

景德镇陶瓷学院科技艺术学院

本科生毕业论文（设计）

题目：日产 23000m² 内墙砖天然气辊道窑设计

学 号：	201030453142
姓 名：	李娅婷
专业班级：	热能与动力工程
指导老师：	汪和平教授
完成日期：	2014-5-30

摘 要

本设计说明书对所设计的日产 23000 平方米内墙砖辊道窑加以说明。

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。燃料用天然气，采用高速调温烧嘴对制品进行裸烧来强化窑炉内部传热，同时对高速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，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。

本设计特点：在提高产品质量的同时降低单位产品热耗，实现陶瓷行业上的“绿色、环保、节能”。

关键词：辊道窑 节能 环保 绿色

Abstract

This design of roller kiln full-length 2 m, using assembled structure, each section 2.008m long, the body in special die steel quality structure welding, ensure structural rigidity and size error. Exhaust structure using kiln head concentrated exhaust, a large number of flue gas gets by calcining zone flow by tropical, flue gas temperature calcining zone to advance gradually reduced, and tropical to burn brick-drying do with flue gas is to reverse the purpose of gradually warming, kiln head concentrated smoke the effective utilization of the smoke waste heat, and has reduced energy consumption, and is equipped with pre tropical gush wind system be tempering. Burner by using high-speed tempering burner, and in the tropical first 2:12 and start the installation. For occurrence boiler combustion raw material, and USES the 30% of the gas oxygen-enriched air as help gas. Urgent cold period of use 100mm quench diameter of products ° C cooling to 700 to the left. Slow cooling section use smoke way slow cold air, diameter for 200mm. The fast cooling section first quarter for the use of diameter 150mm fast cooling tube for cooling, three quarter after use of axial flow fans make products to 80 ° C final cooling to the left. The transmission system USES a helical gear transmission, every 2 ~ 3 kiln section is a transmission group. Without special foundation, convenient transportation and installation. According to different temperature requirements, choose temperature level different high quality refractory insulation materials, ensure working temperature requirements.

Key words: Roller kiln, temperature, energy saving

目 录

1 前 言.....	1
2 设计任务书及原始资料.....	2
2.1 设计任务.....	2
2.2 原始资料.....	3
2.3 燃料.....	3
2.4 年工作日.....	3
3 烧成制度及窑体主要尺寸的确定.....	4
3.1 烧成制度的确定 ^[1]	4
3.1.1 确定烧成制度的根据 ^[1]	4
3.1.2 制定烧成制度 ^[1]	5
3.1.3 烧成曲线确定.....	7
3.1.4 气氛制度.....	7
3.1.5 压力制度.....	7
3.2 窑内宽的确定 ^[2]	7
3.3 窑长的确定 ^[2]	7
3.4 窑体各带长度的确定.....	8
3.5 内高的确定.....	8
4 工作系统.....	10
4.1 排烟系统 ^[2]	10
4.2 燃烧系统.....	10
4.2.1 烧嘴的设置.....	10
4.2.2 助燃系统.....	10
4.2.3 天然气输送装置.....	11
4.3 冷却系统.....	11
4.3.1 急冷通风系统.....	11
4.3.2 缓冷通风系统.....	12
4.3.3 快冷通风系统.....	12
4.4 温度控制系统.....	12
4.4.1 热电偶的设置.....	12
4.4.2 温度仪表选型.....	13
4.5 传动系统.....	13
4.5.1 辊棒的选择.....	13
4.5.2 传动装置.....	14

4.5.3 辊距的确定.....	14
4.5.4 辊棒的联接形式.....	15
4.5.5 传动过程.....	15
4.6 窑体附属结构.....	15
4.6.1 事故处理孔.....	15
4.6.2 观察孔与测温口.....	16
4.6.3 膨胀缝.....	16
4.4.4 下挡墙和上档板.....	16
4.6.5 钢架结构.....	17
4.6.7 测压孔.....	17
5 窑体材料确定.....	18
5.1 窑体材料的确定原则.....	18
5.2 整个窑炉的材料表.....	20
6 燃料及燃烧计算.....	21
6.1 燃料所需空气量.....	21
6.1.1 理论空气量 V_{a^0}	21
6.1.2 实际空气量 V_a	21
6.2 燃料产生烟气量.....	21
6.2.1 理论烟气量.....	21
6.2.2 实际烟气量.....	21
6.3 燃烧温度.....	21
6.3.1 理论燃烧温度 $t_{m^{[4]}}$	21
6.3.2 实际燃烧温度 t_p	21
7 物料平衡计算.....	22
8 热平衡计算.....	23
8.1 预热带、烧成带热平衡示意图.....	23
8.2 热收入项目.....	23
8.2.1 坯体带入显热 Q_1	23
8.2.2 燃料带入化学热及显热 Q_f	24
8.2.3 助燃空气带入显热 Q_a	24
8.2.4 预热带漏入空气带入显热 Q_b	24
8.3 热支出项目.....	24
8.3.1 热制品带出显热 Q_2	24
8.3.2 窑体散失热 Q_3	25
8.3.3 物化反应耗热 Q_4	26
8.3.4 烟气带走显热 Q_g	27
8.3.5 其他热损失 Q_5	27

8.4 列热平衡方程并求解.....	27
8.5 冷却带热平衡示意图.....	28
8.6 热收入.....	29
8.6.1 制品带入的显热 Q_2	29
8.6.2 冷却风带入显热 Q_6	29
8.7 热支出.....	29
8.7.1 制品带出显热 Q_7	29
8.7.2 热风抽出时带走的显热 Q_8	29
8.7.3 窑体散失热量 Q_9	29
8.7.4 由窑体不严密处漏出空气带走显热 Q_{10}	31
8.8 列热平衡方程.....	31
8.9 列热平衡表.....	32
9 管道尺寸以及阻力计算和风机选型.....	33
9.1 抽烟风机的管道尺寸、阻力计算.....	33
9.1.1 管道尺寸.....	33
9.1.1.1 总烟管尺寸.....	33
9.1.1.2 分烟管尺寸.....	33
9.1.1.3 支烟管尺寸.....	33
9.1.2 阻力计算.....	34
9.1.2.1 料垛阻力 h_i	34
9.1.2.2 位压阻力 h_g	34
9.1.2.3 摩擦阻力 h_f	35
9.1.2.4 风机应克服总阻力 $h_{总}$	35
9.1.3 风机的选型.....	35
9.2 其他系统管路尺寸确定、风机的选型.....	35
9.2.1 通往烧嘴的天然气支管内径计算.....	35
9.2.1.1 窑顶 窑底 窑侧的分管尺寸.....	35
9.2.1.2 天然气总管内径的计算.....	35
9.2.2 助燃风管计算.....	36
9.2.2.1 助燃风总管内径的确定.....	36
9.2.2.2 助燃风分管内径的确定.....	36
9.2.2.3 窑顶窑底内的方管内径的确定.....	36
9.2.2.4 助燃风管通往烧嘴的管路管径.....	36
9.3 冷却带风管计算.....	37
9.3.1 缓冷总管（抽风管）.....	37
9.3.2 急冷风管内径的确定.....	38

9.3.3 快冷管径确定.....	38
9.3.3.1 快冷总管内径确定.....	38
9.3.3.2 快冷分管内径确定.....	39
9.3.3.3 快冷支管内径确定.....	39
9.4 风机选型.....	39
9.4.1 助燃风机选型.....	39
9.4.2 急冷风机选型.....	39
9.4.3 抽热风机选型.....	39
9.4.4 快冷风机选型.....	39
10 烧嘴的设计及选用.....	41
10.1 烧嘴的选用原则.....	41
每个烧嘴所需的燃烧能力.....	41
11 工程材料概算.....	42
11.1 窑体材料概算.....	42
11.1.1 轻质高铝砖的概算.....	42
11.1.2 JM23 莫来石高铝砖.....	42
11.1.3 硅藻土砖.....	42
11.1.4 硅酸铝耐火纤维束的概算.....	42
11.2 钢材的概算.....	43
11.1.6 方钢的概算.....	43
11.1.7 钢板的概算.....	43
11.1.8 角钢的概算.....	43
11.1.9 全窑所用钢材量.....	43
12 致谢.....	44
14 参 考 文 献.....	55

1 前 言

辊道窑是近几十年发展起来的新型快烧连续式工业窑炉，并在现在得到了空前的发展与应用。辊道窑属于中空窑，窑内阻力小，压降也就少，因而窑内正负压都不大；加上辊道窑无曲封、车封、沙封等空隙，也就使得窑体密封性能好，减少了漏风，从而大大提高了热利用率；另外由于它建造快，占地少烧成周期短，窑温均匀，产品质量好，燃耗低；加之辊道窑的机械化、自动化程度日益提高，不仅降低了工人的劳动强度，还保证了产品质量的稳定，并能够连续生产，大大提高了生产效率，因而目前已广泛用于日用陶瓷的彩烧、素烧、釉烧及一次烧成；各类建筑卫生陶瓷（如建筑砖、瓦、墙地砖、卫生洁具等）的烧成；磨具的烧成等建筑陶瓷工业中。

2014/5/25.5

2 设计任务书及原始资料

2.1 设计任务

专业	10 热工	班级	1 班
学生姓名	李娅婷	指导教师	汪和平
题目	日产 23000m ² 内墙砖天然气辊道窑设计		
主要研究内容和设计参数			
<div>1. 日产量：23000 平米</div> <div>2. 产品规格：300×150×6mm，单重 0.7 公斤/块；</div> <div>3. 烧成周期：28min</div> <div>4. 最高烧成温度;1180℃</div> <div>5. 烧成气氛：全氧化气氛</div> <div>6. 燃料：天然气</div> <div>7. 其他条件自定</div>			
基本要求（含成果要求）：			
<div>1、通过设计计算确定窑体材料及厚度、主要结构尺寸、管路系统等。</div> <div>2、确定工作系统安排，编写设计说明书，并打印输出。</div> <div>3、绘出设计图纸一套，编写设计说明书，并打印输出。</div> <div>4、设计说明书中应有英文摘要，图纸中至少应有一张 CAD 绘图、钢架结构图、异型砖图及其他必须的附件图。</div> <div>5、相关文献综述翻译。</div>			
工作进度计划			
<div>第十七到十八周：查阅、收集资料与设计有关的文献；</div> <div>第十九到第四周：进行设计计算，编写说明书初稿；</div> <div>第五周到七周：绘制窑体结构图，砌筑图、钢架结构图；</div> <div>第八到十一周：绘制管路系统图，异型砖图及附件图；</div> <div>第十二到第十四周：图纸上墨或打印，说明书整理；</div> <div>第十五周准备答辩。</div>			

2.2 原始资料

1. 坯料组成：(%)

表 2.1 (坯料组成)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O+Na ₂ O	I.L
67.52	16.34	2.26	2.74	0.81	4.51	5.82

1. 产品规格：300×150×6mm

2. 入窑水分：<1%

3. 产品合格率：98%

4. 烧成周期：28 分钟（全氧化气氛）

5. 最高烧成温度：1180C

2.3 燃料

天然气：Q_{net}=38MJ/M³(主要成分丙烷，丁烷，气液共存压力 0.88~1.47MPa，出自《热工手册》)

2.4 年工作日

330 天

3 烧成制度及窑体主要尺寸的确定

3.1 烧成制度的确定^[1]

窑炉的烧成制度取决于坯釉料的组成和性质、坯体的造型、大小和厚度以及窑炉结构、装窑的方法、燃料种类等等因素。而烧成制度主要包括温度曲线、压力曲线和气氛控制。根据不同产品的要求，确定温度曲线、气氛性质，压力曲线是实现温度和气氛性质的主要控制条件，三者相互关联，相辅相成。

只要窑内温度均匀，各阶段都可以加快。但氧化、还原和烧结却要按照反应所需要时间来控制。在制定合理的烧成制度时，还要考虑窑的结构究竟升温 and 降温速度多少才能使窑内温度均匀，以保证整个横截面上的制品烧熟，要综合上述原则进行制定。

