

景德镇陶瓷学院科技艺术学院

本科生毕业设计（论文）

年产 280 万 m² 瓷质砖天然气辊道窑设计

the ceramic tile roller kiln of annual 2.8 million square meters

学 号： 201030453106

姓 名： 郭建民

院（系）： 工程系

专 业： 热能与动力工程

指导教师： 宫小龙副教授

完成日期： 2014-5-27

摘 要

本设计说明书为年产 280 万平方米瓷质砖辊道窑。说明书中具体论述了设计时应考虑的因素, 诸如窑体结构、排烟系统、烧成系统和冷却系统等等。同时详细的进行了对窑体材料的选用、热平衡、管路、传动设计等的计算。

本次设计窑炉的燃料为天然气, 在烧成方式上采用明焰裸烧的方法, 既提高了产品的质量和档次, 又节约了能源, 辊子传输可减少窑内装卸制品, 和窑外工序连在一起, 操作方便, 同时具有很高的自动化控制水平, 在燃烧及温度控制上采用 PID 智能仪表, 可以很方便的调节和稳定烧成曲线。

本说明书内容包括: 窑体主要尺寸的确定、工作系统的确定、窑体材料的选择、燃料燃烧计算、热平衡计算、传动计算、管道尺寸阻力计算、风机的选型及工程材料概算。

关键词: 辊道窑 天然气 设计

ABSTRACT

The design specification is the ceramic tile roller kiln of annual 2.8 million square meters. The specifications expound the factors in detail that should be taken in account in design, such as the structure of the kiln body, exhaust system, burning system and the cooling system etc. It also specifically calculates the kiln materials and elects the kiln body heat balance, the pipeline design, the transmission.

The design of furnace fuel is natural gas. In the firing mode, it takes use of open flame burning method that can improve the quality and grade of products, and saving energy. Roller transmission can reduce the kiln handling products and link with kiln process which make the operation convenient and has high level of automation control. Using PID intelligent instrument in combustion and temperature control can be very convenient to adjust and stabilize the firing curve.

The instructions include: the main dimensions of the kiln body, kiln body work system design, material selection, fuel combustion, heat balance calculation, transmission calculation, pipe size calculation, fan selection and engineering materials budget.

Key Words: Roller Kiln Gas design

目 录

前 言	1
1 毕业设计（论文）任务书	2
2 窑体主要尺寸的确定	3
2.1 进窑砖坯尺寸	3
2.2 内宽的确定与排砖方法	3
2.3 内高的确定	3
2.4 烧成制度的确定	4
2.5 窑长及各带长的确定	5
2.5.1 窑长的确定	5
2.5.2 各带长的确定	6
2.5.3 辊道窑窑头、窑尾工作台长度	7
2.5.4 窑体总长度的确定	7
3 工作系统的确定	8
3.1 排烟系统	8
3.2 燃烧系统	8
3.2.1 烧嘴的设置	8
3.2.2 助燃系统	8
3.2.3 天然气输送系统	9
3.3 冷却系统	9
3.3.1 急冷通风系统	9
3.3.2 缓冷通风系统	10
3.3.3 快冷通风系统	10
3.4 温度控制系统	10
3.4.1 热电偶的设置	10
3.4.2 温度仪表选型	11
3.5 传动系统	11
3.5.1 辊棒的选择	11
3.5.2 传动装置	11
3.5.3 辊距的确定	12
3.5.4 辊棒的联接形式	12
3.5.5 传动过程	13
3.6 窑体附属结构	13
3.6.1 事故处理孔	13
3.6.2 观察孔与测温口	13
3.6.3 膨胀缝	14
3.6.4 下挡墙和上档板	14

3.6.5 钢架结构	14
4 窑体材料确定	15
4.1 窑体材料确定原则	15
4.2 整个窑炉的材料表	16
5 燃料及燃烧计算	17
5.1 理论空气量计算:	17
5.2 烟气量计算	17
5.3 燃烧温度计算	17
6 物料平衡计算	19
7 热平衡计算	20
7.1 热平衡示意图	20
7.2 热收入项目	21
7.2.1 坯体带入显热 Q_1	21
7.2.2 燃料带入化学热及显热 Q_f	21
7.2.3 助燃空气带入显热 Q_a	21
7.2.4 预热带漏入空气带入显热 Q'_a	21
7.3 热支出项目	22
7.3.1 热制品带出显热 Q_2	22
7.3.2 窑体散失热 Q_3	22
7.3.3 物化反应耗热 Q_4	26
7.3.4 烟气带走显热 Q_g	27
7.3.5 其他热损失 Q_5	27
7.4 列热平衡方程并求解	27
7.5 列热平衡表	28
7.6 冷却带热平衡计算	29
7.7 热收入	29
7.7.1 制品带入的显热 Q_2	29
7.7.2 冷却风带入显热 Q_6	30
7.8 热支出	30
7.8.1 制品带出显热 Q_7	30
7.8.2 热风抽出时带走的显热 Q_8	30
7.8.3 窑体散失热量 Q_9	30
7.8.4 由窑体不严密处漏出空气带走显热 Q_{10}	33
7.9 列热平衡方程	33
7.10 列热平衡表	34
8 管道尺寸以及阻力计算和风机选型	35
8.1 抽烟风机的管道尺寸、阻力计算	35
8.1.1 管道尺寸	35

8.1.2 阻力计算.....	36
8.1.3 风机的选型.....	37
8.2 其他系统管路尺寸确定、风机的选型	38
8.2.1 天然气输送管径的计算.....	38
8.2.2. 助燃风管计算	39
8.2.3 冷却带风管计算.....	40
8.2.4 风机选型.....	42
9 工程材料概算	44
9.1 窑体材料概算.....	44
9.1.1 轻质粘土砖的概算	44
9.1.2 轻质高铝砖	44
9.1.3 硅藻土砖	44
9.1.4 硅酸铝棉板的概算	45
9.2 钢材的概算.....	45
9.2.1 方钢的概算	45
9.2.2 钢板的概算.....	45
9.2.3 角钢的概算	45
9.2.4 全窑所用钢材量	46
后 记	47
参考文献:	49
致 谢	50

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 155 米，内宽 2.4 米，烧成温度是 1160 摄氏度。燃料采用天然气。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 280 万平方米。全窑采用新型耐火材料，改善了窑炉的保温性。

1 毕业设计（论文）任务书

院（系） 热能工程

13 年 11 月 18 日

专 业	热能工程	班 级	热工 10
学生姓名	郭建民	指导教师	宫小龙
题 目	年产 280 万 m^2 瓷质砖辊道窑设计		

主要研究内容和设计技术参数：

1. 坯料组成（%）：

SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	Fe_2O_3	K_2O	Na_2O	I.L
68.35	16.27	2.30	2.65	0.85	2.20	2.15	4.85

2. 产品规格：600×600×10mm；

3. 入窑水分：<1%

4. 产品合格率：95%

5. 烧成周期：40 分钟（全氧化气氛）

6. 最高烧成温度：1160℃（温度曲线自定）

7. 燃料：天然气

天然气	CH_4	C_2H_6	C_3H_8	C_4H_{10}	C_5H_{12}	CO_2	N_2	H_2S
体积 %	93.36	3.72	0.69	0.24	0.08	1.26	0.65	0

注：天然气高位发热量 40.97MJ/ Nm^3 ，低位发热量 36.98MJ/ Nm^3

8. 其它条件自定。

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、管路系统尺寸等；
2. 确定窑炉的工作系统；
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；
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；
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；

工作进度计划：

1. 13～20 周：查阅、整理、收集与该窑炉有关的文献资料；
2. 1～6 周：进行设计计算，
3. 7～12 周：编写说明书初稿；绘制所要求的部分图纸，
4. 13 周～ ：整理设计思路与资料，完善说明书，准备答辩。

2 窑体主要尺寸的确定

2.1 进窑砖坯尺寸

产品规格：600×600×10 mm

产品宽度 600mm，考虑烧成收缩为 5%，四周预留抛光尺寸为 7mm，则：

坯体尺寸=产品尺寸÷（1-烧成收缩）=600÷（1-5%）+2×7 ≈645mm

2.2 内宽的确定与排砖方法

由于现在的辊棒等材料性能的提高，且辊道窑大多采用吊顶结构。再根据产量，所用的燃料（天然气）等因素，所以暂定窑内宽 B=2400mm。而坯体离窑墙内壁一般有 100~200 mm 间隙，取 150 mm。根据了解，横向的坯体是紧贴在一起，并没有留间隙。所以内宽等于砖坯尺寸×每排片数+砖坯离窑内壁的间距。

