

文章编号: 1007-4627(2005)01-0138-04

不同窑口古代青瓷产地特征的中子活化分析*

冯松林¹, 范东宇¹, 冯向前¹, 徐清¹, 程琳¹, 雷勇¹
权奎山², 沈岳明³, 张文江⁴, 褚振西⁵

(1 中国科学院高能物理研究所, 中国科学院核分析技术重点实验室, 北京 100039;

2 北京大学考古文博学院, 北京 100871;

3 浙江省文物考古研究所, 浙江 杭州 310000;

4 江西省考古研究所, 江西 南昌 330000;

5 陕西省考古研究所, 陕西 西安 710000)

摘要: 产地属性是科学鉴别遗址和墓葬中出土的古陶瓷产地的重要依据。用仪器中子活化(INAA)有损分析了浙江寺龙口越窑、江西洪州窑和陕西耀州窑出土的古瓷碎片样品。通过实验数据的统计分析, 结果表明 3 个窑口古瓷的元素组成具有各自的特征, 它们之间具有可以区分的依据, 寺龙口越窑与南方江西洪州窑的制胎原料关系较近, 与北方陕西耀州窑的关系较远。这些试验结果将为古陶瓷地研究提供重要参数。

关键词: 青瓷; 产地特征; 中子活化分析

中图分类号: TL99 **文献标识码:** A

1 引言

越窑是青瓷的发源地, 由许多窑口组成的越窑系是八大古瓷窑系之一, 浙江慈溪寺龙口窑址是越窑最具有代表性的遗址, 它的烧制在晚唐和五代时期达到鼎盛, 延至南宋早期停烧, 前后经历了数百年。越窑青瓷在中国陶瓷发展史中具有重要的意义, 无论从文献记载、出土文物和传世器物来看, 是我国历史最悠久的和最著名的青釉瓷窑, 它对陕西耀州窑和河南汝官窑等的青瓷生产产生过深远的影响。考古工作者^[1]系统发掘了寺龙口窑址。根据地层学、器物类型学、胎质、釉色和纹饰, 将发掘出土的瓷片分为晚唐、五代、北宋早期、北宋中期、北宋晚期和南宋早期共 6 个文化期, 并发现了北宋早期的秘色瓷。寺龙口越窑的发掘被评为 1999 年度十大考古发现之一。

洪州窑址位于江西赣江沿岸的丰城市北部曲江镇罗湖村一带, 是唐代 6 大青瓷名窑之一。洪州窑以罗湖村寺前山为中心, 南北长约 25 km, 总计约

31 处窑场, 这些窑址群规模宏大、分布范围广、堆积层厚和出土的完整器物多^[2]。洪州窑从东汉晚期开始烧造比较成熟的瓷器, 东晋、南朝时逐渐进入兴盛时期, 盛烧期大约一直延续到唐代中期, 晚唐、五代时期逐渐衰落, 生产期长达 800 余年。

陕西铜川市黄堡镇的耀州窑是我国北方著名的民窑之一, 它创烧于唐代, 盛烧于北宋中晚期, 停烧于明代嘉靖年间, 持续烧制历史有 700 多年, 产品有青瓷、白瓷和黑瓷等品种。在宋代我国南北青瓷两大窑系中, 它代表着北方民窑青瓷的最高水平。

这 3 个窑口经过系统的考古发掘, 出土大量产地和地层明确的古陶瓷残片标本, 这是分析产地属性的标准样品。仪器中子活化(INAA)^[5-7]具有分析灵敏度高、准确度高和取样量小等优点, 被认为是最有效的古陶瓷微量元素分析方法, 是研究古瓷产地特征的理想方法^[3]。

2 实验

选取 3 个窑址出土的古瓷残片, 切割下 15 mm

收稿日期: 2004-08-31

* 基金项目: 中国科学院知识创新工程重点方向性基金资助项目(KJ CX - No4); 国家自然科学基金资助项目(10075060, 10135050); LNAT 基金资助项目; BSRF 基金资助项目

