



# 临水窑白底黑花瓷器的工艺演变\*

◆ 胡彩虹

◆ 陈岳

◆ 朱剑

◆ 张林堂

◆ 王昌燧

(中国科学院古脊椎动物与古人类研究所人类演化实验室)

(中国科学院研究生院人文学院科技史与科技考古系)

(河北峰峰矿区文物保管所)

(中国科学院古脊椎动物与古人类研究所人类演化实验室)

(中国科学院研究生院人文学院科技史与科技考古系)

**摘要:** 临水窑是磁州窑系中重要的窑口,在中国古代北方窑业发展和演变的历史上,有着举足轻重的地位。本文较为系统地分析了宋代、金代、元代时期临水窑白底黑(褐)花样品的物理性质、显微结构、化学成分等信息,探讨了临水窑宋、金、元白底黑花瓷器的工艺特点及其演变规律。结果表明:临水窑各年代白底釉下彩绘样品在胎与釉之间均施有化妆土;同时宋金时期样品化妆土的厚度整体略高于元代样品,且厚度相对均匀;成分分析表明,临水窑样品化妆土具有高 K 低 Na 特点,而不同年代的化妆土成分略有变化。总体说来,宋金时期的烧制工艺高于元代。

**关键词:** 磁州窑,临水窑,化妆土,制作工艺,SEM-EDS

**Abstract:** This paper introduced physical properties, microstructure, chemical composition of white with black painted wares of Linshui kiln in Song, Jin, Yuan periods, discussing the technique characteristic and the route of developing. It was showed that mask clay had been used between body and glaze of porcelain samples and the thickness of mask clay in Song and Jin periods is a little higher than the case of Yuan period. The composition of mask clay was characterized with high K and low Na, and variation with age. The results supported that the producing technique of porcelain manufacture in Song, Jin periods is better than the case of Yuan period.

**Key words:** Cizhou Kiln; Linshui Kiln; Mask clay; technique; SEM-EDS

## 一、引言

磁州窑从北宋开始,由白瓷向彩瓷过渡时,逐渐形成了白底黑花的装饰风格,在陶瓷界产生了颇为深远的影响。当时,磁州窑已成为我国北方最大的窑场,其技艺传播至大江南北,结果在河南、河北、山西和山东等地形成了一个以磁州窑装饰风格为主要特点的、庞大的陶瓷生产体系<sup>①</sup>。

长期以来,对于磁州窑的研究,人们多以观台窑、彭城窑的瓷器入手,探讨了它们的绘画特点、装饰工艺和器型特征等,业已取得一些成果<sup>②</sup>。

2002年5月,临水镇三工区的建设工地发现了古窑址(临水窑),发掘出土了三万余枚(>30000)瓷器残片,其品种包括化妆白瓷、刻花、划花、白地黑花、红绿彩、白釉印花、青釉印花等。与此同时,清理了唐代窑残基一座、料池12个,

出土青瓷片403枚以及10多枚唐“开元通宝”铜钱。这次发现,使人们对磁州窑的规模和影响有了全新的认识,被誉为磁州窑考古之重大突破和重大发现<sup>③④</sup>。

宋金元时期,磁州窑的烧造活动达到高峰,形成了滏阳河、漳河流域两大烧制中心和临水、彭城、观台三大窑场。临水窑的创烧年代至迟可追溯到隋唐时期,其黑白釉、化妆土和护胎釉的施用,皆首开磁州窑的先河,极大地提高和丰富了古磁州窑系的烧造工艺,推动了磁州窑的发展。目前普遍认为,临水窑是古磁州最早的瓷器烧造中心,而彭城、观台两窑均是受其影响而发展起来的。由此可见,对临水窑产品的分析和研究,将具有十分重要的意义<sup>⑤⑥</sup>。

长久以来,临水窑一直不为世人所知。近来偶有学者提及该窑,但均语焉不详<sup>⑦</sup>。鉴于临水窑的重要性,相关研究较少,科技分析几无,在河北省邯郸市考古所等单位的合作

