

# 古钧瓷与现代钧瓷的中子活化分析

贾秀琴<sup>1</sup>, 董金泉<sup>1</sup>, 韩 松<sup>1</sup>, 汤云辉<sup>1</sup>, 高正耀<sup>2</sup>

(1. 中国科学院高能物理研究所, 北京 100039; 2. 郑州大学物理工程学院, 河南 郑州 450052)

**摘要:** 采用中子活化分析法(INAA)测定了 28 个古钧瓷、7 个现代钧瓷、2 个景德镇瓷样品中所含的 36 种微量与稀土元素(REE)含量以探讨其起源。它们的 REE 标准配分模式和微量指纹特征元素分析结果表明, 这批时间跨越 600 多年、釉色迥异、出自众多不同窑口的钧瓷有着长期稳定和基本相同的原料来源; 现代钧瓷稀土标准配分模式与古钧瓷相比稍有变化; 景德镇瓷釉料的微量元素含量及它们的稀土标准配分模式与钧瓷相比差异明显, 它的产地应在江西景德镇一带, 与钧瓷产地相距甚远, 表明它与所有的钧瓷都无关系。

**关键词:** 中子活化分析; 古钧瓷; 现代钧瓷; 稀土和微量元素

**中图分类号:** TL99; O571; O657.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7512(2004)03-0129-06

钧窑是宋代五大名窑(汝、钧、官、哥、定)之一, 起源于唐代(618~907), 宋代时达到兴盛, 元代(1206~1368)时衰落<sup>[1~4]</sup>。钧窑位于河南省禹州市、郟县、鲁山等地, 以禹州钧台钧窑为宋代宫廷烧制御用瓷器盛名。前人对钧窑进行过深入的研究, 其中主要涉及的是钧窑起源问题。这些钧瓷样品烧造年代从唐代、宋代、元代、古代到现代, 釉色不同, 窑口不同, 对它们的起源解释也不同<sup>[5~10]</sup>。钧瓷中稀土元素(REE)和微量元素的含量能反映出原料产地的特征, 而研究该问题有中子活化分析法(INAA)、同位素稀释质量光谱法(IDMS)、ICP-MS 法等多种方法。在考古研究中, 中子活化分析法(INAA)有其独到的优点: ①灵敏度高; ②精确度好; ③样品用量少; ④不需要熔样; ⑤无试剂污染; ⑥一次测定多元素并且基体效应小。INAA 分析地质岩石样品与考古陶瓷样品是非常有效的手段之一<sup>[1,2]</sup>。因此本工作拟采用该方法对古代钧瓷与现代钧瓷以及景德镇瓷釉料进行分析, 根据相关数据研究其地球化学特征, 以探讨它们的起源。

## 1 实验材料

**主要仪器:** 美国 ORTEC 公司生产的 Ge

(Li)探测器和高纯锗(PHGe)探测器, 以 4096 道脉冲高度分析器与微机组成的谱仪系统。

**主要标准参考物:** 以地矿部研制的有证标准物质花岗岩(GSR1)、安山岩(GSR2)、玄武岩(GSR3)作为标准参考物。

**待测样品:** 28 个古钧瓷(包括瓷釉与瓷胎)样品, 7 个现代钧瓷(瓷釉和瓷胎)样品, 2 个景德镇瓷釉料(为郑州大学物理工程学院高正耀教授提供)。其基本情况列于表 1。

## 2 实验方法

将精心挑选的陶瓷残片, 用切割研磨的方法将瓷釉和瓷胎分开, 在显微镜下观察, 瓷釉中不能有瓷胎, 瓷胎中不能有瓷釉, 绝对保证瓷釉和瓷胎的代表性。将制好的瓷釉和瓷胎样品分别用玛瑙研钵研制好, 与材料中提供的 3 套标准参考物一起, 以十万分之一精度的天平称取一定量, 用高纯铝箔包好。再取一套高能物理研究所自制的、已经过 20 次测定、数据结果相对误差平均小于 10% 的混合标准, 组装在一起以备照射。

组装好的样品用铝罐密封, 放入中国原子能科学研究院的重水反应堆照射 8 h, 中子注量率为  $(3\sim 7)\times 10^{13} \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。经过辐照的样品冷

