

目 录

摘 要.....	1
1 设计任务书及原始资料.....	4
2 烧成制度的确定.....	6
2.1 温度制度的确定.....	6
2.2 气氛制度.....	6
2.3 压力制度.....	6
3 窑体主要尺寸确定.....	7
3.1 窑内宽的确定.....	7
3.2 窑体长度的确定.....	7
3.3 各带长度的确定.....	7
3.4 辊上高、辊下高的确定.....	9
4 工作系统确定.....	10
4.1 排烟系统.....	10
4.2 烧成系统.....	10
4.3 冷却系统.....	10
4.4 窑体附属结构的布置.....	11
5 窑体材料及厚度的确定.....	13
5.1 各段窑体材料及厚度选用校核及计算依据：.....	13
5.2 窑体材料的选用与厚度校核.....	13
6 燃料及燃烧计算.....	15
6.1 理论空气需要量.....	15
6.2 实际空气需要量.....	15
6.3 用经验公式计算实际烟气生成量.....	15
6.4 燃烧温度.....	15
7 物料平衡.....	16
7.1 每小时出窑制品的质量.....	16
7.2 每小时入窑干制品的质量.....	16
7.3 每小时入窑湿制品的质量（含水量 0.8%）.....	16
7.4 每小时蒸发自由水的质量.....	16
8 热平衡计算.....	17
8.1 预热带、烧成带热平衡示意框图.....	17
8.2 热收入项目.....	17
8.3 热支出项目.....	18
8.4 列热平衡方程.....	20
8.5 冷却带热平衡示意图.....	21
8.6 热收入.....	21
8.7 热支出.....	22
8.8 热平衡方程.....	24
8.8.1 冷却带平衡列表.....	24
9 传动计算.....	25
9.1 传动系统的选择.....	25
9.2 传动过程.....	25
9.3 辊子材质的选择.....	25

9.4 辊距的确定.....	25
9.5 辊子传动过程中的联接方式.....	25
9.6 辊子转速的选择.....	25
10 管道计算、阻力计算和风机选型.....	27
10.1 管道计算.....	27
10.2 阻力计算.....	27
10.3 排烟风机选型.....	27
10.4 其他管路阻力计算：	28
11 烧嘴选型.....	30
11.1 每个烧嘴所需燃烧能力.....	30
11.2 选用烧嘴应注意的原则.....	30
11.3 烧嘴选用.....	30
12 工程材料概算.....	31
12.1 钢架结构所用钢材用量概算：	31
致 谢.....	33
参考文献.....	34
外文翻译.....	35

摘 要

本设计的题目是日产 2.6 万 m² 内墙砖天然气辊道窑。说明书中具体论述了设计时应考虑的因素, 诸如窑体结构、排烟系统、烧成系统和冷却系统等等. 同时详细的进行了对窑体材料的选用、热平衡、管路、传动设计等的计算。

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

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

关键词: 辊道窑、PID 控制、稳定

Abstract

This instruction elaborated the roller kiln. The daily production of this roller kiln is 2.6 million square meter wall tiles. 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 materials, the calculation of heat balance , the pipeline design, the transmission design to the kiln and so on.

The fuel of this kiln is liquefied-natural 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 is eased to 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 determination of kiln body dimension, work system, the choice of material, 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 engineering material.

<Keywords>: roller kiln, PID control, stably

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，目前已广泛用于釉面砖、墙地砖、彩釉砖等建筑陶瓷工业生产中，它代表了陶瓷工业窑炉的发展方向，这是因为辊道窑具备其他陶瓷工业窑炉无可比拟的优点。

辊道窑断面呈扁平形，制品一般为单层焙烧，故上下温差很小；辊上下还能同时加热，并且制品不装匣钵（采用裸烧），传热速率加快，窑内断面温度也均匀，从而大大缩短了烧成时间，保证了快速烧成的实现。辊道窑普遍广泛采用新型轻质耐火材料，并且取消了窑车和匣钵，仅用薄垫板，建筑瓷砖还大多不用垫板，使热耗大为降低。辊道窑属中空窑，窑内阻力小，压降也就小，故窑内正负压都不大；加上辊道窑无曲封、车封、沙封等空隙，窑体密封性能好，减少了漏风，从而大大提高了热利用率。没有了窑车吸热，也就没有了车下漏风，也就保证了窑内上下温度的均匀。

辊道窑由于窑内温度场均匀，从而保证了产品质量，也为快烧提供了条件；而辊道窑中空、裸烧的方式使窑内传热速率与传热效率大，又保证了快烧的实现；而快烧又保证了产量，降低了能耗。机械化，自动化程度高，并能和其它生产设备组成完整的现代化生产线。所以，辊道窑是当前陶瓷工业中优质、高产、低消耗的先进窑炉，在我国已得到越来越广泛的应用。

在设计过程中，我对窑炉设计及施工过程有了更深的认识，也有了一些体会，对将来的工作有了更多的自信，对未来的工作做了一些规划，也充满了希望，期望通过自己的努力工作和不断学习，最后能够获得成功。

1 设计任务书及原始资料

景德镇陶瓷学院毕业设计（论文）任务书

院（系） 工程系

2013 年 11 月 8 日

专业	热能与动力工程	班级	热工 2014 级
学生姓名	范泽京	指导教师	汪和平
题目	日产 2.6 万 m ² 内墙砖天然气辊道窑设计		
主要研究内容和设计技术参数：			
1、日产量：26000 平米			
2、产品规格：450×300×6mm, 产品单重 1.86kg			
3、烧成周期：30 分钟			
4、烧成气氛：全氧化气氛			
5、最高烧成温度：1180 °C			
6、燃料：天然气			
7、其他条件自定			
基本要求（含成果要求）：			
1、通过设计计算确定窑体材料及厚度、主要结构尺寸、管路系统等。			
2、确定工作系统安排，编写设计说明书，并打印输出。			
3、绘出设计图纸一套，编写设计说明书，并打印输出。			
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。			
5、相关文献综述翻译。			
工作进度计划：			
第十七到十八周：查阅、收集资料与设计有关的文献；			
第十九到第四周：进行设计计算，编写说明书初稿；			
第五周到七周：绘制窑体结构图，砌筑图、钢架结构图；			
第八到十一周：绘制管路系统图，异型砖图及附件图；			
第十二到第十四周：图纸上墨或打印，说明书整理；			
第十五周准备答辩。			

1.1 坯料组成：(%)

表 1-1 (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

2 烧成制度的确定

2.1 温度制度的确定

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，相辅相承。

只要窑内温度均匀，各阶段都可以加快。但氧化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热，要综合上述原则进行制

对于辊道窑而言，窑内容易保证均匀，因此可以快速升温与冷却。现对各阶段所需时间进行分析：入窑水分<1.0%，升温速度达 150~200℃/h 便会使制品开裂。对于辊道窑来说，快速升温阶段不是石英转化的危险阶段，但是在此阶段一系列的氧化分解反应需要足够的时间。氧化反应速度一般随温度的升高而加快。在最高烧成温度下保温一定的时间。急速冷却阶段是产品处于塑性阶段，故可以较快地冷却制品，但是急冷后期（也即 700~400℃时）降温速率应减慢（因为制品在此温度段时，已基本硬化，若冷却过快，由于膨胀收缩的原因，易使制品炸裂），400℃以后随着制品强度的增加，可以快速冷却。现在具体列表如下表所示：

表 2-1

预热带	20-250℃
	250-900℃
烧成带	900-1180℃
	1180℃
冷却带	1180-700℃
	700-400℃
	400-80℃

2.2 气氛制度

根据要求全窑为氧化气氛烧成

2.3 压力制度

预热带为(-40)~(-25)Pa, 烧成带<8 Pa

3 窑体主要尺寸确定

3.1 窑内宽的确定

窑内宽为窑道内两侧墙间的距离，随着辊子材料质量的提高，生产技术的进步，辊道窑的内宽有进一步加宽的趋势。增加辊道窑的有效内宽可以提高产量、降低能耗。

在确定窑的内宽的时候，一方面要考虑辊子长度、窑墙厚度、还要考虑水平方向温度的均匀性等因素。根据产量，所用的燃料，窑内传热等因素，粗略确定内宽的尺寸，设计为 B 米，成品的尺寸为 450×300×6mm，制品的烧成缩和磨边倒角的总损耗取 10%。

$$\text{坯体尺寸} = \text{产品尺寸} / (1 - \text{烧成收缩}) = 300 / (1 - 10\%) = 333\text{mm}$$