\* 本项目得到中科院知识创新方向性项目(KZCX2-YW-Q1-04)和国家自然科学基金面上项目(10979075)资助。

和帮助下,我们从峰峰矿区临水窑出土瓷片中,选取了11枚宋、金、元年代的白底黑(褐)花样品,采用多种方法,从物理性质、显微观察、成分分析等方面,对上述样品进行了系统的对比研究。

## 二、实验部分

### 1. 样品描述

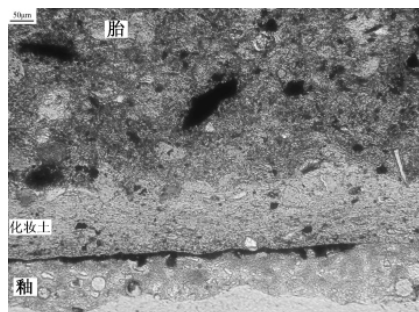
选取临水窑白底黑(褐)花瓷片样品共计11枚,其中宋代2枚,金代3枚,元代6枚。表一是分析样品的具体信息。

### 2. 实验方法

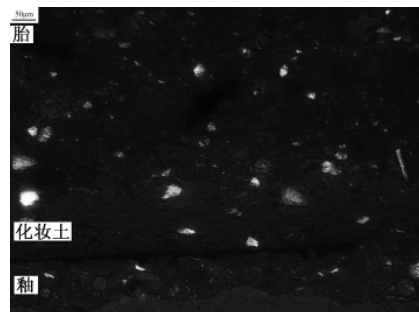
从样品横断面切割3mm左右的样品,分别制成0.5mm和0.03mm标准厚度的反光片和超薄光片(透光片)。使用KEYENCE公司生产的VHX-600显微镜及Olympus公司生产的BX51偏光显微镜观察样品的显微结构。

选取7枚样品,将其制成4×4×10mm<sup>3</sup>的长方柱,打磨各个表面,使其相对两表面平行且表面平整,经超声波清洗,并烘干后,置于德国Netzsch公司生产的DIL-402C型热膨胀仪中测定其热膨胀系数。测试条件为氮气环境,升温速度为5℃/min,量程为500μm。采用仪器的配套软件Netzsch Proteus-Thermal analysis进行数据处理,获得样品的原始烧成温度。

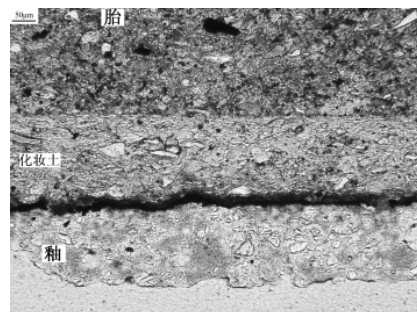
扫描电镜(SEM-EDS)测试分析在中科院古脊椎动物与古人类研究所古脊椎动物进化系统学重点实验室进行,测试仪器为日本日立(Hitachi)公司生产的S-3700型扫描电子显微镜。分析采用背散射模式(BSE),其分辨率为4.0nm,低真空,工作电压为25kV。该电镜配有美国牛津公司生产的INCA X-act型能谱仪,用于分析样品的化学成分。选取10枚样品,将样品用切割机切下约2~3mm的薄片,用德国进口细砂纸打磨薄片两面,经超声波震荡清洗后,再用酒精清洗、晾干。3个样品为一组,用导电胶将其粘在载样台上,用日产吸耳球处理样品表面的灰尘,再将载样台固定,推入电镜内进行测试。采集数据时,将BSE图与反光片图片对应起来,在样品瓷胎、瓷釉、化妆土每个部位进行2~3个区域扫描,然后进行数据平均,得出每个样品胎、釉、化妆土元素成分的平均数值。



图一 样品 H11 的岩相 (×200)



图二 样品 H11 的岩相 (偏光×200)



图三 样品 T3-2 的岩相 (×200)

