

景德镇陶瓷学院 科技艺术学院

毕业设计说明书

题目： 110M 洁具燃气隧道窑设计

学 号： 201030453121

姓 名： 孙 振 强

院（系）： 工 程 系

专 业： 热能与动力工程

日 期： 2014 年 4 月 30 日

目录

摘 要	III
一 设计任务书	1
二 烧成制度的确定	2
2.1 温度制度的确定	2
2.2 烧成曲线图	2
三 窑体主要尺寸的计算	3
3.1 窑车棚板的选用	3
3.2 窑长和窑宽尺寸的确定	3
四 工作系统的确定	7
4.1 预热带工作系统的确定	7
4.2 烧成带工作系统布置	7
4.3 冷却带工作系统布置	7
五 窑体及工作系统的确定	8
5.1 窑体	8
5.2 钢架	8
5.3 窑墙	8
5.4 窑顶	8
5.5 测温、测压孔	8
5.6 曲封、砂封和车封	8
5.7 事故处理孔	9
六 窑体材料及厚度的选择	10
七 燃料燃烧计算	12
7.1 空气量的计算	12
7.1.1 理论空气量的计算	12
7.1.2 实际空气量的计算	12
7.2 烟气量的计算	12
7.3 燃烧温度的计算	12
八 物料平衡计算	13
8.1 每小时烧成干制品的质量	13
8.2 每小时入窑干坯的质量	13
8.3 每小时欲烧成湿制品的质量	13
8.4 每小时蒸发的自由水的质量	13
8.6 每小时从精坯中排除结构水的质量 G_{ip}	13
8.7 窑具的质量 G_b	13
九 预热带和烧成带的热平衡计算	14
9.1 确定热平衡计算的基准、范围	14
9.2 热平衡示意图	14
9.3 热收入项目	15
9.4 热支出项目	16
9.5 列热平衡方程式	21
9.6 预热带和烧成带热平衡表	21
十 冷却带的热平衡计算	23

10.1 确定热平衡计算的基准、范围.....23

10.2 热平衡示意图.....23

10.3 热收入项目.....24

10.4 热支出项目.....24

10.5 列热平衡方程式.....27

10.6 冷却带热平衡表.....27

十一 管道尺寸、阻力计算、风机选型.....28

11.1 排烟系统的设计.....28

11.2 阻力计算.....28

11.3 风机选型.....31

11.4 其它系统管道尺寸的确定及风机选型.....31

十二 烧嘴选型.....35

12.1 每个烧嘴所需的燃烧能力.....35

12.2 选用烧嘴应注意的原则.....35

12.3 选用烧嘴.....35

十三 工程材料概算.....36

13.1 窑体材料概算.....36

13.2 钢材材料概算.....38

后记.....39

参考文献.....40

附录.....41

摘 要

本设计说明书对所设计的是110M 隧道窑加以说明。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. 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，节约了能源，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。

Abstract

This instruction elaborated the roller kiln. The annual production of this roller kiln is 700 thousand square meter porcelain brick. This instruction specifically elaborated the factor should considered when we designed, such as the structure of the kiln body, discharged system, burning system and the cooling system and so on, At the same time it detailed how to choose the meter, the calculation of heat balance , the pipeline design, the transmission design to the kiln and so on.

This fuel of the kiln is liquefied petroleum gas, it fires product directly. This firing way can improved the quality and scale of the product, saved the energy, and the transportation by roller may reduce loading the product. With the working procedure outside the kiln, It eased the operation. Simultaneously it has the high automation control level. It uses the PID intelligence measuring appliance in firing and the temperature control. It can adjust the firing curve and make the temperature stably conveniently.

This instruction content includes: the calculation of fuel burning, the calculation of heat balance, the calculation of transmission, the calculation of pipeline size and resistance, how to choose air blower shaping and the

estimation of engineer mater

一 设计任务书

专 业	热能与动力工程	班 级	2014 级
学生姓名	孙振强	指导教师	陈功备
题 目	年产 110M 洁具隧道窑炉设计		
<p>主要研究内容和设计技术参数：</p> <p>1、产品：卫生洁具（品种、规格自定）；</p> <p>2、产量：自定义；</p> <p>3、年工作日：330 天；</p> <p>4、燃料：天然气；</p> <p>5、烧成合格率：96%；</p> <p>6、坯体入窑水分：2.3%；</p> <p>7、烧成周期：16 小时；</p> <p>8、烧成温度：1290℃。</p>			
<p>基本要求（含成果要求）：</p> <p>1、认真思考，独立完成；</p> <p>2、编写详细设计说明书，含设计计算、材料概算等并要求应用计算机计算、处理和分析；</p> <p>3、绘制窑炉设计图纸，包括刚架结构、窑炉砌体、排烟通风系统、异型砖等；</p> <p>4、要求视图关系正确、尺寸标注完整，图纸中阿拉伯数字和汉字的书写等必须符合相关国标；</p> <p>5、设计说明书严格按照规范编写，必须有英文摘要。采用学院规定的统一格式，一律用 A4 打纸印。</p>			
<p>工作进度计划：</p> <p>1、第1~4周： 毕业实习，收集相关资料；</p> <p>2、第5~6周： 查找资料，确定方案；</p> <p>3、第7~8周： 进行初步设计计算；</p> <p>4、第9~10周：详细计算并设计草图；</p> <p>5、第11~15周：完成全部图纸；</p> <p>6、第16 周起：整理全部材料，准备答辩。</p>			

二 烧成制度的确定

2.1 温度制度的确定

根据制品的化学组成、形状、尺寸、线收缩率及其他一些性能要求，制订温度制度如下：

表2-1 温度制度

温度（℃）	时间（h）	烧成阶段	升（降）温速率（℃/h）
20---300	2.2	预热带	127
300---600	1.4	预热带	214
600---950	2	预热带	175
950---1290	2.8	烧成带	121
1290---1290	1.6	烧成带（高火保温）	0
1290---800	1.4	冷却带（急冷带）	350
800---400	3.2	冷却带（缓冷带）	125
400---80	1.4	冷却带（快冷带）	228

2.2 烧成曲线图

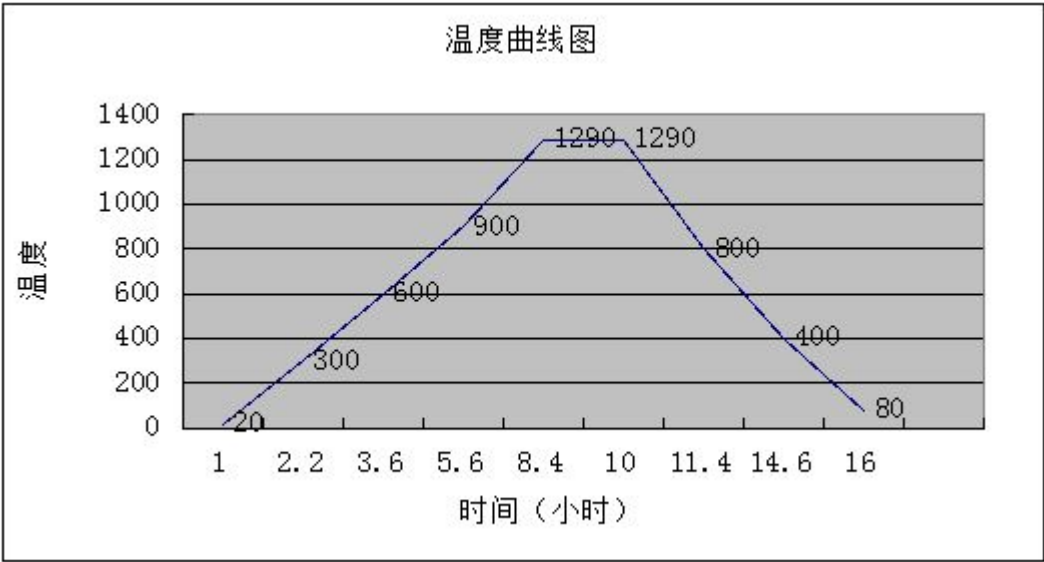


图 2-1 烧成温度曲线

三 窑体主要尺寸的计算

3.1 窑车棚板的选用

由于天然气已属于清洁的燃料，为减少窑内热量损失，提高热利用率，直接用明焰裸烧，并结合装载制品坐便器的重量大小，选定承重型结构窑车，棚板均为碳化硅材料，以降低蓄散热损失，考虑到全窑最高烧成温度为 1290°C ，故碳化硅材料选用 SiC 50%，体积密度 $2.2\text{g}/\text{cm}^3$ ，最高使用温度 1400°C ，导热系数计算式 $(5.23-1.28\times 10^{-3}t)$ 。

