

景德镇陶瓷学院科技艺术学院

《窑炉毕业设计》说明书

题 目：年产 200 万平方米外墙砖油烧辊道窑设计

院 系：_____工程系_____

专 业：_____热能与动力工程_____

姓 名：_____段振兴_____

学 号：_____201030453111_____

指导教师：_____蒋方乐_____

二〇一四年 5 月 6 日

景德镇陶瓷学院科技艺术学院毕业设计（论文）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	段振兴	指导教师	蒋方乐														
题目	年产 200 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℃</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>																	

摘 要

本设计说明书对所设计的年产 200 万平方米外墙砖油烧辊道窑加以说明。说明书中具体论述了设计时应考虑的因素,诸如窑体结构、排烟系统、烧成系统和冷却系统等等.同时详细的进行了对窑体材料的选用、热平衡、管路、传动设计等的计算。

本次设计的窑炉窑顶采用耐热钢穿轻型吊顶砖的吊顶结构,为了降低全窑的热损失减小单位产品热耗,全窑均采用轻质耐火材料。燃料为 0#轻柴油,采用高速调温烧嘴对制品进行明焰裸烧来强化窑炉内部传热,同时高速调温烧嘴可进一步调节使窑内温度均匀提高成品率,从而达到节能的目的。为有效利用烟气热,在窑炉前段采用集中排烟的方式,另外在缓冷段采用抽热空气的方式来冷却制品,对热烟气也可加以利用。对全窑的控制采用计算机自动控制来实现,辊道运输可减少窑内装卸制品,和窑外工序连在一起,操作方便,同时具有很高的自动化控制水平,在燃烧及温度控制上采用 PID 智能仪表,计算机自动控制,可以很方便的调节和稳定烧成曲线,既提高了产品的成品率又降低的工作人员的工作强度,降低了生产成本。

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、节能、柴油、外墙砖

Abstract

This design manual for the designed capacity of 2 million square meters of exterior wall tiles oil burning kiln. Descriptions of specific design should consider the factors is discussed, such as kiln body structure, exhaust system, firing system and cooling system, etc. At the same time, the detailed, including the selection of materials of kiln body, the calculation of heat balance, pipeline, transmission design, etc.

The design of the kiln kiln wearing light condole top of heat-resisting steel brick ceiling construction, to reduce the heat loss of the whole kiln of reducing heat consumption per unit product, all adopt lightweight refractory kiln. Fuel to natural gas, the use of high temperature burner for products has naked to enhancing heat transfer inside the kiln burning, at the same time high speed thermal control burner can further adjust to improve temperature uniformity by yield, so as to achieve the goal of energy saving. For effective utilization of flue gas heat, centralized in the kiln of the smoke, in the slow cooling section with the method of take out hot air to cool the products, also can use of hot flue gas. Control of the whole kiln adopts automatic computer control, can reduce furnace roller transportation loading and unloading of goods, and kiln process together, easy to operate, and has high automation level, on the combustion and temperature control using PID intelligent instrument, computer automatic

control, can easily adjust and stabilize the firing curve, improve the yield of the product and reduce the working strength of workers, reduce the production cost.

This manual include: kiln body the determination of main dimensions, work system, the selection of kiln body materials, fuel combustion calculation, heat balance calculation, transmission, the size of the pipeline resistance calculation, selection of the fan and budgetary estimate of engineering materials.

Keywords: roller kiln saving energy diesel exterior wall tiles

目 录

摘 要.....	3
目 录.....	6
前 言.....	8
原始资料收集.....	9
1 窑体主要尺寸的确定.....	10
1.1 窑内宽的确定.....	10
1.2 窑长和各带长度的计算.....	10
1.2.1 窑体长度的确定.....	10
1.2.2 窑体各带长度的确定.....	10
1.3 窑内高的确定.....	12
2 工作系统的确定.....	12
2.1 排烟系统.....	12
2.2 燃烧系统.....	13
2.2.1 烧嘴的设置.....	13
2.2.2 柴油运输装置.....	13
2.3 冷却系统.....	13
2.3.1 急冷通风系统.....	13
2.3.2 缓冷通风系统.....	14
2.3.3 快冷通风系统.....	14
2.4 窑体附属结构.....	14
2.4.1 事故处理孔.....	14
2.4.2 测温孔.....	14
2.4.3 测压孔.....	15
2.4.4 观察孔.....	15
2.4.5 膨胀缝.....	15
2.4.6 窑道闸板和挡火墙.....	15
2.5 钢架结构.....	15
3 窑体材料的确定.....	16
3.1 窑体材料确定原则.....	16
3.2 窑体材料的选用及校核计算.....	16
4 燃烧及燃料的计算.....	20
4.1 理论空气量的计算.....	20
4.2 实际空气量的计算.....	20
4.3 理论烟气量的计算.....	20
4.4 实际烟气量的计算.....	20
4.5 理论燃烧温度的计算.....	20
5 物料平衡计算.....	21
5.1 每个小时烧成制品的质量 G_m	21
5.2 每小时烧成干坯的质量 G_{gp}	21
5.3 每小时预烧成湿坯的质量 G_{sp}	21

5.4 每小时蒸发自由水的质量 G_{zs}	21
5.5 每小时从精坯中产生 CO_2 的质量 G_{co2}	21
5.6 每小时生成 CO_2 的质量.....	21
5.7 每小时从精坯中分解出的结构水的质量 G_{ip}	21
6 热平衡计算.....	21
6.1 预热带和烧成带的热平衡计算.....	22
6.2 冷却带热平衡计算.....	25
6.2.1 热平衡计算基准及范围.....	25
6.2.2 热收入项目.....	26
6.3 热支出项目.....	26
7 传动、辊棒的选型.....	27
7.1 传动系统的选择.....	27
7.2 辊棒材质的选择.....	28
7.3 辊距的确定.....	28
8 管道尺寸、阻力计算及烧嘴、风机的选用.....	28
8.1 计算抽烟风机的管道尺寸、阻力损失和对风机的选用.....	28
8.1.1 管道尺寸.....	28
8.1.2 阻力计算.....	29
8.1.3 风机的选型.....	30
8.2 其它系统管道尺寸确定、风机的选型.....	30
8.2.1 油管径的计算.....	30
8.2.3 却带风管计算.....	32
8.2.4 雾化风风管径的确定.....	33
8.2.5 风机的选型.....	33
9. 工程材料概算.....	35
9.1 窑体材料分段概算.....	35
9.1.1 第 1-11 节.....	35
9.1.2 第 12-22 节.....	36
9.1.3 第 23-50 节.....	36
9.1.4 第 51-54 节.....	36
9.2 方钢的概算.....	37
9.3 钢板.....	38
后记.....	39
参考资料.....	40

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 2000~3500 KJ/Kg，而传统隧道窑则高达 5500~9000 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。

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。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。这些要求都必须遵循。

本次设计的辊道窑是连续式窑炉。窑炉总长 173.8 米，内宽 2.5 米，烧成温度是 1150 摄氏度。全窑采用氧化气氛，燃料为 0#轻柴油。本辊道窑，窑体趋向轻型化，燃料清洁化，烧成质量好，产量高，年产量达 200 万平方米。全窑采用新型轻质耐火材料，具有较好的保温性能。

原始资料收集

设计前必须根据设计任务收集所需的原始资料。设计原始资料如下：
主要研究内容和设计技术参数：

1、坯料组成：（%）

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

2、入窑水分：<1.5%

3、产品合格率：95%

4、烧成周期：60 分钟（全氧化气氛）

5、最高烧成温度：1150℃

6、产品规格：300×300×9（mm）单件质量：1.74Kg/件

7、燃料：0#轻柴油

8、年工作日：300 天

1 窑体主要尺寸的确定

1.1 窑内宽的确定

窑内宽为窑道内两侧墙间的距离。窑内宽的增加可以提高产量和热利用率，因此宽体化为辊道窑的一个发展方向。

本设计产品的尺寸为 $300 \times 300 \times 9\text{mm}$ ，设制品的收缩率为 8%。由坯体尺寸=产品尺寸/（1-烧成收缩），得坯体尺寸为 330mm

两侧坯体与窑墙之间的距离取 120mm。设内宽为 B，取产品长边平行于棍棒，计算宽度放心坯体排列的块数，确定并排 6 块。确定窑内宽 $A=330 \times 6 + 120 \times 2 + 20 \times 5 = 2440$ ，取 2500mm。。

1.2 窑长和各带长度的计算

1.2.1 窑体长度的确定

每窑每小时进入生坯=[（年产量×烧成周期）/年工作日×2×产品合格率×（1-收缩率）]

$$=2000000 \times 1 / 300 \times 24 \times 95\%$$

$$=292.4 \text{（平方米/窑）}$$

装窑密度=每米排数×每排片数×每片砖面积

$$= (1000 \div 320) \times 6 \times (0.3 \times 0.3)$$

$$=1.69 \text{（平方米/每米窑长）}$$

窑长=窑炉每小时进入生坯÷装窑密度

$$=292.4 \div 1.69 = 173 \text{（m）}$$

单节长度取 2200mm。窑的节数=173÷2.2=78.6 取 79 节

所以算出窑长 $L=2200 \times 79=173800\text{mm}$

1.2.2 窑体各带长度的确定

预热带占全窑总长的 28%，取 1-22 节

烧成带占全窑总长的 35%，取 23-50 节

冷却带占全窑总长的 37%，取 51-79 节

辊道窑窑头，窑尾工作台长度

窑头工作台是制品进窑的必经之路，也是使制品整齐有序的进窑的停留之处，窑头的工作台不宜太长，只要能满足要求即可，根据经验取值为 3.3m。

窑尾工作是烧成后的产品从窑内出生，再经过人工检验产品部位由于出窑产品温度一般为 80 度，所以窑尾的工作台不宜太短，目的是使产品有足够的时间冷却，根据经验取 5.4 米。

$$\text{窑体总长度} = 173.8 + 3.3 + 5.4 = 182.5\text{m}$$

名称	温度(/℃)	时间 (/min)	升温速率 (/℃ · min ⁻¹)	节数 (/节)
前窑排烟段	20~600	8	72.5	1~11
中温段	600~950	10	35	12~22
高温区	950~1150	13	15.4	23~47
保温区	1150	4	0	48~50
急冷带	1150~700	5	-90	51~54
缓冷带	700~400	8	-37.5	55~70
终冷带	400~200	10	-20	71~74
尾冷	200~80	2	-60	75~79
累计		60		79

