

景德镇陶瓷学院科技艺术学院

本
科
毕
业
设
计

题 目: 年产 300 万 M² 玻化砖燃二甲醚辊道窑设计

院 (系): 科院工程系

专 业: 10 热工

姓 名: 周剑峰

学 号: 201030453131

指导老师: 孙健

摘 要

在中国，制陶技艺的产生可追溯到纪元前 4500 年至前 2500 年的时代，可以说，汉族发展史中的一个重要组成部分是陶瓷发展史，汉族劳动人民在科学技术上的成果以及对美的追求与塑造，在许多方面都是通过陶瓷制作来体现的，并形成各时代非常典型的技术与艺术特征。而在我们现在的生活中，陶瓷已经非常广泛的运用在我们的生产和生活当中。

而此次我设计的玻化砖则是通体砖坯体的表面经过打磨而成的一种光亮的砖，属通体砖的一种。吸水率低于 0.5% 的陶瓷都称为玻化砖，抛光砖吸水率低于 0.5% 也属玻化砖（高于 0.5% 就只能是抛光砖不是玻化砖），然后将玻化砖进行镜面抛光即得玻化抛光砖，因为吸水率低的缘故其硬度也相对比较高，不容易有划痕。玻化砖的诞生和发展，因为有市场所以才有大规模的生产，这符合我国消费者的追求和审美眼光。它不仅有豪华大气、富丽堂皇、大空间的视觉效果，在某种程度上也是身份与形象的代表。

本次设计过程中首先进行的是原始资料的确定，然后对辊道窑的尺寸确定，然后是对燃料燃烧计算，经过各种计算来确定工作系统及窑体材料，然后计算热平衡等。在此次设计中，得到了老师的细心指导和同学的帮助，在此，我向老师和同学表示真诚的感谢，并希望老师能提出宝贵意见。

Abstract

In China, the generation of pottery art dates back to the era before 4500 to 2500 years of age before, so to speak, is an important part of the history of the han nationality in ceramic development history, the han nationality labouring people in achievements in science and technology as well as to the pursuit of beauty and shape, are made by ceramic to reflect in many respects, and forming technology and art characteristics of each era is very typical. In our present life, the use of ceramic has very wide in our production and life.

I design the bo changes a brick is a component of the tile body surface polished and become a kind of shining brick, belong to the brick of a kind. Bibulous rate is lower than 0.5% of all ceramic called bo changes a brick, polishing brick is bibulous rate is lower than 0.5% was bo changes a brick (more than 0.5% can only be polished tile not bo changes a brick), and then to the mirror polishing for a quick bo to change polishing brick, bo changes a brick because bibulous rate is low because of its hardness is relatively high, it is not easy to scratch. The birth and development of bo changes a brick, because there is a market have a large-scale production, which conforms to our country consumer pursuit and aesthetic taste. It not only has the luxurious atmosphere, gorgeous, large space visual effects, to some extent, is also the representative of the identity and image.

The first in the process of design is the determination of the original material, and then determine the size of tunnel kiln, and then the burning of fuel calculation, through all kinds of calculation to determine the working system and kiln body materials, and then calculated heat balance, etc. In the design, the careful guidance by the teacher and classmates for help, here, I show my sincere thank to the teacher and students, and hope the teacher can put forward valuable advice.

摘 要	1
Abstract	2
一 原始资料的收集	6
二 窑体主要尺寸的确定	7
2.1 进窑砖坯尺寸	7
2.2 内宽的确定与排砖方法	7
2.3 窑长的确定	7
2.4 各带长的确定	7
2.5 窑内高的确定	8
三 烧成制度的确定	9
四 工作系统的确定	10
4.1 排烟系统	10
4.2 燃烧系统	11
4.3 冷却系统	11
4.3.1 急冷通风系统	11
4.3.3 快冷通风系统	12
4.4 传动系统	12
4.4.1 辊子的选择及辊距的确定	12
4.4.2 传动装置	13
4.5 窑体附属结构	13
4.5.1 事故处理孔	13
4.5.2 测温孔以及观察孔	13
4.5.3 膨胀缝	13
4.5.4 窑道挡板和防火墙	14
4.6 窑体加固的钢架结构	14
五 窑体材料确定	15
六 燃料燃烧计算	17
6.1 助燃空气量	17
6.2 烟气量	17
6.3 燃烧温度	17
七 热平衡计算	18
7.1 热收入项目	18
7.1.1 坯体带入显热	18
7.1.2 燃料带入化学热及显热 Q_f	19
7.1.3 助燃空气带入显热 Q_a	19
7.1.4 漏入空气带入显热 Q_b	19
7.2 热支出项目	20
7.2.1 烧成制品带出显热 Q_2	20
7.2.2 窑体散失热 Q_3	20
7.2.3 物化反应耗热 Q_4	23

7.2.4	烟气带走显热 Q_g	23
7.2.5	其他热损失 Q_5	24
7.3	列热平衡公式	24
7.4	列热平衡表	24
八	冷却带热平衡的计算	25
8.1	热平衡示意图	25
8.2	热收入	26
8.2.1	制品带入的显热 Q_2	26
8.2.2	冷却风带入显热 Q_6	26
8.3	热支出	26
8.3.1	制品带出显热 Q_7	26
8.3.2	热风抽出时带走的显热 Q_8	26
8.3.3	窑体散失热量	27
8.3.4	其他热损失 Q_{10}	29
8.4	热平衡表	29
九	管道尺寸以及阻力计算和风机选型	30
9.1	抽烟风机的管道尺寸、阻力计算	30
9.1.1	总烟管尺寸	30
9.1.2	分烟管尺寸	30
9.1.3	支烟管尺寸	30
9.2	阻力的计算	31
9.2.1	料垛阻力 h_i	31
9.2.2	位压阻力 h_g	31
9.2.3	局部阻力 h_e	31
9.2.4	摩擦阻力	32
9.2.5	风机应克服总应力 $h_{总}$	32
9.3	风机的选型	32
9.4	其他系统管路尺寸确定	32
9.4.1	助燃风管计算	32
9.4.2	冷却带风管计算	32
9.5	风机的选型	34
9.5.1	助燃风机的选型	34
9.5.2	急冷风机选型	34
9.5.3	抽热风机选型	34
9.5.4	快冷风机选型	34
十	工程材料概算	35
10.1	窑体材料概算	35
10.1.1	轻质粘土砖的概算	35

10.1.2 轻质高铝砖.....	35
10.1.3 硅藻土砖.....	35
10.1.4 硅酸铝棉板的概算.....	36
10.2 钢材的概算.....	36
10.2.1 方钢的概算.....	36
10.2.2 钢板的概算.....	36
10.2.3 角钢的概算.....	36
10.2.4 全窑所用钢材量.....	37

一 原始资料的收集

1. 年产量：300 万 m^2 (年工作日 330 天，合格率 95%)。
2. 产品规格：600×600×11mm，7kg/片
3. 最高烧成温度：1220℃
4. 燃料：二甲醚
5. 曲线：自定
6. 氧化气氛烧成
7. 原料组成

SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	$K_2O + Na_2O$	灼减
70	19.5	0.4	0.2	0.1	0.8	4.0	4.2

