

景德镇陶瓷学院科技艺术学院

本科生毕业论文（设计）

题目：年产 100 万平方米外墙砖 0#柴油辊道窑
设计

学 号：201030453145

姓 名：严少华

院（系）：科技艺术学院

专 业：热能与动力工程

指导教师：蒋方乐

完成日期：2014 年 5 月 28 日

摘要

本设计说明书是对所设计的年产量 100 万平方米外墙砖 0#柴油辊道窑加以说明。说明书中具体论述设计时考虑的因素，诸如：窑体结构、排烟系统、烧成系统和冷却系统等等。对窑体材料的选用、热平衡、管路传动设计等进行了详细的计算及运用 C A D 制图工具进行了绘制。

本次设计窑炉的燃料为 0#柴油，柴油在入窑前用空气压缩机，通过烧嘴将柴油喷入窑内，燃烧在烧成方式上采用明焰裸烧的方法。既提高了产品的质量又节约了能源，用棍棒运输可减少窑外装卸窑(制品)保证窑炉连续性作业操作方便。同时具有很高的自动化控制水平。

本说明书内容包括：工作系统、工程材料、风机的型号、窑体材料的确定及燃料燃烧计、热平衡、传动、窑体主要尺寸、管道尺寸、阻力的计算。

关键词：辊道窑 外墙砖 0 # 柴油

ABSTRACT

The design specification is described for the design of the annual output of 1000000 square meters outside the wall of the roller kiln. Considering the factors, discusses the design specification of such as: the kiln structure, exhaust system, burning system and the cooling system etc..Selection of materials, the kiln body heat balance, the pipeline design of transmission were calculated by using CAD with and drawing tools to draw.

The design of furnace fuel for 0# diesel, diesel air compressor used in the kiln, the diesel spray into the kiln through the burner, combustion method using open flame burning in the bare firing mode. Not only improves the product quality and saving energy, transportation can be reduced with clubs outside the kiln kiln kiln (products) to ensure the loading and unloading of continuous operation is convenient. At the same time with a very high level of automation control.

The instructions include: work system, engineering materials, type of blower, kiln materials and fuel combustion, heat balance, the transmission, the kiln body size, line size, resistance calculation.

Keywords: Roller kiln Wall brick 0 diesel

目录

摘要	i
ABSTRACT.....	ii
目录	I
1 前 言	1
2 设计任务及原始资料	2
3 窑体主要尺寸的确定	3
3.1 进窑砖坯尺寸	3
3.2 内宽的确定	3
3.3 窑长及各带长度的确定	4
3.3.1 窑体长度的确定	4
3.3.2 窑体各带长度的确定.....	4
3.4 窑内高的确定	5
4 烧成制度的确定	5
4.1 温度制度	5
5 工作系统的确定	6
5.1 排烟系统	6
5.2 燃烧系统	6
5.3 冷却系统	7
5.3.1 急冷通风系统	7
5.3.2 缓冷通风系统	7
5.3.3 快冷通风系统	7
5.4 传动系统	8
5.4.1 辊子材质的选择	8
5.4.2 辊子直径与长度的确定.....	8
5.4.3 辊距的确定	8
5.4.4 传动系统的选择	8
5.4.5 传动过程	9
5.4.6 传动过程联接方式	9
5.5 窑体附属结构	9
5.5.1 事故处理孔	9
5.5.2 测温孔及观察孔	10
5.5.3 膨胀缝	10
5.5.4 窑道档板和挡火墙	10
5.6 窑体加固钢架结构形式	10
6 燃料燃烧计算	11
6.1 空气量的计算	11
6.1.1 理论空气量的计算	11
6.1.2 实际空气量的计算	11
6.2 烟气量的计算	11
6.3 燃烧温度的计算	11
7 窑体材料的确定	12
8 热平衡计算	13

8.1 预热带及烧成带热平衡计算	13
8.1.1 热平衡计算基准及范围	13
8.1.2 热平衡框图	13
8.2 热收入项目	14
8.2.1 坯体带入显热 Q_1	14
8.2.2 燃料带入化学热及显热 Q_f	14
8.2.3 助燃空气带入显热 Q_a	14
8.2.4 漏入空气带入显热 Q_a'	14
8.3 热支出项目	15
8.3.1 产品带出显热 Q_2	15
8.3.2 通过窑体散热损失 Q_3	15
8.3.3 物化反应耗热 Q_4	20
8.3.4 窑废气带走显热 Q_g	21
8.3.5 其它热损失 Q_5	21
8.4 列出热平衡方程式	21
8.5 预热带与烧成带的热平衡表	21
9 冷却带风量的计算	22
9.1 热平衡计算基准及范围	22
9.2 热平衡框图	22
9.3 热收入项目	23
9.3.1 产品带入显热 Q_2	23
9.3.2 冷却风带入显热 Q_6	23
9.4 热支出项目	23
9.4.1 制品带走显热 Q_7	23
9.4.2 从窑道内抽出热空气带走显热 Q_8	23
9.4.3 窑体的散热 Q_9	23
9.4.4 从间壁冷却风管抽出热风带走显热 Q_{10}	31
9.4.5 其它热损失 Q_{11}	32
9.5 列出热平衡方程	32
9.6 冷却带热平衡表	32
10 排烟管道尺寸、阻力的计算	33
10.1 排烟管道尺寸	33
10.2 总烟管尺寸	33
10.3 分烟管尺寸	33
10.4 支烟管尺寸	34
10.5 阻力计算	34
10.6 风机的选型	35
11 致 谢	36
12 参考文献	37

1 前 言

随着经济不断发展，人民生活水平的不断提高，陶瓷工业在人民生产、生活中都占有重要的地位。陶瓷的发展与窑炉的改革密切相关，一定结构特点的窑炉烧出一定品质的陶瓷。因此正确选择烧成窑炉是获得性能良好制品的关键。

陶瓷窑炉可分为两种：一种是间歇式窑炉，比如梭式窑；另一种是连续式窑炉，比如辊道窑。辊道窑由于窑内温度场均匀，从而保证了产品质量，也为快烧提供了条件；而辊道窑中空、裸烧的方式使窑内传热速率与传热效率大，又保证了快烧的实现；而快烧又保证了产量，降低了能耗。产品单位能耗一般在 $2000 \sim 3500 \text{ KJ/Kg}$ ，而传统隧道窑则高达 $5500 \sim 9000 \text{ KJ/Kg}$ 。所以，辊道窑是当前陶瓷工业中优质、高产、低消耗的先进窑型，在我国已得到越来越广泛的应用。

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。

我设计的辊道窑是连续式窑。窑炉总长 90.6 米，内宽 2.3 米，烧成温度是 1150 摄氏度。燃料采用 0#柴油。我设计的辊道窑，窑体趋向轻型化，燃料清洁化，烧成质量好，产量高，年产量达 100 万平方米。全窑采用新型耐火材料，改善了窑炉的保温性。

