

景德镇陶瓷学院 科技艺术学院

毕业设计说明书

题目： 年产 100 万套中餐具 0#柴油隧道窑设计

学 号： 201030453135

姓 名： 吴志勇

院（系）： 科技艺术学院工程系

专 业： 热能与动力工程

日 期： 2014 6.6

目录

1	摘要	2
2	烧成制度的确定	5
2.1	温度制度的确定	5
2.2	烧成曲线图	5
3	窑体尺寸的计算	6
3.1	窑车棚板和支柱的选用	6
3.2	窑长和窑宽及窑车尺寸的确定	6
4	工作系统的确定	9
4.1	预热带工作系统的确定	9
4.2	烧成带工作系统布置	9
4.3	冷却带工作系统布置	9
5	窑体的确定	10
5.1	窑体	10
5.2	钢架	10
5.3	窑墙	10
5.5	测温、测压孔	11
5.6	曲封、砂封和车封	11
6	窑体材料及厚度的选择	12
7	燃烧系统计算	13
7.1	助燃空气量计算	13
7.2	燃烧温度计算	13
8	物料平衡计算	14
8.1	每小时烧成制品的质量	14
8.2	每小时入窑干坯质量	14
8.3	每小时入窑湿坯质量	14
8.4	每小时蒸发自由水质量	14
8.5	每小时从精坯中产生 CO_2 的质量	14
8.6	每小时从精坯中排除的结构水质量	14
8.7	每小时入窑窑具质量	14
9	预热带及烧成带热平衡计算	16
9.1	热平衡计算基准及范围	16
9.2	热平衡框图	16
9.3	热收入项目	17
9.4	热支出项目	19
9.5	列出热平衡方程式	24
9.6	列出预热带和烧成带热平衡表	24
10	冷却带的平衡计算	25
10.1	确定热平衡计算的基准、范围	25
10.2	平衡框图	25

10.3 热收入项目	26
10.4 热支出项目	26
10.5 热平衡方程式	30
10.6 热平衡表	30
11 排烟系统的设计	31
11.1 排烟系统的设计	31
12 烧嘴的选型	38
13 工程材料概算	39
14 后 记	42
15、参考文献	43

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	吴志勇	指导教师	陈功备
题目	年产 100 万套中餐具燃油隧道窑炉设计		
<p>主要研究内容和设计技术参数：</p> <p>1、产品名称：中餐具（具体品种、配套数量自定）；</p> <p>2、产量：100 万套/年；</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：2.2%；</p> <p>7、烧成周期：18 小时；</p> <p>8、烧成温度：1300℃。</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>			

1 摘要

陶瓷工业窑炉是陶瓷工业生产中最重要工艺设备之一，对陶瓷产品的产量、质量以及成本起着关键性的作用。它把原料的化学能转变成热能或直接把电能转变成热能，以满足制品焙烧时所需要的温度，在期间完成一系列的物理化学变化，赋予制品各种宝贵的特性。因此，在选择窑炉时，为了满足陶瓷制品的工艺要求，应充分了解窑炉类型及其优缺点，考察一些与已投入生产的陶瓷厂，然后结合本厂实际情况和必要的技术论证，方可定之。判断一个窑炉好坏的标准，通常由以下几个方面来评价：

1. 能满足被烧成制品的热工制度要求，能够焙烧出符合质量要求的陶瓷制品。
2. 烧窑操作要灵活，方便，适应性强，能够满足市场多变的要求。
3. 经济性要高。包括热效率要高，单位产品的综合能源消耗要少，炉龄要长。
4. 容易实现机械化，自动化操作，劳动生产率高。
5. 劳动条件好，劳动强度小，环境污染小。

以上几点，其中能否满足所烧制品的热工制度要求，是衡量陶瓷窑炉性能好坏的重要技术指标。实际生产中，往往是力求使制品被烧使窑内温差尽量减少，它是提高产品合格率的关键所在。

隧道窑是耐火材料、陶瓷和建筑材料工业中最常见的连续式烧成设备。其主体为一条类似铁路隧道的长通道。通道两侧用耐火材料和保温材料砌成窑墙，上面为由耐火材料和保温材料砌筑的窑顶，下部为由沿窑内轨道移动的窑车构成的窑底。

隧道窑的最大特点是产量高，正常运转时烧成条件稳定，并且在窑外装车，劳动条件好，操作易于实现自动化，机械化。隧道窑的另一特点是它逆流传热，能利用烟气来预热坯体，使废气排出的温度只在 200°C 左右，又能利用产品冷却放热来加热空气使出炉产品的温度仅在 80°C 左右，且为连续性窑，窑墙，窑顶温度不变，不积热，所以它的耗热很低，特别适合大批量生产陶瓷，耐火材料制品，具有广阔的应用前景。

通过对专业知识的学习，本文设计以高 95mm、口径 150mm、底径 55mm 的罗汉汤碗为产品的隧道窑，两个为一套，全窑长 50m，最高烧成温度是 1300°C ，采用 0 号柴油燃料。

1 Summary

Ceramic industry ceramic kilns industrial production of the most important process equipment , production of ceramic products , quality and cost plays a key role. It is the raw material of the chemical energy into thermal energy or converted directly into heat energy , the calcined product in order to meet the required temperature , to complete a series of physical and chemical changes during a given characteristic of a variety of valuable products . Therefore , the choice of the furnace , in order to meet the technical requirements of ceramic products , should be fully aware kiln types and their advantages and disadvantages, visit some of the ceramics factory has been put into production , and then combining with the actual situation and the necessary technical demonstration, party can be determined . Quality standards to determine whether a furnace is usually evaluated by the following aspects :

1 was fired products to meet the thermal requirements of the system can meet the quality requirements of firing ceramics .

2 kiln operation to be flexible, easy to use, adaptable, able to meet changing market demands.

3. Economy higher. Including higher thermal efficiency , comprehensive energy consumption per unit of product will be less furnace longer .

4 . Easily mechanized , automated operation, high labor productivity .

5. Good working conditions , low labor intensity , low environmental pollution.

The above points , which can satisfy the burning thermal system products required is a measure of performance quality ceramic kilns important technical indicators. Actual production, often strive to make products burned to make the kiln temperature to minimize it is to raise the key rate of qualified products .

Tunnel kiln is a refractory, ceramics and construction materials industry, similar railway tunnel . Channel sides refractory brick kiln walls and insulation materials , refractory and insulation materials above ground masonry kilns top, the lower track by moving along the kiln car constitutes the bottom .

The most important feature is the high yield of the tunnel kiln , the normal and stable operation of the firing conditions , and the kiln loading, good working conditions , the operation can be easily automated mechanized Another characteristic is that it is the tunnel countercurrent to the heat transfer can take advantage of the flue gas to preheat the body , so that the temperature of the exhaust gas discharged only at about 200°C , and can use the product to cool heat to heat the air so that the temperature of baked products only in the 80°C or so , and for the continuity of the kiln, kiln walls, kiln top temperature constant , the plot is not hot, so it 's a very low amount of heat , particularly suitable for mass production of ceramic , refractory products , has broad application prospects.

By learning expertise , we designed a high 95mm, diameter 150mm, bottom diameter 55mm Lohan soup for product tunnel kiln, kiln full- length 30m, maximum firing temperature is 1300°C , using No. 0 diesel fuel.

2 烧成制度的确定

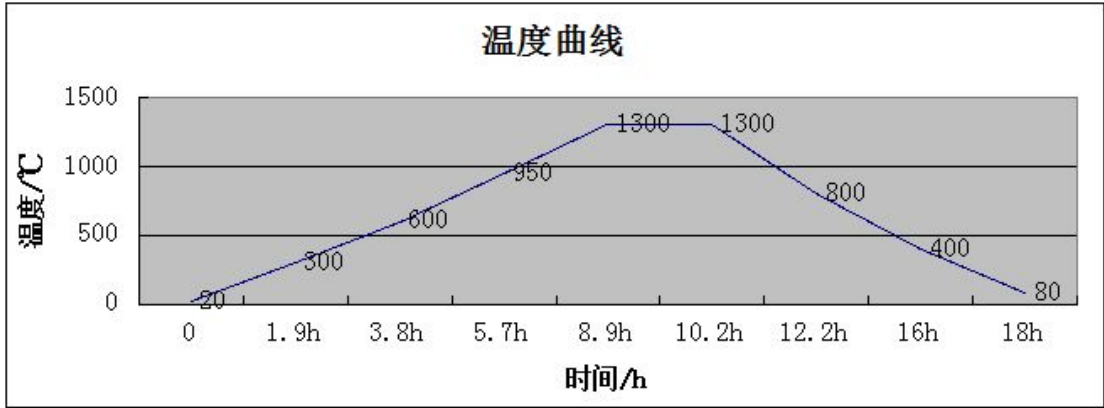
2.1 温度制度的确定

根据制品的化学组成、形状、尺寸、线收缩率及其他一些性能要求，制订温度制度如下：（烧成周期18小时）

表2-1 温度制度

温度（℃）	时间（h）	烧成阶段	升（降）温速率（℃/h）
20---300	1.9	预热带	147.4
300---600	1.9	预热带	157.9
600---950	1.9	预热带	184.2
950---1310	3.2	烧成带	112.5
1300---1300	1.3	烧成带（高火保温）	0
1300---800	2.0	冷却带（急冷带）	255
800---400	3.8	冷却带（缓冷带）	105.3
400---80	2.0	冷却带（快冷带）	160

