

# 景德镇陶瓷学院

## 科技艺术学院

### 毕业设计说明书

题目：年产 120 万件卫生洁具发生炉煤气隧道窑设计

学 号：201030453115

姓 名：吴正军

院（系）：工程系

专 业：热能与动力工程

指导教师：宫小龙

完成日期：2014. 5. 20

## 摘 要

本设计是大学四年所学知识的综合应用和考察。生产陶瓷的重要环节就是其烧成过程，隧道窑作为目前陶瓷行业的主要烧成设备，有其独特的优点。本设计是为富氧隧道窑的推广应用做的一些理论计算与分析，富氧燃烧能耗少，排烟少，污染小，达到较好的节能减排效果。本设计中燃料用天然气，其发热量较大，而且杂质少。顶部采用平顶结构，所以外部采用横梁结构，则钢材用量少，可降低建筑成本。本设计还采用了轻质耐火材料、高速烧嘴，使其连续性的优点更加突出。但由于时间比较仓促，富氧燃烧计算与分析的一些具体过程省略了，只选用了 60%浓度的作为示范。

**关 键 词：** 富氧隧道窑；节能减排；燃烧计算与分析；

## ABSTRACT

This design is the knowledge learned of four years of university of comprehensive application and investigation. Important link that produces the porcelain and ceramics be it burn process, the tunnel kiln conduct and actions the porcelain and ceramics profession mainly burn currently equipments, have it the special advantage. This design is some theoretical calculation which and the analysis does for the oxygen boosting tunnel kiln's promoted application, the oxygen boosting combustion energy consumption are few, discharges fume few, the pollution is small, achieves the good energy conservation to reduce a row of effect. In this design the fuel uses the natural gas, its calorific capacity is big, moreover the impurity are few. The crown uses the flat topping structure, therefore exterior uses the crossbeam structure, then the steel products amount used are few, may reduce the construction cost. This design has also used the light quality fire-proof material, the high speed burner nozzle, causes its continuous merit to be more prominent. But because the time is quite hasty, the oxygen boosting combustion calculated some concrete processes which and analyzed to abbreviate, has only selected 60% density achievement demonstration.

**Keyword:** oxygen-rich tunnel kiln ; The energy conservation reduces the platoon; Combustion computation and analysis;

## 2014 届景德镇陶瓷学院科技艺术学院本科生毕业论文（设计）

摘 要.....	2
ABSTRACT.....	3
前言.....	6
一. 景德镇陶瓷学院科技艺术学院毕业设计（论文）任务书.....	7
二. 烧成制度的确定.....	8
2.1 温度制度的确定.....	8
2.2 烧成曲线图.....	8
三. 窑体主要尺寸的计算.....	9
3.1 窑车棚板和支柱的选用.....	9
3.2 窑长和窑宽尺寸的确定.....	9
3.3 窑车.....	11
四. 工作系统的确定.....	13
4.1 预热带工作系统的确定.....	13
4.2 烧成带工作系统布置.....	13
4.3 冷却带工作系统布置.....	13
4.4 测温、测压孔.....	13
4.5 事故处理空.....	14
4.6 曲封、砂封和车封.....	14
五. 窑体的确定.....	15
5.1 窑体.....	15
5.2 钢架.....	15
5.3 窑墙.....	15
5.4 窑顶.....	15
六. 窑体材料及厚度的选择.....	16
七. 燃料燃烧计算.....	17
7.1 空气量.....	17
7.2 烟气量.....	17
7.3 燃烧温度.....	17
八. 物料平衡计算.....	18
8.1 每小时烧成干制品的质量.....	18
8.2 每小时入窑干坯的质量.....	18
8.3 每小时欲烧成湿制品的质量.....	18
8.4 每小时蒸发的自由水的质量.....	18
8.5 每小时从精坯中产生的 $\text{CO}_2$ 的质量.....	18
8.6 每小时从精坯中排除结构水的质量 $G_{ip}$ .....	18
8.7 窑具的质量 $G_b$ .....	18
九. 预热带和烧成带的热平衡计算.....	19
9.1 确定热平衡计算的基准、范围.....	19
9.2 热平衡示意图.....	19
9.3 热收入项目.....	20
9.5 列热平衡方程式.....	26
9.6 预热带和烧成带热平衡表.....	26
十. 冷却带的热平衡计算.....	28
10.1 确定热平衡计算的基准、范围.....	28

10.2 热平衡示意图.....	28
10.3 热收入项目.....	29
10.4 热支出项目.....	29
10.5 列热平衡方程式.....	32
10.6 冷却带热平衡表.....	32
十一. 管道尺寸、阻力计算、风机选型.....	33
11.2 阻力计算.....	34
11.4 其它系统管道尺寸的确定及风机选型.....	37
十二. 烧嘴选型.....	40
12.1 每个烧嘴所需的燃烧能力.....	40
12.2 选用烧嘴应注意的原则.....	41
12.3 选用烧嘴.....	41
十三. 工程材料概算.....	41
13.1 窑体材料概算.....	41
13.2 钢材材料概算.....	43
十四. 后记.....	44
十五. 参考文献.....	45
浅谈隧道窑窑车.....	46
Of tunnel kiln cars.....	49

## 前言

随着经济不断发展，人民生活水平的不断提高，陶瓷工业在人民生产、生活中都占有重要的地位。陶瓷的发展与窑炉的改革密切相关，一定结构特点的窑炉烧出一定品质的陶瓷。因此正确选择烧成窑炉是获得性能良好制品的关键。

陶瓷窑炉可分为两种：一种是间歇式窑炉，比如梭式窑；另一种是连续式窑炉，比如本设计书设计的隧道窑。隧道窑是当代陶瓷工业的重要窑炉，隧道窑的产量大，机械化程度高，从而自 20 世纪 60 年代开始在我国陶瓷工业领域迅速得到推广和应用。

烧成在陶瓷生产中是非常重要的工序。烧成过程严重影响着产品的质量，与此同时，烧成也由窑炉决定。

在烧成过程中，温度控制是最重要的关键。没有合理的烧成控制，产品质量和产量都会很低。要想得到稳定的产品质量和提高产量，首先要有符合产品的烧成制度。然后必须维持一定的窑内压力。最后，必须要维持适当的气氛。

通过对其窑炉结构和控制的了解，借鉴经验数据，本文设计的隧道窑，全窑长 228m，内宽 2.66m，烧成温度是 1260℃，燃料采用发生炉煤气。

编写时，本人虽然想设计一个实用、廉价的建陶工业隧道窑，内容上尽量想符合工程上的需要，但由于本人水平所限，设计书中一定有不少缺点和不足之处，诚挚地希望老师批评指正。

## 一. 景德镇陶瓷学院科技艺术学院毕业设计（论文）任务书

院（系） 热能工程

13 年 11 月 18 日

专    业	热能工程	班    级	热工 10
学生姓名	吴正军	指导教师	宫小龙
题    目	年产 120 万件卫生洁具发生炉煤气隧道窑设计		
主要研究内容和设计技术参数：			
1、 产品：卫生洁具（750×485×185mm）洗脸盆，单重 8Kg；			
2、 产量：120 万件/年；			
3、 年工作日：330 天；			
4、 发生炉煤气，具体参数自定。			
5、 烧成合格率：90%；坯体入窑水分：<2%；			
6、 烧成周期：16 小时；			
7、 氧化气氛烧成；烧成温度：1260℃。			
基本要求（含成果要求）：			
1. 通过设计计算，确定窑体材料及厚度、主要结构尺寸、管路系统尺寸等；			
2. 确定窑炉的工作系统；			
3. 认真思考，独立完成，绘出部分图纸：主体结构图、管路系统图（绘制常规设计或富氧（25%）窑炉设计）；			
4. 编写详细设计说明书，说明书采用学院统一格式，一律 A4 纸打印；			
5. 要求完成 2000～3000 字的英文文献调研报告和不少于 2000 字的英文摘要。			
工作进度计划：			
1. 13～20 周：查阅、整理、收集与该窑炉有关的文献资料；			
2. 1～6 周：进行设计计算；			
3. 7-12 周：编写说明书初稿；绘制所要求的部分图纸；			
4. 13 周～    ：整理设计思路与资料，完善说明书，准备答辩。			

## 二．烧成制度的确定

### 2.1 温度制度的确定

根据制品的化学组成、形状、尺寸、线收缩率及其他一些性能要求，制订温度制度如下：

表2-1 温度制度

温度 (°C)	时间 (h)	烧成阶段	升(降)温速率(°C/h)
20---300	2.2	预热带	127
300---600	1.4	预热带	214
600---950	2	预热带	175
950---1260	2.8	烧成带	121
1260---1260	1.6	烧成带（高火保温）	0
1260---800	1.4	冷却带(急冷带)	350
800---400	3.2	冷却带(缓冷带)	125
400---80	1.4	冷却带(快冷带)	228

### 2.2 烧成曲线图

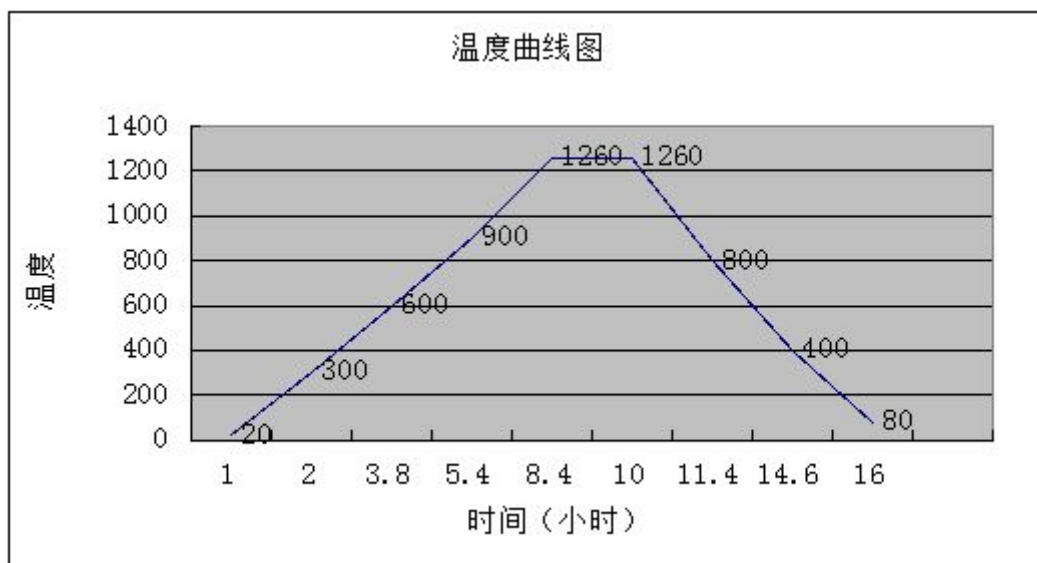


图 2-1 烧成温度曲线



### 三. 窑体主要尺寸的计算

#### 3.1 窑车棚板和支柱的选用

由于发生炉煤气已属于清洁的燃料，为减少窑内热量损失，提高热利用率，直接用明焰裸烧，并结合装载制品洗手盆的重量大小，选定承重型结构窑车，棚板、支柱均为碳化硅材料，以降低蓄散热损失，考虑到全窑最高烧成温度为  $1260^{\circ}\text{C}$ ，故碳化硅材料选用 SiC 50%，体积密度  $2.2\text{g}/\text{cm}^3$ ，最高使用温度  $1400^{\circ}\text{C}$ ，导热系数计算式  $(5.23-1.28 \times 10^{-3}t)$ 。

棚板规格：长 $\times$ 宽 $\times$ 高： $850 \times 550 \times 10(\text{mm})$

棚板质量= $850 \times 550 \times 10 \times 10^{-6} \times 2.2=10.29 \text{ Kg}$

支柱规格：长 $\times$ 宽 $\times$ 高： $60 \times 60 \times 250(\text{mm})$

支柱质量= $60 \times 60 \times 250 \times 10^{-6} \times 2.2=1.98\text{Kg}$

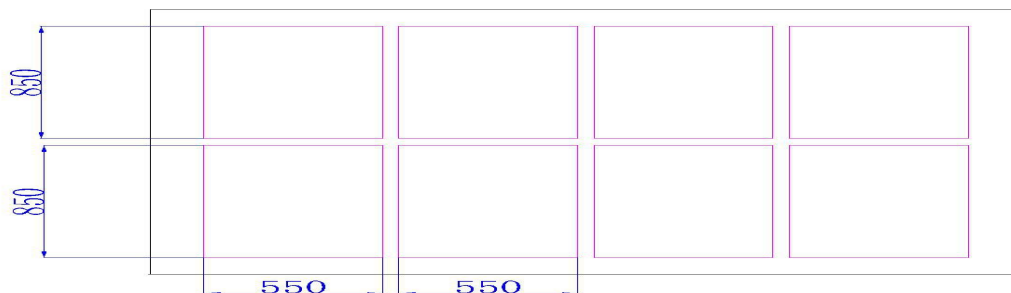
#### 3.2 窑长和窑宽尺寸的确定

##### 3.2.1 洗手盆规格

$750 \times 485 \times 185\text{mm}$ ， $8\text{kg}$ 。考虑烧成收缩为 8%，则：坯体长度尺寸=产品尺寸 $\div$ （1-烧成收缩）= $750 \div (1-8\%)=815(\text{mm})$ ，坯体宽度尺寸=产品尺寸 $\div$ （1-烧成收缩）= $485 \div (1-8\%)=528(\text{mm})$ ，坯体高度尺寸=产品尺寸 $\div$ （1-烧成收缩）= $185 \div (1-8\%)=201(\text{mm})$

