

北京文物与考古系列丛书

北京龙泉务窑

辽代瓷器科技研究

北京市文物研究所 编著



科学出版社

北京文物与考古系列丛书

北京龙泉务窑辽代瓷器科技研究

北京市文物研究所 编著

科学出版社

北京

内 容 简 介

北京龙泉务窑辽代瓷器的分析研究是科技考古在陶瓷研究领域的一次尝试。它从不同层面揭示了辽代北京地区的经济、文化状况和社会生产、生活水平,从而丰富了对北京古代社会各发展阶段的认识,也进一步完善了北京社会发展史的文化内涵。

本书在研究中使用了元素分析技术、物相分析技术、色差分析技术、热分析技术和显微分析技术,对北京龙泉务窑辽代瓷器的胎釉成分、物相组成、色度指标、烧制温度和微观形态特征进行了全面、细致的测试分析。对陶瓷考古中胎釉的化学组成、原料处理、施釉工艺、装烧工艺等的热点问题进行了认真探讨,为我国辽代瓷器的深入研究提供了新的材料。

本书适合于从事考古学、科技考古学、陶瓷考古学、文物保护学等相关学科的专家学者,大专院校相关专业师生及文物爱好者阅读、参考。

图书在版编目(CIP)数据

北京龙泉务窑辽代瓷器科技研究/北京市文物研究所编著. —北京:科学出版社, 2013. 11

(北京文物与考古系列丛书)

ISBN 978-7-03-038938-1

I. ①北… II. ①北… III. ①瓷器(考古)—研究—门头沟区—辽代 IV. ①K876.34

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第249155号

责任编辑:孙莉 王琳玮 / 责任校对:张小霞

责任印制:钱玉芬 / 封面设计:谭硕

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2013年11月第一版 开本:889×1194 1/16

2013年11月第一次印刷 印张:14 1/2

字数:500 000

定价:286.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

北京文物与考古系列丛书

主 编 宋大川

编 委 夏连保 朱志刚 郭京宁

刘乃涛 程 利 张中华

董育纲 郭力展 魏永鑫

本书执笔 刘乃涛

序

北京地区历来是中原文化与北方草原文化的交汇地区，很多考古学文化中体现出多元文化因素，需要进行认真的分析。考古学文化的产生、发展及消亡除与当时的政治、军事环境有关以外，与当时的地理、气候还有极大的关系，故游牧民族“逐水草而居”就是一个具体的体现，这就需要我们加强与其他学科的合作。随着考古学的不断发展和自然科学技术的不断提高，越来越多的研究方法和手段被引入到考古研究中来。考古学的研究越来越向着多学科综合科技研究的方向发展，一些重大的考古学问题的解决无一不需要多学科交叉综合研究。

科技考古是现代考古学的重要组成部分，与考古学有着相同的研究对象和研究目标，都是以古代人类活动所留下的遗存作为研究对象，从中提取关于古人活动的信息。目标在于复原古代社会和古人的生活方式，了解人与环境的关系，并进一步探讨人类的行为模式及其发展规律。科技方法被引进到考古学研究中，为我们研究古代社会带来了新的方法，提供了新的信息。考古学与科技的结合必将把考古学的研究推进到一个新的高度。

我所不仅注重考古发掘，更加注重科学研究和对文物的保护工作，采取积极有效的措施，把田野考古、文物保护与科学研究三者紧密结合起来，使北京的考古工作出现了一个崭新的局面。考古学研究中把自然科学方法全面有效地运用在勘探、发掘、鉴定、测试、分析等各种与考古相关的研究中，将研究结果与考古学的文化背景有机结合在一起，充分展现出多学科合作研究的学术价值。

考古学研究的目的在于对历史的复原，要充分运用考古资料串联起北京城市发展的链条。北京地区的考古研究工作建立、完善了考古学文化的年代序列，填补了北京历史的空白，极大地完善了相关领域的历史研究。同时，受考古学新思想与新技术的影响，北京的考古工作者积极开展多学科研究，全面提取各种信息，最大程度地进行考古学的研究。