2.2 烧成曲线图



3 窑体尺寸的计算

3.1 窑车棚板和支柱的选用

为减少窑内热量损失，提高热利用率，根据原始数据所给的零号柴油，直接用明焰裸烧，并结合装载制品罗汉汤碗的重量大小，选定全耐火纤维不承重型结构窑车：棚板、支柱均为碳化硅材料，以降低蓄散热损失，考虑到全窑最高烧成温度为 1310°C ，选用碳化硅材料选用 SiC 50%，体积密度 $2.2\text{g}/\text{cm}^3$ ，最高使用温度 1400°C ，导热系数计算式 $5.23+1.28\times 10^{-3}t$ 。

棚板规格：长 \times 宽 \times 高： $420\times 420\times 10(\text{mm})$

棚板质量= $420\times 420\times 10\times 10^{-6}\times 2.2=3.8808\text{kg}$

支柱规格：长 \times 宽 \times 高： $50\times 50\times 150(\text{mm})$

支柱质量= $50\times 50\times 100\times 10^{-6}\times 2.2=0.825\text{kg}$

3.2 窑长和窑宽及窑车尺寸的确定

3.2.1 汤盘的规格： $\Phi_{\text{底}}=55\text{mm}$ ， $\Phi_{\text{口}}=150\text{mm}$ ，高= 95mm 。

3.2.2 制品码装方法

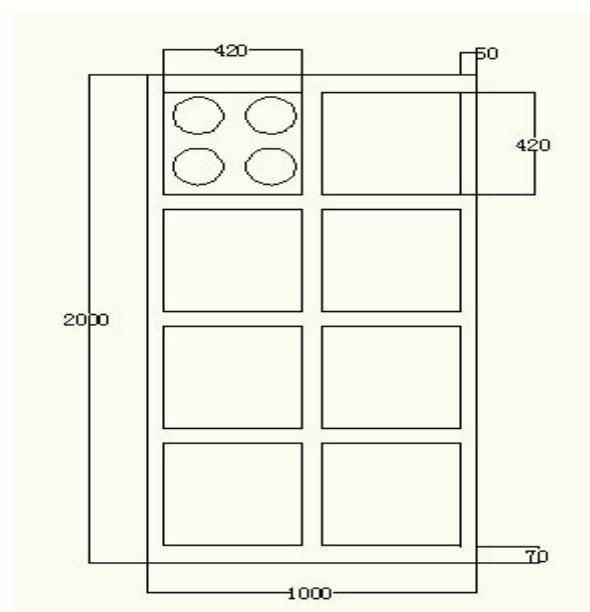
装 6 层，横排棚板间距 60mm ，距窑车边缘 40mm ，每层中，横 2 套竖 8 套摆放，每层用 8 块棚板，工 48 块、120 个支柱。

3.2.3 窑车尺寸

竖排棚板间距 60mm ，棚板边缘与窑车台面间距 70mm ，故窑车的尺寸： $1730\times 1350(\text{mm})$

宽 = $2\times 420 + 60 + 2\times 50 = 1000\text{mm}$

长 = $4\times 420 + 60\times 3 + 2\times 70 = 2000\text{mm}$ 如图所示。



3.2.4 窑内宽、内高、全高、全宽的确定

1) 窑内宽:

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

$$B_1=1000+30 \times 2=1060\text{mm}$$

2) 窑全宽

预热带和冷却带窑全宽=窑内宽 1060+两侧墙宽 $430 \times 2=1920\text{mm}$ 。

烧成带全宽=窑内宽 1060+两侧墙宽 $530 \times 2=2120\text{mm}$ 。

由于采用明焰裸烧,烧成带不设燃烧室,而只在窑墙上砌筑烧嘴砖构成燃烧通道,为使喷入的燃料有足够的燃烧空间,增大气体辐射层厚度,利于烟气对制品的辐射传热。

3) 内高

为避免烧嘴喷出的高速火焰直接冲刷到局部制品上,影响火焰流动,造成较大温差,窑车台面与垫板间、上部制品与窑顶内表面之间都设有火焰通道,其高度(大于或等于烧嘴砖尺寸):棚板下部通道取230mm,上部火焰通道取239mm。

因此,窑内高初定为:上部火焰通道239 + 制品码装高度810 + 窑车台面距棚板230=1279mm。通用砖厚取65,需要 $1279/65=119.6$ 块,取20块,故

砖高=20*65=1300mm,灰缝=20*2=40mm,内高=1300+40mm=1340mm。窑车车面高铝砖厚 230 mm,轻质粘土砖厚 200 mm,车架总高度为 643mm。

4) 全窑高(轨面至窑顶外表面)

预热带和冷却带的窑总高:

车架总高度 643+内高 1340+窑顶高 380=2363mm;

烧成带的窑总高:

车架高度 643+内高 1340+窑顶高 530=2513mm

3.2.5 窑长尺寸

每辆窑车 $2 \times 8 \times 6 = 96$ 套,装窑密度 $g=96/2=48$ (套/每米窑长)。

由

$$L = \frac{G \cdot \tau}{24D_y \cdot K \cdot g}$$

已知 $G=1000000$ 件/年,烧成时间 18 时,330 天工作日,97%合格率。代入数值可求的 $L=48.81\text{m}$ 。

窑内容车数 $n = L/1.56 = 24.405$ 辆 取 25 辆,则窑长 $25 \times 2 = 50\text{m}$,全窑总长取 50m,分为个 25 标准节,每节长 2m。

3.2.6 全窑各带长的确定

有烧成时间可知,各个段时间为 5.7、4.5、7.8 小时,据此预热带 8 节,烧成带 6 节,冷却带 11 节

各段长度及所占比例

预热带 8 节 $8 \times 2 = 16\text{m}$, 占总长 $16/50 = 32\%$

烧成带 6 节 $6 \times 2 = 12\text{m}$, 占总长 $12/50 = 24\%$

冷却带 11 节 $11 \times 2 = 22\text{m}$, 占总长 $22/50 = 44\%$

各个温度段对应长度下表

温度 (°C)	烧成阶段	长度 (m)	节数
20~300	预热带	6	1~3
300~600	预热带	4	4~5
600~950	预热带	6	6~8
950~1310	烧成带	6	9~11
1310~1310	烧成带 (高火保温)	6	12~14
1310~800	冷却带 (急冷带)	6	15~17
800~400	冷却带 (缓冷带)	10	18~22
400~80	冷却带 (快冷带)	6	23~25

4 工作系统的确定

4.1 预热带工作系统的确定

预热带 8 节，1~3 节为排烟，第 1 节设置一道封闭气幕，气幕风由冷却带抽来的热空气提供。第 2 3 节在窑车台面棚板通道处各设 2 对排烟口，气体喷出方向与窑火气流成 90 度角，风源为窑内烟气目的是使窑头气流压力自平衡，以减少窑外冷空气进入窑体。。为了更好的利用烟气热量能，采用分散排烟的方式。可以迫使烟气自上而下流动，克服由于几何压头的作用使气体向上的倾向，在第一节的窑头处采用窑顶直烟，汇总到排烟总管由排烟机排出，一部分送干燥房，其余从烟囱排入大气。尺寸：200×200mm 位置正对。共 4 对

另外，为方便调节预热带温度，尽量减少上下温差，在第 4~8 节上部设置喷风管，下部设置高速调温烧嘴（即上风下嘴结构），同时烧嘴的正对面是观火孔（尺寸 $\Phi 67$ ），每节设 1 根喷风管（尺寸 $\Phi 67$ ），1 只高速调温烧嘴，每节交替排列，高速调温烧嘴喷出的热烟气与喷风管喷出风在窑内断面上形成气流循环，使窑内气流实现激烈的搅动，促进上下温度场的均匀，而且加快了窑内的对流传热，缩短烧成时间，共用 5 支。五根。

4.2 烧成带工作系统布置

第 9~14 节到第 9 节为烧成带，第 9~10 节，每节设 2 对烧嘴，上下各一对烧嘴，一对观火孔，上下交错排列 11~12 上下部各设置 3 对烧嘴，13~14 节设 4 对烧嘴，这样有利于烧成带温度控制的调节。每个烧嘴的对侧窑墙上开观察孔。

4.3 冷却带工作系统布置

冷却带按照烧成工艺分成三段：

第 15~17 节为急冷段。该段采用喷入急冷风直接冷却方式，每节上部设 4 个冷风喷管，下部 4 个冷风喷管。第 18~22 节为缓冷段。本设计中采用间壁冷却，为了能使急冷段和快冷段来的热风对制品进行充分缓冷，18 和 22 节设 2 对抽热风口，共 4 对，热风口尺寸与排烟段尺寸一样大小 200×200mm，19~21 为间壁。第 23~25 节为快冷段。第 23、24 节上下部各设 5 对冷风喷管，尺寸 $\Phi 67$ ，共 20 支，15 节设 3 对轴流风机通过鼓入冷风直接对窑内的制品进行冷却，以保证制品的出窑温度低于 80℃。

5 窑体的确定

5.1 窑体

窑体由窑墙主体、窑顶和钢架组成窑体材料由外部钢架结构（包括窑体加固系统和外观装饰墙板）和内部耐火隔热材料衬体组成。砌筑部分，均采用轻质耐火隔热材料。窑墙、窑顶和窑车衬体围成的空间形成窑炉隧道，制品在其中完成烧成过程。

5.2 钢架

每一钢架长度为 2 米，含钢架膨胀缝。全窑共 25 个钢架结构，其高度、宽度随窑长方向会有所改变。钢架主要由轻质方钢管、等边角钢等构成，采用焊接工艺，并在焊接处除去焊渣、焊珠，并打磨光滑。窑墙直接砌筑在钢板上，钢架承担着窑墙和窑顶及附属设备的全部重量。