表一 临水窑样品的信息

样品编号	烧造时间	出土地点	样品特征		胎的特征	釉面特征
			内侧	外侧		
H3	宋	河北省邯郸市峰峰矿区临水镇	素胎	白底黑彩	黄、粗糙	有光泽,有细裂纹
H11	宋		素胎	白底黑彩	黄、粗糙	有光泽、有细裂纹
T3-2	金		白底褐彩	黑釉	黄、粗糙	光滑,有黑点、细裂纹
T3-3	金		白底褐彩	灰白釉	黄、粗糙	光滑、有凹凸小点
T3-7	金		素胎	白底黑彩	灰黄、粗糙	光滑,有小黑点、杂色
H19 盆	元		白底褐彩	褐釉	黄、粗糙	光滑、有裂纹
H4-A	元		白底黑彩	素胎	黄、粗糙	光滑、有裂纹、小黑点
H19	元		白底褐彩	黑釉	黄、粗糙	有光泽、有破损、裂纹
H16	元		白底褐彩	褐釉	黄、粗糙	光滑、有裂纹
H22	元		白底褐彩	白釉	黄、粗糙	光滑、有小点、裂纹
H23	元		白底褐彩	褐釉	黄、粗糙	光滑、有裂纹

表二 临水窑样品的烧成温度

样品编号	烧成温度(℃)	样品编号	烧成温度(℃)
H3	1285.7	H4-a	-
H11	1225.4	H19	-
T3-2	1244.1	H16	1233.5
T3-3	1131.3	H22	1196.6
H19 盆	-	H23	1182.1

## 三、研究结果及讨论

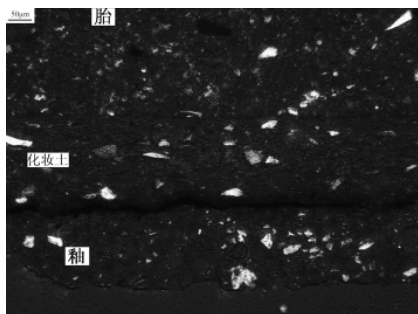
### 1. 物理性能分析

烧成温度是反映陶瓷物理性能的重要指标。表二为临水窑样品的原始烧成温度数据。测试数据表明,宋代和金代样品的原始烧成温度相近,略高于元代样品。

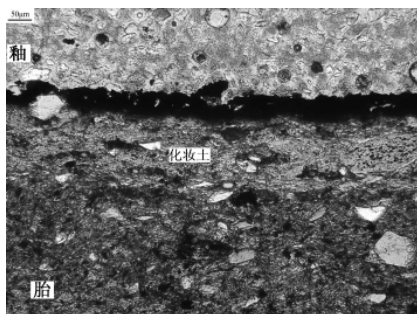
### 2. 显微观察

临水窑样品的显微照片显示,所有样品均为釉下彩,且它们的釉与胎之间,均施有一层化妆土。不过,不同时期的样品,其显微结构在釉与化妆土、化妆土与胎之间的结构有所不同。

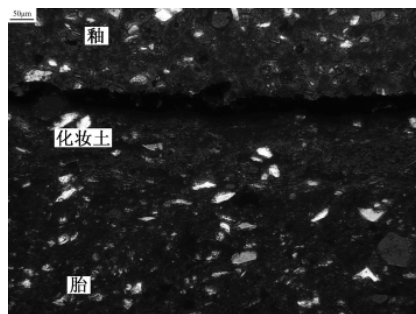
宋代 H3 和 H11 样品(图一、二、七),表面施有半透明釉。釉厚分别约为100μm、120μm,釉层内有少量未熔融石



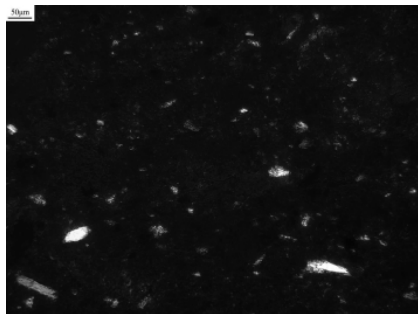
图四 样品 T3-2 的岩相 (偏光×200)



