

# 景德镇陶瓷学院

## 科技艺术学院

### 本科生毕业设计

题目：110M 燃油辊道窑设计

学 号：201030453120

姓 名：张小平

院（系）：工程系

专 业：热能与动力工程

指导教师：陈功备

完成日期：2014-5-14

# 目录

摘 要.....	3
Abstract.....	4
1 景德镇陶瓷学院科技艺术学院毕业设计（论文）任务书.....	5
2 窑体主要尺寸的确定.....	6
2.1 进窑砖坯尺寸.....	6
2.2 窑内宽的确定.....	6
2.3 内高的确定.....	6
2.4 烧成制度的确定.....	7
2.5 窑长和各带长的确定.....	8
3 工作系统的确定.....	9
3.1 排烟系统.....	10
3.2 燃烧系统.....	10
3.3 冷却系统.....	11
3.4 温度控制系统.....	12
3.5 传动系统.....	13
3.6 窑体附属结构.....	14
4 窑体材料确定.....	16
4.1 窑体材料确定原则.....	17
4.2 整个窑炉的材料表.....	17
5 燃料及燃烧计算.....	22
5.1 理论空气需要量.....	23
5.2 实际空气需要量.....	23
5.3 用经验公式计算实际烟气生成量.....	23
5.4 燃烧温度.....	23
6 物料平衡计算.....	23
7 热平衡计算.....	24
7.1 热平衡示意框图.....	25
7.2 热收入项目.....	25
7.3 热支出项目.....	27
7.4 列热平衡方程并求解.....	30
7.5 列热平衡表.....	30
7.6 热平衡示意图.....	31
7.7 热收入.....	33
7.8 热支出.....	33
7.9 列热平衡方程.....	36
7.10 列热平衡表.....	36
8 管道尺寸以及阻力计算和风机选型.....	37
8.1 抽烟风机的管道尺寸、阻力计算.....	38
9 工程材料概算.....	46
9.1 窑体材料分段概算.....	47

9.2 钢材的概算.....48

9.3 钢板.....49

后 记.....50

## 摘 要

本设计的题目是 110M 燃油辊道窑炉设计辊道窑。说明书中具体论述了设计时应考虑的因素,诸如窑体结构、排烟系统、烧成系统和冷却系统等等.同时详细的进行了对窑体材料的选用、热平衡、管路、传动设计等的计算。 本设计所采用的燃料为水煤气,在烧成方式上采用明焰裸烧的方法,既提高了产品的质量和档次,又节约了能源,辊子运输可减少窑内装卸制品,和窑外工序连在一起,操作方便,同时具有很高的自动化控制水平,在燃烧及温度控制上采用 PID 智能仪表,可以很方便的调节和稳定烧成曲线。 本说明书内容包括:窑体主要尺寸的确定、工作系统的确定、窑体材料的选择、燃料燃烧计算、热平衡计算、传动计算、管道尺寸阻力计算、选型及工程材料概算。

关键词: 辊道窑、PID 控制、稳定

## Abstract

Key word: The roller kiln, energy conservation

This design is yearly produces 2,200,000 square meter wood grain brick roller kiln, the kiln length 155 meters, the kiln width 3.66meters.

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.

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”

## 1 景德镇陶瓷学院科技艺术学院毕业设计（论文）任务书

系 工程系

2013 年 12 月 17 日

专业	能源与动力	班级	2010 级			
学生姓名	张小平	指导教师	陈功备			
题目	110M 燃油辊道窑炉设计					
<p>主要研究内容和设计技术参数：</p> <p>1、1、1、产品：建筑砖（品种、规格自定）；</p> <p>2、2、2、产量：自定；</p> <p>3、年工作日：330 天；</p> <p>4、燃料：0#柴油；</p> <p>5、烧成合格率：97%；</p> <p>6、坯体入窑水分：1.7%；</p> <p>7、烧成周期：66 分钟；</p> <p>8、烧成温度：1170℃。</p>						
<p>基本要求（含成果要求）：</p> <p>1、认真思考，独立完成；</p> <p>2、编写详细设计说明书，含设计计算、材料概算等并要求应用计算机计算、处理和分析；</p> <p>3、绘制窑炉设计图纸，包括刚架结构、窑炉砌体、排烟通风系统、异型砖等；</p> <p>4、要求视图关系正确、尺寸标注完整，图纸中阿拉伯数字和汉字的书写等必须符合相关国标；</p> <p>5、设计说明书严格按照规范编写，必须有英文摘要。采用学院规定的统一格式，一律用 A4 纸打印。</p>						
<p>工作进度计划：</p> <p>1、第 1~4 周：毕业实习，收集相关资料；</p> <p>2、第 5~6 周：查找资料，确定方案；</p> <p>3、第 7~8 周：进行初步设计计算；</p> <p>4、第 9~10 周：详细计算并设计草图；</p> <p>5、第 11~15 周：完成全部图纸；</p> <p>6、第 16 周起：整理全部材料，准备答辩。</p>						

## 2 窑体主要尺寸的确定

### 2.1 进窑砖坯尺寸

产品规格:  $600 \times 600 \times 12$  mm

产品宽度 600mm, 考虑烧成收缩为 10%, 四周预留抛光尺寸为 7mm, 则:

坯体尺寸=产品尺寸 $\div$ (1-烧成收缩)= $600 \div (1-10\%) + 2 \times 7 = 680$ mm

### 2.2 窑内宽的确定

窑内宽为窑道内两侧墙间的距离, 随着辊子材料质量的提高, 生产技术的进步, 辊道窑的内宽有进一步加宽的趋势。增加辊道窑的有效内宽可以提高产量、降低能耗。

在确定窑的内宽的时候, 一方面要考虑辊子长度、窑墙厚度、还要考虑水平方向温度的均匀性等因素。根据产量, 所用的燃料, 窑内传热等因素, 粗略确定内宽的尺寸, 设计为 B 米, 成品的尺寸为  $600 \times 600$ mm, 制品的烧成缩和磨边倒角的总损耗取 10%。

坯体尺寸=产品尺寸 $\div$ (1-烧成收缩)= $600 \div (1-10\%) = 667$ mm

两侧坯体与窑强之间的距离取 100-200mm, 假设  $B=2.5$ m, 根据所定内宽 B, 计算宽度方向坯体排列的块数为:

$n = (2500 - 160 \times 2) / 667 = 3.27$ , 确定并排 3 块

$667 \times 3 = 2001$  mm, 有效宽为 2100 mm

考虑到辊子长度的有效利用, 取窑内宽  $B = 2100 + 175 \times 2 = 2450$  mm。

但是为了利于烟气排除窑外、压力控制和温度制度的实现, 加速预热带的升温和冷却带的降温速度, 本设计采用加宽预热带和烧成带的内宽, 取 2600mm。

### 2.3 内高的确定

辊道窑的内高被辊子分隔成辊上高和辊下高两部分。对于辊上高的设置, 要考

虑以下四个方面：损坏的坯体能否顺利从辊棒之间掉下去，烧嘴的设置也要有一定的高度，气体与坯体之间的换热强度，气流通畅与燃烧空间。而对于辊下高的设置而言，主要是损坏的坯体能否顺利从辊棒之间掉下去即保证处理事故的方便。从传热角度来讲，烧成带以辐射为主，所以气体厚度要大点，内高稍高些。而预热带以对流换热为主，所以内高比烧成带低，使得横截面减小，流速加快，提高对流换热强度。

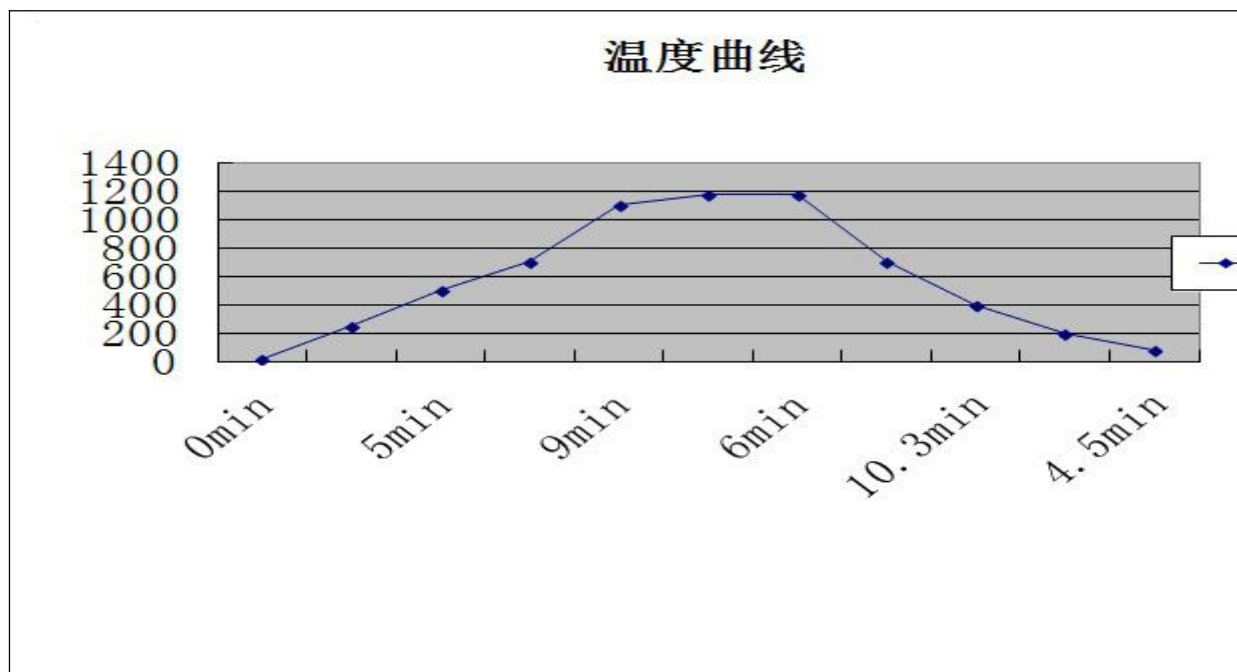
位置	预热带	烧成带	冷却带
辊上高	395	417	395
辊下高	395	417	417
内总高	790	834	812

## 2.4 烧成制度的确定

表-1 烧成制度

位置	温度 ℃	变温速率 (℃·min <sup>-1</sup> )	时间 (min)
预热带	20-300	76.67	3
	300-500	116.67	5
	500-700	55.56	6.4
烧成带	700-1100	33.33	9
	1100-1170	13.3	10.5
	1170	0	6
冷却带	1170-700	-166.7	1.8
	700-400	-48.19	9.5
	400-200	-60.6	9.3
	200-80	-48	4.5





(1) 气氛制度：全窑氧化气氛

(3) 压力制度：预热带-15~-10 Pa，烧成带 < 8 Pa

## 2.5 窑长和各带长的确定

### 2.5.1 年产量的确定

装窑密度 = 每米排数 × 每排片数 × 每片砖面积 ( $\text{m}^2/\text{每窑}$ )

同一列砖距取 20 mm，则

装窑密度  $K = (1000 \div 667) \times 3 \times 0.62 = 1.62 \text{ m}^2/\text{m 窑长}$

( $\text{m}^2/\text{每窑}$ )

窑容量： $X = L \times P (\text{m}^2 / \text{每窑})$

已知窑长  $L = 110\text{m}$

所以窑容量： $X = L \times P = 110 \times 1.62 = 178.2 (\text{m}^2 / \text{每窑})$

年产量 = 窑容 × 年工作日 × 24 × 产品合格率 / 烧成周期 = 20742.478 ( $\text{m}^2 / \text{每年}$ )