5.3 窑墙

窑墙采用轻质耐火隔热材料。常用材质如下：石棉板、轻质粘土砖、硅藻土砖、普通硅酸耐火纤维板、含铬耐火纤维毡、轻质高铝砖、矿渣棉等耐火材料。窑墙砌筑在钢架结构上。每隔 2 米留设 20mm 左右的热膨胀缝，用含锆散棉填实。窑墙最外面用 10mm 厚的石棉板（为方便画图，画图时没有考虑灰缝的长度）。

5.4 窑顶

窑顶是由吊顶板或吊顶砖和角钢或细钢筋等组成的平顶结构。角钢直接焊接在窑顶钢架上，细钢筋则是做成钩状挂在窑顶钢架上。吊顶板或吊顶砖与角钢或细钢筋紧固。这样，窑顶的重量也由钢架承担。

在窑顶上，铺厚度适宜的保温棉和耐火棉，窑体材料的轻质化，可大大减少窑体蓄热。

5.5 测温、测压孔

温度控制：为了严密监视及控制窑内温度和压力制度，及时调节烧嘴的开度，一般在窑道顶及侧墙留设测温孔安装热电偶。本设计中分别布置于 1、3、5、8、10、12、14、16、18、22、24 标准节窑顶中部各设置一处测温孔，共 11 支。因此在烧成曲线的关键点，如窑头、氧化末段、晶型转化点、成瓷段、急冷结束等都有留设。

压力控制主要靠调节烟气、空气等流量来实现。布置压力计于 2、3、5、8、10、12、14 车位中部，共 7 支。为方便画图，图纸中没有表示出。

5.6 曲封、砂封和车封

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

5.7 检查坑道和事故处理孔

由于窑体较小，窑车上棚架稳固，不容易发生倒窑事故。即使发生窑内卡车或者其他事故，也可停窑，能够快速冷却下来，再进行处理，对生产影响不大。为何方便在 6、10、12、14 设置事故处理孔。因此该隧道窑不设置窑内车下检查坑道。这样既简化了窑炉基础结构，减少了施工量和难度，又降低了成本，窑体保温也得到明显改善，

6 窑体材料及厚度的选择

窑体材料及厚度的确定原则：一是要考虑该处窑内温度对窑体的要求，即所选用的材料长期使用温度必须大于其所处位置的最高温度；二是尽可能使窑体散热损失要小；三是要考虑到砖型及外形整齐。下表是各段材料的选择

位置 (温度 段)	窑墙			窑顶		
	材质	厚度 (mm)	该段厚度 (mm)	材质	厚度 (mm)	该段厚度 (mm)
排 烟 段 (1-3) (20-300 ℃)	轻质高铝砖	230	430	轻质粘土吊 顶砖	230	380
	高纯型耐火纤维刺毯	200		高纯型耐火 纤维刺毯	150	
预热升温 段 (4-8) (300-95 0℃)	轻质高铝砖	230	430	轻质粘土吊 顶砖	230	380
	高纯型耐火纤维刺毯	200		高纯型耐火 纤维刺毯	150	
烧 成 段 (9-14) (950-13 00℃)	莫来石轻质高铝砖	230	530	莫来石轻质 高铝砖	230	530
	含锆型硅酸纤维板	100		含锆型硅酸 纤维板	100	
	高纯型耐火纤维刺毯	200		高纯型耐火 纤维刺毯	200	
急冷段 (15-17) (1300-8 00℃)	轻质高铝砖	230	430	轻质粘土吊 顶砖	230	380
	高纯型耐火纤维刺毯	200		高纯型耐火 纤维刺毯	150	
缓冷段 (18-22) (800-40 0℃)	轻质高铝砖	230	430	轻质粘土吊 顶砖	230	380
	高纯型耐火纤维刺毯	200		高纯型耐火 纤维刺毯	150	
快冷段 (23-25) (400-80 ℃)	轻质高铝砖	230	430	轻质粘土吊 顶砖	230	380
	高纯型耐火纤维刺毯	200		高纯型耐火 纤维刺毯	150	

7 燃烧系统计算

7.1 助燃空气量计算

燃料是 0 号柴油，低位发热量 $Q_d = 41800$ (kJ/m^3) 根据《理论空气量和燃烧生成烟气经验计算公式》，

$$\text{单位理论空气消耗量 } L_0 = \frac{0.2}{1000} \times Q_d + 2 = 10.36 \text{ (Nm}^3/\text{Nm}^3\text{)}, \text{ 取过剩系数 } \alpha = 1.3$$

$$\text{则实际需要空气量: } L_a = L_0 \times 1.3 = 13.47 \text{ (Nm}^3/\text{Nm}^3\text{)}$$

$$\text{生成烟气量: } V_g = \frac{0.27}{1000} \times Q_d + (\alpha - 1)L_0 = 14.39 \text{ (Nm}^3/\text{Nm}^3\text{)}$$

7.2 燃烧温度计算

燃料的理论燃烧温度，公式如下：

$$t_{th} = \frac{Q_d + c_r t_r + c_a t_a L_a}{V_g c_g}$$

式中 c_r 、 c_a 、 c_g ——燃料、空气及烟气的比热容， $\text{kJ}/(\text{Nm}^3 \cdot ^\circ\text{C})$ ；

L_a ——一定空气消耗系数下的单位燃料燃烧空气消耗量， Nm^3/Nm^3 ， $L_a = \alpha L_0$ ；

V_g ——一定空气消耗系数下单位燃料燃烧生成烟气量， Nm^3/Nm^3 ；

t_r 、 t_a ——燃料及空气的预热温度， $^\circ\text{C}$ 。

0 号柴油低位发热量 $Q_d = 41800$ (kJ/m^3)，取室温 20°C ，此时空气的比热 $c_a = 1.30 \text{ kJ}/(\text{Nm}^3 \cdot ^\circ\text{C})$ 柴油的比热 $c_r = 2.1 \text{ kJ}/(\text{Nm}^3 \cdot ^\circ\text{C})$ ，经过多次假设试算，以下假设合理，假设烟气温度为 1800°C ，烟气的比热 查燃烧学表 5-2 为 $c_g = 1.67$ ，带入公式得 $t_{th} = 1756^\circ\text{C}$

$(1800 - 1756) / 1800 = 2.46\% < 5\%$ ，合理
取高温系数为 0.80，则实际温度为 $t = 0.80 \times 1800 = 1440^\circ\text{C}$ ，比实际温度 1310°C 高出 130°C ，符合燃烧要求，认为合理。

8 物料平衡计算

由已知得 10 寸汤盘的坯料组成 (%)：：

SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	I. L
70.10	19.65	0.25	0.45	1.05	1.0	1.75	5.72

8.1 每小时烧成制品的质量 G_m

制品质量为 350g，每车装 192 个，每车制品的质量 67.2，推车速度 = 25 车/18 时 = 1.39 车/时。

$$G_m = \text{推车速度} \times \text{每车装载重量} = 1.39 \times 67.2 = 93.408 \text{ kg/h}$$

8.2 每小时入窑干坯质量 G_g

$$G_g = G_m \cdot \frac{100}{100 - \text{I.L}} = 93.408 \times \frac{100}{100 - 5.72} = 99.08 \text{ (kg/h)}$$

8.3 每小时入窑湿坯质量 $G_s = G_g \cdot \frac{100}{100 - \omega} = 99.08 \times \frac{100}{100 - 2.1} = 101.21 \text{ kg/h}$

8.4 每小时蒸发自由水质量 $G_z = G_s - G_g = (101.21 - 99.08) \text{ kg/h} = 2.13 \text{ (kg/h)}$

8.5 每小时从精坯中产生 CO_2 的质量

$$G_{\text{CaO}} = G_g \times \text{Ca}\% = 99.08 \times 0.25\% = 0.2477 \text{ kg/h}$$

$$G_{\text{MgO}} = G_g \times \text{MgO}\% = 99.08 \times 0.45\% = 0.44586 \text{ kg/h}$$

$$G_{\text{CO}_2} = G_{\text{CaO}} \times \frac{M_{\text{CO}_2}}{M_{\text{CaO}}} + G_{\text{MgO}} \times \frac{M_{\text{CO}_2}}{M_{\text{MgO}}} = 0.2477 \times \frac{44}{56} + 0.44586 \times \frac{44}{40} = 0.685 \text{ kg/h}$$

8.6 每小时从精坯中排除的结构水质量

$$G_i = G_g \times \text{I.L}\% - G_{\text{CO}_2} = 99.08 \times 5.72\% - 0.685 = 4.9823 \text{ kg/h}$$

8.7 每小时入窑窑具质量 G_b

支柱个 120

单个棚板质量 3.8808kg

$$\text{单个支柱的质量} = 50 \times 50 \times 150 \times 10^{-6} \times 2.2 = 0.825 \text{ kg}$$

$$\text{棚板重量} = 48 \times 3.8808 = 186.2784 \text{kg}$$

$$\text{支柱质量} = 0.825 \times 120 = 99 \text{kg}$$

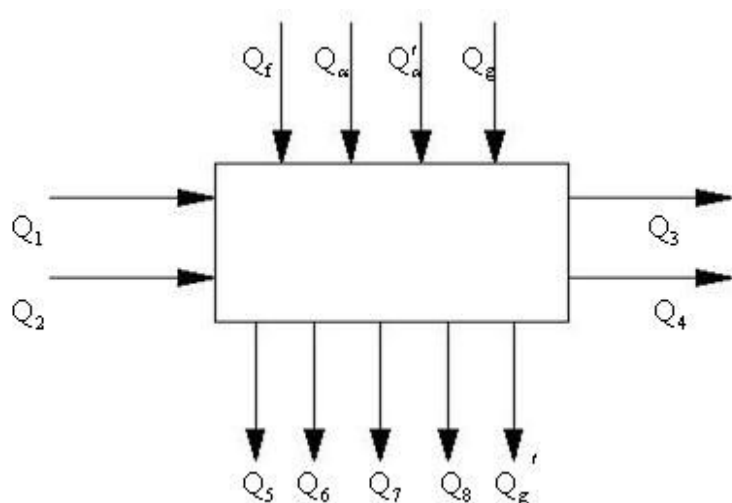
$$\text{窑具质量 } G_b = (122.245 + 99) \times 1.39 = 307.5 \text{ kg/h}$$