##### 3.2.2 平盘码放方法

由于产品属于高度尺寸不大连体结构故采用窑车上设置棚板多层码放，每块棚板放置一个坯体，单层棚板上平盘码放装置图如下所示：



棚板设置规格为：2×4（其中 2 表示行数，4 表示列数），相邻棚板间距为 50mm，每块棚板采用四个支柱。

### 3.2.3 窑车尺寸确定

$$\text{车宽} = 550 \times 4 + 50 \times 3 + 125 \times 2 = 2600\text{mm}$$

$$\text{车长} = 850 \times 2 + 50 \times 1 + 125 \times 2 = 2000\text{mm}$$

### 3.2.4 窑长的尺寸确定

由于设计任务书已得知窑年产量为 120w 件，窑车每层装载制品数为 2×4=8 件，共 3 层，故每车装载制品数为 24 件，干制品质量 8kg，则每车装制品质量为 8kg×24=192kg，装窑密度  $g = \text{每车装载件数} / \text{车长} = 24 / 2\text{m} = 12 \text{ 件/m}$

$$\text{窑长 } L = \frac{\text{生产任务} \times \text{烧成时间}}{\text{年工作日} \times 24 \times \text{成品率} \times \text{装窑密度}}$$

$$= (1200000 \times 16) / (330 \times 24 \times 0.9 \times 12) = 224.46\text{m}$$

$$\text{窑内容车数: } n = 224.46 / 2.0 = 112.23 \text{ 辆 取 } 113 \text{ 辆}$$

全窑不设进车和出车室，所以窑有效长为 113×2.0=226 取 226m 该窑采用钢架结构，全窑不设进车和出车室，全窑长取 226m，分为 113 个标准节，每节长 2000mm。

### 3.2.5 全窑各带长的确定

根据烧成曲线，各带烧成时间与烧成周期的比值，预热带取 40 节，烧成带取 31 节，

冷却带取42节，则各带长为：

$$\text{预热带长}=2 \times 40=80\text{m}$$

$$\text{烧成带长}=2 \times 31=62\text{m}$$

$$\text{冷却带长}=2 \times 42=84\text{m}$$

### 3.3 窑车

窑内容车数 113 辆，则

推车时间： $16 \times 60 / 113 = 8.5\text{min/车}$ ；推车速度： $60 / 8.5 = 7.0$  车/小时。

窑车架高 223mm，窑车衬面边缘用四层的轻质砖共  $4 \times 65 + 4 \times 2 = 268\text{mm}$ ，在窑车的中部填充硅酸铝纤维折叠棉块上铺 1 层含锆纤维毡。

#### 3.3.1 窑内宽、内高、全高、全宽的确定

##### ① 内宽：

隧道窑内宽是指窑内两侧墙间的距离，包括制品有效装载宽度与制品和两边窑墙的间距。窑车与窑墙的间隙尺寸一般为 25~30mm，取用 30mm，则预热带与冷却带窑内宽：

$$B_1 = 2600 + 30 \times 2 = 2660\text{mm}$$

由于采用明焰裸烧，烧成带不设燃烧室，而只在窑墙上砌筑烧嘴砖构成燃烧通道，为使喷入的燃料有足够的燃烧空间，增大气体辐射层厚度，利于烟气对制品的辐射传热，为了窑顶吊顶砖砌筑的方便，在 2300mm 内宽的基础上两边各加一块标准吊顶砖的宽度 98mm 及灰缝，即烧成带内宽：

$$B_2 = 2660\text{mm} + 98\text{mm} \times 2 + 2 \times 2 = 2860\text{mm}$$

② 全窑宽（两侧外墙之间的距离，没有包括钢架）：根据窑墙所选的材料预热带、冷却带单侧窑墙厚度为 400mm，烧成带单侧窑墙厚度为 450mm，故，预热带、冷却带全窑宽  $= 400 \times 2 + 2660 = 3460\text{mm}$ ，烧成带全窑宽  $= 450 \times 2 + 2860 = 3760\text{mm}$ 。

##### ③ 内高：

为避免烧嘴喷出的高速火焰直接冲刷到局部制品上，影响火焰流动，造成较大温差，窑车台面与垫板间、上部制品与窑顶内表面之间都设有火焰通道，其高度（大于或等于烧嘴砖尺寸）：棚板下部通道取 250mm，上部火焰通道取 250mm。因此，窑内高初定为： $250\text{下火道} + 1 \times 10\text{棚板} + 250 \times 3\text{制品高度} + 250\text{上空间} = 1260\text{mm}$ ，由于具体的高度确定还跟选择的耐火砖尺寸厚度的整数倍有关，通常耐火砖厚度取 65mm，所以高度方向上耐火砖块数  $= 1260 / 65 = 19.38$ ，取 19 块，则高度为： $19 \times 65 = 1235\text{mm}$ ，灰缝： $19 \times 2 = 38\text{mm}$ ，则预

热带、冷却带窑内高： $1235+38=1273\text{mm}$ ，

对于烧成带，内高增大一块标准砖的宽度 $114\text{mm}$ ，所以内高 $=1273+114=1387\text{mm}$

④ 全窑高(轨面至窑顶外表面)：在内高的基础上加上窑车高，预热带、冷却带为 $1273+491+330=2094$ ，烧成带为 $1407+491+330=2228\text{mm}$ 。

## 四. 工作系统的确定

### 4.1 预热带工作系统的确定

预热带共 40 节，其中 1-19 节为排烟段，第一节前半节两侧窑墙各设置一道封闭气幕，气幕风由冷却带抽来的热空气提供。后半节设 1 对排烟口，目的是使窑头气流压力自平衡，以减少窑外冷空气进入窑体。第 2 节到第 19 节每节在窑车台面棚板通道处各设 2 对排烟口，位置正对。

### 4.2 烧成带工作系统布置

第 41 节到 71 节为烧成带，第 41-51 节设置 2 只烧嘴和 2 只观火孔，第 52 节-第 71 节每节设置 4 只高速调温烧嘴和 4 只观火孔，上下各部设置 2 只烧嘴和 2 只观火孔，上下部设置与窑墙均呈现交错布置，烧嘴和观火孔一一正对。

### 4.3 冷却带工作系统布置

冷却带按照烧成工艺分成三段：

第 72-76 节为急冷段。该段采用喷入急冷风直接冷却方式，在每节上下部各设 4 对冷风喷管（尺寸  $\Phi 60$ ），上下喷管交错设置。

第 77-102 节为缓冷段。本设计中采用直接热风冷却的方法，为了能使急冷段和快冷段来的热风对制品进行充分缓冷，在 78、80、82、84、86 一直到 102 节每隔一节各设 1 对相错的抽热风口，共 13 对。

103-113 节为快冷段。第 103-113 节上下部各设 5 对冷风喷管（尺寸  $\Phi 60$ ），通过喷管鼓入冷风直接对窑内的制品进行冷却，以保证制品的出窑温度低于  $80^{\circ}\text{C}$ 。

### 4.4 测温、测压孔

温度控制：为了严密监视及控制窑内温度和压力制度，及时调节烧嘴的开度，一般在窑道顶及侧墙留设测温孔安装热电偶。在窑体的第 1 节—19 节，自第 1 节开始，每隔一节设置一处测温孔；在进入烧成带之后每节各设一处；进入冷却带后 37 节—55 节每隔一节设置一处测温孔。各测温孔设置在窑顶中部，因此在烧成曲线的关键点，如窑头、氧化末段、晶型转化点、成瓷段、急冷结束等都有留设。压力控制主要靠调节烟气、空气等流量来实现。布置压力计于 2、5、9、12、14、18、20、22、24、27、31、34、

36、39、40、42、45、47、49、53.....车位中部,共 52 支。为方便画图,图纸中没有表示出。

#### 4.5 事故处理空

在2、4、6、8、10、12节每节设一处事故处理孔,在烧成带41-71节每节设一处事故处理孔,在77-101节每隔一节设一处事故处理孔

#### 4.6 曲封、砂封和车封

窑墙与窑车之间、窑车与窑车之间做成曲折封闭。曲封面贴一层高温耐火棉。窑车之间要承受推力,所以在窑车接头的槽钢内填充散棉,以防止上下漏气。砂封是利用窑车两侧的厚度约 6~8mm 的钢制裙板,窑车在窑内运动时,裙板插入窑两侧的内装有直径为 1~3mm 砂子的砂封槽内,隔断窑车上下空间。砂封槽用厚度 3mm 左右的钢板制作而成,且留有膨胀缝。在预热带头部缓冷段头部的窑墙上各设置一对加砂斗。

## 五. 窑体的确定

### 5.1 窑体

窑体由窑墙主体、窑顶和钢架组成窑体材料由外部钢架结构（包括窑体加固系统和外观装饰墙板）和内部耐火隔热材料衬体组成。

### 5.2 钢架

每一钢架长度为 2 米，含钢架膨胀缝。全窑共 113 个钢架结构，其高度、宽度随窑长方向会有所改变。钢架主要由轻质方钢管、等边角钢等构成，采用焊接工艺，并在焊接处除去焊渣、焊珠，并打磨光滑。窑墙直接砌筑在钢板上，钢架承担着窑墙和窑顶及附属设备的全部重量。

### 5.3 窑墙

窑墙采用轻质耐火隔热材料。常用材质如下：石棉板、轻质粘土砖、硅藻土砖、普通硅酸耐火纤维板、含铬耐火纤维毡、轻质高铝砖、矿渣棉等耐火材料。窑墙砌筑在钢架结构上。每隔 2 米留设 20mm 左右的热膨胀缝，用含锆散棉填实。

### 5.4 窑顶

窑顶是由吊顶板或吊顶砖和角钢或细钢筋等组成的平顶结构。角钢直接焊接在窑顶钢架上，细钢筋则是做成钩状挂在窑顶钢架上。吊顶板或吊顶砖与角钢或细钢筋紧固。这样，窑顶的重量也由钢架承担。在窑顶上，铺厚度适宜的保温棉和耐火棉，窑体材料的轻质化，可大大减少窑体蓄热。

## 六. 窑体材料及厚度的选择

窑体材料及厚度的原则：一是要考虑该处窑内温度对窑体的要求，即所选用的材料长期使用温度必须大于其所处位置的最高温度；二是尽可能使窑体散热损失要小；三是要考虑到砖型及外形整齐。根据上述原则，窑体的材料及厚度如下：

排烟段1-19节	
窑顶	窑墙
硅酸铝纤维毡3*20mm	硅酸铝纤维毡50mm
高铝纤维毡2*20mm	高铝纤维毡2*50mm
高铝聚轻球吊顶砖230mm	高铝纤维毡20mm
	高铝聚轻球砖230mm
排烟段19-40节	
窑顶	窑墙
硅酸铝纤维毡3*20mm	硅酸铝纤维毡50mm
高铝纤维毡2*20mm	高铝纤维毡2*50mm
TJM23莫来石吊顶230mm	高铝纤维毡20mm
	TJM23莫来石230mm
烧成段41-71节	
窑顶	窑墙
	硅酸铝纤维毡50mm
高铝纤维毡3*20mm	高铝纤维毡2*50mm
含锆纤维毡2*20mm	含锆纤维毡50mm
TJM23莫来石吊顶230mm	含锆纤维毡20mm
	TJM23莫来石230mm
冷却段72-77节	
窑顶	窑墙
硅酸铝纤维毡3*20mm	硅酸铝纤维毡50mm
高铝纤维毡2*20mm	高铝纤维毡2*50mm
TJM23莫来石吊顶230mm	高铝纤维毡20mm
	TJM23莫来石230mm
冷却段78-113节	
窑顶	窑墙
硅酸铝纤维毡3*20mm	硅酸铝纤维毡50mm
高铝纤维毡2*20mm	高铝纤维毡2*50mm
高铝聚轻球吊顶砖230mm	高铝纤维毡20mm
	高铝聚轻球砖230mm



## 七、燃料燃烧计算

### 7.1 空气量

理论空气量:  $Q_D = 6753 \text{ kJ/Nm}^3$  当煤气热值大于  $565 \text{ kJ/Nm}^3$  时使用经验公式:

$$V_a^o = \frac{0.2Q_D}{1000} + 0.03 = 1.38 (\text{Nm}^3 / \text{Nm}^3)$$

实际空气量

取空气过剩系数  $\alpha = 1.05$ , 则实际空气量  $V_a = \alpha V_a^o = 1.45 (\text{Nm}^3 / \text{Nm}^3)$

### 7.2 烟气量

由经验公式得:

$$\text{理论烟气量 } V_g^o = 1.45 + 0.98 - \frac{0.03Q_D}{1000} = 2.23 (\text{Nm}^3 / \text{Nm}^3)$$

$$\text{实际烟气量 } V_g = V_g^o + (1.05 - 1.0) * V_a^o = 2.30 (\text{Nm}^3 / \text{Nm}^3)$$

### 7.3 燃烧温度

#### 7.3.1 理论燃烧温度

$$t_o = \frac{Q_D + V_l C_a t_a + C_f t_f}{VC}$$

设燃烧温度  $T = 1900^\circ\text{C}$ , 查表得  $1900^\circ\text{C}$  时, 烟气比热  $C = 1.634 \text{ kJ/Nm}^3 \cdot ^\circ\text{C}$ , 室温  $t_a = 20^\circ\text{C}$