表 1 中子活化分析钧瓷与景德镇瓷样品情况一览表

序号	代码	样品情况	序号	代码	样品情况
1	J23g	唐代禹州神后窑蓝间月白钧瓷釉	20	J21rg	元代禹州大洞窑红色钧瓷釉
2	J23b	唐代神后窑蓝钧瓷瓷胎	21	J4g	元代登封曲河窑蓝色钧瓷釉
3	J3g	北宋禹州神后窑天蓝色钧瓷釉	22	J21b	元代禹州大洞窑红色钧瓷胎
4	J22g	北宋禹州刘家沟窑蓝色钧瓷釉	23	J4b	元代登封曲河窑蓝色钧瓷胎
5	J5g	北宋禹州刘庄窑天青色钧瓷釉	24	J12g	古蓝钧瓷瓷釉
6	J31g	北宋禹州钧台窑紫色钧瓷釉	25	J1g	古月白钧瓷瓷釉
7	J32bg	北宋禹州钧台窑蓝色钧瓷釉	26	J17g	古神后窑天蓝钧瓷釉
8	J32 rg	北宋禹州钧台窑紫色钧瓷釉	27	J18g	古天蓝钧瓷瓷釉
9	J33g	北宋禹州钧台窑月白色钧瓷釉	28	J17b	古神后窑天蓝钧瓷胎
10	20g	北宋禹州钧台窑天蓝色钧瓷釉	29	J2g	现代孔家窑红钧瓷釉料
11	24g	北宋禹州钧台窑蓝色钧瓷釉	30	J30g	1994 禹州孔家窑红色钧瓷釉
12	J3b	北宋禹州神后窑天蓝色钧瓷胎	31	J10g	现代刘山窑天蓝钧瓷瓷釉
13	J22b	北宋代刘家窑蓝钧瓷瓷胎	32	J9g	1994 禹州刘山窑红钧瓷瓷釉
14	J33b	北宋禹州钧台窑月白色钧瓷胎	33	J10b	现代刘山窑天蓝钧瓷瓷胎
15	J31b	北宋钧台窑紫钧瓷瓷胎	34	J9b	1994 禹州刘山窑暗红色钧瓷胎
16	J32b	北宋钧台窑紫钧瓷瓷胎	35	J30b	现代孔家窑红钧瓷瓷胎
17	J20b	北宋禹州钧台窑天蓝钧瓷胎	36	J10	现代景德镇高白瓷釉料
18	J24b	北宋禹州钧台窑蓝色钧瓷胎	37	J11	现代景德镇青瓷釉料
19	J21bg	元代禹州大洞窑天蓝色钧瓷釉			

却 7~8 d 后进行第 1 次  $\gamma$  射线强度测量,冷却 15~20 天后进行第 2 次  $\gamma$  射线强度测量。

每批样品分析时以地矿部研制的有证标准物质 GSR2 作为标样,用以验证该批样品的分析结果,将 5 年共 54 次标样测得结果进行统计,其中各个元素平均含量分别为  $w(\text{La}) = 22.0 \pm 0.2$ ,  $w(\text{Ce}) = 39.8 \pm 0.2$ ,  $w(\text{Nd}) = 19.1 \pm 0.0$ ,  $w(\text{Sm}) = 3.4 \pm 0.0$ ,  $w(\text{Eu}) = 1.1 \pm 0.0$ ,  $w(\text{Tb}) = 0.4 \pm 0.0$ ,  $w(\text{Yb}) = 0.9 \pm 0.0$ ,  $w(\text{Lu}) = 0.1 \pm 0.0$ ,  $w(\text{Sc}) = 9.4 \pm 0.0$ ,  $w(\text{Th}) = 2.6 \pm 0.0 \mu\text{g/g}$ 。

### 3 结果与讨论

#### 3.1 REE 总量对比分析

REE 属元素周期表中的 III B 族,原子序数从 57 到 71,由于其原子和离子半径相近,决定了它们的晶体化学和地球化学性质相似,REE 相对比较稳定,因此在考古研究中可以示踪物质来源。REE 因奇偶效应,丰度相差较大,作图时同时除以球粒陨石的 REE,便可获得平滑的曲线,即稀土标准化模式曲线。它能反映 REE 的含量差异,稀土模式斜率差异以及轻稀土总量/重稀土总量 ( $\Sigma w(\text{LREE})/\Sigma w(\text{HREE})$ ) 比值等重要参数。 $\Sigma w(\text{LREE})/\Sigma w(\text{HREE})$  反映了轻重 REE 的分馏程度,并可指示物质来源是否一致以及遭受风化变质的程度。 $\text{Ca}^{2+}$  很容易和  $\text{Eu}^{2+}$

置换,镧系元素具有特征的正三价,由于电子构型的某些差异可使  $\text{Eu}$  形成二价,而它必须在酸性强还原介质中才可能被还原。所以铕的异常系数 ( $\delta\text{Eu}$ ) 可明显反映体系内的地球化学状态,并可作为鉴别物质来源的重要参数<sup>[1,2]</sup>。

