

# 景德镇陶瓷学院科技艺术学院

## 毕业设计

题目：年产 230 万  $M^2$  抛光砖辊道窑设计

院 系：材料与工程学院

专 业：热能与动力工程

学 号：201030453124

姓 名：汪振宁

指导教师：宫 小 龙

摘要.....	3
Abstract.....	4
1.前言.....	5
2.设计任务书及原始资料.....	6
二、设计任务书及原始资料.....	6
三、窑体主要尺寸的确定.....	7
3.1 窑内宽的确定.....	7
3.2 窑长的确定.....	7
3.2.1 窑容量.....	7
3.2.2 窑体各带长度的确定.....	7
3.3 窑内高的确定.....	8
3.4 烧成制度的确定.....	8
四、工作系统.....	10
4.1 排烟系统.....	10
4.2 燃烧系统.....	10
4.2.1 烧嘴的设置.....	10
4.2.2 烧嘴布置.....	11
4.3 冷却系统.....	11
4.3.1 急冷通风系统.....	11
4.3.2 缓冷通风系统.....	11
4.3.3 快冷通风系统.....	12
4.4 窑体附属结构.....	12
4.4.1 事故处理孔.....	12
4.4.3 测温孔.....	13
4.4.4 测压孔.....	13
4.4.5 观火孔.....	13
4.4.6 膨胀缝.....	13
4.4.7 挡墙、挡板.....	13
4.4.8 钢架结构.....	14
4.5 传动系统.....	14

4.5.1 传动系统的选择.....	14
4.5.2 传动过程: .....	15
4.5.3 辊子材质的选择.....	15
4.5.4 辊距的确定.....	15
4.5.5 辊子传动过程中的联接方式.....	15
4.5.6 辊子转速的选择.....	16
5、窑体材料确定.....	17
5.1 窑体材料确定原则.....	17
5.2 窑体材料厚度的确定原则.....	17
5.3 全窑体所用材料及厚度列表.....	17
6.燃料计算.....	18
6.1.2 实际空气量的计算.....	19
6.2 烟气量的计算.....	19
6.3 燃烧温度的计算.....	19
7.热平衡计算.....	20
7.1 预热带及烧成带热平衡计算.....	20
71.1 热平衡计算基准及范围.....	20
7.1.2 热平衡框图.....	20
7.1.3 热收入项目.....	21
7.1.4 热支出项目.....	22
7.1.6 预热带与烧成带的热平衡表.....	27
7.2 冷却带热平衡计算.....	28
7.2.1 热平衡计算基准及范围.....	28
时间基准: 1h; 温度基准: 0℃.....	28
7.2.2 热平衡框图.....	28
7.2.3 热收入项目.....	29
7.2.4 热支出项目.....	29
7.2.6 列出热平衡方程.....	34
7.2.7 冷却带热平衡表.....	34
8.其它系统管道尺寸确定、风机的选型.....	35
8.2.1 焦炉煤气输送管径的计算.....	35
8.2.2 助燃风管的计算.....	36
8.2.3 冷却带风管计算.....	36
9 风机选型.....	38
9.1 助燃风机.....	38
10. 工程材料概算.....	39
10.1 窑体材料分段概算.....	39
10.1.1: 第 1-14 节.....	39
10.1.2: 第 15-27 节.....	40
10.1.3 第 28-30 节.....	40
10.1.4 第 31-44 节.....	40
10.2 钢材的概算.....	40
10.2.1 方钢的概算.....	40

10.2.2 角钢.....	41
11.3 钢板.....	41
致谢.....	42
参考文献.....	43
附：文献调研报告.....	44

## 摘要

窑顶采用耐热钢穿轻型吊顶砖的吊顶结构，为了降低全窑的热损失减小单位产品热耗，全窑均采用轻质耐火材料。燃料用发生炉煤气，采用高速调温烧嘴对制品进行裸烧来强化窑炉内部传热，同时对高速烧嘴可进一步调节使窑内温度均匀提高成品率，从而达到节能的目的。

为有效利用烟气热，在窑炉前段采用集中排烟的方式，另外在缓冷段采用抽热空气的方式来冷却制品，对热烟气也可加以利用。对全窑的控制采用计算机自动控制来实现，既提高了产品的成品率又降低的工作人员的工作强度，降低了生产成本。

根据市场的要求及方案实现的可能性，提出来以 AutoCAD 为设计工具，提出方案进行论述并设计出一套装配式辊道窑的关键段图库，以备用户挑选组装，这样便可在一定程度上节省设计时间，提高效率，使整个设计方案的适用性强。

本设计特点：在提高产品质量的同时降低单位产品热耗，实现陶瓷行业上的“绿色、环保、节能”。

**关键词：**辊道窑      外墙装 焦炉煤气

## Abstract

The crown uses the high-temperature steel to put on the light suspended ceiling brick the suspended ceiling structure, in order to reduce the entire kiln the heat lose to reduce the unit product to consume hotly, the entire kiln uses the light quality fire-proof material. Because the fuel uses the blue gas is the clean fuel uses the high velocity modulation warm burner nozzle to carry on the bare fever to the product to strengthen the kiln stove interior heat transfer, simultaneously may further adjust to the high speed burner nozzle makes in the kiln the temperature to enhance the rate of finished products evenly, thus achieves the energy conservation the goal.

Is hot for the effective use haze, the section selects the method in front of the kiln stove which the disperser discharges fume, moreover uses in the slow cold section pulls out the hot air the way to cool the product, also may perform to the hot haze to use. Uses the computer automatic control to the entire kiln control to realize, both enhanced staff's working strength which the product rate of finished products and reduces, reduced the production cost.

according to market request and the plan realization possibility, raises designs the tool take AutoCAD, proposed the plan carries on elaborates and designs a set of assemblies types table kiln the essential section map storage, by prepares the user choice assembly, like this then may save the design time in the certain degree, enhances the efficiency, causes the entire design proposal serviceable.

This design characteristic: While improves the product quality to reduce the unit product to consume hotly, realizes in the ceramic profession “the green, the environmental protection, the energy conservation”

**Key word:** Roller kiln Outside the wall Producer gas

## 1.前言

本设计是基于十二五期间，我国建筑陶瓷行业工业窑炉的发展仍将是降低单位产品能耗，辊道窑的结构将向宽断面方向发展，宽断面的辊道窑产量大。而产量越大，单位产品的能耗越低，越利于节能。本设计旨在掌握窑炉基本结构及工程设计方法与基本程序，了解当前建筑陶瓷企业主力窑型特点，为毕业后从事陶瓷热工行业打下坚实基础。

在此次设计以前，自己通过对课本知识的掌握对辊道窑的结构特点以及辊道窑的设计过程有了一个感性的认识，但在结合实际，特别是毕业实习的所见进行操作的时候才发现理论结合实际的必要性。同时，在整个绘图的过程中，自己也是在不断的修改、完善，通过这些，我不但更深入地了解了辊道窑设计的要点，更是提高了自身的绘图能力，也是一综合素质的提高了。

整个设计过程是一个学习的过程，虽然课程设计中已经对辊道窑的结构有了一定了解，但有些问题考虑不够深入。对于本次设计，从材料的选择、管路的设计到外部的钢架结构等，综合考虑各部件的尺寸定位以及优化它们对于窑炉生产发挥的作用是整个设计的基本思路。但由于知识掌握的有限，以及时间的紧迫，设计还存在不足和考虑不成熟的地方。

当然，由于本人知识有限，不免有许多错误和不妥之处。望见谅。

## 2.设计任务书及原始资料

## 二、设计任务书及原始资料

13年 11月 18 日

专 业	热能工程	班 级	热工10																
学生姓名	汪振宁	指导教师	宫小龙																
题 目	年产230万 m <sup>2</sup> 抛光砖辊道窑设计																		
<p>主要研究内容和设计技术参数：</p> <p>1. 坯料组成（%）：</p> <table border="1"> <tr> <td>SiO<sub>2</sub></td><td>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></td><td>CaO</td><td>MgO</td><td>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></td><td>K<sub>2</sub>O</td><td>Na<sub>2</sub>O</td><td>I. L</td></tr> <tr> <td>68.35</td><td>16.27</td><td>2.30</td><td>2.65</td><td>0.85</td><td>2.20</td><td>2.15</td><td>4.85</td></tr> </table> <p>2. 产品规格：600×600×10mm；</p> <p>3. 入窑水分：&lt;1%</p> <p>4. 产品合格率：95%</p> <p>5. 烧成周期：40分钟（全氧化气氛）</p> <p>6. 最高烧成温度：1160℃（温度曲线自定）</p> <p>7. 燃料：焦炉煤气，参数自定。</p> <p>8. 其它条件自定。</p>				SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	I. L	68.35	16.27	2.30	2.65	0.85	2.20	2.15	4.85
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	I. L												
68.35	16.27	2.30	2.65	0.85	2.20	2.15	4.85												
<p>基本要求（含成果要求）：</p> <p>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；</p> <p>2. 确定窑炉的工作系统；</p> <p>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；</p> <p>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；</p> <p>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；</p>																			
<p>工作进度计划：</p> <p>1. 13～20周：查阅、整理、收集与该窑炉有关的文献资料；</p> <p>2. 1～6周：进行设计计算，</p> <p>3. 7-12周：编写说明书初稿；绘制所要求的部分图纸，</p> <p>4. 13周～ ：整理设计思路与资料，完善说明书，准备答辩。</p>																			

## 三、窑体主要尺寸的确定

### 3.1 窑内宽的确定

气烧明焰辊道窑内宽一般在2000—3000mm, 收缩率为8%。

则：坯体尺寸=产品尺寸/(1-8%)

$$600/(1-8\%) = 652\text{mm}$$

坯体离窑墙一般应有100~200mm间隙, 暂取100mm, 坯体间间距取30mm, 坯体并排四块进砖, 窑内宽 $652 \times 4 + 30 \times 2 + 100 \times 2 = 2868\text{mm}$ 。取2870mm

### 3.2 窑长的确定

#### 3.2.1 窑容量

$$\begin{aligned}\text{窑容量} &= [\text{年产量}(\text{m}^2/\text{a}) \times \text{烧成周期}(\text{min})] / [\text{年工作日} \times 24 \times 60 \times \text{合格率}(\%)] \\ &= [2300000 \times 40] / (330 \times 24 \times 60 \times 95\%) = 203.79 (\text{m}^2/\text{每窑})\end{aligned}$$

