

用指纹元素分析古汝瓷和古钧瓷的起源关系

赵维娟¹ 谢建忠¹ 李国霞¹ 高正耀¹ 李融武² 张 斌³

冯松林⁴ 黄忠祥⁴ 贾秀琴⁴ 韩 松⁴

1(郑州大学物理工程学院 郑州 450052)

2(北京师范大学物理系 北京 100875)

3(郑州工业大学建筑系 郑州 450003)

4(中国科学院高能物理研究所 北京 100039)

摘要 将古汝瓷、古钧瓷和现代汝瓷、现代钧瓷的釉和胎等 46 个样品进行中子活化分析(NAA),测定每个样品中的 36 种元素含量,从中选取 8 种指纹元素进行散布分析。结果表明,除少数样品外,古汝瓷和古钧瓷有着基本相同的原料来源,初步分析它们有相近的起源关系。现代钧瓷多数与古钧瓷相近,3 个现代汝瓷和古汝瓷相似。景德镇瓷有别于所有其它样品。

关键词 中子活化分析, 指纹元素, 散布分析, 起源关系

中图分类号 TL43, TL99

陶瓷中的微量元素,不管是古代还是现代都是人工不能控制的,它反映了原料产地的特征。用中子活化分析(NAA)可以同时测定样品内几十种微量元素,所以 NAA 应是古陶瓷原料来源研究的有效手段。汝窑和钧窑都属于宋代五大名窑(汝、钧、官、哥、定窑)之列。此二窑系始于唐(618—907),盛于宋(960—1127),衰于元(1206—1368)^[1,2]。汝瓷属于青瓷,典型釉色为粉青,天蓝尤其珍贵。已发现的汝窑遗址近百处,主要分布在河南省汝州、宝丰、郟县、鲁山等地。钧瓷釉色绚丽多彩在中国陶瓷史上独树一帜,主要釉色为天青、天兰、紫红等。已发现的钧窑遗址有几十处,主要分布在河南省禹州、郟县、鲁山等地。宝丰清凉寺汝窑和禹州钧台钧窑都曾经为宋代宫廷烧制御用瓷器。汝瓷和钧瓷具有截然不同的风格,但两者的窑址相互交错,个别窑址处既有汝瓷,又有钧瓷。汝窑和钧窑的原料产地是否相同?它们的起源关系如何?关于汝窑和钧窑的关系素有‘汝钧不分’之说^[3],这与它们的起源有何关系?文献[4]、[5]分别讨论了古汝瓷和古钧瓷的原料来源和分类,但没有深入研究两者的起源关系。本文用中子活化分析(NAA),测定每个样品的 36 种元素含量,这 36 种元素能够充分显示原料产地的特征。为了简明地讨论原料的来源,从 36 种元素中挑选 8 种指纹元素进行散布分析,得到一些有价值的、有关古汝瓷和古钧瓷起源关系的信息。

1 样品和实验结果

选取以清凉寺窑为代表的古汝瓷样品 14 个,其中汝瓷釉 7 个,汝瓷胎 7 个,出自 4 个不同的窑口。为了获得更明确、更具体的产地信息,还选取了 3 个现代仿古汝瓷釉。选取以钧台窑为代表的古钧瓷样品 22 个,其中钧瓷釉 12 个,钧瓷胎 10 个,出自 6 个不同的窑口。现代仿古钧瓷样品 5 个。其中 J4g 和 J4b 是同一钧瓷样品的釉和胎。与此类似的还有 J9g 和 J9b 等,

国家自然科学基金(10175053)、省自然科学基金(004051500)、郑州大学青年基金资助

第一作者 赵维娟,女,1968 年出生,1992 年毕业于复旦大学物理二系,核物理专业,副教授

收稿日期 2000-11-22,修回日期 2001-08-20

J21bg 和 J21rg 是同一钧瓷样品的兰釉和红釉。与此类似的还有 J32bg 和 J32pg。R8g 和 R8b 为同一汝瓷样品的釉和胎,与此类似的还有 R10g 和 R10b 等。为了进行比较,选取了现代景德镇白瓷釉料和青瓷釉料各 1 个。这些样品都具有一定的代表性。样品的序号、代号及样品的情况说明如下。

