72	0.14	0.86	0.05	0.34				23.16	16.06	[15]
耳珰	贵县高中部 M13	2.7	0.4	5.8	66.6		0.2	1.6	0.16	0.24		0.02		17.41	4.8	PXRF
000733-1	1990年10月23日合浦县	/	/	< LOD	28.58	< LOD	0.99	< LOD	0.90	7.59		0.99		55.79	3.62	HXRF
000733-2	环城乡五旗岭 M3	/	/	5.20	66.59	< LOD	0.19	0.32	0.38	1.17		0.37		16.91	8.51	HXRF

## 2、钾硅酸盐玻璃（钾玻璃）

表 5 为广西合浦汉墓，除铅钡玻璃外，其他玻璃体系的珠饰样品信息及化学成分。由表可知，广西合浦汉墓出土玻璃器的成分体系主要有钾硅酸盐玻璃（钾玻璃）、钠钙硅酸盐玻璃（钠钙玻璃）、混合碱型硅酸盐玻璃（混合碱玻璃）、高铅硅酸盐玻璃（铅玻璃）等玻璃体系。

钾硅酸盐玻璃，简称钾玻璃，其玻璃基体助熔剂主要为氧化钾( $K_2O$ )。通常来说， $K_2O$ 含量范围为 14-18 wt%。但由于古代玻璃样品长期埋藏于地下，不可避免地会受到风化作用的影响，风化作用会导致玻璃基体中  $K_2O$  大量流失，从而在玻璃器表面形成一薄层风化层，风化层中  $K_2O$  的含量可低至 1 wt% 以下， $SiO_2$  的含量明显升高。根据钾玻璃中  $CaO$ 、 $Al_2O_3$  的含量，可将钾玻璃划分为三个亚类，分别是中等钙铝型钾玻璃、低钙高铝型钾玻璃和低铝高钙型钾玻璃。<sup>[18]</sup> 由于风化因素的影响，古代玻璃中  $CaO$ 、 $Al_2O_3$  的含量与真实值之间存在一定差异，但玻璃器中所含微量元素受风化作用影响较小，且不同亚类钾玻璃之间微量元素存在差异。因此，钾玻璃亚类的划分，在考虑  $CaO$ 、 $Al_2O_3$  含量的基础上，还需要结合微量元素铷(Rb)、锶(Sr)的含量进行亚类划分。<sup>[4]</sup>

由表 5 可知，广西合浦汉墓出土的钾玻璃主要包含低钙高铝型钾玻璃和中等钙铝型钾玻璃两种亚类。图 4 给出了广西合浦汉墓出土钾玻璃部分化学组分二维分布图。广西合浦汉墓出土中等钙铝型钾玻璃珠饰中  $CaO$ 、 $Al_2O_3$  的含量范围均主要集中在 1-5 wt%，Rb、Sr 含量水平较为接近，Rb/Sr 值一般低于 10。低钙高铝钾玻璃中  $CaO$  的含量水平较低，低于 1 wt%，而  $Al_2O_3$  的含量较高，一般高于 3 wt%，且 Rb 的含量水平较高，而 Sr 含量水平较低，部分样品中 Sr 都未检测到，Rb/Sr 的比值基本大于 10。

