

## 摘要

本人设计的是年产 720 万件 8 寸汤盘燃气隧道窑。窑炉总长 48m，有效宽是 2.8 米，烧成温度是 1325℃，烧成周期为 20 小时。燃料采用天然气，燃烧器采用高速烧嘴。此设计的隧道窑，窑体趋向轻型化，烧成质量好，成品率高。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、传动设计等计算。

为有效利用烟气热，现阶段设计的窑炉都采用分散排烟的方式，本设计也采用此方法，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。全窑的控制采用计算机自动控制来实现，这样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。

**【关键词】** 隧道窑 汤盘 天然气

## Abstract

I design of 720 million is 8 inch ShangPan tunnel kiln design. Kiln chief 64m, effective width is 2.8 meters, sintering temperature is 1325 °C, burn them to cycle for 20 hours. The **Compressed natural gas** burner by occurrence boiler by high speed burner. The design of the tunnel kiln, kiln body tendency, burn them to good quality light-duty self-create. The specifications expounds the factors to be considered in design, such as kiln body structure, smoke exhaust system, firing system and cooling systems, etc. At the same time the detail of kiln body, thermal equilibrium and material selection of pipeline, transmission design calculation, etc.

For effective use of flue gas heat, present design is used by Scattered smoke way, this design is also using this method, in addition in slow cooling section use smoke hot air way of hot flue gas cooling products, also can use them. Whole kiln control adopts the automatic computer control to achieve, such already to enhance product yield and reduce work personnel's working intensity and reduced production cost.

【Key words】 Tunnel kiln    Shang Pan    **Compressed natural gas**

## 目录

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| 1 前言.....                   | 5  |
| 2 景德镇陶瓷学院毕业设计（课题）任务书.....   | 6  |
| 3 烧成制度的确定.....              | 7  |
| 3.1 温度制度的确定.....            | 7  |
| 3.2 烧成曲线的确定.....            | 7  |
| 4 窑体主要尺寸的确定.....            | 8  |
| 4.1 棚板和立柱的选用.....           | 8  |
| 4.2 窑长及各带长的确定.....          | 8  |
| 4.3 窑车车面尺寸.....             | 9  |
| 5 窑体及工作系统的确定.....           | 10 |
| 5.1 窑体.....                 | 10 |
| 5.3 气幕的设定.....              | 12 |
| 5.4 燃烧系统.....               | 12 |
| 5.5 冷却系统.....               | 12 |
| 5.6 输送系统及附属装置.....          | 13 |
| 5.7 控制和调节系统.....            | 14 |
| 6 窑体材料和厚度的确定.....           | 15 |
| 7 燃料燃烧计算.....               | 17 |
| 8 物料平衡计算.....               | 19 |
| 9 预热带和烧成带的热平衡计算.....        | 20 |
| 9.1 确定热平衡计算的基准、范围.....      | 20 |
| 9.2 热平衡示意图.....             | 20 |
| 9.3 热收入项目.....              | 21 |
| 9.4 热支出项目.....              | 23 |
| 9.5 列热平衡方程式.....            | 27 |
| 9.6 预热带和烧成带热平衡表.....        | 28 |
| 10 冷却带的热平衡计算.....           | 29 |
| 10.1 确定热平衡计算的基准、范围.....     | 29 |
| 10.2 热平衡示意图.....            | 29 |
| 10.3 热收入项目.....             | 30 |
| 10.4 热支出项目.....             | 30 |
| 10.5 列热平衡方程式.....           | 33 |
| 10.6 冷却带热平衡表.....           | 34 |
| 11 管道尺寸、阻力计算、烧嘴及风机选型.....   | 35 |
| 11.1 排烟系统的设计.....           | 35 |
| 11.2 阻力计算.....              | 36 |
| 11.3 其它系统管道尺寸的确定及风机的选型..... | 38 |
| 11.4 选用烧嘴应注意的原则.....        | 41 |
| 12 工程材料概算.....              | 43 |
| 12.1 窑体材料概算.....            | 43 |
| 12.2 钢材材料概算.....            | 46 |

---

|           |    |
|-----------|----|
| 致谢.....   | 47 |
| 参考文献..... | 48 |
| 英文译作..... | 49 |

## 1 前言

随着经济的不断发展，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。

在日用瓷生产过程，烧成是非常重要的工序，烧成过程严重影响着产品的质量。隧道窑是现代化的连续式烧成的热工设备，以窑车为运载工具，具有生产质量稳定、产量大、消耗低的特点，最适合于工艺成熟批量生产的日用瓷。由于现在能源价格不断上涨，为了节约成本，更好的赢取经济利益，就需要窑炉在烧成过程中严格的控制温度制度、气氛制度，压力制度，提高生产效率及质量，便于更好的节约燃料，降低能量消耗。

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。

本窑炉采用轻质耐火保温材料，高速调温烧嘴，对余热进行集中利用，产品能耗较低，实现了自动化控制，连续式生产，大大提高了生产效率。符合大量生产的要求。在设计过程中，使我对窑炉设计及施工过程有了更深的认识。隧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。

## 2 景德镇陶瓷学院毕业设计（课题）任务书

| 工程学院   |                                |            | 2014-5-1     |                                |                                    |      |
|--|--------------------------------|------------|--------------|--------------------------------|------------------------------------|------|
| 专 业  | 热能与动力工程                        | 班 级        | 2010 级热工（1）班 |                                |                                    |      |
| 学 生<br>姓 名   | 严懿钊                            | 指 导<br>教 师 | 孙 健          |                                |                                    |      |
| 题 目  | 年产 720 万件 8 寸汤盘燃气隧道窑设计         |            |              |                                |                                    |      |
| 设计技术指标、参数或课题研究主要内容人：<br>1. 年产量：720 万件(年工作日 330 天，合格率 95%).<br>2. 产品规格：8 英寸，0.37kg/块<br>3. 8 寸汤盘坯料组成（%）                               |                                |            |              |                                |                                    |      |
| SiO <sub>2</sub>   | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO        | MgO          | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | K <sub>2</sub> O+Na <sub>2</sub> O | I. L |
| 69.20  | 19.96                          | 0.87       | 0.49         | 0.88                           | 3.12                               | 5.48 |
| 4. 入窑水分：<3%<br>5. 最高烧成温度：1325℃<br>6. 燃料：天然气（发热量，成份自查）<br>7. 烧成曲线：自定<br>8. 气氛：常温-1050℃ 氧化气氛<br>1050-1200℃ 还原气氛<br>1200-1325℃ 中性气氛坯料组成 |                                |            |              |                                |                                    |      |
| 基本要求：<br>1. 运用所学的知识进行正确设计和计算。<br>2. 设计过程要独立完成，有一定的创新性。<br>3. 独立编写的设计说明书要符合规范，语言通顺、准确。<br>4. 提供规范、完整、整洁的设计图纸。<br>5. 完成 1 篇英文译作。       |                                |            |              |                                |                                    |      |
| 工作进度：<br>1. 1—4 周：实习，收集资料；<br>2. 5—6 周：资料整理、消化吸收，提出初步的设计思路；<br>3. 7—16 周：主要结构与计算，设备选型、绘图和撰写说明书；<br>4. 17 周起：整理，准备答辩。                 |                                |            |              |                                |                                    |      |

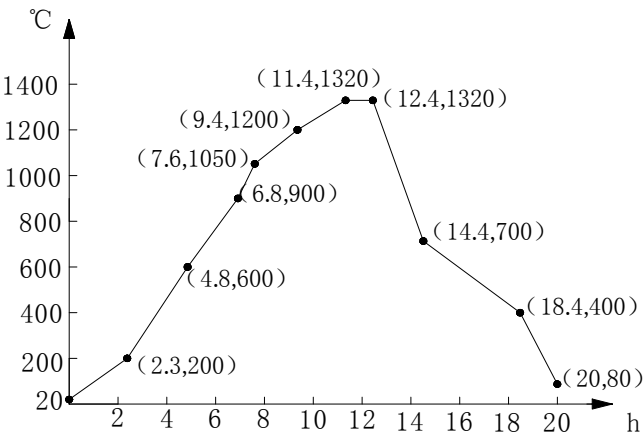
### 3 烧成制度的确定

#### 3.1 温度制度的确定

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

|             |        |     |
|-------------|--------|-----|
| 20℃—200℃    | 2.3 小时 | 预热带 |
| 200℃—600℃   | 2.5 小时 | 预热带 |
| 600℃—900℃   | 2.0 小时 | 预热带 |
| 900℃—1050℃  | 0.8 小时 | 烧成带 |
| 1050℃—1200℃ | 1.8 小时 | 烧成带 |
| 1200℃—1325℃ | 2.0 小时 | 烧成带 |
| 1325℃       | 1.0 小时 | 烧成带 |
| 1320℃—700℃  | 2.0 小时 | 急冷带 |
| 700℃—400℃   | 4.0 小时 | 缓冷带 |
| 400℃—80℃    | 1.6 小时 | 快冷带 |

#### 3.2 烧成曲线的确定



烧成温度曲线图

## 4 窑体主要尺寸的确定

### 4.1 棚板和立柱的选用

查资料得 8 寸汤盘の詳細参数如下：

大小：205×205×36(单位 mm) 单件制品质量：0.37kg

考虑坯体收缩率 10%，所以入窑坯体的规格为：227.8×227.8×40 mm

所以选用棚板的尺寸为：480×480×10 mm 支柱：40×50×60mm

### 4.2 窑长及各带长的确定

#### 4.2.1 装车方法

在窑车的长度方向上设置 4 块棚板，宽度方向上设置 5 块棚板，在窑车高度方向上装 10 层。棚板间的间隙在长度方向上为 20mm，棚板与车边间距为 10 mm。棚板间的间隙在宽度方向上为 20mm，棚板与车边间距为 20 mm。

由此确定窑车车面尺寸为：长：480×4 + 20×3 + 10×2=2000mm

宽：480×5+20×4+20×2=2520mm

#### 4.2.2 窑长的确定

窑车装载量为 4×20×10=800 件每车，故装窑密度为 800/2=400 件/米。

$$\begin{aligned}\text{窑长 } L &= \frac{\text{生产任务} \times \text{烧成时间}}{\text{年工作日} \times 24 \times \text{成品率} \times \text{装窑密度}} \\ &= (7200000 \times 20) / (330 \times 24 \times 0.95 \times 400) = 47.8 \text{ m}\end{aligned}$$

窑内容车数：n=47.8/2=23.9 辆 取 24 辆

有效窑长为 24×2=48m

#### 4.2.3 各带长度的确定

根据烧成曲线：



预热带长= (预热时间×总长)/总烧成时间=  $6.8 \times 48 / 20 = 16.3\text{m}$

因窑炉每节长度为 2 米, 故预热带取 9 节。

烧成带长= (烧成时间×总长)/总烧成时间=  $5.6 \times 48 / 20 = 13.4\text{m}$

因窑炉每节长度为 2 米, 故烧成带取 7 节。

冷却带长= (冷却时间×总长)/总烧成时间=  $7.6 \times 48 / 20 = 18.2\text{m}$

因窑炉每节长度为 2 米, 故预热带取 10 节。

### 4.3 窑车车面尺寸

#### 4.3.1 窑车

窑内容车数 24 辆, 则

推车时间:  $20 \times 48 / 24 = 40 \text{ min/车}$ ; 推车速度:  $60 / 40 = 1.5 \text{ 车/小时}$ 。