装窑密度 = 每米排数 × 每排件数 × 每件面积 (件/每米窑长)

$$= (1000/652) \times 4 \times 0.36 = 2.21 (\text{m}^2/\text{每米窑长})$$

$$\text{窑长} = \text{窑容量}(\text{件/每窑}) / \text{装窑密度}(\text{件/每米窑长}) = 203.79 / 2.21 = 92.2\text{m}$$

利用装配式, 由若干节联接而成, 设计每节长度为2100mm,

$$\text{节数} = 92.2 / 2.1 = 43.9, \text{取整数}44\text{节}。$$

则：窑体设计长度  $L = 2.1 \times 44 = 92.4\text{m}$

#### 3.2.2 窑体各带长度的确定

预热带:  $92.4 \times 30\% = 27.72\text{m}$ , 取14节 (第1-14节)

烧成带:  $92.4 \times 30\% = 27.72\text{m}$ , 取13节 (第15-27节)

冷却带:  $92.4 \times 40\% = 36.96\text{m}$ , 取17节 (第28-44节)



### 3.3 窑内高的确定

内高为窑道内整个空间的高度，等于辊上高（辊道中心线至窑顶的距离）与辊下高（辊道中心线至窑底的距离）之和。内高必须合理，既能有利于产品换热满足烟气有足够的流动空间，又必须满足一定的烧成空间和冷却空间，为便于热量的传递，因全窑烧成周期较长，又是以辊道窑的形式烧成，故全窑内高一致，便于热气体在窑炉流动。

取内高如下：

标准砖：230X114X65mm 和 230X150X76mm；辊孔砖：233X200X114mm。一般考虑耐火砖及轻质砖灰缝在 2mm，预热、缓冷、快冷辊上高 4 层砖，辊下高 5 层砖。烧成、保温、急冷、辊上 5 层，辊下 5 层。

表 3 窑内高

位置	预热、冷却段	烧成
	第 1 节~14 节和第 28 节~第 44 节	第 15 节~第 27 节
辊上高	326mm	393mm
辊下高	393mm	393mm
总高	719mm	786mm

### 3.4 烧成制度的确定

(1) 温度制度：

① 烧成周期:40 分钟

② 各温度段的划分与升温速率

表 4 温度制度

名称	温度/℃	时间/min	升温速率/ $^{\circ}\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$	长度比例/%	节数
预热带	20~250	4.24	54.37	13.6	6
预热带	250~600	3.52	99.43	13.6	5

预热带	600~900	4.24	70.75	6.8	3
烧成带	900~1160	12	21.66	29.5	13
急冷带	1160~800	4.28	-84.11	6.8	3
缓冷段	800~500	6.72	-44.64	22.2	10
快冷段	500~80	5	-84	9.5	4
累计		40		100	44

## ③ 温度曲线图

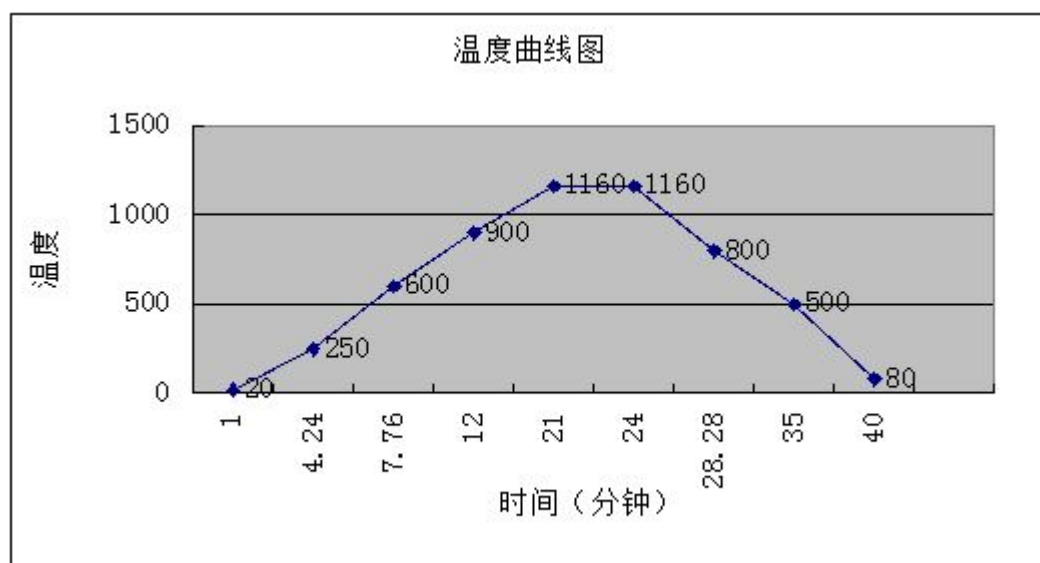


图 1 温度曲线图

(2) 气氛制度：全窑氧化气氛；

(3) 压力制度：预热带 $-8\sim-4$  Pa，烧成带 $< 8$  Pa。

## 四、工作系统

辊道窑的工作系统包括排烟系统、燃烧系统、冷却系统等，下面是各系统的初步安排。

### 4.1 排烟系统

在窑前段第 1、2、3、4、5、6 节设置排烟口，采用六段分散排烟的方式。在每段排烟口的窑顶、窑底各设 5 个排烟口直通窑体外，在排烟口出口处设置一条垂直支烟管，每垂直支烟管设置排烟闸，以调节烟气支流量。然后经水平分管进入总烟管，水平管道第 2、3 节之间设置排烟闸，控制水平管道的烟气量。总烟管设于窑顶，上有总闸。利用烟气抽力，引导窑内气体流运动。

在第 5、6 节之间设置一个工作平台，上面布置两台排烟风机，一台为正常云作风机，另一台备用。

### 4.2 燃烧系统

在辊子上下各设一层烧嘴，同一层烧嘴两侧交错布置，同一侧烧嘴上下交错布置。烧嘴的对侧是观察孔，以便更好的观察火焰的燃烧情况，便于操作控制。

为均匀窑温，强化窑内对流换热，在选择烧嘴时，选用小流量高速烧嘴，本设计采用的是北京神雾公司 WDH—TCC2 型烧嘴。

#### 4.2.1 烧嘴的设置

由于本窑烧成周期较长，升温速率较慢，故本设计在只在烧成带开始设置烧嘴，因此，在烧成带的 15—19 节每节辊下设置 2 对烧嘴，交错布置；以更好调节窑内温差，在烧成带的 20—27 节每节设置 4 对烧嘴，辊上下烧嘴及对侧烧嘴均互相错开排列，并在每烧嘴的对侧设置一观察孔，但如遇到事故处理孔，则取消观察孔。考虑每节事故处孔交错布置。

## 4.2.2 烧嘴布置

表 5 烧嘴布置

位置	烧成带（15—19）	烧成带（20—27）
烧嘴布置	每节 2 对烧嘴	每节 4 对烧嘴
烧嘴总数	20 个	64 个

## 4.3 冷却系统

制品在冷却带有晶体成长，转化的过程，并且冷却出窑是整个烧成过程最后的一个环节。从热交换的角度来看，冷却带实质上是一个余热回收设备，它利用制品在冷却过程中所放出的热量来加热空气，余热风可供干燥，达到节能的目的。

### 4.3.1 急冷通风系统

从烧成最高温度至少 800℃ 以前，制品中由于液相的存在而且具有塑性，此时可以进行急冷，最好的办法是直接吹风冷却。辊道窑急冷段应用最广的是直接风冷是在辊上下设置横窑断面的冷风喷管。每根喷管上均匀地开有圆形或狭缝式出风口，对着制品上下均匀地喷冷风，达到急冷的效果。由于急冷段温度高，横穿入窑的冷风管须用耐热钢制成。

本设计也采用此种结构，在第 28 节～30 节，每节辊上 4 根、辊下 4 根，内径  $\phi 90\text{mm}$  急冷风管，风管采用相对排列布置。共 24 根急冷风管。

与此同时，在第 28 节～30 节处设置一个工作平台，上面放置急冷风机 2 台、助燃风机 2 台。各自一台运行，一台备用。

### 4.3.2 缓冷通风系统

制品冷却到 800～500℃ 范围时，是产生冷裂的危险区，应严格控制该冷却降温速率。为达到缓冷目的，一般采用热风冷却制品的办法。大多数辊道窑在该处

设有 3~6 处抽风口，使从急冷段与窑尾段过来的热风流经制品，让制品慢速均匀得冷却。

本设计采用抽热风冷却方法，在 31-40 节设置抽热风口，抽热风管每节辊上 4 根，在每根支管上设置一个控制阀，支管经汇总后与分管连接。

### 4.3.3 快冷通风系统

本设计从第 41 节~44 节在辊上辊下布置快冷管，交错布置，每节 16 支，具体安装位置见图纸，为了更好的提倡节能减排，故此，本次设计在快冷阶段将其热气抽出用于其他用处。

## 4.4 窑体附属结构

### 4.4.1 事故处理孔

为了方便处理断辊、卡砖、起爆等事故，在窑侧每隔一定距离设置事故处理孔，一般设置在辊下，在窑两侧交错分布，为了能清除窑内侧任何位置的事故，两事故处理孔之间距离应不大于事故孔对角线与对侧内壁交点的连线。

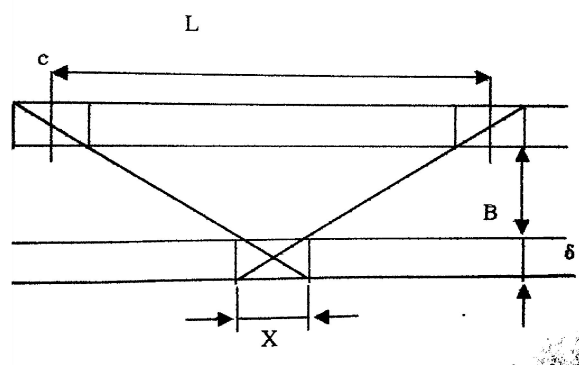


图 2 事故处理孔

根据公式  $L \leq 2(b+c) = 2b(1+B)/\delta$ ，考虑到砌筑应该比求出值稍大一点，故取事故处理孔长度为：320 mm，所以我们取事故处理孔尺寸为：345×201，在事故处理口上设置一个 460×230×65 的过桥砖。

对于事故处理孔在不处理事故时，要进行密封，内部堵塞耐火材料做成的大

盖板，间隙填入陶瓷棉，最外部的钢板密封前端仍需一段耐火材料。密封是为了防止热气体外溢，冷风漏入等引起的热损失对烧成制度产生影响。

### 4.4.3 测温孔

为严密监视及控制窑内温度制度，及时调整烧嘴开度，一般在窑道顶及火道侧墙留设若干处测温孔以安装热电偶。测温孔间距一般为 3~5 米，高温段布密些，低温段布稀些，在烧成曲线的关键点，如氧化末段、晶体转化点、釉始溶点、成瓷段、急冷结束等都应设测温孔。

