

景德镇陶瓷学院

毕业设计说明书

题目: 日产 8000 平米玻化砖辊道窑设计

学 号: 201030453125

姓 名: 江瞻

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. 3. 1

目 录

一：前言.....	1
二：设计任务及原始资料.....	4
三：窑体主要尺寸的确定.....	5
四：工作系统的确定.....	8
五：物料平衡计算.....	14
六：窑体材料的定.....	15
七：热平衡计算.....	17
八：烧嘴的选用.....	28
九：排烟管道尺寸及风机选型.....	29
十：参考文献.....	36

1.前言

本课程设计的目的是对所学的知识以实际结合,学生通过设计将能综合运用和巩固所学知识,并学会如何将理论知识和生产实践相结合,去研究解决实际中的工程技术问题,本设计的任务主要是培养学生设计与绘图的基本技能,初步掌握窑炉设计的程序、过程与内容。

窑炉是陶瓷企业的主要热工设备,其性能的先进性直接影响到企业产品的产量、质量及企业的经济效益。传统的煤、油烧隧道窑采用重质耐火材料加轻质保温砖结构,窑顶、窑墙都比较厚,窑体表面积也很大,向外散热较多,造成热效率不高。近年来随着燃料结构和筑炉材料的变化,以及国家能源紧张、环保政策的加强,企业在新建和改造窑炉时越来越重视辊道窑的发展。液化气辊道窑因烧成制度(温度、压力、气氛)稳定、断面温度均匀、燃料燃烧充分完全、对环境污染小、热能综合利用率高、可对制品进行快速烧成等优点,所以能实现高产优质低耗的目的。辊道窑一般采用轻质耐火材料砌筑,在设计时为提高窑炉的热效率,选材应尽可能先用轻型化的筑炉材料,可直接选用高强轻质耐火材料作为窑炉内衬,如:硅藻土砖、莫来石砖、氧化铝聚球砖、高铝聚轻砖、粘土聚轻砖等。这些材料密度小,强度高,导热系数低,热稳定性好,很适合作为砌筑辊道窑的内层耐火材料;外层隔热一般选用硅酸铝陶瓷纤维棉,可以大大减薄窑墙、窑顶的厚度,增加窑体的保温性能,降低窑体的表面温度,减少窑体向外散热,以达到节能降耗的目的,提高辊道窑炉的热利用率。

摘要

本设计说明书对所设计的日产 8000 平米气烧辊道窑加以说明，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。同时详细的进行了窑体材料的选用、热平衡、管路、传动设计等计算。

本次设计窑炉的燃料为天然气，在烧成方法上采用明焰裸烧方法，既提高了产品质量和档次，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、管道尺寸阻力计算、风机选型。

Abstract

This instruction elaborated the roller kiln. The annual production of this roller kiln is 1500 thousand square meter porcelain brick. 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 material, the calculation of heat balance , the pipeline design, the transmission design to the kiln and so on.

This fuel of the kiln is liquefied petroleum 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 alculution of heat balance. the calculation of transmission. the calculation of pipeline size and resistance.

2.设计任务书及原始资料

13年 11月 18 日

专 业	热能工程	班 级	热工10																
学生姓名	江瞻	指导教师	周露亮																
题 目	日产8000m ² 玻化砖辊道窑设计																		
<p>主要研究内容和设计技术参数：</p> <p>1. 坯料组成（%）：</p> <table border="1"> <tr> <td>SiO₂</td><td>Al₂O₃</td><td>CaO</td><td>MgO</td><td>Fe₂O₃</td><td>K₂O</td><td>Na₂O</td><td>IL</td></tr> <tr> <td>68.35</td><td>16.27</td><td>2.30</td><td>2.65</td><td>0.85</td><td>2.20</td><td>2.15</td><td>4.85</td></tr> </table> <p>2. 产品规格：600×600×12mm；</p> <p>3. 入窑水分：<1%</p> <p>4. 产品合格率：95%</p> <p>5. 烧成周期：50分钟（全氧化）</p> <p>6. 最高烧成温度：1200℃（温度曲线自定）</p> <p>7. 燃料：焦炉煤气，参数自定。</p> <p>8. 其它条件自定。</p>				SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	IL	68.35	16.27	2.30	2.65	0.85	2.20	2.15	4.85
SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	IL												
68.35	16.27	2.30	2.65	0.85	2.20	2.15	4.85												
<p>基本要求（含成果要求）：</p> <p>1. 通过设计计算，确定窑体材料及厚度、主要结构尺寸、管路系统尺寸等；</p> <p>2. 确定窑炉的工作系统；</p> <p>3. 认真思考，独立完成，绘出部分图纸：主体结构图、管路系统图；</p> <p>4. 编写详细设计说明书，说明书采用学院统一格式，一律A4纸打印；</p> <p>5. 要求完成2000～3000字的英文文献调研报告和不少于2000字的英文摘要；</p>																			
<p>工作进度计划：</p> <p>1. 13～20周：查阅、整理、收集与该窑炉有关的文献资料；</p> <p>2. 1～6周：进行设计计算，</p> <p>3. 7-12周：编写说明书初稿；绘制所要求的部分图纸，</p> <p>4. 13周～ ：整理设计思路与资料，完善说明书，准备答辩。</p>																			

3. 窑体主要尺寸的确定

3.1 窑内宽的确定

确定内宽时,要考虑棍子的长度、窑顶建筑及水平方向的温度的均匀性等因素。目前棍子的长度可以3米左右,随着生产技术的进步,辊道窑的内宽有进一步加宽的趋势。

产品的尺寸为 $800 \times 800 \times 12\text{mm}$, 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: $889 \times 889 \times 13\text{mm}$

两侧坯体与窑墙之间的距离取100mm, 设内宽 $B=3.0\text{m}$, 取产品平放于辊棒上, 计算宽度方向坯体排列的块数为: $n=(3000-100 \times 2)/889=3.15$, 确定并排3块。

确定窑内宽 $B=889 \times 3+100 \times 2=2867\text{mm}$, 取2870mm。

3.2 窑长及各带长度的确定

3.2.1 窑体长度的确定

每小时进入生坯= (年产量 \times 烧成周期) \div [年工作日 $\times 24 \times$ 产品合格率 \times (1-收缩率)]

$$= (2640000 \times 5/6) \div (330 \times 24 \times 95\% \times 90\%)$$

$$= 324.89 (\text{m}^2/\text{窑})$$

装窑密度=每米排数 \times 每排片数 \times 每片砖面积

$$= (1000 \div 889) \times 3 \times (0.8 \times 0.8)$$

$$= 2.16 (\text{m}^2/\text{每米窑长})$$

窑长=窑炉每小时进入生坯 \div 装窑密度

$$= 324.89 \div 2.16 = 150.41 (\text{m})$$

取单节长度为2000mm。

窑的节数= $150.41 \div 2.000 = 75.205$ 节, 取整为75节。

所以算出窑长为 $L=2000 \times 75=150\text{m}$

3.2.2 窑体各带长度的确定

预热带占全窑总长的 33%，节数= $75 \times 33\% = 24.75$ ，取 25 节， 长度= $25 \times 2000 = 50000\text{mm}$ ；

烧成带占全窑总长的 26%，节数= $75 \times 26\% = 19.5$ ，取 20 节， 长度= $20 \times 2000 = 40000\text{ mm}$ ；