窑车架高 225mm, 窑车衬面边缘用 4 层的轻质砖共 260mm, 在窑车的中部铺 4 层硅酸铝纤维棉和 1 层含锆纤维毯。

窑车总高为:  $225 + 260 = 485\text{mm}$

在车面与棚板间留火道, 其高度为 300mm。

#### 4.3.2 确定窑截面的尺寸

根据窑车和制品的尺寸, 窑车车边距窑内墙取 140mm, 所以窑内宽 B 为 2800mm

#### 4.3.3 全窑高

在料垛上方预留 115mm 插热电偶的空间, 窑车上装制品的高度为  $70 \times 10 = 700\text{mm}$ , 所以窑全高 (轨面至窑顶): 预热带、冷却带为:  $485 + 300 + 700 + 115 + 230 + 20 = 1850\text{mm}$ , 有效高度为: 1085mm; 为了加强传热, 烧成带加高 100mm, 又因烧成带窑顶材料厚度为  $230 + 230 = 460 \text{ mm}$ , 故烧成带窑高为:  $485 + 300 + 700 + 115 + 230 + 230 + 100 = 2160\text{mm}$ , 有效高度为: 1185mm。

## 5 窑体及工作系统的确定

### 5.1 窑体

以 2 米为一个模数单元节，全窑 48 米，共有 26 节。窑体由窑墙主体、窑顶和钢架组成，窑体材料由外部钢架结构（包括窑体加固系统和外观装饰墙板）和内部耐火隔热材料衬体组成，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。

#### 5.1.1 钢架

每节钢架长度为 2 米，含钢架膨胀缝。全窑共 24 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。

#### 5.1.2 窑墙

窑墙采用轻质耐火隔热材料，常用材质如下：轻质保温砖，堇青莫来石板、莫来石绝热砖、聚轻高铝砖、轻质粘土砖、硅酸铝棉，岩棉毡等耐火材料。窑墙砌筑在钢板结构上。第一道膨胀缝距窑头 1.16m,然后每隔 2 米留设 20mm 左右的热膨胀缝，用含锆散棉填实。全窑共设置了 24 道膨胀缝。

#### 5.1.3 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，窑体材料轻质化，可大大减少窑体散热。

#### 5.1.4 检查坑道和事故处理孔

由于窑车上棚架稳固，不容易发生倒窑事故。即使发生窑内卡车或者其他事故，也可停窑，能够快速冷却下来，再进行处理，对生产影响不大。因此该隧道窑不设置窑内车下检查坑道。在窑炉第9节，11节布置了尺寸为130×230的事故处理孔两对。这样既简化了窑炉基础结构，减少了施工量和难度，又降低了成本，窑体保温也得到了明显的改善。

#### 5.1.5 测温孔

在烧成曲线的关键处设置测温孔，以便于更好地了解窑内各段的温度情况，观察孔是为了观察烧嘴的情况。测温孔的间距一般为3-5米，高温段布置密集些，低温段布置相对稀疏。本设计在窑体的第1节~8节，在第1节设置一处测温孔，接下来每隔一节设置一处测温孔，共4处测温孔；在进入烧成带之后的第9节与12节各设置一处测温孔，第13、15、17节的窑顶和窑侧墙处设置测温孔，共8处测温孔；第19，21，23节各设置一处测温孔，共3处测温孔。而且在烧成曲线的关键点，如窑头、氧化末段、晶型转化点、成瓷段、急冷结束段等都有留设测温孔。从而能够严密监视及控制窑内温度和压力制度，及时调节烧嘴的开度，保证窑炉的各关键点的温度和压力正常。

#### 5.1.6 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。在预热带和缓冷段头部的窑墙上各设置了一对加砂斗。

#### 5.1.7 窑炉基础

窑炉基础、拖车道基础、回车线基础用毛石、混凝土或钢筋混凝土、三七灰土三层夯实。

## 5.2 排烟系统

为了更好的利用烟气的余热,采用分散排烟的方式。在预热带 5,6 节箱体位近窑车台面的窑墙上设 2 对排烟口,每节为 2 对,均以阶梯形布置,可以迫使烟气自上而下流动,使得制品受热均匀,各排烟支管汇总到排烟总管由排烟机排出,一部分送干燥房,其余的从烟囱排入大气。

## 5.3 气幕的设定

1 号车位窑头设封闭气幕,共两道。考虑到连续推车方式,故窑顶采用钢管喷风,管壁开孔与出车方向成 45 度角;窑两侧墙内竖插管道,管壁开孔与进车方向成 45 度角。封闭气幕的风源为冷却带抽热风。

在烧成带第 2 节设置了一道气氛幕,窑顶和两侧窑墙都设置了喷气管,管孔布置上部密些,下部稀些,均匀 90 度角喷出,起分隔气氛的作用,风源为冷却带抽热风。

在急冷段第一节设置了一道急冷阻挡气幕,风源为助燃风。

## 5.4 燃烧系统

此窑采用小功率多分布高速调温烧嘴的布置方式。两侧垂直和水平交错排列,这样有利于均匀窑温和调节烧成曲线。下部烧嘴喷火口对准装载制品的下部火道,上部烧嘴喷火口对准装载制品上方的部分。烧嘴砖直接砌筑在窑墙上,采用刚玉莫来石材质。

烧嘴的具体布置情况为:7~9 节只设置下部烧嘴 6 对,共 12 只;10~16 节设置下部烧嘴 10 对,上部烧嘴 5 对,共 30 只。并在每个烧嘴的对侧窑墙上设置一个观火孔。烧嘴总数为:54 只,助燃风全部为外界空气。预热带带前部的部分烧嘴和烧成带上部烧嘴可能不开,为调节烧成曲线,增加产量留设备用。

## 5.5 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,余热风可供干燥用,从而达到节能目的。

### 5.5.1 急冷段

采用直接向窑内吹入冷风的方式,17-18节分上下两排设置了14对急冷风管,直接向窑内喷入冷风,并在19-20节设置了4对侧部抽热风口。

### 5.5.2 缓冷段

制品冷却到700~400℃范围时,是产生冷裂的危险区,应严格控制该段冷却降温速率。为了达到缓冷的目的,本设计采用间壁冷却的形式,在21-22节设置2组中空墙来进行间壁冷却。

### 5.5.3 快冷段

在23节设置2对侧部抽热风口,在24-25节分上下两排设置6对快冷风管,气源为外界空气。并在顶部设置抽热口,由抽热风机送至干燥室。

### 5.5.4 窑尾段

26节设置3对轴流风机,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℃。

## 5.6 输送系统及附属装置

隧道窑内铺设轨道,轨道安放在钢架上的轨道垫板上,用螺丝联结并焊接。窑车是制品运输的载体。窑车底架由槽钢、钢板等经螺丝联结、焊接而成。

在窑头和窑尾各有一手动拖车道,每拖车道上有一辆拖车。窑外有一条手动回车线。拖车轨道和窑内轨道和回车线轨道相连接,并在同一水平面上。空窑车在回车线上装载制品,然后推到拖车上,将拖车推到窑头,再用顶车机将窑车推入窑内,窑车从窑尾出来经拖车道送至回车线,并在回车线卸载制品。

窑头装有油压顶车机。根据设定好的推车速度,顶车机将窑车顶入窑内。顶车速度可调。拖车道和回车线轨道直接装在轨道垫板上。在自动回车线上设置有一个窑车下检查坑道,深约1.5米,其长宽尺寸约同窑车大小,用来检修运行不良的窑车。

在回车线前部和后部,各设置一道安全检查门,其断面尺寸和窑头断面、曲封尺寸

一致。检查门用多块薄钢板制作而成，用螺丝联结，可以调整其高度和宽度。

## 5.7 控制和调节系统

### 5.7.1 工作原理

本窑的控制系统采用分散控制的方法，既可在控制柜内统一控制，也可进行现场控制。该系统主要包括动力控制、热工控制、报警装置及安全保护系统。

### 5.7.2 动力控制

所有风机均采用直接启动方式，手动控制，在窑炉控制柜上设置风机开启/关闭按钮，直接集中控制和统一调节。只要按一下某风机启动按钮，与该风机配套的接触器衔铁便接通风机电源。

### 5.7.3 运行安全保护系统及报警系统

为了保证该隧道窑在正常工作条件下安全运行，防止窑炉在燃烧系统的某一环节出现故障时，天然气管道继续向窑炉烧嘴供应天然气而造成损坏或事故。本窑设有安全运行保护系统，当出现故障时，要立即关闭天然气主管上手动阀门，从而关闭天然气。

此外，为严密监控窑各关键部位的运转情况，本窑设置了故障报警系统。控制柜上设置有报警显示仪：当监视的任一部件出现故障时，即出现声光报警，以便操作人员及时发现和处理故障。

## 6 窑体材料和厚度的确定

### 6.1 窑体材料确定原则

整个窑体由金属支架支撑。窑体材料要用耐火材料和隔热材料。

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:

- ◆ 为了砌筑方便的外形整齐,窑墙厚度变化不要太多。
- ◆ 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。
- ◆ 厚度应保证强度和耐火度。

总之,窑体材料及厚度的确定在遵循以上原则得计出上,还要考虑散热少,投资少,使用寿命长等因素。

### 6.2 整个窑炉的材料名称和厚度

窑体所采用的材料及其厚度应该满足各段使用性能要求,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,综合考虑确定窑体材料和厚度见如下。

窑墙部分:

第 1-9 节: 厚 405mm, 为 230mm 轻质粘土砖、115mm 硅藻土砖、60mm 矿渣棉。

第 10-16 节窑墙(厚 560mm): 230mm 聚轻高铝砖+230mm 轻质粘土砖+100mm 硅酸铝纤维毡;

第 17-26 节窑墙(厚 560mm): 230mm 聚轻高铝砖+230mm 轻质粘土砖+100mm 硅酸铝纤维毡;

窑顶部分:

堇青莫来石板制品具有热膨胀系数小,抗震稳定性好,使用寿命长,且不会突然断裂,使用过程中不氧化不落脏掉渣,不污染烧品,是烧成陶瓷制品最理想的材料。

第 1-9 节窑顶 厚 350mm，为 250mm 轻质粘土吊顶砖、100mm 普通硅酸盐耐

第 10-16 节窑墙(厚 560mm)：230mm 聚轻高铝砖+230mm 轻质粘土砖+100mm 硅酸铝纤维毡；

第 17-26 节窑墙(厚 560mm)：230mm 聚轻高铝砖+230mm 轻质粘土砖+100mm 硅酸铝纤维毡；



## 7 燃料燃烧计算

### 7.1 所需空气量

所用燃料为天然气

$$\text{理论空气量 } V_a^0 = (0.264 \times Q_{\text{net}}) / 1000 + 0.02 = 9.513 \text{ Nm}^3/\text{Nm}^3$$

$$\text{则理论需氧量 } L_a^0 = V_a^0 / 0.21 = 0.299 \text{ Nm}^3/\text{Nm}^3$$

取空气过剩系数  $n=1.4$ ，则实际空气量  $V_a = 1.4 \times 9.513 = 13.318 \text{ Nm}^3/\text{Nm}^3$ 。

$$\text{理论烟气量: } V_g^0 = (\text{CO} + \text{H}_2 + 2\text{CH}_4 + \text{CO}_2 + \text{N}_2) \times 0.01 + 0.79 V_a^0 = 10.544 (\text{Nm}^3/\text{Nm}^3)$$

$$\text{实际烟气量为: } V = V_g^0 + (n-1) V_a^0 = 10.544 + (1.4 - 1.00) \times 9.513 = 14.394 (\text{Nm}^3/\text{Nm}^3)$$

