

耀州窑宋代青瓷及现代仿瓷的初步分析研究

齐扬¹, 杨钟堂², 杨军昌¹, 薛东星³, 马宏林¹

(1. 西安文物保护修复中心, 陕西西安 710061;

2. 西安地质矿产研究所, 陕西西安 710054;

3. 耀州窑博物馆, 陕西铜川 727001)

摘要: 为探讨耀州窑古瓷和现代仿瓷在元素成分上的差异, 用中子活化分析技术(NAA)对 12 件耀州窑宋代青瓷和 4 件现代仿瓷瓷、釉进行元素分析测定, 并对两者之间元素的差异进行初步分析。其结果表明, 古瓷釉和仿宋瓷釉的 RO/SiO₂ 比值具有明显差异。仿宋瓷胎和瓷釉的轻稀土元素含量与重稀土元素含量比值(即 LRee/HRee)的平均比值大于古瓷胎的平均比值。仿宋瓷的胎和釉的微量元素 Zn 含量则明显高于古瓷 Zn 元素含量。

关键词: 耀州窑; 青瓷; 仿瓷; 元素分析

中图分类号: K876.3 **文献标识码:** A

1 引言

耀州窑是我国著名的窑址, 它于唐代创烧, 五代发展, 宋代鼎盛, 连续烧造长达 700 余年。耀州窑在北宋时期烧造出了高质量的青瓷, 从而成为中国古代北方青瓷的代表^[1]。

近年来, 化学组成分析愈来愈多应用于古陶瓷的断源、断代研究。即通过建立已知年代或产地的古陶瓷样品的主、次量尤其是微量元素组成的数据库, 利用多元统计方法寻找不同年代或产地的古陶瓷样品化学组成的特点, 最终根据元素组成的特征模式来判别未知样品的归属, 从而达到断代、断源的目的。本研究目的是通过对古青瓷微量元素分析及与现代仿品的对比, 找出差异, 为科学鉴别提供数据和参考。

2 样品分析测试方法和结果

研究用样品均由陕西省耀州窑博物馆提供, 选择了其中 12 块宋代青瓷残片和 4 块耀州窑博物馆试制的仿宋瓷样品共 16 块进行中子活化分析技术分析。其基本方法是, 称适量样品, 用高纯铝箔包裹, 在 200℃下烘干约 4 个小时。然后将样品和化学标准及标准参考物一起送入反应堆中接受中子辐照, 照射时间为 8h, 中子注量率为 $5.0 \times 10^{13} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{s}$ 。活化后的样品经一定冷却时间(第一轮为 7~9 天, 第二轮为 18~19 天)后, 拆去铝箔, 将样品转入塑料

小瓶中, 用 ORTEC 公司生产的带高纯 Ge 探测器(GEM-20180-T 型)的多道探测系统进行测量。采用 SPA 解谱程序对数据进行分析, 检测出 20 多种元素。

样品断代已由专家鉴定。样品实物例见图 1, 样品目录如下。

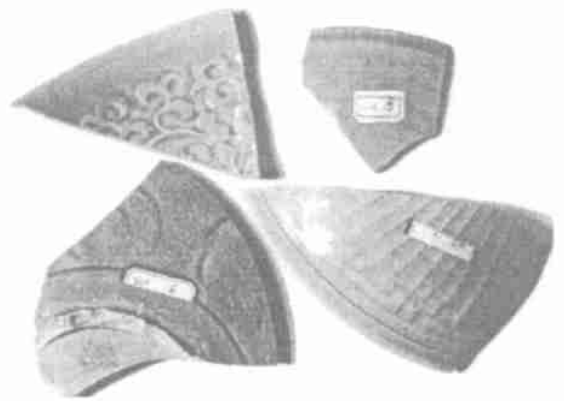


图 1 耀州窑青瓷样品

Fig. 1 Yaozhou celadon samples

耀州窑样品目录及编号如下:

宋代青瓷: WB-03 青釉碗底残片, 釉呈青灰绿色透明; 胎体呈灰色, 碗底有褐色圈。WB-04 刻花青釉壶壁残片, 釉呈灰绿色, 光亮透明; 胎体呈灰色。WB-05 青釉碗底残片, 釉呈青灰色, 釉质透明光亮; 胎体呈灰黑色。WB-06 青釉碗底残片, 釉呈豆青绿