3.1.1 确定烧成制度的根据^[1]

①坯体在加热过程中性状变化的考察

主要参考三元系统平衡相图，如长石质瓷坯料的组成以长石-石英-粘土三组分为主，可参考 $K_2O-AL_2O_3-SiO_2$ 三元系统平衡相图。而滑石质瓷坯料组成以滑石-粘土-长石三组分为主，则参考 $MgO-AL_2O_3-SiO_2$ 三元系统平衡相图。

②坯体的形状、厚度与含水量对烧成制度的影响

薄壁小件制品的入窑水分易于控制，一般采取短周期快速烧成。厚壁大件制品的升温速度不宜过快。但对于辊道窑来说，由于截面宽而小，温差很小，所以可以快速升温来缩短烧成周期。

③升温速度

升温速率除了取决于坯料性能外，还受窑炉温度均匀程度、燃料性质以及装窑密度等因素的影响。

④烧成法

坯体烧成法直接影响到烧成制度的制定。内墙砖一般都采用一次烧成以不进行干燥就进入窑炉烧成。

3.1.2 制定烧成制度^[1]

温度曲线的四大特性指标是烧成各阶段的升温速度、最高烧成温度、保温时间以及冷却速度。

①加热蒸发期（室温～250℃）

在预热带室温～250℃阶段排除残余水分.在此阶段如果制品入窑水分过高，则不宜升温过快，以免引起制品不均匀收缩，产生变形和开裂.若制品入窑水分控制在临界水分（约 1%）以下，则可快速升温而不使制品开裂.但也不宜太快，以免引起烧成缺陷。

②氧化分解及晶型转化期（250～900℃）

在该期内坯体无收缩现象发生，气孔率不断增加，强度略有增加，因此汽水与氧化产物可以自由地散逸。升温速度主要取决于原料的纯度和坯体的厚度，并受气流速度和气氛的影响。一般，本阶段可以采取快速升温。

排除结构水阶段（250～500℃）

结构水指粘土矿物中的结晶水和层间水。其中高岭土 $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 中结晶水的分解属于一级化学反应，温度每升高 100℃，其分解速度就可以加快一倍，分解速度很快，制品不至开裂，所以这一阶段属于安全升温阶段。

石英晶型转化阶段（500～600℃）

石英晶型转化，由 β - SiO_2 体积膨胀 0.82%，如果控制不当，这是一个危险阶段.但这个反应本来是很快的，只要几分钟就可以完成.目前生产中出现石英晶型转化而使制品开裂的现象，原因是窑内温度不均匀而引起.掌握这一阶段的关键是窑内温度均匀，使整个制品能均匀膨胀，即使快也是安全的。

③氧化阶段（600～900℃）

从窑炉结构来说，自 900℃左右的氧化炉起就已进入烧成带。在这一阶段要把制品中的硫化亚铁氧化成氧化铁，并放出二氧化硫；

④内墙砖成型期（900～1180℃）

为.保证坯体受热均匀，使之高温反应趋于均一是本阶段的关键。因此，升温速率取决于窑炉结构、装窑密度、坯体的收缩变化及烧结范围。

⑤保温阶段（1180℃）

因为是快速烧成，烟气的温度与制品温度的温差较大，所以保温时间不易太长。实际上，由于上一过程中的升温速度比较缓慢，所以无须高火保温，因反应在高火

中进行得比较完善，可省去。

⑥急冷阶段（1180~700℃）

冷却速度主要取决于坯体的厚度以及坯内液相的凝固速度.冷却初期瓷胎中的玻璃相还处于塑性状态，急冷所引起的热应力大部分被液相的塑性和流动性所补偿，不会产生破坏作用.但也要均匀急冷，否则还是会开裂的。

⑦缓冷阶段（700~400℃）

液相中的 Al_2O_3 和 SiO_2 含量越高，转化温度也越高，一般在 800~830℃。低于转化温度，液相开始凝固，残余石英发生晶型转化，必须放慢冷却速度，力求制品截面温度的均匀分布，尽可能消除或减少热应力。

⑧快冷阶段（400~80℃）

此阶段热应力变小，可加快冷却速度。

从上述各阶段的分析可以看出，只要窑内温度均匀，各阶段都可以加快.但烧结还要按照反应所需时间来控制.在制定合理的烧成制度时，还要考虑窑的结构，究竟升温 and 降温速度多少才能使窑内温度均匀，以保证整个截面上的制品烧熟，要综合上述原则进行制定。

表3.1 各段温度的划分与升温速率

名 称	温度/℃	时间/min	升温速率/ ℃·min ⁻¹	长度比例/%	节数
预热带	20-250	2.5	36	9.6	(1-10) 10节
	250-500	2	75	7.7	(11-19) 9节
	500-600	1.5	33.3	5.8	(20-26) 7节
	600-900	4.5	45	16.4	(27-46) 20节
烧成带	900-1180	3	21.7	11.5	(47-57) 9节
保温带	1180-1180	2	0	7.7	(58-63) 8节
冷却带	1180-700	2.5	-96	9.6	(64-75) 12节
	700-400	6	-30	20.2	(76-95) 20节
	400-80	3	-64	11.5	(96-106) 12节
累 计		28			106

3.1.3 烧成曲线确定

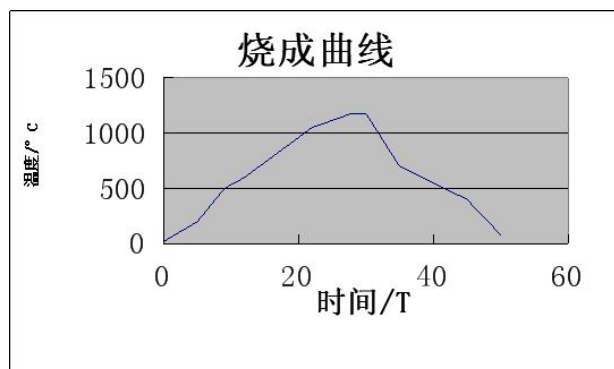


图3.1 烧成曲线

3.1.4 气氛制度

保持全窑氧化气氛。

3.1.5 压力制度

预热带-40~-25Pa，烧成带<8 Pa.

3.2 窑内宽的确定^[2]

天然气烧明焰辊道窑内宽一般在2000--2500mm，产品宽度为150mm，考虑到收缩率为10%。

则：坯体尺寸=产品尺寸/(1-10%)=150/(1-10%)=167 mm。

坯体离窑墙一般应有100~200mm间隙，取150mm，暂定窑内宽3000mm，则可排砖数为(3000-150×2)/167=16，确定并排16块砖。

则：窑炉内宽为B=167×16+150×2=2972mm。

为制窑方便窑炉内宽的，所以取 B 为 2900mm。

3.3 窑长的确定^[2]

$$\begin{aligned} \text{窑容量} &= [\text{日产量}(\text{m}^2/\text{a}) \times \text{烧成周期}(\text{h})] / [24 \times \text{合格率}(\%)] \\ &= [23000 \times (28/60)] / (24 \times 98\%) = 456.3 (\text{m}^2/\text{每窑}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{装窑密度} &= \text{每米排数} \times \text{每排片数} \times \text{每片砖面积} (\text{m}^2/\text{每米窑长}) \\ &= (1000/333) \times 16 \times 0.045 = 2.16 (\text{m}^2/\text{每米窑长}) \end{aligned}$$

$$\text{窑长} = \text{窑容量}(\text{m}^2/\text{每窑}) / \text{装窑密度}(\text{m}^2/\text{每米窑长}) = 456.35 / 2.16 = 211.27 \text{ m}$$

利用装配式，由若干节联接而成，设计每节长度为2000mm，总长度为211270mm，

节 数=211270/2000=105.6节，取整数106节。

则：窑体设计长度 $L=2.000 \times 106=212\text{m}$ 。

窑前工作台长度取 2.4m，窑尾工作台取 3.6m。（根据经验取得，窑尾工作台长度一点是因为产品出窑温度为 80℃，要工作人员方便捡取产品，故使制品出窑后的冷却时间能够稍微长一点。）

那么窑炉的实际长度为： $L=212+2.4+3.6=218\text{m}$ ，

3.4 窑体各带长度的确定

预热带： $218 \times 39.5\%=86.11\text{m}$ ，取46节（第1-46节），

长度= $46 \times 2=92\text{m}$

烧成带： $218 \times 19.2\%=41.86\text{m}$ ，取节17（第47-63节），

长度= $17 \times 2=32\text{m}$

冷却带： $218 \times 41.3\%=90.03\text{m}$ ，取43节（第64-106节）

长度= $43 \times 2=86\text{m}$

3.5 内高的确定

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

温度较低处：预热升温段 20~900℃

冷却降温段 700~80℃

温度较高处：烧成升温段 900~1180℃

急冷降温段 1180~700℃

表 3-1 内高各带划分

位置	预热升温段、冷却降温段	烧成升温段	急冷降温段
辊上高	300	370	300
辊下高	400	470	400
内总高	700	840	700
(单位 mm)			

4 工作系统

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

4.1 排烟系统^[2]

排烟风机及其管路主要作用是将预热带、烧成带中产品排放的废气及燃烧产生的废气排出窑外。为提高热效率，此次设计采用窑头相对集中排烟方式排烟，在窑前段第 1、3、5、7、9、11、13、15、17、19 节设置抽烟口。每节在窑顶、窑底分别设置 3 个排烟口进行排烟，在各出烟口分别用圆管引出，汇总到上下排烟分管，最后汇总到窑顶的排烟总管中。设置一排烟分机，同时留一个风机备用。在总烟道上设置总风闸，防止烟气温度过高损坏风机，另在烟道上还设计了一过滤网。

4.2 燃烧系统

为了利于烧成带温度的调节，同时由于所用燃料为高热值轻污染的天然气，因此本设计采用北京神雾热能技术有限公司设计生产的 WDH-TACT2 型天然气高速燃烧器。

4.2.1 烧嘴的设置

本设计在 600℃ 就开始设置高速调温烧嘴，即预热带第 33 节开始布置。由于本窑所用燃料为高热值气体燃料，考虑在低温段烧嘴不宜太多。因此在预热带后段（27—46 节）辊下设置 2 对烧嘴，在（47—57 节）每节的辊上、辊下共设置 4 对烧嘴，辊上下烧嘴及对侧烧嘴对称排列。并在每个烧嘴对侧窑墙分别设置一个火焰观察孔。如遇事故处理口则取消该处观察口。

4.2.2 助燃系统

助燃系统包括助燃风机和助燃管道。助燃管道要求用不锈钢制作，防止落脏，并且底部助燃分管分布在窑墙内以提高助燃风温度，其中助燃分管的长度根据烧嘴

布置位置来定。所以底下的助燃分管从第 27 节到第 46 节，上部的助燃分管从第 47 节到第 57 节。

4.2.3 天然气输送装置

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

燃烧系统分为若干个主调节单元，每个单元又分别为辊上通道温度调节单元和辊下调节单元。个单元所用的燃气分别从窑上天然气总管道引出，经单元手动球阀和由电动执行器带动的蝶阀送至本调节单元的各烧嘴。在每一个控制单元设置一电磁阀，有断电保护功能，防止断电后天然气泄入窑内。

4.3 冷却系统

制品在冷却带有晶体成长、转化的过程，并且冷却出窑，是整个烧成过程最后的一个环节。从热交换的角度看，冷却带实质上是一个余热回收设备，它利用制品在冷却过程中所放出的热量来加热空气，余热风可供干燥或者作助燃风用，达到节能的目的。

4.3.1 急冷通风系统

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

段温度高，横穿入窑的冷风管须用耐热钢制成。

本设计就是采用这种结构，急冷段采用 5.5 节窑长进行急冷（64—75 节），每节辊上下分别设置 6 对 $\Phi 90$ 急冷风管（急冷前半节不设置急冷风管），共 150 根急冷风管，交错排列横穿窑内，管置于窑内部分开圆孔若干。

