

文章编号: 1007-4627(2004)03-0253-05

用指纹元素散布分析研究古耀州瓷胎的起源*

赵维娟¹, 李融武², 郭敏¹, 高正耀¹, 李国霞¹, 谢建忠¹, 冯松林³, 范东宇³,
张颖³, 柴之芳³, 嵇振西⁴

(1 郑州大学物理工程学院, 河南 郑州 450052;

2 北京师范大学物理系, 北京 100875;

3 中国科学院高能物理研究所, 北京 100080;

4 陕西省考古研究所, 陕西 西安 710054)

摘要: 选取耀州窑瓷胎样品 25 个, 唐三彩的胎 3 个, 作坊匣钵料样品 1 个, 耀州博物馆附近粘土矿样品 4 个. 用中子活化分析测量样品中 29 种元素的含量, 从这 29 种元素中挑选出 8 种指纹元素, 将指纹元素的含量进行散布分析. 结果表明, 出自不同窑口的古耀州瓷的胎, 有着长期稳定的、集中的原料产地. 耀州窑唐三彩的胎料产地和耀州瓷胎的原料产地相同.

关键词: 古耀州瓷胎; 原料产地; 中子活化分析; 指纹元素; 散布分析

中图分类号: TL99 **文献标识码:** A

1 引言

耀州瓷始于唐, 衰于元, 经历长达几百年的历史. 唐代是中国陶瓷的集大成者, 出产有白瓷、青瓷、黑瓷、花瓷、黄绿釉色瓷和唐三彩等, 几乎包括所有瓷种. 五代逐步转向青瓷, 素面居多, 间有部分雕花、贴花和划花. 宋代全以青瓷刻花、印花为主, 走出自己窑口的独特风格, 为中国的陶瓷艺术史增添了不朽的光彩^[1-3]. 有关学者曾对耀州瓷的科学技术问题进行过深入的研究, 但以往的研究多是化学分析和显微结构分析^[4]. 这些时间跨越几

百年, 瓷器釉色迥然不同, 出自不同窑口的耀州瓷胎, 其原料产地是否相同? 本文用中子活化分析(NAA)^[5, 6]测量了耀州瓷胎中 29 种元素的含量. 从这 29 种元素中挑选出 8 种指纹元素, 将指纹元素的含量进行散布分析, 得到耀州瓷胎原料产地的有价值的信息. 这些信息可为古耀州瓷的鉴别和仿制提供可靠的科学依据.

2 样品的选取

样品的烧造年代跨越唐、五代、宋、金、元, 样品的序号、代号、年代、名称、胎色和胎质见表 1.

表 1 耀州瓷胎样品表

序号	样品代号	年代	样品名称	胎色	胎质
1	Y3b	唐代	黑釉瓷胎	深灰色	粗糙
2	Y24b	唐代	黑釉瓷胎	深灰色	粗糙
3	Y25b	唐代	黑釉瓷胎	深灰色	粗糙
4	Y26b	唐代	茶叶末釉瓷胎	深灰色	粗糙
5	Y27	唐代	白釉瓷胎	土黄色	较粗糙
6	Y30b	唐代	青釉瓷胎	深灰色	粗糙

收稿日期: 2004 - 03 - 10

* 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(10205013, 10175053); 河北省教育厅资助项目(2003140024); 郑州大学青年基金资助项目(200201)

作者简介: 赵维娟(1968-), 女(汉族), 河南方城人, 副教授, 从事核物理与核技术研究.

7	Y31b	唐代	器外青釉器内黑釉瓷胎	深灰色	粗糙
8	Y38b	唐代	青釉瓷胎	深灰色	粗糙
9	Y40b	唐代	青釉瓷胎	浅灰色	细密
10	Y44b	五代	青釉瓷胎	浅青灰色	细密
11	Y45b	五代	青釉瓷胎	灰白色	细密
12	Y50b	五代	青釉瓷胎	灰白色	细密
13	Y51b	五代晚期至宋代初	青釉瓷胎	灰白色	细密, 坚硬
14	Y53b	宋代	青釉瓷胎	浅灰色	较细密
15	Y54b	宋代	青釉瓷胎	浅灰色	较细密
16	Y55b	宋代	青釉瓷胎	浅灰色	较细密
17	Y58b	宋代	青釉瓷胎	深灰色	细密
18	Y61b	宋代	兔毫釉瓷胎	浅灰色	较细密
19	Y63b	宋代	酱色釉瓷胎	浅灰色	细密
20	Y65b	宋代	青釉瓷胎	浅灰色	较粗糙
21	Y66b	金代	月白釉瓷胎	浅灰色	细密, 坚硬
22	Y67b	金代	月白釉瓷胎	浅灰色	细密, 坚硬
23	Y68b	金代	姜黄釉瓷胎	灰白色	细密, 坚硬
24	Y69b	金晚至元初	姜黄釉瓷胎	灰白色	细密, 坚硬
25	Y71b	元末至明初	白地黑花釉瓷胎	灰白色	较粗糙
26	Y74b	唐代	三彩器胎	土色	粗糙
27	Y75b	唐代	三彩器胎	土色	粗糙
28	Y76b	唐代	三彩器胎	土色	粗糙
29	YS2X	宋代	匣钵泥料		
30	YZG		耀州窑博物馆附近	紫坭	
31	YG		耀州窑博物馆附近	坭	
32	YL		耀州窑博物馆附近	黄土	
33	YQG		耀州窑博物馆附近	鸽青	

