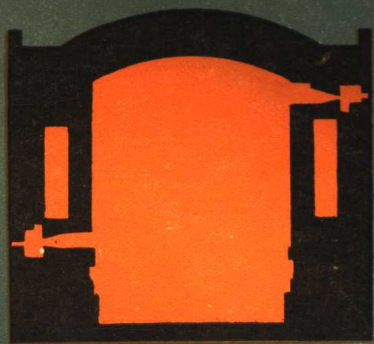


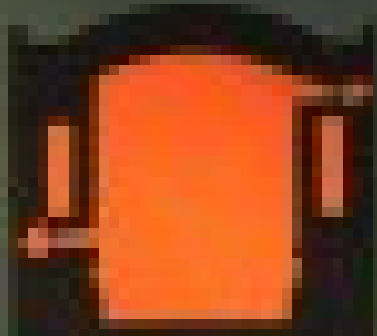


隧道窑

吕兆斌 编著

冶金工业出版社

75.6



隧道窑

王德成 编著

冶金工业出版社

隧 道 窑

吕兆斌 编著

冶金工业出版社

内 容 提 要

本书比较系统地介绍了隧道窑的分类、工作原理、各带结构、砌筑材料、烘窑方法、各种耐火制品的装砖方法与烧成工艺、热工制度等。同时还详细地介绍了隧道窑用的气体、液体燃料的性质、烧嘴结构与性能、降低燃料消耗的途径以及窑内温度、压力的测量和各种仪表结构与性能等。

本书可供从事耐火材料专业的技术人员、工人和院校有关专业师生参考。

隧 道 窑

吕兆斌 编著

冶金工业出版社出版

(北京灯市口44号)

新华书店北京发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

787×1092 1/32 印张 9 5/8 字数 211 千字

1983年4月第一版 1983年4月第一次印刷

印数00,001~3,000册

统一书号: 15062·3960 定价1.00元

前 言

建国以来，我国耐火材料工业有很大发展，基本上适应国民经济各部门的需要。品种不断增加，各地大、中、小型耐火材料厂都在不断地改善生产工艺条件。烧成设备是耐火材料生产中重要设备。从五十年代起，许多耐火材料厂都相继采用了比较先进的隧道窑，代替落后的、条件恶劣的、体力劳动繁重的倒焰窑。

我国耐火材料工业中，采用隧道窑烧成耐火制品，已有多年的生产实践，尤其在操作与调节方面积累了比较丰富的经验。但是，迄今我国尚未出版过专门介绍隧道窑的书。为了便于从事耐火材料专业的技术人员、工人和院校有关专业师生的参考，编写了《隧道窑》一书。

本书在编写过程中得到鞍钢耐火材料厂王庆林、张晓光、徐慕孺等同志的大力支持和帮助。鞍山钢铁学院耐火材料教研室王维邦、王晶同志对本书第一至四章作了详细审阅；第五章由鞍钢计量厂金振民同志审阅；冶金工业部潘尚新同志对全书进行了详细审阅并提出了宝贵意见，在此表示感谢！

由于编者水平有限，书中难免有不当之处，望读者批评指正。

编 者

1982年1月

目 录

第一章 概述	1
第一节 隧道窑的分类	1
一、按烧成温度分类	1
二、按燃料燃烧装置布置形式分类	1
三、按隧道窑断面尺寸分类	2
四、按烧成的耐火材料品种分类	2
第二节 隧道窑工作原理	3
第三节 隧道窑结构	4
一、隧道窑预热带结构	5
二、隧道窑烧成带结构	8
三、隧道窑冷却带结构	10
四、隧道窑窑体与窑车密封结构	11
五、隧道窑窑底压力平衡装置	14
六、隧道窑窑顶结构	17
第四节 其他结构形式的隧道窑	21
一、底烧式高温隧道窑	21
二、顶烧式隧道窑	21
三、顶烧与侧烧并用的隧道窑	23
四、装配式隧道窑	23
五、回流换热式高温隧道窑	24
六、高温隧道窑	25
七、小型隧道窑	26
第五节 各类隧道窑窑墙、窑顶材质	28
第六节 窑车	28
一、窑车的结构简述	28