表 1-1 窑内高度表

1.3 窑内高的确定

内高为窑道内整个空间的高度。辊道窑的内高被辊子分隔成辊上高和辊下高两部分。内高必须合理，既要保证热气体在窑内有足够的流动空间，又要满足一定的烧成空间和冷却空间，辊下高要保证处理事故的方便。

位置	第 1-11	第 12-54 节	第 55-74 节
辊上高	340	472	340
辊下高	325	459	325
内总高	665	931	665
(单位 mm)			

表 1-2 窑内高度表

2 工作系统的确定

辊道窑的工作系统确定包括排烟系统、燃烧系统、冷却系统等。

2.1 排烟系统

排烟系统的作用是排除辊道窑内废气与抽热风机配合形成适宜的压力制度。有高温风机及耐热管钢路组成，在窑前段第 1 节、第 2 节、第 4 节、第 6 节、第 8 节窑顶、窑底设置排烟口，采用两个排烟处的集中排烟方式，在各个排烟口分别用圆管引出，汇总到窑顶、窑底的排烟支管中，最后连接到总烟管进行集中排烟。在九、十节窑顶设置排烟风机的平台，布置排烟风机，并有一台备用。该排烟系统设计使烟气流动方向与制品入窑方向相反，逆向换热使烟气与制品热交换效率大大提高。

2.2. 燃烧系统

2.2.1 烧嘴的设置

本设计在预热带就开始布置烧嘴，有利于快速升温 and 温度调节，缩短烧成周期，达到的目的。考虑到在低温段设置烧嘴不宜太多。因此，在 15—22 节每节的辊下设置 2 对烧嘴，在 23—50 节每节设置 2 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，但如遇到事故处理孔，则取消观察孔。

2.2.2 柴油运输装置

从油库送过来的柴油，由总管路经过油泵升压送到车间，然后经过过滤器、压力表、自动调节阀和气动安全阀，经输油管送至烧嘴，燃烧系统分为几个主调节单元，每个单元又分为辊上信道温度调节和辊下温度调节，各单元所用柴油分别从窑上柴油总管道引出，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，在每控制单元设置以电磁阀，有断电保护功能，防止断电后柴油泄入窑内。

2.3 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，冷却带实质是一个余热回收设备，她利用制品在冷却过程中所放出来的热量来加热空气，余热风可供干燥 作助燃风用，达到节能的目的。

2.3.1 急冷通风系统

从烧成最高温度到 700℃ 以前，制品中由于液相的存在而且具有塑性，此时可以进行急冷，最好的办法是直接吹风冷却。温室空气经风机加压后分别形成冷却风，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，本窑管径为 90mm。

本设计也采用此种结构，用 4 节窑长进行急冷，每节上下分布 30 跟 $\phi 90\text{mm}$ 急冷风管。

2.3.2 缓冷通风系统

制品冷却到 700 度—500 度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，为达到缓冷目的，一般采用热风冷却制品的办法，本设计的辊道窑在该段设 15 处抽热风口，使从急冷段过来的热风流经制品，让制品慢速均匀冷却。

2.3.3 快冷通风系统

制品冷却到 500 度以后可以进行快速冷却，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。而此段冷却也很重要，如达不到快冷目的出窑产品温度大于 80 度时，制品即使在窑内没有开裂，故要加强该段的吹风冷却。

2.4 窑体附属结构

2.4.1 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。为加强窑体密封，应尽量少设置事故处理，而为了便于处理事故，两侧墙事故处理一般采用交错布置形式，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。考虑到砌筑应该比求出值稍大一点，故取事故处理孔长度为：346 mm，

事故处理孔的高度不宜太高，只要能方便处理事故即可，为了砌筑的方便和窑体结构的要求，处理孔尺寸为：346×201。

对于事故处理孔在不处理事故时，要进行密封，内部堵塞耐火材料做成的大盖板，间隙填入陶瓷棉，最外部的钢板密封前端仍需一段耐火材料。密封是为了防止热气体外溢，冷风漏入等引起的热损失对烧成制度产生影响。

2.4.2 测温孔

为严密监视及控制窑内温度制度，一般在窑顶及窑侧墙留设若干处测温孔以安装热电偶，高温段布置得要密集，低温段布置的要相对稀疏。

本设计在每节的窑顶和窑墙处设计一对测温孔，每节设一对这样在烧成曲线的关键点，如氧化末段，晶型转化点，成瓷段，急冷结束等都有留设，另外，在

排烟的主管道离窑顶 3-4 米处布置一热电偶。

2.4.3 测压孔

压力制度中零压面的位置控制特别重要，一般控制在预热带和烧成带交界面附近，若零压过多转向预热带，则烧成带正压过大，有大量热气体逸出窑外，不但损失热量，而且还会恶化操作条件；若零压过多转向烧成带，则预热带负压大，易漏入大量冷风，造成气体分层，上下温差过大，延长了烧成周期，消耗了燃料。在第 15、23 节处设置了测压孔。

2.4.4 观察孔

在每个烧嘴的对侧窑墙设置了 25mm 的观察孔，以便及时观察窑内情况，不用时，用于观察孔配置的空塞塞住，以免热风逸出或冷风漏入。

2.4.5 膨胀缝

窑体受热会膨胀，产生很大的热压力，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，同时也要注意隔焰板，孔砖间膨胀缝的留设，所以在窑体与窑体连接设 2mm 膨胀缝，内填陶瓷棉。

2.4.6 窑道闸板和挡火墙

由于辊道窑属于中空窑，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，辊下砌筑挡墙，辊上插入挡板，缩小该处工作通道面积，以增加气流阻力，便于压力与温度制度的调节。

在实际生产过程中，由于生产产品品种会发生变化，故可能需要调节挡墙挡板的高度，所以在布置的挡墙挡板为活动的，以便于操作人员进行调节，由于设置上挡板需要窑顶留有一定的间隙，为避免增加窑顶不严密处，上挡板不宜太多，下挡墙可比上挡板多设置一些。

2.5 钢架结构

钢架采用箱体结构，每段长 2.2m 箱体用优质方管焊接而成，主框架结构每段两侧设置观火孔和事故处理孔，底部设调节螺栓。管火孔和事故处理孔可以观察到对面的烧嘴的燃烧状况和辊棒上的产品的运行情况，以便发现情况及时处

理；窑底的调节螺栓可调节窑体的水平，使其对基础的适应加强。

窑主要钢材选型：

- （1）立柱为 $60 \times 50 \times 3$ 方管钢；
- （2）上纵横梁为 $70 \times 40 \times 3$ 方管钢；
- （3）下纵横梁为 $70 \times 40 \times 3$ 方管钢；
- （4）吊砖梁 $70 \times 40 \times 4$ 方管钢；
- （5）风机平台厚为 3mm 花纹板，风管为 2mm，排烟与送热风管 2mm，窑炉外侧板为 1.5mm 冷板；
- （6）窑内缓冷管前 6 段为不锈钢管 1Cr18Ni9Ti，后 7 段为 A3 钢；
- （7）窑内急冷风管为耐高温不锈钢管；

3 窑体材料的确定

3.1 窑体材料确定原则

窑体材料要用耐火材料和隔热材料。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。

3.2 窑体材料的选用及校核计算

传统的窑体砌筑材料大多为粘土砖或高铝砖耐火砖或保温砖，这些材料的特点是密度大、强度大、保温性能差，用这些材料砌筑的窑墙厚，窑体散热损失大，难以满足轻质、快速烧成的辊道窑的要求。如今我们使用轻质耐火材料，这些材料不仅密度小，绝热性能好，又可耐高温，热稳定性好，用它们砌筑的窑体起耐火和隔热双重作用。

在选择的时候，一般设计人员都是根据分类高温来选择材料的，最高使用温度即分类温度，它是指连续保温 24 小时其重烧线变化不大于 2% 的实验温度，但这个温度与工作温度是有差别的，不能作为隔热耐火砖的工作温度。工作温度 = 分类温度 - 10% 分类温度 - 40 度，我对所选择的材料作了一些相应的校核分析。

位 置		结 构					
低温段	窑顶			40	20	114	1-11
				珍珠浇注料	硅酸铝纤维毯	0.8 高铝聚轻球	
	窑墙			6	100	114	
				金福板	硅酸铝纤维毡	0.8 高铝聚轻球	
	窑底			67	67	67	
				0.8 粘土漂珠砖	0.8 粘土漂珠砖	0.8 高铝聚轻球	
中温段	窑顶			40	20	250	12-22
				珍珠浇注料	硅酸铝纤维毯 1260	0.8 高铝聚轻球	
	窑墙		6	50+50+50	20	230	
			金福板	硅酸铝纤维板	硅酸铝纤维毯 1260	0.8 高铝聚轻球	
	窑底		67	67	67	67	
			0.8 粘土漂珠砖	0.8 粘土漂珠砖	0.8 粘土漂珠砖	0.8 高铝聚轻球	
高温段	窑顶			30	20	280	23-50
				珍珠浇注料	硅酸铝纤维毯 1260	0.8 高温莫来石	

	窑墙		6	50+50	20+50	230	
			金福板	硅酸铝纤维毡	硅酸铝纤维毡 1260+ 硅酸铝纤维毡	0.8 高温莫来石	
	窑底		67	67	67	67	
			0.8 粘土漂珠砖	0.8 粘土漂珠砖	0.8 粘土漂珠砖	0.8 高铝聚轻球	
急冷段	窑顶			40	20	250	51-54
				珍珠浇注料	硅酸铝纤维毡 1260	0.8 高铝聚轻球	
	窑墙		6	50+50+50	20	230	
			金福板	硅酸铝纤维板	硅酸铝纤维毡 1260	0.8 高铝聚轻球	
	窑底		67	67	67	67	
			0.8 粘土漂珠砖	0.8 粘土漂珠砖	0.8 粘土漂珠砖	0.8 高铝聚轻球	
缓冷段	窑顶			40	20	114	55-70
				珍珠浇注料	硅酸铝纤维毡	0.8 高铝聚轻球	
	窑墙			6	100	114	
				金福板	硅酸铝纤维毡	0.8 高铝聚轻球	
	窑底			67	67	67	
				0.8 粘土漂珠砖	0.8 粘土漂珠砖	0.8 高铝聚轻球	

终冷段	窑顶			40	20	114	71-74
				珍珠浇注料	硅酸铝纤维毡	0.8 高铝聚轻球	
	窑墙			6	100	114	
				金福板	硅酸铝纤维毡	0.8 高铝聚轻球	
	窑底			67	67	67	
				0.8 粘土漂珠砖	0.8 粘土漂珠砖	0.8 高铝聚轻球	
尾冷段	窑顶 窑墙 窑底	钢结构					75-79

