

景德镇陶瓷学院科技 艺术学院

《窑炉毕业设计》说明书

题目：90M 燃油隧道窑设计

学 号：201030453113

姓 名：黎 岩

院（系）：景德镇陶瓷学院科技艺术学院

专 业：10 热工

指导教师：陈功备

1、摘要前言	3
2、原始数据	3
3、窑体尺寸的计算	4
3.1 窑车棚板和支柱的选用	4
3.2 窑长和窑宽及窑车尺寸的确定	4
4、工作系统的确定	4
4.1 预热带工作系统的确定	4
4.2 烧成带工作系统布置	4
4.3 冷却带工作系统布置	5
5、窑体的确定	6
5.1 窑体	6
5.2 钢架	6
5.3 窑墙	6
5.5 测温、测压孔	7
5.6 曲封、砂封和车封	7
6、窑体材料及厚度的选择	7
7、燃烧系统计算	9
7.1 助燃空气量计算	9
7.2 燃烧温度计算	9
8.6 每小时从精坯中产生 CO_2 的质量	11
8.7 每小时从精坯中排除的结构水质量	11
9、预热带及烧成带热平衡计算	12
9.1 热平衡计算基准及范围	12
9.2 热平衡框图	12
9.3 热收入项目	13
9.4 热支出项目	15
9.5 列出热平衡方程式	20
9.6 列出预热带和烧成带热平衡表	20
10、冷却带的平衡计算	21
10.1 确定热平衡计算的基准、范围	21
10.2 平衡框图	21
10.3 热收入项目	22
10.4 热支出项目	22
10.5 热平衡方程式	25
10.6 热平衡表	26
11、排烟系统的设计	27
11.1 排烟系统的设计	27
12、烧嘴的选型	27
13、工程材料概算	28

摘要

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 0#柴油，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。

根据市场的要求及方案实现的可能性，提出来以 AutoCAD 为设计工具，提出方案进行论述并设计出一套装配式辊道窑的关键段图库，以备用户挑选组装，这样便可在一定程度上节省设计时间，提高效率，使整个设计方案的适用性强。

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 AutoCAD 关键段 装配式 图库 挑选组装 适用性强

Abstract

The crown uses the high-temperature steel to put on the light suspended ceiling brick the suspended ceiling structure, in order to reduce the entire kiln the heat lose to reduce the unit product to consume hotly, the entire kiln uses the light quality fire-proof material. Because the fuel uses the blue gas is the clean fuel uses the high velocity modulation warm burner nozzle to carry on the bare fever to the product to strengthen the kiln stove interior heat transfer, simultaneously may further adjust to the high speed burner nozzle makes in the kiln the temperature to enhance the rate of finished products evenly, thus achieves the energy conservation the goal.

Is hot for the effective use haze, the section selects the method in front of the kiln stove which the disperser discharges fume, moreover uses in the slow cold section pulls out the hot air the way to cool the product, also may perform to the hot haze to use. Uses the computer automatic control to the entire kiln control to realize, both enhanced staff's working strength which the product rate of finished products and reduces, reduced the production cost.

according to market request and the plan realization possibility, raises designs the tool take AutoCAD, proposed the plan carries on elaborates and designs a set of assemblies types table kiln the essential section map storage, by prepares the user choice assembly, like this then may save the design time in the certain degree, enhances the efficiency, causes the entire design proposal serviceable.

This design characteristic: While improves the product quality to reduce the unit product to consume hotly, realizes in the ceramic profession “the green, the environmental protection, the energy conservation”

Key word: energy conservation The roller kiln AutoCAD essential

section assembly type map storage choice assembly serviceable

一 前言

随着经济不断发展,人民生活水平的不断提高,陶瓷工业在人民生产、生活中都占有重要的地位。陶瓷的发展与窑炉的改革密切相关,一定结构特点的窑炉烧出一定品质的陶瓷。因此正确选择烧成窑炉是获得性能良好制品的关键。

陶瓷窑炉可分为两种:一种是间歇式窑炉,比如梭式窑;另一种是连续式窑炉,比如隧道窑。隧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;而隧道窑中空、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。所以,隧道窑是当前陶瓷工业中优质、高产、低消耗的先进窑型,在我国已得到越来越广泛的应用。

烧成在陶瓷生产中是非常重要的工序。烧成过程严重影响着产品的质量,与此同时,烧成也由窑炉的窑型决定。

在烧成过程中,温度控制是最重要的关键。没有合理的烧成控制,产品质量和产量都会很低。要想得到稳定的产品质量和提高产量,首先要有符合产品的烧成制度。然后必须维持一定的窑内压力。最后,必须要维持适当的气氛。这些要求都应该遵循。

实习期间我在南昌振大机械公司实习了近三个月,在公司先后被分配到上饶、广东潮州实习,主要是在广东,在广东期间主要是学习基本的建筑知识。该砖厂建的是一烘两烧的隧道窑由于我跟的是施工,所以一些基本的数据记得比较清楚,窑长 92.7m,窑宽 3.56m 高近 3m。通过对其窑炉结构和控制的了解,借鉴其经验数据,结合现代窑炉的发展情况,本次设计的隧道窑总长 90 米,内宽 2.5 米,烧成温度是 1320 摄氏度,燃料采用 0#柴油。

二 设计任务与原始资料

2.4 原始数据

花瓶坯体组成（%）

图表 1 胚体组成

SiO2	Al2O3	CaO	MgO	Fe2O3	K2O	Na2O	I. L
73.2	17.15	0.35	0.45	1.0	1.2	1.75	4.9

产品尺寸：Φ200*160 产品质量 2.8 公斤/件；
入窑水分：<2.1%
产品合格率：94%
烧成制度：烧成周期：13 小时，最高烧成温度：1320℃（温度曲线自定）
窑具：SiC 棚板、SiC 支柱，尺寸自定

三 窑体主要尺寸的确定

3.1 装车方法

由于产品单一，为了便于装车和便于控制和测量温度及气氛，采用顺序多层次装车方案：沿长度方向上装 3 列棚板，沿宽度方向上装 4 排棚板，高度方向上装 4 层。

3.2 窑主要尺寸的确定

窑长 90m 窑车定为长 3.15m
90÷3.15=28.57 取 29 辆

3.2 窑车尺寸的确定

取棚板规格为 750*750*25mm。

取支柱规格为 $\Phi 50 \times 175\text{mm}$ 。

窑车车面尺寸为：长 $L_c = 750 \times 4 + 3 \times 50 = 3150\text{mm}$,

宽 $L_b = 750 \times 3 + 50 \times 2 = 2350\text{mm}$ 。因制品质量较大较难烧成采用稀码快烧的原理，根据棚板规格，每块棚板装 4 件制品

每车制品数： $G_c = 4 \times 3 \times 4 \times 4 = 192$ 件。

装窑密度： $\rho = \frac{192}{3.15} = 60.59$ 件/米。

年产量 $G = L \cdot K \cdot g \cdot 24 \cdot D / h = 3122865$ 件

取最高层制品与窑顶间间距为 100mm。

窑内高： $H = 4 \times (175 + 25) + 100 = 900\text{mm}$ 。

取车台面高为 400mm。

窑高： $400 + H = 1300\text{mm}$ 。而烧成带加高 100mm

取窑车也窑墙间距为 75mm。

窑内宽： $B = 750 \times 3 + 50 \times 2 + 75 \times 2 = 2500\text{mm}$ 。

为改善窑内传热，使制品在烧成带均匀受热。烧成带窑内加宽 30mm，取 2800mm。

各带长度的确定

预热带： $L_y = 90 \times \frac{5.5}{15} = 33$ 米

烧成带： $L_s = 90 \times \frac{3}{15} = 18$ 米

冷却带： $90 - 33 - 18 = 39$ 米

设室内 $1/3$ 的窑车数为备用车，则共需窑车数为 $30 + 10 = 40$ 辆。

4、工作系统的确定

4.1 预热带工作系统的确定

预热带 9 节，1~3 节为排烟，第 1 节窑头两侧墙及窑顶设置一道封闭气幕，气幕风由冷却带抽来的热空气提供。目的是使窑头气流压力自平衡，以减少窑外冷空气进入窑体。第一节第 2 节和第 3 节每节在窑车台面棚板通道处设 2 对排烟口，尺寸： $325 \times 230\text{mm}$ 位置正对。共六对