序数	代号	样品情况	序数	代号	样品情况
2	J3b	北宋禹州神后窑浅灰色钧瓷胎	26	J32bg	北宋禹州钧台窑兰色钧瓷釉
3	J4g	金或元登封曲河窑兰色钧瓷釉	27	J32pg	北宋禹州钧台窑紫色钧瓷釉
24	J31g	北宋禹州钧台窑紫色钧瓷釉	28	J32b	北宋禹州钧台窑灰色钧瓷胎
4	J4b	金或元登封曲河窑浅灰色钧瓷釉	29	J33b	北宋禹州钧台窑灰色钧瓷胎
5	J5g	北宋禹州刘家窑天青色钧瓷釉	30	R1b	北宋汝州缸窑深灰色汝瓷胎
6	J9g	现代禹州刘家窑红色钧瓷釉	31	R3b	北宋汝州严和店窑灰色汝瓷胎
7	J9b	现代禹州刘家窑暗红色钧瓷胎	32	R4g	现代汝州朱氏窑天青色汝瓷釉
8	J10b	现代禹州刘家窑浅灰色钧瓷胎	33	R5g	现代汝州朱氏窑天青色汝瓷釉
9	J17b	宋代禹州神后窑浅灰色钧瓷胎	34	R6g	北宋汝州缸窑天兰色汝瓷釉
10	J20g	北宋禹州钧台窑天兰色钧瓷釉	35	R7g	北宋宝丰清凉寺窑天兰色汝瓷釉
11	J20b	北宋禹州钧台窑浅灰色钧瓷胎	36	R8g	北宋宝丰清凉寺窑天兰色汝瓷釉
12	J21bg	元代禹州大洞窑天兰色钧瓷釉	37	R8b	北宋宝丰清凉寺窑灰色汝瓷胎
13	J21rg	元代禹州大洞窑红色钧瓷釉	38	R9g	北宋宝丰清凉寺窑天兰色汝瓷釉
14	J21b	元代禹州大洞窑浅灰色钧瓷胎	25	J31b	北宋禹州钧台窑浅灰色钧瓷胎
15	J22g	北宋禹州刘家沟窑兰色钧瓷釉	40	R10g	北宋宝丰清凉寺窑天青色汝瓷釉
16	J22b	北宋禹州刘家沟窑浅灰色钧瓷胎	41	R10b	北宋宝丰清凉寺窑浅灰色汝瓷胎
23	J30b	现代禹州孔家窑灰色钧瓷胎	42	R14b	北宋汝州灰色汝瓷胎
18	J23b	唐代禹州神后窑灰色钧瓷胎	43	R16g	北宋汝州天青色汝瓷釉
19	J24g	北宋禹州钧台窑兰色钧瓷釉	44	R19g	北宋宝丰清凉寺窑天青色汝瓷釉
20	J24b	北宋禹州钧台窑灰色钧瓷胎	45	R19b	北宋宝丰清凉寺窑浅灰色汝瓷胎
21	J33g	北宋禹州钧台窑月白钧瓷釉	46	R23g	现代汝州汝瓷厂米黄色汝瓷釉料
22	J30g	现代禹州孔家窑红色钧瓷釉	48	R25b	北宋宝丰清凉寺窑天青色汝瓷胎
49	J10	景德镇白瓷釉料	50	J11	景德镇青瓷釉料

关于中子活化分析的实验方法请参阅文献[4],这里不再叙述。测得每个样品的 36 种元素的含量,其中稀土元素 11 种,包括 La、Ce、Nd、Sm、Eu、Gd、Tb、Ho、Tm、Yb、Lu 其它元素 25 种: Na、K、Sc、Cr、Mn、Fe、Co、Ni、Zn、As、Se、Rb、Sr、Zr、Mo、Ag、Sb、Cs、Ba、Hf、Ta、W、Au、Th、U。

2 指纹元素的散布分析

2.1 指纹元素的确定

计算样品中各元素的算术平均值 α 和标准误差 σ ,若绝大多数样品的该元素含量在 $\alpha \pm \sigma$ 之间,即认为该元素为指纹元素。经过分析认为表 1 中所列 8 种元素是反映古汝瓷和古钧瓷釉和胎的产地特征的指纹元素:Sm、Gd、Tb、Ho、Yb、Sc、Ta、Th。这些元素的最显著的特征是在同类样品中,每种元素的含量非常接近,在非同类样品中,该元素含量的差异非常明显。从表 1 中可以看出,这 8 种指纹元素在胎中的含量比釉中的含量高,在古汝瓷胎中的含量与古钧瓷胎中的含量相近,在古汝瓷釉中的含量比古钧瓷釉中的含量稍低,这说明古汝瓷胎与古钧瓷胎有相同的原料产地,古汝瓷釉与古钧瓷釉的原料产地有所不同。景德镇瓷中的釉料与古汝瓷、古钧瓷明显不同。这 8 种元素的含量可以表示每类样品原料产地特征。

表 1 古汝瓷和古钧瓷样品的指纹元素

Table 1 The fingerprinting element contents of ancient chinese Ru and Jun porcelains

