

景德镇陶瓷学院

毕业设计说明书

题目：日产 10000m²釉面砖辊道窑设计

学 号：201030453136

姓 名：廖明

院（系）：科技艺术学院工程系

专 业：10 热工（1）班

指导老师：周露亮

日 期：2014-5

摘 要

本设计说明书对所设计的日产 10000m² 釉面砖辊道窑设计加以说明。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。

本次设计窑炉的燃料为人工煤气，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、风机的选型及工程材料概算。

关键词： 辊道窑 发生炉煤气 设计

Abstract

This instruction elaborated the roller kiln. The annual production of this roller kiln is three point five million square meter external wall tiles. This instruction specifically elaborated the factor should considered when we designed, such as the structure of the kiln body, discharged system, burning system and the cooling system and so on, At the same time it detailed how to choose the meterial, the calculation of heat balance , the pipeline design, the transmission design to the kiln and so on.

This fuel of the kiln is Artificial gas, it fires product directly. This firing way can improved the quality and scale of the product, saved the energy, and the transportation by roller may reduce loading the product. With the working procedure outside the kiln, It eased the operation. Simultaneously it has the high automation control level. It uses the PID intelligence measuring appliance in firing and the temperature control. It can adjust the firing curve and make the temperature stably conveniently.

This instruction content includes: the determination of kiln body dimension, work system, the choice of material, the calculation of fuel burning, the calculation of heat balance, the calculation of transmission, the calculation of pipeline size and resistance, how to choose air blower shaping and the estimation of engineerig material

目 录

一：前言.....	4
二：设计任务及原始资料.....	5
三：窑体主要尺寸的确定.....	7
四：烧成制度的确定.....	9
五：工作系统的确定.....	10
六：燃料燃烧计算.....	15
七：窑体材料的确定.....	17
八：热平衡计算.....	19
九：风机的选型.....	40
十：参考文献.....	48
十一：后记.....	49

1. 前言

辊道窑是近几十年发展起来的新型快烧连续式工业窑炉,在釉面砖、墙地砖、彩釉砖等建筑陶瓷工业生产中已普遍用作主要的烧成设备,近几年正逐步在日用瓷等陶瓷工业中得到应用。

与隧道窑相比,辊道窑用连续多排辊子代替窑车输送制品,取消了窑车,取消了砂封,避免车下窑外冷空气漏入隧道,使窑内同一截面上下温度均匀,大大缩短烧成时间,为优质高产低热耗创造了条件。辊道窑的设计计算包括:窑体主要尺寸计算,燃料燃烧计算、热平衡计算、通风阻力计算等,使用发生炉煤气烧窑,可减少环境污染。

烧成在陶瓷生产中是非常重要的一道工序。烧成过程严重影响着产品的质量,与此同时,烧成也由窑炉决定。

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

全窑利用余热干燥生坯,热效率高,温度控制准确、稳定,传动用齿轮传动,摩擦式联结辊筒,传动平衡、稳定,维护方便,无级调节,控制灵活。通过对其窑炉结构和控制的了解,借鉴其经验数据,结合中试窑的情况,我所设计的辊道窑总长 151.2 米,内宽 2.3 米,烧成温度是 1200 摄氏度,燃料采用发生炉煤气。

为了更好的掌握辊道窑的结构和窑炉设计的程序,我对老师给定的设计任务进行了为期数周的设计计算,并绘制窑体视图。

2. 景德镇陶瓷学院毕业设计（论文）任务书

院（系） 科技学院

2013 年 11 月

专业	热能与动力工程	班级	10 热工
姓名	廖明	指导教师	周露亮
题目	日产 10000m ² 釉面砖辊道窑设计		
<p>主要研究内容和设计技术参数：</p> <p>1、生产能力：10000 m²/日</p> <p>2、产品规格：釉面砖 600×600×10</p> <p>3、烧成周期：45 分钟 烧成温度：1200℃ 烧成气氛：全氧化</p> <p>4、合格 率：95%</p> <p>5、燃 料：发生炉煤气</p> <p>6、其他设计技术参数自定</p>			
<p>基本要求（含成果要求）：</p> <p>1、窑炉结构和工作系统合理，设计计算正确，独立完成，大胆创新</p> <p>2、图纸清晰干净，规范齐全。</p> <p> 图纸包括：窑体砌筑结构图、钢架结构和安装图、管路布置安装图、传动系统结构图、异形砖图等</p> <p>3、设计说明书详细，含设计计算、材料概算等。说明书格式规范，A4 纸打印</p> <p>4、符合计算机绘图，外文应用等毕业设计要求</p>			
<p>工作进度计划：</p> <p>第 4 周：整理资料，确定设计方案</p> <p>第 5-6 周：设计计算，结构确定</p> <p>第 7 周：调整设计方案，构思设计草图</p> <p>第 8-15 周：绘图，描图</p> <p>第 16-17 周：编写设计说明书，打印</p> <p>第 18 周：答辩准备</p>			

2.1、原始数据

(一) 釉面砖

1. 坯料组成 (%) :

SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	I.L
68.35	16.27	2.3	2.65	0.85	2.20	2.15	4.85

2. 产品规格：600×600×10mm

3. 入窑水分：1%

4. 产品合格率：95%

5. 烧成周期：45 分钟（全氧化气氛）

6. 最高烧成温度：1200℃（温度曲线自定）

2.2 燃料

发生炉煤气：Q=6061KJ/Nm³

发生炉 煤气	CO	H ₂	CH ₄	CO ₂	N ₂	O ₂	Q_{net} (MJ/Nm ³)
	30.6	13.2	4.0	3.4	48.8	0	6.753

3 年工作日：300 天

3. 窑体主要尺寸的确定

3.1 窑内宽的确定

产品的尺寸为600×600×10mm，设制品的收缩率为10%。由坯体尺寸=产品尺寸/（1-烧成收缩），得坯体尺寸为：667×667mm

两侧坯体与窑墙之间的距离取120mm，设宽度方向坯体排列的块数为：n=3，确定并排3块。得内宽 $B=120 \times 2 + 667 \times 4 + 4 \times 20 = 2988\text{mm} \approx 3000\text{mm}$

最后，确定窑内宽 B 取3000mm 即3m。

3.2 窑长及各带长度的确定

3.2.1 窑体长度的确定

$$\begin{aligned}\text{窑炉每小时进入生坯} &= (\text{年产量} \times \text{烧成周期}) \div [\text{年工作日} \times 24 \times \text{产品合格率}] \\ &= (10000 \times 300 \times 45/60) \div (300 \times 24 \times 95\%) \\ &= 328.9 (\text{m}^2/\text{窑})\end{aligned}$$

装窑密度=每米排数×每排片数×每片砖面积

$$\begin{aligned}&= (1000 \div 667) \times 4 \times (0.6 \times 0.6) \\ &= 2.159 (\text{m}^2/\text{每米窑长})\end{aligned}$$

窑长=窑炉每小时进入生坯÷装窑密度

$$\begin{aligned}&= 328.9 \div 2.159 \\ &= 152.3 (\text{m})\end{aligned}$$

利用装配式，由若干节联接而成，设计每节长度为2100mm，节间联接长度为8mm 总长度为2108mm，窑的节数=152.3÷2.108=72.3节，取整为72节。

所以算出窑长为 $L=72 \times 2100 = 151200\text{mm} = 151.2\text{m}$

3.2.2 窑体各带长度的确定

预热带占全窑总长的 30.1%，节数=72×30.1%=21.67，取 21 节，长度=21×2100=44100mm；

烧成带占全窑总长的 28.4%，节数=72×28.4%=20.445，取 21 节，长度=21×2100=44100mm；

冷却带占全窑总长的 41.5%，节数=72×41.5%=29.88，取 30 节，长度=30×2100=62000mm。

3.3 窑内高的确定

内高为窑道内整个空间的高度，等于辊上高（辊道中心线至窑顶的距离）与辊下高（辊道中心线至窑底或隔烟板的距离）之和。

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

从理论上来说对焙烧建筑瓷砖的辊道窑辊下高最好应大于砖对角线长度，但由于该制品较大，若按此计算会造成内高太大，既增大了窑墙散热，又不利于窑内传热。由于制品从辊上掉下，一般都发生了破损，尺寸都比整砖小了，故据各地辊道窑实际状况来看取辊下高 400mm。

