

景德镇陶瓷学院

《窑炉毕业设计》说明书

题目： 日产 2500 件卫生洁具隧道窑炉设计

院（系）： 工程系

专 业： 热能与动力工程

姓 名： 肖子威

学 号： 201030453108

指导教师： 汪和平

2 设计任务书

专 业	热能动力	班 级	10 级
学生姓名	肖子威	指导教师	汪和平
题 目	日产 2500 件卫生洁具天然气隧道窑炉设计		
主要研究内容和设计技术参数：			
1、日产量：2500 件 2、年工作日：330 天 3、产品规格：直径 480*300mm，产品单重 20kg 4、最高烧成温度：1220℃ 5、烧成周期：18h 6、燃料：天然气 7、其他条件自定			
基本要求（含成果要求）			
1、通过设计计算确定窑体材料及厚度、主要结构尺寸、管理系统尺寸等 2、确定工作系统安排，编写设计说明书，并打印输出， 3、绘出设计图纸一套，应包括：主体结构图、砌筑图、管理系统图、钢架结构图、异型砖及其他必需的附件图 4、设计说明书中应有英文摘要，图纸中至少应有一张 CAD 绘图 5、相关文献综述翻译			
工作进度计划：			
第十七~十八周：查阅、收集与设计有关的文献资料 第十九~第四周：进行设计计算，编写说明书初稿 第五~七周：绘制窑体结构图，砌筑图、钢架结构图等 第八~第十一周：绘制管路结构图、异型砖图及附件图 第十二周~十四周：图纸上墨或打印，说明书整理 第十五周：准备答辩			

1 原始数据

1.1 坯料组成:

SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	FeO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	灼失
65.7	20.04	0.32	0.23	0.34	3.12	0.20	4.9	4.8

1.2 线收缩率

线收缩率为 10%

1.3 烧成周期

烧成周期为 18 小时，可调

1.4 燃料

天然气组成: CH ₄	C ₂ H ₆	H ₂ S	CO ₂	N ₂	其它
86.8%	0.11%	0.879%	4.437%	8.1%	0.343%

1.5 烧成工艺确定 (见图(3-1)烧成温度曲线)

20 ~450℃	2.3 小时	预热带
450~600℃	1.3 小时	预热带
600~900℃	1.8 小时	预热带
900~1220℃	2.6 小时	烧成带
1220~1220℃	1.5 小时	烧成带
1220~800℃	1.6 小时	急却带
800~500℃	3.0 小时	缓却带
500~350℃	1.4 小时	冷却带
350~80℃	1.5 小时	冷却带

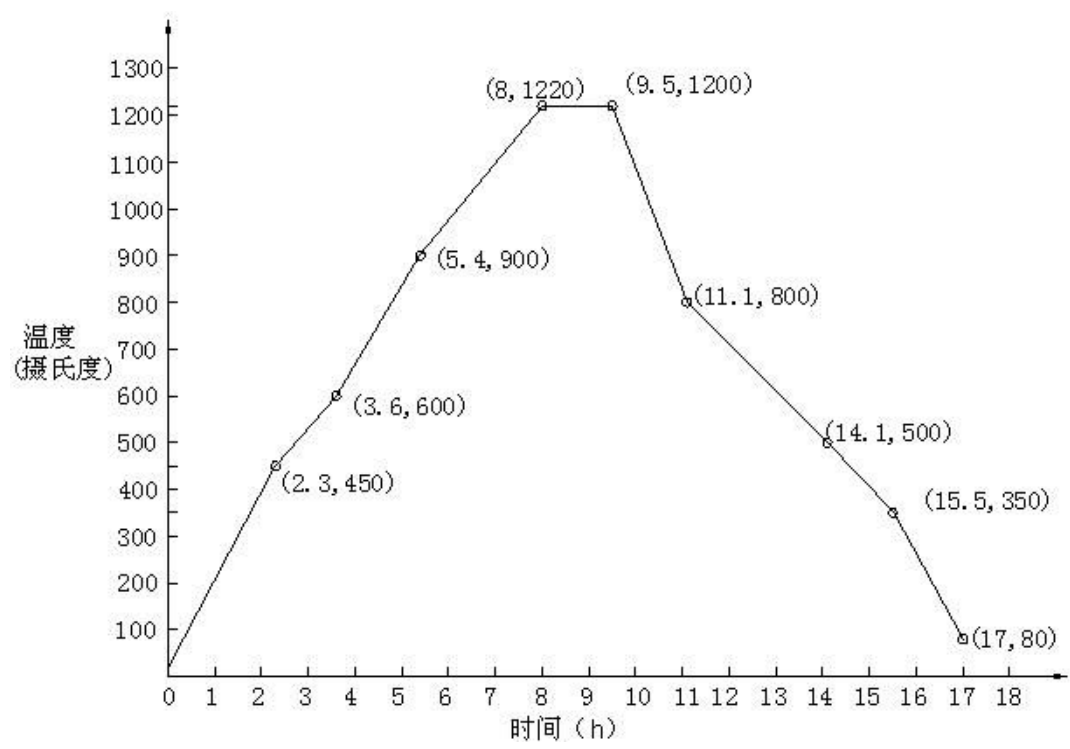


图 3-1 烧成温度曲线

2 窑体主要尺寸的确定

2.1 棚板和立柱的选用

根据原始数据, 采用裸烧方式即可满足要求, 选用棚板的材料是堇青莫来石板, 立柱的采用的是堇青莫来石空心立柱, 其体积密度为 2.0 g/cm^3 。

棚板尺寸: $550 \times 550 \times 38 \text{ mm}$

支柱: $85 \times 85 \times 500 \text{ mm}$

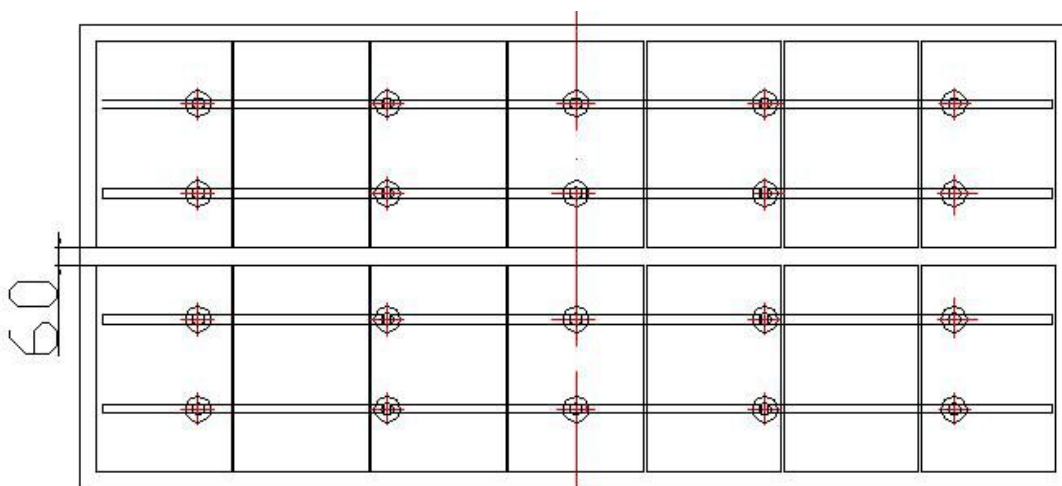
2.2 窑长及各带长

2.2.1 装车方法

在窑车的长度方向上设置 2 块棚板, 宽度方向上设置 7 块棚板。棚板间的间隙在长度方向上为 60 mm , 在宽度方向上为 10 mm ,

由此确定窑车车面尺寸为: 长: $2 \times 530 + 60 + 20 \times 2 = 1160 \text{ mm}$

宽: $530 \times 6 + 4 \times 10 + 20 \times 2 = 3390 \text{ mm}$



2.2.2 窑长的确定

每车装载制品数为 13 件。

$$\text{窑长 } L = \frac{\text{生产任务} \times \text{烧成时间}}{\text{年工作日} \times 24 \times \text{成品率} \times \text{装窑密度}} = \frac{825000 \times 18 \times 1.16}{330 \times 24 \times 0.92 \times 24} = 98.51 \text{ m}$$

窑内容车数: $n = 98.51 / 1.16 = 84.92$ 辆, 取 85 辆。

全窑不设进车和出车室, 所以窑有效长为 $85 \times 1.16 = 98.6 \text{ m}$ 取 100 m

2.2.3 各带长度的确定

根据烧成曲线:

预热带长=（预热时间×总长）/总烧成时间= $5.7 \times 100 / 18 = 31.35\text{m} = 32\text{ m}$

烧成带长=（烧成时间×总长）/总烧成时间= $4.5 \times 100 / 18 = 24.75\text{m} = 25\text{ m}$

冷却带长=（冷却时间×总长）/总烧成时间= $7.8 \times 100 / 18 = 43\text{m} = 43\text{ m}$

2.3 窑车车面尺寸

2.3.1 窑车

窑内容车数 85 辆，则

推车时间： $18 \times 60 / 85 = 12.7\text{ min/车}$ ；推车速度： $60 / 12.7 = 4.7\text{ 车/小时}$ 。

窑车架高 225mm，窑车衬面边缘用三层的轻质砖共 260mm，在窑车的中部铺 4 层硅酸铝纤维棉和 1 层钨钼纤维毯。

窑车总高为： $225 + 260 = 485\text{mm}$

在车面与棚板间留火道，其高度为 300mm。

2.3.2 确定窑截面的尺寸

根据窑车和制品的尺寸，窑内宽 B 取 3390mm。

2.3.3 窑车车面上窑墙高设计

由窑车平面至窑顶设计尺寸：由于连体座便器尺寸的不确定性，其高度一般在 700mm 到 800mm 左右，故取预热带、冷却带：1200mm，为了加强传热，烧成带加高 100mm，所以取 1300mm。

2.4 全窑高

窑全高（轨面至窑顶）：预热带、冷却带为 $1200 + 485 = 1685\text{mm}$ ；烧成带为 $1300 + 485 = 1785\text{mm}$ 。

3 窑体及工作系统的确定

3.1 窑体

以 2 米为一个模数单元节，全窑 100 米，共有 50 节。窑体由窑墙主体、窑顶和钢架组成窑体材料由外部钢架结构（包括窑体加固系统和外观装饰墙板）和内部耐火隔热材料衬体组成。砌筑部分，均采用轻质耐火隔热材料。窑墙、窑顶和窑车衬体围成的空间形成窑炉隧道，制品在其中完成烧成过程。

3.1.1 钢架

每一钢架长度为 2 米，含钢架膨胀缝。全窑共 50

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

3.1.2 窑墙

窑墙采用轻质耐火隔热材料。常用材质如下：堇青莫来石板、莫来石绝热砖、聚轻高铝砖、轻质高铝砖、轻质粘土砖、含锆散棉、硅酸铝棉等耐火材料。窑墙砌筑在钢结构上。每隔两米留设 20mm 左右的热膨胀缝，用含锆散棉填实。窑墙最外面用 10mm 厚的碳酸钙板。