2 设计任务及原始资料

任务书

院(系) 工程系

2013 年 12 月 2 日

专业	热能工程	班级	热工 2010 级														
学生姓名	严少华	指导教师	蒋方乐														
题目	年产 100 万平方米外墙砖油烧辊道窑设计																
<p>主要研究内容和设计技术参数:</p> <p>1、坯料组成: (%)</p> <table border="1"> <tr> <td>SiO₂</td><td>Al₂O₃</td><td>CaO</td><td>MgO</td><td>Fe₂O₃</td><td>K₂O+Na₂O</td><td>灼减</td></tr> <tr> <td>72.1</td><td>16.78</td><td>2.88</td><td>1.54</td><td>0.96</td><td>0.53</td><td>5.21</td></tr> </table> <p>2、入窑水分: <1.5%</p> <p>3、产品合格率: 95%</p> <p>4、烧成周期: 60 分钟(全氧化气氛)</p> <p>5、最高烧成温度: 1150°C</p> <p>6、产品规格: 300×300×9 (mm) 单件质量: 1.74Kg/件</p> <p>7、燃料: 0#轻柴油</p> <p>8、年工作日: 300 天</p>				SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O+Na ₂ O	灼减	72.1	16.78	2.88	1.54	0.96	0.53	5.21
SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O+Na ₂ O	灼减											
72.1	16.78	2.88	1.54	0.96	0.53	5.21											
<p>基本要求(含成果要求):</p> <p>1、设计结构合理, 计算正确;</p> <p>2、制图规范, 图面整洁, 图纸齐全(窑体结构、管路、钢架、传动、异型砖等);</p> <p>3、说明书完整, 详细;</p> <p>符合计算机绘图, 外文翻译等毕业设计要求。</p>																	
<p>工作进度计划:</p> <p>第 5 周 查阅资料, 并完成文献综述</p> <p>第 6~7 周 完成设计计算</p> <p>第 8~12 周 完成设计绘图</p> <p>第 13~14 周 编写设计说明书。</p>																	

设计原始材料收集如下:

- 1、产量: 年产 100 万 m^2 外墙砖
- 2、产品规格: $300 \times 300 \times 9\text{mm}$, 单件质量: 1.74 kg/件
- 3、年工作日: 300 天
- 4、燃料: 0#柴油 ($Q_{\text{net}}=41800\text{KJ}/\text{Nm}^3$)

表 2-1: 燃料组成 (%)

0#柴油	C	H	O	N	S	M	A
含量	85.6	13.4	0.68	0.06	0.25	0	0.01

- 5、入窑水份: $<1.5\%$

- 6、坯料组成 (%):

表 2-2: 坯料组成 (%)

SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	Fe_2O_3	$\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$	I. L
72.1	16.78	2.88	1.54	0.96	0.53	5.21

- 7、最高烧成温度: 1150°C

- 8、产品合格率: 95%

- 9、烧成制度

- (1). 温度制度: 烧成周期: 60 分钟 (全氧化气氛)
- (2). 气氛制度: 全窑氧化气氛
- (3). 压力制度: 预热带负压操作 $-40 \sim -25\text{Pa}$, 烧成带微正压 $<8\text{Pa}$, 冷却带正压

3 窑体主要尺寸的确定

3.1 进窑砖坯尺寸

产品规格: $300 \times 300 \times 9\text{mm}$,

产品宽度 300mm, 考虑制品的收缩率为 10%。则:

由坯体尺寸=产品尺寸 \div (1-烧成收缩)= $300 \div (1-10\%) \approx 333\text{mm}$ 。

3.2 内宽的确定

现在的棍棒等材料性能的提高, 且辊道大多采用吊顶结构, 所以此次设计成宽体辊

道窑。再根据产量,所用的燃料(0#柴油)等因素,所以暂定窑内宽 B。而坯体离窑墙内壁一般有 100~200mm 间隙,取 120mm。根据了解,横向的坯体是紧贴在一起,并没有留太大的间隙。所以内宽等于砖坯尺寸×每排片数+砖坯离窑内壁的间距。宽度方向坯体排列的块数为: $n=6$, 则窑内宽:

$B=333.3 \times 6 + 130 \times 2 + 20 \times 2 \approx 2300\text{mm}$ 最后,确定窑内宽 B 取 2300mm 即 2.3m。

3.3 窑长及各带长度的确定

3.3.1 窑体长度的确定

每一窑进入生坯的量= (年产量×烧成周期) ÷ [年工作日×24×产品合格率]

$$= (1000000 \times 60 / 60) \div (300 \times 24 \times 95\%)$$

$$= 146.1988 (\text{m}^3 / \text{窑})$$

装窑密度=每米排数×每排片数×每片砖面积

$$= (1000 \div 333.3) \times 6 \times (0.3 \times 0.3)$$

$$= 1.62 (\text{m}^2 / \text{每米窑长})$$

窑长=窑炉每小时进入生坯÷装窑密度

$$= 146.1988 \div 1.62$$

$$= 90.246 (\text{m})$$

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= $90.246 \div 2.108 = 42.78937$ 节,取整为 43 节。

所以算出窑长为 $L = 43 \times 2108 = 90644\text{mm} = 90.6\text{m}$

3.3.2 窑体各带长度的确定

预热带占全窑总长的 30.1%,节数= $43 \times 30.1\% = 12.943$,取 13 节

长度= $13 \times 2108 = 27300\text{mm}$;

烧成带占全窑总长的 24.4%,节数= $43 \times 24.4\% = 10.492$,取 10 节

长度= $12 \times 2108 = 21000\text{mm}$;

冷却带占全窑总长的 45.5%,节数= $43 \times 45.5\% = 19.565$,取 20 节

长度= $20 \times 2108 = 42000\text{mm}$ 。

3.4 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，考虑到外墙砖的高度小，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，故根据辊道窑实际状况来看取辊下高 400mm。

表 3-1 窑内高度

	1-13 节	14-23 节	24-43 节
辊上高 (mm)	300	360	300
辊下高 (mm)	400	460	400
内总高 (mm)	700	820	700

4 烧成制度的确定

4.1 温度制度

①烧成周期：60min

②各带划分：

表 4-1 各段温度的划分、升温速率与窑节数分布

名称	单元节	温度/℃	时间/min	升降温速率/℃·min ⁻¹
预热带	1~4	20~250	5.58	41.22
	5~8	250~600	5.58	62.72
	9~13	600~900	6.97	43.04
烧成带	14~18	900~1000	6.97	14.34
	19~23	1000~1150	8.39	18.87
冷却带	24~27	1150	4.18	0
	28~32	1150~550	6.97	86.08