作者简介: 冯松林(1952-), 男(汉族), 安徽绩溪人, 副研究员, 从事核考古研究; Email: fengsl@ihep.ac.cn

×15 mm 的小块, 去除表面受污染部分和釉层, 用去离子水和超净水清洗, 烘干后研磨成过 200 目筛的粉末样品. 称 30 mg 左右的样品, 用高纯铝箔包裹, 在 200 °C 下烘干约 4 h, 然后将样品与化学标准和质控物质(GBW07103)一起送入反应堆中进行中子辐照, 照射时间为 8 h, 中子注量率为 $5.0 \times 10^{13} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{s}$. 样品冷却 7—9 d 进行第一轮测量, 18—19 d 开始第二轮测量. 实验采用 ORTEC 公司生产的由高纯 Ge 探测器(GEM-20180-T)组成的 γ 谱议系统进行能谱测量, 用 SPA 解谱程序对能谱进行拟合, 实验给出样品中 Na, K, Fe, Ba, La, Sm, U, Ce, Nd, Eu, Yb, Lu, Hf, Ta, Th, Se, Sc, Cr, Co, Rb 和 Cs 共 21 种元素的含量. 标准参考物质中这些元素的测量结果和参考值十分接近, 表明实验数据是可靠的.

实验分析了 344 个浙江越窑青瓷样品、江西洪州窑标本 400 个和陕西耀州窑标本 34 个. 本文选取洪州窑早唐和盛唐样品各 50 个、浙江越窑晚唐青瓷标本 100 个和 13 个唐代的耀州窑样品的实验数据进行统计处理和产地属性分析.

3 结果和讨论

图 1 为浙江越窑和江西洪州窑古瓷中 Co 和 Cs 的元素含量比值图, 图 2 为 Rb 和 Hf 的比值图. 越窑样品点的分布比较集中, 洪州窑的样品分布相对分散, 但是两个南方窑口的青瓷能清晰的区分出来.

将分析数据用 SPSS 统计软件进行主因子分析, 前 3 个主因子代表了约 80% 的信息量, 将所有样品回归因子得分做出三维主因子分布图(如图 3 所

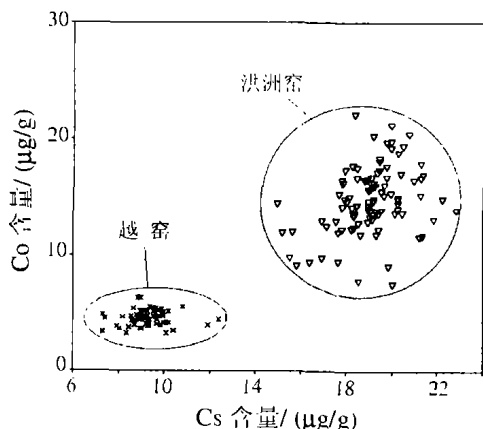


图 1 越窑和洪州窑的 Co 和 Cs 元素含量比值图

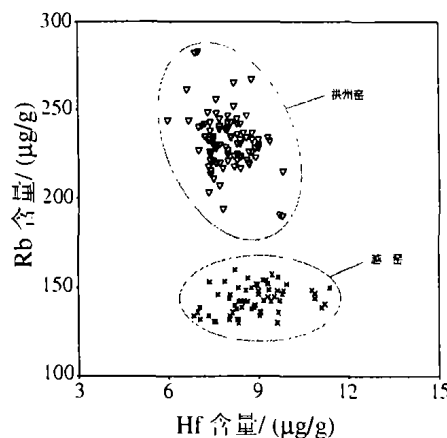


图 2 越窑和洪州窑的 Rb 和 Hf 的元素含量比值图

示). 分布图中的样品点分布表明洪州窑和越窑样品具有明显的界限, 越窑样品相对于洪州窑样品更加集中, 证明了元素含量比值图的结果, 同时说明越窑青瓷在工艺控制方面达到了较高的水准.