北京龙泉务窑出土瓷器的分析研究是陶瓷科技考古的一次尝试。中国是瓷器的发源地，瓷器精湛的制作工艺和悠久的发展历史令世人惊叹。古陶瓷研究始终为科技考古领域的热点和重点之一。北京龙泉务窑是辽代境内发现的具有一定规模、持续时间较长的一个的窑厂，其产品在我国白瓷发展史上占据非常重要的地位。本研究使用元素分析技术、物相分析技术、色差分析技术、热分析技术和显微分析技术，对北京龙泉务窑瓷器的胎釉成分、物相组成、色度指标、烧制温度和微观形态特征进行了全面、细致的测试分析。对陶瓷考古中胎釉的化学组成、原料处理、施釉工艺、装烧工艺等的热点问题进行了认真探讨，为辽代瓷器的深入研究提供了新的材料。

龙泉务窑出土瓷器分析研究从不同的侧面揭示了北京地区辽代的经济、文化状况，社会生活和生产发展水平，为认识北京古代社会不同阶段发展增加新的内容，从而进一步丰富和完善了北京社会发展史的历史文化内涵。

由于此次研究涉及学科多，方法有待完善，理论需要充实，希望大家为把龙泉务窑的研究夯得更加牢实而继续努力。虽然取得了一些成果，但还有很多工作需要继续进行，对一些重点问题的研究工作也还需要进一步的深入。

宋大川

2013年3月

前言

中国是瓷器的发源地，中国瓷器精湛的制作工艺和悠久的发展历史令世人惊叹不已。长期以来，古陶瓷研究，特别是中国的古陶瓷研究，始终为科技考古领域的热点和重点之一。白瓷的创烧与成熟是我国古代陶瓷发展史上一项伟大的技术革命与进步，它的出现不仅打破了青瓷一统天下的局面，而且更为后世各种精细白瓷和彩绘瓷的产生与发展，奠定了一个不可或缺的工艺基础。不仅如此，我国白瓷技术的发展与传播对世界其他地方制瓷业的发展也产生了巨大影响。

北京位于华北平原西北边缘，毗邻渤海湾，北靠辽东半岛，南临山东半岛。西部是太行山山脉余脉的西山，北部是燕山山脉的军都山。古人云：幽州之地，左环沧海，右拥太行，北枕居庸，南襟河济。在古代，北京是中原地区通向燕山以北地区和松辽平原必经之地，是沟通南北交通的枢纽和经济文化交汇的地区。燕山山脉在历史上又是中原民族与北方民族接触、混居与融合的地区。有几个少数民族在北京建立了政权，因而在物质文化上反映出民族相互影响的痕迹。所以，在陶瓷器上，常能发现属于本地、中原和北方多种不同文化因素共存的现象。

辽是东亚历史上由契丹人建立的一个王朝。辽会同元年升幽州为南京。北京从中原王朝的边疆重镇成为北方游牧民族王朝的陪都——“南京”，它是辽统治区内经济最发达和繁荣的地区，为辽政权提供了大量财富。手工业是“南京”经济发达与繁荣的主体之一，而手工业中又以制陶瓷业最为兴盛，在北京地区有门头沟区龙泉务、密云县小水峪和房山区磁家务三处辽代瓷窑。这三处瓷窑均以烧制白瓷为主，兼烧青瓷、黑瓷、绿釉褐花瓷和三彩器等。在这些辽代瓷窑中，龙泉务窑的产品无论胎釉或纹饰的水平均在辽地其他瓷窑之上。其工艺深受河北定窑影响，精细者几乎与定窑产品难以区分。五代、北宋时期，辽统治者曾多次派兵侵扰定州，掠走大批工匠。这些辽地瓷窑正是利用掠来的制瓷工匠，把中原

制瓷技术、艺术与地方特色和民族风格结合，创烧出具有辽瓷韵味和特色的陶瓷器。

北京龙泉务窑是辽代境内具有一定规模、持续时间较长的一个窑厂，其产品在我国白瓷发展史上占据非常重要的地位。我们使用元素分析技术、物相分析技术、色差分析技术、热分析技术和显微分析技术，对北京龙泉务窑瓷器的胎釉成分、物相组成、色度指标、烧制温度和微观形态特征进行了全面、细致的测试分析。对陶瓷考古中胎釉的化学组成、原料处理、施釉工艺、装烧工艺等的热点问题进行了认真探讨，为辽代瓷器的深入研究提供了新的材料。

白釉瓷器是龙泉务窑主要的生产品种，具有烧造时间长，产品数量大，造型丰富多样的特点。器物有粗、细两种。粗者胎体厚重，以灰白色居多，外部施釉不到底，没有花纹装饰，以素面为主，造型以盘、碗、钵最常见；细者胎轻体薄，釉面白润光洁，胎体细腻洁白，器外满釉，造型丰富，多数器物上刻有精美的花纹，纹饰以莲瓣纹最具代表性，制作精工，代表了白瓷制作的时代水平。