### 2.5.2 各带长的确定

$L = 110\text{m}$

取 2m 为一节，则共有 55 节。

预热带长：

$$14.4 \div 66 \times 110 = 24\text{M} \quad 12 \text{ 节。}$$

烧成带长：

$$25.5 \div 66 \times 110 = 42.50\text{m} \quad 22 \text{ 节}$$

冷却带长：

$$26.1 \div 66 \times 110 = 43.5\text{m} \quad 21 \text{ 节}$$

### 2.5.3 辊道窑窑头、窑尾工作台长度

窑头工作台是制品进窑烧成的必经之路，也是使制品整齐有序进窑的停留之处。窑头工作台不宜太长，只要能满足要求即可，根据经验取值为 3.3 米。窑尾工作台是烧成后的产品从窑内出来，再经人工检验产品的部位。由于出窑产品温度一般高达 80℃，所以窑尾的工作台不宜太短，目的是使制品有足够的时间冷却，根据经验取值为 5.4 米。

## 3 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、温度控制系统、传动系统等，下面是各系统的初步安排。

### 3.1 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。

在第一，二，三，四，六，七，六节的每节窑顶和窑底分别设置三个排烟口进行排烟。在各排烟口分别设置圆管引出，汇总到窑顶、窑底的排烟分管中，最后连接到总管进行集中排烟。在 7 节窑顶设置放排烟机风机的平台，在其上设置排烟风机，并设置另一台备

### 3.2 燃烧系统

本设计的为明焰辊道窑，且使用 0#柴油作燃料，所以采用全部喷入窑道内燃烧的方式，仅通过烧嘴砖的燃烧道中空部分燃烧，而不另设燃烧室，并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。

#### 3.2.1 烧嘴的设置

为有利于燃烧带的温度调节，采用 WDH-TCC4 型燃气高速烧嘴。

本设计在 700℃就开始设置高速调温烧嘴，即预热带第 12 节开始布置。由于本窑所用燃料为高热值气体燃料，考虑在低温段烧嘴不宜太多。因此在预热带中段（10—17 节）辊下设置 2 对烧嘴，在（18—34 节）每节的辊上、辊下共设置 4 对烧嘴，辊上下烧嘴及对侧烧嘴对称排列。并在每个烧嘴对侧窑墙分别设置一个火焰观察孔。如遇事故处理口则取消该处观察口。全窑 84 个烧嘴

### 3.2.2 助燃系统

本窑助燃系统包括助燃风机和助燃管道。助燃管道要求用不锈钢制作,防止落脏,并且底部助燃分管分布在窑墙内以提高助燃风温度,助燃主管设有排风口,防止停电时煤气进入助燃风管道有危险。其中助燃分管的长度根据烧嘴布置位置来定。所以底下的助燃分管从第 10 节到 34 节,上部的助燃分管从第 11 节到第 34 节。为了平衡两端助燃空气的压力,在两端助燃分管之间设置横管。

### 3.2.3 柴油输送装置

柴油由工作油箱经油泵后进入布置在窑炉预热区、烧成区顶端的环形主油管内,在主油管上安有压力开关当油压小于最低允许值时,将发出信息,自动切断柴油供化燃烧器。对应燃烧器组数,设有分支路环形油管,柴油由主油管经阀门、过滤器和由伺服系统控制的流量阀进入分支油管,再经手动阀、过滤一进入每个燃烧器

## 3.3 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煤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,余热风可供干燥或作助燃风用,达到节能目的

### 3.3.1 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 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。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。

### 3.3.2 缓冷通风系统

快冷通风系统制品冷却到  $700\sim 400^{\circ}\text{C}$  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 38-50 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。

在缓冷带的中部设有一个平台, 上面布置两台抽热风机 (一台备用)。

### 3.3.3 快冷通风系统

制品冷却到  $400^{\circ}\text{C}$  以后可以进行快速冷却。由于制品温度较低, 使传热动力温差小, 即使允许快冷也不易于达到。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  $80^{\circ}\text{C}$  时, 制品即使在窑内没有开裂, 也会因出窑温度过高而出窑后炸裂, 故要加强该段的冷风冷却。一般都采用冷风管进行快冷。其冷却效果好, 并便于该段温度的调节。在快冷一区第 51-53 节窑炉每节设置 6 对 12 根快冷风管, 同时在该段的 64 节上方设有一工作平台, 其上布置两台快冷风机 (一台备用)。在快冷二区 (54-55 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, 一般直接排入大气。

## 3.4 温度控制系统

### 3.4.1 热电偶的设置

窑炉热电偶的设置应当适合。在关键点一定要设置热电偶, 还有像在高温区要注意上下温差, 所以上下应当都要设置。

本设计在:

$20\sim 700^{\circ}\text{C}$  之间, 即第 1~12 节, 每节窑顶中部插入一根 K 型热电偶。

$700\sim 1050^{\circ}\text{C}$  之间, 即第 12~30 节, 每节窑顶和窑底中部插入一根 K 型热电偶。

$1050\sim 1170^{\circ}\text{C}$  之间, 即第 31~34 节, 每节窑顶和窑底中部插入一根 S 型热电偶。

急冷段第 35~37 节, 每节窑顶中部插入一根 S 型热电偶。

缓冷段第 38~50 节, 每节窑顶和窑底中部插入一根 K 型热电偶。

快冷段第 51~55 节, 每节窑顶中部插入一根 K 型热电偶。

### 3.4.2 温度仪表选型

低温区：K 型热电偶

高温区：S 型热电偶

热电偶通过补偿导线与微机相连。

## 3.5 传动系统

传动系统包括辊棒及传动装置。辊道窑的传动系统由电机、减速设备和传动机构所组成。

### 3.5.1 辊棒的选择

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 8 节以前和第 50 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 9-12 节，35-49 节采用耐热钢辊，在高温段（13-34 节）莫来石-刚玉质陶瓷棍棒。

### 3.5.2 传动装置

如今窑炉的传动方式有链传动、摩擦传动、螺旋齿轮传动、圆锥齿轮传动和直齿轮传动。链传动结构简单，造价低，早期的辊道窑大多采用链传动，但链传动不够平稳，链条较长时易发生爬行现象。摩擦传动比较平稳，但可靠性稍差。齿轮传动具有明显的可靠性和平稳性，不过，由于齿与齿之间为点接触，容易磨损，对安装和润滑要求较高。用的较多的是螺旋齿轮传动。

电机带动传动装置也有两种形式：一是长轴传动，其特点是一台电机带动一根与窑长差不多的长轴，通过二级减速将动力分配若干组，长轴上装有离合器。一是多电机传动，特点是将窑分成若干组，几个模数段为一组，每组由一台电机传动，采用变频调速，所有电机可同时运行，每台亦可单独运行，我们现在使用的就是多

电机传动。

本设计采用螺旋齿轮传动与多电机传动，并且使用差速传动（对裸烧产品还对调整变形有好处）。差速传动就是相邻辊棒速度有微小差异，通过配置不同尺数的齿轮比来实现，一般使用 15：22 和 17：25。除了第 1—5 节采用一个电机，其余都是两节使用一个电机。其中电机为 0.75KW，速比为 1：59。

### 3.5.3 辊距的确定

设计辊距即相邻两根辊子的中心距，确定辊距主要依据是制品长度、辊子直径以及制品在辊道上移动的平稳性。

考虑到制品长度较大，因此根据经验公式计算得：

$$H=1/5*680=176$$

同时考虑到每节窑长 2m，确定最后的辊距为 100 mm，每节装 20 跟辊棒。

辊子总数为  $N=20 \times 55=1100$  根

### 3.5.4 辊棒的联接形式

辊道窑主动端采用弹簧夹紧式，而从动端使用的是托轮摩擦式连接，这种联接方式对更换辊子非常方便。托轮摩擦式连接是将辊棒自由的放在间距相等的托轮上，利用辊子的摩擦力带动辊子转动。

### 3.5.5 传动过程

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

## 3.6 窑体附属结构

### 3.6.1 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用交错布置的形式。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。本设计设定事故处理孔的尺寸为：360×132 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。

### 3.6.2 观察孔与测温口

窑炉每个烧嘴的对侧窑墙设置直径 30mm 的观察孔，上窑墙观察孔的里面要向下打个斜角，以便可以观察窑内砖的走势情况及其它燃烧情况，当遇到了事故处理口时就不设置观察口。

测温口根据上面热电偶的设置而设置。

### 3.6.3 膨胀缝

窑炉窑体受热会膨胀，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 20~40mm 膨胀缝，内填陶瓷棉或石棉。

本设计为了砌窑的方便，除了高温区外每隔一节留设 20 mm 的膨胀缝，高温区则应多留一道膨胀缝。而宽度方向上也要留膨胀缝，这没有具体的规定，留多少道膨胀缝则根据砌筑的方便与厂家的要求来定。还有膨胀缝也应该错缝设置。

### 3.6.4 下挡墙和上挡板

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。

一般来说，下挡墙与上挡板的设置应该根据各个段的要求来定。如在烧成带与冷却带之间设置挡墙、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。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，从而提高热利用率。还用为了更好的控制温度，还在中高温设置几个上挡板与下挡墙。

故本设计在烧成带两端即 21, 35, 44 节设上下挡板挡墙结构，有利于该段温度



的控制和调节，同时起到阻挡急冷空气进入的作用。同时在预热带第 9 节以第 13 节同样也设置上下挡板挡墙的结构，起到阻挡气流，减小上下温差的作用。

### 3.6.5 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  $50 \times 50$  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  $50 \times 32 \times 4$  的角钢。窑底支撑采用可调节的方式。

## 4 窑体材料确定

整个窑体由金属支架支撑。窑体材料要用耐火材料和隔热材料。

### 4.1 窑体材料确定原则

辊道窑窑墙与所有工业窑炉的窑墙一样，必须具备耐高温、具有一定强度和保温性能好三个基本条件，选用的材料要保证材料长期允许使用工作温度大于实际使用的最高温度。特别是，由于辊子要穿过窑墙，为了提高辊子长度的有效利用率，对窑墙厚度有更严格的控制。换言之，为了增加辊道窑窑内有效宽度，就应尽量减薄窑墙，同时考虑到材料的价格问题在达到要求之内尽量选用价廉的材料以减少投资。

- ①为了砌筑方便和外形整齐，窑墙厚度变化不要太多；
- ②各层材料的厚度应为砖长或砖宽的整倍数，墙高则为砖厚的整倍数，尽量少砍砖；
- ③要保证散热量小一窑墙外壁最高温度应不大于 80℃；
- ④两侧窑墙厚度与窑内宽之和应小于所选用的辊子长度。

### 4.2 整个窑炉的材料表

预热一区：低箱

起始箱：1

终止箱8

层号	顶部/R		侧墙/S		底部/B	
	材料	厚度	材料	厚度	材料	厚度
1	岩棉板	50	岩棉板	50	0.8 漂珠粘土铺底 砖	67
总厚度 mm		50		50		67

材料性能表 4-2

名称	规格	材质	热导率	备注
岩棉板	1100*600*50	$\rho = 0.15$	$0.035+0.0018t$	温度范围 50~300
0.8 漂珠粘土铺底砖	250*230*65	NG-0.8	0.27	热导率 $t_{\text{平均}} = 350 \pm 50^{\circ}\text{C}$

预热二区 表 4-3

预热二区

起始箱:

9

终止箱

12

层号	顶部/R		侧墙/S		底部/B	
	材料	厚度	材料	厚度	材料	厚度
1	高铝聚轻球 $\rho$ 0.8	220	0.8 漂珠粘土砖	115	0.8 漂珠粘土铺底 砖	67
2	普通硅酸铝纤维 毯	25	岩棉板	50	0.8 漂珠粘土砖	67
总厚度 mm		245		165		134