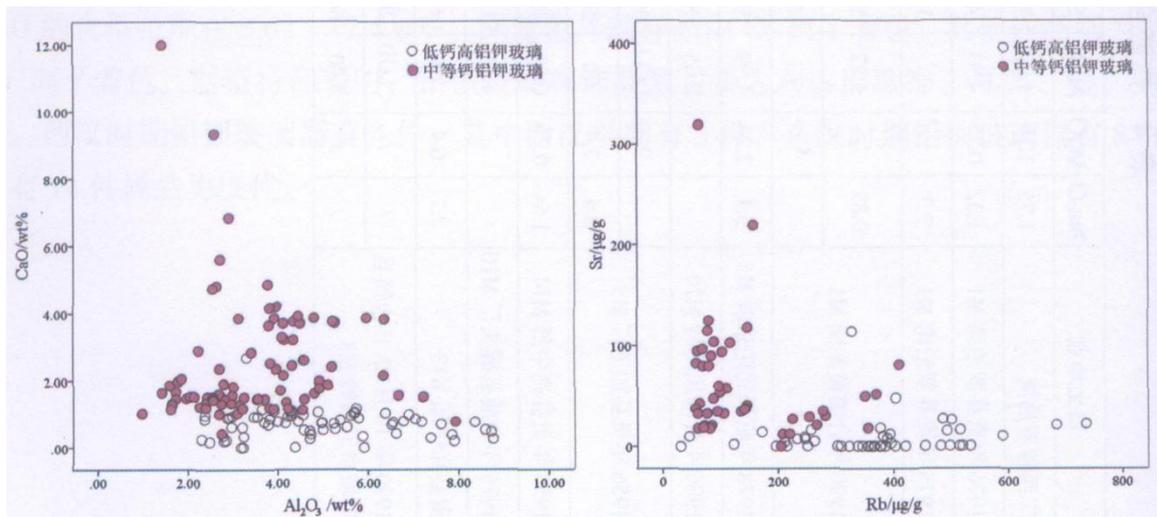


图 5 广西合浦汉墓出土钾玻璃化学组分二维分布图

从器型特征来说，低钙高铝钾玻璃器型主要以太平洋拉制珠为主，同时前文所分析的玻璃器皿，除了三件环之外，其余器皿也为低钙高铝钾玻璃。中等钙铝型钾玻璃也包含大

量的太平洋拉制珠，但同时还包括前文所提到的玻璃环、蛙形饰、深蓝色瓜棱型分段珠等器型。

从年代特征上来说，西汉时期测试样品小计有 50 件，其中低钙高铝钾玻璃有 9 件，中等钙铝钾玻璃有 33 件，混合碱玻璃有 4 件，还有 4 件的玻璃体系不能明确判断。东汉时期测试样品小计 62 件，其中低钙高铝钾玻璃为 35 件，中等钙铝钾玻璃为 23 件，混合碱玻璃 2 件，矿物碱型钠钙玻璃 1 件，铅玻璃 1 件。还有 7 件样品年代为汉代，其中 4 件为中等钙铝钾玻璃，3 件为低钙高铝钾玻璃。需要说明的是，有三串蓝色瓜形分段珠，总数量有 573 颗，随机测试了其中的 15 颗，测试结果表明，这 15 颗均为中等钙铝钾玻璃，表明此种类型的玻璃珠均为中等钙铝钾玻璃。说明西汉时期中等钙铝钾玻璃的数量，与其他体系的玻璃珠饰相比，占有绝对优势。

### 3、泡碱型钠钙硅酸盐玻璃

泡碱型钠钙硅酸盐玻璃，简称泡碱型钠钙玻璃，在广西合浦汉墓中发现数量较少。所检测的样品中，仅有 1 件样品为泡碱型钠钙玻璃，为马赛克珠（图 6）。除了对其进行化学成分分析之外，还利用共焦激光拉曼光谱分析技术和扫描电镜分析技术对马赛克珠不同颜色部分进行分析。图 7 为马赛克珠黄色部分拉曼图谱。由图可知，黄色部分拉曼特征峰位于  $140\text{ cm}^{-1}$ 、 $332\text{ cm}^{-1}$ 、 $462\text{ cm}^{-1}$  和  $510\text{ cm}^{-1}$  附近。通过与  $\text{PbSb}_2\text{O}_6$  标准拉曼谱对比<sup>[18]</sup>，可以确定马赛克珠黄色部分为锑酸铅着色。化学成分中检测到  $\text{PbO}$ 、 $\text{Sb}_2\text{O}_3$  的存在，与拉曼物相结果是相吻合的。 $\text{Pb}$  和  $\text{Sb}$  可以形成锑酸铅 ( $\text{Pb}_2\text{Sb}_2\text{O}_7$ )，此种化合物具有立方焦绿石结构，可以用一种一般的形式  $\text{A}_2\text{B}_2\text{O}_7$  表示。二元氧化物所构成的锑酸铅的拉曼光谱具有以下特征：在  $510\text{ cm}^{-1}$  处有一强峰，此峰可以归因于  $\text{SbO}_6$  八面体的系统性伸缩；在低波数范围  $200\text{ cm}^{-1}$ – $400\text{ cm}^{-1}$  内，有两个相互叠加的弱峰，此两个峰是由  $\text{Sb-O}$  键和  $\text{Pb-O}$  键的振动所引起的。在  $110\text{ cm}^{-1}$ – $150\text{ cm}^{-1}$  范围内有一强峰，是由于  $\text{Pb}_4\text{O}$  四面体晶格的横向振动引起的。<sup>[19]</sup>一般来说，有很多的因素可以引起峰位的漂移，如玻璃的加热温度、锑酸铅结构中所引入的杂质粒子，以及原料中  $\text{PbO}$  和  $\text{Sb}_2\text{O}_3$  的摩尔比例。<sup>[20]</sup>图 8 为马赛克黄色部分显微形貌图，表 6 为 SEM-EDS 所获得的化学成分分析结果。分析结果表明，马赛克珠玻璃基体为泡碱型钠钙玻璃， $\text{Na}_2\text{O}$  的平均含量为 8.58 wt%， $\text{CaO}$  的平均含量为 6.94 wt%， $\text{MgO}$  的含量为 0.52wt%，同时检测到一定含量的  $\text{PbO}$  (4.19wt%)。玻璃基体中含有的乳浊粒子主要为锑酸铅粒子，此类粒子化学成分特征为  $\text{Pb}$ 、 $\text{Sb}$  含量水平高，分别为 26.51 wt%和 25.74 wt%。除了锑酸铅粒子外，还检测到富含  $\text{Pb}$  的粒子，其  $\text{PbO}$  含量为 22.69 wt%。