自20世纪90年代龙泉务窑遗址首次发掘以来，不同学者对龙泉务窑的产品进行相关研究，在考古学研究方面，主要包括窑炉特征、产品分期，以及瓷器种类、造型、装饰物、原料、装饰工艺等。在科技研究方面，北京市文物研究所、上海硅酸盐研究所、中国文物研究所及门头沟区博物馆的几位先生共同运用科技手段对龙泉务窑辽金时期白瓷和黑瓷样品作了分析测试，取得了一定的研究成果。

北京市文物研究所对龙泉务窑遗址进行过两次考古发掘工作。1991年至1994年，进行了第一次发掘工作，揭露瓷窑遗址1200余平方米。2005年，配合门头沟区水担路工程建设再次对龙泉务窑遗址进行了抢救性发掘工作。

这次研究采集了一批龙泉务窑瓷器残片，该批瓷片以白瓷为主，另有少量酱釉、茶叶末釉、黑釉瓷片。我们结合传统考古学类型学的分类方法，综合运用当前经常用到的一些分析测试手段，对这批瓷片进行系统分析研究。一方面，尝试解决龙泉务窑不同釉色的瓷器在工艺方面有何特殊差异。另一方面，将当前科技考古中经常使用的一些分析测试手段，在具体的考古学研究中加以应用，以加深对龙泉务窑的理解和认识，进而对辽代瓷器生产工艺进行一定的了解。

目前对白瓷的釉色描述局限于定性表述，难免掺杂有人为因素，不利于白瓷的深入研究。利用色度学原理为龙泉务窑白瓷颜色的表述提供一个定量的科学依据。研究用的白瓷，根据釉色不同可分为纯白、白中发黄、白中闪黄以及酱釉中

内侧为白釉的标本。采用非接触文物颜色测量系统，近距离对标本进行测量，避免由于仪器与文物间的碰撞、划擦等对文物造成的危害。利用社科统计软件进行数据统计及作图，更好地显示分析结果的规律性。不同种类白瓷，虽然外观上差异不大，但是在主波长、色纯度以及亮度方面还是有着明显的差异，进而可以为这些瓷器的外观描述提供一个定量的表征参数。

我们使用体视显微镜和偏光显微镜对龙泉务窑瓷器胎釉的微观形态进行观察分析。根据肉眼观察下的白瓷釉色差别，将白瓷样品分为纯白色、黄白色、灰白色和青白色四组。经高温烧制之后的瓷器，具有不同的理化性质，瓷器的理化性质主要取决于胎釉的微观形态。瓷器显微分析正是利用有关分析技术，检查胎釉中肉眼不能清晰确认或观察的特征，最终为研究瓷器所用原料及其烧制工艺提供一定的依据。坯体经过高温烧制后，便瓷化成为瓷胎。瓷胎的物理化学性质既取决于瓷胎的化学成分，更取决于瓷胎的微观形态。瓷胎一般是由莫来石晶体、残余石英晶体、玻璃质物质以及气孔组成的复杂多相系统，其微观形态中的晶相、玻璃相、气孔的分布情况以及晶粒的取向，晶粒的均匀度和杂质分布情况等，都直接影响和决定着瓷胎物理化学性质。

龙泉务窑瓷器瓷胎的原料选用当地的瓷土，然后对原料进行复杂的粉碎、过筛、沉降、去杂、揉练、陈腐等处理后，进行拉坯成型，阴干上釉，最后烧制。但因原料本身地质成因以及原料具体的处理过程不同，其差异就会反映在产品的外观及其微观形态上。从其显微分析结果来看，釉色纯白的瓷胎，洁白细腻，杂质颗粒较少，偏光显微镜下以黏土基体与石英碎屑为主，有少量云母残留。釉色白中泛黄，胎体颜色发黄，胎质较为疏松，偏光显微镜下可以见石英与云母。釉色泛灰的瓷胎成浅灰色，偏光显微镜下可见胎中有石英与条状的云母残留；青白的瓷胎洁白细腻，杂质较少，但偏光显微镜下，云母残留较多。黑釉瓷胎以白色为主，里面杂质颗粒较多，同时有许多孔洞，反映其练泥工艺较为粗糙；酱釉的瓷胎较为洁白，与其他瓷胎较为相似。而匣钵胎体，均掺和有大颗粒的石英，同时偏光显微镜下，不见云母残留。