则可排砖数为： $n = (2400 - 2 \times 150) \div 645 = 3.25$ 片

故确定并排 3 片，则窑内宽 $B = 645 \times 3 + 150 \times 2 = 2235$ mm

最后定窑内宽为 2400 mm。

2.3 内高的确定

辊道窑的内高被辊子分隔成辊上高和辊下高两部分。对于辊上高的设置，要考虑以下四个方面：损坏的坯体能否顺利从辊棒之间掉下去，烧嘴的设置也要有一定的高度，气体与坯体之间的换热强度，气流通畅与燃烧空间。而对于辊下高的设置而言，主要是损坏的坯体能否顺利从辊棒之间掉下去即保证处理事故的方便。从传热角度来讲，烧成带以辐射为主，所以气体厚度要大点，内高稍高些。而预热带以对流换热为主，所以内高比烧成带低，使得横截面减小，流速加快，提高对流换热强度。再结合其它三方面，内高的设置如下（单位 mm）：

温度较低处：预热升温段 400~850℃ 即 1~34 节

冷却降温段 700~80℃ 即 59~77 节

温度较高处：烧成升温段 850~1160℃ 即 35~49 节

急冷降温段 1160~700℃ 即 50~58 节

位置	第 1-34, 59-61 节	第 35-49 节	第 50-58 节
辊上高	350	450	450
辊下高	350	350	350
内总高	700	800	800
(单位 mm)			

2.4 烧成制度的确定

(1) 温度制度:

考虑到入窑水分比较低, 可以快速升温而不会使坯体炸裂。

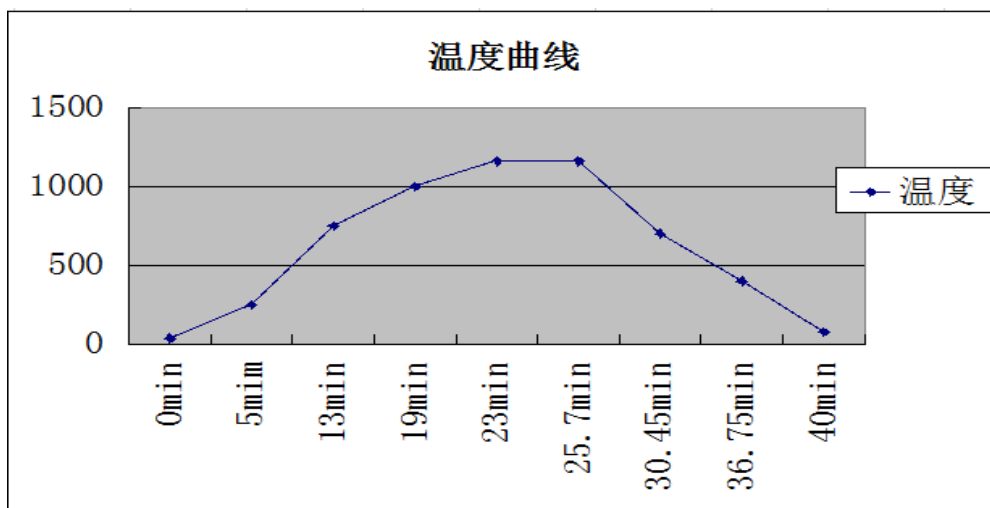
烧成周期: 40 min

各温度段的划分与升温速率

名称	温度/℃	时间/min	升温速率/℃·min ⁻¹	长度比例/%
窑前段	40~250	5	42	12.5
预热带	250~850	14	43	35
烧成带	850~1160	6.7	46.3	16.7
冷却带	1160~80	14.3	75.5	35.8
累计		40		100

(2) 气氛制度: 全窑氧化气氛

(3) 压力制度: 预热带 -15~-10 Pa, 烧成带 < 8 Pa



图

2.5 窑长及各带长的确定

现在窑炉已经向宽体化、自动化、轻型化发展，已经有长 300 多米的宽体窑。其主要原因是现在的辊棒的质量的提高，还有各种材料的飞速发展。

2.5.1 窑长的确定

$$\text{窑长} = \frac{\text{窑容量 (m}^2/\text{每窑)}}{\text{装窑密度 (m}^2/\text{每米窑长)}} (\text{m})$$

$$\text{窑容量} = \frac{\text{年产量 (m}^2/\text{a)} \times \text{烧成周期 (h)}}{\text{年工作日} \times 24 \times \text{产品合格率 (\%)}} (\text{m}^2/\text{每窑}) =$$

$$\frac{2800000 \times \frac{40}{60}}{330 \times 24 \times 95\%} \approx 248 (\text{m}^2/\text{每窑})$$

$$\text{装窑密度} = \text{每米排数} \times \text{每排片数} \times \text{每片砖面积 (m}^2/\text{每窑)}$$

同一列砖距取 20 mm，则

$$\text{装窑密度} = \frac{1000}{645 + 20} \times 3 \times 0.6^2 = 1.62 (\text{m}^2/\text{每窑})$$

$$\text{窑长 } L = \frac{248}{1.62} = 153.08 \text{ m} \quad \text{取 } 154 \text{ m}$$

此次采用装配式，由若干节联结而成。由于制品的尺寸是 600×600×10 mm，且辊

棒在高温的时候会有一些变形。考虑这些因素，设计棍棒中心间距为 100 mm。设计每节 20 根棍棒，即每节长 2000 mm，节与节联接的长度为 8 mm。则

$$\text{节数} = \frac{154000}{2008} = 76.7 \quad (\text{节})$$

取节数为 77 节。

因而实际窑长度为： $L = 2008 \times 77 - 8 = 154608 \text{ mm}$

2.5.2 各带长的确定

对于冷却带各段的设置：刚刚进入急冷阶段时，坯体仍处于熔融的塑性状态，不容易产生应力，可以急冷而不开裂，因为高温下的应力大部分被液相的弹性和流动性所补偿。该阶段要设置好急冷的控制温度。过低，产生风裂；过高，给缓冷造成压力，甚至也会产生风裂。而缓冷段主要是提供石英晶型转变的场所，故缓冷区要足够长，使降温过程平稳缓慢，安全度过石英晶型转换期。所以三段的时间分配分别为 4.75，6.3，3.25 分钟。

据烧成曲线中温度的划分，各段长度：

窑前段： $77 \times 12.5\% = 9.625$ 节 取 9 节

长度= $9 \times 2008 = 18072$ mm

预热带： $77 \times 35\% = 26.95$ 节 取 27 节

长度= $27 \times 2008 = 54216$ mm

烧成带： $77 \times 16.7\% = 12.859$ 节 取 13 节

长度= $13 \times 2008 = 26104$ mm

冷却带： $77 \times 35.8\% = 27.566$ 节 取 28 节

长度= $28 \times 2008 = 56224$ mm

急冷段： $\frac{154608 \times \frac{4.75}{40}}{2008} = 9.14$ 节 取 9 节

长度= $9 \times 2008 = 18072$ mm

缓冷段： $\frac{154608 \times \frac{6.3}{40}}{2008} = 12.13$ 节 取 12 节

$$\begin{aligned} \text{长度} &= 12 \times 2008 = 24096 \quad \text{mm} \\ \text{快冷段: } \frac{154608 \times \frac{3.25}{40}}{2008} &= 6.3 \quad \text{节} \quad \text{取 7 节} \\ \text{长度} &= 7 \times 2008 = 14056 \quad \text{mm} \end{aligned}$$

图 2.5.2 窑炉各带划分及编号

	温度段（℃）	时间（min）	升温速率（℃/min）	节数	编号
窑前段	40～250	5	42	9	1—9
预热带	250～750	8	62.5	15	10—24
	750～1000	6	41.7	12	25—36
烧成带	1000～1160	4	40	8	37—44
	1160～	2.7	——	5	45—49
急冷段	1160～700	4.75	96.8	9	50—58
缓冷段	700～400	6.3	47.6	12	59—70
快冷段	400～80	3.25	98.5	7	70—77

2.5.3 辊道窑窑头、窑尾工作台长度

窑头工作台是制品进窑烧成的必经之路，也是使制品整齐有序进窑的停留之处。窑头工作台不宜太长，只要能满足要求即可，根据经验取值为 3.3 米。窑尾工作台是烧成后的产品从窑内出来，再经人工检验产品的部位。由于出窑产品温度一般高达 80℃，所以窑尾的工作台不宜太短，目的是使制品有足够的时间冷却，根据经验取值为 5.4 米。

