

# 烧成

唐山建筑陶瓷厂



卫生陶瓷生产技术丛书

中国建筑工业出版社

卫生陶瓷生产技术丛书

# 烧 成

唐山建筑陶瓷厂《卫生陶瓷生产技术丛书》编写组

本书是卫生陶瓷生产技术丛书之一，主要介绍卫生陶瓷生产过程中烧成工序所用主要窑型结构、附属设备及烧成基础知识，并对烧成过程中故障的排除、烧成缺陷的产生及解决措施也进行了较详细地论述。

全书经广东化工学院无机系陶瓷教研组同志审查修改。

本书主要供陶瓷厂工人阅读，也可供干部及技术人员参考。

## 卫生陶瓷生产技术丛书

### 烧 成

唐山建筑陶瓷厂《卫生陶瓷生产技术丛书》编写组

\*

中国建筑工业出版社出版 (北京西郊百万庄)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

中国建筑工业出版社印刷厂印刷

\*

开本：787×1092毫米1/32 印张：4 1/4 插页：1 字数：96 千字

1979年1月第一版 1979年1月第一次印刷

印数：1—7,930 册 定价：0.32元

统一书号：15040·3547

## 编 者 的 话

陶瓷生产在我国有悠久的历史。几千年来，我国劳动人民在陶瓷生产实践中积累了丰富的经验。

解放后，在毛主席无产阶级革命路线指引下，我国陶瓷工业有了很大的发展，用于建筑上的卫生陶瓷的生产也发展很快。

遵照毛主席关于“要认真总结经验”的教导，在工厂党委的领导下，我们组成了以工人为主，有领导干部和技术人员参加的三结合编写组，编写了这套《卫生陶瓷生产技术丛书》。这套丛书共分《原料及坯料的制备》、《成型》、《烧成》、《釉料》和《理化检验与生产控制》五个分册。这本《烧成》是由彭新、刘金铎、李庆华三位同志执笔。

这套丛书从我厂的生产实际出发，着重总结工人师傅的实际操作经验。因此，有它一定的局限性，未能把兄弟厂的先进经验都写进去。再加上我们缺乏写书的经验，水平有限，书里面可能会有不少缺点甚至错误，希望读者提出批评意见，以便共同提高，为实现英明领袖华主席为首的党中央作出的抓纲治国的战略决策，把我国建设成为一个伟大的社会主义的现代化强国而共同努力奋斗。

唐山建筑陶瓷厂《卫生陶瓷生产技术丛书》编写组

1977年6月

# 目 录

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| 一、概述 .....                    | 1  |
| (一) 我国古代陶瓷窑炉简介 .....          | 1  |
| (二) 窑炉的分类 .....               | 7  |
| 二、燃料及燃烧 .....                 | 10 |
| (一) 燃料的分类及性能 .....            | 10 |
| (二) 燃料的燃烧及燃烧设备 .....          | 13 |
| (三) 大气污染与综合利用 .....           | 21 |
| (四) 常用名词解释 .....              | 25 |
| 三、传热知识 .....                  | 28 |
| (一) 传热的基本概念 .....             | 28 |
| (二) 窑炉的传热 .....               | 31 |
| 四、陶瓷烧成基础知识 .....              | 34 |
| (一) 坯体在烧成过程中的变化与烧成制度的拟定 ..... | 34 |
| (二) 热分析法与烧成制度的制订 .....        | 41 |
| (三) 影响烧成的各种因素 .....           | 44 |
| 五、烧煤倒焰窑 .....                 | 46 |
| (一) 圆窑与方窑的结构 .....            | 46 |
| (二) 装坯与装出窑操作 .....            | 53 |
| (三) 烧窑操作 .....                | 58 |
| (四) 烧成过程中故障的排除 .....          | 62 |
| 六、烧煤隧道窑 .....                 | 66 |
| (一) 窑体基本结构与附属设备 .....         | 66 |
| (二) 装车操作 .....                | 69 |
| (三) 烧窑操作 .....                | 69 |