收稿日期: 2004-03-14; 修回日期: 2004-09-29

基金项目: 陕西省科技厅资助(99k14-G6)项目

作者简介: 齐扬(1964-), 男, 1986 年毕业于国防科技大学应用物理专业, 现从事文物保护工作, 副研究员。

色, 釉质透明光亮; 胎体灰白色。WB - 13 青釉碗壁残片, 釉呈豆绿色, 釉面透明; 胎体灰白色。WB - 14 刻花青釉碗壁残片, 釉呈灰绿色, 釉面透明光亮; 胎体灰白色。WB - 16 刻花盘底残片, 釉呈豆绿色, 透明; 胎体青灰色。WB - 18 青釉碗壁残片, 釉呈豆青灰色, 釉质透明; 胎体灰白色。WB - 22 青釉碗残片, 釉呈灰色, 釉质透明光亮; 胎体呈灰黑色。WB - 24 青釉壶残片, 釉呈绿色; 釉质透明; 胎体灰色。WB - 28 青釉盘残片, 釉呈绿色, 厚釉处呈翠绿色, 釉质透

明光亮, 胎体呈灰黑色。WB - 30 青釉碗底残片, 釉呈绿色; 胎体灰色。

现代仿瓷: FB - 08 青釉碗残片, 釉呈墨绿色, 釉质透明光滑, 胎体灰色。FB - 10 青釉刻花碗残片, 釉呈橄榄绿色, 釉质透明光滑; 胎体灰色。FB - 14 青釉执壶残片, 釉至墨绿色, 有冰裂纹; 胎体灰白色。FB - 17 青釉碗残片, 釉呈橄榄绿色, 釉质透明光亮; 胎体灰白色。

测试结果见表 1 - 3 所示。

表 1 耀州窑宋代青瓷各胎、釉层化学成分

Table 1 The results of chemical element of porcelain glaze and body of the samples

(wt%)

序号	样号	部位	SO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	总计	t _焙 /°C	t _烧 /°C
20	WB - 04	G	64.93	0.19	14.12		2.57	0.01	2.15	10.28	4.02	0	0.31	98.58	1284	
		B	68.06	0.82	26.89		1.35	0	0.54	0.15	2.29	0	0.06	100.06		1334
21	WB - 03	G	69.02	0.34	12.64		1.66	0.02	1.65	11.35	2.84	0	0.03	99.55	1281	
		B	62.55	0.73	30.54		1.57	0	0.67	0	2.64	0	0.06	98.76		1348
22	WB - 05	G	69.42	0.23	13.84		2.33	0.05	0.96	9.66	2.53	0	0	100.02	1298	
		B	65.13	1.52	29.49		1.72	0.10	0.82	0.39	0.71	0	0.04	99.92		1346
23	WB - 06	G	65.18	0.33	15.91		2.72	0.10	2.67	10.90	2.16	0	0	99.97	1291	
		B	58.10	1.29	36.14		1.87	0.04	0.92	0.13	2.05	0	0	100.54		1367
24	WB - 13	G	67.81	0	13.52		2.04	0.05	2.33	10.61	2.14	0	0.09	98.59	1286	
		B	56.87	0.80	38.31		1.38	0.06	0.42	0.45	2.02	0	0	100.31		1376
25	WB - 14	G	71.81	0.14	14.53		1.9	0.06	1.38	8.54	2.66	0	0.10	101.12	1316	
		B	69.92	1.30	24.19		1.36	0	0.40	0.96	2.26	0	0	100.39		1321
26	WB - 16	G	68.69	0.12	13.57		2.34	0.06	2.12	9.05	2.64	0	0.16	98.75	1299	
		B	56.42	0.30	37.76		1.84	0	1.66	0	1.19	0	0.27	99.44		1375
27	WB - 18	G	76.62	0.35	14.27		1.69	0	0.99	3.80	2.62	0	0.13	100.47	1354	
		B	65.45	0.99	28.38		2	0.02	0.58	0.35	2.94	0	0	100.71		1337
28	WB - 22	G	70.22	0	14.62		1.96	0.10	2.28	8.14	3.19	0	0.79	101.30	1308	
		B	67.78	0	26		1.63	0.01	0.50	0.76	2.23	0	0	98.91		1329
29	WB - 24	G	67.36	0.04	13.42		1.69	0	1.80	13.31	2.68	0	0	100.29	1268	
		B	67.79	0.06	28.12		1.23	0	0.86	0.08	2.30	0	0	100.44		1336
30	WB - 28	G	67.44	0.45	15.93		1.89	0.02	0.14	11.67	2.47	0	0	100	1312	
		B	57.39	1.66	36.20		1.43	0.05	0.56	0.09	1.93	0	0.06	99.37		1372
31	WB - 30	G	65.69	0	14.13		2.80	0.12	2.79	13.40	0.92	0	0	99.85	1266	
		B	55.63	0.93	38.75		1.78	0.01	0.91	0	1.02	0	0	99.03		1381
32	FB - 08	G	66	0.06	13.17		2.10	0.06	1.24	12.35	3.05	0.64	0.27	98.94	1272	
		B	59.47	0	35.54		1.86	0.04	0.23	0	1.33	0	0	98.47		1373
33	FB - 10	G	72.19	0.19	11.72		1.38	0.03	0.38	11.04	3.79	0	0.04	100.76	1290	
		B	65.33	0.81	28.96		1.63	0	0.24	0.34	4.06	0.41	0	101.78		1335
34	FB - 14	G	67	0.22	14.43		2.27	0.04	0.25	10.13	3.74	0	0	98.08	1309	
		B	60.31	1.49	33.39		1.65	0.07	0.05	0.45	2.80	0	0.09	100.30		1360
35	FB - 17	G	67.08	0.17	12.49		1.44	0.04	0.25	16.19	2.34	0	0	100	1258	
		B	65.10	0.48	28.66		1.01	0	0.02	1.14	3.12	0	0.01	99.54		1337