8. 二甲醚热值:28.85MJ/Kg
9. 烧成周期:53min

二 窑体主要尺寸的确定

2.1 进窑砖坯尺寸

产品规格：600×600×11mm,设制品的收缩率为 10%。由坯体尺寸=产品尺寸/（1-烧成收缩）,得坯体尺寸为：667×667mm。

2.2 内宽的确定与排砖方法

两侧坯体与窑墙之间的距离取 150mm，一排排 3 块砖,则内宽为： $D=3 \times 667+21 \times 50=2301$,取内宽为 2300mm。

2.3 窑长的确定

窑容量=（年产量×烧成周期）÷[年工作日×24×60×产品合格率（1-收缩率）]= $(3000000 \times 53) \div [330 \times 24 \times 60 \times 95\%]=352.2(\text{m}^2/\text{窑})$

装窑密度=每米排数×每排片数×每片砖面积= $(1000 \div 667) \times 3 \times (0.6 \times 0.6) = 1.62(\text{m}^2/\text{每米窑长})$

窑长=窑炉每小时进入生坯÷装窑密度= $352.2 \div 1.62 = 217.4(\text{m})$

利用装配式，由若干节联接而成，设计每节长度为 2100mm，节间联接长度为 8mm 总长度为 2108mm，窑的节数= $217.4 \div 2.108=103.13$ 节，取整为 104 节。所以算出窑长为 $L=104 \times 2108-8=219232\text{mm}$ 。

2.4 各带长的确定

预热带占全窑总长的 30.18%,取 31 节,长度= $31 \times 2108=65348\text{mm}$

烧成带占全窑总长的 20.56%，取 21 节,长度= $22 \times 2108=46376\text{mm}$

冷却带占全窑总长的 49.26%，取 52 节,长度= $51 \times 2108=107508\text{mm}$

2.5 窑内高的确定

温度较低处：预热升温段 40~550℃	即 1~23 节
550~900℃	即 24~31 节
冷却降温段 900~550℃	即 60~86 节
550~80℃	即 87~104 节
温度较高处：烧成升温段 900~1220℃	即 32~53 节
急冷降温段 1220~900℃	即 53~59 节

位置	第 1-31 节	第 32-53 节	第 54-104 节
辊上高	350	450	350
辊下高	350	350	350
内总高	700	800	700
(单位 mm)			

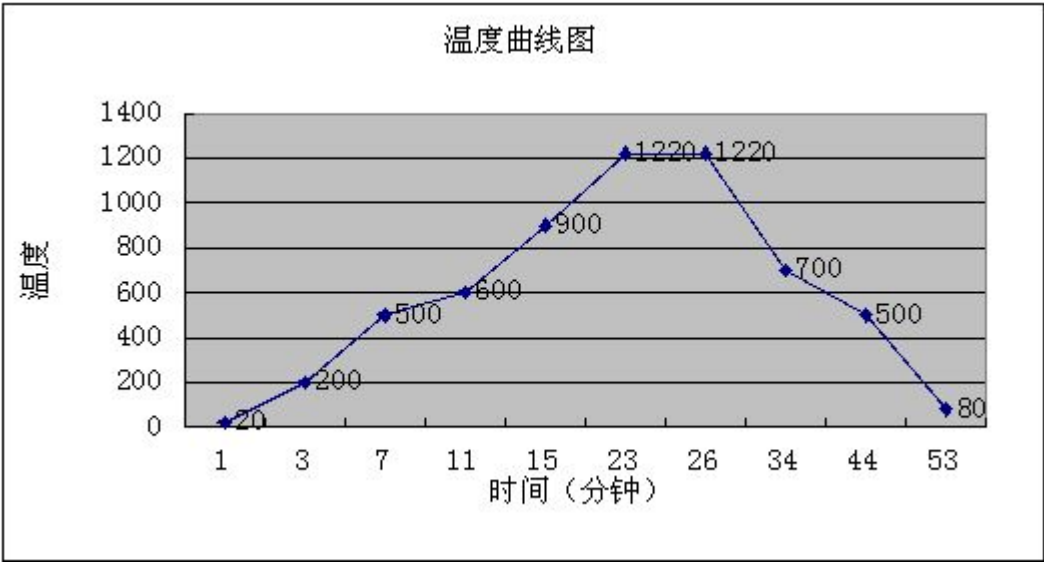
三 烧成制度的确定

温度制度

烧成周期:53min

名称	温度/℃	时 间 /min	升温速率/ ℃ · min ⁻¹	长 度 比 例/%	节数
预热带	20~200	3.2	50	6	1-6
	200-500	4.1	73.17	7.73	7-14
	500-600	3.4	29.4	6.45	15-21
	600-900	5.3	66.03	10	21-31
烧成带	900-1220	7.9	34.18	14.9	32-46
	1220	3	0	5.66	47-53
急冷带	1220-700	8.5	61.18	16.04	54-70
缓冷带	700-500	9.8	21.5	17.55	71-88
快冷带	500-80	8.3	50.6	15.67	89-104
累计		53		100	104

全窑氧化气氛



四 工作系统的确定

4.1 排烟系统

在窑前段第 1、2、3、5、7、9、11、13、15、17 节设置排烟口，采用四段分散排烟的方式。在每段排烟口的窑顶、窑底各设 5 个排烟口直通窑体外，在排烟口出口处设置一条垂直烟管，每垂直支烟管设置排烟闸，以调节烟气支流量。然后经水平分管进入总烟管，水平管道第 2、3 节之间设置排烟闸，控制水平管道的烟气量。总烟管设于窑顶，上有总闸。利用烟气抽力，引导窑内气体流运动。

4.2 燃烧系统

因为燃料是二甲醚,为气体,比较容易充分燃烧,所以经常采用流量小烧嘴多的系统,辊道的上下方及两侧均匀分布交错的烧嘴,便于调节窑内的温度制度,同时有利于窑内的热气体的循环。在辊子上下各设一层烧嘴,同一层烧嘴两侧交错布置,同一侧烧嘴上下交错布置。烧嘴的对侧是观察孔,以便更好的观察火焰的燃烧情况,便于操作控制。

由于本窑烧成周期较长,升温速率较慢,故本设计在只在烧成带开始设置烧嘴,因此,在预热带的 24—42 每节辊下设置 1 对烧嘴,在预热带 43—66 每节辊下设置 2 对烧嘴,在烧成带的 67—96 节每节辊下设置 4 对烧嘴,交错布置;辊上下烧嘴及对侧烧嘴均互相错开排列,并在每烧嘴的对侧设置一观察孔。

烧嘴布置

表 4—1 烧嘴布置

位置	预热带（24—31）	烧成带（32—53）
烧嘴布置	每节 1 对烧嘴	每节 4 对烧嘴
烧嘴总数	8 个	88 个

4.3 冷却系统

制品在冷却带冷却出窑,是整个烧成过程最后的一个环节。整个系统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,用以达到节能的目的。

4.3.1 急冷通风系统

在烧成最高温度至 700℃ 以前,制品具有一定的塑性,因此此时可以进行急冷,最好的办法是直接吹风冷却。直接风冷是在辊下设置横断窑面的冷风喷管,由于急冷段温度较高,冷风管需由耐热钢制成,管径 80-120mm。第本设计也采用此种结构,在第 54 节~70 节,每节辊上 4 根、辊下 4 根,内径 $\Phi 90\text{mm}$ 急冷风