2.5.4 窑体总长度的确定

$$\text{窑体总长度} = 154608 + 3300 + 5400 = 163308 \quad \text{mm}$$

3 工作系统的确定

辊道窑的工作系统包括排烟系统、燃烧系统、冷却系统、温度控制系统、传动系统等，下面是各系统的初步安排。

3.1 排烟系统

排烟风机及其管路主要作用是将预热带、烧成带中产品排放的废气及燃烧产生的废气排出窑外。为提高热效率，此次设计采用窑头集中排烟方式排烟，在窑前段第 1 节以及预热带第 10 节设置抽烟口，其中第 10 节为主抽烟口。每节在窑顶、窑底分别设置一个排烟口进行排烟，在各出烟口分别用圆管引出，汇总到上下排烟分管，最后汇总到窑顶的排烟总管中。

3.2 燃烧系统

因所设计的为明焰辊道窑，且使用天然气作燃料，所以采用全部喷入窑道内燃烧的方式，仅通过烧嘴砖的燃烧道中空部分燃烧，而不另设燃烧室，并在辊子上下各设一层烧嘴，同一层烧嘴两侧交错布置，同一侧烧嘴上下交错布置。烧嘴的对侧是观察孔，以便更好的观察火焰的燃烧情况，便于操作控制。

为均匀窑温，强化窑内对流换热，在选择烧嘴时，选用小流量高速烧嘴。

3.2.1 烧嘴的设置

本设计在 600℃ 就开始设置高速调温烧嘴，即预热带第 12 节开始布置。由于本窑所用燃料为高热值气体燃料，考虑在低温段烧嘴不宜太多。因此在预热带中前段（12—34 节）辊下每节设置 2 对烧嘴，在（34—49 节）每节的辊上、辊下共设置 4 对烧嘴，辊上下烧嘴及对侧烧嘴对称排列。并在每个烧嘴对侧窑墙分别设置一个火焰观察孔。如遇事故处理口则取消该处观察口。

3.2.2 助燃系统

助燃系统包括助燃风机和助燃管道。助燃管道要求用不锈钢制作，防止落脏，并且

底部助燃分管分布在窑墙内以提高助燃风温度，助燃主管设有排风口，防止停电时煤气进入助燃风管道有危险。其中助燃分管的长度根据烧嘴布置位置来定。所以底下的助燃分管从第 12 节到第 49 节，上部的助燃分管从第 34 节到第 49 节。为了平衡两端助燃空气的压力，在两端助燃分管之间设置横管。

3.2.3 天然气输送系统

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

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

3.3 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，余热风可供干燥或者作助燃风用，达到节能的目的。

3.3.1 急冷通风系统

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

本设计就是采用这种结构，急冷段采用 9 节窑长进行急冷（50—58 节），每节

辊上下分别设置 6 对 $\Phi 90$ 急冷风管（急冷前半节不设置急冷风管），共 108 根急冷风管，交错排列横穿窑内，管置于窑内部分开圆孔若干。

3.3.2 缓冷通风系统

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

本设计采用抽热风的方法，在 59—70 节，每节窑顶设置 2 处抽热风口，每处抽热风口开 2 个抽热风孔，共 24 个抽热风口 48 抽热风孔，抽走来自急冷带和窑尾快冷带的热风，在缓冷总管处设置闸板，控制缓冷风量。另一方面，由缓冷风机从窑外抽空气通过缓冷风管，来缓和降温速率。

3.3.3 快冷通风系统

制品冷却到 400°C 以后可以进行快速冷却。但由于制品温度较低，使传热动力温差小，即使允许快冷也不易达到。而此段冷却也是很重要的，如达不到快冷目的出窑产品温度大于 80°C 时，制品即使在窑内没有开裂，也会因出窑温度过高而出窑炸裂，故要加强该段的冷却。

本设计采用冷风管进行快冷，在 70—77 节每节辊上下设置 6 对 $\Phi 90$ 的快冷风管。

3.4 温度控制系统

3.4.1 热电偶的设置

热电偶的设置应当适合。在关键点一定要设置热电偶，还有像在高温区要注意上下温差，所以上下应当都要设置。

本设计在：

$40\sim 750^{\circ}\text{C}$ 之间，即第 1~24 节，每节窑顶中部插入一根 K 型热电偶。

$750\sim 1000^{\circ}\text{C}$ 之间，即第 25~36 节，每节窑顶和窑底中部插入一根 K 型热电偶。

$1000\sim 1160^{\circ}\text{C}$ 之间，即第 37~49 节，每节窑顶和窑底中部插入一根 S 型热电

偶。

急冷段第 50~58 节，每节窑顶中部插入一根 S 型热电偶。

缓冷段第 59~70 节，每节窑顶和窑底中部插入一根 K 型热电偶。

快冷段第 70~77 节，每节窑顶中部插入一根 K 型热电偶。

3.4.2 温度仪表选型

低温区：K 型热电偶

高温区：S 型热电偶

热电偶通过补偿导线与微机相连。

3.5 传动系统

传动系统包括辊棒及传动装置。辊道窑的传动系统由电机、减速设备和传动机构所组成。

3.5.1 辊棒的选择

辊棒的材质有两种：一是金属质，也就是我们所说的钢棒；一是陶瓷质，也就是我们所说的瓷棒，瓷棒又分为高温棒、中温棒和低温棒。根据使用温度选用不同的辊棒，钢棒一般用在窑头、窑尾。对辊棒一般有以下要求：好的抗热震性能、好的高温抗氧化性能、高的荷重软化温度、小的蠕变性（高温体积稳定性）和好的去污性。国产瓷棒中比较好的有金刚、海登皇格、三英等。

本设计对于辊棒的选择如下：在低温段（40~400℃）第 1—9 节与第 70—77 节采用 $\Phi 80 \times 4500\text{mm}$ 无缝钢管棍子；在中温段（400~700℃）第 10—24 节与第 59—70 节采用 $\Phi 80 \times 4500\text{mm}$ 莫来石辊棒；而高温段（700~1160℃）第 25—58 节采用 $\Phi 80 \times 4500\text{mm}$ 莫来石—刚玉质陶瓷辊棒。

3.5.2 传动装置

目前窑炉的传动方式有链传动、摩擦传动、螺旋齿轮传动、圆锥齿轮传动和直齿轮传动。链传动结构简单，造价低，早期的辊道窑大多采用链传动，但链传动不

够平稳，链条较长时易发生爬行现象。摩擦传动比较平稳，但可靠性稍差。齿轮传动具有明显的可靠性和平稳性，不过，由于齿与齿之间为点接触，容易磨损，对安装和润滑要求较高。用的较多的是螺旋齿轮传动。

电机带动传动装置也有两种形式：一是长轴传动，其特点是一台电机带动一根与窑长差不多的长轴，通过二级减速将动力分配若干组，长轴上装有离合器。一是多电机传动，特点是将窑分成若干组，几个模数段为一组，每组由一台电机传动，采用变频调速，所有电机可同时运行，每台亦可单独运行，我们现在使用的就是多电机传动。

本设计采用螺旋齿轮传动与多电机传动，并且使用差速传动（对裸烧产品还对调整变形有好处）。差速传动就是相邻辊棒速度有微小差异，通过配置不同尺数的齿轮比来实现，一般使用 15：22 和 17：25。除了第 1—9 节采用一个电机，其余都是两节使用一个电机。其中电机为 0.75KW，速比为 1：59。

3.5.3 辊距的确定

辊距即相邻两根辊子的中心距，确定辊距主要依据是制品长度、辊子直径以及制品在辊道上移动的平稳性。

考虑到制品长度较大，因此根据经验公式计算得：

$$H = \frac{1}{5} L = 131.8 \text{ mm}$$

同时考虑到每节窑长 2008mm，确定最后的辊距为 132mm，每节装 20 跟辊棒。

辊子总数为 $N = 20 \times 77 = 1540$ 根

3.5.4 辊棒的联接形式

主动端采用弹簧夹紧式，而从动端使用的是托轮摩擦式连接，这种联接方式对更换辊子非常方便。托轮摩擦式连接是将辊棒自由的放在间距相等的托轮上，利用辊子的摩擦力带动辊子转动。