材料性能 表 4-4

名称	规格	材质	热导率	备注
岩棉板	1100*600*50	$\rho = 0.15$	0.035+0.0018t	温度范围 50~300
0.8 漂珠粘土铺 底砖	250*230*65	NG-0.8	0.27	热导率 $t_{\text{平均}} = 350 \pm 50^{\circ}\text{C}$
0.8 漂珠粘土砖	230*114*65	NG-0.8	0.27	热导率 $t_{\text{平均}} = 350 \pm 50^{\circ}\text{C}$
普通硅酸铝纤 维毯	1100*400*25	$\rho = 0.22$	0.13	标准型 RT
高铝聚轻球 $\rho$ 0.8	272*220*154	LG-0.8 聚轻球	0.35	热导率 $t_{\text{平均}} = 350 \pm 50^{\circ}\text{C}$

预热三区 表 4-5

烧成区，保温区，急冷区 表 4-7

起始箱： 13 终止箱 37

层号	顶部/R		侧墙/S		底部/B	
	材料	厚度	材料	厚度	材料	厚度
1	JM26	250	JM26	115	JM26	67
2	普通硅酸铝纤维毯	50	JM23	115	高铝聚轻球 $\rho$ 0.8	67
3	普通硅酸铝纤维毯	25	1260 陶瓷纤维板	50	高铝聚轻球 $\rho$ 0.8	67
4			普通硅酸铝纤维毯	50	0.8 漂珠粘土砖	67
5					0.8 漂珠粘土砖	67
总厚度 mm		325		330		335

材料性能 表 4-8

名称	规格	材质	热导率	备注
JM26 (顶部吊顶)	272*250*154	JM-26-0.8	0.35	热导率温度 1000℃
JM26	230*114*65	JM-26-0.8	0.35	热导率温度 1000℃
JM23	230*114*65	JM-23-0.8	0.20	热导率温度 1000℃
高铝聚轻球 $\rho$ 0.8	230*114*65	LG-0.8 聚轻球	0.35	热导率 $t_{\text{平均}} = 350 \pm 50^\circ\text{C}$
1260 陶瓷纤维板	600*400*50	$\rho = 0.22$	0.20	T 分类=1260
0.8 漂珠粘土砖 (底部)	250*230*65	NG-0.8	0.27	热导率 $t_{\text{平均}} = 350 \pm 50^\circ\text{C}$
普通硅酸铝纤维毯	1100*400*50 (25)	$\rho = 0.22$	0.13	标准型 RT
普通硅酸铝纤维毯	1100*400*50	$\rho = 0.22$	0.14	T 使用=950~1000℃

缓冷区 表 4-9

缓冷区：低箱 起始箱： 38 终止箱 50

层号	顶部/R		侧墙/S		底部/B	
	材料	厚度	材料	厚度	材料	厚度
1	高铝聚轻球 $\rho 0.8$	220	0.8 漂珠粘土砖	115	硅藻土砖	67
2	普通硅酸铝纤维毯	50	硅酸铝纤维毡	50	硅藻土砖	67
总厚度 mm		270		165		134

材料性能 表 4-10

名称	规格	材质	热导率	备注
高铝聚轻球 $\rho 0.8$	272*250*154	LG-0.8 聚轻球	0.35	热导率温度 1000℃
0.8 漂珠粘土砖	230*114*65	NG-0.8	0.27	热导率温度 1000℃
硅藻土砖	230*114*65	GC-0.5a	0.15	使用 $T < 900^\circ\text{C}$
普通硅酸铝纤维毯	230*114*65	$\rho = 0.22$	0.14	标准型 RT
硅酸铝纤维毡	600*400*50	$\rho = 0.22$	0.13	

快冷区 表 4-11

终冷一区：低箱

起始箱：64

终止箱 70

层号	顶部/R		侧墙/S		底部/B	
	材料	厚度	材料	厚度	材料	厚度
1	硅酸铝纤维毡	50	0.8 漂珠粘土砖	115	0.8 漂珠粘土砖	67
2	硅酸铝纤维毯	50	硅酸铝纤维毡	50	0.8 漂珠粘土砖	67
总厚度 mm		100		165		134

终冷二区(空箱)：低箱

起始箱：50

终止箱 55

层号	顶部/R		侧墙/S		底部/B	
	材料	厚度	材料	厚度	材料	厚度
1			配轴流风机			

材料性能 表 4-12

名称	规格	材质	热导率	备注
0.8 漂珠粘土砖	230*114*65	NG-0.8	0.27	
普通硅酸铝纤维毡	230*114*65	$\rho = 0.22$	0.14	标准型 RT
硅酸铝纤维毡	600*400*50	$\rho = 0.22$	0.13	
岩棉板	1100*600*50	$\rho = 0.15$	0.035+0.0018t	温度范围 50~300

## 5 燃料及燃烧计算

### 5.1 理论空气需要量

燃料低位热值  $Q_d=10000\text{KJ}/\text{Nm}^3$

查设计手册，用经验公式可得：

理论空气需要量为： $L_0=0.21\times Q_d/1000=2.205\text{ m}^3/\text{m}^3$

### 5.2 实际空气需要量

由于辊道窑全窑都是氧化气氛，所以取空气过量系数为 1.3

则实际空气需要量为： $L_a=L_0\times 1.3=2.8665\text{ m}^3/\text{m}^3$

### 5.3 用经验公式计算实际烟气生成量

理论烟气量  $V_g^0=0.26\times Q_d/1000=0.26\times 10500/1000=2.73\text{ m}^3/\text{m}^3$

实际烟气量  $V_g=V_g^0+(a-1)\times L_0=2.73+(1.3-1)\times 2.205=3.3195\text{ m}^3/\text{m}^3$

### 5.4 燃烧温度

理论燃烧温度  $T_{th}=(Q_d+V_a C_a T_a+C_f T_f)/V_g C_g$

当温度为  $20^\circ\text{C}$  时，空气比热系数  $C_a=1.30\text{KJ}/\text{m}^3\text{ }^\circ\text{C}$ ，水煤气比热为  $1.38\text{KJ}/\text{m}^3$

设： $t=1800^\circ\text{C}$ ，则  $C_f=1.67\text{KJ}/\text{m}^3\text{ }^\circ\text{C}$

所以： $t=(10500+1.2.8665\times 1.3\times 20+1.38\times 20)/3.3195\times 1.67$

$=1871.9^\circ\text{C}$

$(1871.9-1800)/1800=0.0399=3.99\%$  基本合理

取高温系数为 0.75，则实际的温度为： $t=0.75\times 1871.9=1404^\circ\text{C}$ ，比  $1170^\circ\text{C}$  高出 234

℃, 高于 80℃ 以上, 这符合烧成要求, 保证产品达到烧熟的目的, 空气可以不预热便可使用。

## 6 物料平衡计算

原料组成:

$SiO_2$	$Al_2O_3$	$Fe_2O_3$	$TiO_2$	CaO	MgO	$K_2O + Na_2O$	灼减
70	19.5	0.4	0.2	0.1	0.8	4.0	4.2

建筑砖密度为  $1.5 \times 10^3 \text{ Kg} / \text{m}^3$ , 产品尺寸为  $600 \times 600 \times 12 \text{ mm}$ ,

每小时烧成制品质量  $G_m$

$$= 20742.478 / 330 \times 24 \times 0.96 \quad * 1.5$$

$$= 4000 \text{ (kg/h)}$$

每小时烧成干坯的质量

$$G_g = 4166 \text{ kg/h}$$

每小时欲烧成湿坯的质量 (含水量为 2 %)

$$G_s = 4251 \text{ (Kg / h)}$$

每小时蒸发自由水的质量

$$G_z \text{ (Kg / h)} = 5 \text{ (Kg / h)}$$

每小时从精坯中产生的  $CO_2$

$$G_{cao} = 4166 \times 0.001 = 4.166 \text{ (Kg / h)}$$

$$G_{mgo} = 4166 \times 0.008 = 33.328 \text{ (Kg / h)}$$

$$G_{co2} = \left( G_{cao} \times \frac{44}{41} \right) + \left( G_{mgo} \times \frac{44}{41} \right) = 22 \text{ (Kg / h)} = 40 \text{ kg/h}$$

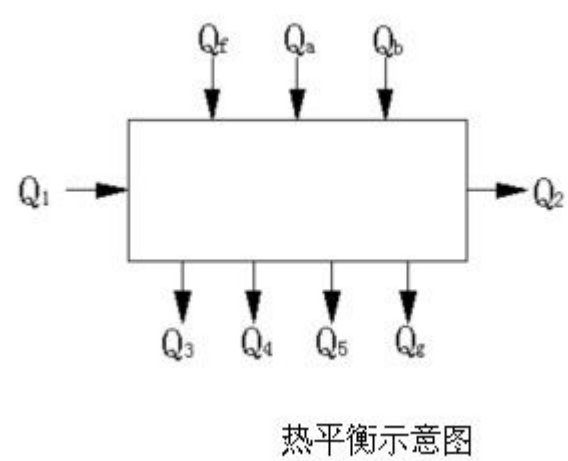
每小时从精坯中分解出来的结构水



## 7 热平衡计算

热平衡计算包括预热带、烧成带热平衡和冷却带热平衡计算，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力。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 热平衡示意框图



热平衡示意图

坯体带入显热：	$Q_1$	热制品带出显热：	$Q_2$
燃料带入化学热及显热：	$Q_f$	窑体散失热：	$q_3$
助燃空气带入显热：	$Q_a$	物化反应耗热：	$Q_4$
预热带漏入空气带入显热：	$Q_b$	其他热损失：	$Q_5$
		烟气带走显热：	$Q_g$

$(Kg/h)$

1

## 7.2 热收入项目

### 7.2.1 坯体带入显热 $Q_1$

$$Q_1 = G_s c_1 t_1$$

其中:  $G_s$ ——湿制品质量 ( $Kg/h$ ), 据物料平衡计算中可知  $G_s = 4251 (Kg/h)$

$T=$ ;

$C_1$ ——制品的比热 ( $KJ/(Kg \cdot ^\circ C)$ );

$T_1$ ——制品的温度 ( $^\circ C$ ), 取  $20^\circ C$ ;

$C_1$  随各地原料成分及配方的不同而变化, 按公式  $C_1 = 0.84 + 26 \times 10^{-5} \times t$   $KJ/(Kg \cdot ^\circ C)$  计算, 所以取  $C_1 = 0.8542$   $KJ/(Kg \cdot ^\circ C)$

$$\therefore Q_1 = G_s \cdot c_1 \cdot t_1 = 4251 \cdot 20 \cdot 0.8542 = 72624.083 \text{ kg/h}$$

### 7.2.2 燃料带入化学热及显热 $Q_f$

柴油低热值为  $10000 \text{ KJ}/\text{Bm}^3$

入窑油化气温度  $t_f = 20^\circ C$ ,  $20^\circ C$  时油气比热容  $c_f = 3.0 \text{ KJ}/\text{Bm}^3 \cdot ^\circ C$

设柴油消耗量为  $x \text{ Bm}^3/h$

$$\text{则 } Q_f = x(10000 + 20c) = 10060x$$

### 7.2.3 助燃空气带入显热 $Q_a$

助燃空气温度  $t_a = 20^\circ C$

$20^\circ C$  时, 取空气比热容  $c_a = 1.30 \text{ (KJ}/\text{m}^3 \cdot ^\circ C)$

$$V_{a\text{总}} = V_a x = 30.76x \text{ Bm}^3/h$$

$$\text{则 } Q_a = V_{a\text{总}} C_a T_a \text{ (KJ/h)} = 1.3 \cdot 20 \cdot 30.76 = 623 \text{ kJ/m}^3$$