4.2 烧成带工作系统布置

第 11 节到第 16 节为烧成带，第 11 节，每节设置 2 支烧嘴，上下部设置与窑墙均呈现交错布置，共 26 支。

烧嘴和观火孔一一正对。

4.3 冷却带工作系统布置

冷却带按照烧成工艺分成三段：

第 17~19 节为急冷段。该段采用喷入急冷风直接冷却方式，除急冷首节只在后半节设冷风喷管（尺寸Φ65）（上设 3 个，下设 3 个）外，其余每节上部设 6 个冷风喷管，下部 6 个冷风喷管，上下喷管交错设置，前后正对，每侧共 15 个。

第 20~25 节为缓冷段。本设计中采用直接热风冷却的方法，为了能使急冷段和快冷段来的热风对制品进行充分缓冷，设计中 20 节不设抽热风口，25 节不设喷风管。其余 4 节各设 1 对相错的抽热风口，共 4 对，热风口尺寸与排烟段尺寸一样大小 134×115mm。。

第 26~28 节为快冷段。第 26~29 节上下部各设 1 对冷风喷管，交错排列，尺寸Φ65，共 16 支，通过喷管鼓入冷风直接对窑内的制品进行冷却，以保证制品的出窑温度低于 80℃。

温度 (°C)	烧成阶段	长度 (m)	节数
20~300	预热带	9.45	1~3
300~600	预热带	9.45	4~6
600~950	预热带	9.45	7~9
950~1320	烧成带	15.75	10~14
1320~1320	烧成带 (高火保温)	6.3	15~16
1320~800	冷却带 (急冷带)	6.3	17~19
800~400	冷却带 (缓冷带)	18.9	20~25
400~80	冷却带 (快冷带)	12.6	26~29

烧成温度曲线大致如下：

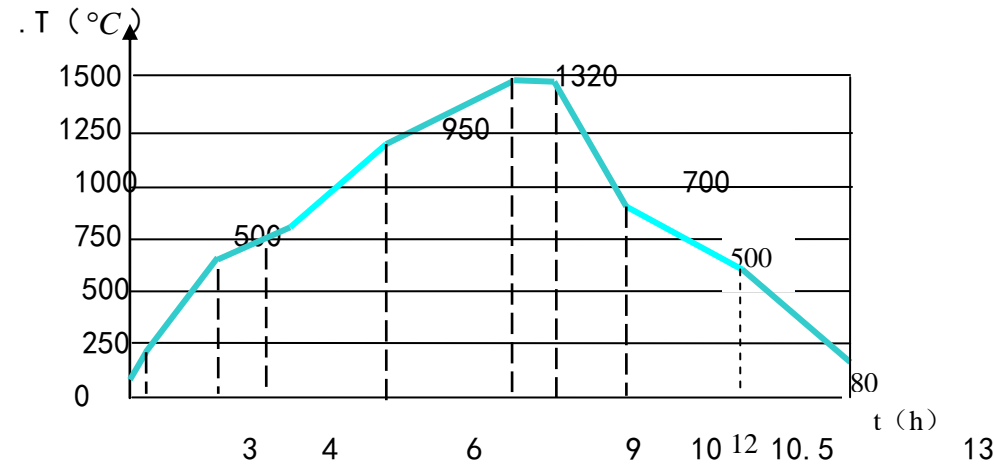


图 4-2：烧成温度曲线

5、窑体的确定

5.1 窑体

窑体由窑墙主体、窑顶和钢架组成窑体材料由外部钢架结构（包括窑体加固系统和外观装饰墙板）和内部耐火砖及耐火棉组成。砌筑部分，均采用轻质耐火隔热材料。窑墙、窑顶和窑车衬体围成的空间形成窑炉隧道，制品在其中完成烧成过程。

5.2 钢架

每一钢架长度为 2 米，含钢架膨胀缝。全窑共 29 个钢架结构，其高度、宽度随窑长方向会有所改变。钢架主要由轻质方钢管、等边角钢等构成，采用焊接工艺，并在焊接处除去焊渣、焊珠，并打磨光滑。窑墙直接砌筑在钢板上，钢架承担着窑墙和窑顶及附属设备的全部重量。

5.3 窑墙

窑墙采用轻质耐火隔热材料。常用材质如下：石棉板、轻质粘土砖、硅藻土砖、普通硅酸耐火纤维板、含铬耐火纤维毡、轻质高铝砖、矿渣棉等耐火材料。窑墙砌筑在钢架结构上。预热带留两个膨胀缝 15m 一个，缝宽 50mm。烧成带由于温度较高，膨胀系数较大，5m 一个膨胀缝缝宽 50mm，冷却带 15 一个膨胀缝，均用耐火棉填补，窑墙最外面用 10mm 厚的石棉板（为方便画图，画图时没有考虑膨胀缝的长度）。

5.4 窑顶

窑顶是由吊顶板或吊顶砖和角钢或细钢筋等组成的平顶结构。角钢直接焊接在窑顶钢架上，细钢筋则是做成钩状挂在窑顶钢架上。吊顶板或吊顶砖与角钢或细钢筋紧固。这样，窑顶的重量也由钢架承担。

在窑顶上，铺厚度适宜的保温棉和耐火棉，窑体材料的轻质化，可大大减少窑体蓄热。

5.5 测温、测压孔

温度控制：为了严密监视及控制窑内温度和压力制度，及时调节烧嘴的开启度，一般在窑道顶及侧墙留设测温孔安装热电偶。本设计中分别布置于 1、3、6、9、12、15、16、19、24、27 标准节窑顶中部各设置一处测温孔，共 10 支。因此在烧成曲线的关键点，如窑头、氧化末段、晶型转化点、成瓷段、急冷结束等都有留设。

压力控制主要靠调节烟气、空气等流量来实现。布置压力计于 2、6、9、16、19、24、27 车位中部，共 7 支。为方便画图，图纸中没有表示出。

5.6 曲封、砂封和车封

窑墙与窑车之间、窑车与窑车之间做成曲折封闭。曲封面贴一层高温耐火棉。窑车之间要承受推力，所以在窑车接头的槽钢内填充散棉，以防止上下漏气。砂封是利用窑车两侧的厚度约 6~8mm 的钢制裙板，窑车在窑内运动时，裙板插入窑两侧的内装有直径为 1~3mm 砂子的砂封槽内，隔断窑车上下空间。砂封槽用厚度 3mm 左右的钢板制作而成，且留有膨胀缝。在预热带头部缓冷段头部的窑墙上各设置一对加砂斗。

6、窑体材料和厚度的确定

窑体所采用的材料及其厚度应该满足各段使用性能的要求，受表面最高温度限制以及砖形、外观整齐等方面的因素的影响，综合考虑后，确定窑体材料和厚度如下所列。

排烟段1-3节	
窑顶	窑墙
硅酸铝纤维毯3*20mm	硅酸铝纤维毡50mm
高铝纤维毯2*20mm	高铝纤维毡2*50mm
高铝聚轻球吊顶砖230mm	高铝纤维毯20mm
	高铝聚轻球砖230mm
排烟段4-10节	
窑顶	窑墙
硅酸铝纤维毯3*20mm	硅酸铝纤维毡50mm
高铝纤维毯2*20mm	高铝纤维毡2*50mm
TJM26莫来石吊顶230mm	高铝纤维毯20mm
	TJM26莫来石230mm
烧成段11-16节	
窑顶	窑墙
高铝纤维毯3*20mm	硅酸铝纤维毡50mm
含锆纤维毯2*20mm	高铝纤维毡2*50mm
TJM26莫来石吊顶230mm	含锆纤维毡50mm
	含锆纤维毯20mm
	TJM26莫来石230mm
冷却段17-19节	
窑顶	窑墙
硅酸铝纤维毯3*20mm	硅酸铝纤维毡50mm
高铝纤维毯2*20mm	高铝纤维毡2*50mm
TJM26莫来石吊顶230mm	高铝纤维毯20mm
	TJM26莫来石230mm
冷却段20-29节	
窑顶	窑墙
硅酸铝纤维毯3*20mm	硅酸铝纤维毡50mm
高铝纤维毯2*20mm	高铝纤维毡2*50mm
高铝聚轻球吊顶砖230mm	高铝纤维毯20mm
	高铝聚轻球砖230mm