### 7.2 燃烧温度

设计任务书给出燃料的低热值  $Q_{\text{net}} = 35960 \text{ kJ}/\text{Nm}^3$ 。

$$\text{理论燃烧温度 } t = (Q_{\text{net}} + V_a C_a t_a + C_f T_f - Q_{\text{分}}) / (V_c)$$

估计理论燃烧温度为  $1600^\circ\text{C}$ 。查表在  $t=1700^\circ\text{C}$  时的烟气比热为  $C=1.424+0.000105 \times 1600 = 1.592 \text{ kJ}/(\text{Nm}^3 \cdot ^\circ\text{C})$ ，在室温  $20^\circ\text{C}$  时空气比热为  $C_a=1.30 \text{ kJ}/(\text{Nm}^3 \cdot ^\circ\text{C})$ ，天然气的比热为  $C_f=1.58 \text{ kJ}/(\text{Nm}^3 \cdot ^\circ\text{C})$ ，代入公式得

$$t = (35960 + 1.459 \times 1.30 \times 20 + 1.58 \times 20) / (14.394 \times 1.592) = 1572^\circ\text{C}$$

相对误差为： $(1600-1572)/1600 < 5\%$ ，认为合理。

取炉温系数 $\eta=0.75$ ，则实际燃烧温度为  $t_p=\eta t=0.75 \times 1572=1479^{\circ}\text{C}$ ，比最高烧成温度  $1150^{\circ}\text{C}$  高，所选燃料合理。

助燃空气可以不预热便可使用。

## 8 物料平衡计算

### 8.1 每小时出窑制品的质量

$$G_m = \text{推车速度} \times \text{每车载重} = 1.5 \times 280 = 420 \text{ kg/h}$$

### 8.2 每小时入窑干坯的质量

$$G_{\text{干}} = G_m \cdot \frac{100}{100 - I.L} = 420 \times \frac{100}{100 - 5.48} = 444 \text{ kg/h}$$

### 8.3 每小时欲烧成湿制品的质量

$$G_1 = G_{\text{干}} \cdot \frac{100}{100 - \omega} = 444 \times \frac{100}{100 - 3} = 458 \text{ kg/h}$$

### 8.4 每小时蒸发的自由水的质量

$$G_w = G_1 - G_{\text{干}} = 458 - 444 = 14 \text{ kg/h}$$

### 8.5 窑具的质量

200 块棚板，800 个支柱，窑具容重  $2100 \text{ kg/m}^3$

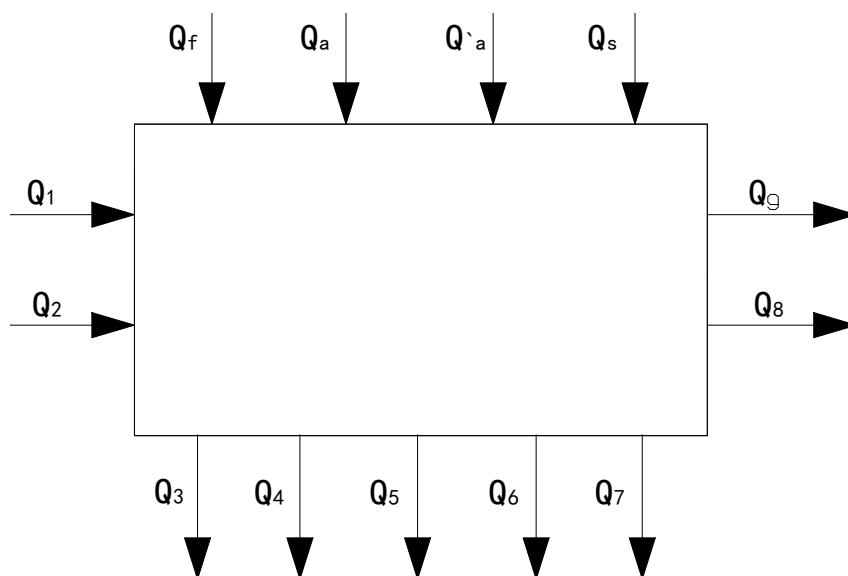
$$\begin{aligned} G_b &= (0.48 \times 0.48 \times 0.01 \times 20 \times 10 + 0.04 \times 0.05 \times 0.06 \times 20 \times 10 \times 4) \times 2100 \times 1.6 \\ &= 1871 \text{ kg/h} \end{aligned}$$

## 9 预热带和烧成带的热平衡计算

### 9.1 确定热平衡计算的基准、范围

本次计算选用 1 小时为计算基准，以  $0^{\circ}\text{C}$  作为基准温度。以预热带和烧成带为计算范围。

### 9.2 热平衡示意图



预热带和烧成带的热平衡示意图

$Q_1$ —坯体带入显热；

$Q_2$ —砌板、支柱等窑具带入显热；

$Q_3$ —产品带出显热；

$Q_4$ —砌板、支柱等窑具带出显热；

$Q_5$ —窑墙、顶总散热；

$Q_6$ —物化反应耗热；

$Q_7$ —窑车蓄热和散失热量；

$Q_8$ —其他热损失；

$Q_g$ —烟气带走显热；

$Q_f$ —燃料带入化学热及显热；

$Q_a$ —助燃空气带入显热；

$Q'_a$ —预热带漏入空气带入显热；

$Q_s$ —气幕带入显热；

### 9.3 热收入项目

#### 9.3.1 坯体带入显热 $Q_1$

$$Q_1 = G_1 C_1 T_1 \quad (\text{kJ/h})$$

其中： $G_1$ —入窑制品质量（Kg/h）； $G_1 = 458 \text{Kg/h}$ ；

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

$C_1$ —入窑制品的平均比热（KJ/（Kg·℃））； $T_1 = 20^\circ\text{C}$ 时， $C_1 = 0.92 \text{KJ/（Kg·℃）}$ ；

$$Q_1 = G_1 C_1 T_1 = 458 \times 0.92 \times 20 = 8427.2 \quad (\text{kJ/h})$$

#### 9.3.2 硼板、支柱等窑具带入显热 $Q_2$

$$Q_2 = G_b C_2 T_2 \quad (\text{kJ/h})$$

其中： $G_b$ —入窑硼板、支柱等窑具质量（Kg/h）； $G_b = 1871 \text{kg/h}$

$T_2$ —入窑硼板、支柱等窑具的温度（℃）； $T_2 = 20^\circ\text{C}$

$C_2$ —入窑硼板、支柱等窑具的平均比热（KJ/（Kg·℃））；碳化硅硼板、支柱的平均比热容按下式计算：

$$C_2 = 0.963 + 0.000147t = 0.963 + 0.000147 \times 20 = 0.966 \text{KJ/（Kg·℃）}$$

$$Q_2 = G_b C_2 T_2 = 1871 \times 0.966 \times 20 = 36148 \quad (\text{kJ/h})$$

#### 9.3.3 燃料带入化学热及显热 $Q_f$

$$Q_f = (Q_d + T_f C_f) \times \quad (\text{kJ/h})$$

其中： $Q_d$ —所用燃料低位发热量（KJ/Nm<sup>3</sup>）；燃料为天然气，低位发热量为：

$$Q_d = 8604 \text{KJ/Nm}^3;$$

$T_f$ —入窑燃气温度（℃）；入窑燃气温度为  $T_f = 20^\circ\text{C}$ ；

$C_f$ —入窑燃气的平均比热容 ( $\text{KJ}/(\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C})$ ); 查表,  $T_f=20^\circ\text{C}$  时天然气平均比热容为:  $C_f=1.42 \text{ KJ}/(\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C})$ ;

$x$ —设每小时发生炉煤气的消耗量为  $x \text{ (Nm}^3/\text{h})$ ;

$$Q_f = (Q_d + T_f C_f) x = (8604 + 20 \times 1.42) x = 8632.4x \text{ kJ/h}$$

#### 9.3.4 助燃空气带入显热 $Q_a$

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

其中:  $V_a$ —入窑助燃风流量 ( $\text{Nm}^3/\text{h}$ ); 前面燃烧部分计算得:  $V_a = L_a \cdot x = 1.615x \text{ (Nm}^3/\text{h})$ ;

$T_a$ —入窑助燃风的平均温度 ( $^\circ\text{C}$ );  $T_a=20^\circ\text{C}$ ;

$C_a$ —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:  $C_a=1.30 \text{ KJ}/(\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C})$ ;

$$Q_a = V_a C_a T_a = 1.615x \times 1.30 \times 20 = 42x \text{ (kJ/h)}$$

#### 9.3.5 从预热带不严密处漏入空气带入显热 $Q_{a'}$

$$Q_{a'} = V_{a'} \times C_{a'} \times T_{a'} \text{ (kJ/h)}$$

取预热带烟气中的空气过剩系数  $a_g=2.0$ , 已求出理论空气量  $L_0=1.751 \text{ Nm}^3/\text{Nm}^3$

烧成带燃料燃烧时空气过剩系数  $a_f=1.3$

$$V_{a'} = x \times (a_g - a_f) \times L_0 = x(2.0 - 1.3) \times 1.751 = 1.23x \text{ (Nm}^3/\text{h)}$$

漏入空气温度为  $T_{a'}=20^\circ\text{C}$ , 此时  $C_{a'}=1.30 \text{ kJ}/(\text{Nm}^3 \cdot ^\circ\text{C})$ , 则:

$$Q_{a'} = V_{a'} \times C_{a'} \times T_{a'} = 1.23x \times 1.30 \times 20 = 32x \text{ (kJ/h)}$$

#### 9.3.6 气幕带入显热 $Q_s$

$$Q_s = V_s C_s T_s \text{ (kJ/h)}$$

气幕包括封闭气幕、气氛幕和急冷阻挡气幕, 封闭气幕只设在窑头, 不计其带入显热。取气氛幕和急冷阻挡气幕风源为空气, 其风量一般为理论助燃空气量的 0.5-1.0 倍, 取为 0.6 倍。

所以:  $V_s = 0.6V_a = 0.6 \times 1.615x = 0.969x \text{ (Nm}^3/\text{h})$ , 设  $T_s=20^\circ\text{C}$ , 查得  $C_s=1.30 \text{ kJ}/(\text{Nm}^3 \cdot ^\circ\text{C})$ ,

$$Q_s = V_s \times C_s \times T_s = 0.969x \times 1.30 \times 20 = 25.2x \text{ (kJ/h)}$$

## 9.4 热支出项目

### 9.4.1 制品带出显热 $Q_3$

$$Q_3 = G_m C_3 T_3 \quad (\text{kJ/h})$$

出烧成带产品质量:  $G_m = 420 \text{ kg/h}$

出烧成带产品温度:  $T_3 = 1325^\circ\text{C}$

查手册<sup>[11]</sup>, 此时产品平均比热:  $C_3 = 1.20 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$

则:  $Q_3 = G_m \times C_3 \times T_3 = 420 \times 1325 \times 1.20 = 667800 \text{ (kJ/h)}$

### 9.4.2 棚板、支柱等窑具带出显热 $Q_4$

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

棚板、立柱质量:  $G_b = 1871 \text{ kg/h}$

出烧成带棚板、立柱温度:  $T_4 = 1325^\circ\text{C}$

此时棚板、立柱的平均比热:

$$C_4 = 0.84 + 0.000264t = 0.84 + 0.000264 \times 1325 = 1.19 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$$

$$Q_4 = G_b \times C_4 \times T_4 = 1871 \times 1.19 \times 1325 = 2950099.3 \text{ (kJ/h)}$$