本设计如下：第 1 到 10 节和第 22 到 34 节每节窑顶布置一个，11 节到 21 节的窑顶和辊下侧墙各设置一个测温孔。窑顶测温孔设计安装在距离每节窑前方向 1600mm 处，侧墙安装位置距离窑底 160mm，距窑前 1600mm。

### 4.4.4 测压孔

零压应设在预热带与烧成带界面附近。所以零压面设在第 10 节处的窑顶设一测压孔。

### 4.4.5 观火孔

在每个烧嘴的对侧窑墙设置直径 60mm 的观火孔，以便及时观察对面烧嘴火焰情况。遇到事故处理口，取消观火孔。

### 4.4.6 膨胀缝

窑体受热会膨胀，产生很大的热应力，为避免砌体开裂、挤坏，必须重视窑体膨胀的留设，窑墙、窑顶等砌体都要留设，一般每隔 2m 左右留设 20mm 膨胀缝，内填陶瓷棉或石棉。

### 4.4.7 挡墙、挡板

由于辊道窑属中空窑，工作通道空间大，气流阻力小，难以调节窑内压力制

度及温度制度。因此，通常在辊道窑工作通道的某些部位，辊下筑挡墙，辊上插挡板，缩小该外工作通道面积，以增加气流阻力，便于压力与温度制度的调节。

为了更好的调节窑炉内温度制度的调节，本设计将在每个换带之间设计上挡板，在烧成带和冷却带设置挡墙、挡板是为避免烧成带的烟气倒流，又避免了压力波动时急冷风窜流向烧成带而降低高温区温度。再一个就是防止高温烟气的辐射对急冷管的损害。预热带设置挡墙、挡板可以增加烟气在高温区的滞留时间，提高烟气利用率比可控制低温区的温度。

本设计在第 14、28 节后部各设置挡墙、挡板。挡墙、挡板位置及尺寸见图。

#### 4.4.8 钢架结构

钢架结构以每节制造，窑底由两根“工”字钢来支撑整个窑重，窑底和窑墙都盖有钢板，每节都有以角钢为主体钢架，上面的吊顶砖直接吊在空心圆钢管上。

### 4.5 传动系统

#### 4.5.1 传动系统的选择

辊道窑的传动系统由电动机、减速设备和传动机构所构成。常见的传动机构由链传动和齿轮传动两种，本设计采用齿轮传动。

传动系统采用螺旋斜齿轮传动方式，采用分段传动，一般是每三节窑长为一传动组，1-10 节分 3 段，11-21 节分五段，22-34 节分八段，每组由一台摆线针轮减速机带动，高温区每台摆线针轮减速机由一个变频器调节速度，低温区每两台摆线针轮减速机由一个变频器调节速度。全窑累计减速机 32 台，变频器 16 台，一个电磁离合器。

操作人员可以将全窑调成一个速度。当发生堵窑事故需要处理时，事故前的棍棒可以调成往返摆动，事故后的棍棒可以继续将砖坯送至窑出口。这种传动方式运行平稳可靠，调整简单，维修量小。螺旋斜齿轮传动都采用油浴润滑，润滑

效果好，磨损少，使用寿命长。

### 4.5.2 传动过程:

电机→主动链轮→滚子链→从动链轮→传动轴→主动螺旋齿轮→从动螺旋齿轮→棍棒传动轴→辊子。

### 4.5.3 辊子材质的选择

辊子的材质要求十分严格，它要求辊子具有很好的抗热震性能，使辊子经受得起急冷急热得冲击；要求辊子直径一致和平直，确保产品得平直移动；要有强的高温抗氧化性能，使辊子能承受高温；要有高的荷重软化温度和小的蠕变性，使辊子在高温下具有最小的弯曲变形；要有好的高温耐久性，使辊子能在高温下长久的工作。另外，还要有好的去污性能，使粘在辊子上面的釉滴或其它污物容易去掉。

本设计在低温段（1—6 节）采用的是  $\Phi 60 \times 3260$  的金属质棍棒；在中温段（7—14 节，31—40 节和 41—44 节）采用的是  $\Phi 60 \times 3260$  的莫来石棍棒；在高温段（15—30 节）采用的是  $\Phi 60 \times 3600$  的莫来石—刚玉质陶瓷棍棒。

### 4.5.4 辊距的确定

辊距  $H = (1/3 \sim 1/5) \times L$ ，因制品长度  $L = 600$ ，每节窑长 2160mm，则最后确定辊距  $1/4L = 120\text{mm}$ ，但现实辊距取 80mm，快冷段辊距取 108mm，为了更好的散热，每节窑为  $2160/80 = 27$  根，快冷段每节窑为  $2160/90 = 24$  根。

即棍棒数总共  $49 \times 27 + 8 \times 24 = 1515$  根。

### 4.5.5 辊子传动过程中的联接方式

依据以上原则，联接方式辊子主动端采用弹簧夹紧式，从动端采用托轮摩擦式，双支点混合支撑，便于更换辊子。



### 4.5.6 辊子转速的选择

根据辊子转速的公式:  $n = \frac{K \times L}{\pi \times d \times t}$

L——窑长, mm

t——烧成周期, min

d——辊子直径, mm

K——考虑到制品的滑动系数, 一般取  $K = 1.05$

则:  $n = (1.05 \times 924015) / (3.14 \times 60 \times 40) = 22.37 \text{ r/min}$

## 五、窑体材料确定

### 5.1 窑体材料确定原则

窑体材料要用耐火材料和隔热材料。耐火材料必须具有一定的强度和耐火性能以便保证烧到高温窑体不会出现故障。隔热材料的积散热要小，材质要轻，隔热性能要好，节约燃料。

### 5.2 窑体材料厚度的确定原则

- 为了砌筑方便的外形整齐，窑墙厚度变化不要太多。
- 材料的厚度应为砖长或砖宽的整数倍；墙高则为砖厚的整数倍，尽量少砍砖。
- 厚度应保证强度和耐火度。

### 5.3 全窑体所用材料及厚度列表

表 6 所用材料及厚度列表

排烟段1-14节		
窑顶	窑墙	窑底
高铝纤维毯2*20mm	高铝纤维毡2*50mm	高铝聚轻球砖65*2
高铝聚轻球吊顶砖230mm	高铝纤维毯20mm	粘土砖65
	高铝聚轻球砖230mm	
烧成段15-27节		
窑顶	窑墙	窑底
含锆纤维毯3*20mm	高铝纤维毡2*50mm	TJM26莫来石65
TJM26莫来石吊顶230mm	含锆纤维毡50mm	高铝聚轻球砖65
	含锆纤维毯20mm	粘土砖65
	TJM26莫来石230mm	
冷却段28-30节		
窑顶	窑墙	窑底
含锆纤维毯2*20mm	高铝纤维毡2*50mm	TJM26莫来石65
TJM26莫来石吊顶230mm	含锆纤维毯20mm	高铝聚轻球砖65

	TJM26莫来石230mm	粘土砖65
冷却段31-44节		
窑顶	窑墙	窑底
高铝纤维毯2*20mm	高铝纤维毡2*50mm	高铝聚轻球砖65*2
TJM26莫来石吊顶230mm	含锆纤维毯20mm	TJM26莫来石65
	TJM26莫来石230mm	粘土砖65

## 6 燃料燃烧计算

根据原始数据  $Q_d=1.7751(\text{kJ}/\text{m}^3)$

根据经验公式计算理论空气量:

$$L_o=0.25Q_d/1000+0.25=0.21\times 17751/1000+0.25=4.13(\text{Nm}^3/\text{Nm}^3)$$

### 6.1.2 实际空气量的计算

由于辊道窑烧瓷砖在氧化气氛下烧成, 取空气过量系数为  $a=1.15$ , 则实际空气需要量为:

$$L_a=L_o\times 1.15=4.75(\text{Nm}^3/\text{Nm}^3)$$

### 6.2 烟气量的计算

理论烟气量:

$$V_{go}=0.272*Q_{net}/1000+0.25=5.105$$

根据经验公式计算实际烟气量为:

$$V_g=5.105+(1.15-1.0)*4.13=5.635(\text{Nm}^3/\text{Nm}^3)$$

### 6.3 燃烧温度的计算

设空气温度  $t_a=20^\circ\text{C}$ , 空气比热为  $c_a=1.3 \text{ KJ}/(\text{Nm}^3\cdot^\circ\text{C})$

发生炉煤气比热为  $c_r=13.4 \text{ KJ}/(\text{Nm}^3\cdot^\circ\text{C})$ ,  $t_a=t_r=20^\circ\text{C}$

现设  $t_{th}=1550^\circ\text{C}$ , 燃烧产物温度  $c_g=2.0275\text{kJ}/\text{m}^3\cdot^\circ\text{C}$ 。则理论燃烧温度为:

$$\text{根据理论燃烧温度: } t_{th} = \frac{Q_d + c_r t_r + c_a t_a L_a}{V_g c_g}$$

$$t_{th} = (17551 + 4.75 * 1.30 * 20 + 1.55 * 20) / (5.635 * 2.2075)$$

) =1547°C

(1700-1628.4)/1700<5%, 所设温度合理。

取高温系数为0.85, 则实际温度为:

$t=0.85\times 1700=1275^\circ\text{C}$ , 比最高烧成温度1160高出115°C, 符合烧成要求, 认为合理。

## 7.热平衡计算

热平衡计算包括预热带、烧成带热平衡计算和冷却带热平衡计算。

在第1~6节热源为烟气余热，即利用烟气带走显热，所以1~6节不列入热平衡计算中，但是在计算时，应以第7节坯体计算配体带入显热，以第7节烟气温度值计算烟气带走显热。预热带热平衡计算的目的在于求出燃料消耗量，冷却带热平衡计算，目的在于计算出冷空气鼓入量和热风抽出量。另外，通过热平衡计算可以看出窑炉的工作系统结构等各方面是否合理，哪项热耗最大，能否采取改进措施。