冷却带占全窑总长的 41%，节数= $75 \times 41\% = 30.75$ ，取 30 节， 长度= $30 \times 2000 = 60000\text{ mm}$ 。

3.3 窑内高的确定

窑内高度表

	1-25 节	26-45 节	46-75 节
辊上高(mm)	350	450	350
辊下高(mm)	350	350	350
内总高(mm)	700	840	700

3.4 烧成制度确定

(1) 温度制度：

考虑到入窑水分比较低，可以快速升温不会使坯体炸裂

烧成周期：50min

各温度段得划分与升温速率：

名称	温度	时间	升温速率	长度比例
预热段	40-250	7.5	28	8%
预热带	250-950	17.5	40	25%
烧成带	950-1200	7.5	33.3	26%
冷却带	1200-80	17.5	64	41%
		50		

气氛制度：全窑氧化气氛

压力制度：

预热带负压操作-15~-10Pa, 烧成带微正压<8Pa,冷却带正压



4.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。

4.1 排烟系统

采用集中排烟方式，排烟口设在第 1 节 2 节 4 节 8 节 9 节，每节上下各 2 对直径为 240mm 的圆形排烟口直通窑体外。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。

4.2 燃烧系统

因所设计的为明焰气烧辊道窑，且使用天然气作燃料，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。

烧嘴的设置：

本设计在预热带后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，但也不要太少。因此，在第 17——35 节的辊上下交错设置 2 对烧嘴。在 36——45 节每节设置 3 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 156 个烧嘴。

天然气送装置

天然气由升风机升压，通过管道、阀门、总管天然气处理系统，经过分管，并在分管上设置自动控制和手动控制系统，送至各个烧嘴，助燃空气由风机通过管道、阀门送至烧嘴。

总管天然气处理系统：汽水分离器→过滤器→调压器。

分管自动控制系统：分管总阀→执行器→碟阀→烧嘴

分管手动控制系统：碟阀→压力表→烧嘴

4.3 冷却系统

制品在冷却带有晶体成长，转化的过程，并且冷却出窑是整个烧成过程最后的一个环节。从热交换的角度来看，冷却带实质上是一个余热回收设备，

它利用制品在冷却过程中所放出的热量来加热空气，余热风可供干燥，达到节能的目的。

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且具有塑性，此时可以进行急冷，最好的办法是直接吹风冷却。辊道窑急冷段应用最广的是直接风冷是在辊上下设置横窑断面的冷风喷管。每根喷管上均匀地开有圆形或狭缝式出风口，对着制品上下均匀地喷冷风，达到急冷的效果。由于急冷段温度高，横穿入窑的冷风管须用耐热钢制成，管径为 60~80mm。

本设计也采用此种结构，在第 46——56 节进行急冷，辊上 6 根，辊下 6 根内径 $\Phi 80\text{mm}$ 急冷风管。

缓冷通风系统：

温度 700~400℃，是制品产生收缩容易开裂的危险区，本设计采用窑顶抽热风方式，在（57~66 节）窑顶设置一对抽风口。从缓冷段抽出的热风可供干燥和作助燃风用，更好地利用余热，减少损耗。

快冷通风系统：

温度 400~80℃ 采用轴流风机鼓入冷风冷却，在（67~75 节）每节辊上辊下各设置 6 根快冷管对制品散热。

4.4 传动系统

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（20℃~200℃）	无缝钢管棍子
中温段（200~600℃ 和 400~800℃）	耐热不锈钢管
高温段（600~1200 和 1200~700）	莫来石——刚玉陶瓷棍棒
中温段（700~400）	莫来石棍棒

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。

故根据窑内宽 2.87m 的长度，窑墙厚度 300~350mm，选择直径为 40mm 的辊棒，而辊子长度则取 3400mm。

辊距 $H = (1/3 \sim 1/5) \times L = 266.7 \sim 160\text{mm}$ (L——制品长度，mm)

辊距选 180mm，每节辊子数 $= 2000 \div 180 = 11.1$ ，取 11 根

棍子总数 $= 11 \times 75 = 825$ 根

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，使棍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 3 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，当处理打紧、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棍，棍子不弯曲，砖坯亦不会进入下一区段。

传动过程：

电机→减速器→主动链轮→滚子链→传动轴→从动链轮→主动螺旋齿轮→从动螺旋齿轮→棍棒传动装置→棍子

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。

4.5 窑体附属结构

4.5.1 事故处理孔

事故处理孔设在棍下，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。

两事故处理孔中心距 L 应小于或等于 4.5m

又因为每节长度只有 2.008m，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：360×115mm，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。

。

4.5.2 测温测压孔及观察孔

4.5.2.1 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，如氧化末段、晶体转化点、釉始溶点、成瓷段、急冷结束等都应设测温孔。

本设计如下：第 15、20、35、40 节和第 50、51 节的窑顶中部和一侧窑墙中部辊下方各设置一个测温孔。第 2、6、10、25、30、39、41、43、45、47、49 节在窑顶中部设置一个测温孔。第 53、56、60、63、66、70、74 节一侧窑墙中部设置一个测温孔。

4.5.2.2 测压孔

压力制度中零压面的位置控制特别重要，一般控制在预热带和烧成带交接面附近。若零压过多移向预热带，则烧成带正压过大，有大量热气体逸出窑外，不但损失热量，而且恶化操作条件；若零压过多移向烧成带，则预热带负压大，易漏入大量冷风，造成气体分层，上下温差过大，延长了烧成周期，消耗了燃料。所以在第 25、26 节处设置测压孔。

4.5.2.3 观察孔

在每个烧嘴的对侧窑墙设置 $\Phi 40\text{mm}$ 的观察孔，以便烧嘴的燃烧状况。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。

4.5.3 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，每节窑体留设 2 处宽度为 10mm 的膨胀缝，内填陶瓷棉。各层砖的膨胀缝要错缝留设。

4.5.4 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 2 对闸板和挡火墙结构，分别在 25-26 节、45-46 节之间设

置。

4.6 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 $2.5t \times 75 \times 60mm$ 方钢、上横梁用 $2.3t \times 50 \times 60mm$ 方钢、下梁用 $2.5t \times 100 \times 60mm$ 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 $50 \times 50mm$ 的等边角钢作底架，以便在其上搁置底板。上下侧板可用 $2 \sim 3mm$ 钢板冲压制成，吊顶梁采用 $50 \times 50 \times 5mm$ 的等边角钢。

4.7 燃料燃烧计算

4.7.1 空气量（标准情况下）

燃料组成：

天燃气	CO	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₄	H ₂ S	CO ₂	N ₂	O ₂	Q _d (MJ/Nm ³)
	0.2	0.2	95.6	3.5	0.3	0.1	0	0	35.96

根据经验公式：

$$\text{理论空气量: } V_a^0 = \frac{0.25 \cdot Q_{\text{net}}}{1000} - 0.25 = \frac{0.25 \times 35960}{1000} - 0.25 = 8.74 \text{ (m}^3/\text{Nm}^3\text{)}$$

取空气过剩系数 $\alpha = 1.15$

$$\text{实际空气量: } V_a = \alpha V_a^0 = 1.15 \times 8.74 = 10.05 \text{ (m}^3/\text{Nm}^3\text{)}$$