### 9.4.3 烟气带走显热 $Q_g$

$$Q_g = V_g C_g T_g \quad (\text{kJ/h})$$

烟气中包括燃烧生成的烟气, 预热带不严密处漏入空气外, 还有用于气幕的空气。

用于气幕的空氣的体积  $V_s = 0.969x \text{ (Nm}^3/\text{h)}$

$$\text{离窑烟气体积: } V_g = [V_g^0 + (a_g - 1) \times L_0]x + V_s$$

烟气温度为  $T_g = 250^\circ\text{C}$ , 此时烟气比热  $C_g = 1.44 \text{ kJ}/(\text{Nm}^3 \cdot ^\circ\text{C})$

$$\begin{aligned} Q_g &= V_g \times C_g \times T_g = \{[1.9 + (2.0 - 1) \times 1.751]x + 0.969x\} \times 1.44 \times 250 \\ &= 2177x \text{ (kJ/h)} \end{aligned}$$

### 9.4.4 窑墙、窑顶散失热量 $Q_5$

根据各段材料不同, 并考虑温度范围不能太大, 将预热带和烧成带分成三段计算

#### 9.4.4.1 20—600℃段

该段窑长度为 15.36 米，窑宽为 2.8 米。窑外壁表面平均温度 40℃，窑内壁表面平均温度：(20+600)/2=310℃

##### 9.4.4.1.1 窑墙部分散热计算

此部分用材料如下：

轻质保温砖，厚度 $\delta=345$  mm，导热系数 0.375 w/（m·℃）；

岩棉毡，厚度 $\delta=100$  mm，导热系数 0.037 w/（m·℃）；

$$\text{热流 } q_1 = \frac{t_1 - t_0}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} = \frac{310 - 40}{\frac{0.345}{0.375} + \frac{0.1}{0.037}} = 74.6 \text{ W/m}^2$$

不考虑车台面以下部分的窑墙散热，窑内高按 1085mm 计算，

则两侧窑墙散热量： $Q'_1 = 2 \times 74.6 \times 1.085 \times 15.36 \times 3.6 = 8951.4$ （kJ/h）

##### 9.4.4.1.2 窑顶部分散热计算

此部分用材料如下：

堇青莫来石板，厚度 $\delta=20$  mm，导热系数 0.2 w/（m·℃）；

硅酸铝纤维毡，厚度 $\delta=230$  mm，导热系数 0.24 w/（m·℃）；

$$\text{热流 } q_2 = \frac{t_1 - t_0}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} = \frac{310 - 40}{\frac{0.02}{0.2} + \frac{0.23}{0.24}} = 254.7 \text{ W/m}^2$$

窑顶散热量： $Q'_2 = 254.7 \times 2.8 \times 15.36 \times 3.6 = 39435$ （kJ/h）

所以，20—600℃段的窑体散热总量为：

$$Q'_3 = Q'_1 + Q'_2 = 8951.4 + 39435 = 48386.4 \text{ (kJ/h)}$$

#### 9.4.4.2 600—900℃段

该段长度为 6.4 米，窑外壁表面平均温度 40℃，窑内壁表面平均温度：(600+900)/2=750℃



## 9.4.4.2.1 窑墙部分散热计算

此部分用材料如下：

轻质保温砖，厚度 $\delta=345$  mm，导热系数  $0.375$  w/（m·℃）；

岩棉毡，厚度 $\delta=100$  mm，导热系数  $0.037$  w/（m·℃）；

$$\text{热流 } q_1 = \frac{t_1 - t_0}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} = \frac{750 - 40}{\frac{0.345}{0.375} + \frac{0.1}{0.037}} = 196 \text{ W/m}^2$$

则两侧窑墙散热量： $Q'_4 = 2 \times 196 \times 1.085 \times 6.4 \times 3.6 = 9806$ （kJ/h）

## 9.4.4.2.2 窑顶部分散热计算

此部分用材料如下：

堇青莫来石板，厚度 $\delta=20$  mm，导热系数  $0.2$  w/（m·℃）；

硅酸铝棉，厚度 $\delta=230$  mm，导热系数  $0.24$  w/（m·℃）；

$$\text{热流 } q_2 = \frac{t_1 - t_0}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} = \frac{750 - 40}{\frac{0.02}{0.2} + \frac{0.23}{0.24}} = 669.8 \text{ W/m}^2$$

窑顶散热量： $Q'_5 = 2.8 \times 669.8 \times 6.4 \times 3.6 = 43210$ （kJ/h）

所以，600—900℃段的窑体散热总量为：

$$Q'_6 = Q'_4 + Q'_5 = 9806 + 43210 = 53016 \text{（kJ/h）}$$

## 9.4.4.3 900—1320℃段

该段长度为 14.72 米，窑外壁表面平均温度 40℃，窑内壁表面平均温度： $(900+1320)/2=1110$ ℃

## 9.4.4.3.1 窑墙部分散热计算

此部分用材料如下：

聚轻高铝砖，厚度 $\delta=230$  mm，导热系数  $0.45$  w/（m·℃）

轻质粘土砖，厚度 $\delta=230$  mm，导热系数  $0.342$  w/（m·℃）

硅酸铝纤维毡，厚度 $\delta=100\text{ mm}$ ，导热系数  $0.24\text{ W}/(\text{m}\cdot^\circ\text{C})$ ；

$$\text{热流 } q_1 = \frac{t_1 - t_0}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3}} = \frac{1110 - 40}{\frac{0.23}{0.45} + \frac{0.23}{0.342} + \frac{0.1}{0.24}} = 669\text{ W}/\text{m}^2$$

不考虑车台面以下部分的窑墙散热，窑内高按  $1185\text{ mm}$  计算，

则两侧窑墙散热量： $Q'_7 = 2 \times 669 \times 1.185 \times 14.72 \times 3.6 = 84020.4\text{ (kJ/h)}$

#### 9.4.4.3.2 窑顶部分散热计算

此部分用材料如下：

莫来石绝热砖，厚度 $\delta=230\text{ mm}$ ，导热系数  $0.3\text{ W}/(\text{m}\cdot^\circ\text{C})$ ；

硅酸铝棉，厚度 $\delta=230\text{ mm}$ ，导热系数  $0.24\text{ W}/(\text{m}\cdot^\circ\text{C})$ ；

$$\text{热流 } q_2 = \frac{t_1 - t_0}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} = \frac{1110 - 40}{\frac{0.23}{0.3} + \frac{0.23}{0.24}} = 619.6\text{ W}/\text{m}^2$$

窑顶散热量： $Q'_8 = 619.6 \times 14.72 \times 2.8 \times 3.6 = 91934.8\text{ (kJ/h)}$

所以， $900\text{—}1320^\circ\text{C}$ 段的窑体散热总量为：

$Q'_9 = Q'_7 + Q'_8 = 84020.4 + 91934.8 = 175955.2\text{ (kJ/h)}$

综上所述，预热带和烧成带窑体散失热量总和为：

$Q_5 = 48386.4 + 53016 + 175955.2 = 277357.6\text{ (kJ/h)}$

#### 9.4.5 窑车蓄热和散失热量 $Q_6$

取经验数据，占热收入的  $10\%$ 。

#### 9.4.6 物化反应耗热 $Q_7$

##### 9.4.6.1 自由水蒸发吸热 $Q_w$

$Q_w = G_w \times (2490 + 1.93 \times T_g)$  自由水的质量  $G_w = 14\text{ kg/h}$

烟气离窑的温度  $T_g = 250^\circ\text{C}$ 。

则可得： $Q_w = 14 \times (2490 + 1.93 \times 250) = 41615\text{ (kJ/h)}$

#### 9.4.6.2 其余物化反应吸热 $Q_d$

$$Q_d = G_1 \times 2100 \times w(\text{Al}_2\text{O}_3) \quad (\text{kJ/h})$$

其中,  $G_1$ —入窑干制品质量 ( $\text{Kg/h}$ );  $G_1=458 \text{ Kg/h}$ ;

$\text{Al}_2\text{O}_3$  的反应热为 2100 ( $\text{KJ/Kg}$ ) ; ;

$w(\text{Al}_2\text{O}_3)$ —陶瓷洁具结合剂中  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量占总质量的质量分数制品中;

$w(\text{Al}_2\text{O}_3)=18.15\%$ ;

$$Q_d = G_1 \times 2100 \times w(\text{Al}_2\text{O}_3) = 458 \times 2100 \times 18.15\% = 174566.7 \quad (\text{kJ/h})$$

则物化反应总耗热为:

$$Q_7 = 44587.5 + 174566.7 = 219154.2 \quad (\text{kJ/h})$$

#### 9.4.7 其他热损失 $Q_8$

一般取经验数据, 此项热支出占热收入的 5%—10%, 本次计算取 5%。

### 9.5 列热平衡方程式

由热平衡方程: 热收入=热支出, 有

$$Q_1 + Q_2 + Q_f + Q_a + Q'_a + Q_5 = Q_3 + Q_4 + Q_g + Q_5 + Q_6 + Q_7 + Q_8$$

$$8997.6 + 36148 + 6089.4x + 42x + 22.6x + 25.2x = 709632 + 2938966.8 + 1480x + 277357.6 + 10\% Q_{\text{收}} + 225252.6 + 5\% Q_{\text{收}}$$

$$3772.32x = 4113135.24$$

解得  $x = 1090.35 \text{ Nm}^3/\text{h}$

单位热耗:  $1090.35 \times 6061 / 448 = 14751.3$  (千焦/千克瓷)

### 9.6 预热带和烧成带热平衡表

预热带和烧成带热平衡表

| 热 收 入         |            |       | 热 支 出         |            |       |
|---------------|------------|-------|---------------|------------|-------|
| 项 目           | (kJ/h)     | (%)   | 项 目           | (kJ/h)     | (%)   |
| 坯体带入显热        | 8997.6     | 0.13  | 产品带走显热        | 709632     | 10.46 |
| 燃料化学显热        | 6639577.29 | 97.89 | 烟气带走显热        | 1613718    | 23.8  |
| 助燃空气显热        | 45794.7    | 0.68  | 窑墙、窑顶带<br>走显热 | 277357.6   | 4.08  |
| 漏入空气显热        | 24641.91   | 0.36  | 物化反应耗热        | 225252.6   | 3.32  |
| 棚板、立柱带<br>入显热 | 36148      | 0.54  | 棚板、立柱带<br>出显热 | 2938966.8  | 43.34 |
| 气幕显热          | 27476.82   | 0.4   | 窑车积、散热        | 678263.58  | 10    |
|               |            |       | 其它热损失         | 339131.8   | 5     |
| 总 计           | 6782635.78 | 100   | 总 计           | 6782322.38 | 100   |