### 7.1 预热带及烧成带热平衡计算

#### 7.1.1 热平衡计算基准及范围

热平衡计算必须选定计算基准，这里时间以1h 为计算基准，0℃作为基准温度。

#### 7.1.2 热平衡框图

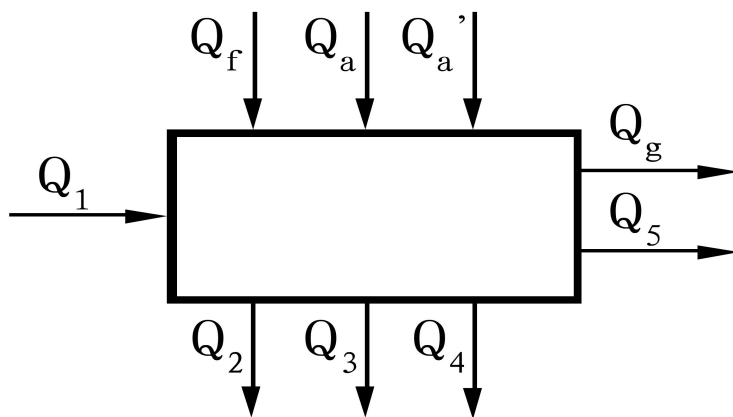


图8-1预热带和烧成带热平衡示意图

$Q_1$ ——坯体带入显热:	$Q_a$ ——助燃空气带入显热
$Q'_a$ ——漏入空气带入显热:	$Q_f$ ——燃料带入化学热及显热
$Q_2$ ——产品带出显热	$Q_3$ ——墙、顶、底散热
$Q_4$ ——物化反应耗热	$Q_5$ ——其它热损失
$Q_g$ ——废气带走显热	

### 7.1.3 热收入项目

第 1-6 节热源为烟气余热，即利用烟气带走显热，所以 1-6 节不列入热平衡计算中，但是计算时，应以第 6 节计算坯体带入显热，以第 7 节烟气温度值计算烟气带走显热。

#### 7.1.3.1 坯体带入显热 $Q_1$

##### 1. 制品带入显热 $Q_1$

$$Q_1 = G_1 c_1 t_1$$

其中： $G_1$ ——如窑制品质量 (Kg/h)

$c_1$ ——入窑制品平均比热, kJ/(kg·°C)

$t_1$ ——制品的温度, °C。

取烧成灼减量 4.85%，瓷砖单重 9 公斤

入窑干制品质量  $G_r = 2300000 \times 9 / 300 \times 95\% \times 0.36 = 8406.43$  (kg/h)

入窑制品含自由水 1.5%

入窑胚体质量  $G_1 = 8406.43 \times 95.25\% = 8825.62$  (kg/h)

制品入窑时的温度为 20°C，取入窑制品比热为: 0.86 J/(kg·°C)

则胚体带入显热为:  $Q_1 = G_1 c_1 t_1 = 8825.62 \times 0.86 \times 20 = 150036.05$  (KJ/h)

### 7.1.3.2 燃料带入化学热及显热 $Q_f$

焦炉煤气低热值  $Q_{net} = 17751 \text{ (kJ/Nm}^3\text{)}$

入窑焦炉煤气温度  $t_f = 20^\circ\text{C}$ ,  $20^\circ\text{C}$  时焦炉煤气  $c_f = 1.4 \text{ kJ/(Nm}^3 \cdot ^\circ\text{C)}$

设焦炉消耗量为  $X \text{ m}^3/\text{h}$

$$Q_f = X(Q_{net} + c_f t_f) = X(17520 + 1.4 \times 20) = 17551X \text{ (KJ/h)}$$

### 7.1.3.3 助燃空气带入显热 $Q_a$

助燃空气温度  $t_a = 20^\circ\text{C}$ ,  $20^\circ\text{C}$  时空气比热容  $c_a = 1.30 \text{ [kJ/(Nm}^3 \cdot ^\circ\text{C})]$

助燃空气实际总量  $V_a = 4.75X \text{ (Nm}^3/\text{h)}$

$$\text{所以 } Q_a = V_a t_a c_a X = 4.75 \times 1.30 \times 20X = 123.5X \text{ (KJ/h)}$$

### 7.1.3.4 漏入空气带入显热 $Q'_a$

取预热带漏入空气过剩系数  $\alpha_g = 2.0$ , 漏入空气温度  $t_a = 20^\circ\text{C}$ , 空气比热容

$$c_a = 1.30 \text{ kJ/(m}^3 \cdot ^\circ\text{C}) \quad \alpha = 1.3$$

漏入空气总量:  $V_a = X(\alpha_g - \alpha) V_a^0 = X(2.0 - 1.3) \times 1.42 = 1.136X \text{ (m}^3/\text{h)}$

$$\text{所以 } Q'_a = V_a c_a t_a = 1.136X \times 1.3 \times 20 = 29.54X \text{ (KJ/h)}$$

## 7.1.4 热支出项目

### 7.1.4.1 产品带出显热 $Q_2 \text{ (KJ/h)}$

产品质量  $G_3 = 7986.011 \text{ (g/h)}$

出烧成带产品温度  $t_2 = 1160^\circ\text{C}$ , 表可知: 产品平均比热为: 1.15

$$\text{所以 } Q_2 = G_3 c_2 t_2 = 7986.1 \times 1160 \times 1.14 = 10653457.4 \text{ (KJ/h)}$$

#### 7.1.4.2 体散热损失 $Q_3$

将计算分为2部分, 即第12-17节: 600-900℃, 取平均值750℃; 第18-27节: 900-1160℃取平均值为1030℃。

i 第8~15节: 窑外壁表面平均温度 40℃, 窑内壁平均温度 750℃

a. 窑顶

所用材料的导热系数:

高铝纤维毯2\*20mm:  $\lambda_1=0.035\text{W/m}\cdot^\circ\text{C}$

高铝聚轻球吊顶砖230mm:  $\lambda_2=0.45\text{W/m}\cdot^\circ\text{C}$

窑内壁平均壁温  $t_1 = \frac{600+900}{2} = 750^\circ\text{C}$

$\delta_1=0.23\text{m}$ ;  $\delta_2=0.04\text{m}$

窑外壁表面平均温度  $t_a=40^\circ\text{C}$

平均热流密度:

$$q = \frac{t_1 - t_a}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} = 710 / (0.24/0.45 + 0.04/0.035) = 1141.07 \text{ (W/m}^2\text{)}$$

窑顶散热面积:

$$A_{\text{顶}} = [2.87 + 2 * (0.23 + 0.04)] * 2.1 * 7 = 20.12 \text{ m}^2$$

$$\text{则 } Q_{\text{顶}} = qA_{\text{顶}} = 1141.07 * 20.12 * 3.6 = 205974.29 \text{ kJ/h}$$

b. 窑墙

所用材料的导热系数:

高铝纤维毯2\*50mm:  $\lambda_1 = 0.03$

高铝纤维毯20mm:  $\lambda_1=0.035\text{W/m}\cdot^\circ\text{C}$

高铝聚轻球砖230mm:  $\lambda_2=0.45\text{W/m}\cdot^\circ\text{C}$

窑内壁平均壁温  $t_1 = \frac{600+900}{2} = 750^\circ\text{C}$



$$\delta_1=0.23\text{m}; \quad \delta_2=0.02\text{m}; \quad \delta_3=0.1$$

平均热流密度:

$$q=\frac{t_1-t_a}{\frac{\delta_1}{\lambda_1}+\frac{\delta_2}{\lambda_2}}=710/\left(0.23/0.45+0.1/0.03+0.02/0.035\right)=501.47\left(\text{W}/\text{m}^2\right)$$

窑墙散热面积:

$$A_{\text{墙}}=0.7\times 2.0\times 8=12.09\text{m}^2$$

$$\text{则 } Q_{\text{墙}}=2qA_{\text{墙}}=2\times 502.1\times 12.95=12937.43\left(\text{kJ}/\text{h}\right)$$

C. 窑底

所用材料的导热系数:

$$\text{高铝聚轻球砖 } 65\times 2\text{mm}: \lambda_2=0.45\text{W}/\text{m}\cdot^{\circ}\text{C}$$

$$\text{粘土砖 } 65\text{mm}: \lambda_3=0.202\text{W}/\text{m}\cdot^{\circ}\text{C}$$

$$\text{窑内壁平均壁温 } t_1=\frac{600+900}{2}=750^{\circ}\text{C}$$

$$\delta_1=0.13\text{m}; \quad \delta_2=0.065\text{m};$$

平均热流密度:

$$q=\frac{t_1-t_a}{\frac{\delta_1}{\lambda_1}+\frac{\delta_2}{\lambda_2}+\frac{\delta_3}{\lambda_3}}=710/\left(0.13/0.45+0.065/0.22\right)=1215.19\left(\text{W}/\text{m}^2\right)$$

$$\text{窑底散热面积: } A_{\text{底}}=2.1\times 8\times 2.87=48.21\text{m}^2$$

$$\text{则 } Q_{\text{底}}=qA_{\text{底}}=1215.12\times 48.96\times 3.6=210497.66\left(\text{kJ}/\text{h}\right)$$

ii 第 15-27 节窑体散热计算如下:

取窑外壁温度  $80^{\circ}\text{C}$ , 窑内壁平均温度为  $1030^{\circ}\text{C}$

d. 窑顶

所用材料的导热系数:

$$\text{含锆纤维毯 } 3\times 20\text{mm}: \lambda_1=0.056\text{W}/\text{m}\cdot^{\circ}\text{C}$$

$$\text{TJM26 莫来石吊顶 } 230\text{mm}: \lambda_2=0.26\text{W}/\text{m}\cdot^{\circ}\text{C}$$

$$\text{窑内壁平均壁温 } t_1=\frac{900+1160}{2}=1030^{\circ}\text{C}$$

$$\delta_1=0.23\text{m}; \quad \delta_2=0.06\text{m}$$

窑外壁表面平均温度  $t_a=80^\circ\text{C}$

平均热流密度:

$$q=\frac{t_1-t_a}{\frac{\delta_1}{\lambda_1}+\frac{\delta_2}{\lambda_2}}=950/(0.23/0.26+0.06/0.56)=487.17 \text{ (W/m}^2\text{)}$$

窑顶散热面积:

$$A_{\text{顶}}=[2.87+2\times(2.0+0.06)]\times2.1\times13=94.18\text{m}^2$$

$$\text{则 } Q_{\text{顶}}=qA_{\text{顶}}=487.17\times94.18\times3.6=165182.78\text{kJ/h}$$

e. 窑墙

所用材料的导热系数:

高铝纤维毡2\*50mm:  $\lambda_1=0.03$

含锆纤维毡20mm:  $\lambda_1=0.056\text{W/m}\cdot^\circ\text{C}$

TJM26莫来石吊顶230mm:  $\lambda_3=0.26\text{W/m}\cdot^\circ\text{C}$

含锆纤维毡50mm:  $\lambda_3=0.034\text{W/m}\cdot^\circ\text{C}$

$$\text{窑内壁平均壁温 } t_1=\frac{900+1160}{2}=1030^\circ\text{C}$$

$$\delta_1=0.23\text{m}; \quad \delta_2=0.1\text{m} \quad \delta_2=0.05\text{m} \quad \delta_2=0.02$$