	33~37	550~250	6.97	43.04
	38~43	250~80	8.39	20.26

(2) 气氛制度：全窑氧化气氛

(3) 烧成温度曲线大致如下：

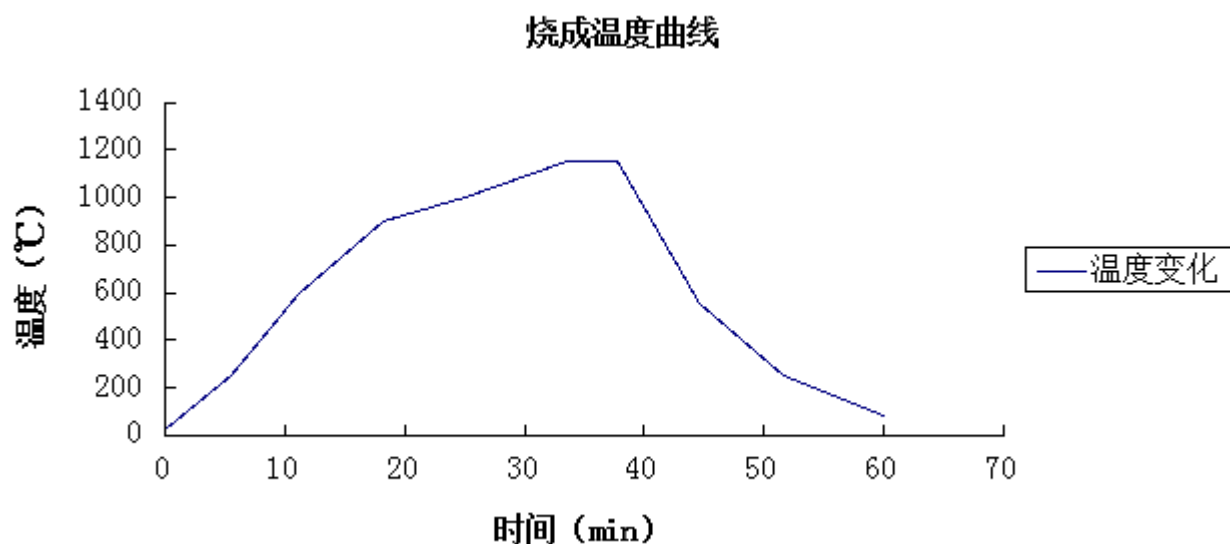


图 4—2 烧成温度曲线

5 工作系统的确定

辊道窑的工作系的确定，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 2.4.6 节，每节上下各 3 对直径为 200mm 的圆形排烟口直通窑体外，排烟口设在距每节窑头 1054mm 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 0#柴油作燃料，所以采用全部喷入窑道内燃烧的方式，仅通过烧嘴砖的燃烧道中空部分燃烧，而不另设燃烧室，并在辊子上下各设一层烧嘴，同一层烧嘴两侧交错布置，同一侧烧嘴上下交错布置。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。

本设计在预热带后部与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 11 节设置 2 对烧嘴, 只设置于辊下。在第 12-23 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 90 对烧嘴。

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

从烧成最高温度至少 700°C 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 $60\sim 80\text{mm}$ 。

本设计也采用直接吹风冷却, 在第 25—30 节设置 7 根 $\Phi 80$ 急冷风管, 上下管布置在同一断面并横穿过窑内, 每根风管的窑内部分均匀开 80 个 $\Phi 10$ 圆孔。

5.3.2 缓冷通风系统

在第 36—40 的每节辊上安装 12 根 1.2mm 厚 $\Phi 60$ 的薄壁耐热钢管做间接冷却, 换热管一端敞开做吸风口, 另一端接抽热风管, 通向余热风机。在 32—34 节窑的顶部设置 6 个圆形抽热风口, 直径为 250mm 。缓冷换热和抽热共用一台风机。

5.3.3 快冷通风系统

窑尾采用直接吹冷风冷却产品。在窑炉最后 2 节两侧安装轴流风扇, 每节窑顶、窑底各设 4 台轴流风扇, 上下对制品强制冷却。

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：

表 5—1：辊子的选材

低温段（20℃～250℃）	无缝钢管辊棒
中温段（200℃～500℃和 450℃～80℃）	耐热高铝瓷棒
高温段（500℃～1150℃和 1150℃～450℃）	莫来石-刚玉质陶瓷辊棒

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 2700mm。

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 $H = \frac{1}{5} \times L = \frac{1}{5} \times 600 = 120mm$ ，因此，本设计确定辊距为 120mm，每节窑为 $2108/120=17.57$ 根，取 18 根。

则：棍子总数= $18 \times 43=774$ 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，当处理打绞、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。

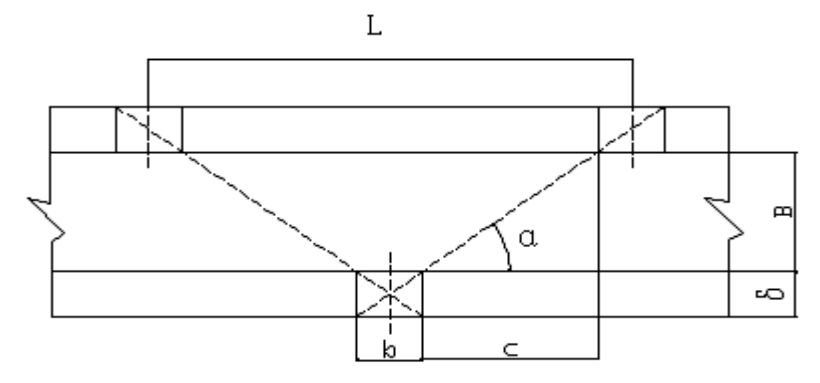


图 5—2：事故处理孔的布置

由上图知：
$$\cot \alpha = \frac{b}{\delta} = \frac{c}{B}$$

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

则：
$$L = 2(b + c) = 2b \frac{1+B}{\delta} = 2 \times 0.4 \times \frac{1+2.3}{0.31} = 8.52\text{m}$$

∴ 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: $400 \times 130\text{mm}$, 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

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。本设计在 1-13、24-43 奇数节设置热电偶和 13-23 节设置直径为 $\Phi 40\text{mm}$ 测温孔。

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, 内填矿渣棉, 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 2 对闸板和挡火墙结构, 分别在 13-14 节、23-24 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 $2.5t \times 75 \times 50mm$ 方钢、上横梁用 $2.3t \times 50 \times 50mm$ 方钢、下梁用 $2.5t \times 100 \times 50mm$ 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。

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 $Q_d = 41800 \text{ KJ/Nm}^3$

根据热工手册公式计算理论空气量: $L_0 = 0.203Q_d / 1000 + 2 = 10.48 (\text{Nm}^3 / \text{Nm}^3)$

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 $\alpha = 1.3$,则实际空气需要量为:

$$L_a = L_0 \times 1.3 = 13.63 (\text{Nm}^3 / \text{Nm}^3)$$

6.2 烟气量的计算

根据经验公式计算实际烟气量为:

$$V_g = 0.27Q_d / 1000 + \alpha (L_a - L_0) = 15.39 (\text{Nm}^3 / \text{Nm}^3)$$

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 $c_a = 1.3 \text{ KJ} / (\text{Nm}^3 \cdot ^\circ\text{C})$

0#柴油比热为 $c_r = 1.84 \text{ KJ} / (\text{Nm}^3 \cdot ^\circ\text{C})$, $t_a = t_r = 20^\circ\text{C}$

现设 $t_{th} = 1700^\circ\text{C}$, 燃烧产物温度:

$$c_g = 1.424 + 0.000105t = 1.424 + 0.000105 \times 1700 = 1.6025 (\text{KJ} / \text{Nm}^3)$$

则理论燃烧温度为:

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

$$t_{th} = \frac{41800 + 1.84 \times 20 + 1.32 \times 20 \times 13.63}{15.39 \times 1.67} = 1755.72^\circ\text{C}$$

$(1755.72-1700)/1700 < 5\%$, 所设温度合理。

取高温系数为 0.85, 则实际温度为:

$t = 0.85 \times 1700 = 1445^\circ\text{C}$, 比最高烧成温度 1150 高出 295 $^\circ\text{C}$, 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)

1-13、23-43 节					
名称		材质	使用温度($^\circ\text{C}$)	导热系数 $[\text{W}/(\text{m}\cdot^\circ\text{C})]$	厚度 (mm)
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	硅酸铝耐火纤维束	1150	0.1~0.3	150
窑墙	耐火层	莫来石轻质高铝砖	1600 $^\circ\text{C}$	$0.310+0.176\times 10^{-3}t$	230
	隔热层	硅酸铝耐火纤维束	1350	0.1~0.3	120
窑底	耐火层	莫来石轻质高铝砖	1600 $^\circ\text{C}$	$0.310+0.176\times 10^{-3}t$	230
	隔热层	硅酸铝耐火纤维束	1350	0.1~0.3	100
	膨胀层	硅藻土砖	900	$0.063+0.14\times 10^{-3}t$	130

表 7-1 窑体材料和厚度表 (2)

14-22 节					
名称		材质	使用温度($^\circ\text{C}$)	导热系数 $[\text{W}/(\text{m}\cdot^\circ\text{C})]$	厚度 (mm)
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	硅酸铝耐火纤维束	1150	0.1~0.3	150
窑墙	耐火层	莫来石轻质高铝砖	1600 $^\circ\text{C}$	$0.310+0.176\times 10^{-3}t$	230
	隔热层	硅酸铝耐火纤维束	1350	0.12	120
窑底	耐火层	莫来石轻质高铝砖	1600 $^\circ\text{C}$	$0.310+0.176\times 10^{-3}t$	130
	隔热层	硅藻土砖	900	$0.063+0.14\times 10^{-3}t$	130
	膨胀层	硅酸铝耐火纤维束	1350	0.1~0.3	100

8 热平衡计算

热平衡计算包括预热带、烧成带热平衡计算和冷却带热平衡计算。热收入计算从一节开始计算坯体带入显热,从第一节开始计算烟气温度值计算烟气带走显热。预热带热平衡计算的目的在于求出燃料消耗量,冷却带热平衡计算,目的在于计算出冷空气鼓入量和热风抽出量。另外,通过热平衡计算可以看出窑炉的工作系统结构等各方面是否合理,哪项热耗最大,能否采取改进措施。

8.1 预热带及烧成带热平衡计算

8.1.1 热平衡计算基准及范围

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

8.1.2 热平衡框图

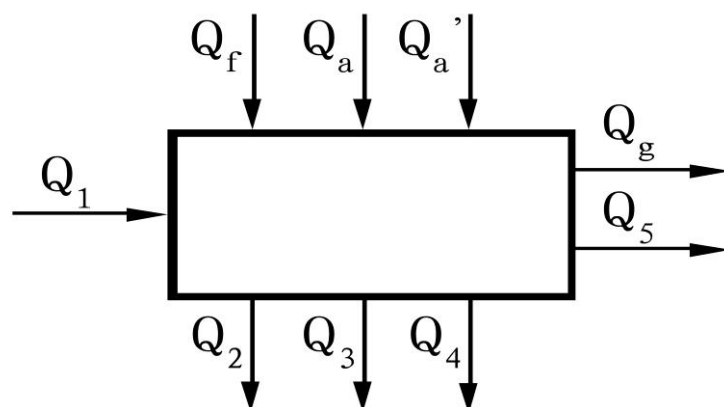


图 8-1 预热带和烧成带热平衡示意图

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

8.2 热收入项目

热收入计算从一节开始计算坯体带入显热。

8.2.1 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)。

$$\text{入窑干制品质量 } G_r = \frac{1000000}{300 \times 24 \times 95\%} \times \frac{1.74}{0.3 \times 0.3} = 2826.51 \text{ (kg/h)}$$

取烧成灼减量 5.21%，入窑制品含自由水 1.5%

$$\text{入窑坯体质量 } G_1 = \frac{2826.51}{(1-5.21\%) \times (1-1.5\%)} = 3027.274 \text{ (kg/h)}$$

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

则坯体带入显热为： $Q_1 = G_1 c_1 t_1 = 3027.27 \times 0.86 \times 20 = 52069.118 \text{ (KJ/h)}$

8.2.2 燃料带入化学热及显热 Q_f

0#柴油低热值 $Q_{\text{net}} = 41800 \text{ (kJ/Nm}^3\text{)}$

入窑 0#柴油温度 $t_f = 20^\circ\text{C}$ ，20°C 时 0#柴油 $c_1 = 1.84 \text{ kJ/(Nm}^3 \cdot ^\circ\text{C)}$

设 0#柴油消耗量为 $X \text{ (m}^3\text{/h)}$

$$Q_f = X(Q_{\text{net}} + c_f t_f) = X(41800 + 1.84 \times 20) = 41836.80X \text{ (KJ/h)}$$

8.2.3 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 $V_a = 13.47X \text{ (Nm}^3\text{/h)}$

$$\text{所以 } Q_a = V_a t_a c_a X = 13.47 \times 1.30 \times 20X = 350.22X \text{ (KJ/h)}$$

8.2.4 漏入空气带入显热 Q_a'

取预热带漏入空气过剩系数 $a_g = 2.0$ ，漏入空气温度 $t_a = 20^\circ\text{C}$ ，空气比热容 $c_a = 1.30 \text{ kJ/}$

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

$$\text{漏入空气总量: } V_a = X(a_g - \alpha) V_a^0 = X(2.0 - 1.3) \times 10.36 = 7.25X (\text{m}^3/\text{h})$$

$$\text{所以 } Q_a = V_a t_a c_a = 7.25X \times 1.3 \times 20 = 188.55X (\text{KJ/h})$$

8.3 热支出项目

8.3.1 产品带出显热 Q_2

$$\text{烧成产品质量 } G_3 = 2826.51 (\text{Kg/h})$$

出烧成带产品温度 $t_2 = 1150^\circ\text{C}$, 由表可知, 此时产品平均比热为: $1.14 \text{KJ}/(\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C})$

$$\text{所以 } Q_2 = G_3 c_2 t_2 = 2826.51 \times 1150 \times 1.14 = 3705554.61 (\text{KJ/h})$$

8.3.2 通过窑体散热损失 Q_3

将计算分为 2 部分, 即第 6~13 节: $500\sim 900^\circ\text{C}$, 取平均值 700°C ; 第 14~27 节: $900\sim 1150^\circ\text{C}$ 取平均值为 1025°C 。

i 第 5~11 节: 窑外壁表面平均温度 40°C , 窑内壁平均温度 700°C

a. 窑顶

表 8-1 窑顶

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

所用材料的导热系数:

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

$$\text{硅酸盐耐火纤维束: } 0.1 \sim 0.3$$

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

$$\text{窑内壁平均壁温 } t_1 = \frac{500 + 900}{2} = 700^\circ\text{C}$$

$$\text{莫来石轻质高铝砖 } \lambda_1 = 0.31 + 0.176 \times 10^{-3} \times 700 = 0.433 \text{W}/\text{m} \cdot ^\circ\text{C}$$