采用 INAA 测得元素含量列于表 2。样品出土年代与 REE 总量 ( $\Sigma w(\text{REE})$ ) 的关系示于图 1。图 1 表明,所有钧瓷瓷釉与瓷胎,代表原料来源的  $\Sigma w(\text{REE})$  从唐代、宋代、元代、古代到现代有微弱减小的趋势。有文献报道钧瓷的釉料和胎料的产地是相似的,即釉料的产地覆盖胎料的产地<sup>[3]</sup>。地球化学研究表明:它们的取料来源可能同处,即有相近的起源关系,但不排除深度或空间的发展。各朝代钧瓷  $\Sigma w(\text{REE})$  平均值如下:唐代和古代分别为 231.3 和 99.0  $\mu\text{g/g}$ , 24 号与 27 号等古钧瓷的年代和窑址不详,与某个朝代相重还需考证<sup>[5]</sup>。宋代和元代分别为 217.3 和 208.2  $\mu\text{g/g}$ , 现代钧瓷为 146.3  $\mu\text{g/g}$ , 而景德镇的瓷釉料为 7.26  $\mu\text{g/g}$ , 可以确定景德镇瓷釉料的原料来源与钧瓷关系甚远。钧瓷的原料来源无论是瓷釉还是瓷胎,它们的  $\Sigma w(\text{REE})$  从唐、宋、元、古代到现代呈现微弱减小的趋势,说明它们的原料来源有可能向纵深或空间发展。总体数据分析表明,从古代到现代,钧瓷釉料和胎料的产地依然是相似的,胎料产地和釉料产地从地质地球化学分析有

表 2 钧瓷样品与景德镇瓷样品的 INAA 数据

序号	元素含量										$\Sigma w$ (REE)	(La/ Sm) <sub>CN</sub>	(Tb/ Yb) <sub>CN</sub>	(La/ Yb) <sub>CN</sub>	$\delta Eu$
	La	Ce	Nd	Sm	EU	Tb	YB	Lu	Sc	Th					
1	40.1	77.4	34.9	5.94	1.5	1.1	2.9	0.4	9.5	11.3	164.2	4.2	1.6	9.2	0.8
2	72.7	143.0	63.1	10.7	2.1	1.4	4.7	0.7	19.6	21.7	298.4	4.1	1.3	10.2	0.7
3	19.2	35.4	13.8	2.5	0.7	0.4	0.9	0.2	3.2	11.5	73.0	4.7	1.9	14.3	0.8
4	36.2	66.2	24.6	3.5	0.9	0.4	1.3	0.2	6.1	7.0	133.4	6.5	1.5	18.5	0.9
5	36.0	65.2	27.5	4.7	1.3	0.7	1.4	0.2	5.3	8.5	136.9	4.8	2.3	17.9	0.9
6	38.7	73.2	30.0	5.5	1.2	0.6	1.9	0.3	5.5	7.9	151.4	4.4	1.4	13.6	0.8
7	39.8	74.2	30.9	5.1	1.2	0.6	1.7	0.3	5.8	7.9	153.8	7.8	1.5	15.7	0.9
8	40.0	74.5	30.4	5.3	1.3	0.6	1.9	0.3	6.2	8.4	154.2	4.8	1.4	14.1	0.9
9	40.9	75.2	31.3	5.6	1.4	0.6	1.9	0.3	5.3	7.7	157.1	4.6	1.4	14.7	0.9
10	40.3	75.7	33.8	5.8	1.1	0.8	1.7	0.3	5.5	7.8	159.6	4.4	1.9	15.9	0.8
11	48.3	98.6	47.7	8.7	2.2	1.2	2.2	0.3	6.4	8.9	209.3	3.5	2.3	14.7	0.9
12	63.0	114.0	42.2	7.4	1.5	1.1	4.2	0.6	22.7	19.3	234.0	5.3	1.1	10.0	0.7
13	68.6	122.0	50.7	7.5	1.4	1.0	3.8	0.6	21.5	23.9	255.6	5.6	1.2	12.1	0.6
14	74.7	141.0	57.4	10.2	2.0	1.4	4.6	0.7	22.7	21.8	292.0	4.5	1.3	10.8	0.7
15	77.8	145.0	60.1	10.9	1.9	1.4	4.7	0.7	22.4	21.4	302.4	4.4	1.3	11.0	0.6
16	79.5	149.0	63.3	11.3	2.2	1.6	4.6	0.7	22.2	21.5	312.2	4.3	1.5	11.3	0.7
17	95.2	184.0	74.4	12.0	2.1	1.5	4.8	0.8	22.6	21.4	374.8	4.9	1.3	13.2	0.6
18	98.6	184.0	71.4	12.8	2.3	1.5	5.6	0.9	21.1	20.1	377.1	4.7	1.2	11.5	0.6
19	33.4	57.2	20.4	2.7	0.7	0.3	1.1	0.2	4.4	5.9	116.0	7.8	1.3	20.1	0.9
20	37.7	62.3	20.3	3.5	1.0	0.4	1.4	0.2	5.4	6.7	126.8	6.8	1.3	18.4	1.1
21	50.2	88.8	32.1	4.5	1.5	0.6	1.5	0.2	5.9	7.9	179.5	6.9	1.7	22.0	1.2
22	77.6	145.0	58.2	9.9	1.8	1.3	4.8	0.7	20.6	20.7	299.4	4.8	1.1	9.9	0.6
23	81.9	154.0	62.8	12.0	2.2	1.4	4.6	0.7	3.2	11.5	319.5	4.2	1.3	14.3	0.8
24	13.3	22.3	10.5	1.7	0.4	0.2	0.5	0.1	4.4	1.5	49.0	4.9	2.1	17.8	0.8
25	16.9	32.4	11.8	2.4	0.7	0.3	1.0	0.2	3.3	10.7	65.6	4.5	1.4	11.1	1.0
26	18.7	30.8	12.8	2.3	0.6	0.3	1.0	0.1	3.2	7.0	66.6	5.2	1.4	13.3	1.0
27	16.4	44.1	23.5	4.9	1.4	0.8	0.8	0.1	8.0	3.1	92.0	2.1	4.0	13.3	0.9
28	71.9	129.0	50.0	8.9	1.6	1.3	4.1	0.6	19.9	18.6	272.6	5.0	1.3	11.7	0.3
29	12.2	21.9	9.1	1.6	0.5	0.3	1.0	0.1	1.9	3.3	46.6	4.8	1.3	8.5	1.0
30	23.0	39.9	15.2	2.6	0.8	0.4	1.8	0.3	4.0	6.4	84.1	5.4	1.4	11.0	1.0
31	24.4	42.8	17.0	3.1	1.0	0.5	1.3	0.2	4.9	5.1	90.2	4.9	1.6	12.3	1.1
32	43.9	73.2	32.6	6.3	1.4	1.0	2.6	0.4	6.0	5.5	161.3	4.3	1.7	11.2	0.7
33	48.2	86.6	32.7	5.4	1.3	0.8	3.2	0.5	16.1	17.3	178.6	5.4	1.0	10.1	0.8
34	47.9	81.7	36.5	7.0	1.5	1.2	3.6	0.5	21.7	15.9	179.9	4.2	1.4	8.7	0.7
35	77.3	136.0	52.5	8.9	1.6	1.2	5.1	0.8	21.8	17.3	283.3	5.3	1.0	10.0	0.6
36	1.3	3.5	1.5	0.3	0.1	0.1	0.4	0.1	0.3	0.4	7.3	2.9	0.8	2.4	1.2
37	1.2	3.3	1.9	0.3	0.1	0.1	0.3	0.0	0.2	0.1	7.2	2.6	1.6	2.3	1.0