7、燃烧系统计算

7.1 助燃空气量计算

燃料是 0 号柴油，低位发热量 $Q_d = 41800 \text{ (kJ/m}^3\text{)}$ 根据《理论空气量和燃烧生成烟气经验计算公式》，

$$\text{单位理论空气消耗量 } L_0 = \frac{0.2}{1000} \times Q_d + 2 = 10.36 \text{ (Nm}^3\text{/Nm}^3\text{)}, \text{ 取过剩系数 } \alpha = 1.3$$

$$\text{则实际需要空气量: } L_a = L_0 \times 1.3 = 13.47 \text{ (Nm}^3\text{/Nm}^3\text{)}$$

$$\text{生成烟气量: } V_g = \frac{0.27}{1000} \times Q_d + (\alpha - 1)L_0 = 14.39 \text{ (Nm}^3\text{/Nm}^3\text{)}$$

7.2 燃烧温度计算

燃料的理论燃烧温度，公式如下：

$$t_{th} = \frac{Q_d + c_r t_r + c_a t_a L_a}{V_g c_g}$$

式中 c_r 、 c_a 、 c_g —— 燃料、空气及烟气的比热容， $\text{kJ}/(\text{Nm}^3 \cdot ^\circ\text{C})$ ；

L_a —— 一定空气消耗系数下的单位燃料燃烧空气消耗量， Nm^3/Nm^3 ， $L_a = \alpha L_0$ ；

V_g —— 一定空气消耗系数下单位燃料燃烧生成烟气量， Nm^3/Nm^3 ；

t_r 、 t_a —— 燃料及空气的预热温度， $^\circ\text{C}$ 。

0 号柴油低位发热量 $Q_d = 41800 \text{ (kJ/m}^3\text{)}$ ，取室温 20°C ，此时空气的比热 $c_a = 1.30 \text{ kJ}/(\text{Nm}^3 \cdot ^\circ\text{C})$ 柴油的比热 $c_r = 2.1 \text{ kJ}/(\text{Nm}^3 \cdot ^\circ\text{C})$ ，经过多次假设试算，以下假设合理，假设烟气温度为 1800°C ，烟气的比热（查燃烧学表 5-2）为 $c_g = 1.67$ ，

带入公式得 $t_{th} = 1756^{\circ}\text{C}$

$(1800 - 1756) / 1800 = 2.46\% < 5\%$, 合理

取高温系数为 0.80, 则实际温度为 $t = 0.80 \times 1800 = 1440^{\circ}\text{C}$, 比实际温度 1320°C 高出 120°C , 符合燃烧要求, 认为合理。

八 热平衡的计算

8.1 计算基准

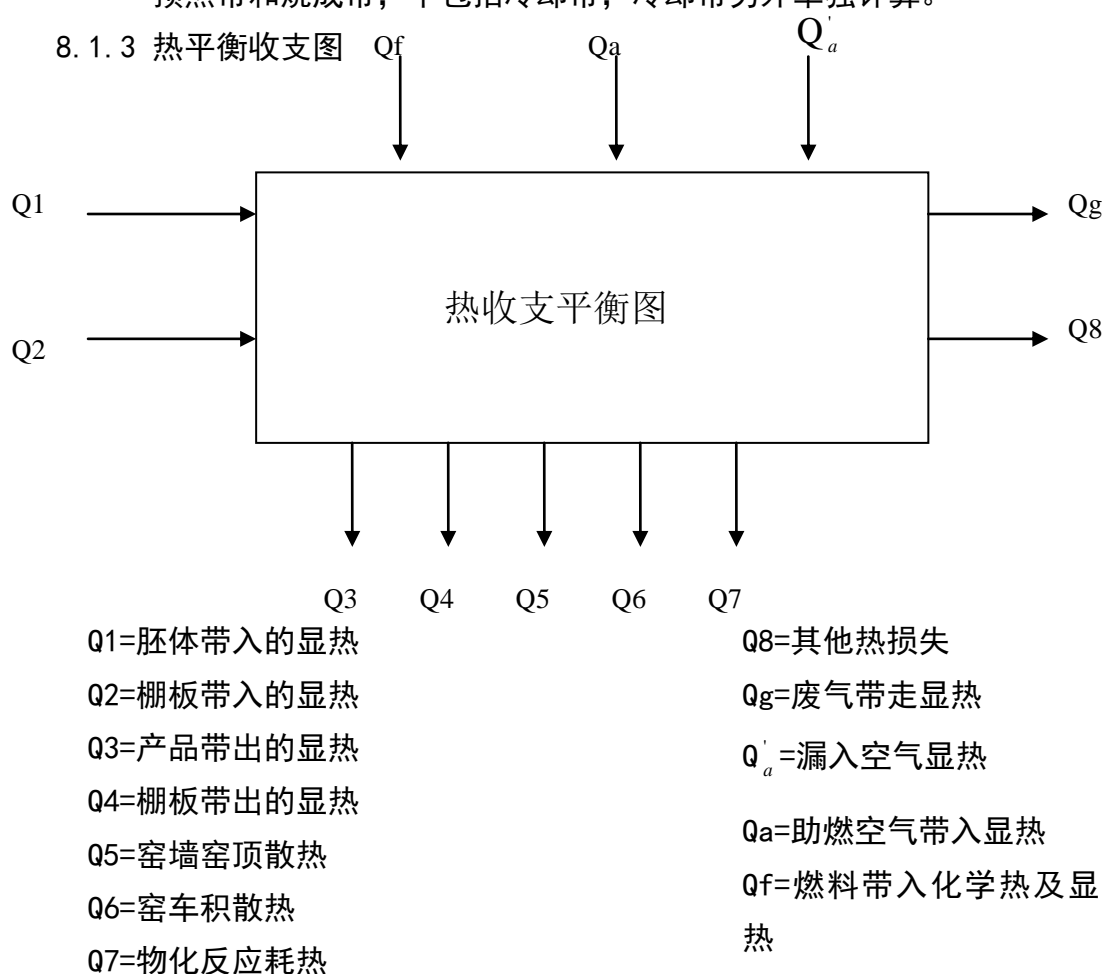
8.1.1 热平衡的计算标准: 计算时间基准: 1h

计算温度基准: 0°C

8.1.2 热平衡计算范围:

预热带和烧成带, 不包括冷却带, 冷却带另外单独计算。

8.1.3 热平衡收支图



图表 5 热平衡收支示意图 1

计算热平衡需用以下数据验算及检验

8.2 每小时烧成制品的质量 G_m

制品质量为 2800g, 每车装 192 个, 每车制品的质量为 $2.8\text{kg} \times 192 = 537.6\text{kg}$,
推车速度 = 29 车/13 时 = 2.23 车/时。

$$G_m = \text{推车速度} \times \text{每车装载重量} = 2.23 \times 537.6 = 1199\text{kg/h}$$

8.3 每小时入窑干坯质量 G_g

$$G_g = G_m \cdot \frac{100}{100 - \text{IL}} = 1199 \times \frac{100}{100 - 4.9} = 1260.77(\text{kg/h})$$

$$8.4 \text{ 每小时入窑湿坯质量 } G_s = G_g \cdot \frac{100}{100 - \omega} = 1260.77 \times \frac{100}{100 - 2.1} = 1287.82\text{kg/h}$$

$$8.5 \text{ 每小时蒸发自由水质量 } G_z = G_s - G_g = (1287.82 - 1260.77)\text{kg/h} = 17.05(\text{kg/h})$$