仅供阅读 请勿侵权



图6 马赛克珠 (MSK-2), 东汉早期, 1992年10月贵县铁路新村卫生所

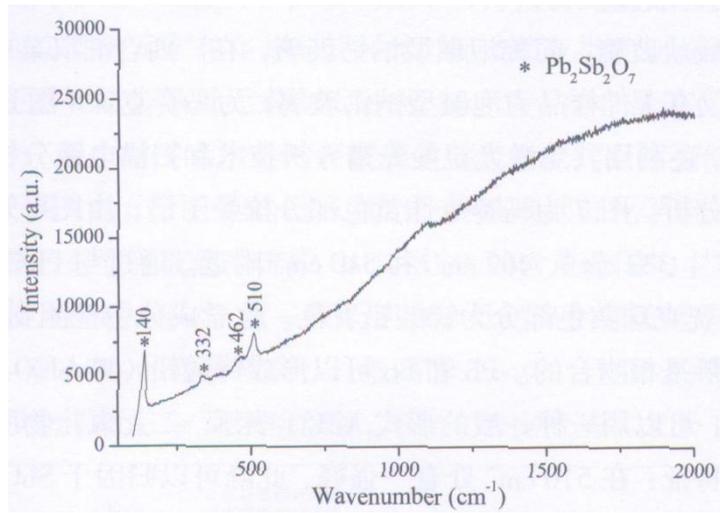


图7 马赛克珠黄色部分锑酸铅( $\text{Pb}_2\text{Sb}_2\text{O}_7$ )拉曼图谱

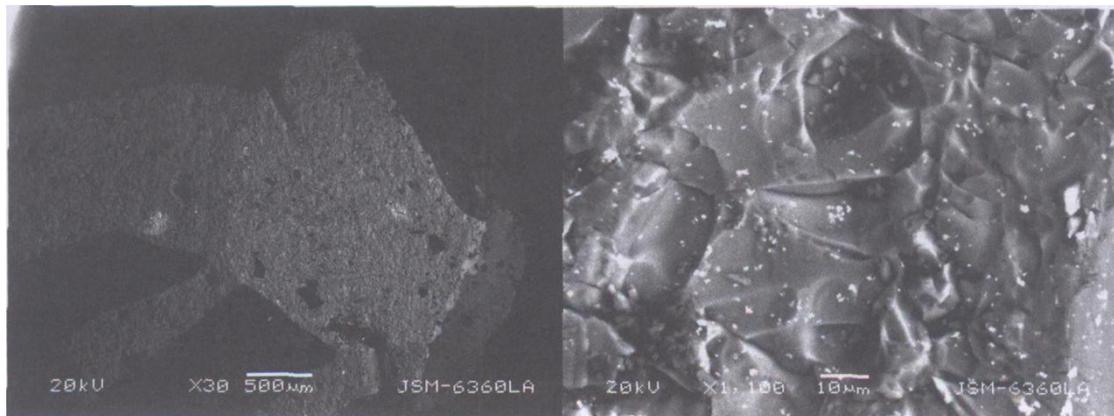


图8 广西合浦出土马赛克珠 (MSK-2) SEM 微观形貌

#### 4、混合碱硅酸盐玻璃

混合碱硅酸盐玻璃，简称混合碱玻璃，其玻璃中主要助熔剂为  $\text{Na}_2\text{O}$  和  $\text{K}_2\text{O}$ ，通常来说，二者的含量均不低于 6 wt%，但由于风化作用的影响，实际检测到的  $\text{Na}_2\text{O}$  和  $\text{K}_2\text{O}$  的含量可能会低于 6 wt%。本次所分析的广西合浦汉墓出土玻璃样品中，混合碱玻璃数量并不多，只有 6 件混合碱玻璃样品。从器型上来说，混合碱玻璃珠饰以单色珠为主，颜色主要为乳浊红色、绿色。从时代上来说，西汉时期有 4 件，东汉时期有 2 件。

#### 5、铅硅酸盐玻璃

铅硅酸盐玻璃，简称铅玻璃，其助熔剂主要为  $\text{PbO}$ ，含量范围一般在 20-50 wt%。广西合浦汉墓所测试的玻璃样品中铅玻璃数量较少，仅有 1 件透明绿色双锥形玻璃珠(图 9(a))，年代为东汉晚期。另外一串粉红色玻璃珠(图 9(b))也为高铅玻璃，其化学成分定性分析图谱如图 10 所示。