棚板规格：长 \times 宽 \times 高： $800\times 400\times 10(\text{mm})$

棚板质量= $800\times 400\times 10\times 10^{-6}\times 2.2=2.04\text{ Kg}$

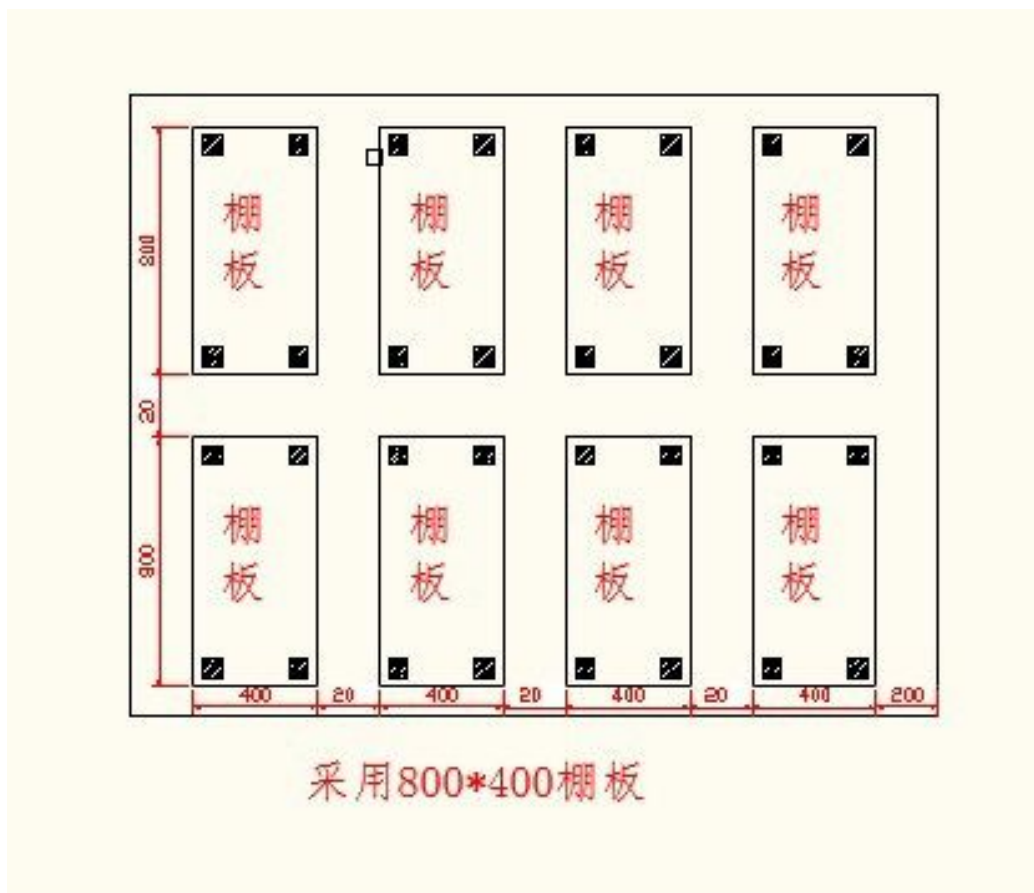
3.2 窑长和窑宽尺寸的确定

3.2.1 平坐便器规格

$712\times 362\times 692\text{mm}$ ， 60kg 。考虑烧成收缩为 8%，则：坯体长度尺寸=产品尺寸 \div （1-烧成收缩）= $712\div (1-8\%)=734(\text{mm})$ ，坯体宽度尺寸=产品尺寸 \div （1-烧成收缩）= $362\div (1-8\%)=394(\text{mm})$ ，坯体高度尺寸=产品尺寸 \div （1-烧成收缩）= $692\div (1-8\%)=753(\text{mm})$

3.2.2 平盘码放方法

由于产品属于大尺寸连体结构故采用窑车上设置棚板单层码放，每块棚板放置一个坯体，单层棚板上平盘码放装置图如下所示：



棚板设置规格为：2×4（其中2表示行数，4表示列数），相邻棚板间距为20mm。

3.2.3 窑车尺寸确定

$$\text{车宽} = 400 \times 4 + 20 \times 3 + 200 \times 2 = 2060\text{mm}$$

$$\text{车长} = 800 \times 2 + 20 \times 1 + 100 \times 2 = 1820\text{mm}$$

窑车架高223mm，窑车衬面边缘用四层的轻质砖共 $4 \times 65 + 4 \times 2 = 268\text{mm}$ ，在窑车的中部填充硅酸铝纤维折叠棉块上铺1层含锆纤维毡。

$$\text{窑车总高为：} 223 + 268 = 491\text{mm}$$

3.2.4 窑内宽、内高、全高、全宽的确定

① 内宽：

隧道窑内宽是指窑内两侧墙间的距离，包括制品有效装载宽度与制品和两边窑墙的

间距。窑车与窑墙的间隙尺寸一般为 25~30mm, 取用 30mm, 则预热带与冷却带窑内宽:

$$B_1 = 2060 + 30 \times 2 = 2120 \text{ mm}$$

由于采用明焰裸烧, 烧成带不设燃烧室, 而只在窑墙上砌筑烧嘴砖构成燃烧通道, 为使喷入的燃料有足够的燃烧空间, 增大气体辐射层厚度, 利于烟气对制品的辐射传热, 为了窑顶吊顶砖砌筑的方便, 在 2120mm 内宽的基础上两边各加一块标准吊顶砖的宽度 98mm 及灰缝, 即烧成带内宽:

$$B_2 = 2120 \text{ mm} + 98 \text{ mm} \times 2 + 2 \times 2 = 2320 \text{ mm}$$

② 全窑宽 (两侧外墙之间的距离, 没有包括钢架): 根据窑墙所选的材料预热带、冷却带单侧窑墙厚度为 400mm, 烧成带单侧窑墙厚度为 450mm, 故, 预热带、冷却带全窑宽 $= 400 \times 2 + 2210 = 2920 \text{ mm}$, 烧成带全窑宽 $= 450 \times 2 + 2320 = 3220 \text{ mm}$ 。

③ 内高:

为避免烧嘴喷出的高速火焰直接冲刷到局部制品上, 影响火焰流动, 造成较大温差, 窑车台面与垫板间、上部制品与窑顶内表面之间都设有火焰通道, 其高度 (大于或等于烧嘴砖尺寸): 棚板下部通道取 250mm, 上部火焰通道取 250mm。

因此, 窑内高初定为: $250 \text{ 下火道} + 1 \times 10 \text{ 棚板} + 1 \times 753 \text{ 制品高度} + 250 \text{ 上空间} = 1263 \text{ mm}$

由于具体的高度确定还跟选择的耐火砖尺寸厚度的整数倍有关, 通常耐火砖厚度取 65mm, 所以高度方向上耐火砖块数 $= 1263 / 65 = 19.43$, 取 19 块, 则高度为:

$$19 \times 65 = 1235 \text{ mm}, \text{ 灰缝: } 19 \times 2 = 38 \text{ mm},$$

$$\text{则预热带、冷却带窑内高: } 1235 + 38 = 1273 \text{ mm},$$

$$\text{对于烧成带, 内高增大一块标准砖的宽度 } 134 \text{ mm}, \text{ 所以内高} = 1273 + 124 = 1407 \text{ mm}$$

④ 全窑高 (轨面至窑顶外表面): 在内高的基础上加上窑车高, 预热带、烧成带为 $1273 + 491 + 330 = 2094$, 烧成带为 $1407 + 491 + 330 = 2228 \text{ mm}$ 。

3.2.5 窑长的尺寸确定

由于设计任务书已得知窑长为 110m, 窑车每层装载制品数为 $2 \times 4 = 8$ 件, 共 1 层, 故每车装载制品数为 8 件, 干制品质量 48kg, 则每车装制品质量为 $48 \text{ kg} \times 8 = 384 \text{ kg}$, 装窑密度 $g = \text{每车装载件数} / \text{车长} = 8 / 1.82 \text{ m} = 4.4 \text{ 件/m}$

$$G = \frac{L \cdot K \cdot G}{\tau \cdot 24 D_y} = \frac{110 \times 0.96 \times 4.4 \times 24 \times 330}{16} = 229996 \text{ (件)}$$

G—生产任务, 件/年; L—窑长, m;

τ —烧成时间, h ; K—成品率, %;

D—年工作日, 日/年; g—装窑密度, 件/每米车长。

该窑采用钢架结构, 全窑不设进车和出车室, 全窑长取 110m, 分为 55 个标准节, 每节长 2000mm。

3.2.6 全窑各带长的确定

根据烧成曲线, 各带烧成时间与烧成周期的比值, 预热带取13节, 烧成带取11节, 冷却带取16节, 则各带长及所占比例为:

预热带长= $2 \times 19=38\text{m}$

烧成带长= $2 \times 17=34\text{m}$

冷却带长= $2 \times 19=38\text{m}$

四 工作系统的确定

4.1 预热带工作系统的确定

预热带共 19 节，其中 1-14 节为排烟段，第一节前半节两侧窑墙各设置一道封闭气幕，气幕风由冷却带抽来的热空气提供。后半节设 1 对排烟口，目的是使窑头气流压力自平衡，以减少窑外冷空气进入窑体。第二节到第十节每节在窑车台面棚板通道处各设 2 对排烟口，位置正对。

另外，为方便调节预热带温度，尽量减少上下温差，在第 16~19 节设置高速调温烧嘴，同时烧嘴的正对面是观火孔（尺寸 $\Phi 67$ ），高速调温烧嘴喷出的热烟气在窑内断面上形成气流循环，使窑内气流实现激烈的搅动，促进上下温度场的均匀，而且加快了窑内的对流传热，缩短烧成时间。

4.2 烧成带工作系统布置

第 20 节到 36 节为烧成带，第 20-25 节设置 4 只烧嘴和 4 只观火孔，第 26 节-第 36 节每节设置 8 只高速调温烧嘴和 8 只观火孔，上下各部设置 4 只烧嘴和 4 只观火孔，上下部设置与窑墙均呈现交错布置，烧嘴和观火孔一一正对。

4.3 冷却带工作系统布置

冷却带按照烧成工艺分成三段：

第 37-41 节为急冷段。该段采用喷入急冷风直接冷却方式，除急冷首节只在后半节下部设冷风喷管（尺寸 $\Phi 60$ ）4 对外，其余每节上下各部设 5 对冷风喷管，上下喷管交错设置。

第 42-51 节为缓冷段。本设计中采用直接热风冷却的方法，为了能使急冷段和快冷段来的热风对制品进行充分缓冷，在 43、45、47、49、51 各设 1 对相错的抽热风口，共 5 对。

52-55 节为快冷段。第 52-55 节上下部各设 5 对冷风喷管（尺寸 $\Phi 60$ ），通过喷管鼓入冷风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 。

五 窑体及工作系统的确定

5.1 窑体

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。

5.2 钢架

每一钢架长度为2米，含钢架膨胀缝。全窑共55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。

5.3 窑墙

窑墙采用轻质耐火隔热材料。常用材质如下：石棉板、轻质粘土砖、硅藻土砖、普通硅酸耐火纤维板、含铬耐火纤维毡、轻质高铝砖、矿渣棉等耐火材料。窑墙砌筑在钢架结构上。每隔2米留设20mm左右的热膨胀缝，用含锆散棉填实。