3 中子活化分析实验

用 NAA 法测得每个样品的 29 种元素含量, 其中稀土元素 8 种, 包括 La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Yb 和 Lu; 其它元素 21 种: Na, Sc, Cr, Fe, Co, Ni, Zn, As, Se, Rb, Sr, Zr, Mo, Sb, Cs, Ba, Hf, Ta, W, Th 和 U. 测量方法见文献[5]和[6], NAA 数据的置信水平为 90%, 单位为 $\mu\text{g/g}$, 即多数元素的 NAA 数据误差为 $\pm 10\%$.

4 指纹元素的散布分析

4.1 指纹元素的确定

计算样品中各元素的算术平均值 a 和标准误差 σ , 若绝大多数样品的某元素含量在 $a \pm \sigma$ 之间, 即认为该元素为指纹元素^[7]. 经过认真分析, 认为 Sm, Ce, Yb, Lu, Hf, Cr, Zn 和 Zr 这 8 种元素是

反映古耀州瓷胎原料产地的指纹元素, 这些元素的含量见表 2.

4.2 单元素含量散布分析

以样品的序号为横坐标, 任意一种指纹元素的含量为纵坐标, 可做出单元素含量散布图. 耀州瓷胎样品、唐三彩的胎样品和耀州博物馆附近粘土样品的 Ce 含量如图 1 所示. 对每一种指纹元素都可以画出类似的散布图. 从图 1 可以看出, 大多数样品分布在 $a \pm \sigma$ 范围内, 这说明唐、五代、宋、金时代耀州瓷胎的原料产地相同或相近. 大多数唐、五代时期的耀州瓷胎样品中 Ce 的含量在平均值以下, 从而说明它们的原料产地更为接近一些. 唐三彩的胎也分布在 $a \pm \sigma$ 范围内, 可以得出唐三彩的胎料产地和耀州瓷的胎料产地相同. YG, Y61b 和 YQG 这 3 个样品中 Ce 的含量明显偏高, Y41b, YL 和 YZG 3 个样品中 Ce 的含量偏低, 这说明少

