

# 景德镇陶瓷学院科技艺术学院

## 本科生毕业论文（设计）

题目：年产 100 万外墙砖气烧辊道窑设计

学 号：201030453114

姓 名：梁旗阳

院（系）：科技艺术学院

专 业：热能与动力工程

指导教师：蒋方乐

完成日期：2014 年 5 月 18 日

## 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      外墙砖      发生炉煤气

## **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

## 目录

摘要 .....	I
ABSTRACT .....	II
1 前言 .....	1
2 设计任务书及原始资料 .....	2
2.1 毕业设计任务书.....	2
2.2 原始数据.....	3
2.2.1 外墙砖 .....	3
3 窑体主要尺寸的确定 .....	4
3.1 窑内宽的确定.....	4
3.2 窑长及各带长度的确定 .....	4
3.2.1 窑体长度的确定 .....	4
3.2.2 窑体各带长度的确定 .....	4
3.3 窑内高的确定 .....	5
4 烧成制度的确定 .....	6
4.1 温度制度.....	6
4.2 气氛制度：全窑氧化气氛.....	6
4.3 烧成温度曲线.....	6
大致如下： .....	6
5 工作系统的确定 .....	8
5.1 排烟系统.....	8
5.2 燃烧系统.....	8
5.2.1 烧嘴与观火孔的设置.....	8
5.2.2 水煤气输送装置 .....	8
5.3 冷却系统.....	9
5.3.1 急冷通风系统 .....	9
5.3.2 缓冷通风系统 .....	9
5.4 窑体附属结构.....	10
5.4.1 事故处理孔 .....	10
5.4.2 膨胀缝 .....	11
5.4.3 测温孔 .....	11
5.4.4 挡火板、挡火墙的设置.....	11
5.4.5 测压孔 .....	12
5.5 钢架结构.....	12
6 燃料燃烧计算 .....	13
6.1 空气量的计算.....	13
6.1.1 理论空气量的计算.....	13
6.1.2 实际空气量的计算.....	13
6.2 烟气量的计算.....	13
7 窑体材料的确定 .....	14
8 热平衡计算 .....	15
8.1 预热带及烧成带热平衡计算 .....	15

8.1.1 热平衡计算基准及范围 .....	15
8.1.2 热平衡框图 .....	15
8.1.3 热收入项目 .....	16
8.1.4 热支出项目 .....	17
8.1.6 预热带与烧成带的热平衡表 .....	23
8.2 冷却带热平衡计算 .....	24
8.2.1 热平衡计算基准及范围 .....	24
8.2.2 热平衡框图 .....	24
8.2.3 热收入项目 .....	25
8.2.4 热支出项目 .....	25
8.2.6 列出热平衡方程 .....	33
8.2.7 冷却带热平衡表 .....	33
9. 传动计算 .....	35
9.1 传动系统的选择 .....	35
9.2 辊子材质的选择 .....	35
9.3 辊径的确定 .....	36
9.4 辊距的确定 .....	36
9.5 辊子转速的选择 .....	36
9.6 传动过程 .....	37
10 管道尺寸、阻力计算及风机选型 .....	38
10.1 计算抽烟风机的管道尺寸、阻力计算对风机的选型 .....	38
10.1.1 管道尺寸 .....	38
10.1.2 阻力计算 .....	38
10.1.3 风机的选型 .....	39
10.2 其他系统管道尺寸的确定、风机的选型 .....	39
10.2.1 燃料管径的计算 .....	39
10.2.5 风机的选型 .....	42
10.2.5.1 助燃风机 .....	42
11 工程材料概算 .....	44
11.1 窑体材料分段概算 .....	44
11.1.1: 第 1-15 节 .....	44
11.1.2: 第 16-29 节 .....	44
11.1.3 第 30-36 节 .....	44
11.1.4 第 37-50 节 .....	44
11.2 钢材的概算 .....	45
11.2.1 方钢的概算 .....	45
11.2.2 角钢 .....	45
11.3 钢板 .....	45
致谢 .....	46
参考文献 .....	47
附：文献调研报告 .....	48

## 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

### 2.1 毕业设计任务书

院（系） 工程系

2013 年 12 月 2 日

专业	热能工程	班级	热工 2010 级														
学生姓名	梁旗阳	指导教师	蒋方乐														
题目	年产 100 万平方米外墙砖气烧辊道窑设计																
<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+Na<sub>2</sub>O</td> <td>灼减</td> </tr> <tr> <td>74.21</td> <td>13.68</td> <td>3.01</td> <td>1.22</td> <td>1.03</td> <td>0.53</td> <td>6.32</td> </tr> </table> <p>2、入窑水分：&lt;1.5%</p> <p>3、产品合格率：95%</p> <p>4、烧成周期：60 分钟（全氧化气氛）</p> <p>5、最高烧成温度：1150℃</p> <p>6、产品规格：300×300×9（mm）单件质量：1.66Kg/件</p> <p>7、燃料：人工煤气</p> <p>8、年工作日：300 天</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	灼减	74.21	13.68	3.01	1.22	1.03	0.53	6.32
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	灼减											
74.21	13.68	3.01	1.22	1.03	0.53	6.32											
<p>基本要求（含成果要求）：</p> <p>1、设计结构合理，计算正确；</p> <p>2、制图规范，图面整洁，图纸齐全（窑体结构、管路、钢架、传动、异型砖等）；</p> <p>3、说明书完整，详细；</p> <p>符合计算机绘图，外文翻译等毕业设计要求。</p>																	
<p>工作进度计划：</p> <p>第 5 周 查阅资料，并完成文献综述</p> <p>第 6~7 周 完成设计计算</p> <p>第 8~12 周 完成设计绘图</p> <p>第 13~14 周 编写设计说明书。</p>																	

## 2.2 原始数据

### 2.2.1 外墙砖

主要研究内容和设计技术参数：

1、坯料组成：(%)

$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{CaO}$	$\text{MgO}$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$	灼减
74.21	13.68	3.01	1.22	1.03	0.53	6.32

2、入窑水分：<1.5%

3、产品合格率：95%

4、烧成周期：60 分钟（全氧化气氛）

26、产品规格：300×300×9（mm）单件质量：1.66Kg/件

7、燃料：人工煤气（发生炉煤气） $Q_{\text{net}}=6.0\text{MJ}/\text{m}^3$

8、年工作日：300 天



### 3 窑体主要尺寸的确定

#### 3.1 窑内宽的确定

产品的尺寸为 $300 \times 300 \times 9$ ，设制品的收缩率为10%。由坯体尺寸=产品尺寸/（1-烧成收缩），得坯体尺寸为： $333 \times 333\text{mm}$

两侧坯体与窑墙之间的距离取150mm，设内宽  $B=2.3\text{m}$ ，计算宽度方向坯体排列的块数为： $n = (2300 - 150 \times 2) / 333 = 6.01$ ，确定并排6块。

最后，确定窑内宽  $B = 333 \times 6 + 150 \times 2 = 2298\text{mm}$ ，取2300mm。

#### 3.2 窑长及各带长度的确定

##### 3.2.1 窑体长度的确定

$$\begin{aligned}\text{窑容量} &= (\text{年产量} \times \text{烧成周期}) \div [\text{年工作日} \times 24 \times \text{产品合格率} \times (1 - \text{收缩率})] \\ &= (1000000 \times 60) \div (300 \times 24 \times 95\% \times 60 \times 0.9) \\ &= 162.44 (\text{m}^3 / \text{窑})\end{aligned}$$

装窑密度=每米排数 $\times$ 每排片数 $\times$ 每片砖面积

$$\begin{aligned}&= (1000 \div 333) \times 6 \times (0.3 \times 0.3) \\ &= 1.62 (\text{m}^2 / \text{每米窑长})\end{aligned}$$

窑长=窑炉每小时进入生坯 $\div$ 装窑密度

$$\begin{aligned}&= 162.44 \div 1.62 \\ &= 100.27 (\text{m})\end{aligned}$$

利用装配式，由若干节联接而成，设计每节长度为2000mm，节间联接长度为8mm 总长度为2008mm，窑的节数 $= 91.2 \div 2.008 = 49.9$ 节，取整为50节。

所以算出窑长为  $L = 50 \times 2000 = 100000\text{m} = 100\text{m}$

##### 3.2.2 窑体各带长度的确定

预热带占全窑总长的 30.1%，节数 $= 50 \times 30.1\% = 15.05$ ，取 15 节，长度 $= 15 \times 2000 = 30000\text{mm}$ ；

烧成带占全窑总长的 28.56%，节数 $= 50 \times 28.4\% = 14.2$ ，取 14 节，长度 $= 14 \times 2000 = 28000\text{mm}$ ；

冷却带占全窑总长的 41.5%，节数 $=50 \times 41.5\% = 20.75$ ，取 21 节，长度 $=21 \times 2000 = 42000\text{mm}$ 。

### 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（辊道中心线至窑底或隔烟板的距离）之和。

辊上高应大于制品高度，考虑到玻化砖的高度小，又是单层焙烧，只要保证气流顺畅即可。

从理论上来说对焙烧建筑瓷砖的辊道窑辊下高最好应大于砖对角线长度，但由于该制品较大，若按此计算会造成内高太大，既增大了窑墙散热，又不利于窑内传热。由于制品从辊上掉下，一般都发生了破损，尺寸都比整砖小了，故据各地

辊道窑实际状况来看取辊下高 400mm。表 3-1 窑内高度表

	1-15 节	16-29 节	30-50 节
辊上高 (mm)	300	360	300
辊下高 (mm)	400	460	400
内总高 (mm)	700	820	700

