

DOI: 10.13957/j.cnki.tcx.2017.01.014

## 铜红钧瓷呈色与化学组成的关系分析

韩先荣<sup>1</sup>, 李融武<sup>2</sup>, 李国霞<sup>1</sup>, 李青会<sup>3</sup>, 赵文军<sup>4</sup>, 张金伟<sup>5</sup>

(1. 郑州大学物理工程学院, 河南 郑州 450001; 2. 北京师范大学物理系, 北京 100875; 3. 中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800; 4. 河南省文物考古研究院, 河南 郑州 450000; 5. 河南省禹州市钧瓷研究所, 河南 禹州 461670)

**摘要:** 为了解铜红釉系列钧官瓷呈色和化学元素含量的关系, 用能量色散X荧光分析(EDXRF)测试了6种不同釉色钧官瓷的化学元素含量, 使用箱图和因子分析2种方法, 探讨釉色与釉的化学元素含量之间的关系, 分析结果把6种不同釉色钧官瓷分成了3大类: 海棠红和鸡血红釉类、酱中泛红带蓝和蓝中闪紫釉类, 葡萄紫和茄皮紫釉类。

**关键词:** 铜红系列钧官瓷; 化学元素; SPSS; 箱图; 因子分析

**中图分类号:** TQ174.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-2278(2017)01-0073-03

## The Relationship between the Color of Copper-red Porcelain and Chemical Composition

HAN Xianrong<sup>1</sup>, LI Rongwu<sup>2</sup>, LI Guoxia<sup>1</sup>, LI Qinghui<sup>3</sup>, ZHAO Wenjun<sup>4</sup>, ZHANG Jinwei<sup>5</sup>

(1. Physical Engineering College, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, Henan, China; 2. Department of Physics, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 3. Shanghai Research Institute of Optical Precision Machinery, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800, China; 4. Institute of Cultural Relic and Archaeology of Henan Province, Zhengzhou 450000, Henan, China; 5. Yuzhou Municipal Research Institute of Jun Porcelains, Yuzhou 461670, Henan, China)

**Abstract:** In order to find out the relationship between copper-red glaze of official Jun porcelain and the chemical elements in them, the chemical elements of six color glazes of official Jun porcelain are tested. Box plot analysis and Factor analysis are used to analyze the data to explore the relationship between the glaze color and the number of chemical elements in glaze. The results show the six porcelain glazes can be divided into three categories: 1) begonia-red and chicken-blood-red; 2) purple tinged with red, blue and violet; 3) grape purple and eggplant purple.

**Key words:** copper-red official Jun porcelain; chemical elements; SPSS; box plot; factor analysis

### 0 引言

钧瓷是中国宋代五大名窑瓷器之一, 以独特的窑变艺术著称于世, 素有“入窑一色, 出窑万彩”的说法。钧瓷的呈色为什么会如此丰富多彩? 这些一直是人们研究的重要课题。为了解铜红釉系列钧官瓷呈色和化学元素含量的关系, 用能量色散X荧光分析(EDXRF)测试了6种不同釉色钧官瓷的化学元素含量, 使用箱图和因子分析两种方法处理数据, 从处理的结果中分析样品的特点, 探讨不同颜色钧瓷和化学元素含量的关系, 以及这几个颜色瓷釉之间的关联, 得到了一些有价值的信息。

### 1 实验(样本选取)

本文所选用的钧官瓷样品均是铜红釉系列, 顾名思义其着色元素主要是铜元素。所有金属中铜的呈色变化最多, 一般而言, 氧化呈绿, 还原成红, 由于烧制时窑内还原气氛和烧成温度的不同, 铜元素的发色也不尽相同。本文从1974年考古发掘钧官瓷中选取葡萄紫釉(grape purple, GP)样品11个、茄皮紫釉(eggplant purple, EP)样品15个、鸡血红釉(chicken-blood-red, CBR)样品12个、蓝中闪紫釉(violet blue, VB)样品15个、海棠红釉(begonia-red, BR)样品15个、酱中泛红带蓝釉(purple tinged with red and blue, PRB)样品6个, 共74组样品数据。采用外束PIXE技术测定样品釉的化学组分含量, 测试结果见参考文献1, 2。

收稿日期: 2016-09-23。 修订日期: 2016-11-27。  
基金项目: 国家自然科学基金(51172212, 50772101)。  
通信联系人: 李国霞(1952-), 女, 博士, 教授。

Received date: 2016-09-23. Revised date: 2016-11-27.  
Correspondent author: LI Guoxia(1952-), female, Ph. D., Professor.  
E-mail: liguoxia@zzu.edu.cn