表 3-1 窑内高度表

	1-21 节	22-42 节	43-72 节
辊上高(mm)	300	360	300
辊下高(mm)	400	460	400
内总高(mm)	700	820	700

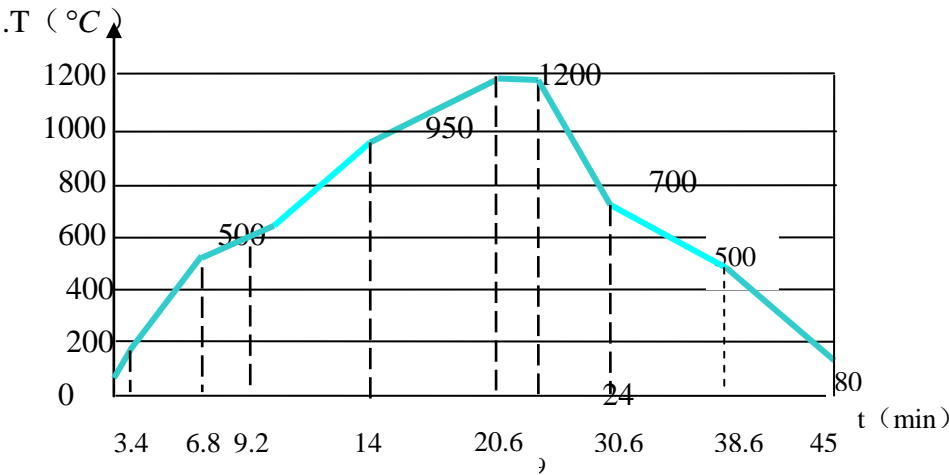
4. 烧成制度的确定

(1) 温度制度

- ①烧成周期：45min
- ②各带划分

		温度/℃	时间/min	升温速率 /℃·min	长度比例/%		长度/节	
预热带		20~200	3.4	14	52.94	6	30.1	4
		200~500	3.4		88.23	8		6
		500~600	2.8		35.71	6.1		4
		600~950	4.4		79.45	10		7
烧成带		950~1200	6.6	10	37.88	20.3	28.4	15
		1200	3.4		0	8.1		6
冷却带	急冷带	1200~700	6.6	21	75.76	13.8	41.5	10
	缓冷带	700~500	8.0		25.00	15.4		11
	快冷带	500~80	6.4		65.63	12.3		9
累计			45			100		72

- (2) 气氛制度：全窑氧化气氛
- (3) 烧成温度曲线大致如下：



5. 工作系统的确定

辊道窑的工作系统确定包括排烟系统、燃烧系统、冷却系统等

5.1 排烟系统

采用集中排烟方式，排烟口设在第 1.3.5.7.9 节，每节上下各 3 个直径为 200mm 的圆形排烟口直通窑体外，排烟口设在距每节窑头 1500mm 处。下排烟口上方设置支柱和挡板以防止碎坯落入下排烟口。排烟出口处设置排烟阀，然后经水平分管进入总烟管。总烟管设于窑顶，上有总闸。利用烟气抽力，引导窑内气体流动

5.2 燃烧系统

因所设计的为明焰辊道窑，且使用发生炉煤气作燃料，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。烧嘴的对侧是观察孔，以便更好的观察火焰的燃烧情况，便于操作控制。

为均匀窑温，强化窑内对流换热，在选择烧嘴时，选用小流量高速烧嘴。

5.2.1 烧嘴的设置：

本设计在预热带前部即烧成带前就开始设置烧嘴，有利于快速升温 and 温度调节，缩短烧成周期，达到目的。考虑到在低温段设置烧嘴不宜太多。因此，在第 15-21 节每节设置 2 对烧嘴，只设置于辊下。在第 22-42 节的辊上下交错设置 4 对烧嘴，辊上下烧嘴及对侧烧嘴均互相错开排列。并在每烧嘴的对侧设置一观察孔。因此，本设计总共有 98 对烧嘴。

5.2.2 发生炉煤气输送装置

由发生炉煤气总管路送到车间，然后经过过滤器、压力表、自动调节蝶阀和气动安全阀，由自动调压器把总管发生炉煤气压力降到窑炉适用的压力并稳压后送到窑炉上方的发生炉煤气总管道。

燃烧系统分为若干个主调节单元，每个单元又分别为辊上通道温度调节单元和辊下温度调节单元。各单元所用燃气分别从窑上发生炉煤气总管道中引出，经单元手动球阀和由电动执行器带动的蝶阀后送至本调节单元的各烧嘴。在每个控制单元设置一电磁阀，有断电保护功能，防止断电后天然气泄入窑内。

5.3 冷却系统

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

5.3.1 急冷通风系统

急冷风机及其管路主要作用是直接打入冷风入窑冷却产品,从 1000 多度冷却到 600~700 度(对产品而言),并形成一道急冷气幕,防止烧成带烟气倒流。刚刚进入急冷阶段时,坯体仍处于熔融的塑性状态,不容易产生应力,可以急冷而不开裂。该阶段要设置好急冷的控制温度。过低,产生风裂;过高,给缓冷造成压力,甚至也会产生风裂。急冷风分管要求用不锈钢制作,入窑喷管也要求用不锈钢制作并且是耐热钢制作,辊棒上下都设置有急冷喷管,以保证产品均匀冷却。每根喷管上均匀地开有圆形式出风口,对着制品上下均匀地喷冷风,达到急冷的效果。由于急冷段温度高,横穿入窑的冷风管须用耐热钢制成,管径为 40~100mm。

本设计就是采用这种结构,急冷段采用 9 节窑长进行急冷(43—52 节),每节辊上下分别设置 6 对 $\Phi 90$ 急冷风管(急冷前半节不设置急冷风管),共 108 根急冷风管,交错排列横穿窑内,管置于窑内部分开圆孔若干。

5.3.2 缓冷通风系统

该阶段主要是提供石英晶型转变的场所,故缓冷区要足够长,使降温过程平稳缓慢,安全度过石英晶型转换期。为了使降温过程平稳缓慢,一般采用热风冷却制品的办法。大多数辊道窑在该段设有多处抽热风,使从急冷段与窑尾快冷段过来的热风流经制品,让制品慢慢均匀冷却下来。

本设计采用抽热风的方法,在 53—63 节,每节窑顶设置 2 处抽热风,每处抽热风开 1 对抽热风孔,共 22 个抽热风 44 抽热风孔,抽走来自急冷带和窑尾快冷带的热风,在缓冷总管处设置闸板,控制缓冷风量。另一方面,由缓冷风机从窑外抽空气通过缓冷风管,来缓和降温速率。

5.3.3 快冷通风系统

制品冷却到 400℃以后可以进行快速冷却。但由于制品温度较低,使传热动

力温差小，即使允许快冷也不易达到。而此段冷却也是很重要的，如达不到快冷目的出窑产品温度大于 80℃时，制品即使在窑内没有开裂，也会因出窑温度过高而出窑炸裂，故要加强该段的冷却。

本设计采用冷风管进行快冷，在 64—72 节每节辊上下设置 6 对 Φ90 的快冷风管。

5.4 传动系统

5.4.1 辊子材质的选择

辊道窑对辊子材料要求十分严格，它要求制辊子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。本设计在选用如下：

低温段（250～20）	瓷棒
中温段（200～500℃和 500℃～80℃）	瓷棒
高温段（500～1200℃和 1200～500℃）	瓷棒

5.4.2 辊子直径与长度的确定

辊子的直径大，则强度大；但直径过大，会影响窑内辐射换热和对流换热。因中试窑比较短，辐射换热和对流换热空间有限，本设计辊子的直径要小些，故选用直径为 60mm 的辊棒，而长度则取 3600mm。