二、对窑车结构的要求	33
三、选择砌筑窑车材料的原则	34
四、窑车的砌筑	35
第七节 隧道窑的砌筑	38
一、隧道窑用耐火材料	38
二、常用耐火材料的主要物理参数	40
三、隧道窑窑体砌筑	40
四、烟道砌砖	56
第八节 隧道窑的金属结构	57
第九节 隧道窑的辅助设备	61
一、推车机	61
二、25吨电托车	64
三、隧道窑用油压顶车机	64
四、窑门	66
五、各种隧道窑用风机	66
六、喷射器	73
七、烟囱	78
第二章 隧道窑的烘窑	81
第一节 烘窑前的准备工作	81
第二节 烘窑前的检查工作	82
第三节 烘窑操作	84
一、烘窑燃料的选择	84
二、采用煤和焦炭的烘窑方法	85
三、采用气体燃料的烘窑方法	87
四、火箱车停放位置	88
五、窑车布局	89
六、仪表安装	89
七、烘窑曲线的确定	89
八、烘窑操作	99

第四节	烘窑出现的问题	104
第五节	烘窑安全规程	108
第三章	隧道窑操作	109
第一节	隧道窑的装砖方法	109
一、	粘土砖的装砖方法	116
二、	硅砖的装砖方法	120
三、	高铝砖的装砖方法	123
四、	镁质制品的装砖方法	125
五、	白云石砖的装砖方法	128
六、	轻质耐火材料的装砖方法	130
第二节	隧道窑的热工制度	130
一、	温度制度	131
二、	火焰的性质	132
三、	压力制度	132
第三节	隧道窑热工制度的调节	135
一、	预热带	136
二、	烧成带	141
三、	冷却带	150
第四节	耐火制品的烧结过程	151
第五节	粘土质制品的烧成	154
第六节	高铝质制品的烧成	162
第七节	硅砖的烧成	165
一、	硅石原料的种类	166
二、	硅砖烧成过程中的物理化学变化	167
三、	隧道窑烧成硅砖气氛的制度	170
四、	烧成温度、保温时间与真比重的关系	171
五、	主要废品产生的原因	172
第八节	镁质耐火制品的烧成	174

第九节 白云石砖的烧成	179
第十节 生产技术安全操作	180
第四章 燃料及燃烧装置	184
第一节 燃料选择的原则	184
第二节 气体燃料	185
一、气体燃料的组成	185
二、气体燃料的发热量	186
三、气体燃料的燃烧过程	189
四、煤气烧嘴	196
第三节 液体燃料——重油	209
一、重油的性质	209
二、重油燃烧的基本知识	215
三、重油烧嘴	230
第四节 影响燃烧温度的因素	246
第五节 降低隧道窑燃料消耗的途径	249
第五章 隧道窑的计量装置	260
第一节 温度测量及其仪表	260
一、热电高温计	260
二、电阻温度计	268
三、动圈式指示仪表	270
四、电子电位差计	274
五、光学高温计	283
六、红外测温仪	291
第二节 流量的测定	294

