

景德镇历代青花瓷胎釉化学组成的多元统计分析

吴 隽 李家治

(中国科学院上海硅酸盐研究所)

摘 要

通过对 44 个景德镇历代青花瓷的胎、釉化学组成分别进行多元统计分析,结果表明,根据景德镇历代青花瓷的胎、釉配方的演变规律,基本上可划元、明、清三个阶段。综合胎、釉判别函数的判别时效,可较明确地推断未知样品的所属朝代。

关键词 青花瓷, 统计分析, 演变规律, 判别函数

MULTI - VARIATE STATISTICAL ANALYSIS OF THE
CHEMICAL COMPOSITIONS FOR BODIES AND
GLAZES OF JINGDEZHEN BLUE AND WHITE PORCELAIN

Wu Jun Li Jiazhi

(Shanghai Institute of Ceramics, Chinese Academy of Sciences)

Abstract

The chemical compositions for 44 bodies and glazes of Jingdezhen blue and white porcelain in different time periods were treated by statistical analysis. According to the evolution law of the batch formula of bodies and glazes, it is found that the process of development of Jingdezhen blue and white porcelain is divisible into three periods. Based on the discriminant functions for the chemical compositions of bodies and glazes, the dynasty of samples can be determined.

keywords blue and white porcelain, statistical analysis, discriminant function, evolution process

1 前 言

景德镇窑在我国瓷业发展史上占有十分重要的地位,烧制出了许多工艺技术高超和制作艺术优良的瓷器。自宋后逐渐成为全国制瓷中心。作为景德镇瓷器中的一个突出代表—青花瓷,元代开始已大量生产,随后逐渐成为景德镇制瓷的主流,享誉海内外。

中国科学院上海硅酸盐研究所早自 50 年代开始

即已相继对青花瓷的胎、釉及青花料进行过科学技术研究^[1~2],在最近发表的《景德镇元代及明初官窑青花瓷的工艺研究》一文中,作者们又系统地研究和讨论了景德镇历代青花瓷的特色,青花料的差别以及来源等^[3]。唯该文当时只着眼于青花料的研究,而没有对其胎、釉的化学组成的变化规律作深入的探讨,本文即是在该文所积累的数据的基础上,利用多元统计分析方法,对其胎、釉化学组成的变化规律进行了全面的研

收稿日期:1997-05-06

通讯联系人:吴隽,中国科学院上海硅酸盐研究所,200050

表1 景德镇历代青花瓷胎的化学组成(wt%)

