

中国古代陶瓷科学技术成就

李家治 陈显求 张福康 郭演仪 陈士萍等著

中国古代陶瓷科学技术成就

李家治 陈显求 张福康 郭演仪 陈士萍 等著

Scientific and Technical Achievements in Ancient Chinese Pottery and Porcelain

Li Jiazhi Chen Xianqiu Zhang Fukang Guo Yanyi Chen Shiping et. al

上海科学技术出版社

Shanghai Scientific and Technical Publishers

中国古代陶瓷科学技术成就

李家治 陈显求 张福康 郭演仪 陈士萍 等著

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路450号)

新华书店上海发行所发行 上海商务印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 22.5 插页 4 字数 534,000

1985年12月第1版 1985年12月第1次印刷

印数: 1—1,430

统一书号: 13119·1296 定价: 9.80元

内 容 简 介

本书内容包括中国古代陶器和瓷器的科学技术研究。从物理化学和工艺技术的观点出发,应用现代实验技术,对历代南、北方陶器及各名窑瓷器胎、釉及彩的化学组成、显微结构、物理和陶瓷性能、物理化学、制作和烧成技术以及原料等方面进行了广泛的论述。

本书对中外的学者、陶瓷研究工作者和生产技术人员是一本有价值的专著,也是一本熟悉中国陶瓷的学者进一步开展研究的参考和借鉴的书籍。本书适合于大专院校材料专业师生、陶瓷学家、化学家、考古学家以及鉴赏家使用,他们将会对本书特别感兴趣。

Brief Introduction

This book covers the scientific and technological studies of ancient Chinese pottery and porcelain, and presents a comprehensive review of chemical composition, microstructure, physical and ceramic properties, physical chemistry, making and firing techniques as well as raw materials used for preparing of bodies, glazes and colors of various pottery and porcelains of Southern and Northern Kiln area in successive dynasties with modern experimental techniques from the physical chemistry and technological points of view.

This book will be valuable as a monograph for Chinese and foreign scholars, research workers and technicians in the field of ceramic and archaeology and as a good reference book for individuals familiar with the rudiments of Chinese ceramics and seeking to do further research in this field. It will be well fit for and particular interest to the teachers and students of University and Ceramic Institute, Ceramists, Chemists and Archaeologists as well as Appreciator of Ancient Chinese pottery and porcelain.

序

纵横几千年,中国的陶瓷工艺,经过许多朝代,从史前直到今天,提供了独一无二、连续不断的发展过程。新石器时期中国陶器的技术成就表现了中国的古代文明。中国瓷器的首先发明为世界各国瓷器的出现作出了贡献。五光十色的颜色釉既是艺术园地中一朵奇葩,又是科学王国中一座宝库。古代瓷釉中存在的液相分离以及它和析晶的关系是近代非晶态固体科学中引人入胜的研究问题。多种多样的雕、堆、刻、划以及绚丽多姿的釉上彩和釉下彩开创了陶瓷装饰的新天地。这些中国古代陶瓷技术和艺术成就是中国古代人民智慧的结晶,也是对人类文明的重大贡献。但是,由于长期来缺少完整的历史记载和系统的研究,它的丰富内容还未为人们所尽知。只是最近一个多世纪以来,一些中外学者才开始致力于中国古代陶瓷科学技术的研究。由于时代久远,中国古代陶瓷的内容十分丰富,只是最近几年才使用现代仪器设备,不断揭示其科学技术奥秘,但所得研究结果与实际成就还相差甚远,有待开发的园地还十分广阔、深邃。

本世纪20年代末,周仁先生首先在国内开创了中国古代陶瓷科学技术研究的先河。建国以后,在党和政府的关怀下,根据他的倡议先后在中国科学院冶金陶瓷研究所和硅酸盐化学与工学研究所建立了国瓷研究组。在文物考古部门、各名瓷产区领导和科技部门的支持下,卅年来不仅对中国古代陶瓷从科学技术角度进行了大量的研究工作,而且对恢复某些传统名瓷的生产也作了许多有效的努力。与此同时,在全国范围内也带动和培养了一批有修养和造诣的科技人员和生产技术队伍。从1978年在浙江金华召开的“全国古陶瓷学术会议”和1982年在上海召开的“中国古代陶瓷科学技术国际讨论会”的空前盛况就可见一斑。他们利用现代科学理论和先进实验技术对从新石器时期直到清代末年的我国南北各重点地区的陶瓷标本进行了系统的研究,取得了许多极有价值的成果,突出地说明了我国古代陶瓷科学技术的丰富内容和超出人们想像的成就。但这些论著都只散见于各种刊物和会议论文集中。中国科学院上海硅酸盐化学与工学研究所从事古陶瓷科学技术研究的同行们为了能深入而又比较系统地论述已经被揭示的我国古代陶瓷在科学技术方面的成就,他们在各自多年工作的基础上综合了国内外有关学者的工作成果,编著了《中国古代陶瓷科学技术成就》一书。它的出版不仅说明中国古代劳动人民的勤劳智慧和创造才能,更重要的是将会激励更多的中华儿女奋发向上的精神,在各个不同领域为当代我国的四化建设作出更多的贡献。当然,一方面由于中国古代陶瓷历史悠久,很多极有价值的陶瓷遗存还深埋地下,有待考古学家的不断发掘;另一方面也由于中国古代陶瓷科学技术成就浩如烟海,也还有待陶瓷学家、考古学家及艺术史学家们的继续合作与探索。因此这本专著也可起到一个抛砖引玉的作用。

嚴东生

一九八四、九、一

前 言

瓷器是我国古代劳动人民的一项伟大发明。中国古代陶瓷的生产和发展历史悠久,工艺精湛,为人类做出了卓越的贡献。今天,已经成为全球共享的灿烂辉煌的文化遗产之一,并且成为多学科性的重要研究对象。

中国陶瓷的历史考古和工艺美术的研究工作历来是异常丰富的。论述陶瓷的著作可以追溯到唐朝,近年来中国硅酸盐学会主编的“中国陶瓷史”和轻工部陶瓷研究所修订再版的“中国的瓷器”,就是这方面的代表作。但是,以科学技术研究成果为基础来论述中国古代陶瓷的专著则至今还没有。为此,本书的作者们在自己长期研究工作的基础上,综合了国内外有关的科技研究结果,就中国古代陶瓷科学技术成就全面而系统地加以论述。这对总结中国陶瓷工艺技术的发展过程,发扬优良的传统工艺,恢复历代名窑瓷器,开发现代陶瓷新品种以及发展陶瓷科学研究的新领域等方面都会起到重要的作用。