窑外壁表面平均温度  $t_a=80^\circ\text{C}$

平均热流密度:

$$q=\frac{t_1-t_a}{\frac{\delta_1}{\lambda_1}+\frac{\delta_2}{\lambda_2}}=950/(0.1/0.03+0.05/0.034+0.02/0.056+0.23/0.26)=152.65 \text{ (W/m}^2\text{)}$$

窑顶散热面积:

$$A_{\text{墙}}=0.786\times2.1\times13=21.45\text{m}^2$$

$$\text{则 } Q_{\text{墙}}=2qA_{\text{墙}}=2\times152.76\times22.96\times3.6=23575.26\text{kJ/h}$$

## f. 窑底

所用材料的导热系数:

TJM26莫来石吊顶65mm:  $\lambda_3=0.26\text{W/m}\cdot^\circ\text{C}$

高铝聚轻球砖65mm:  $\lambda_2=0.45\text{W/m}\cdot^\circ\text{C}$

粘土砖65mm:  $\lambda_1=0.202\text{W/m}\cdot^\circ\text{C}$

窑内壁平均壁温  $t_1 = \frac{900+1160}{2} = 1030^\circ\text{C}$

$\delta_1=0.065\text{m}; \delta_2=0.065\text{m}; \delta_3=0.065\text{m};$

平均热流密度:

$$q = \frac{t_1 - t_a}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3}} = \frac{950}{\frac{0.065}{0.26} + \frac{0.065}{0.45} + \frac{0.065}{0.495}} = 181.97 \text{ (W/m}^2\text{)}$$

窑底散热面积:  $A_{\text{底}} = 2.87 \times 2.1 \times 13 = 78.35 \text{ m}^2$

则  $Q_{\text{底}} = qA_{\text{底}} = 18182.29 \times 78.36 \times 3.6 = 511197.96 \text{ (kJ/h)}$

所以窑体总散热量为:

$$Q_3 = 205914.29 + 12937.41 + 210497.66 + 165182.78 + 23575.266 + 511197.96 = 1129304.71 \text{ (kJ/h)}$$

7.1.4.3 物化反应耗热  $Q_4$  (kJ/h)i 自由水蒸发吸热  $Q_w$ 

自由水质量  $G_w = G_1 - G_r = 8914.8 - 8825.65 = 89.15 \text{ (kg/h)}$

烟气离窑温度  $t_g = 200^\circ\text{C}$

所以  $Q_w = G_w (2490 + 1.93 t_g) = 89.15 \times (2490 + 1.93 \times 200) = 256395.4 \text{ (kJ/h)}$

ii 其余物化反应耗热  $Q_r$ 

用  $\text{Al}_2\text{O}_3$  反应热近似代替物化反应热

入窑干制品质量  $G_r=8825.25$  (kg/h) ,  $Al_2O_3$  含量=16.27%

$$Q_r = G_r \times 2100 \times Al_2O_3 \% = 8825.25 \times 2100 \times 16.27\% = 3015449.58 \text{ (kJ/h)}$$

总的物化反应耗热:

$$Q_4 = Q_w + Q_r = 256395.45 + 3015449.7568 = 3271844.1368 \text{ (kJ/h)}$$

#### 7.1.4.4 离窑废气带走显热 $Q_g$ (kJ/h)

取离窑烟气中空气过剩系数  $\alpha_g=2.0$ , 其体积流量为:

$$V_g = [V_{g0} + (\alpha_g - \alpha) L_o] X = [5.105 + (2.0 - 1.3) 4.13] X = 7.97X$$

取烟气离窑温度  $t_g=200^\circ\text{C}$ , 烟气比热  $c_g=1.36$  KJ/(Nm<sup>3</sup>·°C) 则有:

$$Q_g = V_g t_g c_g = 7.99X \times 200 \times 1.36 = 2078.9X$$

#### 7.1.4.5 其它热损失 $Q_5$ (kJ/h)

根据经验占热收入的5%

$$Q_5 = (Q_1 + Q_f + Q_a + Q'_a) \times 0.05$$

$$= (150036.18 + 17551X + 123.5X + 29.54X) \times 0.05 = 7201.7 + 849.79X$$

#### 7.1.5 列出热平衡方程式

由热收入=热支出得:

$$Q_1 + Q_f + Q_a + Q'_a = Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_g$$

$$\text{左边} = 150036.18 + 17551X + 123.42X + 29.478X$$

$$\text{右边} = 10653457.4 + 3271844.0602 + 7201.1368 + 849.79X + 207.797X$$

计算得出  $x = 932.82$  (Nm<sup>3</sup>/h)

即每小时需发生炉煤气1126.8643 (Nm<sup>3</sup>/h), 每小时烧成产品质量2696.56所以,

$$\text{单位质量得产品热耗为: } \frac{932.82 \times 17551}{7896.1} = 2071.337 \text{ (kJ/kg)}$$

#### 7.1.6 预热带与烧成带的热平衡表

表8—8预热带与烧成带热平衡表

热收入			热支出		
项目	KJ/h	%	项目	KJ/h	%
坯体带入显热	150036	0.701	产品带走显热	10653457.4	49.176
燃料化学显热	16371923.82	98.25	窑体散热	1129.04.71	10.734
助燃空气显热	115063.32	0.681	物化反应耗热	264998.375	19.81
漏入空气显热	27555.5028	0.368	其它热损失	799905	5.0
			烟气带走显热	1939239.55	15.28
总热量	16664578.64	100	总散热	16654859.54	100

## 7.2 冷却带热平衡计算

### 7.2.1 热平衡计算基准及范围

时间基准：1h； 温度基准：0℃

### 7.2.2 热平衡框图

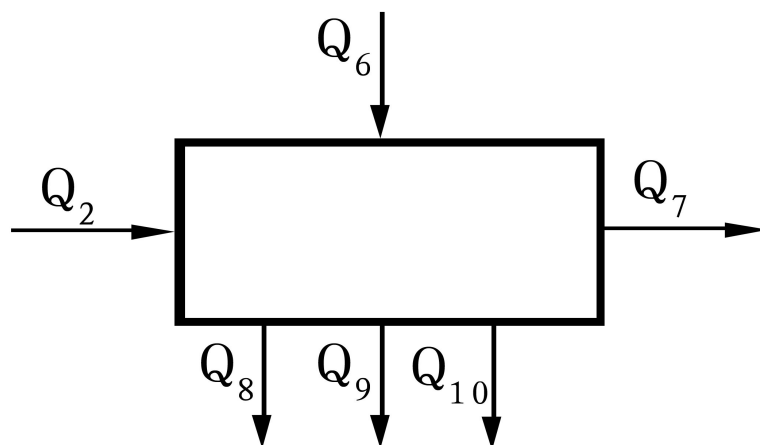


图8—9 冷却带热平衡示意图

$Q_2$ ——产品带入显热

$Q_6$ ——冷却风带入显热

$Q_7$ ——产品带出显热

$Q_8$ ——热风抽出带走显热

$Q_9$ ——窑体散热

$Q_{10}$ ——其它热损失

### 7.2.3 热收入项目

#### 7.2.3.1 产品带入显热 $Q_2$

制品带入显热在上面已经算出： $Q_2 = 10653457.4 \text{ kJ/h}$

#### 7.2.3.2 冷风带入显热 $Q_6$

鼓入冷风为自然风， $t_a = 20^\circ\text{C}$ ，查表知此时冷风的比热为： $c_a = 1.30 \text{ kJ}/(\text{m}^3 \cdot ^\circ\text{C})$

设鼓入风量为  $V_x \text{ m}^3/\text{h}$ ，则： $Q_6 = V_a c_a t_a = 26 V_x$

### 7.2.4 热支出项目

#### 7.2.4.1 制品带走显热 $Q_7$

出窑时产品的质量  $G_3 = 7986.1 \text{ (Kg/h)}$ ，出窑口温度  $t_7 = 80^\circ\text{C}$ ，查表知此时温度下制品的平均比热为：

$$c_7 = 0.84 + 26 \times 10^{-5} \times t_7 = 0.84 + 26 \times 10^{-5} \times 80 = 0.8608 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$$

$$\text{则 } Q_7 = G_3 c_7 t_7 = 7986.1 \times 80 \times 0.8608 = 549986.468 \text{ J/h}$$

#### 7.2.4.2 热风抽出时带走的显热 $Q_8$

抽风为鼓入风的95%，故抽出热风量为  $0.95 V_x \text{ m}^3/\text{h}$ 。取热风抽出时的温度为：

$t_8 = 200^\circ\text{C}$ ，查表知此时的比热为： $c_8 = 1.42 \text{ kJ}/(\text{m}^3 \cdot ^\circ\text{C})$ ，则：

$$Q_8 = 0.95 V_x c_8 t_8 = 0.95 \times 200 \times 1.42 \times V_x = 269.8 V_x$$

#### 7.2.4.3 窑体的散热 $Q_9$

i 在急冷带的窑体散热 (28~30 节)

此段温度范围为1160–800℃，窑外壁温度取80℃，窑内壁平均温度为980℃

a. 窑顶

所用材料的导热系数：

含锆纤维毯3\*20mm:  $\lambda_1=0.056\text{W/m}\cdot^\circ\text{C}$

TJM26莫来石吊顶230mm:  $\lambda_2=0.26\text{W/m}\cdot^\circ\text{C}$

窑内壁平均壁温  $t_1 = \frac{1160+800}{2} = 980^\circ\text{C}$

$\delta_1=0.23\text{m}$ ;  $\delta_2=0.04\text{m}$

窑外壁表面平均温度  $t_a=80^\circ\text{C}$

平均热流密度：

$$q = \frac{t_1 - t_a}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} = \frac{980 - 80}{\frac{0.04}{0.056} + \frac{0.23}{0.26}} = 564.61 \text{ (W/m}^2\text{)}$$