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| 七、烧油隔焰式和半隔焰式隧道窑 .....    | 75  |
| (一) 窑炉结构与附属设备 .....      | 75  |
| (二) 装车操作 .....           | 81  |
| (三) 烧窑操作与控制 .....        | 82  |
| (四) 烘窑与试烧 .....          | 86  |
| 八、卫生瓷烧成缺陷的产生及其防止办法 ..... | 90  |
| (一) 崩裂 .....             | 90  |
| (二) 釉泡与针孔、坯泡 .....       | 90  |
| (三) 烟熏(串烟、吸烟) .....      | 92  |
| (四) 炸裂与风惊 .....          | 92  |
| (五) 釉面污光 .....           | 92  |
| 九、热工仪表的使用 .....          | 94  |
| (一) 热电偶 .....            | 94  |
| (二) 毫伏计和电子电位差计 .....     | 100 |
| (三) 光学高温计及辐射高温计 .....    | 103 |
| (四) 电阻温度计 .....          | 110 |
| (五) 三角测温锥 .....          | 113 |
| 十、气体运动的能量与流量 .....       | 116 |
| (一) 气体运动的能量 .....        | 116 |
| (二) 气体流速与流量的测定 .....     | 119 |
| 十一、气体分析 .....            | 122 |
| (一) 气体分析的取样 .....        | 122 |
| (二) 二氧化碳的测定 .....        | 122 |
| (三) 氧的测定 .....           | 123 |
| (四) 一氧化碳的测定 .....        | 124 |
| 十二、隔焰隧道窑自动调节 .....       | 125 |
| (一) 调节参数的确定 .....        | 125 |
| (二) 自动调节 .....           | 127 |
| 附表 .....                 | 130 |

## 一、概 述

烧成是陶瓷制造工艺过程中重要的工序之一，其目的是固定坯体的形状，并最后使成品具有使用上的各种性能。如果在烧成工序中控制不当，不但浪费燃料，而且将直接影响产品质量，甚至造成大批废品，给生产上带来不应有的损失。因此，为了最大限度地提高产品质量和降低燃料消耗，正确的设计与选择窑炉，制定与执行合理的装烧操作规程是很重要的。

为此，我们必须了解与烧成有关的各种知识，如燃料及燃烧、传热知识，陶瓷烧成基础知识，窑炉构造与装烧操作，烧成缺陷产生的原因和解决措施，热工仪表的使用与维护以及自动控制等等。

### （一）我国古代陶瓷窑炉简介

中国是世界文明发达最早的国家之一，中国陶瓷有着悠久的历史，从西安半坡博物馆展出的原始母系氏族公社村庄遗址证明，我们的祖先在距今六千年左右就建造了一种横穴窑来烧制彩陶。这种彩陶的烧成温度估计约在  $900^{\circ}\text{C}$  左右。在距今约三千年左右的商朝，我国已发展到半陶半瓷的阶段。在战国时出现了馒头窑及龙窑，明代出现了德化阶级窑，明末我国景德镇创建了景德镇窑，用这种窑烧成了驰名世界的景德镇瓷器，烧成温度已提高到  $1300^{\circ}\text{C}$  以上了。

我国古代的陶瓷烧成窑，大概分为五种，下面概略加以

叙述:

### 1. 古窑:

根据考古发掘出的我国最古老的窑, 为西安半坡村的原始母系氏族社会中的横穴窑, 这种古窑的复原示意图如图 1-1 所示。

这种窑由燃烧室、火道、火眼及窑室等部分构成, 为升

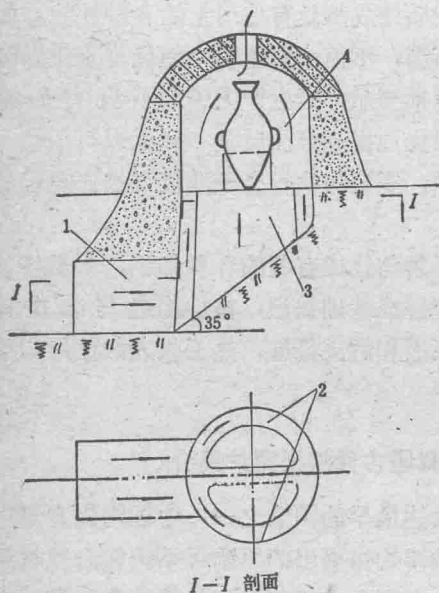


图 1-1 古窑复原示意图

1—燃烧室; 2—环状火道; 3—中火道

分, 火道宽约0.1米, 平均深约0.6米。

窑室与火道垂直接近圆形, 烟气由火道经火眼与窑室相通, 而且接近火道处的火眼较小, 远离火道处的火眼较大, 这是为了调整窑内温差而有意这样做的, 由此足见我们祖先的

