

中國古陶器研究

中国科学院上海硅酸盐研究所 编



科学出版社

中国古陶瓷研究

中国科学院上海硅酸盐研究所 编

科学出版社

1987

内 容 简 介

本书为1982年11月在上海举行的第一届“中国古代陶瓷科学技术国际讨论会”的论文集。参加这次会议的有来自澳大利亚、中国、法国、日本、马来西亚、新加坡、瑞典、泰国、英国、美国等国家和香港地区的一百多位学者和专家。本书包括论文67篇、彩色图68幅和黑白图多幅。论文共包括：A. 特邀报告3篇；B. 陶器及原始瓷器14篇；C. 瓷器29篇；D. 窑及窑具8篇；E. 其他13篇。本书内容丰富、观点新颖，是第一本国际性的有关中国古代陶瓷科学技术的综合论著。

中 国 古 陶 瓷 研 究

中国科学院上海硅酸盐研究所 编

责任编辑 赵世雄

科学出版社出版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1987年12月第一版 开本：787×1092 1/16

1987年12月第一次印刷 印张：27 插页：8

印数：0001—1,800 字数：624,000

统一书号：13031·3948

本社书号：4698·13-4

定价：9.70元

中国古代陶瓷科学技术国际讨论会开幕词

严 东 生

女士们,先生们:

朋友们,同志们:

中国科学院上海硅酸盐研究所,中国硅酸盐学会和轻工业部一局联合举办的“中国古代陶瓷科学技术国际讨论会”今天在上海开幕了。我们十分高兴地看到有这许多学者、专家们来参加这次会议,我代表会议顾问委员会和组织委员会向到会的代表们表示热烈的欢迎。

众所周知,中国陶瓷有八千年的悠久历史,瓷器是中国人民的重大发明之一,陶瓷制造是中国古代灿烂文化、艺术和技术的一个重要组成部分。中国陶瓷技术、艺术既有漫长的发展历程,又有极其丰富多采的内容,通过陆路和水路很早就传入世界其他国家和地区,影响所及,远远超出了中国的国界,成为中国与其他国家技术文化交往的纽带之一,对世界文明作出了重要的贡献。

结合世界范围大量收藏的实物,特别是近三十年来中国国内大量出土的陶瓷器,中国和不少国家的陶瓷科学家、考古家和艺术家进行了大量的研究工作,发现和探讨了许多非常重要和有趣的科学技术问题,譬如陶瓷器在中国的发展历程,瓷器出现的时代,许多历代名窑产品的科学、技术特点,胎、釉、彩的科学秘密等等,引起了各方面广泛的兴趣和重视。因此举行中国古代陶瓷的国际性学术讨论会是非常适时的,是我们几年前就开始进行计划,并得到许多国外朋友的赞许和支持的一件事,可以说是许多人士的共同愿望,这次会议参加人数这么多也证明了这点,这次会议得到了国内外许多人士的热情支持与帮助,在此我们对他们表示衷心的感谢。

参加这次会议的有来自澳大利亚、中国、法国、日本、马来西亚、新加坡、瑞典、泰国、英国、美国等国家和香港地区 125 名学者和专家,将有 36 篇论文在会上宣读,31 篇参加海报展讲,会议还将组织座谈。会议后期将访问中国的一个有特色的陶器生产中心——宜兴,它以生产独特的紫砂器而闻名于世。会议结束后,一部分代表将分别访问中国的瓷都景德镇,古代陶瓷窑址,博物馆或陶瓷陈列馆以及有关陶瓷工厂等。

我相信通过这次会议,定将增进我们彼此之间的相互了解和友谊,促进在古陶瓷科学技术研究方面的交流与合作,古为今用,对现代陶瓷的发展也必将取得有力的推动作用。

衷心祝愿大会圆满成功! 谢谢。

在中国古代陶瓷科学技术国际讨论会上的致词

路易·艾黎

朋友们：

能够在上海会见这么多对中国古陶瓷感兴趣的专家，实在是太荣幸了。今天人们对古陶瓷的爱好越来越广泛了，在国际市场上价格的不断上升就足以证明这点。五十五年前我曾来过上海这个城市，先是爱好明、清年代的深红色陶瓷，我把它收藏起来，和福建德化产的瓷雕放在一起。然而这一点收藏，在1937年敌人占领上海的时候丢失了。此后我就离开了上海，到后方从事工业，包括在各省建立一些陶瓷工业。后来在山丹（Shandan）建立了一个半工半读的学校，它在甘肃西部古老的丝绸之路上，那里训练了工人，其中第一个生产单位就是陶器工厂，他们能做一些简单的器皿。后来在抗战结束后，我们很幸运，得到一位日本陶器专家野口的帮助，他开始生产精细陶瓷，用了比较现代化的窑炉。

在山丹时，由于挖掘灌溉用的水沟时，得到了许多完整的彩陶，使我对古陶瓷的兴趣越来越大，这些彩陶有些是用来贮藏谷物的。还发现了这类彩陶的碎片，广泛地散布在田野的四周，样品很多，可以拿回家去进行研究。后来在西面边界的张掖，我们看到了黑水国（Heishuiguo）古城的遗址，那里有大量汉朝的陶瓷碎片，也有以后朝代的。近几年来，我又在这条公路上旅行，边走边看旧址，在某一个地方我们停了下来，那里风把砂土全吹光了，剩下的是彩陶、石器的碎片，还有其它新石器时代的遗留物品。