样品 Sample		元素含量 Element contents($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)							
序号 No.	代号 Code name	Sm	Gd	Tb	Ho	Yb	Sc	Ta	Th
3	J4g	4.54	3.66	0.605	0.713	1.54	5.94	0.520	7.90
5	J5g	4.66	4.43	0.702	0.766	1.35	5.34	0.448	8.47
6	J9g	6.28	5.93	0.991	1.240	2.58	5.99	0.933	5.51
10	J20g	5.77	4.82	0.762	0.868	1.71	5.49	0.381	7.75
12	J21bg	2.69	2.00	0.345	0.439	1.12	4.43	0.274	5.95
13	J21rg	3.49	2.98	0.426	0.511	1.38	5.40	0.464	6.68
15	J22g	3.51	2.81	0.448	0.517	1.32	6.08	0.446	6.96
19	J24g	8.65	7.61	1.160	1.260	2.22	6.41	0.488	8.81
21	J33g	5.57	3.64	0.603	0.818	1.88	5.30	0.397	7.66
22	J30g	2.62	2.47	0.433	0.598	1.81	3.93	0.728	6.44
24	J31g	5.53	3.74	0.602	0.797	1.92	5.51	0.405	7.92
26	J32bg	5.11	3.74	0.581	0.699	1.71	5.83	0.378	7.88
27	J34bg	5.26	3.74	0.600	0.777	1.91	6.20	0.433	8.35
2	J3b	7.42	6.58	1.06	1.500	4.23	22.7	1.400	19.3
4	J4b	12.0	8.19	1.35	1.900	4.60	20.8	1.340	20.1
7	J9b	6.99	6.84	1.15	1.630	3.63	21.7	1.240	15.9
8	J10b	5.44	4.71	0.747	1.100	3.15	16.1	2.020	17.3
9	J17b	8.92	8.21	1.25	1.630	4.11	19.9	1.390	18.6
11	J20b	12.0	9.03	1.48	1.870	4.84	22.6	1.490	21.4
14	J21b	9.87	7.87	1.33	1.730	4.78	20.6	1.420	20.7
16	J22b	7.54	5.64	0.996	1.420	3.75	21.5	1.600	23.9
18	J23b	10.7	8.19	1.35	1.900	4.71	19.6	1.490	21.7
20	J24b	12.8	8.86	1.54	2.180	5.64	21.1	1.460	20.1
23	J30b	8.90	6.60	1.16	1.760	5.11	21.8	1.620	22.5
25	J31b	10.9	8.19	1.38	1.870	4.69	22.4	1.410	21.4
28	J32b	11.3	9.77	1.57	1.890	4.64	22.2	1.510	21.5
29	J33b	10.2	8.58	1.39	1.760	4.56	22.7	1.470	21.8
32	R4g	2.24	2.41	0.421	0.476	1.04	3.49	0.370	4.17
33	R5g	2.66	2.47	0.409	0.538	1.20	4.54	0.368	5.45
34	R6g	3.46	3.14	0.464	0.586	1.40	4.60	0.596	6.78
35	R7g	4.00	3.04	0.473	0.570	1.44	4.04	0.529	8.29
36	R8g	3.55	3.40	0.549	0.647	1.49	3.36	0.440	9.17
38	R9g	2.28	2.02	0.322	0.373	0.774	2.85	0.571	8.46
40	R10g	3.67	3.55	0.637	0.835	2.32	5.13	0.591	12.9
43	R16g	2.54	1.76	0.258	0.345	0.819	3.16	0.442	9.14
44	R19g	2.06	2.36	0.406	0.491	0.982	2.45	0.664	6.78
46	R23g	2.63	1.81	0.313	0.521	2.07	3.57	0.460	6.62
30	R1b	18.7	15.2	2.58	3.50	8.85	20.5	1.34	18.8
31	R3b	10.7	9.28	1.52	2.06	5.03	20.1	1.55	21.2
37	R8b	10.7	8.90	1.41	1.94	4.70	22.7	1.52	20.0
41	R10b	7.95	5.69	0.864	1.10	2.92	25.0	1.66	22.8
42	R14b	11.4	9.17	1.42	1.90	4.63	21.1	1.70	22.7
45	R19b	9.50	8.33	1.24	1.50	3.51	22.6	1.55	22.0
48	R25b	9.58	8.37	1.25	1.31	3.45	22.5	1.88	30.1
49	J10	0.290	0.368	0.069	0.107	0.347	0.326	0.338	0.424
50	J11	0.270	0.464	0.118	0.194	0.330	0.169	0.437	0.07

2.2 单元素含量散布分析

古汝瓷胎与古钧瓷胎样品的 Sc 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。横坐标表示样品的序号,纵坐标表示任意一种指纹元素的含量,可做出单元素含量散

布图。 Sc 含量的平均值在古汝瓷胎中为 $22.07\mu g \cdot g^{-1}$, 标准误差为 $\pm 1.85\mu g \cdot g^{-1}$ 在古钧瓷胎中为 $21.07\mu g \cdot g^{-1}$, 标准误差为 $\pm 1.7\mu g \cdot g^{-1}$ 。从图 1 可以看出, 在同类样品种, Sc 分布在狭窄的范围内, Sc 在古汝瓷胎和古钧瓷胎中的含量非常接近, 这说明它们的原料产地大致相同, 现代钧瓷胎(7 号, 23 号)也属于这一类 8 号(J10b)样品中 Sc 的含量偏低, 它与古汝瓷胎和古钧瓷胎的关系较疏远, 这是很正常的, 因为它是现代钧瓷胎 41 号(R10b)样品中 Sc 的含量偏高, 可见为宫廷烧制御用瓷器的清凉寺窑的胎料可能与一般民窑略有区别, 但仍可将它们视为同类。

图 2 表示的是 Sc 在古汝瓷釉和古钧瓷釉样品中的含量, Sc 含量的平均值在古汝瓷釉中为 $3.72\mu g \cdot g^{-1}$, 标准误差为 $\pm 0.985\mu g \cdot g^{-1}$; Sc 含量平均值在古钧瓷釉中为 $5.33\mu g \cdot g^{-1}$, 标准误差为 $\pm 1.05\mu g \cdot g^{-1}$ 。由图 2 可以看出, Sc 在古汝瓷釉样品中的含量明显比古钧瓷釉样品中的含量低, 这说明它们的原料产地不同, 现代汝瓷釉(32 号, 33 号, 46 号)与古汝瓷釉样品同类 现代钧瓷釉(6 号,)与古钧瓷釉样品同类, 22 号与古钧瓷釉样品关系较疏远 40 号(R10g)样品中 Sc 含量比其它同类样品中的含量较高, 这可能是胎和釉没有完全分开。由图 1 和图 2 可知, Sc 在胎中的含量明显比釉中的含量高, 这说明古汝瓷胎和古汝瓷釉的原料来源不同, 古钧瓷胎和古钧瓷釉的原料来源也不同。