9 预热带及烧成带热平衡计算

9.1 热平衡计算基准及范围

热平衡计算以 1h 为基准，0℃ 为基准温度。

9.2 热平衡框图



其中：

- Q_1 ——制品带入的显热；
- Q_2 ——窑具带入的显热；
- Q_f ——燃料带入的化学热和显热；
- Q_α ——助燃空气带入的显热；
- Q'_α ——预热带漏入空气带入的显热；
- Q_g ——气幕、搅拌风带入的显热；
- Q_3 ——产品带走的显热；
- Q_4 ——窑具带走的显热；
- Q_5 ——窑墙、窑顶带走的显热；

Q_6 ——窑车蓄热和散失热量；

Q_7 ——物化反应耗热；

Q_8 ——其他热损失；

Q'_g ——烟气带走的显热；

Q_f ——燃料带入的化学显热

9.3 热收入项目

9.3.1 胚体带入的显热

$$Q_1 = G_s \times c_1 \times t_1 (\text{kJ/h})$$

其中： G_s ——入窑湿制品的质量 101.21 (kg/h)；

t_1 ——入窑制品的温度 20℃；

c_1 ——入窑制品的平均比热 ($\text{kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$)。一般取 0.84-1.26, 此

处取 $0.90 \text{ kJ}/(\text{Nm}^3 \cdot ^\circ\text{C})$ ，则胚体带入的显热：

$$Q_1 = 101.21 \times 20 \times 0.9 = 1821.6 \text{ kJ/h}$$

9.3.2 棚板及支柱带入的显热 Q_2

$$Q_2 = G_b t_2 c_2$$

其中：

G_b ——入窑棚板及支柱的质量 307.5kg/h；

t_2 ——入窑棚板及支柱的温度 20℃；

c_2 ——入窑棚板及支柱的平均比热，采用的是 50%碳化硅棚板及支柱的平均比热

$$c_2 = 0.963 + 0.146 \times 10^{-3} t = 0.963 + 0.000146 \times 20 = 0.966 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$$

$$Q_2 = 307.5 \times 0.966 \times 20 = 5940.9 \text{ kJ/h}$$

9.3.3 燃料带入的化学显热

$$Q_f = (Q_d + t_f t_f) x (\text{kJ/h})$$

其中:

Q_d ——燃料柴油的低位发热量 41800 kJ/Nm^3 ;

t_f ——入窑燃温度 20°C ;

c_f ——入窑燃料的平均比热 $2.1 \text{ kJ/(kg} \cdot ^\circ\text{C)}$

X 为每小时柴油的消耗量, 单位 Nm^3/h

$$Q_f = (41800 + 20 \times 2.1) x = 41842x \text{ (kJ/h)}$$

9.3.4 助燃空气带入的显热 Q_a

柴油燃烧的空气量 $V_a = xL_a = 13.47x$

$$Q_a = V_a c_a t_a$$

t_a ——助燃空气的温度 20°C ;

c_a ——助燃空气的比热 $1.30 \text{ kJ/(Nm}^3 \cdot ^\circ\text{C)}$;

$$Q_a = 13.47 \times 20 \times 1.3x = 350x \text{ (kJ/h)}$$

9.3.5 从预热带不严密漏入的空气带入的显热 Q'_a 和

$$Q'_a = ((\alpha_g - \alpha)L_0 c'_a t'_a x)$$

其中:

t'_a 、 c'_a ——漏入空气 的温度与比热, 分别是 20°C 和 $1.30 \text{ kJ/(Nm}^3 \cdot ^\circ\text{C)}$;

α_g ——离窑烟气中的空气过剩系数, 此值与窑厂的长度 ‘阻力、空气、气密性以及预热带喷入的风量有光, 实际可在 2-5 范围取, 此处取 2.5, $\alpha = 1.3$, $L_0 = 10.36 \text{ Nm}^3/\text{Nm}^3$

$$Q'_a = ((2.5 - 1.3) \times 10.36 \times 20 \times 1.3x) = 323x \text{ (kJ/h)}$$

9.3.6 气幕、搅拌风带入的显热

气幕包括封闭气幕和搅拌气幕, 封闭气幕设在窑头, 不及入, 搅拌风源为空气, 风量一般为理论助燃空气的 0.5-1 倍, 取 $\chi = 0.8$ 倍

$$Q_g = \chi L_0 c'_a t'_a x = 0.8 \times 10.36 \times 20 \times 1.3x = 216x \text{ (kJ/h)}$$

9.4 热支出项目

9.4.1 产品带出的显热 Q_3

$$Q_3 = G_m c_3 t_3$$

其中：

G_m ——出烧成带的制品质量 172 kg/h， $t_3=1310^\circ\text{C}$ ，此处制品平均比热取

$$1.1 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$$

$$= 93.408 \times 1.1 \times 1300 = 133573.44 \quad (\text{kg/h})$$

9.4.2 棚板和立柱带走的显热

$$Q_4 = G_b c_4 t_4 \quad (\text{kg/h})$$

其中：

棚板和立柱的质量 $G_b = 156.2 \text{ kg/h}$

c_4 、 t_4 ——分别是棚板和立柱带走时的平均比热和温度， $t_4=1300^\circ\text{C}$

$$c_4 = 0.84 + 0.000264t = 0.84 + 0.000264 \times 1310 = 1.186 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$$

$$Q_4 = 307.5 \times 1300 \times 1.186 = 474103.5 \quad (\text{kg/h})$$

9.4.3 离窑废气带走的显热 Q'_g

取离窑烟气中空气过剩系数 $\alpha_g = 2.5$ ，体积流量

$$V_g = (V_{g0} + (\alpha_g - \alpha)L_0)x = (14.39 + (2.5 - 1.3) \times 10.36) x = 26.8x$$

取离窑烟气温度 200°C ，烟气比热为 $1.445 \text{ kJ}/(\text{Nm}^3 \cdot ^\circ\text{C})$

$$Q'_g = V_g c_g t_g x = 26.8 \times 1.445 \times 200x = 7745.2x \quad (\text{kg/h})$$

9.4.4 窑车蓄热和散失热量 Q_6

取经验数据，占热收入的 10%。

9.4.5 物化反应热 Q_7

$$G_w = G_s - G_g = 2.13 \text{ kg/h}$$

自由水的质量 $G_w = 0.8 \text{ kg/h}$ ，离窑烟气温度 $t_g = 200^\circ\text{C}$ ，则自由水蒸发吸热

$$Q_w = G_w(2490 + 1.93t_g) = 2.13 \times (2490 + 1.93 \times 200) = 7084.38 \text{ (kg/h)}$$

结构水脱水吸热

$$Q'_w = 6700G'_w$$

其中: G'_w ——入窑制品所含结构水 4.9823 (kg/h);

6700——1kg 结构水脱水所需要的热 kJ/kg;

$$Q'_w = 6700 \times 4.9823 = 33381.41 \text{ (kg/h)}$$

其它物化反应吸热

此项热支出要根据原材料的组成情况查阅有关资料, 由于陶瓷烧成反应极为复杂, 通常可用 Al_2O_3 反应热近似地代替, 即

$$Q_r = G_r \times 2100 \times Al_2O_3 \%$$

其中:

G_r 入窑干制品质量, 99.08 kg/h;

2100——1kg Al_2O_3 的反应热, kg/h;

Al_2O_3 ——制品中 Al_2O_3 的含量百分数。

$$\text{可算的 } Q_r = 99.08 \times 2100 \times 0.1965 = 40885.362 \text{ (kg/h)}$$

总物化反应热

$$Q_7 = Q_w + Q'_w + Q_r = 7084.38 + 33381.4 + 40885.362 = 81351.152 \text{ (kg/h)}$$

9.4.6 其它热损失 Q_8

其它热损失主要包括窑各处开孔的辐射热损失、窑不严密处逸出气体的热损失、不完全燃烧造成的热损失等, 这些热损失量很难用公式计算, 可对比现有同类型的窑加以确定, 一般占总热收入的 5%~10%。取 5%

9.4.7 窑墙和窑顶的散热

根据所处温度不同将预热带和烧成带分成三段 20~300℃, 300~600℃, 600~950℃, 950~1310℃

所用材料的导热系数:

高纯型耐火纤维针刺毯 0.02+0.000175t

轻质高铝砖 0.212+0.000329t

莫来石轻质高铝砖 0.310+0.000176t

含锆型硅酸铝纤维板 0.18

轻质粘土吊顶砖 0.0815+0.000221t

20~300℃, 共 3 节, 6m

$$\text{窑内壁平均壁温 } t_1 = \frac{20+300}{2} = 160\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\text{轻质高铝砖 } \lambda_1 = 0.212 + 0.000329 \times 160 = 0.2642\text{ W/m}\cdot^{\circ}\text{C}$$

$$\text{高纯型耐火纤维针刺毡 } \lambda_2 = 0.02 + 0.000175 \times 160 = 0.048\text{ W/m}\cdot^{\circ}\text{C}$$

$$\text{窑外壁平均壁温取 } t_a = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$$

窑墙:

平均热流密度

$$q = \frac{t_1 - t_a}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} = \frac{160 - 40}{\frac{0.23}{0.2642} + \frac{0.2}{0.048}} = 25.15\text{ W/m}^2$$

$$\text{散热面积: } A = 6 \times 1.34 = 8.04\text{ m}^2$$

$$\text{散热量: } Q = 25.15 \times 8.04 \times 2 \times 3.6 = 1451.5\text{ (kJ/h)}$$

窑顶:

$$\text{轻质粘土吊顶砖 } \lambda_1 = 0.0815 + 0.000221 \times 160 = 0.1169\text{ W/m}\cdot^{\circ}\text{C}$$

$$\text{高纯型耐火纤维针刺毡 } \lambda_2 = 0.02 + 0.000175 \times 160 = 0.048\text{ W/m}\cdot^{\circ}\text{C}$$

平均热流密度

$$q = \frac{t_1 - t_a}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} = \frac{160 - 40}{\frac{0.23}{0.1169} + \frac{0.15}{0.048}} = 23.56\text{ W/m}^2$$

$$\text{散热面积: } A = 6 \times 1 = 6\text{ m}^2$$

$$\text{散热量: } Q = 6 \times 23.56 \times 3.6 = 508.896\text{ (kJ/h)}$$

300~600℃, 共 2 节, 4m

$$\text{窑内壁平均壁温 } t_1 = \frac{300+600}{2} = 450\text{ }^{\circ}\text{C},$$

$$\text{轻质高铝砖 } \lambda_1 = 0.212 + 0.000329 \times 450 = 0.36\text{ W/m}\cdot^{\circ}\text{C}$$

$$\text{高纯型耐火纤维针刺毡 } \lambda_2 = 0.02 + 0.000175 \times 450 = 0.099\text{ W/m}\cdot^{\circ}\text{C}$$

$$\text{窑外壁平均壁温取 } t_a = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$$

窑墙:

平均热流密度

$$q = \frac{t_1 - t_a}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} = \frac{450 - 40}{\frac{0.23}{0.36} + \frac{0.2}{0.099}} = 154.2 \text{ w/m}^2$$

$$\text{散热面积: } A = 4 \times 1.03 = 5.36 \text{ m}^2$$

$$\text{散热量: } Q = 154.2 \times 5.36 \times 2 \times 3.6 = 5950.88 \text{ (kJ/h)}$$

窑顶:

$$\text{轻质粘土吊顶砖 } \lambda_1 = 0.0815 + 0.000221 \times 450 = 0.18 \text{ w/m} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$\text{高纯型耐火纤维针刺毡 } \lambda_2 = 0.02 + 0.000175 \times 450 = 0.099 \text{ w/m} \cdot ^\circ\text{C}$$

平均热流密度

$$q = \frac{t_1 - t_a}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} = \frac{450 - 40}{\frac{0.23}{0.18} + \frac{0.15}{0.099}} = 146.8 \text{ w/m}^2$$

$$\text{散热面积: } A = 1 \times 4 = 4 \text{ m}^2$$

$$\text{散热量: } Q = 146.8 \times 4 \times 3.6 = 2113.92 \text{ (kJ/h)}$$

600~950℃, 共3节, 6m

$$\text{窑内壁平均壁温 } t_1 = \frac{600 + 950}{2} = 775 \text{ } ^\circ\text{C},$$

$$\text{轻质高铝砖 } \lambda_1 = 0.212 + 0.000329 \times 775 = 0.467 \text{ w/m} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$\text{高纯型耐火纤维针刺毡 } \lambda_2 = 0.02 + 0.000175 \times 775 = 0.156 \text{ w/m} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$\text{窑外壁平均壁温取 } t_a = 40 \text{ } ^\circ\text{C}$$

窑墙:

平均热流密度

$$q = \frac{t_1 - t_a}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} = \frac{775 - 40}{\frac{0.23}{0.47} + \frac{0.2}{0.156}} = 414.9 \text{ w/m}^2$$

$$\text{散热面积: } A = 6 \times 1.34 = 8.04 \text{ m}^2$$

$$\text{散热量: } Q = 414.9 \times 8.04 \times 2 \times 3.6 = 23946 \text{ (kJ/h)}$$

窑顶:

$$\text{轻质粘土吊顶砖 } \lambda_1 = 0.0815 + 0.000221 \times 775 = 0.253 \text{ w/m} \cdot ^\circ\text{C}$$

高纯型耐火纤维针刺毡 $\lambda_2 = 0.02 + 0.000175 \times 775 = 0.156 \text{ w/m} \cdot ^\circ\text{C}$

平均热流密度

$$q = \frac{t_1 - t_a}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} = \frac{775 - 40}{\frac{0.23}{0.253} + \frac{0.15}{0.156}} = 392.9 \text{ w/m}^2$$

散热面积: $A = 6 \times 1 = 6 \text{ m}^2$

散热量: $Q = 6 \times 392.9 \times 3.6 = 8486.64 \text{ (kJ/h)}$

950~1310℃, 共 6 节, 12m

窑内平均壁温 $t_1 = \frac{1310 + 950}{2} = 1130 \text{ } ^\circ\text{C}$

莫来石轻质高铝砖的 $\lambda_1 = 0.5098 \text{ w/m} \cdot ^\circ\text{C}$

含锆型硅酸纤维板的 $\lambda_2 = 0.19 \text{ w/m} \cdot ^\circ\text{C}$

高纯型耐火纤维刺毯的 $\lambda_3 = 0.2186 \text{ w/m} \cdot ^\circ\text{C}$

取窑外壁平均温度 $t_a = 80 \text{ } ^\circ\text{C}$

窑墙:

平均热流密度

$$q = \frac{t_1 - t_a}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3}} = \frac{1130 - 80}{\frac{0.23}{0.5098} + \frac{0.1}{0.19} + \frac{0.2}{0.2186}} = 549 \text{ w/m}^2$$

散热面积: $A = 12 \times 1.34 = 16.08 \text{ m}^2$

散热量: $Q = 549 \times 16.08 \times 2 \times 3.6 = 63561.024 \text{ (kJ/h)}$

窑顶:

平均热流密度

$$q = \frac{t_1 - t_a}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3}} = \frac{1130 - 80}{\frac{0.23}{0.5098} + \frac{0.1}{0.19} + \frac{0.2}{0.2186}} = 549 \text{ w/m}^2$$

散热面积: $A = 12 \times 1 = 12 \text{ m}^2$

散热量: $Q = 12 \times 549 \times 3.6 = 23716.8 \text{ (kJ/h)}$

窑墙窑顶总散热量 $Q_5 = 508.896 + 1451.5 + 5950.88 + 2113.92 + 23946 + 8486.64 + 63561.024 + 23716.8 = 129735.66 \text{ (kJ/h)}$

9.5 列出热平衡方程式

列出平衡方程式

$$Q_{\text{收}} = 1821.6 + 5940.9 + 41842x + 350x + 323x + 216x = 7762.5 + 42731x$$

$$Q_{\text{损}} = 133573.44 + 47403.5 + 7745.2x + 0.1Q_{\text{收}} + 81351.152 + 129735.66 + 0.05Q_{\text{收}} \\ = 819928.127 + 14154.84x$$

式有 $Q_{\text{收}} = Q_{\text{损}}$ ，解得 $x=28.42$ ，即单位时间柴油消耗量： $B = 28.42 \text{ m}^3/\text{h}$

单位制品消耗量为： $28.42 \times 41800 / 99.08 = 11989.87 \text{ kJ/kg}$ 。

9.6 列出预热带和烧成带热平衡表

热收入			热支出		
项目	KJ/h	百分比 (%)	项目	kJ/h	百分比 (%)
胚体带入的显热	1821.6	0.15	制品带出的显热	133573.44	11
入窑棚板及支柱带入的显热	5940.9	0.49	棚板和支柱	474103.5	39.03
燃料带入的化学显热	1189149.674	97.30	离窑废气	220118.584	18.12
助燃空气带入的显热	9947	0.81	窑车蓄热和热散失量	122217.752	10.00
漏入的风和搅拌风	9179.66	0.75	物化反应热	81351.152	6.7
气幕和搅风	6138.72	0.50	窑墙和窑顶	129735.66	10.15
			其他热损失	61108.876	5
总收入量	1222177.52	100	总散热量	1214446.46	100

分析：

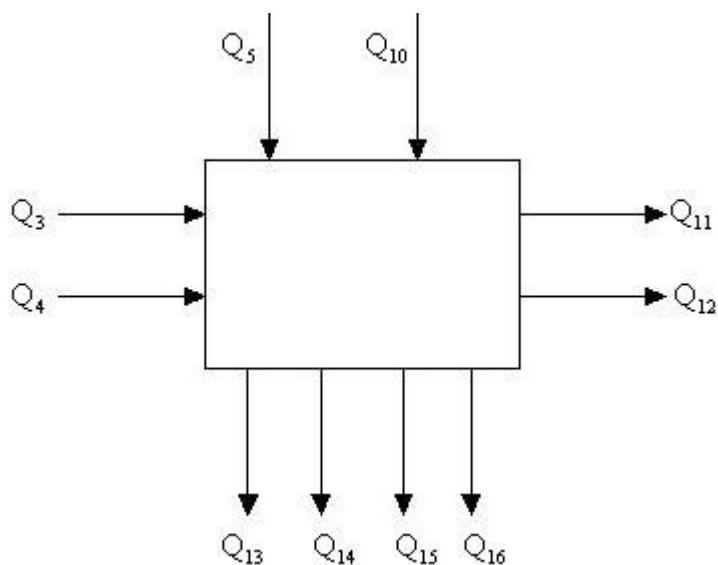
两者之间存在差值，是因为预热带窑内负压在该次计算中忽略了窑底漏入窑内风带来的热量，实际上虽然窑车上下压力控制手段非常完善，但仍有误差，由于误差很小所以整个预热带、烧成带热量可认为是收支平衡的。