5.4 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。

5.5 测温、测压孔

温度控制：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。在窑体的第1节—19节，自第1节开始，每隔一节设置一处测温孔；在进入烧成带之后每节各设一处；进入冷却带后37节—55节每隔一节设置一处测温孔。各测温孔设置在窑顶中部，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。

压力控制主要靠调节烟气、空气等流量来实现。布置压力计于2、5、9、12、14、18、20、22、24、27、31、34、36、39、40、42、45、47、49、53车位中部，共20支。为方便画图，图纸中没有表示出。

5.6 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。

5.7 事故处理孔

由于窑车上棚架稳固，又是单层码放，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

六 窑体材料及厚度的选择

窑体材料及厚度的原则：一是要考虑该处窑内温度对窑体的要求，即所选用的材料长期使用温度必须大于其所处位置的最高温度；二是尽可能使窑体散热损失要小；三是要考虑到砖型及外形整齐。根据上述原则，窑体的材料及厚度如下：

排烟段1-14节	
窑顶	窑墙
硅酸铝纤维毯3*20mm	硅酸铝纤维毡50mm
高铝纤维毯2*20mm	高铝纤维毡2*50mm
高铝聚轻球吊顶砖230mm	高铝纤维毯20mm
	高铝聚轻球砖230mm
排烟段15-19节	
窑顶	窑墙
硅酸铝纤维毯3*20mm	硅酸铝纤维毡50mm
高铝纤维毯2*20mm	高铝纤维毡2*50mm
TJM23莫来石吊顶230mm	高铝纤维毯20mm
	TJM23莫来石230mm
烧成段20-36节	
窑顶	窑墙
	硅酸铝纤维毡50mm
高铝纤维毯3*20mm	高铝纤维毡2*50mm
含锆纤维毯2*20mm	含锆纤维毡50mm
TJM26莫来石吊顶230mm	含锆纤维毯20mm
	TJM26莫来石230mm
冷却段37-41节	
窑顶	窑墙
硅酸铝纤维毯3*20mm	硅酸铝纤维毡50mm
高铝纤维毯2*20mm	高铝纤维毡2*50mm
TJM23莫来石吊顶230mm	高铝纤维毯20mm
	TJM23莫来石230mm
冷却段38-55节	
窑顶	窑墙
硅酸铝纤维毯3*20mm	硅酸铝纤维毡50mm
高铝纤维毯2*20mm	高铝纤维毡2*50mm
高铝聚轻球吊顶砖230mm	高铝纤维毯20mm
	高铝聚轻球砖230mm

注意，胚体成分如下

SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	I.L
72.28	18.15	0.35	0.45	1.5	1.2	1.25	4.82

湿胚重量 60kg

制品重量 48kg

七 燃料燃烧计算

7.1 空气量的计算

7.1.1 理论空气量的计算

根据原始数据 $Q_d = 35960 \text{ kJ/Nm}^3$

根据经验公式计算理论空气量:

$$L_o = 0.264 Q_d / 1000 + 0.02 = 0.264 \times 35960 / 1000 + 0.02 = 9.513 (\text{Nm}^3/\text{Nm}^3)$$

7.1.2 实际空气量的计算

由于辊道窑烧瓷砖在氧化气氛下烧成, 取空气过量系数为 $a=1.3$, 则实际空气需要量为:

$$L_a = L_o \times 1.3 = 12.367 (\text{Nm}^3/\text{Nm}^3)$$

7.2 烟气量的计算

根据经验公式计算实际烟气量为:

$$V_g = a L_o + 0.38 + 0.018 Q_d / 1000 = 1.3 \times 9.513 + 0.38 + 0.018 \times 35960 / 1000 = 13.394 (\text{Nm}^3/\text{Nm}^3)$$

7.3 燃烧温度的计算

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

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:

$$\text{根据理论燃烧温度: } t_{th} = \frac{Q_d + c_r t_r + c_a t_a L_a}{V_g c_g}$$

$$t_{th} = \frac{35960 + 1.58 \times 20 + 1.3 \times 20 \times 12.367}{13.394 \times 1.603} = 1691^\circ\text{C}$$

$(1700 - 1691) / 1700 < 5\%$, 所设温度合理。

取高温系数为 0.8, 则实际温度为:

$t = 0.8 \times 1700 = 1360^\circ\text{C}$, 比最高烧成温度 12700 高出 90°C , 符合烧成要求, 认为合理。

八 物料平衡计算

8.1 每小时烧成干制品的质量

$$G_m = \text{推车速度} \times \text{每车载重} = 3.81 \times 384 = 1463 \text{ kg}$$

每小时进 3.81 车，每车装载制品 384kg

8.2 每小时入窑干坯的质量

$$G_1 = G_m \cdot \frac{100}{100 - IL} = 1463 \times \frac{100}{100 - 4.8} = 1537 \text{ kg/h}$$

8.3 每小时欲烧成湿制品的质量

$$G_2 = G_1 \cdot \frac{100}{100 - \omega} = 1537 \times \frac{100}{100 - 2.1} = 1570 \text{ kg/h}$$

8.4 每小时蒸发的自由水的质量

$$G_w = G_2 - G_1 = 1579 - 1537 = 33 \text{ kg/h}$$

8.5 每小时从精坯中引入的 CaO 和 MgO 质量 计算

$$G_{CaO} = G_1 \cdot CaO\% = 1537 \times 0.32\% = 4.9184 \text{ kg/h}$$

$$G_{MgO} = G_1 \cdot MgO\% = 1537 \times 0.23\% = 3.5351 \text{ kg/h}$$

8.5.1 产生的 CO₂ 质量

$$G_{CO_2} = G_{CaO} \cdot \frac{M_{CO_2}}{M_{CaO}} + G_{MgO} \cdot \frac{M_{CO_2}}{M_{MgO}} = 4.9184 \times 44 / 56 + 3.5351 \times 44 / 40 = 7.75 \text{ kg/h}$$

8.6 每小时从精坯中排除结构水的质量 G_{ip}

$$G_{ip} = G_1 \times IL\% - G_{CO_2} = 1537 \times 4.8\% - 7.75 = 66 \text{ kg/h}$$

8.7 窑具的质量 G_b

8 块棚板。共重约 16.32 kg,

$$G_b = 16.32 \times 3.81 = 62.18 \text{ kg/h}$$

九 预热带和烧成带的热平衡计算

9.1 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。

9.2 热平衡示意图

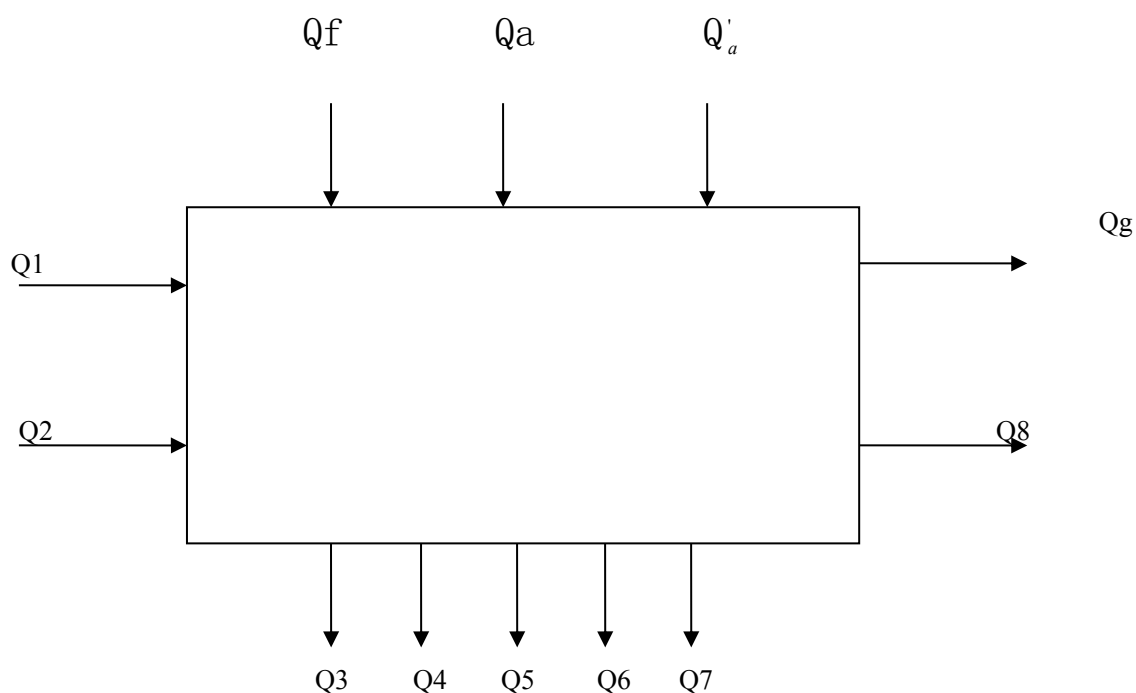


图 9-1 预热带和烧成带的热平衡示意图

Q_1 —坯体带入显热；

Q_2 —硼板窑具带入显热；

Q_3 —产品带出显热；

Q_4 —硼板窑具带出显热；

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_g —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 —预热带漏入空气与气幕喷人风带入显热;

9.3 热收入项目

9.3.1 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); $G_1=1570\text{Kg/h}$;

T_1 —入窑制品的温度 ($^{\circ}\text{C}$); $T_1=20^{\circ}\text{C}$

C_1 —入窑制品的平均比热 ($\text{KJ}/(\text{Kg} \cdot ^{\circ}\text{C})$); 一般取 0.84–1.26, 此处取 0.9KJ/ ($\text{Kg} \cdot ^{\circ}\text{C}$);

$$Q_1 = G_1 C_1 T_1 = 1570 \times 0.9 \times 20 = 28260 \quad (\text{kJ/h})$$

9.3.2 硼板窑具带入显热 Q_2

其中: G_2 —入窑硼板窑具质量 (Kg/h); $G_2=62.18\text{Kg/h}$;