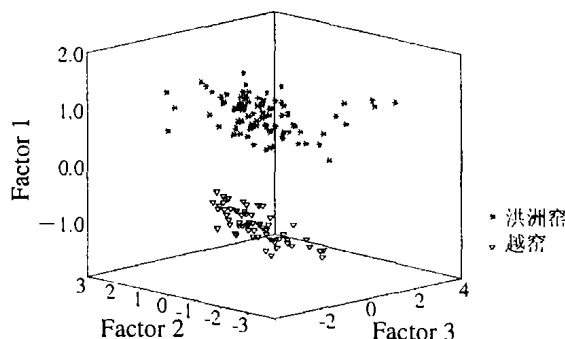


图 3 越窑和洪州窑实验数据的主因子分布图

将越窑与耀州窑的分析数据进行对比分析, 主因子分布如图 4 所示. 两个窑址的样品完全分布在不同的空间区域, 具有很强的产地特征. 耀州窑样品相对于越窑在主因子分布图中离散较大, 并且在主因子空间中形成两组, 越窑样品相对集中. 与耀州窑相比, 越窑具有较高的工艺控制水平.

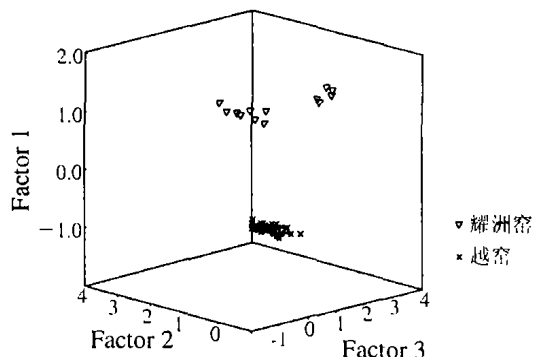


图 4 耀州窑和越窑青瓷主因子分布图

为进一步研究南北方典型青瓷的元素组成的产地特征, 将 3 个窑口的元素含量数据进行主因子分析, 多元素含量值提取出 3 个特征值大于 1 的主因子, 成分累计方差百分比为 79.703%, 即代表了约 80% 的元素信息量, 将所有样品回归因子得分做出三维主因子分布(如图 5 所示).

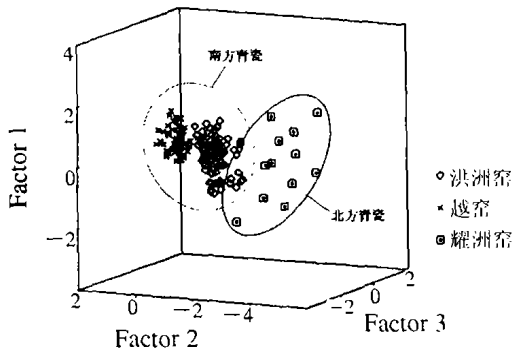


图 5 部分南方与北方青瓷主因子分布图

以越窑和洪州窑为代表的南方青瓷样品在主因

子分布图中非常接近, 它们之间也有区分的界限. 以耀州窑为代表的北方青瓷样品与南方青瓷样品之间有很大的差别, 在主因子空间中与南方青瓷距离较远, 南北方青瓷各自形成两个大类别, 具有非常大的南北产地特点. 南北方青瓷不仅在器物造型和纹饰等方面具有较大的差别, 在元素含量上也存在差别, 即产地属性差异.

4 结论

通过 INAA 分析和实验数据统计处理, 3 个窑口古瓷的元素组成具有各自的特征, 它们之间具有可以区分的产地属性. 越窑和洪州窑的分析样品量满足实验数据统计分析要求, 研究结果具有代表性. 寺龙口越窑与洪州窑的制胎原料关系较近, 与北方陕西耀州窑的关系较远, 这些实验分析结果将为遗址和墓葬中出土的古陶瓷产地研究的提供重要依据.