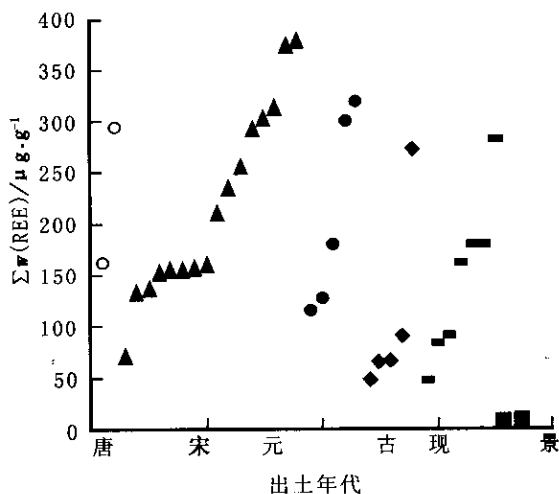


图 1 不同时期钧瓷的  $\Sigma w(REE)$  含量图

Legend: 唐代 (Tang) ▲, 宋代 (Song) ●, 元代 (Yuan) ■, 古 (Ancient) ◆, 现代钧瓷 (Modern) ■, 现代景德镇瓷 (Modern Jingdezhen) ■

向深层或空间发展的可能<sup>[1~8]</sup>。

### 3.2 稀土标准化模式对比分析

钧瓷的瓷釉和瓷胎 REE 标准化模式图示于图 2。唐代钧瓷瓷釉与瓷胎的  $w(LREE)$  斜率  $(La/Sm)_{CN}$  为 4.1~4.2, 平均 4.15;  $w(HREE)$  斜率  $(Tb/Yb)_{CN}$  为 1.3~1.6, 平均 1.42; 全线斜率  $(La/Yb)_{CN}$  为 9.2~10.2, 平均为 9.7; REE 标准化模式呈中等 Eu 亏损型, 即中等 Eu 负异常,  $\delta Eu$  为 0.7~0.8, 平均 0.75; 它们的曲线斜率相差不大, 说明它们的原料来源比较稳定。

宋代钧瓷  $(La/Sm)_{CN}$  为 3.5~7.8, 均值为 5.4;  $(Tb/Yb)_{CN}$  为 1.1~2.3, 平均 1.4; 全线斜率  $(La/Yb)_{CN}$  为 10.0~18.5, 平均 13.7; 它们的 REE 标准化型式比较分散, 但 Eu 亏损程度呈现中等或轻度,  $\delta Eu$  为 0.6~0.7, 平均 0.77, 瓷釉