从中国古代陶瓷发展出发,作者们首先以大量的实验数据和资料,论述了从陶到瓷发展的三个重大的突破,即原料的选择和精制,窑炉的改进和烧成温度的提高以及釉的出现和发展;论述了各个历史时期制陶术的主要成就和陶与瓷的渊源关系,从而为揭示我国东汉时期瓷器的发明奠定了基础。

作者们归纳了一个世纪以来中外科技工作者所分析的中国各朝代、各类型的瓷器胎、釉化学组成共七百余组较完整的数据,并绘出一系列的釉式和胎式图,总结了我国古代瓷器的胎、釉的化学组成的规律。

作者们从化学组成、工艺技术、显微结构和制品性能系统地概括了南北方青瓷的特点,并分析了龙泉窑各个不同时期的烧制技术。在多年研究的基础上和结合近年的发掘资料从科学技术角度讨论了邢窑、巩县窑、定窑、景德镇窑和德化窑等历代著名白瓷的科技特点及其在工艺技术上的成就。

从陶瓷物理化学研究基础出发,作者们继续深入论述近年来在古瓷釉中所发现的液相分离结构及其对某些名瓷呈色所起的作用。讨论了钧釉的分相小滴、 Cu_2O 和 Cu_2S 微粒的发现以及吉州天目、建阳兔毫、山西、河南、河北等地天目釉的分相结构与呈色机理。同时给出了古代分相釉的新研究成果。例如,明德化祖龙宫窑白瓷釉以及可以追溯到 1400 年前的南朝怀安窑釉都发现有液相分离结构。作者们给出了大量有关古瓷釉受热行为的实验数据,据此论述了各类名瓷釉在烧成时的变化。作者们以物相组成的鉴定和定量测定的结果为根据,论证了古代著名的乳浊釉,如官窑、哥窑和汝窑等釉的异同,阐明三者在化学组成近似、在技术上一脉相承,其乳浊性视釉中的钙长石、残留石英和釉泡三者的量而定的规律。根据分析数据,纠正了古籍中龙泉哥窑“取土于杭”的错误记述。

作者在大量科学数据、实验结果和历史资料的基础上,系统地论述了铁系高温釉的起源及其演变。我国古代陶工在商代发明草木灰釉的基础上,进一步发现并利用各种工艺条件对铁的着色的影响,创制出一系列在色调和外观艺术形像上各不相同的品种。铁系高温釉

的演变,从一个侧面反映出中国古代陶瓷工艺技术的历史发展过程。

作者们通过 $\text{CS-CAS}_4\text{-KAS}_6\text{-KS}_4$ 四元系相平衡图,论述了吉州天目斑纹釉产生液相分离的化学趋势。按照作者们所发现的分相结构,阐述了该瓷釉的特有的工艺技法。通过光学显微术和化学组成研究了影青、枢府和洪州窑等瓷的结构,并论证了它们所使用的原料。应用电子自旋共振波谱法 (ESR) 对湖田影青釉进行了 Fe^{3+} 和 $\text{Fe}^{3+}\text{-O-Fe}^{2+}$ 的浓度测定,从而深入论述了它们与影青釉呈色的关系。并与洪州青瓷釉和建盏兔毫釉的 ESR 谱作对比。

制瓷原料对中国古代陶瓷的发展占有关键地位,作者们专门论述了瓷石与瓷器发源和发展的密切关系,高岭土对提高瓷质的作用,并阐明了中国南方传统瓷所具有的石英-高岭-绢云母质瓷的特点,以及北方制瓷原料的异同。

青花瓷是中国古陶瓷的一个名贵的品种,作者们系统研究了自唐以来青花瓷胎、釉组成和所用色料,阐明了它们的烧造地点,说明了元、明、清青花瓷胎釉的发展规律和所用的色料特征。

低温色釉和釉上彩都是中国古代陶瓷业中极为重要的装饰技术。作者系统地归纳和论述了各种不同品种的低温釉彩在化学组成上的规律性及其发展过程。中国古代低温釉属于 $\text{PbO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ 或 PbO-SiO_2 系统,明清时期的釉上彩属于 $\text{PbO-SiO}_2\text{-K}_2\text{O}$ 系统,后者是在前者的基础上发展起来的。中国古代低温色釉和釉上彩的主要着色元素仅限于 Fe 、 Cu 、 Co 、 Mn 四种,以后,由于西方珐琅彩技术的影响,又增加了 Au 红和 Sb 黄两种着色剂。

必须指出,中国古代陶瓷的研究牵涉到相当多的学科,新的历史文物又不断地大量涌现,企图由一本著作加以概括是不可能的。因此,本书的内容只是反映了到目前为止的中国古陶瓷科学技术研究的主要结果。此外,本书各章分别由不同的作者执笔,文笔风格自不可能完全一致,论点虽力求统一,但为了百家争鸣也保留了一些个人坚持的观点以作引玉之砖。同时,浩如烟海的研究领域中还存在今后有待进行工作的大量空白。

作者们在研究工作和成书的过程中不断得到各地考古界和陶瓷界的有关单位和个人的大力支持和帮助,特此表示深切的感谢。作者们认为,由于学识有限,各个论述方面必定存在着许多缺点和可以商榷的问题,希望读者不吝赐教,以便今后加以改正。

刘菱芬 一九八四、八

目 录

序	严东生
前 言	刘菱芬
第 一 章 中国陶器和瓷器工艺发展过程的研究	李家治 (1)
第 二 章 中国新石器时代制陶术的主要成就	张福康 (20)
第 三 章 中国古代各类瓷器化学组成总汇	陈士萍、陈显求 (31)
第 四 章 原始瓷的形成和发展	李家治 (132)
第 五 章 中国南北方青瓷	郭演仪 (146)
第 六 章 龙泉窑	张福康 (162)
第 七 章 中国历代南北方著名白瓷	李家治、郭演仪 (175)
第 八 章 中国古代瓷釉中液相不混溶性研究的进展	陈显求、黄瑞福、陈士萍 (197)
第 九 章 中国古代各类瓷釉的受热行为	陈士萍、陈显求 (211)
第 十 章 从技术上看宋代施乳浊釉的名瓷	陈显求、陈士萍、李家治 (230)
第十一章 铁系高温瓷釉综述	张福康 (239)
第十二章 绚丽多姿的吉州天目釉的内在本质	陈显求、黄瑞福、陈士萍 (257)
第十三章 湖田影青、枢府瓷的结构和影青瓷釉的 ESR 谱	陈显求、陈士萍、王开泰、钟伯强 (270)
第十四章 中国制瓷原料	郭演仪 (285)
第十五章 历代青花瓷和着色青料	陈尧成、张志刚、郭演仪 (300)
第十六章 中国传统低温色釉和釉上彩	张福康 (333)