T_2 —入窑硼板窑具的温度 ($^{\circ}\text{C}$); $T_2=20^{\circ}\text{C}$

C_2 —入窑硼板窑具的平均比热 ($\text{KJ}/(\text{Kg} \cdot ^{\circ}\text{C})$); 硼板、支柱的平均比热容按下式计算:

$$C_2 = 0.963 + 0.000147t = 0.963 + 0.000147 \times 20 = 0.9924 \text{KJ}/(\text{Kg} \cdot ^{\circ}\text{C})$$

$$Q_2 = G_2 C_2 T_2 = 62.18 \times 0.968 \times 20 = 1234.15 \quad (\text{kJ/h})$$

9.3.3 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/m^3); 燃料为天然气, 低位发热量为:

$$Q_{\text{net,ar}} = 35960 \text{KJ}/\text{m}^3;$$

T_f —入窑燃料温度 ($^{\circ}\text{C}$); 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 ($\text{KJ}/(\text{Kg} \cdot ^{\circ}\text{C})$); 查表, $T_f=20^{\circ}\text{C}$ 时天然气平均比热容为: $C_f=1.58 \text{KJ}/(\text{Kg} \cdot ^{\circ}\text{C})$;

x —设每小时天然气的消耗量为 x (m^3/h);

$$Q_F = (Q_{\text{net,ar}} + T_f C_f) x = (35960 + 20 \times 1.58) x = 35991.6x \quad \text{kJ/h}$$

9.3.4 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: $q_v = V_a \cdot x = 12.367 x$ (m^3/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: $C_a = 1.30 \text{ KJ}/(\text{Kg} \cdot ^{\circ}\text{C})$;

$$Q_a = q_v C_a T_a = 12.367x \times 1.30 \times 20 = 321.542x \quad (\text{kJ/h})$$

9.3.5 预热带漏入空气与气幕喷人风带入显热 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 $a_g = 2.5$, $a_f = 1.3$ 。已求出理论空气量 $V_a^0 = 9.513 \text{ Nm}^3/\text{Nm}^3$

漏入空气温度 $t_s = 20^{\circ}\text{C}$, $C_s = 1.30 \text{ kJ}/(\text{Nm}^3 \cdot ^{\circ}\text{C})$, 漏入空气温度为 $t'_a = 20^{\circ}\text{C}$, 此时 $C'_a = 1.30 \text{ kJ}/(\text{Nm}^3 \cdot ^{\circ}\text{C})$,

$$V'_a = x \times (a_g - a_f) \times V_a^0 = x(2.5 - 1.3) \times 9.513 = 12.367x \quad (\text{Nm}^3/\text{h}), \text{ 则:}$$

$$Q'_a = q'_v \times C'_a \times t'_a = 12.367 x \times 1.30 \times 20 = 321.54x \quad (\text{kJ/h})$$

喷入热风取理论空气量的 0.6 倍, 温度为 200°C , 此时空气比热为 $1.32 \text{ kJ}/(\text{Nm}^3 \cdot ^{\circ}\text{C})$. 漏入风为理论空气量的 $0.6(=2.5 - 1.3 - 0.6)$ 倍。

$$Q_a = 0.6 \times 9.513 \times 1.3 \times 20x + 0.6 \times 9.513 \times 1.32 \times 200x = 1655.262x$$

9.4 热支出项目

9.4.1 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: $G_3 = 1321 \text{ Kg}$

出烧成带产品温度: $t_3 = 1290^{\circ}\text{C}$

查手册^[11], 此时产品平均比热: $C_3 = 1.2 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C})$

则:

$$Q_3 = G_3 \times C_3 \times t_3 = 1321 \times 1290 \times 1.2 = 2044908 \text{ (kJ/h)}$$

9.4.2 棚板窑具带出显热 Q_4

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

棚板质量: $G_4 = 62.18 \text{ kg/h}$

出烧成带棚板温度: $T_4 = 1290^\circ\text{C}$

此时棚板的平均比热:

$$C_4 = 0.84 + 0.000264t = 0.84 + 0.000264 \times 1290 = 1.180 \text{ kJ/(kg} \cdot ^\circ\text{C)}$$

$$Q_4 = G_4 \times C_4 \times T_4 = 62.18 \times 1.180 \times 1290 = 18549.20 \text{ (kJ/h)}$$

9.4.3 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 $V_g^0 = 12.367x \text{ (Nm}^3\text{/h)}$

离窑烟气体积: $q_g = [V_g^0 + (a_g - 1.3) \times V_a^0]x + V_s$ 烟气温度为 200°C 此时烟气比热 $C_g = 1.445 \text{ kJ/(Nm}^3 \cdot ^\circ\text{C)}$

$$\begin{aligned} Q_g &= q_g \times C_g \times t_g = \{[12.367 + (2.5 - 1.3) \times 9.513]x + 7.42x\} \times 1.445 \times 200 \\ &= 9017.55x \text{ (kJ/h)} \end{aligned}$$

9.4.4 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

9.4.4.1 20—600℃段

该段窑长度为 23.88 米, 窑宽为 3.22 米。窑外壁表面平均温度 80°C , 窑内壁表面平均温度: $(20 + 600) / 2 = 310^\circ\text{C}$

9.4.4.1.1 窑墙部分散热计算

此部分用材料如下:

硅酸铝纤维毡, 厚度 $\delta = 50 \text{ mm}$, 导热系数 $0.24 \text{ w/(m} \cdot ^\circ\text{C)}$;

高铝纤维毡, 厚度 $\delta = 100 \text{ mm}$, 导热系数 $0.36 \text{ w/(m} \cdot ^\circ\text{C)}$;

高铝纤维毡, 厚度 $\delta = 20 \text{ mm}$, 导热系数 $0.3 \text{ w/(m} \cdot ^\circ\text{C)}$;

高铝聚轻球砖, 厚度 $\delta = 230 \text{ mm}$, 导热系数 $0.45 \text{ w/(m} \cdot ^\circ\text{C)}$;

$$\text{热流 } q_1 = \frac{t_1 - t_0}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} = \frac{310 - 80}{\frac{0.05}{0.24} + \frac{0.1}{0.36} + \frac{0.02}{0.3} + \frac{0.23}{0.48}} = 235.5 \text{ W/m}^2$$

不考虑车台面以下部分的窑墙散热，窑内高按 1273mm 计算，

则两侧窑墙散热量： $Q'_1=2 \times 235.5 \times 23.88 \times 1.273 \times 3.6=51544.95$ (kJ/h)

9.4.4.1.2 窑顶部分散热计算

此部分用材料如下：

硅酸铝纤维毡，厚度 $\delta=60$ mm，导热系数 0.24 w/(m·℃)；

高铝纤维毡，厚度 $\delta=40$ mm，导热系数 0.3 w/(m·℃)；

高铝聚轻球吊顶砖，厚度 $\delta=230$ mm，导热系数 0.45 w/(m·℃)；

$$\text{热流 } q_2 = \frac{t_1 - t_0}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} = \frac{310 - 80}{\frac{0.06}{0.24} + \frac{0.23}{0.45} + \frac{0.04}{0.3}} = 217.3 \text{ W/m}^2$$

窑顶散热量： $Q'_2=217.3 \times 3.22 \times 23.88 \times 3.6=60152$ (kJ/h)

所以，20—450℃段的窑体散热总量为：

$Q'_a = Q'_1 + Q'_2 = 111697$ (kJ/h)

9.4.4.3 600—950℃段

该段长度为 12.28 米，窑外壁表面平均温度 80℃，窑内壁表面平均温度： $(600+950)/2=775$ ℃

9.4.4.3.1 窑墙部分散热计算

此部分用材料如下：

硅酸铝纤维毡，厚度 $\delta=50$ mm，导热系数 0.24 w/(m·℃)；

高铝纤维毡，厚度 $\delta=100$ mm，导热系数 0.36 w/(m·℃)；

高铝纤维毡，厚度 $\delta=20$ mm，导热系数 0.3 w/(m·℃)；

TJM23 莫来石，厚度 $\delta=230$ mm，导热系数 0.2 w/(m·℃)；

$$\text{热流 } q_3 = \frac{t_1 - t_0}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} = \frac{750 - 80}{\frac{0.05}{0.24} + \frac{0.1}{0.36} + \frac{0.02}{0.3} + \frac{0.23}{0.2}} = 685.9 \text{ W/m}^2$$

则两侧窑墙散热量： $Q'_7=2 \times 685.9 \times 1.273 \times 12.28 \times 3.6=77200.49$ (kJ/h)

9.4.4.3.2 窑顶部分散热计算

此部分用材料如下：

硅酸铝纤维毡，厚度 $\delta=60$ mm，导热系数 0.22 w/(m·℃)；

高铝纤维毡，厚度 $\delta=40$ mm，导热系数 0.3 w/(m·℃)；

TJM23 莫来石, 厚度 $\delta = 230 \text{ mm}$, 导热系数 $0.2 \text{ w/(m} \cdot ^\circ\text{C)}$;

$$\text{热流 } q_4 = \frac{t_1 - t_0}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} = \frac{750 - 80}{\frac{0.06}{0.22} + \frac{0.45}{0.3} + \frac{0.23}{0.2}} = 633.1 \text{ W/m}^2$$

窑顶散热量: $Q'_8 = 3.22 \times 633.1 \times 12.28 \times 3.6 = 90121.63 \text{ (kJ/h)}$

所以, 600—900℃段的窑体散热总量为:

$$Q'_9 = Q'_7 + Q'_8 = 167322.12 \text{ (kJ/h)}$$

9.4.4.4 950—1270℃段

该段长度为 16.38 米, 窑外壁表面平均温度 80℃, 窑内壁表面平均温度: $(950 + 1270) / 2 = 1110^\circ\text{C}$

9.4.4.4.1 窑墙部分散热计算

此部分用材料如下:

硅酸铝纤维毡, 厚度 $\delta = 50 \text{ mm}$, 导热系数 $0.24 \text{ w/(m} \cdot ^\circ\text{C)}$

