

隋代邢窑粗白瓷胎料配方研究

朱铁权¹, 王昌燧², 张尚欣³, 黄 烘⁴, 刘启龙⁵, 李 军⁵, 李恩玮⁵

(1. 中山大学 人类学系 科技考古实验室, 广东 广州 510275; 2. 中国科学院 研究生院 科技史与科技考古系, 北京 100039; 3. 秦始皇兵马俑博物馆, 陕西 西安 710600; 4. 中山大学 分析测试中心, 广东 广州 510275; 5. 河北省邢台市文物考古研究所, 河北 邢台 054000)

摘 要: 利用能量色散 X 射线荧光光谱仪与中子活化法两种分析方法, 对我国隋代邢窑的 15 种粗白瓷与粗青瓷标本以及 4 种不同地方制瓷原料进行分析测试。结果表明, 两种瓷胎的化学组成, 没有明显的差异, 推测两种瓷胎采用同一种制瓷原料; 同时粗白瓷胎与邢窑当地一种高铁钛、低铝的高岭土在主、微量元素的含量方面较为相近, 暗示当时窑工有可能采用这种原料直接作为胎料进行烧瓷。

关键词: 邢窑 粗白瓷; 中子活化 胎料配方

中图分类号: P575; K876.3

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2010)03-0313-06

The Recipe of the body of the coarse white porcelain from Xing Kiln of China's Sui Dynasty

ZHU Tie-quan¹, WANG Chang-sui², ZHANG Shang-xin³, HUANG Hong⁴, LIU Qi-long⁵, LI Jun⁵
and LI En-wei⁵

(1. Archaeometry Lab of Anthropology Department, Sun-Yat-Sen University, Guangzhou 510275, China; 2. Graduate College of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China; 3. Museum of the Terra-cotta Warriors of and Horses of Qin Shihuang, Xi'an 710600, China; 4. Instrumental Analysis & Research Center, Sun-Yat-Sen University, Guangzhou 510275, China; 5. Xingtai Municipal Archaeology Institute, Xingtai 054000, China)

Abstract: Historical literature and archaeological records show that white porcelains began to appear in North China during the period of the late Northern and Southern Dynasties (386~581). Xing Kiln was one of the most famous kilns to fire white porcelains at that time, and hence products of this kiln are valuable resources for exploring the origin of the white porcelain. Nowadays, most of the experts agree that the white porcelain was derived from the celadon, and they further point out that a series of technological innovations, such as the elaborate choice and treatment of porcelain materials, the adoption of huazhuangtu, the lower firing temperature and the thinner glaze must have played an important role in the appearance of the white porcelain. As far as the recipe of the body material is concerned, however, there exists controversy among experts. Some people hold that binary recipe or multi-recipe was applied to the body material at the very beginning, while others believe that the body material must have experienced the process from mono-recipe at the beginning to binary recipe or multi-recipe with the development of the porcelain firing technology. In this study, 15 pieces of coarse white porcelains and celadons from Xing Kilns and 4 kinds of porcelain materials were collected and analyzed by means of EDXRF and INNA, and the data were processed by softwares of SPSS and origin. The results indicate that

收稿日期: 2009-10-22; 修订日期: 2009-12-09

基金项目: 中国科学院创新工程(KJ9X-No.4); 中山大学大学社会科学青年基金(2007-11400-3171911)

作者简介: 朱铁权(1978-), 男, 博士, 讲师, 陶瓷考古专业, E-mail: zhutq@mail.sysu.edu.cn

there is little difference in chemical composition between the body of the coarse white porcelain and that of the celadon. It is hence concluded that the potters of Xing Kiln adopted the same kind of material for the body material of both coarse white porcelain and celadon. In addition, the body chemical composition of white porcelains, which includes major elements and trace elements, is very similar to that of local kaolin clay characterized by relatively high Fe, Ti and low Al, suggesting that the potters probably adopted this kind of material to fire the white porcelain. This study provides an important basis for probing into the recipe of body material of the white porcelain. Nevertheless, the problems as to whether kaolin clay with higher Fe, Ti and lower Al could be used as the mono-material to fire the white porcelain and how the ancient potters distinguished the mono-recipe from the multi-recipe remain to be solved in future. In our further work, therefore, more systematic samples should be collected and analyzed, and simulative firing should also be carried out. Only in this way can these problems be solved.