## 2 结果与讨论

为了解不同釉色钧瓷之间的关系，用测得的样品中Na<sub>2</sub>O、MgO、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、SiO<sub>2</sub>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O、CaO、TiO<sub>2</sub>、MnO、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、NiO、CuO、ZnO、Rb<sub>2</sub>O、SrO、SnO<sub>2</sub>、PbO、BaO等化合物的含量(单位为wt.%), 以及Cr、Cu、Zn、Rb、Sr、Sn、Pb、Ba等化学元素的含量(单位为ppm), 分别画出不同釉色样品的分布箱图, 并选择合适的元素做因子分析。

### 2.1 钧瓷数据的箱图分析

箱图用于描述数据的分布信息, 主要描述数据的中位数、四分位数及极值。为了解钧瓷呈色和化学元素的关系, 分别做了钧瓷釉色和Cr、Cu、Sr、Sn、Pb 5种化学元素的含量分布箱图见图1。

如图1所示, 每一个箱体上方那条线的取值代表最大值, 下方那条线的取值代表最小值, 箱体自身的三条线从上到下分别代表3/4分位点、中位点、1/4分位点的取值。在图1的5种化学元素含量分布箱图中, 海棠红釉、鸡血红釉中含量接近; 酱中泛红带蓝釉、蓝中闪紫釉中含量接近; 葡萄紫釉、茄皮紫釉中含量相近。单从化学元素来看, 可以把这6种不同颜色的瓷釉分为3组。

### 2.2 钧瓷数据的因子分析

#### 2.2.1 氧化物因子分析

以6种铜红系列钧官瓷EDXRF数据中NaO、K<sub>2</sub>O、SnO<sub>2</sub>、CuO 4种氧化物作为观测量, 采用因子分析方法提取主成分因子F1和F2。得到KMO的值为0.522, 两个因子共代表了样品73.839%的信息量。用SPSS18.0作出两个主因子的二维散点图, 如图2所示。

从6种釉色钧官瓷氧化物的因子分析图中可以看出, 海棠红釉、鸡血红釉集中分布在图的右上部; 葡萄紫釉、茄皮紫釉大部分分布在图的左上部, 只有少量分部在图的右边; 酱中泛红带蓝釉和蓝中蓝紫釉集中分部在图的底部。

#### 2.2.2 化学元素因子分析

以6种铜红系列钧官瓷EDXRF数据中Cr、Cu、Zn、Rb、Sr、Sn、Pb 7种化学元素作为观测量, 采用因子分析方法提取主成分因子F1和F2。得到KMO的值为0.794, 两个因子共代表了样品68.863%的信息量。用SPSS18.0作出两个主因子的二维散点图, 如图3所示。

从6种釉色钧官瓷化学元素的因子分析图中可以看出, 海棠红釉、鸡血红釉分布在图的右上部; 葡萄紫釉、茄皮紫釉分布在图的左上部, 分布非常接近; 酱中泛红带蓝釉、蓝中闪紫釉分布在图的下部, 分布集中。