Table 1 Chemical composition of Jingdezhen blue and white porcelain bodies

序号	原编号	朝代	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	MnO	P ₂ O ₅	合计
1	Y1	元	75.75	20.24	0.93	0.53	0.24	0.15	2.87	1.78	0.080	0.040	99.61
2	Y2	元	72.64	21.08	0.97	0.00	0.20	0.18	2.69	1.52	0.080	0.090	99.45
3	Y5	元	71.95	20.75	0.84	0.12	0.15	0.16	2.73	2.76	0.090	0.050	99.60
4	Y-8	元	74.91	19.47	0.16	0.07	0.90	0.08	3.03	2.39	0.000	0.000	101.01
5	Y-11	元	74.58	19.53	0.81	0.00	0.04	0.17	2.72	2.34	0.020	0.000	100.21
6	YG1	元	74.42	18.83	1.14	0.11	0.15	0.24	3.11	2.06	0.030	0.000	100.09
7	YG	元	74.18	19.94	1.30	0.22	0.13	0.30	3.50	1.22	0.033	0.000	100.82
8	MH1	明,洪武	75.50	18.11	0.91	0.07	0.21	0.23	3.25	1.84	0.053	0.000	100.17
9	MH2	明,洪武	75.11	18.92	0.91	0.07	0.27	0.24	3.41	0.18	0.046	0.000	99.16
10	MH3	明,洪武	75.92	18.50	0.95	0.09	0.24	0.23	3.27	0.86	0.097	0.000	100.16
11	MH4	明,洪武	75.20	19.18	1.00	1.10	0.27	0.25	2.79	1.38	0.120	0.000	100.29
12	MY1	明,永乐	75.32	19.90	0.92	0.12	0.11	0.16	2.97	0.64	0.031	0.000	100.17
13	MY2	明,永乐	74.56	19.48	0.94	0.10	0.32	0.16	3.10	1.34	0.063	0.000	100.06
14	MY3	明,永乐	73.95	19.55	0.97	0.11	0.53	0.20	3.22	1.94	0.074	0.000	100.54
15	M-1	明,宣德	72.84	19.03	0.60	0.28	0.75	0.30	3.11	3.54	0.010	0.000	100.46
16	M-2	明,宣德	73.58	20.05	0.90	0.00	0.53	0.14	2.87	2.01	0.000	0.000	100.08
17	M-3	明,宣德	74.05	19.97	0.79	0.43	0.13	0.16	3.13	1.16	0.030	0.000	99.85
18	MX1	明,宣德	74.89	20.28	1.10	0.10	0.11	0.19	3.03	0.44	0.033	0.000	100.17
19	MX2	明,宣德	74.63	20.43	0.95	0.09	0.34	0.19	2.79	1.05	0.039	0.00	100.51
20	MX4	明,宣德	72.43	21.65	1.19	0.09	0.38	0.20	2.92	1.23	0.043	0.000	100.13
21	MX5	明,宣德	72.97	21.12	0.95	0.10	0.39	0.20	3.03	1.06	0.041	0.000	99.86
22	MXC1	明,成化仿宣德	71.91	22.83	0.95	0.09	0.09	0.21	3.56	0.39	0.023	0.000	100.05
23	MHJY1	明,洪武至永乐	75.32	19.50	0.81	0.08	0.07	0.16	3.17	0.41	0.028	0.000	99.55
24	M-4	明,成化	73.66	21.24	0.59	0.09	0.12	0.15	3.12	0.60	0.020	0.020	99.61
25	M-5	明,成化	68.46	23.59	1.05	0.10	0.77	0.44	3.24	2.28	0.090	0.000	100.02
26	MC1	明,成化	75.92	19.97	0.57	0.09	0.10	0.20	2.59	0.65	0.017	0.000	100.11
27	MC2	明,成化	73.21	22.51	0.85	0.09	0.16	0.24	2.31	0.82	0.022	0.000	100.21
28	MC3	明,成化	73.05	21.87	0.85	0.04	0.21	0.21	2.36	1.09	0.030	0.000	99.71
29	M-7	明,嘉靖	69.36	23.89	0.67	0.02	0.19	0.10	2.84	2.42	0.120	0.060	99.67
30	M-8	明,嘉靖	73.38	18.49	1.24	0.19	1.21	0.18	3.30	1.00	0.490	0.030	99.51
31	M-9	明,嘉靖	73.99	18.90	1.08	0.12	1.19	0.27	3.05	1.69	0.030	0.000	100.32
32	M-10	明,嘉靖	74.29	19.41	0.88	0.15	0.27	0.20	3.80	1.42	0.040	0.000	100.46
33	M-11	明,万历	73.59	19.61	0.87	0.00	0.46	0.17	3.46	1.95	0.070	0.000	100.18
34	M-12	明,万历	75.62	19.12	0.99	0.00	0.24	0.18	3.55	0.86	0.030	0.000	100.59
35	M-13	明,万历	71.69	20.69	1.26	0.00	1.01	0.28	3.37	1.55	0.050	0.000	99.90
36	M-14	明,万历	74.00	20.40	0.97	0.00	0.50	0.51	2.69	1.11	0.000	0.000	100.18
37	C-1	清,康熙	68.07	25.82	0.83	0.00	0.36	0.11	3.04	1.54	0.090	0.080	99.94
38	C-2	清,康熙	65.76	28.57	0.84	0.05	0.50	0.12	3.22	0.83	0.090	0.100	100.08
39	C-3	清,康熙	68.59	24.08	1.15	0.12	0.71	0.30	3.13	2.35	0.070	0.000	100.50
40	C-4	清,康熙	65.09	26.72	1.06	0.13	1.62	0.13	3.11	2.57	0.070	0.000	100.50
41	C-5	清,雍正	65.81	30.51	1.07	0.15	0.22	0.15	1.81	0.26	0.000	0.000	99.98
42	C-6	清,雍正	70.22	22.97	0.81	0.31	0.68	0.11	3.49	1.18	0.080	0.000	99.85
43	C-7	清,乾隆	70.38	24.10	0.82	0.00	0.66	0.15	3.33	0.69	0.070	0.000	100.20
44	C-9	清,咸丰	68.93	24.25	0.84	0.10	0.74	0.20	3.38	1.87	0.000	0.000	100.31