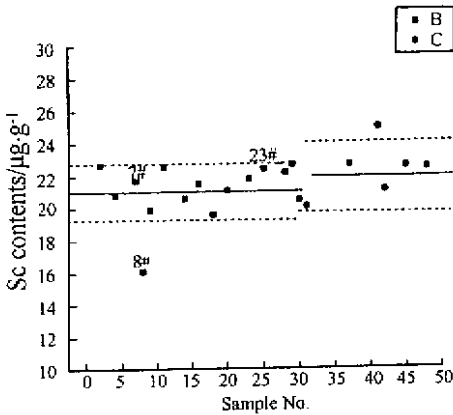


图 1 古汝瓷胎与古钧瓷胎样品的 Sc 含量散布图

B. 古钧瓷胎, C. 古汝瓷胎, 7 #、8 #、23 # 为现代钧瓷胎

Fig.1 The Sc contents scattergram of the ancient Chinese Jun porcelain bodies samples and the ancient Chinese Ru porcelain bodies samples

B are the ancient Chinese Jun porcelain bodies,
C are the ancient Chinese Ru porcelain bodies,
7 #、8 #、23 # are modern Jun porcelain bodies

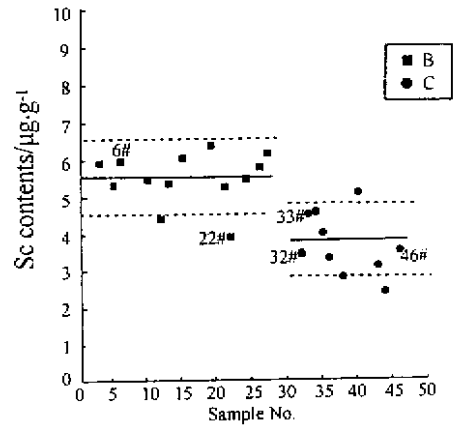


图 2 古汝瓷釉和古钧瓷釉样品的 Sc 含量散布图

B. 古钧瓷釉, C. 古汝瓷釉, 6 # 和 22 # 为现代钧瓷釉, 32 #、33 # 和 46 # 为现代汝瓷釉

Fig.2 The Sc contents scattergram of the ancient Chinese Jun porcelain glazes samples and the ancient Chinese Ru porcelain glazes samples

B are the ancient Chinese Jun porcelain glazes,
C are the ancient Chinese Ru porcelain glazes,
6 #、22 # are modern Jun porcelain glazes,
32 #、33 #、46 # are modern Ru porcelain glazes

2.3 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 3 是古汝瓷胎和古钧瓷胎样品的 $Th - Sc$ 含量散布图。从图 3 中可见, 古汝瓷胎和古钧瓷胎关系较近, 现代钧瓷胎 7 号(J9b)和 23 号(J30b)与古钧瓷胎同类 8 号(J10b)现代钧瓷胎

与古钧瓷胎样品关系较远;48 号(R25b)北宋宝丰清凉寺窑天青色汝瓷胎中 Th 含量偏高,可能是其原料产地与其它汝瓷胎样品的原料产地不同。图 4 是古汝瓷釉和古钧瓷釉样品的 Th - Sc 含量散布图。由图 4 可以看出,古汝瓷釉和古钧瓷釉关系较远,但仍可归为一类;这两种元素在现代钧瓷釉、现代汝瓷釉样品中的含量与古钧瓷釉、古汝瓷釉中的含量没有明显差别;49 号和 50 号样品为现代景德镇白瓷釉料和青瓷釉料,与古汝瓷、古钧瓷无关。与图 1、2 相比,图 3、4 更为直观、清晰,由图 3、4 可知,古汝瓷和古钧瓷胎中的 Th 和 Sc 含量普遍高于古汝瓷和古钧瓷釉中的含量,这说明古汝瓷胎和古汝瓷釉的原料来源不同,古钧瓷胎和古钧瓷釉的原料来源也不同。

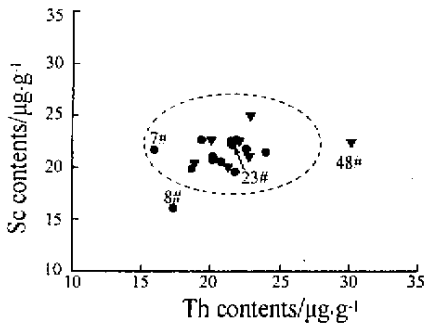


图 3 古汝瓷胎与古钧瓷胎样品的 Th - Sc 含量散布图

古钧瓷胎,▼ 古汝瓷胎,7 #、8 #、23 # 为现代钧瓷胎

Fig.3 The Th - Sc contents scattergram of the ancient Chinese Jun porcelain bodies samples and the ancient Chinese Ru porcelain bodies samples

● are the ancient Chinese Jun porcelain bodies,
▼ are the ancient Chinese Ru porcelain bodies,
7 #、8 #、23 # are modern Jun porcelain bodies