3.1.3 窑顶

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

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

3.1.4 检查坑道和事故处理孔

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

3.1.5 测温孔

为了严密监视及控制窑内温度和压力制度，及时调节烧嘴的开度，一般在窑道顶及侧墙留设测温孔安装热电偶。测温孔的间距一般为 3-5 米，高温段布置密集些，低温段布置相对稀疏。本设计在窑体的第 1 节~16 节，在第 1 节设置一处测温孔，接下来每隔一节设置一处测温孔，共 8 处测温孔；在进入烧成带之后的第 17 节与 19 节各设置一处

测温孔，第 20、22、24、26、28 节的窑顶和窑侧墙处设置测温孔，共 10 处测温孔；第 30、32、34、36、38、40、42、44、46、48 节各设置一处测温孔，共 10 处测温孔。因此在烧成曲线的关键点，如窑头、氧化末段、晶型转化点、成瓷段、急冷结束等都有留设。

3.1.6 曲封、砂封和车封

窑墙与窑车之间、窑车与窑车之间做成**曲折封闭**。曲封面贴一层高温耐火棉。窑车之间要承受推力，所以在窑车接头的槽钢内填充散棉，以防止上下漏气。

砂封是利用窑车两侧的厚度约 6——8mm 的钢制裙板，窑车在窑内运动时，裙板插入窑两侧的内装有直径为 1——3mm 砂子的砂封槽内，隔断窑车上下空间。砂封槽用厚度 3mm 左右的钢板制作而成，且留有膨胀缝。在预热带头部缓冷段头部的窑墙上各设置一对加砂斗。

3.1.7 窑炉基础

窑炉基础、拖车道基础、回车线基础用毛石、混凝土或钢筋混凝土、三七灰土三层夯实。

3.2 排烟系统

为了更好的利用烟气的热量能，采用**分散排烟**的方式。在预热带 1~9 节设 25 对排烟口，烟气由各排烟口经窑墙内水平烟道进入窑内垂直烟管，汇总到排烟总管由排烟机抽出，送到成型车间干燥坯体。

3.3 气幕的设置

1 号车位窑头设**封闭气幕**。考虑到烟气温度不是很高，故窑顶采用钢板风盒，出风与进车方向成 45 度角；窑两侧墙内竖插管道，管壁开孔与进车方向成 45 度角。封闭气幕的风源为外界空气。

3.4 燃烧系统

此窑采用小功率多分布高速调温烧嘴的布置方式。两侧垂直和水平交错排列，这样有利于均匀窑温和调节烧成曲线。下部烧嘴喷火口对准装载制品的下部火道，上部烧嘴喷火口对准装载制品上方的部分。烧嘴砖直接砌筑在窑墙上，采用刚玉莫来石材质。

烧嘴的具体布置情况为：10——19 节下部设置 15 对共 30 只，20——29 节上部设置 20 只，下部设置 20 对共 40 只。预热带带前部的部分烧嘴和烧成带上部烧嘴可能不开，为调节烧成曲线，增加产量留设备用。

助燃风全部为外界空气。

3.5 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，余热风可供干燥用，达到节能目的。

3.5.1 急冷段

采用直接向窑内吹入冷风的方式，共设置了 **14 对急冷风管**，直接向窑内喷入冷风。并设置**四对侧部抽热口**。

3.5.2 缓冷段

制品冷却到 $800\sim 500^{\circ}\text{C}$ 范围时，是产生冷裂的危险区，应严格控制该段冷却降温速率。为了达到缓冷的目的，本设计采用间壁冷却的形式，在 35 至 39 节设置 3 组中空墙来进行**间壁冷却**。

3.5.3 快冷段

在 40-46 节分上下两排设置 22 对快冷风管，气源为外界空气。并在顶部设置抽热口，由抽热风机送至干燥室。

3.5.4 窑尾段

在 49-50 节设置 4 对**轴流风机**，直接对窑内的制品进行冷却，以保证制品的出窑温度低于 80°C 。

3.6 车下风系统

车下风风源为室内冷空气。在 18—33 节，由车下风风机抽冷空气直接送至窑下，每隔 1m 开一个车下风孔。

3.7 输送系统及附属装置

隧道窑内铺设轨道，轨道安放在钢架上的轨道垫板上，用螺丝联结并焊接。窑车是制品运输的载体。窑车底架由槽钢、钢板等经螺丝联结、焊接而成。

在窑头和窑尾各有一手动拖车道,每拖车道上有一辆拖车。窑外有一条手动回车线。拖车轨道和窑内轨道和回车线轨道相连接,并在同一水平面上。空窑车在回车线上装载制品,然后推到拖车上,将拖车推到窑头,再用顶车机将窑车推入窑内,窑车从窑尾出来经拖车道送至回车线,并在回车线卸载制品。

窑头装有油压顶车机。根据设定好的推车速度,顶车机将窑车顶入窑内。顶车速度可调。

拖车道和回车线轨道直接装在轨道垫板上。

在自动回车线上设置有一个窑车下检查坑道,深约 1.5 米,其长宽尺寸约同窑车大小,用来检修运行不良的窑车。

在回车线前部和后部,各设置一道安全检查门,其断面尺寸和窑头断面、曲封尺寸一致。检查门用多块薄钢板制作而成,用螺丝联结,可以调整其高度和宽度。

3.8 控制和调节系统

3.8.1 工作原理

本窑的控制系统采用分散控制的方法,既可在控制柜内统一控制,也可进行现场控制。该系统主要包括动力控制、热工控制、报警装置及安全保护系统。

3.8.2 动力控制

所有风机均采用直接启动方式,手动控制,在窑炉控制柜上设置风机开启/关闭按钮,直接集中控制和统一调节。只要按一下某风机启动按钮,与该风机配套的接触器衔铁便接通风机电源。

3.8.3 运行安全保护系统及报警系统

为了保证该隧道窑在正常工作条件下安全运行,防止窑炉在燃烧系统的某一环节出现故障时供天然气的部分继续向窑炉烧咀供应天然气而造成损坏或事故。本窑设有安全运行保护系统,当出现故障时,要立即关闭天然气主管上手动阀门,从而关闭天然气。

此外,为严密监控窑各关键部位的运转情况,本窑设置了故障报警系统。控制柜上设置有报警显示仪:当监视的任一部件出现故障时,即出现声光报警,以便操作人员及时发现和处理故障。

3.8.4 热工控制系统

3.8.4.1 烧成带温度的控制

本窑共设有 8 个控制回路,(其中 5 点为自动控制回路)对各控制点是进行独立控制,

5 点均用于窑段对应的调节单元的温度调节,只需调节燃气量,就可达到调节窑温的目的。现就一个单元简述一下温度调节的过程:每个温度调节单元主要有温控调节器、执行器、执行器带动的蝶阀、烧咀和热电偶几个主要部分组成。调节单元正常工作时,温控调节器中要输入一个设定温度值,单元热电偶来实测窑内本单元的温度,并通过温度传感器把该温度的毫伏信号送回到温控调节器,使其与设定温度比较,如果实测温度低于设定温度,温控调节器就会输出一个信号,使执行器带动蝶阀向开大天然气的方向变化,直到实测温度与设定温度相同。如果实测温度高于设定温度,调节过程与此类似,只是电动执行器带动蝶阀向开度小的方向变化,以减少烧咀喷出的天然气量,使窑温下降。

3.8.4.2 预热带和冷却带的温度控制

预热带和冷却带温度控制的手段主要是通过调节排烟总闸、排烟支阀、各种气幕、抽余热总闸、支阀以及冷却风闸等来实现的。所有闸板和阀门都标记有刻度线,方便调节。

4 窑体材料和厚度的确定

窑体所采用的材料及其厚度应该满足各段使用性能要求，综合考虑各处的温度对窑墙、窑顶的要求，窑体表面最高温度限制以及砖形、外观整齐等方面的因素，确定窑体材料和厚度见如下。

表 4—1 窑体材料和厚度表

	窑墙							窑顶			
温度段 (℃)	该段 长度 (m)	轻质 高铝 砖 (mm)	聚 轻 高 铝 砖 (mm)	轻质 粘土 砖 (mm)	硅 酸 铝棉 (mm)	硅 酸 钙 硬 板 (mm)	该段 厚度 (mm)	堇 青 莫 来 石 板 (mm)	莫 来 石 绝 热 砖 (mm)	硅 酸 铝 纤 维 (mm)	
20-900	26	114		230		10	354	20		230	
900-1220	20		114	230	100	10	454		230	230	
1220-800	8		114	230	100	10	454		230	230	
800-80	28	114		230		10	354	20		230	

堇青莫来石板制品具有热膨胀系数小，抗震稳定性好，使用寿命长，且不会突然断裂，使用过程中不氧化不落脏掉渣，不污染烧品，是在 1300℃ 以下烧成陶瓷制品最理想的材料。

5 燃料燃烧计算

5.1 助燃空气量计算

所用燃料为液化气，低位发热量： $Q_{\text{net,ar}}=110000\text{kJ/m}^3$ 。查工具书，得理论空气燃烧

$$\text{计算式, } V_a^0=0.264* \frac{Q_{\text{net,ar}}}{1000}+0.02 \quad (\text{m}^3/\text{m}^3)$$

$$\text{则理论空气需要量为: } V_a^0=0.264* \frac{36000}{1000}+0.02=9.524 \quad (\text{m}^3/\text{m}^3)$$

取空气过剩系数为 1.2，则实际需要空气量为：

$$V_a=q_{v,a}=\alpha V_a^0=1.2*9.524=11.4288 \quad (\text{m}^3/\text{m}^3)$$

5.2 烟气量计算

查工具书，得理论空气燃烧计算式，

$$V^0=0.264* \frac{Q_{\text{net,ar}}}{1000}+1.02 \quad (\text{m}^3/\text{m}^3)$$

$$\text{则理论烟气量为: } V^0=0.264* \frac{36000}{1000}+1.02=10.524 \quad (\text{m}^3/\text{m}^3)$$

$$\text{实际烟气量为: } V=V^0+(\alpha-1) V_a^0=10.524+(1.2-1)*9.524=12.4288 \quad (\text{m}^3/\text{m}^3)$$

5.3 燃烧温度计算

$$t=(Q_{Dw}+V_a C_a t_a+C_f T_f)/(VC)$$

查表在 $t=1730^\circ\text{C}$ 时的烟气比热为 $C=1.64\text{kJ}/(\text{Nm}^3\cdot^\circ\text{C})$ ，在室温 20°C 时空气比热为 $C_a=1.30\text{kJ}/(\text{Nm}^3\cdot^\circ\text{C})$ ，天然气的比热为 $C_f=1.56\text{kJ}/(\text{Nm}^3\cdot^\circ\text{C})$ ，代入公式得

$$t=(36000+11.428\times 1.30\times 20+1.56\times 20)/(12.4288\times 1.67)=1782^\circ\text{C}$$

