

孟天雄 编



隧道窑烧成

轻工业出版社

成 烧 窑 道 隧

孟 天 雄 编

轻 工 业 出 版 社

内 容 简 介

这本书通俗易懂地论述了有关隧道窑的一些理论和实践方面的问题，提出了一些新的看法，可供陶瓷工厂烧成车间的工人阅读，也可供大专院校有关专业的学生及其他有关人员参考。

隧 道 窑 烧 成

孟天雄 编

*

轻 工 业 出 版 社

(北京阜成路3号)

廊坊日报印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

787×1092毫米 1/32 印张：26/32 字数：46千字

1980年2月第一版第一次印刷

印数：1—5,000 定价：0.17元

统一书号：15042·1526

目 录

一、什么是隧道窑	1
二、隧道窑的隧道	4
三、关于燃料	7
四、火的作用	16
五、关于传热	18
六、关于调风	23
七、隧道窑操作中的十对矛盾	25
八、略谈气氛	33
九、烧成过程中的物理化学变化	40
十、预热带上下温差	51
十一、机械化加煤	55
十二、关于缺陷	57
十三、隧道窑的发展方向	61
十四、结束语	65

一、什么是隧道窑

隧道窑，顾名思义，可以知道它是一种形似隧道的窑炉。它的主体，就是一条隧道。装载着制品的窑车，一辆接一辆地从隧道中通过。窑中火焰与窑车逆向流动，把热量传给制品，并保证所需要的气氛，使制品在行进过程中不断被加热，完成一系列的物理化学变化，直至烧成，然后冷却出窑（图1）。

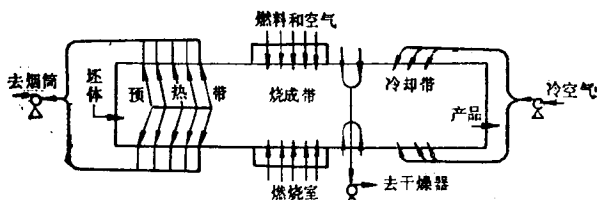


图1 隧道窑

隧道窑的结构，一般可划分为三大部分。即预热带、烧成带与冷却带。这里的“预热”、“烧成”和“冷却”都是指制品而言的，是制品烧成所必须经过的三个阶段。三带划分的办法各不相同，有以砌筑体分，有以温度分，有以气氛分等多种，但多数以燃烧室的设置来分，即设有燃烧室的部分为烧成带，前后各为预热带和冷却带。

我国六十年代以来，陆续兴建了不少隧道窑。现在，这种窑炉成了我国陶瓷工业的一种主要的烧成设备，大大地推动了我国陶瓷工业的发展。

隧道窑是一种比较先进的烧成设备，与传统倒焰窑比较，它有如下一些优点：

1. 可以连续生产,取消了“间歇”时间,这就大大提高了陶瓷制品的产量。

2. 大大减轻了工人的劳动强度,改善了劳动条件。因为隧道窑的装、出车都在窑外进行,这就避免了倒焰窑装、出窑的高温作业。同时,由于隧道窑较矮,窑车上的料堆不高,工人装、卸都较为省力。

3. 大大节约了燃料。由于隧道窑能够较好地利用余热,所以热的利用率比较高。同时,窑体积蓄热损失也较少。与倒焰窑比较,可节约燃料 50~60%。

4. 提高了产品质量。由于隧道窑的截面比较小,截面温度较为均匀。同时,隧道窑连续运转,操作控制比较稳定,因此,产品质量有所提高。

隧道窑的缺点主要在于:

1. 由于它是连续性的窑炉,烧成制度改变的灵活性较差,对多品种、小批量的生产来说,隧道窑较难适应。

2. 隧道窑是一种平焰式的窑炉,气流在隧道中流动时,总的方向近于水平。这样,就容易产生气体分层,增大上下温差。各种气幕装置的设置,除了满足制品烧成的一些特定要求外,都有一个共同的作用,那就是搅拌窑内气体,减小上下温差,弥补隧道窑“平焰”这一缺陷。

近年来,国外的隧道窑又发展到了一个新的阶段。出现了辊底窑、推板窑、气垫窑等新式窑炉。国内也相继设计、建造了一些辊底窑、推板窑。这些窑炉,可以说是“第二代的隧道窑”。它们的共同特点是:

1. 取消了窑车,而代之以别的传送方式(辊底、推板、气垫等)。

2. 窑体通道的高度显著降低,这对于缩小上下温差,保

证产品质量大有好处。

3. 快速烧成。烧成周期已由原来的二十几个小时 缩短几个小时,甚至几十分钟。

4. 自动控制。

随着生产和科学技术的进一步发展,隧道窑还要进一步向前发展。我们要不断地从实践中总结经验,进一步探讨隧道窑的规律,丰富和发展隧道窑的理论,并用以指导实践,从而使隧道窑不断改进、不断完善,促进我国陶瓷工业的发展。

二、隧道窑的隧道

隧道窑的隧道,是其主要结构之一,制品就是在隧道里烧成、冷却。因此,对隧道窑的隧道,应该予以高度的重视。

(一) 隧道的组成

隧道主要是由窑顶、窑墙、车面三部分围成的(图2)。这

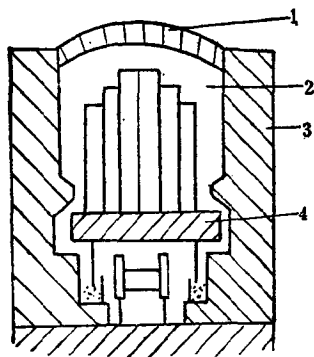


图2 隧道窑的隧道
1—窑拱 2—隧道 3—窑墙
4—窑车台面

三部分的表面都要与火焰接触,因此,要求它们都能够耐高温,隔热性能好,积蓄热损失小,并且有一定的强度,这是它们的共性。除此之外,它们又各有个性。例如,窑顶在上,支承在窑墙上,这就要求它重量小,减轻窑墙的负荷,产生的推力小,以减少钢材的使用,并延长窑炉的寿命。窑墙要承受窑顶的重

量,因此,要求它具有较高的强度。窑车台面要承受匣钵和制品的重量,同时,还要经受经常、反复的加热与冷却。因此,要求它强度高,耐急冷急热性能好,积蓄热损失小。

(二) 隧道的大小

主要是指截面积的大小。截面积主要包含两个因素:一

是高度,二是宽度。这里所说的高度,是指有效高度,即窑车台面至拱顶的距离;这里所说的宽度,是指有效宽度,即两侧窑墙内表面之间的距离。决定隧道的高度和宽度,要根据许多因素来综合考虑。例如,燃料的种类、燃烧的方式、烧成制度、窑车尺寸、装车方式、推车速度等等。窑太高,窑内几何压头增大,上下温差也就随之增大。窑太宽,火焰不容易烧到中心,致使窑内水平温差增大,中部产品的质量得不到保证。目前,国内烧瓷器的隧道窑宽度一般在1~1.5米之间,烧陶器的隧道窑宽度在0.95~2.2米之间。一般来说,高度应该略小于宽度,高度为宽度的80%左右为好。即:

$$h = 0.8b$$

式中 h —窑的有效高度,米;

b —窑的有效宽度,米。

决定隧道窑的内高、内宽的总原则应该是:在保证烧成制度实现、产品质量良好、生产任务完成的前提下,从尽量减少上下温差来考虑高度,从尽量减少水平温差来考虑宽度。

(三) 隧道的长短

隧道的长短要适宜。太长,则流体阻力增加,建筑费用增大,热量散失也较大;太短,则产量减少,热工制度不易稳定,废气温度高,匣钵、棚板、窑车衬砖等的寿命短。因此,要根据窑的生产任务、产品种类、烧成周期、窑车尺寸、装窑密度等因素来综合考虑决定。一般可用下列公式进行计算:

$$L = \frac{G \cdot \tau}{F \cdot C}$$

式中 L —隧道的长度,米;

G —窑的生产能力,公斤/小时或件/小时;

τ —烧成周期,小时;

F —隧道的截面积,米²,可根据窑车尺寸,计划的装车图等来决定;

C —装窑密度,公斤/米³或件/米³。

目前,国内隧道窑隧道的长度相差甚大,瓷器窑一般在40~95米之间;陶器窑一般在52.25~110米之间。

(四) 隧道的密封

隧道的密封是一个十分重要的问题,它直接影响到产品的数量和质量,影响到窑炉的工作效率。

影响隧道窑密封的,主要是四个东西:

① 窑门; ② 砂封; ③ 曲封; ④ 车封。

前三者已愈来愈被人们所重视,而第四项似乎还注意得不够。所谓车封,是指窑车与窑车衔接处的密封结构。这种结构看似平常,实则对窑内的温度、气氛、压力影响甚大。试想,一般隧道窑都有几十个车位,相应的,也有几十道车封。如果这些车封的密闭性能不好,当车下压力大于车上压力时,就会有几十股车下冷风窜入车上,这就会严重干扰窑内的烧成。反之,当车上压力大于车下压力时,又将会有几十股窑内火焰或热空气窜入车下,致使车下温度升高。因此,搞好车封,实在是一个十分重要的问题,应该引起高度的重视。

三、关于燃料

各种隧道窑,除电热隧道窑外,都要依靠燃料的燃烧来提供热量。因此,我们可以把这些隧道窑总称为“火焰隧道窑”。火焰隧道窑的“火焰”来源于燃料燃烧。所以,我们必须掌握有关燃料的一些基本知识。

什么叫燃料?我们大致可以这样给它下一个定义:在燃烧过程中,可以放出供给工业和日常生活所需要的热能的有机物质,就称为燃料。燃料的种类很多,按成因分,可划为天然的和人工的两大类。按形态分,可划为固体、液体、气体三大类。在陶瓷工业窑炉中,最重要的固体燃料是煤,最重要的液体燃料是重油。下面就着重介绍煤和重油这两种燃料。

(一) 煤

1. 煤的生成和分类

煤是太古时代的植物因地壳变动埋在地下,经过漫长年代的高温、高压和细菌作用而逐渐演变而成的。在演变过程中,随着其中的一些气体成分,如 CO 、 CO_2 、 CH_4 、 H_2O 等挥发后,逐渐变为含碳丰富的可燃性岩石,这种可燃性岩石就是煤。这个成煤的过程,叫做煤化过程。根据成煤过程中,矿化程度的不同,可以把煤分为泥煤、褐煤、烟煤和无烟煤。它们是植物遗体在成煤过程中不同阶段的产物。

泥煤的矿化程度最低。在一些年代较短的泥煤中,甚至可以依稀辨认出植物的残骸。褐煤矿化程度较泥煤高,表面

呈棕褐色，暗无光泽。这两种煤含碳量却不高，发热量也较低，挥发分含量却较多，烧起来烟大，一般不宜直接用作陶瓷工业燃料。烟煤矿化程度较高，含碳量一般在 70~90%，挥发分含量比泥煤、褐煤少，发热量在 5000~7000 大卡/公斤左右。无烟煤的矿化程度最高，含碳量一般在 95% 左右，挥发分含量较少，发热量也较高。

上述几种煤中，一般认为烟煤最适于用作陶瓷工业燃料。这是因为：

- (1) 含碳量比较高，发热量也较大。
- (2) 挥发物 (CO 、 CH_4 等) 含量较无烟煤多，达 10~30%，火焰较长。
- (3) 具有烧结性。
- (4) 着火点较低，一般为 400~500°C。

2. 煤的成分

粗略地说，煤是由两大部分构成：一为可燃成分，二为不可燃成分。要细致一点了解煤的成分，就必须对煤进行化学分析。分析的方法，主要有两种：一为工业分析，二为元素分析。工业分析一般只分析水分、灰分、挥发分和固定炭四种成分。通过这种分析，可以大体上摸清煤的性质和价值，从而为工业用煤提供一些必要的依据。煤的元素分析，则要用化学方法较为精确地测定煤中所含各种元素的百分比。下面，着重介绍煤中各成分的工业分析。

(1) 水分：

煤里面的水分一般可分为三种，即外在水分、内在水分和化合水分。外在水分是指吸附于煤表面的水分，内在水分是指吸附于煤粒内部气孔中的水分，化合水分则是指煤中矿物质的结晶水。工业分析中所指的水分是前二者的总和，称为

“全水分”或“应用煤水分”。

水分含量多了,就会影响煤的质量。因为水分不能燃烧,并且蒸发时还要吸收一部分热量。一般来说,1公斤水分蒸发,大约需要600大卡的热量,这就使煤的热效率大大降低。此外,含水量过高,对煤的保管、贮存也带来一定的不良影响。另一方面,煤中含有一定的水分,对于粉煤及粘结性较强的煤有一定的好处。对粉煤来说,含有一定的水分,就加强了它的粘结性,使它不致从炉栅空隙漏掉;对粘结性较强的煤来说,含有一定的水分,又可以减弱其粘结程度,因为水分蒸发时,势必要造成许多空隙。此外,煤中含有一定的水分,在高温时,可以提高辐射传热的效果。因为高温时,火焰的黑度除了取决于火焰中的固体微粒的数量外,还取决于 CO_2 及水蒸气含量。一定量的水蒸气,可以提高火焰的黑度,从而提高辐射传热的效果。