这些微观形态上面的差异，暗示着不同标本的原料有所差异，釉色白中泛灰的瓷胎，与原料中氧化铁的含量较高有关；许多瓷胎中有云母残留的存在，跟原料的地质成因有关；而黑瓷胎中许多杂质颗粒的存在表明其原料中杂质较多；同时瓷胎中许多空洞、裂缝的存在，表明当时窑工对原料的练泥不是很精细。匣钵



中大颗粒的石英，是人为有意识的添加，以提高匣钵的传热性能。

白瓷的析晶层一般形成于瓷器烧制的后期，是胎内的氧化铝与釉中的氧化钙以及胎釉中氧化硅等充分作用形成的一种钙长石反应层。它的存在一方面跟原料有关，同时也跟烧制温度以及降温的过程有关。具有析晶层的白瓷在邢窑的精细白瓷中较为常见，在龙泉务窑中釉色青白的胎釉结合处有明显的析晶层，暗示着龙泉务窑的工艺有可能受邢窑工艺的影响。

釉面微观形态指釉面是否有开片、气泡、鬃眼、橘釉、分相、微小晶体等。从显微分析结果来看，除了釉色泛青的瓷釉中气泡较为密集之外，其他瓷釉中虽然有气泡，但含量较少，而釉色发黄的瓷器有表面橘釉的现象，表明烧结得不够完好，此外，在酱釉中深色杂质物的残留以及红色针状氧化铁结晶，也使其釉色发黑、发酱。

对于透明釉来说，瓷器外观表现的颜色是自然光被釉层吸收与胎体反射之后两种效果的叠加。相同的条件下，若瓷器的釉层越厚，则其吸收的自然光也将越多，致使瓷器外观的颜色变得深暗。较薄的釉层，可降低对自然光的吸收，从而提高瓷器的白度。总的来说，白釉的釉层厚度较薄，说明当时窑工们已经意识到釉厚对瓷器外观的影响。

成分分析是古陶瓷研究中最基本的测试方法，它可获取待测样品中不同元素的种类及其含量，包括主量元素、次量元素和微量元素。一般来说，主量元素的分析主要用于陶瓷制作工艺方面的研究，而次量、微量元素主要用来探索古陶瓷的产地及矿料来源。龙泉务窑瓷器成分分析采用X射线荧光光谱分析法。为了更好地反映出瓷胎的化学组成特征，利用软件对数据进行了处理。龙泉务窑所有标本均具有高铝低硅的特征，有些标本的氧化铝的含量较高，这与我国北方盛产优质的高岭土有关。釉色纯白、釉色青白、釉色白中闪黄、釉色灰白的瓷胎中氧化铁的含量较低，而酱釉的瓷胎中氧化铁的含量较高，匣钵瓷胎中氧化铁的含量亦较高。黑釉中氧化钛的含量较低。

钠、镁、钾、钙等元素，在瓷胎中充当助熔剂的作用，这些元素一方面是瓷胎中本身就带有的，另一方面其含量可能与原料中特别加入有关。分析结果表明，在制瓷的时候，对于不同种类的瓷器，尤在黑瓷胎料方面，会有针对性的采用不同种类的原料，而其他种类的白瓷与酱色瓷胎原料的差异并不是很大。

瓷釉是瓷胎上一种玻璃态的物质，相比瓷胎来说，其化学组成中含量有较多



的助熔剂。从瓷釉的化学组成来看, 不同种类瓷釉的木灰釉系数不同, 暗示着不同种类瓷釉经历了不同原料配方, 而且白釉不同颜色的瓷釉, 其木灰釉系数波动范围较大, 暗示当时瓷釉原料的配方不是很稳定。此外, 不同标本瓷釉中元素磷的含量也远高于其相对应的瓷胎, 推测可能跟添加的助熔材料相关。瓷釉中不同标本的氧化铁含量不同, 其中酱釉、黑釉中的氧化铁含量较高, 其他釉色氧化铁的含量较低, 而黑釉与酱釉外观颜色的差异, 与釉中元素铁的价态以及瓷釉的微结构有关。白瓷中, 釉色纯白与釉色灰白的瓷釉氧化铁含量较低, 其他种类产品的氧化铁含量较高。釉中氧化钾作为一种重要的助熔剂, 其不同种类的瓷釉含量亦有一定的特点, 其中黑釉与酱釉中釉色发黄的氧化钾含量最高, 其次是酱釉, 而白釉中釉色发黄的氧化钾含量最低。瓷釉中氧化镁与氧化钠的含量较高, 这可能与当地原料特征有关, 而不同种类釉中氧化镁与氧化钠的含量亦有所不同, 可能与当时窑工对釉料的处理有关。由此表明, 针对不同种类的产品, 窑工主要对釉料进行不同的选择与处理。