Contents

Preface.....	Yan Dongsheng
Foreword.....	Liu Lingfen
1. Studies on the Developing Process of the Technical Aspect of Ancient Chinese Pottery and Porcelain.....	Li Jiazhi (1)
2. Technical Achievements of Prehistorical Pottery Making Craft in China	Zhang Fukang (20)
3. The Comprehensive Summary of Chemical Composition of Various Ancient Chinese Porcelains.....	Chen Shiping, Chen Xianqiu (31)
4. Formation and Development of the Proto-porcelain.....	Li Jiazhi (132)
5. Southern and Northern Celadon in China.....	Guo Yanyi (146)
6. Longquan Celadon.....	Zhang Fukang (162)
7. Famous White Porcelain of the Various Dynasties in the North and South of China.....	Li Jiazhi, Guo Yanyi (175)
8. The Advancement in the Research on Liquid-liquid Immiscibilities of Ancient Chinese Porcelain Glazes.....	Chen Xianqiu, Huang Ruifu, Chen Shiping (197)
9. The Heating Behaviour of Various Ancient Chinese Porcelain Glazes	Chen Shiping, Chen Xianqiu (211)
10. Research on the Song Dynasty Famous Opacified Glazes from a Technical Point of View.....	Chen Xianqiu, Chen Shiping, Li Jiazhi (230)
11. A Brief Summary of Iron-colored High-fired Glazes	Zhang Fukang (239)
12. The Nature of Bright and Colourful Jizhou Temmoku Glazes	Chen Xianqiu, Huang Ruifu, Chen Shiping (257)
13. The Microstructure and the ESR Spectra of Yingqing and Shufu Wares	Chen Xianqiu, Chen Shiping, Wang Kaitai, Zhong Baiqiang (270)
14. Raw Materials for Porcelain in China.....	Guo Yanyi (285)
15. Blue-and-White Porcelain and their Pigments of Successive Dynasties	Chen Yaocheng, Zhang Zhigang, Guo Yanyi (300)
16. Chinese Traditional Low Fired Glazes and Overglaze Colors.....	Zhang Fukang (333)

第一章 中国陶器和瓷器工艺 发展过程的研究

Studies on the Developing Process of the Technical Aspect of Ancient Chinese Pottery and Porcelain

李 家 治
Li Jiazhi

中国陶瓷工艺历史悠久,远在新石器时代(约 10000~4000 年前),就出现过很多美丽的彩陶、红陶、灰陶和黑陶。这些陶器无论在原料选择、成型技术、艺术加工和烧制工艺等方面都已达到相当高的水平。以后,在原料的选择和精练,炉窑的改进和烧成温度的提高,以及釉的出现和使用等方面又有新的突破。在三千多年前的商、周时代就创造了原始瓷器。经过一个过渡时期,原始瓷器的工艺更为成熟,至迟到东汉时代已完成由陶向瓷的过渡,使中国成为世界上最早发明瓷器的国家。

作者在总结中国陶器和瓷器工艺发展过程规律的基础上,提出了中国陶器和瓷器发展的三个阶段和在工艺上的三个重大突破。三个阶段,即是陶器、原始瓷器(过渡阶段)和瓷器。三个重大突破,即是原料的选择和精制、炉窑的改进和烧成温度的提高以及釉的形成和发展。这三个重大突破的发展过程,基本上概括了中国古代陶瓷工艺发展的过程。

一、陶瓷原料的选择和精制

作者收集和分析了新石器时代的陶器以及各个历史时代的陶器、原始瓷器及瓷器等 100 多个标本的化学组成,如表 1-1 所列;并将这些陶瓷胎的化学组成计算成分子式,然后将它们作成陶瓷胎的化学组成分布图,如图 1-1 所示。为了使图中的组成点不至于集中而难以分辨,图中只选择了代表各个时期的少数组成点。作者根据各种氧化物在陶瓷中所起的作用,把它们分为三类: SiO_2 为一类, Al_2O_3 为一类,这两类是形成陶瓷器的主要组成。 Fe_2O_3 、 TiO_2 、 CaO 、 MgO 、 K_2O 、 Na_2O 、 MnO 为一类,以 R_xO_y 表示之。它们的含量都在 10% 以下,起助熔剂作用,有助于陶瓷的烧结。这种分类法较之传统的把 Fe_2O_3 和 TiO_2 分别并入 Al_2O_3 和 SiO_2 的分类法更为合理,用它所作的历代陶瓷器组成分布图也更能表现出历代陶瓷器在组成上的差别^[1]。

从图 1-1 可以清楚地看出,新石器时代以及商代的陶器组成点除少数例外都集中在图的上部;从商、周时代的原始瓷器一直到明、清的瓷器组成点都集中在图的下部;从右逐步向左下角延伸,形成一个较大的区域。这种变化先是由于发展到原始瓷的高 SiO_2 和低 R_xO_y 以及随后发展到瓷器的低 SiO_2 和低 R_xO_y 所引起的。当然,由于在瓷器胎中大量使用高岭土,



●—陶器 Pottery; ×—原始瓷 Proto-porcelain; ○—瓷器 porcelain

从新石器时代的各种陶器的化学组成和它们的外观来看,中国古代劳动人民已不是随便用什么泥土来制造陶器了。虽然,当时他们不可能跑到很远地方去选择制陶原料,一般还

表 1-1 中国各地古代陶瓷胎化学组成和分子式
Composition of ancient Chinese pottery and porcelain bodies in different regions