相对误差为： $(1782-1730)/1782=2.9\%<5\%$ ，认为合理。

取高温系数 $n=0.8$ ，则实际燃烧温度为 $t_p=\eta t_{th}=0.8*1782=1425.6^\circ\text{C}$ 。

$1425.6-1220=205.6^\circ\text{C}$ ，比烧成温度高出 205.6°C ，认为合理。

6 物料平衡计算

6.1 每小时烧成干制品的质量

$$G_m = \text{推车速度} \times \text{每车载重} = 4.7 \times 480 = 2256 \text{ kg}$$

每小时进 4.7 车，每车装载制品 480kg

6.2 每小时入窑干坯的质量

$$G_1 = G_m \cdot \frac{100}{100 - IL} = 1440 \times \frac{100}{100 - 4.8} = 2329 \text{ kg/h}$$

6.3 每小时欲烧成湿制品的质量

$$G_2 = G_1 \cdot \frac{100}{100 - \omega} = 1513 \times \frac{100}{100 - 2.2} = 2381 \text{ kg/h}$$

6.4 每小时蒸发的自由水的质量

$$G_w = G_2 - G_1 = 2381 - 2329 = 52 \text{ kg/h}$$

6.5 每小时从精坯中产生的 CO₂ 的质量

6.5.1 每小时从精坯中引入的 CaO 和 MgO 质量 计算

$$G_{CaO} = G_1 \cdot CaO\% = 2329 \times 0.32\% = 7.4528 \text{ kg/h}$$

$$G_{MgO} = G_1 \cdot MgO\% = 2329 \times 0.23\% = 5.3567 \text{ kg/h}$$

6.5.2 产生的 CO₂ 质量

$$G_{CO_2} = G_{CaO} \cdot \frac{M_{CO_2}}{M_{CaO}} + G_{MgO} \cdot \frac{M_{CO_2}}{M_{MgO}} = 11.782 \text{ kg/h}$$

6.6 每小时从精坯中排除结构水的质量 G_{ip}

$$G_{ip} = G_1 \times IL\% - G_{CO_2} = 2329 \times 4.8\% - 11.782 = 100.014 \text{ kg/h}$$

6.7 窑具的质量 G_b

每车有 20 个火道支柱，20 个支帽，12 根横梁，24 块棚板。共重约 305 kg，

$$G_b = 300 \times 4.7 = 1410 \text{ kg/h}$$

7 预热带和烧成带的热平衡计算

7.1 确定热平衡计算的基准、范围

本次计算选用 1 小时为计算基准，以 0°C 作为基准温度。以预热带和烧成带为计算范围。

7.2 热平衡示意图

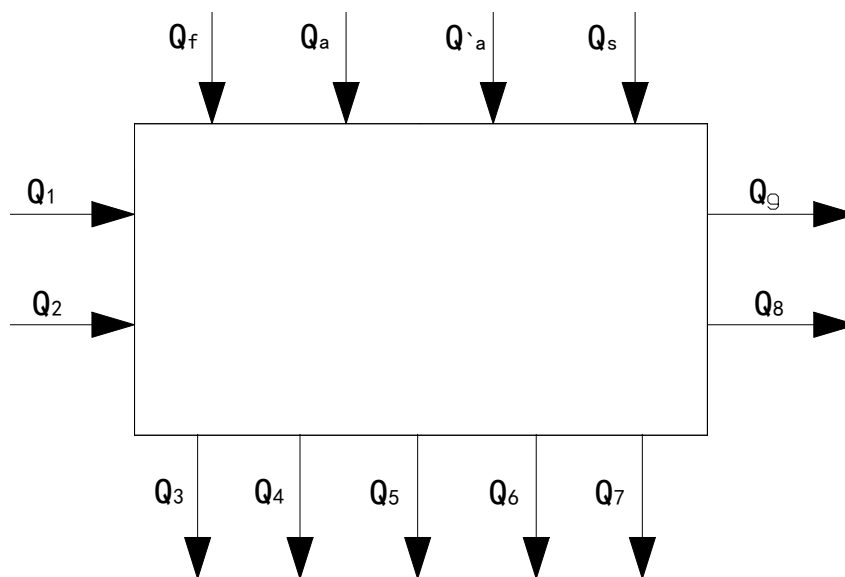


图 7-1 预热带和烧成带的热平衡示意图

Q_1 —坯体带入显热；

Q_2 —砌板、支柱等窑具带入显热；

Q_3 —产品带出显热；

Q_4 —砌板、支柱等窑具带出显热；

Q_5 —窑墙、顶总散热；

Q_6 —物化反应耗热；

Q_7 —窑车蓄热和散失热量；

Q_8 —其他热损失；

Q_9 —烟气带走显热；

Q_f —燃料带入化学热及显热；

Q_a —助燃空气带入显热；

Q_a —预热带漏入空气带入显热;

Q_s —气幕、搅拌风带入显热;

7.3 热收入项目

7.3.1 坯体带入显热 Q_1

$$Q_1 = G_1 C_1 T_1 \quad (\text{kJ/h})$$

其中: G_1 —入窑制品质量 (Kg/h); $G_1=2381$ Kg/h;

T_1 —入窑制品的温度 (°C); $T_1=40^\circ\text{C}$

C_1 —入窑制品的平均比热 (KJ/ (Kg · °C)); $T_1=40^\circ\text{C}$ 时, $C_1=0.92$ KJ/ (Kg · °C);

$$Q_1 = G_1 C_1 T_1 = 2381 \times 0.92 \times 40 = 87620.8 \quad (\text{kJ/h})$$

7.3.2 硼板、支柱等窑具带入显热 Q_2

$$Q_2 = G_2 C_2 T_2 \quad (\text{kJ/h})$$

其中: G_2 —入窑硼板、支柱等窑具质量 (Kg/h); $G_2=960$ Kg/h;

T_2 —入窑硼板、支柱等窑具的温度 (°C); $T_2=40^\circ\text{C}$

C_2 —入窑硼板、支柱等窑具的平均比热 (KJ/ (Kg · °C)); 碳化硅硼板、支柱的平均

比热容按下式计算:

$$C_2 = 0.963 + 0.000147t = 0.963 + 0.000147 \times 40 = 0.968 \text{ KJ/ (Kg} \cdot ^\circ\text{C)}$$

$$Q_2 = G_2 C_2 T_2 = 960 \times 0.968 \times 40 = 37171.2 \quad (\text{kJ/h})$$

7.3.3 燃料带入化学热及显热 Q_f

$$Q_f = (Q_{\text{net,ar}} + T_f C_f) x \quad (\text{kJ/h})$$

其中: $Q_{\text{net,ar}}$ —所用燃料低位发热量 (KJ/m³); 燃料为天然气, 低位发热量为:

$$Q_{\text{net,ar}} = 36000 \text{ KJ/m}^3;$$

T_f —入窑燃料温度 (°C); 入窑天然气温度为 $T_f=20^\circ\text{C}$;

C_f —入窑燃料的平均比热容 (KJ/ (Kg · °C)); 查表, $T_f=20^\circ\text{C}$ 时天然气平均比热容为: $C_f=1.56$ KJ/ (Kg · °C);

x —设每小时天然气的消耗量为 x (m³/h);

$$Q_f = (Q_{\text{net,ar}} + T_f C_f) x = (36000 + 20 \times 1.56) x = 36031x \quad \text{kJ/h}$$

7.3.4 助燃空气带入显热 Q_a

$$Q_a = q_v C_a T_a \quad (\text{kJ/h})$$

其中: $q_{v,a}$ —入窑助燃风流量 (m^3/h); 前面燃烧部分计算得: $q_v = V_a \cdot x = 11.4288x \text{ (m}^3/\text{h)}$;

T_a —入窑助燃风的平均温度 ($^{\circ}\text{C}$); 助燃风用冷却带抽出热风, $T_a = 20^{\circ}\text{C}$;

C_a —入窑助燃风的平均比热容 ($\text{KJ}/(\text{Kg} \cdot ^{\circ}\text{C})$); 查表, $T_a = 20^{\circ}\text{C}$ 助燃风时平均比热容为: $C_a = 1.30 \text{ KJ}/(\text{Kg} \cdot ^{\circ}\text{C})$;

$$Q_a = q_v C_a T_a = 11.4288x \times 1.30 \times 20 = 297.1488x \quad (\text{kJ/h})$$

7.3.5 从预热带不严密处漏入空气带入显热 Q'_a

$$Q'_a = q'_v \times C'_a \times t'_a$$

取预热带烟气中的空气过剩系数 $a_g = 2.5$, 已求出理论空气量 $V_a^0 = 9.524 \text{ Nm}^3/\text{Nm}^3$ 烧成带燃料燃烧时空气过剩系数 $a_f = 1.2$ 。

$V'_a = x \times (a_g - a_f) \times V_a^0 = x(2.5 - 1.2) \times 9.524 = 12.382x \text{ (Nm}^3/\text{h)}$, 漏入空气温度为 $t'_a = 20^{\circ}\text{C}$, 此时 $C'_a = 1.30 \text{ kJ}/(\text{Nm}^3 \cdot ^{\circ}\text{C})$, 则:

$$Q'_a = q'_v \times C'_a \times t'_a = 12.38x \times 1.30 \times 20 = 332.8x \quad (\text{kJ/h})$$

7.3.6 气幕、搅拌风带入显热 Q_s

气幕包括封闭气幕和搅拌气幕, 封闭气幕只设在窑头, 不计其带入显热。取搅拌气幕风源为空气, 其风量一般为理论助燃空气量的 0.5-1.0 倍, 取为 0.6 倍。

所以: $V_s = 0.6q_v = 0.6 \times 11.428x = 6.8568x \text{ (Nm}^3/\text{h)}$, 设 $t_s = 20^{\circ}\text{C}$, 查得 $C_s = 1.30 \text{ kJ}/(\text{Nm}^3 \cdot ^{\circ}\text{C})$,

$$Q_s = V_s \times C_s \times t_s = 6.8568x \times 1.30 \times 20 = 178.2768x \quad (\text{kJ/h})$$

7.4 热支出项目

7.4.1 制品带出显热 Q_3

$$Q_3 = G_3 C_3 T_3 \quad (\text{kJ/h})$$

出烧成带产品质量: $G_3 = 2256 \text{ Kg}$

出烧成带产品温度: $t_3 = 1220^{\circ}\text{C}$

查手册^[11], 此时产品平均比热: $C_3 = 1.20 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C})$

则:

$$Q_3 = G_3 \times C_3 \times t_3 = 2256 \times 1220 \times 1.20 = 3302784 \quad (\text{kJ/h})$$