陶瓷的结构分析与研究, 可获取陶瓷产地及其工艺方面的很多信息。龙泉务窑瓷器采用X射线衍射法进行分析。瓷胎的X射线衍射分析结果表明, 瓷器的烧制温度至少超过了 1100°C 。有些还出现较为明显的方石英, 以及保留有倍长石的残留物相, 这与烧制过程的保温时间以及温度控制有关。不同标本X射线衍射峰中莫来石强度高低不同, 这与瓷胎中莫来石晶体的含量以及结晶度有关。瓷胎中莫来石晶体的多少, 与瓷胎原料中氧化铝的含量相关, 而莫来石的存在, 在很大程度上可以提高瓷胎的强度。

古陶瓷研究中, 确定当时的烧成温度是古陶瓷研究中一项关键的数据。对于古陶瓷的断代, 研究古陶瓷各方面的物理化学特性都起着重大的影响。

温度会改变黏土材料的内部结构和化学组成, 这些变化因不同的烧成温度、不同的制作原料而不同, 因此, 陶瓷器等热环境下的产物, 一旦制成, 其内部结构通常不会轻易改变。正是原料和烧制工艺留下的这些痕迹, 使我们可以利用现代的科技手段, 尤其是热分析方法对其进行研究, 借以揭示古陶瓷的烧制工艺和原料组成。

龙泉务窑瓷器烧制温度采用高温电子热膨胀仪进行分析。先将古陶瓷碎片进行切割, 并在磨片机上把釉磨掉, 再加工成一定尺寸的长条, 然后置于该仪器上, 一面加热, 一面自动记录其膨胀曲线, 当加热温度达到样品原来的烧成温度

而继续加热时，膨胀曲线的走向会发生一定的变化，出现所谓的拐点，则此时的温度即可作为古陶瓷的烧成温度。

从实验的分析结果来看，纯白釉的烧制温度最高，其次是釉色泛青、黑釉以及酱釉的烧制温度，釉色发黄的烧制温度相对较低，这可以解释其胎体疏松的原因。釉色泛青的瓷器，烧制温度最低，但可能因其在还原气氛下烧制，因此胎体泛浅灰青。目前发现，古代瓷器烧制温度最高可达1380℃，为宋代定窑白瓷产品。龙泉务窑有些瓷器的烧制温度已接近1300℃，说明当时的炉温控制技术已经相当成熟。

瓷器上烧制温度的差异，可能是因为有意识将不同种类瓷器放置不同位置引起，也有可能是按照不同种的瓷器，分窑而烧造成。

总的来说，龙泉务窑不同种类的瓷器，在许多方面，如色度指标、化学组成、显微特征、物相组成、烧制温度等方面，都存在一定的差异，基于这些差异，我们将对不同种类瓷器原料与工艺特征进行粗浅的探讨，这些研究成果是探讨辽代瓷器科技成就的重要前提与基础。由此我们亦可以发现各种科技方法，在古陶瓷研究中的重要性。

在今后的工作中，我们将借助更多学科，包括物理学、化学、地质学、地理学、环境学、统计学等方面理论与方法，对龙泉务窑进行深入全面的研究。

由于时间仓促，材料不足，水平有限，本次研究必然会有诸多错误和不足之处，还望各位专家学者见谅，同时请各位方家批评指正。

刘乃涛

2013年3月

目录

序 宋大川(i)

前言 刘乃涛(iii)