### 7.2.4 预热带漏入空气带入显热 $Q'_a$

取预热带空气过剩系数  $\alpha_g = 2.0$ , 漏入空气温度  $t_a = 20^\circ C$ ,  $C_a = 1.30 \text{ (KJ}/\text{m}^3 \cdot ^\circ C)$ ,

漏入空气量为  $V_a = X(a_\xi - a)L_0 = X(2.0 - 1.15) * 2.198 = 1.87X(m^3 / m^3)$ ，则漏入空气带入显热为： $Q_b = V_a C_a t_a = 1.87X * 1.30 * 20 = 48.62X(kJ / h)$

## 7.3 热支出项目

### 7.3.1 热制品带出显热 $Q_2$

烧成产品质量：

$$G_m = 4166 \quad (\text{Kg/h})$$

制品烧成温度  $1170^\circ\text{C}$

制品平均比热容，查手册  $C_1 = 0.84 + 26 \times 10^{-5} \times t \text{ KJ} / (\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}) = 1.14 \text{ KJ} / (\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C})$

$$Q_m = G_m C_2 T_2 = 4166 * 1.14 * 1170 = 3360544 (KJ / h)$$

### 7.3.2 窑体散失热 $Q_3$

将计算窑段分为两部分，即第 8-30 节： $250^\circ\text{C} - 1050^\circ\text{C}$ ，取平均值： $650^\circ\text{C}$ 。

第二 30-34 节： $1050^\circ\text{C} - 1170^\circ\text{C}$ ，取平均值  $1120^\circ\text{C}$ 。

#### 7.3.2.1 第一部分

① 窑墙散热：内壁平均温度  $t = 650^\circ\text{C}$ ，设  $t_2 = 600^\circ\text{C}$ ， $t_3 = 52^\circ\text{C}$

$$\lambda_1 = 0.66 + 0.00008 \times \frac{650 + 600}{2} = 0.66 + 0.05 = 0.71 \quad (\text{w/m} \cdot ^\circ\text{C})$$

$$\lambda_2 = 0.13 \quad (\text{w/m} \cdot ^\circ\text{C})$$

$$\partial = 6.08 + 5.4 = 11.48 \quad (\text{w/m} \cdot ^\circ\text{C})$$

热流密度：

$$q = \frac{t_1 - t_3}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{1}{\partial}} = \frac{650 - 52}{\frac{0.113}{0.71} + \frac{0.197}{0.13} + \frac{1}{11.48}} = 383 \quad (\text{w/m} \cdot ^\circ\text{C})$$

$$\text{窑墙散热面积 } A = \frac{0.8 + 1.576}{2} \times 2 \times 16 = 38 \quad \text{m}^2$$

二侧窑墙共散热：

$$Q'_1 = 38 \times 2 + 383 \times 3.6 = 104788.8 \text{ (KJ/h)}$$

## ② 窑顶散热:

单位热流密度:

$$q = \frac{t_1 - t_a}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{1}{\partial}} = \frac{650 - 60}{\frac{0.3}{0.704} + \frac{0.15}{0.2} + \frac{1}{13.82}} = 469.7 \text{ (W/m}^2\text{)}$$

$$\text{窑顶散热面积: } A = \frac{1.73 + 2.35}{2} \times 2 \times 16 = 65.28 \text{ m}^2$$

窑顶散热量:

$$Q''_1 = 469.7 \times 65.28 \div 3.6 = 110383.26 \text{ (KJ/h)}$$

## ③ 窑底散热

热流密度:

$$q = \frac{t_1 - t_3}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\partial}} = 365.55 \text{ (KJ/h)}$$

$$\text{窑底散热面积 } A = \frac{1.73 + 2.35}{2} \times 2 \times 16 = 65.28 \text{ m}^2$$

窑底散热量:

$$Q'''_1 = 65.28 \times 365.55 \times 3.6 = 85907.17 \text{ (KJ/h)}$$

所以低温段窑体总散热量:

$$Q_{\text{底}} = 110383.26 + 85907.17 = 1983247 \text{ (KJ/h)}$$

## ① 窑墙散热

热流密度:

$$q = \frac{t_1 - t_3}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{1}{\partial}} = \frac{1120 - 95}{\frac{0.114}{0.754} + \frac{0.197}{0.25} + \frac{1}{14.2}} = 1015 \text{ (W/m}^2\text{)}$$

$$\text{窑墙散热面积 } A = \frac{0.9 + 1.576}{2} \times 2 \times 9 = 22.28 \text{ m}^2$$

二侧窑墙共散热:

$$Q'_2 = 2 \times 22.28 \times 1015 \times 3.6 = 162822.24 \quad (KJ/h)$$

### ② 窑顶散热

热流密度:

$$q = \frac{t_1 - t_3}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{1}{\delta}} = 964.8 \text{ (w/m}^2\text{)}$$

$$\text{窑顶散热面积 } A = \frac{1.73 + 2.384}{2} \times 2 \times 9 = 37.02 \text{ m}^2$$

窑顶散热量:

$$Q''_2 = 964.8 \times 37.02 \times 3.6 = 128580.8 \quad (KJ/h)$$

### ③ 窑底散热

热流密度:

$$q = \frac{t_1 - t_3}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\delta}} = 950.8 \text{ (w/m}^2\text{)}$$

$$\text{窑底散热面积 } A = \frac{1.73 + 2.384}{2} \times 2 \times 9 = 37.02 \text{ m}^2$$

窑底散热量:

$$Q'''_2 = 950.8 \times 37.02 \times 3.6 = 126715 \quad (KJ/h)$$

高温段总散热量:

$$Q_{\text{高}} = 162822.24 + 128580.8 + 126715 = 418118 \quad (KJ/h)$$

预热带、烧成带窑体总散热量

$$Q = Q_{\text{gao}} + Q_{\text{di}} = 659197.3 \quad (KJ/h)$$

## 7.3.3 物化反应耗热 $Q_4$

① 自由水蒸发吸热  $Q_w$

$$\text{自由水质量 } G_w = G_S - G_g = 85 \quad (Kg/h)$$

烟气离窑温度  $t_g = 400\text{ }^{\circ}\text{C}$

$$\therefore Q_w = G_w = 85 * (2490 + 1.93 * 400) = 277270 \text{ (KJ / h)}$$

②烧成坯体物化反应耗热

用  $Al_2O_3$  反应热近似代替坯体物化反应热

入窑干制品质量  $G_g = 4166 \text{ kg/h}$   $Al_2O_3$  含量 = 19.5%

$$Q_p = G_g * 2100 * 0.195 = 1705977 \text{ (KJ / h)}$$

所以  $Q_4 = Q_w + Q_p = 1483247 \text{ (KJ / h)}$

### 7.3.4 烟气带走显热 $Q_g$

$$\text{离窑烟气总量 } V_g = [V_g^0 + (\alpha_g - \alpha) V_a^0] x = [28.4 + (2 - 1.15) \times 26.75] x = 5.7x$$

离窑烟气过剩系数  $\alpha_g = 2 \sim 4$  , 取  $\alpha_g = 2$

离窑烟气温度  $t_g = 400^{\circ}\text{C}$

查手册, 此时烟气的平均比热为  $C_g = 1.45 \text{ (KJ / m}^3 \cdot ^{\circ}\text{C)}$

$$\therefore Q_g = V_g C_g t_g = 5.7x \times 1.45 \times 400 = 3306x \text{ (KJ / h)}$$

### 7.3.5 其他热损失 $Q_5$

根据经验占热收入的 5%

$$Q_5 = (Q_1 + Q_f + Q_a + Q_{a1}) * 0.05 = (961788.75 + 101451x) * 0.005 = 4818.9 + 513x$$

## 7.4 列热平衡方程并求解

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

$$\text{解得 } x = 120 \text{ (Bm}^3 \text{ / h)}$$

每小时烧成制品质量为:  $G_m = 4166 \text{ (Kg / h)}$

每公斤产品热耗:  $120 * 100000 / 4166 = 2880 \text{ (Kg / Kj)}$

目前建筑砖的产品热耗在  $2000 \sim 3500 \text{ (KJ / Kg)}$  之间, 所以设计该窑炉热耗合理!

## 7.5 列热平衡表

### 预热带烧成带热平衡表

Figure 1 the tack and lead thermal balance form to cook to preheat

热收入			热支出		
项目	$KJ/h$	%	项目	$KJ/h$	%
坯体带入显热	1207200	18.6	产品带出显热	3678466.3	56.63
燃料化学热及显热	5131800	79	窑体散失热	659197.27	10.1
助燃空气显热	85171.2	1.31	物化反应热	1483247	22.27
漏入空气显热	70948.8	1.09	烟气带走显热	396720	6.1
			其他热损失	255851.95	3.9
总计	6495120	100.0	总计	6495481	100.0

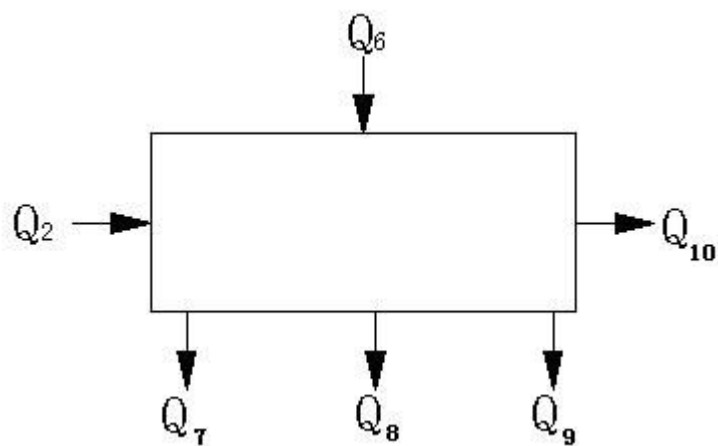
热平衡分析:由表可以看出热支出项中,产品带走显热,物化反应耗热两项不可能减少。而其他三项则可采用适当措施节省能耗。对于烟气出窑温度适当控制在较低温度下。在资金允许的情况下,要减少窑体散热则可采用新型耐火材料,隔热材料,以达到节能减排的目的。

### (2) 冷却带热平衡计算

## 7.6 热平衡示意图

图 7-6 冷却带热平衡示意图

Fig7-6 the sketch map of thermal balance of the colling belt



制品带入的显热  $Q_2$

冷却风带入显热  $Q_6$

制品带出显热  $Q_7$

热风抽出带走显热  $Q_8$

窑体散热  $Q_9$

其他热损失  $Q_{10}$



## 7.7 热收入

### 7.7.1 制品带入的显热 $Q_2$

制品烧成温度  $t=1190^{\circ}\text{C}$

查表可知该温度下制品的平均比热为  $C=1.29\text{KJ}/(\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C})$

每小时烧成制品质量  $G_m=4166\text{ kg/h}$

所以  $Q_2=G_m\cdot t\cdot c=4166\cdot 1190\cdot 1.29=6395226.6\text{ (KJ/h)}$

### 7.7.2 冷却风带入显热 $Q_6$

设定鼓入冷风量为  $V_x\text{ m}^3/\text{h}$ 。鼓入冷风的温度： $t_a=20^{\circ}\text{C}$

查表得： $20^{\circ}\text{C}$ 时空气的比热为  $c_a=1.30\text{ KJ}/\text{m}^3\cdot^{\circ}\text{C}$ 。