5.4.3 辊距的确定

辊距即相邻两根辊子的中心距，确定辊距主要依据制品长度，辊子直径以及制品在辊道上移动平稳性，据经验公式 $H = \frac{1}{5} \times L = \frac{1}{5} \times 600 = 120\text{mm}$ ，因此，本设计确定辊距为 120mm，每节窑为 $2108/120=17.57$ 根。取 18 跟。

棍子总数= $18 \times 72=1296$ 根

5.4.4 传动系统的选择

考虑到产品的质量问題， 辊道窑的传动系统由电机、链传动和齿轮传动结构所组成。

为避免停电对正常运行的辊道窑造成的危害，辊道窑一般都设在滞后装置，

通常是设一台以电瓶为动力的直流电机。停电时，立即驱动直流电机，使辊子停电后仍能正常运行一段时间，避免被压弯或压断，以便在这段时间内，启动备用电源。

本设计选用多电机分段传动分段带动的传动方案。将窑分成 10 段，每段由一台电机托动，采用变频调速。所有电机可以同时运行，每台亦可单独运行，当处理打结、堵窑等事故时，将电机打到摆动状态，使砖坯前后摇摆运行，可保证这些区段的制品不粘辊，辊子不弯曲，砖坯亦不会进入下一区段。

5.4.5 传动过程

电机→主动链轮→滚子链→从动链轮→主动斜齿轮→从动螺旋齿轮→主轴→主轴上的斜齿轮→被动斜齿轮→辊棒传动装置→辊子

5.4.6 传动过程联接方式

依据以上原则，联接方式主要采用弹簧夹紧式，从动采用托轮磨擦式。

5.5 窑体附属结构

5.5.1 事故处理孔

事故处理孔设在辊下，且事故处理孔下面与窑底面平齐，以便于清除出落在窑底上的砖坯碎片。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连线。

$$\cot \alpha = \frac{b}{\delta} = \frac{c}{B}$$

$$\therefore c = B \cdot \cot \alpha = B \frac{b}{\delta}$$

$$\text{则: } L = 2(b+c) = 2b \frac{1+B}{\delta} = 2 \times 0.4 \times \frac{1+3}{0.31} = 10.32\text{m}$$

\therefore 两事故处理孔中心距 L 应小于或等于 8.52m

又因为每节长度只有 2.1m，所以，可以每节设置一个事故处理孔，本设计在每节设置一个事故处理孔，尺寸为：400×130mm，两侧墙事故处理孔采取交错布置的形式。当事故处理孔在不处理事故时，要用塞孔砖进行密封，孔砖与窑墙间隙用耐火纤维堵塞密封，防止热气体外溢或冷风漏入等现象对烧成制度产生影响。

5.5.2 测温孔及观察孔

5.5.2.1 测温孔

为严密监视及控制窑内温度制度,及时调整烧嘴开度,一般在窑道顶及火道侧墙留设若干处测温孔以安装热电偶。测温孔间距一般为 3-5 米,高温段布密些,低温段布稀些,在烧成曲线的关键点,如晶体转化点、釉始溶点、成瓷段、急冷结束等都应设测温孔。本设计在 1、5、64、68 节及预热带奇数节,烧成带每节设置 1 个设置直径为 $\Phi 40\text{mm}$ 测温孔,辊上设在窑顶,辊下设在窑侧墙,两侧墙的测温孔交错布置。

5.5.2.2 观察孔

在每个烧嘴的对侧窑墙设置 $\Phi 30\text{mm}$ 的观察孔,以便观察烧嘴的燃烧状况。未用时,用与观察孔配套的孔塞塞住,以免热风逸出或冷风漏入。

5.5.3 膨胀缝

窑体受热会膨胀,产生很大的热应力,因此在窑墙、窑顶及窑底砌体间要留设膨胀缝以避免砌体的开裂或挤坏。本设计窑体采用装配式,在每节窑体中部留设 1 处宽度为 10mm 的膨胀缝,内填陶瓷棉或石棉,各层砖的膨胀缝要错缝留设。

5.5.4 窑道档板和挡火墙

窑道上的档板和挡火墙可以起到窑内气体的上下和水平导流、调整升温曲线、蓄热辐射及截流作用。档板负责对窑内上半窑道的控制,采用耐高温硬质陶瓷纤维板制成,可以通过在窑顶外部调整位置的高低。挡火墙负责对窑内下半窑道的控制,采用耐火砖砌筑,高低位置相对固定。窑道档板和挡火墙设置在同一横截面上。全窑共设置 4 对闸板和挡火墙结构,分别在 1 节、22 节、28 节、54 节之间设置。

5.6 窑体加固钢架结构形式

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,立柱用 $2.5\text{t} \times 75 \times 50\text{mm}$ 方钢、上横梁用 $2.3\text{t} \times 50 \times 50\text{mm}$ 方钢、下梁用 $2.5\text{t} \times 100 \times 50\text{mm}$ 方钢。在一节窑体钢架中,每侧共有立柱 3 根,两头每个立柱上开有攻 M12 螺栓节间联接的 6 个孔。下横梁每节共 3 根,焊在底侧梁上,下横梁上焊有 $50 \times 50\text{mm}$ 的等边角钢作底架,以便在其上搁置底板。上下侧板可用 2~3mm 钢板冲压制成,吊顶梁采用 $50 \times 50 \times 5\text{mm}$ 的等边角钢。

6. 燃料燃烧计算

6.1 空气量的计算

6.1.1 理论空气量的计算

根据原始数据 $Q_d=6061\text{kJ}/\text{Nm}^3$

根据经验公式计算理论空气量:

$$L_o=0.2Q_d/1000+0.03=0.2\times 6061/1000+0.03=1.2422(\text{Nm}^3/\text{Nm}^3)$$

6.1.2 实际空气量的计算

由于辊道窑烧瓷砖在氧化气氛下烧成, 取空气过量系数为 $a=1.3$, 则实际空气需要量为:

$$L_a=L_o\times 1.3=1.61486(\text{Nm}^3/\text{Nm}^3)$$

6.2 烟气量的计算

根据经验公式计算实际烟气量为:

$$V_g=aL_o+0.98-0.03Q_d/1000=1.3\times 1.2422+0.98-0.03\times 6061/1000=2.41303\text{Nm}^3/\text{Nm}^3)$$

6.3 燃烧温度的计算

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

发生炉煤气比热为 $c_r=1.32\text{ KJ}/(\text{Nm}^3\cdot^\circ\text{C})$, $t_a=t_r=20^\circ\text{C}$

现设 $t_{th}=1600^\circ\text{C}$,

燃烧产物温度

$$c_g=1.424+0.000105t=1.424+0.000105\times 1600=1.592\text{KJ}/\text{Nm}^3。则理论燃烧温$$

度为:

$$\begin{aligned}\text{根据理论燃烧温度: } t_{th} &= \frac{Q_d + c_r t_r + c_a t_a L_a}{V_g c_g} \\ t_{th} &= \frac{6061 + 1.32 \times 20 + 1.3 \times 20 \times 1.2422}{13.394 \times 1.603} = 1592^\circ\text{C}\end{aligned}$$

$(1600-1592)/1600 < 5\%$, 所设温度合理。

取高温系数为 0.8, 则实际温度为:

$t=0.8 \times 1600=1280^{\circ}\text{C}$, 比最高烧成温度 1200 高出 80 $^{\circ}\text{C}$, 符合烧成要求, 认为合理。

7. 窑体材料的确定

窑体材料及厚度的确定：列表表示全窑所用材料及厚度

表 7-1 窑体材料和厚度表（1）

1-21、43-72 节					
名称		材质	使用温度 (℃)	导热系数[W / (m•℃)]	厚度(mm)
窑 顶	耐 火 层	莫来石轻质高铝砖	1600	$0.310+0.176 \times 10^{-3}t$	230
	隔 热 层	硅酸盐耐火纤维束	1150	0.1~0.3	150
窑 墙	耐 火 层	莫来石轻质高铝砖	1600℃	$0.310+0.176 \times 10^{-3}t$	230
	隔 热 层	硅酸盐耐火纤维束	1350	0.1~0.3	190
窑 底	耐 火 层	莫来石轻质高铝砖	1600	$0.310+0.176 \times 10^{-3}t$	230
	隔 热 层	硅藻土砖	900	$0.063+0.14 \times 10^{-3}t$	130
	膨 胀 层	硅酸盐耐火纤维束	1350	0.1~0.3	100