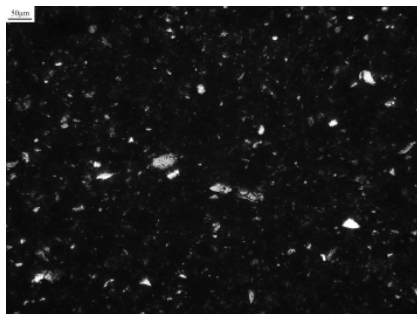
图五 样品 H4-A 的岩相 (×200)



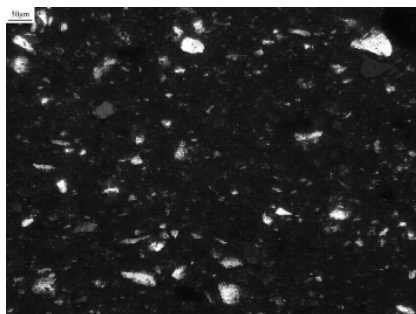
图六 样品 H4-A 的岩相 (偏光×200)



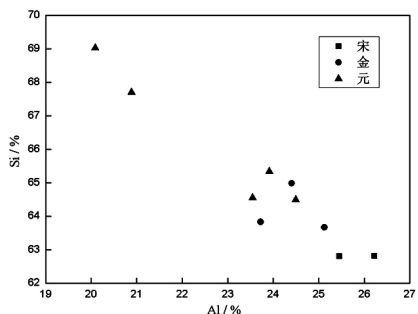
图七 样品 H11 (胎) 的岩相 (偏光×200)



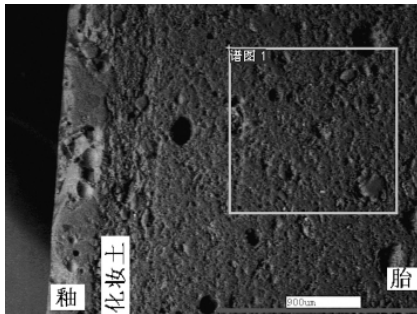
图八 样品 T3-2 (胎) 的岩相 (偏光×200)



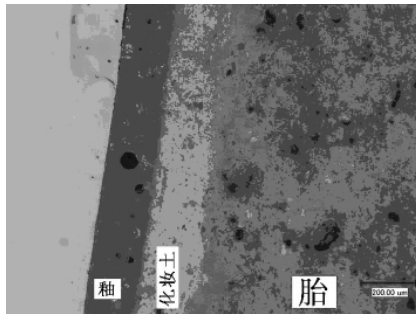
图九 样品 H4-A9 (胎) 的岩相 (偏光×200)



图一〇 临水窑瓷胎的 Si、Al 分布图



图一一 样品 H19 的 SEM 背散射电子像 (×75)



图一二 样品 H19 的反光片 (×200)

英颗粒和少量气泡;其化妆土颇为细腻,有少量未熔石英颗粒,厚度基本相同,皆约为  $180\mu\text{m}$  左右;胎中亦有未熔石英颗粒和莫来石晶体。部分石英的颗粒度约在  $40\sim 50\mu\text{m}$  之间。

金代 T3-2、T3-3 和 T3-7 样品(图三、四、八)表面施有半透明釉,釉厚约在  $120\sim 200\mu\text{m}$  之间,釉层内有少量未熔石英颗粒和少量气泡;其化妆土颇为细腻,有少量未熔石英颗粒,厚度约在  $180\sim 200\mu\text{m}$  之间,胎内有未熔石英颗粒和莫来石晶体,石英颗粒度大多约小于  $15\mu\text{m}$ ,仅极少数约达  $40\mu\text{m}$  左右。