$\therefore Q_6 = V_x c_a t_a = V_x \times 1.30 \times 20 = 26V_x\text{ (KJ/h)}$

## 7.8 热支出

### 7.8.1 制品带出显热 $Q_7$

出窑时制品的质量： $G_m=4166\text{ kg/h}$

计算时以窑尾快冷结束为出窑口，此时的温度为  $t_7=80^{\circ}\text{C}$

此时陶瓷制品的比热为  $c_7=0.896\text{ (KJ/Kg}\cdot^{\circ}\text{C)}$

$\therefore Q_7=4166\cdot 0.896\cdot 80=298618.88\text{ (KJ/h)}$

### 7.8.2 热风抽出时带走的显热 $Q_8$

由热风抽出量应等于冷风鼓入量，遵循平衡原则。故抽出热风量为  $V_x\text{ m}^3/\text{h}$

取热风抽出的温度为： $t_8=300^{\circ}\text{C}$ ，查表此时的比热为： $c_8=1.32\text{ KJ}/\text{m}^3\cdot^{\circ}\text{C}$

则  $Q_8 = V_x \cdot c_8 \cdot t_8 = 300 \times 1.32 \times V_x = 396V_x$

### 7.8.3 窑体散失热量 $Q_9$

## 1. 急冷带（35—37 节）1170~700℃段散热

### ① 窑墙散热

内壁平均温度  $t_2=1170+700/2=945^{\circ}\text{C}$

设窑墙外壁平均温度  $t_3 = 65^{\circ}\text{C}$

$$\text{窑墙散热面积 } A = \frac{0.8+1.585}{2} \times 2 \times 3 = 7.155 \text{ m}^2$$

二侧窑墙共散热:

$$Q_1' = 497 \times 2 \times 3.6 \times 7.155 = 25603.452 \text{ (KJ/h)}$$

### ② 窑顶散热:

热流密度:

$$q = 729.16 \text{ (W/m}^2\text{)}$$

$$\text{窑顶散热面积: } A = \frac{1.92+2.64}{2} \times 2 \times 3 = 15.2 \text{ m}^2$$

窑顶散热量:

$$Q_1'' = 729.16 \times 2 \times 3.6 \times 15.2 = 79799.270 \text{ (KJ/h)}$$

### ③ 窑底散热

热流密度:

$$q = \frac{t_1 - t_3}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha}} = 547.55 \text{ (W/m}^2\text{)}$$

$$\text{窑底散热面积 } A = \frac{1.92+2.64}{2} \times 2 \times 3 = 15.2 \text{ m}^2$$

窑底散热量:

$$Q_1''' = 547.55 \times 15.2 \times 3.6 = 29962.1 \text{ (KJ/h)}$$

$$\text{急冷带散热总量: } Q_{\text{急}} = 25827.7 + 39114.9 + 29962.1 = 94904.68 \text{ (KJ/h)}$$

2. 缓冷带、快冷带 (37—55 节):  $700\sim 80^{\circ}\text{C}$  , 要内壁平均温度  $390^{\circ}\text{C}$ 。窑外壁平均温度取  $50^{\circ}\text{C}$ ,

### ① 窑墙散热

热流密度:

$$\text{窑墙散热面积 } A = \frac{0.7 + 1.345}{2} \times 2 \times 6 = 12.27 \text{ m}^2$$

二侧窑墙共散热:

$$Q_2' = 12.27 \times 2 \times 205.19 \times 3.6 = 18127.4 \text{ (KJ/h)}$$

### ② 窑顶散热:

热流密度:

$$q = \frac{t_1 - t_a}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} = \frac{390 - 20}{\frac{0.23}{0.35} + \frac{0.09}{0.13}} = 252.038 \text{ (W/m}^2\text{)}$$

$$\text{窑顶散热面积 } A = \frac{1.92 + 2.64}{2} \times 2 \times 6 = 27.36 \text{ m}^2$$

窑顶散热量:

$$Q_2 = 2488 \text{ (KJ/h)}$$

### ③ 窑底散热

单位热流密度:

$$q = \frac{t_1 - t_a}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} = \frac{390 - 50}{\frac{0.13}{0.335} + \frac{0.195}{0.13}} = 285.71 \text{ (W/m}^2\text{)}$$

$$\text{窑底散热面积 } A = \frac{1.92 + 2.64}{2} \times 2 \times 6 = 27.36 \text{ m}^2$$

$$Q_2''' = 27.36 \times 285.71 \times 3.6 = 28141 \text{ (KJ/h)}$$

$$\text{此段总散热量 } Q_{\text{缓}} = 18127 + 24821 + 28141 = 71089 \text{ (KJ/h)}$$

冷却带窑体总散热  $Q_9 = Q_{急} + Q_{缓} = 94904.68 + 71089 = 165993.68 \text{ (KJ / h)}$

7.8.4 由窑体不严密处漏出空气带走显热  $Q_{10}$

冷却带从窑体不严密处漏出空气量通常为窑尾鼓入风量的 5% 。

$Q_{10} = (Q_2 + Q_6) * 5\% = 646937.61 + 1.3V_x \text{ (kJ / h)}$

7.9 列热平衡方程

$Q_3 + Q_6 = Q_7 + Q_8 + Q_9 + Q_{10}$

$3615160.5 + 26V_x = 168806.4 + 396V_x + 165820 + 26.6V_x$

解得  $V_x = 14025 \text{ (m}^3 \text{ / h)}$

即每小时鼓入冷风量为  $14025 \text{ (m}^3 \text{ / h)}$

7.10 列热平衡表

冷却带热平衡表

Figure 7-4 Cool and tack the thermal balance form

热收入				热支出			
序号	项目	热量 (KJ/h)	比例%	序号	项目	热量 (KJ/h)	比例%
1	制品带入热	6395226.6	94.4	1	制品带出热	298618.88	4.5
2	冷却风带入热	233350	5.6	2	窑体散热	94904.68	1.43
				3	抽热风带走热	5954100	89.83
				4	其他热损失	280024.6	4.24

总计		6628576.6	100	总计		6628548.16	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，一般用来干燥坯体和作助燃风以及雾化风作用。本窑设计抽热风用于坯体的干燥以及送去造粒塔进行吹热风造粒。同时本人正在积极研究一项新的课题项目，利用窑炉热风进行热发电，如果能研究成功此发明将有很广阔的应用前景，同时为我国节约大量能源，对我国正在大力建设节约型社会起到巨大的推动作用。

## 8 管道尺寸以及阻力计算和风机选型

### 8.1 抽烟风机的管道尺寸、阻力计算

#### 8.1.1 管道尺寸

排烟系统需排烟气量:

$$V_g = [V_g^o + (\alpha - 1)V_a] \cdot X = [28.4 + (1.15 - 1) \times 30.76] \times 55 = 1815.77 \text{ Bm}^3 / \text{m}^3$$

烟气抽出时实际体积为:

烟气在金属管中流速  $\omega$  , 根据经验数据取 10m/s

$$V = V_g \cdot (273 + 400) / 273 = 1.24 \quad (\text{m}^3 / \text{s})$$

##### 8.1.1.1 总烟管尺寸

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

$$\begin{aligned} \text{内径 } d_{\text{总}} &= (4V / \pi \omega)^{0.5} \\ &= [4 \times 1.24 / (3.1415 \times 10)]^{0.5} \\ &= 0.40\text{m} \end{aligned}$$

所以, 总管内径取值: 400mm, 长度取 500m.

##### 8.1.1.2 分烟管尺寸

$$\text{分管流量 } V' = V / 2 = 1.24 / 2 = 0.62 \quad (\text{m}^3 / \text{s})$$

$$\begin{aligned} \text{内径 } d_{\text{分}} &= (4V' / \pi \omega)^{0.5} \\ &= [4 \times 0.62 / (3.1415 \times 10)]^{0.5} \\ &= 0.381\text{m} \end{aligned}$$

考虑到调节的方便性分管内径取值为: 380mm, 长度取 400m.

##### 8.1.1.3 支烟管尺寸

烟气在支管的流速为:  $\omega = 10\text{m/s}$ , 流量  $V'' = 1.24/4 = 0.31 \text{ (m}^3/\text{s)}$

$$\begin{aligned} \text{内径 } d_{\text{支}} &= (4V/\pi\omega)^{0.5} \\ &= [4 \times 0.31 / (3.14 \times 10)]^{0.5} \\ &= 0.188\text{m} \end{aligned}$$

所以, 支管内径应该不小于 119mm, 考虑到调节的方便取值为: 200mm,

## 8.1.2 阻力计算

### 8.1.2.1 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, 0 压面位于窑头处, 所以,  $h_i = 27 \times 2.13 \times 0.5 = 28.3 \text{ Pa}$

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

### 8.1.2.3 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  $90^\circ$  转弯:  $\zeta = 1.5$ ;

分管  $90^\circ$  急转弯:  $\zeta = 1.5$ ;

分管进入  $90^\circ$  圆弧转弯:  $\zeta = 0.35$ ;

分管进入总管:  $\zeta = 1.5$ ;

总管  $90^\circ$  圆弧转弯:  $\zeta = 0.35$ ;

为简化计算, 烟气流速均按  $10\text{m/s}$  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。

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

#### 摩擦阻力 $h_f$

摩擦阻力系数：金属管道取  $\zeta = 0.03$ ,

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

烟囱阻力忽略不计，

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

.

#### 8.1.2.4 摩擦阻力 $h_f$

摩擦阻力系数：金属管道取  $\zeta = 0.03$ ,

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

烟囱阻力忽略不计，

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

#### 8.2.4 风机的选型

为保证正常工作，取风机抽力余量 0.5

$$\text{所以选型应具备风压: } H = (1 + 0.5) \times 299.49 = 449.235 \text{ Pa}$$

流量取储备系数为 1.5，风机排出烟气平均温度 250℃，

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

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

## 8.2.4 其他系统管路尺寸确定、风机的选型

### 8.2.4.1 、0#柴油总管内径的计算

窑体共安装了 84 个烧嘴

总管选用一根管子,考虑到日后油改天然气转产的需要,那么总管的内径为:

$$d_{\text{总}} = 2 \times (84 \times \pi \times 100 / \pi)^{0.5} \\ = 183 \text{mm}$$

所以, 总管内径取值: 200mm

### 8.2.4.1 窑顶 窑底 窑侧的分管尺寸

柴油分管分组控制, 共分 7 组 14 根,,

$$\text{内径 } d_{\text{分}} = 2 \times (84 \times \pi \times 100 / 14 \times \pi)^{0.5} \\ = 49 \text{mm}$$

所以, 分管内径取值: 50mm

### 8.2.4.2 通往烧嘴的 0#柴油支管内径计算

窑体共安装了 84 个烧嘴, 柴油总共有 84 根, 根据烧嘴的安装尺寸. 内径取 30MM, 并且满足 515.4kg/h 的要求

### 8.2.4.3 助燃风管计算

#### 8.2.4.3 助燃风总管内径的确定

$$\text{助燃风量 } V_a = 515.4 \times 11.0 = 5669.4 \text{ m}^3 / \text{h}$$

$$\text{实际助燃风量 } V = 5669.4 \times (273 + 20) / 273 = 6084.7 \text{ m}^3 / \text{h}$$

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:

$$\begin{aligned}
 d_{\text{总}} &= 2 \times (v / 3600 \pi \omega)^{0.5} \\
 &= 2 \times [6084.7 / (3600 \times 3.14 \times 10)]^{0.5} \\
 &= 0.464 \text{m}
 \end{aligned}$$

所以，总管内径取值：500mm

#### 8.2.4.4 助燃风分管内径的确定

由预热带、烧成带热平衡算得，每小时燃料消耗量为  $120 \text{m}^3/\text{h}$ ，空气消耗量为  $2.524 (\text{Bm}^3/\text{h})$ ，则助燃风量  $V_a = 2.524 \times 120 = 302.88 \text{m}^3/\text{h}$ ，实际助燃风量为  $V = 302.88 \times (273 + 20) / 273 = 6312.41 \text{m}^3/\text{h}$