4.3.2 缓冷通风系统

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

本设计采用抽热风的方法，在 76~95 节，每节窑顶设置 2 处抽热风口，每处抽热风口开 2 个抽热风孔，共 40 个抽热风口 80 个抽热风孔，抽走来自急冷带和窑尾快冷带的热风，在缓冷总管处设置闸板，控制缓冷风量。另一方面，由缓冷风机从窑外抽空气通过缓冷风管，来缓和降温速率。

4.3.3 快冷通风系统

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

本设计采用冷风管进行快冷，在 96~106 节每节辊上下设置 6 对 $\Phi 90$ 的快冷风管。

4.4 温度控制系统

4.4.1 热电偶的设置

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

本设计在：

20~250℃之间，即第 1~10 节，每节窑顶中部插入一根 K 型热电偶。

250~900℃之间，即第 11~19 节，每节窑顶中部插入一根 K 型热电偶。

900~1180℃之间，即第 58~63 节，每节窑顶中部插入一根 S 型热电偶。

急冷段第 64~75 节，每节窑顶中部插入一根 S 型热电偶。

缓冷段第 76~95 节，每节窑顶中部插入一根 K 型热电偶。

快冷段第 96~106 节，每节窑顶中部插入一根 K 型热电偶。

4.4.2 温度仪表选型

低温区：K 型热电偶

高温区：S 型热电偶

热电偶通过补偿导线与微机相连。

4.5 传动系统

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

4.5.1 辊棒的选择

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

本设计对于辊棒的选择如下：在低温段第 1—10 节与第 76—95 节采用 $\Phi 80 \times 4500\text{mm}$ 无缝钢管棍子；在中温段第 11—26 节与第 27—46 节采用 $\Phi 80 \times 4500\text{mm}$ 莫来石辊棒；而高温段第 47—63 与节采用 $\Phi 80 \times 4500\text{mm}$ 莫来石—刚玉质陶瓷辊棒。

4.5.2 传动装置

目前窑炉的传动方式有链传动、摩擦传动、螺旋齿轮传动、圆锥齿轮传动和直齿轮传动。链传动结构简单，造价低，早期的辊道窑大多采用链传动，但链传动不够平稳，链条较长时易发生爬行现象。摩擦传动比较平稳，但可靠性稍差。齿轮传动具有明显的可靠性和平稳性，不过，由于齿与齿之间为点接触，容易磨损，对安装和润滑要求较高。用的较多的是螺旋齿轮传动。

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

本设计采用螺旋齿轮传动与多电机传动，并且使用差速传动（对裸烧产品还对调整变形有好处）。差速传动就是相邻辊棒速度有微小差异，通过配置不同尺数的齿轮比来实现，一般使用 15：22 和 17：25。除了第 1—10 节采用一个电机，其余都是两节使用一个电机。其中电机为 0.75KW，速比为 1：59。

4.5.3 辊距的确定

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

考虑到制品长度较大，因此根据经验公式计算得：

$$H = \frac{1}{5} \times L = \frac{1}{5} \times 450 = 90 \text{ mm}$$

同时考虑到每节窑长 2000mm，每节窑为 $2000/90=22.2$ 最后确定每节装 22 根棒。

辊子总数为 $N = 22 \times 138 = 3036$ 根

4.5.4 辊棒的联接形式

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

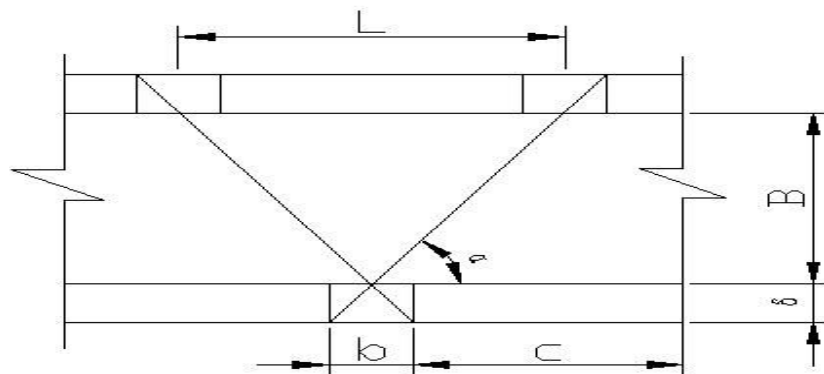
4.5.5 传动过程

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

4.6 窑体附属结构

4.6.1 事故处理孔

本设计将事故处理设在辊下，且事故处理孔下面与窑底面平齐，以便于清除出落在窑底上的砖坯碎片。为加强窑体密封，应尽量少设置事故处理口，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。经过计算，取事故处理孔尺寸为：辊下处理孔 230×115 mm。根据同侧事故处理孔距离 $L \geq 2(b+c) = 2b(1+B)/\delta = 2 \times 230(1+3000)/360 = 3835$ mm，其中各个符号如下图，经过计算，取 $L=4016$ mm。同时考虑到实际情况，全窑每节之间交错设置一辊下事故处理口，从进窑的第 1 节开始布置。



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

4.6.2 观察孔与测温口

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

测温口根据上面热电偶的设置而设置。

4.6.3 膨胀缝

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

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

4.4.4 下挡墙和上档板

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

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

故本设计在烧成带两端即 59 节和 85 节设上下挡板挡墙结构，有利于该段温度

的控制和调节，同时起到阻挡急冷空气进入的作用。同时在排烟第 1 节，预热带第 14、33 节同样也设置上下挡板挡墙的结构，起到阻挡气流，减小上下温差的作用。

4.6.5 钢架结构

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

4.6.7 测压孔

本设计不设置测压口。

5 窑体材料确定

整个窑体由金属支架支撑。窑体材料要用耐火材料和隔热材料。

5.1 窑体材料的确定原则

辊道窑窑墙与所有工业窑炉的窑墙一样，必须具备耐高温、具有一定强度和保温性能好三个基本条件，选用的材料要保证材料长期允许使用工作温度大于实际使用的最高温度。特别是，由于辊子要穿过窑墙，为了提高辊子长度的有效利用率，对窑墙厚度有更严格的控制。换言之，为了增加辊道窑窑内有效宽度，就应尽量减薄窑墙，同时考虑到材料的价格问题在达到要求之内尽量选用价廉的材料以减少投资。

窑体材料厚度的确定原则：

- ①为了砌筑方便和外形整齐，窑墙厚度变化不要太多；
- ②各层材料的厚度应为砖长或砖宽的整倍数，墙高则为砖厚的整倍数，尽量少砍砖；
- ③要保证散热量小——窑墙外壁最高温度应不大于 80℃；
- ④两侧窑墙厚度与窑内宽之和应小于所选用的辊子长度。

各段窑体材料及厚度选用校核及计算依据：

选择材料校核计算，首先确定所用的材料是否符合允许的最高温度。各材料的使用温度都低于耐火度，都可以使用。

陶瓷窑炉的散热包括以下三个传热过程：

- 1) 高温流体与平壁内表面之间的对流传热和辐射传热；
- 2) 平壁内部的导热；
- 3) 平壁外表面与低温流体之间的对流传热和辐射传热。

由于在这种情况下的综合传热计算很难准确获得高温流体的温度以及高温流体与平壁内表面的对流辐射传热系数。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：

对流辐射换热系数计算公式：

$$\alpha = A_w(t_3 - t_a)^{0.25} + 4.56[t_3^4/100 - t_a^4/100]/(t_3 - t_a) \quad (3-1)$$

窑墙计算中 A_w 取 2.56，窑顶计算中 A_w 取 3.26，窑底计算中 A_w 取 2.1.

$$\text{最大热流量: } q = \alpha(t_3 - t_a) = 14 \times (80 - 20) = 840 \text{ W/m}^2 \quad (3-2)$$

$$\text{导热公式: } q = (t_1 - t_3) / (\delta_1 / \lambda_1 + \delta_2 / \lambda_2) \quad (3-3)$$

窑体材料的选用与厚度校核

由于计算各带的方法是相类似的，所以现只以烧成带为例说明，其他段方法一致。

设计方案：参照广东佛山石湾某一陶瓷工厂窑炉选材进行设计，从窑墙内侧向外依次取定窑墙分层数代号分别为 S_1, S_2, \dots

S_1 用莫来石轻质高铝砖，厚度为 230mm，1000℃时导热系数为 0.45，

S_2 用硅酸铝耐火纤维束，厚度为 130mm，1000℃时导热系数为 0.13，

已知条件：使用温度—1160℃，最高使用温度—1300℃（除辊棒外的窑体结构），

取外壁最高温度 $t_3 = 80^\circ\text{C}$ ，环境温度取 $t_a = 20^\circ\text{C}$ 。

$$\begin{aligned} a &= 2.56(t_3 - t_a)^{\frac{1}{4}} + \frac{4.56[(t_3)^4 / 100 - (t_a)^4 / 100]}{t_3 - t_a} \\ &= 2.56(80 - 20)^{\frac{1}{4}} + \frac{4.54[(80)^4 / 100 - (20)^4 / 100]}{80 - 20} = 14 \text{ (W / m}^\circ\text{C)} \end{aligned}$$

所以，最大热流量 $q = a(t_3 - t_a) = 14 \times (80 - 20) = 840 \text{ (W / m}^2\text{)}$

据导热公式有：

$$q' = \frac{t_1 - t_a}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} = \frac{1040 - 80}{\frac{0.23}{0.45} + \frac{0.13}{0.13}} = 640 \text{ (W / m}^2\text{)}$$

因为 $q > q'$ ，故选材符合现实生产的需要。

同理可以确定校核窑的其他各带的窑体材料，如下表所示：

5.2 整个窑炉的材料表

表 5-1 窑体材料的选择

名称	材质		使用温度	导热系数	厚度
1—46 节，64—106 节					
窑顶	耐火层	轻质高铝砖	1200	$0.66+0.08\times 10^{-3}t$	230
	隔热层	硅酸铝耐火纤维束	1000	0.13	90
窑墙	耐火层	轻质高铝砖	1200	$0.66+0.08\times 10^{-3}t$	230
	隔热层	硅酸铝耐火纤维束	1000	0.13	130
窑底	耐火层	轻质高铝砖	1200	$0.66+0.08\times 10^{-3}t$	130
	隔热层	硅藻土砖	1000 以下	$0.11+0.000228t$	195
47—63 节					
窑顶	耐火层	JM23	1350	0.2	230
	隔热层	硅酸铝耐火纤维束	1000	0.13	130
窑墙	耐火层	JM23	1350	0.2	230
	隔热层	硅酸铝耐火纤维束	1000	0.13	130
窑底	耐火层	JM23	1350	0.2	130
	隔热层	硅藻土砖	1000 以下	$0.11+0.000228t$	195

6 燃料及燃烧计算

6.1 燃料所需空气量

6.1.1 理论空气量 V_a^0

天然气低发热量为值 38.0MJ/m³，根据《热工手册》相关资料查得

$$V_a^0 = 0.25 \cdot Q_{\text{net}} / 1000 - 0.25 = 0.25 \times 38000 / 1000 - 0.25 = 9.25 \text{ m}^3 / \text{Nm}^3$$

6.1.2 实际空气量 V_a

取空气过剩系数 $a=1.15$

$$\text{则实际空气量: } V_a = a V_a^0 = 1.15 \times 9.25 = 10.64 \text{ m}^3 / \text{Nm}^3$$

6.2 燃料产生烟气量

6.2.1 理论烟气量

根据《热工手册》计算天然气的经验公式可得，理论烟气量

$$V_g^0 = 0.272 \cdot Q_{\text{net}} / 1000 + 0.25 = 10.59 \text{ m}^3 / \text{Nm}^3$$

6.2.2 实际烟气量

$$V_g = V_g^0 + (a-1) V_a^0 = 10.59 + (1.15-1.0) \times 9.25 = 11.665 \text{ m}^3 / \text{Nm}^3$$