分析：

$$Q=6782635.78-6782322.38=313.4 \text{ (kJ/h)}$$

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 冷却带的热平衡计算

### 10.1 确定热平衡计算的基准、范围

本次计算选用 1 小时为计算基准，以  $0^{\circ}\text{C}$  作为基准温度。以冷却带为计算范围。

### 10.2 热平衡示意图

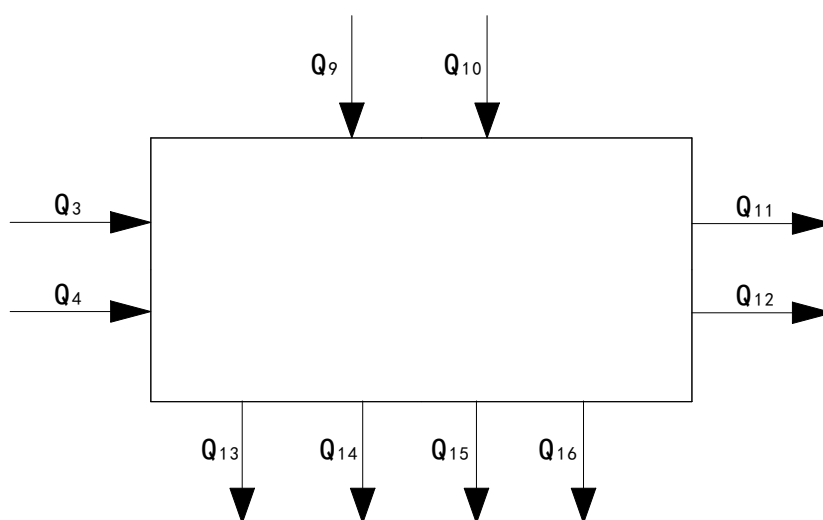


图 9-1 冷却带的热平衡示意图

$Q_3$ —制品带入显热；

$Q_4$ —砌板、支柱等窑具带入显热；

$Q_9$ —窑车带入显热；

$Q_{10}$ —急冷风带入显热与冷却带末端送入冷却风带入显热；

$Q_{11}$ —制品带出显热；

$Q_{12}$ —砌板、支柱等窑具带出显热；

$Q_{13}$ —窑车蓄热、带出及散失之热；

$Q_{14}$ —窑墙、顶总散热；

$Q_{15}$ —抽走余热风带走热量；

$Q_{16}$ —其他热损失；

### 10.3 热收入项目

#### 10.3.1 制品带入显热 $Q_3$

制品带入冷却带的显热等于预热带和烧成带制品带出显热  $Q_3=709632$  (kJ/h)

#### 10.3.2 砌板、支柱等窑具带入显热 $Q_4$

此项热量即为预热带和烧成带砌板、支柱等窑具带出热  $Q_4=2938966.8$  (kJ/h)

#### 10.3.3 窑车带入显热 $Q_9$

预热带和烧成带窑车散失之热约占窑车积热的 5%，即 95%之积热进入了冷却带。

$$Q_9=0.95 \times Q_6=596243.75 \text{ (kJ/h)}$$

#### 10.3.4 急冷风与窑尾风带入显热 $Q_{10}$

设窑尾风风量为  $V_x$ ，一般急冷风量为窑尾风量的  $(1/4-1/2)$ ，本设计取急冷风是窑尾风的  $1/2$ ，则急冷风与窑尾风的总风量为： $V_a=1.5V_x$ 。

空气的温度  $T_a=20^\circ\text{C}$ ，此时空气的平均比热  $C_a=1.30 \text{ kJ}/(\text{Nm}^3 \cdot ^\circ\text{C})$ 。

$$\text{则： } Q_{10}=V_a \times C_a \times T_a = V_a \times 1.3 \times 20 = 26 V_a \text{ (kJ/h)}$$

### 10.4 热支出项目

#### 10.4.1 制品带出显热 $Q_{11}$

出窑产品质量  $G_m=420 \text{ kg}$

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

$$Q_{11}=G_m \times C_{11} \times T_{11}=420 \times 80 \times 0.896=30105.6 \text{ (kJ/h)}$$

#### 10.4.2 砌板、支柱等窑具带出显热 $Q_{12}$

出窑砌板、立柱质量  $G_b=1871 \text{ kg/h}$

出窑棚板、立柱温度  $T_{12}=80^{\circ}\text{C}$ ，棚板、立柱比热  $C_{12}=0.861\text{ kJ}/(\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C})$

$$Q_{12}=G_b \times C_{12} \times T_{12}=1871 \times 0.861 \times 80=128874.5\text{ (kJ/h)}$$

#### 10.4.3 窑车蓄热、带出及散失之热 $Q_{13}$

此项热量占窑车带入显热的 55%，

$$Q_{13}=0.55 \times Q_9=0.55 \times 596243.75=327934\text{ (kJ/h)}$$

#### 10.4.4 窑墙、顶总散热 $Q_{14}$

根据各处的材料，并考虑温度范围不能太大，将窑墙分两段计算其向外散热。

##### 10.4.4.1 1320—700 $^{\circ}\text{C}$ 段

该段长度为 6.4 米，窑外壁表面平均温度  $40^{\circ}\text{C}$ ，窑内壁表面平均温度： $(1320+700)/2=1010^{\circ}\text{C}$

##### 10.4.4.1.1 窑墙部分散热计算

此部分用材料如下：

聚轻高铝砖，厚度  $\delta=230\text{ mm}$ ，导热系数  $0.45\text{ W}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$

轻质粘土砖，厚度  $\delta=230\text{ mm}$ ，导热系数  $0.342\text{ W}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$

硅酸铝纤维毡，厚度  $\delta=100\text{ mm}$ ，导热系数  $0.24\text{ W}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$ ；

$$\text{热流 } q_1 = \frac{t_1 - t_0}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3}} = \frac{1010 - 40}{\frac{0.23}{0.45} + \frac{0.23}{0.342} + \frac{0.1}{0.24}} = 605.3\text{ W/m}^2$$

不考虑车台面以下部分的窑墙散热，窑内高按 1215mm 计算，

$$\text{则两侧窑墙散热量：} Q''_{11}=2 \times 605.3 \times 1.085 \times 6.4 \times 3.6 = 30263\text{ (kJ/h)}$$

##### 10.4.4.1.2 窑顶部分散热计算

此部分用材料如下：

莫来石绝热砖，厚度  $\delta=230\text{ mm}$ ，导热系数  $0.3\text{ W}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$ ；

硅酸铝棉，厚度 $\delta=230$  mm，导热系数  $0.24 \text{ w/ (m}\cdot\text{°C)}$ ；

$$\text{热流 } q_2 = \frac{t_1 - t_0}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} = \frac{1010 - 40}{\frac{0.23}{0.3} + \frac{0.23}{0.24}} = 561.8 \text{ W/m}^2$$

窑顶散热量： $Q''_2 = 561.8 \times 2.8 \times 6.4 \times 3.6 = 36242.8 \text{ (kJ/h)}$

所以，1210—800℃段的窑体散热总量为：

$$Q''_3 = Q''_1 + Q''_2 = 30263 + 36242.8 = 66505.8 \text{ kJ/h}$$

#### 10.4.4.2 700—80℃段

该段长度为 17.92 米，窑外壁表面平均温度 40℃，窑内壁表面平均温度： $(700+80)/2=390^\circ\text{C}$

##### 10.4.4.2.1 窑墙部分散热计算

此部分用材料如下：

轻质保温砖，厚度  $\delta=345$  mm，导热系数  $0.375 \text{ w/ (m}\cdot\text{°C)}$ ；

岩棉毡，厚度 $\delta=100$  mm，导热系数  $0.037 \text{ w/ (m}\cdot\text{°C)}$ ；

$$\text{热流 } q_1 = \frac{t_1 - t_0}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} = \frac{390 - 40}{\frac{0.345}{0.375} + \frac{0.1}{0.037}} = 96.6 \text{ W/m}^2$$

不考虑车台面以下部分的窑墙散热，窑内高按 1085mm 计算，

则两侧窑墙散热量： $Q''_4 = 2 \times 96.6 \times 1.085 \times 17.92 \times 3.6 = 13523 \text{ (kJ/h)}$

##### 10.4.4.2.2 窑顶部分散热计算

此部分用材料如下：

堇青莫来石板，厚度  $\delta=20$ mm，导热系数  $0.2 \text{ w/ (m}\cdot\text{°C)}$ ；

硅酸铝棉，厚度 $\delta=230$ mm，导热系数  $0.24 \text{ w/ (m}\cdot\text{°C)}$ ；

$$\text{热流 } q_2 = \frac{t_1 - t_0}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} = \frac{390 - 40}{\frac{0.02}{0.2} + \frac{0.23}{0.24}} = 330.2 \text{ W/m}^2$$



窑顶散热量： $Q''_5=330.2 \times 17.92 \times 2.8 \times 3.6=59645.2$ （kJ/h）

所以，800—80℃段的窑体散热总量为：

$Q''_6=Q''_4+Q''_5=13523+59645.2=73168.2$ （kJ/h）

综上所述，冷却带窑体散失热量总和为：

$Q_{14}=66505.8+73168.2=139674$ （kJ/h）

#### 10.4.5 抽走余热风带走热量 $Q_{15}$

$$Q_{15} = V_{15} \times C_{15} \times T_{15}$$

其中， $V_{15}$ —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

抽走热风全部用于气幕，体积为  $V_{15}=1.5V_x = V_a \text{ Nm}^3$ 。漏出空气忽略不记

$T_{15}$ —抽走余热风的平均温度（℃）；取  $T_{15}=200^\circ\text{C}$

$C_{15}$ —抽走余热风的平均比热（KJ/（Kg·℃））；

查表， $T_{15}=200^\circ\text{C}$ 时，热空气的平均比热为： $C_{15}=1.3 \text{ KJ/（Kg} \cdot ^\circ\text{C）}$

则： $Q_{15}=V_{15} \times C_{15} \times T_{15}=V_a \times 200 \times 1.30=260 V_a$ （kJ/h）

#### 10.4.6 其他热损失 $Q_{16}$

取经验数据，占冷却带热收入的5%—10%，本次计算取5%。

### 10.5 列热平衡方程式

列出热平衡方程式

热收入=热支出，即： $Q_3+Q_4+Q_9+Q_{10}=Q_{11}+Q_{12}+Q_{13}+Q_{14}+Q_{15}+Q_{16}$

$709632+2938966.8+596243.75+26V_a=32112.64+128874.5+327934+139674+260 V_a+5\% Q_{\text{收}}$

得： $V_a=14466.7 \text{ Nm}^3/h$

因此得窑尾风量为  $9644.5 \text{ Nm}^3/h$  急冷风量为  $4822.2 \text{ Nm}^3/h$

则每小时应抽余热风为： $14466.7 \text{ Nm}^3$

## 10.6 冷却带热平衡表

冷却带热平衡表

| 热 收 入          |            |       | 热 支 出            |            |      |
|----------------|------------|-------|------------------|------------|------|
| 项 目            | (kJ/h)     | (%)   | 项 目              | (kJ/h)     | (%)  |
| 产品带入显热         | 709632     | 15.36 | 产品带出显热           | 32112.64   | 0.69 |
| 棚板、立柱带入显热      | 2938966.8  | 63.6  | 棚板、立柱带<br>出显热    | 128874.5   | 2.79 |
| 窑车带入显热         | 596243.75  | 12.9  | 窑体散热             | 139674     | 3.02 |
| 急冷、窑尾风<br>带入显热 | 376134.2   | 8.14  | 窑车带走和向车<br>下散失显热 | 327934     | 7.1  |
|                |            |       | 抽热风带走显热          | 3761342    | 81.4 |
|                |            |       | 其它散热             | 231048.84  | 5    |
| 合 计            | 4620976.75 | 100   | 合 计              | 4620985.98 | 100  |