焰式窑, 由于当时技术水平的关系, 窑的容积很小, 直径只有0.8米左右。窑壁最初用粘土和树枝等编织物砌成, 后来发展为用一些小型容器或废陶片堆砌而成。燃烧室与火道相通, 尺寸为长约0.9米, 宽约0.7米, 高约0.8米。窑底四周有环状火道, 窑底中部还有一条倾斜的中火道, 将窑室的平面分为两部分

巨大智慧。

## 2. 景德镇窑：

窑形似半个鸭蛋，所以又称蛋形窑（图 1-2）。窑身前端大而后端小，只有前面一个烧火口，废气从窑尾的烟囱跑出。由于火焰横向运动，所以又称横焰窑或平焰窑，燃料为松柴或茅柴。

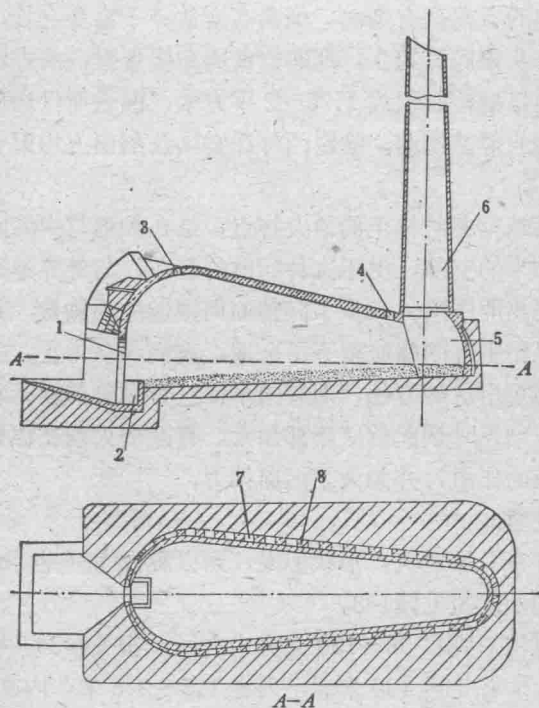


图 1-2 景德镇窑结构示意图

1—窑门；2—火坑；3—发火孔；4—后看火孔；5—烟囱底；6—烟囱；  
7—间隙；8—护墙

景德镇窑容积 200 立方米，窑身全长约 16~18 米，窑底

前端较后端略低，其倾斜度为3度，窑室前端较高，但其最高处与最宽处，都在距窑门3~4米之间，向后渐次狭低。窑身最高高度不超过6米，除后端0.6~0.7米以外，沿窑全长的窑身高度约大于该处窑宽。窑前端的中央设有窑门，高约3.9米，宽约0.6米。窑门内侧设有一长方形火坑，长约1.2米，宽约0.7~0.8米，深约1米，供烧窑时架设临时炉棚用。窑的后端筑有烟囱，烟囱高度常等于窑身之长，约16~19米（从窑底算起），烟囱的截面亦似蛋形，前方宽而后方窄，上口横断面积为1.75~2平方米，囱壁厚仅10厘米，因此被称为薄壁烟囱。除窑门外在窑拱及烟囱上均留有固定的看火孔。

景德镇窑在结构上的最大特点，是在护墙与内墙间留有0.1~0.3米的空隙，由于这种间隙的存在，与外界不通的空气层起隔热的作用。减少了向窑墙周围散失的热量，并为窑壁在高温作用时的膨胀留下了余地，直到现在为止，一般新式窑炉仍采用这种方法，而我国早在三百多年前就已利用。另外，在砌筑时烟囱后壁底部加大，有减弱火焰在该处发生涡流摩擦的作用，并加大了烟囱抽力。