7.4.2 棚板、支柱等窑具带出显热 Q_4

$$Q_4 = G_4 C_4 T_4 \quad (\text{kJ/h})$$

棚板、立柱质量: $G_4=960 \text{ kg/h}$

出烧成带棚板、立柱温度: $T_4=1220^\circ\text{C}$

此时棚板、立柱的平均比热:

$$C_4=0.84+0.000264t=0.84+0.000264\times 1220=1.16 \text{ kJ/(kg}\cdot^\circ\text{C)}$$

$$Q_4=G_4\times C_4\times T_4=960\times 1.16\times 1224=1361028.1 \text{ (kJ/h)}$$

7.4.3 烟气带走显热 Q_g

$$Q_g=q_g C_g T_g \text{ (kJ/h)}$$

烟气中包括燃烧生成的烟气,预热带不严密处漏入空气外,还有用于气幕的空气。

用于气幕的空氣的体积 $V_s=6.8568x \text{ (Nm}^3\text{/h)}$

离窑烟气体积: $q_g=[V_g^0+(a_g-1)\times V_a^0]x+V_s$ 烟气温度为 100°C

此时烟气比热 $C_g=1.068 \text{ kJ/(Nm}^3\cdot^\circ\text{C)}$

$$\begin{aligned} Q_g &= q_g \times C_g \times t_g = \{[12.4288+(2.5-1)\times 9.524]x+6.8568x\} \times 1.068 \times 100 \\ &= 3585.45x \text{ (kJ/h)} \end{aligned}$$

7.4.4 窑墙、窑顶散失热量 Q_5

根据各段材料不同,并考虑温度范围不能太大,将预热带和烧成带分成三段计算

7.4.4.1 20—600°C段

该段窑长度为 21.4 米,窑宽为 3.39。窑外壁表面平均温度 80°C ,窑内壁表面平均温度: $(20+600)/2=310^\circ\text{C}$

7.4.4.1.1 窑墙部分散热计算

此部分用材料如下:

轻质高铝砖,厚度 $\delta=114 \text{ mm}$,导热系数 $0.706 \text{ w/(m}\cdot^\circ\text{C)}$;

轻质粘土砖,厚度 $\delta=230 \text{ mm}$,导热系数 $0.342 \text{ w/(m}\cdot^\circ\text{C)}$;

硅酸钙硬板,厚度 $\delta=10 \text{ mm}$,导热系数 $0.07 \text{ w/(m}\cdot^\circ\text{C)}$;

$$\text{热流 } q_1 = \frac{t_1 - t_0}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} = \frac{310 - 80}{\frac{0.114}{0.706} + \frac{0.23}{0.342} + \frac{0.01}{0.07}} = 235.5 \text{ W/m}^2$$

不考虑车台面以下部分的窑墙散热,窑内高按 1200mm 计算,

则两侧窑墙散热量: $Q'_1=2\times 235.5\times 21.4\times 1.2\times 3.6=43543.88 \text{ (kJ/h)}$

7.4.4.1.2 窑顶部分散热计算

此部分用材料如下:

堇青莫来石板, 厚度 $\delta = 20 \text{ mm}$, 导热系数 $0.2 \text{ W/(m} \cdot ^\circ\text{C)}$;

硅酸铝棉, 厚度 $\delta = 230 \text{ mm}$, 导热系数 $0.24 \text{ W/(m} \cdot ^\circ\text{C)}$;

$$\text{热流 } q_2 = \frac{t_1 - t_0}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} = \frac{310 - 80}{\frac{0.02}{0.2} + \frac{0.23}{0.24}} = 217.3 \text{ W/m}^2$$

窑顶散热量: $Q'_2 = 217.3 \times 3.39 \times 21.4 \times 3.6 = 56751.28 \text{ (kJ/h)}$

所以, 20—450℃段的窑体散热总量为:

$$Q'_a = Q'_1 + Q'_2 = 56751.3 + 43543.9 = 100295.2 \text{ (kJ/h)}$$

7.4.4.3 600—900℃段

该段长度为 10.6 米, 窑外壁表面平均温度 80℃, 窑内壁表面平均温度: $(600+900)/2 = 750^\circ\text{C}$

7.4.4.3.1 窑墙部分散热计算

此部分用材料如下:

轻质高铝砖, 厚度 $\delta = 114 \text{ mm}$, 导热系数 $0.706 \text{ W/(m} \cdot ^\circ\text{C)}$;

轻质粘土砖, 厚度 $\delta = 230 \text{ mm}$, 导热系数 $0.342 \text{ W/(m} \cdot ^\circ\text{C)}$;

硅酸钙硬板, 厚度 $\delta = 10 \text{ mm}$, 导热系数 $0.07 \text{ W/(m} \cdot ^\circ\text{C)}$;

$$\text{热流 } q_3 = \frac{t_1 - t_0}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3}} = \frac{750 - 80}{\frac{0.114}{0.706} + \frac{0.23}{0.342} + \frac{0.01}{0.07}} = 685.9 \text{ W/m}^2$$

则两侧窑墙散热量: $Q'_7 = 2 \times 685.9 \times 1.2 \times 10.6 \times 3.6 = 62817.4656 \text{ (kJ/h)}$

7.4.4.3.2 窑顶部分散热计算

此部分用材料如下:

堇青莫来石板, 厚度 $\delta = 20 \text{ mm}$, 导热系数 $0.2 \text{ W/(m} \cdot ^\circ\text{C)}$;

硅酸铝棉, 厚度 $\delta = 230 \text{ mm}$, 导热系数 $0.24 \text{ W/(m} \cdot ^\circ\text{C)}$;

$$\text{热流 } q_4 = \frac{t_1 - t_0}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} = \frac{750 - 80}{\frac{0.02}{0.2} + \frac{0.23}{0.24}} = 633.1 \text{ W/m}^2$$

窑顶散热量: $Q'_8 = 3.55 \times 633.1 \times 10.6 \times 3.6 = 85764.8 \text{ (kJ/h)}$

所以, 600—900℃段的窑体散热总量为:

$$Q'_9 = Q'_7 + Q'_8 = 62817.5 + 85764.8 = 148582.3 \text{ (kJ/h)}$$

7.4.4.4 900—1220℃段

该段长度为 25 米，窑外壁表面平均温度 80℃，窑内壁表面平均温度：(900+1220)/2=1060℃

7.4.4.4.1 窑墙部分散热计算

此部分用材料如下：

聚轻高铝砖，厚度 $\delta=114$ mm，导热系数 0.45 w/(m·℃)

硅酸铝棉，厚度 $\delta=100$ mm，导热系数 0.24 w/(m·℃)

轻质粘土砖，厚度 $\delta=230$ mm，导热系数 0.342 w/(m·℃)；

硅酸钙硬板，厚度 $\delta=10$ mm，导热系数 0.07 w/(m·℃)

$$\text{热流 } q_{10} = q_5 = \frac{t_1 - t_0}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3}} = \frac{1060 - 80}{\frac{0.114}{0.45} + \frac{0.10}{0.24} + \frac{0.23}{0.342} + \frac{0.01}{0.07}} = 593.2 \text{ W/m}^2$$

不考虑车台面以下部分的窑墙散热，窑内高按 1300mm 计算，

则两侧窑墙散热量： $Q'_{10} = 2 \times 593.2 \times 1.3 \times 25 \times 3.6 = 138808.8$ (kJ/h)

7.4.4.4.2 窑顶部分散热计算

此部分用材料如下：

莫来石绝热砖，厚度 $\delta=230$ mm，导热系数 0.3 w/(m·℃)；

硅酸铝棉，厚度 $\delta=230$ mm，导热系数 0.24 w/(m·℃)；

$$\text{热流 } q_{11} = q_6 = \frac{t_1 - t_0}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} = \frac{1060 - 80}{\frac{0.23}{0.3} + \frac{0.23}{0.24}} = 568.1 \text{ W/m}^2$$

窑顶散热量： $Q'_{11} = 25 \times 3.55 \times 3.6 = 165232.5$ (kJ/h)

所以，900—1170℃段的窑体散热总量为：

$Q'_{12} = Q'_{10} + Q'_{11} = 165232.5 + 138808.8 = 304041.3$ (kJ/h)

综上所述，预热带和烧成带窑体散失热量总和为：

$Q_5 = 100295.2 + 148582.3 + 304041.3 = 552918.8$ (kJ/h)

7.4.5 窑车蓄热和散失热量 Q_6

取经验数据，占热收入的 10%。

7.4.6 物化反应耗热 Q_7

7.4.6.1 自由水蒸发吸热 Q_w

$Q_w = G_w \times (2490 + 1.93 \times t_g)$ 自由水的质量 $G_w = 34 \text{ kg/h}$

烟气离窑的温度 $t_g = 100^\circ\text{C}$ 。制品中 Al_2O_3 含量为 20.04%

则可得：

$$Q_w = 34 \times (2490 + 1.93 \times 100) = 91222$$

7.4.6.2 结构水脱水吸热 Q'_w

$$Q'_w = 6700 q'_{m,w} \text{ (kJ/h)}$$

其中： $q'_{m,w}$ —入窑制品所含结构水的质量流量

6700—1 Kg 结构水脱水所需热量 (KJ/Kg)；

$$Q'_w = 6700 q'_{m,w} = 64.994 \times 6700 = 435459.8 \text{ KJ/Kg}$$

7.4.6.3 其余物化反应吸热 Q_d

$$Q_d = q_m^d \times 2100 \times w(\text{Al}_2\text{O}_3) \text{ (kJ/h)}$$

其中， q_m^d —入窑干制品质量流量 (Kg/h)； $q_m^d = 1513 \text{ Kg/h}$ ；

2100—1 Kg Al_2O_3 的反应热 (KJ/Kg)；

$w(\text{Al}_2\text{O}_3)$ —陶瓷洁具结合剂中 Al_2O_3 含量占总质量的质量分数；

$w(\text{Al}_2\text{O}_3) = 20.04\%$ ；

$$Q_d = q_m^d \times 2100 \times w(\text{Al}_2\text{O}_3) = 1513 \times 2100 \times 20.04\% = 635460 \text{ (kJ/h)}$$

则物化反应总耗热为：

$$Q_7 = 91222 + 435459.8 + 635460 = 1362142 \text{ (kJ/h)}$$

7.4.7 其他热损失 Q_8

一般取经验数据，此项热支出占热收入的 5%—10%，本次计算取 5%。

7.5 列热平衡方程式

由热平衡方程：热收入=热支出，有

$$Q_1 + Q_2 + Q_f + Q_a + Q'_a + Q_8 = Q_3 + Q_4 + Q_g + Q_5 + Q_6 + Q_7 + Q_8$$

$$56929.6 + 36031.2x + 297.15x + 332.8x + 37171.2 + 178.3x = 2108160 + 3585.5x + 464369.5 + 1362142 + 1361028.1 + 10\% Q_{\text{收}} + 5\% Q_{\text{收}}$$

$$\text{解得 } x = 188.1 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

单位能耗：188.1/1440=0.131 (标准立方米/千克瓷)