注: G 为釉, B 为胎。

表 2 耀州窑宋代青瓷和仿宋瓷稀土元素分析结果

Table 2 The results of Ree of porcelain glaze and body of the samples

($\mu\text{g/g}$)

序号	样品名称	部位	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Ho	Tm	Yb	Lu	Ree	LRee	HRee	L/H
1	WB-05G	G	49.9	86.5	30.7	6.6	0.836		0.971			4.07	0.637	180.21	174.54	5.678	30.74
2	WB-05B	B	56.3	103	34.7	6.03	0.946		0.95			4	0.738	206.66	200.98	5.688	35.33
3	WB-06G	G	59.6	108	35.7	7.24	1.15		1.05			4.24	0.721	217.70	211.69	6.011	35.22
4	WB-06B	B	67.6	119	34.4	7.13	1.09		1.03			4.27	0.833	235.35	229.22	6.133	37.37
5	WB-16G	G	51.5	90.3	33.7	6.51	0.989		0.916			3.86	0.635	188.01	182.60	5.411	33.75
6	WB-16B	B	68.7	122	41	7.06	1.36		1.30			4.37	0.701	246.49	240.12	6.371	37.69
7	WB-22G	G	69.9	122	42.6	7.83	1.16		1.37			4.69	0.715	250.27	243.49	6.775	35.94
8	WB-22B	B	87.6	151	49.2	8.35	1.38		1.54			4.98	0.859	304.91	297.53	7.379	40.32
9	WB-28G	G	56	100	36.5	7.64	1.01		1.05			4.23	0.714	207.14	201.15	5.994	33.56
10	WB-28B	B	61.3	90.8	34.7	8.07	1.18		0.839			4.91	0.860	202.66	196.05	6.609	29.66
11	WB-30G	G	64.7	115	40.4	7.63	1.28		1.21			4.42	0.682	235.32	229.01	6.312	36.28
12	WB-30B	B	83.2	150	49.8	8.87	1.63		1.57			5.38	0.814	301.26	293.50	7.764	37.80
13	FB-08G	G	52.8	94.4	39.7	8.52	1.51		1.06			3.09	0.487	201.57	196.93	4.637	42.47
14	FB-08B	B	83.3	156	64.4	14	2.01		1.67			4.48	0.779	326.64	319.71	6.929	46.14
15	FB-17G	G	42.8	78.9	31.3	6.16	1.03		0.881			2.59	0.446	164.11	160.19	3.917	40.90
16	FB-17B	B	55.8	107	41.9	8.72	1.46		1.11			3.42	0.563	219.97	214.88	5.093	42.19
17	FB-14	G+B	75.2	127	42.4	8.42	1.34		0.961			3.61	0.602	259.53	254.36	5.173	49.17

