

古耀州瓷胎起源的模糊聚类分析

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

(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中国科学院高能物理研究所, 北京 100080;
 ④陕西省考古研究所, 西安 710054. E-mail: liguoxia@zzu.edu.cn)

摘要 用中子活化分析(NAA)技术测定古耀州窑瓷胎样品中 29 种元素的含量, 将这批 NAA 数据进行模糊聚类分析, 得到动态模糊聚类分析图. 结果表明, 这批时间跨越 800 多年, 瓷器釉色迥然不同, 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. 不同时代的胎料产地关系密切, 相距较近. 但是彼此之间也有相对的独立性, 唐、五代时期的胎料产地更为接近一些, 宋、金代时期胎料产地较为集中且有别于唐代. 耀州窑唐三彩的胎料产地和唐代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 模糊聚类分析

耀州瓷创烧于唐, 终烧于元, 前后历经 800 多年. 唐代耀州窑是烧造中国陶瓷品种最多的一个窑场, 出产有白瓷、青瓷、黑瓷、花釉瓷、茶叶沫釉瓷和素胎黑花、黑釉剔花填彩、白釉绿彩、白釉褐彩、青釉白彩以及唐三彩等; 五代以烧青瓷为主, 创烧出天青、淡天青釉, 开辟了中国烧造天青瓷的先河, 多素面, 间有雕花、贴花和划花; 宋代创造了独具风格的青瓷刻花和印花装饰工艺, 被誉为中国宋代青瓷刻花之最, 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, 但以往的研究多是针对某一个时代的瓷器, 采用的方法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? 唐三彩和其他耀州瓷胎的原料来源是否相同? 这些是困扰考古学界的问题. 古陶瓷中微量元素的成分和含量, 是人工不能控制的, 但它却反映出原料产地的特征^[5]. 本文用中子活化分析^[6]测量了耀州瓷胎中 29 种元素的含量, 并对这些元素成分进行模糊聚类分析, 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定、仿制提供可靠的科学依据.

1 样品的选取

选取耀州窑瓷胎样品 28 个, 作坊匣钵料样品 1 个, 耀州博物馆附近黏土矿样品 4 个, 这些样品的烧造年代跨越唐、五代、宋、金、元, 样品的代号、年代、名称、胎色、胎质列于表 1.

2 中子活化分析实验

将样品的胎和釉分开, 将一定量的样品粉末和标

样一同放入中国原子能科学院的重水反应堆中辐照 8 h, 中子注入率为 $(3\sim7)\times10^{13}\text{ cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 经过辐照的样品冷却 7~8 d 后, 进行第一次 γ 射线强度的测量, 冷却 15~20 d 后进行第二次 γ 射线强度的测量. 用高能物理所的高纯锗多道 γ 谱仪测量 γ 射线强度, 用高能物理所研制的混标和活化分析程序对 γ 射线能谱进行核素识别、对峰面积求和、扣除干扰以及各种校正, 最后与高能物理所标准物质比较给出样品高于探测极限的各元素的含量. 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 $\pm 10\%$. 用中子活化分析法测得每个样品的 29 种元素含量, 其中稀土元素 8 种, 包括 La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu; 其他元素 21 种: Na, Sc, Cr, Fe, Co, Ni, Zn, As, Se, Rb, Sr, Zr, Mo, Sb, Cs, Ba, Hf, Ta, W, Th, U. 在这些元素中, As, Mo, W 的半衰期较短, 在第一次测量中得到这些元素含量的极限值. 因为样品中 Ni 的含量极少, 所以其含量也是极限值. Na, Fe 是常量元素, 其余为微量元素.

3 模糊聚类分析结果

模糊聚类分析是根据模糊数学理论^[7,8], 用模糊矩阵的方法建立概念、发现规律、建立模型的一种方法. 具体地说就是将研究的对象的总体用模糊聚类分析方法分成若干类, 使总体的每一对象属于且仅属于其中的一类. 把用中子活化分析测得的每个耀州瓷胎样品的 29 种元素的含量, 用模糊聚类分析法进行归类分析, 得到如图 1 所示的动态模糊聚类分析图. 对于各个不同的 λ , 可得到不同的分类, 用 F 统计量(最佳阈值公式)确定 λ 最佳值. 当最佳阈值 $\lambda = 0.833$ 时, 样品分为以下 10 类:

表 1 耀州瓷胎样品表

样品代号	年代	样品名称	胎色	胎质
Y3b	唐代	黑釉瓷胎	深灰色	粗糙
Y24b	唐代	黑釉瓷胎	深灰色	粗糙
Y25b	唐代	黑釉瓷胎	深灰色	粗糙
Y26b	唐代	茶叶沫釉瓷胎	深灰色	粗糙
Y27b	唐代	白釉瓷胎	土黄色	较粗糙
Y30b	唐代	青釉瓷胎	深灰色	粗糙
Y31b	唐代	器外青釉器内黑釉瓷胎	深灰色	粗糙
Y38b	唐代	青釉瓷胎	深灰色	粗糙
Y40b	唐代	青釉瓷胎	浅灰色	细密
Y44b	五代	青釉瓷胎	浅青灰色	细密
Y45b	五代	青釉瓷胎	灰白色	细密
Y50b	五代	青釉瓷胎	灰白色	细密
Y51b	五代晚期至宋代初	青釉瓷胎	灰白色	细密, 坚硬
Y53b	宋代	青釉瓷胎	浅灰色	较细密
Y54b	宋代	青釉瓷胎	浅灰色	较细密
Y55b	宋代	青釉瓷胎	浅灰色	较细密
Y58b	宋代	青釉瓷胎	深灰色	细密
Y61b	宋代	兔毫釉瓷胎	浅灰色	较细密
Y63b	宋代	酱色釉瓷胎	浅灰色	细密
Y65b	宋代	青釉瓷胎	浅灰色	较粗糙
Y66b	金代	月白釉瓷胎	浅灰色	细密, 坚硬
Y67b	金代	月白釉瓷胎	浅灰色	细密, 坚硬
Y68b	金代	姜黄釉瓷胎	灰白色	细密, 坚硬
Y69b	金晚至元初	姜黄釉瓷胎	灰白色	细密, 坚硬
Y71b	元末至明初	白地黑花釉瓷胎	灰白色	较粗糙
Y74b	唐代	三彩器胎	土色	粗糙
Y75b	唐代	三彩器胎	土色	粗糙
Y76b	唐代	三彩器胎	土色	粗糙
YSZX	宋代	匣钵泥料		
YZG		耀州窑博物馆附近	紫坭	
YG		耀州窑博物馆附近	坭	
YL		耀州窑博物馆附近	黄土	
YQG		耀州窑博物馆附近	鸽青	

第 1 类: 从 Y3b 到 Y63b, 共 24 个样品. 在这一类中, 又可以分为 2 组: 第一组包含 13 个样品, 从 Y3b 到 Y31b. 这一组是唐、五代时期的样品, 当 $\lambda=0.852$ 时它们聚为同类, 它们的原料产地更为接近一些. 在这一组中, 有 3 个唐三彩的胎, 关系较为密切. 唐三彩的胎料产地和唐代耀州瓷的胎料产地相同. 第二组, 从 Y67b 到 Y63b, 共 11 个样品, 是宋、金代时期的样品. 当 $\lambda=0.848$ 时聚为同类, 它们的原料产地更为接近一些. 由样品分为 2 组的情况, 推断在唐、五代、宋、金时, 耀州瓷胎的原料产地有 2 个, 唐、五代胎料产地范围稍微分散些, 宋、金时期的胎料产地集中. 尽管 2 个产地各有相对的独立性, 但是它们的关系比较密切, 当 $\lambda=0.836$ 时, 这两组聚为同类, 说明它们的产地相距很近.

第 2 类: Y24b 为唐代黑釉瓷瓷胎, 该样品与唐代

的其他样品关系稍远.

第 3 类: Y51b 是五代晚至宋初青瓷胎, 它和宋代多数青瓷胎关系稍远.

第 4 类: Y71b 是元代末至明代初的白釉黑花瓷瓷胎.

第 5 类: Y61b 是宋代兔毫瓷胎, 它与第 1 类中第 2 组宋、金时期的样品关系较远, 两者的产地有所不同.

第 6~9 类: YZG, YG, YQG, YL, 每一类各有一个样品. 其中 YZG 是耀州窑博物馆附近的黏土矿紫坭; YG 是耀州窑博物馆附近的黏土矿坭; YQG 是耀州窑博物馆附近的黏土矿鸽青; YL 是耀州窑博物馆附近的黄土. 这 4 个样品之间的关系疏远表明这 4 类样品的岩石矿物不同, 成矿背景不同.

第 10 类: Y44b 为五代青釉瓷胎, 该样品的颜色特殊, 是惟一的青灰色样品. 它与其他样品关系甚远.