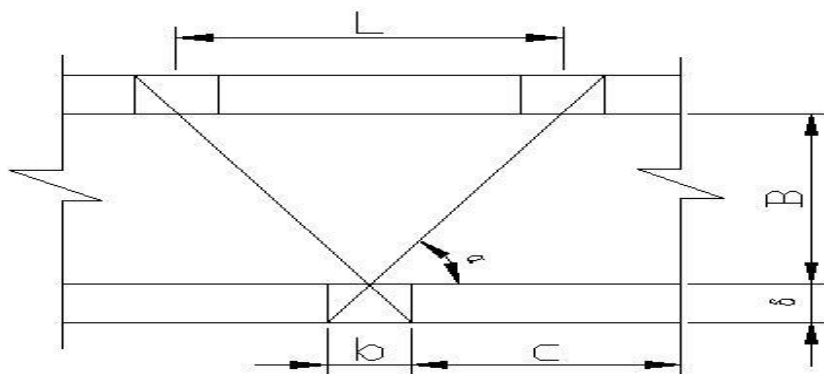
3.5.5 传动过程

电机→减速器→主动链轮→滚子链→从动链轮→主动螺旋齿轮→从动螺旋齿轮→辊棒传动轴→辊子。

3.6 窑体附属结构

3.6.1 事故处理孔

本设计将事故处理设在辊下，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。经过计算，取事故处理孔尺寸为：辊下处理孔 $230 \times 115 \text{ mm}$ 。根据同侧事故处理孔距离 $L \geq 2(b+c) = 2b(1+B)/\delta = 2 \times 230(1+2700)/360 = 3451 \text{ mm}$ ，其中各个符号如下图，经过计算，取 $L=3500\text{mm}$ 。其中各个符号如下图，同时考虑到实际情况，结合一些先进窑炉的经验，全窑每节之间设置一辊下事故处理口，从进窑的第 2 节开始布置。



为了避免热气体外溢，必须对事故处理口进行密封。在里面用耐火材料制作的塞砖，再用棉塞紧。

3.6.2 观察孔与测温口

每个烧嘴的对侧窑墙设置直径 40mm 的观察孔，上窑墙观察孔的里面要向下打个斜角，以便可以观察窑内砖的走势情况及其它燃烧情况，当遇到了事故处理口时就不设置观察口。

测温口根据上面热电偶的设置而设置。

3.6.3 膨胀缝

窑体受热会膨胀，产生很大的热应力，为避免砌体开裂、挤坏，必须重视窑体膨胀的留设，窑墙、窑顶等砌体都要留设，一般每隔 2m 左右留设 20~40mm 膨胀缝，内填陶瓷棉或石棉。

本设计为了砌窑的方便，除了高温区外每隔一节留设 30 mm 的膨胀缝，高温区则应多留一道膨胀缝。而宽度方向上也要留膨胀缝，这没有具体的规定，留多少道膨胀缝则根据砌筑的方便与厂家的要求来定。还有膨胀缝也应该错缝设置。

3.6.4 下挡墙和上挡板

由于辊道窑属中空窑，工作通道空间大，气流阻力小，难以调节窑内压力制度及温度制度。因此，通常在辊道窑工作通道的某些部位，辊下筑挡墙，辊上插挡板，缩小该外工作通道面积，以增加气流阻力，便于压力与温度制度的调节。

一般来说，下挡墙与上挡板的设置应该根据各个段的要求来定。如在烧成带与冷却带之间设置挡墙、挡板是为避免烧成带的烟气倒流，又避免了压力波动时急冷风窜流向烧成带而降低高温区温度。预热带设置挡墙、挡板可以增加烟气在高温区的滞留时间，提高烟气利用率，从而提高热利用率。还用为了更好的控制温度，还在中高温设置几个上挡板与下挡墙。

故本设计在烧成带两端即 37 节和 49 节设上下挡板挡墙结构，有利于该段温度的控制和调节，同时起到阻挡急冷空气进入的作用。同时在预热带第 23 节和第 34 节以及窑前第 9 节第 12 节同样也设置上下挡板挡墙的结构，起到阻挡气流，减小上下温差的作用。

3.6.5 钢架结构

钢架结构每一节都设有 17 根 $60 \times 60 \times 4\text{mm}$ 的方钢，吊顶选用 $60 \times 5\text{mm}$ 的等边角钢，下横梁焊有 $60 \times 5\text{mm}$ 的等边角钢，而烧嘴的固定用 50×5 的等边钢。窑体外壳采用 2—4mm 钢板冲压而成。

4 窑体材料确定

整个窑体由金属支架支撑。窑体材料要用耐火材料和隔热材料。

4.1 窑体材料确定原则

耐火材料必须具有一定的强度和耐火性能以便保证烧到高温窑体不会出现故障。隔热材料的积散热要小，材质要轻，隔热性能要好，节约燃料。而且还要考虑到廉价的材料问题，在达到要求之内尽量选用价廉的材料以减少投资。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。

4.2 整个窑炉的材料表

窑体材料的选择

名称	材质		使用温度	导热系数	厚度
低温段 1—12 节，59—77 节					
窑顶	耐火层	轻质粘土砖	1150	0.35	230
	隔热层	硅酸铝耐火纤维束	1000	0.13	90
窑墙	耐火层	轻质粘土砖	1150	0.35	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	0.35	130
	隔热层	硅藻土砖	1000 以下	0.1+0.000228t	195
中温段 13—34 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	1150	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	轻质粘土砖	1150	0.80+0.00026t	130
	隔热层	硅藻土砖	1000 以下	0.1+0.000228t	195
高温段 35—58 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+0.000228t	195

5 燃料及燃烧计算

根据《热工手册》相关资料差得，天然气低发热量 $Q_{\text{低}} = 36980 \text{ KJ} / \text{m}^3$

5.1 理论空气量计算：

根据《热工手册》计算天然气经验公式可得，

理论空气量 $V_a^o = 9.783 \text{ m}^3 / \text{m}^3$

取空气过剩系数 1.3：

实际空气量： $V_a = 12.72 \text{ m}^3 / \text{m}^3$

5.2 烟气量计算

根据《热工手册》计算天然气的经验公式可得，

实际烟气量： $V_g = 1.3 \times 9.783 + 0.38 + \frac{0.018}{1000} Q_d = 13.764 \text{ m}^3 / \text{m}^3$

5.3 燃烧温度计算

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

天然气比热为 $c_r = 1.58 \text{ KJ} / (\text{Nm}^3 \cdot ^\circ\text{C})$ ， $t_a = t_r = 20^\circ\text{C}$

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：

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

根据理论燃烧温度：

$t_{th} = 1693^\circ\text{C}$

$(1700 - 1691) / 1700 < 5\%$ ，所设温度合理。

取高温系数为 0.75，则实际温度为：

$t=0.75 \times 1700=1275^{\circ}\text{C}$ ，比最高烧成温度 1160 高出 115℃，符合烧成要求，认为合理。

6 物料平衡计算

原料组成:

SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	K_2O	CaO	MgO	Na_2O	灼减
68.35	16.27	0.85	2.20	2.30	2.65	2.15	4.85

玻化砖密度为 $1.77 \times 10^3 \text{ Kg/m}^3$ ，产品尺寸为 $600 \times 600 \times 10\text{mm}$,

每小时烧成制品质量 G_m :

$$G_m = \frac{28000000}{330 \times 24 \times 95\%} \times 10 \times 1.77 = 6586.9 \text{ (Kg/h)}$$

每小时烧成干坯的质量

$$G_g = \frac{G_m}{1 - 4.2\%} \approx 6876 \text{ (Kg/h)}$$

每小时欲烧成湿坯的质量（含水量为 2 %）

$$G_s = \frac{G_g}{1 - 2\%} = 7016 \text{ (Kg/h)}$$

每小时蒸发自由水的质量

$$G_z = G_s - G_g = 140 \text{ (Kg/h)}$$

每小时从精坯中产生的 CO_2

$$G_{CaO} = G_g \times CaO\% = 158.1 \text{ (Kg/h)}$$

$$G_{MgO} = G_g \times MgO\% = 182.2 \text{ (Kg/h)}$$

$$G_{CO_2} = \left(G_{CaO} \times \frac{44}{41} \right) + \left(G_{MgO} \times \frac{44}{56} \right) \approx 312.86 \text{ (Kg/h)}$$