注: G 为釉, B 为胎, G+B 为胎釉(样品难分离)

表 3 耀州窑宋瓷和仿宋瓷胎、釉层主要微量元素含量

Table 3 The results of micrelements of the samples

($\mu\text{g/g}$)

样品编号	Fe 族	Zn	Zr	Hf	Ta	Sc	Rb	Sr	Zr/Zn	Sr/Rb
WB-05G	18515.20	49.10	212	8.60	2.71	12.8	96	163	4.32	1.70
WB-05B	9864.38	< 7.63	279	11.6	3.25	18.8	79.6	111	36.57	1.39
WB-06G	13541.80	33.20	214	9.33	2.86	17.6	105	151	6.45	1.44
WB-06B	10652.80	< 10	336	11.10	3.93	20.7	89	< 65.5	33.60	0.74
WB-16G	27621	101	141	7.05	2.34	13	131	55.9	1.40	0.43
WB-16B	11240.30	< 6.70	223	9.93	2.49	21.9	120	79.2	33.28	0.66
WB-22G	20693.70	62.50	144	7.27	2.24	13.9	134	83.8	2.30	0.63
WB-22B	11833.60	< 7.23	194	9.03	2.17	19.2	131	93.5	26.83	0.71
WB-28G	26403.30	79.50	204	11	3.12	116.7	119	64.2	2.57	0.54
WB-28B	15494.40	62.70	281	11.40	5.05	18.4	73.7	36.7	4.48	0.50
WB-30G	16361.20	43.40	185	7.64	1.13	13.6	119	73.9	4.26	0.62
WB-30B	10883.70	< 6.78	237	9.44	2.05	19.5	126	96.1	34.96	0.76
FB-08G	17108.60	154	191	5.47	2.31	13	198	171	1.26	0.86
FB-08B	15003.50	121	443	8.33	8.53	21	110	< 59.2	3.66	0.54
FB-14	13758.80	1430	408	9.30	3.03	18.4	115	58.9	0.03	0.51
FB-17G	27008.40	1300	215	5.86	1.62	10.7	119	53.8	0.17	0.45
FB-17B	8522.34	214	207	8.21	2.43	16.8	155	67.9	0.97	0.44

注: G 为釉, B 为胎, 无标记者为胎釉(样品难分离)。

表 1 中还列出每一样品釉的熔融温度 $t_{\text{熔}}(^{\circ}\text{C})$ 和胎的烧成温度 $t_{\text{烧}}(^{\circ}\text{C})$, 其计算方法采用常规方法^[2] 计算公式分别为

$$t_{\text{烧}} = (360 + \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{RO}) / 0.288 \quad (1)$$

$$t_{\text{熔}} = (360 + \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{RO}) / 0.288 \quad (2)$$

式中, Al_2O_3 指釉或胎中 Al_2O_3 与 SiO_2 总量等于 100 时, Al_2O_3 的百分含量; RO 指釉或胎中 Al_2O_3 与 SiO_2 总量等于 100 时, 所有氧化物的百分含量之和。其中, K_2O 、 Na_2O 、 CaO 、 MgO 、 MnO 都归并入 RO 中去, 但一般计算都以 K_2O 作为标准熔剂, 其他氧化物归并

时应乘以换算系数, 其换算系数分别为 $\text{CaO}=1.7$, $\text{NaO}=1.52$, $\text{MgO}=2.34$, $\text{MnO}=1.33$ 。