第一章 绪论

1.1 白瓷的出现与发展 4

1.1.1 北朝时期白瓷 5

1.1.2 隋唐时期白瓷 6

1.1.3 宋辽金时期白瓷 8

1.1.4 元明清时期白瓷 9

1.2 辽代瓷窑 10

1.2.1 上京道瓷窑 12

1.2.2 东京道瓷窑 13

1.2.3 中京道瓷窑 14

1.2.4 南京道瓷窑 15

1.2.5 西京道瓷窑 16

1.3 龙泉务窑研究现状 16

1.4 研究内容 17

第二章 龙泉务窑及出土瓷器

2.1 龙泉务窑的调查与发掘 19

2.2 龙泉务窑瓷器特点 22

2.2.1 釉色品种 24

2.2.2 装饰工艺 26

2.2.3 纹饰 27

2.3 龙泉务窑瓷器特征 27

2.3.1 辽代早期龙泉务窑 28

2.3.2 辽代中期龙泉务窑 28

2.3.3 辽代晚期龙泉务窑 29

2.4 龙泉务窑瓷器样品 29

2.4.1 样品外观 29

2.4.2 样品分类 39

第三章 龙泉务窑瓷器成分研究

3.1 引言 43

3.2 实验材料 45

3.2.1 实验标本 45

3.2.2 实验仪器与测试条件 45

3.3 研究方法 46

3.3.1 标样测试和校准曲线制作

..... 46

3.3.2 样品中各元素含量的计算

..... 47

3.3.3 标本数据多元统计处理

..... 47

3.4 实验结果 47

3.4.1 瓷胎分析结果 47

3.4.2 瓷釉分析结果 59

3.4.3 匣钵分析结果 69

第四章 龙泉务窑瓷器物相研究

4.1 引言 74

4.2 实验材料	74
4.2.1 实验标本	74
4.2.2 仪器及测试条件	75
4.3 研究方法	76
4.4 实验结果	78
4.4.1 衍射分析结果	78
4.4.2 瓷胎物相组成	85
4.5 小结	87

第五章 龙泉务窑瓷器色差分析

5.1 引言	89
5.2 色度实验	90
5.2.1 实验标本	90
5.2.2 测色仪器	90
5.3 研究方法	92
5.4 实验结果	97
5.4.1 数据统计	97
5.4.2 数据分析	100
5.5 小结	107

第六章 龙泉务窑瓷器烧制温度研究

6.1 引言	109
6.2 实验材料	110
6.2.1 实验标本及其制备	110
6.2.2 实验仪器及测试条件	111
6.3 研究方法	111
6.4 实验结果	114
6.5 窑炉分析	119
6.6 装烧工艺	125
6.7 小结	127

第七章 龙泉务窑瓷器微观形态分析

7.1 引言	129
7.2 实验材料	129
7.2.1 实验标本	129
7.2.2 实验仪器及实验条件	129
7.3 研究方法	130
7.4 微观形态分析	135
7.4.1 白釉瓷微观形态	135
7.4.2 黑釉瓷微观形态	172
7.4.3 酱釉瓷微观形态	176
7.4.4 匣钵微观形态	186
7.5 小结	188
7.5.1 瓷胎原料及其处理	191
7.5.2 析晶层	192
7.5.3 釉面	192
7.5.4 釉层厚度	192

第八章 结语

8.1 制瓷原料	195
8.2 原料处理	198
8.3 施釉工艺	199
8.4 装烧工艺	199
8.5 烧制过程	200
8.6 外观颜色	200
8.7 工艺异同	201
8.8 瓷胎的原料	202
8.9 微观特征	203
8.10 装烧工艺	205
8.11 烧制温度	206

参考文献	208
------------	-----

后记	213
----------	-----

插图目录

- 图 1-1 北朝早期青瓷罐 / 5
- 图 1-2 北齐范粹墓出土白瓷莲瓣纹四系罐 / 5
- 图 1-3 隋代白釉壶 / 6
- 图 1-4 隋代白釉碗 / 6
- 图 1-5 定窑覆烧工艺示意图 / 7
- 图 1-6 北宋定窑镶边白釉碟 / 8
- 图 1-7 辽代龙泉务窑白釉注碗 / 8
- 图 1-8 元代卵白釉杯 / 9
- 图 1-9 明代甜白釉壶 / 9
- 图 1-10 明代德化白瓷 / 9
- 图 1-11 褐釉皮囊壶 / 10
- 图 1-12 三彩鱼形壶 / 10
- 图 1-13 绿釉刻花单柄壶 / 10
- 图 1-14 辽金时期窑址的分布示意图 / 12
- 图 2-1 北京龙泉务窑窑址现状 / 20
- 图 2-2 龙泉务窑址位置示意图 / 20
- 图 2-3 白釉刻花花叶纹折肩罐 / 23
- 图 2-4 白釉刻花菊莲纹葫芦式执壶 / 23
- 图 2-5 酱釉钵 / 23
- 图 2-6 白釉唇口钵 / 23
- 图 2-7 白釉贴花炉 / 23
- 图 2-8 酱釉炉 / 23
- 图 2-9 褐釉坝 / 24
- 图 2-10 白釉小猴 / 24
- 图 2-11 纯白色样品 / 30
- 图 2-12 黄白色样品 / 32
- 图 2-13 灰白色样品 / 33
- 图 2-14 青白色样品 / 36
- 图 2-15 黑釉样品 / 37
- 图 2-16 酱釉样品 / 38
- 图 2-17 匣钵样品 / 39
- 图 3-1 X射线分析原理示意图 / 44
- 图 3-2 能量色散X射线荧光仪的示意图 / 44
- 图 3-3 标本96断面 (10倍下) / 48
- 图 3-4 标本96断面 (100倍下) / 48
- 图 3-5 标本43胎体X射线荧光光谱图 / 48