究,以便为景德镇青花瓷的断代提供科学依据。

2 实验

表1,2分别是元、明、清44个景德镇青花瓷胎、釉的化学组成。其数据主要引自文献[2]和[3]。

2.1 胎、釉化学组成的多元统计分析

a:对应分析图1是当因子方差累计大于80%时,

对于所选定的两个因子 F_1 和 F_2 ,瓷胎的因子载荷图。

b:判别分析根据Bayes准则,按胎、釉的化学组成进行了逐步判别分析,分别建立了胎、釉的判别函数。

2.2 瓷釉中 $CaO/(K_2O+Na_2O)$ 值以及钙系釉釉式判别系数b值的计算^[4]

其计算结果分别列于表2中。图2为历代瓷釉中 $CaO/(K_2O+Na_2O)$ 值的分布图。

表2 景德镇历代青花瓷釉的化学组成(wt%)及CaO/(K₂O+Na₂O)的比值和釉式判别系b数值Table2 Chemical composition, CaO/(K₂O+Na₂O) ratio and the discriminant coefficient(b) of empirical formula of Jingdezhen blue and white porcelain glazes

序号	原编号	朝代	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	NnO	P ₂ O ₅	CuO	CoO	合计	CaO/(K ₂ O+Na ₂ O)	b
1	Y-1	元	69.53	14.87	0.84	0.00	8.97	0.31	2.70	3.12	0.10	0.12	0.000	0.010	100.57	1.54	0.68
2	Y-2	元	69.97	15.23	0.90	0.00	10.06	0.34	2.92	2.57	0.10	0.17	0.000	0.010	100.27	1.83	0.72
3	Y-5	元	70.17	14.02	0.78	0.00	8.00	0.40	2.72	3.13	0.12	0.15	0.000	0.000	99.49	1.37	0.66
4	Y-6	元	69.82	14.52	0.84	0.25	7.57	0.26	2.24	3.65	0.10	0.28	0.000	0.010	99.54	1.29	0.63
5	Y-7	元	68.81	14.72	1.24	0.00	8.04	0.26	2.47	4.04	0.10	0.21	0.000	0.060	99.95	1.24	0.62
6	Y-8	元	70.54	15.11	0.97	0.05	7.32	0.40	3.09	3.14	0.11	0.00	0.000	0.010	100.74	1.17	0.63
7	Y-11	元	70.27	14.54	0.82	0.00	6.52	0.36	2.82	3.14	0.13	0.16	0.000	0.010	98.77	1.09	0.68
8	YG1	元	68.21	14.97	1.21	0.05	7.31	0.29	3.83	3.60	0.11	0.10	0.000	0.002	99.68	0.98	0.58
9	MH1	明,洪武	69.38	15.23	1.13	0.04	5.03	1.25	4.35	3.52	0.13	0.08	0.000	0.000	100.14	0.64	0.55
10	MH2	明,洪武	69.97	15.37	1.16	0.05	4.48	1.56	4.20	2.95	0.11	0.15	0.000	0.002	100.00	0.63	0.56
11	MH3	明,洪武	69.80	15.41	0.91	0.04	4.83	1.14	4.63	3.04	0.10	0.10	0.000	0.000	100.00	0.63	0.52
12	MH4	明,洪武	70.90	15.88	0.84	0.04	4.32	0.33	4.73	2.71	0.10	0.15	0.000	0.000	100.00	0.58	0.49
13	MY1	明,永乐	69.17	15.05	1.02	0.04	7.00	0.27	5.13	2.11	0.10	0.11	0.000	0.000	100.00	0.97	0.54
14	MY2	明,永乐	68.02	16.17	1.18	0.04	7.38	0.30	3.88	2.78	0.11	0.14	0.000	0.000	100.00	1.11	0.61
15	MY3	明,永乐	69.33	15.26	0.99	0.04	7.48	0.27	3.34	3.03	0.10	0.16	0.000	0.000	100.00	1.17	0.64
16	M-1	明,宣德	70.74	14.16	0.97	0.00	6.79	1.36	3.10	2.76	0.07	0.00	0.000	0.000	99.95	1.16	0.67
17	M-2	明,宣德	69.15	14.30	0.83	0.00	8.44	0.44	3.74	3.34	0.06	0.00	0.000	0.000	100.30	1.19	0.63
18	M-3	明,宣德	69.48	16.07	0.85	0.00	6.43	0.55	3.98	2.80	0.00	0.00	0.000	0.000	100.16	0.95	0.59
19	MX1	明,宣德	68.14	15.72	1.00	0.05	6.53	0.93	5.32	1.96	0.12	0.22	0.000	0.006	100.00	0.90	0.61