编 号	原料料编号	出土地点(产地) 时代品名	化 学 组 成 Wt %										分 子 式		
			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		烧失	总量
HX1		新石器早期河南新乡裴李岗红陶片	57.43	17.11	7.31	0.96	1.55	1.96	1.33	2.24		4.07	6.19	100.15	1.27 R ₂ O _y ·Al ₂ O ₃ ·5.69 SiO ₂
YSh1	3	西安半坡仰韶彩陶片	61.12	18.21	7.78	1.02	1.65	2.09	1.42	2.38		4.35	1.47	100.02	
YSh2	54A	仰韶村仰韶红陶片	68.51	16.41	6.54	0.81	1.67	1.75	3.00	1.04	0.09		1.43	99.37	1.09 R ₂ O _y ·Al ₂ O ₃ ·7.08 SiO ₂
YSh3	YS	仰韶村仰韶红陶片	66.50	16.56	6.24	0.88	2.28	2.98	2.98	0.69	0.06		1.43	99.90	1.17 R ₂ O _y ·Al ₂ O ₃ ·6.81 SiO ₂
YSh4	44	洛阳仰韶陶坯片	67.53	16.83	6.34	0.89	2.31	2.31	3.02	0.70	0.06		1.8	99.9	1.10 R ₂ O _y ·Al ₂ O ₃ ·7.68 SiO ₂
YSh5	1R	西安半坡仰韶夹砂红陶片	67.00	14.80	8.80	0.80	1.60	1.30	2.80	1.00			6.72	99.76	1.13 R ₂ O _y ·Al ₂ O ₃ ·5.98 SiO ₂
YSh6	2R	西安半坡仰韶夹砂红陶片	64.72	18.35	7.51	0.85	1.10	2.76	3.45	1.23	0.03		6.72	99.97	1.24 R ₂ O _y ·Al ₂ O ₃ ·5.48 SiO ₂
YSh7	K	甘肃仰韶浅黄陶片	61.90	19.13	8.37	0.99	2.61	3.10	3.21	0.57	0.11		99.99	99.95	1.33 R ₂ O _y ·Al ₂ O ₃ ·6.07 SiO ₂
YSh8	TO63:5	宝鸡北首岭仰韶红陶片	63.43	17.73	6.91	1.19	3.17	2.03	3.48	1.86	0.15		2.4	100.00	2.44 R ₂ O _y ·Al ₂ O ₃ ·6.63 SiO ₂
Se1		沈阳北陵红陶片(与细石器共存)	57.80	14.50	8.10	0.70	9.20	2.90	3.40	1.00		0.17	1.17	100.08	1.06 R ₂ O _y ·Al ₂ O ₃ ·6.85 SiO ₂
DWQ1	76SYW M2170	兖州王因大汶口红陶片	67.95	16.82	6.04	0.98	1.10	2.02	3.54	1.19	0.18	0.17	0.17	99.99	1.28 R ₂ O _y ·Al ₂ O ₃ ·6.51 SiO ₂
Ma1	56B	甘肃临洮辛店马家窑彩陶片	61.27	15.98	6.49	1.48	1.37	0.90	4.18	2.16	0.07	2.05	2.14	95.95	1.22 R ₂ O _y ·Al ₂ O ₃ ·3.91 SiO ₂
LSh1	13	山东两城镇龙山黑陶片	65.25	17.02	6.91	1.58	1.46	0.96	4.45	2.30	0.07	2.14	5.65	100.00	2.32 R ₂ O _y ·Al ₂ O ₃ ·5.33 SiO ₂
LSh2	46A	山东城子崖龙山黑陶片	49.05	21.29	7.45	1.24	2.34	2.26	2.19	1.38	0.14	6.66	3.39	99.67	1.02 R ₂ O _y ·Al ₂ O ₃ ·5.68 SiO ₂
LSh3	62B	河南安阳后岗龙山黑陶片	56.15	24.38	8.53	1.42	2.68	2.59	2.51	1.58	0.16	7.09	6.97	100.01	1.42 R ₂ O _y ·Al ₂ O ₃ ·7.08 SiO ₂
LSh4	52B	仰韶村龙山灰陶片	54.92	17.47	6.17	0.75	9.28	3.18	3.59	0.69	0.23		5.39	100.00	1.47 R ₂ O _y ·Al ₂ O ₃ ·8.27 SiO ₂
			57.04	18.14	6.41	0.78	9.64	3.30	3.73	0.72	0.24		1.52	99.24	1.20 R ₂ O _y ·Al ₂ O ₃ ·6.85 SiO ₂
			61.11	18.26	4.89	0.81	2.70	1.34	1.55	2.42	0.11		1.95	101.25	
			65.58	19.59	5.25	0.87	3.00	1.44	1.66	2.60	0.12		99.99	99.99	
			63.57	15.20	5.99	0.92	2.65	2.43	2.77	1.62	0.07		1.95	101.25	
			66.76	15.96	6.29	0.97	2.78	2.55	2.91	1.70	0.07		1.95	101.25	
			67.98	13.97	6.13	0.79	2.34	2.38	2.73	1.35	0.05		1.95	101.25	
			69.57	14.30	6.27	0.81	2.39	2.44	2.79	1.38	0.05		1.95	101.25	
			67.10	16.61	6.23	0.89	2.01	2.33	2.79	1.30	0.04		1.95	101.25	
			67.57	16.72	6.27	0.90	2.02	2.35	2.81	1.31	0.04		1.95	101.25	

表 1-1 (续)