## 4 烧成制度的确定

### 4.1 温度制度

①烧成周期：60min

②各带划分

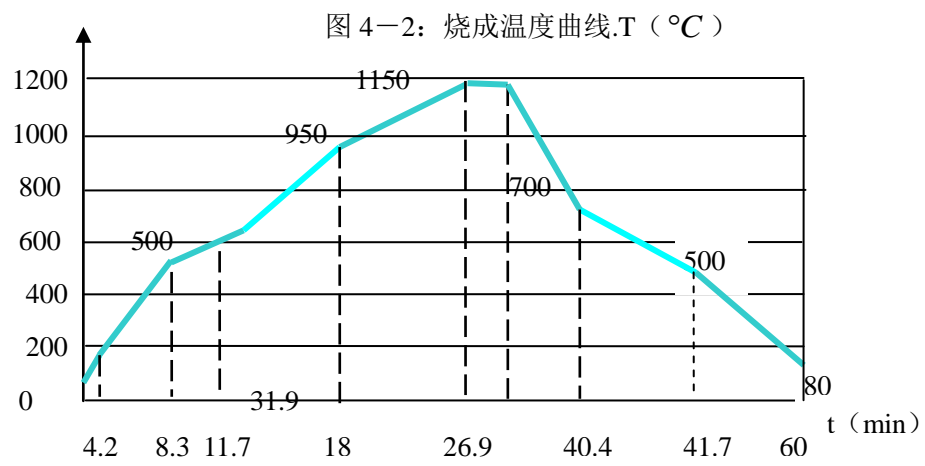
表 4-1 各段温度的划分、升温速率与窑节数分布

		温度/℃	时间/min	升温速率 /℃·min	长度比例/%		长度/节	
预热带		20~200	4.2	42.86	6	30.18	3	15
		200~500	4.1	73.17	8		4	
		500~600	3.4	29.4	6.18		3	
		600~950	6.3	66.03	10		5	
烧成带		950~1150	8.9	27.85	14.9	20.56	10	14
		1150	5	0	5.66		4	
冷却带	急冷带	1150~700	8.5	55.29	16.04	49.26	8	21
	缓冷带	700~500	11.3	19.42	17.55		9	
	快冷带	500~80	8.3	50.6	15.67		8	
累计			60		100		50	

4.2 气氛制度：全窑氧化气氛

### 4.3 烧成温度曲线

大致如下：



## 5 工作系统的确定

辊道窑的工作系统包括排烟系统、燃烧系统、冷却系统等。

### 5.1 排烟系统

明焰辊道窑的燃烧火焰直接进入窑道内的辊道上下空间，对制品直接进行加热。为提高热利用率，一般均采用集中排烟方式，即在窑头不远处的窑顶、窑底设置排烟口，烟气自烧成带向预热带流动，至窑头排烟口抽出，经排烟总管、排烟机排出室外。本设计也采用集中排烟的方案。

在第一，二，四，六的每节窑顶和窑底分别设置三对排烟口进行排烟。分别设有六个  $\Phi 260\text{mm}$  的排烟支管，第一、二节的排烟支管伸入窑内且开口向着烟气的流动方向；烟气从各排烟口进入排烟支管，然后通过每节的排烟支管进入上下排烟分管进，最后通过  $\Phi 650\text{mm}$  的总排烟管由排烟机排出室外。

### 5.2 燃烧系统

#### 5.2.1 烧嘴与观火孔的设置

为有利于燃烧带的温度调节，采用 WDH-TCC4 型燃气高速烧嘴。

在第 16-24 节辊上、辊下设置烧嘴，每节设置 2 对，并在辊上下方各个烧嘴对侧窑墙分别设置一个火焰观察孔；在 25~29 节辊上下每节设 4 对烧嘴，对称布置；全窑烧嘴共 76 个。在每个烧嘴的对侧窑墙应设观察孔，以便及时观察窑内和对面烧嘴燃烧情况。

#### 5.2.2 水煤气输送装置

从煤气站送过来的煤气，由总管路送到车间，然后经过滤器、压力表、自动调节蝶阀和气动安全阀，由自动调压器把总管煤气压力降到窑炉适用的压力并稳压后送到窑炉上方的煤气总道。本系统中煤气主管处压力为  $2.0 \times 10^4 - 2.5 \times 10^4 \text{ Pa}$ ，经稳压后压力稳定在  $1.2 \times 10^4 \text{ Pa}$ 。

燃烧系统分为若干个主调节单元，每个单元又分为辊上信道温度调节和辊下信道温度调节，各单元所用燃气分别从窑上煤气总管道引出，经单元手动球阀和由电动执行器带动的蝶阀后送至本调节单元的各烧嘴。在每控制单元设置一电磁阀，有断电保护功能，防止断电后煤气泄入窑内。

### 5.3 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放出的热量来加热空气，余热风可供干燥或助燃风用，达到节能的目的。

#### 5.3.1 急冷通风系统

从烧成最高温度至 700℃ 以前，制品中由于液相的存在而具有塑性，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直接风冷是在辊上下设置横穿窑断面的冷风喷管。每根喷管上均匀地开有圆形式出风口，对着制品上下均匀地喷冷风，达到急冷效果。由于急冷段温度高，横穿入窑的冷风管须用耐热钢制成，管径为 40~100mm。本设计也采用此种结构，用 7 节窑长进行急冷，每节辊上下均分布 6 对  $\phi 50$  急冷风管（急冷的前半节不设置急冷风管），交错排列横穿过窑内，窑内部分的管子开圆孔若干。

#### 5.3.2 缓冷通风系统

制品冷却到 700~400℃ 范围时，是产生冷裂的危险区，应严格控制该段冷却降温速率。为达到缓冷目的，一般采用热风冷却制品的办法。大多数辊道窑在该段设置 3~6 处抽热风口，使从急冷段与窑尾快冷段过来的热风流经制品，让制品慢速均匀地冷却。

首先采用抽热风的方法，在窑炉的第 38~46 节每隔一节窑顶及窑底分别设置 1 对抽热风口，对称布置，抽走来至急冷和快冷的热风，这样可缓和降温速率，达到抽走急冷段的热风的目的。

#### 5.3.3 快冷通风系统

制品冷却到 400℃ 以后就可以快速冷却，由于制品温度较低，传热动力温差小，即使允许快冷也不易达到。而此段冷却也很重要，如达不到快冷目的出窑产品温度大于 80℃ 时，制品即使在窑内没有开裂，也会因出窑温度过高而出窑炸裂，故要加强该段的吹风冷却。

本设计采用在终冷带第一区（48-49），配置支管孔径为 75mm 的小孔直接冷却系统，在辊面上、下室内空气并在窑内形成空气回路来冷却，由与高压小流量冷

却形成，所以冷却后的热空气温度比较高，可回收做余热利用。在终冷二区 50 节，用低压大流量轴流风机强制冷却，将砖坯温度进一步降低。

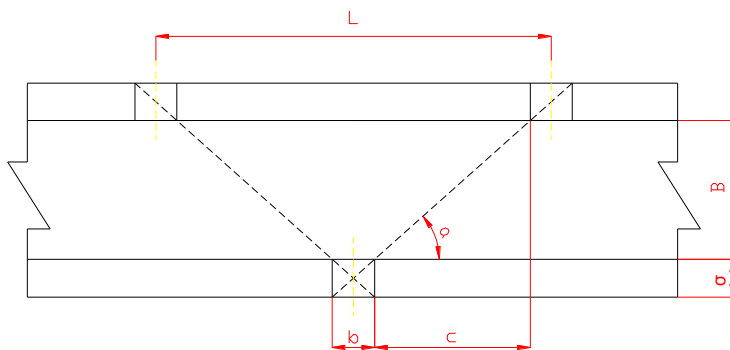
## 5.4 窑体附属结构

### 5.4.1 事故处理孔

建陶工业辊道窑多用来烧制墙地砖、瓷质砖等片状制品，一般将砖坯直接放在辊子上，常会发生断砖（坯）现象。为便于处理断辊、卡砖、起摞等事故，在窑侧墙每隔一定间距须设置事故处理孔。

事故处理孔一般设在辊下，且事故处理孔下孔面与窑底平齐，以便清除出落在窑底上的砖坯碎片。事故处理孔大小尺寸通常宽 240~450mm，高 65~135mm。同时，为加强窑体密封，应尽量少设置事故处理孔，而为了便于处理事故又希望多设置，要很好解决这一矛盾，必须合理布置事故处理孔。两侧墙事故处理一般均采取交错布置的形式。为了能清除窑内任何位置上的事故而不造成“死角”，两相邻事故处理孔间距不应大于事故处理孔对角线延长线与对侧内壁交点。

事故处理孔的尺寸确定规则如下如图 3.1 所示：



由图可知：  $\cot \alpha = \frac{b}{\delta} = \frac{c}{B}$ ，所以：  $c = B \times \cot \alpha = B \times \frac{b}{\delta}$ ，

则：  $L = 2(b+c) = 2b \frac{1+B}{\delta}$ ，因此，  $L \leq 2b \frac{1+B}{\delta}$ ；

取  $b=360 \text{ mm}$ ，  $L=2 \times 360 (1+3600/150+114) = 9821 \text{ mm}$

$L$  应比求出值稍小些，取  $L=4 \times 2000=8000 \text{ mm}$

本设计设定事故处理孔的尺寸为：  $360 \times 132 \text{ mm}$ 。对于事故处理孔要进行密封，内部挡火材料做成大盖板，间隙填入陶瓷棉，最外部的钢板密封前段还需

要用一定的保温材料。密封的目的是为了防止热气体外溢，冷气体漏入等引起的热损失对产品的烧制产生影响。

#### 5.4.2 膨胀缝

窑体受热膨胀产生很大的热应力，为避免窑体开裂、挤坏，必须重视窑体的膨胀缝的留设，孔砖间也应留设。窑体膨胀缝应在窑体的每一节的中间，保证节间气密性，所以本设计的窑体膨胀缝（10mm）设置在每节的中部。

#### 5.4.3 测温孔

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，一般在窑道顶及火道侧墙留设测温孔及安装热电偶。一般高温成瓷区每节设一对，辊上设在窑顶，辊下设在窑侧墙；两侧墙的侧温孔交错布置。除高温区外一般是按烧嘴控制区 2-3 节设置一对测温孔，并且设在烧嘴对侧窑墙上。本设计在 1~16 节每奇数节于窑顶布置，16~36 节从 20 节开始隔节在窑顶、窑侧墙交错布置，急冷段奇数节窑顶布置，缓冷段从 37 节开始每隔 2 节在窑顶布置直至第 48 节。在烧成带 16-29 节用 S 型热电偶，其他均用 K 型。选用 32 套热电偶，其中 S 型 14 支，K 型 18 支，窑炉的各执行机构通过工业 PLC 集中控制，传动速度由变频器调控。窑炉的进砖或出砖情况通过专门设置的摄像机和监视器来监控。排烟、助燃风机设报警开关，通过压力开关与窑炉的燃烧系统进行联锁。

在烧成曲线的关键点留设氧化末段、晶型转化点、釉始熔点、成瓷段、急冷结束

#### 5.4.4 挡火板、挡火墙的设置

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，辊下砌筑挡墙，辊上插入挡板，缩小该处工作通道面积，以增加气流阻力，便于压力与温度制度的调节。在实际生产过程中，由于生产产品品种会发生变化，故可能需要调节挡墙挡板的高度，所以在布置的挡墙挡板为活动的，以便于操作人员进行调节。本设计挡板和挡墙设置如下：急冷与保温带交接第 29 和 30 节之间，急冷和缓冷交接第 36 和 37 节之间，高温带第 23 和 24 节之间，预热带第 20 节和 21 节之间，第 10 和第 11 节之间，预热带第 5 和 6 节之间。