6.3 燃烧温度

6.3.1 理论燃烧温度 t_m ^[4]

$$t_m = (Q_{\text{net}} + V_a c_a t_a + c_f t_f) / V_g c_g$$

此时已知， $Q_{\text{net}} = 38.0 \text{ MJ/m}^3$ ，助燃室温 $t_a = 20^\circ\text{C}$ ， $c_a = 1.3 \text{ KJ/m}^3\text{C}$

$c_f = 1.55 \text{ KJ/m}^3\text{C}$ ，

当 $t = 1800-2000$ ，则 $c_g = 1.665$ 假设 $T_{\text{th}} = 1900^\circ\text{C}$

$$\text{则 } t_m = (38000 + 10.64 \times 1.3 \times 20 + 1.55 \times 20) / 11.665 \times 1.665 = 1912.5^\circ\text{C}$$

相对误差： $(1912.5 - 1900) / 1900 \times 100\% = 0.66\% < 5\%$ 偏差小，假设成立。

6.3.2 实际燃烧温度 t_p

取高温系数为 0.8，得 $t_p = t_m \times \eta = 0.8 \times 1912.5 = 1530^\circ\text{C}$

实际烧成最高温度比产品烧成温度 1180 高 350℃，说明可以不经预热直接烧成，还有利于快速烧成

7 物料平衡计算

每小时烧成制品质量

$$G_m = 23000 \times 0.7 / 24 \times 0.97 = 657.42 \text{ (Kg/h)}$$

每小时生成干坯的质量

$$G_{gp} = G_m \times 100 / (100 - 5.82) = 684.52 \text{ (Kg/h)}$$

每小时生成湿坯的质量 (含水量 0.8%)

$$G_{sp} = G_{gp} / (1 - 0.008) = 690.04 \text{ (Kg/h)}$$

每小时蒸发自由水的质量

$$G_{zs} = G_{sp} - G_{gp} = 5.52 \text{ (Kg/h)}$$

每小时从精坯中产生的 CO₂

$$G_{cao} = G_{gp} \times C_{ao} = 684.52 \times 2.26\% = 15.47 \text{ kg/h}$$

$$G_{mgo} = G_{gp} \times M_{go}\% = 684.52 \times 2.74\% = 18.75 \text{ kg/h}$$

$$\begin{aligned} G_{CO_2} &= G_{cao} \times M_{CO_2} / M_{cao} + G_{mgo} \times M_{CO_2} / M_{mgo} \\ &= 15.47 \times 44 / 56 + 18.75 \times 44 / 40 = 32.78 \text{ kg/h} \end{aligned}$$

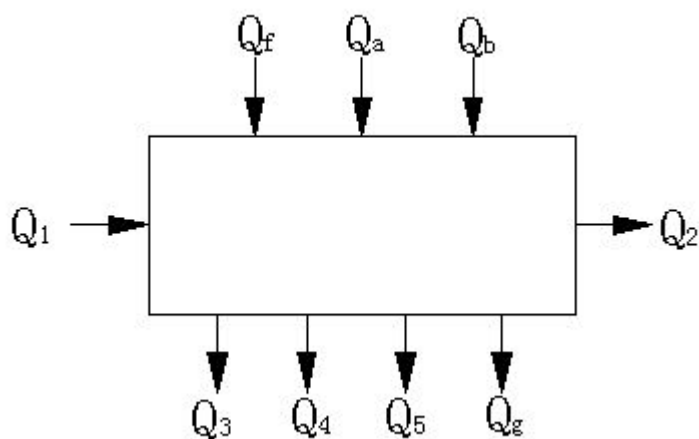
每小时从精坯中分解出来的结构水

$$G_{ip} = G_{gp} \times 5.82\% - G_{CO_2} = 684.52 \times 5.82\% - 32.78 = 7.06 \text{ kg/h}$$

8 热平衡计算

热平衡计算包括预热带、烧成带热平衡计算和冷却带热平衡计算。预热带热平衡计算的目的在于求出燃料消耗热量，冷却带热平衡计算目的在于计算出冷空气鼓入量和热风抽出量。另外，通过热平衡计算可以看出窑炉的工作系统结构等各方面是否合理，哪项消耗最大，能否采取改进措施。

8.1 预热带、烧成带热平衡示意图



坯体带入显热： Q_1

窑体散失热： Q_3

燃料带入化学热及显热： Q_f

物化反应耗热： Q_4

助燃空气带入显热： Q_a

其他热损失： Q_5

预热带漏入空气带入显热： Q'_a (Q_b)

烟气带走显热： Q_g

热制品带出显热： Q_2

8.2 热收入项目

8.2.1 坯体带入显热 Q_1

湿制品质量 $G_{sp}=690.04$ (kg/h)

制品入窑温度 $t_1=20^{\circ}\text{C}$

入窑制品比热容 $c_1 = 0.84 + 26 \times 10^{-5} \times 20 = 0.845 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$

$$\therefore Q_1 = G_{sp} c_1 t_1 = 690.04 \times 0.845 \times 20 = 11661.7 \text{ (kJ/h)}$$

8.2.2 燃料带入化学热及显热 Q_f

天然气低热值 $38000 \text{ KJ}/(\text{Bm}^3)$

入窑天然气的温度 $t_f = 20^\circ\text{C}$ ， 20°C 时天然气比热容 $c_f = 1.55 \text{ KJ}/(\text{m}^3 \cdot ^\circ\text{C})$

设天然气消耗量为 $x \text{ Kg}/h$

$$\therefore Q_f = X (Q_{\text{net}} + c_f t_f) = x \times (38000 + 1.55 \times 20) = 38031x \text{ (kJ/h)}$$

8.2.3 助燃空气带入显热 Q_a

助燃空气温度 $t_a = 20^\circ\text{C}$

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

实际空气量 V_a ，每小时助燃空气总量 $V_a \cdot x$

$$\therefore Q_a = V_a \cdot x \cdot c_a t_a = 10.64x \times 1.30 \times 20 = 276.64x \text{ (kJ/h)}$$

8.2.4 预热带漏入空气带入显热 Q_b

取预热带空气过剩系数 $\alpha_g = 2.0$

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

漏入空气总量 $V'_a = x \times (\alpha_g - \alpha) \cdot V_a^0 = x (2.0 - 1.15) \times 9.25 = 7.86x \text{ (m}^3/\text{h})$

$$\therefore Q_b = V'_a c_a t_a = 7.86 \times x \times 1.30 \times 20 = 204.4x \text{ (kJ/h)}$$

8.3 热支出项目

8.3.1 热制品带出显热 Q_2

烧成产品质量：

$$G_m = 657.42 \text{ (Kg/h)}$$

制品烧成温度 $t_2 = 1180^\circ\text{C}$

制品平均比热容，查手册 $c_2 = 0.84 + 26 \times 10^{-5} \times 1180 = 1.15 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$

$$\therefore Q_2 = G_m c_2 t_2 = 657.42 \times 1.15 \times 1180 = 892118.94 \text{ (kJ/h)}$$

8.3.2 窑体散失热 Q_3

根据材料应用不同, 将计算窑段分成三部分:

第 1—10 节 20—250℃。窑外壁表面平均温度 40℃, 环境温度取 20℃, 窑内壁平均温度为 135℃。

a. 窑顶散热:

$$\text{单位热流量 } q = (135 - 40) / (0.23 / 0.6708 + 0.09 / 0.13) = 70.89 \text{ W/m}^2$$

$$\text{窑顶散热面积: } A_{\text{顶}} = [2.9 + 2(0.23 + 0.13) + 2.9] / 2 \times 10 = 65.2 \text{ m}^2$$

窑顶散热量:

$$\therefore Q_{\text{顶}} = q \times A \times 3.6 = 70.89 \times 65.2 \times 3.6 = 16640.6 \text{ (kJ/h)}$$

b. 窑墙散热:

$$\text{单位热流 } q = (135 - 40) / (0.23 / 0.6708 + 0.13 / 0.13) = 70.74 \text{ W/m}^2$$

$$\text{一侧墙散热面积 } A_{\text{墙}} = [(0.7 + 0.23 + 0.09 + 0.13 + 0.195 + 0.7)] / 2 \times 2 \times 10 = 20.45 \text{ m}^2$$

$$\text{二侧墙散热量 } Q_{\text{墙}} = 2 \times 94.06 \times 21.04 \times 3.6 = 14248.96 \text{ (kJ/h)}$$

c. 窑底散热

单位热流密度: (W/m²)

$$q = (135 - 40) / (0.23 / 0.6708 + 0.195 / 1.4) = 59.375$$

$$\text{窑底散热面积: } A_{\text{底}} = 65.2 \text{ m}^2$$

$$\therefore Q_{\text{底}} = q \times A \times 3.6 = 59.375 \times 65.2 \times 3.6 = 13937.67 \text{ (kJ/h)}$$

所以低温段窑体总散热量:

$$Q_{1-6} = Q_{\text{顶}} + Q_{\text{墙}} + Q_{\text{底}} = 16640.6 + 10415.76 + 13937.67 = 40994.03 \text{ (kJ/h)}$$

11—46 节: 250~900℃。壁平窑外均温度取 60℃, 环境温度 20℃, 窑内平均温度取 575℃。

a. 窑顶散热:

$$\text{单位热流 } q = (575 - 60) / (0.23 / 0.706 + 0.09 / 0.13) = 509.9 \text{ (W/m}^2\text{)}$$

$$\text{窑顶散热面积 } A_{\text{顶}} = [(0.23 + 0.13)2 + 2.9 + 2.9] / 2 \times 2 \times 36 = 234.72 \text{ m}^2$$

$$\therefore Q_{\text{顶}} = q \times A \times 3.6 = 509.9 \times 234.72 \times 3.6 = 430862.26 \text{ (kJ/h)}$$

b. 窑墙散热:

$$\text{单位热流量 } q = (575 - 60) / (0.23 / 0.706 + 0.13 / 0.13) = 390.2 \text{ W/m}^2$$

$$\text{一侧墙散热面积 } A_{\text{墙}} = [0.7 + (0.7 + 0.23 + 0.09 + 0.13 + 0.195) / 2] \times 2 \times 366 = 73.62 \text{ m}^2$$

$$\text{二侧墙散热量 } Q_{\text{墙}} = q \times A \times 2 \times 3.6 = 390.2 \times 73.62 \times 2 \times 3.6 = 206831 \text{ (kJ/h)}$$

c. 窑底散热:

$$\text{单位热流 } q = (575 - 60) / (0.13 / 0.18 + 0.195 / 0.81) = 520.20 \text{ (w/m}^2\text{)}$$

$$\text{窑底散热面积 } A_{\text{底}} = 234.72 \text{ m}^2$$

$$\therefore Q_{\text{底}} = q \times A \times 3.6 = 520.20 \times 234.72 \times 3.6 = 439564.84 \text{ (kJ/h)}$$

则预热带 11~46 节窑体散热为:

$$Q_{7-15} = Q_{\text{顶}} + Q_{\text{墙}} + Q_{\text{底}} = 1077258.08 \text{ (kJ/h)}$$

高温段 47—63 节: 900~1180℃ 散热。窑外壁平均温度取 80℃, 环境温度 20℃, 窑内平均温度 1040℃。

a. 窑顶散热:

$$\text{单位热流 } q = (1040 - 80) / (0.23 / 0.13 + 0.13 / 0.13) = 446.51 \text{ (w/m}^2\text{)}$$

$$\text{窑顶散热面积 } A_{\text{顶}} = [(0.23 + 0.13) \times 2 + 2.9 + 2.9] \times 2 \times 17 = 110.84 \text{ m}^2$$

$$\therefore Q_{\text{顶}} = q \times A \times 3.6 = 110.84 \times 446.51 \times 3.6 = 178168.2 \text{ (kJ/h)}$$

b. 窑墙散热:

$$\text{单位热流 } q = (1040 - 80) / (0.23 / 0.2 + 0.13 / 0.13) = 446.51 \text{ (w/m}^2\text{)}$$

$$\text{一侧墙散热面积 } A_{\text{墙}} = [2(0.23 + 0.13) + 0.84 + 0.84] \times 2 \times 17 = 40.8 \text{ m}^2$$

$$\therefore \text{二侧墙散热量 } Q_{\text{墙}} = 2 \times 446.51 \times 40.8 \times 3.6 = 131166.8 \text{ (kJ/h)}$$

c. 窑底散热:

$$\text{单位热流 } q = (1040 - 80) / (0.13 / 0.2 \times 0.195 / 0.56) = 793 \text{ (w/m}^2\text{)}$$

$$\text{窑底散热面积 } A_{\text{底}} = [(0.23 + 0.13) \times 2 + 2.9 + 2.9] \times 2 \times 17 = 110.84 \text{ m}^2$$

$$\therefore Q_{\text{底}} = q \times A \times 3.6 = 793 \times 110.84 \times 3.6 = 316426 \text{ (kJ/h)}$$