第一章 概 述

隧道窑是目前耐火材料工业生产中比较先进的窑炉，它具有以下几方面优点：

1) 机械化、自动化程度比较高，劳动强度低，生产能力大，应用范围广。

2) 操作环境良好，装卸窑车均在窑外，常温下进行。

3) 使用寿命较长。建一座质量较好的隧道窑可以使用十年或十年以上，而倒焰窑每年需要大修一次。

4) 热效率高。由于利用燃料燃烧的热量预热砖坯和空气以及具有固定的段带，因此不需消耗用于砌砖加热和蓄热的热量，从而使燃料单位消耗降低。

第一节 隧道窑的分类

一、按烧成温度分类

根据隧道窑的烧成温度不同，可分低温隧道窑、普通隧道窑、高温隧道窑和超高温隧道窑四类，其分类温度范围如下：

1) $1000\sim1350^{\circ}\text{C}$ ，称为低温烧成隧道窑。

2) $1350\sim1550^{\circ}\text{C}$ ，称为普通烧成隧道窑。

3) $1550\sim1750^{\circ}\text{C}$ ，称为高温烧成隧道窑。

4) $1750\sim1950^{\circ}\text{C}$ ，称为超高温烧成隧道窑。

二、按燃料燃烧装置布置形式分类

根据隧道窑燃料燃烧装置布置形式的不同，可分顶部加热式、底部加热式、侧部加热式三类，其分类如下：

1) 顶部加热式，烧嘴全部安装在窑顶上，火焰向下燃

烧。

2) 底部加热式, 在高温塑料工业上采用, 在耐火材料工业上已有使用。

3) 侧部加热式, 是在隧道窑烧成带两侧窑墙上设置烧嘴进行加热的, 这种加热方式应用最为普遍, 目前, 我国修建的各种类型的隧道窑大都采用这种方式。

三、按隧道窑断面尺寸分类

按隧道窑的断面尺寸分以下三类:

1) 隧道窑的断面积在 0.5米^2 以下。

2) 隧道窑的断面积在 2.5米^2 以下。

3) 隧道窑的断面积在 2.5米^2 以上。

四、按烧成的耐火材料品种分类

1. 煅烧普通耐火材料的隧道窑

煅烧普通耐火材料如粘土砖、硅砖用的隧道窑分以下两种:

1) 煅烧粘土砖用的隧道窑, 其长度一般在100米左右。

2) 煅烧硅砖和高铝砖用的隧道窑, 其长度一般在150~168米左右。

2. 煅烧高级耐火材料用的隧道窑

煅烧高级耐火材料如镁质、刚玉质及高纯氧化物制品用的隧道窑分以下三种:

1) 煅烧镁质耐火材料用的隧道窑, 其长度一般在156~180米, 烧成温度为 $1500\sim 1600^{\circ}\text{C}$ 。

2) 煅烧刚玉制品及其他高级耐火制品用的超高温隧道窑, 烧成温度大于 1800°C 。

3) 煅烧直接结合的高纯氧化物制品用的超高温隧道窑, 其烧成温度为 $1700\sim 1850^{\circ}\text{C}$, 最高可达 1950°C 。

第二节 隧道窑工作原理

隧道窑是属于逆流操作连续作业的热工设备，沿窑的长度分为预热、烧成、冷却三个带，彼此是相互连接的。操作时，装有制品的窑车一辆接着一辆地在狭长的隧道内沿着与气流相反的方向移动，在预热带和烧成带处于热气流、在冷却带迎着空气流移动。窑车上的制品被由烧成带燃料燃烧的产物所预热，缓慢地进入烧成带，被加热到规定的温度，而后进入冷却带，制品将本身的热量传给空气，使空气预热。隧道窑工作原理如图1-1所示。

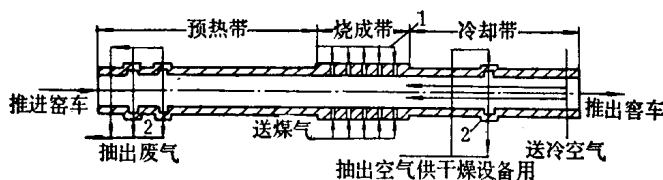


图 1-1 隧道窑工作原理图

1—煤气烧嘴；2—侧面通道

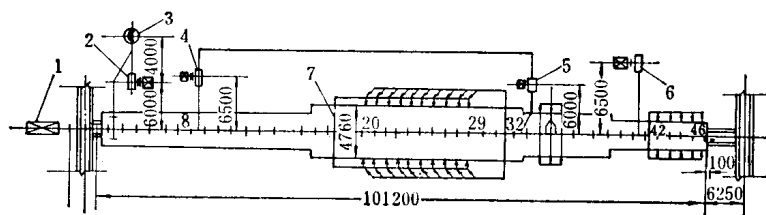


图 1-2 101.2×2.2×1.6米粘土砖隧道窑工作系统

1—推车机；2—排烟机；3—烟囱；4—气幕风机；5—抽热风兼一次风机；6—冷却送风机；7—重油管

隧道窑两端设有窑门，每隔一定时间将装好砖坯的窑车由窑前推车机推入窑内一辆，同时有一辆烧好的耐火制品的

窑车被顶出。 $101.2 \times 2.2 \times 1.6$ 米粘土砖隧道窑工作系统如图1-2所示。

冷却耐火制品的空气，用鼓风机 6 从冷却带两侧窑墙和窑顶送入窑内。空气在冷却制品的同时被加热。由于冷却制品用的风量较大，超出燃料燃烧所需要的空气量，因此，只有一部分热风经隧道进入烧成带作助燃用二次空气，其余部分由风机 5 抽出。抽出的热风一部分可作一次空气，另一部分则可送至干燥器作为干燥热源。