管，风管采用相对排列布置。共 168 根急冷风管

4.3.2 缓冷通风系统

在制品冷却到 700-400℃ 的范围时，是产生冷裂的危险期，此时应该严格控制降温速率。在此阶段一般采用热风冷却的办法。本设计也采用这种方法。抽走急冷带和快冷带的热风，以缓和降温速率。在 71，72，87，88 节设置抽热风口，每节设有两对冷风吸入口。抽热风口置于窑顶和窑底，每处设置 4 个小抽热风口，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。在 89-104 节每节设置 8 根冷风喷管，直径 90mm。

4.4 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。

4.4.1 辊子的选择及辊距的确定

本设计在中温段（40℃-400℃ 和 400℃-80℃）选用瓷棒作为辊子，在高温段（400℃-1220℃ 和 1220-400℃）选择碳化硅辊棒作为辊子。因为窑墙厚度为 300-350mm，窑内宽为 2100mm，因此选用直径为 60mm，长度为 2700mm 的辊子。

$$\text{辊距} = (1/3 \sim 1/5) * L = 222.3 \sim 133.4 \text{mm}$$

因此辊距选 180mm，每节辊子数=2100/180=11.67，取 12

则辊子总数=12*104=1248 根

4.4.2 传动装置

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。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—3 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 窑体附属结构

4.5.1 事故处理孔

事故处理孔设在辊下，孔下面与窑底面平齐，便于处理散落在窑底的砖坯碎片。事故处理孔尺寸为: $400 \times 120\text{mm}$, $L \geq 2(b+c) = 2b(1+B)/\delta = 2 \times 400(1+2100)/120 = 8000\text{mm}$ ，所以采取两节设置一个事故处理孔。两侧墙的事故处理孔交错布置。在事故处理孔不处理事故时，应用塞孔砖进行密封，孔砖与窑墙之间用耐火纤维堵塞。

4.5.2 测温孔以及观察孔

为了严密监视窑内温度，一般在窑道顶及火道侧墙留设若干处测温孔，安装热电偶。测温孔间距一般为 3~5 米，高温段分布密一些，低温段分布稀一些。

在每个烧嘴的对侧窑墙设置直径 30mm 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。

4.5.3 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。

4.5.4 窑道挡板和防火墙

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。因此，通常在辊道窑工作通道的某些部位，辊下筑挡墙，辊上插挡板，缩小该外工作通道面积，以增加气流阻力，便于压力与温度制度的调节。

因此本设计在烧成带两端，第 32 和第 52 节设置上下挡板挡墙结构，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。

4.6 窑体加固的钢架结构

钢架结构每一节都设有 17 根 $60 \times 60 \times 4\text{mm}$ 的方钢，吊顶选用 $60 \times 5\text{mm}$ 的等边角钢，下横梁焊有 605mm 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。

五 窑体材料确定

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

- 1.为了砌筑方便的外形整齐，窑墙厚度变化不要太多。
- 2.材料的厚度应为砖长或砖宽的整数倍；墙高则为砖厚的整数倍，尽量少砍砖。
- 3.厚度应保证强度和耐火度。

窑体材料和厚度表（1）

1-31、54-104 节					
名称		材质	使用温度(℃)	导热系数[W / (m•℃)]	厚度 (mm)
窑顶	耐火层	莫来石轻质高铝砖	1600℃	$0.310+0.176 \times 10^{-3}t$	230
	隔热层	硅酸盐耐火纤维毯	1150	0.1~0.3	100
窑墙	耐火层	莫来石轻质高铝砖	1600℃	$0.310+0.176 \times 10^{-3}t$	230
	隔热层	硅酸盐耐火纤维毯	1350	0.1~0.3	100
窑底	耐火层	莫来石轻质高铝砖	1600℃	$0.310+0.176 \times 10^{-3}t$	130

	隔热层	硅藻土砖	900	$0.063+0.14 \times 10^{-3}t$	130
--	-----	------	-----	------------------------------	-----

窑体材料和厚度表（2）

32-53					
名称		材质	使用温度(°C)	导热系数[W / (m•°C)]	厚度 (mm)
窑顶	耐火层	莫来石轻质高铝砖	1600°C	$0.310+0.176 \times 10^{-3}t$	230
	隔热层	硅酸盐耐火纤维毯	1150	0.1~0.3	150
窑墙	耐火层	莫来石轻质高铝砖	1600°C	$0.310+0.176 \times 10^{-3}t$	230
	隔热层	混合纤维	1350	0.12	120
窑底	耐火层	莫来石轻质高铝砖	1600°C	$0.310+0.176 \times 10^{-3}t$	201
	隔热层	硅藻土砖	900	$0.063+0.14 \times 10^{-3}t$	130

六 燃料燃烧计算

6.1 助燃空气量

燃料组成 二甲醚: $Q_{\text{net}}=28.85\text{MJ/Kg}$

根据经验公式: $V_{a0}=100/21 \times 3\text{C}_2\text{H}_6\text{O} \times 1/100=6.571$

去取空气过剩系数为 1.15

实际空气量: $V_a = \alpha V_{a0} = 1.15 \times 6.571 = 7.56 \quad (\text{m}^3/\text{m}^3)$

6.2 烟气量

根据经验公式:

理论烟气量: $V_{g0}=5\text{C}_2\text{H}_6\text{O} \times 1/100 + V_{a0} \times 21/100 \times 79/21 = 7.5(\text{m}^3/\text{m}^3)$

实际烟气量: $V_g = V_{g0} + (\alpha - 1) V_{a0} = 7.5 + (1.15 - 1) \times 6.571 = 8.6(\text{m}^3/\text{m}^3)$

6.3 燃烧温度

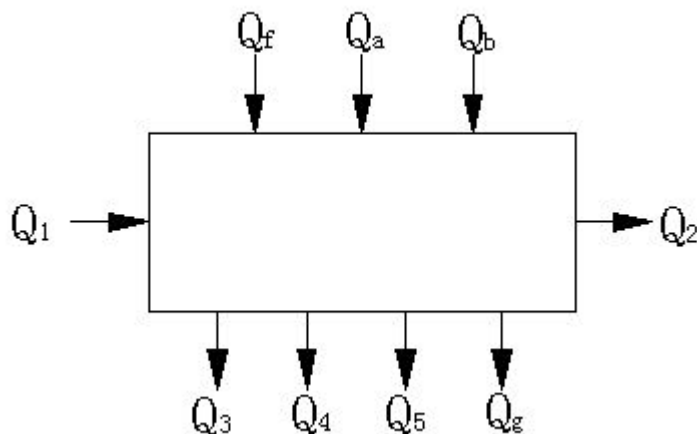
$$\text{理论燃烧温度: } t_m = \frac{Q_{dw} + V_a \cdot C_a \cdot t_a + c_f \cdot t_f}{V_g \cdot C_g}$$