20	MX2	明,宣德	68.64	14.01	0.80	0.05	7.38	1.07	4.31	2.59	0.12	0.13	0.000	0.003	100.00	1.07	0.64
21	MX4	明,宣德	67.42	16.03	1.00	0.06	6.35	1.83	4.46	2.60	0.13	0.12	0.000	0.000	100.00	0.9	0.64
22	MX5	明,宣德	68.70	15.57	1.12	0.06	6.23	1.11	4.56	2.30	0.16	0.18	0.000	0.010	100.00	0.91	0.62
23	MXC1	明,成化仿宣德	69.79	16.18	0.98	0.08	5.35	0.30	5.79	1.33	0.09	0.10	0.000	0.005	100.00	0.75	0.55
24	MHJY1	明,洪武至永乐	69.32	15.27	0.95	0.47	5.64	0.36	5.60	2.14	0.10	0.15	0.000	0.000	100.00	0.73	0.54
25	M-4	明,成化	71.14	15.12	0.82	0.11	4.46	0.28	5.68	1.88	0.10	0.08	0.000	0.010	99.68	0.59	0.49
26	MC1	明,成化	71.44	15.36	1.11	0.06	4.52	0.38	4.39	2.19	0.12	0.00	0.000	0.002	99.57	0.69	0.53
27	MC2	明,成化	72.51	15.02	1.07	0.06	4.16	0.35	4.47	1.94	0.13	0.00	0.000	0.003	99.71	0.65	0.51
28	MC3	明,成化	73.60	14.67	1.01	0.07	4.35	0.31	4.04	2.03	0.10	0.00	0.000	0.003	100.18	0.72	0.53
29	MC4	明,成化	69.67	16.30	1.03	0.00	5.03	0.30	5.65	1.82	0.13	0.07	0.000	0.004	100.00	0.67	0.52
30	M-6	明,正德	68.88	15.09	0.81	0.00	7.87	0.30	5.37	1.63	0.13	0.19	0.000	0.005	100.27	1.12	0.64
31	M-7	明,嘉靖	66.94	13.22	1.00	0.00	8.20	0.24	2.42	2.64	2.97	0.00	0.000	0.550	98.18	1.62	0.69
32	M-8	明,嘉靖	66.95	14.80	0.93	0.00	11.62	0.38	3.47	1.71	0.09	0.60	0.000	0.007	100.56	2.24	0.77
33	M-9	明,嘉靖	67.89	14.65	1.85	0.14	7.48	0.50	4.14	2.68	0.35	0.00	0.000	0.360	100.04	1.1	0.63
34	M-10	明,嘉靖	68.89	14.60	0.75	0.05	8.29	0.26	4.24	2.46	0.00	0.00	0.000	0.000	99.54	1.24	0.65
35	M-11	明,万历	69.02	13.69	0.74	0.00	8.39	0.26	3.91	2.77	0.00	0.00	0.000	0.000	99.78	1.26	0.64
36	M-12	明,万历	70.08	15.97	1.01	0.00	5.98	0.36	4.81	1.61	0.00	0.00	0.000	0.000	99.82	0.93	0.60
37	M13	明,万历	68.41	13.35	0.99	0.00	9.59	0.14	3.33	2.52	0.00	0.00	0.000	0.000	98.33	1.64	0.70
38	M14	明,万历	66.78	16.55	1.16	0.00	7.54	0.07	4.77	2.56	0.04	0.00	0.000	0.000	99.47	1.03	0.60
39	C-1	清,康熙	70.22	14.25	0.79	0.11	9.12	0.22	3.03	2.28	0.12	0.10	0.000	0.010	100.25	1.72	0.71
40	C-2	清,康熙	73.48	15.38	0.96	0.34	3.82	0.33	3.97	1.34	0.14	0.09	0.000	0.010	99.86	0.72	0.54
41	C-4	清,康熙	67.92	15.66	1.22	0.00	7.11	1.06	4.11	2.14	0.00	0.00	0.160	0.000	99.38	1.14	0.66
42	C-6	清,雍正	70.54	14.43	0.74	0.00	8.90	0.21	2.98	1.36	0.00	0.00	0.000	0.000	99.16	2.01	0.75
43	C-7	清,乾隆	70.09	17.63	0.83	0.00	7.20	0.22	3.13	0.90	0.00	0.00	0.000	0.000	100.00	1.79	0.37
44	C-8	清,乾隆	76.09	14.39	0.92	0.25	2.11	0.14	2.67	2.61	0.27	0.08	0.000	0.050	99.58	0.40	0.73