元代的 6 枚样品(图五、六、九)表面亦施有半透明釉,釉厚约在  $110\sim 300\mu\text{m}$  之间,有大量未熔的石英大颗粒;化妆土内未熔的石英颗粒亦较大、较多,其厚度约在  $110\sim 200\mu\text{m}$  之间;胎内的未熔石英颗粒同样较多、较大,大多约在  $50\mu\text{m}$  以上。

宋金两代样品的化妆土层厚度均匀,其釉与化妆土、化妆土与胎之间的界线清晰,虽然元代样品釉与化妆土之间的界线亦颇清晰,但其化妆土与胎之间的界线不够清晰,且

化妆土的厚度不甚均匀。

宋金两代样品化妆土的质地较为细腻,颗粒度较小,未熔颗粒和杂质较少,暗示宋金两代样品的化妆土曾经过筛选或淘洗,陶工注意掌握化妆土的施加工艺,使化妆土的厚度基本保持均匀。相比之下,元代样品化妆土层的厚薄不一、颗粒较为粗大、杂质也较多,表明元代磁州窑的制作工艺略显粗糙,质量也有所退步。

胎体的显微结构分析表明,宋金年代样品的胎体颗粒度相近,严格说来,金代样品的颗粒度更小。元代样品的原料似乎未经淘洗,致使其颗粒度较大,未熔颗粒和杂质较多。这一结果同样表明元代样品在工艺上的落后,质量上的退步。

### 3. SEM-EDS 分析

表三为临水窑不同年代样品瓷釉、化妆土、瓷胎的化学成分图表。图一一和图一二为 SEM-EDS 分析示意图。

瓷釉分析的结果表明:根据李家治先生等建议的釉系类型划分标准可知:钙釉  $b \geq 0.76$ ; 钙-碱釉  $0.76 > b \geq 0.50$ ; 碱-钙釉  $0.50 > b$ 。经计算可得宋代 H3、H11 样品



表三 临水窑样品瓷釉、化妆土、瓷胎元素组成

(单位:wt%,y 表示釉,h 表示化妆土,t 表示胎)

样品编号	年代	分类	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe	Ti
			%	%	%	%	%	%	%	%
H3	宋	y	1.22	1.11	15.86	66.22	6.82	7.75	0.74	0.30
		h	0.80	0.19	32.77	55.60	5.08	1.83	2.00	1.62
		t	0.38	0.21	26.23	62.83	4.62	0.46	3.23	2.06
H11	宋	y	1.46	0.83	12.15	68.68	11.22	4.23	1.01	0.42
		h	0.77	0.30	31.76	55.67	5.77	2.01	2.16	1.58
		t	0.59	0.40	25.45	62.81	3.50	1.34	3.99	1.88
T3- 2	金	y	2.24	0.26	14.21	67.57	8.69	4.78	1.14	1.12
		h	1.17	0.21	28.43	58.72	5.77	1.51	2.28	1.93
		t	0.81	0.36	23.73	63.84	4.01	1.50	3.93	1.84
T3- 3	金	y	3.45	0.38	15.42	67.91	6.64	5.27	0.90	0.05
		h	1.48	0.15	32.23	55.77	5.37	1.34	2.21	1.44
		t	0.73	0.20	25.12	63.67	2.84	1.67	3.87	1.90
T3- 7	金	y	1.57	0.48	15.34	65.58	7.84	7.34	1.34	0.53
		h	0.50	0.11	28.87	60.63	5.26	1.30	1.62	1.70
		t	0.54	0.32	24.41	64.99	4.31	0.67	2.92	1.86
H4- a	元	y	3.12	0.52	15.65	66.70	7.78	4.77	0.94	0.51
		h	1.42	0.38	28.41	57.88	5.69	1.38	2.48	2.37
		t	0.81	0.33	20.09	69.03	3.22	1.25	3.56	1.70
H19	元	y	1.84	0.81	12.92	71.41	7.31	5.22	0.41	0.09
		h	1.17	0.32	25.58	61.63	6.00	2.06	1.56	1.69
		t	0.65	0.30	20.89	67.71	3.76	0.75	4.63	1.32
H16	元	y	2.65	0.30	14.58	68.65	7.66	4.76	1.15	0.28
		h	1.45	0.18	32.39	55.78	4.64	1.50	2.27	1.80
		t	0.69	0.28	24.49	64.50	2.69	1.21	3.64	2.49
H22	元	y	3.78	0.42	15.64	67.53	5.99	5.61	0.83	0.21
		h	1.21	0.11	29.59	59.24	3.88	2.31	1.77	1.89
		t	0.51	0.29	23.91	65.34	2.90	1.21	3.84	1.99
H23	元	y	1.69	0.76	15.78	66.44	7.24	7.05	0.84	0.22
		h	0.81	0.15	32.89	55.75	5.08	2.18	1.40	1.76
		t	0.55	0.22	23.55	64.56	4.13	1.77	3.51	1.71