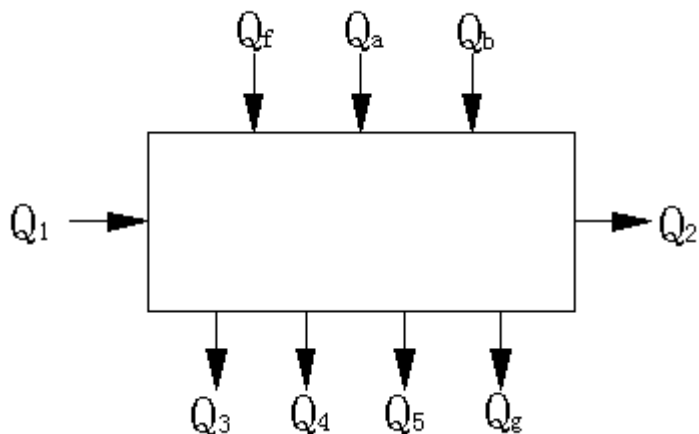
每小时从精坯中分解出来的结构水

$$G_j = G_g \times 4.2\% - G_{CO_2} \approx 20.63 \text{ (Kg/h)}$$

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。预热带热平衡计算的目的在于求出燃料消耗热量，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，哪项消耗最大，能否采取改进措施。

7.1 热平衡示意图



坯体带入显热： Q_1

窑体散失热： Q_3

燃料带入化学热及显热： Q_f

物化反应耗热： Q_4

助燃空气带入显热： Q_a

其他热损失： Q_5

预热带漏入空气带入显热： Q'_a (Q_b)

烟气带走显热： Q_g

热制品带出显热： Q_2

7.2 热收入项目

7.2.1 坯体带入显热 Q_1

$$Q_1 = G_s c_1 t_1$$

其中： G_s ——湿制品质量 (Kg/h)，据物料平衡计算中可知 $G_s = 7016 (Kg/h)$

制品入窑第三节时的温度 $t_1 = 250^\circ C$

$$\text{入窑制品比热 } c_1 = 0.84 + 26 \times 10^{-5} \times 250 = 0.905 \quad (KJ / Kg \cdot ^\circ C)$$

$$\therefore Q_1 = G_s c_1 t_1 = 1587370 \quad (KJ/h)$$

7.2.2 燃料带入化学热及显热 Q_f

天然气低热值为 $36980 KJ / Bm^3$

入窑天然气温度 $t_f = 20^\circ C$ ， $20^\circ C$ 时天然气比热容 $c_f = 1.63 KJ / Bm^3 \cdot ^\circ C$

设天然气消耗量为 $x Bm^3 / h$

$$\text{则 } Q_f = x(Q_{dw} + c_f t_f) = 37012.6x \quad (KJ/h)$$

7.2.3 助燃空气带入显热 Q_a

助燃空气温度 $t_a = 20^\circ C$

$20^\circ C$ 时，取空气比热容 $c_a = 1.30 (KJ / m^3 \cdot ^\circ C)$

$$V_{a\text{总}} = V_a x = 12.72x \quad Bm^3 / h$$

$$\text{则 } Q_a = V_{a\text{总}} c_a t_a = 330.72 (KJ/h)$$

7.2.4 预热带漏入空气带入显热 Q'_a

取预热带空气过剩系数 $\alpha_g = 2.0$

漏入空气温度 $t_f = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，空气比热容 $c_a = 1.30\text{ (KJ/m}^3\text{ }^{\circ}\text{C)}$

漏入空气总量为

$$V_a = x(\alpha_g - \alpha)V_a^0 = 8.364x\text{ (Bm}^3\text{/h)}$$

$$\text{则 } Q_a' = V_a c_a t_a = 217.46x\text{ (KJ/h)}$$

7.3 热支出项目

7.3.1 热制品带出显热 Q_2

烧成产品质量:

$$G_m = 7375.1\text{ (Kg/h)}$$

制品烧成温度 $t_2 = 1160\text{ }^{\circ}\text{C}$

制品平均比热容，查手册 $C_2 = 0.84 + 26 \times 10^{-5} \times 1160 = 1.1416\text{ (KJ/Kg}^{\circ}\text{C)}$

$$Q_2 = G_m c_2 t_2 = 9766520.4\text{ (KJ/h)}$$

7.3.2 窑体散失热 Q_3

将计算窑段分为三部分，即第 1-12 节，59-77 节：低温段 $40\text{--}550\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，取平均值为 $295\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；第 13-34 节：中温段 $550\text{--}900\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，取平均值为 $725\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；第 35-58 节：高温段 $900\text{--}1160\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，取平均值 $1030\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

7.3.2.1 第 1—12 节，59—77 节：40—550℃。窑外壁表面平均温度 50℃，环境温度取 20℃，窑内壁平均温度为 295℃

① 窑墙散热

单位热流密度:

$$q = \frac{t_1 - t_a}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} = \frac{295 - 50}{\frac{0.23}{0.35} + \frac{0.13}{0.13}} = 147.86 (W / m^2)$$

$$\text{窑墙散热面积 } A = \frac{1.92 + 2.64}{2} \times 2 \times 31 = 126.79 \text{ m}^2$$

二侧窑墙共散热：

$$Q_1' = 134981.208 (KJ / h)$$

② 窑顶散热：

单位热流密度：

$$q = \frac{t_1 - t_a}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} = \frac{295 - 50}{\frac{0.23}{0.35} + \frac{0.09}{0.13}} = 189 (W / m^2)$$

$$\text{窑顶散热面积： } A = \frac{1.92 + 2.64}{2} \times 2 \times 31 = 141.36 \text{ m}^2$$

窑顶散热量：

$$Q_1'' = 96181.375 (KJ / h)$$

③ 窑底散热

单位热流密度：

$$q = \frac{t_1 - t_a}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} = \frac{295 - 20}{\frac{0.13}{0.35} + \frac{0.195}{0.1058}} = 225.5 (W / m^2)$$

$$\text{窑底散热面积 } A = \frac{1.92 + 2.64}{2} \times 2 \times 40 = 141.36 \text{ m}^2$$

窑底散热量：

$$Q_1''' = 114818.962 (KJ / h)$$

所以低温段窑体总散热量：

$$Q_{\text{低}} = 345979.995 \text{ (KJ/h)}$$

7.3.2.2 中温段 13—34 节：550~900℃。窑外壁平均温度取 60℃，环境温度 20℃，窑内平均温度取 725℃。

① 窑墙散热

单位热流密度：

$$q = \frac{t_1 - t_a}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} = \frac{725 - 60}{\frac{0.23}{0.492} + \frac{0.13}{0.13}} = 453.3 \text{ (W/m}^2\text{)}$$

$$\text{窑墙散热面积 } A = \frac{0.7 + 1.345}{2} \times 2 \times 22 = 44.99 \text{ m}^2$$

二侧窑墙共散热：

$$Q_2' = 146839 \text{ (KJ/h)}$$

② 窑顶散热：

单位热流密度：

$$q = \frac{t_1 - t_a}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} = \frac{725 - 60}{\frac{0.23}{0.49} + \frac{0.13}{0.13}} = 452.69 \text{ (W/m}^2\text{)}$$

$$\text{窑顶散热面积 } A = \frac{1.92 + 2.64}{2} \times 2 \times 22 = 100.32 \text{ m}^2$$

窑顶散热量：

$$Q_2'' = 163489.92 \text{ (KJ/h)}$$

③ 窑底散热

单位热流密度:

$$q = \frac{t_1 - t_a}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} = \frac{725 - 60}{\frac{0.13}{0.35} + \frac{0.195}{0.1058}} = 300 (W/m^2)$$

$$\text{窑底散热面积 } A = \frac{1.92 + 2.64}{2} \times 2 \times 22 = 100.32 \text{ m}^2$$

窑底散热量:

$$Q_2'' = 108345.6 (KJ/h)$$

中温段总散热量:

$$Q_{\text{中}} = 418671 (KJ/h)$$

7.3.2.3 高温段 35—58 节: 900~1160℃ 散热。窑外壁平均温度取 80℃, 环境温度 20℃, 窑内平均温度 1030℃。

① 窑墙散热

单位热流密度:

$$q = \frac{t_1 - t_a}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} = \frac{1030 - 80}{\frac{0.23}{0.46} + \frac{0.13}{0.13}} = 633 (W/m^2)$$

$$\text{窑墙散热面积 } A = \frac{0.8 + 1.585}{2} \times 2 \times 24 = 57.24 \text{ m}^2$$

二侧窑墙共散热:

$$Q_3' = 260877.024 (KJ/h)$$

② 窑顶散热:

单位热流密度:

$$q = \frac{t_1 - t_a}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\delta_2}} = \frac{1030 - 80}{\frac{0.23}{0.49} + \frac{0.13}{0.13}} = 646.7 (W/m^2)$$

$$\text{窑顶散热面积 } A = \frac{1.92 + 2.64}{2} \times 2 \times 24 = 109.44 \text{ m}^2$$