3 分析和讨论

3.1 景德镇历代青花瓷胎化学组成的演变

由图1可见,根据瓷胎的化学组成特点,基本上可

将景德镇历代青花瓷胎分为二类,第一类包括了元、明代的样品(I),第二类包括了清代的所有样品(II)。

在第一类中,样品组成点基本上靠近变量SiO₂的组成点而远离变量点Al₂O₃、CaO。按对应分析法则,

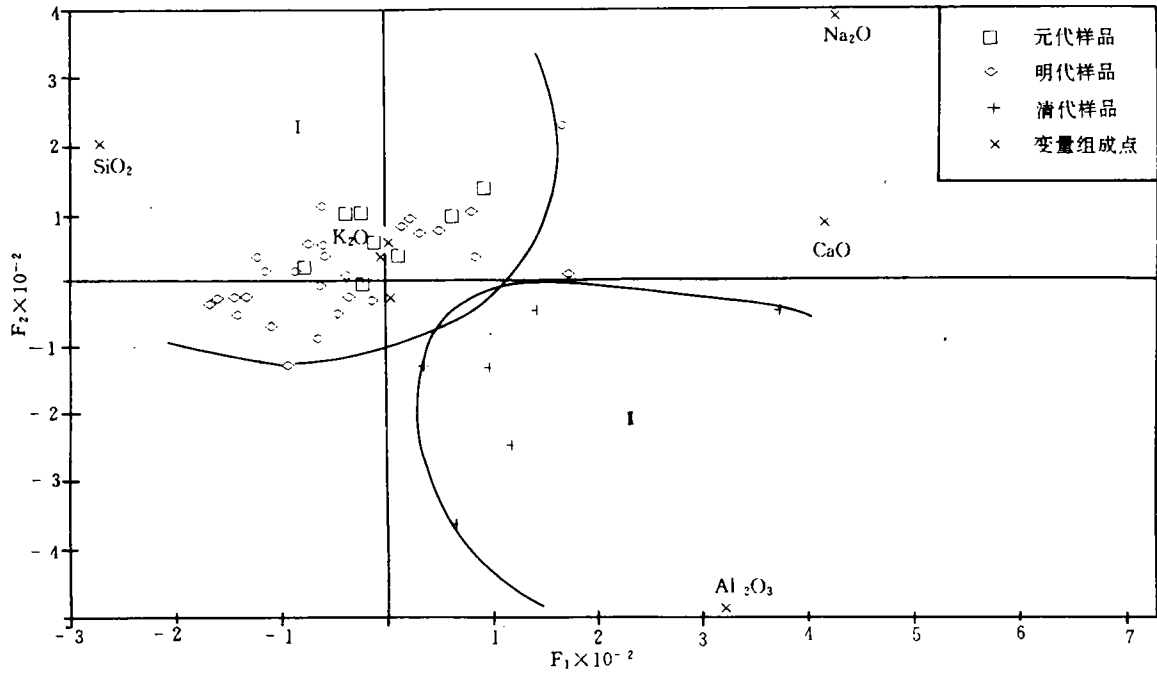


图 1 景德镇历代青花瓷胎组成的 F₁ 和 F₂ 因子载荷图

Fig 1 F₁ and F₂ factor loadings' diagram of Jingdezhen blue and white porcelainbodies—chemical composition