#### 5.4.5 测压孔

压力制度中零压面的位置控制特重要，一般控制在预热带和烧成带的交界面附近。若零压过多移向预热带，则烧成带正压过大。有大量热气体逸出窑外，不但损失热量，而且恶化操作条件；若零压过少移向烧成带，则预热带负压大，易漏入大量冷风，造成气体分层，上下温差过大，延长了烧成周期，消耗了燃料。故本设计在第 17、22、26 节每节的窑侧墙观察孔位置布置了测压孔。

#### 5.5 钢架结构

辊道窑钢架结构起着加固窑体作用，而钢架本身又是传动系统的机身。本设计采用金属框架装配式钢架结构，立柱、上下侧梁、下横梁、底侧梁等均采用  $60\text{mm} \times 60\text{mm} \times 4\text{mm}$  的方型钢管焊接而成。在一节窑体钢架中，每侧共有立柱 3 根，两段的立柱上揩油供 M8 螺栓节间联接的 4 个小孔。下横梁每节共 3 根，焊在底侧梁上，下横梁上焊有  $50 \times 50\text{mm}$  的等边角钢作底架，以便在其上搁置底板。上下侧板可用  $2 \sim 3\text{mm}$  钢板冲压制成，吊顶梁采用  $50 \times 32 \times 4\text{mm}$  的角钢。窑底支撑采用可调节的方式。

## 6 燃料燃烧计算

### 6.1 空气量的计算

#### 6.1.1 理论空气量的计算

根据原始数据  $Q_d=6.0$  (kJ/m<sup>3</sup>)

根据经验公式计算理论空气量:

$$L_o=0.2 Q_d / 1000 + 0.03 = 0.21 \times 6000 / 1000 + 0.03 = 1.29 \text{ (Nm}^3/\text{Nm}^3\text{)}$$

#### 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  $a=1.3$ , 则实际空气需要量为:

$$L_a = L_o \times 1.3 = 1.67 \text{ (Nm}^3/\text{Nm}^3\text{)}$$

### 6.2 烟气量的计算

根据经验公式计算实际烟气量为:

$$V_g = a L_o + 0.98 - 0.03 Q_d / 1000 = 1.3 \times 1.29 + 0.98 - 0.03 \times$$

$$6000 / 1000 = 2.47 \text{ (Nm}^3/\text{Nm}^3\text{)}$$

### 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  $c_a=1.3$  KJ/ (Nm<sup>3</sup>·°C)

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

现设  $t_{th}=1700^\circ\text{C}$ , 燃烧产物温度  $c_g=1.603$  kJ/m<sup>3</sup>·°C。则理论燃烧温度为:

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

$$t_{th} = (6000 + 13.4 \times 20 + 1.3 \times 20 \times 1.67) \div (2.47 \times 1.603) = 1628.4^\circ\text{C}$$

$(1700 - 1628.4) / 1700 < 5\%$ , 所设温度合理。

取高温系数为 0.75, 则实际温度为:

$t = 0.75 \times 1700 = 1275^\circ\text{C}$ , 比最高烧成温度 1150 高出 125°C, 符合烧成要求, 认为合理。

## 7 窑体材料的确定

### 7.1 窑体材料及厚度的确定：列表表示全窑所用材料及厚度

表 7-1 窑体材料和厚度表（1）

1-15、37-50 节					
名称		材质	使用温(℃)	导热系数[W / (m•℃)]	厚度 (mm)
窑顶	耐火层	莫来石轻质高铝砖	1600	$0.310+0.176 \times 10^{-3}t$	230
	隔热层	硅酸盐耐火纤维束	1150	0.1~0.3	150
窑墙	耐火层	莫来石轻质高铝砖	1600	$0.310+0.176 \times 10^{-3}t$	230
	隔热层	硅酸盐耐火纤维束	1350	0.1~0.3	190
窑底	耐火层	莫来石轻质高铝砖	1600	$0.310+0.176 \times 10^{-3}t$	230
	隔热层	硅藻土砖	900	$0.063+0.14 \times 10^{-3}t$	130
	膨胀层	硅酸盐耐火纤维束	1350	0.1~0.3	

表 7-1 窑体材料和厚度表（2）

16-36 节					
名称		材质	使用温度(℃)	导热系数[W / (m•℃)]	厚度 (mm)
窑顶	耐火层	莫来石轻质高铝砖	1600℃	$0.310+0.176 \times 10^{-3}t$	230
	隔热层	硅酸盐耐火纤维束	1150	0.1~0.3	150
窑墙	耐火层	莫来石轻质高铝砖	1600℃	$0.310+0.176 \times 10^{-3}t$	230
	隔热层	混合纤维	1350	0.12	120
窑底	耐火层	莫来石轻质高铝砖	1600℃	$0.310+0.176 \times 10^{-3}t$	130
	隔热层	硅藻土砖	900	$0.063+0.14 \times 10^{-3}t$	130
	膨胀层	硅酸盐耐火纤维束	1350	0.1~0.3	100

## 8 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1~4节热源为烟气余热，即利用烟气带走显热，但是在计算时，应以第6节坯体计算配体带入显热，以第5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。

### 8.1 预热带及烧成带热平衡计算

#### 8.1.1 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。

#### 8.1.2 热平衡框图

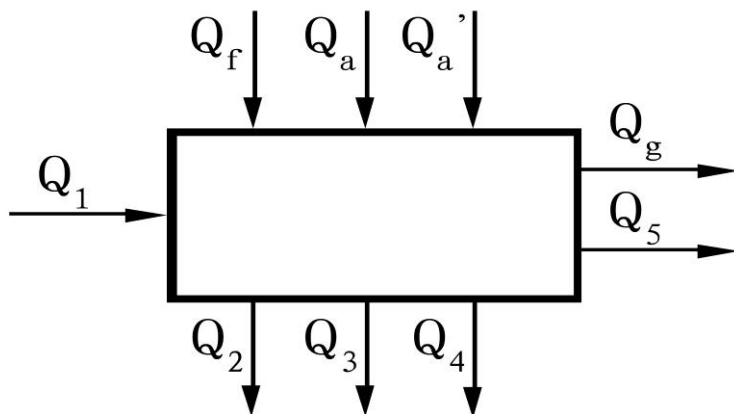


图8-1预热带和烧成带热平衡示意图

- |                    |                    |
|--------------------|--------------------|
| $Q_1$ ——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

### 8.1.3 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。

#### 8.1.3.1 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： $G_1$  ——入窑制品质量 (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 6.32%，瓷砖单重 1.66 公斤

$$\text{入窑干制品质量 } G_r = \frac{1000000}{300 \times 24 \times 95\%} \times \frac{1.66}{0.3 \times 0.3} = 2696.56 \text{ (kg/h)}$$

入窑制品含自由水 1.5%

$$\text{入窑胚体质量 } G_1 = \frac{2696.56}{0.9368 \times 0.985} = 2922.315 \text{ (kg/h)}$$

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： $Q_1 = G_1 c_1 t_1 = 2922.315 \times 0.86 \times 20 = 50263.812 \text{ (KJ/h)}$

#### 8.1.3.2 燃料带入化学热及显热 $Q_f$

发生炉煤气低热值  $Q_{net} = 6000 \text{ (kJ/Nm}^3\text{)}$

入窑发生炉煤气温度  $t_f = 20^\circ\text{C}$ ，20°C 时发生炉煤气气  $c_f = 13.4 \text{ KJ/(Nm}^3 \cdot ^\circ\text{C)}$

设天然气消耗量为  $X \text{ m}^3/\text{h}$

$$Q_f = X(Q_{net} + c_f t_f) = X(6000 + 13.4 \times 20) = 6268X \text{ (KJ/h)}$$

#### 8.1.3.3 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  $V_a = 1.67X \text{ (Nm}^3/\text{h)}$

$$\text{所以 } Q_a = V_a t_a c_a X = 1.67 \times 1.30 \times 20X = 43.42X \text{ (KJ/h)}$$

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

漏入空气总量： $V_a = X(\alpha_g - \alpha) V_a^0 = X(2.0 - 1.3) \times 1.29 = 0.903X \text{ (m}^3/\text{h)}$

$$\text{所以 } Q'_a = V_a c_a t_a = 0.903X \times 1.3 \times 20 = 23.478X \text{ (KJ/h)}$$

### 8.1.4 热支出项目

#### 8.1.4.1 产品带出显热 $Q_2$ (KJ/h)

产品质量  $G_3 = 2696.56 \text{ (g/h)}$

出烧成带产品温度  $t_2 = 1150^\circ\text{C}$ ，表可知：产品平均比热为：1.14

$$\text{所以 } Q_2 = G_3 c_2 t_2 = 2696.56 \times 1150 \times 1.14 = 3535190.16 \text{ (KJ/h)}$$

#### 8.1.4.2 体散热损失 $Q_3$

将计算分为 2 部分，即第 8～15 节： $500-950^\circ\text{C}$ ，取平均值  $725^\circ\text{C}$ ；第 16～26 节： $950-1150^\circ\text{C}$  取平均值为  $1050^\circ\text{C}$ 。

i 第 8~15 节:窑外壁表面平均温度  $40^{\circ}\text{C}$ ，窑内壁平均温度  $725^{\circ}\text{C}$

a. 窑顶

窑	耐火层	莫来石轻质高铝砖	$1600^{\circ}\text{C}$	$0.310+0.176\times 10^{-3}\text{t}$	230
顶	隔热层	硅酸盐耐火纤维束	1150	0.1~0.3	150

表8-2 窑顶

所用材料的导热系数:

莫来石轻质高铝砖:  $0.310+0.176\times 10^{-3}\text{t}$

硅酸盐耐火纤维束: 0.1~0.3

硅藻土砖:  $0.063+0.14\times 10^{-3}\text{t}$

窑内壁平均壁温  $t_1 = \frac{500+950}{2} = 725^{\circ}\text{C}$

莫来石轻质高铝砖  $\lambda_1 = 0.31+0.176\times 10^{-3}\times 725 = 0.4376\text{W/m}\cdot^{\circ}\text{C}$

硅酸盐耐火纤维束  $\lambda_2 = 0.2\text{W/m}\cdot^{\circ}\text{C}$

$\delta_1 = 0.23\text{m}$ ;  $\delta_2 = 0.15\text{m}$

窑外壁表面平均温度  $t_a = 40^{\circ}\text{C}$

平均热流密度:

$$q = \frac{t_1 - t_a}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} = \frac{725 - 40}{\frac{0.23}{0.4376} + \frac{0.15}{0.2}} = 537.005 \text{ (W/m}^2\text{)}$$