两侧坯体与窑墙之间的距离取 100–200mm，假设 B=3m，根据所定内宽 B，计算宽度方向坯体排列的块数为：

$$n = (3000 - 150 \times 2) / 333 = 8.11, \text{ 确定并排 8 块}$$

$$333 \times 8 + 2 \times 150 = 2964 \text{ mm, 有效宽为 2900 mm}$$

但是为了利于烟气排除窑外、压力控制和温度制度的实现，加速预热带的升温和冷却带的降温速度，本设计采用加宽烧成带的内宽，取 3000mm。

3.2 窑体长度的确定

3.2.1 装窑密度

$$K = (1000 \div 500) \times 8 \times 0.135 = 2.16 \text{ m}^2/\text{每米窑长}$$

3.2.2 窑容量

$$\begin{aligned} \text{窑容量} &= [\text{产量}(\text{m}^2/\text{a}) \times \text{烧成周期}(\text{h})] / [24 \times \text{合格率}(\%)] \\ &= [26000 \times (30/60)] / (24 \times 98\%) = 552.72 \text{ (m}^2/\text{每窑)} \end{aligned}$$

3.2.3 窑长的确定

$$L = 552.72 / 2.16 = 255.9\text{m}$$

3.2.4 单节长度的确定

辊距的确定原则：1/5–1/3 的制品长度，但是考虑到该窑炉比较长且产量比较大，且根据实际生产经验 450×300 的砖辊距一般取 75mm，本设计采用 75mm 的辊距。同时单元节长度一般为 2 m 左右，本设计预热带前部和冷却带部分采用 28 根棍棒，所以单节长度为 2100mm；总共 122 节，全窑长 122×2.1=256.2m。

3.3 各带长度的确定

3.3.1 预热带长：

$$11 \div 30 \times 255900 = 93830\text{mm}$$

取 36 节(第 1–36 节)。

3.3.2 烧成带长：

$$6 \div 30 \times 255900 = 51180\text{mm}$$

取 38 节(第 37–74 节)。

3.3.3 冷却带长：

$13 \div 30 \times 255900 = 110890\text{mm}$

取 48 节（第 75-122 节）。

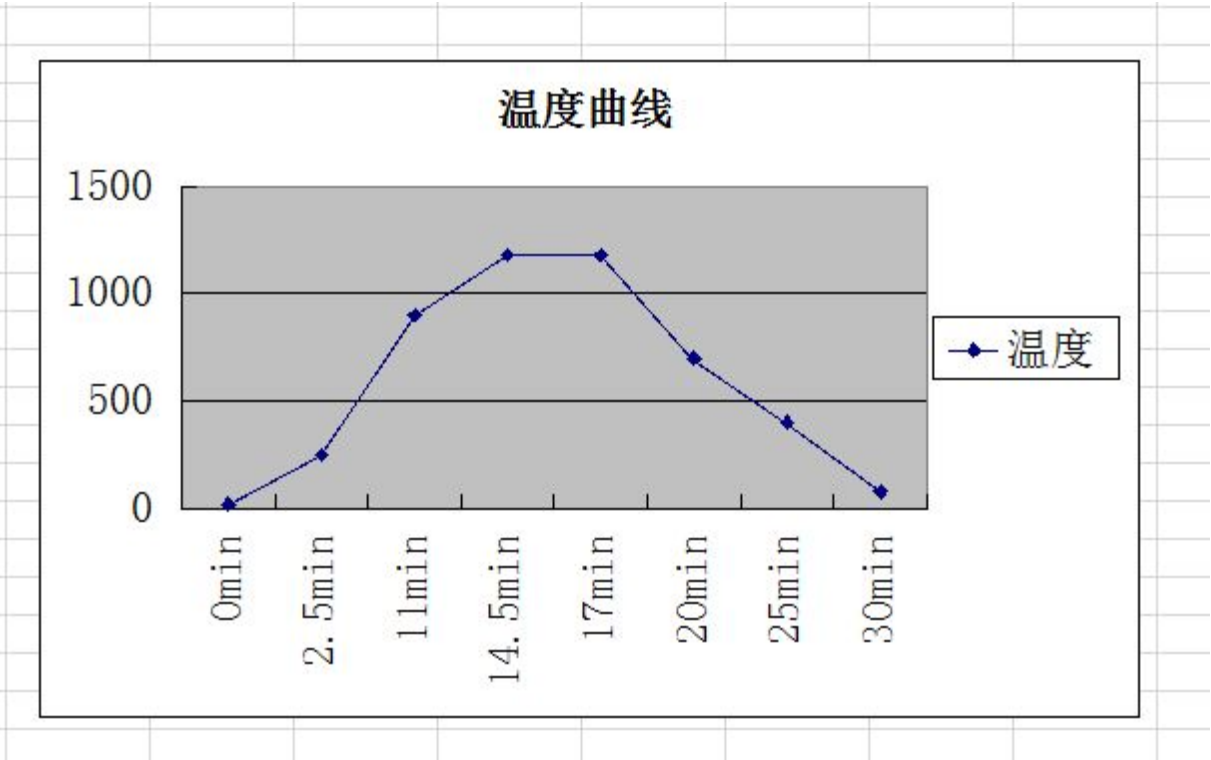
所以烧成制度和温度曲线对应的单元节的位置如下表所示：

表 3-1

位置	节数	温度 ℃	变温速率 (℃·min ⁻¹)	时间 (min)
预热带	1-10	20-250	92	2.5
	11-36	250-900	76.5	8.5
烧成带	37-57	900-1180	80	3.5
	58-74	1180	0	2.5
冷却带	75-97	1180-700	-160	3
	98-112	700-400	-60	5
	113-122	400-80	-64	5

下图为温度曲线图：

图 3-2



3.4 辊上高、辊下高的确定

内高为窑道内整个空间的高度，等于辊上高（辊道中心线至窑顶的距离）与辊下高（辊道中心线至窑底或隔烟板的距离）之和。辊上高应大于制品高度，考虑到外墙砖的高度小，又是单层焙烧，只要保证气流顺畅即可。

从理论上来说对焙烧建筑瓷砖的辊道窑辊下高最好应大于砖对角线长度，但由于该制品较大，若按此计算会造成内高太大，既增大了窑墙散热，又不利于窑内传热。由于制品从辊上掉下，一般都发生了破损，尺寸都比整砖小了，故根据辊道窑实际状况来看取辊下高 400mm。

辊上高、辊下高分部表：

表 3-3

位置/节	辊上高/mm	辊下高/mm	总高/mm
预热升温段、冷却 降温段	300	400	700
烧成升温段	360	460	820
急冷降温段	300	400	700

4 工作系统确定

辊道窑的工作系统包括排烟系统、燃烧系统、冷却系统等，下面是各系统的安排及位置情况：

4.1 排烟系统

明焰辊道窑可分别从窑顶和窑底设排烟口，本设计采用准集中排烟法排烟。在第 1、3、5、7、9、11、13 节设置顶抽和底抽。每排三个，在各烟口分别用圆管引出，汇总到窑顶、窑底的排烟支管中，最后连接到总管进行集中排烟。在 7-9 节窑顶设置放排烟风机的平台，并排布置一级排烟风机和二级排烟风机，左右各一台，其中一台备用。

4.2 烧成系统

本设计的为明焰辊道窑，且使用水煤气作燃料，所以采用全部喷入窑道内燃烧的方式，仅通过烧嘴砖的燃烧道中空部分燃烧，而不另设燃烧室，并在辊子上下各设一层烧嘴，同一层烧嘴两侧交错布置，同一侧烧嘴上下交错布置。