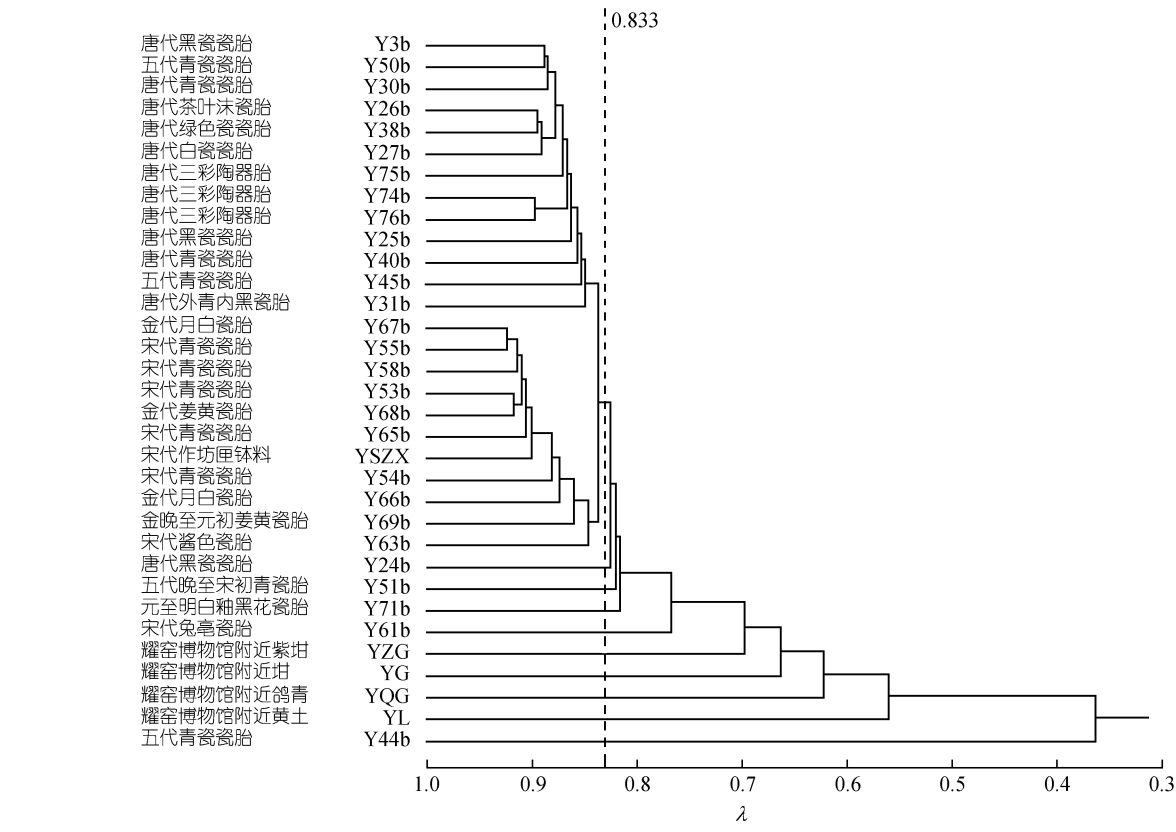


图 1 古耀州瓷瓷胎和耀州窑博物馆附近黏土矿的动态模糊聚类分析图

由耀州瓷胎样品的分类情况可知，多数唐、五代时期样品有相同的原料产地，少数唐、五代样品有别于多数样品的产地。宋、金时代多数样品的原料产地比较集中，且有别于唐代。少数样品原料产地与多数样品原料产地不同。

4 结论

对古耀州瓷胎样品，耀州窑博物馆附近黏土矿样品 NAA 数据进行模糊聚类分析的结果表明：

- (i) 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。但是彼此之间也有相对的独立性。唐、五代时期原料产地更为接近一些；宋、金代时期原料产地较为集中且有别于唐代。
- (ii) 耀州窑唐三彩的胎料产地和唐代耀州瓷的胎料产地相同。
- (iii) 宋代耀州窑的匣钵料与宋代耀州瓷胎的原料来源相同。
- (iv) 4 个黏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。

致谢 本工作作为国家自然科学基金(批准号：59872032, 10175053)、中国科学院核分析技术开放实验室(批准号：99B006)和河南省自然科学基金(批准号：004051500)资助项目。

参 考 文 献

- 1 嵇振西, 杜葆仁. 唐代黄堡窑址. 北京: 文物出版社, 1990. 1~28
- 2 嵇振西, 杜葆仁. 五代黄堡窑址. 北京: 文物出版社, 1993. 1~15
- 3 嵇振西, 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. 五代耀窑青瓷的研究. 见: 99 古陶瓷科学技术国际讨论会论文集. 上海: 上海科学技术文献出版社, 1999. 55~62
- 5 李士, 秦广雍. 现代实验技术在考古学中的应用. 北京: 科学技术出版社, 1991. 309~312
- 6 高正耀, 王杰, 陈松华, 等. 用中子活化分析研究古汝瓷起源. 原子能科学技术, 1996, 31(4): 360~364
- 7 高正耀, 王杰, 陈松华, 等. 古钧瓷和现代钧瓷的模糊聚类分析. 核技术, 1997, 20(9): 561~567
- 8 李国霞, 赵维娟, 高正耀, 等. 通用智能化模糊聚类分析系统的设计与实现. 微电子学与计算机, 2000, 17(2): 1~4

(2002-05-08 收稿, 2002-08-01 收修改稿)