(a) 绿色双锥玻璃珠(000456)，东汉晚期，1986 年合浦风门岭 M10 出土



(b) 粉红色玻璃珠(000418)，汉代，1976 年 12 月合浦县罐头厂 M12 出土

图 9 广西合浦汉墓出土铅玻璃

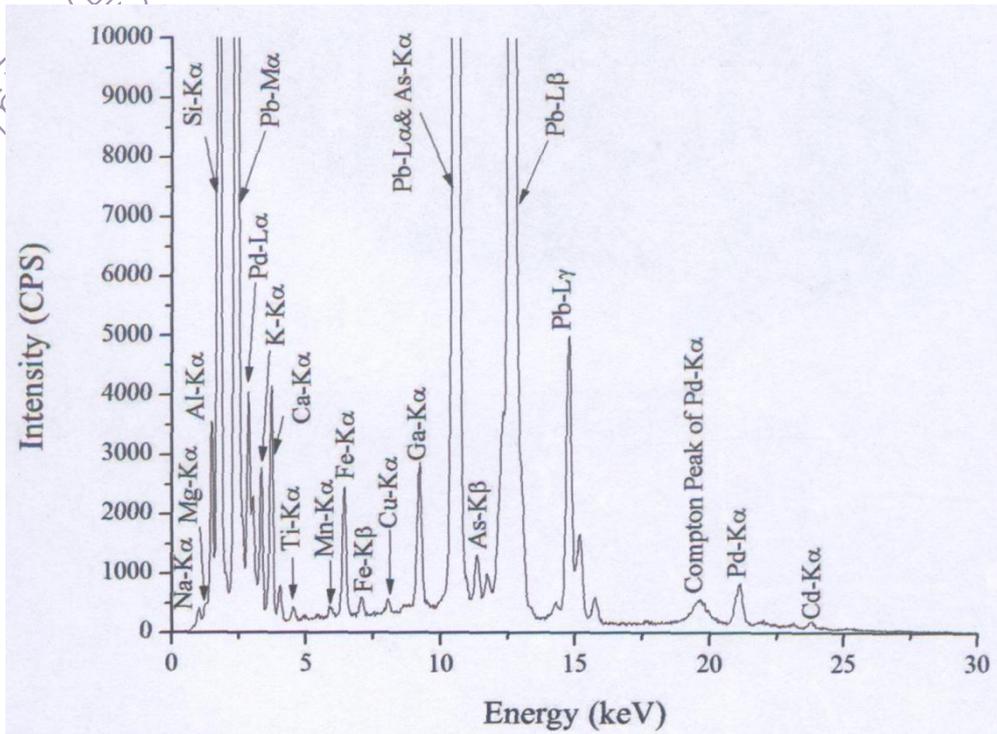


图 10 粉红色玻璃珠(000418)化学成分定性分析图谱

表5 广西合浦汉墓出土玻璃珠饰化学成分分析结果

实验 编号	样品名称	年代	出土 地点	测试 区域	玻璃成 分体系	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	TiO <sub>2</sub>	MnO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CoO	CuO	PbO	SnO <sub>2</sub>	Cr	Ni	Cu	Zn	Rb	Sr	Zr	Pb	测试 方法
						wt%														μ g/g								
XZHM-06-01	透明近无色六棱柱玻璃珠	西汉晚期	广西合浦风门岭M26	珠体	中等钙铝钾玻璃	0.96	0.57	2.98	75.56	0.77	16.64	1.56	0.20	0.06	0.55	n. d.	0.00		n. d.	8		84	58	83		8	PXRF	
						0.66	0.28	1.72	77.08	0.46	16.95	1.66	0.15	0.05	0.73	0.00	0.01		0.00	14	19	50	80	125		5	[21]	
XZHM-06-02	半透明蓝色玻璃珠	西汉晚期	同上	珠体	中等钙铝钾玻璃	0.64	0.90	4.92	72.24	0.94	1432	1.98	0.32	1.31	1.81	0.08	0.24		n. d.	132		119	355	18		831	PXRF	
						0.08	0.32	3.14	76.55	0.15	14.67	1.30	0.17	1.22	1.79	0.06	0.04		0.00	30	93	38	369	52		155	[21]	
XZHM-06-02B	半透明蓝色珠	西汉晚期	同上	珠体	中等钙铝钾玻璃	0.75	0.67	3.81	75.44	0.48	14.55	1.18	0.24	1.06	1.45	0.06	0.03		n. d.	103		65	266	21		220	PXRF	
FMLM26-2	透明浅绿六棱柱玻璃珠	西汉晚期	同上	珠体	中等钙铝钾玻璃	1.12	0.45	2.64	76.68	1.42	15.28	1.46	0.20	0.05	0.54	n. d.	0.00		n. d.	11		71	60	95		54	PXRF	
						0.49	0.24	1.72	80.62	0.64	13.55	1.45	0.16	0.06	0.69	0.00	0.01		0.00	13	19	69	78	115		6	[21]	
FMLM26-4	半透明蓝色玻璃珠	西汉晚期	同上	珠体	低钙高铝钾玻璃	1.04	0.25	3.46	74.68	0.47	16.33	0.91	0.22	1.12	1.18	0.06	0.02		n. d.	113		100	195	n. d.		50	PXRF	
FMLM26-5	半透明蓝色玻璃珠	西汉晚期	同上	珠体	低钙高铝钾玻璃	0.68	0.46	4.21	73.33	0.71	15.96	0.92	0.29	1.48	1.38	0.07	0.24		n. d.	112		68	381	10		89	PXRF	
03HFM26-83-1	半透明蓝色玻璃珠	西汉晚期	同上	珠体	低钙高铝钾玻璃	0.85	0.81	3.99	70.23	0.54	18.64	0.77	0.37	1.68	149	0.07	0.27		n. d.	124		72	376	18		129	PXRF	
GX-3	半透明蓝色玻璃珠	西汉晚期	同上	珠体	低钙高铝钾玻璃	0.73	0.35	4.29	73.99	0.12	15.80	0.93	0.28	1.49	1.37	0.07	0.24		n. d.	137		80	393	12		74	PXRF	
GX-4	半透明蓝色玻璃珠	西汉晚期	同上	珠体	中等钙铝钾玻璃	1.06	0.81	3.53	74.57	0.00	15.92	1.45	0.18	0.69	1.17	0.03	0.11		n. d.	94		51	207	12		3197	PXRF	
						0.11	0.34	3.70	75.63	0.22	15.16	1.45	0.17	0.77	1.45	0.03	0.14		0.04	24	50	45	350	50		2488	[21]	
XZHM-06-07	半透明蓝色玻璃珠	西汉晚期	广西合浦风门岭	珠体	中等钙铝钾玻璃	0.59	0.69	2.74	71.05	0.21	18.14	1.50	0.28	1.91	2.34	0.09	0.02		n. d.	113		88	63	43		44	PXRF	
						0.28	0.29	1.78	87.65	0.28	328	1.97	0.18	1.79	2.18	0.10	0.03		0.00	36	183	50	84	90		5	[21]	
XZHM 0607b	半透明蓝色玻璃珠	西汉晚期	同上	珠体	中等钙铝钾玻璃	0.09	0.20	1.96	72.95	0.45	18.17	1.47	0.22	1.86	1.89	0.09	0.03		0.00	35	127	46	69	97		8	[21]	
XZHM-06-08	铜红珠	西汉晚期	同上	珠体	中等钙铝钾玻璃	0.53	3.63	2.64	58.87	0.54	22.82	4.80	0.54	0.16	1.63	n. d.	3.71		n. d.	63		76	89	104		82	PXRF	
						.63	3.68	2.72	59.47	1.00	20.55	5.60	0.50	0.15	1.96	0.00	3.21		0.01	31	164	133	157	219		37	[21]	
FMLM23B-2	半透明蓝色玻璃珠	西汉晚期	广西合浦风门岭	珠体	中等钙铝钾玻璃	0.63	0.29	2.04	77.24	0.49	13.83	1.52	0.24	1.48	1.77	0.08	0.02		n. d.	140		63	56	38		43	PXRF	