数五代和宋代的样品有别于多数样品的产地。

表2 指纹元素的含量

μg/g

序号	样品代号	Sm	Ce	Yb	Lu	Hf	Cr	Zn	Zr
1	Y3b	6.55	149	5.08	0.761	16.30	99.70	5.78	705.0
2	Y24b	5.86	101	4.40	0.671	16.30	113.0	5.45	667.0
3	Y25b	5.50	119	4.61	0.733	15.00	132.0	5.95	575.0
4	Y26b	7.44	139	5.17	0.838	16.50	101.0	5.69	728.0
5	Y27b	5.18	112	4.77	0.717	16.10	106.0	6.00	735.0
6	Y30b	4.98	107	4.65	0.678	14.80	125.0	5.96	787.0
7	Y31b	6.19	115	4.09	0.674	12.40	109.0	5.93	626.0
8	Y38b	6.71	111	4.29	0.667	16.40	97.50	5.26	730.0
9	Y40b	4.09	97.2	3.89	0.603	12.70	170.0	5.74	479.0
10	Y44b	4.16	62.7	1.14	0.239	14.04	27.30	3.28	490.3
11	Y45b	5.89	104	3.55	0.637	12.10	140.0	6.09	498.0
12	Y50b	6.19	125	4.82	0.682	13.90	129.0	5.99	780.0
13	Y51b	6.53	150	3.87	0.564	7.530	94.20	6.18	165.0
14	Y53b	5.53	116	4.21	0.573	11.30	102.0	5.36	623.0
15	Y54b	6.97	129	3.83	0.610	9.970	98.00	5.79	504.0
16	Y55b	5.71	135	3.99	0.687	9.410	106.0	5.56	470.0
17	Y58b	7.65	149	4.25	0.676	8.610	109.0	5.96	492.0
18	Y61b	0.187	264	7.68	1.200	12.10	131.0	7.47	722.0
19	Y63b	8.07	151	4.27	0.646	7.530	89.30	6.22	166.0
20	Y65b	5.10	119	4.46	0.608	11.20	83.00	5.25	689.0
21	Y66b	6.29	146	4.50	0.621	9.590	89.40	5.37	518.0
22	Y67b	6.27	156	4.71	0.698	10.40	102.0	5.65	456.0
23	Y68b	5.62	121	3.62	0.614	11.00	96.80	5.51	424.0
24	Y69b	4.79	102	3.28	0.572	11.60	88.10	5.02	461.0
25	Y71b	6.55	115	2.77	0.497	7.520	69.90	5.96	596.0
26	Y74b	9.69	163	5.19	0.958	14.30	109.0	6.44	661.0
27	Y75b	6.56	114	4.97	0.733	14.80	95.70	5.62	612.0
28	Y76b	10.5	137	5.91	0.883	15.40	94.90	6.23	634.0
29	YSZX	8.08	123	3.80	0.562	8.620	89.90	5.19	559.0
30	YZG	5.91	68.4	2.30	0.406	5.460	60.80	5.05	120.0
31	YG	4.25	75.1	8.82	1.320	28.90	39.70	6.28	1060
32	YL	16.1	384	8.11	1.220	7.490	51.50	6.40	156.0
33	YQG	39.4	294	13.4	2.040	19.10	304.0	6.96	1050

4.3 二元素含量散布分析

以一种指纹元素的含量为横坐标，另一种指纹元素的含量为纵坐标，可做出二元素含量散布图。图2是古耀州瓷瓷胎、唐三彩的胎样品和耀州窑博物馆附近粘土矿样品中Yb-Ce含量散布图。与图1相比，图2更为直观、清晰。从图2可以看出，样品大致分为以下7类：

第1类：大多数古耀州瓷瓷胎、唐三彩的胎和耀州窑博物馆附近粘土矿样品。在这一类中共有27个样品，其中包括23个唐、五代、宋、金时代的耀州瓷胎样品，3个唐三彩的胎样品和1个宋代作坊匣钵泥料样品。

第2类：Y61b是宋代兔毫釉瓷胎，它与第1类中宋、金时期的样品关系较远，两者的产地有所不

同.

第 3 类: Y44b 为五代青釉瓷胎, 该样品的颜色特殊, 是唯一的青灰色样品. 它与其它样品关系甚远.

第 4 类: YZG 是耀州窑博物馆附近的粘土矿紫坭.

第 5 类: YG 是耀州窑博物馆附近的粘土矿坭.

第 6 类: YQG 是耀州窑博物馆附近的粘土矿鸽青.

第 7 类: YL 是耀州窑博物馆附近的黄土.

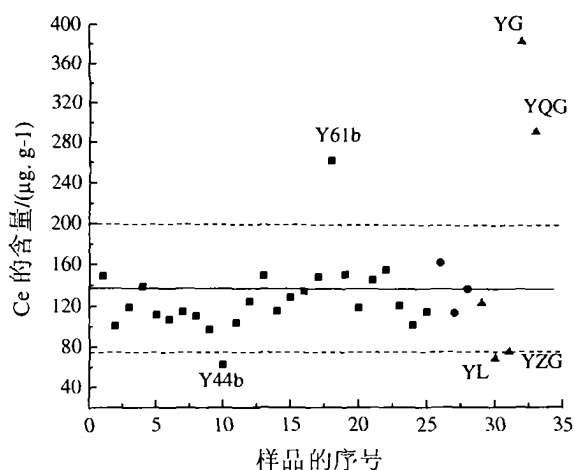


图 1 古耀州瓷瓷胎和耀州窑博物馆附近粘土矿样品中 Ce 含量散布图

■ 古耀州瓷瓷胎, ▲ 耀州窑博物馆附近粘土矿样品和匣钵泥料, ● 唐三彩的胎.

比较图 1 和图 2 可知, 单元素含量散布分析和二元素含量散布分析的结果是相同的. 分析结果表明, 多数古耀州瓷瓷胎样品有相同的原料产地, 少数样品有别于多数样品的产地. 少数宋代、五代样品的原料产地与多数样品的原料产地不同. YZG, YG, YQG 和 YL 这 4 个样品与耀州瓷瓷胎之间的

关系甚远, 而且它们彼此之间的关系疏远, 这表明这 4 个样品的岩石矿物不同, 成矿背景也不相同.