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

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

窑外壁表面平均温度 $t_a=40^{\circ}\text{C}$

平均热流密度:

$$q = \frac{\frac{t_1 - t_a}{\delta_1} + \frac{700 - 40}{\frac{0.23}{0.433} + \frac{0.15}{0.2}}}{\lambda_1 + \lambda_2} = 515.15 \text{ (W/m}^2\text{)}$$

窑顶散热面积:

$$A_{\text{顶}} = [2.3 + 2 \times (0.23 + 0.15)] \times 2.1 \times 8 = 51.408 \text{ m}^2$$

$$\text{则 } Q_{\text{顶}} = q A_{\text{顶}} = 515.15 \times 51.408 \times 3.6 = 95338.19 \text{ kJ/h}$$

b. 窑墙

表 8-2 窑墙

窑	耐火层	莫来石轻质高铝砖	1600 $^{\circ}\text{C}$	0.310+0.176 $\times 10^{-3}\text{t}$	230
墙	隔热层	硅酸盐耐火纤维束	1350	0.1~0.3	120

所用材料的导热系数:

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

硅酸盐耐火纤维束: 0.1~0.3

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

$$\text{窑内壁平均壁温 } t_1 = \frac{500 + 900}{2} = 700^{\circ}\text{C}$$

$$\text{莫来石轻质高铝砖 } \lambda_1 = 0.31 + 0.176 \times 10^{-3} \times 700 = 0.433 \text{ W/m} \cdot ^{\circ}\text{C}$$

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

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

平均热流密度:

$$q = \frac{\frac{t_1 - t_a}{\delta_1} + \frac{700 - 40}{\frac{0.23}{0.433} + \frac{0.12}{0.2}}}{\lambda_1 + \lambda_2} = 584.07 \text{ (W/m}^2\text{)}$$

窑墙散热面积:

$$A_{\text{墙}} = 0.7 \times 2.1 \times 8 = 11.76 \text{ m}^2$$

$$\text{则 } Q_{\text{墙}} = 2qA_{\text{墙}} = 2 \times 584.07 \times 11.76 \times 3.6 = 49454.37 \text{ (kJ/h)}$$

c. 窑底

表 8-3 窑底

窑底	耐火层	莫来石轻质高铝砖	1600℃	$0.310 + 0.176 \times 10^{-3} \text{ t}$	230
	隔热层	硅藻土砖	900	$0.063 + 0.14 \times 10^{-3} \text{ t}$	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： $0.310 + 0.176 \times 10^{-3} \text{ t}$

硅酸盐耐火纤维束：0.1~0.3

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

$$\text{窑内壁平均壁温 } t_1 = \frac{500 + 900}{2} = 700 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{莫来石轻质高铝砖 } \lambda_1 = 0.31 + 0.176 \times 10^{-3} \times 700 = 0.433 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$$

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

$$\text{硅藻土砖 } \lambda_3 = 0.063 + 0.14 \times 10^{-3} \times 700 = 0.161 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$$

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

平均热流密度：

$$q = \frac{\frac{t_1 - t_a}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3}}}{\frac{700 - 40}{\frac{0.23}{0.433} + \frac{0.1}{0.2} + \frac{0.13}{0.161}}} = 358.96 \text{ (W/m}^2\text{)}$$

$$\text{窑底散热面积: } A_{\text{底}} = 51.408 \text{ m}^2$$

$$\text{则 } Q_{\text{底}} = qA_{\text{底}} = 358.96 \times 51.408 \times 3.6 = 66432.31 \text{ (kJ/h)}$$

ii 第 12-22 节窑体散热计算如下：

取窑外壁温度 80℃, 窑内壁平均温度为 1025℃

d. 窑顶

表 8-4 窑顶

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

所用材料的导热系数:

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

硅酸盐耐火纤维束: 0.1~0.3

$$\text{窑内壁平均壁温 } t_1 = \frac{900+1150}{2} = 1025 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{莫来石轻质高铝砖 } \lambda_1 = 0.31+0.176 \times 10^{-3} \times 1025 = 0.4904 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$$

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

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

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

平均热流密度:

$$q = \frac{\frac{t_1 - t_a}{\delta_1 + \frac{\delta_2}{\lambda_2}}}{\frac{1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} = \frac{1025 - 80}{\frac{0.23}{0.493} + \frac{0.15}{0.2}} = 776.80 \text{ (W/m}^2\text{)}$$

窑顶散热面积:

$$A_{\text{顶}} = [2.3 + 2 \times (0.23 + 0.15)] \times 2.1 \times 12 = 77.112 \text{ m}^2$$

$$\text{则 } Q_{\text{顶}} = qA_{\text{顶}} = 776.80 \times 77.112 \times 3.6 = 215642.166 \text{ kJ/h}$$

e. 窑墙

表 8-5 窑墙

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

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 $t_1 = \frac{900+1150}{2} = 1025$ °C

莫来石轻质高铝砖 $\lambda_1 = 0.31+0.176 \times 10^{-3} \times 1065 = 0.493 \text{W/m} \cdot ^\circ\text{C}$

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

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

窑外壁表面平均温度 $t_a = 80^\circ\text{C}$

平均热流密度:

$$q = \frac{\frac{t_1 - t_a}{\delta_1} + \frac{t_1 - t_a}{\delta_2}}{\frac{1}{\lambda_1} + \frac{1}{\lambda_2}} = \frac{\frac{1025 - 80}{0.23} + \frac{1025 - 80}{0.12}}{\frac{1}{0.493} + \frac{1}{0.12}} = 644.38 \text{ (W/m}^2\text{)}$$

窑顶散热面积:

$$A_{\text{墙}} = 0.82 \times 2.1 \times 12 = 20.664 \text{m}^2$$

$$\text{则 } Q_{\text{墙}} = 2qA_{\text{墙}} = 2 \times 644.38 \times 20.664 \times 3.6 = 95871.37 \text{kJ/h}$$

f. 窑底

表 8-6 窑底

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

$$\text{窑内壁平均壁温 } t_1 = \frac{900 + 1150}{2} = 1025 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{莫来石轻质高铝砖 } \lambda_1 = 0.31 + 0.176 \times 10^{-3} \times 1065 = 0.493 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$\text{硅藻土砖 } \lambda_2 = 0.063 + 0.14 \times 10^{-3} \times 1025 = 0.2065 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$$

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

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

平均热流密度:

$$q = \frac{t_1 - t_a}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3}} = \frac{1025 - 80}{\frac{0.13}{0.493} + \frac{0.13}{0.209} + \frac{0.1}{0.2}} = 681.965 \text{ (W/m}^2\text{)}$$

$$\text{窑底散热面积: } A_{\text{底}} = 77.112 \text{ m}^2$$

$$\text{则 } Q_{\text{底}} = q A_{\text{底}} = 681.965 \times 77.112 \times 3.6 = 189315.71 \text{ (kJ/h)}$$

所以窑体总散热量为:

$$Q_3 = 95338.19 + 49454.37 + 66432.31 + 215642.166 + 95871.37 + 189315.71 \\ = 712054.116 \text{ (kJ/h)}$$