4.7.2 烟气量

根据经验公式：

$$\text{理论烟气量: } V_g^0 = \frac{0.239 \cdot Q_{\text{net}}}{1000} + 2 = 10.59 \text{ (m}^3/\text{Nm}^3\text{)}$$

$$\text{实际烟气量: } V_g = 10.59 + (1.15 - 1.0) \times 8.74 = 11.901 \text{ (m}^3/\text{Nm}^3\text{)}$$

4.8 理论燃烧温度的计算

设空气温度 $t_a = 20^\circ\text{C}$ ，空气比热为 $C_a = 1.30 \text{ KJ/M}^3 \cdot ^\circ\text{C}$ 。发生天然气比热为：

$C_f = 2.16 \text{ KJ/M}^3 \cdot ^\circ\text{C}$ ， $t_a = t_f = 20^\circ\text{C}$ ，现设 $T = 1550^\circ\text{C}$ ，燃烧产物比热为 $C = 1.69 \text{ KJ/M}^3$

$^\circ\text{C}$ 。则理论燃烧温度为：

$$\begin{aligned} T &= (Q_{\text{net}} + L_n C_a t_a + C_f t_f) / V_n C \\ &= (35960 + 10.05 \times 1.30 \times 20 + 1.55 \times 20) / (11.901 \times 1.69) \\ &= 1502^\circ\text{C} \end{aligned}$$

求得温度与假设温度相对误差： $(1550 - 1502) / 1550 \times 100\% = 3\% < 5\%$ ，所以假设

合理。取高温系数 $\eta = 0.85$ ，则实际燃烧温度 $T_p = 0.85 \times 1550 = 1317^\circ\text{C}$ ，比需要的温度高 117°C ，这符合要求有利于快速烧成，保证产品达到烧熟的目的。

5. 物料平衡计算

①每小时烧成制品的质量 G_m

根据日产量可知每小时烧成成品面积为: $8000/24=333.3 \text{ m}^2/\text{h}$

根据计算砖重= $3.84\text{Kg}/\text{m}^2$

$$\begin{aligned}\text{则每小时烧成制品质量 } G_m &= (333.3 \times 3.84) / 0.64 \\ &= 1999.8 \text{ Kg/h}\end{aligned}$$

②每小时烧成干坯的质量 G_{gp} , 取烧成灼减为 5%

$$\begin{aligned}G_{gp} &= G_m \times 100 / (100 - 5.92) \\ &= 1999.8 \times 100 / (100 - 5.92) \\ &= 2125.6 \text{ (Kg/h)}\end{aligned}$$

③每小时欲烧成湿坯的质量 G_{sp} (w —入窑制品含自由水)

$$G_{sp} = G_{gp} \times 100 / (100 - w) = 2125.6 \times 100 / (100 - 1) = 2147.1 \text{ (Kg/h)}$$

④每小时蒸发自由水的质量 G_{zs}

$$G_{zs} = G_{sp} - G_{gp} = 2147.1 - 2125.6 = 21.5 \text{ (Kg/h)}$$

⑤每小时从精坯中产生 CO_2 的质量 G_{CO_2}

每小时从精坯中引入的 CaO 质量 G_{CaO} 和 MgO 质量 G_{MgO} 的计算

$$\begin{aligned}G_{\text{CaO}} &= G_{gp} \times \text{CaO}\% \\ &= 2125.6 \times 2.3\% = 48.89 \text{ (Kg/h)} \\ G_{\text{MgO}} &= G_{gp} \times \text{MgO}\% \\ &= 2125.6 \times 2.65\% = 56.33 \text{ (Kg/h)}\end{aligned}$$

每小时产生 CO_2 的质量

$$\begin{aligned}G_{\text{CO}_2} &= (G_{\text{CaO}} \times M_{\text{CO}_2} / M_{\text{CaO}}) + (G_{\text{MgO}} \times M_{\text{CO}_2} / M_{\text{MgO}}) \\ &= (48.89 \times 44 / 56) + (56.33 \times 44 / 40) \\ &= 100.37 \text{ (Kg/h)}\end{aligned}$$

⑥每小时从精坯中分解出的结构水的质量 G_{ip}

$$\begin{aligned}G_{ip} &= G_{gp} \times 5.92\% - G_{\text{CO}_2} \\ &= 2125.6 \times 5.92\% - 100.37 \\ &= 25.47 \text{ (Kg/h)}\end{aligned}$$

6. 窑体材料的确定

6.1 窑体材料厚度的确定原则

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

总之，窑体材料及厚度的确定在遵循以上原则得计出上，还要考虑散热少，投资少，使用寿命长等因素

窑体材料及厚度的确定：列表表示全窑所用材料及厚度

名称	材质		使用温度	导热系数	厚度
低温段 1—16 节，57—75 节					
窑顶	耐火层	轻质粘土砖	1150	0.26+0.00023t	230
	隔热层	硅酸铝耐火纤维束	1000	0.13	130
窑墙	耐火层	轻质粘土砖	1150	0.26+0.00023t	230
	隔热层	硅酸铝耐火纤维束	1000	0.13	130
窑底	耐火层	轻质粘土砖	1150	0.26+0.00023t	230
	隔热层	硅酸铝耐火纤维	1000	0.063+0.00014t	195
中温段 17—25 节					
窑顶	耐火层	轻质粘土砖	1150	0.80+0.00026t	230
	隔热层	硅酸铝耐火纤维束	1000	0.13	130
窑墙	耐火层	轻质粘土砖	1400	0.80+0.00026t	230
	隔热层	硅酸铝耐火纤维束	1000	0.13	130
窑底	耐火层	轻质高铝砖	1150	0.80+0.00026t	130
	隔热层	硅酸铝耐火纤维	1000 以下	0.1+0.000228t	195
高温段：26—56 节					
窑顶	耐火层	轻质高铝砖	1400	0.45	230
	隔热层	硅酸铝耐火纤维束	1000	0.13	130
窑墙	耐火层	轻质高铝砖	1400	0.45	230

	隔热层	硅酸铝耐火纤维束	1000	0.13	130
窑底	耐火层	轻质高铝砖	1400	0.45	230
	隔热层	硅藻土砖	1000 以下	0.1+0.00028t	195

为使窑体与传动系统既有机的构成一个整体，又互为独立的系统，不但便于精确安装辊道以及其他机构，而且为正常的运转后的维修，调整与更新辊子带来了极大地便利，不足之处是气密性不好，为弥补这一缺陷，上窑墙放在支撑钢上的为一块七字型砖，孔砖也做成与其吻合的形状构成曲封，这种孔砖不起承重作用，因而可以采用轻质砖。

孔砖：材质：轻质高铝砖 使用温度：1300

7. 热平衡计算

热平衡计算包括预热带、烧成带热平衡计算和冷却带热平衡计算。预热带和烧成带的热平衡计算目的在于求出每小时的燃料消耗量；冷却带的热平衡计算的目的在于计算冷空气鼓入量和热风抽出量。