4.2.1 烧嘴的设置

本设计在 600℃ 18 节就开始设置烧嘴，有利于快速升温 and 温度调节，缩短烧成周期，达到快烧的目的。考虑到在低温段设置烧嘴不宜太多。因此，在 18-36 节的辊下设置两对烧嘴；在 37-74 节每节的辊上辊下总共设置四对烧嘴；辊上辊下烧嘴及对侧烧嘴均互相错开排列；总共 380 支烧嘴。在每个烧嘴对侧窑墙分别设置一个火焰观察孔，但如遇到事故处理孔，则取消观察孔。

4.2.2 煤气输送装置

煤气由煤气站经升压风机升压，通过管道、阀门、总管煤气处理系统，送至各节烧嘴，每四支烧嘴共一根供气支管。助燃空气由风机通过助燃主管道、支管和阀门送至烧嘴。

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。从热交换的角度来看，冷却带实质上是一个余热回收设备，它利用制品在冷却过程中所放出的热量来加热空气，余热风可供干燥或作助燃风用，达到节能目的。

4.3.1 急冷通风系统

从烧成最高温度至 700℃ 以前，制品中由于液相的存在而具有塑性，此时可以进行急冷，最好的办法是直接吹风冷却。辊道窑急冷段应用最广的直接风冷是在辊上下设置横 窑断面的冷风喷管。每根喷管上均匀地开有圆形或狭缝式出风口，对着制品上下均匀地喷冷风，达到急冷效果。由于急冷段温度高，横穿入窑的冷风管须用 304 不锈钢制成，管径为 76mm。本设计也采用此种结构，其中 91、92 节为过度区，在 93-98 节窑长进行急冷，每节辊上辊下均匀分布 8 支急冷风管，风管采用交错排列布置。前三节急冷管开口比后面的三节急冷管开口少。

4.3.2 缓冷通风系统

制品冷却到 700–400℃ 范围时, 由于有晶型转换, 会有比较大的体积变坏, 是产生冷裂的危险区, 应严格控制该段冷却降温速率。为达到缓冷目的, 一般采用热风冷却制品的办法。大多数辊道窑在该段设有抽热风口, 使从急冷段与窑尾快冷段过来的热风流经制品, 让制品慢速均匀地冷却。本设计设置一节过度, 第 99 节; 在 100–114 布置换热管和抽热风的方法, 抽走来至急冷带和快冷带的热风, 这样可缓和降温速率, 达到抽走急冷段的热风。换热管布置在辊上, 每节布置 8 根; 115–120 节为过渡节, 只在辊上开设抽热风口。

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。介由于制品温度较低, 使传热动力温差小, 即使允许快冷也不易达到。而此段冷却也很重要, 如达不到快冷目的出窑产品温度大于 80℃ 时, 制品即使在窑内没有开裂, 也会因出窑温度过高而出窑后炸裂, 故要加强该段的吹风冷却。一般都采用快冷风管进行快冷。其冷却效果好, 并便于该段温度的调节。

4.4 窑体附属结构的布置

4.4.1 事故处理孔

本设计将事故处理孔设在辊下, 辊上只在 99 和 100 节设置, 且事故处理孔下面与窑底面平齐, 以便于清除出落在窑底上的砖坯碎片。为加强窑体密封, 应尽量少设置事故处理, 而为了便于处理事故, 两侧墙事故处理一般采用交错布置形式, 为了能清除窑内任何位置上的事故而不造成“死角”, 两相邻事故处理孔间距不应大于事故处理孔对角线延长线与对侧内壁交点连线。考虑到砌筑应该比求出值稍大一点, 故取事故处理孔长度为: 330mm×199.5mm。对于事故处理孔在不处理事故时, 要进行密封, 内部堵塞耐火材料做成的事故孔塞砖, 外部采用和窑墙同等材质的保温纤维之类的棉类制品制成棉塞。塞于事故孔塞砖的外部起密封作用。密封是为了防止热气体外溢, 冷风漏入等引起的热损失对烧成制度产生影响。

4.4.2 测温孔、测压孔、观火孔、膨胀缝和挡板挡墙

4.4.2.1 测温孔:

为严密监视及控制窑内温度制度, 及时调节烧嘴开度, 一般在窑道顶及火道侧墙留设若干处测温孔以安装热电偶。测温孔间距一般为 3–5 米, 高温段布密些, 低温段布稀些, 在烧成曲线的关键点, 如氧化末段、晶型转化点、釉始熔点、成瓷段、急冷结束等都应设测温孔。

4.4.2.2 测压孔:

压力制度中零压面的位置控制特重要, 一般控制在预热带和烧成带的交界面附近。若零压过多移向预热带, 则烧成带正压过大。有大量热气体逸出窑外, 不但损失热量, 而且恶化操作条件; 若零压过多移向烧成带, 则预热带负压大, 易漏入大量冷风, 造成气体分层, 上下温差过大, 延长了烧成周期, 消耗了燃料。

4.4.2.3 观火孔:

在每个烧嘴的对侧窑墙设置观察孔,以便及时观察窑内情况。辊上的观察孔亦可用于观察窑内走砖情况,所以上观察孔需在窑墙上加工一向下的狭缝。

4.4.2.4 膨胀缝:

由于窑体受热会膨胀,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 1—1.5m 左右留设 10—15mm 膨胀缝,内填与窑墙材料同等耐火度的陶瓷纤维。

4.4.2.5 挡板、挡墙:

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,同时也为了增长烟气在窑内的停留时间 提高烟气的热利用率,通常在辊道窑工作通道的某些部位,辊下筑挡墙,辊上插入挡板,缩小该外工作通道面积,以增加气流阻力,便于压力与温度制度的调节。在烧成带和冷却带设置挡墙、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向烧成带而降低高温区温度。再一个就是防止高温烟气的辐射对急冷管的损害。预热带设置挡墙、挡板可以增加烟气在高温区的滞留时间,提高烟气利用率比,可控制低温区的温度。

5 窑体材料及厚度的确定

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，对窑墙的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，窑墙的厚度变化不要太多；
- (2) 各层材料的厚度应为砖尺寸整倍数，墙高则为砖厚的整倍数，尽量少加工砖；
- (3) 要保证散热量小—窑墙外壁的最高温度应不大于 80℃；
- (4) 两侧墙的总厚度与窑内宽之和应小于所选用的辊子长度。

5.1 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。

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

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

5.2 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—1180℃，最高使用温度—1300℃（除辊棒外的窑体结构），

取外壁最高温度 $t_3=80℃$ ，环境温度取 $t_a=20℃$ 。

$$a = 2.56(t_3 - t_a)^{\frac{1}{4}} + \frac{4.56[(t_3)^4/100 - (t_a)^4/100]}{t_3 - t_a}$$

$$= 2.56(80 - 20)^{\frac{1}{4}} + \frac{4.54[(80)^4/100 - (20)^4/100]}{80 - 20} = 14(W/m^{\circ}C)$$

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

据导热公式有:

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

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, 窑炉所选用耐火材料清单如下:

表 5-1

名称	材质		使用温度	导热系数	厚度
1—36 节，75—122 节					
窑顶	耐火层	轻质高铝砖	1200	0.080+0.00026t	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
37—74 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+0.000145t	195

6 燃料及燃烧计算

6.1 理论空气需要量

天然气低发热量为值 38.0MJ/m³，根据《热工手册》相关资料查得

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

6.2 实际空气需要量

取空气过剩系数 $\alpha = 1.15$

$$\text{则实际空气量: } V_a = \alpha V_a^0 = 1.15 \times 9.375 = 10.64 \text{ m}^3 / \text{Nm}^3$$

6.3 用经验公式计算实际烟气生成量

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

$$\text{实际烟气量 } V_g = V_g^0 + (\alpha - 1) V_a^0 = 10.59 + (1.15 - 1.0) \times 9.25 = 11.98 \text{ m}^3 / \text{Nm}^3$$