实验 编号	样品名称	年代	出土 地点	测试 区域	玻璃成 分体系	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	TiO <sub>2</sub>	MnO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CoO	CuO	PbO	SnO <sub>2</sub>	Cr	Ni	Cu	Zn	Rb	Sr	Zr	Pb	测试 方法
						wt%														μ g/g								
FMLM23B-3	半透明蓝色玻璃珠		M23	珠体	中等钙铝钾玻璃	0.81	0.45	2.13	77.54	0.50	12.83	1.52	0.24	1.61	1.90	0.09	0.03		n. d.		196	123	60	33		33	PXRF	
FMLM28-1	半透明蓝色玻璃珠	东汉晚期	广西合浦风门岭	珠体	低钙高铝钾玻璃	1.29	0.21	5.70	67.49	0.16	20.22	1.04	0.41	1.77	1.31	0.06	0.02		n. d.		122	75	481	n. d.		38	PXRF	
FMLM28-2	半透明蓝色玻璃珠		M28	珠体	低钙高铝钾玻璃	1.22	0.29	5.61	69.29	0.00	18.74	0.93	0.41	1.88	1.44	0.06	0.02		n. d.		110	64	454	n. d.		90	PXRF	
FMLM28-13	半透明蓝色玻璃珠			珠体	低钙高铝钾玻璃	0.88	0.78	4.57	70.22	0.00	19.11	0.51	0.36	1.83	1.37	0.03	0.01		n. d.		59	59	345	n. d.		63	PXRF	
XZHM-06-05	半透明蓝色玻璃珠	东汉晚期	广西合浦风门岭	珠体	低钙高铝钾玻璃	1.14	0.27	5.73	66.93	0.00	20.84	1.16	0.41	1.77	1.34	0.05	0.02		n. d.		121	74	514	n. d.		50	PXRF	
						0.43	0.13	6.51	74.52	0.09	12.69	0.68	0.26	2.24	1.72	0.07	0.03		0.00	31	82	40	735	22		15	[21]	
XZHM-06-06	半透明蓝色玻璃珠	东汉早期	广西合浦九只岭M5	珠体	低钙高铝钾玻璃	0.75	0.82	3.64	72.08	0.31	17.92	1.14	0.32	1.47	1.05	0.04	0.03		n. d.		80	74	376	n. d.		532	PXRF	
						0.17	0.16	3.69	77.67	0.15	14.13	0.75	0.17	1.51	1.00	0.03	0.08		0.02	24	41	38	500	26		421	[21]	
JZLM5-1A	半透明蓝色玻璃珠	东汉早期	同上	珠体	低钙高铝钾玻璃	0.73	0.45	4.26	72.03	0.50	16.71	1.09	0.46	1.49	1.63	0.04	0.30		n. d.		82	56	366	n. d.		24	PXRF	
JZLM5-1B	半透明蓝色玻璃珠	东汉早期	同上	珠体	低钙高铝钾玻璃	0.71	0.56	4.31	72.47	0.48	16.16	1.08	0.44	1.48	1.60	0.04	0.29		n. d.		93	60	355	n. d.		30	PXRF	
JZLM5-1C	半透明蓝色玻璃珠	东汉早期	同上	珠体	低钙高铝钾玻璃	1.11	0.81	2137	76.13	0.00	11.20	0.95	0.14	4.92	1.98	n. d.	0.04		n. d.		48	90	171	14		783	PXRF	
JZLM5-1D	半透明蓝色玻璃珠	东汉早期	同上	珠体	低钙高铝钾玻璃	0.66	0.41	5.37	72.08	0.46	16.35	0.81	0.41	1.40	1.49	0.05	0.31		n. d.		110	61	385	n. d.		26	PXRF	
JZLM5-5	半透明蓝色玻璃珠	东汉早期	同上	珠体	低钙高铝钾玻璃	0.90	0.45	3.81	74.19	0.79	16.03	0.85	0.31	1.32	0.88	0.04	0.03		n. d.		69	83	395	3		624	PXRF	
						0.17	0.15	3.78	77.02	0.14	14.93	0.68	0.17	1.41	0.94	0.03	0.08		0.02	18	37	40	485	27		472	[21]	
JZLM5-6	半透明蓝色玻璃珠	东汉早期	同上	珠体	低钙高铝钾玻璃	0.62	0.44	4.97	73.28	0.48	15.65	0.73	0.37	1.38	1.47	0.05	0.22		n. d.		40	49	359	n. d.		35	PXRF	
JZLM5-7	半透明蓝色玻璃珠	东汉早期	同上	珠体	低钙高铝钾玻璃	0.82	0.71	4.16	72.25	0.00	18.43	0.73	0.25	0.03	0.49	n. d.	1.86		n. d.		11	43	302	n. d.		1532	PXRF	
JZLM5-9	半透明蓝色玻璃珠	东汉早期	同上	珠体	低钙高铝钾玻璃	0.75	0.79	4.70	72.97	0.00	16.32	0.48	0.38	1.48	1.58	0.04	0.31		n. d.		48	39	33	n. d.		40	PXRF	
JZLM5-10	半透明蓝色玻璃珠	东汉早期	同上	珠体	低钙高铝钾玻璃	0.93	0.43	4.96	73.23	0.41	15.61	0.73	0.37	1.37	1.49	0.05	0.26		n. d.		50	41	365	n. d.		45	PXRF	
						0.17	0.12	4.99	74.43	0.10	15.65	0.52	0.26	1.41	1.63	0.03	0.23		0.00	30	30	25	492	15		10	[21]	