单位热耗： $0.1184 \times 36000 = 4702.5$ (千焦/千克瓷)

7.6 预热带和烧成带热平衡表

表 9-1 预热带和烧成带热平衡表

热 收 入			热 支 出		
项 目	(kJ/h)	(%)	项 目	(kJ/h)	(%)
坯体带入显热	87620.8	0.81	产品带走显热	3302784	30.05
燃料化学显热	10438774.3	96.5	烟气带走显热	1055132.3	9.60
助燃空气显热	85457.3	0.79	窑墙、窑顶带 走显热	726502.6	6.61
漏入空气显热	96274.7	0.89	物化反应耗热	2132246.6	19.4
棚板、立柱带 入显热	57332.1	0.53	棚板、立柱带 出显热	2130048.38	19.38
气幕显热	51923.4	0.48	窑车积、散热	1099096.17	10
			其它热损失	549548.1	5
总 计	10817382.6	100	总 计	10817382.6	100

分析：

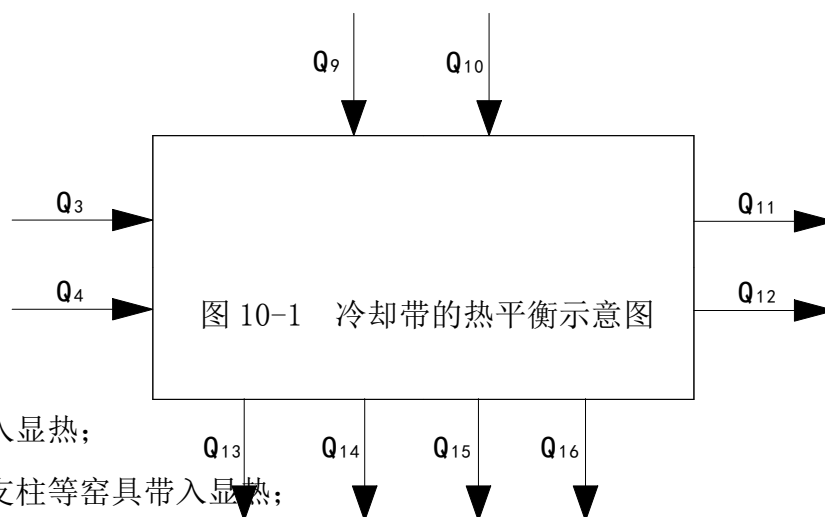
两者之间存在差值，是因为预热带窑内负压在该次计算中忽略了窑底漏入窑内风带来的热量，实际上虽然窑车上下压力控制手段非常完善，但仍有误差，由于误差很小所以整个预热带、烧成带热量可认为是收支平衡的。

8 冷却带的热平衡计算

8.1 确定热平衡计算的基准、范围

本次计算选用 1 小时为计算基准，以 0°C 作为基准温度。以冷却带为计算范围。

8.2 热平衡示意图



Q_3 —制品带入显热；

Q_4 —砌板、支柱等窑具带入显热；

Q_9 —窑车带入显热；

Q_{10} —急冷风带入显热与冷却带末端送入冷却风带入显热；

Q_{11} —制品带出显热；

Q_{12} —砌板、支柱等窑具带出显热；

Q_{13} —窑车蓄热、带出及散失之热；

Q_{14} —窑墙、顶总散热；

Q_{15} —抽走余热风带走热量；

Q_{16} —其他热损失；

8.3 热收入项目

8.3.1 制品带入显热 Q_3

制品带入冷却带的显热等于预热带和烧成带制品带出显热 $Q_3=2108160$ (kJ/h)

8.3.2 砌板、支柱等窑具带入显热 Q_4

此项热量即为预热带和烧成带砌板、支柱等窑具带出热 $Q_4=1361028.1$ (kJ/h)

8.3.3 窑车带入显热 Q_9

预热带和烧成带窑车散失之热约占窑车积热的 5%，即 95%之积热进入了冷却带。

$$Q_9 = 0.95 \times Q_6 = 702360.1345 \times 0.95 = 667242.13 \quad (\text{kJ/h})$$

8.3.4 急冷风与窑尾风带入显热 Q_{10}

设窑尾风风量为 V_x , 一般急冷风量为窑尾风量的 $(1/2-1/4)$, 本设计取急冷风是窑尾风的 $1/2$, 则急冷风与窑尾风的总风量为: $1.5V_x$ 。

空气的温度 $t_a = 20^\circ\text{C}$, 此时空气的平均比热 $c_a = 1.296 \text{ kJ}/(\text{Nm}^3 \cdot ^\circ\text{C})$ 。

$$\text{则: } Q_{10} = V_a \times c_a \times t_a = 1.5V_x \times 1.296 \times 20 = 38.88V_x \quad (\text{kJ/h})$$

8.4 热支出项目

8.4.1 制品带出显热 Q_{11}

出窑产品质量 $G_{11} = 2256 \text{ kg}$

出窑产品温度 $t_{11} = 80^\circ\text{C}$, 产品比热 $C_{11} = 0.896 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$

$$Q_{11} = G_{11} \times C_{11} \times t_{11} = 2256 \times 80 \times 0.896 = 161710.08 \quad (\text{kJ/h})$$

8.4.2 棚板、支柱等窑具带出显热 Q_{12}

出窑棚板、立柱质量 $G_{12} = 960 \text{ kg/h}$

出窑棚板、立柱温度 $t_{12} = 80^\circ\text{C}$, 棚板、立柱比热 $C_{12} = 0.861 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$

$$Q_{12} = G_{12} \times C_{12} \times t_{12} = 960 \times 0.861 \times 80 = 66124.8 \quad (\text{kJ/h})$$

8.4.3 窑车蓄热、带出及散失之热 Q_{13}

此项热量占窑车带入显热的 55%,

$$Q_{13} = 0.55 \times Q_9 = 0.55 \times 667242.13 = 366983.17 \quad (\text{kJ/h})$$

8.4.5 窑墙、顶总散热 Q_{14}

根据各处的材料, 并考虑温度范围不能太大, 将窑墙分两段计算其向外散热

8.4.5.1 1220—800℃段

该段长度为 8 米, 窑外壁表面平均温度 80°C , 窑内壁表面平均温度: $(1220+80)/2 = 1010^\circ\text{C}$

8.4.5.1.1 窑墙部分散热计算

此部分用材料如下:

聚轻高铝砖, 厚度 $\delta = 114 \text{ mm}$, 导热系数 $0.45 \text{ w}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$

硅酸铝棉, 厚度 $\delta = 100 \text{ mm}$, 导热系数 $0.24 \text{ w}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$

轻质粘土砖, 厚度 $\delta = 230 \text{ mm}$, 导热系数 $0.342 \text{ w}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$;

硅酸钙硬板, 厚度 $\delta = 10 \text{ mm}$, 导热系数 $0.07 \text{ W/(m} \cdot ^\circ\text{C)}$

$$\text{热流 } q_1 = \frac{t_1 - t_0}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3}} = \frac{1010 - 80}{\frac{0.114}{0.45} + \frac{0.10}{0.24} + \frac{0.23}{0.342} + \frac{0.01}{0.07}} = 562.94 \text{ W/m}^2$$

不考虑车台面以下部分的窑墙散热, 窑内高按 1300mm 计算,

则两侧窑墙散热量: $Q''_1 = 2 \times 562.94 \times 1.3 \times 8.2 \times 3.6 = 43206.84 \text{ (kJ/h)}$

8.4.5.1.2 窑顶部分散热计算

此部分用材料如下:

莫来石绝热砖, 厚度 $\delta = 230 \text{ mm}$, 导热系数 $0.23 \text{ W/(m} \cdot ^\circ\text{C)}$;

硅酸铝棉, 厚度 $\delta = 230 \text{ mm}$, 导热系数 $0.24 \text{ W/(m} \cdot ^\circ\text{C)}$;

$$\text{热流 } q_2 = \frac{t_1 - t_0}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} = \frac{1010 - 80}{\frac{0.23}{0.3} + \frac{0.23}{0.24}} = 539.13 \text{ W/m}^2$$

窑顶散热量: $Q''_2 = 3.55 \times 8 \times 3.6 = 56498.67 \text{ (kJ/h)}$

所以, 1220—800℃段的窑体散热总量为:

$Q''_3 = Q''_1 + Q''_2 = 43206.84 + 56498.67 = 99705.51 \text{ kJ/h}$

8.4.5.2 800—80℃段

该段长度为 28 米, 窑外壁表面平均温度 80℃, 窑内壁表面平均温度: $(800 + 80) / 2 = 440^\circ\text{C}$

8.4.5.2.1 窑墙部分散热计算

此部分用材料如下:

轻质高铝砖, 厚度 $\delta = 114 \text{ mm}$, 导热系数 $0.706 \text{ W/(m} \cdot ^\circ\text{C)}$

轻质粘土砖, 厚度 $\delta = 230 \text{ mm}$, 导热系数 $0.342 \text{ W/(m} \cdot ^\circ\text{C)}$;

硅酸钙硬板, 厚度 $\delta = 10 \text{ mm}$, 导热系数 $0.07 \text{ W/(m} \cdot ^\circ\text{C)}$

$$\text{热流 } q_3 = \frac{t_1 - t_0}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3}} = \frac{440 - 80}{\frac{0.114}{0.706} + \frac{0.23}{0.342} + \frac{0.01}{0.07}} = 368.53 \text{ W/m}^2$$

不考虑车台面以下部分的窑墙散热, 窑内高按 1200mm 计算,

则两侧窑墙散热量: $Q''_4 = 2 \times 368.53 \times 1.2 \times 27.5 \times 3.6 = 87563.55 \text{ (kJ/h)}$

8.4.5.2.2 窑顶部分散热计算

此部分用材料如下:

堇青莫来石板, 厚度 $\delta = 20\text{mm}$, 导热系数 $0.2 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$;

硅酸铝棉, 厚度 $\delta = 230\text{mm}$, 导热系数 $0.24 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$;

$$\text{热流 } q_4 = \frac{t_1 - t_0}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} = \frac{440 - 80}{\frac{0.02}{0.2} + \frac{0.23}{0.24}} = 340.16 \text{ W/m}^2$$

窑顶散热量: $Q''_5 = 340.16 \times 27.5 \times 3.55 \times 3.6 = 119549.23 \text{ (kJ/h)}$