### 3. 龙窑：

这种窑沿坡建筑，形状似龙，所以称龙窑（也为横焰窑）。其示意图见图1-3。

窑容积一般在50~150立方米之间，窑长在30~80米之间，最大的有长达120米者，内宽1.5~2.5米，内高1.6~2米。窑身利用山坡斜度与地平构成10~20度的倾斜角，燃料为松柴。

龙窑拱顶成弧形，两侧设有燃烧孔各一排，两孔间距约1米，为燃烧时投入燃料之用，在窑墙的一侧，沿窑长开有

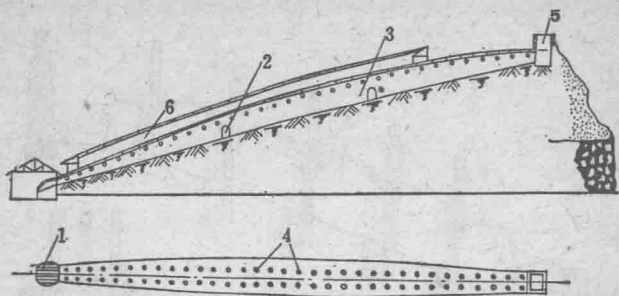


图 1-3 龙窑结构示意图

1—预热燃烧室；2—窑门；3—窑室；4—燃烧孔；5—烟囱；6—窑蓬

2~3个窑门。窑头最低处设有一个预热燃烧室，窑尾设有一米余高的烟囱。

#### 4. 德化阶级窑：

德化窑也是依山坡建筑成一长条，不过是靠着斜坡筑成阶级式，也就叫“阶级窑”。也为横焰窑，它是由龙窑发展而来的，燃料为松柴等，见图1-4。

窑容积一般在200~250立方米。全窑由9~10室串联组成，每室大小不同，一般是窑头窑尾小，中间大。窑室的内高为2~3.5米，内宽为3~4米，长3米左右，每一室隔墙下有通火孔，每室前面近隔墙处有炉栅，每个窑室后顶上开有排气孔，同时每边各开一个窑门，供装出窑之用。窑的前面设有点火用的燃烧室，后面设有烟囱。点火用燃烧室及烟囱的数目随烧成室的长度而定。整个窑长15~30米，倾斜度一般为 $18^{\circ}$ ~ $22^{\circ}$ 。

#### 5. 磁州窑（馒头窑）：

窑形似馒头，故也称为馒头窑，见图1-5。它是一种半倒焰窑，此窑在中国华北地区广为应用。

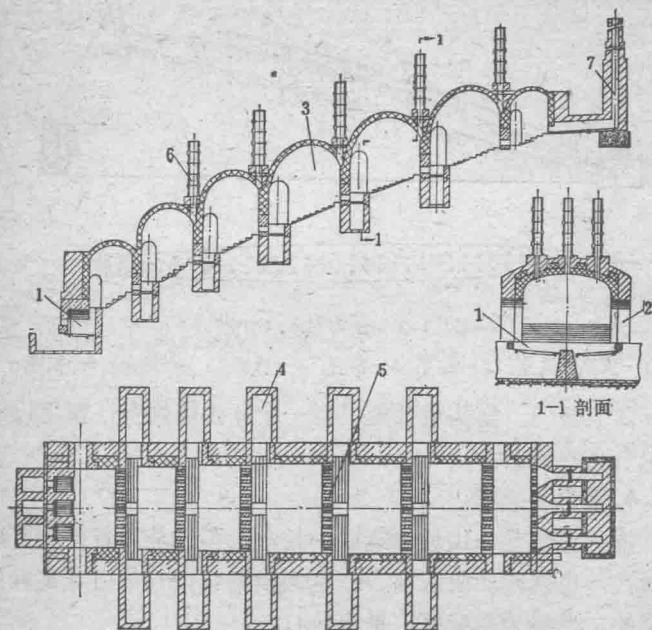


图 1-4 德化阶级窑结构示意图

1—燃烧室，2—窑门，3—窑室，4—灰坑，5—通火孔，6—放冷管，  
7—烟囱

这种窑的容积约 $40\sim 70\text{米}^3$ ，也有 $100\sim 200\text{米}^3$ 的，但为数很少。本窑和景德镇窑一样，燃烧室和窑室也同在一个空间，每次装完窑后将窑门砌封留一加煤口。此窑炉条采用木棒砌成，上面盖以陶瓦并涂上一层耐火泥，窑后部设一烟囱，高度约为 $4\sim 6$ 米。