窑顶散热：

$$Q_3'' = 254789.453 \text{ (KJ/h)}$$

③ 窑底散热

单位热流密度：

$$q = \frac{t_1 - t_a}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\delta_2}} = \frac{1030 - 80}{\frac{0.13}{0.35} + \frac{0.195}{0.1058}} = 429 (W/m^2)$$

$$\text{窑底散热面积 } A = \frac{1.92 + 2.64}{2} \times 2 \times 24 = 109.44 \text{ m}^2$$

窑底散热量：

$$Q_3''' = 169019.136 \text{ (KJ/h)}$$

高温带总散热量：

$$Q_{\text{高}} = 684685.613$$

预热带、烧成带窑体总散热量

$$Q_3 = Q_{\text{低}} + Q_{\text{中}} + Q_{\text{高}} = 1449336.61 \text{ (KJ/h)}$$

7.3.3 物化反应耗热 Q_4

④ 自由水蒸发吸热 Q_w

$$\text{自由水质量 } G_w = G_s - G_g = 159 \text{ (Kg/h)}$$

烟气离窑温度 $t_g = 400\text{ }^{\circ}\text{C}$

$$\therefore Q_w = G_w(2490 + 1.93t_g) = 12670710 \text{ (KJ/h)}$$

②烧成坯体物化反应耗热

用 Al_2O_3 反应热近似代替坯体物化反应热

入窑干制品质量 $G_g = 7831 \text{ kg/h}$ Al_2O_3 含量 = 16.27 %

$$Q_p = G_g \times 2400 \times 16.27 = 305748.88 \text{ (KJ/h)}$$

$$\text{所以 } Q_4 = Q_w + Q_p = 15728558.9 \text{ (KJ/h)}$$

7.3.4 烟气带走显热 Q_g

$$\text{离窑烟气总量 } V_g = [V_g^0 + (\alpha_g - 1)V_a^0]x = 18.384x$$

离窑烟气过剩系数 $\alpha_g = 2 \sim 4$, 取 $\alpha_g = 2$

离窑烟气温度 $t_g = 400^{\circ}\text{C}$

查手册, 此时烟气的平均比热为 $C_g = 1.45 \text{ (KJ/m}^3\text{ }^{\circ}\text{C)}$

$$\therefore Q_g = V_g C_g t_g = 10662.72x \text{ (KJ/h)}$$

7.3.5 其他热损失 Q_5

根据经验占热收入的 5%

$$Q_5 = (Q_1 + Q_f + Q_a + Q_a'') \times 5\% = 90386.87 + 1727.58x \text{ (KJ/h)}$$

7.4 列热平衡方程并求解

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

$$\text{解得 } x = 992.69 \text{ (Bm}^3\text{/h)}$$

每小时烧成制品质量为: $G_m = 7375 \text{ (Kg/h)}$

$$\text{每公斤产品热耗: } \frac{992.69 \times 34008}{7315} = 4615 \quad (\text{KJ} / \text{Kg})$$

目前瓷质砖的产品热耗在 2000 ~ 3500 (KJ / Kg) 之间, 所以设计该窑炉热耗合理!

7.5 列热平衡表

预热带烧成带热平衡表

Figure 1 the tack and lead thermal balance form to cook to preheat

热收入			热支出		
项目	KJ / h	%	项目	KJ / h	%
坯体带入显热	1587370	5.57	产品带出显热	9766520.4	34.29
燃料化学热及显热	26501021.6	93	窑体散失热	1449336.61	5.09
助燃空气显热	236795.52	0.83	物化反应热	4874912.1	17.12
漏入空气显热	155701.4	0.60	烟气带走显热	10584775.5	37.1
			其他热损失	1805338.26	6.3
总计	28480888.6	100.0	总计	28480882.5	100.0

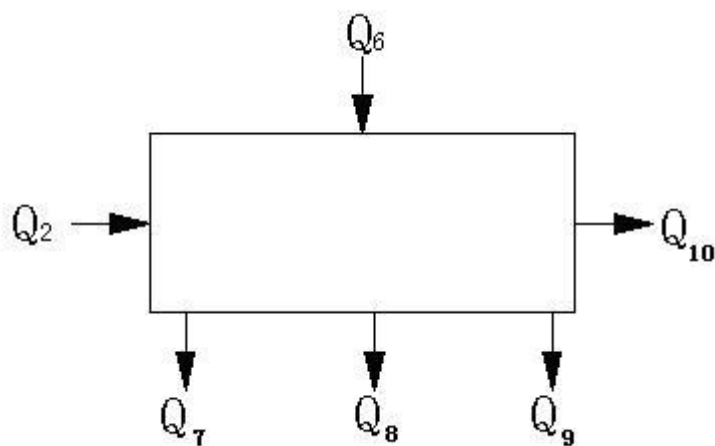
热平衡分析:由表可以看出热支出项中, 产品带走显热, 物化反应耗热两项不可能减少。而其他三项则可采用适当措施节省能耗。对于烟气出窑温度适当控制在较低温度下。在资金允许的情况下, 要减少窑体散热则可采用新型耐火材料, 隔热材料, 以达到节能减排的目的。

7.6 冷却带热平衡计算

热平衡示意图

图 7-6 冷却带热平衡示意图

Fig7-6 the sketch map of thermal balance of the colling belt



制品带入的显热 Q_2

制品带出显热 Q_7

冷却风带入显热 Q_6

热风抽出带走显热 Q_8

窑体散热 Q_9

其他热损失 Q_{10}

7.7 热收入

7.7.1 制品带入的显热 Q_2

制品出窑温度 $t=1160^{\circ}\text{C}$

查表可知该温度下制品的平均比热为 $C=1.29\text{KJ}/(\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C})$

每小时烧成制品质量 $G_m=7375\text{ kg/h}$

所以 $Q_2 = G_m t c = 11035950\text{ (KJ/h)}$

7.7.2 冷却风带入显热 Q_6

设定鼓入冷风量为 $V_x \text{ m}^3 / \text{h}$ 。鼓入冷风的温度： $t_a = 20 \text{ }^\circ\text{C}$

查表得：20 $^\circ\text{C}$ 时空气的比热为 $c_a = 1.30 \text{ KJ} / \text{m}^3 \cdot ^\circ\text{C}$ 。

$$\therefore Q_6 = V_x c_a t_a = V_x \times 1.30 \times 20 = 26V_x \text{ (KJ/h)}$$

7.8 热支出

7.8.1 制品带出显热 Q_7

出窑时制品的质量： $G_m = 7375 \text{ kg/h}$

计算时以窑尾快冷结束为出窑口，此时的温度为 $t_7 = 80^\circ\text{C}$

此时陶瓷制品的比热为 $c_7 = 0.896 \text{ (KJ / Kg} \cdot ^\circ\text{C)}$

$$\therefore Q_7 = G_m c_7 t_7 = 528640 \text{ (KJ/h)}$$

7.8.2 热风抽出时带走的显热 Q_8

由热风抽出量应等于冷风鼓入量，遵循平衡原则。故抽出热风量为 $V_x \text{ m}^3 / \text{h}$

取热风抽出的温度为： $t_8 = 300 \text{ }^\circ\text{C}$ ，查表此时的比热为： $c_8 = 1.32 \text{ KJ} / \text{m}^3 \cdot ^\circ\text{C}$

$$\text{则 } Q_8 = V_x c_8 t_8 = 300 \times 1.32 \times V_x = 396V_x$$

7.8.3 窑体散失热量 Q_9

1. 急冷带（50—58 节）1160~700 $^\circ\text{C}$ 段散热

① 窑墙散热

$$\text{内壁平均温度 } t_2 = \frac{1160+700}{2} = 930^\circ\text{C}$$

设窑墙外壁平均温度 $t_3 = 50^\circ\text{C}$,

单位热流密度:

$$q = \frac{t_1 - t_a}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\delta_2}} = \frac{930 - 50}{\frac{0.23}{0.45} + \frac{0.13}{0.13}} = 582.78(\text{W}/\text{m}^2)$$

$$\text{窑墙散热面积 } A = \frac{0.8 + 1.585}{2} \times 2 \times 9 = 21.465 \text{ m}^2$$

二侧窑墙共散热:

$$Q_1' = 582.78 \times 2 \times 21.465 \times 3.6 = 90067.48 \text{ (KJ/h)}$$

② 窑顶散热:

单位热流密度:

$$q = \frac{t_1 - t_a}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\delta_2}} = \frac{930 - 50}{\frac{0.23}{0.45} + \frac{0.13}{0.13}} = 582.78(\text{W}/\text{m}^2)$$