所以, $800-80^\circ\text{C}$ 段的窑体散热总量为:

$$Q''_6 = Q''_4 + Q''_5 = 87563.55 + 119549.23 = 207112.78 \text{ (kJ/h)}$$

综上所述, 冷却带窑体散失热量总和为:

$$Q_{14} = 99705.51 + 207112.78 = 306818.29 \text{ (kJ/h)}$$

8.4.6 抽走余热风带走热量 $Q_{15} = q_{15} \times C_a \times t_a$

$$Q_{15} = q_{15} \times C_a \times t_a$$

其中, q_{15} —抽走余热风流量 (m^3/h); 该窑不用冷却带热空气做二次空气, 冷却带

鼓入风量全部用于气幕, 体积为 $q_{15} = 1.5V_x \text{ Nm}^3$ 。漏出空气忽略不记

T_{15} —抽走余热风的平均温度 ($^\circ\text{C}$); 取 $T_{15} = 250^\circ\text{C}$

C_{15} —抽走余热风的平均比热 ($\text{KJ}/(\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C})$);

查表, $T_{15} = 250^\circ\text{C}$ 时, 热空气的平均比热为: $C_{15} = 1.038 \text{ KJ}/(\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C})$

$$\text{则: } Q_{15} = q_{15} \times C_{15} \times t_{15} = 1.5V_x \times 250 \times 1.038 = 389.25V_x \text{ (kJ/h)}$$

8.4.7 其他热损失 Q_{16}

取经验数据, 占冷却带热收入的 5%—10%, 本次计算取 5%。

8.5 列热平衡方程式

列出热平衡方程式

热收入=热支出, 即:

$$\begin{aligned} Q_3 + Q_4 + Q_9 + Q_{10} &= Q_{11} + Q_{12} + Q_{13} + Q_{14} + Q_{15} + Q_{16} \\ 3302784 + 1361028.1 + 667242.13 + 38.88x \\ &= 161710.08 + 66124.8 + 5652082.42 + 306816.29 + 389.25x + 5\% Q_{\text{收}} \end{aligned}$$

$$\text{得: } V_x = 13724.86 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

因此得窑尾风量为 $13724.86 \text{ Nm}^3/\text{h}$ 急冷风量为 $6862.5 \text{ Nm}^3/\text{h}$

则每小时应抽余热风为: $1.5 \times 13724 = 20587.29 \text{ Nm}^3$

8.6 冷却带热平衡表

表 10-1 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	3302784	47.09	产品带出显热	161710.08	2.31
棚板、立柱带入显热	1361028.1	30.4	棚板、立柱带 出显热	66124.8	1.48
窑车带入显热	667242.13	14.9	窑体散热	306818.29	6.85
急冷、窑尾风 带入显热	533747.85	7.61	窑车带走和向车 下散失显热	366983.17	8.19
			抽热风带走显热	3410044.01	76.17
			其它散热	223852.012	5
合 计	6245412.09	100	合 计	6245412.09	100

分析：

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

9 管道尺寸、阻力计算、风机选型

9.1 排烟系统的设计

9.1.1 排烟量计算

排烟系统需排除烟气量:

$$V_g = [V_g^0 + (\alpha_g - 1) \times V_a^0] + V_m \\ = [12.4288 + (2.5 - 1) \times 9.524] \times 188.1 + 6.8568 \times 188.1 = 6314.82 \text{ m}^3/\text{h} = 1.75 \text{ m}^3/\text{s}$$

9.1.2 排烟口及水平支烟道尺寸

共有 17 对排烟口, 则每个排烟口的烟气流量为:

$$q_v = 1.75/34 = 0.073 \text{ m}^3/\text{s}$$

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

$$A = 0.073/1.5 = 0.049 \text{ m}^2$$

排烟口取长 0.230m, 则宽为 0.25m, 考虑砖型, 取 4 层厚, 即 0.26m。

9.1.3 垂直支烟道尺寸

烟气由排烟口至垂直支烟道流量不变, 流速相同, 所以截面积应相等。但考虑到砖的尺寸, 取截面尺寸为: $0.23 \times 0.232 \text{ m}^2$ 。垂直深度应和窑墙(车台面至窑顶)高度一样, 为 1200mm。

其截面积为: $0.23 \times 0.232 = 0.05336 \text{ m}^2$ 。

$$\text{其水力半径为: } R = \frac{4 \times 0.23 \times 0.232}{2 \times (0.23 + 0.232)} = 0.23 \text{ m}$$

窑墙以上部分用金属管道连接, 考虑到实际流量、砌筑方法、垂直烟道的当量直径等, 取垂直金属烟道直径为 $\Phi_1 = 200 \text{ mm}$ 。

此部分垂直金属烟道高度约为 1.2 米左右, 实际距离要以现场风机安装位置等实际情况为准。

9.1.4 水平主烟道尺寸

水平主烟道长度 12 米, 直径 $\Phi_2 = 450 \text{ mm}$ 。

9.2 阻力计算

阻力计算应包括料垛阻力、位压阻力、摩擦阻力和烟囱阻力的计算之和。

9.2.1 料垛阻力 h_1

取经验数据, 每米窑长料垛阻力为 1Pa, 按理想情况假设, 零压应在预热带和烧成带相接的位置, 即第 13 节, 最后一对排烟口在第 6 节, 每节长 2 米, 则:

$$h_1 = (13-6) \times 2 \times 1 = 14 \text{ Pa}$$

9.2.2 位压阻力 h_2

风机与烟囱设在窑外的车间地面上,烟气从排烟口到风机(烟囱底部),位置升高 1.0 米。取烟气平均温度为 100°C 。

$$\begin{aligned} h_g &= -H(\rho_a - \rho_g) \cdot g \\ &= -1.0 \times [1.29 \times 273 / (273 + 40) - 0.95 \times 273 / (273 + 100)] \times 9.8 \\ &= -3.92 \text{ Pa} \end{aligned}$$

9.2.3 局部阻力 h_3

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

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

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

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

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

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

$$\begin{aligned} h_e &= \xi_{1-4} \frac{\omega_1^2}{2} \rho + \xi_{5-6} \frac{\omega_2^2}{2} \rho \\ &= (0.5 + 2 + 0.7 + 2) \times \frac{1.5^2}{2} \times 0.95 \times \frac{273 + 100}{273} + (2 + 0.5) \times \frac{5^2}{2} \times 0.95 \times \frac{273 + 100}{273} \\ &= 48.16 \text{ Pa} \end{aligned}$$

9.2.4 摩擦阻力 h_4

对非圆形通道应求当量直径 d :

排烟口的直径和长度

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

垂直支烟道当量直径和长度(砌筑部分):

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

垂直支烟道当量直径和长度(金属管道部分):

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

水平支烟道当量直径和长度:

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

水平主烟道当量直径和长度:

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

摩擦阻力系数: 金属管取 $\xi_1 = 0.03$, 砌筑管道取 $\xi_2 = 0.05$, 则有

$$\begin{aligned} h_4 &= \xi_1 \left(\frac{l_1}{d_1} + \frac{l_2}{d_2} \right) \times \frac{w_1^2}{2} \times \rho + \xi_2 \left(\frac{l_3}{d_3} + \frac{l_4}{d_4} + \frac{l_5}{d_5} \right) \times \frac{w_2^2}{2} \times \rho \\ &= 0.05 \times \left(\frac{0.28}{0.244} + \frac{1.2}{0.23} \right) \times \frac{1.5^2}{2} \times 0.95 \times \frac{273+100}{273} + 0.03 \times \left(\frac{1}{0.4} + \frac{0.5}{0.4} + \frac{15}{0.9} \right) \times \frac{5^2}{2} \times 0.95 \times \frac{273+100}{273} \\ &= 14.52 \text{ Pa} \end{aligned}$$

9.2.5 烟囱阻力 h

9.2.5.1 烟囱尺寸

烟囱排出烟气量为:

$$V = 1.75 \text{ m/s}$$

烟囱高度为 10 米, 标准状态下取烟气在烟囱内的流动速度为 10m/s, 平均温度为 100

℃, 其直径为:

$$d = \sqrt{\frac{4V}{\pi w}} = \sqrt{\frac{4 \times 1.75}{3.14 \times 10}} = 0.6 \text{ m}, \text{ 取直径为 } 600 \text{ mm}$$

9.2.5.2 计算烟囱阻力

$$\begin{aligned} h &= -H(\rho_a + \rho_g) + \xi \frac{\omega^2}{2} \rho \frac{H}{d} + \frac{\omega^2}{2} \rho \\ &= -10 \times \left(1.29 \times \frac{273}{273+40} - 0.95 \times \frac{273}{273+100} \right) + 0.03 \times \frac{6^2}{2} \times 0.95 \times \frac{273+100}{273} \times \frac{10}{0.6} \\ &\quad + \frac{6^2}{2} \times 0.95 \times \frac{273+100}{273} \\ &= 16.04 \text{ Pa} \end{aligned}$$

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

风机应克服的总阻力为:

$$h_x = h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h = 14 - 3.92 + 48.16 + 14.52 + 16.04 = 88.8 \text{ Pa}$$

9.3 风机选型

为保证正常工作, 取安全系数为 1.3

所以选型应具备风压 H 为:

$$H = 1.30 \times h_x \times \frac{\rho_a}{\rho_g} = 1.3 \times 88.8 \times \frac{1.29 \times \frac{273}{273+40}}{0.95 \times \frac{273}{273+100}} = 198.2 \text{ Pa}$$

风量为:

$$Q = 1.3 \times V_g \times (273+100)/273 = 1.3 \times 6314.82 \times 373/273 = 11216.32 \text{ m}^3/\text{h}$$

查《风机选用手册》选引风机 Y8-39No5.6, 其参数见表 11-1。

9.4 其它系统管道尺寸的确定及风机选型

9.4.1 各管道尺寸的计算

9.4.1.1 助燃风管的计算

$$\text{助燃风量 } V^1 = V_a \times x = 11.4288 \times 188.1 = 1399.5 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

$$\text{实际助燃风量 } V = 11.4288 \times 188.1 \times (273 + 20) / 273 = 2307.25 \text{ m}^3/\text{h} = 0.64 \text{ m}^3/\text{s} \text{ 取助燃风}$$

在总管中的流速为 10m/s

$$\text{助燃风总管内径: } d_{\text{总}} = \sqrt{\frac{4 \times 0.64}{3.14 \times 10}} = 0.286 \text{ m} \text{ 取 } 300 \text{ mm}$$

$$\text{助燃风分管内径: } d_{\text{分}} = \sqrt{\frac{4 \times 0.64}{3.14 \times 10 \times 2}} = 0.2 \text{ m} \text{ 取 } 200 \text{ mm}$$

共有 66 个烧嘴, 取流速为 $w=10\text{m/s}$

$$\text{所以 } d_{\text{支}} = \sqrt{\frac{4 \times 0.64}{3.14 \times 10 \times 66}} = 0.035 \text{ m} \text{ 取 } 40 \text{ mm}$$