两个因子分析的散点图, 也把这6种不同釉色钧官瓷分在了3组, 分别是海棠红和鸡血红釉类、

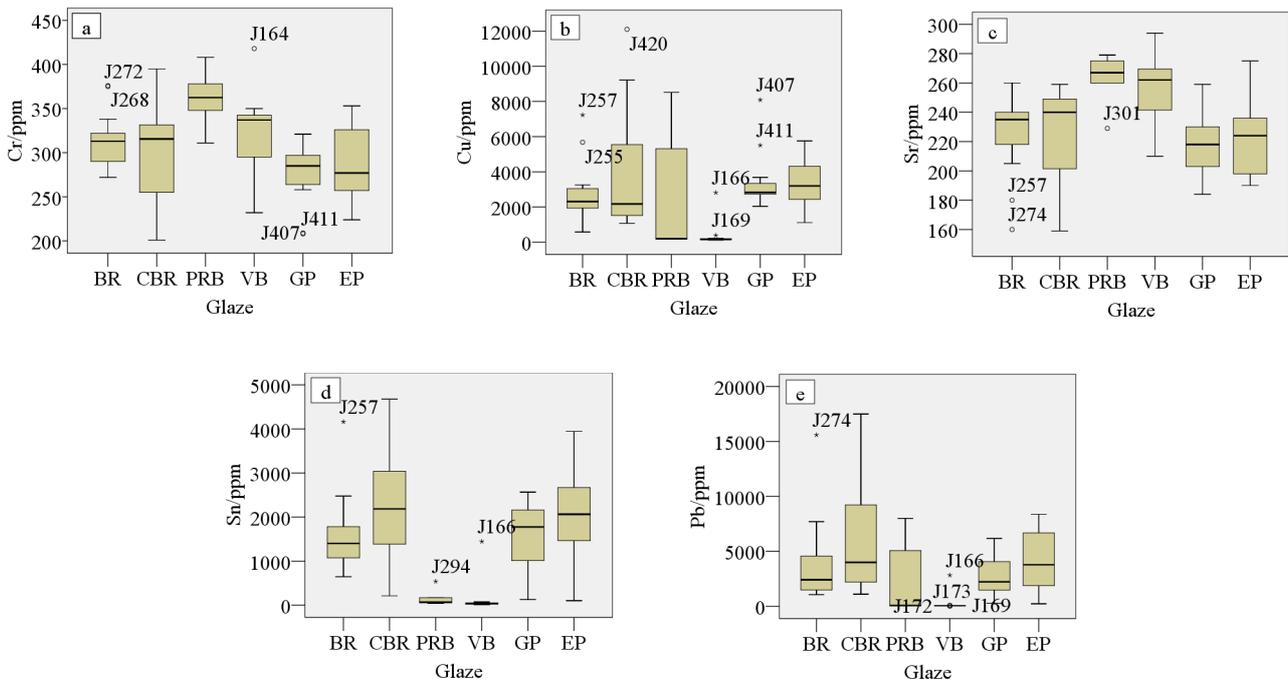


图1 铜红钧官瓷的Cr、Cu、Sr、Sn、Pb含量分布箱图

Fig.1 The box plot for the content distribution of Cr, Cu, Sr, Sn, Pb in copper-red official Jun porcelain

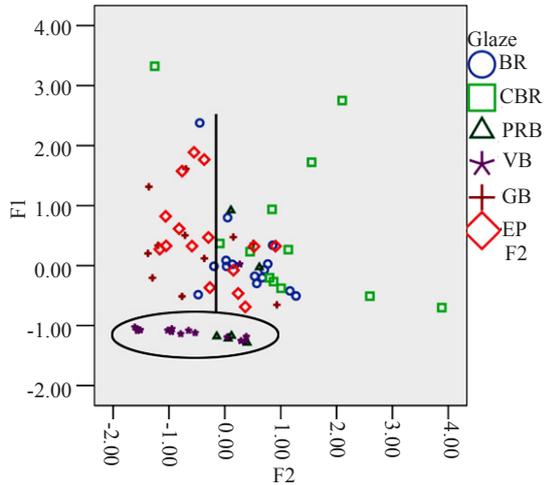


图2 6种釉色钧官瓷氧化物数据的因子分析  
Fig.2 The factor analysis of the oxide data for six official Jun porcelain glazes

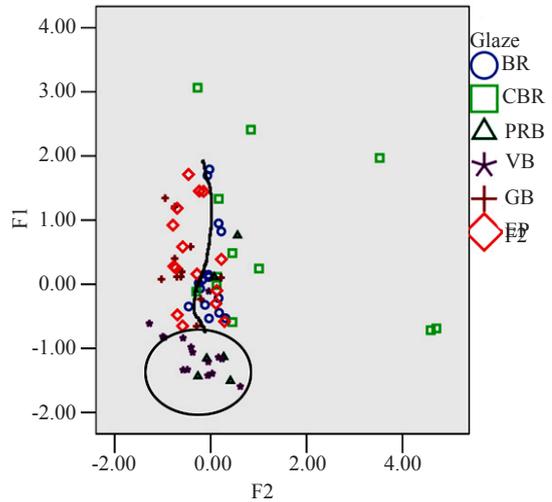


图3 6种釉色钧官瓷化学元素的因子分析  
Fig.3 The factor analysis of the chemical elements for six official Jun porcelain glazes

茄皮紫和葡萄紫类、酱中泛红带蓝和蓝中闪紫类。和箱图的分组结果一致。

### 3 结论

通过箱图和因子分析，可以发现铜红钧瓷呈色与化学组分含量有一定关系，Cr、Cu、Sr、Sn、Pb 5种化学元素中，Cr、Sr两种化学元素在酱中泛红带蓝釉样品和蓝中闪紫釉样品中的含量明显高于在其它四种釉色样品中的含量；Cu、Sn、Pb三种化学元素在酱中泛红带蓝釉样品和蓝中闪紫釉样品中的含量明显低于在其它四种釉色样品中的含量。结合因子分析，单从化学组分来看，可以把6种不同釉色的钧官瓷分成3组，海棠红釉、鸡血红釉为

一组；酱中泛红带蓝、蓝中闪紫釉为一组；葡萄紫、茄皮紫为一组。

#### 参考文献：

- [1]肖鹏飞. 利用多种现代分析技术研究铜红系列古钧瓷的制作工艺[D]. 郑州: 郑州大学, 2012.
- [2]蔡敏敏. 铜红系列钧瓷窑变特点的实验研究[D]. 郑州: 郑州大学, 2013.
- [3]刘震, 吴广, 丁维岱, 等. SPSS统计分析与应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2011.261-269.
- [4]罗应婷, 杨钰娟, 等. SPSS统计分析-从基础到实践[M]. 北京: 电子工业出版社, 2007.83-84.