7.1 预热带和烧成带的热平衡计算

7.1.1 热平衡计算基准及范围

时间基准：1h； 温度基准：0 °C 基准质量：1h 进入系统的物料

7.1.2 画出热平衡示意框图

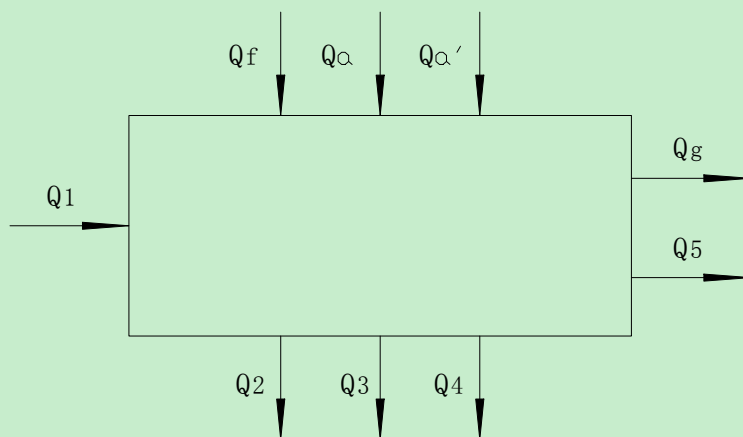


图 7-1 预热带和烧成带热平衡示意图

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

7.1.3 热收入项目

7.1.3.1 制品带入显热 Q_1 (KJ/h)

$$Q_1 = G_{sp} c_1 t_1$$

其中： G_{sp} ----湿制品质量 (Kg/h)

c_1 ----制品的比热

t_1 ----制品的温度

第 7 节的温度为 $t_1=250^{\circ}\text{C}$;

$$c_1=0.84+26\times 10^{-5}\times 250=1.0\text{KJ}/(\text{m}^3\cdot^{\circ}\text{C})$$

$$Q_1=G_{sp}c_1t_1=2147.1\times 1.0\times 250=536775 \quad (\text{KJ/h})$$

7. 1. 3. 2 燃料带入化学热及显热 Q_f

1. 3. 2 燃料带入化学热及显热 Q_f

$$Q_f=X(Q_{DW}+c_ft_f)$$

其中 X ——每小时消耗的燃料量 m^3/h

Q_{DW} ——燃料的热值 KJ/h

c_f —— 20°C 时的比热 $\text{KJ}/\text{m}^3\cdot^{\circ}\text{C}$

t_f ——天然气的温度 $^{\circ}\text{C}$

$$Q_f=X(35960+2.16\times 20)=36003.2X(\text{KJ/h})$$

7. 1. 3. 3 助燃空气带入显热 $Q_a(\text{KJ/h})$

助燃空气温度 $t_a=20^{\circ}\text{C}$, 20°C 时空气比热容 $c_a=1.30 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C})$, 则燃料燃烧所需助燃空气量为:

$$V_{a,\text{总}}=V_aX=4.75X \quad (\text{Bm}^3/\text{Bm}^3),$$

$$\text{故 } Q_a=V_{a,\text{总}}c_at_a=4.75X\times 20\times 1.30=123.5X(\text{KJ/h})$$

7. 1. 3. 4 预热带漏入空气带入显热 $Q_a'(\text{KJ/h})$

取预热带前段空气过剩系数 $\alpha_g=3.2$, 漏入空气温度 $t_a'=20^{\circ}\text{C}$, $c_a'=$

$1.30\text{KJ}/(\text{m}^3\cdot^{\circ}\text{C})$. 则漏入空气总量为:

$$V_a'=M_f(\alpha_g-\alpha)L_0=M_f(2-1.2)\times 1.42=1.136 M_f \quad (\text{m}^3/\text{h})$$

所以 $Q_a'=V_a'c_a't_a'=1.136 M_f\times 1.30\times 20=29.54 M_f(\text{KJ/h})$

7.1.4 热支出项目

7.1.4.1 产品带出显热 Q_2 (KJ/h)

烧成产品质量 $G_3 = G_m \cdot K = 1999.8 \times 95\% = 1899.81$ (KJ/h)

制品出烧成带(第 45 节)产品温度 $t_2 = 1200^\circ\text{C}$

查表可知：产品平均比热为： $c_2 = 0.84 + 26 \times 10^{-5} \times 1200 = 1.16 \text{KJ/Kg} \cdot ^\circ\text{C}$

则 $Q_2 = G_3 c_2 t_2 = 1899.81 \times 1.16 \times 1200 = 2644535.52$ (KJ/h)

7.1.4.2 烟气带走显热 Q_g (KJ/h)

每小时离窑烟气量： $V_g = [V_g^0 + (\alpha_g - \alpha_a) V_a^0] \times X = [5.015 + (2.0 - 1.0) \times 4.13] X$

$= 9.145X$ (m^3/h)

烟气离窑温度一般 $t_g = 250^\circ\text{C}$ ，查表得此时烟气的平均比热为： $c_f = 1.45 \text{KJ/m}^3$
 $^\circ\text{C}$

则 $Q_g = V_g c_f t_g = 9.145X \times 1.121 \times 250 = 3315.0625X$ (KJ/h)

7.1.4.3 物化反应耗热 Q_4 (KJ/h)

不考虑制品所含之结构水，每小时蒸发自由水质量： $G_w = 21.5 \text{Kg/h}$

烟气离窑温度： $t_g = 250^\circ\text{C}$ ，

自由水蒸发吸热 $Q_w = G_w (2490 + 1.93 t_g) = 14 \times (2490 + 1.93 \times 250) = 53207.75$
(KJ/h)

其余物化反应热 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 $G_{gp} = 2147.1$ (Kg/h)

Al_2O_3 含量为 16.27%，所以

$Q_r = G_{gp} \times 2100 \times \text{Al}_2\text{O}_3\% = 2147.1 \times 2100 \times 16.27\% = 733599.66$ (KJ/h)

7.1.4.3.3 总的物化反应耗热

$Q_4 = Q_w + Q_r = 53207.75 + 733599.66 = 786807.41$ (KJ/h)

7.1.4.4 窑体散热损失 Q_3

将计算窑段分成两部分：预热带和烧成带。

7.1.4.4.1 预热带

第 9——25 节，温度范围：400—800℃，窑外壁面平均温度为 40℃，窑内平均温度取为 600℃

i 第 9~25 节:窑外壁表面平均温度 40℃，窑内壁平均温度 600℃

a. 窑顶

取轻粘土砖平均温度为 600℃

轻粘土砖导热系数 $\lambda_1 = 0.214 \text{ W} / (\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$

$$\delta_1 = 0.23\text{m}$$

硅藻土砖导热系数 $\lambda_2 = 0.214 \text{ W} / (\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$

$$\delta_2 = 0.10\text{m}$$

$$\text{单位热流量 } q = \frac{600 - 40}{\frac{0.23}{0.214} + \frac{0.10}{0.214}} = 363.2 \text{ W/m}^2$$