6.4 燃烧温度

$$\text{理论燃烧温度 } T_{\text{th}} = (Q_{\text{net}} + V_a C_a T_a + C_f T_f) / V_g C_g$$

当温度为 20℃ 时， $Q_{\text{net}} = 38.0 \text{ MJ/m}^3$ ，空气比热系数 $C_a = 1.30 \text{ KJ/m}^3 \cdot ^\circ\text{C}$ ，天然气比热为 1.38 KJ/m^3

$$\text{设: } t = 1800^\circ\text{C}, \text{ 则 } C_f = 1.67 \text{ KJ/m}^3 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$\begin{aligned} \text{所以: } t &= (10500 + 1.2 \cdot 8665 \times 1.3 \times 20 + 1.38 \times 20) / (3.3195 \times 1.67) \\ &= 1871.9^\circ\text{C} \end{aligned}$$

$$(1871.9 - 1800) / 1800 = 0.0399 = 3.99\% \text{ 基本合理}$$

取高温系数为 0.75，则实际的温度为： $t = 0.75 \times 1871.9 = 1404^\circ\text{C}$ ，比 1180°C 高出 224°C ，高于 80°C 以上，这符合烧成要求，保证产品达到烧熟的目的，空气可以不预热便可使用。

7 物料平衡

7.1 每小时出窑制品的质量

$$G_m = 26000 \times 1.86 / 24 \times 0.98 = 2056.12 \text{ Kg/h}$$

7.2 每小时入窑干制品的质量

$$G_{gp} = G_m \times 100 / (100 - 5.82) = 2183.18 \text{ Kg/h}$$

7.3 每小时入窑湿制品的质量（含水量 0.8%）

$$G_{sp} = G_{gp} / 1 - 0.008 = 2200.60 \text{ Kg/h}$$

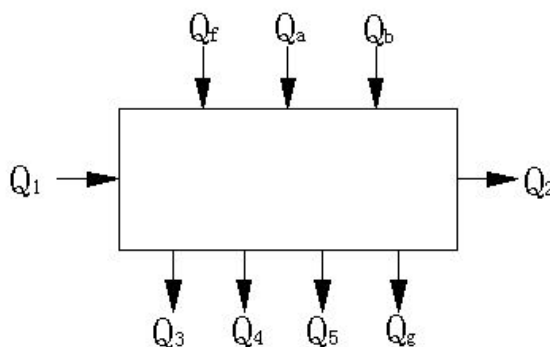
7.4 每小时蒸发自由水的质量

$$G_{zs} = 2200.60 - 2183.18 = 17.42 \text{ Kg/h}$$

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，哪项热耗最大，能否采取改进措施。

8.1 预热带、烧成带热平衡示意框图



热平衡示意图

坯体带入显热： Q_1

热制品带出显热： Q_2

燃料带入化学热及显热： Q_f

窑体散失热： Q_3

助燃空气带入显热： Q_a

物化反应耗热： Q_4

预热带漏入空气带入显热： Q_b

其他热损失： Q_5

烟气带走显热： Q_g

8.2 热收入项目

8.2.1 坯体带入显热 Q_1

入窑湿制品质量： $G_1=2200.60\text{Kg/h}$

温度为 20°C ，比热容为 $C_1=0.84+26\times 10^{-5}\times 20^\circ\text{C}$
 $=0.845\text{KJ/Kg}\cdot^\circ\text{C}$

所以： $Q_1=G_1C_1t_1=2200.60\times 0.845\times 20=37190.14\text{KJ/h}$

8.2.2 燃料带入化学显热 Q_f

天然气低热值为： $Q_{\text{net}}=38000\text{KJ/Bm}^3$

入窑天然气温度： $t_f=20^\circ\text{C}$ 时，比热容为 $C_f=1.55\text{KJ}/(\text{m}^3\cdot^\circ\text{C})$

设天然气消耗量为 $x\text{ m}^3/\text{h}$

则： $Q_f=X(Q_{\text{net}}+c_{\text{f}f})=x\times(38000+1.55\times 20)=38031x(\text{kJ/h})$

8.2.3 助燃空气带入显热 Q_a

助燃空气的温度 20°C ， 20°C 空气比热容为 $1.30\text{KJ}/(\text{m}^3\cdot^\circ\text{C})$

实际总量为 $Q_a=V_a\cdot x\text{ cata}=10.64x\times 1.3\times 20=276.64x(\text{KJ/h})$

8.2.4 预热带漏入空气带入显热 Q_b

预热带入空气过剩系数 $ag=2.0$, 漏入空气温度为 20°C . $Ca=1.3\text{KJ}/\text{m}^3\cdot^{\circ}\text{C}$

$$\begin{aligned}\text{漏入空气总量为 } V'_a &= x \cdot (ag-a) \cdot V_a^0 = x \times (2.0-1.15) \times 9.25 \\ &= 7.86 x \text{ m}^3/\text{h}\end{aligned}$$

所以: $Q_b = V_a C_a T_a = 7.86 x \times 1.3 \times 20 = 204.4 x \text{ KJ/h}$

8.3 热支出项目

8.3.1 产品带出显热 Q_2

烧成产品质量 2056.12Kg/h , 制品出烧成带温度 1180°C , 制品平均比热容 $C_2=0.84+26 \times 10^{-5} \times 1180=1.15\text{KJ}/\text{Kg} \cdot ^{\circ}\text{C}$

所以: $Q_2 = G_2 C_2 t_2 = 2056.12 \times 1.15 \times 1180 = 2790154.84 \text{ (KJ/h)}$

8.3.2 烟气带走显热 Q_g

离窑废气中包括燃烧生成的烟气、预热带不严密处漏入空气, 还有坯体在烧制过程中产生的气体, 取离窑废气中空气过剩系数 $\alpha = 2.0$, 则其体积流量为: $V_g = [V_g^0 + (ag-a) \cdot V_a^0] \cdot x = (10.59 + (2.0-1.3) \times 9.25) \cdot x = 17.065x \text{ m}^3/\text{h}$

烟气离窑温度 $T_g=200^{\circ}\text{C}$, $C_g=1.445\text{KJ}/\text{m}^3\cdot^{\circ}\text{C}$

所以: $Q_g = V_g T_g C_g = 17.065x \times 200 \times 1.445 = 4931.79x \text{ KJ/h}$

8.3.3 窑体散失热

根据各段材料不同, 并考虑温度范围不能太大, 将窑段分成三部分计算:

8.3.3.1 $20-250^{\circ}\text{C}$ 段, 1-10 节:

环境温度取 20°C , 窑外壁表面平均温度 40°C , 窑内壁表面平均温度: $(20+250)/2=135^{\circ}\text{C}$ 。

a. 窑顶散热:

$$\text{单位热流量 } q = \frac{t_1 - t_0}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} = (135-40) / (0.23/0.6708 + 0.09/0.13) = 70.89 \text{ w/m}^2$$

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:

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

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

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/m^2)

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

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

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

所以低温段窑体总散热量:

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

8.3.3.2 250—900℃段, 11—36 节:

环境温度 20℃, 窑外壁表面平均温度 60℃, 窑内壁表面平均温度: $(250+900)/2=575^\circ\text{C}$

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:

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

$$\text{一侧墙散热面积 } A_{\text{墙}} = [0.7 + (0.7+0.23+0.09+0.13+0.195)/2] \times 2 \times 36 = 73.62 \text{ m}^2$$

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

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:

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

8.3.3.3 900—1180℃段, 37—57 节:

环境温度 20℃, 窑外壁表面平均温度 80℃, 窑内壁表面平均温度: $(900+1180)/2=1040^\circ\text{C}$

a. 窑顶散热:

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

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

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

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:

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

8.3.4 物化反应耗热 Q_4

①自由水蒸发吸热 Q_w

$$\text{自由水质量 } G_{zs} = 2200.60 - 2183.18 = 17.42 \text{ (Kg/h)}$$

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

$$\therefore Q_w = G_{zs}(2490 + 1.93t_g) = 17.42 \times (2490 + 1.93 \times 400) = 56824.04 \text{ (KJ/h)}$$