则预热带 16~24 节窑体散热为:

$$Q_{16-24} = Q_{\text{顶}} + Q_{\text{墙}} + Q_{\text{底}} = 121307 + 65756 + 128415 = 315478 \text{ (kJ/h)}$$

所以预热带、烧成带窑体散热为:

$$Q_3 = Q_{1-7} + Q_{8-15} + Q_{16-24} + Q_{25-33} = 1743963 \text{ (kJ/h)}$$

8.3.3 物化反应耗热 Q_4

① 自由水蒸发吸热 Q_w

$$\text{自由水质量 } G_{zs} = G_{sp} - G_{gp} = 5.52 \text{ (Kg/h)}$$

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

$$\therefore Q_w = G_w(2490 + 1.93t_g) = 5.52 \times (2490 + 1.93 \times 400) = 18006.24 \text{ (KJ/h)}$$

②烧成坯体物化反应耗热

用 Al_2O_3 反应热近似代替坯体物化反应热

入窑干制品质量 = 657.42kg/h Al_2O_3 含量 = 16.34%

$$\therefore Q_r = G_1 \times 2100 \times Al_2O_3\% = 657.42 \times 2100 \times 16.34\% = 225587.1 \text{ (kJ/h)}$$

$$\text{故 } Q_4 = Q_w + Q_r = 18006.24 + 225587.1 = 243593.34 \text{ (kJ/h)}$$

8.3.4 烟气带走显热 Q_g

$$\text{离窑烟气总量 } V_g = [V_g^0 + (\alpha_g - \alpha) V_a^0] \times X = [10.59 + (2.0 - 1.15) \times 9.25] X$$

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

现取 $t_g = 400^{\circ}\text{C}$

查手册, 此时烟气的平均比热为: $c_f = 1.42 \text{ (KJ/m}^3 \cdot ^{\circ}\text{C)}$

$$\therefore Q_g = V_g c_f t_g = 12.03X \times 1.55 \times 400 = 7458.6X \text{ (KJ/h)} \quad (\text{KJ/h})$$

8.3.5 其他热损失 Q_5

根据经验占热收入的 5%

$$\begin{aligned} Q_5 &= (Q_1 + Q_F + Q_A') \times 0.05 = (11661.7 + 38031x + 276.64x + 204.4x) \times 0.05 \\ &= 19045.4 \text{ (KJ/h)} \end{aligned}$$

8.4 列热平衡方程并求解

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

$$11661.7 + 38031x + 276.64x + 204.4x$$

$$= 892118.94 + 1743963 + 7458.6 + 243593.34 + 583.09 + 1925.6x = 98.48$$

解得 $x = 98.48 \text{ (Kg/h)}$

每小时烧成制品质量为: 657.42 (Kg/h)

每公斤产品热耗: $38000 \times x / 657.42 = 5692 \text{ (KJ/Kg)}$

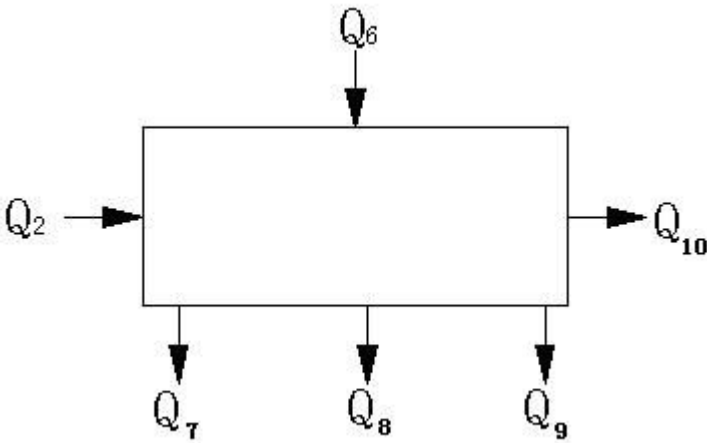
目前内墙砖的产品热耗在 4000~6000(KJ / Kg) 之间，所以设计该窑炉热耗合理！

表 8-3 预热带烧成带热平衡表

热收入			热支出		
项目	<i>KJ / h</i>	%	项目	<i>KJ / h</i>	%
坯体带入显热	11661.7	0.3	产品带出显热	892118	23.4
燃料化学热及显热	3746053.5	98.4	窑体散失热	1743963	45.8
助燃空气显热	27249.04	0.7	物化反应热	243593.34	6.4
漏入空气显热	20133.4	0.6	烟气带走显热	734672	19.3
			其他热损失	190454.7	5.1
总计	3805097.6	100.0	总计	3804801.04	100.0

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

8.5 冷却带热平衡示意图



制品带入的显热 Q_2

窑体散热 Q_9

冷却风带入显热 Q_6

其他热损失 Q_{10}

热风抽出带走显热 Q_8

制品带出显热 Q_7

8.6 热收入

8.6.1 制品带入的显热 Q_2

制品出窑温度 $t=1180^{\circ}\text{C}$

查表可知该温度下制品的平均比热为 $C=1.147\text{KJ}/(\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C})$

每小时烧成制品质量 $G_m=657.42\text{ kg/h}$

所以 $Q_2=G_m t C=657.42 \times 1180 \times 1.14=884361.38$

8.6.2 冷却风带入显热 Q_6

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

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

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

8.7 热支出

8.7.1 制品带出显热 Q_7

出窑时制品的质量 657.42 kg/h

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

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

$$\therefore Q_7 = G_m c_7 t_7 = 657.42 \times 0.896 \times 80 = 47123.9 \text{ (kJ/h)}$$

8.7.2 热风抽出时带走的显热 Q_8

由热风抽出量应等于冷风鼓入量，遵循平衡原则。故抽出热风量为
0.95 $V_x\text{ m}^3/\text{h}$

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

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

8.7.3 窑体散失热量 Q_9

1.急冷带（64—75 节）1180~700 $^{\circ}\text{C}$ 段散热

窑墙散热

$$\text{内壁平均温度 } t_2 = \frac{1180 + 700}{2} = 940 \text{ } ^\circ\text{C}$$

设窑墙外壁平均温度 $t_3 = 50^\circ\text{C}$,

单位热流密度:

$$q = (1180 - 700) / (0.23/0.31 + 0.13/0.13) = 679.39 \text{ W/m}^2$$

$$\text{窑顶散热面积: } A = [0.7 + 2(0.23 + 0.13) + 0.7] / 2 * 2 * 12 = 25.44 \text{ m}^2$$

$$\text{窑顶散热量: } Q = 3.6 * 679.39 * 25.44 = 62221.25 (\text{KJ/h})$$

窑顶散热:

单位热流密度:

$$q = (1180 - 700) / (0.23/0.31 + 0.09/0.13) = 890 \text{ W/m}^2$$

$$\text{窑顶散热面积: } A = [2.9 + 2(0.23 + 0.13) + 2.9] / 2 * 2 * 12 = 78.24 \text{ m}^2$$

窑顶散热量:

$$Q = 3.6 * 890 * 78.24 = 250680.96 (\text{KJ/h})$$

3 窑底散热

单位热流密度:

$$q = (1180 - 700) / (0.23/0.31 + 0.09/0.32) = 1141.03 \text{ W/m}^2$$

$$\text{窑底散热面积 } A = 78.24 \text{ m}^2$$

$$\text{窑底散热量: } Q = 3.6 * 1141.03 * 78.24 = 321385.85 (\text{KJ/h})$$

$$\text{急冷带散热总量: } Q_{\text{急}} = 62221.25 + 250680.96 + 321385.85 = 955673.9 (\text{KJ/h})$$

2. 缓冷带、快冷带 (99—138 节): $700 \sim 80^\circ\text{C}$, 取内壁平均温度 390°C 。窑外壁平均温度取 50°C ,

1 窑墙散热

单位热流密度:

$$q = \frac{t_1 - t_a}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} = \frac{390 - 50}{\frac{0.23}{0.69} + \frac{0.13}{0.13}} = 255.64$$

$$\text{窑墙散热面积 } A = \frac{(0.23 + 0.13 + 0.7) + 0.7}{2} \times 2 \times 19 = 33.44 \text{ m}^2$$

二侧窑墙共散热:

$$Q = 255.64 \times 3.6 \times 33.44 \times 2 = 61549.93 \quad (\text{KJ} / \text{h})$$

2 窑顶散热:

单位热流密度:

$$q = \frac{390 - 50}{\frac{0.23}{0.33} + \frac{0.09}{0.13}} = 333.33$$

$$\text{窑顶散热面积 } A = \frac{(0.23 + 0.09)2 + 2.9 + 2.9}{2} \times 2 \times 19 = 122.36 \text{ m}^2$$

窑顶散热量:

$$Q = 333.33 \times 3.6 \times 122.36 = 146830.53 \quad (\text{KJ} / \text{h})$$

3 窑底散热

单位热流密度:

$$q = \frac{390 - 50}{\frac{0.23}{0.33} + \frac{0.09}{0.13}} = 333.33$$

$$\text{窑底散热面积 } A = 122.36 \text{ m}^2$$

$$Q = 333.33 \times 122.36 \times 3.6 = 146830.53 \quad (\text{KJ} / \text{h})$$

$$\text{此段总散热量: } Q_9 = 61549.93 + 146830.53 + 146830.14 = 336388.60 \quad (\text{KJ} / \text{h})$$

8.7.4 由窑体不严密处漏出空气带走显热 Q_{10}

冷却带从窑体不严密处漏出空气量通常为窑尾鼓入风量的 5%。即 $0.05 V_x$ 。

设定漏出空气的平均温度 $t_{10} = 400 \text{ } ^\circ\text{C}$

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

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

8.8 列热平衡方程

$$Q_2 + Q_6 = Q_7 + Q_8 + Q_9 + Q_{10}$$

$$884361.38 + 26 V_x = 47123.9 + 39 V_x + 336388.6 + 26.6 V_x$$

解得 $V_X = 1262.86 \text{ (m}^3/\text{h)}$

即每小时鼓入冷风量为 1262.86 $\text{(m}^3/\text{h)}$

8.9 列热平衡表

表 8-4 冷却带热平衡表

热收入				热支出			
序号	项目	热量 (KJ/h)	比例%	序号	项目	热量 (KJ/h)	比例%
1	制品带入热	884361.38	96	1	制品带出热	47123.9	5.1
2	空气带入热	32834.36	4	2	窑体散热	336388.6	36.6
				3	抽热风带走热	500084.64	54.5
				4	其他热损失	33592.08	3.8
总计		917195.74	100	总计		917183.22	100

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

9 管道尺寸以及阻力计算和风机选型

9.1 抽烟风机的管道尺寸、阻力计算

9.1.1 管道尺寸

排烟系统需排烟气量:

$$V_g = [V_g^0 + (\alpha_g - 1) \times V_a^0] \times X = [10.59 + (2 - 1) \times 9.25] \times 98.48 = 10557.79 \text{ m}^3/\text{h}$$

烟气抽出时实际体积为:

烟气在金属管中流速 ω , 根据经验数据取 10m/s

$$V = V_g \cdot (273 + 250) / 273 = 5.61 \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

9.1.1.1 总烟管尺寸

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

$$\begin{aligned} \text{内径 } d_{\text{总}} &= (4V/\pi\omega)^{0.5} \\ &= [4 \times 5.61 / (3.14 \times 10)]^{0.5} \\ &= 0.842 \end{aligned}$$

所以, 总管内径取值: 850mm, 长度取 22m.