在室温 20℃ 时空气比热为 $C_a=1.30 \text{ kJ}/(\text{Nm}^3 \cdot ^\circ\text{C})$, 发生炉煤气比热为 $C_f=1.32 \text{ kJ}/(\text{Nm}^3 \cdot ^\circ\text{C})$, $t_a=t_f=20^\circ\text{C}$. 设 $t_{th}=1700^\circ\text{C}$, 燃烧产物 $C_g=1.66 \text{ KJ}/\text{m}^3 \cdot ^\circ\text{C}$, 则理论燃烧温度为 $t_{th} = (Q_{\text{net}} + V_a C_a T_a + C_f T_f) / V_g C_g = 1763^\circ\text{C}$

相对误差 = $(1763 - 1700) / 1700 \times 100\% = 3.7\% < 5\%$, 因此合理。取高温系数 $n=0.75$,

则实际燃烧温度 $t_p = 0.75 \times 1763 = 1320^\circ\text{C}$, 大于 1220°C , 认为合理。

七 热平衡计算



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

漏入空气带入显热： Q_b

烟气带走显热： Q_g

热制品带出显热： Q_2

7.1 热收入项目

7.1.1 坯体带入显热

$$Q_1 = G_s c_1 t_1$$

其中： G_s ——湿制品质量 (Kg/h)， C_1 ——入窑制品的平均比热 ($KJ/(Kg \cdot$

℃)), T1—入窑制品的温度 (°C)。

烧成酌减: 4.2%

$$G_s = 3000000 / (95\% \times 95.8\% \times 330 \times 24) \times 7 / (0.6 \times 0.6) = 8092.87 \text{ kg/h}$$

制品入窑第 1 节时的温度为 20°C, 入窑制品比热为: $C_1 = 0.84 + 26 \times 10^{-5} \times 20 = 0.8452 \text{ KJ}/(\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C})$

$$Q_1 = 8092.87 \times 0.8452 \times 20 = 136801.85 \text{ (KJ/h)}$$

7.1.2 燃料带入化学热及显热 Q_f

二甲醚低价热值: $Q_{\text{net}} = 28850 \text{ KJ/m}^3$, 入窑二甲醚温度 $t_f = 20$, 比热容 $C_f = 1.31 \text{ KJ}/(\text{m}^3 \cdot ^\circ\text{C})$, 设每小时二甲醚的消耗量为 $x \text{ (m}^3/\text{h})$;

$$Q_f = (Q_{\text{net}, \text{ar}} + T_f C_f) x = (28850 + 20 \times 1.31) x = 28852.6x \text{ (kJ/h)}$$

7.1.3 助燃空气带入显热 Q_a

$$Q_a = q_v C_a T_a \text{ (kJ/h)}$$

其中: q_v, a —入窑助燃风流量 (m^3/h); 前面燃烧部分计算得: $q_v = V_a \cdot x = 7.56x \text{ (m}^3/\text{h})$;

T_a —入窑助燃风的平均温度 (°C); 助燃风用冷却带抽出热风, $T_a = 20^\circ\text{C}$;

C_a —入窑助燃风的平均比热容 ($\text{KJ}/(\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C})$); 查表, $T_a = 20^\circ\text{C}$ 助燃风时平均比热容为: $C_a = 1.30 \text{ KJ}/(\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C})$;

$$Q_a = q_v C_a T_a = 7.56x \times 1.31 \times 20 = 190.072x \text{ (kJ/h)}$$

7.1.4 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 $c_a = 1.30 \text{ (KJ}/\text{m}^3 \cdot ^\circ\text{C})$

漏入空气总量为: $V_a = x \times (\alpha_g - \alpha_f) \times V_{a0} = (2.0 - 1.15) \times 6.571 = 5.585x \text{ (m}^3/\text{h})$

$$Q_b = q_v \times C_a \times t_a = 5.585x \times 1.30 \times 20 = 145.21x \text{ (kJ/h)}$$

7.2 热支出项目

7.2.1 烧成制品带出显热 Q_2

烧成产品质量： $G_3 = G_1 \times 95.8\% = 8092.87 \times 95.8\% = 7752.97$ (kg/h)

烧成制品带出温度： $t_2 = 1220^\circ\text{C}$ ，查表可知：产品平均比热 $C_2 = 0.84 + 26 \times 10^{-5} \times 1220 = 1.162 \text{ kJ}/(\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C})$

$$Q_2 = G_3 \times C_2 \times t_2 = 7752.97 \times 1.16 \times 1220 = 10972003.1 \text{ (kJ/h)}$$

7.2.2 窑体散失热 Q_3

将计算窑段分为三部分，即第 1-11 节，93-104 节：低温段 $40-550^\circ\text{C}$ ，取平均值为 295°C ；第 12-23 节，71-92 节：中温段 $550-900^\circ\text{C}$ ，取平均值为 725°C ；第 24-70 节：高温段 $900-1220^\circ\text{C}$ ，取平均值 1075°C 。

1、第 1-11 节，93-104 节：低温段 $40-550^\circ\text{C}$ ，窑外壁表面平均温度 20°C ，环境温度取 20°C ，窑内壁平均温度为 295°C

①窑墙散热

单位热流密度：

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

窑墙散热面积 $A = (0.7 + 1.345) / 2 \times 2 \times 41 = 83.85 \text{ m}^2$

两窑墙共散热： $Q/1 = 147.86 \times 2 \times 83.85 \times 3.6 = 89260.72 \text{ (kJ/h)}$

②窑顶散热：

单位热流密度：

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

窑顶散热面积： $A = (2.3 + 3.02) / 2 \times 2 \times 41 = 218.12 \text{ m}^2$

窑顶散热量： $Q//1 = 218.12 \times 189 \times 3.6 = 148408.85 \text{ (kJ/h)}$

③ 窑底散热

单位热流密度：

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

$$\text{窑底散热面积 } A = (2.3 + 3.02) / 2 \times 2 \times 41 = 218.12 m^2$$

$$\text{窑底散热: } Q_{底} = 218.12 \times 225.5 \times 3.6 = 177069.81 \text{ (kJ/h)}$$

所以低温段窑体总散热量: $Q_{低} = 177069.81 + 148408.85 + 89260.72 = 414735.38$ (kJ/h)

2、中温段 24—31, 60-86 节: 550~900℃。窑外壁平均温度取 60℃, 环境温度 20℃, 窑内平均温度取 725℃。

① 窑墙散热

单位热流密度：

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

$$\text{窑墙散热面积 } A = (0.7 + 1.345) / 2 \times 2 \times 35 = 71.58$$

$$\text{二侧窑墙共散热: } Q_2 = 71.58 \times 453.3 \times 2 \times 3.6 = 233619.94 \text{ (kJ/h)}$$

② 窑顶散热：

单位热流密度：

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

$$\text{窑顶散热面积 } A = (2.3 + 3.02) / 2 \times 2 \times 35 = 186.2$$

$$\text{窑顶散热量 } Q_3 = 186.2 \times 452.69 \times 3.6 = 303447.16 \text{ (kJ/h)}$$

③ 窑底散热

单位热流密度:

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

窑底散热面积 $A = (2.3 + 3.02) / 2 \times 2 \times 35 = 186.2$

窑底散热量 $Q_{2///} = 186.2 \times 300 \times 3.6 = 201096 (kJ/h)$

中温段散热量 $Q_{中} = 201096 + 303447.16 + 233619.94 = 738163.1 (kJ/h)$

3、 高温段 32—59 节：900~1250℃ 散热。窑外壁平均温度取 80℃，环境温度 20℃，窑内平均温度 1075℃。

① 窑墙散热

单位热流密度:

$$q = \frac{t_1 - t_a}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} = \frac{1075 - 80}{\frac{0.23}{0.46} + \frac{0.13}{0.13}} = 663 (W / m^2)$$