的 b 值分别为 0.64、0.4；金代样品 T3- 2、T3- 3、T3- 7 的 b 值分别为 0.41、0.45、0.57；元代样品 H4- a、H19、H16、H22、H23 瓷釉的 b 值分别为 0.42、0.51、0.43、0.47、0.58。其中 H3、T3- 7、H19、H23 属于钙 - 碱釉，H11、T3- 2、T3- 3、H4- a、H16、H22 属于碱 - 钙釉。总体说来，这里分析的临水窑样品皆为钙 - 碱釉或碱 - 钙釉，属于钙 - 碱釉的 4 枚样品，除

H3 的 b 值较高外，其余皆低于 0.6，表明它们即使属于钙 - 碱釉，其碱金属的含量也相对较高。以往的分析将磁州窑的瓷釉归于钙 - 碱釉一类，现在看来，临水窑相当部分白底黑（褐）花的瓷釉为碱 - 钙釉，这应该我国最早的碱 - 钙釉。以往的分析还指出，磁州窑瓷器的瓷釉极薄，一般在 0.15~0.3mm 之间，这与本文的分析结果完全一致<sup>⑩</sup>。采用

钙-碱釉,甚至碱-钙釉制备这种极薄的釉层,是有意而为,还是仅与瓷釉原料相关,目前还不得而知,拟在今后作更深入的探讨。

瓷胎分析的结果(表三与图一〇)表明:宋代H11、H3样品瓷胎的Al含量分别为26.23%、25.45%,金代T3-2、T3-3、T3-7、样品瓷胎的Al含量分别为23.73%、25.12%、24.41%,元代样品H4-a、H19、H16、H22、H23瓷胎的Al含量仅为20.09%、20.89%、24.49%、23.91%、23.55%。相比之下,宋代样品瓷胎的Al含量稍高于金代样品,而元代样品瓷胎的Al含量整体低于宋、金年代样品。各年代样品瓷胎中Fe的含量较高,在2.92~4.63%之间,各年代样品Fe的含量变化不大,与以往的研究认识一致<sup>⑪⑫⑬</sup>。

表三显示,元代不同样品瓷胎所含各种氧化物的含量十分接近,差别甚微。总的说来,其Al含量低于宋、金两朝样品的相应含量。人们知道,瓷胎的Al/Si越高,烧成温度也高,反之亦然。热膨胀法测定的原始烧成温度数据表明,元代样品的烧成温度整体上略低于宋、金时期样品的烧成温度,显然,这与其瓷胎Al/Si较低有一定联系。纵观临水窑各时期的样品,其胎色普遍发黄,质地相对粗糙,元素分析也发现,其瓷胎呈色元素Fe的含量相对偏高,难以直接烧成理想的白瓷。为提高磁州窑瓷器的白度,增强白底黑(褐)花的效果,临水窑工匠在所制瓷器的釉、胎之间,施了一层化妆土,有效地提高了瓷器白釉的白度,改善了其外观。