窑顶散热面积:

$$A_{\text{顶}} = [2.3 + 2 \times (0.23 + 0.15)] \times 2.0 \times 8 = 48.96\text{m}^2$$

则  $Q_{\text{顶}} = qA_{\text{顶}} = 537.005 \times 48.96 \times 3.6 = 94650.35328\text{kJ/h}$

b. 窑墙

窑	耐火层	莫来石轻质高铝砖	$1600^{\circ}\text{C}$	$0.310+0.176\times 10^{-3}\text{t}$	230
墙	隔热层	硅酸盐耐火纤维束	1350	0.1~0.3	190

表8-3 窑墙

所用材料的导热系数:

莫来石轻质高铝砖:  $0.310+0.176\times 10^{-3}\text{t}$

硅酸盐耐火纤维束: 0.1~0.3

硅藻土砖:  $0.063+0.14\times 10^{-3}t$

$$\text{窑内壁平均壁温 } t_1 = \frac{500+950}{2} = 725^\circ\text{C}$$

莫来石轻质高铝砖  $\lambda_1 = 0.31+0.176\times 10^{-3}\times 725 = 0.4376\text{W/m}\cdot^\circ\text{C}$

硅酸盐耐火纤维束  $\lambda_2 = 0.2\text{W/m}\cdot^\circ\text{C}$

$\delta_1 = 0.23\text{m}; \delta_2 = 0.19\text{m};$

平均热流密度:

$$q = \frac{t_1 - t_a}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} = \frac{725 - 40}{\frac{0.23}{0.4376} + \frac{0.19}{0.2}} = 464.220 \text{ (W/m}^2\text{)}$$

窑墙散热面积:

$$A_{\text{墙}} = 0.7 \times 2.0 \times 8 = 11.2\text{m}^2$$

$$\text{则 } Q_{\text{墙}} = 2qA_{\text{墙}} = 2 \times 464.220 \times 11.2 \times 3.6 = 39306.436 \text{ (kJ/h)}$$

### C. 窑底

窑底	耐火层	莫来石轻质高铝砖	1600℃	$0.310+0.176\times 10^{-3}t$	230
	隔热层	硅藻土砖	900	$0.063+0.14\times 10^{-3}t$	130
	膨胀层	硅酸盐耐火纤维束	1350	0.1~0.3	100

表8-4 窑底

所用材料的导热系数:

莫来石轻质高铝砖:  $0.310+0.176\times 10^{-3}t$

硅酸盐耐火纤维束: 0.1~0.3

硅藻土砖:  $0.063+0.14\times 10^{-3}t$

$$\text{窑内壁平均壁温 } t_1 = \frac{500+950}{2} = 725^\circ\text{C}$$

莫来石轻质高铝砖  $\lambda_1 = 0.31+0.176\times 10^{-3}\times 725 = 0.4376\text{W/m}\cdot^\circ\text{C}$

硅酸盐耐火纤维束  $\lambda_2 = 0.2\text{W/m}\cdot^\circ\text{C}$

硅藻土砖  $\lambda_3 = 0.063+0.14\times 10^{-3}\times 725 = 0.1645\text{W/m}\cdot^\circ\text{C}$



$$\delta_1=0.23\text{m}; \delta_2=0.1\text{m}; \delta_3=0.13\text{m};$$

平均热流密度:

$$q = \frac{t_1 - t_a}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3}} = \frac{725 - 40}{\frac{0.23}{0.4376} + \frac{0.1}{0.2} + \frac{0.13}{0.1645}} = 377.230 \text{ (W/m}^2\text{)}$$

$$\text{窑底散热面积: } A_{\text{底}} = 48.96 \text{ m}^2$$

$$\text{则 } Q_{\text{底}} = qA_{\text{底}} = 377.230 \times 48.96 \times 3.6 = 66489.05088 \text{ (kJ/h)}$$

ii 第 16-26 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  $1050^\circ\text{C}$

d. 窑顶

窑	耐火层	莫来石轻质高铝砖	$1600^\circ\text{C}$	$0.310 + 0.176 \times 10^{-3}t$	0.23
顶	隔热层	硅酸盐耐火纤维束	1150	0.1~0.3	150

表8-5 窑顶

所用材料的导热系数:

莫来石轻质高铝砖:  $0.310 + 0.176 \times 10^{-3}t$

硅酸盐耐火纤维束: 0.1~0.3

$$\text{窑内壁平均壁温 } t_1 = \frac{950 + 1150}{2} = 1050^\circ\text{C}$$

$$\text{莫来石轻质高铝砖 } \lambda_1 = 0.31 + 0.176 \times 10^{-3} \times 1050 = 0.4948 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$\text{硅酸盐耐火纤维束 } \lambda_2 = 0.2 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$\delta_1=0.23\text{m}; \delta_2=0.15\text{m}$$

窑外壁表面平均温度  $t_a = 80^\circ\text{C}$

平均热流密度:

$$q = \frac{t_1 - t_a}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} = \frac{1050 - 80}{\frac{0.23}{0.4898} + \frac{0.15}{0.2}} = 795.3564 \text{ (W/m}^2\text{)}$$

窑顶散热面积:

$$A_{\text{顶}} = [2.3 + 2 \times (0.23 + 0.15)] \times 2.0 \times 14 = 85.68 \text{ m}^2$$

$$\text{则 } Q_{\text{顶}} = qA_{\text{顶}} = 795.3564 \times 85.68 \times 3.6 = 245326.10024 \text{ kJ/h}$$

## e. 窑墙

窑	耐火层	莫来石轻质高铝砖	1600℃	$0.310 + 0.176 \times 10^{-3}t$	230
墙	隔热层	混合纤维	1350	0.12	120

表8-6 窑墙

所用材料的导热系数:

莫来石轻质高铝砖:  $0.310 + 0.176 \times 10^{-3}t$

混合纤维: 0.12

$$\text{窑内壁平均壁温 } t_1 = \frac{950 + 1150}{2} = 1050 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{莫来石轻质高铝砖 } \lambda_1 = 0.31 + 0.176 \times 10^{-3} \times 1050 = 0.495 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$\text{混合纤维 } \lambda_2 = 0.12 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$$

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

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

平均热流密度:

$$q = \frac{t_1 - t_a}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} = \frac{1050 - 80}{\frac{0.23}{0.495} + \frac{0.12}{0.12}} = 662.27576 \text{ (W/m}^2\text{)}$$

窑顶散热面积:

$$A_{\text{墙}} = 0.82 \times 2.0 \times 14 = 22.96 \text{ m}^2$$

$$\text{则 } Q_{\text{墙}} = 2qA_{\text{墙}} = 2 \times 662.27576 \times 22.96 \times 3.6 = 109482.130437 \text{ kJ/h}$$

## f. 窑底

窑	耐火层	莫来石轻质高铝砖	1600℃	$0.310 + 0.176 \times 10^{-3}t$	130
底	隔热层	硅藻土砖	900	$0.063 + 0.14 \times 10^{-3}t$	130
	膨胀层	硅酸盐耐火纤维束	1350	0.1~0.3	100

表8-7 窑底

所用材料的导热系数:

莫来石轻质高铝砖:  $0.310+0.176 \times 10^{-3}t$

硅藻土砖:  $0.063+0.14 \times 10^{-3}t$

硅酸盐耐火纤维束:  $0.1 \sim 0.3$

窑内壁平均壁温  $t_1 = \frac{950+1150}{2} = 1050^\circ\text{C}$

莫来石轻质高铝砖  $\lambda_1 = 0.31+0.176 \times 10^{-3} \times 1050 = 0.495\text{W/m} \cdot ^\circ\text{C}$

硅藻土砖  $\lambda_2 = 0.063+0.14 \times 10^{-3} \times 1050 = 0.21\text{W/m} \cdot ^\circ\text{C}$

硅酸盐耐火纤维束  $\lambda_3 = 0.2\text{W/m} \cdot ^\circ\text{C}$

$\delta_1 = 0.13\text{m}$ ;  $\delta_2 = 0.13\text{m}$ ;  $\delta_3 = 0.10\text{m}$ ;

平均热流密度:

$$q = \frac{t_1 - t_a}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3}} = \frac{1050 - 80}{\frac{0.13}{0.495} + \frac{0.13}{0.21} + \frac{0.1}{0.2}} = 702.046988 \text{ (W/m}^2\text{)}$$

窑底散热面积:  $A_{\text{底}} = 85.68 \text{ m}^2$

则  $Q_{\text{底}} = qA_{\text{底}} = 702.046988 \times 85.68 \times 3.6 = 216544.98935462 \text{ (kJ/h)}$

所以窑体总散热量为:

$$\begin{aligned} Q_3 &= 94650.35328 + 39306.436 + 66489.05088 + 245326.10024 + 109482.130437 + 216 \\ &544.98935462 \\ &= 771799.06019162 \text{ (kJ/h)} \end{aligned}$$

#### 8.1.4.3 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  $G_w = G_1 - G_r = 2922.315 - 2696.56 = 225.755 \text{ (kg/h)}$

烟气离窑温度  $t_g = 200^\circ\text{C}$

所以  $Q_w = G_w (2490 + 1.93 t_g) = 225.755 \times (2490 + 1.93 \times 200) = 649271.38 \text{ (kJ/h)}$

ii 其余物化反应耗热  $Q_r$

用  $Al_2O_3$  反应热近似代替物化反应热

入窑干制品质量  $G_r = 2696.56$  (kg/h),  $Al_2O_3$  含量=13.68%

$$Q_r = G_r \times 2100 \times Al_2O_3 \% = 2696.56 \times 2100 \times 13.68\% = 774667.7568 \text{ (kJ/h)}$$

总的物化反应耗热:

$$Q_4 = Q_w + Q_r = 649271.38 + 774667.7568 = 1423939.1368 \text{ (kJ/h)}$$

#### 8.1.4.4 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:

$$V_g = [V_{g0} + (\alpha_g - \alpha) L_o] X = [2.47 + (2.0 - 1.3) 1.29] X = 3.373X$$

取烟气离窑温度  $t_g = 200^\circ\text{C}$ , 烟气比热  $c_g = 1.445 \text{ KJ/(Nm}^3 \cdot ^\circ\text{C})$  则有:

$$Q_g = V_g t_g c_g = 3.373X \times 200 \times 1.445 = 974.797X$$

#### 8.1.4.5 其它热损失 $Q_5$ (kJ/h)

根据经验占热收入的5%

$$\begin{aligned} Q_5 &= (Q_1 + Q_f + Q_a + Q'_a) \times 0.05 \\ &= (50263.812 + 6268X + 43.42X + 23.478X) \times 0.05 = 2513.1906 + 316.7449X \end{aligned}$$