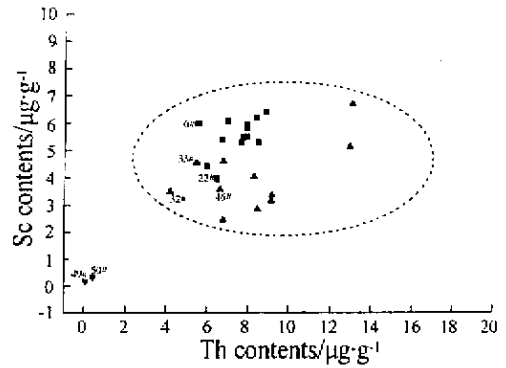


图 4 古汝瓷釉和古钧瓷釉样品的 Th - Sc 含量散布图

■ 古钧瓷釉,▲ 古汝瓷釉,▼ 49 #、50 # 为现代景德镇白瓷釉料和青瓷釉料,6 # 和 22 # 为现代钧瓷釉,32 #、33 # 和 46 # 为现代汝瓷釉

Fig.4 The Sc contents scattergram of the ancient Chinese Jun porcelain glazes samples and the ancient Chinese Ru porcelain glazes amples

■ are the ancient Chinese Jun porcelain glazes,
▲ are the ancient Chinese Ru porcelain glazes,
▼ 49 #、50 # are glaze material of modern Jingdezhen white porcelain and green porcelain,6 #、22 # are modern Jun porcelain glazes, 32 #、33 #、46 # are modern Ru porcelain glazes

3 结论

(1)由古汝瓷、古钧瓷和现代仿古瓷的 NAA 数据选出 8 种指纹元素,指纹元素散布分析的结果表明 釉色不同、烧制年代不同、出自不同窑口的古汝瓷和古钧瓷,其釉料关系不很密切,但可归为一类。古汝瓷胎和古钧瓷胎关系密切,可归为同类。这说明古钧瓷胎和古汝瓷胎的原料产地基本相同,考古学界‘汝钧不分’的说法基本上是符合实际情况的。但其釉料和胎料的差异明显,这就说明釉料和胎料的来源不同。

(2)有的现代仿古瓷原料与古瓷相同,有的与古瓷关系较远,可能 7 # 和 8 # 的胎料产地不同。由于现代仿古瓷的原料来源是已知的,所以,仿古瓷与古瓷的关系为古瓷的原料产地提供了更明确、更具体的信息。

(3)49 号和 50 号样品为现代景德镇白瓷釉料和青瓷釉料,它的产地在江西景德镇一带,

与古汝瓷、古钧瓷的产地相距甚远,它与古汝瓷、古钧瓷关系甚远。

(4)8 号(J10b)为现代钧瓷胎,它与古汝瓷、古钧瓷关系较疏远。

关于古汝瓷和古钧瓷起源关系的研究为澄清相关考古学问题、鉴别真伪和研制高质量仿古瓷提出可借鉴的科学依据。

参 考 文 献

- 1 冯先铭主编. 中国陶瓷. 上海:上海古籍出版社, 1994. 385
FENG Xianming. China Ceramics. Shanghai: Shanghai Ancient Books Press, 1994. 385
- 2 赵青云. 河南陶瓷史. 北京:紫禁城出版社, 1993. 76—89
ZHAO Qingyun. The Ceramic History of Henan Province. Beijing: Zijincheng Press, 1993. 76—89
- 3 叶杰民. 中国陶瓷史纲要. 北京:轻工业出版社, 1989. 143
YE Jiemin. The outline of China Ceramic History. Beijing: Light Industry Press, 1989. 143
- 4 高正耀, 王杰, 陈松华, 等. 原子能科学技术, 1996, 31(4) 360—364
GAO Zhengyao, WANG Jie, CHEN Songhua, et al. Atom Energy Sci Technol, 1996, 31(4) 360—364
- 5 高正耀, 王杰, 陈松华, 等. 核技术, 1997, 20(9) 561—567
GAO Zhengyao, WANG Jie, CHEN Songhua, et al. Nuclear Techniques, 1997, 20(9) 561—567

The fingerprint elements analysis on the provenance relation between ancient Chinese Ru porcelain and Jun porcelain

ZHAO Weijuan¹ XIE Jianzhong¹ LI Guoxia¹ GAO Zhengyao¹ LI Rongwu²
ZHANG Bin³ FENG Songlin⁴ HUANG Zhongxiang⁴ JIA Xiuqin⁴ HAN Song⁴

1 (Faculty of Physical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450052)

2 (Department of Physics, Beijing Normal University, Beijing 100875)

3 (Department of Architecture, Zhengzhou University of Technology, Zhengzhou 450052)

4 (The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039)

Abstract

The 46 samples of glazes and bodies of the ancient Chinese Ru porcelain, Jun Porcelain and imitative porcelain were analyzed by neutron activation analysis (NAA). The contents of 36 elements for each sample were measured, the eight elements were chosen as the fingerprint elements to complete scatter analysis. The result showed that the ancient Chinese Ru porcelain and Jun porcelain had almost identical and stable sources of raw materials. The close provenance relation between ancient Chinese Ru porcelain and Jun porcelain was preliminarily verified. It is found that most modern Jun porcelain samples were similar to the ancient Chinese Jun porcelain, three modern Ru porcelain samples were similar to the ancient Chinese Ru porcelain. Jingdezhen porcelain has no relation to Ru porcelain and Jun porcelain.