(2) 灰分:

灰分是指煤燃烧后剩下来的不能再燃烧的残渣。灰分的主要成分是一些无机矿物质,例如,氧化铝、二氧化硅、氧化铁、氧化钙、氧化镁等等。此外,还有微量的镭、镓、锗、铍、钒等稀有元素。

灰分含量的多少,是煤质好坏的一个重要标志。因为灰分多了,可燃成分的含量就相对减少,发热量也就随之降低。

灰分“熔点”的高低,对窑炉操作是很重要的,它说明了煤的结渣性能的强弱。灰分熔点过低,结渣就比较严重,而结渣严重,就会带来如下的一些害处:

- ① 影响通风;
- ② 清渣时间长,易引起温度、气氛的波动;
- ③ 工人劳动强度增加;

④ 炉栅及耐火材料的损耗增加。

灰分的熔点，一般可分为四种：熔点在 1200°C 以下的叫易熔；在 $1200\sim 1350^{\circ}\text{C}$ 之间的叫可熔；在 $1350\sim 1500^{\circ}\text{C}$ 的叫难熔；在 1500°C 以上的叫不熔。

灰分熔点的高低，取决于两方面的因素：其一，是内因，也就是它本身的成分。一般来说，含 SiO_2 、 Al_2O_3 较多的灰分，熔点较高；含 FeO 、 Fe_2O_3 较多的灰分，熔点较低。其二，是外因，也就是灰分所处的气氛条件。在还原气氛中， Fe_2O_3 被还原为 FeO ， FeO 进一步与 SiO_2 形成低共熔点的硅酸盐质的灰分，因而使灰分熔点降低；而在氧化气氛中， Fe_2O_3 不会变为 FeO ，原有的 FeO 也会氧化为 Fe_2O_3 ，并进而变为 Fe_3O_4 与 SiO_2 一起，形成高熔点的渣。

(3) 挥发分：

挥发分是煤中容易挥发的物质的总称。它包含 H_2 、 H_2S 、 CO 、 CO_2 、 CH_4 、 C_2H_4 等。挥发物含量多少，挥发开始的温度高低，都和煤的矿化程度密切相关。矿化程度高的煤，挥发分含量少，挥发开始的温度高；矿化程度低的煤，挥发分含量多，挥发开始的温度低。一般来说，泥煤、褐煤挥发分较多，烟煤较少，无烟煤最少。为了正确地反映煤的矿化程度，挥发分含量一般都以“可燃体挥发分”表示。所谓可燃体挥发分，就是以挥发分和固定炭的总和为一百，再将挥发分折算成百分比数值。各种煤的可燃体挥发分含量大致如下：泥煤，70% 左右；褐煤，45~60%；烟煤，10~30%；无烟煤，10% 以下。各种煤的挥发开始温度大致是：泥煤， 110°C ；褐煤， 150°C ；烟煤， 300°C ；无烟煤， 400°C 。挥发分含量多的煤，较易燃烧，且火焰较长，但在烧还原焰的隧道窑中，气氛转换较为困难，且在储存过程中容易风化自燃，不易保管。

(4) 固定炭：

煤中除去水分、灰分、挥发分以后，剩下的就是固定炭。固定炭的主要成分是碳素，也是煤中主要的可燃物质，煤的发热量主要是由固定炭产生的。所以，含碳量高的煤，发热量一般也较高。煤中含碳量多少，一般可以从煤的光泽度上看起来。通常含碳量高的煤，光泽较强，煤质也比较紧密，坚硬。

煤中固定炭和挥发分二者的含量，是互为消长的。挥发分多，固定炭就少；挥发分少，固定炭就多。

挥发分是在气体状态下进行燃烧的，而固定炭是在固体状态下进行燃烧的。因此，挥发分高的煤容易点火，火大烟大，但烧的时间短；而挥发分少的煤，点火较难，火焰较短，但烧的时间长。