8.6 每小时从精坯中产生 CO_2 的质量

$$G_{\text{CaO}} = G_g \times \text{Ca}\% = 1260.77 \times 0.25\% = 3.15\text{kg/h}$$

$$G_{\text{MgO}} = G_g \times \text{MgO}\% = 1260.77 \times 0.45\% = 5.67\text{kg/h}$$

$$G_{\text{CO}_2} = G_{\text{CaO}} \times \frac{M_{\text{CO}_2}}{M_{\text{CaO}}} + G_{\text{MgO}} \times \frac{M_{\text{CO}_2}}{M_{\text{MgO}}} = 3.15 \times \frac{44}{56} + 5.67 \times \frac{44}{40} = 8.712\text{kg/h}$$

8.7 每小时从精坯中排除的结构水质量

$$G_i = G_g \times \text{I.L}\% - G_{\text{CO}_2} = 1260.77 \times 4.9\% - 6.575 = 55.2\text{kg/h}$$

8.8 每小时入窑窑具质量 G_b

棚板每层 48 制品, 共 192 个, 用三角支柱, 支柱共 144 个

单个棚板质量 0.9702kg 棚板共 60 块

单个支柱的质量 0.825kg

每车棚板重量 = $0.9702 \times 60 = 58.2\text{kg}$

每车支柱质量 = $0.825 \times 144 = 118.8\text{kg}$

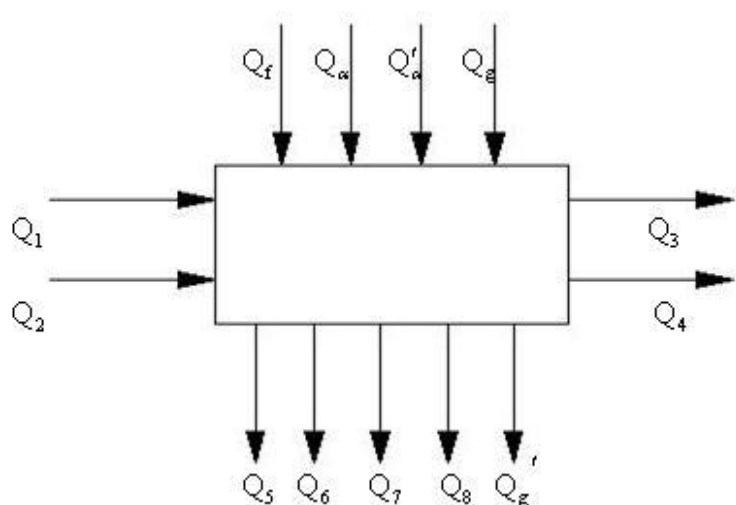
每小时入窑窑具质量 $177\text{kg} \times 29 = 5133$ $5133 \div 13 = 395\text{kg} / \text{h}$

9、预热带及烧成带热平衡计算

9.1 热平衡计算基准及范围

热平衡计算以 1h 为基准， 0°C 为基准温度。

9.2 热平衡框图



其中：

Q_1 ——制品带入的显热；

Q_2 ——窑具带入的显热；

Q_f ——燃料带入的化学热和显热；

Q_α ——助燃空气带入的显热；

Q'_α ——预热带漏入空气带入的显热；

Q_g ——气幕、搅拌风带入的显热；

Q_3 ——产品带走出的显热；

Q_4 ——窑具带走的显热；

Q_5 ——窑墙、窑顶带走的显热；

Q_6 ——窑车蓄热和散失热量；

Q_7 ——物化反应耗热；

Q_8 ——其他热损失；

Q'_g ——烟气带走的显热；

9.3 热收入项目

9.3.1 胚体带入的显热

$$Q_1 = G_s \times c_1 \times t_1 (\text{kJ/h})$$

其中： G_s ——入窑湿制品的质量 1287.82 (kg/h)；

t_1 ——入窑制品的温度 20°C ；

c_1 ——入窑制品的平均比热 ($\text{kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$)。一般取 0.84-1.26, 此处取 $0.90 \text{ kJ}/(\text{Nm}^3 \cdot ^\circ\text{C})$ ，则胚体带入的显热：

处取 $0.90 \text{ kJ}/(\text{Nm}^3 \cdot ^\circ\text{C})$ ，则胚体带入的显热：

$$Q_1 = 1287.82 \times 20 \times 0.9 = 23180.76 \text{ kJ/h}$$

9.3.2 棚板及支柱带入的显热 Q_2

$$Q_2 = G_b t_2 c_2$$

其中：

G_b ——入窑棚板及支柱的质量 395kg/h；

t_2 ——入窑棚板及支柱的温度 20°C ；

c_2 ——入窑棚板及支柱的平均比热，采用的是 50%碳化硅棚板及支柱的平均比热

$$c_2 = 0.963 + 0.146 \times 10^{-3} t = 0.963 + 0.000146 \times 20 = 0.966 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$$

$$Q_2 = 395 \times 0.966 \times 20 = 7631.4$$

9.3.3 燃料带入的化学显热

$$Q_f = (Q_d + t_f t_f) x (\text{kJ/h})$$

其中：

Q_d ——燃料柴油的低位发热量 41800 kJ/Nm^3 ;

t_f ——入窑燃温度 20°C ;

c_f ——入窑燃料的平均比热 $2.1 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$

x 为每小时柴油的消耗量, 单位 Nm^3/h

$$Q_f = (41800 + 20 \times 2.1) x = 41842x \text{ (kJ/h)}$$

9.3.4 助燃空气带入的显热 Q_a

柴油燃烧的空气量 $V_a = xL_a = 13.47x$

$$Q_a = V_a c_a t_a$$

t_a ——助燃空气的温度 20°C ;

c_a ——助燃空气的比热 $1.30 \text{ kJ}/(\text{Nm}^3 \cdot ^\circ\text{C})$;

$$Q_a = 13.47 \times 20 \times 1.3x = 350x \text{ (kJ/h)}$$

9.3.5 从预热带不严密漏入的空气带入的显热 Q'_a 和

$$Q'_a = ((\alpha_g - \alpha)L_0 c'_a t'_a x)$$

其中:

t'_a 、 c'_a ——漏入空气 的温度与比热, 分别是 20°C 和 $1.30 \text{ kJ}/(\text{Nm}^3 \cdot ^\circ\text{C})$;

α_g ——离窑烟气中的空气过剩系数, 此值与窑厂的长度‘阻力、空气、气密性以及预热带喷入的风量有光, 实际可在 2-5 范围取, 此处取 2.5, $\alpha = 1.3$, $L_0 = 10.36 \text{ Nm}^3/\text{Nm}^3$

$$Q'_a = ((2.5 - 1.3) \times 10.36 \times 20 \times 1.3x) = 323x \text{ (kJ/h)}$$

9.3.6 气幕、搅拌风带入的显热

气幕包括封闭气幕和搅拌气幕, 封闭气幕设在窑头, 不及入, 搅拌风源为空气, 风量一般为理论助燃空气的 0.5-1 倍, 取 $\chi = 0.8$ 倍

$$Q_g = \chi L_0 c'_a t'_a x = 0.8 \times 10.36 \times 20 \times 1.3x = 216x \text{ (kJ/h)}$$

9.4 热支出项目

9.4.1 产品带出的显热 Q_3

$$Q_3 = G_m c_3 t_3$$

其中：

G_m ——出烧成带的制品质量 1260.77 kg/h, $t_3=1320^\circ\text{C}$, 此处制品平均比热取 $1.1 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$

$$Q_3 = 1260.77 \times 1.1 \times 1320 = 1830638 \quad (\text{kg/h})$$

9.4.2 棚板和立柱带走的显热

$$Q_4 = G_b c_4 t_4 \quad (\text{kg/h})$$

其中：

棚板和立柱的质量 $G_b = 359 \text{ kg/h}$

c_4 、 t_4 ——分别是棚板和立柱带走时的平均比热和温度, $t_4=1320^\circ\text{C}$

$$c_4 = 0.84 + 0.000264t = 0.84 + 0.000264 \times 1320 = 1.186 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$$

$$Q_4 = 359 \times 1300 \times 1.186 = 553506.2 \quad (\text{kg/h})$$

9.4.3 离窑废气带走的显热 Q'_g

取离窑烟气中空气过剩系数 $\alpha_g = 2.5$, 体积流量

$$V_g = (V_{g0} + (\alpha_g - 1)L_0)x = (14.39 + (2.5 - 1.3) \times 10.36) x = 26.8x$$