Key words Neutron activation analysis, Fingerprint element, Scatter analysis, Provenance relation

CLC TL43, TL99

作者：[赵维娟](#)，[谢建忠](#)，[李国霞](#)，[高正耀](#)，[李融武](#)，[张斌](#)，[冯松林](#)，[黄忠祥](#)，[贾秀琴](#)，[韩松](#)

作者单位：[赵维娟](#)，[谢建忠](#)，[李国霞](#)，[高正耀](#)（[郑州大学物理工程学院](#)，[郑州](#)，[450052](#)），[李融武](#)（[北京师范大学物理系](#)，[北京](#)，[100875](#)），[张斌](#)（[郑州工业大学建筑系](#)，[郑州](#)，[450003](#)），[冯松林](#)，[黄忠祥](#)，[贾秀琴](#)，[韩松](#)（[中国科学院高能物理研究所](#)，[北京](#)，[100039](#)）

刊名：[核技术](#) 

英文刊名：[NUCLEAR TECHNIQUES](#)

年，卷(期)：2002，25(6)

被引用次数：12次

参考文献(5条)

1. [冯先铭](#) [中国陶瓷](#) 1994
2. [赵青云](#) [河南陶瓷史](#) 1993
3. [叶杰民](#) [中国陶瓷史纲要](#) 1989
4. [高正耀](#)，[王杰](#)，[陈松华](#) [查看详情](#) [期刊论文]-[原子能科学技术](#) 1996(04)
5. [高正耀](#)，[王杰](#)，[陈松华](#) [查看详情](#) 1997(09)

相似文献(10条)

1. 期刊论文 [杨勇](#)，[冀勇](#)，[李国霞](#)，[赵维娟](#)，[孙洪巍](#)，[高正耀](#)，[郭敏](#)，[谢建忠](#)，[李融武](#)，[赵青云](#)，[孙新民](#)，[赵文军](#)，[冯松林](#)，[嵇振西](#)，[YANG Yong](#)，[JI Yong](#)，[LI Guo-xia](#)，[ZHAO Wei-juan](#)，[SUN Hong-wei](#)，[GAO Zheng-yao](#)，[GUO Min](#)，[XIE Jian-zhong](#)，[LI Rong-wu](#)，[ZHAO Qing-yun](#)，[SUN Xin-min](#)，[ZHAO Wen-jun](#)，[FENG Song-lin](#)，[ZHUO Zhen-xi](#) [黄冶窑和耀州窑唐三彩指纹元素的多元统计分析](#) -[信阳师范学院学报（自然科学版）](#) 2008，21(2)

选取黄冶窑和耀州窑唐三彩样品23个，耀州窑博物馆附近矿土样品2个，用中子活化分析测得每个样品中29种元素的含量，从中选出一些指纹元素，并对这些指纹元素进行多元统计分析。结果表明：不同窑口之间的唐三彩胎、釉分布均有明显的距离，两窑唐三彩有着各自独立的原料来源和不同的配方。

2. 期刊论文 [杨大伟](#)，[冀勇](#)，[李融武](#)，[李国霞](#)，[赵维娟](#)，[高正耀](#)，[孙洪巍](#)，[谢建忠](#)，[郭敏](#)，[冯松林](#)，[嵇振西](#)，[YANG Da-wei](#)，[JI Yong](#)，[LI Rong-wu](#)，[LI Guo-xia](#)，[ZHAO Wei-juan](#)，[GAO Zheng-yao](#)，[SUN Hong-wei](#)，[XIE Jian-zhong](#)，[GUO Min](#)，[FENG Song-lin](#)，[ZHUO Zhen-xi](#) [古耀州瓷釉原料来源的指纹元素散布分析](#) -[河南师范大学学报（自然科学版）](#) 2008，36(3)

耀州瓷是我国古代名瓷。为了探讨不同时代耀州瓷的釉料来源和分类关系，用中子活化分析(NAA)技术测定古耀州瓷釉样品中29种元素的含量，将这批NAA数据进行散布分析，结果表明：唐代黑釉瓷和宋代兔毫釉瓷、酱釉瓷的原料成分比较接近，和唐代白釉瓷的原料成分相差较远。宋代青瓷的釉料来源和配方比较稳定，五代青瓷具有承前启后的作用。金代月白釉料成分和宋代青瓷釉料接近。唐三彩蓝釉料与其它耀州瓷釉料来源明显不同。

3. 期刊论文 [赵维娟](#)，[李融武](#)，[郭敏](#)，[高正耀](#)，[李国霞](#)，[谢建忠](#)，[冯松林](#)，[范东宇](#)，[张颖](#)，[柴之芳](#)，[嵇振西](#) [用指纹元素散布分析研究古耀州瓷胎的起源](#) -[原子核物理评论](#) 2004，21(3)

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。

4. 期刊论文 [李国霞](#)，[孙洪巍](#)，[李融武](#)，[赵维娟](#)，[赵青云](#)，[孙新民](#)，[赵文军](#)，[郭敏](#)，[谢建忠](#)，[高正耀](#)，[冯松林](#)，[杨勇](#)，[田红宇](#)，[杨大伟](#)，[LI Guoxia](#)，[SUN Hongwei](#)，[LI Rongwu](#)，[ZHAO Weijuan](#)，[ZHAO Qingyun](#)，[SUN Xinmin](#)，[ZHAO Wenjun](#)，[GUO Min](#)，[XIE Jianzhong](#)，[GAO Zhengyao](#)，[FENG Songlin](#)，[YANG Yong](#)，[TIAN Hongyu](#)，[YANG Dawei](#) [三种釉色钧官瓷和现代高档钧瓷的中子活化分析](#) -[硅酸盐学报](#) 2008，36(6)