窑顶散热面积:

$$A_{\text{顶}} = \frac{2.87 + 2.74}{2} \times 2.41 \times 15 = 101.4 \text{ m}^2$$

$$\text{则 } Q_{\text{顶}} = 3.6qA_{\text{顶}} = 3.6 \times 363.2 \times 101.4 = 132582.528 \text{ (kJ/h)}$$

b. 窑墙

取轻质粘土砖平均温度为 600℃

轻质高铝砖导热系数 $\lambda_1 = 0.20 \text{ W} / (\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$

$$\delta_1 = 0.23\text{m}$$

硅藻土砖导热系数 $\lambda_2 = 0.214 \text{ W} / (\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$

$$\delta_2 = 0.10\text{m}$$

$$\text{单位热流量 } q = \frac{600 - 40}{\frac{0.23}{0.2} + \frac{0.10}{0.214}} = 345.68 \text{ W/m}^2$$

$$\text{窑墙散热面积: } A_{\text{墙}} = \frac{0.8 + 1.46}{2} \times 2.41 \times 15 = 36.273 \text{ m}^2$$

$$\text{则 } Q_{\text{墙}} = 3.6qA_{\text{墙}} = 3.6 \times 345.68 \times 36.273 = 45139.86 \text{ (kJ/h)}$$

c. 窑底

取轻质粘土砖平均温度为 600℃

轻质粘土砖导热系数 $\lambda_1 = 0.2 \text{ W} / (\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$

$$\delta_1 = 0.23\text{m}$$

硅藻土砖 $\lambda_2 = 0.214 \text{ W} / (\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$

$$\delta_2 = 0.1\text{m}$$

$$\text{单位热流量 } q = \frac{600 - 40}{\frac{0.23}{0.2} + \frac{0.10}{0.214}} = 345.68 \text{ W/m}^2$$

$$\text{窑底散热面积: } A_{\text{底}} = \frac{2.87 + 2.74}{2} \times 2.41 \times 15 = 101.4 \text{ m}^2$$

$$\text{则 } Q_{\text{底}} = 3.6qA_{\text{底}} = 345.68 \times 101.4 \times 3.6 = 126187 \text{ (kJ/h)}$$

ii 第 26~45 节窑体散热计算如下:

取窑外壁温度 80℃, 窑内壁平均温度为 990℃

d. 窑顶

取轻质高铝砖平均温度为 990℃

轻质高铝砖导热系数 $\lambda_1 = 0.716 \text{ W} / (\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$

$$\delta_1 = 0.23\text{m}$$

硅酸盐耐火纤维束导热系数 $\lambda_2 = 0.20 \text{ W} / (\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$

$$\delta_2 = 0.08\text{m}$$

硅藻土砖导热系数 $\lambda_3 = 0.214$

$$\delta_3 = 0.02\text{m}$$

$$\text{单位热流量 } q = \frac{990 - 80}{\frac{0.23}{0.716} + \frac{0.08}{0.20} + \frac{0.02}{0.214}} = 1167 \text{ W/m}^2$$

$$\text{窑顶散热面积: } A_{\text{顶}} = [(2.81 + 2.74) \times 2.41] / 2 \times 20 = 133.75 \text{ m}^2$$

$$\text{则 } Q_{\text{顶}} = 3.6qA_{\text{顶}} = 1167 \times 133.75 \times 3.6 = 561931.5 \text{ (kJ/h)}$$

e. 窑墙

取轻质高铝砖平均温度为 990℃

轻质高铝砖导热系数 $\lambda_1 = 0.716 \text{ W} / (\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$

$$\delta_1 = 0.23\text{m}$$

硅酸铝耐火纤维束导热系数 $\lambda_2 = 0.20 \text{ W} / (\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$

$$\delta_2 = 0.08\text{m}$$

硅藻土砖导热系数 $\lambda_3 = 0.214$

$$\delta_3 = 0.02\text{m}$$

$$\text{单位热流量 } q = \frac{990 - 80}{\frac{0.23}{0.716} + \frac{0.08}{0.20} + \frac{0.02}{0.214}} = 1167 \text{ W/m}^2$$

$$\text{窑墙散热面积: } A_{\text{墙}} = [(0.8 + 1.46) / 2] \times 2.41 \times 20 = 54.466\text{m}^2$$

$$\text{则 } Q_{\text{墙}} = 3.6qA_{\text{墙}} = 1167 \times 54.466 \times 3.6 = 228822.56 \text{ (kJ/h)}$$

f. 窑底

取轻质高铝砖平均温度为 990°C

轻质高铝砖导热系数 $\lambda_1 = 0.716 \text{ W} / (\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$

$$\delta_1 = 0.20\text{m}$$

硅藻土砖 $\lambda_2 = 0.214 \text{ W} / (\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$

$$\delta_2 = 0.10\text{m}$$

硅酸盐耐火纤维束导热系数 $\lambda_3 = 0.20 \text{ W} / (\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$

$$\delta_3 = 0.03\text{m}$$

$$\text{单位热流量 } q = \frac{990 - 80}{\frac{0.20}{0.716} + \frac{0.10}{0.214} + \frac{0.03}{0.2}} = 1014.9 \text{ W/m}^2$$

$$\text{窑底散热面积: } A_{\text{底}} = 133.75 \text{ m}^2$$

$$\text{则 } Q_{\text{底}} = 3.6qA_{\text{底}} = 1014.9 \times 133.75 \times 3.6 = 488433.6 \text{ (kJ/h)}$$

窑体总散热量为:

$$Q_3 = 132582.528 + 45139.86 + 126187 + 561931.5 + 228822.56 + 488433.6$$

$$=1583097 \text{ (kJ/h)}$$

7.1.4.5 其它热损失 Q_5 (kJ/h)

根据经验占热收入的 5%

$$\text{所以 } Q_5 = (Q_1 + Q_f + Q_a + Q_a') \times 0.05$$

$$= (536775 + 36003.2X + 123.5X + 220.13X) \times 0.05 = 2048003.41$$

$$= 26838.75 + 1817.34X$$

7.1.6 列出热平衡方程式

由热收入=热支出得：

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

$$536775 + 36003.2X = 214874 + 2562.9X + 786807.41 + 1583097 + 2147.1 + 894.73X$$

$$\text{计算得出 } X = 67.31 \text{ m}^3/\text{h}$$

即每小时需发生炉天然气 67.31 m^3 ，每小时烧成产品质量 1999.8kg ，所以，单位质量得产品热耗为： $67.31 \times 35960 / 1999.8 = 1210.4 \text{ (kJ/kg)}$

7.1.7 列出预热带与烧成带的热平衡表如下：

表 7-1 预热带与烧成带热平衡表

热收入			热支出		
项目	KJ/h	%	项目	KJ/h	%
坯体带入显热	536775	8.99	产品带走显热	2644532.52	44.07
燃料化学显热	5330239	89.23	烟气带走显热	985962.1	16.43
助燃空气显热	37507	0.63	窑体散热	1583097	26.39
漏入空气显热	66854	1.15	物化反应耗热	786807.41	13.11
总热量	5971375	100	总散热	6000399.3	100