高铝纤维毡, 厚度 $\delta = 100 \text{ mm}$, 导热系数 $0.36 \text{ w/(m} \cdot ^\circ\text{C)}$

含锆纤维毡, 厚度 $\delta = 50 \text{ mm}$, 导热系数 $0.342 \text{ w/(m} \cdot ^\circ\text{C)}$;

含锆纤维毡, 厚度 $\delta = 20 \text{ mm}$, 导热系数 $0.32 \text{ w/(m} \cdot ^\circ\text{C)}$;

TJM23 莫来石, 厚度 $\delta = 230 \text{ mm}$, 导热系数 $0.2 \text{ w/(m} \cdot ^\circ\text{C)}$;

$$\text{热流 } q_{10} = q_5 = \frac{t_1 - t_0}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3}} = \frac{1080 - 80}{\frac{0.05}{0.24} + \frac{0.1}{0.36} + \frac{0.05}{0.342} + \frac{0.02}{0.32} + \frac{0.13}{0.2}} = 676.59 \text{ W/m}^2$$

不考虑车台面以下部分的窑墙散热, 窑内高按 1387mm 计算,

则两侧窑墙散热量: $Q'_{10} = 2 \times 676.59 \times 1.387 \times 16.38 \times 3.6 = 110674.72 \text{ (kJ/h)}$

9.4.4.4.2 窑顶部分散热计算

此部分用材料如下:

高铝纤维毡, 厚度 $\delta = 230 \text{ mm}$, 导热系数 $0.3 \text{ w/(m} \cdot ^\circ\text{C)}$;

含锆纤维毡, 厚度 $\delta = 230 \text{ mm}$, 导热系数 $0.24 \text{ w/(m} \cdot ^\circ\text{C)}$;

TJM23 莫来石, 厚度 $\delta = 230 \text{ mm}$, 导热系数 $0.2 \text{ w/(m} \cdot ^\circ\text{C)}$;

$$\text{热流 } q_{11} = q_6 = \frac{t_1 - t_0}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} = \frac{1080 - 80}{\frac{0.06}{0.3} + \frac{0.04}{0.32} + \frac{0.23}{0.2}} = 582.61 \text{ W/m}^2$$

窑顶散热量: $Q'_{11}=16.38 \times 582.61 \times 3.22 \times 3.6=110624.22$ (kJ/h)

所以, 950—1170℃段的窑体散热总量为:

$$Q'_{12}=Q'_{10}+Q'_{11}=221298.94 \text{ (kJ/h)}$$

综上所述, 预热带和烧成带窑体散失热量总和为:

$$Q_5=500318.06 \text{ (kJ/h)}$$

9.4.5 窑车蓄热和散失热量 Q_6

取经验数据, 占热收入的 10%。

9.4.6 物化反应耗热 Q_7

9.4.6.1 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 $G_w=117\text{kg/h}$

烟气离窑的温度 $t_g=200^\circ\text{C}$ 。制品中 Al_2O_3 含量为 20.04%

则可得:

$$Q_w=117 \times (2490+1.93 \times 200)=336492$$

9.4.6.2 结构水脱水吸热 Q'_w

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

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);

$$Q'_w=6700q'_{m,w}=72.6 \times 6700=486420 \text{ KJ/Kg}$$

9.4.6.3 其余物化反应吸热 Q_d

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

其中, q^d_m —入窑干制品质量流量 (Kg/h); $q^d_m=1726 \text{ Kg/h}$;

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;

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

$$Q_d=q^d_m \times 2100 \times w(\text{Al}_2\text{O}_3)=1726 \times 2100 \times 20.04\%=726369.84 \text{ (kJ/h)}$$

则物化反应总耗热为:

$$Q_7=336492+486420+726369.84=1549281.84 \text{ (kJ/h)}$$

9.4.7 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%。

9.5 列热平衡方程式

由热平衡方程：热收入=热支出，有

$$Q_1+Q_2+Q_f+Q_a+Q'_a+Q_s=Q_3+Q_4+Q_g+Q_5+Q_6+Q_7+Q_8$$
$$28260+1234.15+35991.6x+321.542x+1655.262x=2044908+9017.55x+18549.20$$
$$+500318.06+1549281.84+10\%Q_{收}+5\%Q_{收}$$

解得 $x=175.77\text{ Nm}^3/\text{h}$

单位燃耗： $175.77 / 1463=0.12$ （标准立方米/千克瓷）

单位热耗： $0.1184\times35960=4702.5$ （千焦/千克瓷）

即每小时需天然气 $B=175.77\text{ (Nm}^3/\text{h)}$ ，每小时烧成产品质量 $G=1463\text{Kg/h}$ ） $Q_{DW}=35960\text{KJ/Kg}$ 所以，单位质量得产品热耗为：

$$B\cdot Q_{DW} / G = \frac{175.77\times35960}{1463} =4320.36(\text{kJ/kg})$$

9.6 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	28260	0.42	产品带走显热	2044908	30.5
燃料化学显热	6326243.53	94.42	烟气带走显热	1585014.76	23.64
助燃空气显热	56517.44	0.84	窑墙、窑顶带走显热	500398.06	7.4
棚板、立柱带 入显热	1234.15	0.02	物化反应耗热	1549281.84	23.11
			棚板、立柱带出显热	18549.02	0.35
漏入空气及喷 入风带入显热	290945.402	4.3	窑车积、散热	670020.052	10
			其它热损失	335010.026	5
总 计	6700200.52	100	总 计	6700181.76	100

分析：

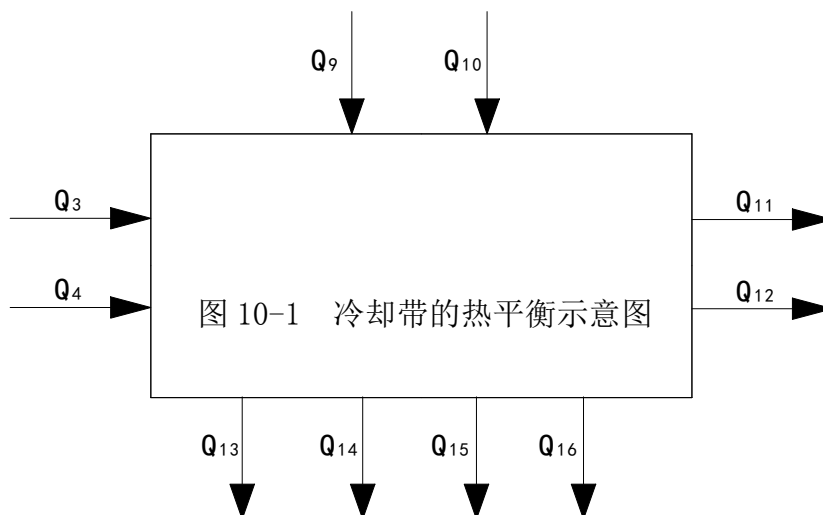
两者之间存在差值，是因为预热带窑内负压在该次计算中忽略了窑底漏入窑内风带来的热量，实际上虽然窑车上下压力控制手段非常完善，但仍有误差，由于误差很小所以整个预热带、烧成带热量可认为是收支平衡的。

十 冷却带的热平衡计算

10.1 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。

10.2 热平衡示意图



Q_3 —制品带入显热；

Q_4 —硼板窑具带入显热；

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} —硼板窑具带出显热；

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；

10.3 热收入项目

10.3.1 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 $Q_3=2044908$ (kJ/h)

10.3.2 棚板窑具带入显热 Q_4

此项热量即为预热带和烧成带棚板窑具带出热 $Q_4=18549.02$ (kJ/h)

10.3.3 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。

$$Q_9=0.95 \times Q_6=1549281.84 \times 0.95=1471817.75 \text{ (kJ/h)}$$

10.3.4 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 $c_a=1.296 \text{ kJ}/(\text{Nm}^3 \cdot ^\circ\text{C})$ 。

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

10.4 热支出项目

10.4.1 制品带出显热 Q_{11}

出窑产品质量 $G_{11}=1463 \text{ kg}$

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

$$Q_{11}=G_{11} \times C_{11} \times t_{11}=1463 \times 80 \times 0.896=104867.84 \text{ (kJ/h)}$$

10.4.2 棚板窑具带出显热 Q_{12}

出窑棚板质量 $G_{12}=62.18 \text{ kg/h}$

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

$$Q_{12}=G_{12} \times C_{12} \times t_{12}=62.18 \times 0.861 \times 80=4282.96 \text{ (kJ/h)}$$

10.4.3 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%，

$$Q_{13}=0.55 \times Q_9=0.55 \times 670020.052=368511.029 \text{ (kJ/h)}$$

10.4.5 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

10.4.5.1 1290—800℃段

该段长度为 12 米，窑外壁表面平均温度 80℃，窑内壁表面平均温度：(1290+800)/2=1045℃

10.4.5.1.1 窑墙部分散热计算

硅酸铝纤维毡，厚度 $\delta=50$ mm，导热系数 0.24 w/(m·℃)；

高铝纤维毡，厚度 $\delta=100$ mm，导热系数 0.36 w/(m·℃)；

高铝纤维毡，厚度 $\delta=20$ mm，导热系数 0.3 w/(m·℃)；

TJM23 莫来石，厚度 $\delta=230$ mm，导热系数 0.2 w/(m·℃)；

$$\text{热流 } q_1 = \frac{t_1 - t_0}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3}} = \frac{1035 - 80}{\frac{0.05}{0.24} + \frac{0.1}{0.36} + \frac{0.02}{0.3} + \frac{0.23}{0.2}} = 642.6 \text{ W/m}^2$$

不考虑车台面以下部分的窑墙散热，窑内高按 1387mm 计算，

则两侧窑墙散热量： $Q''_1 = 2 \times 642.6 \times 1.387 \times 14 \times 3.6 = 88841.65$ (kJ/h)