用中子活化分析(neutron activation analyses, NAA)技术测定了一组古钧官瓷和3个不同窑口现代高档钧瓷样品中25种元素的含量,从这些元素中筛选出能比较好的区分古钧官瓷和现代高档钧瓷的指纹元素,对这些指纹元素进行散布分析.结果表明:古钧官瓷的胎料来源比较集中,古钧官瓷胎和现代高档钧瓷胎的原料来源和分类关系明显不同;古钧官瓷釉和现代高档钧瓷釉的原料来源、配方和分类关系也明显不同,用NAA和指纹元素散布分析可以区分古钧官瓷和现代高档钧瓷样品.分析结果可为深入研究古钧官瓷和不同窑口现代高档钧瓷的原料来源、分类关系、鉴别以及提高仿古钧瓷的质量提供科学依据.

5. 期刊论文 [刘慧](#), [谢建忠](#), [赵维娟](#), [郭敏](#), [李融武](#), [孙新民](#), [赵文军](#), [李国霞](#), [高正耀](#), [冯松林](#), [Liu Hui](#).

[XIE Jianzhong](#), [ZHAO Wei Juan](#), [Guo Min](#), [LI Rongwu](#), [Sun Xinmin](#), [Zhao Wenjun](#), [LI Guoxia](#), [GAO](#)

[Zhengyao](#), [FENG Songlin](#) 清凉寺汝官窑和钧台钧官窑的起源 - 郑州大学学报(理学版) 2005, 37 (2)

选取11个清凉寺汝官窑,11个钧台窑钧官窑的釉和胎样品进行中子活化分析,测定每个样品的36种微量元素的含量,将这些测量数据进行指纹元素分析,分别得到它们的胎和釉指纹元素散布图,以确定它们的起源关系.结果表明,清凉寺窑汝官窑和钧台窑钧官窑的胎、釉原料来源明显不同.汝官窑和钧官窑的胎釉配料方也是不同的,“钧汝不分”之说不适用于清凉寺汝官窑与钧台窑钧官窑.

6. 会议论文 [高正耀](#), [黄忠祥](#), [汪安](#) 杭州效坛官窑微量元素模糊聚类分析 1997

选取40个南宋“效坛官窑”等样品进行中子活化分析.测定每个样品中36种微量元素含量.对这些样品的微量元素进行模糊聚类分析,结果表明南宋官窑的釉料和胎料产地不同;南宋官窑有着长期的、稳定的胎料和釉料来源;澄清了一些考古学上的问题;现代官窑与古官窑的不同.

7. 期刊论文 [李国霞](#), [谢建忠](#), [赵维娟](#), [高正耀](#), [李融武](#), [LI Guo-xia](#), [XIE Jian-zhong](#), [ZHAO Wei-juan](#).

[GAO Zheng-yao](#), [LI Rong-wu](#) 古钧瓷和现代钧瓷的指纹元素分析 - 河南科学 2000, 18 (4)

将30个古钧瓷、现代钧瓷的釉和胎等样品进行中子活化分析(NAA),测定每个样品中36种元素的含量.从中选取7种指纹元素,用指纹元素分析法分别研究了古钧瓷釉和胎的起源.结果表明,这批时间跨越600年,釉色迥异,出自众多不同窑口的古钧瓷有着长期、稳定、基本相同的原料来源.初步分析了古钧瓷与古汝瓷相近的起源关系.发现现代钧瓷少数与古钧瓷相似,而多数与古钧瓷疏远.

8. 期刊论文 [赵维娟](#), [胥爱军](#), [李融武](#), [高正耀](#), [李国霞](#), [谢建忠](#), [韩国河](#), [张仲立](#), [朱君孝](#), [冯松林](#), [柴之芳](#)

秦始皇陵一号坑兵马俑的指纹元素散布分析 - 华夏考古 2003, "" (4)

秦始皇陵兵马俑举世闻名,但其原料产地至今还是一个谜.本文选取秦始皇陵一号坑的陶俑和陶马样品20个,秦始皇兵马俑博物馆附近黏土样品20个,耀州瓷胎样品1个.用中子活化分析(NAA)测量样品中32种微量元素的含量,从这32个元素中挑选出8种指纹元素的含量进行散布分析.结果表明一号坑兵马俑样品与秦陵附近的坩土关系密切,与黄土关系稍远,与耀州瓷胎关系甚远.由此推断,一号坑兵马俑的原料来源可能是骊山地区的黏土,烧制兵马俑的窑址也可能在秦始皇陵附近.