9.4.1.2 急冷风管的计算

该段冷风鼓入量一般为冷却带鼓入量的 1/3, 所以 $4380.3 \text{ Nm}^3/\text{h}$

实际鼓风量为

$$V'_1 = 4380.3 \times \frac{273 + 20}{273} = 4701.2 \text{ m}^3/\text{h} = 1.31 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{总管 } D_{\text{总}} = \sqrt{\frac{4 \times 1.31}{3.14 \times 10}} = 0.41 \text{ m}, \text{ 取 } 410 \text{ mm}$$

$$\text{分管 } d_{\text{分}} = \sqrt{\frac{4 \times 1.31}{3.14 \times 10 \times 2}} = 0.288 \text{ m}, \text{ 取 } 300 \text{ mm}$$

$$\text{支管 } d_{\text{支}} = \sqrt{\frac{4 \times 1.31}{3.14 \times 10 \times 28}} = 0.077 \text{ m}, \text{ 取 } 80 \text{ mm}$$

9.4.1.3 急冷段抽热风管的计算

冷却带总抽风量: $13140.83 \text{ N m}^3/\text{h}$, 抽出温度为 300°C

$$\text{实际抽风量 } V'_2 = 13140.83 \times \frac{273 + 250}{273} = 20361.1 \text{ m}^3/\text{h} = 5.66 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{总管 } d_{\text{总}} = \sqrt{\frac{4 \times 5.66}{3.14 \times 10}} = 0.849 \text{ m}, \text{ 取 } 850 \text{ mm}$$

$$\text{支管 (共有 8 个抽热风口) } d_{\text{分}} = \sqrt{\frac{4 \times 5.66}{3.14 \times 10 \times 8}} = 0.3 \text{ m}, \text{ 取 } 300 \text{ mm}$$

9.4.1.4 搅拌气幕风管尺寸的计算

气幕风量为 $1290.37 \text{ Nm}^3/\text{h}$

$$\text{气幕实际鼓风量 } V'_1 = 1290.37 \times \frac{273 + 20}{273} = 1384.9 \text{ m}^3/\text{h} = 0.385 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{气幕总管直径 } d_1 = \sqrt{\frac{4 \times 0.385}{3.14 \times 10}} = 0.22 \text{ m}, \text{ 取 } 220 \text{ mm}$$

$$\text{气幕支管直径 } d_2 = \sqrt{\frac{4 \times 0.385}{3.14 \times 10 \times 12}} = 0.064 \text{ m}, \text{ 取 } 65 \text{ mm}$$

9.4.1.5 封闭气幕管道尺寸的计算

封闭气幕总管直径 取 100 mm

9.4.1.6 窑尾鼓冷风管尺寸的计算

窑尾鼓冷风量为 $8760.55 \text{ Nm}^3/\text{h}$

$$\text{实际鼓风量 } V'_1 = 8760.55 \times \frac{273 + 20}{273} = 9402.35 \text{ m}^3/\text{h} = 2.61 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{总管 } D_{\text{总}} = \sqrt{\frac{4 \times 2.61}{3.14 \times 8}} = 0.645 \text{ m}, \text{ 取 } 650 \text{ mm}$$

分管 $d_{分} = \sqrt{\frac{4 \times 2.61}{3.14 \times 8 \times 2}} = 0.456 \text{ m}$ ，取 460mm

支管 $d_{分} = \sqrt{\frac{4 \times 2.61}{3.14 \times 8 \times 36}} = 0.79 \text{ m}$ ，取 80mm

9.4.2 各窑段的风机选型

9.4.2.1 急冷段急冷风机的选用

为保证正常工作，取安全系数为 1.3，
风机鼓风量 $Q=1.3 \times 4380.3=5694.4 \text{ Nm}^3/\text{h}$

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

9.4.2.2 窑尾风机的选用

为保证正常工作，取安全系数为 1.3，
风机鼓风量 $Q=1.3 \times 8760.55=11388.72 \text{ Nm}^3/\text{h}$ 。

9.4.2.3 缓冷段抽热风量

缓冷不设风机。

9.4.2.4 助燃风机的选用

为保证正常工作，取安全系数为 1.3，
助燃风机需鼓入风量 $Q=1.3 \times 2307.25=2999.43 \text{ Nm}^3/\text{h}$

由于助燃风要求高压强制通风，且本设计助燃风不要求预热。

9.4.2.5 车下风机

车下风为冷却窑车而用，每个车轮下设一小吹风口，风量不需要很大，这里以窑尾风量的一半计算，即： $Q=11388.72/2=5694.36 \text{ Nm}^3/\text{h}$ 。

9.4.2.6 轴流风机

为了更好的保证制品出窑温度低于 80℃，在窑尾设置了 4 对环保低噪音轴流风机。其参数为：型号，T35；流量，5951m³/h；功率，1.1KW；转速，2900r/min。

列出风机选型表：

表 9-1 风机型号表

用途	风机名称	机型	转速	全压	风量	电动机
----	------	----	----	----	----	-----

			r/min	Pa	m ³ /h	型号	功率 /kW
搅拌风机	离心通风机	G6-43N <u>0</u> 3.3	2840	1785	1474	Y190S-2	1.5
车下风机	离心通风机	G6-43N <u>0</u> 6.3	1440	1652	5896	Y132S-4	5.5
排烟风机	锅炉引风机	Y8-39N <u>0</u> 5.6	2900	3971	12214	Y200L1-2	30
助燃风机	离心通风机	G6-43N <u>0</u> 6.3	1440	1797	3106	Y132S-4	5.5
快冷风机	离心通风机	G6-43N <u>0</u> 8.5	1470	3271	13034	Y160M-4	22
抽热风机	锅炉引风机	Y4-73N <u>0</u> 9D	1450	1644	25976	Y180L-4	22
急冷风机	离心通风机	G6-43N <u>0</u> 6.3	1440	1652	5896	Y132S-4	5.5

10 烧嘴选型

10.1 每个烧嘴所需的燃烧能力

由于全窑共有 66 个烧嘴，且每小时燃料的消耗量为 188.1m³，考虑每个烧嘴的燃烧

能力和烧嘴燃烧的稳定性的稳定性，取安全系数 1.5，所以每个烧嘴的燃烧能力为：

$$188.1 \times 1.5 / 66 = 4.275 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

则每个烧嘴的热负荷为：

$$4.275 \times 36000 = 153900 \text{ kJ/h}$$

10.2 选用烧嘴应注意的原则

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

10.3 选用烧嘴

由于本设计的窑内宽达到 3550mm，为了保证断面温度的均匀与稳定，通过资料查询，选用广东施能燃烧设备有限公司生产的型号为 SIO-200 烧嘴，其主要参数为：火焰长度 1100mm-2400mm，出口速度为 80m/s，燃气压力 2000 Pa，助燃空气压力 4200Pa。

此烧嘴不需要专门的燃烧室，烧嘴砖直接砌筑在窑墙上即可。

11 工程材料概算

11.1 窑体材料概算

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

取窑墙的平均高度为 1.8m，窑长 100m；

两侧窑墙需: $2 \times 1.8 \times 100 = 360 \text{ m}^2$, 取 360 m^2 。

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

密度 $\rho = 1.0 \text{ g/cm}^3$, 重烧线变化不大于 2% 的试验温度 1350°C , 在全窑砌有厚度 230 mm , 窑体的平均身高为 1.8 m , 所以砌有粘土砖的窑墙体积为

$$V = 2 \times 0.23 \times 1.8 \times 100 = 82 \text{ m}^3$$

共需粘土砖

$$82.8 / (0.114 \times 0.230 \times 0.065) = 48583 \text{ 块}$$

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

密度 $\rho = 1.0 \text{ g/cm}^3$, 全窑所砌筑的长度为 $26 + 28 = 54 \text{ m}$, 所以

$$V = 2 \times 0.114 \times 1.8 \times 66 = 27.09 \text{ m}^3$$

$$V = 2 \times 0.114 \times 1.8 \times 66 + \frac{60\pi}{360} [(0.850 + 0.23)^2 - 0.850^2] \times 54 = \text{m}^3$$

共需轻质高铝砖

$$22.16 / (0.114 \times 0.230 \times 0.065) = 15893 \text{ 块}$$

11.1.4 轻质莫来石绝热砖, 规格: $230 \times 200 \times 199 \text{ mm}$

全窑所砌筑的长度为 28 m , 故

$$V = 2 \times 0.23 \times 3.78 \times 28 = 48.69 \text{ m}^3$$

共需轻质莫来石绝热砖

$$48.69 / (0.23 \times 0.2 \times 0.199) = 5319 \text{ 块}$$

11.1.5 聚轻高铝砖, 规格: $230 \times 114 \times 65 \text{ mm}$

全窑所砌筑的长度为 36 m , 故

$$V = 2 \times 0.114 \times 1.8 \times 36 = 14.77 \text{ m}^3$$

共需聚轻高铝砖

$$14.77 / (0.114 \times 0.230 \times 0.065) = 8667 \text{ 块}$$

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

全窑所砌筑的长度为 100 m , 故

$$V = 2 \times 0.23 \times 0.13 \times 100 = 6 \text{ m}^3$$

共需重质高铝砖

$$6 / (0.114 \times 0.230 \times 0.065) = 3521 \text{ 块}$$

11.1.7 堇青莫来石板 规格: $500 \times 300 \times 20$

全窑所砌筑的长度为 66m, 故

$$V = 0.02 \times 3.75 \times 66 = 4.95 \text{ m}^3$$

共需堇青莫来石板

$$4.95 / (0.5 \times 0.3 \times 0.02) = 1650 \text{ 块}$$

11.1.8 硅酸铝棉

纤维直径, $2-4 \approx \mu\text{m}$, 密度 $\rho = 260 \text{ kg/m}^3$, 纤维长度约 50mm, 在全窑窑墙与窑顶部分填充硅酸铝纤维, 在窑顶全窑所填硅酸铝纤维长度为 82m, 宽为 3.78m, 所填棉的高为 0.23m, 体积为: $V_1 = 3.39 \times 0.23 \times 100 = 77.97 \text{ m}^3$ 在窑墙所填硅酸铝纤维长度为 36m, 宽为 0.1m, 高为 1.8m, 体积为: $V_2 = 0.1 \times 1.8 \times 28 = 6.48 \text{ m}^3$

在窑车内填棉长为 2.7m, 宽为 1.09m, 高为 0.2m, 在全窑的窑车数为 85 辆, 预留全窑的 1/3 窑车数为干燥和装车所用, 因此总的窑车数为 $85 + 26 = 111$ 辆, 得出硅酸铝纤维体积为: $V_3 = 2.7 \times 1.09 \times 0.2 \times 111 = 65.34 \text{ m}^3$

全窑所需硅酸铝纤维的总体积为: $V = V_1 + V_2 + V_3 = 77.97 + 6.48 + 65.34 = 149.79 \text{ m}^3$

11.1.9 含锆纤维毯, 厚度 60mm

每辆窑车内填含锆纤维毯长为 2.7m, 宽为 1.09m, 高为 0.06m, 所以全部窑车所需的体积为 $2.7 \times 1.09 \times 0.06 \times 72 = 12.71 \text{ m}^3$