编 号	原资料编号	出土地点(产地)	时代品名	化 学 组 成 Wt %											分 子 式
				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	烧失	
LSh5	52C	仰韶村龙山灰红陶片		67.72	17.30	6.22	0.90	1.48	2.37	2.70	0.76	0.07	1.78	101.29	1.05 R ₂ O _y ·Al ₂ O ₃ ·6.65 SiO ₂
LSh6	60C	长安客省庄龙山红陶片		67.98	17.37	6.24	0.90	1.49	2.38	2.80	0.76	0.07		99.99	
LSh7	47	山东城子崖龙山白陶片		66.21	15.49	5.77	0.77	1.85	3.39	3.24	2.45	0.08	1.08	100.33	1.57 R ₂ O _y ·Al ₂ O ₃ ·7.26 SiO ₂
				66.71	15.61	5.81	0.78	1.86	3.42	3.26	2.47	0.08		100.00	
LSh8	76S、W26 7208(4A)	山西夏县东下冯龙山绿陶片		63.03	29.51	1.59	1.47	0.74	0.82	1.48	0.18	0.03	1.45	100.30	0.28 R ₂ O _y ·Al ₂ O ₃ ·6.59 SiO ₂
				63.76	29.85	1.61	1.49	0.75	0.83	1.50	0.18	0.02		99.99	
LSh9	75STS M2124:15	山东胶县三里河龙山黑陶片		57.37	14.77	6.37	0.87	12.53	2.98	2.67	1.29	0.10	0.29	99.54	2.76 R ₂ O _y ·Al ₂ O ₃ ·6.59 SiO ₂
				57.80	14.88	6.42	0.88	12.62	3.00	2.69	1.30	0.10		99.99	
YMT1	YMT23	浙江余姚河姆渡黑陶片		65.53	13.77	4.94	0.79	2.05	1.41	2.98	2.13	0.07	94.36	100.00	1.37 R ₂ O _y ·Al ₂ O ₃ ·8.08 SiO ₂
				69.45	14.59	5.24	0.84	2.17	1.49	3.16	2.26	0.07			
YMT7	YMT33(2)	浙江余姚河姆渡红陶片		60.88	17.18	1.44	0.68	1.44	1.00	2.18	1.40	0.06	13.42	99.98	0.69 R ₂ O _y ·Al ₂ O ₃ ·6.00 SiO ₂
				70.33	19.84	1.66	0.79	1.66	1.16	2.52	1.62	0.07		100.00	
CL1	崧 C2	青浦崧泽青莲岗红陶片		55.77	19.05	5.93	0.98	1.29	1.77	2.77	0.98	0.07	6.53	99.93	1.10 R ₂ O _y ·Al ₂ O ₃ ·4.97 SiO ₂
				59.71	20.40	6.35	1.05	1.38	1.90	2.97	1.65	0.07		100.01	
CL2	崧 A1	青浦崧泽青莲岗灰陶片		63.27	18.60	7.07	1.08	1.06	2.20	3.26	0.80	0.08	2.11	99.83	0.99 R ₂ O _y ·Al ₂ O ₃ ·5.77 SiO ₂
				64.75	19.03	7.23	1.11	1.08	2.25	3.34	0.82	0.08		100.00	
LZh1	亭 T3	金山亭林良渚灰陶片		64.79	18.85	6.65	1.03	0.65	2.03	3.27	1.10	0.05	1.35	100.11	0.93 R ₂ O _y ·Al ₂ O ₃ ·5.81 SiO ₂
				65.60	19.09	6.73	1.04	0.66	2.06	3.31	1.11	0.05		99.99	
Sh1	28	郑州二里岗商代红陶片		54.09	21.34	9.45	1.29	1.14	2.36	2.71	0.80	0.08	3.98	100.45	1.05 R ₂ O _y ·Al ₂ O ₃ ·4.30 SiO ₂
				56.07	22.12	9.80	1.34	1.18	2.45	2.81	0.83	0.08		100.01	
Sh2	30	安阳五道沟商代红陶片		59.26	16.22	6.34	1.72	5.49	2.66	2.75	1.71	0.07	3.97	100.19	1.78 R ₂ O _y ·Al ₂ O ₃ ·6.21 SiO ₂
				61.58	16.86	6.59	1.79	5.71	2.76	2.86	1.78	0.07		100.00	
Sh3	31	安阳五道沟商代灰陶片		65.41	17.16	5.91	0.84	2.35	2.21	2.92	1.65	0.05	2.06	100.56	1.11 R ₂ O _y ·Al ₂ O ₃ ·6.46 SiO ₂
				66.41	17.42	6.00	0.85	2.39	2.24	2.96	1.68	0.05		100.00	
Sh4	35	安阳西盘磨商代红陶片		66.39	17.09	5.82	0.87	2.11	2.28	2.49	1.29	0.13	1.83	100.30	1.14 R ₂ O _y ·Al ₂ O ₃ ·6.60 SiO ₂
				67.42	17.36	5.91	0.88	2.14	2.32	2.53	1.31	0.13		100.00	
Sh5		殷墟商代硬陶片		66.85	16.56	6.01	0.91	1.91	1.93	2.62	1.48	0.01	2.36	100.64	1.13 R ₂ O _y ·Al ₂ O ₃ ·6.86 SiO ₂
				68.02	16.85	6.12	0.93	1.94	1.96	2.67	1.51	0.01		100.01	
Sh6	T10	江西吴城商代印纹陶片		71.66	18.60	3.66	0.85	0.68	0.83	2.25	1.06	0.02	1.16	100.77	0.59 R ₂ O _y ·Al ₂ O ₃ ·6.55 SiO ₂
				71.96	18.68	3.68	0.85	0.68	0.83	2.26	1.06	0.02		100.02	0.45 R ₂ O _y ·Al ₂ O ₃ ·4.88 SiO ₂
Sh7	T6	江西吴城商代黑釉陶片		66.52	23.17	4.39	1.45	0.20	1.01	2.90	0.20			99.84	0.47 R ₂ O _y ·Al ₂ O ₃ ·6.92 SiO ₂
				74.00	18.15	3.37	0.94	0.20	0.81	1.74	0.38			100.09	

表 1-1 (续)