即是瓷胎中含有较高的 SiO₂ 和较低的 Al₂O₃ 和 CaO。根据过去的研究,我们知道,景德镇历代瓷胎是由单一瓷石作为原料的一元配方演变为以瓷石和高岭土作为原料的二元配方^[5],显然,自元代开始在瓷胎配方中已引进了高岭土,明初基本上沿袭了元代青花瓷胎的配方,都主要以含 CaO 低的瓷石为主,仅掺用了少量高岭土。随后逐渐增加高岭土的用量,明后期个别嘉靖、万历样品 Al₂O₃ 含量波动正显示了一种向清初的过渡状态,相反,第二类样品明显接近 Al₂O₃ 变量组成点,说明了 Al₂O₃ 含量增高,不言而喻,其配方中高岭土的用量有了较大的提高。这就说明景德镇青花瓷胎配方的变化规律同以往科研工作者提出的景德镇历代瓷胎配方的变化规律是相同的^[2,5]。至于图 1 显示的历代青花瓷胎中碱金属氧化物含量的变化,则主要取决于不同瓷石中所含长石的多少,第二类清代样品点远离 K₂O 变量组成点,即表明清代青花瓷胎配方中所用瓷石的长石含量较低。

为尽可能明确判定样品的归属,参照瓷胎化学组成的对应分析结果,可把景德镇历代青花瓷分为两大

类,分别为元、明代和清代样品。按胎的化学组成数据,当引入与删除变量的 F 统计值为 $F_1 = F_2 = F_{0.05}(8, 36) = 2.21$ 时,景德镇历代青花瓷胎的判别函数建立如下:

$$F(K_2O, CaO, Al_2O_3) = 5.37K_2O + 4.1CaO + 2.81Al_2O_3$$

当 $F(K_2O, CaO, Al_2O_3) < 85.1$ 时,判属元、明代;

当 $F(K_2O, CaO, Al_2O_3) > 85.1$ 时,判属清代。

为检验该函数的有效性,将已知的 44 个样品进行回判,得元、明代样品回判准确率为 94.4%,清代为 100%,说明有效性显著。

3.2 景德镇历代青花瓷釉化学组成的演变

景德镇瓷釉历来是用釉果,即风化较浅的瓷石掺以釉灰配成,釉中的 CaO 含量主要来自釉灰,而 K₂O 和 Na₂O 的含量则主要来自釉果。表 3 列出了景德镇屋柱槽釉果和寺前乡釉灰的化学组成。按照青花瓷釉中 CaO 和 K₂O、Na₂O 含量的变化,一定程度上可以反映出釉配方中主要熔剂的选择和釉灰的用量。图 2 为 44 个历代景德镇青花瓷釉中的 $CaO/(K_2O + Na_2O)$