10 冷却带的平衡计算

10.1 确定热平衡计算的基准、范围

0℃作为基准温度，1h 为质量与热量的时间基准。

10.2 平衡框图



其中：

Q_3 ——制品带入的显热；

Q_4 ——棚板、支柱带入显热；

Q_5 ——窑车带入的显热；

Q_{10} ——急冷风带入的显热和冷却带末端送入冷却带显热；

Q_{11} ——制品带出显热；

Q_{12} ——棚板、支柱带出的显热；

Q_{13} ——窑车、窑顶散热；

Q_{14} ——窑墙、窑顶总散热；

Q_{15} ——抽走余热风带走的热量；

Q_{16} ——其他热损失。

10.3 热收入项目

10.3.1 制品带入的显热

此项热量即为制品从烧成带带出的显热 $Q_3 = 133573.44 \text{ (kJ/h)}$

10.3.2 棚板和支柱带入的显热，同上， $Q_4 = 474103.5 \text{ (kJ/h)}$

10.3.3 窑车带入的显热

此项热量可取烧成带和预热带窑车总散热的95%（其余的已经在预热带烧成带向车下散失）

$$Q_9 = 95\%Q_6 = 0.95 \times 122217.752 = 116106.864 \text{ (kJ/h)}$$

10.3.4 急冷风和窑尾风带入的显热

窑尾的风量设为 V_x ，一般急冷风量为窑尾风量的0.25~0.5，此处取0.5，总风量为 $1.5 V_x$ 。

空气的温度 $t_a = 20^\circ\text{C}$ ，此时空气的比热： $c_a = 1.3 \text{ kJ/m}^3\text{C}$ ，

$$Q_{10} = V_a c_a t_a = 1.5 \times 1.3 \times 20 V_x = 39 V_x \text{ (kJ/h)}$$

10.4 热支出项目

10.4.1 制品带出的显热

出窑制品质量 $G_m = 93.408 \text{ kg/h}$ ，窑制品的温度 $t_{11} = 80^\circ\text{C}$ ，比热 $c_{11} = 0.95 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}$ 。

$$Q_{11} = G_m t_{11} c_{11} = 93.408 \times 80 \times 0.95 = 7099 \text{ (kJ/h)}$$

10.4.2 和支柱带出的显热

棚板和支柱质量 $G_b = 307.5 \text{ kg/h}$ ，温度 $t_{11} = 80^\circ\text{C}$ ，比热 $c_{12} = 0.861 \text{ kJ/(kg} \cdot ^\circ\text{C)}$

$$Q_{12} = G_b c_{12} t_{12} = 307.5 \times 80 \times 0.861 = 21180.6 \text{ (kJ/h)}$$

10.4.3 车带走的和想车下散失的热

此项热量一般可按窑车带入的显热55%计算，

$$Q_{13} = 55\%Q_9 = 0.55 \times 116106.864 = 63858.7752 \text{ (kJ/h)}$$

10.4.4 其他热损失 Q_{16}

取经验数据，占冷却带热收入的5%—10%，本次计算取5%

10.4.5 抽走余热风带走热量 Q_{15}

$$Q_{15} = q_{15} \times c_{15} \times t_{15}$$

其中： q_{15} —抽走余热风流量 (m^3/h)，该窑不用冷却带热空气做二次空气，冷却带鼓入风量全部用于气幕，体积为 $q_{15}=1.5V_x \text{ Nm}^3$ 。漏出空气忽略不记，抽走余热风的平均温度，取 $t_{15}=250^\circ\text{C}$ ， c_{15} 热空气的平均比热为， $c_{15} = 1.038 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$

$$Q_{15} = 1.5V_x \times 250 \times 1.038 = 389.25V_x$$

10.4.6 窑墙和窑顶的散热

分三段 15~17, 18~12, 23~25

1300~850 $^\circ\text{C}$ ，长6m

$$\text{窑内平均温度 } t_1 = \frac{1310 + 850}{2} = 1080^\circ\text{C}$$

$$\text{莫来石轻质高铝砖 } \lambda_1 = 0.569 \text{ w/m} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$\text{含锆型硅酸铝纤维板 } \lambda_2 = 0.19 \text{ w/m} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$\text{高纯型耐火纤维刺毯 } \lambda_3 = 0.2099 \text{ w/m} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$\text{取窑外平均温度 } t_a = 80^\circ\text{C}$$

窑墙：

平均热流密度

$$q = \frac{t_1 - t_a}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3}} = \frac{1080 - 80}{\frac{0.23}{0.569} + \frac{0.1}{0.19} + \frac{0.2}{0.2099}} = 533.6 \text{ w/m}^2$$

$$\text{散热面积 } A = 6 \times 1.34 = 8.04 \text{ m}^2$$

$$\text{散热量： } Q = 533.6 \times 8.04 \times 2 \times 3.6 = 30796.8 \text{ (kJ/h)}$$

窑顶：

平均热流密度

$$q = \frac{t_1 - t_a}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3}} = \frac{1080 - 80}{\frac{0.23}{0.569} + \frac{0.1}{0.19} + \frac{0.2}{0.2099}} = 533.6 \text{ w/m}^2$$

$$\text{散热面积 } A = 6 \times 1 = 6 \text{ m}^2$$

$$\text{散热量： } Q = 533.6 \times 6 \times 3.6 = 11525.76 \text{ w/m}^2$$

18~22, 800~400℃, 10m

$$\text{窑内平均壁温 } t_1 = \frac{800 + 400}{2} = 600 \text{ } ^\circ\text{C}$$

轻质高铝砖的 $\lambda_1 = 0.4176 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$

高纯型耐火纤维刺毯的 $\lambda_2 = 0.1294 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$

窑外壁平均取 $t_a = 80^\circ\text{C}$

窑墙:

平均热流密度

$$q = \frac{t_1 - t_a}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} = \frac{600 - 80}{\frac{0.23}{0.4176} + \frac{0.2}{0.1294}} = 259.96 \text{ W/m}^2$$

$$\text{散热面积: } A = 10 \times 1.34 = 13.4 \text{ m}^2$$

$$\text{散热量: } Q = 259.97 \times 13.4 \times 2 \times 3.6 = 25080.94 \text{ (kJ/h)}$$

窑顶:

轻质粘土吊顶砖 $\lambda_1 = 0.0815 + 0.000221 \times 625 = 0.2196 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$

高纯型耐火纤维刺毯的 $\lambda_2 = 0.1294 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$

平均热流密度

$$q = \frac{t_1 - t_a}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} = \frac{600 - 80}{\frac{0.23}{0.2196} + \frac{0.15}{0.1294}} = 247 \text{ W/m}^2$$

$$\text{散热面积: } A = 10 \times 1 = 10 \text{ m}^2$$

$$\text{散热量: } Q = 247 \times 10 \times 3.6 = 8892 \text{ (kJ/h)}$$

23~25, 400~80℃, 6m

$$\text{窑内平均壁温 } t_1 = \frac{400 + 80}{2} = 240 \text{ } ^\circ\text{C}$$

轻质高铝砖的 $\lambda_1 = 0.4008 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$

高纯型耐火纤维刺毯的 $\lambda_2 = 0.062 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$

窑外壁平均取 $t_a = 80^\circ\text{C}$

窑墙:

平均热流密度

$$q = \frac{t_1 - t_a}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} = \frac{240 - 80}{\frac{0.23}{0.291} + \frac{0.2}{0.062}} = 39.84 \text{ w/m}^2$$

$$\text{散热面积: } A = 6 \times 1.34 = 8.04 \text{ m}^2$$

$$\text{散热量: } Q = 39.84 \times 8.04 \times 2 \times 3.6 = 2299 \text{ (kJ/h)}$$

窑顶:

$$\text{轻质粘土吊顶砖 } \lambda_1 = 0.0815 + 0.000221 \times 240 = 0.13454 \text{ w/m} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$\text{高纯型耐火纤维刺毯的 } \lambda_2 = 0.062 \text{ w/m} \cdot ^\circ\text{C}$$

平均热流密度

$$q = \frac{t_1 - t_a}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} = \frac{240 - 80}{\frac{0.23}{0.1345} + \frac{0.15}{0.062}} = 38.75 \text{ w/m}^2$$

$$\text{散热面积: } A = 6 \times 1 = 6 \text{ m}^2$$

$$\text{散热量: } Q = 38.75 \times 6 \times 3.6 = 465 \text{ (kJ/h)}$$

总散热量

$$Q_{14} = 30796.8 + 11525.76 + 25080.94 + 8892 + 2299 + 465 = 79059.5 \text{ (kJ/h)}$$

10.5 热平衡方程式

$$\text{列出平衡方程式 } Q_3 + Q_4 + Q_9 + Q_{10} = Q_{11} + Q_{12} + Q_{13} + Q_{14} + Q_{15} + Q_{16}$$

$$Q_{\text{收}} = 133573.44 + 474103.5 + 116106.864 + 39V_x$$

$$Q_{\text{支}} = 7099 + 21180.6 + 63858.7752 + 79059.5 + 389.25V_x + 5\%Q_{\text{收}}$$

$$\text{由 } Q_{\text{收}} = Q_{\text{支}}, \text{ 解得 } V_x = 1466.2 (\text{m}^3/\text{h})$$

因此窑尾的风量为 $1466.2 \text{ m}^3/\text{h}$ ，急冷风量 $733.1 \text{ m}^3/\text{h}$ ，每小时应抽出热风