取离窑烟气温度 200°C , 烟气比热为 $1.445 \text{ kJ}/(\text{Nm}^3 \cdot ^\circ\text{C})$

$$Q'_g = V_g c_g t_g x = 26.8 \times 1.445 \times 200x = 7745.2x \quad (\text{kg/h})$$

9.4.4 窑车蓄热和散失热量 Q_6

取经验数据, 占热收入的 10%。

9.4.5 物化反应热 Q_7

$$G_w = 17.05 \text{ kg/h}$$

自由水的质量 $G_w = 17.05 \text{ kg/h}$, 离窑烟气温度 $t_g = 200^\circ\text{C}$, 则自由水蒸发吸

$$\text{热 } Q_w = G_w (2490 + 1.93t_g) = 17.05 \times (2490 + 1.93 \times 200) = 49035.8 \text{ (kg/h)}$$

结构水脱水吸热

$$Q'_w = 6700G'_w$$

其中： G'_w ——入窑制品所含结构水 55.2 (kg/h)；

6700——1kg 结构水脱水所需要的热 kJ/kg；

$$Q'_w = 6700 \times 55.2 = 369840 \text{ (kg/h)}$$

其它物化反应吸热

此项热支出要根据原材料的组成情况查阅有关资料, 由于陶瓷烧成反应极为复杂, 通常可用 Al_2O_3 反应热近似地代替, 即

$$Q_r = G_r \times 2100 \times Al_2O_3 \%$$

其中：

G_r 入窑干制品质量, 1260.77 kg/h；

2100——1kg Al_2O_3 的反应热, kg/h；

Al_2O_3 ——制品中 Al_2O_3 的含量百分数。

$$\text{可算的 } Q_r = 1260.77 \times 2100 \times 0.1965 = 520256.74 \text{ (kg/h)}$$

总物化反应热

$$Q_7 = Q_w + Q'_w + Q_r = 49035.8 + 369840 + 520256.74 = 939131 \text{ (kg/h)}$$

9.4.6 其它热损失 Q_8

其它热损失主要包括窑各处开孔的辐射热损失、窑不严密处逸出气体的热损失、不完全燃烧造成的热损失等, 这些热损失量很难用公式计算, 可对比现有同类型的窑加以确定, 一般占总热收入的 5%-10%。取 5%

9.4.7 窑墙和窑顶的散热

根据所处温度不同将预热带和烧成带分成三段 20~300℃, 300~600℃, 600~950℃, 950~1320℃

所用材料的导热系数：

高纯型耐火纤维针刺毯 0.02+0.000175t

轻质高铝砖 0.212+0.000329t

莫来石轻质高铝砖 0.310+0.000176t

含锆型硅酸铝纤维板 0.18

轻质粘土吊顶砖 0.0815+0.000221t

20~300℃, 共 3 节

$$\text{窑内壁平均壁温 } t_1 = \frac{20+300}{2} = 160^\circ\text{C}$$

$$\text{轻质高铝砖 } \lambda_1 = 0.212 + 0.000329 \times 160 = 0.2642 \text{ w/m} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$\text{高纯型耐火纤维针刺毡 } \lambda_2 = 0.02 + 0.000175 \times 160 = 0.048 \text{ w/m} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$\text{窑外壁平均壁温取 } t_a = 40^\circ\text{C}$$

窑墙:

平均热流密度

$$q = \frac{t_1 - t_a}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} = \frac{160 - 40}{\frac{0.23}{0.2642} + \frac{0.2}{0.048}} = 25.15 \text{ w/m}^2$$

$$\text{散热面积: } A = 9.45 \times 1.3 = 12.285 \text{ m}^2$$

$$\text{散热量: } Q = 25.15 \times 12.285 \times 2 \times 3.6 = 2224.5678 \text{ (kJ/h)}$$

窑顶:

$$\text{轻质粘土吊顶砖 } \lambda_1 = 0.0815 + 0.000221 \times 160 = 0.1169 \text{ w/m} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$\text{高纯型耐火纤维针刺毡 } \lambda_2 = 0.02 + 0.000175 \times 160 = 0.048 \text{ w/m} \cdot ^\circ\text{C}$$

平均热流密度

$$q = \frac{t_1 - t_a}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} = \frac{160 - 40}{\frac{0.23}{0.1169} + \frac{0.15}{0.048}} = 23.56 \text{ w/m}^2$$

$$\text{散热面积: } A = 9.45 \times 2.3 = 21.735 \text{ m}^2$$

$$\text{散热量: } Q = 21.735 \times 23.56 \times 3.6 = 1843.47 \text{ (kJ/h)}$$

300~600°C, 共 3 节

$$\text{窑内壁平均壁温 } t_1 = \frac{300+600}{2} = 450^\circ\text{C},$$

$$\text{轻质高铝砖 } \lambda_1 = 0.212 + 0.000329 \times 450 = 0.36 \text{ w/m} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$\text{高纯型耐火纤维针刺毡 } \lambda_2 = 0.02 + 0.000175 \times 450 = 0.099 \text{ w/m} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$\text{窑外壁平均壁温取 } t_a = 40^\circ\text{C}$$

窑墙:

平均热流密度

$$q = \frac{t_1 - t_a}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} = \frac{450 - 40}{\frac{0.23}{0.36} + \frac{0.2}{0.099}} = 154.2 \text{ w/m}^2$$

$$\text{散热面积: } A = 9.45 \times 1.3 = 12.285 \text{ m}^2$$

$$\text{散热量: } Q = 154.2 \times 12.285 \times 2 \times 3.6 = 1363 \text{ (kJ/h)}$$

窑顶:

$$\text{轻质粘土吊顶砖 } \lambda_1 = 0.0815 + 0.000221 \times 450 = 0.18 \text{ w/m} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$\text{高纯型耐火纤维针刺毡 } \lambda_2 = 0.02 + 0.000175 \times 450 = 0.099 \text{ w/m} \cdot ^\circ\text{C}$$

平均热流密度

$$q = \frac{t_1 - t_a}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} = \frac{450 - 40}{\frac{0.23}{0.18} + \frac{0.15}{0.099}} = 146.8 \text{ w/m}^2$$

$$\text{散热面积: } A = 9.45 \times 2.3 = 21.735 \text{ m}^2$$

$$\text{散热量: } Q = 21.735 \times 146.8 \times 3.6 = 11486.51 \text{ (kJ/h)}$$

600~950℃, 共 3 节

$$\text{窑内壁平均壁温 } t_1 = \frac{600 + 950}{2} = 775 \text{ } ^\circ\text{C},$$

$$\text{轻质高铝砖 } \lambda_1 = 0.212 + 0.000329 \times 775 = 0.467 \text{ w/m} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$\text{高纯型耐火纤维针刺毡 } \lambda_2 = 0.02 + 0.000175 \times 775 = 0.156 \text{ w/m} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$\text{窑外壁平均壁温取 } t_a = 40 \text{ } ^\circ\text{C}$$

窑墙:

平均热流密度

$$q = \frac{t_1 - t_a}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} = \frac{775 - 40}{\frac{0.23}{0.47} + \frac{0.2}{0.156}} = 414.9 \text{ w/m}^2$$

$$\text{散热面积: } A = 9.45 \times 1.3 = 12.285 \text{ m}^2$$

$$\text{散热量: } Q = 414.9 \times 12.285 \times 2 \times 3.6 = 36698.73 \text{ (kJ/h)}$$

窑顶:

$$\text{轻质粘土吊顶砖 } \lambda_1 = 0.0815 + 0.000221 \times 775 = 0.253 \text{ w/m} \cdot ^\circ\text{C}$$

高纯型耐火纤维针刺毡 $\lambda_2 = 0.02 + 0.000175 \times 775 = 0.156 \text{ w/m} \cdot ^\circ\text{C}$

平均热流密度

$$q = \frac{t_1 - t_a}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} = \frac{775 - 40}{\frac{0.23}{0.253} + \frac{0.15}{0.156}} = 392.9 \text{ w/m}^2$$