分析：

$$Q = 4620985.98 - 4620976.75 = 9.23 \text{ (kJ/h)}$$

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 管道尺寸、阻力计算、烧嘴及风机选型

### 11.1 排烟系统的设计

#### 11.1.1 排烟量计算

排烟系统需排除烟气量：

$$V_g = [V_g^0 + (\alpha - 1) \times L_0] \times x + V_m \\ = [1.9 + (2.3 - 1) \times 1.242] \times x + 0.969x = 4888.7 \text{ m}^3/\text{h} = 1.36 \text{ Nm}^3/\text{s}$$

#### 11.1.2 排烟口及水平支烟道尺寸

共有 10 对排烟口，则每个排烟口的烟气流量为：

$$V = 1.36 / 20 = 0.068 \text{ m}^3/\text{s}$$

标准状态下烟气在砖砌管道中的流速为 1~2.5m/s，流速太大则阻力大，流速太小则管道直径过大，造成浪费。现在取流速  $v = 1.25 \text{ m/s}$ ，烟道截面积为：

$$A = 0.068 / 1.25 = 0.054 \text{ m}^2$$

考虑砖型，排烟口高取 4 层砖厚 0.26m，宽取一块砖长 0.23m，则排烟口面积：0.06m<sup>2</sup>，排烟口水平深度为 0.23m。

##### 11.1.2.1 总烟管尺寸

烟气在金属管中流速  $w$ ，取经验数据  $w = 10 \text{ (m/s)}$

$$\text{内径 } d_{\text{总}} = \sqrt{\frac{4 \times 1.36}{3.14 \times 10}} = 0.56 \text{ m}, \text{ 根据工程经验取直径为 } 600 \text{ mm}$$

### 11.1.2.2 支烟管尺寸

排烟段总计有 20 个支管排烟，因此

$$\text{支管 } d_{\text{支}} = \sqrt{\frac{4 \times 1.36}{3.14 \times 10 \times 20}} = 0.17 \text{ m}, \text{ 根据工程经验取直径为 } 230 \text{ mm}$$

## 11.2 阻力计算

### 11.2.1 料垛阻力 $h_i$

根据经验，取每米窑长料垛阻力为 1Pa，零压位控制在第 11 节处。最后一对排烟口在第 1 节处，每车位长 2m。则

$$h_i = (11-1) \times 2 \times 1 = 22 \text{ Pa}$$

### 11.2.2 位压阻力 $h_g$

烟气从窑炉至风机，高度升高  $H=1.5\text{m}$ ，烟气温度  $250^\circ\text{C}$ ，所以

$$\begin{aligned} h_g &= -H(\rho_a - \rho_g) \cdot g \\ &= -1.5 \times [1.29 \times 273 / (273+20) - 1.3 \times 273 / (273+250)] \times 9.8 \\ &= -7.56 \text{ Pa} \end{aligned}$$

### 11.2.3 局部阻力 $h_e$

局部阻力 $\zeta$ 查得：

烟气从窑炉进入支管： $\zeta_1=0.5$

支烟道进入金属管道有  $90^\circ$  转弯： $\zeta_2=1.1$

支烟管进入分烟管截面突增： $\zeta_3=0.6$ ； $90^\circ$  急转弯： $\zeta_4=1.1$

分管进入烟囱时有三通管： $\zeta_5=3$

砌筑管道中烟气流速为  $1.25\text{Nm/s}$ ，烟管中烟气流速  $10\text{ Nm/s}$  计，烟气温度均按  $250^\circ\text{C}$  计，虽在流动过程中烟气会有温降，但此时流速会略小，且取定的面积均比理论计算的偏大，故按此值算出的局部阻力只会略偏大，能满足实际操作需要。

$$\begin{aligned}
 h_e &= \xi_1 \frac{\omega_1^2}{2} \rho + \xi_{2-5} \frac{\omega_2^2}{2} \rho \\
 &= 0.5 \times \frac{1.25^2}{2} \times 1.30 \times \frac{273+250}{273} + (1.1+1.1+0.6+3) \times \frac{10^2}{2} \times 1.30 \times \frac{273+250}{273} \\
 &= 723.3 \text{ Pa}
 \end{aligned}$$

#### 11.2.4 摩擦阻力 $h_f$

对非圆形通道应求当量直径  $d$ :

排烟支烟道的当量直径和长度

$$d = \frac{4 \times \text{通道截面积}}{\text{通道周边长}} = \frac{4 \times 0.23 \times 0.26}{2 \times (0.23 + 0.26)} = 0.244 \text{ m}$$

$$L = 0.23 + 0.26 = 0.49 \text{ m}$$

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

$$\begin{aligned}
 h_f &= \xi_1 \frac{\omega_1^2}{2} \rho \frac{L}{d} + \xi_2 \frac{\omega_2^2}{2} \rho \left( \frac{L_1}{d_1} + \frac{L_2}{d_2} \right) \\
 &= 0.03 \times \frac{1.25^2}{2} \times 1.3 \times \frac{273+250}{273} \times \frac{0.49}{0.244} + 0.05 \times \frac{10^2}{2} \times 1.3 \times \frac{273+250}{273} \times \left( \frac{1.27}{0.1} + \frac{7}{0.2} \right) \\
 &= 297 \text{ Pa}
 \end{aligned}$$

#### 11.2.5 烟囱阻力

烟囱尺寸

$$d = \sqrt{\frac{4V}{\pi w}} = \sqrt{\frac{4 \times 1.36}{3.14 \times 10}} = 0.56 \text{ m}$$

取直径为 600mm，长度为 10m

$$\begin{aligned}
 h &= -H(\rho_a + \rho_g) + \xi \frac{\omega^2}{2} \rho \frac{H}{d} + \frac{\omega^2}{2} \rho \\
 &= -10 \times \left( 1.29 \times \frac{273}{273+20} + 1.30 \times \frac{273}{273+250} \right) + 0.03 \times \frac{10^2}{2} \times 1.30 \times \frac{273+250}{273} \times \frac{10}{0.6} \\
 &\quad + \frac{10^2}{2} \times 1.30 \times \frac{273+250}{273} \\
 &= 112.53 \text{ Pa}
 \end{aligned}$$

由于烟囱较矮，且烟气在烟囱内流速较大，烟囱造成的抽力尚不能克服烟囱本身的摩擦力及出口动压头损失，因此，烟囱成为起阻力作用的设备。

风机应克服的总阻力为

$$h_x = h_i + h_g + h_e + h_f + h = 22 - 7.65 + 723.3 + 297 + 112.53 = 1147.27 \text{ Pa}$$

### 11.3 其它系统管道尺寸的确定及风机的选型

#### 11.3.1 各管道尺寸的计算

##### 11.3.1.1 助燃风管的计算

$$\text{助燃风量 } V_a = L_a \times X = 1.615 \times 1090.35 = 1760.92 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

$$\text{实际助燃风量 } V = 1760.92 \times (273 + 20) / 273 = 1890 \text{ m}^3/\text{h} = 0.52 \text{ m}^3/\text{s}$$

取助燃风在总管中的流速为 10m/s

$$\text{助燃风总管内径: } d_{\text{总}} = \sqrt{\frac{4 \times 0.52}{3.14 \times 10}} = 0.26 \text{ m} \quad \text{取 } 300 \text{ mm}$$

$$\text{助燃风分管内径: } d_{\text{分}} = \sqrt{\frac{4 \times 0.52}{3.14 \times 10 \times 12}} = 0.074 \text{ m} \quad \text{取 } 100 \text{ mm}$$

共有 54 个烧嘴，取流速为  $w=10\text{m/s}$

$$\text{助燃风支管内径: } d_{\text{支}} = \sqrt{\frac{4 \times 0.52}{3.14 \times 10 \times 54}} = 0.035 \text{ m} \quad \text{取 } 40 \text{ mm}$$

##### 11.3.1.2 燃料管的计算

燃料量  $1090.35 \text{ Nm}^3/\text{h}$  取燃气在总管中的流速为 10m/s

$$\text{燃气总管内径: } d_{\text{总}} = \sqrt{\frac{4 \times 1090.35}{3.14 \times 10 \times 3600}} = 0.196 \text{ m} \quad \text{取 } 200 \text{ mm}$$

因为共有烧嘴 54 个 取分管 54 根

$$\text{燃气分管内径: } d_{\text{分}} = \sqrt{\frac{4 \times 1090.35}{3.14 \times 54 \times 10 \times 3600}} = 0.027 \text{ m} \quad \text{取 } 50 \text{ mm}$$

### 11.3.1.3 急冷风管的计算

该段冷风鼓入量一般为冷却带鼓入量的 1/3，所以  $V_1 = 3214.6 \text{ Nm}^3/\text{h}$   
实际鼓风量为

$$V'_1 = 3214.6 \times \frac{273 + 20}{273} = 3450.2 \text{ m}^3/\text{h} = 0.96 \text{ m}^3/\text{s}$$

a. 急冷风管总管内径：

急冷风管总管选用一根管子，那么总管的内径为：

$$\text{总管 } D_{\text{总}} = \sqrt{\frac{4 \times 0.96}{3.14 \times 10}} = 0.35 \text{ m}, \text{ 取 } 400 \text{ mm}$$

b. 急冷风管分管内径：

急冷风在分管中的流速为：  $\omega = 10 \text{ m/s}$ ，

急冷风管分管选用两根管子，那么分管的内径为：

$$\text{分管 } d_{\text{分}} = \sqrt{\frac{4 \times 0.96}{3.14 \times 10 \times 2}} = 0.25 \text{ m}, \text{ 取 } 300 \text{ mm}$$

c. 急冷风管支管内径

急冷风在支管中的流速为：  $\omega = 10 \text{ m/s}$ ，

急冷风管支管选用 28 根管子，那么分管的内径为：

$$\text{支管 } d_{\text{支}} = \sqrt{\frac{4 \times 0.96}{3.14 \times 10 \times 28}} = 0.066 \text{ m}, \text{ 根据经验支管取 } 80 \text{ mm}$$

### 11.3.1.4 急冷段抽热风管的计算

冷却带总抽风量：  $9644.5 \text{ Nm}^3/\text{h}$ ，抽出温度为  $300^\circ\text{C}$

$$\text{实际抽风量 } V'_2 = 9644.5 \times \frac{273 + 300}{273} = 10871.35 \text{ m}^3/\text{h} = 3.02 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{抽热风总管 } d_{\text{总}} = \sqrt{\frac{4 \times 3.02}{3.14 \times 10}} = 0.58 \text{ m}, \text{ 取 } 600 \text{ mm}$$

$$\text{抽热风支管（共有 15 跟抽热风管） } d_{\text{分}} = \sqrt{\frac{4 \times 3.02}{3.14 \times 10 \times 15}} = 0.21 \text{ m}, \text{ 取 } 230 \text{ mm}$$



### 11.3.1.5 窑尾鼓冷风管尺寸的计算

窑尾鼓冷风量为  $4822.2\text{Nm}^3/\text{h}$

$$\text{实际鼓风量 } V'_1 = 4822.2 \times \frac{273+20}{273} = 5175.47 \text{ m}^3/\text{h} = 1.44 \text{ m}^3/\text{s}$$

a. 鼓冷风总管直径:

气体在鼓冷风中的流速取  $w=10\text{m/s}$

$$\text{总管 } D_{\text{总}} = \sqrt{\frac{4 \times 1.44}{3.14 \times 10}} = 0.43 \text{ m}, \text{ 取 } 600\text{mm}$$

$$\text{分管 } D_{\text{分}} = \sqrt{\frac{4 \times 1.44}{3.14 \times 2 \times 10}} = 0.20 \text{ m}, \text{ 取 } 230\text{mm}$$

$$\text{支管 } D_{\text{支}} = \sqrt{\frac{4 \times 1.44}{3.14 \times 12 \times 10}} = 0.076 \text{ m}, \text{ 取 } 80\text{mm}$$

### 11.3.2 各窑段的风机选型

为保证正常工作，取安全系数为 1.3

所以选型应具备风压:

$$H = 1.30 \times h_x \times \frac{\rho_a}{\rho_g} = 1.3 \times 1147.27 \times \frac{1.29 \times \frac{273}{273+20}}{1.30 \times \frac{273}{273+170}} = 2904 \text{ Pa}$$

流量取储备系数为 1.3，风机排出烟气平均温度为  $250^\circ\text{C}$ ，所以流量为

$$Q = 1.3 \times V_g \times (273+250)/273 = 1.3 \times 1.36 \times 523/273 = 3.39 \text{ m}^3/\text{s}$$

经过上面计算风机选型其参数如表 10—1 所示:

查《风机选用手册》选引风机 Y200L—4-30KW，其参数见表 10—1。

#### 11.3.2.1 急冷段急冷风机的选用

风机鼓风量  $Q=1.3 \times 3214.6=4178.98\text{Nm}^3/\text{h}$

比较各种风机性能后，采用 G6-43No6.3 型离心通风机。它是新型高效率中、低压离心通风机，具有效率高，节约电力，运转平稳，噪声低，结构完善，便于维修，拆装

方便等优点。

11.3.2.2 窑尾风机的选用

$$Q=1.3\times4822.2=6268.86\text{Nm}^3/\text{h}$$

11.3.2.3 缓冷段抽热风量

$$Q=1.3\times9644.5=12537.85\text{ Nm}^3/\text{h}$$
，缓冷设两台风机，1 开 1 备。

11.3.2.4 助燃风机的选用

助燃风机需鼓入风量  $Q=1.3\times V_a=1.3\times1760.92=2289.2\text{Nm}^3/\text{h}$

表 10-1 风机参数表

| 用途   | 风机名称  | 机型         | 转速<br>r/min | 全压 Pa | 风量<br>m³/h | 电动机      |           |
|------|-------|------------|-------------|-------|------------|----------|-----------|
|      |       |            |             |       |            | 型号       | 功率<br>/kW |
| 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       |

11.4 选用烧嘴应注意的原则

由于全窑共有 54 个烧嘴，每个烧嘴每小时燃料的消耗量为 20.2m³，考虑每个烧嘴的燃烧能力和烧嘴燃烧的稳定性，取安全系数 1.5。

所以每个烧嘴的燃烧能力为： $1090.35 \times 1.5 / 54 = 30.29 \text{ Nm}^3/\text{h}$

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。

#### 11.4.1 烧嘴选用

根据上述原则和查询设计手册得：

本设计选用的烧嘴是 WDH—TCC4 型高速烧嘴，该烧嘴的特点：

- ◇适用燃气：液化气、天然气、焦炉煤气、发生炉煤气，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( $\pm 1.5 \sim 5^\circ\text{C}$ )；
- ◇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—TCC4 型高速燃烧器技术性能参数：

| 型号   | 热负荷<br>x10 <sup>4</sup> kcal/h | 燃气压力                  |    |     |     | 助燃空气         |                |        | 最高温度  |
|------|--------------------------------|-----------------------|----|-----|-----|--------------|----------------|--------|-------|
|      |                                | 流量 Nm <sup>3</sup> /h |    |     |     | 压力<br>Pa     | 温<br>度         | 风<br>量 |       |
|      |                                | F                     | S  | T   | Y   |              |                |        |       |
| TCC1 | 1                              | 10                    | 20 | 1.2 | 0.5 | 1500<br>-350 | 常<br>温<br>-350 | 24     | 1800℃ |
| TCC2 | 2                              | 20                    | 40 | 2.4 | 1   | 0            |                | 48     |       |

|      |   |        |    |         |   |  |  |    |  |
|------|---|--------|----|---------|---|--|--|----|--|
| TCC4 | 4 | 4<br>0 | 80 | 4.<br>8 | 2 |  |  | 96 |  |
|------|---|--------|----|---------|---|--|--|----|--|

## 12 工程材料概算

### 12.1 窑体材料概算

#### 12.1.1 轻质保温砖，规格：230×345×65mm

取窑墙的平均高度为 1.4m，全窑所砌筑的长度为 22+18=40m，所以砌有保温砖的窑墙体积为

$$V=2 \times 0.23 \times 1.4 \times 40=26.4\text{m}^3$$

共需粘土砖

$$26.4 / (0.345 \times 0.230 \times 0.065) = 5117 \text{ 块}$$

#### 12.1.2 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 1350℃，在全窑砌有厚度 230mm，全窑所砌筑的长度为 24m，窑体的平均身高为 1.5m，所以砌有粘土砖的窑墙体积为

$$V=2 \times 0.23 \times 1.5 \times 24=16.56\text{m}^3$$

共需粘土砖

$$16.56 / (0.230 \times 0.230 \times 0.065) = 4816 \text{ 块}$$

#### 12.1.3 莫来石绝热砖，规格：230×200×199mm

全窑所砌筑的长度为 24m，因为窑宽为 2.8m 故

$$V = 0.23 \times 2.8 \times 24 = 15.46 \text{ m}^3$$

共需轻质莫来石绝热砖

$$15.46 / (0.23 \times 0.2 \times 0.199) = 1689 \text{ 块}$$

#### 12.1.4 聚轻高铝砖，规格：230×230×65mm

全窑所砌筑的长度为 24m，故

$$V = 2 \times 0.23 \times 1.5 \times 24 = 16.56 \text{ m}^3$$

共需聚轻高铝砖

$$16.56 / (0.23 \times 0.230 \times 0.065) = 4816 \text{ 块}$$

#### 12.1.5 堇青莫来石板 规格：500×300×20

全窑所砌筑的长度为 40m，故

$$V = 0.02 \times 2.8 \times 40 = 2.24 \text{ m}^3$$

共需堇青莫来石板

$$2.24 / (0.5 \times 0.3 \times 0.02) = 747 \text{ 块}$$

#### 12.1.6 硅酸铝纤维毡

纤维直径 $\approx 2-4\mu\text{m}$ ，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 64m，宽为 2.8m，所填棉的高为 0.23m，体积为： $V_1=2.8 \times 0.23 \times 64=41.22 \text{ m}^3$  在窑墙所填硅酸铝纤维长度为 24m，宽为 0.1m，高为 1.5m，体积为： $V_2=2 \times 0.1 \times 1.5 \times 24=7.2 \text{ m}^3$

在窑车内填棉长为 1.675m，宽为 2.17m，高为 0.2m，在全窑的窑车数为 32 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  $32+10=42$  辆，得出硅酸铝纤维体积为： $V_3=1.675 \times 2.17 \times 0.2 \times 42=30.53 \text{ m}^3$

全窑所需硅酸铝纤维的总体积为： $V=V_1+V_2+V_3=41.22+7.2+30.53=78.95\text{m}^3$

#### 12.1.7 岩棉毡

在窑墙所填岩棉毡长度为 40m，宽为 0.1m，高为 1.4m，体积为： $V_2=2 \times 0.1 \times 1.4 \times 40=11.2 \text{ m}^3$

#### 12.1.8 含锆纤维毯，厚度 60mm

每辆窑车内填含锆纤维毯长为 1.675m，宽为 2.17m，高为 0.06m，所以全部窑车所

需的体积为  $1.675 \times 2.17 \times 0.06 \times 42 = 9.16 \text{ m}^3$

### 12.1.9 含铅散棉

用于堵塞膨胀缝等其他缝、孔，窑墙的平均厚度为 0.35m，膨胀缝宽为 0.02m，高度为 1.5m，所以  $V = 0.35 \times 0.02 \times 1.5 \times 32 = 0.34 \text{ m}^3$

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。

### 12.1.10 其他材料

热电偶（含瓷管）：21 套。

烧嘴 54 只。

烧嘴砖 54 块。

看火孔（含瓷管和看火孔盖）：54 套。

执行器 12 个。

电磁阀 12 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。

## 12.2 钢材材料概算

由图纸中的详细计算，得出下列材料图表：

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



## 致谢

大学四年的学习生活就要告一段落了，我的毕业设计经过孙健老师的指导和自己的努力也即将完成。能够顺利的完成毕业设计，我要感谢指导老师孙老师的指导以及同学们的帮助。

毕业设计不仅是对大学所学专业知识和专业基础的一次实际检验和巩固，更多的是走向工作岗位前的一次热身，和对自己能力的一种提高。设计就是要把理论知识与实际生产情况、具体技术结合起来，将所学到的知识能够融会贯通、熟练应用，并要求我们能够理论联系实际，培养我们的综合运用能力以及解决实际问题的能力。然而实际操作总比想象的困难，所以在做设计时遇到一些个难题，也就暴露了自身知识的缺漏。通过这次毕业设计使我看到了自己专业知识的缺陷与不足，确定在以后的学习中必须得更加的努力，做到脚踏实地，切勿眼高手低。

在这次毕业设计过程中，我学到更加丰富的专业知识，并且还培养了我更加认真的学习态度，也为以后走更远的路打下了良好的基础。通过这次毕业设计，使我明白学习是一个长期积累的过程，在以后的工作、生活中都应该不断的学习，努力提升自己知识和综合素质。

由于本人知识和能力的不足，加之时间有限，在毕业设计中不可避免的出现了一些纰漏之处以及不如人意的地方，在此诚恳地希望各位老师、诸位前辈、同学能够多多批评指正，本人将不胜感激！

## 参考文献

- [1] 刘振群 《陶瓷工业热工设备》. 武汉. 武汉工业大学出版社. 1998 年
- [2] 王淮邦 《耐火材料工艺学》第二版. 北京. 冶金工业出版社. 1993 年
- [3] 宋瑞 《现代陶瓷窑炉》. 武汉. 武汉工业大学出版社. 1996 年
- [4] 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
- [5] 胡国林 陈功备 《窑炉砌筑与安装》. 武汉理工大学出版社. 2005. 5
- [6] 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
- [7] 孙晋淘 《陶瓷工业热工设备》. 武汉理工大学出版社. 1989. 10
- [8] 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
- [9] 王秉铨 《工业炉设计手册》. 北京机械工业出版社. 1996. 8
- [10] 杨世铭 陶文铨 《传热学》第三版 . 高等教育出版社. 1998
- [11] 韩昭沧 《燃料及燃烧》第二版 冶金工业出版社 2007

## 浅谈隧道窑窑车

【摘要】隧道窑窑车是隧道窑系统中最昂贵的组成部分,并且对隧道窑的安全运转和能量消耗都有重要影响。

【关键词】窑车 砂封 耐火材料

隧道窑窑车经常出现一些技术问题,它们是影响隧道窑烧成质量、运转可靠性、经济效益的主要因素。窑车与隧道窑之间的密封不好,一方面热空气会从隧道窑内串到窑车下,对窑车钢结构,尤其是窑车车轮轴承的损害非常大,直接影响到隧道窑的安全运转。另一方面冷空气从窑车底串到隧道窑内,将使隧道窑内横断面上下的温差增大,影响制品的烧成质量。窑车衬砌耐火材料重量越大,窑车在焙烧过程中热交换越高,隧道窑在焙烧过程中热交换比例就越大,也就是说笨重的窑车灵活性小、热损失大。所以,窑车一方面要有足够好的密封性能,另一方面窑车重量必须尽可能地减轻,以使能耗降低,并且要有足够的耐久性,保证窑车的安全运行。窑车的机械或热力学上的缺陷都会对砖厂日常生产成本有一定的影响。要降低成本,降低保养费和能耗,提高使用寿命,必须对窑车的问题加以重视。