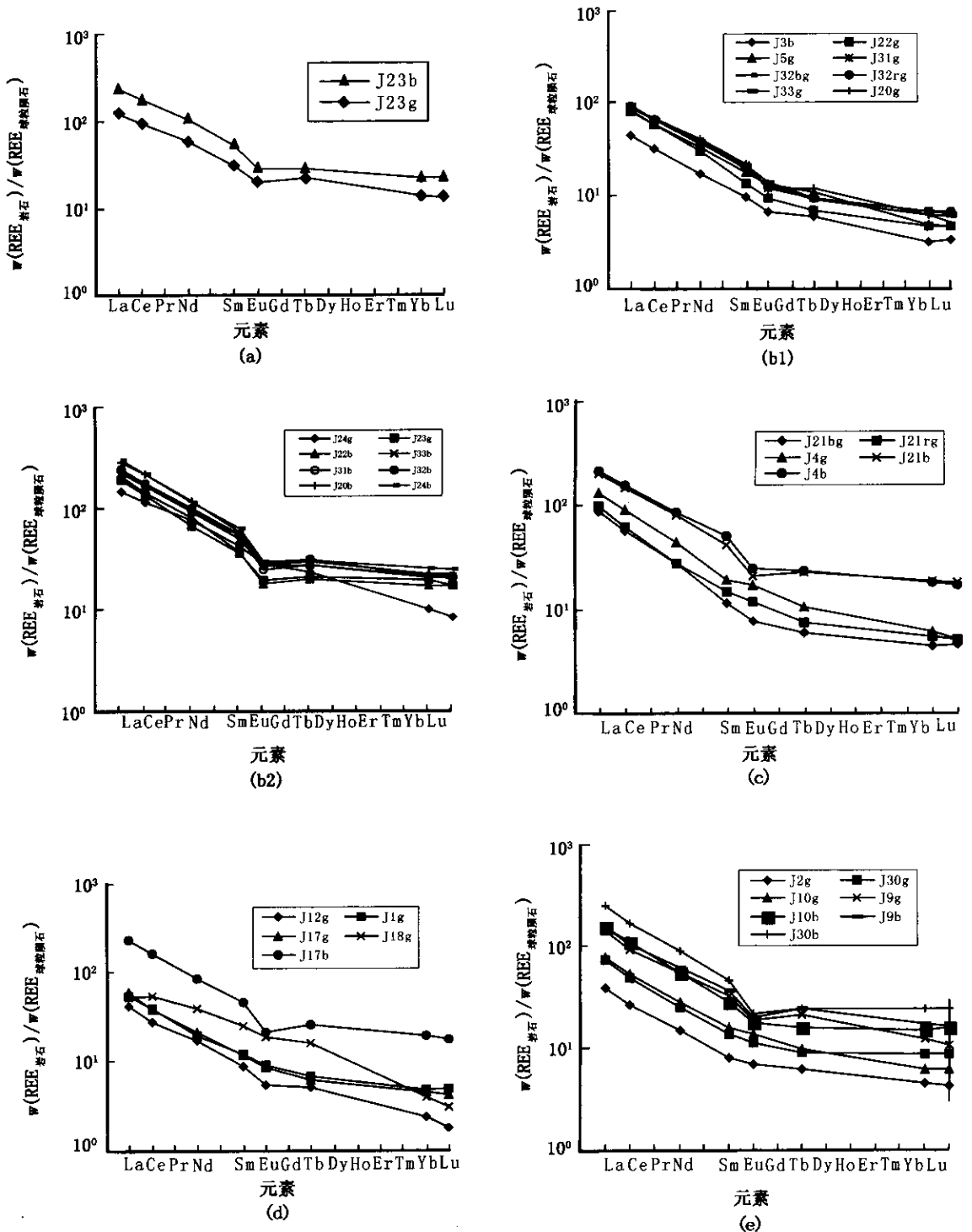


图 2 古钧瓷与现代钧瓷 REE 标准化模式配分图

和瓷胎 REE 标准化模式全线斜率相差稍大。REE 标准化型式表明它们的原料来源一直在同处,但有向周围空间发展的可能。

元代钧瓷  $(\text{La}/\text{Sm})_{\text{CN}}$  为 4.2~7.8, 平均 4.8;  $(\text{Tb}/\text{Yb})_{\text{CN}}$  为 1.5~1.7, 平均 1.4,  $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{CN}}$  为

9.9~22.0, 平均 16.4;  $\delta\text{Eu}$  为 0.6~1.2, 平均 0.9; 瓷釉 REE 标准化型式呈现轻度 Eu 亏损型, 瓷胎 REE 标准化型式呈现中等 Eu 亏损型; REE 总量相差较大, 为 116.0~299.4。可能是原料来源出于同处, 而深度不同, REE 标准化型式

基本与唐代相似。

古钧瓷 $(La/Sm)_{CN}$ 平均值为4.3,略微亏损于宋代与元代,但又略微富集于唐代; $(Tb/Yb)_{CN}$ 平均值为2.0,富集于唐代、宋代与元代;全线斜率 $(La/Yb)_{CN}$ 平均值13.4,在唐代与宋和元元之间; $\delta Eu$ 为0.6~1.0,平均0.8,REE标准化型式呈现Eu轻度亏损,27号为中等Eu负异常;古钧瓷与唐、宋、元代钧瓷的型式基本相同,表明它们的产品原料出于同处。