Key words: Xing Kiln; coarse white porcelain; NAA; recipe of body material

邢窑窑址位于今河北邢台市所辖的内丘县和临城县祁村一带,是我国烧制白瓷的最早窑厂之一(河北省邢窑研究组,1987)。邢窑的隋代粗白瓷大多白中泛黄泛青,具有明显的刚从青瓷蜕变而来的特征,是探讨白瓷起源及其相关问题的重要实物资料。目前,多数学者认为白瓷是在青瓷的工艺基础上发展演变而来,如化妆土的使用、原料的精挑细选、薄釉工艺等(河北省邢窑研究组,1987;陈尧城等,1990;赵宏等,1995;冯向前等,2002;杨爱玲,2004;薛冰等,2007)。也有学者通过实验证明邢窑隋代精细白瓷的胎料采用了二元或者多元配方,并且认为胎料配方的改变是白瓷出现与发展的一个因素(李家治等,1998)。那么,邢窑隋代粗白瓷相比粗青瓷,胎料是否发生改变,其原料配方是一元,还是多元,以及邢窑周边是否有可以用来烧制瓷胎的矿物原料?有关这些问题,国内外尚未见过详尽的报道。

目前,元素地球化学示踪法在文物产地与矿料

来源研究中得到了广泛的应用,解决了考古研究中许多重要问题(白峰等,2002;Wei Guofeng *et al.*, 2006;朱铁权等,2006)。本工作利用中子活化法(INAA)与能量色散X射线荧光(EDXRF)光谱法两种分析方法,对河北邢窑隋代9块粗白瓷进行了分析测试,同时选择本窑口相同时期6块青瓷以及陕西、河北等地不同种类的制瓷矿物原料进行对比研究,基于分析结果,对邢窑隋代粗瓷胎与周边矿物原料的化学组成关系进行了讨论,以揭示邢窑隋代粗白瓷胎的配方。

1 实验样品

本次实验所用15块瓷器标本,由邢台市文物考古研究所提供4种制瓷矿物原料分别采集于陕西铜川耀县、河北邢台祁村、河北邯郸峰峰等地。标本外观特征与考古背景列于表1。

表1 样品的外观描述及其考古学信息

Table 1 Appearance and archaeological background of different samples

编号	年代	产地	外观描述
HXT-1, HXT-3, HXT-4	隋	邢窑	白瓷, 釉色洁白, 胎呈土黄色, 有化妆土
HXT-5, HXT-6, HXT-12, HXT-16, HXT-23, HXT-24	隋	邢窑	白瓷, 釉白中泛灰, 胎呈青灰色, 有化妆土
HXT-27, HXT-28	隋	邢窑	青瓷, 釉呈青灰色, 灰白胎
HXT-29, HXT-30, HXT-31, HXT-32	隋	邢窑	青瓷, 釉呈青黄色, 土黄色胎
HBQ1		河北祁村	高岭土, 表面黑色, 层状
HBQ2		河北祁村	高岭土, 表面青灰色, 块状
HBF1		河北邯郸峰峰	高岭土, 表面青灰色, 块状
SYX1		陕西耀县	高岭土, 表面青灰色, 块状

2 实验方法

2.1 能量色散 X 射线荧光 (EDXRF) 光谱分析

对样品进行超声波清洗,以去除样品表面的污染物,烘干之后用于分析,实验在中山大学人类学系科技考古实验室进行,仪器为美国 EDAX Interna-

tional Inc. 的 EAGLE-III μ XXL 型能量色散型 X 射线探针。实验测试条件为: X 光管管压 40 kV, 管流 600 μ A, 真空光路, 光斑直径为 100 μ m, MnK α 处的分辨率 137.5 eV, 死时间约 20%, Version 3.0 的解谱软件进行样品定性定量分析。15 块陶瓷样品的定量分析采用陶瓷标样法, 4 种制瓷原料采用地质标样法, 分析结果如表 2 所示。