表 7-1 窑体材料和厚度表 (2)

22-42 节					
名称		材质	使用温度(℃)	导热系数[W / (m•℃)]	厚度(mm)
窑顶	耐火层	莫来石轻质高铝砖	1600℃	$0.310+0.176 \times 10^{-3}t$	230
	隔热层	硅酸盐耐火纤维束	1150	0.1~0.3	150
窑墙	耐火层	莫来石轻质高铝砖	1600	$0.310+0.176 \times 10^{-3}t$	230
	隔热层	混合纤维	1350	0.12	120
窑底	耐火层	莫来石轻质高铝砖	1600	$0.310+0.176 \times 10^{-3}t$	130
	隔热层	硅藻土砖	900	$0.063+0.14 \times 10^{-3}t$	130
	膨胀层	硅酸盐耐火纤维束	1350	0.1~0.3	100

8. 热平衡计算

预热带热平衡计算的目的在于求出燃料消耗量，冷却带热平衡计算，目的在于计算出冷空气鼓入量和热风抽出量。

8.1 预热带及烧成带热平衡计算

8.1.1 热平衡计算基准及范围

热平衡计算必须选定计算基准，这里时间以 1h 为计算基准，0℃作为基准温度。

8.1.2 热平衡框图

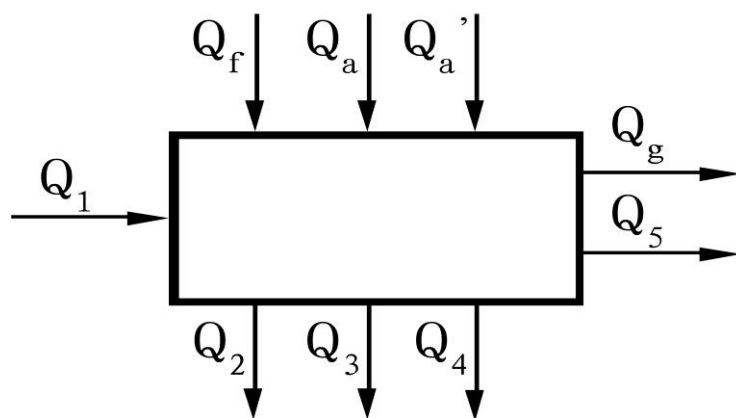


图8-1预热带和烧成带热平衡示意图

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

8.1.3 热收入项目

第 1-9 节热源为烟气余热，即利用烟气带走显热，所以 1-6 节不列入热平衡计算中，但是计算时，应以第 9 节计算坯体带入显热，以第 10 节烟气温度值计算烟气带走显热。

8.1.3.1 坯体带入显热 Q_1

1. 制品带入显热 Q_1

$$Q_1 = G_1 c_1 t_1$$

其中： G_1 ——入窑制品质量 (Kg/h)

c_1 ——入窑制品平均比热, kJ/(kg·°C)

t_1 ——制品的温度, °C。

瓷砖单重 8.3 公斤

$$\text{入窑干制品质量 } G_r = \frac{1200000}{330 \times 24 \times 97\%} \times 8.3 = 3654.97 \text{ (kg/h)}$$

取烧成灼减量 4%，入窑制品含自由水 1.6%

$$\text{入窑胚体质量 } G_1 = \frac{3254.19}{0.96 \times 0.984} = 3869.17 \text{ (kg/h)}$$

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

则胚体带入显热为： $Q_1 = G_1 c_1 t_1 = 3869.17 \times 0.86 \times 20 = 66549.7 \text{ (KJ/h)}$

8.1.3.2 燃料带入化学热及显热 Q_f

发生炉煤气低热值 $Q_{net} = 6061 \text{ (kJ/Nm}^3\text{)}$

入窑发生炉煤气温度 $t_f = 20^\circ\text{C}$ ，20°C 时发生炉煤气 $c_f = 1.31 \text{ kJ/(Nm}^3 \cdot ^\circ\text{C)}$

设发生炉煤气消耗量为 $X \text{ m}^3/\text{h}$

$$Q_f = X(Q_{net} + c_f t_f) = X(6061 + 1.31 \times 20) = 6087.2X \text{ (KJ/h)}$$

8.1.3.3 助燃空气带入显热 Q_a

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

助燃空气实际总量 $V_a = 1.61486X \text{ (Nm}^3/\text{h)}$

所以 $Q_a = V_a t_a c_a X = 1.61486 \times 1.30 \times 20X = 41.986X \text{ (KJ/h)}$

8.1.3.4 漏入空气带入显热 Q'_a

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

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

$$\text{漏入空气总量: } V_a=X(\alpha_g-\alpha)V_a^0=X(2.0-1.3)\times 1.2422=0.86954X (\text{m}^3/\text{h})$$

$$\text{所以 } Q'_a=V_a c_a t_a=0.86954X\times 1.3\times 20=22.60804X (\text{KJ/h})$$

8.1.4 热支出项目

8.1.4.1 产品带出显热 Q_2 (KJ/h)

$$\text{烧成产品质量 } G_3=3654.97 (\text{Kg/h})$$

出烧成带产品温度 $t_2=1200^\circ\text{C}$ ，由表可知：此时产品平均比热为：1.14KJ/(Kg · °C)

$$\text{所以 } Q_2=G_3 c_2 t_2=3654.97\times 1200\times 1.14=4999998.96\text{KJ/h}$$

8.1.4.2 通过窑体散热损失 Q_3

将计算分为2部分, 即第11~21节: 500~950°C, 取平均值725°C; 第22~42节: 950~1200°C取平均值为1075°C。

i 第 11~21 节:窑外壁表面平均温度 40°C，窑内壁平均温度 725°C

a. 窑顶

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

所用材料的导热系数:

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

硅酸盐耐火纤维束: 0.1~0.3

硅藻土砖: $0.063+0.14\times 10^{-3}t$

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

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

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

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

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

平均热流密度:

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

窑顶散热面积:

$$A_{\text{顶}} = [2.3 + 2 \times (0.23 + 0.15)] \times 2.1 \times 11 = 70.686 \text{ m}^2$$

$$\text{则 } Q_{\text{顶}} = q A_{\text{顶}} = 537.005 \times 70.686 \times 3.6 = 136651.448 \text{ kJ/h}$$

b. 窑墙

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

所用材料的导热系数:

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

$$\text{硅酸盐耐火纤维束: } 0.1 \sim 0.3$$

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

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

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

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

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

平均热流密度:

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

窑墙散热面积:

$$A_{\text{墙}} = 0.7 \times 2.1 \times 11 = 16.17 \text{ m}^2$$

$$\text{则 } Q_{\text{墙}} = 2qA_{\text{墙}} = 2 \times 464.220 \times 16.17 \times 3.6 = 54046.3493 \text{ (kJ/h)}$$

C. 窑底

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

所用材料的导热系数:

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

硅酸盐耐火纤维束: 0.1~0.3

硅藻土砖: $0.063 + 0.14 \times 10^{-3}t$

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

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

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

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

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

平均热流密度:

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

窑底散热面积: $A_{\text{底}} = 70.686\text{m}^2$

则 $Q_{\text{底}} = qA_{\text{底}} = 377.230 \times 70.686 \times 3.6 = 95993.5665 (\text{kJ/h})$

ii 第 22-36 节窑体散热计算如下:

取窑外壁温度 80℃, 窑内壁平均温度为 1075℃

d 窑顶

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

所用材料的导热系数:

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

硅酸盐耐火纤维束: 0.1~0.3

窑内壁平均壁温 $t_1 = \frac{950 + 1200}{2} = 1075^\circ\text{C}$

莫来石轻质高铝砖 $\lambda_1 = 0.31 + 0.176 \times 10^{-3} \times 1075 = 0.5017 \text{W/m} \cdot ^\circ\text{C}$

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

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

窑外壁表面平均温度 $t_a = 80^\circ\text{C}$

平均热流密度:

$$q = \frac{t_1 - t_a}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} = \frac{1075 - 80}{\frac{0.23}{0.497} + \frac{0.15}{0.2}} = 820.431 (\text{W/m}^2)$$

窑顶散热面积:

$$A_{\text{顶}} = [2.3 + 2 \times (0.23 + 0.15)] \times 2.1 \times 21 = 134.946\text{m}^2$$

则 $Q_{\text{顶}} = qA_{\text{顶}} = 820.431 \times 89.964 \times 3.6 = 265713.49\text{kJ/h}$

e. 窑墙

窑 墙	耐 火 层	莫来石轻质高铝砖	1600	$0.310+0.176 \times 10^{-3}t$	230
	隔 热 层	混合纤维	1350	0.12	120

所用材料的导热系数:

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

混合纤维: 0.12

$$\text{窑内壁平均壁温 } t_1 = \frac{950+1200}{2} = 1075 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{莫来石轻质高铝砖 } \lambda_1 = 0.31 + 0.176 \times 10^{-3} \times 1075 = 0.4992 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$$

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

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

窑外壁表面平均温度 $t_a = 80^\circ\text{C}$

平均热流密度:

$$q = \frac{t_1 - t_a}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} = \frac{1075 - 80}{\frac{0.23}{0.5017} + \frac{0.12}{0.12}} = 680.213 \text{ (W/m}^2\text{)}$$

窑顶散热面积:

$$A_{\text{墙}} = 0.82 \times 2.1 \times 21 = 36.162 \text{ m}^2$$

$$\text{则 } Q_{\text{墙}} = 2qA_{\text{墙}} = 2 \times 680.213 \times 36.162 \times 3.6 = 177104.61 \text{ kJ/h}$$

f. 窑底

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

所用材料的导热系数:

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

硅藻土砖: $0.063+0.14 \times 10^{-3}t$

硅酸盐耐火纤维束: 0.1~0.3

窑内壁平均壁温 $t_1 = \frac{950+1200}{2} = 1075^\circ\text{C}$

莫来石轻质高铝砖 $\lambda_1 = 0.31+0.176 \times 10^{-3} \times 1075 = 0.502\text{W/m} \cdot ^\circ\text{C}$

硅藻土砖 $\lambda_2 = 0.063+0.14 \times 10^{-3} \times 1075 = 0.214\text{W/m} \cdot ^\circ\text{C}$

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

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

平均热流密度:

$$q = \frac{t_1 - t_a}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3}} = \frac{1075 - 80}{\frac{0.13}{0.5017} + \frac{0.13}{0.214} + \frac{0.1}{0.2}} = 723.754 \text{ (W/m}^2\text{)}$$

窑底散热面积: $A_{\text{底}} = 134.946\text{m}^2$

则 $Q_{\text{底}} = qA_{\text{底}} = 723.754 \times 134.946 \times 3.6 = 351603.746 \text{ (kJ/h)}$

所以窑体总散热量为:

$$Q_3 = 136651.448 + 54046.393 + 95993.5665 + 265713.49 + 177104.61 + 351603.746 \\ = 1081113.25 \text{ (kJ/h)}$$

8.1.4.3 物化反应耗热 Q_4 (kJ/h)

i 自由水蒸发吸热 Q_w

自由水质量 $G_w = G_1 - G_r = 3869.17 - 3654.97 = 214.2$ (kg/h)

烟气离窑温度 $t_g = 200^\circ\text{C}$

所以 $Q_w = G_w (2490 + 1.93 t_g) = 214.2 \times (2490 + 1.93 \times 200) = 616039.2$ (kJ/h)

ii 其余物化反应耗热 Q_r

用 Al_2O_3 反应热近似代替物化反应热

入窑干制品质量 $G_r = 3654.97$ (kg/h), Al_2O_3 含量 = 16.27%

$$Q_r = G_r \times 2100 \times \text{Al}_2\text{O}_3 \% = 3654.97 \times 2100 \times 16.27\% = 1248793.6 \text{ (kJ/h)}$$

总的物化反应耗热:

$$Q_4 = Q_w + Q_r = 616039.2 + 1248793.6 = 1864832.8 \text{ (kJ/h)}$$

8.1.4.4 离窑废气带走显热 Q_g (kJ/h)

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

$$V_g = [V_{g0} + (\alpha_g - \alpha) L_o] X = [2.41303 + (2.0 - 1.3) \times 1.2422] X = 3.2825X$$

取烟气离窑温度 $t_g = 200^\circ\text{C}$, 烟气比热 $c_g = 1.445$ KJ/(Nm³·°C) 则有:

$$Q_g = V_g t_g c_g = 3.2825X \times 200 \times 1.445 = 948.66X$$

8.1.4.5 其它热损失 Q_5 (kJ/h)

根据经验占热收入的5%

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

$$= (66549.7 + 6087.2X + 41.986X + 22.608X) \times 0.05 = 3327.485 + 609.4047X$$

8.1.5 列出热平衡方程式

由热收入=热支出得:

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

$$\text{左边} = 66549.7 + 6087.2X + 41.986X + 22.608X$$

$$\text{右边} = 4999998.96 + 1081113.25 + 1864832.8 + 3327.485 + 609.4047X + 948.66X$$

$$\text{计算得出 } x = 1715.97535 \text{ (Nm}^3/\text{h)}$$

即每小时需发生炉煤气 $B = 1715.97535 \text{ (Nm}^3/\text{h})$, 每小时烧成产品质量 $G = 3654.97$ (Kg/h) $Q_{dw} = 35960 \text{ KJ/Kg}$ 所以, 单位质量得产品热耗为:

$$\frac{B \cdot Q_{dw}}{G} = \frac{1715.97535 \times 6061}{3654.97} = 2845.58 \text{ (kJ/kg)}, \text{ 合 } 680.44 \text{ Kcal/Kg}$$

8.1.6 预热带与烧成带的热平衡表

热收入			热支出		
项目	KJ/h	%	项目	KJ/h	%
坯体带入显热	66550	0.6	产品带走显热	4999999	47.1
燃料化学显热	10445485	98.3	窑体散热	1081114	10.1
助燃空气显热	72047	0.7	物化反应耗热	1864834	17.6
漏入空气显热	38795	0.4	其它热损失	1049052	9.9
			烟气带走显热	1627878	15.3
总热量	10622877	100	总散热	10622877	100