窑体各段材质表 3-1

在所选的材料中，各材料的导热系数为：

0.8 高铝聚轻球 LG-0.8 导热系数 $\lambda = 0.35 \text{ W/(m} \cdot ^\circ\text{C)}$

0.8 粘土漂珠砖 NG-0.8 导热系数 $\lambda = 0.27 \text{ W/(m} \cdot ^\circ\text{C)}$

0.8 高温莫来石 JM-26 导热系数 $\lambda = 0.35 \text{ W/(m} \cdot ^\circ\text{C)}$

金福板 导热系数 $\lambda = 0.03 \text{ W/(m} \cdot ^\circ\text{C)}$

珍珠岩导热系数 $\lambda = 0.052 + 0.092 \times 10^{-3} \times t$

硅酸铝纤维毡的导热系数 $\lambda = 0.1 \text{ W/(m} \cdot ^\circ\text{C)}$

硅酸铝纤维毡 1260 的导热系数 $\lambda = 0.2 \text{ W/(m} \cdot ^\circ\text{C)}$

硅酸铝纤维板的导热系数 $\lambda = 0.185 \text{ W/(m} \cdot ^\circ\text{C)}$

硅酸铝纤维毡导热系数 $\lambda = 0.1 \text{ W/(m} \cdot ^\circ\text{C)}$

4 燃烧及燃料的计算

4.1 理论空气量的计算

根据经验公式，计算理论空气量

$$V_a^0 = \frac{Q_{\text{低}} \times 0.203}{1000} + 2N \left(\frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \right) = 10.73 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \right)$$

4.2 实际空气量的计算

由于在氧化气氛下烧成，根据经验取空气系数为 $a=1.2 \times (1.05-1.2)$

$$V_a = aV_a^0 = 1.2 \times 10.73 = 12.88 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \right)$$

4.3 理论烟气量的计算

按照经验公式计算理论烟气量：

$$V_g^0 = 0.26 \times \frac{Q_{\text{低}}}{1000} = 0.26 \times 43 = 11.18 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \right)$$

4.4 实际烟气量的计算

$$V_g = V_g^0 + (a-1)V_a^0 = 11.18 + 10.73 \times (1.2-1) = 13.33 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \right)$$

4.5 理论燃烧温度的计算

设空气温度 $t_a=20^\circ\text{C}$ ，空气比热为 $C_a=1.30\text{kJ}/\text{m}^3 \cdot ^\circ\text{C}$ 。0#柴油的比热：
 $C_r=1.838\text{kJ}/\text{m}^3 \cdot ^\circ\text{C}$ ， $t_a=t_f=20^\circ\text{C}$ ，现设 $T=1900^\circ\text{C}$ 。燃烧产物温度 $C=1.66\text{kJ}/\text{m}^3 \cdot ^\circ\text{C}$ 。
 $T = \frac{(Q_{\text{net}} + V_a C_a t_a + C_r t_f)}{V_g C}$
 $^\circ\text{C}$ 。则理论燃烧温度为：

$$=1960^\circ\text{C}$$

求得温度与假设温度相对误差： $(1960-1900)/1900 \times 100\% = 3.16\% < 5\%$ ，所以假

设合理。取高温系数为 $\eta=0.8$ ，则实际燃烧温度 $T_p = 0.8 \times 1960 = 1568^\circ\text{C}$

这符合要求有利于快速烧成，保证产品达到燃烧目地。

5 物料平衡计算

5.1 每个小时烧成制品的质量 G_m

$$G_m = (M_1 \times R_c) / 24 = (2000000 \times 1.74) / (24 \times 300 \times 0.3 \times 0.3) = 5370.37 \text{ kg/h}$$

5.2 每小时烧成干坯的质量 G_{gp}

$$G_{gp} = G_m \times 100 / [(100 - 5.21) \times 0.95] = 5967 \text{ kg/h}$$

5.3 每小时预烧成湿坯的质量 G_{sp}

$$G_{sp} = G_{gp} \times 100 / (100 - w) = 6027.27 \text{ kg/h}$$

5.4 每小时蒸发自由水的质量 G_{zs}

$$G_{zs} = G_{sp} - G_{gp} = 6027.27 - 5967 = 60.27 \text{ kg/h}$$

5.5 每小时从精坯中产生 CO_2 的质量 G_{co2}

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

$$G_{CaO} = G_{gp} \times CaO\% = 5967 \times 0.288\% = 17.18 \text{ kg/h}$$

$$G_{MgO} = G_{gp} \times MgO\% = 5967 \times 0.154\% = 9.19 \text{ kg/h}$$

5.6 每小时生成 CO_2 的质量

$$G_{CO_2} = (G_{CaO} \times M_{CO_2} \div M_{CaO}) + (G_{MgO} \times M_{CO_2} \div M_{MgO})$$

$$= (17.18 \times 44/56) + (9.19 \times 44/40) = 23.6 \text{ kg/h}$$

5.7 每小时从精坯中分解出的结构水的质量 G_{ip}

$$G_{ip} = G_{gp} \times 5.21\% - G_{co2} = 5967 \times 5.21\% - 23.6 = 287.28 \text{ kg/h}$$

6 热平衡计算

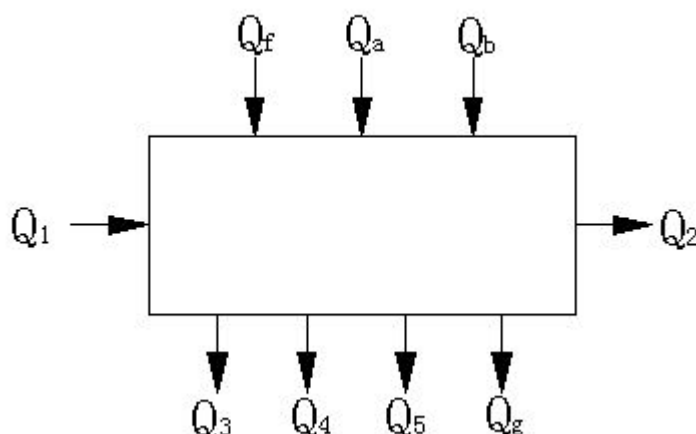
热平衡计算包括预热带、烧成带热平衡计算和冷却带热平衡计算。预热带和烧成带的热平衡计算目的在于求出每个小时的燃料消耗量；冷却带的热平衡计算的目的在于计算冷空气鼓入量和热风抽出量。

热平衡计算比较复杂，但是通过热平衡计算，除了能求出每小时全窑的燃料消耗量意外，还可以从热平衡的各个项目中看出窑的工作系统，结构等方面是否合理，哪项热耗最大，能否采取措施改进。

6.1 预热带和烧成带的热平衡计算

①热平衡计算基准及范围 时间基准：1h；温度系统：0℃

②画出热平衡示意图



Q1——坯体带入显热

Qa——助燃空气带入显热

Qb——漏入空气带入显热

Qf——燃料带入化学热及显热

Q2——产品带出显热

Q3——墙、顶、底散热

Q4——物化反映耗热

Q5——其他热损失

Qg——废气带走显热

③热收入项目

a, 制品带入显热 Q1 (KJ/H) $Q_1 = G_{sp} c_1 t_1$

其中：Gsp——湿制品质量 (kg/h)

C1——制品的比热

t1——制品的温度

第一节温度为：t21=20℃

$$C1 = 0.8452 \text{ KJ}/(\text{m}^3 \cdot ^\circ\text{C})$$

$$Q1 = G_{sp} C1 t1 = 101885 \text{ (kJ/h)}$$

b, 燃料带入化学热及显热 Qf $Q_f = M(Q_{\text{net}} + c_f t_f)$

其中：M——每小时消耗的燃料量 m^3

Q 低——燃料的低热值 $36120000\text{kJ}/\text{m}^3$

Cf—— 20°C 时的比热 $\text{kJ}/(\text{m}^3 \cdot ^\circ\text{C})$ 此时 $Cf=1.99\text{kJ}/(\text{m}^3 \cdot ^\circ\text{C})$

tf——柴油的温度（100 度）

$$Q_f = M(3612000 + 1.99 \times 100) = 36120199M \text{ (kJ/h)}$$

C, 助燃空气温度 $t=20^\circ\text{C}$, 20°C 时空气比热容 $C=1.30\text{kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$, 考虑到助燃空气及雾化风的比例在 2 以上, 预热空气的过剩系数 $a=2.0$. 助燃空气及雾化风实际总量为 $V_{\text{总}}=12.88 \text{ (Bm}^3/\text{h)}$

$$\text{故 } Q_a = V_a t_c = 12.88M \times 1.30 \times 20 = 334.88M \text{ (kg/h)}$$

$$d, \text{ 预热带漏入空气带入显热 } Q_a' \text{ (kJ/h)}$$

取预热带前段空气过剩系数 $a_g=2.0$, 漏入空气温度 $t_{a1}=20^\circ\text{C}$, $C_{a1}=1.30\text{kJ}/(\text{m}^3 \cdot ^\circ\text{C})$, 则漏入空气总量为:

$$V_{a1}=M(a_g-a) V_a=M(2-1.2) \times 10.73=8.58M \text{ (m}^3/\text{h)}$$

$$\text{所以 } Q_a' = V_a' c_a' t_a' = 8.58M \times 1.30 \times 20 = 223.08M \text{ (m}^3/\text{h)}$$

④预热带出项目的计算

a, 产品带出显热 $Q_2 \text{ (kJ/h)}$

烧成产品质量 $G_3=5370.37\text{kg/h}$, 出烧成带产品温度 $T_2=1150^\circ\text{C}$, 查表可知: 产品平均比热为:

$$C_2=0.84+26 \times 10^{-5} t=0.84+29.9=1.14\text{kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$$

$$\text{所以 } Q_2=G_3 t_2 C_2=5370.37 \times 1150 \times 1.14=7040555 \text{ (kJ/h)}$$

b, 烟气带走显热 $Q_g \text{ (kJ/h)}$

每小时离窑烟气总量为:

$$V_g = [V_g^0 + (a_g - a) \bullet V_a^0] \bullet M = [11.18 + (2 - 1.2) \times 10.73] \bullet M = 19.76M \text{ (m}^3/\text{h)}$$

烟气离窑温度 $t_g=200^\circ\text{C}$, 300°C 时烟气比热容 $C_g=1.32\text{kJ}/(\text{m}^3 \cdot ^\circ\text{C})$

$$\text{所以 } Q_g=V_g t_g C_g=19.76M \times 200 \times 1.32=5216.64M \text{ (kJ/h)}$$

C, 物化反应耗热 Q_4 (kJ/h)