散热面积: $A = 9.45 \times 2.3 = 21.735 \text{ m}^2$

散热量: $Q = 21.735 \times 392.9 \times 3.6 = 30742 \text{ (kJ/h)}$

950~1310°C, 共 7 节, 22.05m

窑内平均壁温 $t_1 = \frac{1320 + 950}{2} = 1135^\circ\text{C}$

莫来石轻质高铝砖的 $\lambda_1 = 0.5098 \text{ w/m} \cdot ^\circ\text{C}$

含锆型硅酸纤维板的 $\lambda_2 = 0.19 \text{ w/m} \cdot ^\circ\text{C}$

高纯型耐火纤维刺毡的 $\lambda_3 = 0.2186 \text{ w/m} \cdot ^\circ\text{C}$

取窑外壁平均温度 $t_a = 80^\circ\text{C}$

窑墙:

平均热流密度

$$q = \frac{t_1 - t_a}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3}} = \frac{1135 - 80}{\frac{0.23}{0.5098} + \frac{0.1}{0.19} + \frac{0.2}{0.2186}} = 557.52 \text{ w/m}^2$$

散热面积: $A = 22.05 \times 1.3 = 26.065 \text{ m}^2$

散热量: $Q = 557.52 \times 26.065 \times 2 \times 3.6 = 104628.66 \text{ (kJ/h)}$

窑顶:

平均热流密度

$$q = \frac{t_1 - t_a}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3}} = \frac{1135 - 80}{\frac{0.23}{0.5098} + \frac{0.1}{0.19} + \frac{0.2}{0.2186}} = 557.5 \text{ w/m}^2$$

散热面积: $A = 22.05 \times 2.3 = 50.715 \text{ m}^2$

散热量: $Q = 50.715 \times 557.5 \times 3.6 = 101785 \text{ (kJ/h)}$

相加得窑墙窑顶总散热量 $Q_5 = 290772 \text{ (kJ/h)}$

9.5 列出热平衡方程式

列出平衡方程式

$$Q_{\text{收}} = 23180.76 + 76314 + 41842x + 350x + 323x + 216x = 30812.16 + 42731x$$

$$Q_{\text{损}} = 1830638 + 553506.2 + 7745.2x + 0.1Q_{\text{收}} + 939131 + 290772 + 0.05Q_{\text{收}}$$

式有 $Q_{\text{收}} = Q_{\text{损}}$ ，解得 $x=125.55$ ，即单位时间柴油消耗量： $B=125.55\text{ m}^3/\text{h}$

单位制品消耗量为： $125.55 \times 41800 / 1260.77 = 4162.66\text{ kJ/kg}$ 。

9.6 列出预热带和烧成带热平衡表

热收入		热支出	
项目	KJ/h	项目	kJ/h
胚体带入的显热	23180.76	制品带出的显热	1830638
入窑棚板及支柱带入到的显热	76314	出窑时棚板和支柱带出的显热	553506.2
燃料带入的化学显热	5253263	离窑废气	972409.86
助燃空气带入的显热	43942	窑车蓄热和热散失量	539568
漏入的风和搅拌风	40552.65	物化反应热	939131
气幕和搅风	27117.8	窑墙和窑顶	290772
		其他热损失	269784
总收入量	53955688	总散热量	5395809

分析：

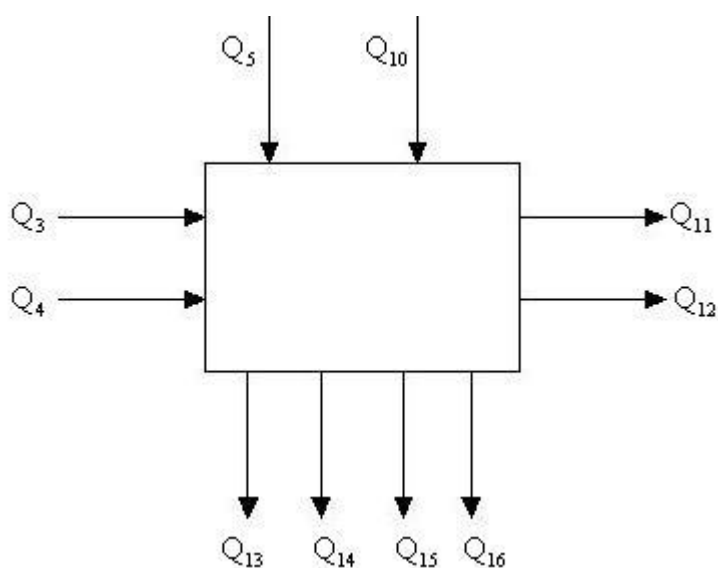
两者之间存在差值，是因为预热带窑内负压在该次计算中忽略了窑底漏入窑内风带来的热量，实际上虽然窑车上下压力控制手段非常完善，但仍有误差，由于误差很小所以整个预热带、烧成带热量可认为是收支平衡的。

10、冷却带的平衡计算

10.1 确定热平衡计算的基准、范围

0℃作为基准温度，1h 为质量与热量的时间基准。

10.2 平衡框图



其中：

Q_3 ——制品带入的显热；

Q_4 ——棚板、支柱带入显热；

Q_5 ——窑车带入的显热；

Q_{10} ——急冷风带入的显热和冷却带末端送入冷却带显热；

Q_{11} ——制品带出显热；

Q_{12} ——棚板、支柱带出的显热；

Q_{13} ——窑车、窑顶散热；

Q_{14} ——窑墙、窑顶总散热；

Q_{15} ——抽走余热风带走的热量；

Q_{16} ——其他热损失。

10.3 热收入项目

10.3.1 制品带入的显热

此项热量即为制品从烧成带带出的显热 $Q_3 = 1830638 \text{ (kJ/h)}$

10.3.2 棚板和支柱带入的显热，同上， $Q_4 = 553506.2 \text{ (kJ/h)}$

10.3.3 窑车带入的显热

此项热量可取烧成带和预热带窑车总散热的95%（其余的已经在预热带烧成带向车下散失）

$$Q_9 = 95\%Q_6 = 0.95 \times 539568.87 = 512590 \text{ (kJ/h)}$$

10.3.4 急冷风和窑尾风带入的显热

窑尾的风量设为 V_x ，一般急冷风量为窑尾风量的0.25~0.5，此处取0.5，总风量为 $1.5 V_x$ 。

空气的温度 $t_a = 20^\circ\text{C}$ ，此时空气的比热： $c_a = 1.3 \text{ kJ/m}^3\text{C}$ ，

$$Q_{10} = V_a c_a t_a = 1.5 \times 1.3 \times 20 V_x = 39 V_x \text{ (kJ/h)}$$

10.4 热支出项目

10.4.1 制品带出的显热

出窑制品质量 $G_m = 1199 \text{ kg/h}$ ，窑制品的温度 $t_{11} = 80^\circ\text{C}$ ，比热 $c_{11} = 0.95 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}$ 。

$$Q_{11} = G_m t_{11} c_{11} = 1199 \times 80 \times 0.95 = 91124 \text{ (kJ/h)}$$

10.4.2 和支柱带出的显热

棚板和支柱质量 $G_b = 395 \text{ kg/h}$ ，温度 $t_{11} = 80^\circ\text{C}$ ，比热 $c_{12} = 0.861 \text{ kJ/(kg} \cdot ^\circ\text{C)}$

$$Q_{12} = G_b c_{12} t_{12} = 395 \times 80 \times 0.861 = 27207.6 \text{ (kJ/h)}$$