9.1.1.2 分烟管尺寸

烟气在分管的流速为: $\omega=10\text{m/s}$, 流量 $V''=5.98/10=0.598 \text{ (m}^3/\text{s)}$

$$\begin{aligned} \text{内径 } d_{\text{支}} &= (4v/\pi\omega)^{0.5} \\ &= [4 \times 0.561 / (3.14 \times 10)]^{0.5} \\ &= 0.267\text{m} \end{aligned}$$

考虑到调节的方便取值为: 300mm, 长度取 8m.

9.1.1.3 支烟管尺寸

烟气在支管的流速为: $\omega=10\text{m/s}$, 流量 $V''=5.61/60=0.09 \text{ (m}^3/\text{s)}$

$$\begin{aligned} \text{内径 } d_{\text{支}} &= (4v/\pi\omega)^{0.5} \\ &= [4 \times 0.09 / (3.14 \times 10)]^{0.5} \\ &= 0.107\text{m} \end{aligned}$$

考虑到调节的方便取值为: 200mm, 长度取 0.7m.

9.1.2 阻力计算

9.1.2.1 料垛阻力 h_i

根据经验每米窑长料垛阻力为 0.5Pa，最末一对抽烟口在第 19 节，零压面位于窑的 45~65 节交界处，所以：

所以：

$$h_i = (45 + 0.5) \times 2 \times 0.5 = 45.5 \text{ Pa}$$

9.1.2.2 位压阻力 h_g

烟气从窑炉至风机，高度升高 $H=1.9\text{m}$ ，此时几何压头为烟气流动的动力，即负压阻力，烟气温度 250°C ，所以：

$$h_g = -H(\rho_a - \rho_g) \cdot g = -1.9 \times [1.29 \times 273 / (273 + 20) - 1.30 \times 273 / (273 + 250)] \times 9.8 \text{ 局部}$$

阻力 h_e

局部阻力 ζ 由表查得：

烟气从窑炉进入支管： $\zeta_1 = 1$

支烟管进入分烟管： $\zeta_2 = 1.5$

并 90° 急转弯： $\zeta_3 = 1.5$

分管 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： $\zeta_6 = 1.5$

分管 90° 圆弧转弯： $\zeta_7 = 0.35$

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

$$h_e = 9.9 \text{ Pa}$$

7

$$\begin{aligned} h_e &= (1 + 1.5 + 1.5 + 1.5 + 0.35 + 1.5 + 0.35) \times 100 / 2 \times 1.3 \times 273 / (273 + 250) \\ &= 261.3 \text{ Pa} \end{aligned}$$

9.1.2.3 摩擦阻力 h_f

摩擦阻力系数：金属管道取 $\zeta=0.03$ ，

$$\begin{aligned} h_f &= \zeta (L_{支}/D_{支} + L_{分}/D_{分} + L_{总}/D_{总}) \times \omega^2 \rho / 2 \\ &= 0.03 \times (0.7/0.2 + 8/0.3 + 22.0/0.9) \times 100/2 \times 273 / (273 + 250) \\ &= 42.8 \text{ Pa} \end{aligned}$$

9.1.2.4 风机应克服总阻力 $h_{总}$

$$h_{总} = h_i + h_g + h_e + h_f = 353 \text{ Pa}$$

9.1.3 风机的选型

为保证正常工作，取风机抽力余量 0.5，所以选型应具备风压：

$$H = (1 + 0.5) \times 353 = 529.5 \text{ Pa}$$

流量取储备系数为 1.5，风机排出烟气平均温度 250℃，所以：

$$Q = 1.5 \times V_g \times (273 + 250) / 273 = 30894 \text{ (m}^3/\text{h)}$$

9.2 其他系统管路尺寸确定、风机的选型

9.2.1 通往烧嘴的天然气支管内径计算

窑体共安装了 320 个烧嘴，柴油支管总共有 320 根，根据烧嘴的安装尺寸，油支管的内径取值为 20mm，并且此时能满足柴油的流量为 369.2Kg/h 的要求。

9.2.1.1 窑顶 窑底 窑侧的分管尺寸

天然气分管分组控制，共分 16 组 32 根。

$$\begin{aligned} \text{内径 } d_{分} &= 2 \times (369.2 / \pi \times 3600 \times 8 \times 32)^{0.5} \\ &= 23 \text{ mm} \end{aligned}$$

所以，分管内径取值：40mm

9.2.1.2 天然气总管内径的计算

总管选用一根管子，考虑到日后油改天然气转产的需要，那么总管的内径为：

计

$$d_{\text{总}} = 2 \times (369.2 / \pi \times 3600 \times 8)^{0.5}$$

$$= 178 \text{ mm}$$

所以，总管内径取值：250mm

9.2.2 助燃风管计算

$$\text{助燃风量 } V_a = 369.2 \times 30.76 = 11356.6 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{实际助燃风量 } V = 11356.6 \times (273 + 20) / 273 = 12188 \text{ m}^3/\text{h}$$

9.2.2.1 助燃风总管内径的确定

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

助燃风管总管选用一根管子，那么总管的内径为：

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

$$= 2 \times [12188 / (3600 \times 3.14 \times 10)]^{0.5}$$

$$= 0.657 \text{ m}$$

所以，总管内径取值：660mm

9.2.2.2 助燃风分管内径的确定

窑在左边和右边各 1 根分管， $n=2$ ，流速均取： $\omega = 10 \text{ m/s}$ ，

$$d_{\text{分}} = 2 \sqrt{12188 / (3600 \times 2 \times 3.14 \times 10)} = 0.464 \text{ mm}$$

所以分管内径取 500mm

9.2.2.3 窑顶窑底内的方管内径的确定

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

$$\text{则：方形管截面积 } F = V / (4 \times 3600 \omega) = 12188 / (4 \times 3600 \times 9) = 0.047 \text{ m}^2$$

$$\text{所以方管边长：} L = \sqrt{0.047} = 0.306 \text{ m}$$

取方管边长 310mm

9.2.2.4 助燃风管通往烧嘴的管路管径

共 320 根烧嘴，取流速为 $\omega = 6 \text{ m/s}$ ，

$$d_{\text{支}} = 2 \sqrt{\frac{12188}{3600 \times 320 \times 3.14 \times 6}} = 0.047 \text{ m}$$

取支管直径：60mm

9.3 冷却带风管计算

冷却带鼓入冷风总量为 45008 m³ / h

表 9-1 冷却带风量发布

项目	所占比例	鼓入冷风量
急冷带	33.3%	14988
缓冷带	—100%	—25120
快冷带	66.7%	30020

9.3.1 缓冷总管（抽风管）

缓冷风量 V=25120 m³ / h，取 ω=8m/s

$$\text{缓冷总管：} d_{\text{总}} = 2\sqrt{\frac{45008}{3600 \times 3.14 \times 8}} = 1.41m$$

取缓冷总管内径：1500mm

缓冷分管：n=52

$$d_{\text{分}} = 2\sqrt{\frac{45008}{3600 \times 3.14 \times 52 \times 8}} = 0.196m$$

取缓冷分管内径：240mm

缓冷支管：共设置了（104 个抽风口，104 根抽风支管）

$$d_{\text{支}} = 2\sqrt{\frac{45008}{3600 \times 3.14 \times 8 \times 104}} = 0.0.159m$$

取缓冷支管内径：200mm

9.3.2 急冷风管内径的确定

9.3.2.1 急冷总管内径

急冷风量 $V=14988\text{ m}^3/h$ ，取 $\omega=10\text{m/s}$

$$d_{\text{总}} = 2\sqrt{\frac{14988}{3600 \times 3.14 \times 10}} = 0.728\text{m}$$

急冷风方管尺寸：800mm

9.3.2.2 急冷分管内径

取 $\omega=9\text{m/s}$ ，上下共 2 根管， $n=4$

$$L = \sqrt{\frac{14988}{3600 \times 3.14 \times 9 \times 2}} = 0.0543\text{m}$$

急冷风方管尺寸：550mm

9.3.2.3 急冷支管内径

取 $\omega=8\text{m/s}$ ，共 150 根， $n=150$

$$d_{\text{支}} = 2\sqrt{\frac{14988}{3600 \times 3.14 \times 8 \times 150}} = 0.066\text{m}$$

急冷支管内径：90mm

9.3.3 快冷管径确定

9.3.3.1 快冷总管内径确定

$V=30020\text{ m}^3/h$ ，取 $\omega=10\text{m/s}$

$$d_{\text{总}} = 2\sqrt{\frac{30020}{3600 \times 3.14 \times 10}} = 1.03m$$

总管内径：1100mm

9.3.3.2 快冷分管内径确定

取 $\omega=9\text{m/s}$, $n=2$

$$d_{\text{分}} = 2\sqrt{\frac{30020}{3600 \times 3.14 \times 9 \times 2}} = 0.768m$$

分管内径：800MM

9.3.3.3 快冷支管内径确定

取 $\omega=8\text{m/s}$, $n=168$

$$d_{\text{分}} = 2\sqrt{\frac{30020}{3600 \times 3.14 \times 8 \times 168}} = 0.089m$$

支管内径：90mm

9.4 风机选型

9.4.1 助燃风机选型

助燃风机的风量： $V=12188\text{ m}^3 / h$

9.4.2 急冷风机选型

急冷风机的风量： $V=14988\text{ m}^3 / h$

9.4.3 抽热风机选型

抽热风机的风量： $V=17103\text{ m}^3 / h$

9.4.4 快冷风机选型

快冷风机的风量： $V=30020\text{ m}^3 / h$

各系统管道尺寸、风机型号规格见表 7-2

表 9-2 窑主体系统管道尺寸、风机型号规格

项目	抽烟		助燃	急冷	抽热风	快冷
管道尺寸/mm	总管	900	660	800	1500	1100
	分管	300	500	550	240	800
	支管	200	310(方管)	90	200	90
风机代号	抽烟风机 A		助燃风机 B	急冷风机 C	抽热风机 D	快冷风机 E
风机名称	锅炉引风机		高压离心风机	高压离心风机	锅炉引风机	高压离心风机
风机型号	Y9-35 型		9-26-7.1D 型	9-26-7.1D 型	9-26-8D 型	9-26-8D 型
全风压	1230~1350		12078~12427	10635~11776	15504~15595	9356~9713
风量/ $m^3 \cdot h^{-1}$	30894		12292	15826	19277	33540
电机型号	Y200L-8		Y280S-2	Y315S-2	Y315M-2	Y315L1-4
功率/kw	15		75	110	132	160
转速/ $r \cdot \min^{-1}$	730		2900	2900	2900	1450

10 烧嘴的设计及选用

10.1 烧嘴的选用原则

能够适应和满足具体生产条件对火焰的特性要求，例如火焰的形状及其温度分布能否满足加热要求，烧嘴负荷的调节范围能否满足供热要求.选用烧嘴必须和烧嘴的使用条件结合起来，应满足使天然气和空气进行充分混合，或为混合提供必要条件;在规定的负荷范围内保证火焰的稳定性，既不脱火也不回火；并能保证在规定的负荷条件下燃料的完成燃烧。

每个烧嘴所需的燃烧能力

全窑共有 320 个烧嘴，每小时燃料的消耗量为 369.2m³/h，所以：

每个烧嘴的燃烧能力为 369.2/320=1.15m³/h

热负荷 Q=1.15*100000/4.2=27381 kcal/h

助燃空气量 Q_a=12188/320=38.08m³/h

根据烧嘴的选择原则，在结合本窑多烧嘴、小流量的特点，所以选用北京神雾烧嘴，其型号为 WDT-TCC2 型燃气高速烧嘴。

该产品的特点：燃烧完全，燃烧效率在 99.5%以上；实现高强度燃烧；燃烧器烟气喷射速度高，噪音低，不脱火，不回火；装有自动点火、火焰监控、燃烧控制、窑炉温度控制等控制系统。