2199.3 m^3 。

10.6 热平衡表

热 收 入			热 支 出		
项 目	(kJ/h)	(%)	项 目	(kJ/h)	(%)
制品带入显热	133573.4 4	17.1	产品带出显热	7099	0.91
棚板立柱带入显热	474103.5	60.7 1	棚板立柱带出显热	21180.6	2.71
窑车带入显热	116106.8 64	14.8 7	窑体散热	63858.775 2	8.18
急冷窑尾风带入显热	39V _x 57181.8	7.33	窑车带走和向下散失显热	79059.5	10.1 2
			抽热风带走显热	389.25V _x 570718.35	73.0 8
			其它散热	39048.280 2	5
合 计	780965.6 04	100	合 计	780965.04 5	100

分析:

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

11 排烟系统的设计

11.1 排烟系统的设计

11.1.1 排烟量的计算

取离窑烟气中空气过剩系数 $\alpha_g = 2.5$ ，则其体积流量为：

$$V_g = (V_{g0} + (\alpha_g - \alpha) L_0) \times 3600 = (14.39 + (2.5 - 1.3) \times 10.36) \times 28.42 = 762.28 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$= 0.21 \text{ m}^3/\text{s}。$$

11.1.2 排烟口及烟道的尺寸

共有 6 对排烟口，则每支排烟口的烟气流量：

$$q_v = 0.21/6 = 0.035 \text{ m}^3/\text{s}$$

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

$$A = 0.035/1.5 = 0.023 \text{ m}^2$$

排烟口尺寸设计为 高×宽为 200×200mm。

11.1.3 垂直支烟道

烟气有排烟口至垂直支烟道流量不变，流速相同，截面积也相同，故为 200×200mm。

11.1.4 总烟管尺寸

烟气在管内的流速取 5m/s

$$\text{内径: } d_{\text{总}} = \sqrt{\frac{4 \times 0.21}{\pi v}} = \sqrt{\frac{4 \times 0.21}{3.14 \times 5}} = 0.2313 \text{ m}，\text{取直径为 450mm, 6m 长。}$$

11.1.5 支烟管尺寸

支烟道的流量 $0.035 \text{ m}^3/\text{s}$ ，流速为 1.5 m/s ，内径：

$$d_{\text{支}} = \sqrt{\frac{4 \times 0.035}{3.14 \times 1.5}} = 0.1485 \text{ m}，\text{取直径为 200mm。}$$

11.2 阻力计算

阻力计算应包括料垛阻力、位压阻力、摩擦阻力和烟囱阻力的计算之和。

11.2.1 料垛阻力 h_1

取经验数据，每米窑长料垛阻力为 1Pa，按理想情况假设，零压应在预热带和烧成带相接的位置，即第 6 节，最后一对排烟口在第 5 节，每节长 2 米，则：

$$h_1 = (15-5) \times 2 \times 1 = 20\text{Pa}$$

11.2.2 位压阻力 h_2

风机与烟囱设在窑外的车间地面上，烟气从排烟口到风机（烟囱底部），位置升高 1.0 米。取烟气平均温度为 200℃。

$$\begin{aligned} h_g &= -H(\rho_a - \rho_g) \cdot g \\ &= -1.0 \times [1.29 \times 273 / (273 + 20) - 1.3 \times 273 / (273 + 200)] \times 9.8 \\ &= -4.43\text{Pa} \end{aligned}$$

11.2.3 局部阻力 h_3

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

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

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

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

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

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

$$\begin{aligned} h_e &= \xi_{1-4} \frac{\omega_1^2}{2} \rho + \xi_{5-6} \frac{\omega_2^2}{2} \rho \\ &= (0.5 + 2 + 0.7 + 2) \times \frac{1.5^2}{2} \times 1.3 \times \frac{273 + 200}{273} + (2 + 0.5) \times \frac{5^2}{2} \times 1.3 \times \frac{273 + 200}{273} \\ &= 83.56\text{ Pa} \end{aligned}$$

11.2.4 摩擦阻力 h_4

对非圆形通道应求当量直径 d ：

排烟口的直径和长度

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

垂直支烟道当量直径和长度（砌筑部分）：

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

垂直支烟道当量直径和长度（金属管道部分）：

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

水平支烟道当量直径和长度:

$$d_4 = 4 * \frac{0.2}{2} = 0.4 \text{ m}; \quad l_4 = 0.5 \text{ m};$$

水平主烟道当量直径和长度:

$$d_5 = 4 * \frac{0.45}{2} = 0.9 \text{ m}; \quad l_5 = 15 \text{ m};$$

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

$$\begin{aligned} h_4 &= \zeta_1 \left(\frac{l_1}{d_1} + \frac{l_2}{d_2} \right) * \frac{w_1^2}{2} * \rho + \zeta_2 \left(\frac{l_3}{d_3} + \frac{l_4}{d_4} + \frac{l_5}{d_5} \right) * \frac{w_2^2}{2} * \rho \\ &= 0.05 \times \left(\frac{0.28}{0.244} + \frac{1.2}{0.23} \right) \times \frac{1.5^2}{2} \times 1.3 \times \frac{273+200}{273} + 0.03 \times \left(\frac{1}{0.4} + \frac{0.5}{0.4} + \frac{15}{0.9} \right) \times \frac{5^2}{2} \times 1.3 \times \frac{273+200}{273} \\ &= 24 \text{ Pa} \end{aligned}$$

11.2.5 烟囱阻力 h

取烟囱高度为 10 米, 标准状态下取烟气在烟囱内的流动速度为 6m/s, 平均温度 160℃, 烟囱排出烟气量为:

$$F = \frac{Vg}{3600\omega} = \frac{12078}{6 \times 3600} = 0.56 \text{ m}^2$$

因此, 烟囱直径为:

$$d = \sqrt{\frac{4F}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 0.56}{3.14}} = 0.84 \text{ m}, \text{ 取直径为 } 900 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} h &= -H(\rho_a + \rho_g) + \xi \frac{\omega^2}{2} \rho \frac{H}{d} + \frac{\omega^2}{2} \rho \\ &= -10 \times \left(1.29 \times \frac{273}{273+20} - 1.3 \times \frac{273}{273+160} \right) + (0.03+1) \times \frac{6^2}{2} \times 1.3 \times \frac{273}{273+160} \\ &= 11.37 \text{ Pa} \end{aligned}$$

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

用风机来克服阻力。

风机应克服的总阻力为：

$$h_x = h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h = 24 + 4.43 + 83.56 + 24 + 11.37 = 138.5 \text{ Pa}$$

11.3 风机选型

为保证正常工作，取安全系数为 1.3

所以选型应具备风压 H 为：

$$H = 1.30 \times h_x \times \frac{\rho_a}{\rho_g} = 1.3 \times 138.5 \times \frac{1.29 \times \frac{273}{273+20}}{1.3 \times \frac{273}{273+200}} = 288.46 \text{ Pa}$$

风量为：

$$Q = 1.3 \times V_g \times (273+200)/273 = 1.3 \times 12078 \times 473/273 = 27204.26 \text{ m}^3/\text{h}$$

查《风机选用手册》选引风机 Y8-39No5.6，其参数见表 11-1。

11.4 其它系统管道尺寸的确定及风机选型

11.4.1 各管道尺寸的计算

11.4.1.1 助燃风管的计算

$$\text{助燃风量 } V^1 = V_a \times x = 13.47 \times 21.7 = 292.3 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

$$\text{实际助燃风量 } V = 13.47 \times 292.3 \times (273+20)/273 = 4225.7 \text{ m}^3/\text{h} = 1.17 \text{ m}^3/\text{s}$$

取助燃风在总管中的流速为 6m/s

$$\text{助燃风总管内径: } d_{\text{总}} = \sqrt{\frac{4 \times 1.17}{3.14 \times 6}} = 0.50 \text{ m} \quad \text{取 } 500 \text{ mm}$$

$$\text{助燃风分管内径: } d_{\text{分}} = \sqrt{\frac{4 \times 1.17}{3.14 \times 6 \times 2}} = 0.35 \text{ m} \quad \text{取 } 350 \text{ mm}$$

共有 19 个烧嘴，取流速为 $w=6\text{m/s}$

$$\text{所以 } d_{\text{支}} = \sqrt{\frac{4 \times 1.17}{3.14 \times 6 \times 19}} = 0.011 \text{ m} \quad \text{取 } 150 \text{ mm}$$

11.4.1.2 急冷风管的计算

该段冷风鼓入量一般为冷却带鼓入量的 1/3，所以 $611.05 \text{ Nm}^3/\text{h}$

实际鼓风量为

$$V'_1 = 611.05 \times \frac{273+20}{273} = 655.82 \text{ m}^3/\text{h} = 0.182 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{总管 } D_{\text{总}} = \sqrt{\frac{4 \times 0.182}{3.14 \times 6}} = 0.197 \text{ m, 取 } 250 \text{ mm}$$

$$\text{分管 } d_{\text{分}} = \sqrt{\frac{4 \times 0.182}{3.14 \times 6 \times 2}} = 0.139 \text{ m, 取 } 150 \text{ mm}$$

11.4.1.3 急冷段抽热风管的计算

冷却带总抽风量: $1833.15 \text{ N m}^3/\text{h}$, 抽出温度为 250°C

$$\text{实际抽风量 } V'_2 = 1833.15 \times \frac{273+250}{273} = 3511.86 \text{ m}^3/\text{h} = 0.98 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{总管 } d_{\text{总}} = \sqrt{\frac{4 \times 0.98}{3.14 \times 6}} = 0.46 \text{ m, 取 } 500 \text{ mm}$$

$$\text{支管 (共有 8 个抽热风口) } d_{\text{分}} = \sqrt{\frac{4 \times 0.98}{3.14 \times 6 \times 18}} = 0.108 \text{ m, 取 } 150 \text{ mm}$$