- 图 3-6 瓷胎 Al_2O_3 与 SiO_2 含量散点图 / 56
- 图 3-7 薄胎与厚胎 Al_2O_3 与 SiO_2 含量散点图 / 56
- 图 3-8 瓷胎 Fe_2O_3 与 TiO_2 含量散点图 / 57
- 图 3-9 瓷胎中 Fe_2O_3 含量箱式分布图 / 57
- 图 3-10 瓷胎中 TiO_2 含量箱式分布图 / 58
- 图 3-11 瓷胎中 K_2O 含量箱式分布图 / 58
- 图 3-12 不同种类标本胎釉中元素磷平均含量柱状图 / 66
- 图 3-13 瓷釉木灰釉系数 b 值箱式图 / 67
- 图 3-14 瓷釉 Fe_2O_3 箱式分布图 / 68
- 图 3-15 瓷釉中氧化钛的含量箱式分布图 / 68
- 图 3-16 标本瓷釉 Fe_2O_3 与 TiO_2 含量散点图 / 69
- 图 3-17 瓷釉氧化钾含量箱式图 / 70
- 图 3-18 标本瓷釉 Fe_2O_3 与 TiO_2 含量散点图 / 70
- 图 3-19 不同标本瓷釉氧化钠含量箱式图 / 71
- 图 3-20 不同标本瓷釉氧化镁含量箱式图 / 71
- 图 4-1 X射线衍射仪 (D/Max-III A) / 75
- 图 4-2 布拉格衍射示意图 / 77
- 图 4-3 标本101号X射线衍射图 / 79
- 图 4-4 标本06号X射线衍射图 / 80
- 图 4-5 标本27号X射线衍射图 / 80
- 图 4-6 标本39号X射线衍射图 / 81
- 图 4-7 标本09号X射线衍射图 / 82
- 图 4-8 标本92号X射线衍射图 / 83
- 图 4-9 标本42号X射线衍射图 / 83
- 图 4-10 标本47号X射线衍射图 / 84
- 图 4-11 标本16号X射线衍射图 / 85
- 图 5-1 典型标本的内表面 / 90
- 图 5-2 典型标本的外表面 / 90
- 图 5-3 美国X-rite爱色丽SP64色差仪 / 91
- 图 5-4 美国X-rite爱色丽VS450色差仪 / 91
- 图 5-5 色差计的光学系统 / 91
- 图 5-6 标准色度学系统的色度图 / 96
- 图 5-7 LAB颜色空间 / 100
- 图 5-8 标本 a^* 与 b^* 值的散点分析图 (SP64) / 101
- 图 5-9 标本 a^* 与 b^* 值的散点分析图 (VS450) / 102
- 图 5-10 标本主波长的箱式分布图 (SP64) / 102
- 图 5-11 标本主波长的箱式分布图 (VS450) / 103
- 图 5-12 标本色纯度的箱式分布图 (SP64) / 104
- 图 5-13 标本色纯度的箱式分布图 (VS450) / 104
- 图 5-14 标本色亮度的箱式图 (SP64) / 106
- 图 5-15 标本色亮度的箱式图 (VS450) / 106
- 图 6-1 热膨胀OAPH烧成曲线 / 109
- 图 6-2 差热分析仪 (DSC-60) / 111
- 图 6-3 热重分析仪 (TG-60) / 111
- 图 6-4 热膨胀仪 (DIL 402) / 112
- 图 6-5 标本06号瓷胎的热膨胀曲线 / 115