不考虑制品所含之结构水，自由水质量： $G_{zs}=60.27$ (kg/h)，烟气离窑温度： $T_g=200^\circ\text{C}$

$$i \text{ 自由水蒸发吸热 } Q_{zs}=60.27 \times 2.876 \times 200=34595 \text{ (kJ/h)}$$

制品中氧化铝的含量 $Al_2O_3\%$ =坯体的 $Al_2O_3/(1-\text{灼减})=17.7\%$

ii 其余物化反应耗热

$$Q_p=2100 \times G_m \times Al_2O_3\%=2100 \times 5370.37 \times 17.7\%=1996166.5 \text{ (kJ/h)}$$

总的物化反应耗热为 $Q_4=Q_{zs}+Q_p=2030761.5$ (kJ/h)

d, 窑体散热损失 Q_3

将计算分为两部分，因为预热带的窑墙外壁温度在校核时取的一致。均为 40 度，环境温度取 20 度。

因此，在实际的窑炉的计算中，；例如窑炉壁散热损失计算中，通常采用下列公式进行计算：

$$Q=\alpha(t_w-t_f)FW \quad (1)$$

$$\alpha = Aw^4 \sqrt{t_w - t_f} + \frac{4.54 \left[\left(\frac{273+t_w}{100} \right)^4 - \left(\frac{273+t_f}{100} \right)^4 \right]}{t_w - t_f} \quad \text{W/(m}^2 \cdot ^\circ\text{C)} \quad (2)$$

α —窑墙外壁与空间的对流辐射换热系数。

$t_w t_f$ ——分别为窑壁外表面温度和周围温度

F ——散热面积

Aw ——取决于散热面位置的系数，对于散热面朝上的情况，例如窑顶 $Aw=3.26$, 对于散热面朝下的情况，例如 $Aw=2.1$ ，对于散热面垂直的情况，例如窑墙 $Aw=2.56$ 。

在陶瓷工业例如辊道窑炉窑墙散热损失计算时，可以按温度相接近的区域分段，以每段的平均温度代表该段外壁温度，分段计算得到的散热量总和即为整个窑墙的散热损失。

在窑炉材料的校核计算中，已经得出了窑顶、窑底、窑墙的对流辐射换热系数和单位的热流量，现在就用表格的方式表示各温度带的散热量。

表 6—1:

位置	散热面	a	q(w/m ²)	S (m ²)	Q (kj/h)	总计 Q3 (kj/h)
预热带	窑顶	11.95	239.02	170.324	146560	2865803
	窑墙	10.87	217.30	155.848	121918	
	窑底	11.33	226.70	170.324	139004	
烧成带	窑顶	15.24	914.4	254.562	937977	
	窑墙	13.29	797.69	229.376	859713	
	窑底	12.02	720.88	254.562	660631	

e, 其他热损失 Q5 (kj/h)

根据经验占热收入的 5%

所以 $Q_5 = 5094.25 + 1956037.8M$

列出热平衡方程式:

$Q_1 + Q_f + Q_a + Q_b = Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_g$ 得 $M = 0.3466$ 立方/小时 = 298Kg/h

即每小时需要柴油 298kg, 每小时烧成质量为 5370.37, 单位质量产品热耗为: $0.3466 \times 43000 \times 860 / 5370.37 = 2386.6 \text{ kJ/kg}$

为了利于烧成带温度的调节, 本设计采用 GW-1 型高压燃油烧嘴

⑤ 列预热带与烧成带的热平衡表如下:

表 6—2

热收入			热支出		
项目	Kj/h	%	项目	Kj/h	%
坯体带入显热	101885	0.8	产品带走显热	7040555	51.07
燃料化学显热	12519261	99.19	烟气带走显热	18084	9.9
助燃空气显热	116	0.006	窑体散热	2865803	19.39
漏入空气显热	77	0.004	物化反应耗热	2030761	11.64
			其他热损失	683057	5.00
总热量	12621339	100	总散热	12610799	100

6.2 冷却带热平衡计算

6.2.1 热平衡计算基准及范围

时间基准：1h；温度基准：0℃

6.2.2 热收入项目

①产品带入显热 Q_2 ， $Q_2=7040555\text{kJ/h}$

②冷风带入显热 Q_6

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

$$C_a=1.296\text{kJ}/(\text{m}^3 \cdot ^\circ\text{C})$$

设鼓入风量为 V_{xm^3}/h ，取即冷风为窑尾的 0.5，则总风机为 $1.5V_x$ ，

$$\text{则：} Q_6=V_x t_a C_a=39V_x$$

6.3 热支出项目

① 制品带走显热 Q_7

出窑时产品的质量 $G_m=5370.37(\text{kg/h})$ ，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 $C_7=1.01\text{kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$

$$\text{则：} Q_7=G_m t_7 C_7=5370.37 \times 80 \times 1.01=433926\text{kJ/h}$$

② 热风抽出时带走的显热 Q_8

抽风为鼓入风的 $1.5V_x$ ，故抽风热风量为 $1.5V_{xm^3}/\text{h}$ ，取热风抽出时的温度为： $t_8=200^\circ\text{C}$ ，查表知此时的比热为： $C_8=1.32\text{kJ}/(\text{m}^3 \cdot ^\circ\text{C})$ ，则：

$$Q_8=1.5V_x t_8 C_8=1.5V_x \times 200 \times 1.32=393V_x$$

③ 窑体的散热 Q_9

该部分的窑体可分为快冷和缓冷，总共 27 节，

表 6—3

位置	散热面	$q(\text{w}/\text{m}^2)$	$S(\text{m}^2)$	$Q(\text{kJ}/\text{h})$	总计
缓冷快冷	窑顶	239.02	188.573	1662262	448384
	窑墙	217.30	172.564	134981	
	窑底	226.70	188.573	151141	

④ 其它热损失 Q_{10}

其它热损失为总收入的 5%，则： $Q_{10}=0.05(7040555+39V_x)=352027.7+1.95V_x$

⑤ 列出热平衡方程 热收入=热支出

所以 $Q_2+Q_6=Q_7+Q_8+Q_9+Q_{10}$

$$V_x=16311.89\text{m}^3/\text{h}$$

即每小时鼓入风量为 $16311.89\text{m}^3/\text{h}$

⑥ 列出冷却带热平衡表如下：

表 6—4

热收入			热支出		
项目	Kj/h	%	项目	Kj/h	%
产品带入显热	7040555	91.71	产品带出显热	433926	5.65
冷却风带入显热	636164	8.29	窑体散热	448384	5.85
			抽热风带走显热	6410573	83.5
			其它散热	383836	5
总热量	7676719	100	总热量	7675786	100

由表可以看出，热风抽出带走的热量占很大的比例，因此应充分利用热量，一般用来干燥坯体和作助燃风以及物化风用。

7 传动、辊棒的选型

7.1 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。

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。

7.2 辊棒材质的选择

常用辊棒有金属辊棒和陶瓷辊棒两种，金属质也就是我们所说的钢棒，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：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。为节约费用，不同的温度区段一般选用不同材质的辊子。

7.3 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：

$$H = (1/3 \sim 1/5) L$$

同时考虑取每节窑长 2200mm，确定每节装 28 根辊棒，最后的辊距为 75 mm。

8 管道尺寸、阻力计算及烧嘴、风机的选用

8.1 计算抽烟风机的管道尺寸、阻力损失和对风机的选用

8.1.1 管道尺寸

排烟系统需排出烟气量： $V_g = 13.3 \times 298 = 3971 \text{ m}^3/\text{h}$

烟气抽出时实际体积： $V = 2.31 \text{ m}^3/\text{s}$

a、总烟管尺寸

烟气在金属管中流速 ω 在 2-14m/s 之间，根据经验资料取 $\omega=10\text{m/s}$

内径 $d_{\text{总}}=\sqrt{4V/\pi\omega}=0.74\text{m}$

所以，总管内径取值为 0.8m

b、分烟管尺寸

烟气在分烟管中的流速 $\omega=10\text{m/s}$ ， $n=10$ ，分管流量 $V'=V/10=0.231\text{m}^3/\text{s}$ ，

内径 $d_{\text{分}}=\sqrt{4V'/\pi\omega}=0.235\text{m}$ ，

所以，分管内径取 240mm

c、支烟管尺寸

烟气在支管的流速为： $\omega=10\text{m/s}$ ，流量 $V''=V/3=0.115\text{ (m}^3/\text{s)}$

内径 $d_x=\sqrt{4V''/\pi\omega}=0.108\text{m}$ 取分管内径为 120mm

8.1.2 阻力计算

a、料垛阻力 h_i

根据经验每米窑长料垛阻力为 0.5Pa，所以：

$$h_i=(41+0.5)\times 2.2\times 0.5=45.54\text{Pa}$$

b、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 200°C ，所以：

$$h_g=-H(\rho_a-\rho_g)\cdot g=-2.0[1.29\times 273/(273+20)-1.30\times 273/(273+300)]\times 9.8=-8.85\text{ Pa}$$

c、局部阻力 h_e

局部阻力 $\zeta_1=1$

支烟管从窑炉进入分烟管： $\zeta_2=1.5$

并 90° 急转弯： $\zeta_3=1.3$

分烟管 90° 急转弯： $\zeta_4=1.5$

分管 90° 圆弧转弯： $\zeta_5=0.35$

分管进入总管： $\zeta_6=1.5$

并 90° 急转弯： $\zeta_7=1.5$

为简化计算，烟管中烟气流速均按 10m/s 计，烟气温度均按 200℃ 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，故按此值计算出的局部阻力只会略偏大，能满足实际操作需要。

$$h_e = (1 + 1.5 + 1.3 + 1.5 + 0.35 + 1.5 + 1.5) \times 10^2 / 2 \times 1.3 \times 273 / (273 + 200) \\ = 334.45 \text{ (Pa)}$$

d、摩擦阻力 h_f

摩擦阻力系数：金属管取 $\zeta = 0.03$ ，热交换管取 $\zeta = 0.05$ （粉尘沾壁严重）

$$h_f = \zeta (L_{支}/d_{支} + L_{分}/d_{分} + L_{总}/d_{总}) \times \omega^2 / p/2 \\ = 0.03 \times (27.23/0.11 + 60.6/0.2 + 24.2/0.6) \times 10^2 / 2 \times 273 / (273 + 200) \\ = 664.74 \text{ Pa}$$

烟囱阻力忽略不计

所以，风机应克服总阻力为： $h_{总} = h_i + h_g + h_e + h_f = 1035.88 \text{ Pa}$

8.1.3 风机的选型

为保证正常工作，取风机抽力余量为 0.5，所以选型应具备风压：

$$H = (1 + 0.5) \times 1035.88 = 1553.82 \text{ Pa}$$

流量取储备系数为 1.5，风机排出烟气平均温度 200℃

$$\text{所以 } Q = 1.5 \times V_g \times (273 + 200) / 273 \\ = 1.5 \times 3971 (273 + 200) / 273 \\ = 10320.2 \text{ (m}^3/\text{h)}$$