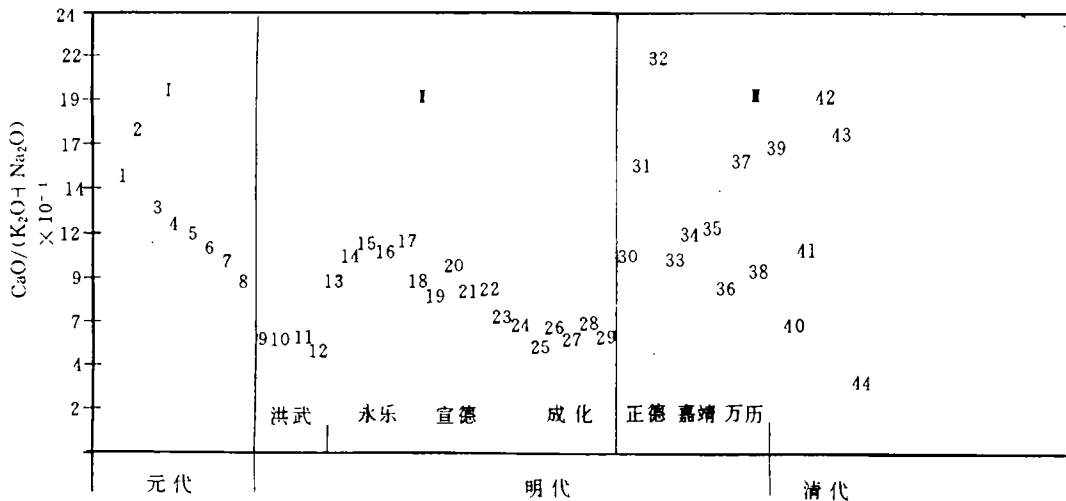
表3 屋柱槽釉果及寺前乡釉灰化学组成(wt%)

Table 3 Chemical composition of Wuzucuo 'glaze stone' and Siqianxiang 'glaze ash' (wt%)

原料名称	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
屋柱槽釉果	74.43	14.64	0.62	0.02	0.06	1.97	0.16	2.90	2.38
寺前乡釉灰	3.25	0.56	0.79			55.53	1.13	0.22	0.15

表4 景德镇历代青花瓷釉 CaO/(K₂O+Na₂O)比值和 CaO 含量的均值和方差Table 4 Average value and variance of CaO/(K₂O+Na₂O)ratio

	第一阶段(元代)		第二阶段(明洪武至成化)		第三阶段(明正德至清初)	
	均值	方差	均值	方差	均值	方差
CaO/(K ₂ O+Na ₂ O)	1.32	0.078	0.84	0.044	1.33	0.289
CaO%	7.97	1.06	5.8	1.6	7.5	4.88

图2 景德镇历代青花瓷釉 CaO/(K₂O+Na₂O)的比值分布图Fig 2 The distribution diagram of CaO/(K₂O+Na₂O) ratio of Jingdezhen blue and white porcelain glazes

比值分布图,大至可分为以下3个阶段:第一阶段为元代;第二阶段由明初的洪武至成化年间(明代前期);第三个阶段即明正德(明代后期)到清初阶段。表4列出了各阶段釉中CaO含量和CaO/(K₂O+Na₂O)比值的均值和方差。

由表2、4可知,在第一阶段釉中的CaO/(K₂O+Na₂O)比值较大,其均值为1.32,釉中CaO含量较高,均值为7.97%,可以推断元代瓷釉配方中釉灰用量较大,CaO是釉的主要熔剂。由表2可知,它属于钙釉系

列中的钙—碱釉。

同第一阶段相比,第二阶段CaO/(K₂O+Na₂O)比值和CaO含量的均值较低,分别为0.84和5.8,显然釉灰用量减少。表2中所列的b值也低。按钙系釉的判别标准。仍属于钙—碱釉,但多数釉式的b值已更接近于碱—钙釉式的b值,甚至已有个别样品已进入碱—钙釉系列,说明了其变化趋势。值得注意的是,明初的洪武年间,其釉中的CaO/(K₂O+Na₂O)比值和CaO含量不仅低且非常稳定,似乎釉灰的用量已有

一个比较固定的标准。这对洪武朝瓷釉的质量起了非常重要的作用。但不知何故这一进步却没有被永、宣二朝继承。只是到了成化朝才有所恢复,随后的明后期各朝又未能继承,直到清代的康、乾时期,这一种低CaO高K₂O、Na₂O含量的釉才又有生产。这种只在某一时期能成功地生产,而在随后时期却得不到继承的现象在我国其它各名窑瓷胎、釉配方及烧制工艺中亦屡见不鲜。

到了明代后期和清初的第三阶段,其数据离散性大,例如32号嘉靖青花瓷釉的CaO含量达到了11.62%,而44号乾隆青花瓷釉仅为2.11%,这可能是由于随着烧成工艺水平的提高和瓷胎配方的改进,釉配方也进行着相应的调整和探索。