表 2 不同样品 EDXRF 定量分析结果

$w_B/\%$

Table 2 EDXRF analyses of different samples

编号	氧化物含量($w_B/\%$)						分子数以 Al_2O_3 为 1	
	Al_2O_3	SiO_2	K_2O	CaO	TiO_2	TFe_2O_3	SiO_2	R_xO_y
HXT-1	26.27	67.11	1.63	0.56	0.87	2.57	4.34	0.21
HXT-3	25.06	66.07	2.40	1.48	0.96	3.04	4.47	0.34
HXT-4	28.69	64.65	1.19	0.75	1.17	2.55	3.82	0.20
HXT-5	25.82	66.54	1.64	1.00	0.95	3.06	4.37	0.26
HXT-6	28.77	62.93	2.01	1.07	1.10	3.13	3.71	0.26
HXT-12	26.29	66.06	1.85	1.03	0.90	2.87	4.26	0.26
HXT-16	25.86	66.49	1.52	1.27	1.13	2.74	4.36	0.28
HXT-23	25.48	67.52	1.42	0.96	0.83	2.80	4.50	0.24
HXT-24	25.92	65.01	2.64	1.01	0.99	3.44	4.26	0.31
HXT-27	23.07	69.61	4.69	1.69	0.65	1.56	5.12	0.43
HXT-28	26.59	65.96	2.93	0.39	1.30	1.82	5.97	0.33
HXT-29	23.78	66.99	2.53	1.13	2.23	2.34	4.78	0.38
HXT-31	24.75	64.58	3.75	1.18	2.18	2.56	4.43	0.43
HXT-32	24.75	64.58	3.75	1.18	2.18	2.56	4.43	0.43
HBQ1	35.31	47.78	2.13	1.82	1.37	1.97	2.30	0.18
HBQ2	24.45	65.00	1.06	0.40	1.04	2.53	4.51	0.24
HBF1	27.82	61.46	2.16	0.56	1.54	2.14	3.75	0.25
SXY1	29.33	58.87	2.02	0.37	1.36	2.18	3.41	0.22

2.2 中子活化分析 (INAA)

先用碳化钨牙钻,磨去待测样品的内外表层的釉与化妆土,再用去离子水和毛刷清洗样品表面,最后放入无水酒精中进行超声波清洗,以清除埋藏环境对样品的污染。每个样品取约 0.5 g,在玛瑙研钵中小心粉碎、磨细至粒度约为 0.074 mm,封装后送检。需要说明的是, HXT-6 与 HXT-16 比较珍贵,不能进行有损分析,因此没有对它们进行分析测试。实验在中国原子能科学院进行,采用短照 INAA,选择两个已知含量的国家标准物质样品(GRS-9 与 GSR-11)与陶瓷样品一起测试,以便控制检测质量。表 3 是标样的真实含量与 INAA 分析数据的对比结果。该表显示,除个别样品的个别元素,因含量太低(接近检测限)致使误差较大外,其余测量值同标准值颇为吻合,表明测试数据可靠。实验共测了 23 个元素含量,包括 3 个主量元素、12 个微量元素以及 8

个稀土元素。由于标本的主量元素以 EDXRF 分析结果为准,因此表 3、表 4 仅列出 12 微量元素和 8 个稀土元素。

3 讨论

我国北方河南、河北、陕西、山西、山东各省都盛产质量较好的制瓷原料,各地区的叫法也不一样,有的称“大青土”,有的称“坩土”,有的亦称“瓷土”,实质上都是纯度不同的高岭土(郭演仪,1985)。这些高岭土大部分出产在煤区附近,多为二次沉积粘土,各类粘土所含杂质种类和数量也不一样,大体可分为两大类。一种是产于煤系中,但与煤层关系不是很密切,具有铁、钛等杂质含量较高($Fe_2O_3 + TiO_2 > 1\%$)、有机质低、高岭石含量低的特征($Al_2O_3 < 32\%$);另一种是产在煤层中间,与煤层关系密切,具

表3 标样参考值与中子活化分析的测试结果

Table 3 The comparative result of the certified value and INAA results of mass fractions of elements in 2 National Standards for rock and soil samples