解放以后，当我从西北回到北京的时候，大家对古玩的兴趣还不大，在琉璃厂有许多老的古董店，里面放了各个朝代的陶瓷样品，价钱很便宜，我从古董店里收集一件，学习一件，从年老的店主那里学到了不少东西，于是我们成了好朋友。可是以后发生了变化，中国古玩变得宝贵起来了，那些老的古董店也慢慢地消失了。

近三十年来，我在中国旅行，只要有可能，我总是要在古窑址住下，研究所发现的陶瓷碎片，使我得益不少，因为这些碎片可以使人们很好地认识各种古陶瓷。此外，在古窑址的四周，特别有意义的是那些小乡村，可以看到这样的景象：在夏天，陶工们光着背和手臂，在轮子旁制作，从窗或门里射进一束光线，照在他们身上和工作场所，把人们带到了古代，很容易想象古陶工们在漫长的岁月里如何生产的情景。

解放后，大城市的博物馆也大大改进了他们收藏的情况，可以学到许多东西。许多名窑，虽然还没有达到古代陶瓷那样的最高水平，但进步很快。不久的将来，也许有许多产品可以象过去的精瓷那样受人喜爱而被收藏。不久前，我访问了广东的梅县，感受很深，在那里遇到一位从大浦来的人，大浦是高陂窑址的所在地。过去我到过那个工厂，是由公社大队主办的，他们用山泉发电来烧窑，还给我一片刚做好的蛋壳瓷，颜色很好看，我非常喜欢，常常看看摸摸。钧窑仍在河南的神垭做，也达到了较高的水平。很象邯郸磁州窑

那里的产品。至于大窑：象景德镇、宜兴、佛山、德化、石湾等等，那就不用说了。

在漫长的中国历史中，约 2000 年前，陶工们利用技巧、手艺和聪明才智，能生产出这么好的东西，真是不简单。总之，越是熟悉所得到的成就，越是尊重那些创造者。

(王本民译 张福康校)

目 录

A. 特邀报告

- A-1 中国古代陶瓷科学和技术的发展过程····· 严东生 张福康 (1)
A-2 中国古陶瓷的艺术成就····· 邓 白 (14)
A-3 新中国陶瓷考古主要收获····· 冯先铭 (22)

B. 陶器及原始瓷器

- B-1 云南省西双版纳傣族和东盟佤族原始制陶工艺考察报告·····
·····程朱海 张福康 刘可栋 叶宏明 (27)
B-2 洛阳西周青釉器碎片的研究····· 程朱海 盛厚兴 (35)
B-3 中国传统高温釉的起源····· 张福康 (41)
B-4 中国传统釉彩化学组成的演变····· 张福康 (47)
B-5 浙江江山泥釉黑陶及原始瓷的研究·····
·····李家治 邓泽群 张志刚 陈士萍 牟永抗 毛兆廷 (56)
B-6 浙江青瓷釉的形成和发展····· 李家治 (64)
B-7 论唐三彩的制作工艺····· 李知宴 张福康 (70)
B-8 唐三彩的研究····· 李国桢 陈乃鸿 邱凤娟 曾凤琴 (78)
B-9 从工艺观点看中国古陶瓷与穆斯林陶瓷器间的关系·····
·····三上次男 (Tsugio Mikami) (84)
B-10 羊角山古窑紫砂残片的显微结构····· 孙 荆 阮美玲 谷祖俊 (88)
B-11 中国古琉璃的研究····· 张福康 程朱海* 张志刚 (97)
B-12 秦始皇陵兵马俑初步研究····· 周懋媛 (106)
B-13 石湾古陶器的研究: 奇石北宋窑址陶器的成分、显微结构及工艺的研究··
·····陈 楷 杨兆雄 李栩然 (113)
B-14 中国古代建筑陶瓷的初步研究····· 张子正 车玉荣 李英福 盛厚兴 (117)

C. 瓷 器

- C-1 扬州唐城出土青花瓷的重要意义····· 罗宗真 张志刚 郭演仪 陈尧成 (123)
C-2 元代青花瓷器的研究····· 陈尧成 郭演仪 张志刚 (128)
C-3 河南巩县隋唐时期白瓷的研究····· 李家治 张志刚
·····邓泽群 陈士萍 周雪琴 杨文宪 张祥生 汪玉玺 陈 迹 (136)
C-4 历代定窑白瓷的研究····· 李国桢 郭演仪 (141)
C-5 历代德化白瓷的研究····· 郭演仪 李国桢 (149)
C-6 唐代洪州窑青瓷的探讨····· 陈显求 陈士萍 全武扬 周学林 (156)
C-7 宋代汝窑和耀州窑青瓷····· 郭演仪 李国桢 (164)