时, 空气的比热  $C_a = 1.30 \text{ kJ/Nm}^3 \cdot ^\circ\text{C}$ , 焦炉煤气比热  $C_f = 3.0 \text{ kJ/Nm}^3 \cdot ^\circ\text{C}$

$$\text{可得理论燃烧温度 } t_o = \frac{6753 + 1.67 * 1.30 * 20 + 3.0 * 20}{2.3 * 1.634} = 1822^\circ\text{C}$$

$$\frac{1900 - 1822}{1900} = 4.1\% < 5\% \text{ 所以先前估计合理。}$$

#### 7.3.2 实际燃烧温度

取高温系数  $\eta = 0.8$ , 则实际燃烧温度  $t = 0.8 * 1822 = 1457.6^\circ\text{C}$ , 比  $1260^\circ\text{C}$  高  $197.6^\circ\text{C}$ , 合理。

## 八．物料平衡计算

### 8.1 每小时烧成干制品的质量

$$G_m = \text{推车速度} \times \text{每车载重} = 7 \times 192 = 1344 \text{ kg}$$

### 8.2 每小时入窑干坯的质量

$$G_1 = G_m \cdot \frac{100}{100 - IL} = 1344 \times \frac{100}{100 - 4.82} = 1412 \text{ kg/h}$$

### 8.3 每小时欲烧成湿制品的质量

$$G_2 = G_1 \cdot \frac{100}{100 - \omega} = 1412 \times \frac{100}{100 - 1} = 1426 \text{ kg/h}$$

### 8.4 每小时蒸发的自由水的质量

$$G_w = G_2 - G_1 = 1426 - 1412 = 14 \text{ kg/h}$$

### 8.5 每小时从精坯中产生的 CO<sub>2</sub> 的质量

#### 8.5.1 每小时从精坯中引入的 CaO 和 MgO 质量 计算

$$G_{CaO} = G_1 \cdot CaO\% = 1412 \times 0.35\% = 4.94 \text{ kg/h}$$

$$G_{MgO} = G_1 \cdot MgO\% = 1412 \times 0.23\% = 6.35 \text{ kg/h}$$

#### 8.5.2 产生的 CO<sub>2</sub> 质量

$$G_{CO_2} = G_{CaO} \cdot \frac{M_{CO_2}}{M_{CaO}} + G_{MgO} \cdot \frac{M_{CO_2}}{M_{MgO}} = 10.87 \text{ kg/h}$$

### 8.6 每小时从精坯中排除结构水的质量 G<sub>ip</sub>

$$G_{ip} = G_1 \times IL\% - G_{CO_2} = 1412 \times 4.82\% - 7.63 = 57.19 \text{ kg/h}$$

### 8.7 窑具的质量 G<sub>b</sub>

每车有 64 个支柱， 24 块棚板。共重约 374 kg，

$$G_b = 374 \times 7 = 2618 \text{ kg/h}$$

## 九. 预热带和烧成带的热平衡计算

### 9.1 确定热平衡计算的基准、范围

本次计算选用 1 小时为计算基准，以  $0^{\circ}\text{C}$  作为基准温度。以预热带和烧成带为计算范围。

### 9.2 热平衡示意图

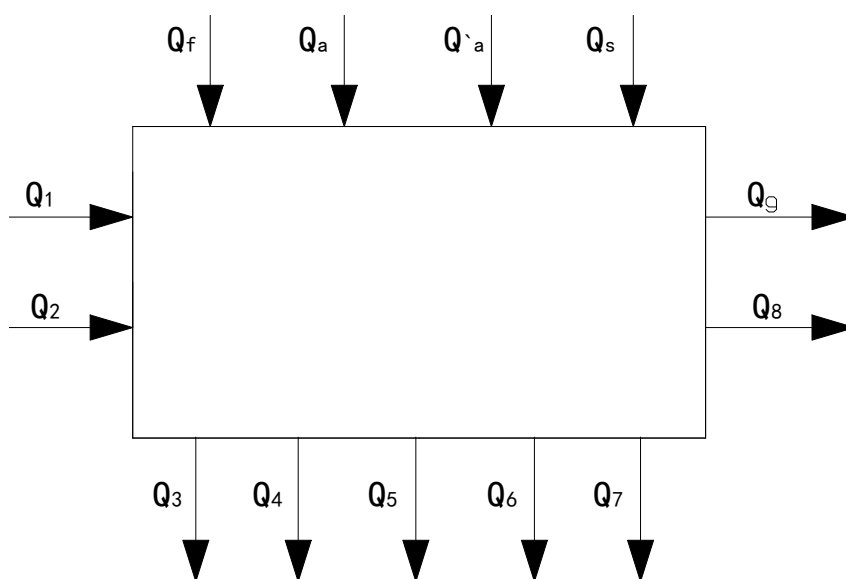


图 9-1 预热带和烧成带的热平衡示意图

$Q_1$ —坯体带入显热；

$Q_2$ —硼板、支柱等窑具带入显热；

$Q_3$ —产品带出显热；

$Q_4$ —硼板、支柱等窑具带出显热；

$Q_5$ —窑墙、顶总散热；

$Q_6$ —物化反应耗热；

$Q_7$ —窑车蓄热和散失热量；

$Q_8$ —其他热损失；

$Q_g$ —烟气带走显热；

$Q_f$ —燃料带入化学热及显热；

$Q_a$ —助燃空气带入显热；

$Q'_a$ —预热带漏入空气带入显热；

$Q_s$ —气幕、搅拌风带入显热；

### 9.3 热收入项目

#### 9.3.1 坯体带入显热 $Q_1$

$$Q_1 = G_1 C_1 T_1 \quad (\text{kJ/h})$$

其中： $G_1$ —入窑制品质量（Kg/h）； $G_1=1412 \text{ Kg/h}$ ；

$T_1$ —入窑制品的温度（℃）； $T_1=40^\circ\text{C}$

$C_1$ —入窑制品的平均比热（KJ/（Kg·℃））； $T_1=40^\circ\text{C}$ 时， $C_1=0.92 \text{ KJ/（Kg·℃）}$ ；

$$Q_1 = G_1 C_1 T_1 = 1412 \times 0.92 \times 40 = 51961.6 \quad (\text{kJ/h})$$

#### 9.3.2 硼板、支柱等窑具带入显热 $Q_2$

$$Q_2 = G_2 C_2 T_2 \quad (\text{kJ/h})$$

其中： $G_2$ —入窑硼板、支柱等窑具质量（Kg/h）； $G_2=2618 \text{ Kg/h}$ ；

$T_2$ —入窑硼板、支柱等窑具的温度（℃）； $T_2=40^\circ\text{C}$

$C_2$ —入窑硼板、支柱等窑具的平均比热（KJ/（Kg·℃））；碳化硅硼板、支柱的平均比热容按下式计算：

$$C_2 = 0.963 + 0.000147t = 0.963 + 0.000147 \times 40 = 0.968 \text{ KJ/（Kg·℃）}$$

$$Q_2 = G_2 C_2 T_2 = 2618 \times 0.968 \times 40 = 118444.48 \quad (\text{kJ/h})$$

#### 9.3.3 燃料带入化学热及显热 $Q_f$

$$Q_f = (Q_{\text{net,ar}} + T_f C_f) \times \quad (\text{kJ/h})$$

其中： $Q_{\text{net,ar}}$ —所用燃料低位发热量（KJ/m<sup>3</sup>）；燃料为天然气，低位发热量为：

$$Q_{\text{net,ar}} = 6753 \text{ KJ/m}^3;$$

$T_f$ —入窑燃料温度（℃）；入窑天然气温度为  $T_f=20^\circ\text{C}$ ；

$C_f$ —入窑燃料的平均比热容（KJ/（Kg·℃））；查表， $T_f=20^\circ\text{C}$ 时天然气平均比热容为： $C_f=3.0 \text{ KJ/（Kg·℃）}$ ；

$x$ —设每小时天然气的消耗量为  $x$  ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) ;

$$Q_f = (Q_{\text{net,ar}} + T_f C_f) x = (6753 + 20 \times 3.0) x = 6813x \quad \text{kJ/h}$$

#### 9.3.4 助燃空气带入显热 $Q_a$

$$Q_a = q_v C_a T_a \quad (\text{kJ/h})$$

其中:  $q_{v,a}$ —入窑助燃风流量 ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) ; 前面燃烧部分计算得:  $q_v = V_a \cdot x = 1.45x$  ( $\text{m}^3/\text{h}$ );

$T_a$ —入窑助燃风的平均温度 ( $^{\circ}\text{C}$ ) ; 助燃风用冷却带抽出热风,  $T_a = 20^{\circ}\text{C}$ ;

$C_a$ —入窑助燃风的平均比热容 ( $\text{KJ}/(\text{Kg} \cdot ^{\circ}\text{C})$ ) ; 查表,  $T_a = 20^{\circ}\text{C}$  助燃风时平均比热容为:  $C_a = 1.30 \text{ KJ}/(\text{Kg} \cdot ^{\circ}\text{C})$  ;

$$Q_a = q_v C_a T_a = 1.45x \times 1.30 \times 20 = 37.7x \quad (\text{kJ/h})$$

#### 9.3.5 从预热带不严密处漏入空气带入显热 $Q'_a$

$$Q'_a = q'_v \times C'_a \times t'_a$$

取预热带烟气中的空气过剩系数  $a_g = 2.5$ , 已求出理论空气量  $V_a^0 = 1.38 \text{ Nm}^3/\text{Nm}^3$

烧成带燃料燃烧时空气过剩系数  $a_f = 1.05$ 。

$V'_a = x \times (a_g - a_f) \times V_a^0 = x(2.5 - 1.05) \times 1.38 = 2.0x$  ( $\text{Nm}^3/\text{h}$ ) , 漏入空气温度为  $t'_a = 20^{\circ}\text{C}$ , 此时  $C'_a = 1.30 \text{ kJ}/(\text{Nm}^3 \cdot ^{\circ}\text{C})$ , 则:

$$Q'_a = q'_v \times C'_a \times t'_a = 2.0x \times 1.30 \times 20 = 52.0x \quad (\text{kJ/h})$$

#### 9.3.6 气幕、搅拌风带入显热 $Q_s$

气幕包括封闭气幕和搅拌气幕, 封闭气幕只设在窑头, 不计其带入显热。取搅拌气幕风源为空气, 其风量一般为理论助燃空气量的 0.5-1.0 倍, 取为 0.6 倍。

所以:  $V_s = 0.6q_v = 0.6 \times 1.45x = 0.87x$  ( $\text{Nm}^3/\text{h}$ ) , 设  $t_s = 20^{\circ}\text{C}$ , 查得  $C_s = 1.30 \text{ kJ}/(\text{Nm}^3 \cdot ^{\circ}\text{C})$ ,

$$Q_s = V_s \times C_s \times t_s = 0.87x \times 1.30 \times 20 = 22.62x \quad (\text{kJ/h})$$

### 9.4 热支出项目

#### 9.4.1 制品带出显热 $Q_3$

$$Q_3 = G_3 C_3 T_3 \quad (\text{kJ/h})$$

出烧成带产品质量:  $G_3 = 1344 \text{ Kg}$

出烧成带产品温度： $t_3=1260\text{ }^{\circ}\text{C}$

查手册<sup>[11]</sup>，此时产品平均比热： $C_3=1.22\text{ kJ}/(\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C})$

则： $Q_3=G_3\times C_3\times t_3=1344\times 1260\times 1.22=4509577.8\text{ (kJ/h)}$

#### 9.4.2 棚板、支柱等窑具带出显热 $Q_4$

$Q_4=G_4C_4T_4\text{ (kJ/h)}$

棚板、立柱质量： $G_4=2816\text{ kg/h}$

出烧成带棚板、立柱温度： $T_4=1260^{\circ}\text{C}$

此时棚板、立柱的平均比热：

$C_4=0.84+0.000264t=0.84+0.000264\times 1220=1.17\text{ kJ}/(\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C})$

$Q_4=G_4\times C_4\times T_4=2816\times 1.17\times 1260=2065996.8\text{ (kJ/h)}$

#### 9.4.3 烟气带走显热 $Q_g$

$Q_g=q_gC_gT_g\text{ (kJ/h)}$

烟气中包括燃烧生成的烟气，预热带不严密处漏入空气外，还有用于气幕的空气。

用于气幕的空氣的体积  $V_s=0.87x\text{ (Nm}^3\text{/h)}$

离窑烟气体积： $q_g=[V_g^0+(a_g-1)\times V_a^0]x+V_s$  烟气温度为  $250^{\circ}\text{C}$ ，此时烟气比热  $C_g=1.44\text{ kJ}/(\text{Nm}^3\cdot^{\circ}\text{C})$

$Q_g=q_g\times C_g\times t_g=\{[2.23+(2.5-1)\times 1.38]x+0.87x\}\times 1.44\times 250=1861.2x\text{ (kJ/h)}$

#### 9.4.4 窑墙、窑顶散失热量 $Q_5$

根据各段材料不同，并考虑温度范围不能太大，将预热带和烧成带分成三段计算

##### 9.4.4.1 20—600 $^{\circ}\text{C}$ 段

该段窑长度为 50.9 米，窑宽为 3.46 米。窑外壁表面平均温度  $80^{\circ}\text{C}$ ，窑内壁表面平均温度： $(20+600)/2=310^{\circ}\text{C}$