编 号	原资料编号	出土地点(产地) 时代品名	化 学 组 成 Wt %										分 子 式		
			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		烧失	总量
Sh8	42	郑州二里岗商代原始瓷片	76.38	14.91	2.27	0.91	0.67	1.18	2.06	0.79	0.09			99.26	0.70 R ₂ O _y ·Al ₂ O ₃ ·8.71 SiO ₂
Sh9	EH11	江西吴城商代原始瓷片	73.74	18.00	2.79	1.11	0.33	0.89	2.30	0.50				99.66	0.50 R ₂ O _y ·Al ₂ O ₃ ·6.93 SiO ₂
Sh10		殷墟商代原始瓷片	76.18	17.13	2.02	0.77	0.51	0.85	2.17	0.78	0.10		1.02	101.53	
Sh11		安阳商代白陶片	76.00	17.10	2.02	0.77	0.51	0.85	2.15	0.78	0.10			100.28	0.53 R ₂ O _y ·Al ₂ O ₃ ·7.53 SiO ₂
Zh1	40		49.14	41.21	1.72	3.34	0.60	0.82	0.74	0.17	0.03		1.88	99.65	0.24 R ₂ O _y ·Al ₂ O ₃ ·2.02 SiO ₂
Zh1	12	长安客省庄西周灰红陶片	50.26	42.15	1.76	3.42	0.62	0.84	0.76	0.17	0.03		3.20	100.01	1.00 R ₂ O _y ·Al ₂ O ₃ ·5.81 SiO ₂
Zh2	37	山西侯马东周原始瓷片	63.31	18.45	5.26	1.00	1.59	1.95	3.44	1.46				100.00	0.71 R ₂ O _y ·Al ₂ O ₃ ·9.44 SiO ₂
Zh3	T315	陕西张家坡西周原始瓷片	65.63	19.13	5.45	1.04	1.65	2.02	3.57	1.51	0.04			100.26	0.57 R ₂ O _y ·Al ₂ O ₃ ·6.37 SiO ₂
Zh4	H423	陕西张家坡西周原始瓷片	72.36	19.32	1.64	0.83	1.03	0.45	3.75	1.04	0.07			100.49	0.51 R ₂ O _y ·Al ₂ O ₃ ·7.30 SiO ₂
Zh5	T26	陕西张家坡西周原始瓷片	75.46	17.55	1.48	1.13	0.41	0.95	2.75	0.23	0.03			99.99	0.80 R ₂ O _y ·Al ₂ O ₃ ·8.99 SiO ₂
Zh6		安徽屯溪西周原始瓷片	76.16	14.40	2.88	1.59	1.21	0.47	2.86	0.65	0.05			100.27	0.57 R ₂ O _y ·Al ₂ O ₃ ·6.33 SiO ₂
Zh7	1:67	江苏宜兴獭墩东周原始瓷片	71.95	19.25	1.83	1.11	1.48	0.51	3.24	0.57	0.03		1.17	100.05	0.50 R ₂ O _y ·Al ₂ O ₃ ·7.92 SiO ₂
Q1		西安临潼秦陶俑坑陶片	75.73	16.23	2.21	1.05	0.32	0.50	2.12	0.71			2.88	100.43	1.21 R ₂ O _y ·Al ₂ O ₃ ·6.42 SiO ₂
H1		江苏宜兴汉代水波纹陶片	76.59	16.41	2.24	1.06	0.32	0.51	2.14	0.72	0.11			100.00	0.58 R ₂ O _y ·Al ₂ O ₃ ·6.24 SiO ₂
H2		江苏宜兴地区汉代原始瓷片	63.83	17.03	6.97	0.88	1.87	2.23	3.13	1.50	0.11	0.13	1.36	100.30	0.43 R ₂ O _y ·Al ₂ O ₃ ·6.88 SiO ₂
H3		西汉原始瓷片	65.43	17.46	7.14	0.90	1.92	2.29	3.21	1.54	0.05	0.13	1.03	99.63	0.48 R ₂ O _y ·Al ₂ O ₃ ·7.30 SiO ₂
H4		浙江上虞小仙坛东汉青瓷片	69.05	18.72	6.74	1.13	0.34	0.75	1.52	0.51	0.05	0.21	1.67	100.38	0.54 R ₂ O _y ·Al ₂ O ₃ ·8.12 SiO ₂
J1	浙一Zh1	江苏宜兴均山晋代原始瓷片	73.79	18.24	1.71	0.98	0.14	0.64	2.93	0.17	0.01	0.21		99.54	0.60 R ₂ O _y ·Al ₂ O ₃ ·8.22 SiO ₂
J2		江苏宜兴周墓墩西晋原始瓷片	74.84	18.50	1.73	1.00	0.14	0.65	2.97	0.17	0.02	0.08		99.87	0.70 R ₂ O _y ·Al ₂ O ₃ ·10.52 SiO ₂
J3		江苏宜兴周墓墩西晋原始瓷片	74.07	17.23	2.97	1.06	0.33	0.63	1.69	0.51	0.01	0.09		99.50	0.66 R ₂ O _y ·Al ₂ O ₃ ·9.32 SiO ₂
J4	M81	浙江上虞龙泉唐西晋青瓷片	75.04	17.46	3.01	1.07	0.33	0.64	1.71	0.52	0.01			100.04	0.50 R ₂ O _y ·Al ₂ O ₃ ·6.91 SiO ₂
J5	浙四Zh4 浙五Zh5	浙江上虞张子山西晋青瓷片	76.07	15.94	2.42	1.06	0.24	0.57	2.59	0.55	0.02			99.60	0.52 R ₂ O _y ·Al ₂ O ₃ ·8.30 SiO ₂
			77.16	15.98	1.74	1.23	0.18	0.48	1.66	0.45				99.76	
			79.02	12.74	2.97	0.92	0.64	0.54	1.70	0.97					
			77.84	14.16	2.88	1.41	0.50	0.40	1.84	1.01	0.02				
			73.51	18.06	2.72	1.11	0.29	0.50	2.46	0.93	0.01				
			76.82	15.71	2.38	0.71	0.19	0.52	2.72	0.70	0.01				

表 1-1 (续)