选用风机考虑窑炉有空气、其他其他比例失调，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。

抽烟的流量为 3971 (m³/h)，所以排烟风机选用 YCT200—4A 离心锅炉引风机。

8.2 其它系统管道尺寸确定、风机的选型

8.2.1 油管径的计算

a、柴油的流量为：298m³/h，考虑到在实际生产过程中，日产量会发生变化，那么的内径为： $d_{总} = 2 \times (v / 3600n \pi \omega)^{0.5}$

$$=2 \times [298 / (3600 \times 3.14 \times 8)]^{0.5}$$

$$=0.087\text{m}$$

所以，总管内径取值 $\geq 90\text{mm}$

b、分管尺寸的计算金属分管于窑侧共 32 根分管，烟气在金属分管中流速，根据经验数据取 $\omega = 8\text{m/s}$ ，

$$\text{内径 } d_{\text{分}} = 2 \times (298 / 3600 n \pi \omega)^{0.5}$$

$$=2 \times [298 / (3600 \times 3.14 \times 8 \times 32)]^{0.5}$$

$$=0.0153\text{m}$$

所以，分管内径取值 $\geq 16\text{mm}$

.

c、通往烧嘴的柴油支管内径的计算

窑体共安装了 256 个烧嘴，液化气支管总共有 256 根，而流速取 $\omega = 6\text{m/s}$

$$\text{内径 } d_{\text{支}} = 2 \times (v / 3600 n \pi \omega)^{0.5}$$

$$=2 \times [298 / (3600 \times 3.14 \times 256 \times 6)]^{0.5}$$

$$=0.0063\text{m}$$

所以，分管内径取值 $\geq 8\text{mm}$

考虑到窑炉的燃气开度大小可以通过执行器控制其流量的大小，为了便于操作，总管内径取值为 150mm，分管内径取值为 90mm，分管内径取值取 30mm

8.2.2 助燃风管的计算

$$\text{助燃风量 } V_{\text{总}} = 12.88 \times 298 = 3838.24 \text{ m}^3 / \text{h}$$

$$\text{实际助燃风量为 } v = 3838.24 \times (273 + 20) / 273 = 6650 \text{ m}^3 / \text{h} = 1.84 \text{ m}^3 / \text{s}$$

a、助燃风总管内径的确定

$$d_{\text{总}} = 2 \times (v / 3600 \pi \omega)^{0.5}$$

$$=2 \times [6650 / (3600 \times 3.14 \times 10)]^{0.5}$$

$$=0.3996\text{m}$$

所以，总管内径取值：400mm

b、窑顶、窑底分管内径

取风在分管中的流速为： $\omega=10\text{m/s}$ ， $n=4$ ，分管流量为 $6650/4=1412\text{m}^3/\text{h}$ ，

取分管内径为 80mm，

c、支管到烧嘴的内径

取流速 $\omega=6\text{m/s}$

根据公式内径取 40mm

d、助燃风管支管的内径

风管一分为二，取流速 $\omega=10\text{m/s}$ ， $n=2$ 则 $d_{\text{支}}=0.0322$ 取支管内径为 40mm

8.2.3 却带风管计算

(1) 缓冷抽热总管内径的确定

a、缓冷抽热总管内径

缓冷带最后一节抽走急冷带的热风流量等于窑尾急冷鼓入风量

$V_x=16311.9\text{m}^3/\text{h}=4.53\text{m}^3/\text{s}$

取 $\omega=10\text{m/s}$ ， $n=10$ ，则： $d_{\text{总}}=0.877$ 取 900

b、抽热风机的内径

取 $\omega=10\text{m/s}$ ，每个分管的流量为： $12.287/40=0.307\text{m}^3/\text{s}$ ，根据风口的截面尺寸的计算方法，可得出风口的尺寸： $\varnothing=300\text{mm}$

c、缓冷带还采用换热管的方式进行间接冷却

渐冷管和缓冷总管接在一起，间冷分管有一根，他们的理论尺寸如下：分管的流量 2169.24， $w=10\text{m/s}$ 则根据公式： $d_{\text{分}}=0.056\text{m}$ 取 60mm

(2) 急冷带风管内径的确定

a、急冷风管内径的确定

急冷风管为 $9893.44\text{m}^3/\text{h}$ ，取风在总管中的流速 $\omega=10\text{m/s}$ ，则：取 350mm，

b、窑顶的分管

取 $\omega=9\text{m/s}$ ，每个分管的流量为： $9893.44/4=2473.36\text{m}^3/\text{h}$ ，则：

取 300mm，

c、急冷支管

取 $\omega=9\text{m/s}$ ， $n=72$ 过每根支管的流量为 $137.4\text{m}^3/\text{h}$ 则： d 取 90mm

8.2.4 雾化风管的管径的确定

a、雾化总管的管径的确定

根据烧嘴的选型，每个烧嘴所需的雾化空气为 4.5kg/h，本设计共 256 个烧嘴，则，每小时的空气量为 $256 \times 4.5 = 1152$ ，空气的密度为 1.2kg/m^3

则空气量转化为体积为 $V = 1152 / 1.2 = 960 \text{ m}^3 / \text{h}$

空气的管道中的流速 $\omega = 10 \text{m/s}$

根据公式内径 $d = \sqrt{4V / \pi \omega} = 38$ ，取 40mm

b、分管内径的确定 $V = 1110 \text{m}^3 / \text{h}$ ，每节窑有一个分管，共 20 个，则分管流量 $V_1 = 1110 / 20 = 55.5 \text{m}^3 / \text{h}$ ， $\omega = 10 \text{m/s}$

根据公式内径 $d = \sqrt{4V / \pi \omega} = 38 \text{mm}$ ，取为 40mm

c、支管管径的确定

每个分管分两个支管，则 $V_2 = V_1 / 2 = 23.19 \text{m}^3 / \text{h}$ ， $\omega = 10 \text{m/s}$

根据公式内径 $d = \sqrt{4V / \pi \omega} = 27 \text{mm}$ ，取为 30mm，

d、通往烧嘴的管路管径的确定

每个支管四个烧嘴，则 $V_3 = 23.19 / 4 = 5.9 \text{m}^3 / \text{h}$ ， $\omega = 10 \text{m/s}$

根据公式内径 $d = \sqrt{4V / \pi \omega} = 13.7 \text{mm}$ ，取=15mm，

8.2.5 风机的选型

a、助燃风机的选型

助燃风机的风量为 $V = 3838.24 \text{m}^3 / \text{h}$ ，依据风量选用风机的型号为 Y112M—4 普通离心通风机。

b、急冷风机的选择

急冷风机的风量为： $9893.44 \text{m}^3 / \text{h}$ ，依据风量选用风机的型号为 Y180M—4 离心通风机。

c、缓冷抽热风机的选型

缓冷风机抽取外界空气进入窑体缓冷金属管道，通过外界冷空气与金属管道进行换热来缓和此段的降温速率，缓冷风机的风量为： $16311.9 \text{m}^3 / \text{h}$ ，

引风机输送的介质为烟气，最高温度不得超过 250 度，在引风机前，必须加

装除尘装置，以尽可能的减少进入风机中烟气的含尘量。

风压：(Y4-Y3) 868Pa—5423Pa

流量：(Y4-Y3) 16156m³/h—810000m³/h

选用 Y4—73No28D 离心锅炉引风机

d、快冷抽流风机的选型

$V=9893.44\text{m}^3/\text{h}$

快冷段共有 4 节，第一节就开始布置，每节 4 台，两两对吹，一共布置 16 台，因此每个风扇每小时风的流量为：353.33m³/h

所以选用型号为 YSF-5014 型轴流通风机

风机型号表：

	抽烟风机	助燃风机	雾化风机	急冷风机	缓冷风机	快冷风机
主轴转速	1450	1450	1450	1450	1800	1150
全风压	2250	1139-724	49000	2023 — 1490	4483— 2958	32
风量	15000	6677- 13353	954	15826— 29334	22250— 44634	613

型号	SGY4		罗茨鼓风机		锅 炉 离 心 引 风 机	T35
所需功率	25		18.5	18.5	18.5	9.7
电机型号	YCT2F20 0—4A	Y112- 4 (B35)	Y180L-4	Y180M-4		YSF-5014
电机功率	18.5	4	22	18.5	73	0.25

9. 工程材料概算

9.1 窑体材料分段概算

9.1.1 第 1-11 节

窑顶：

0.8 高铝聚轻球 (230*114*65)： $11*2.2*2.64/(0.23*0.065)=4079$ (块)

普通硅酸铝纤维毡 20： $11*2.2*2.64*0.020=1.22$ m³

珍珠浇注料 40： $11*2.2*2.64*0.040=2.44$ m³

窑墙：

0.8 高铝聚轻球 (230*114*65)： $11*2.2*0.665/(0.114*0.065)*2=4054$ (块)

硅酸铝纤维毡 100： $11*2.2*0.844*0.1*2=3.9$ m³

金福板 6： $11*2.2*0.844*0.006*2=0.24$ m³

窑底：

0.8 高铝聚轻球 (230*114*65)： $11*2.2*2.94/(0.23*0.114)=2591$ (块)

0.8 粘土漂珠砖 (230*114*65)： $11*2.2*2.94/(0.23*0.114)*2=5182$ (块)

9.1.2 第 12-22 节

窑顶:

0.8 高铝聚轻球 (250*268*65): $11*2.2*2.64/(0.268*0.065)=3500$ (块)

硅酸铝纤维毯 1260 20: $11*2.2*2.64*0.020=1.22$ m³

珍珠浇注料 40: $11*2.2*2.64*0.040=2.44$ m³

窑墙:

0.8 高铝聚轻球 (230*114*65): $11*2.2*1.251/(0.114*0.065)*2=7800$ (块)

硅酸铝纤维毯 1260 20: $11*2.2*1.117*0.020*2=1.03$ m³

硅酸铝纤维板 150: $11*2.2*1.117*0.15*2=7.74$ m³

金福板 6: $11*2.2*1.117*0.006*2=0.31$ m³

窑底:

0.8 高铝聚轻球 (230*114*65): $11*2.2*3.312/(0.23*0.114)=2918$ (块)

0.8 粘土漂珠砖 (230*114*65): $11*2.2*3.312/(0.23*0.114)*3=8754$ (块)

9.1.3 第 23-50 节

窑顶:

0.8 高温莫来石 (280*264*65): $28*2.2*2.64/(0.264*0.065)=9046$ (块)

硅酸铝纤维毯 1260 20: $28*2.2*2.64*0.020=3.1$ m³

珍珠浇注料 30: $28*2.2*2.64*0.030=4.66$ m³

窑墙:

0.8 高温莫来石 (230*114*65): $28*2.2*1.251/(0.114*0.065)*2=19854$ (块)

硅酸铝纤维毯 1260 20: $28*2.2*1.117*0.020*2=2.63$ m³

硅酸铝纤维板 150: $28*2.2*1.117*0.15*2=19.7$ m³

金福板 6: $28*2.2*1.117*0.006*2=0.79$ m³

窑底:

0.8 高铝聚轻球 (230*114*65): $28*2.2*3.312/(0.23*0.114)=7427$ (块)

0.8 粘土漂珠砖 (230*114*65): $28*2.2*3.312/(0.23*0.114)*3=22282$ (块)

9.1.4 第 51-54 节

窑顶:

0.8 高铝聚轻球 (250*268*65): $4*2.2*2.64/(0.268*0.065)=1273$ (块)

硅酸铝纤维毯 1260 20: $4 \times 2.2 \times 2.64 \times 0.020 = 0.44 \text{ m}^3$

珍珠浇注料 40: $4 \times 2.1 \times 2.64 \times 0.040 = 0.89 \text{ m}^3$

窑墙:

0.8 高铝聚轻球 (230*114*65): $4 \times 2.2 \times 1.251 / (0.114 \times 0.065) \times 2 = 2836$ (块)

硅酸铝纤维毯 1260 20: $4 \times 2.2 \times 1.117 \times 0.020 \times 2 = 0.38 \text{ m}^3$

硅酸铝纤维板 150: $4 \times 2.2 \times 1.117 \times 0.15 \times 2 = 2.81 \text{ m}^3$

金福板 6: $4 \times 2.2 \times 1.117 \times 0.006 \times 2 = 0.11 \text{ m}^3$

窑底:

0.8 高铝聚轻球 (230*114*65): $4 \times 2.2 \times 3.312 / (0.23 \times 0.114) = 1061$ (块)

0.8 粘土漂珠砖 (230*114*65): $4 \times 2.2 \times 3.312 / (0.23 \times 0.114) \times 3 = 3183$ (块)

9.1.4 第 55-75 节

窑顶:

0.8 高铝聚轻球 (230*114*65): $20.5 \times 2.2 \times 2.64 / (0.23 \times 0.065) = 7602$
(块)

普通硅酸铝纤维毯 20: $20.5 \times 2.2 \times 2.64 \times 0.020 = 2.27 \text{ m}^3$

珍珠浇注料 40: $20.5 \times 2.2 \times 2.64 \times 0.040 = 4.55 \text{ m}^3$

窑墙:

0.8 高铝聚轻球 (230*114*65): $20.5 \times 2.2 \times 0.665 / (0.114 \times 0.065) \times 2 = 7553$
(块)

硅酸铝纤维毡 100: $20.5 \times 2.2 \times 0.844 \times 0.1 \times 2 = 7.3 \text{ m}^3$

金福板 6: $20.5 \times 2.2 \times 0.844 \times 0.006 \times 2 = 0.22 \text{ m}^3$

窑底:

0.8 高铝聚轻球 (230*114*65): $21 \times 2.2 \times 2.94 / (0.23 \times 0.114) = 4945$ (块)

0.8 粘土漂珠砖 (230*114*65): $21 \times 2.2 \times 2.94 / (0.23 \times 0.114) \times 2 = 9890$ (块)

9.2 方钢的概算

1-11, 55-79 节, 立柱为 $60 \times 50 \times 3$ 方管钢, 长为 630mm, $12 \times 36 = 432$ 根。

纵梁为 $70 \times 40 \times 3$ 方管钢, 长为 2092mm, $4 \times 36 = 144$ 根。

横梁为 $70 \times 50 \times 3$ 方管钢, 长为 2940mm, $2 \times 36 = 72$ 根

22-54 节, 立柱为 $60 \times 50 \times 3$ 方管钢, 长为 976mm, $12 \times 33 = 384$ 根。

纵梁为 $70 \times 40 \times 3$ 方管钢，长为 2092mm， $4 \times 33 = 132$ 根。

横梁为 $70 \times 50 \times 3$ 方管钢，长为 3300mm， $2 \times 33 = 66$ 根

9.3 钢板

2mm 厚钢板做面板用，4mm 厚钢板做底板。

后记

大四下学期学习生活已经快要结束了，我们也面临着毕业，面临着找工作和毕业论文。通过九个月星期的努力，窑炉毕业设计终于完成了。毕业设计使我更好更深入地了解自己所学的专业。通过老师的指导、同学的帮助、自身的努力，现在回过头去看看自己辊道窑的设计过程可以说是感触颇多、收获颇丰。

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

在本次设计中，十分感谢蒋方乐老师对自己的设计提出问题，并帮助自己进行修改以求完善，也感谢那些在设计过程中给自己提出意见的同学。

四年的大学生活即将结束，马上就要踏上社会这个检验自己能力的大舞台了，迎接自己的将是一个新的挑战，相信通过这次的毕业设计，一定会给工作岗位上的自己确定一个明确的方向，为自己的将来打下坚实的基础。

参考资料

- [1] 胡国林 周露亮 陈功备 《陶瓷工业窑炉》. 武汉理工大学出版社. 2010. 8
- [2] 胡国林 《建陶工业辊道窑》. 中国建材工业出版社. 1998. 6
- [3] 胡国林 陈功备 《窑炉砌筑与安装》. 武汉理工大学出版社. 2005. 5
- [4] 杨世铭 陶文铨 《传热学》第三版 . 高等教育出版社. 1998
- [5] 孙晋淘 《陶瓷工业热工设备》. 武汉理工大学出版社. 1989. 10
- [6] 蔡增基 龙天渝 《流体力学泵与风机》. 中国建筑工业出版社. 1999. 12
- [7] 陈 帆 《现代陶瓷工业技术设备》. 中国建材工业出版社. 1995. 5
- [8] 续魁昌 《风机手册》. 北京机械工业出版社. 1995. 5
- [9] 王秉铨 《工业炉设计手册》. 北京机械工业出版社. 1996. 8
- [10] 姜正侯 《燃气工程技术手册》. 同济大学出版社. 1993. 5

文献调研报告

脉冲燃烧在加热炉中的应用

脉冲燃烧技术在工业炉上的应用

1 前言

工业炉的燃烧控制水平直接影响到生产的各项指标，例如：产品质量、能源消耗等。目前国内的工业炉一般都采用连续燃烧控制的形式，即通过控制燃料、助燃空气流量的大小来使炉内的温度、燃烧气氛达到工艺要求。由于这种连续燃烧控制的方式往往受到燃料流量的调节和测量等环节的制约，所以目前大多数工业炉的控制效果不佳。随着工业炉工业的迅猛发展，脉冲式燃烧控制技术也应运而生，并在国内外得到一定程度的应用，取得了良好的使用效果。

2 工业炉行业采用脉冲燃烧的必要性

目前高档工业产品对炉内温度场的均匀性要求较高，对燃烧气氛的稳定可控性要求较高，使用传统的连续燃烧控制无法实现。随着宽断面、大容量的工业炉的出现，必须采用脉冲燃烧控制技术才能控制炉内温度场的均匀性。

3 脉冲燃烧控制的原理和优势

顾名思义，脉冲燃烧控制采用的是一种间断燃烧的方式，使用脉宽调制技术，通过调节燃烧时间的占空比（通断比）实现窑炉的温度控制。燃料流量可通过压力调整预先设定，烧嘴一旦工作，就处于满负荷状态，保证烧嘴燃烧时的燃气出口速度不变。当需要升温时，烧嘴燃烧时间加长，间断时间减小；需要降温时，烧嘴燃烧时间减小，间断时间加长。控制图见图 1。

脉冲燃烧控制的主要优点为：

传热效率高，大大降低能耗。

可提高炉内温度场的均匀性。

无需在线调整，即可实现燃烧气氛的精确控制。

可提高烧嘴的负荷调节比。

系统简单可靠，造价低。

减少 NO_x 的生成。

普通烧嘴的调节比一般为 1：4 左右，当烧嘴在满负荷工作时，燃气流速、火焰形状、热效率均可达到最佳状态，但当烧嘴流量接近其最小流量时，热负荷

最小，燃气流速大大降低，火焰形状达不到要求，热效率急剧下降，高速烧嘴工作在满负荷流量 50% 以下时，上述各项指标距设计要求就有了较大的差距。脉冲燃烧则不然，无论在何种情况下，烧嘴只有两种工作状态，一种是满负荷工作，另一种是不工作，只是通过调整两种状态的时间比进行温度调节，所以采用脉冲燃烧可弥补烧嘴调节比低的缺陷，需要低温控制时仍能保证烧嘴工作在最佳燃烧状态。在使用高速烧嘴时，燃气喷出速度快，使周围形成负压，将大量窑内烟气吸入主燃气内，进行充分搅拌混合，延长了烟气在窑内的滞流时间，增加了烟气与制品的接触时间，从而提高了对流传热效率，另外，窑内烟气与燃气充分搅拌混合，使燃气温度与窑内烟气温度接近，提高窑内温度场的均匀性，减少高温燃气对被加热体的直接热冲击。

燃烧气氛的调节是提高工业窑炉性能必不可少的一个环节，而传统的连续燃烧控制只能通过在线测量烟气残氧量，反馈给燃烧气氛控制器，然后实时调节控制助燃空气流量执行器的输出，才能精确控制炉内的燃烧气氛。由于检测烟气残氧的氧化锆传感器的可靠性、寿命和价格的原因，在工业现场的使用往往不理想。有些窑炉自控系统干脆采用一台比例跟随器，使助燃空气的流量与燃料的流量成固定的比例，但这种方法不得不将助燃空气的富余量留得很大，达不到最佳的节能和控制过剩氧含量（或过剩空气系数）的要求。采用脉冲燃烧控制方式，可以将油压和风压一次性调整到合适值，在系统投入运行后，只需保持这两个压力稳定即可。对压力进行测量和控制要比流量简单得多，可以根据系统的实际情况采取全自动控制，也可以采取人工手动控制。

与连续燃烧控制相比，脉冲燃烧控制系统中参与控制的仪表大大减少，仅有温度传感器、控制器和执行器，省略了大量价格昂贵的流量、压力检测控制机构。并且，由于只需要两位式开关控制，执行器也由原来的气动（电动）阀门变为电磁阀门，增加了系统的可靠性，大大降低了系统造价。