试样	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Tb	Yb	Lu	As	Ba	Co	Cs	Hf	Rb	Sb	Sc	Ta	Th	U	Zn
C	60.5	113	48.2	7.74	1.91	0.68	1.56	0.24	0.38	1.915	15.6	0.97	5.22	71.1	0.06	10.6	0.62	11.0	1.42	85.3
GSR-9	58.24	112.7	48.2	7.74	1.92	0.62	1.53	0.26	/	1.855	15.5	1.0	5.65	77.4	0.05	10.8	0.64	11.2	1.39	86.2
(C-M)/M	-3.7	-0.3	0.0	0.0	0.5	-8.8	-1.9	8.3		-3.1	-0.6	3.1	8.2	8.9	-83.3	1.9	3.2	1.8	-2.1	1.1
C	82.3	164	64.7	11.6	1.18	1.52	4.48	0.67	0.28	508	2.45	3.35	10.8	215.	0.39	5.22	2.41	27.2	4.85	86.4
GSR11	77.40	148.7	63.7	11.6	1.07	1.38	4.76	0.66	/	467	1.87	3.07	10.06	218	0.34	4.86	2.32	26.7	4.96	87.7
(C-M)/M	-6.0	-9.3	-1.5	-9.3	-9.2	6.2	-1.5			-8.1	-23.7	-8.4	-6.9	1.4	-7.7	-6.9	-3.7	-1.8	2.3	1.5

C—标称值; M—测量值。

表4 不同样品中子活化分析数据

Table 4 INAA analyses of different samples

样品	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Tb	Yb	Lu	δEu	ΣREE	HRRE/LREE	As	Ba	Co	Cs	Hf	Rb	Sb	Sc	Ta	Th	U	Zn
HXT-1	64.29	123.90	53.78	9.30	1.79	1.04	3.99	0.59	0.58	258.67	45.06	1.55	407.00	6.75	66.85	5.91	9.61	74.98	0.51	17.15	1.70	23.58	4.82
HXT-3	70.21	145.40	58.92	10.60	1.83	1.40	5.54	0.79	0.47	225.52	28.17	2.29	454.60	5.72	52.17	6.60	9.76	93.69	0.62	15.74	2.40	27.70	4.55
HXT-4	91.16	175.80	70.84	12.69	2.42	1.49	5.64	0.76	0.56	271.04	33.34	1.21	404.40	8.93	78.75	7.67	9.66	88.81	0.61	20.19	1.95	27.15	5.04
HXT-5	65.55	131.10	59.12	10.04	1.76	1.29	5.15	0.75	0.49	210.69	28.32	2.00	409.60	5.49	78.16	6.09	9.52	80.48	0.55	16.97	2.17	25.14	4.35
HXT-12	71.69	140.70	61.58	10.65	1.75	1.27	5.45	0.73	0.48	223.41	29.02	1.66	454.00	6.37	55.62	6.00	10.43	91.89	0.46	15.91	2.16	25.97	4.70
HXT-23	71.96	142.30	57.45	10.54	1.73	1.32	5.61	0.81	0.46	221.03	27.58	1.21	454.10	5.77	45.05	6.67	9.71	91.77	0.52	15.01	2.39	27.09	4.59
HXT-24	73.78	153.30	64.39	11.91	2.14	1.26	5.32	0.66	0.55	240.30	32.19	0.90	527.80	3.61	67.41	6.94	9.96	103.4	0.48	18.67	1.89	25.08	4.44
HXT-27	60.62	120.50	49.98	9.08	1.78	1.07	3.84	0.56	0.57	188.06	33.43	1.09	433.60	2.03	50.57	5.93	7.45	94.11	0.35	14.41	1.19	17.07	5.18
HXT-28	58.60	116.00	51.53	8.72	1.80	1.03	3.74	0.52	0.60	184.40	33.91	0.86	437.50	2.14	52.16	5.95	7.22	97.77	0.36	14.06	1.13	16.49	4.82
HXT-29	74.08	146.80	65.83	11.28	1.79	1.40	5.81	0.78	0.45	234.73	28.35	1.96	479.90	5.36	60.94	6.71	10.28	97.77	0.49	15.73	2.20	25.87	4.58
HXT-31	75.06	136.80	57.45	10.37	1.97	1.20	4.31	0.61	0.56	214.11	34.00	4.86	527.20	4.08	74.96	7.26	10.20	100.9	0.52	19.17	1.92	25.50	4.56
HXT-32	73.59	151.60	65.42	12.10	2.13	1.30	4.89	0.69	0.54	239.33	33.79	1.67	383.90	5.99	51.08	5.94	8.57	77.40	0.38	16.91	1.58	22.06	4.95
HBQ-1	62.06	116.50	60.58	12.36	2.24	1.78	10.66	1.44	0.48	206.86	13.91	1.98	275.70	13.11	73.09	7.49	11.10	61.25	2.89	28.62	2.45	43.31	11.8
HBQ-2	46.12	91.74	38.01	6.46	1.20	0.84	4.20	0.58	0.52	144.81	24.74	0.69	363.50	7.02	62.97	5.78	8.08	65.93	0.31	15.90	1.53	22.29	4.07
HBF-1	44.27	81.19	29.71	6.42	1.39	0.90	4.10	0.61	0.58	125.16	21.31	7.10	329.60	4.79	113.1	7.57	9.28	99.05	0.87	24.22	1.92	24.08	5.61
SXY-1	76.51	133.80	51.87	8.33	1.51	1.04	3.59	0.55	0.51	201.59	37.94	2.55	319.20	10.34	99.78	9.29	6.55	110.1	0.46	20.15	1.80	25.36	4.69