10.4.3 车带走的热和想车下散失的热

此项热量一般可按窑车带入的显热55%计算，

$$Q_{13} = 55\%Q_9 = 0.55 \times 512590 = 281924.5 \text{ (kJ/h)}$$

10.4.4 其他热损失 Q_{16}

取经验数据, 占冷却带热收入的 5%—10%, 本次计算取 5%

10.4.5 抽走余热风带走热量 Q_{15}

$$Q_{15} = q_{15} \times c_{15} \times t_{15}$$

其中: q_{15} —抽走余热风流量 (m^3/h), 该窑不用冷却带热空气做二次空气, 冷却带鼓入风量全部用于气幕, 体积为 $q_{15}=1.5V_x Nm^3$ 。漏出空气忽略不记, 抽走余热风的平均温度, 取 $t_{15}=250^\circ C$, c_{15} 热空气的平均比热为, $c_{15} = 1.038 kJ/kg^\circ C$

$$Q_{15} = 1.5V_x \times 250 \times 1.038 = 389.25V_x$$

10.4.6 窑墙和窑顶的散热

分三段 17~19, 20~25, 26~29

1320~850°C, 长 6.3m

$$\text{窑内平均温度 } t_1 = \frac{1320 + 850}{2} = 1085^\circ C$$

莫来石轻质高铝砖 $\lambda_1 = 0.569 w/m \cdot ^\circ C$

含锆型硅酸铝纤维板 $\lambda_2 = 0.19 w/m \cdot ^\circ C$

高纯型耐火纤维针刺毯 $\lambda_3 = 0.2099 w/m \cdot ^\circ C$

取窑外平均温度 $t_a = 80^\circ C$

窑墙:

平均热流密度

$$q = \frac{t_1 - t_a}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3}} = \frac{1085 - 80}{\frac{0.23}{0.569} + \frac{0.1}{0.19} + \frac{0.2}{0.2099}} = 534 w/m^2$$

散热面积 $A = 6.3 \times 1.3 = 8.19 m^2$

散热量: $Q = 534 \times 8.19 \times 2 \times 3.6 = 31488.912 (kJ/h)$

窑顶:

平均热流密度

$$q = \frac{t_1 - t_a}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3}} = \frac{1085 - 80}{\frac{0.23}{0.569} + \frac{0.1}{0.19} + \frac{0.2}{0.2099}} = 534 w/m^2$$

$$\text{散热面积 } A = 6.3 \times 2.3 = 14.49 \text{ m}^2$$

$$\text{散热量: } Q = 534 \times 14.49 \times 3.6 = 27855.57 \text{ w/m}^2$$

20~25, 800~400℃, 18.9m

$$\text{窑内平均壁温 } t_1 = \frac{800 + 400}{2} = 600 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{轻质高铝砖的 } \lambda_1 = 0.4176 \text{ w/m} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$\text{高纯型耐火纤维刺毯的 } \lambda_2 = 0.1294 \text{ w/m} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$\text{窑外壁平均取 } t_a = 80 \text{ }^\circ\text{C}$$

窑墙:

平均热流密度

$$q = \frac{t_1 - t_a}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} = \frac{600 - 80}{\frac{0.23}{0.4176} + \frac{0.2}{0.1294}} = 259.96 \text{ w/m}^2$$

$$\text{散热面积: } A = 18.9 \times 1.3 = 24.57 \text{ m}^2$$

$$\text{散热量: } Q = 259.97 \times 24.57 \times 2 \times 3.6 = 45989.73 \text{ (kJ/h)}$$

窑顶:

$$\text{轻质粘土吊顶砖 } \lambda_1 = 0.0815 + 0.000221 \times 625 = 0.2196 \text{ w/m} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$\text{高纯型耐火纤维刺毯的 } \lambda_2 = 0.1294 \text{ w/m} \cdot ^\circ\text{C}$$

平均热流密度

$$q = \frac{t_1 - t_a}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} = \frac{600 - 80}{\frac{0.23}{0.2196} + \frac{0.15}{0.1294}} = 247 \text{ w/m}^2$$

$$\text{散热面积: } A = 18.9 \times 2.3 = 43.47 \text{ m}^2$$

$$\text{散热量: } Q = 247 \times 43.47 \times 3.6 = 38653.524 \text{ (kJ/h)}$$

26~29, 400~80℃, 12.6m

$$\text{窑内平均壁温 } t_1 = \frac{400 + 80}{2} = 240 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{轻质高铝砖的 } \lambda_1 = 0.4008 \text{ w/m} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$\text{高纯型耐火纤维刺毯的 } \lambda_2 = 0.062 \text{ w/m} \cdot ^\circ\text{C}$$

窑外壁平均取 $t_a = 80^\circ\text{C}$

窑墙:

平均热流密度

$$q = \frac{t_1 - t_a}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} = \frac{240 - 80}{\frac{0.23}{0.291} + \frac{0.2}{0.062}} = 39.84 \text{ w/m}^2$$

散热面积: $A = 12.6 \times 1.3 = 16.38 \text{ m}^2$

散热量: $Q = 39.84 \times 16.38 \times 2 \times 3.6 = 4698.57 \text{ (kJ/h)}$

窑顶:

轻质粘土吊顶砖 $\lambda_1 = 0.0815 + 0.000221 \times 240 = 0.13454 \text{ w/m} \cdot ^\circ\text{C}$

高纯型耐火纤维针刺毯的 $\lambda_2 = 0.062 \text{ w/m} \cdot ^\circ\text{C}$

平均热流密度

$$q = \frac{t_1 - t_a}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} = \frac{240 - 80}{\frac{0.23}{0.1345} + \frac{0.15}{0.062}} = 38.75 \text{ w/m}^2$$

散热面积: $A = 12.6 \times 2.3 = 28.98 \text{ m}^2$

散热量: $Q = 38.75 \times 28.98 \times 3.6 = 4042.71 \text{ (kJ/h)}$

总散热量 $Q_{14} = 152729 \text{ (kJ/h)}$

10.5 热平衡方程式

列出平衡方程式 $Q_3 + Q_4 + Q_9 + Q_{10} = Q_{11} + Q_{12} + Q_{13} + Q_{14} + Q_{15} + Q_{16}$

$$Q_{\text{收}} = 1830638 + 553506 + 512590 + 39V_x$$

$$Q_{\text{支}} = 91124 + 27207 + 152729 + 281924 + 389.25V_x + 5\%Q_{\text{收}}$$

由 $Q_{\text{收}} = Q_{\text{支}}$, 解得 $V_x = 6243 \text{ (m}^3/\text{h)}$

因此窑尾的风量为 $6292.07 \text{ m}^3/\text{h}$, 急冷风量 $3121 \text{ m}^3/\text{h}$, 每小时应抽出热风

9364 m^3 。

10.6 热平衡表

热收入		热支出	
项 目	(kJ/h)	项 目	(kJ/h)
制品带入显热	1830638	产品带出显热	91124
棚板立柱带入显热	553506	棚板立柱带出显热	27207
窑车带入显热	512590	窑体散热	152729
急冷窑尾风带入显热	243477	窑车带走和向下散失显热	281924.5
		抽热风带走显热	2430087
		其它散热	157010
合 计	3140211	合 计	3140081

分析：

热平衡分析：从上面热平衡列表可以看出，热收入与热支出基本保持平衡，而热支出大于热收入是因为窑底冷风带入显热要大于现在的计算值。主要的热支出是抽出的热空气带走的显热，为了节能，提高热效率往往要充分利用，冷却带余热可以用它去干燥坯体。

11、排烟系统的设计

11.1 排烟系统的设计

11.1.1 排烟量的计算

取离窑烟气中空气过剩系数 $\alpha_g = 2.5$ ，则其体积流量为：

$$V_g = (V_{g0} + (\alpha_g - \alpha) L_0) \times 3367.5 \text{ m}^3/\text{h} = 0.935 \text{ m}^3/\text{s}。$$

11.1.2 排烟口及烟道的尺寸

共有 6 对排烟口，则每支排烟口的烟气流量：

$$Q = 0.0779$$

标准状态下烟气在砖砌管道中的流速为 1~2.5m/s，流速太大则阻力大，流速太小则管道直径过大，造成浪费。现在取流速 $v = 1.5 \text{ m/s}$ ，烟道截面积为：

$$A = 0.0779 / 1.5 = 0.0519 \text{ m}^2$$

排烟口尺寸设计为 高×宽为 180×150mm，为以后可便于烧成其他制品时控制烟气流及砌筑方便，此处设计为 210×180mm。

11.1.3 垂直支烟道

烟气有排烟口至垂直支烟道流量不变，流速相同，截面积也相同，故为 180×160mm，垂直高度和窑车台面至窑顶距离高度相等 1.947m。

11.1.4 总烟管尺寸

烟气在管内的流速取 5m/s

内径：0.488 取直径为 500mm，6m 长。

11.1.5 支烟管尺寸

$$\text{支烟道的流量 } 0.0292 \text{ m}^3/\text{s}，\text{流速为 } 1.5 \text{ m/s}，\text{内径：} d_{\text{支}} = \sqrt{\frac{4 \times 0.026}{3.14 \times 1.5}} = 0.157 \text{ m}，$$