窑顶散热面积：

$$A_{\text{顶}} = [2.87 + 2 * (0.23 + 0.04)] * 2.1 * 3 = 20.034\text{m}^2$$

$$\text{则 } Q_{\text{顶}} = qA_{\text{顶}} = 564.61 * 20.034 * 3.6 = 40721.4768 \text{ kJ/h}$$

b. 窑墙

所用材料的导热系数：

高铝纤维毡2\*50mm:  $\lambda_1 = 0.03$

含锆纤维毯20mm:  $\lambda_1=0.056\text{W/m}\cdot^\circ\text{C}$

TJM26莫来石吊顶230mm:  $\lambda_3=0.26\text{W/m}\cdot^\circ\text{C}$

窑内壁平均壁温  $t_1 = \frac{1160+800}{2} = 980^\circ\text{C}$

$\delta_1=0.23\text{m}$ ;  $\delta_2=0.12\text{m}$   $\delta_3=0.02\text{m}$

窑外壁表面平均温度  $t_a=80^\circ\text{C}$

平均热流密度：

$$q = \frac{t_1 - t_a}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3}} = \frac{980 - 80}{\frac{0.1}{0.03} + \frac{0.02}{0.056} + \frac{0.23}{0.26}} = 196.43 \text{ (W/m}^2\text{)}$$

窑顶散热面积:

$$A_{\text{墙}} = 0.719 \times 2.1 \times 3 = 4.529 \text{ m}^2$$

$$\text{则 } Q_{\text{墙}} = 2qA_{\text{墙}} = 2 \times 196.93 \times 4.529 \times 3.6 = 6408.8991 \text{ kJ/h}$$

c. 窑底

所用材料的导热系数:

$$\text{TJM26莫来石吊顶65mm: } \lambda_3 = 0.26 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$\text{高铝聚轻球砖65mm: } \lambda_2 = 0.45 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$\text{粘土砖65mm: } \lambda_1 = 0.202 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$\text{窑内壁平均壁温 } t_1 = \frac{1160 + 800}{2} = 980 ^\circ\text{C}$$

$$\delta_1 = 0.065 \text{ m}; \delta_2 = 0.065 \text{ m}; \delta_3 = 0.065 \text{ m};$$

$$\text{窑外壁表面平均温度 } t_a = 80 ^\circ\text{C}$$

平均热流密度:

$$q = \frac{t_1 - t_a}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3}} = \frac{980 - 80}{\frac{0.065}{0.26} + \frac{0.065}{0.45} + \frac{0.065}{0.5}} = 1716.24 \text{ (W/m}^2\text{)}$$

$$\text{窑底散热面积: } A_{\text{底}} = 18.08 \text{ m}^2$$

$$\text{则 } Q_{\text{底}} = qA_{\text{底}} = 1716.62 \times 18.08 \times 3.6 = 11712.808 \text{ (kJ/h)}$$

ii 在冷却带的窑体散热(31~44 节)

此段温度范围为 800~40 $^\circ\text{C}$ , 窑内壁平均温度 420 $^\circ\text{C}$ , 窑外壁温度为 40 $^\circ\text{C}$

d. 窑顶

所用材料的导热系数:

$$\text{含锆纤维毯3*20mm: } \lambda_1 = 0.056 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$\text{TJM26莫来石吊顶230mm: } \lambda_2 = 0.26 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$\text{窑内壁平均壁温 } t_1 = \frac{800 + 40}{2} = 420 ^\circ\text{C}$$

$$\delta_1 = 0.04 \text{ m}; \delta_2 = 0.23 \text{ m}$$



窑外壁表面平均温度  $t_a = 40^\circ\text{C}$

平均热流密度:

$$q = \frac{t_1 - t_a}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} = \frac{420 - 40}{\frac{0.04}{0.035} + \frac{0.23}{0.45}} = 533.776 \text{ (W/m}^2\text{)}$$

窑顶散热面积:

$$A_{\text{顶}} = [2.87 + 2 \times (0.02 + 0.23)] \times 2.1 \times 10 = 59.25 \text{ m}^2$$

$$\text{则 } Q_{\text{顶}} = qA_{\text{顶}} = 533.776 \times 59.25 \times 3.6 = 113374.15 \text{ kJ/h}$$

e. 窑墙

所用材料的导热系数:

高铝纤维毡2\*50mm:  $\lambda_1 = 0.03$

含锆纤维毡20mm:  $\lambda_1 = 0.056 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$

TJM26莫来石吊顶230mm:  $\lambda_3 = 0.26 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$

$$\text{窑内壁平均壁温 } t_1 = \frac{800 + 40}{2} = 420^\circ\text{C}$$

$$\delta_1 = 0.23 \text{ m}; \quad \delta_2 = 0.1 \text{ m} \quad \delta_3 = 0.02 \text{ m}$$

窑外壁表面平均温度  $t_a = 40^\circ\text{C}$

平均热流密度:

$$q = \frac{t_1 - t_a}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3}} = \frac{420 - 40}{\frac{0.1}{0.03} + \frac{0.02}{0.056} + \frac{230}{0.26}} = 183.18 \text{ (W/m}^2\text{)}$$

窑顶散热面积:

$$A_{\text{墙}} = 0.719 \times 2.1 \times 10 = 15.01 \text{ m}^2$$

$$\text{则 } Q_{\text{墙}} = 2qA_{\text{墙}} = 2 \times 183.18 \times 15.01 \times 3.6 = 19914.01 \text{ kJ/h}$$

f. 窑底

所用材料的导热系数:

TJM26莫来石吊顶65mm:  $\lambda_3 = 0.26 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$

高铝聚轻球砖2\*65mm:  $\lambda_2=0.45\text{W/m}\cdot^\circ\text{C}$

粘土砖65mm:  $\lambda_1=0.202\text{W/m}\cdot^\circ\text{C}$

窑内壁平均壁温  $t_1 = \frac{800+40}{2} = 420^\circ\text{C}$

$\delta_1=0.13\text{m}$ ; ;  $\delta_2=0.65\text{m}$

窑外壁表面平均温度  $t_a=40^\circ\text{C}$

平均热流密度:

$$q = \frac{t_1 - t_a}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3}} = \frac{420 - 40}{\frac{0.13}{0.45} + \frac{0.65}{0.04}} = 2112.188 \text{ (W/m}^2\text{)}$$

窑底散热面积:  $A_{\text{底}} = 60.278 \text{ m}^2$

则  $Q_{\text{底}} = qA_{\text{底}} = 2112.18 \times 60.27 \times 3.6 = 485285.7 \text{ (kJ/h)}$

则冷却带窑体总散热量为:

$Q_9 = 4021.02 + 6408.899 + 11712.808 + 113374.15 + 19914.01 + 45828.8 + 19562.42 + 3261.68 + 75107.98 = 748349.52 \text{ (kJ/h)}$

#### 7.2.4.4 从间壁冷却风管抽出热风带走显热 $Q_{10}$

该窑第28~30节的每节辊上设置了8根 $\phi 60$ 的间冷风管,共24根。为简化计算,取该段平均温度作换热管内壁温度  $t_w=700^\circ\text{C}$ ;取进入间壁的冷却风温  $t_{a1}=20^\circ\text{C}$ ,初定抽出热风温度  $t_{a2}=300^\circ\text{C}$ ,则管内空气平均温度为  $t_a = (20+300)/2 = 160^\circ\text{C}$ ;以一根间冷管计,其换热面积  $F = \pi dL = 3.14 \times 0.06 \times 2.87 = 0.39564\text{m}^2$ ;取间壁管道通内空气流速  $w = 4\text{Nm/s} = 4.63\text{m/s}$ ;则间壁通道内对流换热系数:

$$\alpha = 12.6w^{0.8} / d^{0.25} = 12.6 \times 4.63^{0.8} / 0.06^{0.25} = 86.76 \text{ [KJ/(m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{k)]}$$

间冷管为耐热钢管,其导热系数可忽略,故可取间冷管内壁的平均温度为  $t_w=700^\circ\text{C}$ ,取换热效率  $\eta = 0.9$ ,计算间冷管冷却风得热:

$$Q = \eta K \Delta t_{av} F = 0.9 \times 78.58 \times (700 - 160) \times 0.39564 = 15109.44 \text{ (kJ/h)}$$

每根间冷管内空气流量

$$V = 3600wF_n = 3600 \times 4 \times 3.14 \times 0.06^2 / 4 = 40.69 \text{ (Nm}^3/\text{h)}$$

验算间壁抽出热风温度:

$$t'_{a2} = \frac{Q_{17} + Vc_1t_{a1}}{Vc_2} = \frac{15109.44 + 40.69 \times 1.3 \times 20}{40.69 \times 1.32} = 301.01$$

$(301.01 - 300) / 300 = 0.3\% \leq 5\%$ ; 故所设抽出空气温度为  $t_{a2} = 300^\circ\text{C}$  合理, 该段共有 64 根

间冷管, 故从间冷管中抽出总热量为:

$$Q_{10} = 15109.44 \times 48 = 725253.12 \text{ (kJ/h)}$$

#### 7.2.4.5 其它热损失 $Q_{10}$

其它热损失为总收入的 5%, 则:

$$Q_{11} = 0.05 (Q_2 + Q_6) = 0.05 \times (10653457.4 + 26V_x) = 532672 + 6.175V_x$$

#### 7.2.6 列出热平衡方程

热收入=热支出

$$\text{所以 } Q_2 + Q_6 = Q_7 + Q_8 + Q_9 + Q_{10} + Q_{11}$$

$$3535190.16 + 26V_x = 185695.9078 + 250.8V_x + 429389.1352 + 725253.12 + 176759.508 + 6.175V_x$$

$$175V_x$$

$$\text{解得 } V_x = 35524.277 \text{ m}^3/\text{h}$$

即每小时鼓入风量为  $35524.277 \text{ m}^3/\text{h}$ .