##### 1 窑墙部分散热计算

此部分用材料如下：

硅酸铝纤维毡，厚度  $\delta=50\text{ mm}$ ，导热系数  $0.24\text{ w}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$ ；

高铝纤维毡，厚度  $\delta=100\text{ mm}$ ，导热系数  $0.36\text{ w}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$ ；

高铝纤维毡，厚度  $\delta = 20 \text{ mm}$ ，导热系数  $0.3 \text{ w/(m} \cdot ^\circ\text{C)}$ ；

高铝聚轻球砖，厚度  $\delta = 230 \text{ mm}$ ，导热系数  $0.45 \text{ w/(m} \cdot ^\circ\text{C)}$ ；

$$\text{热流 } q_1 = \frac{t_1 - t_0}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} = \frac{310 - 80}{\frac{0.05}{0.24} + \frac{0.1}{0.36} + \frac{0.02}{0.45} + \frac{0.23}{0.45}} = 214.95 \text{ W/m}^2$$

不考虑车台面以下部分的窑墙散热，窑内高按  $1200 \text{ mm}$  计算，

则两侧窑墙散热量： $Q'_1 = 2 \times 214.95 \times 50.9 \times 1.2 \times 3.6 = 94529.85 \text{ (kJ/h)}$

## 2 窑顶部分散热计算

此部分用材料如下：

硅酸铝纤维毡，厚度  $\delta = 60 \text{ mm}$ ，导热系数  $0.24 \text{ w/(m} \cdot ^\circ\text{C)}$ ；

高铝纤维毡，厚度  $\delta = 40 \text{ mm}$ ，导热系数  $0.3 \text{ w/(m} \cdot ^\circ\text{C)}$ ；

高铝聚轻球砖，厚度  $\delta = 230 \text{ mm}$ ，导热系数  $0.45 \text{ w/(m} \cdot ^\circ\text{C)}$ ；

$$\text{热流 } q_2 = \frac{t_1 - t_0}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} = \frac{310 - 80}{\frac{0.06}{0.24} + \frac{0.23}{0.45} + \frac{0.04}{0.3}} = 258.43 \text{ W/m}^2$$

窑顶散热量： $Q'_2 = 258.43 \times 3.46 \times 50.9 \times 3.6 = 163847.31 \text{ (kJ/h)}$

所以， $20-450^\circ\text{C}$  段的窑体散热总量为：

$$Q'_a = Q'_1 + Q'_2 = 94529.85 + 163847.31 = 258377.16 \text{ (kJ/h)}$$

### 9.4.4.3 600—950℃段

该段长度为  $28.25 \text{ m}$ ，窑外壁表面平均温度  $80^\circ\text{C}$ ，窑内壁表面平均温度： $(600+950)/2=775^\circ\text{C}$

#### 1 窑墙部分散热计算

此部分用材料如下：

硅酸铝纤维毡，厚度  $\delta = 50 \text{ mm}$ ，导热系数  $0.24 \text{ w/(m} \cdot ^\circ\text{C)}$ ；

高铝纤维毡，厚度  $\delta = 100 \text{ mm}$ ，导热系数  $0.36 \text{ w/(m} \cdot ^\circ\text{C)}$ ；

高铝纤维毡，厚度  $\delta = 20 \text{ mm}$ ，导热系数  $0.3 \text{ w/(m} \cdot ^\circ\text{C)}$ ；

TJM23 莫来石，厚度  $\delta = 230 \text{ mm}$ ，导热系数  $0.2 \text{ w/(m} \cdot ^\circ\text{C)}$ ；

$$\text{热流 } q_3 = \frac{t_1 - t_0}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} = \frac{775 - 80}{\frac{0.05}{0.24} + \frac{0.1}{0.36} + \frac{0.02}{0.3} + \frac{0.23}{0.2}} = 406.43 \text{ W/m}^2$$

则两侧窑墙散热量:  $Q'_7 = 2 \times 406.43 \times 1.2 \times 828.25 \times 3.6 = 99201.43 \text{ (kJ/h)}$

## 2 窑顶部分散热计算

此部分用材料如下:

硅酸铝纤维毡, 厚度  $\delta = 60 \text{ mm}$ , 导热系数  $0.22 \text{ w/(m} \cdot ^\circ\text{C)}$ ;

高铝纤维毡, 厚度  $\delta = 20 \text{ mm}$ , 导热系数  $0.3 \text{ w/(m} \cdot ^\circ\text{C)}$ ;

TJM26 莫来石, 厚度  $\delta = 230 \text{ mm}$ , 导热系数  $0.2 \text{ w/(m} \cdot ^\circ\text{C)}$ ;

$$\text{热流 } q_4 = \frac{t_1 - t_0}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} = \frac{750 - 80}{\frac{0.06}{0.22} + \frac{0.04}{0.3} + \frac{0.23}{0.2}} = 448.39 \text{ W/m}^2$$

窑顶散热量:  $Q'_8 = 3.46 \times 448.39 \times 28.25 \times 3.6 = 157780.37 \text{ (kJ/h)}$

所以,  $600-950^\circ\text{C}$  段的窑体散热总量为:

$$Q'_9 = Q'_7 + Q'_8 = 99201.43 + 157780.37 = 256981.8 \text{ (kJ/h)}$$

### 9.4.4.4 950—1260℃段

该段长度为 62.15 米, 窑外壁表面平均温度  $80^\circ\text{C}$ , 窑内壁表面平均温度:  $(950 + 1260) / 2 = 1105^\circ\text{C}$

## 1 窑墙部分散热计算

此部分用材料如下:

硅酸铝纤维毡, 厚度  $\delta = 50 \text{ mm}$ , 导热系数  $0.24 \text{ w/(m} \cdot ^\circ\text{C)}$ ;

高铝纤维毡, 厚度  $\delta = 100 \text{ mm}$ , 导热系数  $0.36 \text{ w/(m} \cdot ^\circ\text{C)}$ ;

含锆纤维毡, 厚度  $\delta = 50 \text{ mm}$ , 导热系数  $0.342 \text{ w/(m} \cdot ^\circ\text{C)}$ ;

含锆纤维毡, 厚度  $\delta = 20 \text{ mm}$ , 导热系数  $0.32 \text{ w/(m} \cdot ^\circ\text{C)}$ ;

TJM23 莫来石, 厚度  $\delta = 230 \text{ mm}$ , 导热系数  $0.2 \text{ w/(m} \cdot ^\circ\text{C)}$ ;

$$\text{热流 } q_{10} = q_5 = \frac{t_1 - t_0}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3}} = \frac{1060 - 80}{\frac{0.05}{0.24} + \frac{0.1}{0.36} + \frac{0.05}{0.342} + \frac{0.02}{0.32} + \frac{0.23}{0.2}} = 554.05 \text{ W/m}^2$$

不考虑车台面以下部分的窑墙散热, 窑内高按 1300mm 计算,



则两侧窑墙散热量： $Q'_{10}=2\times 554.05\times 1.3\times 62.15\times 3.6=322304.18\text{kJ/h}$

## 2 窑顶部分散热计算

此部分用材料如下：

高铝纤维毯，厚度  $\delta=60\text{ mm}$ ，导热系数  $0.3\text{ w/(m}\cdot^{\circ}\text{C)}$ ；

含锆纤维毯，厚度  $\delta=40\text{mm}$ ，导热系数  $0.32\text{ w/(m}\cdot^{\circ}\text{C)}$ ；

TJM23 莫来石，厚度  $\delta=230\text{mm}$ ，导热系数  $0.2\text{ w/(m}\cdot^{\circ}\text{C)}$ ；

$$\text{热流 } q_{11}=q_6=\frac{t_1-t_0}{\frac{\delta_1}{\lambda_1}+\frac{\delta_2}{\lambda_2}}=\frac{1060-80}{\frac{0.06}{0.3}+\frac{0.04}{0.32}+\frac{0.23}{0.2}}=692.57\text{W/m}^2$$

窑顶散热量： $Q'_{11}=3.76\times 692.57\times 62.15\times 3.6=582633.1\text{ (kJ/h)}$

所以，900—1170℃段的窑体散热总量为：

$$Q'_{12}=Q'_{10}+Q'_{11}=322304.18+582633.1=904937.28\text{ (kJ/h)}$$

综上所述，预热带和烧成带窑体散失热量总和为：

$$Q_5=258377.16+256981.8+904932.28=1420291.25\text{ (kJ/h)}$$

### 9.4.5 窑车蓄热和散失热量 $Q_6$

取经验数据，占热收入的 10%。

### 9.4.6 物化反应耗热 $Q_7$

#### 9.4.6.1 自由水蒸发吸热 $Q_w$

$$Q_w=G_w\times(2490+1.93\times t_g)\text{ 自由水的质量 } G_w=14\text{kg/h}$$

烟气离窑的温度  $t_g=250^{\circ}\text{C}$ 。制品中  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量为 18.15%

则可得：

$$Q_w=14\times(2490+1.93\times 250)=41615$$

#### 9.4.6.2 结构水脱水吸热 $Q'_w$

$$Q'_w=6700q'_{m,w}\text{ (kJ/h)}$$

其中： $q'_{m,w}$ —入窑制品所含结构水的质量流量

6700—1 Kg 结构水脱水所需热量 (KJ/Kg)；

$$Q'_w=6700q'_{m,w}=64.994\times 6700=435459.8\text{ KJ/Kg}$$

9.4.6.3 其余物化反应吸热  $Q_d$ 

$$Q_d = q_m^d \times 2100 \times w(\text{Al}_2\text{O}_3) \quad (\text{kJ/h})$$

其中,  $q_m^d$ —入窑干制品质量流量 (Kg/h);  $q_m^d = 1513 \text{ Kg/h}$ ;

2100—1 Kg  $\text{Al}_2\text{O}_3$  的反应热 (KJ/Kg);

$w(\text{Al}_2\text{O}_3)$  —陶瓷洁具结合剂中  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量占总质量的质量分数;

$$w(\text{Al}_2\text{O}_3) = 18.15\%; \quad Q_d = q_m^d \times 2100 \times w(\text{Al}_2\text{O}_3) = 1344 \times 2100 \times 18.15\% = 512265.6 \quad (\text{kJ/h})$$

则物化反应总耗热为:

$$Q_7 = 41615 + 435459.8 + 512265.6 = 68340.4 \quad (\text{kJ/h})$$

9.4.7 其他热损失  $Q_8$ 

一般取经验数据, 此项热支出占热收入的 5%—10%, 本次计算取 5%。

## 9.5 列热平衡方程式

由热平衡方程: 热收入=热支出, 有

$$Q_1 + Q_2 + Q_f + Q_a + Q'_a + Q_s = Q_3 + Q_4 + Q_g + Q_5 + Q_6 + Q_7 + Q_8$$

$$51961.6 + 6813x + 37.7x + 52.0x + 118444.48 + 22.6x = 2065996.8 + 1861.2x + 4509577.8 + 1420291.25 + 689340.4 + 10\% Q_{\text{收}} + 5\% Q_{\text{收}}$$

$$\text{解得 } x = 2121.66 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

$$\text{单位燃耗: } 2121.66/1344 = 1.58 \quad (\text{标准立方米/千克瓷})$$

$$\text{单位热耗: } 0.1184 \times 36000 = 4702.5 \quad (\text{千焦/千克瓷})$$

## 9.6 预热带和烧成带热平衡表

表 9-1 预热带和烧成带热平衡表

热 收 入			热 支 出		
项 目	(kJ/h)	(%)	项 目	(kJ/h)	(%)
坯体带入显热	51961.6	0.35	产品带走显热	4509577.8	30.3
燃料化学显热	14454869.6	97.4	烟气带走显热	3948833.59	26.6

助燃空气显热	79986.52	0.54	窑墙、窑顶带 走显热	1420291.25	9.6
漏入空气显热	110326.32	0.74	物化反应耗热	689340.4	4.6
棚板、立柱带 入显热	118444.48	0.81	棚板、立柱带 出显热	2065996.8	13.9
气幕显热	47991.9492	0.32	窑车积、散热	1486358.05	10
			其它热损失	743179.025	5
总 计	14863580.5	100	总 计	1483576.9	100

分析：

两者之间存在差值，是因为预热带窑内负压在该次计算中忽略了窑底漏入窑内风带来的热量，实际上虽然窑车上下压力控制手段非常完善，但仍有误差，由于误差很小所以整个预热带、烧成带热量可认为是收支平衡的。