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

$$\text{入窑干制品质量} = 2183.18 \text{ kg/h} \quad Al_2O_3 \text{ 含量} = 16.34\%$$

$$\therefore Q_r = G_1 \times 2100 \times Al_2O_3\% = 2183.18 \times 2100 \times 16.34\% = 749136.39 \text{ (kJ/h)}$$

$$\text{故 } Q_4 = Q_w + Q_r = 56824.04 + 749136.39 = 805960.43 \text{ (kJ/h)}$$

8.3.5 其他热损失, 大约占热收入的 5%.

$$\begin{aligned} \text{所以: } Q_5 &= (Q_1 + Q_r + Q_a + Q_b) \times 5\% \\ &= (37190.14 + 38031x + 276.64x + 204.4x) \times 5\% \\ &= (37190.14 + 38512.04x) \times 5\% \\ &= 1859.51 + 1925.6x \end{aligned}$$

8.4 列热平衡方程

$$Q_1 + Q_r + Q_a + Q_b = Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6$$

$$\begin{aligned} 37190.14 + 38031x + 276.64x + 204.4x &= 2790154.84 + 1743963 + 805960.43 + 4931.79x \\ &+ 1859.51 + 1925.6x \end{aligned}$$

$$\text{解得 } x = 167.52 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{每小时烧成制品质量为: } 2056.12 \text{ (Kg/h)}$$

$$\text{每公斤产品热耗: } 38000 \times x / 2056.12 = 3096 \text{ (Kg/Kj)}$$

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

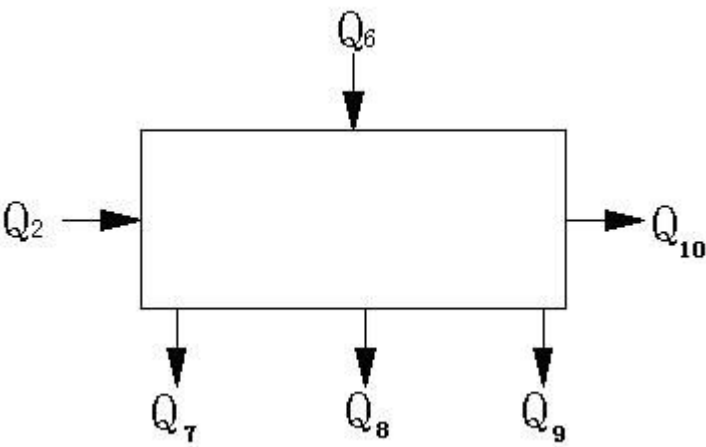
8.4.1 预热带烧成带热平衡表

表 8-1

热收入			热支出		
项目	KJ/h	%	项目	KJ/h	%
坯体带入显热	37190.14	0.6	产品带出显热	2790154.84	43
燃料化学热及显热	6370953.12	98.2	窑体散失热	1743963	26.87
助燃空气显热	46342.73	0.7	物化反应热	805960.43	12.4
漏入空气显热	34241.09	0.5	烟气带走显热	826173.5	12.73
			其他热损失	324436.02	5
总计	6488727.08	100.0	总计	6490687.79	100.0

热平衡分析:从上面热平衡列表,看到热支出一栏中,烟气所占比例比较大,所以我们可以充分利用,通过管道可以将其送到干燥窑进行干燥利用。这样也能达到节能目的。

8.5 冷却带热平衡示意图



制品带入的显热 Q_2 冷却风带入显热 Q_6 热风抽出带走显热 Q_8
窑体散热 Q_9 其他热损失 Q_{10} 制品带出显热 Q_7

8.6 热收入

8.6.1 制品带入显热 Q_2

制品出窑温度 $t=1180^{\circ}C$

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

每小时烧成制品质量 $Gm=2056.12kg/h$

所以 $Q_2=Gmtc=2056.12*1180*1.147=2782876.18(KJ/h)$

8.6.2 急冷风窑尾风带入显热 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 2056.12 kg/h

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

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

$$\therefore Q_7 = Gm c_7 t_7 = 2056.12 \times 0.896 \times 80 = 147382.68 \text{ (kJ/h)}$$

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 $0.95V_x \text{ m}^3/\text{h}$ 。取热风抽出的温度为： $t_8=300^\circ\text{C}$ ，查表此时的比热为：

$$c_8=1.32 \text{ KJ}/\text{m}^3\cdot^\circ\text{C}$$

$$\text{则 } Q_8 = 0.95V_x \cdot c_8 t_8 = 376.2 V_x$$

8.7.3 窑体散失热量 Q_9

8.7.3.1 1180-700 $^\circ\text{C}$ 段，75-97 节：

环境温度 20 $^\circ\text{C}$ ，窑外壁表面平均温度 50 $^\circ\text{C}$ ，窑内壁表面平均温度：
(700+1180)/2=940 $^\circ\text{C}$ 。

a. 窑墙散热：

单位热流密度：

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

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

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

b. 窑顶散热：

单位热流密度：

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

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

$$\text{窑顶散热量：} Q = 3.6 \times 890 \times 78.24 = 250680.96 \text{ (KJ/h)}$$

c. 窑底散热：

单位热流密度：

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

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

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

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

8.7.3.2 700-80℃ 段，98-122 节：

窑外壁表面平均温度 50℃，窑内壁表面平均温度： $(700+80)/2=390^\circ\text{C}$ 。

a. 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：

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

b. 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：

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

c. 窑底散热：

单位热流密度：

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

$$\text{窑底散热面积 } A = 268.8 \text{ m}^2$$

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

此段总散热量： $Q_9 = 61549.93 + 146830.53 + 146830.53 = 336388.6 \text{ (KJ/h)}$

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 10%-20%。本设计取 5%，即 $0.05 V_x$ 。设定漏出空气的平均温度 $t_{10} = 400^\circ\text{C}$

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

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

8.8 热平衡方程

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

$$2782876.18 + 26V_X = 147382.68 + 376.2V_X + 336388.6 + 26.6V_X$$

$$\text{解得 } V_X = 6101.66 \text{ (m}^3/\text{h)}$$

即每小时鼓入冷风量为 6101.66 (m³/h)

8.8.1 冷却带平衡列表

表 8-2

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	2782876.18	94.6	1	制品带出热	147382.68	5
2	空气带入热	158643.16	5.4	2	窑体散热	336388.6	11.44
				3	抽热风带走热	2295444.5	78.04
				4	其他热损失	162304.16	5.52
总计		2941519.34	100	总计		2941519.94	100

热平衡分析:从上面热平衡列表,看到热支出一栏中,烟气所占比例比较大,得到了比较充分的利用。但还是有相当一部分热未利用,还有很大的开发利用空间。

9 传动计算

9.1 传动系统的选择

辊道窑的传动系统由电动机, 减速设备和传动机构所构成。常见的传动机构由链传动和齿轮传动两种, 本设计采用齿轮传动。

传动系统采用螺旋斜齿轮传动方式, 采用分段传动, 每三节窑长为一传动组, 用 1.7KW 的摆线针轮减速机带动。高温区每台摆线针轮减速机由一个变频器调节速度, 低温区每两台摆线针轮减速机由一个变频器调节速度。全窑累计减速机 20 台, 变频器 10 台, 一个电磁离合器。

操作人员可以将全窑调成一个速度。当发生堵窑事故需要处理时, 事故前的棍棒可以调成往返摆动, 事故后的棍棒可以继续将砖坯送至窑出口。这种传动方式运行平稳可靠, 调整简单, 维修量小。螺旋斜齿轮传动都采用油浴润滑, 润滑效果好, 磨损少, 使用寿命长。