7.2 冷却带热平衡计算

7.2.1 热平衡计算基准及范围

时间基准：1h； 温度基准： 0°C 基准质量：1h 进入系统的物料

7.2.2 画出热平衡示意框图

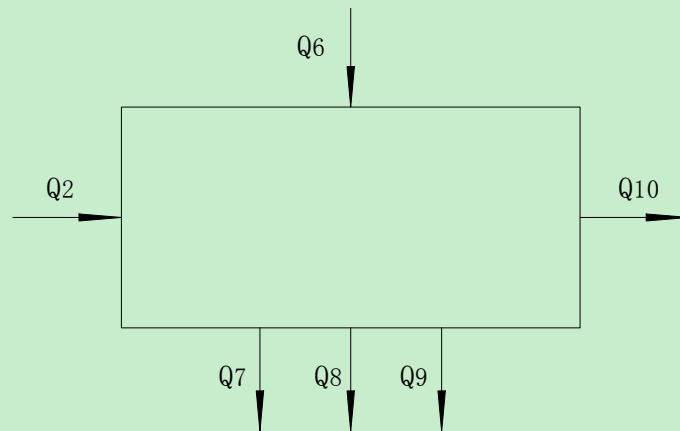


图 7-2 冷却带热平衡示意图

Q_2 ——产品带入显热	Q_6 ——冷却风带入显热
Q_7 ——产品带出显热	Q_8 ——热风抽出带走显热
Q_9 ——窑体散热	Q_{10} ——其它热损失

7.2.3 热收入项目

7.2.3.1 产品带入显热 Q_2

所以 $Q_2 = 2644532.52 \text{ KJ/h}$

7.2.3.2 冷风带入显热 Q_6

鼓入冷风为自然风, $t_a = 20^\circ\text{C}$, 查表知此时冷风的比热为:

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

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

7.2.4 热支出项目

7.2.4.1 制品带走显热 Q_7

出窑时产品的质量 $G_m=1999.8$ (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

$$c_7=0.896\text{kJ}/(\text{kg}\cdot^\circ\text{C})$$

$$\text{则: } Q_7=G_m t_7 c_7=1999.8\times 80\times 0.896=143345.67 \text{ kJ/h}$$

7.2.4.2 热风抽出时带走的显热 Q_8

抽风为鼓入风的 95%, 故抽出热风量应为 $0.95V_x\text{ m}^3/\text{h}$. 取热风抽出时的温度为: $t_8=200^\circ\text{C}$, 查表知此时的比热为: $c_8=1.32\text{kJ}/(\text{m}^3\cdot^\circ\text{C})$, 则:

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

7.2.4.3 窑体的散热 Q_9

i 在急冷带的窑体散热(46—55 节)

此段温度范围 $1200\sim 700^\circ\text{C}$ 窑外壁温度取 80°C , 窑内壁平均温度为 940

a 窑墙:

$$\text{窑墙的内表面积 } F_1=0.8\times 8\times 2.41=15.424\text{m}^2$$

$$\text{窑墙的外表面积 } F_2=(0.8+0.66)\times 8\times 2.41=28.149\text{m}^2$$

$$\text{平均表面积 } F=(F_1+F_2)/2=21.7864$$

$$Q=3.6q_2\times F=3.6\times 589.2\times 2\times 21.8=92748.23$$

$$\text{窑顶、窑底的内表面积 } F_1=2.81\times 2.41\times 8=54.2$$

$$\text{窑顶、窑底的外表面积 } F_2=(2.81+0.66)\times 8\times 2.41=66.9$$

$$\text{平均表面积: } F=(F_1+F_2)/2=60.54$$

$$Q_{\text{顶}}=3.69q_f=3.6\times 589.2\times 60.54=128410.9$$

$$Q_{\text{底}}=3.6q_f=3.6\times 538.4\times 60.55=117360.4$$

在 $700\sim 80$ 的窑体散热

a 窑墙:

$$\text{窑墙的内表面积 } F_1=0.8\times 14\times 2.41=27.0\text{m}^2$$

$$\text{窑墙的外表面积 } F_2 = (0.8 + 0.66) * 14 * 2.41 = 49.3 \text{ m}^2$$

$$\text{平均表面积 } F = (F_1 + F_2) / 2 = 38.1$$

$$Q = 3.6q_2 * F = 3.6 * 382.7 * 2 * 38.1 = 104986.7 \text{ kJ/h}$$

$$\text{窑顶、窑底的内表面积 } F_1 = 2.81 * 2.41 * 14 = 94.81$$

$$\text{窑顶、窑底的外表面积 } F_2 = (2.81 + 0.66) * 14 * 2.41 = 117.08$$

$$\text{平均表面积: } F = (F_1 + F_2) / 2 = 105.94$$

$$Q_{\text{顶}} = 3.6q_f = 3.6 * 382.7 * 105.94 = 145955.7 \text{ kJ/h}$$

$$Q_{\text{底}} = 3.6q_f = 3.6 * 382.7 * 105.94 = 145955.7 \text{ kJ/h}$$

冷却带窑体的总散热量

$$Q_9 = Q_{\text{墙总}} + Q_{\text{底}} + Q_{\text{顶}} + Q_{\text{总}} \\ = 92748.23 + 98554 + 90043.6 + 104986.7 + 145955.7 + 145955.7 \\ = 589544 \text{ KJ/h}$$

列出冷却带热平衡方程

热收入=热支出

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

$$2644532.52 + 26V_x = 143345.67 + 264V_x + 589544 + (2644532.52 + 26V_x) * 0.05$$

$$V_x = 7435.92 \text{ m}^3/\text{h}$$

7.2.6 列出冷却带热平衡表如下:

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	2644532.52	94.56	产品带出显热	143345.67	5.13
冷却风带入显热	152115.6	5.44	抽热风带走显热	1544558.4	55.23

			窑体散热	589544	21.08
			其它散热	519200.05	18.57
总热量	2796648.12	100	总散热	2796648.62	100

由表可以看出，抽热风的热占很大比例，因此应充分利用此热量，一般用来干燥坯体和作助燃风用。

8. 烧嘴的选用

8.1 每个烧嘴所需的燃烧能力

全窑共设 156 个烧嘴，其中低温 42 对，布置在预热带后 21 节（17--40），高温烧嘴 36 对，布置在烧成带。每小时燃料消耗量为 $x=282.4 \text{ (} Bm^3/h \text{)}$ ，考虑到烧嘴的燃烧能力和烧嘴燃烧的稳定性取安全系数 1.5。每个烧嘴的燃料消耗量为： $1.5 \times 282.4 / 144 = 2.9 \text{ (} Bm^3/h \text{)}$

烧嘴的热负荷： $2.9 \times 40000 = 116000 \text{ (} KJ/h \text{)}$ ，所以本设计采用北京神雾公司的 WDH-TCC2 型烧嘴。

该烧嘴技术性能如下：

表 10 烧嘴技术性能

热负荷	燃气		助燃空气			流量调节比例	火焰长度	火焰锥角	炉膛温度
	流量	压力	流量	温度	压力				
2×10^4 Kcal/h	2.4 Bm^3/h	1000Pa ~ 0.2MPa	24 Bm^3/h	常温 ~350 $^{\circ}C$	1500~ 3500 Pa	1: 6	200~ 3000	~70	~ 1800 $^{\circ}C$

所以该烧嘴符合本设计要求。

9. 管道计算

9.1 管道尺寸

排烟系统需排烟气量：

$$V_g = [V_g^0 + (\alpha - 1)V_a^0]x = [5.015 + (2 - 1) \times 4.13] \times 67.31 = 615.55 \quad (Bm^3 / m^3)$$

烟气在金属管中流速 ω ，根据经验数据取 10m/s

烟气抽出时实际体积为：

$$V = V_g \bullet \frac{273 + 400}{273} = 615.55 \times \frac{673}{273} = 1517.45(m^3 / h) = 0.422(m^3 / s)$$

总烟管尺寸：

烟气在金属管中流速，根据经验数据取 $\omega = 10m/s$ ，

$$\text{内径总 } d = \sqrt{\frac{4V}{\pi\omega}} = \sqrt{\frac{4 \times 0.422}{3.14 \times 10}} = 0.232(m)$$

考虑到调节的方便性总管内径取值：250 mm，长度取 4.5m.