- C-8 南宋郊坛官窑与龙泉哥窑的陶瓷学基础研究 陈显求 陈士萍 周学林 李家治 朱伯谦 牟永抗 汪济英 (173)
- C-9 南宋官窑青瓷的研究 叶宏明 劳法盛 李国楨 季来珍 叶国珍 (185)
- C-10 关于御土、水东、渤海、汀州和横峰五个窑若干问题的讨论 李汝宽 (196)
- C-11 宋代钧窑瓷釉 W. D. Kingery P. B. Vandiver (201)
- C-12 龙泉大窑宋代青瓷釉 P. B. Vandiver W. D. Kingery (206)
- C-13 利用西欧原料制造中国南方青瓷、铜红及青白瓷、建瓷、钧瓷、天目瓷及北方青瓷 Douglas Ewen (211)
- C-14 铜红釉的色层结构 赵达峰 王金田 王养民 (219)
- C-15 从化学组成看铜红釉与古钧瓷 杨文宪 汪玉玺 (225)
- C-16 宋元钧瓷的中间层、乳光和呈色问题 陈显求 黄瑞福 陈士萍 宋祥云 周学林 张毓俊* 赵青云** (232)
- C-17 钧窑釉的进一步研究 刘凯民 (239)
- C-18 宋代建盏的科学研究 陈显求 陈士萍 黄瑞福 周学林 阮美玲 (247)
- C-19 建阳兔毫盏仿制品的结构本质 陈显求 黄瑞福 姜玲章 虞玲 阮美玲 (257)
- C-20 关于建窑、德化窑的几个问题 曾凡 (267)
- C-21 特种天目茶碗, 曜变和油滴的科学研究 山崎一雄 (Kazuo Yamasaki) (271)
- C-22 中国及西方瓷石的研究 D. Stannard (275)
- C-23 如何用花紺蓝制备瓷器的釉下蓝色料 加藤悦三 (Etsuzo Kato) 金岡繁人 (Shigeto Kanaoka) (280)
- C-24 仿“建窑”兔毫盏工艺探讨 福建省轻工业研究所 (285)
- C-25 宋代景德镇影青瓷器的化学组成及其含义 Nigel Wood (286)
- C-26 灰与釉 Robert Tichane (290)
- C-27 再论邢窑 叶喆民 (294)
- C-28 中国陶瓷在泰国 Bhujong Chandavij (302)
- C-29 胎-石灰釉和青白瓷 Nigel Wood (306)

D. 窑及窑具

- D-1 陕西耀州窑, 河北定窑窑具与装烧方法的研究 ... 游恩溥 周道生 高力明 (310)
- D-2 湖田古瓷窑匣钵的研究 戴粹新 曾祥通 李中和 邬树皋 张志成 (318)
- D-3 中国历代陶瓷窑炉和烧成工艺考证 刘振群 (324)
- D-4 古代部分陶瓷窑炉初探 杨文宪 张祥生 (329)
- D-5 山西古代窑具及装烧方法的初探 水既生 (334)
- D-6 浙江古代龙窑和窑具的研究 劳法盛 叶宏明 程朱海 (343)
- D-7 邛窑新探 陈丽琼 (349)
- D-8 略谈福建古代陶瓷窑炉类型的发展 叶文程 (354)

E. 其他

- E-1 用热释光测定中国古陶器年代 王维达 周智新 (360)

- E-2 热释光定年代在古陶中的应用.....太田正臣 (Masaomi Ohta) (368)
- E-3 用热释光测定瓷器年代 Doreen Stoneham (372)
- E-4 古代中国陶片所记载的磁学信息 魏青云 M. J. Aitken (377)
- E-5 日本古窑的考古磁学研究及地球磁场的考古-长期变化
..... 広岡公夫 (Kimio Hirooka) (380)
- E-6 日本古代陶器、Sue 窑的 X 射线萤光和中子活化分析
..... 三辻利一 (Toshikazu Mitsuji) (384)
- E-7 巩县隋唐时期陶瓷造型风格及艺术设计的初步探讨
..... 周 昆 陈 琪 陆祥生 陈 迹 (388)
- E-8 磁州窑陶瓷艺术初探 魏之骏 (394)
- E-9 中国瓷器研究的展望..... John Addis (400)
- E-10 东南亚铁器时代前的陶器薄片分析
..... W. Watson Ian C. Freestone Ho Chui Mei (403)
- E-11 马来西亚发现的商业陶瓷..... Othman B. M. Yatim (409)
- E-12 用化学分析法研究东方瓷器的产地 A. M. Pollard E. T. Hall (412)
- E-13 用X射线萤光光谱法分析中国的单色瓷釉
..... E. T. Hall A. M. Pollard (417)
- 跋.....张福康 (421)

A. 特邀报告

A-1

中国古代陶瓷科学和技术的发展过程

严东生 张福康
(中国科学院) (中国科学院上海硅酸盐研究所)

一、新石器时代的制陶工艺

中国制陶工艺的起源可追溯到八千年以前,表1是根据 ^{14}C 测年法测得的某些新石器时代陶片的年代^[1]。

表 1

品 种	文化遗址	年 代
黑陶、灰陶、红陶、夹砂陶、白陶	浙江罗家角	5190±150BC
黑陶、灰陶、红陶、夹砂陶	浙江河姆渡	5005±130—3710±125BC
红陶、灰陶、夹砂陶、半坡型彩陶	陕西西安半坡	4115±110—3635±105BC
龙山文化黑陶	山东日照	2300—2000BC