9.2 传动过程

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

9.3 辊子材质的选择

辊子的材质要求十分严格, 它要求辊子具有很好的抗热震性能, 使辊子经受得起急冷急热得冲击; 要求辊子直径一致和平直, 确保产品得平直移动; 要有强的高温抗氧化性能, 使辊子能承受高温; 要有高的荷重软化温度和小的蠕变性, 使辊子在高温下具有最小的弯曲变形; 要有好的高温耐久性, 使辊子能在高温下长久的工作。另外, 还要有好的去污性能, 使粘在辊子上的釉滴或其它污物容易去掉。

本设计在低温段(1—10 节和 76—122 节)采用低温陶瓷棍棒; 在下枪区和烧成带采用的是 $\Phi 65 \times 3800$ 高温瓷棒; 在快冷段和窑头进砖辊台和窑尾出砖辊台均采用钢棒。

9.4 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, 一般用下面经验公式计算: $P = (1/5 - 1/3)L$, L 为制品长度。如前面所述取辊距为 75mm, 每节窑长 2100mm, 每节窑辊子数 $2100/75=28$; 则窑内辊子总数为 $N = 28 \times 122 = 3416$ 根。

9.5 辊子传动过程中的联接方式

依据以上原则, 联接方式辊子主动端采用弹簧夹紧式, 从动端采用托轮摩擦式, 双支点混合支撑, 便于更换辊子。

9.6 辊子转速的选择

根据辊子转速的公式:

$$n = \frac{K \times L}{\pi \times d \times t}$$

L----窑长,mm

t----烧成周期,min

d----辊子直径,mm

K----考虑到制品的滑动系数,一般取 $K = 1.05$

则: $n = 1.05 \times 255.9 / 3.14 \times 0.065 \times 30 = 166.865 \text{ r/min}$

10 管道计算、阻力计算和风机选型

10.1 管道计算

排烟系统需排烟气量:

$$V_g = 17.065X = 17.065 \times 167.52 = 2858.73 \text{ m}^3/\text{h}$$

烟气在金属管中流速 w , 取经验数据 $w=10$ (m/s)

$$\text{烟气抽出时实际体积 } V: V = V_g \cdot (273+250)/273 = 5476.6 \text{ m}^3/\text{h} = 1.5 \text{ (m}^3/\text{s)}$$

$$\text{总烟管尺寸: } d = \sqrt{4V/\pi W} = 0.44$$

为满足生产需要, 利于以后实际生产的压力控制, 主排烟管 1 内径取 450mm, 长度 5m。

$$\text{分烟管尺寸: } V' = V/2 = 1.5/2 = 0.75 \text{ (m}^3/\text{s)}$$

$$d = \sqrt{4V/\pi W} = 0.31 \text{ 取内径 } 350\text{mm}, \text{ 长度 } 4\text{m}。$$

$$\text{支管尺寸: } V'' = V/5 = 0.3 \text{ (m}^3/\text{s)}$$

$$d = \sqrt{4V/\pi W} = 0.2, \text{ 前三组取支烟管内径 } 250\text{mm}, \text{ 长度 } 3\text{m}。$$

10.2 阻力计算

料垛阻力 h_i : 根据经验每米窑长料垛阻力 0.5Pa。

设 0 压在 34—35 接交界处, 则 $h_i = (16 \times 2.295 + 18 \times 1.87) \times 0.5 \text{ Pa} = 35.19 \text{ Pa}$

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

$$h_g = -H(\rho_a - \rho_g)g = -1.8 \times (1.29 \times \frac{273}{273+40} - 1.30 \times \frac{273}{273+400}) \times 9.8 = -10.6 \text{ Pa}$$

局部阻力 h_e , 局部阻力 h_e 查得如下:

烟气从窑炉进入支管: 1	支烟管进入分烟管: 1.5
并 90° 急转弯: 1.5	分管 90° 急转弯: 1.5
分管 90° 圆弧转弯: 0.35	分管进入总管: 1.5
并 90° 急转弯: 1.5	进入交换管: 0.28

为简化计算, 烟管中烟气流速均按 10m/s 计, 烟气温度均按 250°C 计, 则:

$$h_c = (1 + 1.5 + 1.5 + 1.5 + 0.35 + 1.5 + 1.5 \times \frac{10^2}{2} \times 1.3 \times \frac{273}{273+400} + 0.28 \times \frac{2^2}{2} \times 1.3 \times \frac{273}{273+400}) = 233.6 \text{ Pa}$$

摩擦阻力系数: 金属管取 0.03。

摩擦阻力 h_f :

$$h_f = \xi_1 l/d \times \frac{w^2}{2} \times \rho_g = 0.03 \times \left(\frac{0.5}{0.25} + \frac{3.2}{0.35} + \frac{4}{0.6} \right) \frac{10^2}{2} \times 1.3 \times \frac{273}{273+400} = 10.8 \text{ Pa}$$

烟囱阻力忽略不计, 风机应克服总阻力;

$$h_{\text{总}} = h_i + h_g + h_e + h_f = 35.19 - 10.6 + 233.6 + 10.8 = 268.99 \text{ Pa}$$

10.3 排烟风机选型

由上面的计算可知, $V_g = 2858.73 \text{ Nm}^3/\text{h}$, 这是标况下的风量。应换算成

实际状态下的风量，另还需考虑运行时留有余地，取风机余量系数 1.3，则排烟机选型风量为：

$$V_{g1} = 1.3 \times V_g \times P_0 / P \times 273 + t / 273 = 67495 \text{ m}^3 / \text{h}$$

$$\text{排烟风机应具备的全风压为: } H = 1.3 \times h_{\text{总}} \times \frac{\rho_0}{\rho_g} = 347 \text{ Pa}$$

10.4 其他管路阻力计算：

10.4.1 燃料总管

水煤气的流量为：2442.21 m³/h，取水煤气在总管中的流速为：8 m/s，总管选用一根管子，那么总管的内径为： $d = \sqrt{4V / \pi W} = 0.36 \text{ m}$ ，根据市场上提供的供气管尺寸，本设计总管内径取值：377 mm。

10.4.2 窑顶、窑侧的分管尺寸

汽化石油气分管分组控制，共分 20 组 6 根，气体在金属分管中流速，根据经验数据取 $\omega = 10 \text{ m/s}$ ，内径 $d = 0.073 \text{ m}$ ，分管内径取值：89 mm

10.4.3 通往烧嘴的水煤气支管内径计算

窑体共安装了 380 个烧嘴，水煤气支管总共有 138 根，而流速取 $\omega = 10 \text{ m/s}$ ，内径 $d = 0.05 \text{ m}$ 。考虑到在实际操作中有些烧嘴是关闭的所以分管内径取值：76 mm。

10.4.4 助燃风管路计算

$$\text{助燃风量 } V_a = 2.8665 \times 2442.21 = 7000. \text{ m}^3 / \text{h}$$

$$\text{实际助燃风量 } V = 7000.6 \times 273 + 20 / 273 = 7514 \text{ m}^3 / \text{h} = 2.08 \text{ m}^3 / \text{s}$$

1. 助燃风总管内径的确定

助燃气在总管中的流速为： $\omega = 5 \text{ m/s}$ ，

助燃风管总管选用一根管子，那么总管的内径为： $d = \sqrt{4V / \pi W} = 0.4 \text{ m}$ ，总管内径取值：由于该窑炉较长，所以前部分主管取 500 mm，后部分取 450 mm。