## 十. 冷却带的热平衡计算

### 10.1 确定热平衡计算的基准、范围

本次计算选用 1 小时为计算基准，以  $0^{\circ}\text{C}$  作为基准温度。以冷却带为计算范围。

### 10.2 热平衡示意图

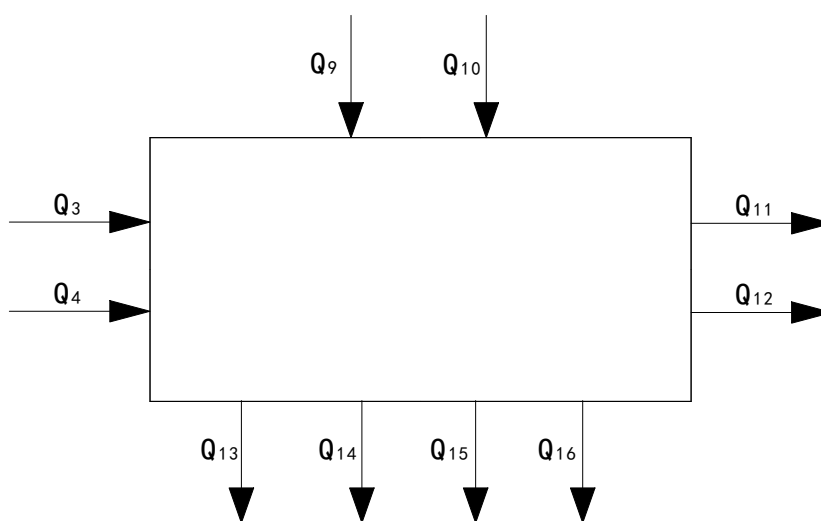


图 10-1 冷却带的热平衡示意图

$Q_3$ —制品带入显热；

$Q_4$ —砌板、支柱等窑具带入显热；

$Q_9$ —窑车带入显热；

$Q_{10}$ —急冷风带入显热与冷却带末端送入冷却风带入显热；

$Q_{11}$ —制品带出显热；

$Q_{12}$ —砌板、支柱等窑具带出显热；

$Q_{13}$ —窑车蓄热、带出及散失之热；

$Q_{14}$ —窑墙、顶总散热；

$Q_{15}$ —抽走余热风带走热量；

$Q_{16}$ —其他热损失；

### 10.3 热收入项目

#### 10.3.1 制品带入显热 $Q_3$

制品带入冷却带的显热等于预热带和烧成带制品带出显热  $Q_3=45095778$  (kJ/h)

#### 10.3.2 棚板、支柱等窑具带入显热 $Q_4$

此项热量即为预热带和烧成带棚板、支柱等窑具带出热  $Q_4=2065996.8$  (kJ/h)

#### 10.3.3 窑车带入显热 $Q_9$

预热带和烧成带窑车散失之热约占窑车积热的 5%，即 95%之积热进入了冷却带。

$$Q_9=0.95 \times Q_6=1486358.05 \times 0.95=1412040.15 \text{ (kJ/h)}$$

#### 10.3.4 急冷风与窑尾风带入显热 $Q_{10}$

设窑尾风风量为  $V_x$ ，一般急冷风量为窑尾风量的  $(1/2-1/4)$ ，本设计取急冷风是窑尾风的  $1/2$ ，则急冷风与窑尾风的总风量为： $1.5V_x$ 。空气的温度  $t_a=20^\circ\text{C}$ ，此时空气的平均比热  $c_a=1.296 \text{ kJ}/(\text{Nm}^3 \cdot ^\circ\text{C})$ ，则： $Q_{10}=V_a \times c_a \times t_a=1.5V_x \times 1.296 \times 20=38.88V_x$  (kJ/h)

### 10.4 热支出项目

#### 10.4.1 制品带出显热 $Q_{11}$

出窑产品质量  $G_{11}=1344 \text{ kg}$

出窑产品温度  $t_{11}=80^\circ\text{C}$ ，产品比热  $C_{11}=0.896 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$

$$Q_{11}=G_{11} \times C_{11} \times t_{11}=1344 \times 80 \times 0.896=96337.92 \text{ (kJ/h)}$$

#### 10.4.2 棚板、支柱等窑具带出显热 $Q_{12}$

出窑棚板、立柱质量  $G_{12}=2618 \text{ kg/h}$

出窑棚板、立柱温度  $t_{12}=80^\circ\text{C}$ ，棚板、立柱比热  $C_{12}=0.861 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$

$$Q_{12}=G_{12} \times C_{12} \times t_{12}=2618 \times 0.861 \times 80=180327.84 \text{ (kJ/h)}$$

#### 10.4.3 窑车蓄热、带出及散失之热 $Q_{13}$

此项热量占窑车带入显热的 55%，

$$Q_{13}=0.55 \times Q_9=0.55 \times 1412040.05=776622.1 \text{ (kJ/h)}$$

10.4.4 窑墙、顶总散热  $Q_{14}$ 

根据各处的材料，并考虑温度范围不能太大，将窑墙分两段计算其向外散热

## 10.4.4.1 1260—800℃段

该段长度为 19.78 米，窑外壁表面平均温度 80℃，窑内壁表面平均温度： $(1260+800)/2=1030℃$

## 1 窑墙部分散热计算

此部分用材料如下：

硅酸铝纤维毡，厚度  $\delta=50$  mm，导热系数  $0.24$  w/(m·℃)；

高铝纤维毡，厚度  $\delta=100$  mm，导热系数  $0.36$  w/(m·℃)；

高铝纤维毡，厚度  $\delta=20$  mm，导热系数  $0.3$  w/(m·℃)；

TJM23 莫来石，厚度  $\delta=230$ mm，导热系数  $0.2$  w/(m·℃)；

$$\text{热流 } q_1 = \frac{t_1 - t_0}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3}} = \frac{1030 - 80}{\frac{0.05}{0.24} + \frac{0.1}{0.36} + \frac{0.02}{0.3} + \frac{0.23}{0.2}} = 55.56 \text{ W/m}^2$$

不考虑车台面以下部分的窑墙散热，窑内高按 1200mm 计算，

则两侧窑墙散热量： $Q''_1 = 2 \times 55.56 \times 1.2 \times 19.78 \times 3.6 = 99944.78$  (kJ/h)

## 2 窑顶部分散热计算

此部分用材料如下：

硅酸铝纤维毡，厚度  $\delta=60$ mm，导热系数  $0.22$  w/(m·℃)；

高铝纤维毡，厚度  $\delta=40$  mm，导热系数  $0.3$  w/(m·℃)；

TJM26 莫来石，厚度  $\delta=230$ mm，导热系数  $0.2$  w/(m·℃)；

$$\text{热流 } q_1 = \frac{t_1 - t_0}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3}} = \frac{1030 - 80}{\frac{0.06}{0.24} + \frac{0.04}{0.3} + \frac{0.23}{0.2}} = 612.90 \text{ W/m}^2$$

窑顶散热量： $Q''_2 = 3.46 \times 19.78 \times 3.6 \times 612.90 = 151006.11$  (kJ/h)

所以，1220—800℃段的窑体散热总量为：

$Q''_3 = Q''_1 + Q''_2 = 99944.78 + 1 = 99705.51$  kJ/h

#### 10.4.4.2 800—80℃段

该段长度为 64.98 米，窑外壁表面平均温度 80℃，窑内壁表面平均温度：(800+80)/2=440℃

##### 1 窑墙部分散热计算

此部分用材料如下：

硅酸铝纤维毡，厚度  $\delta=50$  mm，导热系数 0.24 w/（m·℃）；

高铝纤维毡，厚度  $\delta=100$  mm，导热系数 0.36w/（m·℃）；

高铝纤维毡，厚度  $\delta=20$  mm，导热系数 0.3 w/（m·℃）；

TJM23 莫来石，厚度  $\delta=230$ mm，导热系数 0.2 w/（m·℃）；

$$\text{热流 } q_3 = \frac{t_1 - t_0}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} = \frac{440 - 80}{\frac{0.05}{0.24} + \frac{0.1}{0.36} + \frac{0.02}{0.3} + \frac{0.23}{0.2}} = 210.53 \text{ W/m}^2$$

不考虑车台面以下部分的窑墙散热，窑内高按 1200mm 计算，

则两侧窑墙散热量： $Q''_4 = 2 \times 210.53 \times 1.2 \times 64.98 \times 3.6 = 118197.27$ （kJ/h）

##### 2 窑顶部分散热计算

此部分用材料如下：

硅酸铝纤维毡，厚度  $\delta=60$ mm，导热系数 0.22 w/（m·℃）；热流

高铝纤维毡，厚度  $\delta=40$ mm，导热系数 0.3 w/（m·℃）；

高铝轻球吊顶砖，厚度  $\delta=230$ mm，导热系数 0.45w/（m·℃）；

$$q_4 = \frac{t_1 - t_0}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} = \frac{440 - 80}{\frac{0.06}{0.22} + \frac{0.04}{0.3} + \frac{0.23}{0.45}} = 395.60 \text{ W/m}^2$$

窑顶散热量： $Q''_5 = 395.6 \times 64.98 \times 3.47 \times 3.6 = 321120.45$ （kJ/h）

所以，800—80℃段的窑体散热总量为：

$$Q''_6 = Q''_4 + Q''_5 = 118197.27 + 321120.45 = 439317.72 \text{（kJ/h）}$$

综上所述，冷却带窑体散失热量总和为：

$$Q_{14} = 245950.87 + 439317.72 = 685288.59 \text{（kJ/h）}$$

#### 10.4.5 抽走余热风带走热量 $Q_{15} = q_{15} \times C_a \times t_a$

$$Q_{15} = q_{15} \times C_a \times t_a$$

其中， $q_{15}$ —抽走余热风流量（ $\text{m}^3/\text{h}$ ）；该窑不用冷却带热空气做二次空气，冷却带鼓入风量全部用于气幕，体积为  $q_{15}=1.5V_x \text{ Nm}^3$ 。漏出空气忽略不记

$T_{15}$ —抽走余热风的平均温度（ $^{\circ}\text{C}$ ）；取  $T_{15}=250^{\circ}\text{C}$

$C_{15}$ —抽走余热风的平均比热（ $\text{KJ}/(\text{Kg} \cdot ^{\circ}\text{C})$ ）；

查表， $T_{15}=250^{\circ}\text{C}$ 时，热空气的平均比热为： $C_{15}=1.038 \text{ KJ}/(\text{Kg} \cdot ^{\circ}\text{C})$

则： $Q_{15}=q_{15} \times C_{15} \times t_{15}=1.5V_x \times 250 \times 1.038=389.25V_x \text{ (kJ/h)}$

#### 10.4.6 其他热损失 $Q_{16}$

取经验数据，占冷却带热收入的 5%—10%，本次计算取 5%。

#### 10.5 列热平衡方程式

列出热平衡方程式

热收入=热支出，即：

$$Q_3+Q_4+Q_9+Q_{10}=Q_{11}+Q_{12}+Q_{13}+Q_{14}+Q_{15}+Q_{16}$$

$$4509577.8+2065996.8+1412040.15+38.88x$$

$$=9633.92+180327.84+776622.1+685268.59+389.25x+5\% Q_{\text{收}}$$

$$\text{得： } V_x = 16603.6 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

因此得窑尾风量为  $16603.6 \text{ Nm}^3/\text{h}$  急冷风量为  $8301.8 \text{ Nm}^3/\text{h}$

则每小时应抽余热风为： $1.5 \times 16603.6=24905.4 \text{ Nm}^3$

#### 10.6 冷却带热平衡表

表 10-1 冷却带热平衡表

热 收 入			热 支 出		
项 目	(kJ/h)	(%)	项 目	(kJ/h)	(%)
产品带入显热	4509577.8	52.23	产品带出显热	96337.92	1.12
棚板、立柱带入显热	2065996.8	23.93	棚板、立柱带出显热	180327.84	2.09
窑车带入显热	1412040.15	16.36	窑体散热	685268.59	7.49
急冷、窑尾风带入显热	645547.968	7.47	窑车带走和向车下散失显热	776622.1	8.99



			抽热风带走显热	6462951.3	74.86
			其它散热	431658.136	5
合 计	8633162.72	100	合 计	8633162.70	100

分析：

热平衡分析:从上面热平衡列表可以看出，热收入与热支出基本保持平衡，而热支出大于热收入是因为窑底冷风带入显热要大于现在的计算值。主要的热支出是抽出的热空气带走的显热，为了节能，提高热效率往往要充分利用，冷却带余热可以用它去干燥坯体。

## 十一. 管道尺寸、阻力计算、风机选型

### 11.1 排烟系统的设计

#### 11.1.1 排烟量计算

排烟系统需排除烟气量:

$$\begin{aligned} V_g &= [V_g^0 + (\alpha_g - 1) \times V_a^0] + V_m \\ &= [12.4288 + (2.5 - 1) \times 1.38] \times 2121.66 + 6.8568 \times 2121.66 = 45309.32 \text{ m}^3/\text{h} = 12.59 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

#### 11.1.2 排烟口及水平支烟道尺寸

共有 38 对排烟口, 则每个排烟口的烟气流量为:  $q_v = 12.59/76 = 0.168 \text{ m}^3/\text{s}$

标准状态下烟气在砖砌管道中的流速为  $1 \sim 2.5 \text{ m/s}$ , 流速太大则阻力大, 流速太小则管道直径过大, 造成浪费。现在取流速  $v = 1.5 \text{ m/s}$ , 烟道截面积为:

$$A = 0.168/1.5 = 0.11 \text{ m}^2$$

排烟口取长  $0.230 \text{ m}$ , 则宽为  $0.25 \text{ m}$ , 考虑砖型, 取 4 层厚, 即  $0.26 \text{ m}$ 。

#### 11.1.3 垂直支烟道尺寸

烟气由排烟口至垂直支烟道流量不变, 流速相同, 所以截面积应相等。但考虑到砖的尺寸, 取截面尺寸为:  $0.23 \times 0.232 \text{ m}^2$ 。垂直深度应和窑墙（车台面至窑顶）高度一样, 为  $1200 \text{ mm}$ 。其截面积为:  $0.23 \times 0.232 = 0.05336 \text{ m}^2$ 。

$$\text{其水力半径为: } R = \frac{4 \times 0.23 \times 0.232}{2 \times (0.23 + 0.232)} = 0.23 \text{ m}$$