##### ① 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

$$\text{内径为：} d_{\text{总}} = \sqrt{4V / (\pi \omega)} = \sqrt{\frac{4 \times \frac{6312.41}{3600}}{3.14 \times 10}} = 0.4724 \text{m}，\text{取助燃总管的内径为 } 500 \text{mm}，$$

##### ② 助燃风管分管内径

窑顶、窑底各两根分管， $n=4$ ，流速取： $\omega = 10 \text{m/s}$ ，则助燃风分管的内径为，

$$d_{\text{分}} = \sqrt{4V_{\text{分}} / (\pi \omega)} = \sqrt{\frac{4 \times \frac{1580.35}{3600}}{3.14 \times 10}} = 0.2366 \text{m}，\text{所以可以取定助燃风管分管内径为 } 250 \text{mm}，$$

##### ③ 助燃风管支管内径

通往烧嘴的支管共 120 根，取流速为： $\omega = 6 \text{m/s}$ ，

$$d_{\text{支}} = \sqrt{4V / (n \pi \omega)} = \sqrt{\frac{4 \times \frac{6321.41}{3600}}{120 \times 3.14 \times 6}} = 0.0566 \text{m}，\text{所以，分管内径取值 } 60 \text{mm}$$

#### 8.2.4.5 冷却带风管计算

##### 急冷风管内径的确定

##### 8.2.4.4.1 急冷总管内径

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，

急冷风量为  $\frac{1}{3}V_x = \frac{1}{3} * 34325.67 = 11441.89 \text{ m}^3 / \text{h}$  则冷却带实际鼓入风

量  $V_{\text{实}} = 11441.89 * \frac{(273+20)}{273} = 12280.12 \text{ m}^3 / \text{h}$ ，取流速： $\omega = 20 \text{ m/s}$ ，

#### ①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  $d_{\text{总}} = \sqrt{4V / (\pi\omega)} = \sqrt{\frac{4 * \frac{11441.89}{3600}}{3.14 * 20}} = 0.4498 \text{ m}$ ，取总管

内径为 500mm，

#### ②急冷风管分管内径

急冷风在分管中的流速为： $\omega = 15 \text{ m/s}$ ，

急冷风管分管选用 4 根管子，那么分管的内径为：

$d_{\text{分}} = \sqrt{4V / (n\pi\omega)} = \sqrt{\frac{4 * \frac{11441.89}{3600}}{4 * 3.14 * 15}} = 0.2600 \text{ m}$ ，所以可以取分管内径值为

300mm

#### ③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 156 根管子，那么风管的内径为：

$d_{\text{支}} = \sqrt{4V / (n\pi\omega)} = \sqrt{\frac{4 * \frac{11441.89}{3600}}{156 * 3.14 * 10}} = 0.049 \text{ m}$ ，取风管的内径值为 50mm

### 8.2.4.5 缓冷管径确定

抽热风管分管内径

抽热风在分管中的流速为： $\omega = 10 \text{ m/s}$ ，风管分管选用 4 根管子，那么分管的内径为：432

取分管内径为 450mm

③抽热风口小分管（即通入支管）的内径

抽热风在小分管中的流速为： $\omega=10\text{m/s}$ ，通入支管  $n=28$ ，则支管内径值为：188，取 200mm

#### 8.2.4.6 快冷总管内径确定

$V=3982\text{ m}^3/\text{h}$ ，取  $\omega=10\text{m/s}$

$$d_{\text{总}} = 2\sqrt{\frac{3982}{3600 \times 3.14 \times 10}} = 0.375\text{m}$$

总管内径：400mm

##### 8.2.4.6.1 快冷分管内径确定

取  $\omega=9\text{m/s}$ ， $n=2$

$$d_{\text{分}} = 2\sqrt{\frac{3982}{3600 \times 3.14 \times 9 \times 2}} = 0.280\text{m}$$

分管内径：300mm

##### 8.2.4.6.2 快冷支管内径确定

取  $\omega=8\text{m/s}$ ， $n=24$

$$d_{\text{分}} = 2\sqrt{\frac{3982}{3600 \times 3.14 \times 8 \times 24}} = 0.086\text{m}$$

支管内径：100mm

#### 8.2.4.7.3 风机选型

##### 1 助燃风机选型

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。

##### 2 急冷风机选型

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：

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

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

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，造成教大阻力，故选型时全风压应留有教大余地。

### 3 抽热风机选型

抽热风机的风量： $V=9955 \text{ m}^3/\text{h}$  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，造成教大阻力，故选型时全风压应留有教大余地。

### 4 快冷风机选型

快冷风机的风量： $V=3982 \text{ m}^3/\text{h}$  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，造成教大阻力，故选型时全风压应留有教大余地。

各系统管道尺寸、风机型号规格见表 8-2

**表 8-2 窑主体系统管道尺寸、风机型号规格**

风机选用及性能参数表 9-1

用途	名称	型号	全压 (Pa)	风量 ( $\text{m}^3/\text{h}$ )	电动机	功率 (kw)	转速 (r/min)
排烟	锅炉引风机	Y6-43N010.5D	2670	34694	Y132S1-2	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

## 9 工程材料概算

### 9.1 窑体材料分段概算

#### 9.1.1: 第 1-8 节

岩棉板:  $8 * (2.13 * 3 * 0.05 + 2 * 2.13 * 0.79) = 29.4792 \text{m}^3$

0.8 漂珠粘土铺底砖 (250\*230\*65)  $8 * 2.13 * 3 / (0.25 * 0.23) = 800$  (块)

#### 9.1.2: 第 9-12 节

高铝聚轻球  $\rho 0.8$  (272\*220\*154):  $5 * 2.13 * 3.08 / (0.272 * 0.154) = 1253$  (块)

普通硅酸铝纤维毡 25:  $5 * 3.23 * 2.13 * 0.025 = 1.376 \text{m}^3$

岩棉板:  $0.05 * 1.035 * 2.13 * 5 * 2 = 1.7636 \text{m}^3$

0.8 漂珠粘土铺底砖 250\*230\*65:  $3.30 * 2.13 * 5 / (0.25 * 0.23) = 978$  (块)

0.8 漂珠粘土砖 230\*114\*65:

$3.30 * 2.13 * 5 / (0.23 * 0.114) + 0.114 * 0.79 * 2.13 * 2 * 5 / (0.23 * 0.114 * 0.65)$   
 $= 2145 + 180 = 2325$  (块)

#### 9.1.3 第 13-17 节

高铝聚轻球  $\rho 0.8$  (272\*250\*154):  $5 * 2.13 * 3.08 / (0.272 * 0.154) = 1880$  (块)

普通硅酸铝纤维毡 50:  $12 * 3.5 * 2.13 * 0.050 = 4.473 \text{m}^3$

JM23-0.8 (230\*114\*65):  $5 * 2 * 0.834 * 2.13 * 0.114 / (0.23 * 0.114 * 0.065) = 2852$   
(块)

0.8 漂珠粘土砖 (230\*114\*65):

$5 * 2 * 0.834 * 2.13 * 0.114 / (0.23 * 0.114 * 0.65) = 2852$  (块)

普通硅酸铝标准毡 50:  $12 * 2 * 1.134 * 2.13 * 0.1 = 5.8 \text{m}^3$

高铝聚轻球  $\rho 0.8$  (250\*230\*65):  $3.65 * 2.13 * 5 / (0.25 * 0.23) = 1622$  (块)

0.8 漂珠粘土砖 230\*114\*65:  $3.65 * 2.13 * 5 * 2 / (0.23 * 0.114) = 7116$  (块)

粘土砖  $\rho 0.8$  (230\*114\*65):  $3.65 * 2.13 * 5 * 2 / (0.23 * 0.114) = 7116$  (块)

#### 9.1.4 第 18-37 节

JM26 (顶部吊顶)  $272*250*154$ :  $20*2.13*3.08 / (0.272*0.154) = 3446$  (块)

普通硅酸铝纤维毯 50:  $20*3.46*2.13*0.05 = 8.1068\text{m}^3$

普通硅酸铝纤维毯 25:  $20*3.46*2.13*0.025 = 4.0534\text{m}^3$

JM23 ( $230*114*65$ ):  $20*2*0.834*2.13*0.114 / (0.23*0.114*0.065) = 5228$  (块)

1260 陶瓷纤维板:  $20*2*1.141*2.13*0.05 = 2.6734\text{m}^3$

普通硅酸铝纤维毡:  $20*2*1.141*2.13*0.05 = 2.6734\text{m}^3$

JM26 ( $230*114*65$ ):

$20*3.66*2.13 / (0.23*0.114) + 22*2*0.834*2.13*0.114 / (0.23*0.114*0.065)$

$= 5228 + 6540 = 11768$  (块)

高铝聚轻球  $\rho 0.8$  ( $230*114*65$ ):  $20*2*3.66*2.13 / (0.23*0.114) = 13080$  (块)

0.8 漂珠粘土砖 ( $230*114*65$ ):  $20*2*3.66*2.13 / (0.23*0.114) = 13080$  (块)

### 9.1.5 第 38-50 节

高铝聚轻球  $\rho 0.8$  ( $272*250*154$ ):  $13*2.13*3.08 / (0.272*0.154) = 2192$  (块)

普通硅酸铝纤维毯 50:  $13*3.23*2.13*0.05 = 4.816\text{m}^3$

0.8 漂珠粘土砖: ( $230*114*65$ ):  $13*2*0.812*2.13 / (0.23*0.65) = 324$  (块)

硅酸铝纤维毡 50:  $13*2*1.112*2.13*0.05 = 3.316\text{m}^3$

硅藻土砖 ( $230*114*65$ ):  $13*2*3.33*2.13 / (0.23*0.114) = 7574$  (块)

### 9.1.6 第 51-55 节:

硅酸铝纤维毡 50:  $5*3.23*2.13*0.05 = 2.408\text{m}^3$

硅酸铝纤维毯 50:  $5*3.23*2.13*0.05 = 2.408\text{m}^3$

0.8 漂珠粘土砖 ( $230*114*65$ ):  $5*2*0.812*2.13 / (0.23*0.114) = 924$  (块)

硅酸铝纤维毡 50:  $5*2*0.977*2.13*0.05 = 1.4567\text{m}^3$

0.8 漂珠粘土砖 ( $230*114*65$ ):  $5*2*3.3*2.13 / (0.23*0.114) = 3752$  (块)

## 9.2 钢材的概算

### 9.2.1 方钢的概算

上立柱 (棍上的边立柱和中立柱):

1-12 节, 冷弯方形空心型钢,  $60 \times 60 \times 3\text{mm}$ , 长为 710mm,  $6 \times 13 = 78$  根。

13-37 节, 冷弯方形空心型钢,  $60 \times 60 \times 3\text{mm}$ , 长为 840mm,  $6 \times 25 = 150$  根。



38-55 节, 冷弯方形空心型钢,  $60 \times 60 \times 3\text{mm}$ , 长为 710mm,  $6 \times 18 = 108$  根。

下立柱 (棍下的边立柱和中立柱):

1-12 节, 冷弯方形空心型钢,  $60 \times 60 \times 3\text{mm}$ , 长为 540mm,  $6 \times 13 = 78$  根。

13-37 节, 冷弯方形空心型钢,  $60 \times 60 \times 3\text{mm}$ , 长为 760mm,  $6 \times 25 = 150$  根。

38-55 节, 冷弯方形空心型钢,  $60 \times 60 \times 3\text{mm}$ , 长为 503mm,  $6 \times 18 = 108$  根。