$w_B/10^{-6}$

$w_B/10^{-6}$

有铁、钛元素和有机质含量低($Fe_2O_3 + TiO_2 < 0.8\%$)呈蠕虫状的高岭石含量较高的特点($Al_2O_3 > 35\%$)(方邨森等,1990)。从表 2 的分析结果来看,邢窑早期白瓷与青瓷的胎主量元素的化学组成差异不大,其外观的差异推测与施釉、烧制等工艺过程有关(薛冰等,2007)。为了更好地比较瓷胎化学组成与制瓷原料的关系,我们利用氧化物分子式绘制了摩尔数散点图(图 1)。图 1 显示 SiO_2 的量在 3.17~5.97 mol 之间,助熔剂的量在 0.20~0.43 mol 之间,这一特点与表 2 粘土中 HBQ2、HBF1、SXY1 的氧化物分子式颇为相似。粘土 HBQ1 处于图中的左下角,表明其氧化铝的含量较高,而助熔剂的含量相对较低,与早期瓷胎的化学组成明显不同。由此可见,邢窑隋代白瓷胎与我国北方高铁钛、低铝类的高岭土在主量元素化学组成上较为相似。

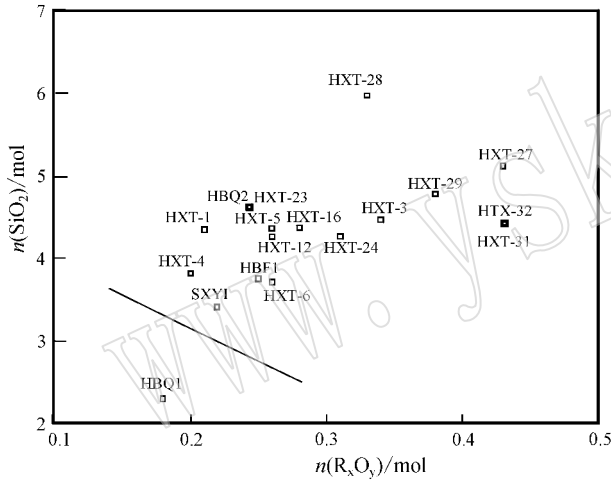


图 1 瓷胎及周边制瓷原料 SiO_2 与助熔剂摩尔数的散点图

Fig. 1 Scattering diagram of atomic concentration of SiO_2 and flux in different samples and porcelain clays

样品的稀土元素经 Leedy 球粒陨石标准化处理后(陈道公等,1994),利用 origin 作图软件,对样品稀土元素的分布模式作图。图 2 显示,瓷胎的稀土元素分布型式并没有一个统一的变化趋势,同时 $\sum REE$ 、 δEu 、LREE/HREE 等方面也没有集中在一个狭小的范围内,这可能与北方不同种类高岭土稀土元素产地特征不是很明显有关。图 3 是样品 12 种微量元素的聚类分析图,从图中可以看出,当阈值 $\lambda = 12$ 时,可将所有样品分为两大类。其中,HBQ-2 与所有瓷胎样品聚为一类,而另外 3 种制瓷粘土样品聚为一类。在此基础上,根据上述 12 种微量元