分烟管尺寸：

$$\text{分管流量 } V' = \frac{V}{4} = 0.106 \quad (m^3 / s)$$

$$\text{内径分 } d' = \sqrt{\frac{4V'}{\pi\omega}} = \sqrt{\frac{4 \times 0.106}{3.14 \times 10}} = 0.116(m)$$

考虑到调节的方便性分管内径取值为：150mm，长度取 8m.

支烟管尺寸：

烟气在支管的流速为： $\omega = 10m/s$ ，

$$\text{流量 } V'' = \frac{V}{12} = 0.07 \quad (m^3 / s)$$

$$\text{内径支 } d'' = \sqrt{\frac{4V''}{\pi\omega}} = \sqrt{\frac{4 \times 0.07}{3.14 \times 10}} = 0.095(m) \quad m$$

考虑到调节的方便性取值为：100mm，长度取 1000mm

9.2 排烟风机的管道尺寸、阻力计算

排烟系统需排除烟气量：

$$V_g = [V_g^0 + (\alpha_g - 1) \times V_a^0] \times X = [10.53 + (2 - 1) \times 9.43] \times 282.4 = 5636.7m^3 / h$$

烟气抽出时实际体积:

$$V=V_g \times (273+400)/273=5636.7 \times 673/273=13152.3 \text{ m}^3/\text{h}=3.7 \text{ m}^3/\text{s}$$

① 总烟管尺寸

烟气在金属管中流速 W , 据经验数据取 $W=10\text{m/s}$

$$\text{内径 } d_{\text{总}} = \sqrt{4V/\pi W} = \sqrt{4 \times 3.7/(3.14 \times 10)} = 0.75\text{m}$$

所以, 总管内径取值为 750mm, 长度为 18m。

② 分烟管尺寸

烟气在分烟管中的流速 $\omega=10\text{m/s}$, $n=3$, 分管流量 $V'=V/3=1.23 \text{ m}^3/\text{s}$

$$d_{\text{总}} = \sqrt{4V'/\pi \omega} = \sqrt{4 \times 1.23/(3.14 \times 10)} = 0.24\text{m}.$$

所以, 分管内径取 240mm, 长度为 3.2m。

9.3 阻力计算

① 料垛阻力 h_i

根据经验每米窑长料垛阻力为 0.5Pa。

设 0 压在 20-21 节交接处。

$$\text{则 } h_i = (12+0.5) \times 2 \times 0.5 = 12.5\text{Pa}.$$

② 位压阻力 h_g

烟气从窑炉至风机, 高度升高 $H=1.8\text{m}$, 此时几何压头位烟气流动的动力即负位压阻力, 取烟气温度位 400°C ,

$$\begin{aligned} \therefore h_g &= -H(\rho_a - \rho_g)g \\ &= -1.8 \times (1.29 \times \frac{273}{273+20} - 1.30 \times \frac{273}{273+400}) \times 9.8 \\ &= -11.82\text{Pa} \end{aligned}$$

③ 局部阻力 h_e

局部阻力 ζ 由表查得:

烟气从窑炉进入支管: $\zeta_1=1$

支烟管进入分烟管: $\zeta_2=1.5$

并 90° 急转弯: $\zeta_3=1.5$

分管 90° 急转弯: $\zeta_4=1.5$

分管 90° 圆弧转弯: $\zeta_5=0.35$

分管进入总管: $\zeta_6=1.5$

分管 90° 圆弧转弯: $\zeta_7=0.35$

为简化计算, 烟管中烟气流速均按 10m/s 计, 烟气温度均按 250°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, 故按此值算出的局部阻力只会略偏大, 能满足实际操作需要.

$$h_e = (1 + 1.5 + 1.5 + 1.5 + 0.35 + 1.5 + 0.35) \times 10 \times 10 \times 1.3 \times 273 / ((273 + 400) + 0.28 \times (2^2 / 2) \times 1.3 \times 273 / (273 + 250))$$

$$= 233.6 \text{ (Pa)}$$

④ 摩擦阻力 h_f

摩擦阻力系数: 金属管取 $\zeta = 0.03$.

$$h_f = \zeta (L_{支}/d_{支} + L_{分}/d_{分} + L_{总}/d_{总}) \times \omega^2 / 2 \times \rho$$

$$= 0.03 \times (0.5/0.24 + 3.2/0.34 + 4/0.59) \times (10 \times 10 \times /2) \times 273 \times (273 + 400)$$

$$= 9.925 \text{ Pa}$$

烟囱阻力忽略不计(可由本身几何压头来克服).

$$\therefore \text{风机应克服总阻力 } h_{总} = h_i + h_g + h_e + h_f = 254.2 \text{ Pa}$$

9.4 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:

$$H = (1 + 0.5) \times 254.2 = 381.3 \text{ Pa}.$$

流量取储备系数为 1.5, 风机排出烟气平均温度 250℃

$$\therefore Q = 1.5 \times 3613.23 \times (273 + 250) / 273 = 10383.1 \text{ m}^3 / \text{h}.$$

选用风机应考虑窑炉有空气、其它气体比例失调, 大量增加烟气体量, 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 Y4—73-14N₀12D 25.04kw 耐磨离心锅炉引风机.

表 11 排烟风机

型号	转速 (r/min)	流量 (m ³ /h)	全压 (Pa)	所需 功率 (kw)	电动机		联轴器(1套)			底脚 垫板 部
					型号	功率	F2508 A	风机 轴	电动 机轴	
Y4— 73-14N ₀ 12D	960	62973	857	25.04	Y225M-6	30	5-75 ×55	75	55	-004

9.5 天然气输送管径的计算

① 燃料总管

天然气的流量为：282.4m³/h，取天然气在总管中的流速为：2m/s，
总管选用一根管子，那么总管的内径为：

$$d_{\text{总}} = \sqrt{\frac{4x}{3600 \times \pi \omega}} = \sqrt{\frac{4 \times 164.8}{3600 \times 3.14 \times 2}} = 0.17 \text{ m},$$

$$d_{\text{总}} = \sqrt{\frac{4x}{3600 \pi \omega}} = \sqrt{\frac{4 \times 282.4}{3600 \pi \omega}} = 0.223, \text{ 总管内径取值：250mm}。$$

② 窑顶、窑侧的分管尺寸

气体在金属分管中流速，根据经验数据取 $\omega = 4\text{m/s}$ ，

$$\text{内径 } d_{\text{分}} = \sqrt{\frac{4x}{3600 \pi \omega}} = \sqrt{\frac{4 \times 282.4}{3600 \times 3.14 \times 4 \times 20}} = 0.064\text{m}, \text{ 分管内径取值：64mm}$$

③ 通往烧嘴的天然气支管内径计算

窑体共安装了 156 个烧嘴，天然气支管总共有 152 根，而流速取 $\omega = 8\text{m/s}$

$$\text{内径 } d_{\text{支}} = \sqrt{\frac{4x}{3600 \pi \omega}} = \sqrt{\frac{4 \times 282.4}{3600 \times 3.14 \times 8 \times 152}} = 0.052\text{m}$$