窑墙以上部分用金属管道连接，考虑到实际流量、砌筑方法、垂直烟道的当量直径等，取垂直金属烟道直径为  $\Phi_1=200\text{mm}$ 。

此部分垂直金属烟道高度约为 1.2 米左右，实际距离要以现场风机安装位置等实际情况为准。

#### 11.1.4 水平主烟道尺寸

水平主烟道长度 38 米，直径  $\Phi_2=1000\text{mm}$ 。

### 11.2 阻力计算

阻力计算应包括料垛阻力、位压阻力、摩擦阻力和烟囱阻力的计算之和。

#### 11.2.1 料垛阻力 $h_1$

取经验数据，每米窑长料垛阻力为 1Pa，按理想情况假设，零压应在预热带和烧成带相接的位置，即第 41 节，最后一对排烟口在第 19 节，每节长 2 米，则：

$$h_1 = (41-19) \times 2 \times 1 = 44 \text{ Pa}$$

#### 11.2.2 位压阻力 $h_2$

风机与烟囱设在窑外的车间地面上，烟气从排烟口到风机（烟囱底部），位置升高 1.0 米。取烟气平均温度为  $100^\circ\text{C}$ 。

$$\begin{aligned} h_g &= -H(\rho_a - \rho_g) \cdot g \\ &= -1.0 \times [1.29 \times 273 / (273 + 40) - 0.95 \times 273 / (273 + 100)] \times 9.8 \\ &= -3.92 \text{ Pa} \end{aligned}$$

#### 11.2.3 局部阻力 $h_3$

烟气从炉膛内进入排烟口，突然缩小，取  $\xi_1=0.5$ ； $v=1.5\text{m/s}$

$90^\circ$  转弯至垂直支烟道，取  $\xi_2=2$ ； $v=1.5\text{m/s}$

垂直支烟道至分烟管截面突增，取  $\xi_3=0.70$ ； $v=1.5\text{m/s}$

水平支烟道与水平主管道成  $90^\circ$ ，取  $\xi_4=2$ ； $v=1.5\text{m/s}$

水平主管  $90^\circ$  转弯，取  $\xi_5=2$ ； $v=5\text{m/s}$

再  $45^\circ$  下降至风机接口，取  $\xi_6=0.5$ ； $v=5\text{m/s}$

$$\begin{aligned}
 h_e &= \xi_{1-4} \frac{\omega_1^2}{2} \rho + \xi_{5-6} \frac{\omega_2^2}{2} \rho \\
 &= (0.5 + 2 + 0.7 + 2) \times \frac{1.5^2}{2} \times 0.95 \times \frac{273+100}{273} + (2 + 0.5) \times \frac{5^2}{2} \times 0.95 \times \frac{273+100}{273} \\
 &= 48.16 \text{ Pa}
 \end{aligned}$$

#### 11.2.4 摩擦阻力 $h_4$

对非圆形通道应求当量直径  $d$ :

排烟口的直径和长度

$$d_1 = \frac{4 \times \text{通道截面积}}{\text{通道周边长}} = \frac{4 \times 0.23 \times 0.26}{2 \times (0.23 + 0.26)} = 0.244 \text{ m}; \quad l_1 = 0.28 \text{ m}$$

垂直支烟道当量直径和长度（砌筑部分）:

$$d_2 = \frac{4 \times 0.23 \times 0.232}{2 \times (0.23 + 0.232)} = 0.23 \text{ m}; \quad l_2 = 1.2 \text{ m};$$

垂直支烟道当量直径和长度（金属管道部分）:

$$d_3 = 4 \times \frac{0.2}{2} = 0.4 \text{ m}; \quad l_3 = 1.2 \text{ m};$$

$$\text{水平支烟道当量直径和长度: } d_4 = 4 \times \frac{0.2}{2} = 0.4 \text{ m}; \quad l_4 = 0.5 \text{ m};$$

$$\text{水平主烟道当量直径和长度: } d_5 = 4 \times \frac{0.45}{2} = 0.9 \text{ m}; \quad l_5 = 15 \text{ m};$$

摩擦阻力系数: 金属管取  $\zeta_1 = 0.03$ , 砌筑管道取  $\zeta_2 = 0.05$ , 则有

$$\begin{aligned}
 h_4 &= \xi_1 \left( \frac{l_1}{d_1} + \frac{l_2}{d_2} \right) * \frac{w_1^2}{2} * \rho + \xi_2 \left( \frac{l_3}{d_3} + \frac{l_4}{d_4} + \frac{l_5}{d_5} \right) * \frac{w_2^2}{2} * \rho \\
 &= 0.05 \times \left( \frac{0.28}{0.244} + \frac{1.2}{0.23} \right) \times \frac{1.5^2}{2} \times 0.95 \times \frac{273+100}{273} + 0.03 \times \left( \frac{1}{0.4} + \frac{0.5}{0.4} + \frac{15}{0.9} \right) \times \frac{5^2}{2} \times 0.95 \times \frac{273+100}{273} \\
 &= 14.52 \text{ Pa}
 \end{aligned}$$

#### 11.2.5 烟囱阻力 $h$

##### 11.2.5.1 烟囱尺寸

烟囱排出烟气量为:  $V = 12.59 \text{ m}^3/\text{s}$

烟囱高度为 10 米, 标准状态下取烟气在烟囱内的流动速度为  $10 \text{ m/s}$ ,

平均温度 100℃，其直径为：

$$d = \sqrt{\frac{4V}{\pi w}} = \sqrt{\frac{4 \times 12.59}{3.14 \times 10}} = 0.99\text{m}, \text{取直径为 } 1000\text{mm}$$

#### 11.2.5.2 计算烟囱阻力

$$\begin{aligned} h &= -H(\rho_a + \rho_g) + \xi \frac{\omega^2}{2} \rho \frac{H}{d} + \frac{\omega^2}{2} \rho \\ &= -10 \times (1.29 \times \frac{273}{273+40} - 0.95 \times \frac{273}{273+100}) + 0.03 \times \frac{6^2}{2} \times 0.95 \times \frac{273+100}{273} \times \frac{10}{0.6} \\ &\quad + \frac{6^2}{2} \times 0.95 \times \frac{273+100}{273} \\ &= 16.04 \text{ Pa} \end{aligned}$$

由于烟囱较矮，烟气在烟囱中的流速比较大，烟囱本身的抽力尚不能克服烟囱本身的摩擦阻力及出口动压头的损失，因此烟囱本身也成为阻力作用。须用风机来克服阻力。

风机应克服的总阻力为：

$$h_x = h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h = 14 - 3.92 + 48.16 + 14.52 + 16.04 = 88.8 \text{ Pa}$$

#### 11.3 风机选型

为保证正常工作，取安全系数为 1.3

所以选型应具备风压  $H$  为：

$$H = 1.30 \times h_x \times \frac{\rho_a}{\rho_g} = 1.3 \times 88.8 \times \frac{1.29 \times \frac{273}{273+40}}{0.95 \times \frac{273}{273+100}} = 198.2 \text{ Pa}$$

风量为： $Q = 1.3 \times V_g \times (273+100)/273 = 1.3 \times 6314.82 \times 373/273 = 11216.32 \text{ m}^3/\text{h}$

查《风机选用手册》选引风机 Y8-39No5.6，其参数见表 11-1。

#### 11.4 其它系统管道尺寸的确定及风机选型

##### 11.4.1 各管道尺寸的计算

##### 11.4.1.1 助燃风管的计算

$$\text{助燃风量 } V^1 = V_a \times x = 1.45 \times 2121.66 = 3076.41 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

实际助燃风量  $V = 1.45 \times 2121.66 \times (273 + 20) / 273 = 3301.78 \text{ m}^3/\text{h} = 0.92 \text{ m}^3/\text{s}$  取助燃风在总管中的流速为  $10 \text{ m/s}$

$$\text{助燃风总管内径: } d_{\text{总}} = \sqrt{\frac{4 \times 0.92}{3.14 \times 10}} = 0.59 \text{ m} \text{ 取 } 600 \text{ mm}$$

$$\text{助燃风分管内径: } d_{\text{分}} = \sqrt{\frac{4 \times 0.92}{3.14 \times 10 \times 2}} = 0.2 \text{ m} \text{ 取 } 200 \text{ mm}$$

共有 102 个烧嘴，取流速为  $w=10 \text{ m/s}$

$$\text{所以 } d_{\text{支}} = \sqrt{\frac{4 \times 0.92}{3.14 \times 10 \times 102}} = 0.034 \text{ m} \text{ 取 } 40 \text{ mm}$$

#### 11.4.1.2 急冷风管的计算

该段冷风鼓入量一般为冷却带鼓入量的  $1/3$ ，所以  $4380.3 \text{ Nm}^3/\text{h}$   
实际鼓风量为

$$V'_1 = 4380.3 \times \frac{273 + 20}{273} = 4701.2 \text{ m}^3/\text{h} = 1.31 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{总管 } D_{\text{总}} = \sqrt{\frac{4 \times 1.31}{3.14 \times 10}} = 0.49 \text{ m, 取 } 500 \text{ mm}$$

$$\text{分管 } d_{\text{分}} = \sqrt{\frac{4 \times 1.31}{3.14 \times 10 \times 2}} = 0.288 \text{ m, 取 } 300 \text{ mm}$$

$$\text{支管 } d_{\text{支}} = \sqrt{\frac{4 \times 1.31}{3.14 \times 10 \times 28}} = 0.077 \text{ m, 取 } 80 \text{ mm}$$

#### 11.4.1.3 急冷段抽热风管的计算

冷却带总抽风量： $13140.83 \text{ N m}^3/\text{h}$ ，抽出温度为  $300^\circ\text{C}$

$$\text{实际抽风量 } V'_2 = 13140.83 \times \frac{273 + 250}{273} = 20361.1 \text{ m}^3/\text{h} = 5.66 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{总管 } d_{\text{总}} = \sqrt{\frac{4 \times 5.66}{3.14 \times 10}} = 0.849 \text{ m, 取 } 850 \text{ mm}$$

$$\text{支管（共有 8 个抽热风口） } d_{\text{分}} = \sqrt{\frac{4 \times 5.66}{3.14 \times 10 \times 8}} = 0.3 \text{ m, 取 } 300 \text{ mm}$$

## 11.4.1.4 搅拌气幕风管尺寸的计算

气幕风量为  $1290.37 \text{ Nm}^3/\text{h}$

$$\text{气幕实际鼓风量 } V'_1 = 1290.37 \times \frac{273+20}{273} = 1384.9 \text{ m}^3/\text{h} = 0.385 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{气幕总管直径 } d_1 = \sqrt{\frac{4 \times 0.385}{3.14 \times 10}} = 0.22 \text{ m}, \text{ 取 } 220 \text{ mm}$$

$$\text{气幕支管直径 } d_2 = \sqrt{\frac{4 \times 0.385}{3.14 \times 10 \times 12}} = 0.064 \text{ m}, \text{ 取 } 65 \text{ mm}$$

## 11.4.1.5 封闭气幕管道尺寸的计算

封闭气幕总管直径 取  $100 \text{ mm}$

## 11.4.1.6 窑尾鼓冷风管尺寸的计算

窑尾鼓冷风量为  $8760.55 \text{ Nm}^3/\text{h}$

$$\text{实际鼓风量 } V'_1 = 8760.55 \times \frac{273+20}{273} = 9402.35 \text{ m}^3/\text{h} = 2.61 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{总管 } D_{\text{总}} = \sqrt{\frac{4 \times 2.61}{3.14 \times 8}} = 0.5 \text{ m}, \text{ 取 } 500 \text{ mm}$$

$$\text{分管 } d_{\text{分}} = \sqrt{\frac{4 \times 2.61}{3.14 \times 8 \times 2}} = 0.456 \text{ m}, \text{ 取 } 500 \text{ mm}$$

$$\text{支管 } d_{\text{分}} = \sqrt{\frac{4 \times 2.61}{3.14 \times 8 \times 36}} = 0.79 \text{ m}, \text{ 取 } 80 \text{ mm}$$

## 11.4.2 各窑段的风机选型

## 11.4.2.1 急冷段急冷风机的选用

为保证正常工作，取安全系数为 1.3，

风机鼓风量  $Q = 1.3 \times 4380.3 = 5694.4 \text{ Nm}^3/\text{h}$

比较各种风机性能后，采用 G6-43No6.3 型离心通风机。它是新型高效率中、低压离心通风机，具有效率高，节约电力，运转平稳，噪声低，结构完善，便于维修，拆装方便等优点。

#### 11.4.2.2 窑尾风机的选用

为保证正常工作，取安全系数为 1.3，

风机鼓风量  $Q=1.3 \times 8760.55=11388.72 \text{ Nm}^3/\text{h}$ 。

#### 11.4.2.3 缓冷段抽热风量

缓冷设缓冷风机。

#### 11.4.2.4 助燃风机的选用

为保证正常工作，取安全系数为 1.3，

助燃风机需鼓入风量  $Q=1.3 \times 2307.25=2999.43 \text{ Nm}^3/\text{h}$

由于助燃风要求高压强制通风，且本设计助燃风不要求预热。

#### 11.4.2.5 车下风机

车下风为冷却窑车而用，每个车轮下设一小吹风口，风量不需要很大，这里以窑尾风量的一半计算，即： $Q=11388.72/2=5694.36 \text{ Nm}^3/\text{h}$ 。