素对样品进行了因子分析,提取了 3 个因子($F_1: 46.572\%$, $F_2: 21.264\%$, $F_3: 14.135\%$, 累计 81.97%)。图 4 为根据 3 个因子所做的散点图,图中显示样品 HBQ-2 落入所有瓷胎样品所在的范围内,在很大程度上暗示当时窑工有可能采用当地的这种原料作为单一的胎料进行烧瓷。

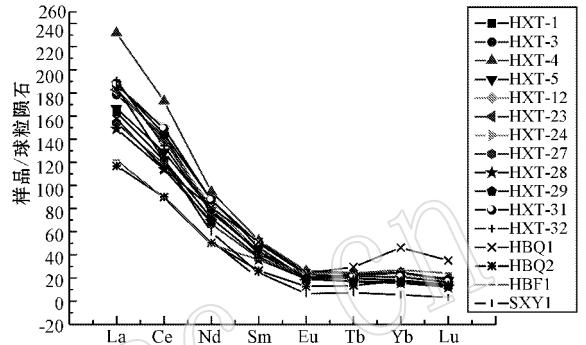


图 2 邢窑不同样品瓷胎以及 4 种瓷土原料的稀土元素配分模式

Fig. 2 Rare earth element distribution patterns of different samples from Xing kiln and four kinds of porcelain clays

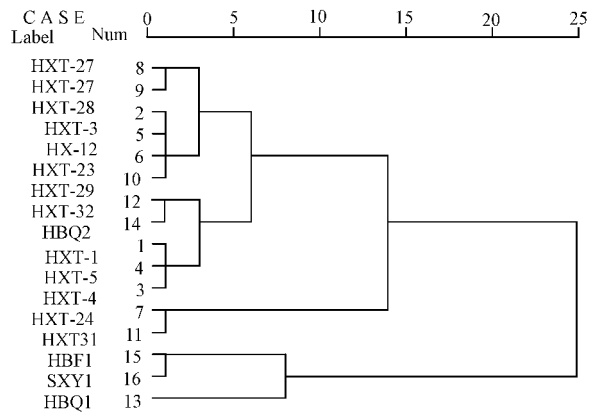


图 3 样品瓷胎与制瓷原料微量元素的聚类分析图
Fig. 3 Hierarchical cluster analysis dendrogram based on 36 trace elements in samples

4 结论

(1) 在胎料的选择上,邢窑隋代粗白瓷与青瓷没有显著的变化,其外观上的差异推测与施釉、烧制等工艺过程不同有关。

(2) 邢窑隋代粗白瓷胎与当地的一种高岭土在主、微量元素的含量上较为相近,暗示当时窑工

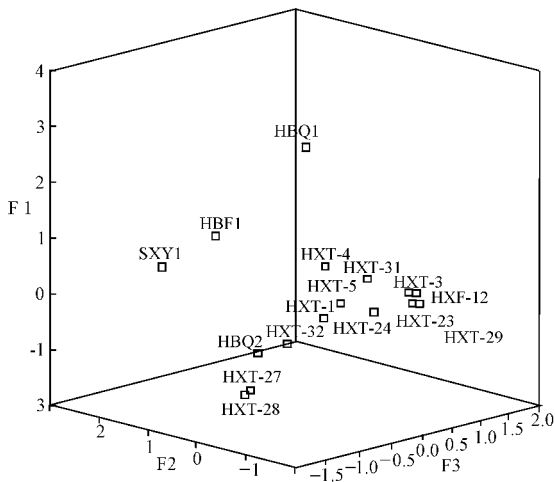


图4 样品瓷胎与制瓷原料微量元素的散点图

Fig. 4 Scatter plot of first three principal components based on 36 trace elements in samples

有可能采用这种原料作为单一的胎料进行烧瓷,即早期白瓷胎料属一元配方。但是,这种原料是否可以作为单一的胎料进行烧瓷,以及对于古代的样品如何进行胎料一元与多元配方的区分,还需采集更多的瓷器标本,并对大量的不同产地的高岭土进行系统分析测试,同时结合模拟实验等方法才能得以解决。