参 考 文 献:

[1] 浙江省文物考古研究所. 寺龙口越窑址, 北京: 文物出版社, 2002, 377—404.

[2] 江西省文物考古研究所, 北京大学考古系. 江西省丰城市博物馆. 南方文物, 1995, 4(2): 1.

[3] 李国霞, 赵维娟, 冯松林等. 科学通报, 2002, 47(23): 1781.

[4] 高正耀, 赵维娟, 李国霞等. 中国科学(A 辑), 2002, 32(10): 900.

[5] 李国霞, 赵维娟, 高正耀等. 原子核物理评论, 2000, 17(4): 248.

[6] 杨 柳, 赵维娟, 李国霞等. 原子核物理评论, 2002, 19(4): 421.

[7] 赵维娟, 李融武, 郭 敏等. 原子核物理评论, 2004, 21(3): 253.

Study of Provenance Properties on Ancient Celadon of Different Kilns with NAA *

FENG Song-lin¹, FAN Dong-yu¹, FENG Xiang-qian¹, XU Qing¹, CHENG Lin¹, LEI Yong¹,
 QUAN Kui-shan², SHEN Yue-ming³, ZHANG Wen-jiang⁴, ZHUA Zhen-xi⁵

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

2 Beijing University, Beijing 100871, China;

3 Institute of Archaeology and Cultural Relics of Zhejiang Province, Hangzhou 310014, China;

4 Institute of Archaeology and Cultural Relics of Jiangxi Province, Nanchang 330009, China;

5 Institute of Archaeology and Cultural Relics of Shanxi Province, Xi'an 710054, China)

* Foundation Item: Knowledge Innovative Program of Chinese Academy of Sciences(KJ CX-No4); National Natural Science Foundation of China(10075060, 10135050); LNAT; BSRF

Abstract: Provenance characteristic is an important scientific parameter to identify ancient porcelain wares unearthed from sites and graves. The porcelain samples of Si-Long-Kou kiln of Zhejiang Province, Hong-Zhou kiln of Jiangxi Province and Yao-Zhou kiln of Shanxi Province have been analyzed with neutron activation analysis (NAA). The experimental data were studied with statistic methods. The results show that the chemical compositions of porcelain body samples for three kilns were different. The difference was able to be identified. The body materials of both Si-Long-Kou Yue kiln and Hong-Zhou kiln of Jiangxi were similar. The samples of Yao-Zhou kiln in north of China existed obvious difference.

Key words: celadon; provenance property; neutron activation analysis

(上接第 28 页)

Thickness of Neutron-skin in ^{208}Pb and Radius of a 1.4 Solar Mass Neutron Star*

LI Jun^{1,2}, SHEN Gang^{1,2}, G. C. Hillhouse³, MENG Jie^{1,2,4}

(1 Center of Theoretical Nuclear Physics, National Laboratory of Heavy Ion Accelerator of Lanzhou, Lanzhou 730000, China;

2 School of Physics, Peking University, Beijing 100871, China;

3 Department of Physics, University of Stellenbosch, Stellenbosch, South Africa;

4 Institute of Theoretical Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

Abstract: By adding isospin dependent high order correction terms to existing relativistic mean field models, the thickness of neutron-skin in ^{208}Pb and the radius of 1.4 solar mass neutron star are studied. The effective interaction PKI would lead the thickness of neutron-skin to a minimum of 0.17 fm which agrees with the analysis from Skyrme-HF models. The coupling constants of the isospin dependent high order correction terms tend to change, the thickness of neutron-skin and the radius of neutron stars change simultaneously.

Key words: relativistic mean field; isospin dependent high order correction; neutron-skin; neutron star

* **Foundation item:** Major State Basic Research development Program (G2000077407); National Natural Science Foundation of China (10025522, 10221003, 10047001)