11.1.10 含锆散棉

用于堵塞膨胀缝等其他缝、孔, 窑墙的平均厚度为 0.35m, 膨胀缝宽为 0.02m, 高度为 1.8m, 所以 $V = 0.34 \times 0.02 \times 1.8 \times 41 = 0.5 \text{ m}^3$

以上材料概算为实际用量, 均未考虑余量。由于施工时会浪费一部分, 因此在购置时要比以上概算量多出约 5% 左右的余量, 对用量少的还应多备。

11.1.11 其他材料

热电偶 (含瓷管): 20 套。

烧嘴 66 只。

烧嘴砖 66 块。

看火孔 (含瓷管和看火孔盖): 66 套。

执行器 8 个。

电磁阀 1 个。

流量计 1 个。

补偿导线 500 米。

自动控制柜（显示仪表、电路已组装完成）1 套。

顶车机 1 套，含备用快（慢）进（退）。

柴油发电机 1 套。

本概算未包括窑炉、回车线、拖车到道基础。

11.2 钢材材料概算

由图纸中的详细计算，得出下列材料图表：

序号	材料名称	规格/尺寸（mm）	单位	数量
1	钢管	140	m	78
2	钢管	159	m	78
3	钢板	$\sigma=3$	m ²	98
4	方钢管	100×50×4	支	480
5	方钢管	120×60×4	支	210
6	方钢管	50×50×3.5	支	70
7	方钢管	120×120×4	支	240
8	角钢	L63×63×6	支	190
9	角钢	L40×40×4	支	180
10	角钢	L30×30×4	支	140
11	钢板	$\delta=1.2\text{mm}$	m ²	250
12	吊顶钩	$\phi 10$	个	3950
13	轨道	15kg/m	m	450
14	轨道垫板	$\sigma=10\text{mm}$	m ²	6
15	窑车底板	580×630×3	件	320
16	窑车底板	980×630×3	件	320
17	槽钢	10 号	m	930

在这次毕业设计过程中，我学到更加丰富的专业知识，并且还培养了我更加认真的学习态度，也为以后走更远的路打下了良好的基础。通过这次毕业设计，使我明白学习是一个长期积累的过程，在以后的工作、生活中都应该不断的学习，努力提升自己知识和综合素质。

由于本人知识和能力的不足，加之时间有限，在毕业设计中不可避免的出现了一些纰漏之处以及不如人意的地方，在此诚恳地希望各位老师、诸位前辈、同学能够多多批评指正，本人将不胜感激！

12 参考文献

- [1] 周露亮.《课程设计指导书》.景德镇陶瓷学院, 2008.9
- [6] 刘振群著.《陶瓷工业热工设备》.武汉理工大学出版社, 1989

Of tunnel kiln cars

【Abstract】 tunnel kiln tunnel kiln car system is the most expensive component of the tunnel kiln and the safety of operation and have an important impact on energy consumption.

【Key Words】 kiln car refractory sand seal

Tunnel kiln cars are often a number of technical problems, which affect the quality of the tunnel kiln firing, operation reliability, cost-effectiveness of the main factors. Kiln tunnel kiln cars and the seal between the well, on the one hand, hot air from the tunnel kiln to the kiln car series, the steel structure of the kiln cars, in particular, kiln car wheel bearings for damage is very large, direct impact on the tunnel kiln the safety of operation. On the other hand, the cold air from the kiln car into the tunnel kiln at the end of string, up and down will make the tunnel cross-section of the kiln temperature increases, the impact of the burning quality products. The weight of the kiln car refractory lining of the bigger cars in the roasting kiln heat exchange process the higher the tunnel kiln in the roasting process the greater the heat exchange ratio, meaning that heavy vehicles flexibility small kiln, large heat loss. Therefore, the kiln cars on the one hand, there must be enough good sealing performance, on the other hand, kiln cars to be as much as possible to reduce weight in order to reduce energy consumption and durability sufficient to ensure the safe operation of the kiln car. Kiln cars thermodynamic machinery or defects will be day-to-day cost of production of the factory have a certain impact. To reduce costs, reduce maintenance costs and energy consumption, improve the life of the kiln must be attention to the issue of cars.

Attention to avoid unnecessary cold air into the kiln, but also to avoid the hot air kiln to kiln string, this is very important.

One of the main channels of air leakage sealing structure of sand. Sand can not be completely closed and sealed and only partially block the air flow, the largest air leaks in the kiln and kiln cars car ride between the Department of the sand seal. In the design and processing, in order to avoid closure top thrust plate spread sand, sand dam should not be too tight contacts, in addition to allowable error, sand dam deformation, different thermal expansion, wear and tear and other factors. Therefore, a kiln car with another car kiln sand junction closure plate is not sealed, even if the vehicle has 2c m^2 area of air leakage, which may seem small, but about a total of 60 cars in the kiln kiln cars, This will generate approximately 120c m^2 air leakage area, which is working under a certain pressure on the tunnel kiln will cause a significant impact, can not be ignored. There have been efforts to try to take remedial measures. For example, take the sand dam seals overlap and duplication of similar measures, the practice of proof does not apply in the frequent damage after continuous use, it should find a better structure of the sand seal.

According to 30 ~ 40 years of experience have proven that water is a good sealing material. It was the use of water-filled sand chutes, water tank and filled with sand expansion joints, but more than 100 meters long in the sink can not be sustained under the conditions of, there is no guarantee of the sealed tank. French Cup Malik company a step forward, the bottom of all kiln cars submerged in the water, making the system more perfect seal. Another simple and effective design is double sand seal, seal the lower part of sand that we used the structure of the sand seal. Closed structure of the upper part of sand by a C-shaped channel and the formation of one side wall, with matching kiln car is T-shaped

structure. T-shaped C-shaped channel and the lower part of the lower part of the formation of sand closures. T-shaped upper surface and the side of the kiln cars and sand together to form letters, C-shaped slot in which the top insert. The main advantage is the formation of letters in the sand through the kiln when the kiln cars have maintained sealed with kiln cars with hasp. Practice has proved that such a seal even in the long tunnel kiln, but also do not need to add sand.

Sand closed the above system greatly reduces unnecessary down from the kiln and the cold air into the furnace of hot air, you can prevent the kiln car refractories the following part of the border in high-temperature state, the structure of sand less costly closure of the kiln car without injury on the kiln car wheels, bearings and other parts are very good protection. Reduce vehicle weight of kiln, the kiln cars through the use of lightweight refractory lining (refractory fiber block light, light-weight concrete) realization. Kiln car frame material may be outside the wall of light moderate brick kiln car frame, so that reduces the weight of the edge, but it must be very strong, better thermal shock resistance, refractoriness and softening point load to meet the requirements. In most cases, the edge of the kiln car mechanical properties and stability requirement. Most of the use of brick material frame clay refractory bricks, and now there are so light-weight fire-resistant concrete brick borders, so that the kiln can reduce vehicle weight, lower cost of the kiln car, but the light of the mechanical properties of fire resistance of concrete is not very good, border tiles easily damaged.

Insulation lining in the kiln cars share the largest proportion of the volume. Now, we commonly used cement to fill the expansion of vermiculite, cement vermiculite expansion weight, larger than

the thermal conductivity, so that will not only result in increasing the weight of the kiln cars and trucks caused by the kiln to increase the storage capacity, down conduction more heat. If the light switch to other cheaper insulation materials (such as fly ash, expanded perlite), it is entirely possible to reduce the weight of the kiln car, and does not increase the cost of vehicles.

Kiln tunnel kiln car surface is constructed in the largest component of the problem. Both sides of the wall of the kiln, kiln car tops and kiln kiln surface to form the four side of the kiln car should consume at least face the heat, because the other three surface heated in the kiln to maintain constant temperature, their heat consumption limited to outside the conduction of heat loss. However, the kiln car is to push down in the cold tunnel kiln, and kiln cars surface in addition to heat conduction down outside, it will absorb and store heat, as it should be to reach the surface with the final calcination temperature, when the cars from the tunnel kiln after the kiln temperature will be reduced to room temperature, resulting in heat loss, so high-quality insulation materials to prevent heat loss is a necessary condition.

Thicker surface kiln cars, heat conduction losses down the less. For the storage of energy, its principle is: the more thin surface layer, the smaller the proportion of heat storage. Kiln cars each side has its best thickness, if not met, it will lead to increased downward heat conduction. If exceeded, increased storage capacity. Kiln cars to achieve the final surface will be roughly the calcination temperature. Therefore kiln car surface heating from room temperature to about 1000 °C, it will play a decisive impact on storage. Therefore, the top material of the refractory material

should be as light as to reach only the lower temperature, they are less affected by storage. So they weight less than the top of the key. Apart from the kiln car surface should have the smallest heat consumption, but also a number of other requirements to be met. It must be sealed at the bottom, it must safely transport carrying brick and cave-bearing test. Should also have the mechanical stability (solid, durable, non-deformation, weathering resistance, etc.) In addition, the kiln car surface is constantly exposed to temperature changes, the it must be capable of sustaining the heat of this ever-changing effects of . Therefore, the refractory material used should be able to resist the impact of this difference.

Due to the production of daily to clear the kiln cars, coupled with the burning of the kiln cars serious erosion, therefore, the kiln car a firm and durable surface. To the manufacturer, the urgent need for the mechanical properties of light and kiln cars are a good side. Through measurement of design and technical security means, or in the production process of the principle of the use of appropriate technology to prevent the collapse of roasting green body so as to avoid the mechanical properties of the kiln car damage.

Tunnel kiln is the most expensive part of the kiln car parts, should be as little as possible to spend money, but when used in the regular period of less maintenance costs, to a certain extent, these seemingly contradictory requirements, it seemed an ideal solution can not only Coordination will continue to seek to minimize the shortcomings.

In line with the country on the Prohibition of the promotion of hollow clay brick implementation of the policy change, to adapt to Medium Small brick wide technological transformation, "brick" magazine furnace technology equipment on the market through years

of investigation and experience to engage in mapping different plant possible the composition of the lower material scale, different types of materials suitable for a new type of "tunnel drying chamber general drawings" and energy efficient "general-purpose drawing kiln." Drawing together the different materials, different sizes of clay, shale, coal gangue and fly ash sintered brick and hollow brick kiln drying chamber and working drawings.

The introduction of all the drawings are in production after a long-term practice of a mature technology, in mapping the course of the industry not only absorbed the advanced technology at home and abroad make it more reasonable structure to adapt to broader, but also increased a great deal of structural details and text Note the use of units in order to facilitate construction. "Brick" magazine furnace equipment technology development and also the introduction of drawings at the same time supporting the GSJ series delivery and hot dry room ZFJ series of energy-efficient fans and high-temperature kiln energy-saving anti-corrosion primer fan (see "brick" color magazine ad), and dry cars, kiln cars, top car machines, car ferry, and from the dry room, round kiln technology consulting, transformation debugging equipment to all types of the corresponding service package of concessions.