现代钧瓷REE标准化型式显示,从古钧瓷到现代钧瓷,它们的原料来源同处基本不变。虽然从钧瓷REE总量关系图可以看出,从唐、宋、元、古到现代,钧瓷瓷釉与瓷胎总量呈现略微减小的趋势,但它们的 $(La/Sm)_{CN}$ 为4.9,在唐、宋、元及古代钧瓷之间, $(Tb/Yb)_{CN}$ 平均1.3,略微低于唐、宋、元、古代钧瓷,全线斜率 $(La/Yb)_{CN}$ 平均10.3,在唐代与宋、元及古代钧瓷之间; $\delta Eu$ 平均值0.8,在唐、宋、元、古代钧瓷之间;REE标准化型式呈现轻度Eu亏损型。与唐、宋、元、古代钧瓷相比,现代钧瓷不管是瓷釉与瓷胎,它们的原料来源依然和唐、宋、元、古代钧瓷的取料地点类似,但重稀土亏损能体现出原料来源的地球化学变化后的稀土分馏程度。

### 3.3 微量元素对比分析

以Sc含量为纵坐标,样品序号对应出土年代为横坐标,做特征单元素含量散布图结果示于图3。由图3可以看出,唐、宋、元、古代Sc含量

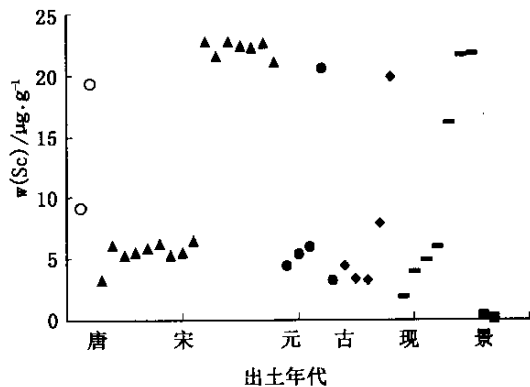


图3 钧瓷与景德镇瓷Sc含量散布图

○——唐代;▲——宋代;●——元代;  
◆——现代钧瓷;■——现代景德镇瓷  
万方数据

绝大多数为3.2~6.5  $\mu g/g$ ,瓷胎Sc含量大多数为19.7~22.8  $\mu g/g$ ,虽然1号和27号瓷釉Sc含量分别为8.0和9.5  $\mu g/g$ ,呈现稍高趋势,但都在瓷釉Sc含量散布图范围之内,表明唐、宋、元、古代钧瓷特征微量元素含量基本不变;现代钧瓷瓷釉与瓷胎Sc含量散布图均呈现Sc含量较低的趋势(29号、33号),表明现代钧瓷瓷釉和瓷胎的原料来源均有略微变化。

以 $w(Sm)/w(Th)$ 为纵坐标,样品序号对应的出土年代为横坐标,做双元素比值相关图,以研究古钧瓷和现代钧瓷的相关性,结果示于图4。从图4可以看出:唐、宋、元、古代及现代钧瓷相关性范围大多为0.22~0.76,即古钧瓷与现代钧瓷存在较显著的相关性<sup>[8~12]</sup>。表明唐、宋、元及古代钧瓷的原料来源和产地信息是长期稳定和基本相似的,现代钧瓷的原料来源和产地信息还需进一步研究。

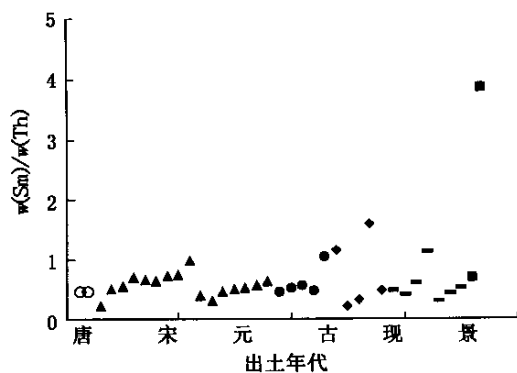


图4 陶瓷样品 $w(Sm)/w(Th)$ 与出土年代相关图

○——唐代;▲——宋代;●——元代;  
◆——现代钧瓷;■——现代景德镇瓷

## 4 结论

(1)钧瓷的原料来源虽历经了唐、宋、元、古600多年,产品出自众多不同窑口,但其取料位置相近,现代钧瓷取料虽然位置相近;但取料深度和空间可能已发生变化。

(2)以微量元素Sc含量和 $w(Sm)/w(Th)$ 做图研究古钧瓷和现代钧瓷,可以看出现代钧瓷瓷釉和瓷胎呈现Sc含量略低的趋势,说明原料来源略有变化。

(3)两个景德镇瓷釉料(36号和37号)的 $\Sigma w(REE)$ 分别为7.3和7.2  $\mu g/g$ ,而唐、宋、元、

古及现代的  $\Sigma w(\text{REE})$  是  $231 \sim 147 \mu\text{g/g}$ , 相差  $20 \sim 30$  倍; 其稀土标准化模式与钧瓷也不是一个类型。因此其产地在江西景德镇一带, 与钧瓷无关<sup>[8~12]</sup>。