在烧成带的两侧设有烧嘴，燃料经烧嘴射入窑内与助燃用一次空气相遇而燃烧，未燃部分与二次空气进一步混合而燃尽。在烧成带要达到制品烧成的最高温度，并维持一定的保温时间，以达到烧成制品的目的。

燃料燃烧所产生的高温气体，沿隧道流入预热带并将预热带的制品预热，而气体本身被冷却，最后经预热带两侧窑墙上的孔道用排烟机 2 抽出，经烟囱排至大气中。

有的隧道窑在预热带前设置有干燥带，砖坯成型以后，不再经过干燥器干燥，而是直接码装在窑车上入窑进行干燥和烧成。实践证明，此办法是可行的，它简化了生产工序，充分利用了隧道窑的热量，同时又保证了干燥制品的质量。

第三节 隧道窑结构

隧道窑是由耐火砖和其他材料砌筑而成的一条长的隧道。隧道内铺设供窑车行驶的钢轨，窑车底部两端以凸凹形式相互衔接，构成隧道窑窑室底平面。

为了使窑密封，在窑墙内下部设置有砂封槽，窑车衬板插入砂封槽内的砂子中，以达到密封的目的。窑墙上隔一定的距离设置有加砂孔，向砂封槽内注入窑砂。

为了对窑车进行检查，同时也为了冷却窑车，在窑的下部设置了检查廊。

对隧道窑的预热带、烧成带、冷却带的结构分别叙述如下：

一、隧道窑预热带结构

1. 预热带的烟道

排废气的烟道绝大多数设在地下，地下烟道的结构如图 1-3 所示。

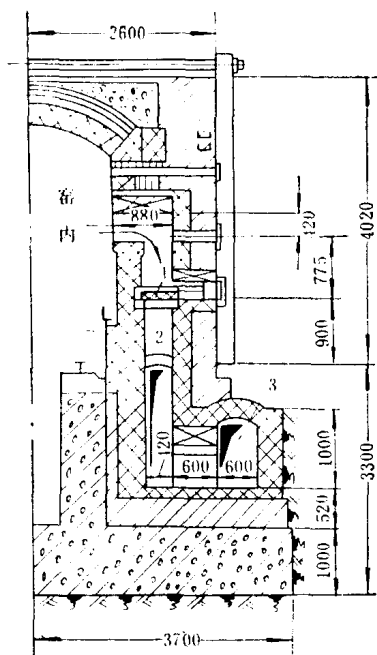


图 1-3 地下烟道的结构

1—烟道闸板；2—排气孔；3—支烟道

窑内废气经窑墙排气孔 2 进入支烟道 3，再经主烟道入

烟囱排至大气中。烟道闸板 1 是用来控制废气流量以保持流速 4~5 米/秒，1~3 号车位废气温度为 150~250°C。

为了便于清扫和检查，窑两侧地下支烟道各设一人孔。

有些地区地下水位较高不宜采用地下烟道，而采用地上烟道，其结构形式如图 1-4 所示。

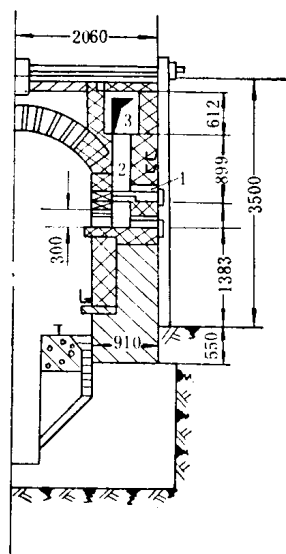


图 1-4 地上烟道的结构

1—烟道闸板；2—上升烟道；3—支烟道

这种烟道的结构比较复杂，砌筑质量要求高，否则空气易被吸入烟道内，增加排烟机的负荷，同时，这种烟道闸板设置位置较高，操作也不方便。

地上的烟道，还有采用排废气管道形式的，如图 1-5 所示。这种排烟管道，结构简单，但厂房内温度较高，闸板长期受废气温度的影响，容易变形，管道易被腐蚀，使用寿命

短。为了减少散热，排废气管道的外壁采用厚为50~70毫米的硅藻土砖进行隔热。