References

- Bai Feng and Wu Ruihua. 2002. Position of Hetian Jade in ancient jade-ware of China[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 21(Supp.): 8~12 (in Chinese with English abstract).
- Chen Daogong, Zhi Xiachen and Yang Haitao. 1994. *Geochemistry* [M]. Hefei: Press of University of Science and Technology of China, 208 (in Chinese).
- Chen Yaocheng, Zhang Fukang, Zhang Zhizhong, et al. 1990. The study on the fine white porcelain from Xing Kiln[J]. *Journals of Institution of Ceramic Jingdezhen*, (1): 11 (in Chinese).
- Fang Yesen, Fang Jinman and Liu Changrong. 1990. *Mineral Material of Ceramic in China*[M]. Nanjing: Nanjing University Press, 8~26 (in Chinese).
- Feng Xiangqian, Feng Songlin, Xu Qing, et al. 2002. Analysis of ancient fine white porcelains by SRXRF and preliminary study of the discriminat-ing criteria[J]. *Nuclear Techniques* (10): 827~831 (in Chinese).

- Guo Yanyi. 1985. *The porcelain material in China*[A]. *The Achievement of Science & Technology of Chinese Ceramic*[C]. Press of Science and Technology of Shanghai, (12): 285~300 (in Chinese).
- The Work Team of Xing Kiln of Hebei Province. 1987. *The study on the technology of porcelain from Xing Kiln*[J]. *Hebei Ceramic* (2): 6~26 (in Chinese).
- Wei Guofeng, Qin Ying, Hu Yali, et al. 2006. Determining foundry area of bronze vessel using REE in clay mould residues[J]. *Journal of Rare Earths*, 24(4): 497~502.
- Xue Bing, Zhu Tiequan and Pan Weibin. 2007. Study of the porcelain unearthed in Lingzhi Kiln at Anyang, Henan Province[J]. *Cultural Relics of Central China*, (6): 100~104 (in Chinese).
- Yang Ailing. 2004. *Origin and development of white porcelain*[J]. *Zhongyuan Wenwu*, 4: 71~75 (in Chinese).
- Zhao Hong. 1995. Study on the white porcelain in a period from Northern Dynasty to Su[J]. *Taoci Yanjiu*, 6: 108~111 (in Chinese).
- Zhu Tiequan, Wang Changsui and Li Yan. 2006. The chemical characteristics of body of the Qingbai Wares from different kilns by ICP-AES[J]. *Rock and Mineral Analysis*, 42(3): 44~46 (in Chinese).

附中文参考文献

- 白峰, 吴瑞华. 2002. 和田玉在中国古玉器中的地位[J]. *岩石矿物学杂志*, 21(增刊): 8~12.
- 陈道公, 支霞臣, 杨海涛. 1994. *地球化学* [M]. 合肥: 中国科学技术出版社, 208.
- 陈尧城, 张福康, 张志中, 等. 1990. 邢窑隋唐细白瓷研究[J]. *景德镇陶瓷学报*, (1): 11.
- 方邨森, 方金满, 刘长荣. 1990. *中国陶瓷矿物原料* [M]. 南京: 南京大学出版社, (3): 8~26.
- 冯向前, 冯松林, 徐清, 等. 2002. 河北三大白瓷名窑精细白瓷的 SRXRF 无损分析及界定标准的初步研究[J]. *核技术* (10): 827~831.
- 郭演仪. 1985. *中国制瓷原料* [A]. *中国古代陶瓷科学技术成就* [C]. 上海科学技术出版社, (12): 285~300.
- 河北省邢窑研究组. 1987. *邢窑工艺技术研究* [J]. *河北陶瓷*, (2): 6~26.
- 李家治. 1998. *中国陶瓷科学技术史的五个里程碑与三大技术突破* [A]. *中国科学技术史·陶瓷卷* [C]. 北京: 科学出版社, 1~16.
- 薛冰, 朱铁权, 潘伟斌. 2007. 河南安阳灵芝窑出土瓷器的分析研究[J]. *中原文物* (6): 100~101.
- 杨爱玲. 2004. *白瓷的起源与发展* [J]. *中原文物*, (4): 71~75.
- 赵宏. 1995. *北朝、隋代白瓷考* [J]. *陶瓷研究*, (6): 108~111.
- 朱铁权, 王昌燧, 李艳. 2006. 不同窑口青白瓷胎化学元素特征 [J]. *岩矿测试*, 25(2): 144~119.