实验编号	样品名称	年代	出土地点	测试区域	玻璃成分体系	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	TiO <sub>2</sub>	MnO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CoO	CuO	PbO	SnO <sub>2</sub>	Cr	Ni	Cu	Zn	Rb	Sr	Zr	Pb	测试方法
						wt%															μ g/g							
JZLM5-11	半透明紫红色玻璃珠	东汉早期	同上	珠体	低钙高铝钾玻璃	1.59	0.19	2.77	78.12	0.00	13.14	0.34	0.16	2.49	0.79	n. d.	0.00		n. d.	82	95	12	2			76	PXRF	
JZLM5-15	半透明淡绿色玻璃珠	东汉早期	同上	珠体	中等钙铝钾玻璃	1.71	0.40	3.97	75.20	0.81	13.33	2.33	0.12	0.06	0.61	n. d.	1.02		n. d.	n. d.		24	204	n. d.			1723	PXRF
JZLM5-16	半透明绿色玻璃珠	东汉早期	同上	珠体	低钙高铝钾玻璃	0.79	0.47	4.44	74.37	0.41	16.07	0.77	0.24	0.03	0.45	n. d.	1.72		n. d.	10	48	308	n. d.			1396	PXRF	
JZLM5-17	半透明棕色玻璃珠	东汉早期	同上	珠体	中等钙铝钾玻璃	1.02	0.55	3.09	73.20	0.00	14.50	1.02	0.16	4.45	1.79	n. d.	0.04		n. d.	140	59	224	27			917	PXRF	
						0.17	0.28	3.21	72.74	0.20	15.46	1.16	0.13	4.52	1.46	0.01	0.07		0.02	18	19	118	410	81			1092	[21]
08HLWM15-1	半透明蓝色玻璃珠	东汉晚期	广西合浦察尾	珠体	低钙高铝钾玻璃	0.76	0.68	3.54	72.20	0.00	1845	0.91	0.23	1.40	0.93	0.03	0.07		n. d.	60	0.09	388	8			4175	PXRF	
08HLWM17-3	半透明蓝色玻璃珠	东汉晚期		珠体	中等钙铝钾玻璃	0.82	0.58	2.53	65.82	0.00	21.00	1.50	0.43	3.84	2.85	0.12	0.03		n. d.	231	90	135	35			32	PXRF	
08HLWM19B-1	半透明蓝色玻璃珠	东汉晚期		珠体	中等钙铝钾玻璃	0.69	0.87	4.05	80.07	0.42	7.83	1.71	0.29	1.75	1.81	0.08	0.02		n. d.	120	69	110	58			45	PXRF	
08HLWM19B-5	半透明蓝色玻璃珠	东汉晚期		珠体	中等钙铝钾玻璃	1.06	0.74	2.68	74.32	0.31	15.86	1.61	0.22	1.46	1.41	0.07	0.02		n. d.	134	68	98	54			25	PXRF	
08HLWM19B-6	半透明蓝色玻璃珠	东汉晚期		珠体	中等钙铝钾玻璃	0.88	0.72	2.83	73.82	0.63	16.41	1.43	0.23	1.32	1.37	0.06	0.02		n. d.	88	87	87	48			33	PXRF	
08HLWM19B-8	半透明蓝色玻璃珠	东汉晚期		珠体	中等钙铝钾玻璃	0.63	0.61	2.42	65.83	0.00	21.41	1.51	0.46	3.71	2.81	0.12	0.03		n. d.	221	89	145	41			36	PXRF	
HP14-01	蓝色玻璃珠	西汉晚期		合浦凸鬼岭汽齿厂	风化面	低钙高铝钾玻璃	0.86	0.59	6.89	76.34	0.24	10.51	0.97	0.29	1.10	2.04	n. d.	n. d.		n. d.	n. d.	69	179	38	246	7		45
			新鲜面		低钙高铝钾玻璃	0.87	0.64	4.88	75.73	0.63	12.69	1.05	0.26	1.09	1.89	n. d.	n. d.		n. d.	n. d.	55	233	48	262	5		60	PXRF
HP14-02	绿色玻璃珠残片	西汉晚期	合浦第二炮竹厂	风化面	泡碱型钠钙玻璃	2.47	0.48	2.22	70.77	n. d.	n. d.	15.38	0.02	0.05	0.98	n. d.	0.64	6.48	0.25	120	n. d.	M	n. d.	n. d.	n. d.		M	PXRF
				风化面	钙玻璃	2.23	0.35	n. d.	74.05	n. d.	n. d.	12.97	n. d.	0.05	0.84	n. d.	1.11	7.73	0.56	122	10	M	n. d.	n. d.	n. d.		M	PXRF
HP14-03a	铜红珠	西汉晚期	合浦凸鬼岭汽齿厂	红色珠风化面	混合碱玻璃	3.95	1.09	n. d.	87.66	n. d.	4.61	0.14	n. d.	0.12	0.64	n. d.	0.76	n. d.	n. d.	24	n. d.	M	n. d.	7	n. d.		37	PXRF
HP14-03b	蓝色玻璃珠残片			蓝色残片风化	?	3.06	0.45	n. d.	91.70	n. d.	n. d.	0.22	0.15	2.77	0.78	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	8	4	31	8	n. d.	n. d.		13	PXRF
HP14-03e	黄色玻璃珠残片			黄色残片风化	?	4.06	0.66	n. d.	91.96	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	0.31	n. d.	n. d.	2.27	0.18	64	n. d.	133	n. d.	n. d.	n. d.		M	PXRF