8.2 冷却带风量的计算

8.2.1 热平衡计算基准及范围

时间基准：1h； 温度基准：0℃

8.2.2 热平衡框图

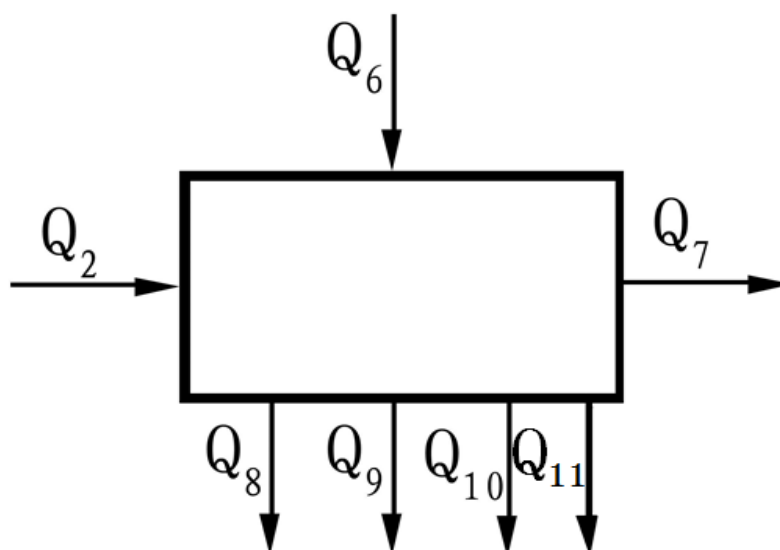


图8-9 冷却带热平衡示意图

Q_2 ——产品带入显热

Q_6 ——冷却风带入显热

Q_7 ——产品带出显热

Q_8 ——热风抽出带走显热

Q_9 ——窑体散热

Q_{10} ——从间壁冷却风管抽出热风

带走显热

Q_{11} ——其它热损失

8.2.3 热收入项目

8.2.3.1 产品带入显热 Q_2

此项热量即为预热带、烧成带产品带出显热：

$$Q_2 = 4999999 \text{ (KJ/h)}$$

8.2.3.2 冷却风带入显热 Q_6

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

设直接鼓入冷却风流量为 $V_x \text{m}^3/\text{h}$,

则: $Q_6 = V_a c_a t_a = 1.3 \times 20 \times V_x = 26V_x \text{ (KJ/h)}$

8.2.4 热支出项目

8.2.4.1 制品带走显热 Q_7

出窑时产品的质量 $G_3 = 3654.97 \text{ (Kg/h)}$, 出窑口温度 $t_7 = 80^\circ\text{C}$, 查表知此时温度下制品的平均比热为:

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

则 $Q_7 = G_3 c_7 t_7 = 3654.97 \times 80 \times 0.8608 = 251695.854 \text{ kJ/h}$

8.2.4.2 从窑道内抽出热空气带走显热 Q_8

从窑道内抽出热空气量等于鼓入冷却风量 $V_x \text{m}^3/\text{h}$. 取抽出热空气的平均温度为: $t_8 = 200^\circ\text{C}$, 此温度下的空气平均比热为: $c_8 = 1.32\text{kJ}/(\text{Nm}^3 \cdot ^\circ\text{C})$,

则: $Q_8 = V_x c_8 t_8 = 200 \times 1.32 \times V_x = 264V_x$

8.2.4.3 窑体的散热 Q_9

i 在急冷带的窑体散热 (43~52 节)

此段温度范围为 $1200-700^\circ\text{C}$, 则窑内壁平均温度为 950°C , 取窑外壁温度取 80°C ,

a. 窑顶

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

所用材料的导热系数:

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

硅酸盐耐火纤维束: $0.1 \sim 0.3$

窑内壁平均壁温 $t_1 = \frac{1200+700}{2} = 950^\circ\text{C}$

莫来石轻质高铝砖 $\lambda_1 = 0.31+0.176 \times 10^{-3} \times 950 = 0.480\text{W/m} \cdot ^\circ\text{C}$

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

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

窑外壁表面平均温度 $t_a = 80^\circ\text{C}$

平均热流密度:

$$q = \frac{t_1 - t_a}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} = \frac{950 - 80}{\frac{0.23}{0.480} + \frac{0.15}{0.25}} = 793.2 \text{ (W/m}^2\text{)}$$

窑顶散热面积:

$$A_{\text{顶}} = [2.3 + 2 \times (0.23 + 0.15)] \times 2.1 \times 10 = 64.26\text{m}^2$$

$$\text{则 } Q_{\text{顶}} = qA_{\text{顶}} = 802.4 \times 64.26 \times 3.6 = 185624.01 \text{ kJ/h}$$

b. 窑墙

窑 墙	耐 火 层	莫来石轻质高铝砖	1600 $^\circ\text{C}$	$0.310+0.176 \times 10^{-3}t$	230
	隔 热 层	混合纤维	1350	0.12	120

所用材料的导热系数:

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

混合纤维: 0.12

窑内壁平均壁温 $t_1 = \frac{1200+700}{2} = 950^\circ\text{C}$

莫来石轻质高铝砖 $\lambda_1 = 0.31+0.176 \times 10^{-3} \times 950 = 0.480\text{W/m} \cdot ^\circ\text{C}$

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

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

窑外壁表面平均温度 $t_a=80^\circ\text{C}$

平均热流密度:

$$q = \frac{t_1 - t_a}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} = \frac{950 - 80}{\frac{0.23}{0.480} + \frac{0.12}{0.12}} = 586.17 \text{ (W/m}^2\text{)}$$

窑顶散热面积:

$$A_{\text{墙}} = 0.7 \times 2.1 \times 10 = 14.7 \text{ m}^2$$

$$\text{则 } Q_{\text{墙}} = 2qA_{\text{墙}} = 2 \times 586.17 \times 14.7 \times 3.6 = 62040.23 \text{ kJ/h}$$

c. 窑底

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

所用材料的导热系数:

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

硅藻土砖: $0.063 + 0.14 \times 10^{-3}t$

硅酸盐耐火纤维束: 0.1~0.3

$$\text{窑内壁平均壁温 } t_1 = \frac{1200 + 700}{2} = 950^\circ\text{C}$$

$$\text{莫来石轻质高铝砖 } \lambda_1 = 0.31 + 0.176 \times 10^{-3} \times 950 = 0.480 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$\text{硅藻土砖 } \lambda_2 = 0.063 + 0.14 \times 10^{-3} \times 950 = 0.197 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$$

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

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

窑外壁表面平均温度 $t_a=80^{\circ}\text{C}$

平均热流密度:

$$q = \frac{t_1 - t_a}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3}} = \frac{950 - 80}{\frac{0.13}{0.480} + \frac{0.13}{0.197} + \frac{0.1}{0.25}} = 649.08 \text{ (W/m}^2\text{)}$$

窑底散热面积: $A_{\text{底}} = 64.26 \text{ m}^2$

则 $Q_{\text{底}} = qA_{\text{底}} = 649.08 \times 64.26 \times 3.6 = 150155.732 \text{ (kJ/h)}$

ii 在缓冷带的窑体散热 (53~63 节)

此段温度范围为 700~500 $^{\circ}\text{C}$, 窑内壁平均温度 600 $^{\circ}\text{C}$, 窑外壁温度为 40 $^{\circ}\text{C}$

d. 窑顶

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

所用材料的导热系数:

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

硅酸盐耐火纤维束: 0.1~0.3

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

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

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

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

窑外壁表面平均温度 $t_a = 40^{\circ}\text{C}$

平均热流密度:

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

窑顶散热面积:

$$A_{\text{顶}} = [2.3 + 2 \times (0.23 + 0.15)] \times 2.1 \times 11 = 70.686^2$$

$$\text{则 } Q_{\text{顶}} = qA_{\text{顶}} = 429.82 \times 11 = 70.686 \times 3.6 = 109376.123 \text{ kJ/h}$$

e. 窑墙

窑 墙	耐 火 层	莫来石轻质高铝砖	1600℃	0.310+0.176×10 ⁻³ t	230
	隔 热 层	硅酸盐耐火纤维束	1350	0.1~0.3	190

所用材料的导热系数:

莫来石轻质高铝砖: 0.310+0.176×10⁻³t

硅酸盐耐火纤维束: 0.1~0.3

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

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

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

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

窑外壁表面平均温度 $t_a = 40^\circ\text{C}$

平均热流密度:

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

窑顶散热面积:

$$A_{\text{墙}} = 0.7 \times 2.1 \times 11 = 16.17 \text{ m}^2$$

$$\text{则 } Q_{\text{墙}} = 2qA_{\text{墙}} = 2 \times 372.62 \times 16.17 \times 3.6 = 31550.48 \text{ kJ/h}$$

f. 窑底

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

所用材料的导热系数:

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

硅藻土砖: $0.063+0.14 \times 10^{-3}t$

硅酸盐耐火纤维束: 0.1~0.3

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

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

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

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

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

窑外壁表面平均温度 $t_a = 40^\circ\text{C}$

平均热流密度:

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

窑底散热面积: $A_{\text{底}} = 70.686 \text{ m}^2$

则 $Q_{\text{底}} = qA_{\text{底}} = 289.07 \times 70.686 \times 3.6 = 73559.53 \text{ (kJ/h)}$

iii 快冷段窑体的散热量(64~72 节)