窑墙散热面积 $A = (0.8 + 1.585) / 2 \times 2 \times 28 = 66.78$

两侧窑墙共散热 $Q_3 = 66.78 \times 2 \times 663 \times 3.6 = 318781.01 (kJ/h)$

② 窑顶散热:

单位热流密度:

$$q = \frac{t_1 - t_a}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} = \frac{1075 - 80}{\frac{0.230}{0.49} + \frac{0.13}{0.13}} = 690 (W / m^2)$$

窑顶散热面积 $A = (2.3 + 3.02) / 2 \times 2 \times 28 = 148.96$

窑顶散热 $Q_3 = 148.96 \times 690 \times 3.6 = 370016.64 (kJ/h)$

③ 窑底散热

单位热流密度:

$$q = \frac{t_1 - t_a}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} = \frac{1075 - 80}{\frac{0.13}{0.35} + \frac{0.195}{0.1058}} = 448.8 (W / m^2)$$

$$\text{窑底散热面积 } A = (2.3 + 3.02) / 2 \times 2 \times 28 = 148.96$$

$$\text{窑底散热 } Q_{3//} = 148.96 \times 3.6 \times 448.8 = 240242.69 \text{ (kJ/h)}$$

$$\text{高温段总散热量 } Q_{\text{高}} = 240242.69 + 370016.64 + 318781.01 = 929040.34 \text{ (kJ/h)}$$

$$\text{窑体总散热量 } Q = 929040.34 + 738163.1 + 414735.38 = 2081938.82 \text{ (kJ/h)}$$

7.2.3 物化反应耗热 Q_4

①自由水蒸发吸热 Q_w

$$\text{自由水质量 } G_w = 8092.87 - 7752.97 = 339.9$$

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

$$Q_w = 339.9 \times (2490 + 1.93 \times 400) = 1108753.8 \text{ (kJ/h)}$$

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

$$\text{入窑干制品质量 } G_g = 7752.97 \text{ kg/h} \quad Al_2O_3 \text{ 含量} = 19.5\%$$

$$Q_p = 7752.97 \times 2100 \times 19.5\% = 3174841.22 \text{ (kJ/h)}$$

$$Q_4 = Q_w + Q_p = 1108753.8 + 3174841.22 = 4283595.02 \text{ (kJ/h)}$$

7.2.4 烟气带走显热 Q_g

$$\text{离窑烟气总量: } q_g = [V_{g0} + (a_g - 1.15) \times V_{a0}]_x + V_s = [8.6 + (2 - 1.15) \times 6.571]_x = 14.19x$$

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

$$\text{离窑烟气温度 } t_g = 400^\circ\text{C}$$

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

$$Q_g = 1.45 \times 400 \times 14.19x = 8032.2x \text{ (KJ/h)}$$

7.2.5 其他热损失 Q_5

根据经验占热收入的 5%

$$Q_5 = (136801.85 + 28852.6x + 190.07x + 145.21x) \times 5\% = 6840.09 + 1459.39x$$

7.3 列热平衡公式

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

$$136801.85 + 28852.6x + 190.07x + 145.21x = 10972003.1 + 2081938.82 + 4283595.02 + 8032.2x + 6840.09 + 1459.39x$$

$$\text{解得 } X = 873.65 \text{ (Bm}^3/\text{h)}$$

即每小时消耗二甲醚 873.65 立方米，每小时烧成产品质量 7752.97kg，所以单位产品的产品能耗为： $(873.65 \times 28850) / 7752.97 = 3251 \text{ (KJ/Kg)}$

目前玻化砖的产品热耗在 2000 ~ 3500 (KJ/Kg) 之间，所以设计该窑炉热耗合理。

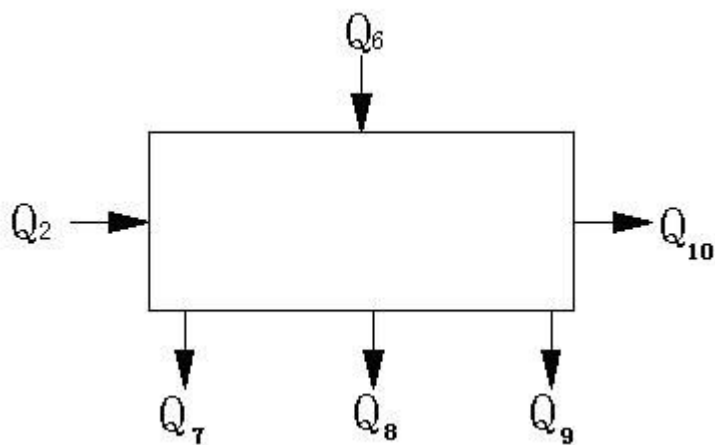
7.4 列热平衡表

热收入			热支出		
项目	KJ/h	%	项目	KJ/h	%
坯体带入显热	136801.85	0.56	产品带出显热	10972003.1	22.49
燃料化学热及显热	25207074	98.21	窑体散失热	2081938.82	48.27
助燃空气显热	166056.4	0.71	物化反应热	4283595.02	21.33
漏入空气显热	126862.7	0.52	烟气带走显热	7017331.53	5.92
			其他热损失	1282098.26	1.99
总计	25636795	100.0	总计	25636966.7	100.0

八 冷却带热平衡的计算

8.1 热平衡示意图

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

制品带出显热 Q_7

热风抽出带走显热 Q_8

窑体散热 Q_9

其他热损失 Q_{10}

8.2 热收入

8.2.1 制品带入的显热 Q_2

制品出窑温度 $t=1220^{\circ}\text{C}$

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

每小时烧成制品质量 $G=7752.97\text{ kg/h}$

所以 $Q_2=7752.97\times 1220\times 1.29=12201624.2\text{ (KJ/h)}$

8.2.2 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°C 时空气的比热为 $c_a=1.30\text{ KJ}/\text{m}^3\cdot^{\circ}\text{C}$ 。

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

8.3 热支出

8.3.1 制品带出显热 Q_7

出窑时制品的质量： $G_m=7752.97\text{kg/h}$

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

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

$$Q_7=7752.97\times 0.896\times 80=555732.89\text{ (KJ/h)}$$

8.3.2 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。故抽出热风量应为 $V_x\text{ m}^3/\text{h}$

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

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

$$\text{则 } Q_8 = 1.32 \times 300 \times V_x = 396V_x (\text{KJ} / \text{h})$$

8.3.3 窑体散失热量

急冷带（54—70 节）1250~700℃段散热失热量 Q_9

①窑墙散热

$$\text{内壁平均温度 } t_2 = \frac{1250 + 700}{2} = 975 \text{ } ^\circ\text{C}$$

设窑墙外壁平均温度 $t_3 = 50^\circ\text{C}$,

单位热流密度:

$$q = \frac{t_1 - t_2}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} = \frac{975 - 50}{\frac{0.23}{0.45} + \frac{0.13}{0.13}} = 612.77 (\text{W} / \text{m}^2)$$

$$\text{窑墙散热面积 } A = (0.8 + 1.585) / 2 \times 2 \times 6 + (0.7 + 1.345) / 2 \times 2 \times 11 = 36.8 \text{ m}^2$$

$$\text{两侧窑墙共散热: } Q/1 = 612.77 \times 36.8 \times 3.6 \times 2 = 162381.6 (\text{KJ} / \text{h})$$