#### 8.1.5 列出热平衡方程式

由热收入=热支出得:

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

$$\text{左边} = 50263.812 + 6268X + 43.42X + 23.478X$$

$$\text{右边} = 3535190.16 + 771799.0602 + 1423979.1368 + 2513.1906 + 316.7449X + 974.797X$$

计算得出  $x = 1126.8643 \text{ (Nm}^3/\text{h)}$

即每小时需发生炉煤气  $1126.8643 \text{ (Nm}^3/\text{h)}$ , 每小时烧成产品质量  $2696.56$  所以,  
单位质量得产品热耗为:  $\frac{1126.8643 \times 6000}{2696.56} = 2507.337 \text{ (kJ/kg)}$

#### 8.1.6 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	50263.812	0.701	产品带走显热	3535190.16	49.176
燃料化学显热	7063185.432 <sub>4</sub>	98.25	窑体散热	771799.0602	10.734
助燃空气显热	48928.44790 <sub>6</sub>	0.681	物化反应耗热	1423979.136 <sub>8</sub>	19.81
漏入空气显热	26456.52	0.368	其它热损失	359441.7106 <sub>2</sub>	5.0
			烟气带走显热	1098463.939	15.28
总热量	7188834.21	100	总散热	7188834.21	100

## 8.2 冷却带热平衡计算

### 8.2.1 热平衡计算基准及范围

时间基准：1h； 温度基准：0℃

### 8.2.2 热平衡框图

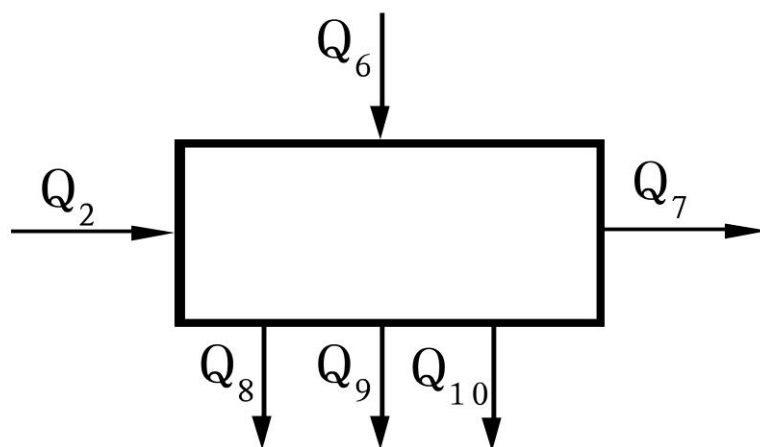


图8—9 冷却带热平衡示意图

$Q_2$ ——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

### 8.2.3 热收入项目

#### 8.2.3.1 产品带入显热 $Q_2$

制品带入显热在上面已经算出： $Q_2 = 3535190.16 \text{ kJ/h}$

#### 8.2.3.2 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： $Q_6 = V_a c_a t_a = 26 V_x$

### 8.2.4 热支出项目

#### 8.2.4.1 制品带走显热 $Q_7$

出窑时产品的质量  $G_3 = 2696.56 \text{ (Kg/h)}$ ，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：

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

$$\text{则 } Q_7 = G_3 c_7 t_7 = 2696.56 \times 80 \times 0.8608 = 185695.9078 \text{ kJ/h}$$

#### 8.2.4.2 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： $c_8 = 1.32 \text{ kJ}/(\text{m}^3 \cdot ^\circ\text{C})$ ，则：

$$Q_8 = 0.95 V_x c_8 t_8 = 0.95 \times 200 \times 1.32 \times V_x = 250.8 V_x$$

#### 8.2.4.3 窑体的散热 $Q_9$

i 在急冷带的窑体散热 (30~36 节)

此段温度范围为  $1180\sim 700^\circ\text{C}$ ，窑外壁温度取  $80^\circ\text{C}$ ，窑内壁平均温度为  $940^\circ\text{C}$

a. 窑顶

窑	耐火层	莫来石轻质高铝砖	$1600^\circ\text{C}$	$0.310 + 0.176 \times 10^{-3} t$	230
顶	隔热层	硅酸盐耐火纤维束	1150	0.1~0.3	150

表8-10 窑顶

所用材料的导热系数：

莫来石轻质高铝砖： $0.310 + 0.176 \times 10^{-3} t$

硅酸盐耐火纤维束: 0.1~0.3

$$\text{窑内壁平均壁温 } t_1 = \frac{1180+700}{2} = 940\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\text{莫来石轻质高铝砖 } \lambda_1 = 0.31 + 0.176 \times 10^{-3} \times 940 = 0.475 \text{ W/m} \cdot ^{\circ}\text{C}$$

$$\text{硅酸盐耐火纤维束 } \lambda_2 = 0.25 \text{ W/m} \cdot ^{\circ}\text{C}$$

$$\delta_1 = 0.23 \text{ m}; \quad \delta_2 = 0.15 \text{ m}$$

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

平均热流密度:

$$q = \frac{t_1 - t_a}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} = \frac{940 - 80}{\frac{0.23}{0.475} + \frac{0.15}{0.25}} = 793.2 \text{ (W/m}^2\text{)}$$

窑顶散热面积:

$$A_{\text{顶}} = [2.3 + 2 \times (0.23 + 0.15)] \times 2.0 \times 7 = 42.84 \text{ m}^2$$

$$\text{则 } Q_{\text{顶}} = q A_{\text{顶}} = 793.2 \times 42.84 \times 3.6 = 122330.4768 \text{ kJ/h}$$

b. 窑墙

窑	耐火层	莫来石轻质高铝砖	1600 $^{\circ}\text{C}$	$0.310 + 0.176 \times 10^{-3} t$	230
墙	隔热层	混合纤维	1350	0.12	120

8-11 窑墙

所用材料的导热系数:

$$\text{莫来石轻质高铝砖: } 0.310 + 0.176 \times 10^{-3} t$$

$$\text{混合纤维: } 0.12$$

$$\text{窑内壁平均壁温 } t_1 = \frac{1180+700}{2} = 940\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\text{莫来石轻质高铝砖 } \lambda_1 = 0.31 + 0.176 \times 10^{-3} \times 940 = 0.475 \text{ W/m} \cdot ^{\circ}\text{C}$$

$$\text{混合纤维 } \lambda_2 = 0.12 \text{ W/m} \cdot ^{\circ}\text{C}$$

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

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

平均热流密度:

$$q = \frac{t_1 - t_a}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} = \frac{940 - 80}{\frac{0.23}{0.475} + \frac{0.12}{0.12}} = 579.43 \text{ (W/m}^2\text{)}$$

窑顶散热面积:

$$A_{\text{顶}} = 0.7 \times 2.0 \times 7 = 9.8 \text{ m}^2$$

$$\text{则 } Q_{\text{顶}} = 2qA_{\text{顶}} = 2 \times 579.43 \times 9.8 \times 3.6 = 4171.8961 \text{ kJ/h}$$

c. 窑底

窑底	耐火层	莫来石轻质高铝砖	1600℃	0.310+0.176×10 <sup>-3</sup> t	130
	隔热层	硅藻土砖	900	0.063+0.14×10 <sup>-3</sup> t	130
	膨胀层	硅酸盐耐火纤维束	1350	0.1~0.3	100

表8-12 窑底

所用材料的导热系数:

莫来石轻质高铝砖: 0.310+0.176×10<sup>-3</sup>t

硅藻土砖: 0.063+0.14×10<sup>-3</sup>t

硅酸盐耐火纤维束: 0.1~0.3

$$\text{窑内壁平均壁温 } t_1 = \frac{1180 + 700}{2} = 940 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{莫来石轻质高铝砖 } \lambda_1 = 0.31 + 0.176 \times 10^{-3} \times 940 = 0.475 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$\text{硅藻土砖 } \lambda_2 = 0.063 + 0.14 \times 10^{-3} \times 940 = 0.195 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$\text{硅酸盐耐火纤维束 } \lambda_3 = 0.25 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$\delta_1 = 0.13 \text{ m}; \delta_2 = 0.13 \text{ m}; \delta_3 = 0.10 \text{ m};$$

窑外壁表面平均温度  $t_a = 80^\circ\text{C}$

平均热流密度:

$$q = \frac{t_1 - t_a}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3}} = \frac{940 - 80}{\frac{0.13}{0.475} + \frac{0.13}{0.195} + \frac{0.1}{0.25}} = 641.62 \text{ (W/m}^2\text{)}$$

$$\text{窑底散热面积: } A_{\text{底}} = 42.84 \text{ m}^2$$

$$\text{则 } Q_{\text{底}} = qA_{\text{底}} = 641.62 \times 42.84 \times 3.6 = 98953.2029 \text{ (kJ/h)}$$



## ii 在缓冷带的窑体散热(37~44 节)

此段温度范围为 700~500℃, 窑内壁平均温度 600℃, 窑外壁温度为 40℃

## d. 窑顶

窑 顶	耐火层	莫来石轻质高铝砖	1600℃	$0.310+0.176 \times 10^{-3}t$	230
	隔热层	硅酸盐耐火纤维束	1150	0.1~0.3	150

表8-13 窑顶

所用材料的导热系数:

莫来石轻质高铝砖:  $0.310+0.176 \times 10^{-3}t$

硅酸盐耐火纤维束: 0.1~0.3

窑内壁平均壁温  $t_1 = \frac{700+500}{2} = 600^\circ\text{C}$

莫来石轻质高铝砖  $\lambda_1 = 0.31+0.176 \times 10^{-3} \times 600 = 0.416\text{W/m} \cdot ^\circ\text{C}$

硅酸盐耐火纤维束  $\lambda_2 = 0.2\text{W/m} \cdot ^\circ\text{C}$

$\delta_1 = 0.23\text{m}; \delta_2 = 0.15\text{m}$

窑外壁表面平均温度  $t_a = 40^\circ\text{C}$

平均热流密度:

$$q = \frac{t_1 - t_a}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} = \frac{600 - 40}{\frac{0.23}{0.416} + \frac{0.15}{0.2}} = 429.82 \text{ (W/m}^2\text{)}$$

窑顶散热面积:

$$A_{\text{顶}} = [2.3 + 2 \times (0.23 + 0.15)] \times 2.0 \times 8 = 48.968\text{m}^2$$

则  $Q_{\text{顶}} = qA_{\text{顶}} = 429.82 \times 48.96 \times 3.6 = 75758.3539 \text{ kJ/h}$

## e. 窑墙

窑 墙	耐火层	莫来石轻质高铝砖	1600℃	$0.310+0.176 \times 10^{-3}t$	230
	隔热层	硅酸盐耐火纤维束	1350	0.1~0.3	190