此段温度范围为 500~80℃, 所以窑内壁平均温度为 290℃, 窑外壁温度取为 40℃.

g. 窑顶

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

所用材料的导热系数:

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

硅酸盐耐火纤维束: 0.1~0.3

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

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

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

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

窑外壁表面平均温度 $t_a = 40^\circ\text{C}$

平均热流密度:

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

窑顶散热面积:

$$A_{\text{顶}} = [2.3 + 2 \times (0.23 + 0.15)] \times 2.1 \times 9 = 57.834 \text{ m}^2$$

$$\text{则 } Q_{\text{顶}} = qA_{\text{顶}} = 180.23 \times 57.834 \times 3.6 = 37524.32 \text{ kJ/h}$$

h. 窑墙

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

所用材料的导热系数:

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

硅酸盐耐火纤维束: 0.1~0.3

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

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

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

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

窑外壁表面平均温度 $t_a = 40^{\circ}\text{C}$

平均热流密度:

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

窑顶散热面积:

$$A_{\text{墙}} = 0.7 \times 2.1 \times 9 = 13.23\text{ m}^2$$

$$\text{则 } Q_{\text{墙}} = 2qA_{\text{墙}} = 2 \times 157.52 \times 13.23 \times 3.6 = 15004.73\text{ kJ/h}$$

i. 窑底

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

所用材料的导热系数:

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

硅藻土砖: $0.063+0.14 \times 10^{-3}t$

硅酸盐耐火纤维束: $0.1 \sim 0.3$

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

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

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

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

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

窑外壁表面平均温度 $t_a = 40^\circ\text{C}$

平均热流密度:

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

窑底散热面积: $A_{\text{底}} = 57.834\text{m}^2$

则 $Q_{\text{底}} = qA_{\text{底}} = 104.52 \times 57.834 \times 3.6 = 21762.44 \text{ (kJ/h)}$

则冷却带窑体总散热量为:

$$Q_9 = 185624.01 + 62040.23 + 150155.732 + 109376.123 + 43381.91 \\ + 73559.53 + 37524.32 + 15004.73 + 21762.44$$

$$= 698429.029 \text{ (kJ/h)}$$

8.2.4.5 其它热损失 Q_{11}

其它热损失可取经验数据, 按占冷却带热收入总量的5%计算, 则:

$$Q_{11} = 0.05 \times (Q_2 + Q_6) = 0.05 \times (4999999 + 26V_x) = 249999.95 + 1.3V_x$$

8.2.5 列出热平衡方程

热收入=热支出

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

$$4999999 + 26V_x = 251695.854 + 264V_x + 698429.029 + 249999.95 + 1.3V_x$$

解得 $V_x = 15879.1232 \text{ m}^3/\text{h}$

即从窑道内直接抽出热风量为: $V_x = 15879.1232 \text{ (Nm}^3/\text{h)}$

8.2.6 冷却带热平衡表

热收入			热支出		
项目	KJ/h	%	项目	KJ/h	%
产品带入显热	4999999	92.4	产品带出显热	251695	4.7
冷却风带入显热	412857	7.6	抽热风带走显热	4192089	77.4
			窑体散热	698429	12.9
			其它散热	1270643	5.0
总计	5412856	100.0	总计	5412856	100.0

9. 风机的选型

9.1.1 排烟管道尺寸

排烟系统需排烟气量已由热平衡计算求出，为

$$V_g = 3.2825 \times 1715.97535 = 4873.3 \text{ Nm}^3 / \text{h}$$

烟气抽出时实际体积为：

烟气在金属管道中流速 ω ，根据经验数据取 10m/s

$$V = V_g \cdot (273 + 200) / 273 = 2.711 \text{ (m}^3 / \text{s)}$$

9.1.1.1 总烟管尺寸

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

$$\text{内径 } d_{\text{总}} = (4V / \pi\omega)^{0.5}$$

$$= [4 \times 2.711 / (3.1416 \times 10)]^{0.5}$$

$$= 0.59\text{m}$$

所以，总管内径取：600mm。

9.1.1.2 分烟管尺寸

$$\text{分管流量 } V' = V / 2 = 2.711 / 2 = 1.3555 \text{ (m}^3 / \text{s)}$$

$$\text{内径 } d_{\text{分}} = (4V' / \pi\omega)^{0.5}$$

$$= 0.42\text{m}$$

考虑到调节的方便性分管内径取值为：450mm。

9.1.1.3 支烟管尺寸

$$\text{烟气在支管的流速为：} \omega = 10\text{m/s, 流量 } V'' = 2.711 / 4 = 0.67775 \text{ (m}^3 / \text{s)}$$

$$\text{内径 } d_{\text{支}} = (4V'' / \pi\omega)^{0.5}$$

$$= 0.294\text{m}$$

所以，支管内径应该不小于 294mm，考虑到调节方便取值为：300mm，长度取 0.5m。阻力计算

位压阻力 h_g

烟气从窑炉至风机，高度升高 $H=1.8\text{m}$ ，此时几何压头为烟气流动的动力，即负压阻力，烟气温度 400°C ，所以：

$$h_g = -H(\rho_a - \rho_g) \cdot g = -1.8 \times [1.29 \times 273 / (273 + 400) - 1.30 \times 273 / (273 + 400)] \times 9.8 = -11.9 \text{ Pa}$$

局部阻力 h_e

局部阻力 ζ 可由查表得：

烟气从窑炉进入支管： $\zeta = 1$ ；

支烟管进入分烟管： $\zeta = 1.5$ ；

并 90° 转弯： $\zeta = 1.5$ ；

分管 90° 急转弯： $\zeta = 1.5$ ；

分管进入 90° 圆弧转弯： $\zeta = 0.35$ ；

分管进入总管： $\zeta = 1.5$ ；

并 90° 急转弯： $\zeta = 1.5$

为简化计算，烟气流速均按 10m/s 计，烟气温度按 400°C 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。

$$h_e = (1 + 1.5 + 1.5 + 1.5 + 0.35 + 1.5 + 1.5) \times 100/2 \times 1.3 \times 273 / (273 + 400) = 233.3 \text{ Pa}$$

摩擦阻力 h_f

摩擦阻力系数：金属管道取 $\zeta = 0.03$ ，

$$h_f = \zeta (L_{支}/D_{支} + L_{分}/D_{分} + L_{总}/D_{总}) \times \omega^2 \rho / 2 = 0.03 \times (0.5/0.2 + 4/0.28 + 5.0/0.4) \times 100/2 \times 273 / (273 + 400)$$

$$=10 \text{ Pa}$$

风机应克服总阻力 $h_{\text{总}}$

$$h_{\text{总}} = h_i + h_g + h_e + h_f = 266.24 \text{ Pa}$$

风机的选型

为保证正常工作，取风机抽力余量 0.5，所以选型应具备风压：
 $H = (1+0.5) \times 266.24 = 399.36 \text{ Pa}$

流量取储备系数为 1.5，风机排出烟气平均温度 250℃，所以：

$$Q = 1.5 \times V_g \times (273+250) / 273 = 24479.8 \text{ (m}^3/\text{s)}$$

发生炉煤气输送管径的计算

发生炉煤气总管内径的计算

发生炉煤气的流量为：716m³/h，取发生炉煤气在总管中的流速为：15m/s，
 总管选用一根管子，那么总管的内径为：

$$\begin{aligned} d_{\text{总}} &= 2 \times (v / 3600 \pi \omega)^{0.5} \\ &= 2 \times [716 / (3600 \times 3.14 \times 15)]^{0.5} \\ &= 0.127\text{m} \end{aligned}$$

所以，总管内径取值：130mm

窑顶 窑底 窑侧的分管尺寸

发生炉煤气分管分组控制，共分 18 组 36 根，烟气在金属分管中流速，根据经验数据取 $\omega = 8\text{m/s}$ ，

$$\begin{aligned} \text{内径 } d_{\text{分}} &= 2 \times (v / 3600 \pi \omega)^{0.5} \\ &= 2 \times [716 / (3600 \times 3.14 \times 8 \times 36)]^{0.5} \\ &= 0.029\text{m} \end{aligned}$$