从上可知，中国陶瓷和窑炉的发展是有它的悠久和光辉历史的。不幸的是中国过去处于封建制度与国民党反动统治下，陶瓷的窑炉技术停滞不前，直至解放前夕景德镇窑、龙

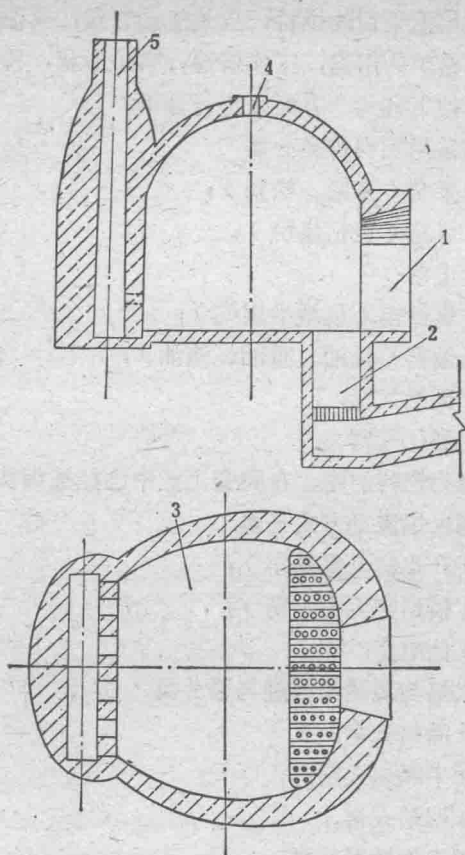


图 1-5 馒头窑结构示意图

1—窑门；2—火坑；3—窑室；4—放冷孔；5—烟囱

窑、阶级窑和馒头窑仍然保持着原来的样子。

## (二) 窑炉的分类

随着陶瓷工业的日益发展，烧成陶瓷所用窑炉的种类也

日益增多，根据采用的燃料，火焰流动方式，火焰是否与装载物接触，窑炉的用途，工作情况，窑炉形状，传动方式等的不同，可按下列几个方面来进行分类。

### 1. 根据采用燃料种类分类

- (1) 柴窑(茅柴、松柴)；
- (2) 煤窑(包括煤粉)；
- (3) 电窑；
- (4) 煤气窑(包括半煤气)；
- (5) 油窑(轻油、重油、渣油)；
- (6) 天然气窑；
- (7) 裂化气窑。

以木柴为燃料的窑，在陶瓷工业中已经被淘汰。

### 2. 根据火焰流动方式分类

- (1) 升焰窑(直焰窑)；
- (2) 横焰窑(平焰窑)；
- (3) 倒焰窑；

### 3. 按火焰与装载物接触与否分类

- (1) 隔焰式窑；
- (2) 半隔焰式窑；
- (3) 明焰式窑。

### 4. 根据工作情况分类

- (1) 间歇式窑；
- (2) 半连续窑(德化阶级窑、龙窑等)；
- (3) 连续式窑(轮窑、隧道窑等)。

### 5. 根据窑的用途分类

- (1) 本烧窑；
- (2) 素烧窑；

( 3 ) 釉烧窑;

( 4 ) 烤花窑。

## 6. 根据窑炉形状分类

( 1 ) 圆窑;

( 2 ) 方窑;

( 3 ) 轮窑;

( 4 ) 隧道窑 ( 包括单通道、双通道及多通道等等 );

( 5 ) 环形隧道窑。

## 7. 根据传动方式分类

( 1 ) 窑车窑;

( 2 ) 辊底窑;

( 3 ) 推板窑;

( 4 ) 网带窑;

( 5 ) 顶杆窑;

( 6 ) 步进梁式窑;