(W/m^2)

$$\text{窑顶散热面积: } A = \frac{1.92 + 2.64}{2} \times 2 \times 9 = 41.04 \text{ m}^2$$

窑顶散热量:

$$Q_1'' = 41.04 \times 582.78 \times 3.6 = 86102.25 \text{ (KJ/h)}$$

③ 窑底散热

单位热流密度:

$$q = \frac{t_1 - t_a}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\delta_2}} = \frac{930 - 50}{\frac{0.13}{0.45} + \frac{0.195}{0.3786}} = 535(\text{W}/\text{m}^2)$$

$$\text{窑底散热面积 } A = \frac{1.92 + 2.64}{2} \times 2 \times 9 = 41.04 \text{ m}^2$$

窑底散热量:

$$Q_1'' = 79043.04 \text{ (KJ/h)}$$

$$\text{急冷带散热总量: } Q_{\text{急}} = 255212.77 \text{ (KJ/h)}$$

2. 缓冷带、快冷带（59—77 节）：700~80℃，要内壁平均温度 390℃。窑外壁平均温度取 50℃，

① 窑墙散热

单位热流密度:

$$q = \frac{t_1 - t_a}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} = \frac{390 - 50}{\frac{0.23}{0.35} + \frac{0.13}{0.13}} = 205.19 \text{ (W/m}^2\text{)}$$

$$\text{窑墙散热面积 } A = \frac{0.7 + 1.345}{2} \times 2 \times 19 = 38.855 \text{ m}^2$$

二侧窑墙共散热:

$$Q_2' = 38.855 \times 2 \times 205.19 \times 3.6 = 57403.13 \text{ (KJ/h)}$$

② 窑顶散热:

单位热流密度:

$$q = \frac{t_1 - t_a}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} = \frac{390 - 20}{\frac{0.23}{0.35} + \frac{0.09}{0.13}} = 252.038 \text{ (W/m}^2\text{)}$$

$$\text{窑顶散热面积 } A = \frac{1.92 + 2.64}{2} \times 2 \times 19 = 86.64 \text{ m}^2$$

窑顶散热量:

$$Q_2'' = 252.038 \times 86.64 \times 3.6 = 78611.66 \quad (KJ/h)$$

③ 窑底散热

单位热流密度:

$$q = \frac{t_1 - t_a}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} = \frac{390 - 50}{\frac{0.13}{0.335} + \frac{0.195}{0.13}} = 285.71 (W/m^2)$$

$$\text{窑底散热面积 } A = \frac{1.92 + 2.64}{2} \times 2 \times 19 = 86.64 \text{ m}^2$$

$$Q_2' = 86.64 \times 285.71 \times 3.6 = 89114.1 \quad (KJ/h)$$

$$\text{此段总散热量: } Q_{\text{缓}} = 225128.89 \quad (KJ/h)$$

$$\text{冷却带窑体总散热 } Q_9 = Q_{\text{急}} + Q_{\text{缓}} = 563817.02 \quad (KJ/h)$$

7.8.4 由窑体不严密处漏出空气带走显热 Q_{10}

冷却带从窑体不严密处漏出空气量通常为窑尾鼓入风量的 5%。即 $0.05V_x$ 。设定漏出空气的平均温度 $t_{10} = 400 \text{ } ^\circ\text{C}$

此时空气的比热容为 $c_{10} = 1.33 \text{ KJ}/m^3 \cdot ^\circ\text{C}$

$$\therefore Q_{10} = V_{10} c_{10} t_{10} = 0.05V_x \times 1.33 \times 400 = 26.6V_x \quad (KJ/h)$$

7.9 列热平衡方程

$$Q_3 + Q_6 = Q_7 + Q_8 + Q_9 + Q_{10}$$

$$11035950 + 26V_x = 528640 + 396V_x + 563817.02 + 26.6V_x$$

$$\text{解得 } V_x = 25071 \quad (m^3/h)$$

即每小时鼓入冷风量为 $25071 \text{ (} m^3/h \text{)}$

7.10 列热平衡表

冷却带热平衡表

Figure 7-4 Cool and tack the thermal balance form

热收入				热支出			
序号	项目	热量 (KJ/h)	比例%	序号	项目	热量 (KJ/h)	比例%
1	制品带入热	11035950	94.4	1	制品带出热	528640	4.50
2	空气带入热	651846	5.6	2	窑体散热	563817.02	4.82
				3	抽热风带走热	9928116	84.95
				4	其他热损失	666888.6	5.73
总计		11687796	100	总计		11687461.6	100

由表可看出，热风抽出带走的热量占很大的比例，因此应充分利用此热量，一般用来干燥坯体和作助燃风以及雾化风作用。本窑设计抽热风用于坯体的干燥以及送去造粒塔进行吹热风造粒。

8 管道尺寸以及阻力计算和风机选型

8.1 抽烟风机的管道尺寸、阻力计算

8.1.1 管道尺寸

排烟系统需排烟气量：

$$V_g = [V_g^0 + (\alpha - 1)V_a] \cdot X = [10.2 + (1.15 - 1) \times 11.316] \times 716 = 8518.54$$

烟气抽出时实际体积为：

烟气在金属管中流速 ω ，根据经验数据取 10m/s

$$V = V_g \cdot (273 + 400) / 273 = 5.82 \quad (\text{m}^3 / \text{s})$$

8.1.1.1 总烟管尺寸

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

$$\begin{aligned} \text{内径 } d_{\text{总}} &= (4V / \pi \omega)^{0.5} \\ &= [4 \times 5.82 / (3.1415 \times 10)]^{0.5} \\ &= 0.86\text{m} \end{aligned}$$

所以，总管内径取值：860mm，长度取 5m.

8.1.1.2 分烟管尺寸

$$\text{分管流量 } V' = V / 2 = 5.82 / 2 = 2.91 \quad (\text{m}^3 / \text{s})$$

$$\begin{aligned} \text{内径 } d_{\text{分}} &= (4V' / \pi \omega)^{0.5} \\ &= [4 \times 2.91 / (3.1415 \times 10)]^{0.5} \\ &= 0.608\text{m} \end{aligned}$$

考虑到调节的方便性分管内径取值为：600mm，长度取 4m.

8.1.1.3 支烟管尺寸

烟气在支管的流速为： $\omega=10\text{m/s}$ ，流量 $V''=5.82/4=1.455\text{ (m}^3/\text{s)}$

$$\begin{aligned}\text{内径 } d_{\text{支}} &= (4V/\pi\omega)^{0.5} \\ &= [4 \times 1.455 / (3.14 \times 10)]^{0.5} \\ &= 0.430\text{m}\end{aligned}$$

所以，支管内径应该不小于 119mm，考虑到调节的方便取值为：430mm，长度取 0.5m.

8.1.2 阻力计算

8.1.2.1 料垛阻力 h_i

根据经验每米窑长料垛阻力为 0.5Pa，因为该窑第 10 节为主抽烟口，零压面位于窑的 36~37 节交界处，所以：

$$h_i = (33+0.5) \times 2.08 \times 0.5 = 34.84\text{ Pa}$$

8.1.2.2 位压阻力 h_g

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

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

8.1.2.3 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： $\zeta = 1.5$ ；

并 90° 急转弯： $\zeta = 1.5$

为简化计算，烟气流速均按 10m/s 计，烟气温度按 400℃ 计，虽在流动过程中烟气会有温降，但此时流速会略小，且取定的截面积均比理论计算的偏大，故按此值算出局部阻力只会偏大，能满足实际操作需求。

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

8.1.2.4 摩擦阻力 h_f

摩擦阻力系数：金属管道取 $\zeta = 0.03$ ，

$$h_f = \zeta (L_{支}/D_{支} + L_{分}/D_{分} + L_{总}/D_{总}) \times \omega^2 \rho / 2 \\ = 0.03 \times (0.5/0.2 + 4/0.28 + 5.0/0.4) \times 100 / 2 \times 273 / (273 + 400) \\ = 10 \text{ Pa}$$

8.1.2.5 风机应克服总阻力 $h_{总}$

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

8.1.3 风机的选型

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

流量取储备系数为 1.5，风机排出烟气平均温度 250℃，所以：

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

8.2 其他系统管路尺寸确定、风机的选型

8.2.1 天然气输送管径的计算

8.2.1.1 天然气总管内径的计算

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

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

所以，总管内径取值：130mm

8.2.1.2 窑顶 窑底 窑侧的分管尺寸

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

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

所以，分管内径取值：30mm

8.2.1.3 通往烧嘴的天然气支管内径计算

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

$$\begin{aligned}\text{内径 } d_{\text{支}} &= 2 \times (v / 3600 \pi \omega)^{0.5} \\&= 2 \times [716 / (3600 \times 3.14 \times 188 \times 6)]^{0.5} \\&= 0.0038\text{m}\end{aligned}$$