编 号	原资料编号	出土地点(产地)	时代品名	化 学 组 成 Wt %											分 子 式	
				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	烧失		总量
NB1	浙十四	浙江瑞安相溪南朝青瓷片 景县封氏墓北朝原始瓷碎片 巩县唐代白瓷碗底 河北临城邢窑白瓷 五代胜梅亭白瓷碎片 宋汝窑陶胎盘 宋定窑白瓷碗碎片 宋钧窑瓷胎天青釉洗残器 宋“太平成寓”款越瓷碗底 南宋龙泉窑碗残器 宋湖田影青碗残器 宋德化窑白碗底 南宋官窑器残片 元代釉里红玉壶春瓶残片 元代龙泉青瓷碗残片 明代龙泉青瓷碗残片 明宣德大盘 明成化青花瓷片 明万历五彩盘 德化明代白瓷盘 清康熙五彩盘 清康熙五彩盘 清雍正五彩盘 清雍正粉彩盘	Zh14	72.31	20.18	1.96	0.97	0.23	0.47	2.89	0.85	0.03			99.89	0.43 R ₂ O _y ·Al ₂ O ₃ ·6.80 SiO ₂
NB2	W1		67.29	26.94	1.11	1.17	0.59	0.53	1.86	0.20					99.69	0.26 R ₂ O _y ·Al ₂ O ₃ ·4.24 SiO ₂
T1	HG5		66.46	28.01	0.50	1.23	0.23	0.37	1.80	0.44			0.06	0.45	99.55	0.21 R ₂ O _y ·Al ₂ O ₃ ·4.03 SiO ₂
T2	HN5		62.85	32.36	0.61	0.57	1.11	0.71	1.32	0.62			0.05		100.20	0.23 R ₂ O _y ·Al ₂ O ₃ ·3.30 SiO ₂
WD1	T2-1		77.48	16.93	0.77	—	0.80	0.51	2.63	0.35	0.14				99.61	0.41 R ₂ O _y ·Al ₂ O ₃ ·7.71 SiO ₂
SL-1	SL-1		65.00	28.08	1.96	1.38	1.35	0.56	1.37	0.15					99.85	0.31 R ₂ O _y ·Al ₂ O ₃ ·3.94 SiO ₂
S4	S4		61.31	31.74	1.07	0.79	1.90	1.70	1.69	0.22	0.03				100.45	0.37 R ₂ O _y ·Al ₂ O ₃ ·3.28 SiO ₂
S2-1	S2-1		64.40	27.37	2.51	1.22	0.76	0.68	2.74	0.32					100.00	0.34 R ₂ O _y ·Al ₂ O ₃ ·4.00 SiO ₂
S6-1	S6-1		74.56	16.34	1.91	0.98	1.09	0.99	2.51	1.01					99.39	0.69 R ₂ O _y ·Al ₂ O ₃ ·7.76 SiO ₂
S3-1	S3-1		70.95	21.54	2.39	—	—	0.06	4.54	0.43	0.04				99.95	0.34 R ₂ O _y ·Al ₂ O ₃ ·5.62 SiO ₂
S9	S9-2		74.70	18.65	0.96	0.03	1.01	0.50	2.79	1.49	0.08				100.21	0.52 R ₂ O _y ·Al ₂ O ₃ ·6.79 SiO ₂
SF1	SF1		72.95	19.67	0.57	0.20	0.45	0.18	5.35	0.29		0.02			99.68	0.42 R ₂ O _y ·Al ₂ O ₃ ·6.29 SiO ₂
S5	S5		68.99	22.21	3.57	0.09	0.82	0.60	3.51	0.33	0.03				100.15	0.44 R ₂ O _y ·Al ₂ O ₃ ·5.27 SiO ₂
Y1	Y1		75.21	19.68	0.73	0.08	0.23	0.27	2.77	1.05					100.02	0.33 R ₂ O _y ·Al ₂ O ₃ ·6.49 SiO ₂
YL1	YL-1		70.77	20.13	1.63	0.16	0.17	0.74	5.50	0.82	0.07				99.99	0.53 R ₂ O _y ·Al ₂ O ₃ ·5.98 SiO ₂
ML1	ML-1	70.18	20.47	1.71	0.19	0.16	0.29	6.02	0.97	0.10				100.09	0.51 R ₂ O _y ·Al ₂ O ₃ ·5.81 SiO ₂	
M1	M1	73.58	20.05	0.90	—	0.53	0.14	2.87	2.01					100.08	0.41 R ₂ O _y ·Al ₂ O ₃ ·6.21 SiO ₂	
M6	M6	68.46	23.59	1.05	0.10	0.77	0.44	3.24	2.28	0.09				100.02	0.46 R ₂ O _y ·Al ₂ O ₃ ·4.93 SiO ₂	
M2	M2	68.30	25.61	0.90	0.02	0.80	0.24	2.99	1.00	0.02				99.88	0.30 R ₂ O _y ·Al ₂ O ₃ ·4.53 SiO ₂	
MF1	MF1	74.24	17.69	0.35	0.58	0.28	0.42	6.48	0.15	0.07	0.04			100.30	0.61 R ₂ O _y ·Al ₂ O ₃ ·7.14 SiO ₂	
Cl4	Cl4	66.67	26.25	0.91	—	1.25	0.33	2.56	2.15					100.12	0.38 R ₂ O _y ·Al ₂ O ₃ ·4.32 SiO ₂	
Cl7	Cl7	65.09	26.72	1.06	0.13	1.62	0.13	3.11	2.57	0.07				100.50	0.44 R ₂ O _y ·Al ₂ O ₃ ·4.13 SiO ₂	
Cl3	Cl3	67.78	26.25	0.84	0.07	0.71	0.16	3.28	1.12	0.07				100.28	0.30 R ₂ O _y ·Al ₂ O ₃ ·4.39 SiO ₂	
Cl5	Cl5	66.27	27.42	0.77	—	1.36	0.13	3.07	1.29					100.31	0.32 R ₂ O _y ·Al ₂ O ₃ ·4.10 SiO ₂	

是就地取材,但已经能有目的、有意识地加以选择。他们所选用的原料主要为高铁质粘土,根据颜色有红土、黑土和黄粘土之称^[2],并已能采用某些方法去除泥土里面的砂粒、石灰、草根等杂质。不然,古代那些红陶、灰陶和黑陶在外观上就不会那样光滑,在断面上就不会那样匀称,在器形上就不会那样规矩。甚至,他们已经使用高岭土烧制白陶^[2],使中国成为世界上最早使用高岭土的国家,创造了独特的白陶艺术。高岭土的使用对由陶过渡到瓷起了十分重要的作用,对后来中国瓷器质量的提高同样起了非常重要的作用。如闻名于世的唐代邢窑即已使用高岭土作为制瓷原料^[3],胎中 Al_2O_3 的含量已高达 32%, Fe_2O_3 的含量则低达 0.61%, 在其胎的显微结构中还可找到高岭石残骸。图 1-2 为邢窑白瓷胎的显微照片。此外,宋以后景德镇瓷器质量的提高也主要靠高岭土用量的逐渐增加^[4]。

商周时代,人们对原料的选择和精制提出了更高的要求,集中表现在 Fe_2O_3 和 CaO 含量的降低和 SiO_2 含量的提高。说明当时人们已经知道了 Fe_2O_3 和 SiO_2 含量和陶瓷质量的关系,从而提高了选择泥土和精制泥土的标准。

Fe_2O_3 含量的继续降低和 SiO_2 或 Al_2O_3 (瓷器) 含量的继续增加对由陶过渡到瓷和提高瓷器的质量有着决定性的作用。 SiO_2 或 Al_2O_3 含量的增加,使陶瓷坯有可能在较高的温度烧成以及生成较多的莫来石晶体,从而提高了陶瓷器的机械强度和在烧成中改善了制品的变形。 Fe_2O_3 含量的降低可以提高瓷器的白度和透明度,图 1-3 列出了我国历代陶瓷器中 Fe_2O_3 含量的变化。从新石器时代到商、周甚至到秦、汉(硬陶 Sh 5 和印纹陶 Sh 6 以及早期河姆渡陶 YMT 除外),所有各种陶器中 Fe_2O_3 的含量都在 6% 左右;而在原始瓷胎中则都降低到 3% 以下;到了唐、宋、元、明、清的瓷胎则只有 1% 左右。由此可见, Fe_2O_3 含量的降低对提高陶瓷的质量的作用是非常显著的(图 1-3 中编号,参考表 1-1)。