10.4.5.1.2 窑顶部分散热计算

此部分用材料如下：

硅酸铝纤维毡，厚度 $\delta=60$ mm，导热系数 0.24 w/(m·℃)；

高铝纤维毡，厚度 $\delta=40$ mm，导热系数 0.3 w/(m·℃)；

TJM23 莫来石，厚度 $\delta=230$ mm，导热系数 0.2 w/(m·℃)

$$\text{热流 } q_2 = \frac{t_1 - t_0}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} = \frac{1035 - 80}{\frac{0.06}{0.24} + \frac{0.04}{0.3} + \frac{0.23}{0.2}} = 553.62 \text{ W/m}^2$$

窑顶散热量： $Q''_2 = 553.62 \times 3.4 \times 12 \times 3.6 = 81315.71$ (kJ/h)

所以，1270—800℃段的窑体散热总量为：

$$Q''_3 = Q''_1 + Q''_2 = 88841.65 + 81315.71 = 171157.36 \text{ kJ/h}$$

10.4.5.2 800—80℃段

该段长度为 38 米，窑外壁表面平均温度 80℃，窑内壁表面平均温度：(800+80)/2=440℃

10.4.5.2.1 窑墙部分散热计算

此部分用材料如下：

硅酸铝纤维毡，厚度 $\delta=50$ mm，导热系数 0.24 w/(m·℃)

高铝纤维毡，厚度 $\delta=100$ mm，导热系数 0.36 w/(m·℃)；

高铝纤维毯, 厚度 $\delta = 20 \text{ mm}$, 导热系数 $0.3 \text{ w/(m} \cdot ^\circ\text{C)}$;

高铝聚轻球砖, 厚度 $\delta = 230 \text{ mm}$, 导热系数 $0.45 \text{ w/(m} \cdot ^\circ\text{C)}$;

$$\text{热流 } q_3 = \frac{t_1 - t_0}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} = \frac{440 - 80}{\frac{0.05}{0.24} + \frac{0.1}{0.36} + \frac{0.02}{0.3} + \frac{0.23}{0.45}} = 368.53 \text{ W/m}^2$$

不考虑车台面以下部分的窑墙散热, 窑内高按 1273 mm 计算,

则两侧窑墙散热量: $Q''_4 = 2 \times 368.53 \times 1.273 \times 38 \times 3.6 = 128356.346 \text{ (kJ/h)}$

10.4.5.2.2 窑顶部分散热计算

此部分用材料如下:

硅酸铝纤维毯, 厚度 $\delta = 20 \text{ mm}$, 导热系数 $0.2 \text{ w/(m} \cdot ^\circ\text{C)}$;

高铝纤维毯, 厚度 $\delta = 230 \text{ mm}$, 导热系数 $0.24 \text{ w/(m} \cdot ^\circ\text{C)}$;

高铝聚轻球吊顶砖, 厚度 $\delta = 230 \text{ mm}$, 导热系数 $0.45 \text{ w/(m} \cdot ^\circ\text{C)}$;

$$\text{热流 } q_4 = \frac{t_1 - t_0}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} = \frac{440 - 80}{\frac{0.06}{0.22} + \frac{0.04}{0.3} + \frac{0.23}{0.45}} = 340.16 \text{ W/m}^2$$

窑顶散热量: $Q''_5 = 340.16 \times 38 \times 3.22 \times 3.6 = 149839.119 \text{ (kJ/h)}$

所以, $800-80^\circ\text{C}$ 段的窑体散热总量为:

$Q''_6 = Q''_4 + Q''_5 = 278195.465 \text{ (kJ/h)}$

综上所述, 冷却带窑体散失热量总和为:

$Q_{14} = 171157.36 + 278195.465 = 449352.825 \text{ (kJ/h)}$

10.4.6 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 $q_{15} = 1.5V_x \text{ Nm}^3$ 。漏出空气忽略不计

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 ($\text{KJ/(Kg} \cdot ^\circ\text{C)}$);

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

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

10.4.7 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% 。

10.5 列热平衡方程式

列出热平衡方程式

热收入=热支出，即：

$$\begin{aligned}
 Q_3+Q_4+Q_9+Q_{10}&=Q_{11}+Q_{12}+Q_{13}+Q_{14}+Q_{15}+Q_{16} \\
 2044908+18549.02+1471817.75+38.88x \\
 &=104867.84+4782.96+449352.825+368511.029+389.25x+5\% Q_{\text{收}}
 \end{aligned}$$

得： $V_x = 6900.08 \text{ Nm}^3/\text{h}$

因此得窑尾风量为 $6900.08 \text{ Nm}^3/\text{h}$ 急冷风量为 $3450.04 \text{ Nm}^3/\text{h}$

则每小时应抽余热风为： $1.5 \times 6900.08 = 10350.12 \text{ Nm}^3$

10.6 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	2044908	53.76	产品带出显热	104867.84	2.76
棚板带入显热	18549.02	0.49	棚板带出显热	4782.96	0.13
窑车带入显热	1471817.75	38.7	窑体散热	449352.825	11.81
急冷、窑尾风 带入显热	268275.11	7.05	窑车带走和向车 下散失显热	368511.029	9.69
			抽热风带走显热	2685856.14	80.61
			其它散热	190177.494	5
合 计	3803549.88	100	合 计	3803548.29	100

十一 管道尺寸、阻力计算、风机选型

11.1 排烟系统的设计

11.1.1 排烟量计算

排烟系统需排除烟气量:

$$V_g = [V_{g0} + (\alpha_g - \alpha) L_0] \times \\ = [13.394 + (2.5 - 1.3) \times 9.513] \times 387.12 = 9604.29 \text{ m}^3/\text{h} = 2.67 \text{ m}^3/\text{s}$$

11.1.2 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:

$$q_v = 2.67/34 = 0.079 \text{ m}^3/\text{s}$$

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:

$$A = 0.079/1.5 = 0.053 \text{ m}^2$$

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

11.1.3 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 1072mm。

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 1.072 米左右, 实际距离要以现场风机安装位置等实际情况为准。

11.1.4 水平主烟道尺寸

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

11.2 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。

11.2.1 料垛阻力 h_l

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 18 节, 最后一对排烟口在第 6 节, 每节长 2 米, 则:

$$h_1 = (18-6) \times 2 \times 1 = 24 \text{ Pa}$$

11.2.2 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 200℃。

$$\begin{aligned} h_g &= -H(\rho_a - \rho_g) \cdot g \\ &= -1.0 \times [1.29 \times 273 / (273 + 20) - 1.3 \times 273 / (273 + 200)] \times 9.8 \\ &= -4.43 \text{ Pa} \end{aligned}$$

11.2.3 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 $\xi_6 = 0.5$; $v = 5 \text{ m/s}$

$$\begin{aligned} h_e &= \xi_{1-4} \frac{\omega_1^2}{2} \rho + \xi_{5-6} \frac{\omega_2^2}{2} \rho \\ &= (0.5 + 2 + 0.7 + 2) \times \frac{1.5^2}{2} \times 1.3 \times \frac{273 + 200}{273} + (2 + 0.5) \times \frac{5^2}{2} \times 1.3 \times \frac{273 + 200}{273} \\ &= 83.56 \text{ Pa} \end{aligned}$$

11.2.4 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):

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

水平支烟道当量直径和长度:

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

水平主烟道当量直径和长度:

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

摩擦阻力系数: 金属管取 $\zeta_1 = 0.03$, 砌筑管道取 $\zeta_2 = 0.05$, 则有

$$\begin{aligned} h_4 &= \xi_1 \left(\frac{l_1}{d_1} + \frac{l_2}{d_2} \right) * \frac{w_1^2}{2} * \rho + \xi_2 \left(\frac{l_3}{d_3} + \frac{l_4}{d_4} + \frac{l_5}{d_5} \right) * \frac{w_2^2}{2} * \rho \\ &= 0.05 \times \left(\frac{0.28}{0.244} + \frac{1.2}{0.23} \right) \times \frac{1.5^2}{2} \times 1.3 \times \frac{273+200}{273} + 0.03 \times \left(\frac{1}{0.4} + \frac{0.5}{0.4} + \frac{15}{0.9} \right) \times \frac{5^2}{2} \times 1.3 \times \frac{273+200}{273} \\ &= 24 \text{ Pa} \end{aligned}$$

11.2.5 烟囱阻力 h

取烟囱高度为 10 米, 标准状态下取烟气在烟囱内的流动速度为 6m/s, 平均温度 160 °C, 烟囱排出烟气量为:

$$F = \frac{Vg}{3600\omega} = \frac{12078}{6 \times 3600} = 0.56 \text{ m}^2$$

因此, 烟囱直径为:

$$d = \sqrt{\frac{4F}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 0.56}{3.14}} = 0.84 \text{ m}, \text{ 取直径为 } 900 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} h &= -H(\rho_a + \rho_g) + \xi \frac{\omega^2}{2} \rho \frac{H}{d} + \frac{\omega^2}{2} \rho \\ &= -10 \times \left(1.29 \times \frac{273}{273+20} - 1.3 \times \frac{273}{273+160} \right) + (0.03+1) \times \frac{6^2}{2} \times 1.3 \times \frac{273}{273+160} \\ &= 11.37 \text{ Pa} \end{aligned}$$

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:

$$h_x = h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h = 24 - 4.43 + 83.56 + 24 + 11.37 = 138.5 \text{ Pa}$$

11.3 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：

$$H = 1.30 \times h_x \times \frac{\rho_a}{\rho_g} = 1.3 \times 138.5 \times \frac{1.29 \times \frac{273}{273+20}}{1.3 \times \frac{273}{273+200}} = 288.46 \text{ Pa}$$

风量为：

$$Q = 1.3 \times V_g \times (273+200)/273 = 1.3 \times 12078 \times 473/273 = 27204.26 \text{ m}^3/\text{h}$$

查《风机选用手册》选引风机 Y8-39No5.6，其参数见表 11-1。

11.4 其它系统管道尺寸的确定及风机选型

11.4.1 各管道尺寸的计算

11.4.1.1 助燃风管的计算

$$\text{助燃风量 } V^1 = V_a \times x = 12.367 \times 387.12 = 4787.5 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

$$\text{实际助燃风量 } V = 12.367 \times 387.12 \times (273 + 20) / 273 = 5138.25 \text{ m}^3/\text{h} = 1.43 \text{ m}^3/\text{s}$$