取直径为 200mm，每个垂直排烟道对应一个金属支烟管道，其高度为 30mm，具体高度以实际为准，90° 取长 100mm 直接进入横跨在窑体上部中间的总烟管道。

12、烧嘴的选型

全窑共有 21 个烧嘴，且每小时燃料的消耗量为 125.55 m^3 ，考虑每个烧嘴的燃烧能力和烧嘴燃烧的稳定性，取安全系数 1.5，所以每个烧嘴的燃料消耗为：

4.95

烧嘴的热负荷： $4.95 \times 41800 = 207157.5 \text{ kJ/h}$

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

由于本设计的烧成带窑内宽达到 2300mm，为了保证断面温度的均匀与稳定，通过资料查询选用广东施能燃烧设备有限公司生产的型号为 S10-200 烧嘴，其主要参数为：火焰长度 1100mm-2400mm，出口速度为 80m/s，燃气压力 2000 Pa，助燃空气压力 4200Pa。

此烧嘴不需要专门的燃烧室，烧嘴砖直接砌筑在窑墙上即可。

13 工程材料概算

13.1 窑体材料概算

13.1.1 轻质保温砖，规格：230×345×65mm

取窑墙的平均高度为 1.8m，全窑所砌筑的长度为 28.35m，所以砌有保温砖的窑墙体积为

$$V = 2 \times 0.23 \times 1.8 \times 28.35 = 23.47 \text{ m}^3$$

共需粘土砖数量为

$$23.47 / (0.345 \times 0.230 \times 0.065) = 4551 \text{ 块}$$

13.1.2 轻质粘土砖，规格：230×230×65mm

密度 $\rho = 1.0 \text{ g/cm}^3$ ，重烧线变化不大于 2% 的试验温度 1320℃，在全窑砌有厚度 230mm，全窑所砌筑的长度为 3.15m，窑体的平均身高为 1.8m，所以砌有粘土砖的窑墙体积为

$$V = 2 \times 0.23 \times 1.8 \times 3.15 = 2.608 \text{ m}^3$$

共需粘土砖数量为

$$2.608 / (0.345 \times 0.230 \times 0.065) = 505 \text{ 块}$$

13.1.4 莫来石绝热砖，规格：230×200×199mm

全窑所砌筑的长度为 18.9m，因为窑宽为 2.8m 故

$$V = 0.23 \times 2.8 \times 18.9 = 12.17 \text{ m}^3$$

共需轻质莫来石绝热砖数量为

$$12.17 / (0.23 \times 0.2 \times 0.199) = 1329 \text{ 块}$$

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

全窑所砌筑的长度为 9.45m, 故

$$V = 2 \times 0.23 \times 1.8 \times 9.45 = 7.8246 \text{ m}^3$$

共需聚轻高铝砖数量为

$$7.8246 / (0.23 \times 0.230 \times 0.065) = 2275 \text{ 块}$$

13.1.7 堇青莫来石板 规格: $500 \times 300 \times 20$

全窑所砌筑的长度为 31.5m, 故

$$V = 0.02 \times 2.8 \times 31.5 = 1.764 \text{ m}^3$$

共需堇青莫来石板数量为

$$1.764 / (0.5 \times 0.3 \times 0.02) = 558 \text{ 块}$$

13.1.8 硅酸铝纤维毡

纤维直径 $2-4 \mu\text{m}$, 密度 $\rho = 260 \text{ kg/m}^3$, 纤维长度约 50mm, 在全窑窑墙与窑顶部分填充硅酸铝纤维, 在窑顶全窑所填硅酸铝纤维长度为 28.35m, 宽为 2.8m, 所填棉的高为 0.23m, 体积为: $V_1 = 2.8 \times 0.23 \times 28.35 = 18.25 \text{ m}^3$ 在窑墙所填硅酸铝纤维长度为 24m, 宽为 0.1m, 高为 1.8m, 体积为: $V_2 = 2 \times 0.1 \times 1.8 \times 24 = 8.64 \text{ m}^3$

在窑车内填棉长为 2.7m, 宽为 1.09m, 高为 0.2m, 在全窑的窑车数为 29 辆, 预留全窑的 1/3 窑车数为干燥和装车所用, 因此总的窑车数为 $29 + 10 = 39$ 辆, 得出硅酸铝纤维体积为: $V_3 = 2.7 \times 1.09 \times 0.2 \times 39 = 22.95 \text{ m}^3$

全窑所需硅酸铝纤维的总体积为: $V = V_1 + V_2 + V_3 = 18.25 + 8.64 + 22.95 = 49.84 \text{ m}^3$

13.1.9 岩棉毡

在窑墙所填硅酸铝纤维长度为 28.35m, 宽为 0.1m, 高为 1.8m, 体积为: $V_2 = 2 \times 0.1 \times 1.8 \times 28.35 = 10.206 \text{ m}^3$

13.1.10 含锆纤维毯, 厚度 60mm

每辆窑车内填含锆纤维毯长为 2.7m, 宽为 1.09m, 高为 0.06m, 所以全部窑车所需的体积为 $2.7 \times 1.09 \times 0.06 \times 39 = 6.88 \text{ m}^3$

13.1.11 含锆散棉

用于填塞膨胀缝等其他缝、孔, 窑墙的平均厚度为 0.35m, 膨胀缝宽为 0.02m,

高度为 1.8m，所以 $V=0.35 \times 0.02 \times 1.8 \times 32=0.4 \text{ m}^3$

以上材料概算为实际用量，均未考虑余量。由于施工时会浪费一部分，因此在购置时要比以上概算量多出约 5% 左右的余量，对用量少的还应多备。

13.1.12 其他材料

根据前面的计算，还需其它物体的数量为：

热电偶（含瓷管）12 套；

烧嘴 12 只；

烧嘴砖 12 块；

看火孔（含瓷管和看火孔盖）12 套；

执行器 8 个；

电磁阀 1 个；

流量计 1 个；

补偿导线 500 米；

自动控制柜（显示仪表、电路已组装完成）1 套；

顶车机 1 套，含备用快（慢）进（退）；

柴油发电机 1 套；

本概算未包括窑炉、回车线、拖车到道基础；

13.2 钢材材料概算

由图纸中的详细计算，得出材料的规格、尺寸等，列于表 10-2 中；

表 10-2

序号	材料名称	规格/尺寸(mm)	单位	数量
1	钢管	140	m	78
2	钢管	159	m	78
3	钢板	$\sigma=3$	m^2	98
4	方钢管	$100 \times 50 \times 4$	支	480
5	方钢管	$120 \times 60 \times 4$	支	210
6	方钢管	$50 \times 50 \times 3.5$	支	70
7	方钢管	$120 \times 120 \times 4$	支	240
8	角钢	$L63 \times 63 \times 6$	支	190
9	角钢	$L40 \times 40 \times 4$	支	180
10	角钢	$L30 \times 30 \times 4$	支	140
11	钢板	$\delta=1.2mm$	m^2	250
12	吊顶钩	$\phi 10$	个	3950
13	轨道	15kg/m	m	450
14	轨道垫板	$\sigma=10mm$	m^2	6
15	窑车底板	$580 \times 630 \times 3$	件	320
16	窑车底板	$980 \times 630 \times 3$	件	320
17	槽钢	10 号	m	930

参考文献

- [1] 周露亮,《窑炉课程设计》,景德镇陶瓷学院,2005
- [2] 刘振群,《陶瓷工业热工设备》,武汉理工大学出版社,1989。
- [5] 蒋鉴华 张振刚,《热工测量及过程自动控制》,景德镇陶瓷学院,2007
- [3] 孙晋涛,《硅酸盐工业热工基础》,武汉理工大学出版社,1992
- [4] 胡国林,《建筑工业辊道窑》,中国轻工业出版社,1998