### 9.2.2 角钢

吊顶横梁

1-12 节和 38-55 节,  $\angle 60 \times 60 \times 3$ , 长为 3450mm; 13-37 节  $\angle 60 \times 60 \times 3$ , 长为 3770mm。

### 9.3 钢板

2mm 厚钢板做面板用, 4mm 厚钢板做底板

## 后 记

紧张和忙碌中，本次毕业设计已临近结束。从毕业实习至今短短三个多月的时间，我把大学四年所学知识，特别是专业方面的知识系统地应用于本次设计里，这次毕业设计一方面检验了我所学的基础及专业课程的熟练程度；也给了我机会把我所学知识融会贯通、加深理解、寻求创新。整个设计过程大大加深了我对窑炉结构工作系统的认识，为日后设计、控制窑炉打下坚实理论基础。

就目前硅酸盐工业窑炉的发展趋势来说，现代的陶瓷窑炉已远非是昔日的土木砖石“构筑物”，而早已变成了机电一体化、有较高技术含量的综合技术产物——“烧成机器”。窑炉上安装使用了大量的新材料和机电产品，使得整个生产工序变得流畅、简单。最后对我的毕业设计总结如下：

①采用明焰裸烧工艺。燃烧产物与制品直接接触，热交换充分，制品受热均匀，可以实现低温快烧，降低单位能耗，提高产量。②窑墙及窑顶砌体大量使用耐火纤维，因而使窑炉升、降温快，保温好，窑体外表面温度低，散热及蓄热均少，从而大大降低了能耗。③窑膛空间结构、断面构造设计等设置合理。④采用水煤气作为燃料，选用高速调温烧嘴，并采用合理布置、分组控制的燃烧系统。高速调温烧嘴喷出气体速度可大于  $100\text{m/s}$ ，质量流量大，搅动剧烈，温度又可调，从而大大强化了窑内尤其是低中温段的对流换热，使窑内制品加热极为均匀，烧成周期大为缩短。⑤配置了合理的通风工作系统。不仅全面地满足了窑炉的工作

要求，而且还做到了通风机与管网的良好匹配，从而减少了电能的消耗。

⑥窑炉装配化程度高。可全部在工厂制造，再在现场组装，因而施工周期短，且适合于模数化生产。

## 参考文献

- [1] 胡国林《建陶工业辊道窑》. 北京. 中国轻工业出版社. 1998 年
- [2] 刘振群《陶瓷工业热工设备》. 武汉. 武汉工业大学出版社. 1998 年
- [3] 王淮邦《耐火材料工艺学》第二版. 北京. 冶金工业出版社. 1993 年
- [4] 宋瑞《现代陶瓷窑炉》. 武汉. 武汉工业大学出版社. 1996 年
- [5] 郭海珠《建材工业信息》. 中国期刊网. 1994 年 06 期
- [6] 蔡悦民《硅酸盐工业热工技术》. 武汉. 武汉工业大学出版社. 1995 年
- [7] 李家驹《日用陶瓷工艺学》. 武汉. 武汉工业大学出版社. 1998 年
- [8] 胡国林《窑炉砌筑与安装》. 景德镇陶瓷学院教材. 1992 年
- [9] 胡国林《意大利唯高公司 FRW2000 型辊道窑结构性能分析》. 陶瓷 1990
- [10] 景德镇陶瓷学院科技信息开发部《辊道窑技术资料汇编》
- [12] 陈帆《现代陶瓷工业技术装备》. 北京. 中国建材工业出版社. 1999 年
- [11] 中国硅酸盐学会陶瓷分会建筑卫生陶瓷专业委员会《现代建筑卫生陶瓷工程师手册》. 北京. 中国建材工业出版社. 1998 年

## [12] 《热工手册》

## 关于中国硅酸盐工业窑炉发展现状与展望调研报告

随着燃料结构的改变，国外陶瓷工业的窑炉热工技术从 20 世纪 50 年代末开始至 70 年代初，即由燃煤、重油等转向使用天然气、液化石油气和轻油等，实现了窑炉热工技术的三大突破：①高速调温烧嘴的发明和使用；②新型、高级耐火材料和隔热材料的广泛使用；③精密完善的自动控制系统的采用。在这三大技术突破的基础上，产生并发展了以推板窑、辊道窑为连续式作业窑炉代表，以梭式窑、钟罩窑为间歇式作业窑炉代表的全新一代窑炉。

我国自上世纪 80 年代开始从国外引进了一批先进的窑炉设备的同时也引进了相应的热工技术。随着设备及技术的引进、改革的深入、开放的扩大以及经济体制的转型，对于陶瓷工业及窑炉的要求，也由过去奉行的“高产、优质、低消耗”逐渐转向追求“优质、低耗、高产、灵活、绿色”等更能适应新的经济体制的目标。

我国的陶瓷窑炉热工理论工作者也为我国窑炉热工技术的进步做出了自己的贡献。自上世纪 80 年代初就积极投身于引进设备和技术的消化、吸收、仿制、创新工作。他们很快就学会并掌握了计算机技术，接着在原有工作的基础上，同时开展了数学分析研究、物理模型的试验研究和数学模型的数值模拟研究，在多方面取得了一大批有价值、水平较高的成果。通过这些研究，使人们对窑炉中的热工过程有了更深入的了解，对于其中的若干重要问题有了一些新的认识。这些具体成果和认识的提

高，对于热工技术的发展和窑炉结构、生产作业的进步有较大的指导意义，并产生深远的影响。在热工理论研究、技术引进与自主开发的基础上，各窑炉公司先后研制、开发出许多优秀的陶瓷工业窑炉，对一些技术问题有了更新、更深入的了解，并在窑炉产业界基本达成了共识。

改革开放以来，经过一代人的不懈努力，我国已经形成了初具规模、技术水平较高、配套基本齐全的陶瓷窑炉产业，主要窑型一辊道窑、窑车式隧道窑和梭式窑均已达到或接近 20 世纪 90 年代国际先进水平。现在，我国的陶瓷窑炉产业不仅已经可以为国内的陶瓷建筑卫生陶瓷、日用陶瓷、电工陶瓷、电子陶瓷等行业提供成套的优质窑炉装备，而且还可为化工、冶金、环保等行业提供部分工业炉装备，并已具有出口这些窑炉装备的能力。近二十年来，我国陶瓷窑炉的技术进步和陶瓷窑炉产业的形成与发展是有目共睹，并为世人所称道的。

随着我国国民经济的迅速发展、人民生活水平的大幅度提高以及人们的一些陈旧观念的改变，厨房、卫生间在住宅中的地位发生了根本性的变化。作为住宅及其厨房、卫生间的主要装修材料及设备——日用陶瓷和建筑卫生陶瓷，尤其是高中档的产品需求大增。另外，电工陶瓷等的需求也大幅增长。由此带动了传统陶瓷行业的迅猛发展，烧成陶瓷制品的关键设备——窑炉也因此而有了巨大的市场和长足的进步。现在，在这一行业中，窑型多种多样，已广泛采用洁净燃料，一些窑炉的主要技术经济指标也已达到或接近国际先进水平，从而可为陶瓷行业提供强大而坚实的技术支持，使该行业走上可持续发展的健康之路，并为用户

提供足够数量的优质窑炉，逐步取代进口产品并可望出口部分产品。另外，窑炉作为“产品”也将走向国际市场，参加全球性竞争。

长期以来，我国传统陶瓷烧成用窑炉一直不够先进，多数只能生产中低档产品。经过近二十年来的引进、仿造、研究与开发，我国的窑炉的技术水平得到迅速的大幅度的提升。传统陶瓷烧成用窑炉的三种主要窑型—辊道窑、窑车式隧道窑和梭式窑均有了飞跃的进步。它们的主要的技术进步和特点可以归纳如下：

1、多采用明焰裸烧工艺。燃烧产物与制品直接接触，热交换充分，制品受热均匀，可以实现低温快烧。

2、采用低导热率、低蓄热的轻质耐火或隔热材料。窑墙及窑顶砌体大量使用耐火纤维，窑车衬砌采用轻质、低蓄热材料及合理的结构，因而使窑炉升、降温快，保温好，窑体外表面及车三温度低，散热及蓄热均少，从而大大降低了能耗。

3、窑膛空间结构、断面构造设计及气幕等设置合理。

4、采用天然气、液化石油气或轻柴油等洁净燃料，选用高速调温烧(喷)嘴，并采用合理布置、分组控制的力一式设置燃烧系统。高速调温烧嘴喷出气体速度可大于  $100\text{m/s}$ ，质量流量大，搅动剧烈，温度又可调，从而大大强化了窑内尤其是低中温段的对流换热，使窑内制品加热极为均匀，烧成周期大为缩短。

5、窑炉的温度、压力、气氛及流量等参数的自动控制一般已用计算机控制，并多采用先进的控制算法，例如多变量模糊控制(FC, Fuzzy

Control) 结合 PID 的控制算法, 通过计算机、模糊控制器、可编程序控制器(PLC)和智能仪表, 实现高精度的自动调节、控制和管理。

控制系统的关键部位尚多选用进口设备, 以充分保障窑炉运转和使用的可靠性, 且使维护修理费用大幅度三降, 从而降低窑炉运行成本。

6、配置了合理的通风工作系统。不仅全面地满足了窑炉的工作要求, 而且还做到了通风机与管网的良好匹配, 从而减少了电能的消耗。

窑炉进出风管多采用不锈钢材质。既可防止污染制品, 又增加了管道的使用寿命。

7、自动进出窑系统、窑车运转系统、步进回车系统等均采用 PLC 实现全自动程序控制, 从而大大降低了操作人员的劳动强度。现代化的安全和报警系统设施、科学化的连锁程序编排, 还大大提高了窑炉操作的安全性和可靠性。

8、采用先进的计算机控制和管理软件使操作变得简单直观和人性化, 且更利于数据的积累与分析, 进而实现对窑炉的科学化管理。

9、窑炉装配化程度高。可全部在工场制造, 再在现场组装, 因而施工周期短, 且适合于模数化生产。

从以上的介绍和对照中可以石到我国传统陶瓷烧成用的窑炉经过近年来的迅速发展和提升, 已经达到国际先进水平, 进入了成熟期, 并将会在较高水平的“平台”上稳定一个时期。这些窑炉相对于进日窑炉已具有较强的竞争力。日前应该增加这些窑炉的产量, 迅速推广, 以产生更大的经济效益和社会效益。在此, 也希望中外窑炉用户了解这一动向, 并予以选用。



然而，科学技术的进步是没有止境的。况且我国日前的窑炉及其产业也都还存在一些明显的不足之处，例如，对于高速烧嘴及相关的燃烧、控制、窑内过程的理论研究和技术开发均较薄弱。烧嘴和自动控制仪表、调节器等主要还依赖进口，有待加强这方面的基础性研究开发工作。应组织一些窑用关键部件（烧嘴，自动化仪表、元器件等）的攻关，并实现产业化生产，争取早日国产化，以取代进口。以我国目前窑炉产业的技术水平和实力，已可组织窑炉成套出口。应尽可能多地占领中档以三窑炉的国际市场，并争取向高端窑炉的国际市场进军。

陶瓷窑炉产业在自身的迅速发展和走向全球化的进程中，除了科学研究和技术开发之外，还有一个问题是不容忽视的，那就是标准化。在标准化这一基础性建设中，首先要做好窑炉结构的定型与规格系列化工作。这项工作需要陶瓷窑炉产业所有公司全体同仁的共同参与和努力才能做好。