4 脉冲燃烧控制技术在工业炉窑中的应用

工业炉控制系统采用工业 PC 机作为控制单元，采用先进的现场总线体系结构，功能强大、画面丰富、用户界面友好。所有部件均选用进口产品，从而使系统更加可靠。

该系统具有以下功能：

实时监测炉内各点的温度、烟气残氧、炉膛压力、油（煤气）压、助燃风压、

燃料流量和助燃风流量等参数。

具有上、下限报警功能，报警打印功能，报警上、下限由用户设定，并能将报警记录储存，用户可任意查询、打印。

可按用户设定的温度值或温度曲线对炉内各区段进行升、降控制，其中升温采用脉冲燃烧控制，降温采用强制脉冲风冷控制。

可按用户设定的燃烧气氛对炉内的烟气残氧进行控制。

可对炉膛压力进行控制。

可对窑炉的进出料进行控制。

具有历史数据查询功能，可按用户需要存储、显示、打印历史数据。

具有报表打印功能，实时脱机打印班报、日报、月报。

具有动态工艺图，可显示整个窑炉的工艺流程图，实时动态显示炉内各点参数，实时动态显示炉内火焰燃烧状态。

在实际应用过程中，采用普通的脉宽调制的方法调节燃烧占空比时，当占空比接近 0%或 100%时，间断或燃烧的时间太短，现场的运行效果不理想，于是我们引入了最小时间这一概念，将间断和燃烧的最小时间定为 3 秒，当占空比接近 0%或 100%时，延长相应的燃烧和间断时间即可解决这一问题。

5 结论

脉冲燃烧作为一项新技术有着广阔的应用前景，可广泛应用于陶瓷、冶金、石化等行业，对提高产品质量、降低能耗、减少污染将发挥重大作用，是工业炉行业自动控制的一次革新，将成为未来工业炉燃烧技术的发展方向。

燃气炉是国家标准节能型周期式作业炉，超节能结构，节能效果 65%。台车采用防撞击密封砖，炉门采用弹簧式压紧机构，自动密封台车和炉门，一体化连轨，不需基础安装，放在水平地面即可使用。主要用于高铬、高锰钢铸件、球墨铸铁、轧辊、钢球、45 钢、不锈钢等淬火、退火、时效以及各种机械零件热处理之用。

1、设备以各式燃烧气体为介质，通过各式烧嘴燃烧加热，最高温度 1200℃。

2、炉体骨架由各种大中型型钢现场组合焊接而成，外壳封板为彩钢板，高铝全纤维耐火甩丝毯模块为炉衬，密封节能效果明显。

3、台车骨架由各种大型工字钢、槽钢、角钢及厚钢板等组合焊接而成。

4、台车传动采用全部车轮均为驱动轮，驱动可靠，传动系统采用“三合一”

电机—减速机安装方式为轴装式，结构紧凑、装配牢固、进出灵活、操作简单、维修方便。

5、 台车耐火砌体采用高铝定型砖结构，与炉体密封效果好，耐压强度高。台车面搁置垫铁供堆放工件用。台车帮板全部采用浇筑件，保证车体不变形及耐用性。炉车与炉衬的密封采用耐火纤维密封块电动推杆自动压紧结构。侧密封的开、闭与炉车进出连锁。

6、 炉门采用高铝全纤维耐火甩丝毯与型钢组合框架结构，电动葫芦升降，炉门密封机构采用长短杠杆弹簧式自动压紧凸轮机构和软边密封装置。保证上下无摩擦、轻松自如、安全可靠。

7、 烟囱安装自动炉压控制、蝶阀等，可调节降温速度。

8、 加热采用高速烧嘴，均布两侧。连续比例调节燃烧。执行器调节风量的大小，通过比例阀来调节燃气量的大小，达到空燃比例燃烧，燃气和风量设有下限限幅，每个烧嘴的燃气管上设有控制电磁阀，每个烧嘴配有独立完整的燃烧控制器，具有自动点火，火焰检测，灭火报警自动断气。这样充分保证燃烧温控系统的稳定性、安全性。

9、烧咀的特点

高速烧咀是燃料与助燃空气在燃烧室内基本实现完全燃烧，燃烧后的高温气体以 100m-150m/s 的速度喷出，从而达到强化对流传热，促进炉内气流循环，达到均匀炉温的目的，使保温均匀在 $\leq \pm 10^{\circ}\text{C}$ 。

该烧咀

- a、 燃烧室体积小
- b、 燃烧气体出口速度高
- c、 烧咀调节比例大，1:10
- d、 自动点火和火焰监测
- e、 每个烧嘴故障报警功能
- f、 每台助燃风低压保护
- g、 每个烧嘴大小火连锁安全控制
- h、 燃烧状态显示，故障报警显示
- i、 温度曲线设计及修改，保存及打印
- j、 操作提示，故障提示

k、助燃风机控制（开关）、炉门控制（开关）、空燃比例控制、过程安全连锁控制

10、预热器

采用 GC 型列管式插入扰流件换热器以增加空气的预热温度，炉温 1000℃时将空气温度预热至 300-350℃。

GC 型高效插入件换热器，在相同传热系数下，空侧压力损失较一般插入件换热低，其值在 1500Pa 左右，因此降低了动力消耗。

烟气温度 600℃时，综合传热系数 45W/M²℃以上，烟气温≥900℃时，综合传热系数 55 W/M²℃以上。

换热器在设计上根据不同温度采用耐热钢和不锈钢，布置上采用温均匀化和热应力消除措施。

11、控制系统

系统主要通过炉子的温度，压力的检测，对各炉子的煤气管道的流量和烟气的流量及稀释风量进行调节和控制，并设有天然气总管快速切断装置。

炉压的高低对加热炉的使用效果影响很大，炉压高时炉气会冲出炉体的各密封间隙形成气流冲刷，对采用纤维材料密封的炉门及炉底压紧影响较大，同时，高温气流对炉体周围环境和控制器件也会造成影响。而炉压低时冷空气从密封间隙吸入，除增加工件的氧化外还会使炉内高温被负压迅速抽出造成燃料浪费。为此，排烟道上装炉压测点控制电动调节烟气阀，使炉压保持在微正压状态

炉子采用分区炉温控制，每区设有一个热电偶，测量温度进入多点记录仪，集中跟踪记录炉膛内温度。

12、安全连锁系统

台车与炉门的安全连锁，当炉门未开启到一定位置时，台车将锁定进出，台车密封未打开时台车将锁定进出。

空、煤气压力、压缩空气压力达不到规定要求时，烧咀的燃烧将不能启动，若正在燃烧时则安全关闭。

13、设备的主要特点

1、节能效果好：本设备炉体的炉衬全部采用高铝耐火纤维，与耐火砖相比导热系数小，热容量小，所以耐火层的厚度小，且吸热大大降低。

本设备采用高速调温烧咀系统，喷出速度大，达到 100m/s，能有效搅拌炉

气，是炉膛温度均匀，且烧咀系统燃烧完全，使燃料得到充分利用。采用炉压零位控制和全密封技术，是最大结合面（炉车与炉体间的密封面）处于零位炉压，炉气不外泄，冷气不内渗，使燃烧产生的热能能够有效地利用。

2、自动化程度高：炉门、炉车全部采用电动，有操作控制台，操作人员能方便地控制炉门、炉车运行。炉门、炉车有行程控制，到限定极限位置能自动停止运行，以确保安全。

？燃烧系统有全套的点火，大、小火运行、检测、熄火报警，熄火切断和再点火功能，且每套烧咀各有一个独立的控制箱，能够做到单独控制。每个控制箱接口可和仪表间温控仪连接，使整套系统全部做到自动控制。

管路参数采用自动控制。助燃空气和燃料的管路压力可设定并自动调节，使助燃空气和燃料量控制在最佳比值，保证达到较高的燃烧效率，消除黑烟。

炉压自动控制，通过压力变送器把炉膛压力信号与设定值比较，把信号传到烟囱的执行器，通过改变烟囱的开度自动控制炉膛内的压力。

炉内温度控制采用先进的智能数显温控仪，它和测温元件、自控烧咀组成闭环控制。具有高精度、高灵活性、抗干扰性和高可靠性。温控系统可对热处理生产工艺曲线进行自动计算、操作、显示、储存，实现全过程控制。

在仪表柜上设有温度、炉压、各烧咀、各管路参数的操作值显示和异常情况报警及紧急保护措施，确保操作安全。

Literature Research Report

Pulse combustion in heating furnace

Pulse combustion technology in the industrial furnace of 1
introductory industrial furnace combustion control level directly affects
the production of the indicators, such as: product quality, energy
consumption. At present the domestic industrial furnace are generally
used for continuous combustion control form, i.e. by controlling the fuel,
combustion air flows to the furnace temperature, combustion atmosphere
to reach the technical requirements. Due to the continuous combustion
control mode is often the fuel flow measurement and adjustment etc, so
most of the current industrial furnace control effect. With the rapid
development of industry of industrial furnace, pulse combustion control
technology also emerge as the times require, at home and abroad and a
degree of application, good result was obtained by using. 2the industry
furnace using pulse firing the necessity present high-end industrial
products to the furnace temperature uniformity requirements higher, on
the stability of combustion atmosphere controllable high requirement, the
use of traditional continuous combustion control cannot be achieved.
Along with the wide section, large capacity of industrial furnace, must
use the pulse burning control technique to control the furnace temperature
uniformity. 3pulse combustion control principles and advantages as the
name suggests, the pulse burning control uses a discontinuous
combustion way, using pulse width modulation technology, through the
adjustment of the combustion time of the duty ratio (on-off ratio) for
kiln temperature control. Fuel flow through the pressure adjustment of the
pre-set, burner once the work, is in full load condition, ensure the burner
combustion gas exit velocity constant. When the required temperature,
burner burning time lengthened, intermittent time decreases; the need for