2. 窑顶、窑底分管内径确定

全窑共设置了 4 组分管，分布在上下左右各一根，流速均取： $\omega = 8 \text{ m/s}$ ，

$$d = \sqrt{4V / \pi W} = 230 \text{ mm} \text{ , 分管内径取 } 250 \text{ mm}。$$

3. 助燃风管通往烧嘴的管路管径

烧嘴共 380 个烧嘴，取流速为 $\omega = 10 \text{ m/s}$ ，

$$d = \sqrt{4V / \pi W} = 33 \text{ mm}，$$

取支管直径：42 mm。

10.4.5 冷却带风管计算

冷却带鼓入冷风总量为 $44949.51 \text{ m}^3 / \text{h}$

缓冷风量 $V = 44949.51 \text{ m}^3 / \text{h}$ ，取 $\omega = 18 \text{ m/s}$

缓冷总管：

$$d = \sqrt{4V / \pi W} = 869 \text{ mm}$$

取缓冷总管内径：1000mm 和 800mm

缓冷支管：共设置了（17 个抽风口，17 根抽风支管）

$$D = \sqrt{4V/\pi W} = 209\text{mm}$$

取缓冷分管内径：300mm

10.4.6 急冷风管尺寸计算

急冷风量 $V = 14983.17 \text{ m}^3/\text{h}$ ，取 $\omega = 12\text{m/s}$

$$d = \sqrt{4V/\pi W} = 408\text{mm}，\text{取急冷主管径为 } 450\text{mm}。$$

共 2 根分管，

$$d = \sqrt{4V/\pi W} = 204\text{mm}。 \text{取急冷分管为 } 250\text{mm}。$$

共 48 支支管，

$$d = \sqrt{4V/\pi W} = 4.25\text{mm}。 \text{根据实习经验，取内径 } 76\text{mm} \text{ 的快冷支管}。$$

快冷风管尺寸计算

快冷风量 $V = 29966.34 \text{ m}^3/\text{h}$ ，取 $\omega = 12\text{m/s}$

$$d = \sqrt{4V/\pi W} = 628\text{mm}，\text{取快冷主管内径 } 700\text{mm}。$$

共 2 根支管，

$$d = \sqrt{4V/\pi W} = 314\text{mm}，\text{为了是风量大，流速快，本设计采用放大支管的尺寸，取 } 450\text{mm}。$$

共 78 根支管，

$$d = \sqrt{4V/\pi W} = 4.02\text{mm}，\text{根据实习经验，本设计采用 } 89\text{mm} \text{ 的快冷管}。$$

10.4.8 风机型号

本设计所采用的风机型号如下表所示：

表 10-1

位置	数量	流量 m^3/h	配用电机	型号
			功率 KW	
排烟风机	2	12000	130	Y9-38 型炉用引风机
助燃风机	2	10555	75	9-26 型高压离心风机
急冷风机	2	18000	110	9-26 型高压离心风机
余热风机	2	50000	132	Y9-38 型炉用引风机
直冷风机	2	39122	55	9-26 型高压离心风机

11 烧嘴选型

11.1 每个烧嘴所需燃烧能力

由热平衡计算中可知，每小时天然气的消耗量为 167.52 m³/h，考虑到烧嘴的燃烧稳定性，取安全系数 K=1.5，那么，实际烧嘴消耗的天然气量为 167.52 × 1.5=251.28m³，全窑共用 380 个烧嘴，所以，每个烧嘴的燃烧能力为：251.28/380=0.7 m³/h。

11.2 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。

11.3 烧嘴选用

根据上述原则和查询设计手册得 WDH—TCC2 型高速烧嘴特点：

- ◇适用燃气：液化气、天然气、焦炉煤气、转炉煤气，也可以烧洁净的水煤气、混合煤气等；
- ◇燃烧完全，燃烧效率在 99.9% 以上，节能可达 5%；
- ◇燃烧器喷射速度高，噪音小、不回火、不脱火；
- ◇炉堂内温差小(±1.5~5℃)；
- ◇克服了因燃气中含焦油、杂质、液态烃导致的火焰不稳定、结焦、堵塞现象；
- ◇火焰长度、火焰锥角及火焰形状可按用户要求设计；
- ◇燃烧充分，不冒黑烟，燃烧产物中污染物少，低于国家环保局规定的各项指标；
- ◇可根据用户要求安装自动点火、火监控、燃烧控制、窑炉温度控制等自控产品。

WDH—TCC2 型高速燃烧器技术性能参数表：

表 11-1

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°-70°	500-1800

12 工程材料概算

12.1 钢架结构所用钢材用量概算:

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 36 节, 第 75 节~第 122 节;

本窑共需轻质高铝砖的数量为:

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

块

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 37~74 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:

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

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 1~122 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:

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

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:

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

钢材的概算

钢材的概算以窑的一节用钢材量为基准

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 $L_2 = 3.72 \times 5 = 18.6m$

钢板的概算

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

角钢的概算

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

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

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

合计 $8.4 \times 10.5 = 88.2 m$

全窑所用钢材量

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

钢板: $7.47 \times 106 = 1030.86 m^2$

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

致 谢

本次设计及说明书的撰写是在指导老师汪老师的细心关怀，指导下完成的。几个月来，老师时刻关心设计的进展和论文进度，在设计及说明书撰写上倾注了大量的心血，对期间遇到的问题仔细分析，耐心指导。

四年的大学生活即将结束，对于经过了紧张忙碌而即将获得成功和喜悦的毕业生来说，毕业设计的成果和每一个日日夜夜将永远留在我的记忆里。

最后，我们所取得的所有成绩都与关心我们的各位老师有着密切的关系，在此我衷心感谢指导老师汪老师以及给予我帮助的各位老师！在即将毕业走向社会之际，感谢母校四年的培养，感谢热工系四年的关怀，感谢所有老师四年的尊尊教诲。

参考文献

- [1] 胡国林《建陶工业辊道窑》. 北京. 中国轻工业出版社. 1998 年
- [2] 刘振群《陶瓷工业热工设备》. 武汉. 武汉工业大学出版社. 1998 年
- [3] 王淮邦《耐火材料工艺学》第二版. 北京. 冶金工业出版社. 1993 年
- [4] 宋瑞《现代陶瓷窑炉》. 武汉. 武汉工业大学出版社. 1996 年
- [5] 郭海珠《建材工业信息》. 中国期刊网. 1994 年 06 期
- [6] 蔡悦民《硅酸盐工业热工技术》. 武汉. 武汉工业大学出版社. 1995 年
- [7] 李家驹《日用陶瓷工艺学》. 武汉. 武汉工业大学出版社. 1998 年
- [8] 胡国林《窑炉砌筑与安装》. 景德镇陶瓷学院教材. 1992 年
- [9] 胡国林《意大利唯高公司 FRW2000 型辊道窑结构性能分析》. 陶瓷 1990
- [10] 中国硅酸盐学会陶瓷分会建筑卫生陶瓷专业委员会《现代建筑卫生陶瓷工程师手册》. 北京. 中国建材工业出版社. 1998 年
- [11] 陈帆《现代陶瓷工业技术装备》. 北京. 中国建材工业出版社. 1999 年

外文翻译

The study of china silicate industry kiln development situation and surveyed.

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 t 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 consumption.

Ceramic kiln thermal technology theory workers of our country have made one's own contribution for the progress of the thermal 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 learnt 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 analysis and researching , physical model at the same time are studied, have made large quantities of valuable achievements with higher level in the many aspects.

Through the research , make people have a deeper knowledge of thermal technology course in the kiln, have some new understanding to several important

problems among them. The improvement of these concrete achievements and understanding, have greater directive significance to development of thermal technology and progress of structure of the kiln, homework, exert a far-reaching influence. On theoretical research of thermal technology, technology import and foundation that is developed independently, every kiln company successively developed, developed a lot of outstanding industrial kilns of pottery, having had newer, deeper understanding to some technological questions, and industrial circle has reached common understanding basically in the kiln.

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. So, we should treasure it, and make joint efforts to safeguard it, in order to impel it to get greater development.

Take this opportunity, want to talk to prospect, etc. on some views and suggestions on ceramic kiln thermal technology theoretical research and the development levels of technological development, ceramic kiln of China, in order to exchange and learn from each other with the ceramic academia of China and foreign countries and industrial circle. A ceramic kiln of thermal technology theoretical researches and progress of technological development we review to these theory research work and technological development, sum up 14 question it

now, then every comment and look into the distance. In last 20 years of last century, the ceramic kiln thermal technology theoretical research and technological development of our country roughly concentrate on some following respects:

1 adopt more bright naked to boil the craft flame. Burn result with keep in touch directly by products, hot to exchange abundant, it is even for products to heat, can realize the low temperature is burnt quickly.