取助燃风在总管中的流速为 6m/s

$$\text{助燃风总管内径: } d_{\text{总}} = \sqrt{\frac{4 \times 1.43}{3.14 \times 6}} = 0.55 \text{ m} \quad \text{取 } 600 \text{ mm}$$

$$\text{助燃风分管内径: } d_{\text{分}} = \sqrt{\frac{4 \times 1.43}{3.14 \times 6 \times 2}} = 0.39 \text{ m} \quad \text{取 } 400 \text{ mm}$$

共有 126 个烧嘴，取流速为 $w=6\text{m/s}$

$$\text{所以 } d_{\text{支}} = \sqrt{\frac{4 \times 1.43}{3.14 \times 6 \times 126}} = 0.049 \text{ m} \quad \text{取 } 50 \text{ mm}$$

11.4.1.2 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 9345.98 Nm³/h

实际鼓风量为

$$V'_1 = 9345.98 \times \frac{273+20}{273} = 10030.67 \text{ m}^3/\text{h} = 2.79 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{总管 } D_{\text{总}} = \sqrt{\frac{4 \times 2.79}{3.14 \times 6}} = 0.77 \text{ m, 取 } 800 \text{ mm}$$

$$\text{分管 } d_{\text{分}} = \sqrt{\frac{4 \times 2.79}{3.14 \times 6 \times 2}} = 0.54 \text{ m, 取 } 600 \text{ mm}$$

$$\text{支管 } d_{\text{支}} = \sqrt{\frac{4 \times 2.79}{3.14 \times 6 \times 126}} = 0.069 \text{ m, 取 } 70 \text{ mm}$$

11.4.1.3 急冷段抽热风管的计算

冷却带总抽风量: $28037.94 \text{ N m}^3/\text{h}$, 抽出温度为 250°C

$$\text{实际抽风量 } V'_2 = 28037.94 \times \frac{273+250}{273} = 53713.71 \text{ m}^3/\text{h} = 14.92 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{总管 } d_{\text{总}} = \sqrt{\frac{4 \times 14.92}{3.14 \times 6}} = 1.78 \text{ m, 取 } 1800 \text{ mm}$$

$$\text{支管 (共有 8 个抽热风口) } d_{\text{分}} = \sqrt{\frac{4 \times 14.92}{3.14 \times 6 \times 8}} = 0.63 \text{ m, 取 } 630 \text{ mm}$$

11.4.1.4 搅拌气幕风管尺寸的计算

气幕风量为 Nm^3/h

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

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

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

11.4.1.5 封闭气幕管道尺寸的计算

封闭气幕总管直径 取 100 mm

11.4.1.6 窑尾鼓冷风管尺寸的计算

窑尾鼓冷风量为 $18699.55 \text{ Nm}^3/\text{h}$

$$\text{实际鼓风量 } V'_1 = 18699.55 \times \frac{273+20}{273} = 20069.48 \text{ m}^3/\text{h} = 5.57 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{总管 } D_{\text{总}} = \sqrt{\frac{4 \times 5.57}{3.14 \times 6}} = 1.09 \text{ m, 取 } 1100 \text{ mm}$$

$$\text{分管 } d_{\text{分}} = \sqrt{\frac{4 \times 5.57}{3.14 \times 6 \times 2}} = 0.77 \text{ m, 取 } 770 \text{ mm}$$

$$\text{支管 } d_{\text{分}} = \sqrt{\frac{4 \times 5.57}{3.14 \times 6 \times 24}} = 0.22 \text{ m, 取 } 220 \text{ mm}$$

11.4.2 各窑段的风机选型

11.4.2.1 急冷段急冷风机的选用 09

为保证正常工作，取安全系数为 1.3，

风机鼓风量 $Q = 1.3 \times 9345.98 = 12149.77 \text{ Nm}^3/\text{h}$

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。

11.4.2.2 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 $Q = 1.3 \times 18699.55 = 24309.42 \text{ Nm}^3/\text{h}$ 。

11.4.2.3 缓冷段抽热风量

缓冷不设风机。

11.4.2.4 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。

11.4.2.5 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： $Q = 24309.42/2 = 12154.71 \text{ Nm}^3/\text{h}$ 。

11.4.2.6 轴流风机

为了更好的保证制品出窑温度低于 80°C ，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， $5951 \text{ m}^3/\text{h}$ ；功率， 1.1 KW ；转速， 2900 r/min 。

列出风机选型表：

表 11-1 风机型号表

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

十二 烧嘴选型

12.1 每个烧嘴所需的燃烧能力

由于全窑共有 112 个烧嘴，且每小时燃料的消耗量为 387.12m^3 ，考虑每个烧嘴的燃烧能力和烧嘴燃烧的稳定性，取安全系数 1.5，所以每个烧嘴的燃烧能力为：

$$387.12 \times 1.5 / 112 = 4.609 \text{Nm}^3/\text{h}$$

则每个烧嘴的热负荷为：

$$4.609 \times 35960 = 165739.64 \text{ kJ/h}$$

12.2 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

12.3 选用烧嘴

由于本设计的窑内宽达到 3220mm，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。

十三 工程材料概算

13.1 窑体材料概算

13.1.1 硅酸铝纤维毡，规格： $\sigma=10\text{mm}$

取窑墙的平均高度为 1.632m，窑长 110m；

两侧窑墙需： $2 \times 1.632 \times 110 = 378.62 \text{ m}^2$ ，取 400m^2 。

13.1.2 高铝纤维毡，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 230mm，窑体的平均身高为 1.632m，所以砌有粘土砖的窑墙体积为

$$V = 2 \times 0.23 \times 1.632 \times 110 = 87.08\text{m}^3$$

共需粘土砖

$$87.08 / (0.114 \times 0.230 \times 0.065) = 51096 \text{ 块}$$

13.1.3 高铝纤维毡，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 $36+38=74\text{m}$ ，所以

$$V = 2 \times 0.114 \times 1.632 \times 74 = 27.54 \text{ m}^3$$

$$V = 2 \times 0.114 \times 1.632 \times 74 + \frac{60\pi}{360} [(0.850 + 0.23)^2 - 0.850^2] \times 74 = \text{m}^3$$

共需轻质高铝砖

$$22.16 / (0.114 \times 0.230 \times 0.065) = 13003 \text{ 块}$$

13.1.4 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 42m，故

$$V = 2 \times 0.23 \times 3.63 \times 42 = 70.13 \text{ m}^3$$

共需轻质莫来石绝热砖

$$70.13 / (0.23 \times 0.2 \times 0.199) = 7661 \text{ 块}$$

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

全窑所砌筑的长度为 42m，故

$$V = 2 \times 0.114 \times 1.632 \times 42 = 15.63 \text{ m}^3$$

共需聚轻高铝砖

$$15.63 / (0.114 \times 0.230 \times 0.065) = 9171 \text{ 块}$$

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

全窑所砌筑的长度为 82m，故

$$V = 2 \times 0.23 \times 0.13 \times 82 = 4.9 \text{ m}^3$$

共需重质高铝砖

$$4.9 / (0.114 \times 0.230 \times 0.065) = 2877 \text{ 块}$$

13.1.7 TJM26 莫来石 规格: 500×300×20

全窑所砌筑的长度为 74m, 故

$$V = 0.02 \times 3.63 \times 74 = 5.37 \text{ m}^3$$

TJM26 莫来石

$$5.37 / (0.5 \times 0.3 \times 0.02) = 1790 \text{ 块}$$

13.1.8 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 116m, 宽为 3.78m, 所填棉的高为 0.23m, 体积为: $V_1 = 3.78 \times 0.23 \times 82 = 71.3 \text{ m}^3$ 在窑墙所填硅酸铝纤维长度为 28m, 宽为 0.1m, 高为 1.8m, 体积为: $V_2 = 0.1 \times 1.8 \times 28 = 5.04 \text{ m}^3$

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 61 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 $61 + 20 = 82$ 辆, 得出硅酸铝纤维体积为: $V_3 = 2.7 \times 1.09 \times 0.2 \times 82 = 42.38 \text{ m}^3$

全窑所需硅酸铝纤维的总体积为: $V = V_1 + V_2 + V_3 = 71.3 + 5.04 + 42.38 = 118.72 \text{ m}^3$

13.1.9 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 $2.7 \times 1.09 \times 0.06 \times 72 = 12.71 \text{ m}^3$

13.1.10 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 1.632m, 所以 $V = 0.35 \times 0.02 \times 1.632 \times 73 = 0.5 \text{ m}^3$

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。

13.1.11 其他材料

热电偶 (含瓷管): 20 套。烧嘴 112 只。烧嘴砖 112 块。看火孔 (含瓷管和看火孔盖): 126 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。

13.2 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

后记

本科的四年于历史长河不过一瞬而已，但在我的人生旅途却是浓墨重彩，这期间，我获得知识、友谊、成长。行将毕业，但我然恋恋不舍，不舍慈祥和蔼的指导老师，不舍朝夕相伴的同学，不舍得无限美好的校园生活，四年里学习和生活中的点点滴滴都历历在目，犹如昨天，这段时间让我终生难忘，而我的求学之路，又实在包含太多人的关心和帮助，谨此表达深深的谢意。

毕业设计即将结束，从毕业实习至今短短的两个多月的时间，从实习实践中了解到生产实际中存在的问题以及设备的不足之处，回校后花了大量时间去阅览有关的资料，进行了综合性思考。在确定整个设计的安排步骤后，就按部就班的进行下来我们大学四年来所学成果的考验，通过这次毕业设计，我把以前学过的所有知识作了个全面的检阅，并强化了专业知识链和其他技能，使我更加深化了对知识的理解和掌握。以下是我这次毕业设计的心得：

首先，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。其次，窑墙及窑顶砌体大量使用耐火纤维，因而使窑炉升温快，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。然后，窑膛空间结构、断面构造设计等设置合理。最后，使用天然气作为燃料，应该用高速调温烧嘴，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。