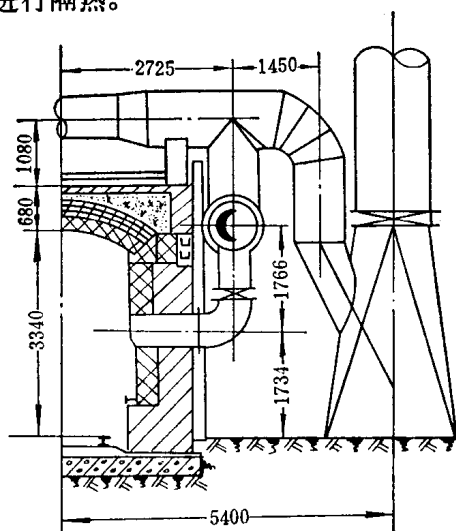


图 1-5 隧道窑排废气管道的结构

预热带在内窑墙上设有废气孔，废气孔的数量是根据排出的废气量和保证预热带第一号车位至第三号车位废气温度（150~250℃）而决定的，其数量一般为6~10对，孔口尺寸是按同时用3~5对作业考虑的，排废气的速度为4~5米/秒。排废气的位置：小断面隧道窑是从窑头1~3号车位每个车位布置一对，往后每隔两个车位布置一对；大断面隧道窑是从窑头1~10号车位，每个车位布置一对。

2. 隧道窑预热带的气幕装置

隧道窑内气体流动的特点是：气体由冷却带到预热带沿水平方向流动时，热气体上升冷气体下降，窑的上下部位出现温差，这就造成了气体温度的分层现象，窑越高，窑内温

差越大，分层现象越严重。尤其是窑的砂封槽以及窑车与窑车之间的接缝密封不严时，由于从窑底漏入冷风，使预热带气体温度分层现象更明显，有时上下温差可达 $400\sim 500^{\circ}\text{C}$ ，造成砖垛加热不均，欠烧废品增多。近年来，为消除或减小窑的上下温差，普遍采用气幕装置，并取得了较显著的效果。气幕装置，一般是采用中压鼓风机把气体经管道输送到窑顶部，由窑顶狭缝喷入窑内造成一道“气幕”，以阻止窑上部气流的流速过大，并使气流沿整个窑截面分布均匀。气幕装置一般用于煅烧粘土砖和硅砖高度较高的窑。图 1-6 为隧道窑预热带气幕装置的结构。

气流在气幕装置喷出口处的速度为 $60\sim 70$ 米/秒，如气体速度低于此速度，则不能形成气幕。

气幕用的介质：粘土砖隧道窑可采用冷空气或热空气，硅砖隧道窑宜采用热空气或高温废气。

气幕用的鼓风机压力为 $300\sim 500$ 毫米水柱。气幕喷头的材质，多采用粘土质制品，有的工厂则采用耐腐蚀的耐热钢。

气幕装置的安装位置和排废气孔相对应，从窑头 2 号车位开始，小断面窑每隔两个车位在窑顶布置一个，大断面窑每一个车位布置一个，其数量与排气孔相当。

二、隧道窑烧成带结构

1. 隧道窑烧成带一次空气的送风装置

目前，国内的隧道窑一次空气的送风装置主要有两种形式：一种是采用鼓风机送风，另一种是喷射器送风。

1) 用鼓风机作为一次空气的送风装置，是用耐热风机将窑冷却带的一部分热空气抽出，经管道输送到每个烧嘴。这样有利于节约燃料。通常采用 FW9-27 型离心通风机，输