2 it is fire-resistant to adopt the low heat conduction rate, low and regenerative light quality or thermal insulator. Kiln wall and kiln carry step body use fire-resistant fibber in a large amount, kiln car is it is it adopt light quality, low regenerative material and reasonable structure to build to line with, therefore make kiln rise, is it fast, keep warm kind to lower the temperature, kiln body surface and car three temperature low, dispel the heat and regenerative and lack, thus reduced energy consumption greatly.

3 kiln thorax space structure, section counts

4 clean fuel of adopting natural gas, liquefied petroleum gas or light diesel oil etc., select for use at a high speed is it cook mouth to adjust the temperature, is it assign, divide into groups control strength first type set up the system of burning rationally to adopt. Is it cook mouth is it give vent to anger body speed can greater than 100m/s, flow heavy quality have, it is violent to stir to gush out to adjust the temperature at a high speed, being adjustable, temperature strengthen kiln, especially low middle temperature convection of piece change hotly greatly, make kiln products heat extremely even, boil cycle is very short.

5 the automatic control in such parameters as the temperature of the kiln, pressure, atmosphere and flow, etc. is generally controlled own with 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 attendant's 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 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.

And can stone get of our country traditional kiln that pottery is it spend to boil through the rapid development in recent years and promote in contrasting from introduction of the above, unless it is the own reach into international most advanced level, it enter on the mature period, and can steady one period of period in high-level " platform ". There is stronger competitiveness own in entering the kiln on day in these kilns. Should increase the output of these kilns a few days ago, popularized rapidly, in order to produce greater economic benefits and social benefit. Here , hope Chinese and foreign kiln user find out about this tendency , and select for use too.

However, the progress of science and technology is endless. Moreover the kiln and producing and all but also having some obvious weak points to charge too a few days ago of our country, for example is it dispute mouth and relevant burning , control , theoretical research and relatively weak technological development of course in the kiln to cook as to high speed. Is it dispute mouth and automatically controlled instrument , regulator ,etc. also rely on import mainly to cook, remain to strengthen the basic research and development in this respect. Should organize some kilns with tackling key problems of key part (burn the mouth , automatic instrument , components and parts ,etc.) , realize production for industrialization, try to domestic as soon as possible , in order to replace into. Israel our country kiln produce engineering level and strength that charge a few days ago, own to can organize kiln export in a complete set. Should capture

middle-grade to with three international market of kiln , is it march to advanced international market of kiln to strive for as many as possible.

Ceramic kiln industry is it charge in one's own rapid development and move towards among the process that globalize to produce, besides scientific research and technological development , a question can't be ignored, that is standardization. In standardizing basic construction this , should first do finalize the design and workday such as specification , kiln of structure well. The need of work ceramic kiln is it charge all company all common participation of colleague and do well hard to produce. At present, though the industry of ceramic kiln of our country is own through taking shape, and get greater development own, but the total amount of companies leans towards much, the scale is generally small, and does not generally have independent scientific research strength, technological development ability remains to add too Should perfect ceramic kiln inside structure of industry further in the future , develop advantage enterprise through proper competition, form great and strong leading enterprises progressively, strengthen the research and development ability inside enterprises. To the development of technology , should strengthen independent development , should pay attention to the technology import too; Should court the advanced person , is in line with international standards , 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 electric 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.

关于中国硅酸盐工业窑炉发展现状与展望调研报告

随着燃料结构的改变,国外陶瓷工业的窑炉热工技术从 20 世纪 50 年代末开始至 70 年代初,即由燃煤、重油等转向使用天然气、液化石油气和轻油等,实现了窑炉热工技术的三大突破:①高速调温烧嘴的发明和使用;②新型、高级耐火材料和隔热材料的广泛使用;③精密完善的自动控制系统的采用。在这三大技术突破的基础上,产生并发展了以推板窑、辊道窑为连续式作业窑炉代表,以梭式窑、钟罩窑为间歇式作业窑炉代表的全新一代窑炉。

我国自上世纪 80 年代开始从国外引进了一批先进的窑炉设备的同时也引进了相应的热工技术。随着设备及技术的引进、改革的深入、开放的扩大以及经济体制的转型,对于陶瓷工业及窑炉的要求,也由过去奉行的“高产、优质、低消耗”逐渐转向追求“优质、低耗、高产、灵活、绿色”等更能适应新的经济体制的目标。

我国的陶瓷窑炉热工理论工作者也为我国窑炉热工技术的进步做出了自己的贡献。自上世纪 80 年代初就积极投身于引进设备和技术的消化、吸收、仿制、创新工作。他们很快就学会并掌握了计算机技术,接着在原有工作的基础上,同时开展了数学分析研究、物理模型的试验研究和数学模型的数值模拟研究,在多方面取得了一大批有价值、水平较高的成果。通过这些研究,使人们对窑炉中的热工过程有了更深入的了解,对于其中的若干重要问题有了一些新的认识。这些具体成果和认识的提高,对于热工技术的发展和窑炉结构、生产作业的进步有较大的指导意义,并产生深远的影响。在热工理论研究、技术引进与自主开发的基础上,各窑炉公司先后研制、开发出许多优秀的陶瓷工业窑炉,对一些技术问题有了更新、更深入的了解,并在窑炉产业界基本达成了共识。

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,主要窑型一辊道窑、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一辊道窑、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，因而使窑炉升温快，保温好，窑体外表面及窑内温度低，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。

从以上的介绍和对照中可以石到我国传统陶瓷烧成用的窑炉经过近年来的迅速发展和提升，已经达到国际先进水平，进入了成熟期，并将会在较高水平的“平台”上稳定一个时期。这些窑炉相对于进日窑炉己有较强的竞争力。日前应该增加这些窑炉的产量，迅速推广，以产生更大的经济效益和社会效益。在此，也希望中外窑炉用户了解这一动向，并予以选用。

然而，科学技术的进步是没有止境的。况且我国日前的窑炉及其产业也都还存在一些明显的不足之处，例如，对于高速烧嘴及相关的燃烧、控制、窑内过程的理论研究和技术开发均较薄弱。烧嘴和自动控制仪表、调节器等主要还依赖进口，有待加强这方面的基础性研究开发工作。应组织一些窑用关键部件(烧嘴、自动化仪表、元器件等)的攻关，并实现产业化生产，争取早日国产化，以取代进口。以我国目前窑炉产业的技术水平和实力，己可组织窑炉成套出口。应尽可能多地占领中档以三窑炉的国际市场，并争取向高端窑炉的国际市场进军。

陶瓷窑炉产业在自身的迅速发展和走向全球化的进程中，除了科学研究和技术开发之外，还有一个问题是不容忽视的，那就是标准化。在标准化这一基础性建设中，首先要做好窑炉结构的定型与规格系列化工作日。这项工作需要陶瓷窑炉产业所有公司全体同仁的共同参与和努力才能做好。

目前，我国的陶瓷窑炉产业虽然已经形成，并己有了较大的发展，但公司总数偏多，规模普遍偏小，且一般没有独立的科研力量，技术开发能力也有待加强。今后应进一步完善陶瓷窑炉产业的内部结构，通过正当竞争发展优势企业，逐步形成大而强的龙头企业，并增强企业内部的研发能力。对于技术的开发，一方面要加强自主开发，另一方面也要注意技术引进；既要追求先进，与国际接轨，也要讲求实效，以实用、简单为原则。还应加强与高校、研究设计单位的协作与联合，走产学研三结合的道路。

另外，现代的陶瓷窑炉己远非是昔日的土木砖石“构筑物”，而早已变成了机电一体化、有较高技术含量的综合技术产物——“烧成机器”。窑炉上安装使用了大量的新材料和机电产品，因此仅仅依靠窑炉公司自身的力量是不可能研发和生产所有这些材料和产品的。窑炉公司只有通过众多的相关产业的协作，才能完成建设窑炉项目的任务。与陶瓷窑炉产业密切相关产业有燃料化工，燃烧设备、耐火材料、通风机、自动化仪表设备制造产业等。今后应进一步加强与这些相关产业的协作，以获得双赢的结果。