二十多年来,我们对上述各遗址中出土的一百多个有代表性的陶片进行了科学测定,包括化学组成、显微结构、物性试验等^[2-4]。测定的结果使我们懂得,在离开现在七千多年以前,中国人就已经掌握了不少制陶术方面的知识。例如:(1)他们早已懂得原料选择的重要性,他们曾试用各种质地较纯的陶土以代替一般的地表土,罗家角遗址的陶工甚至还采用含15—20% MgO的角闪石风化产物作为白陶和灰陶的原料;(2)为了改进炊具的耐热急变性能,他们在泥料中有意识地加入各种粗颗粒物料,包括砂粒、贝壳屑等;(3)在罗家角和河姆渡遗址的陶片中还发现有很多碳粒状物质存在,显微观察和激光光谱分析证明,它们是烧焦了的稻壳,也许是为了防止在干燥和烧成过程中发生开裂而特意加入的;(4)在罗家角遗址中有少数陶片表面呈紫棕色,试验证明这是一层以氧化铁为主要成分的陶衣。这一例子说明当时已经开始对陶器讲求装饰。

罗家角和河姆渡遗址中出土的陶片不仅数量大,品种多,而且其历史前后延续达一千多年之久,这些事实都充分证明了一点,即除了黄河流域以外,长江流域亦是中国古文化的发源地之一^[5]。

外貌观察和显微结构观察表明,仰韶文化时期所制造的彩陶,坯体致密细腻,壁厚均匀,器形规整,装饰艺术性强,这些都说明当时的制陶工艺已达到成熟阶段。到了龙山文化时期,有些薄胎黑陶的器壁只有1 mm厚,这表明当时的陶轮加工技术已比较完善。陶轮的起源可追溯到仰韶文化时期,这一点从仰韶陶片表面的轮纹可以得到证明^[1]。

二、制陶工艺的三大突破和瓷器的出现

我们二十多年来所进行的大量研究工作的结果^[4-7,9-11]表明,在公元前 15—3 世纪的商周时代,中国的制陶工艺出现了以下三个重大的技术突破:(1)高铝质粘土和瓷土被用作制陶原料——实验结果表明,商周时代的部分陶片,其组成与高岭土很接近,说明当时已发现并采用了某些高铝质粘土作为制陶原料,而在此以前,大部分都用普通陶土作为原料,这是原始时代的陶工们经过好几千年的长期探索所取得的一项重大的技术突破;(2)高温技术的发展——表 2 列出了新石器时代和商周时代陶器和原始瓷的烧成温度。由于当时窑炉结构合理改进的结果,部分陶器的烧成温度已达到 1200℃;(3)釉的发明——中国最早的有釉制品出现于商代。这种釉含 15—20% 的 CaO,虽然在外观上还不太美观,但它们却是中国后世各种青瓷釉的鼻祖。

表 2

名 称	烧成温度(℃)
新石器时代陶器	800—1000
陕西张家坡出土原始瓷 (1066—776BC)	1200
山西侯马原始瓷 (770—256BC)	1200
浙江上虞东汉青釉器 (25—220AD)	1300

商周时代由于采用高铝质粘土作胎,并在 1200℃ 以上的温度下烧成,从而使坯体中产生较多的莫来石和适量的玻璃相,使坯体的致密度和强度都得到大幅度的提高。另外再加上釉的应用,使产品无论在本质上或外观上都逐渐区别于陶器而另成一类——瓷器。根据对一百多个历代陶瓷标本的研究结果^[4-8,10],瓷器的发明实际上经历了二个转变阶段,第一个阶段是在公元前 15—3 世纪的商周时代,实现了从陶器到原始瓷的转变。西周 (1066—770 BC) 时西安张家坡出土的青釉器和东周 (770—249 BC) 山西侯马出土的青釉器便是这方面的例子。这二种青釉器的烧成温度分别达到 1200℃ 的高温,在物理性质、矿物组成以及外观质量方面都已接近瓷器的标准。第二阶段是在距今二千年以前的东汉时代,实现了从原始瓷到瓷的转变。浙江上虞东汉窑址中出土的青釉器便是最好的例证,它的烧成温度已经达到 1300℃,胎釉的显微结构,物理化学性质以及外观质量都已达到瓷器的标准。

三、制瓷原料和历代胎釉组成的演变

1. 原料 原料是陶瓷器最重要的物质基础。从 50 年代中期以来,国内外的一些学者,曾对中国南北地区的制瓷原料做过一些工作^[13-16,40]。他们的研究成果,可大致归纳如下:(1)中国北方地区多沉积粘土,这类粘土是中国北方地区历代窑场的主要制瓷原料。它们在化学组成上的特点是 Al_2O_3 、 TiO_2 和有机物含量都比较高,在工艺上的特点是坯泥的可塑性比较好,适宜于用氧化焰烧成,烧成后坯体色调往往带灰,且不容易达到完全致密化。(2)中国南方地区,特别是江西、安徽、浙江、福建等省盛产瓷石,它是中国南方地