化妆土分析的结果如表3所示。总体说来,磁州窑化妆土中的K、Al含量普遍高于胎中的相应含量;呈色元素Fe的含量明显低于胎中的相应含量,Na含量与胎中含量接近。这一结果表明临水窑的化妆土是一种高K、低Fe原料。宋、金两代样品中,除T3-2化妆土的Ti含量稍高于胎外,其余样品化妆土所含的Ti含量均低于胎中的含量;元代5个样品中,两个样品化妆土的Ti含量低于胎的相应含量,其余3个样品的Ti含量高于胎内。这一结果暗示宋金时期化妆土的处理较之元代更为精细。

#### 四、结 论

综上所述,可得结论如下:

1. 宋金年代临水窑白底黑(褐)花瓷器的烧成温度,总体上高于元代的相应瓷器,而它们胎内的Al含量,也明显高于元代的相应产品,由此可见,宋金两代临水窑的烧制工艺高于元代。
2. 宋、金、元时期,所有临水窑样品的瓷釉,皆含有较多的碱金属,其瓷釉属于钙-碱釉或碱-钙釉,这是我国最早的碱-钙釉,值得引起注意。
3. 宋、金、元时期,所有临水窑样品瓷胎中,Fe的含量都偏高,它是临水窑样品皆施以化妆土的主要原因。
4. 临水窑化妆土中K、Al的含量高于胎中K、Al的含量,Fe的含量低于胎中的含量,宋金时期化妆土中Ti的含量整体低于胎内的含量,元代化妆土中Ti的含量则部分高

于胎内的含量,说明宋金时期化妆土的处理较之元代更为精细。

致谢:本文分析测试工作得到中科院古脊椎动物与古人类研究所张文定老师的大力帮助,在此深表感谢。

#### 参考文献:

- 李家治:《中国科学技术史·陶瓷卷》,科学出版社,1998年。
- 秦大树:《磁州窑的研究史》,《文物春秋》1990年第4期。
- 冯先铭、安志敏、安金槐、朱伯谦:《中国陶瓷史》,文物出版社,2004年。
- 赵立春、任双合:《磁州窑传统烧制技艺》,九州出版社,2010年。
- 任平、伯阳、刘国:《磁州窑研究概述》,《郑州大学学报·哲学社会科学版》1991年第6期。
- 刘志国:《磁州窑研究综述》,《陶瓷研究与职业教育》1984年第2期。
- 中国古陶瓷学会:《中国古陶瓷研究》(第十六辑),紫禁城出版社,2010年。
- 郑媛:《试探“磁州窑类型”陶瓷中化妆土与黑彩剔填结合的艺术成就(上)》,《文物世界》2004年第4期。
- 窦衍英:《宋金时期磁州窑白底黑花装饰的艺术特征》,景德镇陶瓷学院,硕士学位论文,2008年。
- 张子英:《磁州窑历代烧造述略》,《邯郸师专学报》第10卷,第4期,2000年12月。
- ⑪ 张伟英、沙海鹏、黄卓民:《磁州窑装饰艺术探源》,《中国陶瓷》第45卷,2009年第5期。
- ⑫ 马忠理:《磁州窑独特装饰艺术研究(上)》,《邯郸师专学报》第10卷,第4期,2000年12月。
- ⑬ 庞洪奇:《关于磁州窑研究中几个问题的思考》,《人民日报·海外版》2003年09月25日。
- ⑭ 邯郸市文物保护研究所、峰峰矿区文物保管所:《临水三工区、彭城盐店——瓷窑遗址发掘简报》,2010年。
- ⑮ 陈尧成、郭演仪:《磁州窑黑褐彩瓷用原料研究》,《景德镇陶瓷学报》第9卷,第1期,1998年10月。
- ⑯ 刘志国:《关于磁州窑原料的研究》,《陶瓷学报》第5卷,第2期,1990年6月。
- ⑰ 陈尧成、郭演仪、刘立忠:《历代磁州窑黑褐色彩瓷的研究》,《硅酸盐通报》1988年第3期。
- ⑱ 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在瓷釉研究中的应用》,《硅酸盐通报》1995年第2期。

(责任编辑:刘慧中)