表 10.1 WDT-TCC2 型燃气高速烧嘴的性能指标

热负荷万 Cal/h	燃气压力 >150mmH ₂ O 流量 Nm ³ /h	助燃空气			风 量 调 节 比	火 焰 长 度 m	火 焰 锥 角	炉 膛 温 度 ℃
		压力 mmH ₂ O	温度 ℃	风量 Nm ³ /h				
4	10	>150	20-500	48	1:6	4-15	20 ⁰ -70 ⁰	500-1800

11 工程材料概算

11.1 窑体材料概算

11.1.1 轻质高铝砖的概算

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

第 1 节~第 46 节, 第 64 节~第 106 节;

本窑共需轻质高铝砖的数量为:

块

$$N = \frac{65.2 + 234.72 + 78.24}{0.114 \times 0.065} + \frac{2 \times (20.45 + 73.62 + 25.44)}{0.114 \times 0.065} + \left[\frac{65.2 + 234.72 + 78.24}{0.23 \times 0.114} \right] \times 2 = 112136$$

11.1.2 JM23 莫来石高铝砖

每块 JM23 莫来石高铝砖的体积 $V = 0.23 \times 0.113 \times 0.065 = 0.00169m^3$

第 47~63 节 JM23 莫来石高铝砖的体积:

$$V_n = 2 \times 64.8 \times 0.23 + 2 \times 83.16 \times 0.13 + 83.16 \times 0.23 = 70.5564m^2$$

取多余的砖的数量占总量的 3.5%

本窑共需高温轻质莫来石高铝砖的块数为:

$$Nn = V_g(1 + 0.035)/V = 43211 \text{ 块}$$

11.1.3 硅藻土砖

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

第 1~106 节硅藻土砖的体积:

$$V_{gz} = 0.195 \times (65.2 + 234.72 + 83.16 + 78.24) = 89.9574m^3$$

取多余的砖的数量占总量的 3.5%

本窑共需硅藻土砖的块数为:

$$N_3 = V_{gz}(1 + 0.035)/V = 55093 \text{ 块}$$

11.1.4 硅酸铝耐火纤维束的概算

本窑共需硅酸铝耐火纤维束的面积为:

$$S = (65.2 + 234.72 + 78.24) \times 0.09 + (20.45 + 73.65 + 25.44) \times 2 \times 0.13 \\ + (83.16 + 2 \times 64.8) \times 0.13 = 92.7736 m^2$$

11.2 钢材的概算

钢材的概算以窑的一节用钢材量为基准

11.1.6 方钢的概算

方钢使用 60×4mm 的钢材，侧横梁用钢长度 $L_1 = 2 \times 10 = 20$

上下横梁用钢长度 $L_2 = 3.72 \times 5 = 18.6m$

11.1.7 钢板的概算

在窑的底部铺设 3mm 的钢板，其用量 $S = 3.72 \times 2.000 = 7.44 m^2$

11.1.8 角钢的概算

角钢都使用 56×56×5 等边角钢。底部角钢用量 $L_1 = 3.72 \times 4 = 14.88m$

吊顶所用角钢为两根并排 $L_2 = 3.12 \times 21 = 65.52m$

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

合计 $8.4 \times 10.5 = 88.2m$

11.1.9 全窑所用钢材量

方钢: $(20.00 + 18.6) \times 106 = 5337.84m$

钢板: $7.47 \times 106 = 1030.86 m^2$

角钢: $(14.88 + 65.52 + 88.2) \times 106 = 23266.8m$

12 致谢

随着盛夏的来临，通过老师的指导、同学的帮助、自身的努力，三个多月的毕业设计工作也接近了尾声，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，但在结合实际，特别是毕业实习的所见进行操作的时候才发现理论结合实际的必要性。同时，在整个绘图的过程中，自己也是在不断的修改、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，也是一综合素质的提高了。当然，自己的设计也避免不了这样或那样的问题，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。一些问题也留待到实际工作当中进行检验与解决。

在本次设计中，十分感谢汪和平等指导老师对自己的设计提出问题，并亲自指导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，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。

13 英文文献

energy saving furnace and waste heat utilization

First, macro-surface

Dealing with the fire kiln, furnace output by the daily life of most products occupy, which is also an important part of modern society. Dealing with fire, it involves combustion, involving insulation, related to emissions, so that people attached furnace industry a better life, an attached greenhouse gases and harmful gas emissions, its important can be seen. Based on this understanding, the Copenhagen meeting, if the furnace industry to change, can bring immediate results.

1, the quality of the pursuit of the furnace of the pursuit of product quality, can bring twice the impact. Just think, give up this purpose, what will bring serious consequences. Take the building ceramics industry, the turn of the century, the development of Foshan ceramics impressive, as Foshan, even people relish. But cool to think, how much consumption of Foshan ceramics fossil raw materials, chemical raw materials and fuel? Large number of ceramic products has still retained in our home and decoration of public facilities? In other words, is not there for 10 years or 20 years of happiness and joy in exchange for future generations or even centuries of tragic years? starting from 2009 the national expansion of construction ceramics industry, race, location far below the level of Foshan. The development of society should be going up, and such a situation, energy conservation and emission reduction in crying today, means that we will face even greater tragedy! Industrialization is a perpetual motion machine, not long before the earth disappear ceramic raw materials and fuel can depleted. Besides, we have begun to face non-ceramic material can be dug, recoverable state. The sake of our posterity, we have to consider seriously some of the problems.

The needs of low-quality low-end success of the furnace equipment and other manufacturing equipment market? Or the other hand, because of backward production facilities, it has cultivated a low-end market? This is a subject not tell Road, unknown, but the result is yes, the building ceramics products, the products of low quality means

durability, poor persistence, in the near future (maybe this time is about 10 years), social development, and now the rural market and low-income groups, a significant portion of will be renovated, which in turn is a tremendous waste. China is a big country, but it is also resource poor countries, must be considered in the durable goods production conditions, development of appropriate national policy, or economic prosperity, social prosperity will not last long.

Product quality and production equipment for quality products is the largest energy source. Good equipment must be able to produce a good product, good equipment, but it is also more durable and energy efficient, resulting benefits are double. Grasp the product quality, focus on the quality of equipment, saving energy is the key link. We can do this kind of discourse, low quality of the equipment (usually cheap), I will not speak a certain low-quality products and low-cost, on the device itself, may be faced with three years of minor repairs to five years The overhaul, maintenance costs do not say, may soon be eliminated, while the need to remove obsolete equipment, recycled, pay a considerable cost recovery. China's economic development in the early, low-cost investment to make the first pot of gold enterprise development, and enable enterprises to gradually regulate, grow, is feasible but should be necessary, but with considerable capital scale of today, still make such repeat the story, it had to say our sad! if not well resolved, which will be a moment for the future lay hidden dangers of national disaster.

2, industry standards and other thermal equipment furnace is actually involved in multidisciplinary industry, no rules to follow in a few years. Kiln industry norms, can be divided into the following areas:

First, practitioners, furnace and other thermal equipment industry is essentially a high threshold for industry, country or the relevant trade associations should be the main furnace design and manufacturing, to be provided for construction workers, limiting their qualification.

Followed by furnace and related enterprises to implement qualification system for personnel, equipment and operation of enterprises and to validate the request.

The third is a thermal furnace and related equipment, the product itself to develop industry standards. Furnace product to solve the temperature problem, that firing system (or pressure systems) or heat treatment. Used for different purposes, different temperature, the kilns are classified, on the furnace design, material selection, selection of auxiliary equipment, combustion and control, manufacturing, installation and commissioning of equipment and other aspects of security in particular is a refractory, burner and control system, furnace control systems were provided. In addition, it must be the performance of the product itself, such as furnace fuel consumption indicators, power consumption targets, emission targets, control the level of development testing, evaluation criterion.

Kilns is that most sources of industrial and domestic products, the furnace industry to progress only in the specification, the furnace industry and progress, and industry to progress, social order and progress! What is more, our emission reduction becomes possible.

3, R & D investment industry furnace is interdisciplinary, involving materials science (steel and refractory materials, etc.), combustion and control studies, thermal engineering, mechatronics, automation and control and many other branches of science. Kiln industry is also an ancient industry, has a long history of ancient China, there kilns, Jun ware, kiln, etc., prestigious, but ultimately are kiln, not energy. Furnace of history, is the history of civilization, with the technology, the furnace has also been rapid development of the industry, gave birth to the modern material civilization. All highly sophisticated materials such as aerospace materials, special materials (such as high temperature materials, high strength materials, corrosion-resistant materials, etc.) and so on, no furnace is not a masterpiece. China's technological strength behind the western countries, one important aspect, that is, behind the furnace industry. Furnace with the aforementioned development of the industry's development in all subjects, or conversely, to the latest developments in technology disciplines applied to the furnace industry, facilitate the development and progress of the furnace industry, and then consolidate the material of modern

civilization. In China, the economic principle of priority, the lack of kiln industry standards, resulting in the furnace product quite a mixed bag, and then fired low-end products so popular in the market. This is the first, that as new technologies are the means the cost of Zeng Jia, causing the user does not seek the introduction of new technologies; the other, takes in this area of research and development is backward Yu Fadaguoja's.

Second, the design and manufacture of furnace

First, the production of precision; First, the latest technology. Intelligent furnace and related products, is our pursuit. The latest Combustion Theory and combustion equipment (system), the latest control technology in our products can be applied.

To adapt to continuous production of roller kiln tunnel kiln and take the following measures to ensure the quality of the furnace so as to enhance the energy efficiency of the furnace:

1, optimal design. Different products for different customers, different output curves at different temperatures for specific design to meet the product in the case of firing, as saving space, as adapted for multi-product, multi-system firing. In the design and implementing the following basic techniques:

① thermal equilibrium bifurcation diagram. According to bifurcation diagrams, before embarking on the design of the furnace to make a basic thermal calculation. Bifurcation picture shows the designer pointed out the basic design direction. For example, the treatment of the kiln, the flue gas treatment, can be seen from the bifurcation diagram comes in many forms. Different furnace, thermal equilibrium bifurcation diagram similar.

② high quality materials, including steel and refractory materials. Furnace steel and refractory materials is the basic principal is directly related to the durability and energy-saving furnace indicators. Furnace with fire, dealing with the high temperature products, working environment. Any carelessness furnace structure, would have serious consequences, so the main selection of the furnace must be cautious.

Steel manufacturers have to use the regular high-quality steel, welded solid,

polished, rust decontamination, spray rust (zinc-rich paint the best choice) and the metal finish. After such processing and production of long steel will not rust, durable.

Selected according to temperature requirements refractory thermal conductivity, specific gravity (heat specific volume), have better physical properties of high temperature materials, with special emphasis on the consistency of quality materials to ensure that the furnace used to heat □ high to low heat and kiln regenerator, and the furnace to a long life.

2, in addition to the conventional technology, the company also follows for the roller kiln tunnel kiln and unique technology:

① pressure balance system using waste heat. In diameter, under certain conditions, flow depends on the pipeline pressure. And so the company developed the principle of waste heat recovery systems, waste heat can be done for different purposes without the slightest impact on the normal operation of the furnace.

② impulse control impulse control is actually the closest to micro-combustion system variable control theory. Temperature curve for each rise or insulation is actually variable Δ by numerous micro-component heat input, while the pulse is characterized by the need to control the heat input is a fire, do not completely closed when the burner is to do a small variables, to ensure that the temperature curve of continuous and smooth. In addition, since pulse is varied between zero in the fire and, together with the random pulse system balanced, high-temperature gas inside the furnace due to mixing and considerable homogenization. So pulse system for wide-body kiln, need a minimum temperature of the products or firing, there is a distinct advantage.