区历代各大窑场,如越窑、瓯窑、龙泉窑、景德镇窑的主要制瓷原料。它们是某些品种的花岗岩(如长英岩和正常长英岩等)经后期热液变化而生成的产物。瓷石的主要矿物组成是绢云母、水白云母和石英,有时还有少量方解石。绢云母和水白云母均属水云母族矿物,它们的颗粒度有的小于 1μ ,所以瓷石经适当粉碎和淘洗后,一般都具有良好的可塑性。瓷石中一般含有较多的铁质,但基本上以类质同晶置换作用而处于晶格之中,故烧成后色调均匀,不致形成斑点。 TiO_2 含量在极大部分瓷石中都比较低。瓷石中由于含有成瓷所必须具备的各种成分,所以只要经过适当处理,即使不配入其他物料而单独使用,在 $1200^\circ C$ 左右也能烧结成瓷。瓷石所具有的以上一系列优点,使它成为一种优良的制瓷原料。(3)景德镇地区某些最常用的高岭,如明砂高岭等,其主要矿物组成为高岭石,其余为多水高岭和云母状矿物。(4)明清以来景德镇所生产的瓷器被公认为中国传统瓷器的代表。这些瓷器大都用瓷石配合高岭作胎,在本质上属于高岭-石英-水云母质瓷器,它们在显微结构上和西方的高岭-长石-石英质瓷器存在着显著的差别,同时和中国北方地区的瓷器在外观上也有所不同。(5)制瓷工艺与原料有密切关联,一般说来,工艺服从于原料。中国南北地区由于所用原料不同,所以在工艺上亦显示出各自的特点。(6)中国传统瓷釉主要有石灰釉和石灰-碱釉两大类。这两类釉的配制方法,由于时代和地域的不同而有所差异,就龙泉地区和景德镇地区而言,一般都采用石灰石和某些植物的枝叶,一起烧炼成灰,再配合适量的粘土和着色剂而制成。这种配釉方法,是中国自古以来南北各地所广泛采用的一种传统方法,它和西方国家所采用的长石釉有很大的不同,而这一点也是形成中国瓷特色的重要因素之一。

2. 胎 中国有着将近二千年烧造瓷器的历史,历代烧造瓷器的著名窑场遍布全国各地。但从工艺发展过程的连续性和代表性来看,景德镇窑和龙泉窑有着特别重大的意义。这二大窑场对中国南方地区的制瓷工艺发展过程有着相当大的代表性。图1表示景德镇窑从公元10—18世纪这一历史阶段中白瓷胎化学组成的演变过程^[14,17]。可以看到:景德镇早期瓷胎的化学组成接近当地瓷石的组成,说明早期瓷胎主要采用瓷石配制而成,但

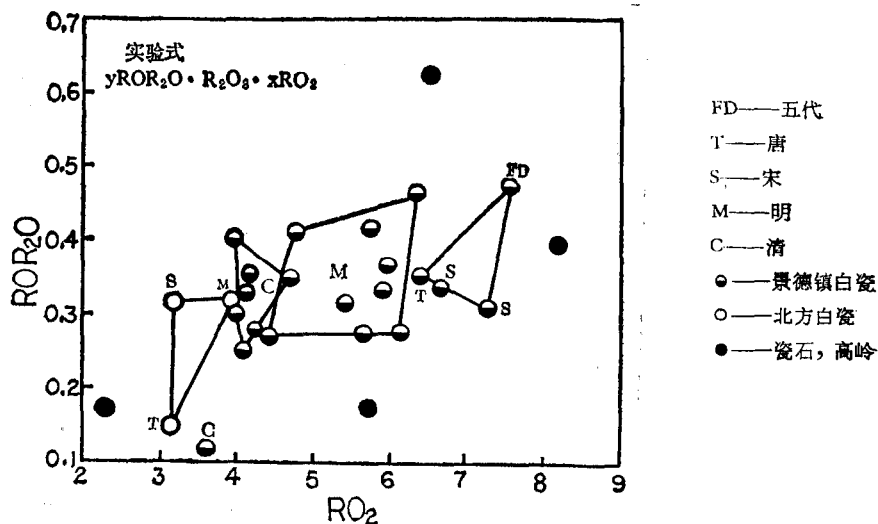


图1 景德镇历代白瓷胎化学组成的演变

从 14 世纪的明代早期起,瓷胎中的 Al_2O_3 含量不断提高,说明当时已在瓷胎中掺入高岭土,其用量亦随着时代的进展而不断增加,到十七世纪的清代初期高岭的用量已达 40% 左右。由于高岭的引入和用量的增多,以及烧成温度的相应提高,瓷胎中的莫来石和玻璃相含量也随之而增加,反映到物理性质上,则是致密度、透光度和强度都得到进一步的改进。