#### 参考文献:

- [1] 贾秀琴, 韩松, 高正耀. 用中子活化分析法鉴别古陶瓷的种类[J]. 核技术, 2002, 25 (2): 137~142.
- [2] 贾秀琴, 韩松, 王昌燧. 中子活化分析对河南南阳独山玉的研究[J]. 核技术, 2002, 25 (3): 201~205.
- [3] 赵维娟, 谢建忠, 李融武, 等. 用中子活化分析法研究古钧瓷和古汝瓷起源关系[J]. 核技术, 2002, 25(2): 144~150.
- [4] 赵维娟, 谢建忠, 李国霞, 等. 用指纹元素分析古汝瓷和古钧瓷的起源关系[J]. 核技术, 2002, 25 (6): 461~466.
- [5] 谢建忠, 赵维娟, 高正耀, 等. 古陶瓷研究中的模

糊聚类分析算法[J]. 中国科学技术大学学报, 2001, 31(5): 629~634.

- [6] 李国霞, 谢建忠, 赵维娟, 等. 古钧瓷与现代钧瓷的指纹元素分析[J]. 河南科学, 2000, 18(4): 370~373.
- [7] 郭景康, 承焕生, 陈显求, 等. 从化学组成上区分宋代汝瓷与民窑钧瓷[J]. 陶瓷学报, 1999, 20 (3): 153~157.
- [8] 高正耀, 王杰, 陈显德, 等. 古汝瓷指纹元素散布分析[J]. 核技术, 1997, 20(7): 399~403.
- [9] 高正耀, 王杰, 陈松华, 等. 用中子活化分析研究古汝瓷起源[J]. 原子能科学技术, 1997, 31(4): 360~364.
- [10] 高正耀, 王杰, 陈松华, 等. 古钧瓷和现代钧瓷的模糊聚类分析[J]. 核技术, 1997, 20(9): 561~567.
- [11] 郭演仪, 李国桢. 中国古陶瓷研究[M]. 上海: 科学出版社, 1987. 164~172.
- [12] 三辻利一. 中国古陶瓷研究[M]. 上海: 科学出版社, 1987. 384~387.

## INAA Analysis for Jun Porcelain and Modern Chinese Jun Porcelain

JIA Xiu-qin<sup>1</sup>, DONG Jin-quan<sup>1</sup>, HAN Song<sup>1</sup>, TANG Yun-hui<sup>1</sup>, GAO Zheng-yao<sup>2</sup>

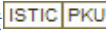
(1. Institute of High Energy Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China;

2. Zhengzhou University, Zhengzhou 450052, China)

**Abstract:** A total of 28 old Jun porcelain, seven modern Chinese Jun porcelain and two Jingdezhen porcelain samples are analyzed with INAA method. The systematic geochemical study for these 37 samples on their REE and trace elements shows that these three types of china were made with relatively stable and similar material, although they leapt over 600 years in different colors and from different kilns. However, the REE patterns of modern Chinese Jun porcelain are a little bit different from that of old Jun porcelain, and clear different from the old glaze of Jindezheng.

**Key words:** INAA method; old Jun porcelain; modern Chinese Jun porcelain; trace elements and REE geochemistry

# 古钧瓷与现代钧瓷的中子活化分析

作者: [贾秀琴](#), [董金泉](#), [韩松](#), [汤云辉](#), [高正耀](#)  
 作者单位: [贾秀琴,董金泉,韩松,汤云辉\(中国科学院高能物理研究所,北京,100039\)](#), [高正耀\(郑州大学物理工程学院,河南,郑州,450052\)](#)  
 刊名: [同位素](#)   
 英文刊名: [JOURNAL OF ISOTOPES](#)  
 年,卷(期): 2004,17(3)  
 被引用次数: 7次