8.3.3 物化反应耗热 Q_4

i 自由水蒸发吸热 Q_w

$$\text{自由水质量 } G_w = G_1 - G_r = 3027.274 - 2826.51 = 200.76 \text{ (kg/h)}$$

$$\text{烟气离窑温度 } t_g = 200 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{所以 } Q_w = G_w (2490 + 1.93 t_g) = 200.76 \times (2490 + 1.93 \times 200) = 577385.76 \text{ (kJ/h)}$$

ii 其余物化反应耗热 Q_r

用 Al_2O_3 反应热近似代替物化反应热

$$\text{入窑干制品质量 } G_r = 2826.51 \text{ (kg/h)}, \text{ Al}_2\text{O}_3 \text{ 含量} = 16.78\%$$

$$Q_r = G_r \times 2100 \times \text{Al}_2\text{O}_3\% = 2826.51 \times 2100 \times 0.1678 = 996005.594 \text{ (kJ/h)}$$

总的物化反应耗热:

$$Q_4 = Q_w + Q_r = 577385.76 + 996005.594 = 1573391.354 \text{ (kJ/h)}$$

8.3.4 窑废气带走显热 Q_g

取窑烟气中空气过剩系数 $\alpha_s = 2.0$, 其体积流量为:

$$V_g = [V_{g0} + (\alpha_s - \alpha) L_o] X = [14.39 + (2.0 - 1.3) \times 10.36] X = 21.64X$$

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

$$Q_g = V_g t_g c_g = 21.64X \times 200 \times 1.445 = 6254.54X$$

8.3.5 其它热损失 Q_5

根据经验占热收入的 5%

$$\begin{aligned} Q_5 &= (Q_1 + Q_f + Q_a + Q'_a) \times 0.05 \\ &= (52069.118 + 41836.80X + 350.22X + 188.55X) \times 0.05 = 2603.456 + 2118.78X \end{aligned}$$

8.4 列出热平衡方程式

由热收入=热支出得:

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

$$\text{左边} = 52069.118 + 41836.80X + 350.22X + 188.55X$$

$$\text{右边} = 3705554.61 + 701157.466 + 1573391.3538 + 2603.456 + 2118.78X + 6254.54X$$

$$\text{计算得出 } x = 186.09 \text{ (Nm}^3/\text{h)}$$

即每小时需 0#柴油 $B = 186.09 \text{ (Nm}^3/\text{h)}$, 每小时烧成产品质量 $G = 2826.51 \text{ (Kg/h)}$

$Q_{DW} = 41800 \text{ KJ/Kg}$ 所以, 单位质量得产品热耗为:

$$B \cdot Q_{DW} / G = \frac{186.09 \times 41800}{2826.51} = 2752.002 \text{ (kJ/kg)}$$

8.5 预热带与烧成带的热平衡表

表 8—7 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	52069.12	0.63	产品带走显热	3705554.61	49.9
燃料化学显热	7785410.11	98.1	窑体散热	712054.12	8.9
助燃空气显热	65172.44	0.82	物化反应耗热	1573391.12	21.6
漏入空气显热	35087.27	0.45	其它热损失	396887.23	5.0
			烟气带走显热	1163907.35	14.6
总热量	7937738.94	100	总散热	7551794.43	100

9 冷却带风量的计算

9.1 热平衡计算基准及范围

时间基准：1h； 温度基准：0℃

9.2 热平衡框图

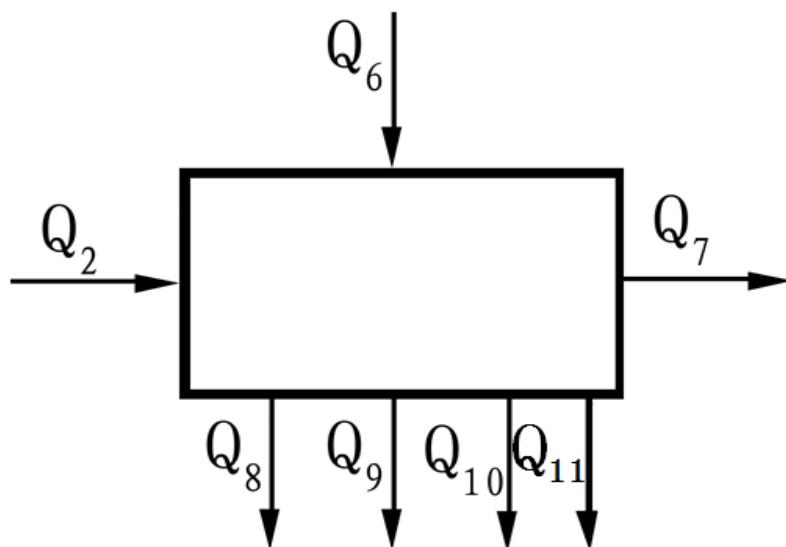


图 9—1 冷却带热平衡示意图

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

9.3 热收入项目

9.3.1 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:

$$Q_2 = 3705554.61 \text{ (KJ/h)}$$

9.3.2 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 $V_x \text{ m}^3/\text{h}$,

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

9.4 热支出项目

9.4.1 制品带走显热 Q_7

出窑时产品的质量 $G_3 = 2826.51 \text{ (Kg/h)}$, 出窑口温度 $t_7 = 80^\circ\text{C}$, 查表知此时温度下制品的平均比热为:

$$C_7 = 0.84 + 26 \times 10^{-5} \times t_7 = 0.84 + 26 \times 10^{-5} \times 80 = 0.8608 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$$

$$\text{则 } Q_7 = G_3 C_7 t_7 = 2826.51 \times 80 \times 0.8608 = 194644.785 \text{ kJ/h}$$

9.4.2 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: $c_8 = 1.32 \text{ kJ}/(\text{Nm}^3 \cdot ^\circ\text{C})$,

$$\text{则: } Q_8 = V_x C_8 t_8 = 200 \times 1.32 \times V_x = 264 V_x$$

9.4.3 窑体的散热 Q_9

i 在急冷带的窑体散热(28~34 节)

此段温度范围为 $1150\text{--}700^\circ\text{C}$, 则窑内壁平均温度为 940°C , 取窑外壁温度取 80°C .

a. 窑顶

表 9-2 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

$$\text{窑内壁平均壁温 } t_1 = \frac{1150 + 700}{2} = 925 \text{ } ^\circ\text{C}$$

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

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

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

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

平均热流密度:

$$q = \frac{t_1 - t_a}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} = \frac{925 - 80}{\frac{0.23}{0.475} + \frac{0.15}{0.2}} = 684.646 \text{ (W/m}^2\text{)}$$

窑顶散热面积:

$$A_{\text{顶}} = [2.3 + 2 \times (0.23 + 0.15)] \times 2.1 \times 7 = 44.982 \text{ m}^2$$

$$\text{则 } Q_{\text{顶}} = qA_{\text{顶}} = 684.646 \times 44.982 \times 3.6 = 110868.372 \text{ (kJ/h)}$$

b. 窑墙

表 9-3 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

$$\text{窑内壁平均壁温 } t_1 = \frac{1150 + 700}{2} = 925 \text{ } ^\circ\text{C}$$

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

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

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

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

平均热流密度:

$$q = \frac{t_1 - t_a}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} = \frac{925 - 80}{\frac{0.23}{0.475} + \frac{0.12}{0.12}} = 569.326 \text{ (W/m}^2\text{)}$$