所以，分管内径取值：8mm

8.2.2. 助燃风管计算

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

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

8.2.2.1 助燃风总管内径的确定

助燃气在总管中的流速为： $\omega = 10 \text{ m/s}$ ，

助燃风管总管选用一根管子，那么总管的内径为：

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

所以，总管内径取值：180mm

8.2.2.2 助燃风分管内径的确定

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

$$d_{\text{分}} = 2 \times [V / (3600 n \pi \omega)]^{0.5} = 0.123 \text{ m}$$

所以分管内径取 130mm

8.2.2.3 窑顶窑底内的方管内径的确定

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

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

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

取方管边长为 90mm

8.2.2.4 助燃风管通往烧嘴的管路管径

共 188 根烧嘴，取流速为 $\omega = 6\text{m/s}$ ，

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

取支管直径：20mm

8.2.3 冷却带风管计算

冷却带鼓入冷风总量为 $27218\text{m}^3/\text{h}$

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

8.2.3.1 缓冷总管（抽风管）

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

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

取缓冷总管内径：1100mm

缓冷分管：n=8

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

取缓冷分管内径：400mm

缓冷支管：共设置了（48 个抽风口，48 根抽风支管）

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

取缓冷分管内径：50mm

8.2.3.2 急冷风管内径的确定

急冷总管内径

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

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

急冷分管内径

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

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

急冷风方管尺寸：500mm

急冷支管内径

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

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

急冷支管内径：280mm

8.2.3.3 快冷管径确定

8.2.3.4 快冷总管内径确定

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

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

总管内径：310mm

快冷分管内径确定

取 $\omega = 9\text{m/s}$, $n=9$

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

分管内径: 220mm

快冷支管内径确定

取 $\omega = 8\text{m/s}$, $n=24$

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

支管内径: 70mm

8.2.4 风机选型

助燃风机选型

助燃风机的风量: $V=863\text{ m}^3/\text{h}$

急冷风机选型

急冷风机的风量: $V=16331\text{ m}^3/\text{h}$

抽热风机选型

抽热风机的风量: $V=27218\text{ m}^3/\text{h}$

快冷风机选型

快冷风机的风量: $V=10887\text{ m}^3/\text{h}$

各系统管道尺寸、风机型号规格见表 8-2

表 8-2 窑主体系统管道尺寸、风机型号规格

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

9 工程材料概算

9.1 窑体材料概算

9.1.1 轻质粘土砖的概算

每块轻质粘土砖的体积 $V = 0.23 \times 0.113 \times 0.065 = 0.00169m^3$

第1节~第34节，第59节~第77节：

$$\begin{aligned} V_n &= 2 \times 0.78 \times 2.008 \times 0.23(35 + 19) + 0.13 \times 2.008 \times 2.640 \times (35 + 19) + 0.23 \times 2.008 \times 2.03 \\ &= 126.746m^3 \end{aligned}$$

取多余的砖的数量占总量的 3.5%

本窑共需轻质粘土砖的数量为：

$$N_1 = V_n(1 + 0.035) / V = 77623 \text{ 块}$$

9.1.2 轻质高铝砖

每块轻质高铝砖的体积 $V = 0.23 \times 0.113 \times 0.065 = 0.00169m^3$

第35节~58节轻质高铝砖的体积：

$$\begin{aligned} V_g &= 2 \times 0.88 \times 2.008 \times 0.23 \times 24 + 0.23 \times 2.008 \times 2.640 \times 24 + 0.23 \times 2.008 \times 2.030 \times 24 \\ &= 71.237m^3 \end{aligned}$$

取多余的砖的数量占总量的 3.5%

本窑共需轻质高铝砖的块数为：

$$N_2 = V_g(1 + 0.035) / V = 43628 \text{ 块}$$

9.1.3 硅藻土砖

每块硅藻土砖的体积 $V = 0.23 \times 0.113 \times 0.065 = 0.00169m^3$

第1节~77节硅藻土砖的体积：

$$V_{gz} = 0.195 \times 2.640 \times 2.008 \times 27 = 102.337m^3$$

取多余的砖的数量占总量的 3.5%

本窑共需硅藻土砖的块数为：

$$N_3 = V_{gz}(1 + 0.035) / V = 62674 \quad \text{块}$$

9.1.4 硅酸铝棉板的概算

第1节~第12节，第58~70节共26节，每节的硅酸铝棉板的面积为：

$$S_1 = 2.640 \times 2.008 + 0.78 \times 2.008 \times 2 = 8.4336 m^2$$

第13节~第57节共44节，每节的硅酸铝棉板的面积为：

$$S_2 = 2.640 \times 2.008 + 0.88 \times 2.008 \times 2 = 8.8352 m^2$$

本窑共需硅酸铝棉板的面积为：

$$S_{\text{总}} = 26S_1 + 44S_2 = 858.6208 m^2$$

9.2 钢材的概算

钢材的概算以窑的一节用钢材量为基准

9.2.1 方钢的概算

方钢使用 $60 \times 4 \text{mm}$ 的钢材，侧横梁用钢长度 $L_1 = 2.008 \times 10 = 20.08 m$

上下横梁用钢长度 $L_2 = 2.76 \times 5 = 13.8 m$

9.2.2 钢板的概算

在窑的底部铺设 3mm 的钢板，其用量 $S = 2.64 \times 2.008 = 5.30 m^2$

9.2.3 角钢的概算

角钢都使用 $56 \times 56 \times 5$ 等边角钢。底部角钢用量 $L_1 = 2.76 \times 4 = 11.04 m$

吊顶所用角钢为两根并排 $L_2 = 2.76 \times 21 = 57.96m$

在烧成带用角钢固定烧嘴，其用量 $L_3 = 2.1 \times 4 = 8.4m$

合计 $8.4 \times 10.5 = 88.2m$

9.2.4 全窑所用钢材量

方钢: $(20.08 + 13.8) \times 77 = 2608.76m$

钢板: $5.30 \times 77 = 408.1 m^2$

角钢: $(11.04 + 57.96) \times 77 = 5313m$

后 记

紧张和忙碌中，本次毕业设计已临近结束。从毕业实习至今短短的两个多月的时间，我把大学四年所学知识，特别是专业方面的知识系统地应用于本次设计里，这次毕业设计一方面检验了我所学的基础及专业课程的熟练程度；也给了我机会把我所学知识融会贯通、加深理解、寻求创新。整个设计过程大大加深了我对窑炉结构工作系统的认识，为日后设计、控制窑炉打下坚实理论基础。

就目前硅酸盐工业窑炉的发展趋势来说，现代的陶瓷窑炉已远非是昔日的土木砖石“构筑物”，而早已变成了机电一体化、有较高技术含量的综合技术产物——“烧成机器”。窑炉上安装使用了大量的新材料和机电产品，使得整个生产工序变得流畅、简单。最后对我的毕业设计总结如下：

①采用明焰裸烧工艺。燃烧产物与制品直接接触，热交换充分，制品受热均匀，可以实现低温快烧，降低单位能耗，提高产量。②窑墙及窑顶砌体大量使用耐火纤维，因而使窑炉升、降温快，保温好，窑体外表面温度低，散热及蓄热均少，从而大大降低了能耗。③窑膛空间结构、断面构造设计等设置合理。④采用水煤气作为燃料，选用高速调温烧嘴，并采用合理布置、分组控制的燃烧系统。高速调温烧嘴喷出气体速度可大于 100m/s，质量流量大，搅动剧烈，温度又可调，从而大大强化了窑内尤其是低中温段的对流换热，使窑内制品加热极为均匀，烧成周期大为缩短。⑤配置了合理的通风工作系统。不仅全面地满足了窑炉的工作要求，而且

还做到了通风机与管网的良好匹配，从而减少了电能的消耗。⑥窑炉装配化程度高。可全部在工厂制造，再在现场组装，因而施工周期短，且适合于模数化生产。

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

致 谢

本次设计及说明书的撰写是在宫小龙老师的细心关怀,指导下完成的。二个月来,他时刻关心作者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,并与作者共同探讨,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。

我所取得的所有成绩都与关心我的各位老师有着密切的关系,在此我衷心感谢各位老师给予的帮助!是他们给予作者获得的一切。

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

郭建民

2014-05-25