表8-14 窑墙

所用材料的导热系数:

莫来石轻质高铝砖:  $0.310+0.176 \times 10^{-3}t$

硅酸盐耐火纤维束: 0.1~0.3

$$\text{窑内壁平均壁温 } t_1 = \frac{700+500}{2} = 600\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\text{莫来石轻质高铝砖 } \lambda_1 = 0.31 + 0.176 \times 10^{-3} \times 600 = 0.416\text{ W/m} \cdot ^{\circ}\text{C}$$

$$\text{硅酸盐耐火纤维束 } \lambda_2 = 0.2\text{ W/m} \cdot ^{\circ}\text{C}$$

$$\delta_1 = 0.23\text{m}; \delta_2 = 0.19\text{m}$$

$$\text{窑外壁表面平均温度 } t_a = 40^{\circ}\text{C}$$

平均热流密度:

$$q = \frac{t_1 - t_a}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} = \frac{600 - 40}{\frac{0.23}{0.416} + \frac{0.19}{0.2}} = 372.62\text{ (W/m}^2\text{)}$$

窑顶散热面积:

$$A_{\text{墙}} = 0.7 \times 2.0 \times 8 = 11.2\text{ m}^2$$

$$\text{则 } Q_{\text{墙}} = 2qA_{\text{墙}} = 2 \times 372.62 \times 11.2 \times 3.6 = 30048.0768\text{ kJ/h}$$

f. 窑底

窑底	耐火层	莫来石轻质高铝砖	1600 $^{\circ}\text{C}$	$0.310 + 0.176 \times 10^{-3}t$	230
	隔热层	硅藻土砖	900	$0.063 + 0.14 \times 10^{-3}t$	130
	膨胀层	硅酸盐耐火纤维束	1350	0.1~0.3	无

表8-15 窑底

所用材料的导热系数:

$$\text{莫来石轻质高铝砖: } 0.310 + 0.176 \times 10^{-3}t$$

$$\text{硅藻土砖: } 0.063 + 0.14 \times 10^{-3}t$$

$$\text{硅酸盐耐火纤维束: } 0.1 \sim 0.3$$

$$\text{窑内壁平均壁温 } t_1 = \frac{700+500}{2} = 600\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\text{莫来石轻质高铝砖 } \lambda_1 = 0.31 + 0.176 \times 10^{-3} \times 600 = 0.416\text{ W/m} \cdot ^{\circ}\text{C}$$

$$\text{硅藻土砖 } \lambda_2 = 0.063 + 0.14 \times 10^{-3} \times 600 = 0.147\text{ W/m} \cdot ^{\circ}\text{C}$$

$$\text{硅酸盐耐火纤维束 } \lambda_3 = 0.2\text{ W/m} \cdot ^{\circ}\text{C}$$

$$\delta_1 = 0.23\text{m}; \delta_2 = 0.13\text{m}; \delta_3 = 0.10\text{m};$$

窑外壁表面平均温度  $t_a = 40^\circ\text{C}$

平均热流密度:

$$q = \frac{t_1 - t_a}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3}} = \frac{600 - 40}{\frac{0.23}{0.416} + \frac{0.13}{0.147} + \frac{0.1}{0.2}} = 289.07 \text{ (W/m}^2\text{)}$$

窑底散热面积:  $A_{\text{底}} = 48.968 \text{ m}^2$

则  $Q_{\text{底}} = qA_{\text{底}} = 289.07 \times 48.968 \times 3.6 = 50958.6471 \text{ (kJ/h)}$

iii 快冷段窑体的散热量(45~50 节)

此段温度范围为  $500\sim 80^\circ\text{C}$ , 所以窑内壁平均温度为  $290^\circ\text{C}$ , 窑外壁温度取为  $40^\circ\text{C}$ .

g. 窑顶

窑	耐火层	莫来石轻质高铝砖	$1600^\circ\text{C}$	$0.310 + 0.176 \times 10^{-3}t$	230
顶	隔热层	硅酸盐耐火纤维束	1150	0.1~0.3	150

表8-16 窑顶

所用材料的导热系数:

莫来石轻质高铝砖:  $0.310 + 0.176 \times 10^{-3}t$

硅酸盐耐火纤维束: 0.1~0.3

窑内壁平均壁温  $t_1 = \frac{500 + 80}{2} = 290^\circ\text{C}$

莫来石轻质高铝砖  $\lambda_1 = 0.31 + 0.176 \times 10^{-3} \times 290 = 0.361 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$

硅酸盐耐火纤维束  $\lambda_2 = 0.2 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$

$\delta_1 = 0.23\text{m}$ ;  $\delta_2 = 0.15\text{m}$

窑外壁表面平均温度  $t_a = 40^\circ\text{C}$

平均热流密度:

$$q = \frac{t_1 - t_a}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} = \frac{290 - 40}{\frac{0.23}{0.361} + \frac{0.15}{0.2}} = 180.23 \text{ (W/m}^2\text{)}$$

窑顶散热面积:

$A_{\text{顶}} = [2.3 + 2 \times (0.23 + 0.15)] \times 2.0 \times 6 = 36.72 \text{ m}^2$

$$\text{则 } Q_{\text{顶}} = qA_{\text{顶}} = 180.23 \times 36.72 \times 3.6 = 23824.9642 \text{ kJ/h}$$

## h. 窑墙

窑	耐火层	莫来石轻质高铝砖	1600℃	$0.310+0.176 \times 10^{-3}t$	230
墙	隔热层	硅酸盐耐火纤维束	1350	0.1~0.3	190

表8-17 窑墙

所用材料的导热系数:

莫来石轻质高铝砖:  $0.310+0.176 \times 10^{-3}t$

硅酸盐耐火纤维束: 0.1~0.3

$$\text{窑内壁平均壁温 } t_1 = \frac{500+80}{2} = 290 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{莫来石轻质高铝砖 } \lambda_1 = 0.31+0.176 \times 10^{-3} \times 290 = 0.361 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$\text{混合纤维 } \lambda_2 = 0.2 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$\delta_1 = 0.23\text{m}; \quad \delta_2 = 0.19\text{m}$$

$$\text{窑外壁表面平均温度 } t_a = 40^\circ\text{C}$$

平均热流密度:

$$q = \frac{t_1 - t_a}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} = \frac{290 - 40}{\frac{0.23}{0.361} + \frac{0.19}{0.2}} = 157.52 \text{ (W/m}^2\text{)}$$

窑顶散热面积:

$$A_{\text{墙}} = 0.7 \times 2.0 \times 6 = 8.4 \text{ m}^2$$

$$\text{则 } Q_{\text{墙}} = 2qA_{\text{墙}} = 2 \times 157.52 \times 8.4 \times 3.6 = 9526.8096 \text{ kJ/h}$$

## i. 窑底

窑底	耐火层	莫来石轻质高铝砖	1600℃	$0.310+0.176 \times 10^{-3}t$	230
	隔热层	硅藻土砖	900	$0.063+0.14 \times 10^{-3}t$	130
	膨胀层	硅酸盐耐火纤维束	1350	0.1~0.3	无

表8-18 窑底

所用材料的导热系数:

莫来石轻质高铝砖:  $0.310+0.176 \times 10^{-3}t$

硅藻土砖:  $0.063+0.14 \times 10^{-3}t$

硅酸盐耐火纤维束: 0.1~0.3

$$\text{窑内壁平均壁温 } t_1 = \frac{500+80}{2} = 290\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\text{莫来石轻质高铝砖 } \lambda_1 = 0.31 + 0.176 \times 10^{-3} \times 290 = 0.361 \text{ W/m} \cdot ^{\circ}\text{C}$$

$$\text{硅藻土砖 } \lambda_2 = 0.063 + 0.14 \times 10^{-3} \times 290 = 0.1036 \text{ W/m} \cdot ^{\circ}\text{C}$$

$$\text{硅酸盐耐火纤维束 } \lambda_3 = 0.2 \text{ W/m} \cdot ^{\circ}\text{C}$$

$$\delta_1 = 0.23 \text{ m}; \quad \delta_2 = 0.13 \text{ m}; \quad \delta_3 = 0.10 \text{ m};$$

$$\text{窑外壁表面平均温度 } t_a = 40^{\circ}\text{C}$$

平均热流密度:

$$q = \frac{t_1 - t_a}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3}} = \frac{290 - 40}{\frac{0.23}{0.361} + \frac{0.13}{0.1036} + \frac{0.1}{0.2}} = 104.52 \text{ (W/m}^2\text{)}$$

$$\text{窑底散热面积: } A_{\text{底}} = 36.72 \text{ m}^2$$

$$\text{则 } Q_{\text{底}} = qA_{\text{底}} = 104.52 \times 36.72 \times 3.6 = 13816.7078 \text{ (kJ/h)}$$

则冷却带窑体总散热量为:

$$\begin{aligned} Q_9 &= 122330.4768 + 4171.8961 + 98953.2029 + 75758.3539 + 30048.0768 + 50958.6471 + 23 \\ &824.9642 + 9526.8096 + 13816.7078 \\ &= 429389.1352 \text{ (kJ/h)} \end{aligned}$$

#### 8.2.4.4 从间壁冷却风管抽出热风带走显热 $Q_{10}$

该窑第40~43节的每节辊上设置了12根 $\phi 60$ 的间冷风管,共48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 $F = \pi dL = 3.14 \times 0.06 \times 2.1 = 0.39564 \text{ m}^2$ ;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

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

验算间壁抽出热风温度:

$$t'_{a2} = \frac{Q_{17} + V c_1 t_{a1}}{V c_2} = \frac{15109.44 + 40.69 \times 1.3 \times 20}{40.69 \times 1.32} = 301.01$$

$(301.01 - 300) / 300 = 0.3\% \leq 5\%$ ; 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:

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

#### 8.2.4.5 其它热损失 $Q_{10}$

其它热损失为总收入的 5%, 则:

$$Q_{11} = 0.05 (Q_2 + Q_6) = 0.05 \times (3535190.16 + 26 V_x) = 176759.508 + 1.3 V_x$$

#### 8.2.6 列出热平衡方程

热收入 = 热支出

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

$$3535190.16 + 26 V_x = 185695.9078 + 250.8 V_x + 429389.1352 + 725253.12 + 176759.508 + 1.3 V_x$$

$$3 V_x$$

$$\text{解得 } V_x = 8925.6634 \text{ m}^3/\text{h}$$

即每小时鼓入风量为  $8925.6634 \text{ m}^3/\text{h}$ .