实验编号	样品名称	年代	出土地点	测试区域	玻璃成分体系	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	TiO <sub>2</sub>	MnO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CoO	CuO	PbO	SnO <sub>2</sub>	Cr	Ni	Cu	Zn	Rb	Sr	Zr	Pb	测试方法	
						wt%															μ g/g								
HP14-04	蓝色玻璃珠残片	西汉晚期	合浦凸鬼岭汽齿厂	风化面 新鲜面	中等钙铝 钾玻璃	1.15	0.60	7.92	80.75	0.50	4.04	0.76	0.38	2.05	1.54	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	83	283	4	219	12		660	PXRF	
						0.86	0.54	4.80	73.15	0.98	14.75	1.62	0.28	1.69	1.09	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	87	261	47	281	30	
HP14-05	深蓝色玻璃珠?	西汉晚期	合浦第二炮竹厂	风化面 新鲜面	中等钙铝 钾玻璃	0.97	0.48	6.66	73.08	0.44	1230	1.56	0.32	2.06	1.65	0.19	0.02	n.d.	n.d.	n.d.	26	139	469	80	253	29		116	PXRF
						1.12	0.49	5.58	73.86	0.58	13.89	1.44	0.27	2.00	1.44	0.18	0.02	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	127	448	29	277	35		119
HP14-06	深蓝色玻璃珠残片	东汉早期	合浦第二炮竹厂	风化面 新鲜面	中等钙铝 钾玻璃	1.24	0.42	2.74	88.41	0.98	0.70	0.41	0.30	2.31	1.99	0.24	n.d.	n.d.	n.d.	8	93	185	45	71	21		42	PXRF	
						0.97	0.46	2.39	77.49	1.01	12.27	1.33	0.31	1.82	1.50	0.19	n.d.	n.d.	n.d.	13	117	180	72	105	33		40	PXRF	
HP14-07	蓝色玻璃珠	东汉晚期	合浦第二炮竹厂	风化面 新鲜面	低钙高铝 钾玻璃	0.86	0.67	7.17	75.73	0.28	11.54	0.76	0.28	1.20	1.27	n.d.	0.05	0.13	n.d.	n.d.	46	593	16	245	9		M	PXRF	
						0.80	0.69	5.78	73.62	0.58	14.81	0.87	0.29	1.16	1.11	n.d.	0.02	0.12	n.d.	n.d.	n.d.	29	481	17	256	16		M	PXRF
HP14-08	深蓝色玻璃珠	东汉晚期	合浦公务员小区	风化面 新鲜面	中等钙铝 钾玻璃	1.06	0.48	4.32	82.43	0.97	4.12	2.44	0.25	1.72	1.80	0.19	n.d.	n.d.	n.d.	15	190	201	50	117	103		552	PXRF	
						0.98	0.44	2.71	76.98	0.77	12.24	2.35	0.23	1.54	1.52	0.17	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	114	164	47	103	94		543	PXRF	
HP14-09	深蓝色玻璃珠	东汉晚期	合浦公务员小区	风化面	中等钙铝 钾玻璃	0.95	0.44	3.01	80.78	0.68	8.64	1.82	0.21	1.57	1.61	0.18	n.d.	n.d.	n.d.	11	127	179	36	97	60		752	PXRF	
HP14-10	蓝色玻璃珠残片	东汉晚期	合浦禁山官塘岭	风化面 新鲜面	低钙高铝 钾玻璃	0.98	0.46	6.54	76.76	0.79	11.75	0.75	0.26	0.75	0.66	n.d.	0.09	n.d.	n.d.	47	33	882	9	519	n.d.		117	PXRF	
						0.87	0.49	5.67	73.13	1.17	15.79	1.01	0.33	0.71	0.58	n.d.	0.08	n.d.	n.d.	n.d.	69	818	n.d.	497	n.d.		79	PXRF	
HP14-11	蓝色玻璃珠	东汉晚期	合浦第二炮竹厂	风化面 新鲜面	低钙高铝 钾玻璃	1.20	0.39	5.87	78.28	n.d.	10.55	0.33	0.30	1.24	1.39	n.d.	0.21	n.d.	n.d.	n.d.	38	998	n.d.	214	n.d.		38	PXRF	
						1.37	0.47	6.37	70.48	0.86	15.45	1.02	0.43	1.40	1.52	n.d.	0.31	n.d.	n.d.	n.d.	55	M	37	402	n.d.		28	PXRF	
HP14-12	淡青色透明玻璃珠	东汉晚期	合浦第二炮竹厂	风化面 新鲜面	低钙高铝 钾玻璃	1.05	0.51	5.26	78.56	0.70	10.26	0.55	0.16	0.13	0.39	n.d.	1.92	0.29	0.12	23	0	M	27	377	n.d.		M	PXRF	
						0.98	0.40	4.31	73.67	1.08	15.19	1.02	0.23	0.12	0.35	n.d.	2.03	0.28	0.12	n.d.	17	M	22	533	n.d.		M	PXRF	
HP14-13	绿色透明玻璃片	东汉晚期	合浦第二炮竹厂	风化面 新鲜面	混合碱玻 璃	2.01	0.56	13.50	70.17	0.39	10.64	0.61	1.08	0.02	0.85	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	29	6	174	126	88	205		32	PXRF	
						10.92	0.90	11.47	59.75	0.17	12.14	1.79	1.26	0.03	1.43	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	25	31	241	147	83	258		18	PXRF	
HP14-14	蓝色玻璃珠	东汉晚期	合浦第二炮竹厂	风化面 新鲜面	中等钙铝 钾玻璃	1.42	0.50	5.11	75.89	0.26	10.96	1.86	0.28	1.45	2.09	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	71	101	33	84	21		78	PXRF	
						1.52	0.55	3.78	72.87	0.56	12.02	4.85	0.25	1.45	2.01	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	55	76	109	65	94	35		65	PXRF	
HP14-15	蓝色玻璃珠	东汉晚期	合浦第二炮竹厂	风化面 新鲜面	中等钙铝 钾玻璃	1.74	0.46	2.59	74.72	n.d.	8.03	9.33	0.05	1.25	1.42	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	90	11	29	21	60	18		46	PXRF	
						1.92	0.49	2.55	74.56	0.17	11.81	4.73	0.18	1.48	1.62	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	46	48	63	27	76	33		60	PXRF	
HP14-16	蓝色玻璃珠、绿色不透明玻璃珠	东汉晚期	合浦第二炮竹厂	风化面 新鲜面	中等钙铝 钾玻璃	1.56	0.51	4.35	76.38	0.11	10.05	3.20	0.22	1.44	201	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	18	36	90	7	81	18		122	PXRF	
						1.97	0.56	2.55	77.54	n.d.	12.09	1.51	0.21	1.40	1.89	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	54	68	37	70	19		72	PXRF		