目前，我国的陶瓷窑炉产业虽然已经形成，并已有了较大的发展，但公司总数偏多，规模普遍偏小，且一般没有独立的科研力量，技术开发能力也有待加强。今后应进一步完善陶瓷窑炉产业的内部结构，通过正当竞争发展优势企业，逐步形成大而强的龙头企业，并增强企业内部的研发能力。对于技术的开发，一方面要加强自主开发，另一方面也要注意技术引进；既要追求先进，与国际接轨，也要讲求实效，以实用、简单为原则。还应加强与高校、研究设计单位的协作与联合，走产学研三结合的道路。

另外，现代的陶瓷窑炉已远非是昔日的土木砖石“构筑物”，而早已变成了机电一体化、有较高技术含量的综合技术产物——“烧成机器”。窑炉上安装使用了大量的新材料和机电产品，因此仅仅依靠窑炉公司自身的力量是不可能研发和生产所有这些材料和产品的。窑炉公司只有通过与众多的相关产业的协作，才能完成建设窑炉项目的任务。与陶瓷窑炉产业密切相关产业有燃料化工，燃烧设备、耐火材料、通风机、自动化仪表设备制造产业等。今后应进一步加强与这些相关产业的协作，以获得双赢的结果。

## The study of chinese silicate industry kiln development situation and surveyed

The kiln thermal technology of the foreign ceramic industry had been to the beginning of the seventies since the end of the fifties of the 20th century, with the change of the fuel structure , namely turn from firing coal , heavy oil ,etc. to natural gas , liquefied petroleum gas and light oil ,etc., having realized three of the thermal technology technology of the kiln is broken through greatly: (1)The invention and use of the mouth in adjust the temperature and at a high speed; (2)Mass use of new-type , advanced refractory material and thermal insulator; (3)Adoption of the accurate and perfect automatic control system. On the basis of these three major technological break-through , produce and develop regard pushing a kiln of board kiln , roller as continuous kiln of type homework representative, regard the shuttles loom type kiln (drawer kiln ) , high cap kiln (clock covers the kiln ) as the kilns all of new generation of kiln representatives of intermittence type homework.

With the reform and opening-up of China , began to introduce a batch of advanced kiln equipment from foreign countries since the eighties of last century, introduced corresponding thermal

technology at the same time . With the introduction , deepening of the reform and open enlargement of the equipment and technology, the fundamental transition has taken place too in people's idea. Because of the transition of the economic system, the demand to ceramic industry and kiln, " high yield " followed in the past too, high-quality " is it pursue " high-quality , low consumption , high yield , , flexible , green " more adaptive to mark new a day in economic system to change direction gradually by low consumptioning.

Ceramic kiln thermal technology theory workers of our country have made one's own contribution for the progress of the thermal technology technology of kiln of our country too. Threw oneself into and introduced the digestion of the equipment and technology, sucking industry actively since the beginning of the eighties of last century, and later on modeling , innovations. They have learnt and mastered the technology of the computer soon, then on the basis of original work, experimental study and numerical simulation of the mathematics model of launching mathematics analysing and researching , physical model at the same time are studied, have made large quantities of valuable achievements with higher level in the many aspects

Through the research , make people have a deeper knowledge of thermal technology course in the kiln, have some new understanding to several important problems among them. The improvement of these concrete achievements and understanding, have greater directive significance to development of thermal technology and progress of structure of the kiln , homework, exert a far-reaching influence. On theoretical research of thermal technology , technology import and foundation that is developed independently, every kiln company successively developed, developed a lot of outstanding industrial kilns of pottery, having had newer , deeper understanding to some technological questions, and industrial circle has reached common understanding basically in the kiln.

Since the reform and opening-up, through untiring efforts of a generation, own to is it begin to take shape to form our country have, engineering level high forming a complete set complete ceramic kiln industrying basically, a roller and one dish of kilns, the kiln car type tunnel kiln and shuttles loom type kiln reaches or close to the international most advanced level of 1990s only in the main kiln type. Now, it can be the domestic ceramic building hygiene pottery that the industry of ceramic kiln of our country not merely passes only, daily pottery , electromechanical ceramics , electronic pottery ,etc.) the trade offers the

high-quality kiln forming a complete set to equip, and can also offer some industry stoves for such trades as chemical industry , metallurgy , environmental protection , etc. to equip , and export the ability equipped in these kilns only. In the past 20 years, the ceramic kiln technological progress and forming and development of the industry of ceramic kiln of our country have had day to see altogether, and the one that praise for common people.

Motive force that the industry of ceramic kiln forms and develops is state basic policies of reform and opening-up, building hygiene ceramic great development of trade, foreign advanced person equip and introduction of technology. Through the efforts of entrepreneurs , engineers and technicians and the whole trade staff, just form the situation of today. It is hard-won. So, we should treasure it , and make joint efforts to safeguard it, in order to impel it to get greater development

Take this opportunity , want to talk to prospect , etc. on some views and suggestions on ceramic kiln thermal technology theoretical research and the development levels of technological development , ceramic kiln of China, in order to exchange and learn from each other with the ceramic academia of China and foreign countries and industrial circle. A ceramic kiln of thermal

technology theoretical researches and progress of technological development we review to these theory research work and technological development, sum up 14 question it now, then every comment and look into the distance. In last 20 years of last century, the ceramic kiln thermal technology theoretical research and technological development of our country roughly concentrate on some following respects:

1 adopt more bright naked to boil the craft flame. Burn result with keep in touch directly by products , hot to exchange abundant , it is even for products to heat, can realize the low temperature is burnt quickly .

2 it is fire-resistant to adopt the low heat conduction rate , low and regenerative light quality or thermal insulator. Kiln wall and kiln carry step body use fire-resistant fibber in a large amount, kiln car is it is it adopt light quality , low regenerative material and reasonable structure to build to line with, therefore make kiln rise , is it fast , keep warm kind to lower the temperature, kiln body surface and car three temperature low, dispel the heat and regenerative and lack , thus reduced energy consumption greatly .

3 kiln thorax space structure , section counts

4 clean fuel of adopting natural gas , liquefied petroleum gas or light diesel oil etc., select for use at a high speed is it cook

mouth to adjust the temperaturing , is it assign , divide into groups control strength first type set up the system of burning rationally to adopt. Is it cook mouth is it give vent to anger body speed can greater than 100m/s , flow heavy quality have , it is violent to stir to gush out to adjust the temperature at a high speed, being adjustable, temperature strengthen kiln, especially low middle temperature convection of piece change hotly greatly, make kiln products heat extremely even , boil cycle is very shortened.

5 the automatic control in such parameters as the temperature of the kiln , pressure , atmosphere and flow ,etc. is generally controlled ownly with the computer, and adopt more advanced control algorithms, for example many variables are controlled fuzzily (FC, Fuzzy Control), combine P control algorithm , worker of D, through computer, fuzzy controller, can programme the controller (PLC ) and intelligence instrument, realize high-accuracy automatic regulation , control and management. Key position of control system select for use enter day equipment more still, in order to ensure kiln turn round and dependability that use fully, make it repair expenses 3 lower by a large margin , thus reduce the operating cost of the kiln not to maintain.



6 dispose the reasonable ventilation work system. Meet job requirements of kiln , make sure ventilator and pipe network good to match in an all-round way, thus reduced the consumption of the electric energy. The kiln passes in and out the tuber pipe and adopts more stainless steel materials. Have not only can prevent the pollution products increased the service life of the pipeline but also.

7 pass in and out kiln system , kiln car turn round system , walk into carriage return system ,etc. adopt PLC realize full-automatic procedure control automatically, thus reduced the attenbant's labour intensity greatly . Modernized security , facility of warning system, scientific chain procedure grade, have also improved the security and dependability operated in kiln greatly .

8 adopt advanced computer control with management software making it become simply and ocularly and humanizing not to operate, and benefit the accumulation and analysis of the data even more , and then realize that manages to the scientific process of the kiln.

9 the kiln assembles the degree of melting high. Can all make in the workshop , assemble at the scene again, therefore the cycle of constructing is short, and is suited to the modulus producing.

And can stone get of our country traditional kiln that pottery is it spend to boil through the rapid development in recent years and promote in contrasting from introduction of the above, unless it is the own reach into international most advanced level, it enter on the mature period, and can steady one period of period in high-level " platform ". There is stronger competitiveness ownly in entering the kiln on day in these kilns. Should increase the output of these kilns a few days ago, popularized rapidly, in order to produce greater economic benefits and social benefit. Here , hope Chinese and foreign kiln user find out about this tendency , and select for use too.

However, the progress of science and technology is endless. Moreover the kiln and producing and all but also having some obvious weak points to charge too a few days ago of our country, for example is it dispute mouth and relevant burning , control , theoretical research and relatively weak technological development of course in the kiln to cook as to high speed. Is it dispute mouth and automatically controlled instrument , regulator , etc. also rely on import mainly to cook, remain to strengthen the basic research and development in this respect. Should organize some kilns with tackling key problems of key part (burn the mouth , automatic instrument , components and parts , etc. ) , realize production for

industrialization, try to domesticize as soon as possible , in order to replace into. Israel our country kiln produce engineering level and strength that charge a few days ago, own to can organize kiln export in a complete set. Should capture middle-grade to with three international market of kiln , is it march to advanced international market of kiln to strive for as many as possible.

Ceramic kiln industry is it charge in one's own rapid development and move towards among the process that globalize to produce, besides scientific research and technological development , a question can't be ignored, that is standardization. In standardizing basic construction this , should first do finalize the design and workday of seriation such as specification , kiln of structure well. The need of work ceramic kiln is it charge all company all common participation of colleague and do well hard to produce. At present, though the industry of ceramic kiln of our country is own through taking shape, and get greater development ownly, but the total amount of companies leans towards much, the scale is generally small, and does not generally have independent scientific research strength, technological development ability remains to add too Should perfect ceramic kiln inside structure of industry further in the future , develop advantage enterprise through proper competition, form great and strong leading

enterprises progressively, strengthen the research and development ability inside enterprises. To the development of technology, should strengthen independent development, should pay attention to the technology import too; Should court the advanced person, is in line with international standards, should stress practical results too, on the principle that practical, simple. Should also strengthen the cooperation with the university, research designing unit and unite, take the road to 3-in-1 combination involving production, teaching, research.

In addition, it is the building brick stone "structures" in the past that the modern ceramic kiln is far from ownly, and for a long time own to turn electromechanics into integrate, have high-tech comprehensive technological result of content "cook into a machine" one by one. Install and use a large number of new materials and electronic products on the kiln, rely on oneself, Company of kiln, it is impossible for strength to research and develop and produce material and product all these only. Kiln Company through cooperate with numerous relevant industries, could is it build task, kiln of project to finish only. The industry closely related to industry of ceramic kiln has fuel chemical industries, burn equipment, refractory material, ventilator, automatic instrument device fabrication industry, etc.. Should

strengthen and cooperate with these relevant industries further in the future, in order to obtain the win-win result.

## 致 谢

本次设计及说明书的撰写是在指导老师陈功备老师的细心关怀，指导下完成的。二个月来，他时刻关心作者设计研究的进展和论文进度，在设计及说明书撰写上倾注了大量的心血，对期间遇到的问题仔细分析，并与作者共同探讨，研究解决方法。指导老师的关怀和对学术的严谨态度令我终生难忘，在此由衷地感谢他细心的教诲。

四年的大学生活即将结束，对于经过了紧张忙碌而即将获得成功和喜悦的毕业生来说，毕业设计的成果和每一个日日夜夜将永远留在我的记忆深处。

最后，我们所取得的所有成绩都与关心我们的各位老师有着密切的关系，在此我衷心感谢指导老师陈老师及给予我帮助的各位老师！是他们给予作者一切。

在即将毕业走向社会之际，感谢景陶母校四年的培养，感谢热能工程系四年的关怀，感谢所有老师四年的教诲。

张小平

2014-05-14