3 讨论

3.1 陶瓷化学组分差异

钛和铁的氧化物含量高是耀州窑瓷器的特有化学特征, 这与它们的原料来源于沉积煤系地层的黏土有关²⁻³。从图 2 可以看出, 古瓷釉和仿宋瓷釉的 RO/SiO_2 比值(即熔剂氧化物包括 K_2O 、 Na_2O 、 CaO 、 MnO 与难熔氧化物 SiO_2 的百分含量比)具明显差异, 古瓷釉 RO/SiO_2 比值低而仿宋瓷釉的比值高。宋代青瓷釉的 RO/SiO_2 平均值 0.204, 仿古瓷釉为 0.241。

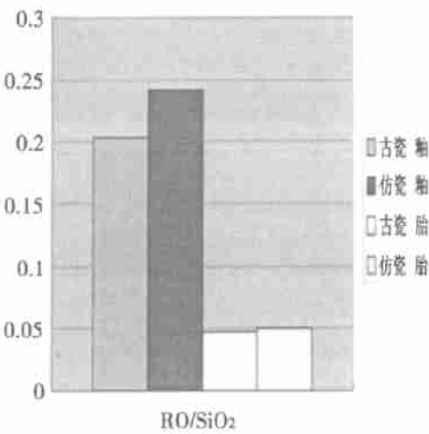


图 2 耀州窑宋瓷与仿宋瓷瓷、釉的 RO/SiO_2 柱状图

Fig. 2 RO/SiO_2 column pattern of porcelain glaze and porcelain body of the samples

这些数值显示, 瓷釉的 RO/SiO_2 比值可以用于耀州窑宋代青瓷与现代仿宋青瓷进行判别和区分。

3.2 稀土元素配分特征

稀土元素(Ree)一般指元素周期表中原子序数 57-71 号镧系的 15 个元素。由于钇的性质与镧系元素相似, 有些著作也将其划为稀土元素。通常, 稀土元素可划分为两组: 轻稀土元素(LRee)和重稀土元素(HRee)。轻稀土元素包括: La 、 Ce 、 Pr 、 Nd 、 Pm 、 Sm 和 Eu ^[3,4]。重稀土(HRee)元素包括: Gd 、 Tb 、 Dy 、 Ho 、 Er 、 Tm 、 Yb 、 Lu 。自然界中, 除了 Pm 、 Y 为人工放射性产物外, 其余元素的地球化学性质十分相近, 因镧系收缩, 它们的离子半径相近, 晶体化学性质也相似, 因而在自然界中紧密共生或共同迁移, 并共存同一地质体中。但是, 稀土元素由于其离子半径、物理和化学性质具有规律变化及存在某些差异, 从而影响其晶体化学性质和地球化学行为。通常稀土多呈三价状态, 但在碱性介质中氧化条件下, Ce^{3+} 易氧化为 Ce^{4+} ; 在酸

性介质中还原条件下, Eu^{3+} 易还原成 Eu^{2+} 等; 在自然界演化过程中(如岩浆作用、表生作用等), 稀土元素之间会发生分异(或分馏)。人们要根据这种分异程度来探讨地壳的演化历史, 成岩、成矿物质来源及形成过程等地质问题。因此, 稀土元素被认为是一组具有重要意义的“地球化学指示剂”元素。因此, 对陶瓷胎、釉中稀土元素的分析研究, 可以反映出不同地域、不同时期陶瓷的用料差别^{5]}。

3.2.1 宋代青瓷稀土元素含量及其配分特征

从瓷胎物质和瓷釉物质二方面进行讨论。

(1) 瓷胎物质。从表 2 及图 3 可以看出, 宋代青瓷胎稀土元素含量变化幅度较大, 样品的稀土元素总量($\sum \text{Ree}$)在 $200 - 300 \mu\text{g/g}$ 之间波动, 其中如 La 、 Ce 、 Nd 、 Sm 、 Eu 等轻稀土元素(LRee)含量较高, 而 Gd 、 Tb 、 Ho 、 Tm 、 Yb 、 Lu 等重稀土元素(HRee)含量较低, LRee/HRee 比值在 29-40 之间变化。若从制瓷时期分析, 则表明宋代晚期的青瓷胎的 LRee/HRee 比值变化幅度大, 各样品的值相差大于 8, 而早期和中期的样品胎的 LRee/HRee 比值变化幅度小, 为 35-40, 差值仅接近 5, 反映了不同时期瓷胎用料方面的差别^{6-7]}。