②窑顶散热:

单位热流密度:

$$q = \frac{t_1 - t_2}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} = \frac{975 - 50}{\frac{0.23}{0.45} + \frac{0.13}{0.13}} = 612.18 (\text{W} / \text{m}^2)$$

$$\text{窑顶散热面积: } A = (2.3 + 3.02) / 2 \times 2 \times 17 = 90.44 \text{ m}^2$$

$$\text{窑顶散热量: } Q//1 = 90.44 \times 612.18 \times 3.6 = 199316.01 (\text{KJ} / \text{h})$$

③窑底散热

单位热流密度:

$$q = \frac{t_1 - t_2}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} = \frac{975 - 50}{\frac{0.13}{0.45} + \frac{0.195}{0.3786}} = 541.89 (W / m^2)$$

窑底散热面积：A = (2.3+3.02) / 2 × 2 × 17 = 90.44m²

窑底散热量 Q_底 = 90.44 × 3.6 × 541.89 = 176430.71 (KJ / h)

急冷带散热总量 Q₁ = 176340 + 199316.01 + 162381.6 = 438128 (KJ / h)

缓冷带、快冷带（71—104 节）：700~80℃，要内壁平均温度 390℃。窑外壁平均温度取 50℃，

① 窑墙散热

单位热流密度：

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

窑墙散热面积 A = (0.7+1.345) / 2 × 2 × 33 = 67.5

两侧窑墙共散热：Q₂ = 205.19 × 67.5 × 2 × 3.6 = 99722.34 (KJ / h)

② 窑顶散热：

单位热流密度：

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

窑顶散热面积 A = (2.3+3.02) / 2 × 2 × 33 = 175.56

窑顶散热量：Q₂ = 175.56 × 3.6 × 252.038 = 159292.05

③ 窑底散热

单位热流密度：

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

窑底散热面积 A = 2.3+3.02) / 2 × 2 × 33 = 175.56 (KJ / h)

窑底散热量 Q₂ = 175.56 × 285.71 × 3.6 = 163508.86 (KJ / h)

快 冷 带 与 缓 冷 带 总 散 热 量

$$Q_2 = 163508.86 + 159292.05 + 99722.34 = 422523.25 \text{ (KJ/h)}$$

$$\text{冷却带总散热: } Q_9 = 422523.25 + 438128 = 860651.25$$

8.3.4 其他热损失 Q₁₀

根据经验占热收入的 5%

$$Q_{10} = (Q_2 + Q_6) 5\% = (12201624.2 + 26V_x) 5\% = 610081.21 + 1.3V_x$$

8.4 列热平衡方程并求解

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

$$12201624.2 + 26V_x = 555732.89 + 396V_x + 860651.25 + 610081.21 + 1.3V_x$$

$$\text{解得 } V_x = 27404.15 \text{ (m}^3/\text{h)}, \text{ 即每小时鼓入冷风 } 27404.15 \text{ (m}^3/\text{h)}$$

8.4 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	12201624.2	94.3	1	制品带出热	555732.89	4.2
2	空气带入热	712507.9	5.7	2	窑体散热	860651.25	3.6
				3	抽热风带走热	10852043.4	86.4
				4	其他热损失	645706.6	5.8
总计		12914132.1	100	总计		129114134.1	100

由表可看出，热风抽出带走的热量占很大的比例，因此应充分利用此热量，一般用来干燥坯体和作助燃风以及雾化风作用。本窑设计抽热风用于坯体的干燥以及送去造粒塔进行吹热风造粒。同时本人正在积极研究一项新的课题项目，利用窑炉热风进行热发电，如果能研究成功此发明将有很广阔的应用前景，同时为我国节约大量能源，对我国正在大力建设节约型社会起到巨大的推动作用。

九 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

排烟系统需排烟气量：

$$V_g = [V_{g0} + (a_g - 1.15) \times V_{a0}]x + V_s = [8.6 + (2 - 1.15) \times 6.571] \times 873.65 = 14.19 \times 873.65 = 12397.11 \text{ m}^3/\text{h} = 3.44$$

9.1.1 总烟管尺寸

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

$$\text{内径 } d_{\text{总}} = (4V / \pi \omega)^{0.5} = (4 \times 3.44 / (3.1415 \times 10))^{0.5} = 0.66 \text{ m} = 660 \text{ mm}$$

所以总烟管内径取 660mm，长度取 5m

9.1.2 分烟管尺寸

$$\text{分管流量 } V' = V/2 = 3.44/2 = 1.72 \text{ (m}^3/\text{s)}$$

$$\text{内径 } d_{\text{分}} = (4V' / \pi \omega)^{0.5} = (4 \times 1.72 / (3.1415 \times 10))^{0.5} = 0.47 \text{ m} = 470 \text{ mm}$$

分管内径取值为：470mm，长度取 4m.

9.1.3 支烟管尺寸

$$\text{流量 } V'' = 3.44/4 = 0.86 \text{ (m}^3/\text{s)}$$

$$\text{内径 } d_{\text{支}} = (4V'' / \pi \omega)^{0.5} = (4 \times 0.86 / (3.1415 \times 10))^{0.5} = 0.33 \text{ m} = 330 \text{ mm}$$

支烟管内径取值为 330mm，长度取 0.5m.

9.2 阻力的计算

9.2.1 料垛阻力 h_i

据经验每米窑长料垛阻力为 0.5Pa，因为该窑第 4 节为主抽烟口，零压面位于窑的 13~14 节交界处，所以：

$$h_i = (9 + 0.5) \times 2.08 \times 0.5 = 9.5 \text{ Pa}$$

9.2.2 位压阻力 h_g

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

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

9.2.3 局部阻力 h_e

局部阻力 ζ 可由查表得：

烟气从窑炉进入支管： $\zeta = 1$ ；

支烟管进入分烟管： $\zeta = 1.5$ ；

并 90° 转弯： $\zeta = 1.5$ ；

分管 90° 急转弯： $\zeta = 1.5$ ；

分管进入 90° 圆弧转弯： $\zeta = 0.35$ ；

分管进入总管： $\zeta = 1.5$ ；

并 90° 急转弯： $\zeta = 1.5$

为简化计算，烟气流速均按 10m/s 计，烟气温度按 400°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，故按此值算出局部阻力只会偏大，能满足实际操作需求。

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

9.2.4 摩擦阻力

摩擦阻力系数：金属管道取 $\zeta = 0.03$ ，

$$\begin{aligned} h_f &= \zeta (L_{支}/D_{支} + L_{分}/D_{分} + L_{总}/D_{总}) \times \omega^2 \rho / 2 \\ &= 0.03 \times (0.5/0.33 + 4/0.47 + 5.0/0.66) \times 100/2 \times 273 / (273 + 400) \\ &= 10.7 \text{ Pa} \end{aligned}$$