## 参考文献(12条)

1. [高正耀;王杰;陈松华](#) [用中子活化分析研究古汝瓷起源](#)[期刊论文]-[原子能科学技术](#) 1997(04)
2. [高正耀;王杰;陈显德](#) [古汝瓷指纹元素散布分析](#) 1997(07)
3. [郭景康;陈显求;陈显求](#) [从化学组成上区分宋代汝瓷与民窑钧瓷](#) 1999(03)
4. [李国霞;谢建忠;赵维娟](#) [古钧瓷与现代钧瓷的指纹元素分析](#)[期刊论文]-[河南科学](#) 2000(04)
5. [谢建忠;高正耀;高正耀](#) [古陶瓷研究中的模糊聚类分析算法](#)[期刊论文]-[中国科学技术大学学报](#) 2001(05)
6. [赵维娟;谢建忠;李国霞](#) [用指纹元素分析古汝瓷和古钧瓷的起源关系](#)[期刊论文]-[核技术](#) 2002(06)
7. [赵维娟;谢建忠;李融武](#) [用中子活化分析法研究古钧瓷和古汝瓷起源关系](#)[期刊论文]-[核技术](#) 2002(02)
8. [贾秀琴;韩松;王昌燧](#) [中子活化分析对河南南阳独山玉的研究](#)[期刊论文]-[核技术](#) 2002(03)
9. [三辻利一](#) [中国古陶瓷研究](#) 1987
10. [郭演仪;李国桢](#) [中国古陶瓷研究](#) 1987
11. [高正耀;王杰;陈松华](#) [古钧瓷和现代钧瓷的模糊聚类分析](#) 1997(09)
12. [贾秀琴;韩松;高正耀](#) [用中子活化分析法鉴别古陶瓷的种类](#)[期刊论文]-[核技术](#) 2002(02)

## 本文读者也读过(10条)

1. [潘孝兵](#), [欧阳晓平](#), [屠荆](#), [凤仪](#), [张学斌](#), [张文首](#), [刘月恒](#), [李雪松](#). [PAN Xiao-bing, OUYANG Xiao-ping, TU Jing, FENG Yi, ZHANG Xue-bin, ZHANG Wen-shou, LIU Yue-heng, LI Xue-song](#) [基于中子活化分析的<sup>129</sup>I嬗变率测量方法实验研究](#)[期刊论文]-[原子能科学技术](#)2011, 45(5)
2. [李梅](#), [徐存礼](#), [党宇峰](#), [王小坤](#), [邓朝平](#). [LI Mei, XU Cun-li, DANG Yu-feng, WANG Xiao-kun, DENG Chao-ping](#) [中子活化分析跑兔装置的建立](#)[期刊论文]-[原子能科学技术](#)2011, 45(4)
3. [张文首](#), [王凯](#), [于青玉](#) [西安脉冲堆中子活化分析系统应用](#)[期刊论文]-[核动力工程](#)2002, 23(6)
4. [王道德](#), [林杨挺](#) [南极GRV 98003和其它3个铁陨石的化学组成及分类](#)[期刊论文]-[极地研究](#)2004, 16(2)
5. [程琳](#), [冯松林](#), [樊昌生](#), [张文江](#) [江西湖田窑宋代古瓷微量元素的中子活化分析](#)[期刊论文]-[中国科学院研究生院学报](#)2004, 21(4)
6. [何霞](#), [王德贵](#), [刘清友](#), [莫丽](#), [王树龙](#). [HE Xia, WANG De-gui, LIU Qin-you, MO Li, WANG Shu-long](#) [浅析液氮泵车的国内外现状](#)[期刊论文]-[石油矿场机械](#)2011, 40(6)
7. [程琳](#), [冯松林](#), [樊昌生](#), [张文江](#) [江西湖田窑青白釉瓷的中子活化分析](#)[期刊论文]-[硅酸盐学报](#)2004, 32(9)
8. [高正耀](#), [赵维娟](#), [李国霞](#), [谢建忠](#), [韩国河](#), [冯松林](#), [范东宇](#), [张颖](#), [柴之芳](#), [李融武](#), [张仲立](#), [朱君孝](#) [秦始皇陵兵马俑原料来源的中子活化分析](#)[期刊论文]-[中国科学A辑](#)2002, 32(10)
9. [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[期刊论文]-硅酸盐学报2008, 36(6)

10. 杨瑞瑛, 张智勇, 朱旭萍 中子活化法研究砷中毒病区人发中微量元素的分布[期刊论文]-核化学与放射化学2003, 25(4)

#### 引证文献(7条)

1. 方涛, 吴隽, 吴军明, 郁永彬, 江夏, 梁铎 几种现代元素组成分析技术在古陶瓷研究中的应用[期刊论文]-陶瓷学报 2011(1)
2. 刘文华 稀土元素分析[期刊论文]-分析试验室 2011(6)
3. 张茂林, 吴军明, 李其江, 吴隽, 袁传勋, 姚政权, 徐靖, 王昌燧 刘家门钧窑瓷器胎釉成分的EDXRF分析[期刊论文]-陶瓷学报 2009(4)
4. 郑乃章, 吴军明, 吴隽, 苗立峰 古陶瓷研究和鉴定中的化学组成仪器分析法[期刊论文]-中国陶瓷 2007(5)
5. 贾秀琴, 董金泉, 韩松 西准噶尔洪古勒楞蛇绿岩中玄武岩的中子活化分析研究[期刊论文]-核技术 2006(6)
6. 张智勇, 柴之芳 活化分析[期刊论文]-分析试验室 2006(4)
7. 杨益民 汝瓷、官窑青花瓷的科技考古研究[学位论文]博士 2005

本文链接: [http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_tws200403001.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_tws200403001.aspx)