窑顶散热面积:

$$A_{\text{墙}} = 0.7 \times 2.1 \times 7 = 10.29 \text{ m}^2$$

$$\text{则 } Q_{\text{墙}} = 2qA_{\text{墙}} = 2 \times 569.326 \times 10.29 \times 3.6 = 42180.225 \text{ kJ/h}$$

c. 窑底

表 9-4 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:

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

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

$$\text{硅酸盐耐火纤维束: } 0.1 \sim 0.3$$

$$\text{窑内壁平均壁温 } t_1 = \frac{1150 + 700}{2} = 925 \text{ } ^\circ\text{C}$$

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

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

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

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

窑外壁表面平均温度 $t_a = 80^\circ\text{C}$

平均热流密度:

$$q = \frac{t_1 - t_a}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3}} = \frac{925 - 80}{\frac{0.13}{0.475} + \frac{0.13}{0.195} + \frac{0.1}{0.2}} = 586.66 \text{ W/m}^2$$

窑底散热面积: $A_{\text{底}} = 44.982 \text{ m}^2$

则 $Q_{\text{底}} = qA_{\text{底}} = 586.66 \times 44.982 \times 3.6 = 95001.84 \text{ (kJ/h)}$

ii 在缓冷带的窑体散热(32~34 节)

此段温度范围为 $700\sim 450^\circ\text{C}$, 窑内壁平均温度 575°C , 窑外壁温度为 40°C

d. 窑顶

表 9-5 窑顶

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

$$\text{窑内壁平均壁温 } t_1 = \frac{700 + 450}{2} = 575^\circ\text{C}$$

莫来石轻质高铝砖 $\lambda_1 = 0.31 + 0.176 \times 10^{-3} \times 575 = 0.411 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$

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:

$$q = \frac{\frac{t_1 - t_a}{\delta_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}}{\lambda_1} = 408.52 \text{ (W/m}^2\text{)}$$

窑顶散热面积:

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

$$\text{则 } Q_{\text{顶}} = q A_{\text{顶}} = 408.52 \times 57.834 \times 3.6 = 85054.84 \text{ kJ/h}$$

e. 窑墙

表 9-6 窑墙

窑	耐火层	莫来石轻质高铝砖	1600℃	0.310+0.176×10 ⁻³ t	230
墙	隔热层	硅酸盐耐火纤维束	1350	0.1~0.3	120

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

$$\text{窑内壁平均壁温 } t_1 = \frac{700 + 450}{2} = 575 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\text{莫来石轻质高铝砖 } \lambda_1 = 0.31 + 0.176 \times 10^{-3} \times 575 = 0.411 \text{ W/m} \cdot ^{\circ}\text{C}$$

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

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

窑外壁表面平均温度 $t_a = 40^{\circ}\text{C}$

平均热流密度:

$$q = \frac{\frac{t_1 - t_a}{\delta_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}}{\lambda_1} = \frac{\frac{575 - 40}{0.23} + \frac{0.12}{0.2}}{0.411} = 540.50 \text{ (W/m}^2\text{)}$$

窑顶散热面积:

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

$$\text{则 } Q_{\text{墙}} = 2qA_{\text{墙}} = 2 \times 540.50 \times 13.23 \times 3.6 = 51485.868 \text{ (kJ/h)}$$

f. 窑底

表 9-7 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

$$\text{窑内壁平均壁温 } t_1 = \frac{700 + 450}{2} = 575 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{莫来石轻质高铝砖 } \lambda_1 = 0.31 + 0.176 \times 10^{-3} \times 575 = 0.411 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$\text{硅藻土砖 } \lambda_2 = 0.063 + 0.14 \times 10^{-3} \times 575 = 0.1473 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$$

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

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

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

平均热流密度:

$$q = \frac{t_1 - t_a}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3}} = \frac{575 - 40}{\frac{0.23}{0.411} + \frac{0.13}{0.143} + \frac{0.1}{0.2}} = 271.75 \text{ (W/m}^2\text{)}$$

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

$$\text{则 } Q_{\text{底}} = qA_{\text{底}} = 271.75 \times 57.834 \times 3.6 = 56579 \text{ (kJ/h)}$$

iii 快冷段窑体的散热量(35~43 节)

此段温度范围为 450~80℃, 所以窑内壁平均温度为 265℃, 窑外壁温度取为 40℃.

g. 窑顶

表 9-8 窑顶

窑	耐火层	莫来石轻质高铝砖	1600℃	0.310+0.176×10 ⁻³ t	230
顶	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+0.176×10⁻³t

硅酸盐耐火纤维束: 0.1~0.3

$$\text{窑内壁平均壁温 } t_1 = \frac{459+80}{2} = 265 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{莫来石轻质高铝砖 } \lambda_1 = 0.31 + 0.176 \times 10^{-3} \times 265 = 0.357 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$$

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

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

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

平均热流密度:

$$q = \frac{t_1 - t_a}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} = \frac{265 - 40}{\frac{0.23}{0.357} + \frac{0.15}{0.2}} = 161.38 \text{ (W/m}^2\text{)}$$

窑顶散热面积:

$$A_{\text{顶}} = [2.3 + 2 \times (0.23 + 0.15)] \times 2.1 \times 7 = 44.982 \text{ m}^2$$

$$\text{则 } Q_{\text{顶}} = qA_{\text{顶}} = 161.38 \times 44.982 \times 3.6 = 26133.10 \text{ kJ/h}$$

h. 窑墙

表 9-9 窑墙

窑	耐火层	莫来石轻质高铝砖	1600℃	0.310+0.176×10 ⁻³ t	230
墙	隔热层	硅酸盐耐火纤维束	1350℃	0.1~0.3	120

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

$$\text{窑内壁平均壁温 } t_1 = \frac{459+80}{2} = 265^\circ\text{C}$$

$$\text{莫来石轻质高铝砖 } \lambda_1 = 0.31 + 0.176 \times 10^{-3} \times 265 = 0.357 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$$

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

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

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

平均热流密度:

$$q = \frac{t_1 - t_a}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} = \frac{265 - 40}{\frac{0.23}{0.357} + \frac{0.12}{0.2}} = 185.95 \text{ (W/m}^2\text{)}$$

窑顶散热面积:

$$A_{\text{墙}} = 0.7 \times 2.1 \times 7 = 10.29 \text{ m}^2$$

$$\text{则 } Q_{\text{墙}} = 2qA_{\text{墙}} = 2 \times 185.95 \times 10.29 \times 3.6 = 3776.66 \text{ kJ/h}$$

i. 窑底

表 9-10 窑底

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

所用材料的导热系数:

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

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

$$\text{硅酸盐耐火纤维束: } 0.1 \sim 0.3$$

$$\text{窑内壁平均壁温 } t_1 = \frac{459+80}{2} = 265^\circ\text{C}$$

莫来石轻质高铝砖 $\lambda_1 = 0.31 + 0.176 \times 10^{-3} \times 265 = 0.357 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$

硅藻土砖 $\lambda_2 = 0.063 + 0.14 \times 10^{-3} \times 265 = 0.1 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$