9.2.5 风机应克服总应力 $h_{总}$

$$h_{总} = h_i + h_g + h_e + h_f = 9.5 - 11.9 + 10.7 + 233.3 = 241.6 \text{ Pa}$$

9.3 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：

$$H = (1 + 0.5) \times 241.6 = 362.4 \text{ Pa}$$

流量取储备系数为 1.5，风机排出烟气平均温度 250℃，所以：

$$Q = 1.5 \times V_g \times (273 + 250) / 273 = 5218 \text{ (m}^3/\text{s)}$$

9.4 其他系统管路尺寸确定

9.4.1 助燃风管计算

$$\text{助燃风量 } V_{\alpha} = 7.56 \times 873.65 = 6604.8 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{实际助燃风量 } V = 6604.8 \times (273 + 20) / 273 = 7088.7 \text{ m}^3/\text{h}$$

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

$$\begin{aligned} \text{总管内径：} d_{总} &= 2 \times (v / 3600 \pi \omega)^{0.5} = 2 \times (7088.7 / (3600 \times 3.1415 \times 10))^{0.5} \\ &= 0.5 \text{ m} = 500 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{分管内径：} d_{总} = 2 \times (v / (3600 \times 2 \pi \omega))^{0.5} = 0.35 \text{ m} = 350 \text{ mm}$$

9.4.2 冷却带风管计算

冷却带鼓入冷风总量为 $27404.15 \text{ m}^3/\text{h}$

项目	所占比例	鼓入冷风量
急冷带	60%	16442.49
缓冷带	—100%	—27404.15
快冷带	40%	10961.66

缓冷总管（抽风管）：

缓冷风量 $V=27404.15 m^3/h$ ，取 $\omega=8m/s$

缓冷总管： $D_{总}=2 \times (27404/(3600 \times 3.1415 \times 8))0.5=0.6m=600mm$

取缓冷总管内径：600mm

缓冷分管： $D_{分}=2 \times (27404/(3600 \times 3.1415 \times 8 \times 8))0.5=0.24m=240mm$

取缓冷分管内径：240mm

缓冷支管：共设置了（16 个抽风口，16 根抽风支管）

$D_{支}=2 \times (27404/(3600 \times 3.1415 \times 16 \times 8))0.5=0.2m=200mm$

取缓冷分管内径：200mm

急冷风量 $V=16442.69 m^3/h$ ，取 $\omega=10m/s$

急冷总管内径： $D_{总}=2 \times (v/3600 \pi \omega) 0.5=0.46m=460mm$

急冷分管内径取 $\omega=9m/s$ ，上下共 2 根方管： $D_{分}=2 \times (v/(2*3600 \pi \omega))$

$0.5=0.3m=300mm$

急冷支管的内径，取 $\omega=8m/s$ ，共 30 根， $D_{支}=2 \times (v/(30*3600 \pi \omega))$

$0.5=0.09m=90mm$

快冷总管内径确定， $V=10961.66 m^3/h$ ，取 $\omega=10m/s$ ， $D_{总}=2 \times (v/3600 \pi \omega) 0.5=0.38m=380mm$

快冷分管内径，取 $\omega=9m/s$ ， $D_{分}=2 \times (v/(2*3600 \pi \omega)) 0.5=0.28m=280mm$

快冷支管内径，取 $\omega=8m/s$ ， $D_{支}=2 \times (v/(24*3600 \pi \omega)) 0.5=0.09m=90mm$

9.5 风机的选型

9.5.1 助燃风机的选型

风量 $V_1=6604.5 \text{ m}^3 / \text{h}$

9.5.2 急冷风机选型

风量 $V_2=16442.49 \text{ m}^3 / \text{h}$

9.5.3 抽热风机选型

风量 $V_3=27404.15 \text{ m}^3 / \text{h}$

9.5.4 快冷风机选型

风量 $V_4=10961.6 \text{ m}^3 / \text{h}$

表 10-1 风机型号表

用途	风机名称	机型	转 速 r/min	全压 Pa	风 量 m ³ /h	电动机	
						型 号	功 率 /kW
搅拌风机	离心通风机	G6-43No3.3	2840	1785	1474	Y190S-2	1.5
车下风机	离心通风机	G6-43No6.3	1440	1652	5896	Y132S-4	5.5
排烟风机	锅炉引风机	Y8-39No5.6	2900	3971	12214	Y200L1-2	30
助燃风机	离心通风机	G6-43No6.3	1440	1797	3106	Y132S-4	5.5
快冷风机	离心通风机	G6-43No8.5	1470	3271	13034	Y160M-4	22
抽热风机	锅炉引风机	Y4-73No9D	1450	1644	25976	Y180L-4	22
急冷风机	离心通风机	G6-43No6.3	1440	1652	5896	Y132S-4	5.5

十 工程材料概算

10.1 窑体材料概算

10.1.1 轻质粘土砖的概算

每块轻质粘土砖的体积 $V = 0.23 \times 0.113 \times 0.065 = 0.00169m^3$ 103488

$V_n = 2 \times 0.78 \times 2.008 \times 0.2 (31+44) + 0.13 \times 2.008 \times 2.640 \times (31+44) + 0.23 \times 2.008 \times 2.30 \times (31+44) = 168.98 m^3$

取多余的砖的数量占总量的 3.5%

本窑共需轻质粘土砖的数量为：

$N_1 = V_n (1+0.035) / V = 103488$ 块

10.1.2 轻质高铝砖

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

$V_g = 2 \times 0.88 \times 2.008 \times 0.23 \times 28 + 0.23 \times 2.008 \times 2.640 \times 28 + 0.23 \times 2.008 \times 2.03 \times 28 = 83.15m^3$

取多余的砖的数量占总量的 3.5%

本窑共需轻质高铝砖的块数为：

$N_2 = V_g (1+0.035) / V = 50923$ 块

10.1.3 硅藻土砖

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

~27 节硅藻土砖的体积：

$$V_{gz}=2.303 \times 2.640 \times 2.008 \times 27=329.63 \text{ m}^3$$

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:

$$N_3=V_{gz} (1+0.035) / V=201873 \text{ 块}$$

10.1.4 硅酸铝棉板的概算

$$\text{第 1-31, 60-104 节, } S_1=(2.640 \times 2.008+2 \times 2.008 \times 0.78) \times 76=640.87 \text{ m}^3$$

$$\text{第 32-59 节, } S_2=(2.640 \times 2.008+2 \times 2.008 \times 0.78) \times 28=247.36 \text{ m}^3$$

10.2 钢材的概算

钢材的概算以窑的一节用钢材量为基准

10.2.1 方钢的概算

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

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

10.2.2 钢板的概算

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

10.2.3 角钢的概算

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

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

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

合计 $8.4 \times 10.5=88.2 \text{ m}$

10.2.4 全窑所用钢材量

方钢: $(20.08+13.8) \times 104=3523.52m$

钢板: $5.30 \times 104=551.2 m^2$

角钢: $(11.04+57.96) \times 104=7176m$

十一 参考文献

- [1] 胡国林 陈功备 《窑炉砌筑与安装》.武汉理工大学出版社.2005.5
- [2] 蒋鉴华 张振刚 《热工测量及过程自动控制》.江西高校出版社.2009.2
- [3] 孙晋淘 《陶瓷工业热工设备》. 武汉理工大学出版社.1989.10
- [4] 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
- [5] 陈 帆 《现代陶瓷工业技术设备》.中国建材工业出版社.1995.5
- [6] 续魁昌 《风机手册》.北京机械工业出版社.1995.5
- [7] 王秉铨 《工业炉设计手册》. 北京机械工业出版社.1996.8
- [8] 姜正侯 《燃气工程技术手册》.同济大学出版社.1993.5
- [9] 刘麟瑞 林彬荫 《工业窑炉用耐火材料手册》 冶金工业出版社.2001.6
- [10] 杨世铭 陶文铨 《传热学》第三版 . 高等教育出版社.1998