3. 煤的燃烧

煤的燃烧大致可分为三个阶段。

第一个阶段是着火阶段。这个阶段的主要作用是煤受热后，排除水分，逸出挥发分，并与空气中的氧激烈化合，着火燃烧。由于这一阶段煤只能从燃烧室中吸取热量，而放出的热量很少，因此，应尽可能使着火阶段尽快结束。着火阶段的快慢主要取决于温度，如果火箱内温度较高，就能加快着火阶段的进行；反之，就会使着火阶段拉长。

第二个阶段是燃烧阶段。这一阶段包括固定炭和挥发分的燃烧以及挥发分的继续排出，挥发分可直接与空气混合，着火燃烧。固定炭的燃烧一般分三个步骤进行：

- ① 空气中的氧与碳粒表面接触；
- ② 氧与碳发生化合反应，生成 CO 及 CO_2 ；
- ③ 燃烧产物扩散，离开碳粒表面。燃烧阶段的快慢主要取决于温度与气体扩散速度。在 700°C 以下，固定炭与氧化

合的速度较慢，要加快化合速度，就要提高温度。因此，在 700°C 以下的阶段中，温度是控制燃烧过程中的主要因素；在 700°C 以上，固定炭与氧化合生成 CO 及 CO_2 的速度加快，但气体的扩散速度相对减慢，如要加快燃烧，就要增加气流速度，从而增大气体的扩散速度。因此，在 700°C 以上的阶段中，气体流动的速度是控制燃烧过程的主要因素。某些煤烧隧道窑采取大抽力操作的理论根据之一就在这里。

第三个阶段是燃尽阶段。随着燃烧阶段的过去，热量大部分已经放出，温度逐渐降低。煤块表面出现了灰层，并且随着时间的延长，灰层不断加厚，残余的固定炭继续缓慢燃烧，直到完全燃尽。

煤在煤烧隧道窑的炉栅上燃烧时，上述三个阶段是交错进行的。新添进去的煤，在正处于燃烧阶段的煤的上面，处于着火阶段。着火阶段所需要的热量，由它下面正处于燃烧阶段的煤层供给。正处于燃烧阶段的煤层下面是前一批加进去的煤，已经进入燃尽阶段。过了一段时间，又添入一批新的煤，开始它的着火阶段；原着火阶段的煤层进入燃烧阶段，原燃烧阶段的煤层已经进入燃尽阶段，而原燃尽阶段的煤层则已完全成为灰渣。

4. 关于配煤

在实际生产中，一个厂不可能只用一种煤。煤的品种的变化，带来煤质的变化，而煤质的变化，又给烧成操作带来不稳定。往往是刚刚摸熟一种煤的脾气，采取了相应的措施，这种煤又没有了，换上一种新煤，又得从头摸索。为了解决这个问题，使烧成操作，产品质量相对稳定，人们在实践中创造了“配煤”的办法。

配煤的办法有两种：一是粗配，二是精配。粗配就是把几

种不同的煤按估计的比例倒放在一起。这种办法比较简便，但效果不够显著。精配的办法，是根据本厂窑炉运转的实际情况，找出一种最适合本厂窑炉的煤来，对这种煤进行工业分析，测定其水分、灰分、挥发分及固定炭的含量。以后来了几种不同的煤，就按比例将这些煤混合，使混合后的煤的水分、灰分、挥发分与固定炭的含量大致与上述那种最佳煤的各成分相等。这样，就可以在变中求不变，在不稳定中求稳定，使烧成操作，产品质量的波动减缩到最小程度。

(二) 重 油

1. 什么是重油

重油是石油分馏出汽油、煤油、柴油及其他石油产品后，残留在蒸馏塔中的一种黑褐色的比重较大的油品。它是由不同族的液体碳氢化合物和溶在其中的固体碳氢化合物组成的，可以用通式 C_nH_m 表示。

2. 重油的主要性质

(1) 粘度：

粘度是流体流动时由于分子之间的内摩擦力而产生的阻力。粘度小，容易流动；粘度大，流动就比较困难。

粘度的表示方法很多，我国通用恩氏粘度表示，它是用恩氏粘度计测出来的。我国重油分为 20°、60°、100°、200° 四种标号，这些标号的数值，就是重油在 50°C 时，测出的恩氏粘度的数值。

重油的粘度随温度而变化。温度高，粘度小；温度低，粘度大。为了使重油能顺利地输送到喷嘴，在喷嘴内良好雾化，就必须对重油进行加热、保温。一般喷嘴前的电加热器的温