参考文献

- [1] 周露亮.《课程设计指导书》.景德镇陶瓷学院, 2008. 9
- [2] 胡国林 陈功备 《窑炉砌筑与安装》. 武汉理工大学出版社. 2005. 5
- [3] 蒋鉴华 张振刚 《热工测量及过程自动控制》. 江西高校出版社. 2009. 2
- [4] 孙晋淘 《陶瓷工业热工设备》. 武汉理工大学出版社. 1989. 10
- [5] 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
- [6] 刘振群著.《陶瓷工业热工设备》. 武汉理工大学出版社, 1989

附录

中国硅酸盐工业窑炉现状和未来发展

改革开放以来,经过一代人的不懈努力,我国已经形成了初具规模、技术水平较高、配套基本齐全的陶瓷窑炉产业,主要窑型—辊道窑、窑车式隧道窑和梭式窑均已达到或接近 20 世纪 90 年代国际先进水平。现在,我国的陶瓷窑炉产业不仅已经可以为国内的陶瓷建筑卫生陶瓷、日用陶瓷、电工陶瓷、电子陶瓷等)行业提供成套的优质窑炉装备,而且还可为化工、冶金、环保等行业提供部分工业炉装备,并已具有出口这些窑炉装备的能力。近二十年来,我国陶瓷窑炉的技术进步和陶瓷窑炉产业的形成与发展是有目共睹,并为世人所称道的。

随着我国国民经济的迅速发展、人民生活水平的大幅度提高以及人们的一些陈旧观念的改变,厨房、卫生间在住宅中的地位发生了根本性的变化。作为住宅及其厨房、卫生间的主要装修材料及设备——日用陶瓷和建筑卫生陶瓷,尤其是高中档的产品的需求大增。另外,电工陶瓷等的需求也大幅增长。由此带动了传统陶瓷行业的迅猛发展,烧成陶瓷制品的关键设备——窑炉也因此而有了巨大的市场和长足的进步。现在,在这一行业中,窑型多种多样,已广泛采用洁净燃料,一些窑炉的主要技术经济指标也已达到或接近国际先进水平,从而可为陶瓷行业提供强大而坚实的技术支持,使该行业走上可持续发展的健康之路,并为用户提供足够数量的优质窑炉,逐步取代进口产品并可望出口部分产品。另外,窑炉作为“产品”也将走向国际市场,参加全球性竞争。

长期以来,我国传统陶瓷烧成用窑炉一直不够先进,多数只能生产中低档产品。经过近二十年来的引进、仿造、研究与开发,我国的窑炉的技术水平得到迅速的大幅度的提升。传统陶瓷烧成用窑炉的三种主要窑型—辊道窑、窑车式隧道窑和梭式窑均有了飞跃的进步。它们的主要的技术进步和特点可以归纳如下:

1、多采用明焰裸烧工艺。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。

2、采用低导热率、低蓄热的轻质耐火或隔热材料。窑墙及窑顶砌体大量使用耐火纤维,窑车衬砌采用轻质、低蓄热材料及合理的结构,因而使窑炉升、降温快,保温好,窑体外表面及车三温度低,散热及蓄热均少,从而大大降低了能耗。

3、窑膛空间结构、断面构造设计及气幕等设置合理。

4、采用天然气、液化石油气或轻柴油等洁净燃料，选用高速调温烧(喷)嘴，并采用合理布置、分组控制的力一式设置燃烧系统。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、窑炉的温度、压力、气氛及流量等参数的自动控制一般已用计算机控制，并多采用先进的控制算法，例如多变量模糊控制(FC, Fuzzy Control)结合PID的控制算法，通过计算机、模糊控制器、可编程序控制器(PLC)和智能仪表，实现高精度的自动调节、控制和管理。

控制系统的关键部位尚多选用进口设备，以充分保障窑炉运转和使用的可靠性，且使维护修理费用大幅度三降，从而降低窑炉运行成本。

6、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。

窑炉进出风管多采用不锈钢材质。既可防止污染制品，又增加了管道的使用寿命。

7、自动进出窑系统、窑车运转系统、步进回车系统等均采用PLC实现全自动程序控制，从而大大降低了操作人员的劳动强度。现代化的安全和报警系统设施、科学化的连锁程序编排，还大大提高了窑炉操作的安全性和可靠性。

8、采用先进的计算机控制和管理软件使操作变得简单直观和人性化，且更利于数据的积累与分析，进而实现对窑炉的科学化管理。

9、窑炉装配化程度高。可全部在工场制造，再在现场组装，因而施工周期短，且适合于模数化生产。

China silicate industry kiln development and future prospects

With the reform and opening-up of China , began to introduce a batch of advanced kiln equipment from foreign countries since the eighties of last century, introduced corresponding thermal technology at the same time ,The kiln thermal technology of the foreign ceramic industry had been to the beginning of the seventies since the end of the fifties of the 20th century, with the change of the fuel structure , namely turn from firing coal , heavy oil ,etc. to natural gas , liquefied petroleum gas and light oil ,etc., having realized three of the

thermal technology technology of the kiln is broken through greatly: (1)The invention and use of the mouth in adjust the temperature and at a high speed; (2)Mass use of new-type , advanced refractory material and thermal insulator; (3)Adoption of the accurate and perfect automatic control system. On the basis of these three major technological break-through , produce and develop regard pushing a kiln of board kiln , roller as continuous kiln of type homework representative, regard the shuttles loom type kiln (drawer kiln) , high cap kiln (clock covers the kiln) as the kilns all of new generation of kiln representatives of intermittence type homework.

With the reform and opening-up of China , began to introduce a batch of advanced kiln equipment from foreign countries since the eighties of last century, introduced corresponding thermal technology at the same time . With the introduction , deepening of the reform and open enlargement of the equipment and technology, the fundamental transition has taken place too in people's idea. Because of the transition of the economic system, the demand to ceramic industry and kiln, " high yield " followed in the past too, high-quality " is it pursue " high-quality , low consumption , high yield , , flexible , green " more adaptive to mark new a day in economic system to change direction gradually by low cong.

Ceramic kiln thermal technology theory workers of our country have made one's own contribution for the progress of the thermal technology technology of kiln of our country too. Threw oneself into and introduced the digestion of the equipment and technology, sucking industry actively since the beginning of the eighties of last century, and later on modeling , innovations. They have learn and mastered the technology of the computer soon, then on the basis of original work, experimental study and numerical simulation of the mathematics model of launching mathematics anal and researching , physical model at the same time are studied, have made large quantities of valuable achievements with higher level in the many aspects

Since the reform and opening-up, through untiring efforts of a generation, own to is it begin to take shape to form our country have, engineering level high forming a complete set complete ceramic kiln industry basically, a roller and one dish of kilns, the kiln car type tunnel kiln and shuttles loom type kiln reaches or close to the international most advanced level of 1990s only in the main kiln type. Now, it can be the domestic ceramic building hygiene pottery that the industry of ceramic kiln of our country not merely passes only, daily pottery , electromechanical ceramics , electronic pottery ,etc.) the trade offers the high-quality kiln forming a complete set to equip, and can also offer some industry stoves for such trades as chemical industry , metallurgy , environmental protection ,etc. to equip , and export the ability equipped in these kilns only. In the past 20 years, the ceramic kiln technological progress and forming and development of the industry of ceramic kiln of our country have had day to see altogether, and the one that praise for common people.

Motive force that the industry of ceramic kiln forms and develops is state basic policies of reform and opening-up, building hygiene ceramic great development of trade, foreign advanced person equip and introduction of technology. Through the efforts of entrepreneurs , engineers and technicians and the whole trade staff, just form the situation of today. It is hard-won. is very sned.

5 the automatic control in such parameters as the temperature of the kiln , pressure , atmosphere and flow ,etc. is generally controlled it the computer, and adopt more advanced control algorithms, for example many variables are controlled fuzzily (FC, Fuzzy Control), combine P control algorithm , worker of D, through computer, fuzzy controller, can programme the controller (PLC) and intelligence instrument, realize high-accuracy automatic regulation , control and management. Key position of control system select for use enter day equipment more still, in order to ensure kiln turn round and dependability that

use fully, make it repair expenses 3 lower by a large margin , thus reduce the operating cost of the kiln not to maintain.

6 dispose the reasonable ventilation work system. Meet job requirements of kiln , make sure ventilator and pipe network good to match in an all-round way, thus reduced the consumption of the electric energy. The kiln passes in and out the tuber pipe and adopts more stainless steel materials. Have not only can prevent the pollution products increased the service life of the pipeline but also.

7 pass in and out kiln system , kiln car turn round system , walk into carriage return system ,etc. adopt PLC realize full-automatic procedure control automatically, thus reduced the as lab intensity greatly . Modernized security , facility of warning system , scientific chain procedure grade, have also improved the security and dependability operated in kiln greatly .

8 adopt advanced computer control with management software making it become simply and ocularly and humanizing not to operate, and benefit the accumulation and analysis of the data even more , and then realize that manages to the scientific process of the kiln.

9 the kiln assembles the degree of melting high. Can all make in the workshop , assemble at the scene again, therefore the cycle of constructing is short, and is suited to the modulus producing.

, should stress practical results too, on the principle that practical , simple. Should also strengthen the cooperation with the university , research designing unit and unite , take the road to 3-in-1 combination involving production, teaching, research.

In addition, it is the building brick stone " structures " in the past that the modern ceramic kiln is far from own, and for a long time own to turn electromechanics into integrate , have high-tech comprehensive technological result of content " cook into a machine " one by one. Install and use a large number of new materials and electronic products on the kiln, rely on oneself ,

Company of kiln , it is impossible for strength to research and develop and produce material and product all these only. Kiln Company through cooperate with numerous relevant industries, could is it build task , kiln of project to finish only. The industry closely related to industry of ceramic kiln has fuel chemical industries, burn equipment , refractory material , ventilator , automatic instrument device fabrication industry ,etc.. Should strengthen and cooperate with these relevant industries further in the future, in order to obtain the win-win result.