#### 7.2.7 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	3535190.	93.84	产品带出显热	1053457.	4.9

	16			9078	
冷却风带入显热	232067.2 5	6.16	抽热风带走显热	2238556. 3807	59.43
			窑体散热	104411.1 352	11.41
			间冷管热风带走显热	255253.1 2	19.26
			其它散热	429389.1 3	5.00
总热量	3767257. 4077	100	总散热	3725232. 4141	100

表 8-19 冷却带热平衡表

由表可看出，热风抽出带走的热量占很大的比例，因此应充分利用此热量，一般引到干燥窑或干燥房用来干燥坯体。

## 8.其它系统管道尺寸确定、风机的选型

### 8.2.1 焦炉煤气输送管径的计算

#### ① 燃料总管

焦炉煤气的流量为：932.82m<sup>3</sup>/h，取天然气在总管中的流速为：2m/s，总管选用一根管子，那么总管的内径为：

$$d_{\text{总}} = \sqrt{\frac{4x}{3600\pi\omega}} = 0.391, \text{ 总管内径取值: } 400\text{mm}.$$

#### ② 窑顶、窑侧的分管尺寸

天然气分管分组控制，共分 7 组 8 根，气体在金属分管中流速，根据经验数据取  $\omega = 4\text{m/s}$ ，

$$\text{内径 } d_{\text{分}} = \sqrt{\frac{4x}{3600\pi\omega}} = \sqrt{\frac{4*932.82}{3600*3.14*4*7}} = 0.098\text{m}, \text{ 分管内径取值: } 100\text{mm}$$

#### ③ 通往烧嘴的汽化石油气支管内径计算

窑体共安装了 84 个烧嘴，天然气支管总共有 84 根，而流速取  $\omega = 8\text{m/s}$

$$\text{内径 } d_{\text{支}} = \sqrt{\frac{4x}{3600\pi\omega}} = 0.022\text{m}$$

考虑到在实际操作中有些烧嘴是关闭的所以分管内径取值：30mm

## 8.2.2 助燃风管的计算

助燃风量： $V_a = 4.75 \times 932.821 = 4430.8 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

实际助燃风量  $V = 4430.8 \times (273+20)/273 = 4754.54 \text{ m}^3/\text{h}$

### ① 助燃风总管内径的确定

取风在总管中的流速为： $\omega = 5\text{m/s}$ ，则：

$$d_{\text{总}} = \sqrt{4 \times 4754.54 / (3600 \times 3.14 \times 5)} = 0.58\text{m}, \text{取助燃风总管的内径为 } 600\text{mm}。$$

### ② 窑顶、窑底分管内径

取  $\omega = 8\text{m/s}$ ,  $n=2$ , 分管流量为： $4754.54/2 = 2377.1\text{m}^3/\text{h}$

$$d_{\text{分}} = \sqrt{9508.44 / 90432} = 0.29\text{m}, \text{取分管内径为 } 300\text{mm}。$$

### ③ 助燃风管通往烧嘴的支管的内径

全窑总共有烧嘴 84 个，因此通往烧嘴的支管 84 根，取流速  $\omega = 10\text{m/s}$ ,  $n=84$ ，每个分管流量为： $4754.54/84 = 56.74\text{m}^3/\text{h}$ ，则： $d_{\text{支}} = \sqrt{4 \times 56.6 / (3600 \times 3.14 \times 10)} = 0.021$ ，取支管内径为 40mm。

## 8.2.3 冷却带风管计算

冷却带窑尾鼓入冷风总量为  $35524.3 \text{ m}^3/\text{h}$ ，急冷鼓入风量是窑尾鼓入风量的 1/2，即冷却带鼓入冷风比例：

表 12 冷却带风管计算

	所占比例 (%)	风量
急冷段	43	15275.4498
快冷段	57	20248.8
缓冷段	0	35524.3

### 1) 缓冷抽热总管的确定

#### ① 缓冷抽热总管内径

鼓入风量  $V_x = 35524.27\text{m}^3/\text{h}$ ，故抽出热风  $V = 35524.3\text{m}^3/\text{h}$ 。

取  $\omega=10\text{m/s}$ ,  $n=1$ , 则:

$$d_{\text{总}} = \sqrt{4 \times 35524.3 / (3600\pi)} = 0.68, \text{取 } 700\text{mm}.$$

## ②抽热分管的内径

共设置了 (10 个抽风口, 10 根抽风分管), 取  $\omega=10\text{m/s}$ ,  $n=10$  每个分管的流量为:  $35524.27/10=3522.4\text{m}^3/\text{h}$ , 则:

$$d_{\text{分}} = \sqrt{4 \times 3522.4 / (3600\pi * 10)} = 0.24, \text{取 } 250\text{mm}.$$

## ③抽热支管的内径

取  $\omega=10\text{m/s}$ ,  $n=40$ , 每个分管的流量为:  $35224.3.27/40=880.6\text{m}^3/\text{h}$ , 则:

$$d_{\text{支}} = \sqrt{4 \times 880.6 / (3600\pi * 40)} = 0.049\text{m}, \text{取 } 80\text{mm}.$$

## 2) 急冷风管内径的确定

### ①急冷风总管内径的确定

取风在总管中的流速  $\omega=10\text{m/s}$ ,  $V_{\text{总}}=15275.449\text{m}^3/\text{h}$  则:

$$d_{\text{总}} = \sqrt{4 \times 15275.44 / (3600\pi * 10)} = 0.735, \text{取 } 750\text{mm}.$$

### ②窑顶的分管

取  $\omega = 10\text{m/s}$ ,  $n = 2$ , 每个分管的流量为:  $15275.449/2 = 7637.72\text{m}^3/\text{h}$ , 则:

$$d_{\text{分}} = \sqrt{4 \times 7637.72 / (3600\pi * 10)} = 0.319\text{m}, \text{取 } 330\text{mm}.$$

### ③急冷支管

急冷支管上下交错排列, 共 24 根, 取  $\omega=12\text{m/s}$ ,

$$\text{则: } d_{\text{支}} = \sqrt{4 \times 15275.44 / (3600\pi * 24 * 12)} = 0.137\text{m}, \text{取 } 150\text{mm}.$$

每根管上开 20 个孔, 取  $\omega = 12\text{m/s}$ ,  $n = 24 \times 20 = 480$ , 流过每个孔的流量为:  $15275.449/480=31.82\text{m}^3/\text{h}$ , 则: 孔径  $d_{\text{孔}} = \sqrt{4 \times 31.8 / (3600\pi * 12)} = 0.03\text{m}$ , 孔径取 30mm。

## 3) 快冷带鼓入冷风量

快冷带鼓入冷风量  $V=20248.8\text{m}^3/\text{h}$ 。

### a. 快冷风管总管内径

快冷风在总管中的流速为:  $\omega=20\text{m/s}$ ,

快冷风管总管选用一根管子, 那么总管的内径为:

$$d_{\text{总}} = 2 \times (v / 3600 \pi \omega)^{0.5} = 2 \times [120248.8 / (3600 \times 3.14 \times 20)]^{0.5} = 0.4767\text{m}$$

所以, 总管内径取值: 500mm

### b. 快冷风管分管内径

快冷风在分管中的流速为:  $\omega=8\text{m/s}$ ,

急冷风管分管选用两根管子, 那么分管的内径为:

$$d_{分}=2 \times (v/3600 \pi \omega)^{0.5}$$

$$=2 \times [12841.77 / (3600 \times 3.14 \times 20 \times 8)]^{0.5} = 0.1655 \text{m}$$

所以，分管内径取值：300mm

c. 快冷风管支管内径

快冷风在支管中的流速为： $\omega=8\text{m/s}$ ，

急冷风管支管选用 24 根管子，那么分管的内径为：

$$d_{支}=2 \times (v/3600 \pi \omega)^{0.5}$$

$$=2 \times [12841.77 / (3600 \times 3.14 \times 40 \times 8)]^{0.5} = 0.119 \text{m}$$

所以，支管内径取值：150mm

## 9 风机选型

### 9.1 助燃风机

为保证正常工作，取风机抽力余量 0.5，所以选型应具备风压：

$$H = (1+0.5) \times 215.35 = 323.025 \text{ Pa}, \text{ 流量取储备系数为 } 1.5,$$

$$\text{所以 } Q = 1.5 V_{实} = 9468.62 \text{ (m}^3/\text{h)}$$

选用风机应考虑窑炉有空气、煤气比例失调，大量增加烟气量，增大抽风阻力，造成较大阻力，故选型时全风压应留有较大余地。

#### 9.1.2 急冷风机

为保证正常工作，取风机抽力余量 0.5，所以选型应具备风压：

$$H = (1+0.5) \times 235.68 = 353.52 \text{ Pa}, \text{ 流量取储备系数为 } 1.5,$$

$$\text{所以 } Q = 1.5 V_{实} = 18420.18 \text{ (m}^3/\text{h)}$$

选用风机应考虑窑炉有空气、煤气比例失调，大量增加烟气量，增大抽风阻力，造成较大阻力，故选型时全风压应留有较大余地。

#### 9.1.3 缓冷抽热风机

为保证正常工作，取风机抽力余量 0.5，所以选型应具备风压：

$$H = (1+0.5) \times 253.25 = 379.875 \text{ Pa}, \text{ 流量取储备系数为 } 1.5,$$

$$\text{所以 } Q = 1.5 V_{实} = 33899.42 \text{ (m}^3/\text{h)}$$

选用风机应考虑窑炉有空气、煤气比例失调，大量增加烟气量，增大抽风阻力，造成较大阻力，故选型时全风压应留有较大余地。

#### 9.1.4 快冷风机

为保证正常工作，取风机抽力余量 0.5，所以选型应具备风压：

$H = (1 + 0.5) \times 213.48 = 320.22 \text{ Pa}$ ，流量取储备系数为 1.5，

所以  $Q = 1.5 V_{\text{实}} = 36840.36 \text{ (m}^3/\text{h)}$

选用风机应考虑窑炉有空气、煤气比例失调，大量增加烟气的量，增大抽风阻力，造成较大阻力，故选型时全风压应留有较大余地。

所以，风机选型如下：

风机选用及性能参数表 9-1

用途	名称	型号	全压 (Pa)	风量 (m <sup>3</sup> /h)	电动机	功率 (kw)	转速 (r/min)
排烟	锅炉引风机	Y6-43N010.5D	2670	34694	Y225M-4	45	1480
助燃	高压离心风机	G6-43N07.1A	1913	10582	Y160M-4	11	1460
急冷	高压离心风机	G6-43N08.5A	2780	18281	Y160M-4	22	1470
抽热	锅炉引风机	Y6-43N010.5D	2670	34694	Y132S1-2	45	1480
快冷	高压离心风机	G4-73-11N09D	2280	38800	Y225S-4	37	1450

## 10. 工程材料概算

### 10.1 窑体材料分段概算

#### 10.1.1: 第 1-14 节

高铝聚轻球砖 ( $230 \times 114 \times 65$ ):  $2 \times 15 \times 2.1 \times 0.86 / (0.23 \times 0.065) + 15 \times 2.1 \times 2.3 / (0.23 \times 0.114) + 14 \times 2.1 \times 4.1 / (0.114 \times 0.065) = 21576 \text{ (块)}$



高铝聚轻球砖 ( $600 \times 400 \times 50$ ):  $2 \times 15 \times 2.1 \times 0.86 \times 0.15 + 15 \times 2.0 \times 4.1 \times 0.1 = 20.04\text{m}^3$

粘土砖 ( $230 \times 114 \times 65$ ):  $15 \times 2.1 \times 2.3 \times 0.26 / (0.23 \times 0.114 \times 0.065) = 10527$  (块)

#### 10.1.2: 第 15-27 节

含锆纤维毯 ( $230 \times 114 \times 65$ ):  $2 \times 14 \times 2.1 \times 0.86 / (0.23 \times 0.065) + 14 \times 2.0 \times 2.3 / (0.23 \times 0.114) + 14 \times 2.0 \times 4.1 / (0.114 \times 0.065) = 21171$  (块)