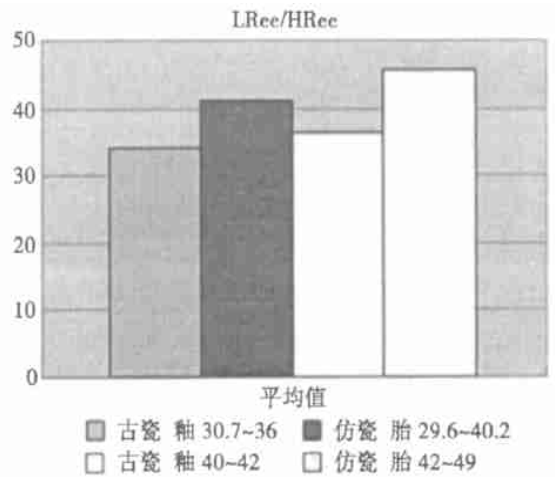


图 3 宋瓷及仿宋瓷胎、釉 LRee/HRee 比值柱状图

Fig. 3 LRee/HRee column pattern of porcelain glaze and porcelain body of the samples

(2) 瓷釉物质。从表 2 及图 3 同样可以看出, 各样品的稀土元素总量($\sum \text{Ree}$)均明显低于瓷胎的稀土元素总量值, 其变化范围在 $180 - 250 \mu\text{g/g}$ 之间。其中, 瓷釉的轻稀土元素含量在 $174 - 243 \mu\text{g/g}$ 之间变化, 低于胎的轻稀土元素含量, 而重稀土元素含量则与胎的含量值相接近, 瓷釉在 $5.4 - 6.3 \mu\text{g/g}$ 之间, 而瓷胎在 $5.7 - 7.8 \mu\text{g/g}$ 之间。LRee/HRee 比值相对变化幅度小, 在 30-36 之间, 与胎体物质的

比值具有明显的差异。此外,各不同时期样品的 L_{Ree}/H_{Ree} 比值也相接近,其间无明显的差异。

3.2.2 仿宋瓷稀土元素含量及其配分特征 从表 2 及图 3 还可以看出,仿宋瓷胎体物质的稀土元素总量在 $326.64 - 219.98 \mu\text{g/g}$,其中轻稀土元素含量为 $319.71 - 214.88 \mu\text{g/g}$,重稀土元素含量为 $6.93 - 5.09 \mu\text{g/g}$,其 L_{Ree}/H_{Ree} 比值变化于 $42 - 49$ 之间,高低比值相差为 7。

仿宋瓷釉体物质的轻重稀土元素含量配分则与其相应的瓷胎物质存在着较大的差异。釉体物质轻稀土元素含量为 $210.57 - 164.1 \mu\text{g/g}$,明显低于胎的轻稀土元素含量值;釉体物质重稀土元素含量仅为 $4.64 - 3.92 \mu\text{g/g}$,也低于胎的重稀土元素含量值,但降低幅度较小,瓷釉的 L_{Ree}/H_{Ree} 比值变化范围为 $40 - 42$,相对胎体而言,其比值相对稳定。

3.3 微量元素特征

我们分析检测了 Cr、Mn、Fe、Co、Ni 等铁族元素在内的 23 种微量元素。其中,几种主要微量元素含量见表 3。依据微量元素的化学活动性质,可以大体将这些众多的元素划分为三种类型,即容易迁移元素类,如 Cd、Li 等;移动元素类,如 Re、Zr、Nb、Sc、Be、Hf、Ta 等;惰性元素类,如 Zn、Ga 等。通过与前人对所获得的大量微量元素测试结果的对比分析,发现惰性元素 Zn 以及铁族元素(特别是铁)的含量在各类样品中存在有较明显的差异,而移动类微量元素的含量变化范围较窄,因此,本次研究则选定铁族、Zn、Hf、Ta、Sc、Rb、Sr 等几个主要微量元素为对象,进行研究和对比分析。