( 7 ) 气垫式窑。

如上所述,从窑的各方面来看,可得出许多名称,若将这些名称都冠在一种窑上,则名字也未免过长,因而通常从其中选择 1~2 个有代表性的名称,如隧道窑,为了有所区别,则可称为釉烧隧道窑,煤烧隧道窑等。

但是窑形的选择,应当依照自力更生,因地制宜,就地取材的方针,根据产品种类、生产规模全面考虑。一个生产多品种的建筑陶瓷厂,如生产卫生瓷即可选传统的隧道窑;如釉面砖、锦砖等则可建造一些快速烧成窑,如辊底窑,推板窑,各取所长,互相补充,以获得高产优质低消耗等最佳经济效益。

## 二、燃料及燃烧

### (一) 燃料的分类及性能

#### 1. 燃料的分类与组成

所有的燃料按物理状态(物态)可以分为固体的(烟煤、无烟煤、褐煤、泥煤、页岩、木柴和焦炭等),液体的(原油、汽油、煤油、柴油、重油、焦油及合成液体燃料等),气体的(天然煤气、高炉煤气、焦炉煤气、发生炉煤气,地下气化煤气及石油裂化气等)。

燃料的组成,是由可燃部分与不可燃部分组成。固体燃料与液体燃料的可燃部分大多是复杂的有机化合物,在加热时都将分解为较简单的物质。组成气体燃料可燃部分的物质为 $H_2$ 、 $CO$ 、 $CH_4$ 、 $C_2H_6$ 、 $C_mN_n$ 等。由此可见,固体燃料的组成,比气体燃料的组成复杂得多,但通常也不外下列这些成分, C、H、O、N、S、A(灰分)W(水分)。C是燃料最主要的成分,是热能的基本来源。H虽然在燃烧时放出大量热量,但它含量少。燃料中一部分H是与C、S相化合,即所谓“自由氢”这部分氢在燃烧时放出与不化合的氢几乎相同的热量,燃料中其余部分的氢则与O结合成稳定的氧化物,因而没有燃烧能力,这部分氢称“化合氢”。燃料中的N、O都不能参加燃烧。燃料中的少量水分对燃烧过程有好处,如果燃料中的水分太多,则其气化时大量吸收热量会使燃料价值大大降低。灰分是燃料中的废物,但灰分熔点甚为重要,其过低则燃烧时易结渣影响烧成操作。硫在燃料中以

金属硫化物（主要是黄铁矿  $\text{FeS}_2$ ）、有机硫化物与硫酸盐三种状态存在。黄铁矿硫与有机硫参加燃烧过程，称为“可挥发硫”或可燃硫，硫酸盐不能燃烧。虽然一部分硫在燃烧时放出热量，但是在燃烧中还是希望它愈少愈好。因它不仅使陶瓷制品产生一系列缺陷，如起泡、斑点等，而且易腐蚀排烟设备，更严重的是污染大气。

## 2. 固体燃料及性能

陶瓷工业窑炉中常用的固体燃料为烟煤。烟煤的火焰长，发热量较大。无烟煤虽发热量大，但由于其着火温度高（ $750^\circ\text{C}$ ）、火焰短，不宜直接用作烧窑燃料，应把无烟煤制成煤球，或进一步制成煤气，供烧窑用。

## 3. 液体燃料及性能

液体燃料与固体燃料比较有许多优点：

- （1）发热量高达9500~10000千卡/公斤；
- （2）燃烧温度很高火焰辐射强；
- （3）灰分少，小于0.3%；
- （4）油喷嘴很容易机械化和自动化；
- （5）便于用管道运输。

但液体燃料也有下述缺点：

- （1）运输及储藏中如不慎，易造成火灾或有爆炸的危险。使用时应经常提高警惕防止灾害造成；
- （2）雾化不易完全，也有温度波动；
- （3）火焰很硬，易使燃烧室耐火砖机械破损；
- （4）燃烧产物对窑体及燃烧室侵蚀作用较大；
- （5）需要较多设备，投资大。

目前，我国陶瓷工业中，最常用的液体燃料为重油及渣油，但是用重油来烧陶瓷仍是不合算的，因重油经过裂化