图 1-2 邢窑胎中的高岭石残骸(A+P+G)

Microstructure of Xing ware body showing the remains of kaolinite A+P+G

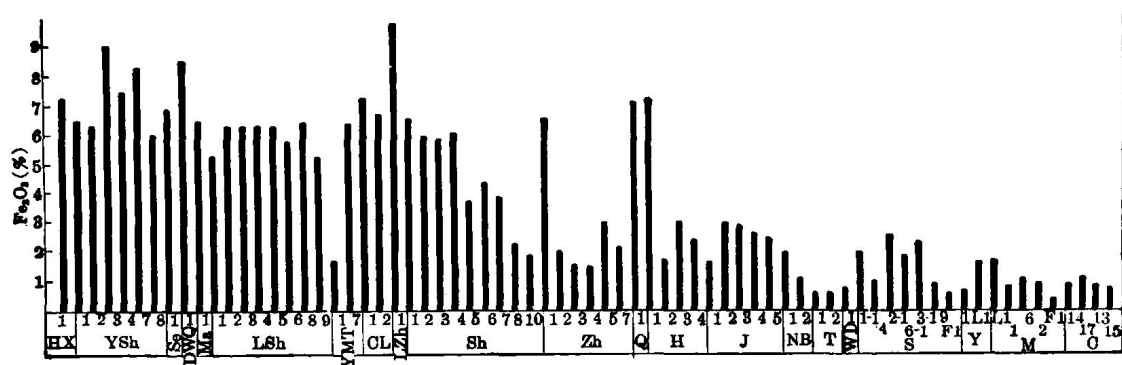


图 1-3 中国历代陶器和瓷器胎中 Fe_2O_3 含量变化图

The change of Fe_2O_3 contents in Chinese pottery and porcelain bodies in various historical periods

二、陶窑的改进和烧成温度的提高

陶器质量的提高以及向瓷器的过渡,在很大程度上和它们的烧成温度有关。烧成温度的提高又取决于陶窑结构的改进。

根据考古发掘和我们对大量古代陶瓷碎片烧成温度的测定,总的来说,新石器时代和商代陶器的烧成温度均在 1000°C 以下,一般约为 950°C 。到了商周时代,原始瓷器的烧成温度则已提高到 1200°C 左右。如浙江江山县商周时代原始瓷的烧成温度都已达到 1200°C ,有的还高达 1250°C ^[5]。郑州二里岗商代硬陶和山西侯马东周原始瓷的烧成温度已分别达到 1180°C 和 1230°C ^[2]。汉、晋、隋、唐以及随后各个时期,瓷器的烧成温度又提高到 1300°C 左右。如浙江上虞东汉越窑青瓷的烧成温度已达 1310°C ^[6];唐代邢窑以及河南巩县白瓷的烧

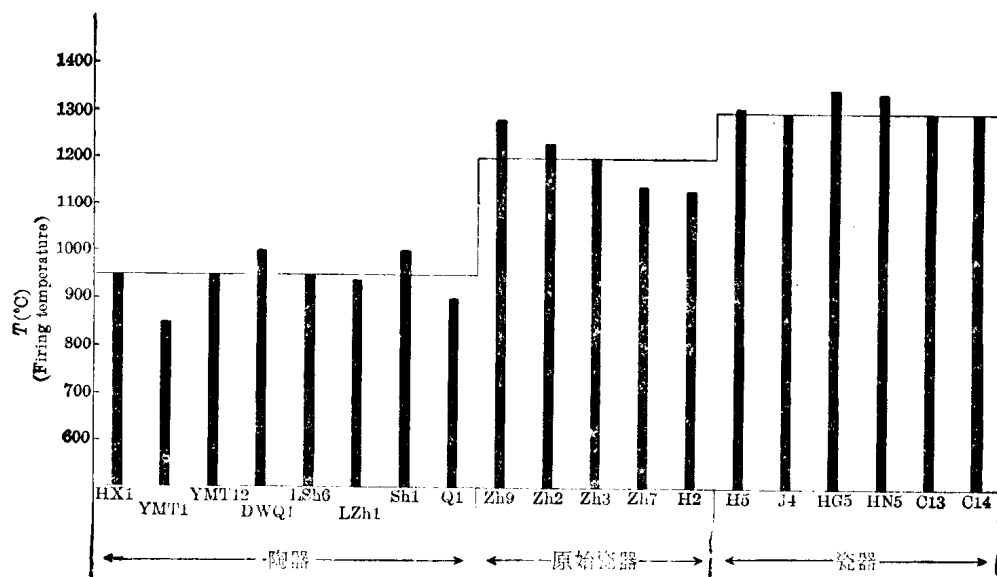


图 1-4 中国历代陶器和瓷器烧成温度变化图

The change of firing temperature of Chinese pottery and porcelain in various historical periods

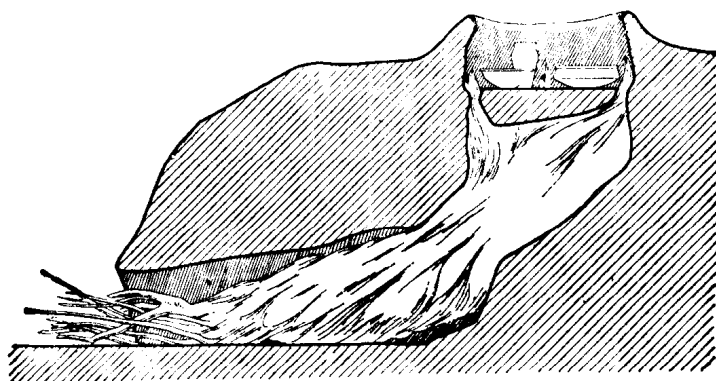


图 1-5 陕西西安半坡仰韶文化陶窑

The kiln of Yangshao Culture in Banpo, Xian, Shanxi Province