#### 8.2.7 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。

表 8-19 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	3535190.16	93.84	产品带出显热	185695.9078	4.9
冷却风带入显热	232067.25	6.16	抽热风带走显热	2238556.3807	59.43
			窑体散热	429389.1352	11.41
			间冷管热风带走显热	725253.12	19.26
			其它散热	188362.8704	5.00
总热量	3767257.41	100	总散热	3767257.41	100

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。

## 9. 传动计算

### 9.1 传动系统的选择

辊道窑的传动系统由电动机、减速设备和传动机所组成。常见的传动机构有链传动和齿轮传动两种。辊子采取链传动的特点是结构简单、成本低，但由于链传动的多边形效应，瞬时传动比周期性变化，给传动带来运动的不均匀性和附加的动负荷，从而影响到辊子传动的平稳性。因此，在链传齿轮传动比较平稳，运行过程中啮合牢固，但齿轮加工复杂，造价较高，为了产品的质量，一般辊道窑都采用齿轮传动。

从传动布局的形式来分，又有整体传动和分段传动两种方法。整体传动布局一般用于短窑和实验室用辊道窑。分段传动通常 5~7 米为一段，各段辊子转速可以相同，也可以由快到慢分配不同的转速。

本设计将窑分成 35 段，每段均由一台电动机带动，采用变频调速。所有电机可同时运行，每台也可以单独运行，当处理事故时，可关掉一台或几台电机，其余电机仍可以按一定时间（一般为几秒钟）交替正、反转，砖坯前后摇摆运行，可保证这些区段的辊子不弯曲。砖坯也不会进入下一个区段。

在 35 台电机中，前两节和窑前工作台，后一节和窑尾工作台各公用一台电机，其余每三节共用一台电机。

在分段传动中，参考辊道窑最常用链传动、齿轮传动、螺旋齿轮传动。考虑到传动平稳性和产品质量等要求，选用螺旋齿轮传动。

### 9.2 辊子材质的选择

辊道窑对辊子材质要求十分严格，它要求制辊材料热胀系数小而均匀，高温抗氧化性能好，荷重软化温度高，蠕变性小，热稳定性和高温耐久性好，硬度大，抗污能力强。

常用的辊子有金属辊和陶瓷辊两种。为节约费用，不同的温度区段一般选用不同材质的辊子。一般来说，低温段（小于 300℃）可选用普通无缝钢管辊子；中温段（300~600℃）可选用耐热不锈钢钢管；高温段（1300℃以下）可选用耐热



高铝瓷棒。

此次设计在低温段（第 6 节以前和第 49 节以后，包括前、后工作台）均选用  $\phi 65 \times 4000$  的普通无缝钢辊，在 9~10 节，46~49 节采用耐热钢辊，在高温段（11~44 节）莫来石-刚玉质陶瓷辊棒。

### 9.3 辊径的确定

辊子的规格尺寸要根据被烧产品的尺寸、重量及窑炉的结构和辊子的材质而定，一般而言，只要能满足被烧产品所需要性能要求，即可选用直径较细、壁较薄的辊子。辊子的直径大，则强度大；但直径过大，会影响窑内辐射换热和对流换热。对于用托轮摩擦联结的辊子来说，辊子的直径大些，有助于增加辊子之间的摩擦力。因此，辊子的直径可根据制品的重量和辊子的联结方式来决定。如制品较重或辊子的联结方式是托轮摩擦式，辊子应选择直径大一些的，否则，可选择直径较小一些的辊子。本次设计选用直径为 65mm 的辊棒。

### 9.4 辊距的确定

为了保证无论何时制品在传动过程中都有 3 根辊子支承，由经验公式：

$$H = (1/3 - 1/5) l$$

式中：H——辊距（mm）    l——制品长度（mm）

可得  $300/5\text{mm} \leq H \leq 300/3\text{mm}$ ，即  $60\text{mm} \leq H \leq 100\text{mm}$

为使每节窑能充分利用和辊距对辊子强度的要求，每节布置 28 根的辊子。

辊距为  $2130/28=76.07$ ，取 75mm

辊子的总数为  $N=50 \times 28 + (2500+3500)/75=1480$  根

### 9.5 辊子转速的选择

一般辊子的转速依据公式： $n=kl/\pi dt$  确定，其中：

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 为 1.05

那么,  $n=1.05 \times 100000 / (3.14 \times 60 \times 65) = 8.57 \text{r/min}$

辊道窑采取分段传动时, 各段速度略有不同, 为防止制品在运行过程时起擦、垒砖, 自窑头向窑尾方向各段转速依次加快, 但由于各段间转速差别不大 (后一段仅比前一段快  $0.05 \text{r/min}$  左右), 在传动设计时通常采用变频电机或变频调速器。因此, 进行传动比计算是, 辊子转速取其平均值。

## 9.6 传动过程

电机→减速器→主动链轮→链子链→从动链轮→传动轴→主动螺旋齿轮→从动螺旋齿轮→辊棒传动轴→辊子

## 10 管道尺寸、阻力计算及风机选型

### 10.1 计算抽烟风机的管道尺寸、阻力计算对风机的选型

#### 10.1.1 管道尺寸

排烟系统需排除烟气体量

$$V_g = [V_{g0} + (\alpha_g - \alpha) L_o] X = [2.47 + (2.0 - 1.3) \cdot 1.29] \cdot 1126.8643 = 3800.913 \text{ (m}^3/\text{h)}$$

烟气在金属管中流速  $W$ ，根据经验数据取  $W=10\text{m/s}$

烟气抽出时实际体积  $V$ ：

$$V = V_g \times (273 + 200) / 273 = 3800.913 \times 473 / 273 = 6585.465 \text{ (m}^3/\text{h)} = 1.83 \text{ (m}^3/\text{s)}$$

##### ① 烟管尺寸

内径： $d_{\text{总}} = (4 \times 1.83 / 3.14 \times 10)^{0.5} = 0.65\text{m}$ ，则总管内径取 650mm

##### ② 分烟管尺寸

分管流量  $V' = V/3 = 1.83/3 = 0.61 \text{ (m}^3/\text{s)}$

内径  $d_{\text{分}} = (4 \times 0.61 / 3.14 \times 10)^{0.5} = 0.38\text{m}$ ，则分管内径取 380mm

##### ③ 支管尺寸

支管流量  $V'' = V/6 = 1.83/6 = 0.31 \text{ (m}^3/\text{s)}$

内径  $d_{\text{支}} = (4 \times 0.31 / 3.14 \times 10)^{0.5} = 0.26\text{m}$ ，则支管内径取 260mm

#### 10.1.2 阻力计算

##### ① 料垛阻力 $h_i$

根据经验每米窑长料垛阻力为 0.5Pa，因为该窑为全窑氧化，零压面位于预热带和烧成带交接面附近，所以， $h_i = 19 \times 2.13 \times 0.5 = 28.3 \text{ Pa}$

##### ② 位压阻力 $h_g$

烟气从窑炉至风机，高度升高  $H=2.0\text{m}$ ，此时几何压头为烟气流动的动力，即负压阻力，烟气温度  $250^\circ\text{C}$ ，

所以， $h_g = -H (\rho_a - \rho_g) \cdot g = -2.0 \times [1.29 \times 273 / (273 + 20) - 1.30 \times 273 / (273 + 250)] \times 9.8 = -10.26\text{Pa}$

##### ③ 局部阻力 $h_e$

局部阻力  $\zeta$  可由查表得：

烟气从窑炉进入支管： $\zeta = 1$ ；

支烟管进入分烟管:  $\zeta = 1.5$ ;

并 90° 转弯:  $\zeta = 1.5$ ;

分管 90° 急转弯:  $\zeta = 1.5$ ;

分管进入 90° 圆弧转弯:  $\zeta = 0.35$ ;

分管进入总管:  $\zeta = 1.5$ ;

总管 90° 圆弧转弯:  $\zeta = 0.35$ ;

为简化计算, 烟气流速均按 10m/s 计, 烟气温度按 250 计, 虽在流动过程中烟气会有温降, 但此时流速会略小, 且取定的截面积均比理论计算的偏大, 故按此值算出的局部阻力只会偏大, 能满足实际操作需求。

$$h_e = (1 + 1.5 + 1.5 + 1.5 + 0.35 + 1.5 + 0.35) \times 100 \times 1.3 \times 273 / [2 \times (273 + 250)] \\ = 261.26 \text{ Pa}$$

#### ④摩擦阻力 $h_f$

摩擦阻力系数: 金属管道取  $\zeta = 0.03$ ,

$$h_f = \zeta \left( \frac{L_{支}}{D_{支}} + \frac{L_{分}}{D_{分}} + \frac{L_{总}}{D_{总}} \right) \times \omega^2 \rho / 2 \\ = 0.03 (0.5/0.1 + 2.5/0.23 + 5.0/0.33) \times 100 \times 273 / [2 \times (273 + 250)] \\ = 24.29 \text{ Pa}$$

烟囱阻力忽略不计,

$$\text{风机应克服总阻力 } h_{总} = h_i + h_g + h_e + h_f = 299.49 \text{ Pa}$$

### 10.1.3 风机的选型

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:  $H = (1 + 0.5) \times 299.49 = 449.235 \text{ Pa}$

流量取储备系数为 1.5, 风机排出烟气平均温度 250℃,

所以  $Q = 1.5 V_g = 1.5 \times 22406.95 = 33610.4 \text{ (m}^3/\text{h)}$

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。

所以, 排烟风机选用: Y6-43N010.5D 锅炉引风机, 配电机型号为 Y225M-4, 功率 45kw

## 10.2 其他系统管道尺寸的确定、风机的选型

### 10.2.1 燃料管径的计算

#### 10.2.1.1 燃料总管内径

发生炉煤气的流量为:  $2055.54 \text{ m}^3/\text{h}$ , 取煤气在总管中的流速  $w$  为: 15m/s,

煤气总管选用一根管子，那么总管的内径为：

$$\begin{aligned} d_{\text{总}} &= 2 \times (v / 3600 n \pi \omega)^{0.5} \\ &= 2 \times [2055.54 / (3600 \times 3.14 \times 15)]^{0.5} \\ &= 0.220 \text{m} \end{aligned}$$

所以，总管内径取值：250mm

#### 10.2.1.2 分管内径

烟气在金属分管中流速，根据经验数据取  $\omega = 10 \text{m/s}$ ，

$$\begin{aligned} \text{内径 } d_{\text{分}} &= 2 \times (v / 3600 n \pi \omega)^{0.5} \\ &= 2 \times [310.79 / (3600 \times 3.14 \times 24 \times 6)]^{0.5} \\ &= 0.0569 \text{m} \end{aligned}$$