#### 11.4.2.6 轴流风机

为了更好的保证制品出窑温度低于  $80^\circ\text{C}$ ，在窑尾设置了 4 对环保低噪音轴流风机。其参数为：型号，T35；流量， $5951 \text{ m}^3/\text{h}$ ；功率，1.1KW；转速，2900r/min。

列出风机选型表：

表 11-1 风机型号表

用途	风机名称	机型	转 速 r/min	全压 Pa	风 量 $\text{m}^3/\text{h}$	电动机	
						型号	功 率/kW
搅拌风机	离心通风机	G6-43N $\phi$ 3.3	2840	1785	1474	Y190S-2	1.5
车下风机	离心通风机	G6-43N $\phi$ 6.3	1440	1652	5896	Y132S-4	5.5
排烟风机	锅炉引风机	Y8-39N $\phi$ 5.6	2900	3971	12214	Y200L1-2	30
助燃风机	离心通风机	G6-43N $\phi$ 6.3	1440	1797	3106	Y132S-4	5.5
快冷风机	离心通风机	G6-43N $\phi$ 8.5	1470	3271	13034	Y160M-4	22



抽热风机	锅炉引风机	Y4-73No9D	1450	1644	25976	Y180L-4	22
急冷风机	离心通风机	G6-43No6.3	1440	1652	5896	Y132S-4	5.5

## 十二. 烧嘴选型

### 12.1 每个烧嘴所需的燃烧能力

由于全窑共有 102 个烧嘴，且每小时燃料的消耗量为  $2121.66\text{m}^3$ ，考虑每个烧嘴的燃烧能力和烧嘴燃烧的稳定性，取安全系数 1.5，所以每个烧嘴的燃烧能力为：

$$2121.66 \times 1.5 / 102 = 31.2 \text{Nm}^3/\text{h}$$

则每个烧嘴的热负荷为： $31.2 \times 36000 = 1123231 \text{ kJ/h}$

### 12.2 选用烧嘴应注意的原则

烧嘴的选用能适应和满足生产需要即可，应尽量避免不必要的浪费。其次，选用烧嘴必须和烧嘴的使用结合起来，在规定的负荷内保证火焰的稳定性，即不要脱火也不要回火，并要保证在规定的条件下燃料完全燃烧

### 12.3 选用烧嘴

由于本设计的窑内宽达到 2660mm，为了保证断面温度的均匀与稳定，通过资料查询，选用广东施能燃烧设备有限公司生产的型号为 SIO-200 烧嘴，其主要参数为：火焰长度 1100mm-2400mm，出口速度为 80m/s，燃气压力 2000 Pa，助燃空气压力 4200Pa。

此烧嘴不需要专门的燃烧室，烧嘴砖直接砌筑在窑墙上即可。

## 十三. 工程材料概算

### 13.1 窑体材料概算

#### 13.1.1 高铝纤维毡，规格： $\sigma=20\text{mm}$

取窑墙的平均高度为 1.8m，窑长 226m；

两侧窑墙需： $4 \times 1.8 \times 226 = 813.6 \text{ m}^2$ ，取  $814\text{m}^2$ 。

### 13.1.2 高铝聚轻球砖，规格：230×114×65mm

密度  $\rho = 1.0 \text{g/cm}^3$ ，重烧线变化不大于 2% 的试验温度  $1350^\circ\text{C}$ ，在全窑砌有厚度 230mm，窑体的平均身高为 1.8m，所以砌有粘土砖的窑墙体积为

$$V = 2 \times 0.23 \times 1.8 \times 226 = 187.13 \text{m}^3$$

共需高铝聚轻球砖

$$187.13 / (0.114 \times 0.230 \times 0.065) = 110075 \text{ 块}$$

### 13.1.3 高铝聚轻吊顶砖，规格：230×114×65mm

密度  $\rho = 1.0 \text{g/cm}^3$ ，全窑所砌筑的长度为 88m，所以

$$V = 2 \times 0.114 \times 1.8 \times 88 = 36.11 \text{m}^3$$

$$V = 2 \times 0.114 \times 1.8 \times 88 + \frac{60\pi}{360} [(0.850 + 0.23)^2 - 0.850^2] \times 88 = 56.55 \text{m}^3$$

共需高铝聚轻吊顶砖

$$56.55 / (0.114 \times 0.230 \times 0.065) = 33266 \text{ 块}$$

### 13.1.6 重质高铝砖，规格：230×114×65mm

全窑所砌筑的长度为 226m，故  $V = 2 \times 0.23 \times 0.13 \times 226 = 13.51 \text{m}^3$

共需重质高铝砖  $13.51 / (0.114 \times 0.230 \times 0.065) = 7947 \text{ 块}$

### 13.1.7 TJM26 莫来石 规格：230×114×20

全窑所砌筑的长度为 114m，故  $V = 0.02 \times 3.75 \times 114 = 8.55 \text{m}^3$

共需堇青莫来石板  $8.55 / (0.23 \times 0.114 \times 0.02) = 16442 \text{ 块}$

### 13.1.8 硅酸纤维毯：

纤维直径， $2-4 \approx \mu\text{m}$ ，密度  $\rho = 260 \text{kg/m}^3$ ，纤维长度约 50mm，在全窑窑墙与窑顶部分填充硅酸铝纤维，在窑顶全窑所填硅酸铝纤维长度为 82m，宽为 3.78m，所填棉的高为 0.23m，体积为： $V_1 = 3.78 \times 0.23 \times 82 = 71.3 \text{m}^3$  在窑墙所填硅酸铝纤维长度为 28m，宽为 0.1m，高为 1.8m，体积为： $V_2 = 0.1 \times 1.8 \times 28 = 5.04 \text{m}^3$

在窑车内填棉长为 2.7m，宽为 1.09m，高为 0.2m，在全窑的窑车数为 54 辆，预留全窑的 1/3 窑车数为干燥和装车所用，因此总的窑车数为  $54 + 18 = 72$  辆，得出硅酸铝纤

维体积为： $V_3=2.7 \times 1.09 \times 0.2 \times 72=42.38 \text{ m}^3$

全窑所需硅酸铝纤维的总体积为： $V=V_1+V_2+V_3=71.3+5.04+42.38=118.72 \text{ m}^3$

### 13.1.9 含锆纤维毯，厚度 60mm

每辆窑车内填含锆纤维毯长为 2.7m，宽为 1.09m，高为 0.06m，所以全部窑车所需的体积为  $2.7 \times 1.09 \times 0.06 \times 72=12.71 \text{ m}^3$

### 13.1.10 含锆纤维毡

用于堵塞膨胀缝等其他缝、孔，窑墙的平均厚度为 0.35m，膨胀缝宽为 0.02m，高度为 1.8m，所以  $V=0.34 \times 0.02 \times 1.8 \times 41=0.5 \text{ m}^3$

以上材料概算为实际用量，均未考虑余量。由于施工时会浪费一部分，因此在购置时要比以上概算量多出约 5%左右的余量，对用量少的还应多备。

### 13.1.11 其他材料

热电偶（含瓷管）：40 套。烧嘴 102 只。烧嘴砖 102 块。看火孔（含瓷管和看火孔盖）：102 套。执行器 8 个。电磁阀 1 个。流量计 1 个。补偿导线 1000 米。自动控制柜（显示仪表、电路已组装完成）1 套。顶车机 1 套，含备用快（慢）进（退）。柴油发电机 1 套。本概算未包括窑炉、回车线、拖车到道基础。

## 13.2 钢材材料概算

由图纸中的详细计算，得出下列材料图表：

序号	材料名称	规格 / 尺寸 (mm)	单位	数量
1	钢管	140	m	78

2	钢管	159	m	78
3	钢板	$\sigma=3$	$m^2$	98
4	方钢管	$100 \times 50 \times 4$	支	480
5	方钢管	$120 \times 60 \times 4$	支	210
6	方钢管	$50 \times 50 \times 3.5$	支	70
7	方钢管	$120 \times 120 \times 4$	支	240
8	角钢	$L63 \times 63 \times 6$	支	190
9	角钢	$L40 \times 40 \times 4$	支	180
10	角钢	$L30 \times 30 \times 4$	支	140
11	钢板	$\delta=1.2\text{mm}$	$m^2$	250
12	吊顶钩	$\phi 10$	个	3950
13	轨道	15kg/m	m	450
14	轨道垫板	$\sigma=10\text{mm}$	$m^2$	6
15	窑车底板	$580 \times 630 \times 3$	件	320
16	窑车底板	$980 \times 630 \times 3$	件	320
17	槽钢	10 号	m	930

## 十四. 后记

大学四年的学习与生活即将落下帷幕，我的毕业设计经过自己的努力也即将完成。能够顺利的完成毕业设计，我要感谢指导老师陈功备的指导以及同学们的帮助。

毕业设计不仅是对大学所学专业知识和专业基础的一次实际检验和巩固，同时也是走向工作岗位前的一次热身，和对自己能力的一种提高。设计就是要把理论知识与实际生产情况、具体技术结合起来，将所学到的知识能够融会贯通、熟练应用，并要求我们能够理论联系实际，培养我们的综合运用能力以及解决实际问题的能力。然而实际操作总比想象的困难，所以在做设计时遇到一些个难题，也就暴露了自身知识的缺漏。通过这次毕业设计使我看到了自己专业知识的缺陷与不足，确定在以后的学习中必须得更加的努力，做到脚踏实地，切勿眼高手低。

在这次毕业设计过程中，我学到更加丰富的专业知识，并且还培养了我更加认真的学习态度，也为以后走更远的路打下了良好的基础。通过这次毕业设计，使我明白学习是一个长期积累的过程，在以后的工作、生活中都应该不断的学习，努力提升自己知识和综合素质。

由于本人知识和能力的不足，加之时间有限，在毕业设计中不可避免的出现了一些纰漏之处以及不如人意的地方，在此诚恳地希望各位老师、诸位前辈、同学能够多多批评指正，本人将不胜感激！

## 十五. 参考文献

- [1] 周露亮.《课程设计指导书》.景德镇陶瓷学院, 2008. 9
- [6] 刘振群著.《陶瓷工业热工设备》. 武汉理工大学出版社, 1989
- [4] 胡国林, 陈功备.《窑炉砌筑与安装》. 武汉理工大学出版社, 2005. 5
- [2] 韩昭沧.《燃料及燃烧》(第 2 版). 冶金工业出版社, 1994. 10
- [9] 王秉铨著.《工业炉设计手册》. 机械工业出版社, 2006. 7
- [3] 李家驹.《日用陶瓷工艺学》. 武汉工业大学出版社, 1992. 7
- [5] 杨世铭.《传热学》, 第 2 版, 高等教育出版社, 1987. 10
- [7] 沈慧贤, 胡 道.《硅酸盐热工工程》. 武汉工业大学出版社, 1991. 12
- [8] 孙 研.《通风机选型实用手册》. 机械工业出版社, 2000. 1

## 浅谈隧道窑窑车

隧道窑窑车经常出现一些技术问题,它们是影响隧道窑烧成质量、运转可靠性、经济效益的主要因素。窑车与隧道窑之间的密封不好,一方面热空气会从隧道窑内串到窑车下,对窑车钢结构,尤其是窑车车轮轴承的损害非常大,直接影响到隧道窑的安全运转。另一方面冷空气从窑车底串到隧道窑内,将使隧道窑内横断面上下的温差增大,影响制品的烧成质量。窑车衬砌耐火材料重量越大,窑车在焙烧过程中热交换越高,隧道窑在焙烧过程中热交换比例就越大,也就是说笨重的窑车灵活性小、热损失大。所以,窑车一方面要有足够好的密封性能,另一方面窑车重量必须尽可能地减轻,以使能耗降低,并且要有足够的耐久性,保证窑车的安全运行。窑车的机械或热力学上的缺陷都会对砖厂日常生产成本有一定的影响。要降低成本,降低保养费和能耗,提高使用寿命,必须对窑车的问题加以重视。

注意避免让不必要的冷空气进入窑内,还要避免窑内的热空气串到窑下,这点很重要。主要漏风渠道之一是砂封结构。砂封并不能获得完全密封,仅能部分阻挡空气气流,最大的空气泄露是在窑车与窑车之间的砂封搭处。在设计和加工时,为避免顶推力传到砂封板上,砂封板不应当接触太紧,此外还有允许误差、砂封板的变形、不同的热膨胀率、磨损等因素。因此,一窑车与另一窑车连接处的砂封板并不密封,即使每辆车有  $2\text{c m}^2$  的漏风面积,这看起来也许很小,但总共有 60 左右辆窑车在窑内,这将产生大约漏  $120\text{c m}^2$  风面积,这对于工作在一定压力状态下的隧道窑会造成很大影响,是不可忽视的。曾有人设法努力采取补救措施。例如采取砂封板重复搭接密封件和类似措施等,实践证明都不适用,在连续使用后经常损坏,因此应该寻找更好的砂封结构。

根据国外 30~40 年积累的经验证明,水是一种良好的密封材料。有人采用充水砂槽,水槽带有膨胀接缝并填充砂子,但 100 多米长的水槽在热胀冷缩条件下不可能持久,无法保证水槽的密封。法国赛利克公司更前进了一步,将窑车底面全部浸在水里,使这种