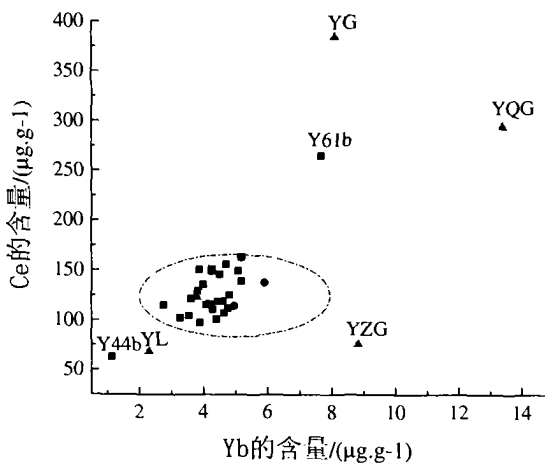


图 2 古耀州瓷瓷胎和耀州窑博物馆附近粘土矿样品中 Yb - Ce 含量散布图

■ 古耀州瓷瓷胎, ▲ 耀州窑博物馆附近粘土矿样品和匣钵泥料, ● 唐三彩的胎.

5 结论

从耀州窑瓷胎样品、唐三彩的胎样品、作坊匣钵泥料样品和耀州博物馆附近粘土矿样品的 NAA 数据挑选出 8 种指纹元素的含量进行散布分析. 结果表明:

(1) 历代古耀州瓷胎样品有着长期稳定、集中的原料产地. 不同时代的胎料产地关系密切, 相距较近.

(2) 耀州窑唐三彩的胎料产地和耀州瓷的胎料产地相同.

(3) 宋代耀州窑的匣钵泥料与耀州瓷胎的原料来源相同.

(4) 4 个粘土矿样品之间的关系疏远, 它们和多数耀州瓷胎样品的关系也都较远.

参 考 文 献:

[1] 褚振西, 杜葆仁. 唐代黄堡窑址. 北京: 文物出版社, 1990, 1—28.
 [2] 褚振西, 杜葆仁. 五代黄堡窑址. 北京: 文物出版社, 1993, 1—15.
 [3] 褚振西, 杜葆仁. 宋代耀州窑址. 北京: 文物出版社, 1998, 1—26.
 [4] 王 芬, 陈士萍, 孙宏巍. 五代耀州窑青瓷的研究. 见: 郭景坤

主编. 古陶瓷科学技术 4. 国际讨论会论文集 (ISAC' 99). 上海: 上海科学技术文献出版社, 1999, 55—62.
 [5] 高正耀, 王 杰, 陈松华等. 原子能科学技术, 1996, 31(4): 360.
 [6] 赵维娟, 胥爱军, 李融武等. 科学通报, 2002, 47(11): 878.
 [7] 杨 柳, 赵维娟, 李国霞等. 原子核物理评论, 2002, 19(4): 421.

Study on Provenance of Ancient Yaozhou Porcelain Bodies by Fingerprint Elements Scatter Analysis*

ZHAO Wei-juan¹, LI Rong-wu², GUO Min¹, GAO Zheng-yao¹, LI Guo-xia¹, XIE Jian-zhong¹,
FENG Song-lin³, FAN Dong-yu³, ZHANG Ying³, CAI Zhi-fang³, ZHUO Zhen-xi⁴

(1 *Faculty of Physical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450052, China;*

2 *Department of Physics, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;*

3 *High Energy Physics Institute, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China;*

4 *Archaeology Research Institute, Shanxi Province, Xi'an 710000 China)*

Abstract: 25 samples of Yaozhou porcelain bodies, 3 samples of the tri-color pottery bodies during the Tang Dynasty, 1 samples of Saggarr material during Song Dynasty and 4 samples of clay mineral taken from the place near Yaozhou Kiln Museum was selected. The technique of neutron activation analysis (NAA) has been employed to measure the content of 29 kinds of elements in the samples. 8 elements of them were selected as fingerprint elements to make scatter analysis. The conclusion is that the ancient Yaozhou porcelain bodies produced by different kilns, have long shared a stable and concentrated raw material sources. Both the tri-colored pottery bodies made in Yaozhou kilns during the Tang Dynasty and the Yaozhou porcelain bodies are from the same provenance.

Key words: ancient Yaozhou porcelain body; sources of raw material; neutron activation analysis; fingerprint element; scatter analysis

* **Foundation item:** National Natural Science Foundation of China (10205013, 10175053); Education Commission of Henan Province (2003140024); Young Foundation of Zhengzhou University(200201)