3.3.1 瓷釉中 Zn 含量对比分析 图 4 所示,Zn 元素在古瓷釉中含量变化在 $32 - 101 \mu\text{g/g}$ 之间,多数在 $50 \mu\text{g/g}$ 以上,仿宋瓷釉的含量则在 $1200 \mu\text{g/g}$ 以上,Zn 含量则高于古瓷,明显的显示出二者之间的差异。

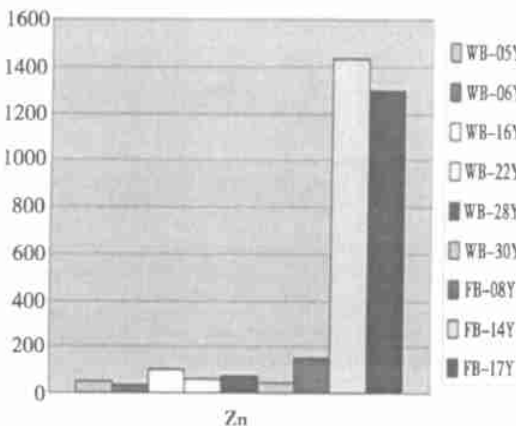


图 4 瓷釉中 Zn 含量对比分析柱状图

Fig. 4 Column pattern of Zn in porcelain glaze of the samples

3.3.2 瓷胎中 Zn 含量对比分析 图 5 所示,绝大多数古瓷胎的 Zn 含量都小于 $8 \mu\text{g/g}$;而仿宋瓷胎的 Zn 含量则在 $100 \mu\text{g/g}$ 以上;含量远远高于古瓷胎,具有明显的差异。

3.3.3 铁族微量元素分析 古瓷还是仿宋瓷,其釉和胎的铁族微量元素含量有明显的不同,釉的铁族微量元素含量普遍高于胎的含量,多数样品釉的铁族微量元素含量是胎的含量的近两倍甚至更高。

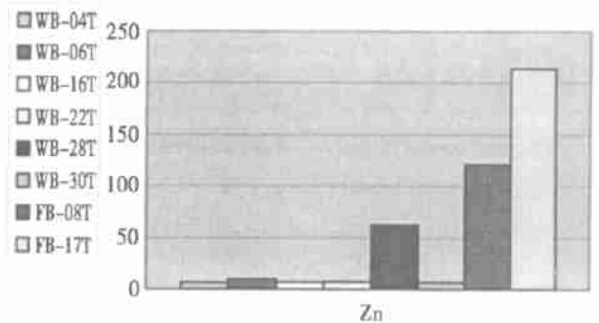


图 5 瓷胎中 Zn 含量对比分析柱状图

Fig. 5 Column pattern of Zn in porcelain body of the samples

4 结论

(1) 古瓷釉和仿宋瓷釉的 RO/SiO_2 比值(即熔剂氧化物包括 K_2O 、 Na_2O 、 CaO 、 MgO 、 MnO 与难熔氧化物 SiO_2 的百分含量比)具明显差异,古瓷釉 RO/SiO_2 比值低而仿宋瓷釉的比值高。

(2) 仿宋瓷胎的轻稀土元素含量与重稀土元素含量比值(即 L_{Ree}/H_{Ree})的平均比值大于古瓷胎的平均比值。仿瓷胎体的 L_{Ree}/H_{Ree} 比值也比古瓷胎体的比值高,前者的平均值为 45.5,而后者则为 36.3;仿宋瓷胎的平均比值大于古瓷胎的平均比值。胎体的这种差异特征同样反映在釉体物质的稀土元素含量上,因而仿瓷釉的 L_{Ree}/H_{Ree} 比值也比古瓷釉的比值高,前者的平均值为 41,而后者则为 34.3。

(3) 仿宋瓷的胎和釉的微量元素 Zn 含量则明显的高于古瓷 Zn 元素含量,对于移动类微量元素而言,除了 Zr 元素的含量在不同的样品中有一定的差别以外,其它元素如 Hf、Ta、Sc 等的含量在各类样品中变化范围较窄,相对较稳定。

参考文献:

- [1] 李家治主编. 中国科学技术史(陶瓷卷)[M]. 北京: 科学出版社, 1998. 258~270.
Li Jia-zhi. A history of science and technology in China (Ceramics Volume) [M]. Beijing: Science Press, 1998. 258~270.
- [2] 吴绳愚. 陶瓷计算[M]. 北京: 轻工业出版社, 1983.