所以，分管内径取值：65mm

#### 10.2.1.3 通往烧嘴的燃料支管内径

发生炉煤气支管总共有 174 根，而流速取  $\omega = 6 \text{m/s}$

$$\begin{aligned} \text{内径 } d_{\text{支}} &= 2 \times (v / 3600 \pi \omega)^{0.5} \\ &= 2 \times [2055.54 / (3600 \times 3.14 \times 2 \times 174 \times 6)]^{0.5} \\ &= 0.02369 \text{m} \end{aligned}$$

所以，分管内径取值：30mm

#### 10.2.2 助燃风管的管径

$$\text{助燃风量 } V_a = 1.55568 \times 2055.52 = 3197.73 \text{ m}^3 / \text{h}$$

$$\text{实际助燃风量 } V = 3198 \times (273 + 20) / 273 = 3432 \text{ m}^3 / \text{h}$$

##### 10.2.2.1 助燃风管总管内径

助燃气在总管中的流速为： $\omega = 10 \text{m/s}$ ，

助燃风管总管选用一根管子，那么总管的内径为：

$$\begin{aligned} d_{\text{总}} &= 2 \times (v / 3600 n \pi \omega)^{0.5} \\ &= 2 \times [3198 / (3600 \times 3.14 \times 10)]^{0.5} \\ &= 0.393 \text{m} \end{aligned}$$

所以，总管内径取值：420mm

##### 10.2.2.2 助燃风管分管内径

流速取： $\omega = 9 \text{m/s}$ ， $n = 4$

$$\text{则方形管截面积：} D_{\text{分}} = 2 \times (V / 3600 \times 4 \times 3.14 \times 9) = 0.207 \text{m}^2$$

所以，风管内径取值为：230mm

##### 10.2.2.3 助燃风管支管内径

通往烧嘴的支管共 174 根，取流速为： $\omega = 6 \text{m/s}$ ，

$$\begin{aligned} D_{\text{支}} &= 2 \times (v / 3600 \pi \omega)^{0.5} \\ &= 2 \times [763.18 / (3600 \times 3.14 \times 216 \times 6)]^{0.5} \\ &= 0.0306 \text{m} \end{aligned}$$

所以，支管内径取值：45mm

#### 10.2.3 冷却带风管的管径

##### 10.2.3.1 急冷风管的管径

急冷带鼓入冷风量一般为快冷段的 1/2，即占鼓入冷风量的 1/3，

$$\text{所以，} V_{\text{实}} = 14345.6 \times (273 + 20) / 273 = 17947.8 \text{ m}^3 / \text{h}$$

取流速： $\omega = 20 \text{m/s}$ ，

##### a. 急冷风管总管内径

急冷风在总管中的流速为： $\omega = 20 \text{m/s}$ ，

急冷风管总管选用一根管子，那么总管的内径为：

$$d_{\text{总}} = 2 \times (v / 3600 \pi \omega)^{0.5} = 2 \times [17947.8 / (3600 \times 3.14 \times 10)]^{0.5} = 0.296\text{m}$$

所以，总管内径取值：300mm

b. 急冷风管分管内径

急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：

$$d_{\text{分}} = 2 \times (v / 3600 \pi \omega)^{0.5} = 2 \times [17947.8 / (3600 \times 3.14 \times 2 \times 6)]^{0.5} = 0.265\text{m}$$

所以，分管内径取值：270mm

c. 急冷风管支管内径

急冷风在支管中的流速为： $\omega = 10\text{m/s}$ ，

急冷风管支管选用 76 根管子，那么分管的内径为：

$$\begin{aligned} d_{\text{支}} &= 2 \times (v / 3600 \pi \omega)^{0.5} \\ &= 2 \times [17947.8 / (3600 \times 3.14 \times 76 \times 10)]^{0.5} \\ &= 0.0914\text{m} \end{aligned}$$

所以，支管内径取值：100mm

#### 10.2.3.2 快冷风管管径

快冷带鼓入冷风量一般占鼓入冷风量的 2/3，

所以， $V = 17947.8 \times 2/3 = 11965.2 \text{ m}^3/\text{h}$ ， $V_{\text{实}} = 11965.2 \times (273+20) / 273 = 12841.77\text{m}^3/\text{h}$

取流速： $\omega = 10\text{m/s}$ ，

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：

$$d_{\text{总}} = 2 \times (v / 3600 \pi \omega)^{0.5} = 2 \times [12841.77 / (3600 \times 3.14 \times 20)]^{0.5} = 0.4767\text{m}$$

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：

$$\begin{aligned} d_{\text{分}} &= 2 \times (v / 3600 \pi \omega)^{0.5} \\ &= 2 \times [12841.77 / (3600 \times 3.14 \times 20 \times 8)]^{0.5} = 0.1655\text{m} \end{aligned}$$

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：

$$\begin{aligned} d_{\text{支}} &= 2 \times (v / 3600 \pi \omega)^{0.5} \\ &= 2 \times [12841.77 / (3600 \times 3.14 \times 40 \times 8)]^{0.5} = 0.119\text{m} \end{aligned}$$

所以，支管内径取值：125mm

#### 10.2.3.3 缓冷带抽热风管管径

缓冷段采用抽热风的方式进行冷却， $V_{\text{总}} = 0.95 \times 11965.2 = 11366.94 \text{ m}^3/\text{h}$ ，

且缓冷段抽风量占总量的 40%，所以， $V_{\text{总}} = 0.4 \times 11965.2 = 4786.08 \text{ m}^3/\text{h}$ ，

同时，热风的抽出温度为  $200^\circ\text{C}$ ，即， $V_{\text{实}} = 4786.08 \times (273+200) / 273 = 8292.3657 \text{ m}^3/\text{h}$ ，

a. 抽热风管总管内径

抽热风在总管中的流速为： $\omega = 15\text{m/s}$ ，

抽热风管总管选用一根管子，那么总管的内径为：

$$\begin{aligned} d_{\text{总}} &= 2 \times (v / 3600 \pi \omega)^{0.5} \\ &= 2 \times [8292.3657 / (3600 \times 3.14 \times 15)]^{0.5} \\ &= 0.4423 \text{m} \end{aligned}$$

所以，总管内径取值：450mm

b. 抽热风管分管内径

抽热风在分管中的流速为： $\omega = 8 \text{m/s}$ ，

急冷风管分管选用 24 根管子，那么分管的内径为：

$$\begin{aligned} d_{\text{分}} &= 2 \times (v / 3600 \pi \omega)^{0.5} \\ &= 2 \times [8292.3657 / (3600 \times 3.14 \times 24 \times 8)]^{0.5} \\ &= 0.12362 \text{m} \end{aligned}$$

所以，分管内径取值：350mm

c. 抽热风管支管内径

抽热风在支管中的流速为： $\omega = 10 \text{m/s}$ ，

因为缓冷带共 20 节，每隔一节在窑顶、窑底设置抽热风口，每节两对，相对布置，则支管的内径取为：200mm

### 10.2.5 风机的选型

#### 10.2.5.1 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：

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

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

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。

#### 10.2.5.2 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：

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

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

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。

#### 10.2.5.3 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：

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

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

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。

#### 10.2.5.4 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：

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

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

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	Y2255-4	37	1450



## 11 工程材料概算

### 11.1 窑体材料分段概算

#### 11.1.1: 第 1-15 节

轻质高铝砖 (230×114×65):  $2 \times 15 \times 2.0 \times 0.86 / (0.23 \times 0.065) + 15 \times 2.0 \times 2.3 / (0.23 \times 0.114) + 14 \times 2.0 \times 4.1 / (0.114 \times 0.065) = 21576$  (块)

硅酸铝耐火纤维束 (600×400×50):  $2 \times 15 \times 2.0 \times 0.86 \times 0.15 + 15 \times 2.0 \times 4.1 \times 0.1 = 20.04\text{m}^3$

硅藻土砖 (230×114×65):  $15 \times 2.0 \times 2.3 \times 0.26 / (0.23 \times 0.114 \times 0.065) = 10527$  (块)

#### 11.1.2: 第 16-29 节

轻质高铝砖 (230×114×65):  $2 \times 14 \times 2.0 \times 0.86 / (0.23 \times 0.065) + 14 \times 2.0 \times 2.3 / (0.23 \times 0.114) + 14 \times 2.0 \times 4.1 / (0.114 \times 0.065) = 21171$  (块)

硅酸铝耐火纤维束 (600×400×50):  $2 \times 14 \times 2.0 \times 0.86 \times 0.2 + 14 \times 2.0 \times 4.1 \times 0.1 + 14 \times 2.0 \times 2.3 \times 0.15 = 8.06 + 9.60 + 12.65 = 30.772\text{m}^3$

硅藻土砖 (230×114×65):  $14 \times 2.0 \times 2.3 \times 0.195 / (0.23 \times 0.114 \times 0.065) = 7369$  (块)

#### 11.1.3 第 30-36 节

轻质高铝砖 (230×114×65):  $2 \times 7 \times 2.0 \times 0.86 / (0.23 \times 0.065) + 7 \times 2.0 \times 2.3 / (0.23 \times 0.114) + 7 \times 2.0 \times 4.1 / (0.114 \times 0.065) = 10585$  (块)

硅酸铝耐火纤维束 (600×400×50):  $2 \times 7 \times 2.0 \times 0.86 \times 0.15 + 7 \times 2.0 \times 4.1 \times 0.1 + 7 \times 2.0 \times 2.3 \times 0.10 = 12.572\text{m}^3$

硅藻土砖 (230×114×65):  $7 \times 2.0 \times 2.3 \times 0.26 / (0.23 \times 0.114 \times 0.065) = 4912$  (块)

#### 11.1.4 第 37-50 节

粘土质隔热砖 (272×250×154):  $2 \times 14 \times 2.0 \times 0.812 / (0.272 \times 0.154) + 14 \times 2.0 \times 4.1 / (0.25 \times 0.154) = 4067$

硅藻土砖 (230×114×65):  $14 \times 2.0 \times 2.3 \times 0.26 / (0.23 \times 0.114 \times 0.065) = 9825$

(块)

## 11.2 钢材的概算

### 11.2.1 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。

7-24 节，冷弯方形空心型钢， $60 \times 60 \times 3\text{mm}$ ，长为 840mm， $6 \times 19 = 108$  根。

25-50 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。

7-24 节，冷弯方形空心型钢， $60 \times 60 \times 3\text{mm}$ ，长为 760mm， $6 \times 18 = 108$  根。

25-50 节，冷弯方形空心型钢， $60 \times 60 \times 3\text{mm}$ ，长为 503mm， $6 \times 26 = 156$  根。

### 11.2.2 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] 孙晋淘 《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

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  $SO_2$ ,  $SO_3$ ,  $NO_x$ , CO,  $CO_2$  etc and the influence of the temperature rising and noise to the workshop.