TJM26 莫来石 ( $600 \times 400 \times 50$ ):  $2 \times 14 \times 2.1 \times 0.86 \times 0.2 + 14 \times 2.1 \times 4.1 \times 0.1 + 14 \times 2.0 \times 2.3 \times 0.15 = 8.06 + 9.60 + 12.65 = 30.772\text{m}^3$

粘土砖 ( $230 \times 114 \times 65$ ):  $14 \times 2.1 \times 2.87 \times 0.195 / (0.23 \times 0.114 \times 0.065) = 7369$  (块)

#### 10.1.3 第 28-30 节

含锆纤维毯 ( $230 \times 114 \times 65$ ):  $2 \times 7 \times 2.1 \times 0.86 / (0.23 \times 0.065) + 7 \times 2.0 \times 2.3 / (0.23 \times 0.114) + 7 \times 2.0 \times 4.1 / (0.114 \times 0.065) = 10585$  (块)

TJM26 莫来石 ( $600 \times 400 \times 50$ ):  $2 \times 7 \times 2.1 \times 0.86 \times 0.15 + 7 \times 2.0 \times 4.1 \times 0.1 + 7 \times 2.0 \times 2.3 \times 0.10 = 12.572\text{m}^3$

粘土砖 ( $230 \times 114 \times 65$ ):  $7 \times 21 \times 2.87 \times 0.26 / (0.23 \times 0.114 \times 0.065) = 4912$  (块)

#### 10.1.4 第 31-44 节

高铝聚轻球吊顶砖 ( $272 \times 250 \times 154$ ):  $2 \times 14 \times 2.1 \times 0.812 / (0.272 \times 0.154) + 14 \times 2.0 \times 4.1 / (0.25 \times 0.154) = 4067$

粘土砖 ( $230 \times 114 \times 65$ ):  $14 \times 2.1 \times 2.87 \times 0.26 / (0.23 \times 0.114 \times 0.065) = 9825$  (块)

### 10.2 钢材的概算

#### 10.2.1 方钢的概算

上立柱 (棍上的边立柱和中立柱):

1-6 节, 冷弯方形空心型钢,  $60 \times 60 \times 3\text{mm}$ , 长为 710mm,  $6 \times 6 = 36$  根。

7-14 节, 冷弯方形空心型钢,  $60 \times 60 \times 3\text{mm}$ , 长为 840mm,  $6 \times 19 = 108$  根。

15-41 节, 冷弯方形空心型钢,  $60 \times 60 \times 3\text{mm}$ , 长为 710mm,  $6 \times 26 = 156$  根。

下立柱 (棍下的边立柱和中立柱):

1-6 节, 冷弯方形空心型钢,  $60 \times 60 \times 3\text{mm}$ , 长为 540mm,  $6 \times 6 = 36$  根。

7-14 节, 冷弯方形空心型钢,  $60 \times 60 \times 3\text{mm}$ , 长为 760mm,  $6 \times 18 = 108$  根。

15-41 节, 冷弯方形空心型钢,  $60 \times 60 \times 3\text{mm}$ , 长为 503mm,  $6 \times 26 = 156$  根。

### 10.2.2 角钢

吊顶横梁

1-10 节和 38-50 节,  $\angle 60 \times 60 \times 3$ , 长为 3450mm; 11-37 节  $\angle 60 \times 60 \times 3$ , 长为 3770mm。

### 11.3 钢板

2mm 厚钢板做面板用, 4mm 厚钢板做底板。

## 致谢

随着盛夏的来临，通过老师的指导、同学的帮助、自身的努力，三个多月的毕业设计工作也接近了尾声，现在回过头去看看自己辊道窑的设计过程可以说是感触颇多、收获颇丰。

在此次设计以前，自己通过对课本知识的掌握对辊道窑的结构特点以及辊道窑的设计过程有了一个感性的认识，但在结合实际，特别是毕业实习的所见进行操作的时候才发现理论结合实际的必要性。同时，在整个绘图的过程中，自己也是在不断的修改、完善，通过这些，我不但更深入地了解了辊道窑设计的要点，更是提高了自身的绘图能力，也是一综合素质的提高了。当然，自己的设计也避免不了这样或那样的问题，通过老师的指导，与同学之间的讨论，虽然已经减少了许多，但还是谈不上完善。一些问题也留待到实际工作当中进行检验与解决。

在本次设计中，十分感谢李杰老师对自己的设计提出问题，并亲自指导自己进行修改以求完善，也感谢那些在设计过程中给自己提出意见的同学。

四年的大学生活即将结束，迎接自己的将是一个新的挑战，相信通过这次的毕业设计，一定会给工作岗位上的自己确定一个明确的方向，为自己的将来打下坚实的基础。

## 参考文献

- [1] 胡国林 《建陶工业辊道窑》. 中国建材工业出版社. 1998. 6
- [2] 胡国林 陈功备 《窑炉砌筑与安装》. 武汉理工大学出版社. 2005. 5
- [3] 杨世铭 陶文铨 《传热学》第三版 . 高等教育出版社. 1998
- [4] 孙晋洵 《陶瓷工业热工设备》. 武汉理工大学出版社. 1989. 10
- [5] 蔡增基 龙天渝 《流体力学泵与风机》. 中国建筑工业出版社. 1999. 12
- [6] 陈 帆 《现代陶瓷工业技术设备》. 中国建材工业出版社. 1995. 5
- [7] 续魁昌 《风机手册》. 北京机械工业出版社. 1995. 5
- [8] 王秉铨 《工业炉设计手册》. 北京机械工业出版社. 1996. 8
- [9] 姜正侯 《燃气工程技术手册》. 同济大学出版社. 1993. 5

## 附：文献调研报告

### **How to appraise the advance, the excellent and economic condition for the ceramic kiln**

With the advance of the technology, the improvement of the design and the usage of the new fuel, that make the ceramic kiln develop greatly, and the comment on the advance, excellent, and economic condition for the ceramic kiln depend on the following factors.

#### 1, The firing quality

The core point of the kiln is that whether it can make out the products in good quality. Although the factors that influence the quality of the product are many, that as the kiln with new technology, it is very important to evenly adjust the temperature of each section of the kiln and that of the cross-section in the firing section.

#### 2, The production capacity for a single kiln

The stream of the modern industry is producing on a large scale, so the production capacity is required as large as possible. Otherwise in order to be satisfied with the requirement of the production, the number of the kiln will be more that make the production line complex and in the mean while the occupying area, the investment will be large and the needing labor force will be more then increase the cost.

#### 3, The flexibility of the production

The kiln ought to be suitable for firing different kinds of products and is easy to change the production fast. On the other hand, given the rest in holidays, so it need to be increased the temperature fast, then it is necessary to change the traditional situation that increase the temperature with a long time.

#### 4, The energy consumption

It is very important for the ceramic kiln to decrease its energy consumption, since the modern

ceramic kiln is mainly running with the expensive clean fuel, that decrease the energy consumption of the kiln is very important to decrease the cost of the products.

#### 5, The automatic level

The kiln with high automatic level can control the temperature, the atmosphere and the pressure system accurately, and can set up the multistage distributing controlling system in order to offer the technical parameter for fasting the firing. In the mean while, it can link up with the production managing system of the enterprise, so it is good to the modern management.

#### 6, The using life

It is necessary for the modern ceramic kiln to have a long life and a long time maintenance cycle. According to the regulations of our country, the imported kiln will be changed in 15 years, since the modern ceramic kilns are mainly put together from part to part, that it is very fast to stop the production and start baking. The maintenance of the modern kiln is easier and more convenient than that of the old one. And what important is that the accessories must be complete. In order to make sure that the production will be stable and efficient, that thee modern ceramic will enjoy a long time maintenance cycle.、

7, The investment of the production capacity of the unit

Ceramic products of "dirty" refers to the given photo-cell and burn in the process of organic matter, sulfide, carbide, such as insufficient generated by oxidation of carbon particles and iron, causing the oxidative matter given photo-cell and a black or gray, among the phenomenon such as yellow. The existence of "dirty" defects will affect ceramic products of strength, bibulous rate, color, etc performance indicators. Ceramic products produce shoddy defect of the organic matter, carbide, key is insufficient, ceramic products sulfide oxidation process in the low temperature burn organic phase of decomposition and the oxidation reaction:

( $\text{fes} + \text{fes}_2 + \text{o}_2 \rightarrow \uparrow (350 \sim 450 \text{ so}_2 \text{ } ^\circ\text{C})$ ,  $4\text{fes} + 7\text{o}_2 \rightarrow 2\text{fe}_2\text{o}_3 (\uparrow (500 \sim + 4\text{so}_2 \text{ } 800 \text{ } ^\circ\text{C}))$ , ( $\text{c} + \text{o}_2 \rightarrow \text{co}_2 \uparrow (600 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ above})$ ))

In this phase if insufficient, oxidation atmosphere of the organic decomposition and the oxidation reaction is cannot totally, c,  $\text{fes}_2$  and residual accumulation overmuch ground  $\text{feo}$  etc in body and make given photo-cell and billet is black, gray, yellow. In the actual production of "dirty" to eliminate product, shall be in  $600 \sim 650 \text{ } ^\circ\text{C}$  let organic began to burn at  $300 \sim 850 \text{ } ^\circ\text{C}$ , organic matter, iron compounds and to carbon oxidative, that is to say, should be in the tropical ensure enough strong oxidation atmosphere. In addition, in the low temperature stage, burn of smoke  $\text{co}$  will be decomposition, reactive as follows:

( $2\text{co} \rightarrow 2\text{c} + \text{o}_2 \uparrow$ )

The decomposition in  $800 \text{ } ^\circ\text{C}$  above will is quite obvious, and  $800 \text{ } ^\circ\text{C}$  below a certain catalyst in the cases reflect also obviously (the  $\text{feo}$  pre-columnri prior is the very good catalyst). If in low-temperature phase oxidation atmosphere is insufficient, cooling tiles and existence of reducing atmosphere in reduction due to the atmosphere, so there will be fierce  $\text{feo}$  breakdown  $\text{co}$  exudates c. In low-temperature phase because the porosity given photo-cell and higher, precipitation of c easily be given photo-cell and adsorption in stomatal surface and form shading defects.

It is an economic index. Since the greater of the production capacity of the single kiln, the less of the investment and the cost.

## 8, The environment production level

The modern kiln must enjoy a high capacity of environment protection. We will measure the capacity of the environment production by the emission quantity of the  $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$  etc and the influence of the temperature rising and noise to the workshop.