③ furnace control PLC + HMI + SCADA system with high-quality, accurate and constant heat output of the combustion and control system, makes the PLC control in the furnace on the practical application possible. The PLC application, supplemented by detailed data such as burner combustion power, fuel air-fuel ratio, temperature curves characteristics, pipeline pressure drop, so that intelligent control of the entire furnace can be effectively achieved. It is worth mentioning that the use of temperature

(or pressure) module, due to the use of the PID loop's proportional, integral, differential technique, and these parameters can be set according to different use of the environment, making their application form with the normal temperature control is more effective. HMI that is touch screen user interface for the furnace operation. The company introduced the furnace operating SCADA system is based on iFax4.0 infinite point spread over the Chinese Internet version developed with its function is very powerful.

④ gas emission reduction and the use of hot flue gas take away a large proportion of the total heat that can use this part of the heat up, will bring great economic benefits. The Company will adopt two measures of the gas processing:

A semi-automatic and efficient development of the whole closed drying system, full use of flue gas heat.

B the porous ceramics used for flue gas treatment.

Conclusion The primary direction of energy saving furnace is the quality of the furnace, the State should introduce appropriate measures to restrict the backward, poor materials used in the furnace product, because of inferior materials, in addition to leading to high repair rate, but also led to high elimination rate, operating costs and depreciation costs considerably. Inspection tour in the UK, have seen a kiln for over 30 years, and I was so sad, so kiln made quality to the view of the hope aroused sympathy from colleagues and users. Based on the quality, energy-efficient furnace is the direction of new technology in the successful application of furnace engineering, because any new technology, will certainly bring great economic benefits. And to energy-efficient furnace, to a large extent, is also reducing emissions.

窑炉的节能减排与余热利用

一、宏观面

窑炉是与火打交道的，经窑炉产出的产品占据着日常生活的绝大部分，因而也是现代化社会的重要组成部分。与火打交道，就涉及到燃烧、涉及到保温、涉及到排放，所以窑炉行业一头连着人们美好的生活，一头连着温室气体与有害气体

体的排放，其举足轻重可见一斑。基于如此的认识，哥本哈根会议之后，如果在窑炉行业推行变更，即可带来立竿见影的效果。

1、品质化追求 对窑炉产品品质化的追求，能带来双倍的收效。试想想，放弃此宗旨，会带来何等严重的后果。就拿建筑陶瓷行业来说，上世纪末本世纪初，佛山陶瓷的发展令人瞩目，为佛山人、甚至国人津津乐道。但冷静来想，佛山的陶瓷消耗了多少化石原料、化工原料与燃料？庞大的陶瓷产品中有多少至今仍保留在我们的家居与公共设施的装饰中？也就是说，是不是存在着 10 年或 20 年的幸福与快乐换来未来子孙百年甚至数百年的悲惨？从 09 年开始的全国建筑陶瓷行业的竞相扩张，定位大大低于佛山的水平。社会的发展应当是往上走的，如此的局面，在呼喊节能减排的今天，意味着我们将面临更大悲哀！工业化是一个永动机，不要多久，地球上的陶瓷原料与燃料就可消失殆尽。何况我们已经开始面临无陶瓷原料可挖、可采的境地了。为了我们的后辈，我们不得不严肃地去考虑一些问题。

是低品质的需求成就了低端窑炉设备与其他制造设备的市场？还是反之，是因为生产设施的落后，才培育了低端产品市场？这是一个说不清道不明的课题，但结果是肯定的，就建筑陶瓷产品而言，低品质意味着产品耐用性、持久性差，不久的将来（也许这个时间就是 10 年左右），社会发展了，现在的农村市场和低收入群体，相当大一部分将会翻新，这又将是极大的浪费。中国是个人口大国，同时又是资源穷国，在耐用品生产方面必须考虑国情，制定相应国策，否则经济的繁荣，社会的繁荣将不会长久。

产品的品质和生产产品的设备的品质是最大的节能源泉。好的设备一定能生产出好的产品，好的设备同时又是更经久耐用和节能的，由此产生的效益是双倍的。抓产品的品质、抓设备的品质，才是节能减排的纲。我们可以做这样的论述，低质的设备（通常是低价的），先不说生产的产品一定低质与低价的，就设备本身而言，面临的可能是三年的小修、五年的大修，维修成本不说，可能很快被淘汰，而淘汰的设备需要拆除、回炉，付出相当的回收成本。在我国经济发展初期，靠低成本投资赚取企业发展的第一桶金，然后使企业逐步规范、壮大，是可行的而且也应是必要的，但具有相当资本规模的今天，仍然让如此的故事重复，这不得不说是我们的悲哀！如不很好的解决，这必将会为未来某个时刻民族的灾难埋下

隐患。

2、行业规范 窑炉及其他热工设备实际上是涉及多学科的行业，多年来几无规范可循。窑炉行业的规范，可以分为以下几方面：

首先是从业人员，窑炉及其他热工设备行业本质上是一个高门槛行业，国家或有关行业协会应当对窑炉的设计与主要制造、施工人员加以规定，限定其资质要求。

其次是窑炉及相关企业要实行资质制度，对人员、设备及企业运作提出要求并进行审定。

第三是对窑炉及相关热工设备产品本身制定行业标准。窑炉产品解决的是温度问题，即烧成制度(或压力制度)或热处理。针对不同使用目的、不同使用温度，对窑炉进行分类，对窑炉的设计、选材、辅助设备选型、燃烧与控制、制造、安装与调试以及设备的安全性等方面特别是对耐火材料、烧嘴及其控制系统、窑炉控制系统等进行规定。除此之外，还必须对窑炉产品本身的性能如燃耗指标、电耗指标、排放指标、操控水平等制定检测、评判标准。

窑炉是绝大部分工业和生活产品的来源，窑炉行业只有在规范中才能进步，窑炉行业进步了，工业才能进步，社会才能进步!更甚者，我们的减排才成为可能。

3、研发投入 窑炉是多学科交叉行业，涉及到材料学(钢结构与耐火材料等)、燃烧与控制学、热工学、机电学、自动化与控制学等多分支。窑炉行业同时又是古老的行业，具有相当长的历史，古时的中国就有龙窑、钧窑、官窑等，享有盛誉，但归根结底都是土窑，不节能。窑炉的历史，就是文明进程的历史，随着科技的发展，窑炉行业也有了飞速的发展，催生出了现代的物质文明。所有高尖端材料如航天航空材料、特种材料(如高温材料、高强度材料、耐腐蚀材料等)等，无不是窑炉的杰作。中国的科技实力落后于西方发达国家，其中重要的一方面，就是窑炉行业的落后。窑炉行业的发展是与前述的各学科的发展息息相关的，或者反过来说，把各学科的最新发展技术应用到窑炉行业，促进了窑炉行业的发展与进步，进而夯实了现代的物质文明。在我国，由于经济优先的原则，窑炉行业规范的缺失，导致窑炉产品鱼龙混杂，进而使低端烧成产品在市场上大行其道。这是其一，也就是说由于新技术都是意味着成本的增加，导致用户不会主动采用

新技术;其二,我们在相关领域的研发方面也是落后于发达国家的。

二、窑炉的设计与制造

一是精工的制作;一是最新技术的应用。智能化的窑炉及相关产品,是我们的追求。最新的燃烧理论与燃烧设备(系统),最新的控制技术都在我们的产品中得以应用。

对于适应于连续式生产的辊道窑与隧道窑采取如下措施确保窑炉的品质从而提升窑炉的节能性:

1、优化设计方案。对不同用户的不同产品、不同产量、不同温度曲线作针对性设计,在满足产品烧成的情况下,尽可能节约空间,尽可能适应于多产品、多制度的烧成。在设计中贯彻以下基本技术:

①热平衡分叉图。根据分叉图,在着手窑炉的设计之前作一基本的热工计算。分叉图为设计师的设计指明了基本的设计方向。比如说对窑体的处理,对烟气的处理,从分叉图可以看出孰轻孰重。不同的炉型,热平衡分叉图大同小异。

②采用优质材料,包括钢材与耐火材料。钢材与耐火材料是窑炉的基本主体,直接关系到窑炉的耐用性和节能指标。窑炉是与火,与高温打交道的产品,工作环境恶劣。窑炉结构的稍有不慎,将会带来严重后果,所以窑炉的主体选材必须慎之又慎。

钢结构必须选用正规厂家的优质钢材,焊接牢固、打磨、除锈除污、喷防锈漆(最好选用富锌漆)与金属面漆。经如此处理与制作的钢结构才会长期不生锈,经久耐用。

耐火材料依温度要求选用导热系数、比重(热比容)、高温物理性能均较佳的材料,同时特别注重材料品质的一致性,确保窑炉使用时至高的保温 \square 热性和至低的窑体蓄热,以及窑炉至长的使用寿命。

2、除了上述常规的技术外,本公司还有如下针对辊道窑和隧道窑的独特技术:

①余热利用压力平衡系统。在管径一定的条件下,流量取决于管道压力。依此原理本公司开发出的余热利用系统,可以将余热做不同用途而不致丝毫影响窑炉的正常工作。

②脉冲控制系统脉冲控制实际上是最接近于微变量控制理论的燃烧系统。温

度曲线上的每一上升或保温实际上是由无数的微变量 Δ 热输入组成，而脉冲控制的特点就是需要热输入时是大火，不需要时烧嘴完全关闭，正是做到了一个细小的变量，确保了温度曲线的连续、平滑。除此之外，由于脉冲是在大火与零之间变化，加上脉冲系统的随机均衡性，整个窑炉内部的高温气体因搅拌而相当均化。所以脉冲系统对于宽体窑，或者需要极小温差的制品烧成，有明显的优势。

③窑炉控制 PLC+HMI+SCADA 系统有了高质量的、热输出恒定准确的燃烧与控制系统，使得 PLC 在窑炉操控上的实际应用成为可能。而 PLC 的应用，辅以详实的燃烧数据如烧嘴功率、燃料空燃比、温度曲线特性、管道压降等，使窑炉的全智能控制得以有效地实现。值得一提的是采用温度(或压力)模块，由于运用了 PID 回路的比例、积分、微分技术，而这些参数又可根据不同使用环境进行设置，使得其应用相对于普通温控表更有效。HMI 即触摸屏，为窑炉操作的人机界面。本公司推出的窑炉操作 SCADA 系统是基于 iFax4.0 以上中文无限点扩展网络版开发而成，其功能十分强大。

④烟气的减排与利用 烟气带走的热占总热的比重相当大，能够把这部分热利用起来，将会带来很大的经济效益。本公司将采取两方面的措施对烟气进行处理：

A 开发全封闭半成品全自动高效干燥系统，充分利用烟气热能。

B 将多孔陶瓷用于烟气的处理。

结语 窑炉节能减排的首要方向是窑炉的品质，国家应当出台相应的措施，限制落后的、劣质的材料在窑炉产品上使用，因为劣质的材料除了导致高的维修率，还导致了高淘汰率，运行成本和折旧成本相当大。在英国考察时，曾见有使用超过 30 年的窑炉，对我是相当大的震撼，所以提出了窑炉品质论的观点，希望能引起广大同仁和用户的共鸣。在品质的基础上，窑炉的节能方向在于新技术在窑炉工程上的成功应用，因为任何新的技术，一定能带来巨大的经济效益。而能够节能的窑炉，在相当大程度上又是减排的。

14 参 考 文 献

- [1]刘振群主编.《陶瓷工业热工设备》.武汉：武汉工业大学出版社，1989
- [2]胡国林著.《建陶工业辊道窑》.北京:中国轻工业出版社，2009.2
- [3]汪和平，冯青编.《窑炉砌筑与安装》.景德镇陶瓷学院，1998
- [4]王秉铨.《工业炉设计手册》.北京机械工业出版社.1996.8
- [5]王维邦主编.《耐火材料工艺学》.鞍山钢铁学院.冶金工业出版社，1994
- [6]姜正侯.《燃气工程技术手册》.同济大学出版社.1993.5
- [7]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
- [8]续魁昌.《风机手册》.北京机械工业出版社.1995.5
- [9]冶金工业部.《筑炉工手册》.北京：中国工业出版社，1970