陶瓷辊道窑温度场数值模拟研究

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，最初是应用于冶金工业，目前已广泛用于建筑陶瓷、日用陶瓷、卫生陶瓷工业生产中。自 70 年代辊道窑在我国推广应用以来，辊道窑由于窑内温度场均匀、传热速率和效率大、能耗低和烧成周期短等特点，在我国获得了广泛应用。

众所周知，在陶瓷工业窑炉中，温度、压力、气氛是保证实现烧成工艺的三大制度。在这三大制度中，温度制度是陶瓷制品烧成的关键，它直接影响制品的质量，气氛制度、压力制度又是温度制度的保障。因此，开展对辊道窑温度场数值模拟的研究在提高陶瓷工业的窑炉热工技术、提高制品的烧成质量、降低能源耗散等方面有着重要的指导意义和工业实用价值。

2. 陶瓷窑炉温度场模拟方法比较

在研究陶瓷窑炉热工过程中，温度场的研究是其重要的组成部分。虽然陶瓷窑炉在许多年前就已经出现，但由于没有热工理论的指导，窑内温度的测试和研究缺乏科学的理论依据。

近百年来，随着热工理论的逐渐形成，对窑炉的测试和研究有了很大的发展。

2.1 陶瓷窑炉温度场模拟方法介绍

从上世纪初至今，窑炉热工过程的研究方法主要有原型研究法、相似模拟法、比拟模拟法、数值模拟法等。

（1）原型研究法

原型研究法是以生产中的窑炉原型为研究对象，直接进行研究。它通过测定和分析窑炉热工参数，观察并判断窑炉各种现象来研究窑炉热工过程。原型研究主要包括三个重要环节原型参数实测、数据处理、结果分析。像窑炉热平衡测试、隧道窑温车测试等都属于原型研究。此方法主要出现在 19 世纪末，20 世纪初期，在此期间，窑炉热工过程研究还停留在粗浅的定性水平上，现在已经很少有人采用这种方法。

（2）相似模拟法

相似模拟法是基于相似原理，制作原型的实体模型，模拟原型中的热工过程进行研究。相似模拟法主要应用于两个方面：一是模拟过程取得基本参数，如对流放热系数的测定；二是模拟生产设备进行实验，为设计生产设备取得有用信息。1965 年，刘振群等制成我国第一台隧道窑水模型，用以研究烧成带料层中各通道的流场分布。

（3）比拟模拟法

比拟模拟法是用一种本质现象去模拟另一种本质现象，虽然两种现象的本质不相同，但是可以利用描述现象的数学方程的类似原理来进行比拟模拟。上世纪 40—50 年代，基于类似的比拟方法有了突出的发展，用电流比拟热流，用对流传质过程比拟对流传热过程，例如，采用导电纸，导电液或者电网模拟二维或者三维温度场。由于电的测量容易而且准确，因而电比拟有很大的优越性。

（4）数值模拟法

数值模拟法是应用数学模型在电子数字计算机上通过数值计算方法和逻辑方法来反映原型过程的运动变化及规律。数学模型不同于实体模型，数学模型通常是由单一的方程式、一组方程式或若干组方程式构成。自上世纪 90 年代以来，许多科技工作者在计算机辅助设计及优化方面、热工过程数值模拟方面、自动控制方面都进行了大量研究。

The Ceramic Roller Kiln Temperature Field Numerical Simulation Research

1. Introduction

Roller kiln is developed in recent decades the fast continuous industrial kiln burning, was originally applied to metallurgical industry, has been widely used in building ceramics, daily-use ceramics, sanitary ceramics industry production. Roller kiln in China since the 70 s, the roller kiln with uniform temperature field, heat transfer rate and efficiency, low energy consumption and firing cycle short, etc, won a wide application in our country.

As is known to all, in ceramic industry kiln, the temperature, pressure, atmosphere is to ensure that the implementation system of firing process of the three. In the system of the three, is the key to the ceramic firing temperature system, it directly affects the quality of the products, atmosphere system, pressure and temperature. Therefore, the research on numerical simulation of temperature field in roller kiln in ceramic industry kiln thermal technology, improve the quality of products of firing, reduce energy dissipation, etc, has important guiding significance to the practical value and industry.

2. Ceramic kiln temperature field simulation method

In research in the thermal process of ceramic kiln, the temperature field of the research is an important part of it. Although the ceramic kiln has appeared in many years ago, but since there is no theory of thermal furnace temperature test and research lacks scientific theory basis.

Since the last century, kiln thermal process of research methods mainly include the original method, the similar simulation method, compare with simulation method, the numerical simulation method, etc.

(1) prototype method

Prototype method is in the production of kiln prototype as the research object, study directly. It by measuring and analyzing furnace thermal parameter, observe and judge

kiln to study various phenomenon furnace thermal process. Prototype research mainly includes three important prototype parameter measurement, data processing and result analysis. Like a kiln, tunnel kiln temperature of heat balance test car test belong to prototype research, etc. This method mainly appeared in the late 19th century, the early 20th century, in the meantime, kiln thermal process qualitative research also stay in the shallow level, now very few people in this way.

(2) the similar simulation method

Similar simulation method is based on the similarity principle, prototype entity model, simulate the thermal process of prototype are studied. Similar simulation method is mainly used in two aspects: one is the simulation to obtain the basic parameters, such as the determination of the coefficient of convection heat; Second, simulation experiment production equipment, design and production equipment for useful information. 1965, Liu Zhenqun made the first tunnel kiln in China such as water model, in order to study the material stamping the firing of each channel in the flow field distribution.

(3) compare with simulation method

Analogy simulation method is to use a nature phenomenon to simulate a nature phenomenon, although the nature of the two phenomena are not identical, but can use to describe phenomena of mathematical equations to compare with the similar principle of simulation. 40-50 s of the last century, based on a similar analogy method is the development of the prominent, comparing current heat flow, mass transfer process in the form of the convection heat transfer analogy, for example, USES the conductive paper, conductive liquid or grid to simulate the two dimensional or three dimensional temperature field. Because the electric measuring easy and accurate, and therefore has a lot to the superiority of the electrical analogy.

(4) the numerical simulation method

Numerical simulation method is applied mathematics model on the electronic digital computer numerical calculation method and logic method to reflect the law of movement and in the process of prototype. Mathematical model is different from the solid model, mathematical model is usually by a single equation, a set of equations, or

a set of several equations. Since the 1990 s, many scientific and technical workers in the computer aided design and optimization, numerical simulation of thermal process, a lot of work on automatic control ways.