cooling, burner burning time decrease, intermittent time lengthened. Control diagram shown in figure 1. The pulse burning control of the main advantages: high heat transfer efficiency, reduce the energy consumption greatly. Can improve furnace temperature uniformity. Without the need for online adjustment, can realize the accurate control of combustion atmosphere. Can improve the burner load regulation rate. The system is simple and reliable, low cost. Decrease of NO_x generation. Ordinary burner regulation is generally 1: about 4, when the burner in at full load, the gas velocity, the shape of the flame, thermal efficiency can achieve the best state, but when the burner flow close to the minimum flow, thermal load minimum, the gas velocity is reduced greatly, the shape of the flame does not reach the requirement, the thermal efficiency decreased dramatically, high speed burner work at full load flow rate below 50%, the indicators from the design requirements will have a larger gap. Pulse combustion is not, in any case, burner only two kind of working state, is a work with full load, the other one is not working, just by adjusting the two state time than for temperature regulation, so the use of pulse combustion burner adjustment can compensate for lower than that of the defect, requires low temperature control can still ensure that work in the best state of combustion burner. In the use of high speed burner, gas ejection speed, so that the formed around the negative pressure, large kiln flue gas suction gas, fully stirring the mixture, prolonged flue gas in the kiln stagnation time, increase of the flue gas and the products, contact time, thereby improving the convective heat transfer efficiency, in addition, the kiln flue gas and the gas fully mixed, the gas temperature and gas temperature in kiln kiln close, improve the uniformity of temperature field in high temperature gas, reduce the heated body direct thermal shock. Combustion atmosphere regulation is to enhance industrial furnace performance an essential link, while the

traditional continuous combustion control only through the online measurement of flue gas oxygen combustion atmosphere, feedback to the controller, and then adjusting the air flow actuator output, can accurately control the furnace combustion atmosphere. Since the detection of residual oxygen in flue gas of the zirconia sensor reliability, service life and the reasons for the price, in the industry field of use is often not ideal. Some kiln automatic control system using a ratio of flat follower, the combustion air flow and fuel flow into the fixed ratio, but this method had to be air more stay too great, not the best energy saving and control excess oxygen content (or excess air coefficient) requirements. The pulse burning control, hydraulic and air pressure can be adjusted to a proper value of one-time investment, in the system running, just to keep the two pressure stable. The stress measurement and control than the flow is much simpler, can according to the actual situation to take automatic control, can also take manual control. With the continuous combustion control, pulse combustion control system involved in the control of the instrument is greatly reduced, only the temperature sensor, the controller and actuator, omits the expensive flow, pressure detection and control mechanism. And, due to need only two switch control, actuator from the original pneumatic (electric) valve is an electromagnetic valve, increasing the reliability of the system, greatly reduce the cost of system.

4the pulse burning control technique application in industrial furnaces industrial furnace control system using industrial PC as the control unit, the use of advanced fieldbus system structure, powerful, rich images, user friendly interface. All components are imported products, so as to make the system more reliable. The system has the following functions: real-time monitoring points in the furnace temperature, residual oxygen in flue gas, furnace pressure, oil (gas) combustion pressure, wind pressure, fuel flow and combustion air flow parameters. Have on, alarm function,

alarm printing function, alarm, lower limit set by the user, and can alarm record storage, users can freely search, print. Users can set temperature or temperature curve on the furnace the were ascending, descending control, wherein the heating adopts pulse combustion control, cooling using impulse forced cooling control. Can be set by the user combustion atmosphere on furnace flue gas residual oxygen control. The furnace pressure control. The furnace feeding control. Historical data query functions, according to user needs storage, display, print history data. Has the report form printing function, real-time print spooling class newspaper, daily, monthly. With the dynamic process of the kiln, can display the process flow diagram, real-time dynamic display of various points within the furnace parameter, real-time dynamic display of the furnace flame combustion condition. In practical application process, the common pulse width modulation method for regulating combustion ratio, when the duty ratio close to 0% or 100%, discontinuous or burning time is too short, the operating effect is not ideal, so we introduced a minimum time of this concept, the discontinuity and the minimum time for burning in 3 seconds, when the duty ratio close to 0% or 100%, extend the corresponding combustion and discontinuous time can solve this problem.

5 Conclusion pulse combustion is a new technology has a wide application prospect, and can be widely applied in ceramics, metallurgy, petrochemical and other industries, improve product quality, reduce fuel consumption, reduce pollution will play a major role, is the industry furnace automatic control of an innovation, will become the future of industrial furnace combustion technology development direction. Gas furnace is the national standard energy-saving cycle furnace, super energy-saving, energy-saving effect of 65%. The bogie anticollision sealed brick, furnace door adopts a spring pressing mechanism, automatic sealing machine and the oven door, integration with rail, without

foundation installation, on level ground can use. Mainly used for high chromium, high manganese steel castings, ductile iron, steel ball, roller, 45 steel, stainless steel, quenching, annealing, aging and various mechanical parts heat treatment of. 1, equipment to all kinds of combustion gas as a medium, through all kinds of burner combustion heating, the highest temperature is 1200DEG c.. In 2, a furnace body frame is composed of a variety of large and medium-sized steel spot welded casing sealing plate, color steel plate, high aluminum refractory rejection blanket module for lining, sealing and obvious energy saving effect. In 3, the trolley frame is composed of various large I-beam, channel, angle steel and thick steel plate, welded. In 4, a trolley driving with all wheels are driving wheels, reliable driving, driving system consists of "three in one" motor, reducer installation method for shaft mounted, compact structure, strong, flexible assembly and repair, simple operation, convenient. In 5, the trolley with high aluminum refractory masonry shaped brick structure, and the furnace body has good sealing effect, high compressive strength. Trolley surface using iron pad for stacking of workpiece. Trolley for plate used in all casting parts, ensure the vehicle not deformation and durability. Furnace lining car and sealed by a refractory fiber sealing block electric push rod automatic pressing structure. Side sealing opening, closing and furnace car import and chain. 6, door with high aluminum refractory rejection of silk and steel composite frame structure, electric hoist lifting, door sealing mechanism adopts a long lever spring type automatic compressing a cam mechanism and a soft edge sealing device. To ensure no friction, easy, safe and reliable. 7, chimney installation of automatic furnace pressure control, butterfly valve, adjustable cooling rate. In 8, the heating is using high speed burner, uniformly distributed on both sides of. Proportional combustion. The actuator adjusts the quantity, through a proportional

valve to regulate the gas amount, reach the air-fuel ratio of combustion gas and air, a lower limiter, each burner gas pipe is provided with a control electromagnetic valve, each burner is equipped with independent and complete combustion controller, automatic ignition, fire detection, fire alarm automatic cut-off. This fully guarantee the combustion temperature control system stability, safety. In 9, burning Tsui features high speed burner nozzle is the fuel and combustion air in the combustion chamber of the basic realization of complete combustion, combustion gases at high temperature to 100m-150m / s rate discharge, in order to strengthen heat transfer, promote the furnace air circulating, to achieve uniform temperature, the thermal insulation even in less than or equal to 10 DEG c.. The burning nozzle a, combustion chamber, combustion gas outlet of small size B high speed C, burning Tsui regulation ratio of 1: 10, D, automatic ignition and flame monitoring e, each burner fault alarm function, each f combustion-supporting blower of low-voltage protection g, each burner fire safety control of size chain h, combustion state display, fault alarm display I, temperature curve design and modification, save and print J, operation tips, troubleshooting tips K, combustion-supporting fan control (switch), door control (switch), air-fuel ratio control, process safety interlock control 10, preheater type GC tube inserted turbulator unit heat exchanger so as to increase the air preheating temperature, temperature 1000 degrees C temperature of air is preheated to a 300-350C. GC type high efficient insert in the same heat exchanger, heat transfer coefficient, air side pressure loss than the general insert heat low, its value at about 1500Pa, thus reducing the consumption of power. The flue gas temperature of 600DEG C, the overall heat transfer coefficient of 45W / M2above, flue gas temperature is greater than or equal to 900DEG C, the overall heat transfer coefficient of 55 W / M2DEG c.. The heat exchanger in the design according to the different

temperature of heat resisting steel and stainless steel, design adopts temperature homogenization and thermal stress elimination measures. In 11, the control system mainly through the furnace temperature, pressure testing, the furnace gas pipe flow and flue gas flow and dilution air volume regulation and control, and a gas duct fast cutting device. The furnace pressure level on heating furnace using effect is very large, the furnace pressure high furnace gas would rush out of furnace body of the seal gap formation flow, the fiber material sealing door and bottom pressing effect, at the same time, high temperature air flow to the furnace body and surrounding environment control device also can cause an effect. While the oven is low the cool air from the sealing clearance suction, except for increased workpiece oxidation will make furnace high temperature is negative pressure quickly out fuel waste. Therefore, the flue is provided the furnace pressure measuring point control electric regulating valve to smoke, the furnace pressure is maintained in the micro positive pressure stove temperature control by partitions, each area is provided with a thermocouple, temperature measurement into the multiple point recorder, a centralized tracking record temperature furnace. 12, safety interlock system of trolley and the door safety chain, when the door is opened to a certain position, the locking trolley and trolley, trolley sealing is not open lock for import and. Air, gas pressure, the pressure of compressed air is not up to the requirements, burning Tsui combustion will not start if the burning, when safety closure. In 13, the main characteristics of equipment1, good energy-saving effect: This equipment furnace lining by high aluminum refractory fiber, and refractory brick compared with small thermal conductivity, thermal capacity is small, so the refractory layer thickness is small, and the heat is reduced greatly. The equipment adopts high temperature burning nozzle system, jet velocity, 100M / s, effective mixing furnace gas furnace temperature, is

uniform, and the burning nozzle system for complete combustion, the fuel can make full use of. The furnace pressure zero control and full sealing technology, is the largest combined surface (furnace and furnace body sealing surface between) at zero pressure of furnace, furnace gas leaking out, air conditioning is inward, so that the thermal energy produced by burning can be effectively utilized. In 2, a high degree of automation: furnace door, car all the electric, a console, an operator can conveniently control the furnace door, car operation. Furnace door, car travel control, to limit limit position can automatically stop running, in order to ensure the safety of. ? combustion system with a full set of ignition, big, small fire operation, detection, automatic alarm, flameout cut and ignition function, and each burning Tsui each having an independent control box, can achieve separate control. Each control box interface and instruments temperature control instrument is connected, so that the entire system accomplish automatic control. Pipeline parameters using automatic control. The combustion air and fuel line pressure can be set and adjusted automatically, so that the combustion air and fuel quantity control in the best ratio, guaranteed to achieve the high combustion efficiency, eliminate black smoke. Furnace pressure control, through the pressure transmitter to the furnace pressure signals is compared with the set value, the signal is transmitted to the actuator by changing the chimney, chimney opening automatic control pressure within the furnace. The furnace temperature control using an advanced intelligent digital display temperature control instrument, it and a temperature measuring element, controlled burning nozzle composed of closed-loop control. With high precision, high flexibility, high reliability and interference immunity. Temperature control system for heat treatment production process curve automatic calculation, operation, display, storage, realize the whole process control. Instrument in the cabinet is provided with a temperature,

pressure of furnace, the burning nozzle, each pipeline the operating value of the parameter display and the unusual situation of alarm and emergency protective measures, to ensure safe operation.