9. 期刊论文 [杨柳](#), [赵维娟](#), [李国霞](#), [谢建忠](#), [高正耀](#), [韩国河](#), [冯松林](#), [范东宇](#), [张颖](#), [柴之芳](#), [张仲立](#), [朱君](#)

[孝](#) 秦始皇陵三号坑兵马俑的指纹元素散布分析 - 原子核物理评论 2002, 19 (4)

为研究秦始皇兵马俑三号坑原料产地,选取秦始皇三号坑的陶俑和陶马样品42个,秦始皇兵马俑博物馆附近黏土样品20个,用中子活化分析测量样品中32种微量元素的含量,从这32个元素中挑选出8种指纹元素的含量进行散布分析.结果表明三号坑兵马俑样品与秦始皇陵附近的坩土关系密切,与黄土关系稍远.由此推断,三号坑兵马俑的原料来源可能是骊山地区的粘土,烧制兵马俑的窑址也可能在秦始皇陵附近.

10. 期刊论文 [吴占军](#), [赵维娟](#), [鲁晓珂](#), [孙新民](#), [李国霞](#), [郭敏](#), [谢建忠](#), [邱霞](#), [冯松林](#), [郭木森](#), [WU Zhan-](#)

[jun](#), [ZHAO Wei-juan](#), [LU Xiao-ke](#), [SUN Xin-min](#), [LI Guo-xia](#), [GUO Min](#), [XIE Jian-zhong](#), [QIU Xia](#), [FENG](#)

[Song-lin](#), [GUO Mu-sen](#) 用NAA研究清凉寺窑和张公巷窑青瓷胎的原料特征及来源 - 原子核物理评论

2007, 24 (4)

为研究清凉寺窑汝瓷胎和张公巷窑青瓷胎的原料特征及来源,选取37个清凉寺窑汝瓷胎样品(32个汝官瓷胎和5个汝民瓷胎)、32个张公巷窑青瓷胎样品以及14个岩石样品,用中子活化分析(NAA)方法测得每个样品中的23种元素含量;使用散布分析及主成分分析方法处理NAA数据.结果表明:元素Fe, Ce, Ba, Ta, Th, La, Sm和Cr可作为区分汝官瓷胎和张公巷窑青瓷胎原料产地的指纹元素;汝官瓷胎原料产地较集中,来源相对稳定;清凉寺窑汝民瓷胎产地与汝官瓷基本相同,均为就地取材;张公巷窑青瓷胎原料产地较为分散,与汝官瓷不同,但二者距离相近.

引证文献(12条)

1. [宋奇](#) 河南登封窑窑遗址浅析[期刊论文]-[中原文物](#) 2009 (3)

2. [韩国河](#), [赵维娟](#), [张继华](#), [朱君孝](#) 用中子活化分析研究南注白陶的原料产地[期刊论文]-[中原文物](#)

2007 (6)

3. [谢国喜](#), [冯松林](#), [冯向前](#), [李永强](#), [韩鸿业](#), [汪燕青](#), [朱继浩](#), [闫灵通](#) 毛家湾出土龙泉釉古瓷产地的微量元素分析[期刊论文]-[硅酸盐学报](#) 2007 (9)

4. [ZHAO Wei Juan](#), [LU Xiaoke](#), [LI Guoxia](#), [GUO Min](#), [XIE Jianzhong](#), [GAO Zhengyao](#), [SUN Xinmin](#), [GUO](#)

[Musen](#), [CHENG Huansheng](#), [ZHANG Bin](#) Main chemical ingredients of the celadon glaze from

[Qingliangsi kiln and Zhanggongxiang kiln](#)[期刊论文]-[中国科学G辑（英文版）](#) 2006(4)

5. [邱霞](#), [赵维娟](#), [李国霞](#), [郭敏](#), [谢建忠](#), [孙洪巍](#), [承焕生](#), [孙新民](#), [赵青云](#), [赵文军](#), [鲁晓珂](#) [用主量化学组成研究汝官瓷和钧官瓷的原料来源](#)[期刊论文]-[原子核物理评论](#) 2006(3)
6. [刘慧](#), [谢建忠](#), [赵维娟](#), [郭敏](#), [李融武](#), [孙新民](#), [赵文军](#), [李国霞](#), [高正耀](#), [冯松林](#) [清凉寺汝官窑和钧台钧官窑的起源](#)[期刊论文]-[郑州大学学报（理学版）](#) 2005(2)
7. [赵维娟](#), [鲁晓珂](#), [李国霞](#), [郭敏](#), [谢建忠](#), [高正耀](#), [孙新民](#), [郭木森](#), [承焕生](#), [张斌](#) [清凉寺窑与张公巷窑青瓷釉料的主量化学组成](#)[期刊论文]-[中国科学G辑](#) 2005(2)
8. [冯松林](#), [徐清](#), [冯向前](#), [雷勇](#), [程琳](#), [汪燕青](#) [核分析技术在古陶瓷中的应用研究](#)[期刊论文]-[原子核物理评论](#) 2005(1)
9. [戴春燕](#), [杜锋](#) [浅谈古陶瓷的鉴定方法](#)[期刊论文]-[山东陶瓷](#) 2005(3)
10. [戴春燕](#), [杜锋](#) [浅谈古陶瓷的鉴定方法](#)[期刊论文]-[佛山陶瓷](#) 2005(1)
11. [贾秀琴](#), [董金泉](#), [韩松](#), [汤云辉](#), [高正耀](#) [古钧瓷与现代钧瓷的中子活化分析](#)[期刊论文]-[同位素](#) 2004(3)
12. [张智勇](#), [柴之芳](#) [活化分析](#)[期刊论文]-[分析试验室](#) 2004(1)