所以，分管内径取值：30mm

通往烧嘴的发生炉煤气支管内径计算

窑体共安装了 188 个烧嘴，发生炉煤气支管总共有 198 根，而流速取 $\omega=6\text{m/s}$

$$\begin{aligned} \text{内径 } d_{\text{支}} &= 2 \times (v/3600 \pi \omega)^{0.5} \\ &= 2 \times [716 / (3600 \times 3.14 \times 198 \times 6)]^{0.5} \\ &= 0.0146\text{m} \end{aligned}$$

所以，分管内径取值：15mm

助燃风管计算

$$\text{助燃风量 } V_a = 716 \times 11316 = 803.4 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{实际助燃风量 } V = 803.4 \times (273+20) / 273 = 862.3 \text{ m}^3/\text{h}$$

助燃风总管内径的确定

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：

$$\begin{aligned} d_{\text{总}} &= 2 \times (v/3600 \pi \omega)^{0.5} \\ &= 2 \times [862.3 / (3600 \times 3.14 \times 10)]^{0.5} \\ &= 0.175\text{m} \end{aligned}$$

所以，总管内径取值：180mm

助燃风分管内径的确定

窑顶、窑底各 1 根分管， $n=2$ ，流速均取： $\omega=10\text{m/s}$ ，

$$d_{\text{分}} = 2 \times [V / (3600 n \pi \omega)]^{\frac{1}{2}} = 0.123 \text{ m}$$

所以分管内径取 130mm

窑顶窑底内的方管内径的确定

取 $\omega=9\text{m/s}$ ，此分管采用方管，埋入窑墙内部，共四根。

则：方形管截面积 $F=V/(4\times 3600\omega)=862.3/(4\times 3600\times 9)=0.007\text{m}^2$

所以方管边长： $L=\sqrt{0.007}=0.084\text{m}$

取方管边长为 90mm

助燃风管通往烧嘴的管路管径

共 188 根烧嘴，取流速为 $\omega=6\text{m/s}$ ，

$$d_{\text{支}}=2\sqrt{\frac{862.3}{3600\times 276\times 3.14\times 6}}=0.013\text{m}$$

取支管直径：20mm

冷却带风管计算

冷却带鼓入冷风总量为 $27218\text{m}^3/\text{h}$

项目	所占比例	鼓入冷风量
急冷带	60%	16331
缓冷带	—100%	—27218
快冷带	40%	10887

缓冷总管（抽风管）

缓冷风量 $V=27218\text{m}^3/\text{h}$ ，取 $\omega=8\text{m/s}$

$$\text{缓冷总管：} d_{\text{总}}=2\sqrt{\frac{27218}{3600\times 3.14\times 8}}=1.097\text{m}$$

取缓冷总管内径：1100mm

缓冷分管：n=8

$$d_{\text{分}}=2\sqrt{\frac{27218}{3600\times 3.14\times 8\times 8}}=0.388\text{m}$$

取缓冷分管内径：400mm

缓冷支管：共设置了（48 个抽风口，48 根抽风支管）

$$d_{\text{支}} = 2\sqrt{\frac{27218}{3600 \times 3.14 \times 8 \times 48}} = 0.043\text{m}$$

取缓冷分管内径：50mm

急冷风管内径的确定

急冷总管内径

急冷风量 $V=16331\text{ m}^3/\text{h}$ ，取 $\omega=10\text{m/s}$

$$d_{\text{总}} = 2\sqrt{\frac{16331}{3600 \times 3.14 \times 10}} = 0.761\text{m}$$

急冷分管内径

取 $\omega=9\text{m/s}$ ，上下共 2 根方管， $n=2$

$$L = \sqrt{\frac{16331}{3600 \times 9 \times 2}} = 0.502\text{m}$$

急冷风方管尺寸：500mm

急冷支管内径

取 $\omega=8\text{m/s}$ ，共 110 根， $n=110$

$$d_{\text{支}} = 2\sqrt{\frac{16331}{3600 \times 3.14 \times 8 \times 110}} = 0.280\text{m}$$

急冷支管内径：280mm

快冷管径确定

快冷总管内径确定

$V=10887\text{ m}^3/\text{h}$ ，取 $\omega=10\text{m/s}$

$$d_{\text{总}} = 2\sqrt{\frac{10887}{3600 \times 3.14 \times 10}} = 0.310\text{m}$$

总管内径：310mm

快冷分管内径确定

取 $\omega=9\text{m/s}$, $n=9$

$$d_{\text{分}} = 2\sqrt{\frac{10887}{3600 \times 3.14 \times 9 \times 9}} = 0.218\text{m}$$

分管内径：220mm

快冷支管内径确定

取 $\omega=8\text{m/s}$, $n=24$

$$d_{\text{分}} = 2\sqrt{\frac{10887}{3600 \times 3.14 \times 8 \times 108}} = 0.067\text{m}$$

支管内径：70mm

风机选型

助燃风机选型

助燃风机的风量： $V=863\text{m}^3/\text{h}$

急冷风机选型

急冷风机的风量： $V=16331\text{m}^3/\text{h}$

抽热风机选型

抽热风机的风量： $V=27218\text{m}^3/\text{h}$

快冷风机选型

快冷风机的风量： $V=10887\text{m}^3/\text{h}$

窑主体系统管道尺寸、风机型号规格

项目	抽烟		助燃	急冷	抽热风	快冷
管道尺寸 /mm	总管	860	180	770	1100	310
	分管	600	130	500	400	220
	支管	430	90(方管)	280	50	70
风机代号	抽烟风机 A		助燃风机 B	急冷风机 C	抽热风机 E	快冷风机 F
风机名称	高温离心风机		高压离心 风机	高压离心风 机	高温离心风 机	高压离心风 机
风机型号	Y9-35 型		9-19 型	4-72-11 型	Y9-35 型	4-72-11 型
全风压	361.35		8050	3930	1405	3240
风量/ $m^3 \cdot h^{-1}$	5218		862.3	16331	27218	1991
电机型号	Y132M-8		Y112M-2	Y90S-4	Y160M2-8	Y90S-2
功率/kw	3		4	1.1	5.5	1.1
转速/ $r \cdot \min^{-1}$	730		2900	1450	730	1450

10. 参考文献

- [1] 胡国林、周露亮、陈功备，《陶瓷工业窑炉》，武汉理工大学出版社，2010
- [2] 刘振群，《陶瓷工业热工设备》，武汉理工大学出版社，1989。
- [5] 蒋鉴华 张振刚，《热工测量及过程自动控制》，景德镇陶瓷学院，2007
- [3] 孙晋涛，《硅酸盐工业热工基础》，武汉理工大学出版社，1992
- [4] 胡国林，《建筑工业辊道窑》，中国轻工业出版社，1998
- [5] 胡国林、陈功备，《窑炉砌筑与安装》，武汉理工大学出版社，2005

后记

随着大四学习生活接近尾声，我们的毕业设计也在如火如荼地进行。通过几个月的努力，毕业设计也初见雏形。使自己更好地深入了解自己所学的专业。通过老师的指导、同学的帮助、自身的努力，现在回过头去看看自己辊道窑的设计过程可以说是感触颇多、收获颇丰。

在此次设计以前，自己通过对课本知识的掌握对辊道窑的结构特点以及辊道窑的设计过程有了一个感性的认识，在整个绘图的过程中，自己在不断的修改、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，综合素质大大提高不少。当然，自己的设计也避免不了这样或那样的问题，通过老师的指导，与同学之间的讨论，虽然已经减少了许多，但还是谈不上完善。一些问题也留待到以后的工作当中进行检验与解决。

在本次设计中，十分感谢老师对自己的设计提出问题，并帮助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，马上就要踏上社会这个检验自己能力的大舞台了，迎接自己的将是一个新的挑战，相信通过这次的课程设计，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。