表 6 广西合浦汉墓出土马赛克玻璃珠扫面电镜化学成分分析结果

编号	测试区域	测试次数		Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Cl	K <sub>2</sub> O	CaO	FeO	CuO	ZnO	SnO <sub>2</sub>	Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	PbO
MSK-2	玻璃基体	4	平均值	8.58	0.52	3.22	67.81	1.41	2.77	6.94	1.59	0.41	0.44	n. d.	n. d.	4.19
			标准差	3.03	0.1	0.8	3.81	0.22	1.05	1.05	0.96	0.36	0.42			3.35
	Pb-Sb 富集区	1		4.84	0.45	1.75	29.34	1.44	1.17	0.68	6.81	0.12	n. d.	n. d.	25.74	26.51
	Pb 富集区	1		2.57	1.02	4.53	47.96	1.87	0.51	3.74	3.66	8.95	0.92	n. d.	n. d.	22.69

## 6、小结

广西合浦汉墓出土的玻璃器，包括前面章节所介绍的玻璃器皿、玻璃珠饰等，存在多种玻璃体系，主要有中等钙铝钾玻璃、低钙高铝钾玻璃、铅钡玻璃、混合碱玻璃、泡碱型钠钙玻璃、铅玻璃等类型。基于目前所测试分析的玻璃器物，广西合浦汉墓出土不同玻璃体系数量比例如图 11 所示。由图可知，两汉时期广西合浦汉墓出土数量最多的是钾玻璃，占总数量的 78%，其中中等钙铝型钾玻璃数量稍多于低钙高铝型钾玻璃，分布占总数量的 41%和 37%。铅钡玻璃占总数量的 17%，混合碱玻璃则占 4%，泡碱型钠钙玻璃和铅玻璃数量很少，均占总数量的 0.5%。图 12 则给出了玻璃体系随年代的分布规律。由图可知，西汉时期有 4 中玻璃体系，分别是中等钙铝钾玻璃、低钙高铝钾玻璃、铅钡玻璃和混合碱玻璃，其中中等钙铝钾玻璃、低钙高铝钾玻璃数量较多。东汉时期，在西汉时期原有的 4 中玻璃体系基础上，增加了泡碱型钠钙玻璃和铅玻璃，但数量较少。钾玻璃依然在数量上占有绝对优势。但需要注意的是，低钙高铝钾玻璃在东汉时期数量剧增。

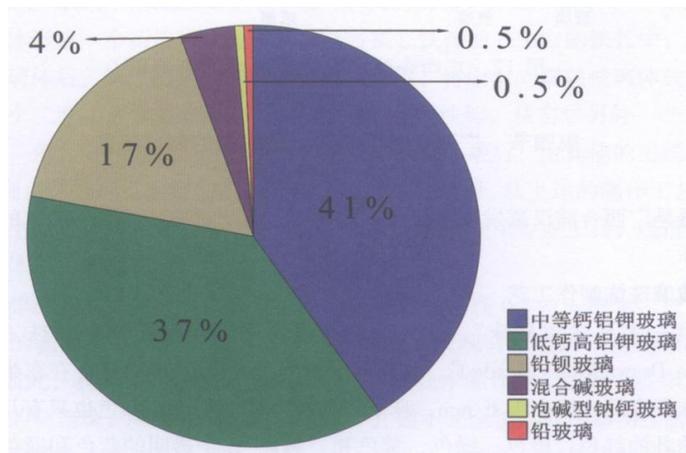


图 11 广西合浦汉墓不同玻璃体系饼状图

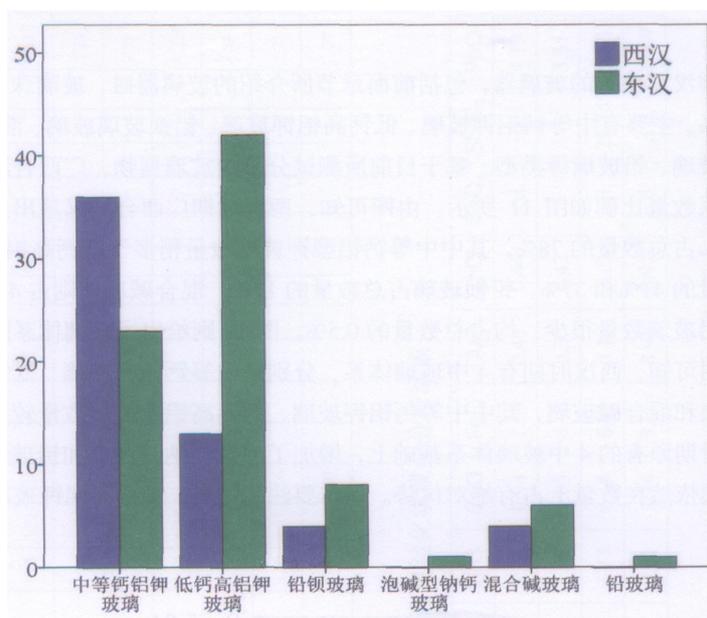


图 12 广西合浦汉墓出土玻璃器条形图