- WU Sheng - Yu. Ceramics calculating [M]. Beijing: Light Industry Press, 1983.
- [3] 李国桢, 关培英. 耀州窑青瓷的研究 [J]. 硅酸盐学报, 1979, 7(4): 360.
LI Guo - zhen, GUAN Pei - ying. Study on the Yaozhou celadon [J]. J Chin Ceramic Soc, 1979, 7(4): 360.
- [4] 郭演仪, 王寿英, 陈尧成. 中国历代南北方青瓷的研究 [J]. 硅酸盐学报, 1980, 8(3): 232 ~ 243.
GUO Yan - yi, WANG Shou - ying, CHEN Rao - cheng. Study on the celadon of southern and northern China of dynasties [J]. J Chin Ceramic Soc, 1980, 8(3): 232 ~ 243.
- [5] 中国科学院高能物理研究所中子活化分析室. 中子活化分析在环境学、生物学和地学中的应用 [M]. 北京: 原子能出版社, 1992. 51 ~ 77.
- NAA Laboratory, Institute of High Energy Physics, the Chinese Academy of Science. NAA on the field of environment, biology and geochemistry [M]. Beijing: Atomic Energy Press, 1992. 51
- [6] 杨钟堂. 唐、五代耀州青瓷釉的研究 [J]. 文物保护与考古科学, 1992, 4: 1 ~ 9.
YANG Zhong - tang. Study on the Yaozhou celadon glaze of Tang, Five - Dynasties period [J]. Sci Conserv Archaeol, 1992, 4: 1 ~ 9.
- [7] 张志刚, 李家治, 褚振西. 耀州窑历代青瓷工艺研究 [A]. ' 95 古陶瓷科学技术国际讨论会论文集 [C], 上海科学技术文献出版社, 1997, 65 ~ 72.
ZHANG Zhi - gang, LI Jia - zhi, ZHUO Zhen - xi. Study on the Yaozhou celadon techniques of all dynasties [A]. ' 95 Science and Technology of Ancient Ceramics - Proceedings of the International Symposium [C]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1997. 65 ~ 72.

Preliminary study on celadon in Song Dynasty of Yaozhou Kiln and its replica

QI Yang, YANG Zhong - tang², YANG Jun - chang¹, XUE Dong - xing³, MA Hong - lin¹

(1. *Xi'an Conservation and Restoration Centre for Cultural Heritage; Xi'an 710061, China;*

2. *Xi'an Geological and Mineral Research Institute; Xi'an 710054, China;*

3. *Yaozhou Kiln Museum; Tongchuan 727001, China*)

Abstract: In order to study the difference of chemical elements between celadon in Song Dynasty and its replica, the 12 samples of celadon in Song dynasty and 4 pieces of its replica were measured by neutron activation analysis (NAA). The results indicated that it has a clear difference on the values of RO/SiO₂ between celadon and its replica. The average value of LRee/HRee of porcelain glaze and body of replica is higher than that of the celadon. The microelement Zn values of porcelain glaze and body of replica are also higher than that of celadon.

Key words: Yaozhou Kiln; Celadon; Replica; Element analysis

· 通 讯 ·

《文物保护与考古科学》2002 年增刊征订启事

为纪念上海博物馆建馆 50 周年,《文物保护与考古科学》2002 年出版了一期增刊。标准 16 开精装本,内芯 80g 铜版纸,计 374 页和 8 页彩页。刊登论文 26 篇,通讯 2 篇。内容涉及金属和书画文物保护、文物防震、文物保存环境、热释光测定年代、古陶瓷成分分析、古代金属工艺研究等方面,并附有本刊创刊至 2002 年共 14 卷 28 期的分类总目录。

订阅者请向编辑部联系邮购,定价:50 元,邮资:2 元,共计:52 元。编辑部地址:上海市延安西路 1357 号一楼(汇中商务楼);邮编:200050。

《文物保护与考古科学》编辑部