根据青花瓷釉配方的变化规律,依照判别函数的建立法则,以元、明、清为分界线,当引入与删除变量的F统计值为 $F_1 = F_2 = F_{0.05}(7, 36) = 2.28$ 时,可建立景德镇元、明、清青花瓷釉的判别函数 S_i 如下:

$$S_1 = 6.02CaO + 22.15K_2O + 25.79Na_2O + 10.83Mn - 100.35$$

$$S_2 = 5.99CaO + 25.06K_2O + 24.42Na_2O + 13.37Mn - 105.86$$

$$S_3 = 5.03CaO + 19.47K_2O + 18.72Na_2O + 9.99Mn - 67.42$$

对某一待判样品,它应属具有较高S值所对应的第*i*类(1—元代,2—明代,3—清代),该函数的有效性检验,即样品回代判别分析结果如下。

类别	样品数	正确判别样品数	正确判别率%
1类(元)	8	7	87.5
2类(明)	30	29	96.7
3类(清)	6	4	66.7

4 结 论

根据上述分析可以得出以下结论:

(1)根据景德镇历代青花瓷胎、釉化学组成的演变过程,基本上可划分元、明、清代三个阶段。

第一个阶段的元代青花瓷胎组成主要体现了高SiO₂和低Al₂O₃、CaO的特点,配方中高岭土用量少。釉配方中釉灰用量比较大,属钙—碱釉,CaO是釉的主要熔剂。

第二个阶段的明青花瓷胎基本沿袭了元青花瓷胎配方,Al₂O₃含量较低,只是在明代后期,少数样品Al₂O₃、SiO₂含量波动,呈过渡状态。而釉配方中的釉灰用量在明洪武和成化年间比元代减少,釉中碱金属氧化物的熔剂作用明显增加,其它各朝则处于波动时期,有高有低,数据离散性较大。

第三个阶段的清初青花瓷胎的组成同明代有一个较明显的界线,其配方中高岭土用量显著增加,但釉组成同明末一样波动大,这可能是由于随着烧成工艺水平的提高和瓷胎配方的改进,釉配方也进行着相应的调整和探索。

(2)根据样品的胎、釉化学组成所分别建立的景德镇青花瓷胎、釉判别函数如下:

瓷胎判别函数:

$$F(K_2O, CaO, Al_2O_3) = 5.37K_2O + 4.1CaO + 2.81Al_2O_3$$

当 $F(K_2O, CaO, Al_2O_3) < 85.1$ 时,判属元、明代;

当 $F(K_2O, CaO, Al_2O_3) > 85.1$ 时,判属清代。

瓷釉判别函数:

$$S_1 = 6.02CaO + 22.15K_2O + 25.79Na_2O + 10.83Mn - 100.35$$

$$S_2 = 5.99CaO + 25.06K_2O + 24.42Na_2O + 13.37Mn - 105.86$$

$$S_3 = 5.03CaO + 19.47K_2O + 18.72Na_2O + 9.99Mn - 67.42$$

对某一待判样品,它应属具有较高S值所对应的第*i*类(1—元代,2—明代,3—清代)。

以上正确判别率除个别低于70%外,其余均大于85%,最高达100%。综合其判别时效,可较明确地推断未知样品的所属朝代。

参 考 文 献

- 周仁,李家治,李国桢,潘文锦等. 钴土矿的拣选和青花色料的配制. 《景德镇瓷器的研究》,科学出版社,1958:71-81
- 陈尧成,张志刚,郭演仪. 历代青花瓷和着色料. 《中国古代陶瓷科学技术成就》,上海科学技术出版社,1985:300-332
- 李家治,张志刚,邓泽群,刘新园. 景德镇元代及明初官窑青花瓷的工艺研究. 《景德镇出土明初官窑瓷器》,鸿禧美术馆,台湾,1996:55-65
- 罗宏杰,李家治,高力明. 中国古瓷中钙系釉类型划分标准及其瓷釉研究中的应用. 《硅酸盐通报》,1995,2:50-53
- 周仁,李家治. 景德镇历代瓷器胎釉和烧制工艺的研究. 《硅酸盐》,1960,4:49-62