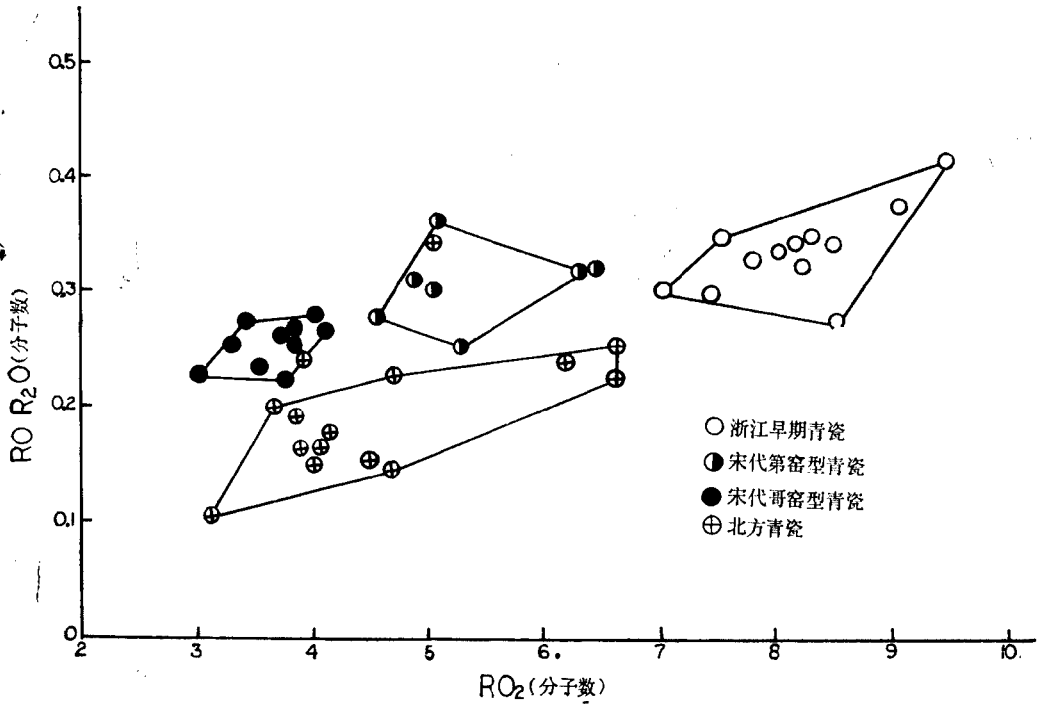


图 2 历代青瓷胎化学组成的演变
(公元 2—17 世纪)

图 2 代表从公元 2—17 世纪这一历史阶段中龙泉窑和越窑青瓷胎化学组成的演变过程^[6,18,22]。从图中可以看到,浙江地区在 10 世纪以前的青瓷胎都与当地瓷石的成分相接近,表明早期青瓷胎亦只用瓷石为主要制胎原料,从 10 世纪以后,瓷胎中的 Al_2O_3 和 Fe_2O_3 含量都有所提高,这是由于在瓷胎中参加了一种 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 含量都比较高的紫金土所致。就总的发展趋势而言,不象景德镇白瓷那样有规律,这是由于古代对颜色釉瓷器的要求主要着重表现釉,对胎的质量要求不高,因而在配方中不需要加入高岭也不需要配方加以严格控制所致。

图 1 和图 2 中也分别列出了北方窑场白瓷胎和青瓷胎化学组成的特点。主要是 Al_2O_3 含量显著比南方高,这是由于北方窑场一般都采用高铝质粘土作为胎的主要原料所致。这种高铝质粘土中还含有较多的 TiO_2 ,这一点也在北方窑场所烧造的瓷器的化学组成中表现出来。

宋代北方窑场的瓷胎大都生烧,这一点也与瓷胎中的 Al_2O_3 含量过高有关。

选用含铁量较低的原料以提高瓷器的白度和透光度,这亦是中国古代陶瓷工艺发展过程中的一个重要措施。景德镇历代瓷胎组成的演变亦反映在瓷胎的显微结构上。我们

从景德镇五代时期瓷胎的显微结构中可以看到大量粗大的石英颗粒。大家知道，瓷石中一般都有 50% 以上的石英颗粒，必须经反复淘洗才能除去。这一点除了再一次证明景德镇早期瓷胎是以瓷石为主要原料的论点外，还证明当时对原料的淘洗不够细致。对公元 18 世纪初雍正时期景德镇瓷胎的显微结构的观察表明，胎中的石英颗粒含量已显著减少，石英颗粒的尺寸亦很小，这种现象和上述关于当时瓷胎中掺用大量高岭，减少瓷石用量的论点是一致的。另一方面，还反映了当时对制瓷原料的精工淘洗。原料的精工淘洗对瓷器的白度、透光度和机械性能的提高有着重大的影响。高岭用量的增加，低铁原料的选用以及原料的精工淘洗，这些都是当时制瓷工艺方面重要改进的一部分。表 3 列出了景德镇历代瓷胎的物理性能。

表 3

名称	年代 (世纪)	气孔率 (%)	抗弯强度 (kg/cm ²)	膨胀系数 × 10 ⁻⁷ (0—700°C)	白度 (%)	透光度(%) (厚 1.5mm)
白瓷胎	7—10	0.81			70	
白瓷胎	7—10	0.80			73.9	
影青胎	10—13	0.48		62.2	76.5	
影青胎	10—13	0.36	550	66.8	71.5	1.19
青花胎	13—14	0.68	570	68.5	62.0	0.40
青花胎	15	1.63	790	77.5	67.8	
青花胎	16	0.82				0.52
五彩胎	16—17	1.38	630	60.7	75.8	0.49
青花胎	16—17		600	76.4	68.0	0.42
五彩胎	17—18	0.19	700			
五彩胎	17—18			55.6	73.5	
粉彩胎	18			57.7	77.5	0.96