11.4.1.4 搅拌气幕风管尺寸的计算

气幕风量为 $1294.3 \text{ Nm}^3/\text{h}$

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

$$\text{气幕总管直径 } d_1 = \sqrt{\frac{4 \times 0.385}{3.14 \times 10}} = 0.22 \text{ m, 取 } 300 \text{ mm}$$

$$\text{气幕支管直径 } d_2 = \sqrt{\frac{4 \times 0.385}{3.14 \times 10 \times 3}} = 0.127 \text{ m, 取 } 150 \text{ mm}$$

11.4.1.5 封闭气幕管道尺寸的计算

封闭气幕总管直径 取 300 mm

11.4.1.6 窑尾鼓冷风管尺寸的计算

窑尾鼓冷风量为 $1833.15 \text{ Nm}^3/\text{h}$

$$\text{实际鼓风量 } V'_1 = 1833.15 \times \frac{273+20}{273} = 1967.45 \text{ m}^3/\text{h} = 0.547 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{总管 } D_{\text{总}} = \sqrt{\frac{4 \times 0.547}{3.14 \times 6}} = 0.34 \text{ m, 取 } 400 \text{ mm}$$

$$\text{分管 } d_{\text{分}} = \sqrt{\frac{4 \times 0.547}{3.14 \times 6 \times 2}} = 0.240 \text{ m}, \text{ 取 } 300 \text{ mm}$$

11.4.2 各窑段的风机选型

11.4.2.1 急冷段急冷风机的选用 09

为保证正常工作，取安全系数为 1.3，

风机鼓风量 $Q=1.3 \times 9345.98=12149.77 \text{ Nm}^3/\text{h}$

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

11.4.2.2 窑尾风机的选用

为保证正常工作，取安全系数为 1.3，

风机鼓风量 $Q=1.3 \times 1222.1=1588.7 \text{ Nm}^3/\text{h}$ 。

11.4.2.3 缓冷段抽热风量

缓冷不设风机。

11.4.2.4 助燃风机的选用

为保证正常工作，取安全系数为 1.3，

助燃风机需鼓入风量 $Q=1.3 \times 292.3=379.99 \text{ Nm}^3/\text{h}$

由于助燃风要求高压强制通风，且本设计助燃风不要求预热。.

11.4.2.5 车下风机

车下风为冷却窑车而用，每个车轮下设一小吹风口，风量不需要很大，这里以窑尾风量的一半计算，即： $Q=1833.15/2=916.575 \text{ Nm}^3/\text{h}$ 。

11.4.2.6 轴流风机

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

列出风机选型表：

表 11-1 风机型号表

用途	风机名称	机型	转速 r/min	全压 Pa	风量 m ³ /h	电动机	
						型号	功率 /kW
搅拌风机	离心通风机	G6-43N <u>o</u> 3.3	2840	1785	1474	Y190S-2	1.5
车下风机	离心通风机	G6-43N <u>o</u> 6.3	1440	1652	5896	Y132S-4	5.5
排烟风机	锅炉引风机	Y8-39N <u>o</u> 5.6	2900	3971	12214	Y200L1-2	30
助燃风机	离心通风机	G6-43N <u>o</u> 6.3	1440	1797	3106	Y132S-4	5.5
快冷风机	离心通风机	G6-43N <u>o</u> 8.5	1470	3271	13034	Y160M-4	22
抽热风机	锅炉引风机	Y4-73N <u>o</u> 9D	1450	1644	25976	Y180L-4	22
急冷风机	离心通风机	G6-43N <u>o</u> 6.3	1440	1652	5896	Y132S-4	5.5

12 烧嘴的选型

全窑共有 36 个烧嘴，且每小时燃料的消耗量为 28.7m^3 ，考虑每个烧嘴的燃烧能力和烧嘴燃烧的稳定性，取安全系数 1.5，所以每个烧嘴的燃料消耗为：

$$\frac{28.42}{19} \times 1.5 = 1.12\text{m}^3/\text{h}$$

烧嘴的热负荷： $1.12 \times 41800 = 46816\text{kJ/h}$

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

由于本设计的烧成带窑内宽达到 1000mm，为了保证断面温度的均匀与稳定，通过资料查询选用广东施能燃烧设备有限公司生产的型号为 SI0-200 烧嘴，其主要参数为：火焰长度 800mm-2400mm，出口速度为 80m/s，燃气压力 2000 Pa，助燃空气压力 4200Pa。

此烧嘴不需要专门的燃烧室，烧嘴砖直接砌筑在窑墙上即可。

13 工程材料概算

13.1 窑体材料概算

13.1.1 硅酸钙硬板, 规格: $\sigma=10\text{mm}$

取窑墙的平均高度为 2.363m, 窑长 50m;

两侧窑墙需: $2 \times 2.363 \times 50 = 236.3 \text{ m}^2$, 取 237 m^2 。

13.1.2 轻质粘土砖, 规格: $230 \times 114 \times 65\text{mm}$

密度 $\rho = 1.0 \text{ g/cm}^3$, 重烧线变化不大于 2% 的试验温度 1350°C , 在全窑顶砌有厚度 230mm, 所以砌有粘土砖的窑顶体积为

$$V = 0.23 \times 2.92 \times 22 + 0.23 \times 3.12 \times 8 = 17.3282 \text{ m}^3$$

共需粘土砖

$$237 / (0.114 \times 0.230 \times 0.065) = 13907 \text{ 块}$$

13.1.3 轻质高铝砖, 规格: $230 \times 114 \times 65\text{mm}$

密度 $\rho = 1.0 \text{ g/cm}^3$, 全窑所砌筑的长度为 $16 + 22 = 38\text{m}$, 所以

$$V = 2 \times 0.114 \times 1.068 \times 38 = 9.25 \text{ m}^3$$

$$V = 2 \times 0.114 \times 1.068 \times 38 + \frac{60\pi}{360} [(0.850 + 0.23)^2 - 0.850^2] \times 38 = 20.12 \text{ m}^3$$

共需轻质高铝砖

$$20.12 / (0.114 \times 0.230 \times 0.065) = 13703 \text{ 块}$$

13.1.4 莫来石轻质高铝砖, 规格: $230 \times 200 \times 199\text{mm}$

全窑所砌筑的长度为 12m, 故

$$V = 0.199 \times 1 \times 12 = 2.388 \text{ m}^3$$

共需轻质莫来石绝热砖

$$2.388 / (0.23 \times 0.2 \times 0.199) = 261 \text{ 块}$$

13.1.5 高纯型耐火纤维刺毯

全窑所砌筑的长度为 50m

$$V = 0.2 \times 50 \times 1.068 + 0.15 \times 2.92 \times 22 + 0.15 \times 3.12 \times 8 = 21.98 \text{ m}^3$$

13.1.6 含锆型硅酸纤维板

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

13.1.7 含铅纤维毯，厚度 100mm

$$V=0.1 \times 8 \times 1.068 + 0.1 \times 3.12 \times 8 = 3.3504 \text{m}^3$$

13.1.8 其他材料

热电偶（含瓷管）：11 套。

烧嘴 36 只。

烧嘴砖 36 块。

看火孔（含瓷管和看火孔盖）：36 套。

执行器 8 个。

电磁阀 1 个。

流量计 1 个。

补偿导线 500 米。

自动控制柜（显示仪表、电路已组装完成）1 套。

顶车机 1 套，含备用快（慢）进（退）。

柴油发电机 1 套。

本概算未包括窑炉、回车线、拖车到道基础。

13.2 钢材材料概算

由图纸中的详细计算，得出下列材料图表：

序号	材料名称	规格/尺寸 (mm)	单位	数量
1	钢管	140	m	35
2	钢管	159	m	35
3	钢板	$\sigma=3$	m ²	40
4	方钢管	100×50×4	支	200
5	方钢管	120×60×4	支	85
6	方钢管	50×50×3.5	支	35
7	方钢管	120×120×4	支	100
8	角钢	L63×63×6	支	85
9	角钢	L40×40×4	支	75
10	角钢	L30×30×4	支	60
11	钢板	$\delta=1.2\text{mm}$	m ²	100
12	吊顶钩	$\phi 10$	个	1750
13	轨道	15kg/m	m	130
14	轨道垫板	$\sigma=10\text{mm}$	m ²	1
15	槽钢	10 号	m	420

后 记

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，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，在整个设计的过程中，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一些这样或那样的问题，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，十分感谢陈功备等指导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。

吴志勇

2014 5 30

14、参考文献

- [1]、周露亮 《窑炉课程设计指导书》，景德镇陶瓷学院. 2010. 5.
- [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]、韩昭沧 《燃料与燃烧》，冶金工业出版社. 2007. 10.
- [4]、刘振群 《陶瓷工业热工设备》，武汉理工大学出版社. 2008. 1.
- [5]、徐维忠 《耐火材料》，冶金工业出版社. 2008. 2.
- [6]、马建隆 宋之平 《实用热工手册》，水利电力出版社. 1988. 8
- [7]、王秉铨 《工业炉设计手册》，北京机械工业出版社. 2004. 7.
- [8]、陈景雨 《陶瓷工业热工过程及设备》，中国轻工业出版社. 1992. 4.
- [9]、胡国林 陈功备 周露亮 《陶瓷工业窑炉》，武汉理工大学出版社. 2010. 8.
- [10]、杨世铭 陶文铨 《传热学》第三版，高等教育出版社. 1998. 8