考虑到在实际操作中有些烧嘴是关闭的所以分管内径取值：50mm

9.6 助燃风管的计算

助燃风量： $V_a = 9.43 \times 282.4 = 2654.56 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

实际助燃风量 $V = 2654.56 \times (273+20)/273 = 2849 \text{ m}^3/\text{h}$

① 助燃风总管内径的确定

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

$$d_{\text{总}} = \sqrt{4 \times 2849 / (3600 \pi \omega)} = 0.396\text{m}, \text{ 取助燃风总管的内径为 400mm}。$$

② 窑顶、窑底分管内径

取 $\omega = 8\text{m/s}$, $n=4$, 分管流量为：2849/4=712.25m³/h

$$d_{\text{分}} = \sqrt{4 \times 712.25 / (3600 \pi \omega)} = 0.177\text{m}, \text{ 取分管内径为 200mm}。$$

③ 助燃风管通往烧嘴的支管的内径

全窑总共有烧嘴 152 个，因此通往烧嘴的支管 152 根，取流速 ω

=10m/s, n=152 , 每个分管流量为 : $2849/152=18.74\text{m}^3/\text{h}$,
 则: $d_{\text{支}} = \sqrt{4 \times 18.74 / (3600\pi \omega)} = 0.026$, 取支管内径为 50mm。

9.7 冷却带风管计算

冷却带窑尾鼓入冷风总量为 $28240.27\text{m}^3/\text{h}$

1) 缓冷抽热总管的确定

① 缓冷抽热总管内径

鼓入风量 $V_x = 28240.27\text{m}^3/\text{h}$, 故抽出热风 $V = 28240.27\text{m}^3/\text{h}$.

取 $\omega = 10\text{m/s}$, $n=1$, 则:

$$d_{\text{总}} = \sqrt{4 \times 28240.27 / (3600\pi \omega)} = 0.999\text{m}, \text{取 } 1000\text{mm}.$$

② 抽热分管的内径

共设置了 (6 个抽风口, 6 根抽风分管), 取 $\omega = 10\text{m/s}$, $n=6$, 每个分管的流量为: $28240.27/6=4706.71\text{m}^3/\text{h}$, 则:

$$d_{\text{分}} = \sqrt{4 \times 4706.71 / (3600\pi \omega)} = 0.408\text{m}, \text{取 } 410\text{mm}.$$

③ 抽热支管的内径

取 $\omega = 10\text{m/s}$, $n=12$, 每个分管的流量为: $28240.27/12=2353.36\text{m}^3/\text{h}$, 则:

$$d_{\text{支}} = \sqrt{4 \times 2353.36 / (3600\pi \omega)} = 0.288\text{m}, \text{取 } 290\text{mm}.$$

2) 急冷风管内径的确定

① 急冷风总管内径的确定

取风在总管中的流速 $\omega = 10\text{m/s}$, $V_{\text{急}} = 9412.48\text{m}^3/\text{h}$ 则:

$$d_{\text{总}} = \sqrt{4 \times 9412.48 / (3600\pi \omega)} = 0.68, \text{取 } 700\text{mm}.$$

② 急冷风分管内径

取 $\omega = 10\text{m/s}$, $n = 2$, 每个分管的流量为: $9412.48/2 = 4706.24\text{m}^3/\text{h}$, 则:

$$d_{\text{分}} = \sqrt{4 \times 4706.24 / (3600\pi \omega)} = 0.268\text{m}, \text{取 } 270\text{mm}.$$

③ 急冷支管

急冷支管上下交错排列, 共 72 根, 取 $\omega = 12\text{m/s}$,

$$\text{则: } d_{\text{支}} = \sqrt{4 \times 9412.48 / (3600\pi \omega)} = 0.082\text{m}, \text{取 } 82\text{mm}.$$

每根管上开 20 个孔, 取 $\omega = 12\text{m/s}$, $n = 54 \times 20 = 1080$, 流过每个孔的流量为:

$9412.48/1080 = 8.72\text{m}^3/\text{h}$, 则: 孔径 $d_{\text{孔}} = \sqrt{4 \times 8.72 / (3600\pi \omega)} = 0.016\text{m}$, 孔径取 20mm。

3) 快冷带鼓入冷风量
快冷带鼓入冷风量 $V=18827.79\text{m}^3/\text{h}$ 。

9.8 助燃风机的选型

助燃风机的风量为 $V =13.706\times 13.706\times 282.4= 3870.57\text{m}^3/\text{h}$, 依据风量选用风机的型号为:E150-6|0.865 高压离心通风机。

表 13 助燃风机的选型

型号	转速 (r/min)	流量 m^3/h	全压 (Pa)	所需 功率 (kw)	电动机		联轴器 GB4323-84 (1 套)
					型号	功率	
E150-6 0 .865	3000	9000	14021	75.9	Y315S -2	110	TL8 $\frac{65\text{U}42}{65\text{U}42}$ (200-65×65)

地脚螺栓 GB799—88 (4 个)	螺母 GB6170~6171—86 (4 个)	垫圈 GB96—85 (4 个)
M24×630	M24	M24

9.9 急冷风机的选型

急冷风机的风量为： $V_x=9412.48\text{m}^3/\text{h}$, 依据风量选用风机的型号为:9-26-N \underline{Q} 14D271.5kw 高压离心通风机。

表 14 急冷风机的选型

型号	转速 r/min	流量 m^3/h	全压 (Pa)	所需 功率 (kw)	电动机		联轴器 GB4323-84 (1 套)
					型号	功率	
9-26-N \underline{Q} 16 D168.2kw	960	64032	64811	168.2	Y355M 1-6	185	TL11 $\frac{100\text{U}215}{95\text{U}75}$ (350-95×90)

表 15 急冷风机的选型

地脚螺栓 GB799—88 (4 个)	螺母 GB6170~6171—86 (4 个)	垫圈 GB96—85 (4 个)
M24×630	M24	M24

9.10 缓冷抽热风机的选型

缓冷段抽出热风总量 $V = 28240.27 \text{ m}^3/\text{h}$,

所以排烟风机选用 Y4—73-14N₀12D 25.04kw 耐磨离心锅炉引风机。

表 16 缓冷抽热风机的选型

型号	转速 (r/min)	流量 (m ³ /h)	全压 (Pa)	所需 功率 (kw)	电动机		联轴器(1 套)			底 脚 垫 板 部
					型号	功 率	F2508 A	风 机 轴	电 动 机 轴	
Y4— 73-14N ₀ 12D	960	62973	857	25.04	Y225M-6	30	5-75 ×55	75	55	-0 04

10.参考文献

- [1] 孙晋涛等. 硅酸盐工业热工过程及设备（上册）. 第二版. 北京：中国建筑工业出版社，1985
- [2] 刘振群. 陶瓷热工设备. 第一版. 武汉：武汉工业大学出版社，1989
- [3] 马育才等. 辊道窑. 第一版. 北京：中国建筑出版社，1983
- [4] 胡国林. 窑炉砌筑与安装，景德镇陶瓷学院教材，1992
- [5] 司权. 大型油烧半隔焰辊道窑的研究. 广东陶瓷，1990
- [6] 胡国林. 辊道窑结构优化的探讨. 中国陶瓷工业. 1994
- [7] 陈立骏. 纤维耐火保温材料节能效果分析及选材原则. 中国陶瓷，1995