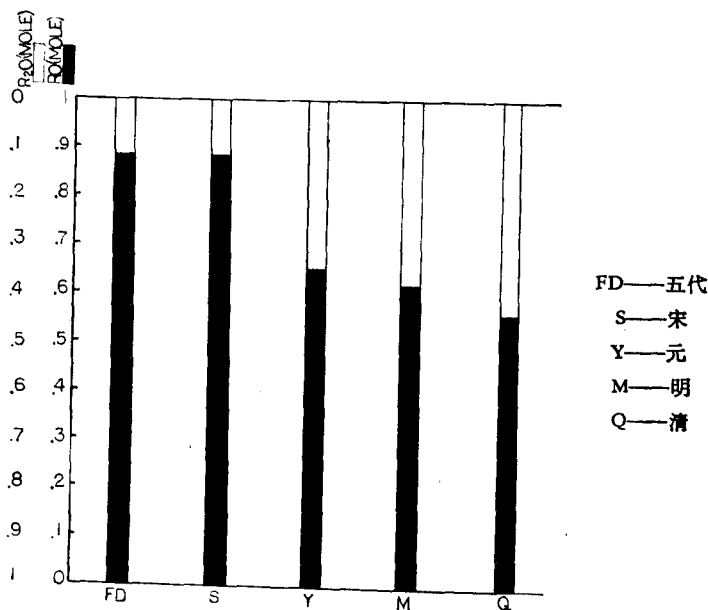


图 3 景德镇历代白釉中助熔剂含量的演变

3. 釉 前面已经提到,中国最早的釉出现于商代的原始瓷器上。这种釉虽然色调不正,厚薄不匀,但却是中国后世高温瓷釉的鼻祖,它对中国将近二千年来的瓷器生产的发展有着极为深远的影响。图3表示景德镇地区各个时代所生产的各种瓷釉的RO(CaO, MgO), R₂O(K₂O, Na₂O)的克分子含量的变化^[8,18,23]。研究表明,中国在公元一世纪以来直到清末为止这个历史阶段中,各地窑场所创造的各种瓷釉,包括青釉系统、黑釉系统、酱色釉系统、铜红釉系统、青白釉系统以及白釉系统等,它们在化学组成上都有一个共同的特点,即釉的主要熔剂是CaO,有时也含有一定量的K₂O。在南宋以前,大部分瓷釉中的CaO和MgO的克分子含量显著高于K₂O和Na₂O的克分子含量,我们把这一类釉称之为**石灰釉**。南宋以后,随着制瓷技术的不断改进,釉中的CaO含量不断下降,而K₂O的相对含量则显著上升,我们把这一类釉称之为**石灰-碱釉**。石灰釉的主要特点是高温粘度较小,易于流釉,因此它们在外观上一般都显得釉层薄,透明度较高。与此相比,石灰-碱釉的粘度则比较高,不易流釉,因此可以通过多次上釉,使釉层厚度达到1mm以上,比普通白瓷釉要厚好几倍。中国南宋龙泉青瓷具有如同玉器一般的优美风格,显然与厚厚的釉层有着密切的联系,不仅龙泉青釉是这样,中国历代所有其它品种的高温色釉都具有厚厚的釉层,由于这一技术措施,它们在外观上给人以一种温润肥厚的特殊的艺术美。这是中国古代陶工的一种创造。

四、历代窑炉结构的发展

陶瓷产品的内在质量和外观质量在很大程度上决定于烧成技术。烧成技术包括很多方面,从历史发展的观点来看,烧成温度的提高和还原气氛的适当控制是其中最重要的两个方面。中国古代窑炉结构的演变都是围绕着这二个目标而进行的。表4列出了我国各个历史阶段南北各地陶瓷窑炉的类型及其特点^[4,26-27],可以看出:

表 4

窑型	抽力	燃料	火焰	升降温速度	气氛
馒头窑	不强	煤	短	慢	还原,但不易控制
龙窑	强	木柴	长	快	还原,易于控制
阶级窑	强	木柴	长	快	还原,易于控制
蛋形窑	强	木柴	长	快	还原,易于控制

(1) 商代以前的陶窑都是在地上挖穴而成,最初为横穴式,后来又发展成竖穴式,烧成温度最高可达1000℃,气氛不能控制。

(2) 从商代到战国,开始在地面上建窑,窑室扩大,火焰流向为升焰式,烧成温度最高可达1200℃以上,气氛不易控制,原始瓷开始出现。

(3) 战国以后,窑炉的发展方向南方和北方有所不同,在北方,由升焰式发展到倒焰式的馒头窑,在南方则由升焰式发展为平焰式的龙窑,这二种窑都可烧到1300℃,亦都能烧还原焰,这二种窑的特点已归纳于表4中。

中国古代在烧成技术方面的另一重要成就是匣钵的使用。我国最早使用匣钵是隋唐时期,匣钵的使用不仅大大改善了釉面质量,也大大提高了窑的装烧量。

到公元 14 世纪的明代以后,在中国南方的福建德化一带又出现一种新的窑型——**阶级窑**。

到公元 17 世纪的明末清初,在景德镇又出现了**蛋形窑**。阶级窑和蛋形窑都是结合了馒头窑和龙窑的优点而创建成的。蛋形窑有一个高大的烟囱,抽力大,烧成时间短,产量高,热耗低、优点甚多。蛋形窑的另一特点是在不同的窑位上,温度和气氛都不一样,景德镇的陶工们巧妙地利用了这一点,他们在长时期的实践中,摸索出成百个胎釉新配方,以适应窑中各个不同窑位的条件,这样就能在同一个窑里,同时烧造出高温色釉、釉下彩、白瓷以及历代名窑的仿制品等。明清时期景德镇窑场出现百花齐放、空前繁荣的局面,这一点和这种蛋形窑的出现是分不开的。