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:

$$q = \frac{t_1 - t_a}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3}} = \frac{265 - 40}{\frac{0.23}{0.357} + \frac{0.13}{0.1} + \frac{0.1}{0.2}} = 92.05 \text{ (W/m}^2\text{)}$$

窑底散热面积: $A_{\text{底}} = 44.982 \text{ m}^2$

则 $Q_{\text{底}} = qA_{\text{底}} = 92.05 \times 44.982 \times 3.6 = 14906.14 \text{ (kJ/h)}$

则冷却带窑体总散热量为:

$$\begin{aligned} Q_9 &= 110868.372 + 42180.225 + 95001.82 + 85054.84 + 51485.868 \\ &\quad + 56579 + 26133.10 + 3776.66 + 14906.14 \\ &= 485986.025 \text{ (kJ/h)} \end{aligned}$$

9.4.4 从间壁冷却风管抽出热风带走显热 Q_{10}

该窑第 36-39 节的每节辊上设置了 12 根 $\phi 60$ 的间冷风管, 共 48 根。为简化计算, 取该段平均温度作换热管内壁温度 $t_w = 700^\circ\text{C}$; 取进入间壁的冷却风温 $t_{a1} = 20^\circ\text{C}$, 初定抽出热风温度 $t_{a2} = 300^\circ\text{C}$, 则管内空气平均温度为 $t_a = (20 + 300) / 2 = 160^\circ\text{C}$; 以一根间冷管计, 其换热面积 $F = \pi dL = 3.14 \times 0.06 \times 2.1 = 0.39564 \text{ m}^2$; 取间壁管道通内空气流速 $w = 4 \text{ Nm/s} = 4.63 \text{ m/s}$; 则间壁通道内对流换热系数:

$$\alpha = 12.6w^{0.8} / d^{0.25} = 12.6 \times 4.63^{0.8} / 0.06^{0.25} = 86.76 \text{ [kJ/(m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{k)]}$$

间冷管为耐热钢管, 其导热系数可忽略, 故可取间冷管内壁的平均温度为 $t_w = 700^\circ\text{C}$, 取换热效率 $\eta = 0.9$, 计算间冷风管冷却风带走的热量:

$$Q_{17} = \eta K \Delta t_{av} F = 0.9 \times 78.58 \times (700 - 160) \times 0.39564 = 15109.44 \text{ (kJ/h)}$$

每根间冷管内空气流量

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

验算间壁抽出热风温度:

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

$(301.01 - 300) / 300 = 0.3\% \leq 5\%$; 故所设抽出空气温度为 $t_{a2} = 300^\circ\text{C}$ 合理, 该段共有 60 根间冷管, 故从间冷管中抽出总热量为:

$$Q_{10} = 15109.44 \times 60 = 906566.40 \text{ (kJ/h)}$$

9.4.5 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:

$$Q_{11} = 0.05 \times (Q_2 + Q_6) = 0.05 \times (3705554.61 + 26V_x) = 185277.731 + 1.3 V_x$$

9.5 列出热平衡方程

热收入 = 热支出

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

$$3705554.61 + 26 V_x = 194644.785 + 264 V_x + 479341.38 + 906566.40 + 185277.7305 + 1.3 V_x$$

$$\text{解得 } V_x = 8881.908 \text{ m}^3/\text{h}$$

即从窑道内直接抽出热风量为: $V_x = 8881.908 \text{ (Nm}^3/\text{h)}$

从间冷管中抽出热风量为: $V_x = 40.69 \times 54 = 2197.26 \text{ (Nm}^3/\text{h)}$

故抽出热风总量为: $V_{\text{总}} = 8881.908 + 2197.26 = 11079.17 \text{ (Nm}^3/\text{h)}$

抽出热风平均温度为: $t_a = (8881.908 \times 200 + 2197.26 \times 300) / 11079.17 = 219.8^\circ\text{C}$

9.6 冷却带热平衡表

表 9-11 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	3705554.61	92.3	产品带出显热	194644.78	4.7

冷却风带入显热	320929.61	7.7	抽热风带走显热	906566.40	65.2
			窑体散热	485986.02	10.2
			间冷热风管带走显热	325253.12	15.4
			其它散热	196824.21	4.5
总计	4026484.22	100.0	总计	1435531.84	100.0

10 排烟管道尺寸、阻力的计算

10.1 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 $V_g=21.64X=21.64 \times 186.09=4026.988$

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

$$V = V_g \cdot (273 + 200) / 273 = 2.342 \text{ (m}^3/\text{s)}$$

10.2 总烟管尺寸

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

$$\begin{aligned} \text{内径 } d_{\text{总}} &= (4V / \pi \omega)^{0.5} \\ &= [4 \times 2.342 / (3.1416 \times 10)]^{0.5} \\ &= 0.542\text{m} \end{aligned}$$

所以, 总管内径取: 550mm, 长度取 6m。

10.3 分烟管尺寸

$$\text{分管流量 } V' = V / 2 = 2.342 / 2 = 1.171 \text{ (m}^3/\text{s)}$$

$$\begin{aligned} \text{内径 } d_{\text{分}} &= (4V' / \pi \omega)^{0.5} \\ &= 0.39\text{m} \end{aligned}$$

考虑到调节的方便性分管内径取值为: 400mm, 长度取 4m。

10.4 支烟管尺寸

烟气在支管的流速为: $\omega = 10\text{m/s}$, 流量 $V'' = 2.342 / 4 = 0.5855 \text{ (m}^3/\text{s)}$

$$\begin{aligned} \text{内径 } d_{\text{支}} &= (4V / \pi\omega)^{0.5} \\ &= 0.273\text{m} \end{aligned}$$

所以, 支管内径应该不小于 273mm, 考虑到调节方便取值为: 300mm, 长度取 0.5m。

10.5 阻力计算

①料垛阻力 h_i

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

②位压阻力 h_g

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

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

③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: $\zeta = 1.5$;

总管 90° 圆弧转弯: $\zeta = 0.35$;

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

$$h_e = (1 + 1.5 + 1.5 + 1.5 + 0.35 + 1.5 + 0.35) \times 100 \times 1.3 \times 273 / [2 \times (273 + 250)]$$

$$=261.26 \text{ Pa}$$

④摩擦阻力 hf

摩擦阻力系数：金属管道取 $\zeta = 0.03$,

$$hf = \zeta \left(\frac{L_{支}}{D_{支}} + \frac{L_{分}}{D_{分}} + \frac{L_{总}}{D_{总}} \right) \times \omega^2 \rho / 2$$

$$= 0.03 (0.5/0.1 + 2.5/0.23 + 5.0/0.33) \times 100 \times 273 / [2 \times (273 + 250)]$$

$$= 24.29 \text{ Pa}$$

烟囱阻力忽略不计,

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

10.6 风机的选型

为保证正常工作，取风机抽力余量 0.5

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

流量取储备系数为 1.5，风机排出烟气平均温度 250℃，

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

选用风机应考虑窑炉有空气、煤气比例失调，大量增加烟气量，增大抽风阻力，造成较大阻力，故选型时全风压应留有较大余地。

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

11 致 谢

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

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

最后,我们所取得的所有成绩都与关心我们的各位老师有着密切的关系,在此我衷心感谢指导老师赖老师及给予我帮助的各位老师!是他们给予我一切。

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

12 参考文献

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