密封系统更完美了。另有一种简单而有效的设计是双砂封,下部砂封是我们常用的砂封结构。上部砂封结构是由一条 C 形槽钢和侧墙形成一体,与之相配合的窑车上是 T 形结构。T 形下部与 C 形槽钢下部形成砂封。T 形上部和窑车面层侧面又形成一道砂封, C 形槽上端插入其中。主要优点是形成的砂封在窑车通过窑内时一直保持着密封,能与窑车相搭扣。实践证明,如此密封即使在长的隧道窑内,也不需再补充砂子。

上述砂封系统大大地减少了从窑下来的不必要的冷空气和进入窑下的热空气,可以防止窑车边框耐火材料以下部分工作在高温状态,这种砂封结构花费较少,对窑车无损伤,对窑车车轮、轴承和其他部件却有很好的保护作用。窑车重量的减轻,是通过窑车衬采用轻质耐火材料(轻质耐火纤维砌块,轻质混凝土)实现的。窑车边框材料可采用外壁厚度适中的轻质窑车边框砖,这样可降低边缘的重量,但必须非常结实,抗热冲击性能要好,耐火度及荷重软化点要满足要求。多数情况下,窑车边缘要求机械性能稳定。边框砖材料大部分采用粘土质耐火砖,现在也有采用轻质耐火混凝土做边框砖的,这样可以减轻窑车的重量,降低窑车造价,但轻质耐火混凝土的机械性能不是很好,边框砖容易损坏。

隔热层在窑车衬砌结构中所占的体积比例最大。现在我们普遍采用的是填充水泥膨胀蛭石,水泥膨胀蛭石容重、热导率都比较大,这样不但会造成窑车重量的加大,并且造成窑车的蓄热能力加大,向下传导的热量多。如改用其他便宜的轻质隔热材料(如粉煤灰、膨胀珍珠岩),就完全可以减轻窑车的重量,并且不会提高整车的造价。

窑车面是隧道窑构造中问题最多的组成部分。窑的两侧墙、窑顶和窑车面形成窑的四个面,窑车面应消耗最少的热量,因为另外三个面在窑加热后温度保持恒定不变,它们的热消耗仅限于向外传导的热损失。可是窑车是在冷态下推入隧道窑的,窑车面除了向下传导的热量以外,它还将吸收并贮存热量,因为它的表面应当达到焙烧带的最终温度,当窑车从隧道窑出来以后,温度又会降到室温,造成了热量损失,所以高质量的隔热材料是防止热损失的必要条件。

窑车面越厚,向下传导的热损失越少。对于贮存热量,其原则是:台面层越薄,贮存热量的比例越小。每一种窑车面均有其最佳厚度,如果没有达到,那将导致向下传导的热量加大。如果超过了,蓄热能力就加大了。窑车面将大致达到最终焙烧温度。因此窑车面将从常温加热升温到  $1000^{\circ}\text{C}$  左右,它将对蓄热起到决定性的影响。因此,顶层材料应由尽可能轻的耐火材料所组成,下层材料仅达到较低的温度,它们对蓄热的影响较小。因此它们的重量不如顶层那么关键。窑车面层除了应具有最小的热耗外,也应满足其他一些要

求。它的底部必须保证密封,它必须安全地承载输送砖坯,并承受塌方的考验。还应具有机械稳定性(牢固、经久耐用、不变形、耐风化等),除此之外,窑车面层暴露在经常不断的温度变化之下,其必须能承受这种不断变化的热流影响。因此,所用的耐火材料应能抵抗这种温差的冲击。

由于生产中,每日要清理窑车,再加上燃烧对窑车的严重侵蚀,所以,窑车面要结实耐用。对生产厂家而言,迫切需要轻质且机械性能皆好的窑车面。通过设计及技术安全测量手段,或在生产工艺中运用适当的技术原理防止焙烧坯体倒塌,从而避免对窑车机械性能的损坏。

隧道窑花费最大的部分是窑车部分,应当尽量少花钱,而且在常期使用时少花维修费,在某种程度上讲,这些要求似乎互相矛盾,理想的解决法似乎不可能,只能不断寻求协调,使缺点尽可能减少。

为了配合国家关于禁止黏土实心砖推广空心砖墙改政策的实施,适应广大中小砖厂技术改造,《砖瓦》杂志社设备窑炉技术开发部通过对市场的调查和多年从事建厂经验绘制出不同规模、不同类型、适合不同原料的新型《隧道干燥室通用图纸》和高效节能《轮窑通用图纸》。该图纸汇集不同原料、不同规模的黏土、页岩、煤矸石及粉煤灰烧结砖及空心砖轮窑及干燥室施工图。

推出的所有图纸均是在生产中经过长期实践的成熟技术资料,在绘制过程中不仅吸收了国内外业内的先进技术使其结构更加合理,适应面更广,还增加了大量结构详图和文字说明以便使用单位施工方便。《砖瓦》杂志社设备窑炉技术开发部还同时推出与图纸相应配套的GSJ-III型系列干燥室送热节能风机和ZFJ系列轮窑高温防腐节能引风机(见《砖瓦》杂志彩色广告),以及干燥车、窑车、顶车机、摆渡车等,并提供从干燥室、轮窑的技术咨询、改造调试到各类相应配套设备的整套优惠服务。

## **Of tunnel kiln cars**

Tunnel kiln cars are often a number of technical problems, which affect the quality of the tunnel kiln firing, operation reliability, cost-effectiveness of the main factors. Kiln tunnel kiln cars and the seal between the well, on the one hand, hot air from the tunnel kiln to the kiln car series, the steel structure of the kiln cars, in particular, kiln car wheel bearings for damage is very large, direct impact on the tunnel kiln the safety of operation. On the other hand, the cold air from the kiln car into the tunnel kiln at the end of string, up and down will make the tunnel cross-section of the kiln temperature increases, the impact of the burning quality products. The weight of the kiln car refractory lining of the bigger cars in the roasting kiln heat exchange process the higher the tunnel kiln in the roasting process the greater the heat exchange ratio, meaning that heavy vehicles flexibility small kiln, large heat loss. Therefore, the kiln cars on the one hand, there must be enough good sealing performance, on the other hand, kiln cars to be as much as possible to reduce weight in order to reduce energy consumption and durability sufficient to ensure the safe operation of the kiln car. Kiln cars thermodynamic machinery or defects will be day-to-day cost of production of the factory have a certain impact.

To reduce costs, reduce maintenance costs and energy consumption, improve the life of the kiln must be attention to the issue of cars.

Attention to avoid unnecessary cold air into the kiln, but also to avoid the hot air kiln to kiln string, this is very important. One of the main channels of air leakage sealing structure of sand. Sand can not be completely closed and sealed and only partially block the air flow, the largest air leaks in the kiln and kiln cars car ride between the Department of the sand seal. In the design and processing, in order to avoid closure top thrust plate spread sand, sand dam should not be too tight contacts, in addition to allowable error, sand dam deformation, different thermal expansion, wear and tear and other factors. Therefore, a kiln car with another car kiln sand junction closure plate is not sealed, even if the vehicle has  $2\text{c m}^2$  area of air leakage, which may seem small, but about a total of 60 cars in the kiln kiln cars, This will generate approximately  $120\text{c m}^2$  air leakage area, which is working under a certain pressure on the tunnel kiln will cause a significant impact, can not be ignored. There have been efforts to try to take remedial measures. For example, take the sand dam seals overlap and duplication of similar measures, the practice of proof does not apply in the frequent damage after continuous use, it should find a better structure of the sand seal.

According to 30 ~ 40 years of experience have proven that water is a good sealing material. It was the use of water-filled sand chutes, water tank and filled with sand expansion joints, but more than 100 meters long in the sink can not be sustained under the conditions of, there is no guarantee of the sealed tank. French Cup Malik company a step forward, the bottom of all kiln cars

submerged in the water, making the system more perfect seal. Another simple and effective design is double sand seal, seal the lower part of sand that we used the structure of the sand seal. Closed structure of the upper part of sand by a C-shaped channel and the formation of one side wall, with matching kiln car is T-shaped structure. T-shaped C-shaped channel and the lower part of the lower part of the formation of sand closures. T-shaped upper surface and the side of the kiln cars and sand together to form letters, C-shaped slot in which the top insert. The main advantage is the formation of letters in the sand through the kiln when the kiln cars have maintained sealed with kiln cars with hasp. Practice has proved that such a seal even in the long tunnel kiln, but also do not need to add sand.

Sand closed the above system greatly reduces unnecessary down from the kiln and the cold air into the furnace of hot air, you can prevent the kiln car refractories the following part of the border in high-temperature state, the structure of sand less costly closure of the kiln car without injury on the kiln car wheels, bearings and other parts are very good protection. Reduce vehicle weight of kiln, the kiln cars through the use of lightweight refractory lining (refractory fiber block light, light-weight concrete) realization. Kiln car frame material may be outside the wall of light moderate brick kiln car frame, so that reduces the weight of the edge, but it must be very strong, better thermal shock resistance, refractoriness and softening point load to meet the requirements. In most cases, the edge of the kiln car mechanical properties and stability requirement. Most of the use of brick material frame clay refractory bricks, and now there are so light-weight fire-resistant concrete brick borders, so that the

kiln can reduce vehicle weight, lower cost of the kiln car, but the light of the mechanical properties of fire resistance of concrete is not very good, border tiles easily damaged.

Insulation lining in the kiln cars share the largest proportion of the volume. Now, we commonly used cement to fill the expansion of vermiculite, cement vermiculite expansion weight, larger than the thermal conductivity, so that will not only result in increasing the weight of the kiln cars and trucks caused by the kiln to increase the storage capacity, down conduction more heat. If the light switch to other cheaper insulation materials (such as fly ash, expanded perlite), it is entirely possible to reduce the weight of the kiln car, and does not increase the cost of vehicles.

Kiln tunnel kiln car surface is constructed in the largest component of the problem. Both sides of the wall of the kiln, kiln car tops and kiln kiln surface to form the four side of the kiln car should consume at least face the heat, because the other three surface heated in the kiln to maintain constant temperature, their heat consumption limited to outside the conduction of heat loss. However, the kiln car is to push down in the cold tunnel kiln, and kiln cars surface in addition to heat conduction down outside, it will absorb and store heat, as it should be to reach the surface with the final calcination temperature, when the cars from the tunnel kiln after the kiln temperature will be reduced to room temperature, resulting in heat loss, so high-quality insulation materials to prevent heat loss is a necessary condition.

Thicker surface kiln cars, heat conduction losses down the less. For the storage of energy, its principle is: the more thin surface layer, the smaller the proportion of heat storage. Kiln cars each side has its best thickness, if not met, it will lead to increased

downward heat conduction. If exceeded, increased storage capacity. Kiln cars to achieve the final surface will be roughly the calcination temperature. Therefore kiln car surface heating from room temperature to about 1000 °C, it will play a decisive impact on storage. Therefore, the top material of the refractory material should be as light as possible the composition of the lower material to reach only the lower temperature, they are less affected by storage. So they weight less than the top of the key. Apart from the kiln car surface should have the smallest heat consumption, but also a number of other requirements to be met. It must be sealed at the bottom, it must safely transport carrying brick and cave-bearing test. Should also have the mechanical stability (solid, durable, non-deformation, weathering resistance, etc.) In addition, the kiln car surface is constantly exposed to temperature changes, the it must be capable of sustaining the heat of this ever-changing effects of . Therefore, the refractory material used should be able to resist the impact of this difference.

Due to the production of daily to clear the kiln cars, coupled with the burning of the kiln cars serious erosion, therefore, the kiln car a firm and durable surface. To the manufacturer, the urgent need for the mechanical properties of light and kiln cars are a good side. Through measurement of design and technical security means, or in the production process of the principle of the use of appropriate technology to prevent the collapse of roasting green body so as to avoid the mechanical properties of the kiln car damage.

Tunnel kiln is the most expensive part of the kiln car parts, should be as little as possible to spend money, but when used in the regular period of less maintenance costs, to a certain extent, these seemingly contradictory requirements, it seemed an ideal

solution can not only Coordination will continue to seek to minimize the shortcomings.

In line with the country on the Prohibition of the promotion of hollow clay brick implementation of the policy change, to adapt to Medium Small brick wide technological transformation, "brick" magazine furnace technology equipment on the market through years of investigation and experience to engage in mapping different plant scale, different types of materials suitable for a new type of "tunnel drying chamber general drawings" and energy efficient "general-purpose drawing kiln." Drawing together the different materials, different sizes of clay, shale, coal gangue and fly ash sintered brick and hollow brick kiln drying chamber and working drawings.

The introduction of all the drawings are in production after a long-term practice of a mature technology, in mapping the course of the industry not only absorbed the advanced technology at home and abroad make it more reasonable structure to adapt to broader, but also increased a great deal of structural details and text Note the use of units in order to facilitate construction. "Brick" magazine furnace equipment technology development and also the introduction of drawings at the same time supporting the GSJ series delivery and hot dry room ZFJ series of energy-efficient fans and high-temperature kiln energy-saving anti-corrosion primer fan (see "brick" color magazine ad ), and dry cars, kiln cars, top car machines, car ferry, and from the dry room, round kiln technology consulting, transformation debugging equipment to all types of the corresponding service package of concessions.