五、若干历史名窑产品中的一些科学技术问题

1. 青釉、黑釉和天目釉 这三个品种的釉是中国陶瓷史上流传最广、影响最大的铁系高温色釉。历史上有不少名窑,例如越窑、龙泉窑、官窑、哥窑、汝窑、耀州窑等都以烧造青釉器而闻名天下。烧造黑釉器的窑场也是遍及全国。黑釉器在它自己的发展过程中又在宋代派生出一个重要分支,即天目釉器。中国人在长期的实践过程中,在铁系釉彩的着色技术方面,积累了十分丰富的经验,他们在充分利用各种含铁量较高的低品位原料的基础上,研究出各种技术,把本来属于很平凡很单调的东西变成具有各种各样不同风格的艺术珍品,最近二十多年来,不少学者在这一领域中进行了大量科学研究^[8,12,18,19,21-25,28-30],今将部分结果扼要介绍如下。

(1) 弟窑粉青釉——这种釉的含铁量在 1% 左右,不比古代的白瓷釉高,但由于粉青釉的釉层厚度比白瓷釉要厚好几倍,所以釉的色调就不是白中泛青,而呈淡淡的青色,十分幽雅。另外青釉的表面光泽显得比较柔和,宛如玉器一样。粉青釉之所以能具有玉器般的外表,这同釉的显微结构有关。图 4 是粉青釉层的显微结构。可以看到,这种釉的釉层中充满着大量晶体和气泡,使进入釉层的光线产生漫反射,从而获得一种特殊的艺术效

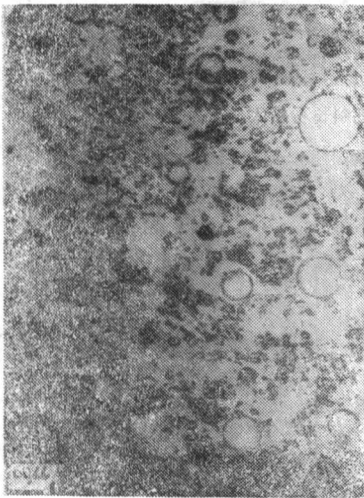


图 4 粉青釉的显微结构

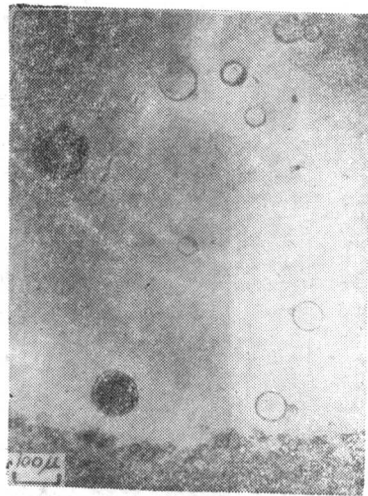


图 5 梅子青釉的显微结构

果。据测定,粉青釉的烧成温度比完全玻化所需要的温度偏低 50℃。

(2) 弟窑梅子青釉——梅子青釉的外观显得清澈透明,色调碧绿,有如翡翠,在风格上和粉青釉完全不一样。图 5 是梅子青釉的显微结构。可以看到,这种釉的釉层中很少看到气泡和未熔物料,这是由于烧成温度较高,玻化较完全所致。据测定,梅子青釉的烧成温度约为 1250—1280℃。梅子青釉的铁含量和粉青釉差不多,但还原比值 (Fe^{2+} 和 Fe^{3+} 含量的比值)却比粉青釉高出 5 倍以上,这是由于较强的还原气氛所致,此外,较高的烧成温度也会使 Fe^{3+} 分解成 Fe^{2+} 。

(3) 哥窑纹片釉——图 6 是传世哥窑釉的显微结构。可以看到,这类纹片釉的釉层中,存在着大量的钙斜长石晶体,这些晶体的析出是哥窑釉产生纹片的主要原因,同时也是乳浊的主要原因。电镜观察还发现,在钙斜长石晶体之间有为数不少的亚显微散射颗粒,进一步研究表明,它们是一些尺寸为 $<2000 \text{ \AA}$ 的亚显微空泡或气泡,其形成机理目前还不很清楚。

(4) 黑釉——含铁量介于 5—7% 之间,少数达到 10% 左右。还原比值比青瓷釉低,一般在 0.2—1.7 之间,表明系在氧化气氛中烧成。图 7 是这种釉的显微结构,釉层玻化完全,中间层发育良好是这类釉的共同特征。

(5) 天目釉——主要品种有兔毫、玳瑁和油滴等。这些天目釉在氧化铁含量方面与黑釉无明显差别,釉层表面结晶的形成是由于各种不同的工艺因素促使铁的氧化物在釉面局部析晶所致。例如就油滴来说,主要是由于釉层中的 Fe_2O_3 在 1200℃ 以上分解而产生大量气泡,这些气泡当大到一定程度时就有排出釉面的趋向。当气泡升向釉面时,气



图 6 哥窑釉中发育良好的钙斜长石晶体

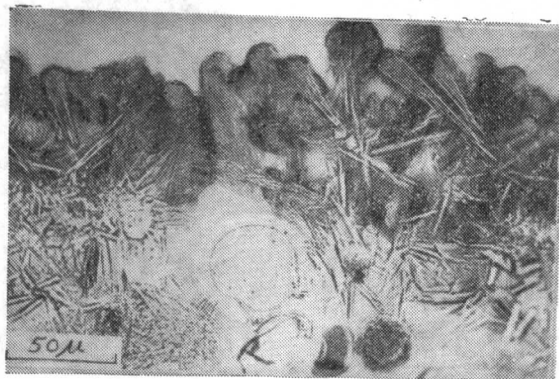


图 7 定窑黑釉胎釉中间层处发育良好的钙斜长石晶体