注意避免让不必要的冷空气进入窑内,还要避免窑内的热空气串到窑下,这点很重要。主要漏风渠道之一是砂封结构。砂封并不能获得完全密封,仅能部分阻挡空气气流,最大的空气泄露是在窑车与窑车之间的砂封搭处。在设计和加工时,为避免顶推力传到砂封板上,砂封板不应当接触太紧,此外还有允许误差、砂封板的变形、不同的热膨胀率、磨损等因素。因此,一窑车与另一窑车连接处的砂封板并不密封,即使每辆车有 $2\text{c m}^2$ 的漏风面积,这看起来也许很小,但总共有60左右辆窑车在窑内,这将产生大约漏 $120\text{c m}^2$ 风面积,这对于工作在一定压力状态下的隧道窑会造成很大影响,是不可忽视的。曾有人设法努力采取补救措施。例如采取砂封板重复搭接密封件和类似措施等,实践证明都不适用,在连续使用后经常损坏,因此应该寻找更好的砂封结构。

根据国外30~40年积累的经验证明,水是一种良好的密封材料。有人采用充水水槽,水槽带有膨胀接缝并填充砂子,但100多米长的水槽在热胀冷缩条件下不可能持久,无法保证水槽的密封。法国赛利克公司更前进了一步,将窑车底面全部浸在水里,使这种

密封系统更完美了。另有一种简单而有效的设计是双砂封,下部砂封是我们常用的砂封结构。上部砂封结构是由一条C形槽钢和侧墙形成一体,与之相配合的窑车上是T形结构。T形下部与C形槽钢下部形成砂封。T形上部和窑车面层侧面又形成一道砂封,C形槽上端插入其中。主要优点是形成的砂封在窑车通过窑内时一直保持着密封,能与窑车相搭扣。实践证明,如此密封即使在长的隧道窑内,也不需再补充砂子。

上述砂封系统大大地减少了从窑下来的不必要的冷空气和进入窑下的热空气,可以防止窑车边框耐火材料以下部分工作在高温状态,这种砂封结构花费较少,对窑车无损伤,对窑车车轮、轴承和其他部件却有很好的保护作用。窑车重量的减轻,是通过窑车衬采用轻质耐火材料(轻质耐火纤维砌块,轻质混凝土)实现的。窑车边框材料可采用外壁厚度适中的轻质窑车边框砖,这样可降低边缘的重量,但必须非常结实,抗热冲击性能要好,耐火度及荷重软化点要满足要求。多数情况下,窑车边缘要求机械性能稳定。边框砖材料大部分采用粘土质耐火砖,现在也有采用轻质耐火混凝土做边框砖的,这样可以减轻窑车的重量,降低窑车造价,但轻质耐火混凝土的机械性能不是很好,边框砖容易损坏。

隔热层在窑车衬砌结构中所占的体积比例最大。现在我们普遍采用的是填充水泥膨胀蛭石,水泥膨胀蛭石容重、热导率都比较大,这样不但会造成窑车重量的加大,并且造成窑车的蓄热能力加大,向下传导的热量多。如改用其他便宜的轻质隔热材料(如粉煤灰、膨胀珍珠岩),就完全可以减轻窑车的重量,并且不会提高整车的造价。

窑车面是隧道窑构造中问题最多的组成部分。窑的两侧墙、窑顶和窑车面形成窑的四个面,窑车面应消耗最少的热量,因为另外三个面在窑加热后温度保持恒定不变,它们的热消耗仅限于向外传导的热损失。可是窑车是在冷态下推入隧道窑的,窑车面除了向下传导的热量以外,它还将吸收并贮存热量,因为它的表面应当达到焙烧带的最终温度,当窑车从隧道窑出来以后,温度又会降到室温,造成了热量损失,所以高质量的隔热材料是防止热损失的必要条件。

窑车面越厚,向下传导的热损失越少。对于贮存热量,其原则是:台面层越薄,贮存热量的比例越小。每一种窑车面均有其最佳厚度,如果没有达到,那将导致向下传导的热量加大。如果超过了,蓄热能力就加大了。窑车面将大致达到最终焙烧温度。因此窑车面将从常温加热升温到 $1000^{\circ}\text{C}$ 左右,它将对蓄热起到决定性的影响。因此,顶层材料应由尽可能轻的耐火材料所组成,下层材料仅达到较低的温度,它们对蓄热的影响较小。因此

它们的重量不如顶层那么关键。窑车面层除了应具有最小的热耗外,也应满足其他一些要求。它的底部必须保证密封,它必须安全地承载输送砖坯,并承受塌方的考验。还应具有机械稳定性(牢固、经久耐用、不变形、耐风化等),除此之外,窑车面层暴露在经常不断的温度变化之下,其必须能承受这种不断变化的热流影响。因此,所用的耐火材料应能抵抗这种温差的冲击。

由于生产中,每日要清理窑车,再加上燃烧对窑车的严重侵蚀,所以,窑车面要结实耐用。对生产厂家而言,迫切需要轻质且机械性能皆好的窑车面。通过设计及技术安全测量手段,或在生产工艺中运用适当的技术原理防止焙烧坯体倒塌,从而避免对窑车机械性能的损坏。

隧道窑花费最大的部分是窑车部分,应当尽量少花钱,而且在常期使用时少花维修费,在某种程度上讲,这些要求似乎互相矛盾,理想的解决法似乎不可能,只能不断寻求协调,使缺点尽可能减少。

为了配合国家关于禁止黏土实心砖推广空心砖墙改政策的实施,适应广大中小砖厂技术改造,《砖瓦》杂志社设备窑炉技术开发部通过对市场的调查和多年从事建厂经验绘制出不同规模、不同类型、适合不同原料的新型《隧道干燥室通用图纸》和高效节能《轮窑通用图纸》。该图纸汇集不同原料、不同规模的黏土、页岩、煤矸石及粉煤灰烧结砖及空心砖轮窑及干燥室施工图。

推出的所有图纸均是在生产中经过长期实践的成熟技术资料,在绘制过程中不仅吸收了国内外业内的先进技术使其结构更加合理,适应面更广,还增加了大量结构详图和文字说明以便使用单位施工方便。《砖瓦》杂志社设备窑炉技术开发部还同时推出与图纸相应配套的GSJ-III型系列干燥室送热节能风机和ZFJ系列轮窑高温防腐节能引风机(见《砖瓦》杂志彩色广告),以及干燥车、窑车、顶车机、摆渡车等,并提供从干燥室、轮窑的技术咨询、改造调试到各类相应配套设备的整套优惠服务。

## Of tunnel kiln cars

**【Abstract】** tunnel kiln tunnel kiln car system is the most expensive component of the tunnel kiln and the safety of operation and have an important impact on energy consumption.

**【Key words】** kiln car    refractory sand    seal

Tunnel kiln cars are often a number of technical problems, which affect the quality of the tunnel kiln firing, operation reliability, cost-effectiveness of the main factors. Kiln tunnel kiln cars and the seal between the well, on the one hand, hot air from the tunnel kiln to the kiln car series, the steel structure of the kiln cars, in particular, kiln car wheel bearings for damage is very large, direct impact on the tunnel kiln the safety of operation. On the other hand, the cold air from the kiln car into the tunnel kiln at the end of string, up and down will make the tunnel cross-section of the kiln temperature increases, the impact of the burning quality products. The weight of the kiln car refractory lining of the bigger cars in the roasting kiln heat exchange process the higher the tunnel kiln in the roasting process the greater the heat exchange ratio, meaning that heavy vehicles flexibility small kiln, large heat loss. Therefore, the kiln cars on the one hand, there must be enough good sealing performance, on the other hand, kiln cars to be as much as possible to reduce weight in order to reduce energy consumption and durability sufficient to ensure the safe operation of the kiln car. Kiln cars thermodynamic machinery or defects will be day-to-day cost of production of the factory have a certain impact. To reduce costs, reduce maintenance costs and energy consumption, improve the life of the kiln must be attention to the issue of cars.

Attention to avoid unnecessary cold air into the kiln, but also to avoid the hot air kiln to kiln string, this is very important. One of the main channels of air leakage sealing structure of sand. Sand can not be completely closed and sealed and only partially block the air flow, the largest air leaks in the kiln and kiln cars car ride between the Department of the sand seal. In the design and processing, in order to avoid closure top thrust plate spread sand, sand dam should not be too tight contacts, in addition to allowable error, sand dam deformation, different thermal expansion, wear and tear and other factors. Therefore, a kiln car with

another car kiln sand junction closure plate is not sealed, even if the vehicle has  $2c \text{ m}^2$  area of air leakage, which may seem small, but about a total of 60 cars in the kiln kiln cars, This will generate approximately  $120c \text{ m}^2$  air leakage area, which is working under a certain pressure on the tunnel kiln will cause a significant impact, can not be ignored. There have been efforts to try to take remedial measures. For example, take the sand dam seals overlap and duplication of similar measures, the practice of proof does not apply in the frequent damage after continuous use, it should find a better structure of the sand seal.

According to 30 ~ 40 years of experience have proven that water is a good sealing material. It was the use of water-filled sand chutes, water tank and filled with sand expansion joints, but more than 100 meters long in the sink can not be sustained under the conditions of, there is no guarantee of the sealed tank. French Cup Malik company a step forward, the bottom of all kiln cars submerged in the water, making the system more perfect seal. Another simple and effective design is double sand seal, seal the lower part of sand that we used the structure of the sand seal. Closed structure of the upper part of sand by a C-shaped channel and the formation of one side wall, with matching kiln car is T-shaped structure. T-shaped C-shaped channel and the lower part of the lower part of the formation of sand closures. T-shaped upper surface and the side of the kiln cars and sand together to form letters, C-shaped slot in which the top insert. The main advantage is the formation of letters in the sand through the kiln when the kiln cars have maintained sealed with kiln cars with hasp. Practice has proved that such a seal even in the long tunnel kiln, but also do not need to add sand.

Sand closed the above system greatly reduces unnecessary down from the kiln and the cold air into the furnace of hot air, you can prevent the kiln car refractories the following part of the border in high-temperature state, the structure of sand less costly closure of the kiln car without injury on the kiln car wheels, bearings and other parts are very good protection. Reduce vehicle weight of kiln, the kiln cars through the use of lightweight refractory lining (refractory fiber block light, light-weight concrete) realization. Kiln car frame material may be outside the wall of light moderate brick kiln car frame, so that reduces the weight of the edge, but it must be very strong, better thermal shock resistance, refractoriness and softening

point load to meet the requirements. In most cases, the edge of the kiln car mechanical properties and stability requirement. Most of the use of brick material frame clay refractory bricks, and now there are so light-weight fire-resistant concrete brick borders, so that the kiln can reduce vehicle weight, lower cost of the kiln car, but the light of the mechanical properties of fire resistance of concrete is not very good, border tiles easily damaged.

Insulation lining in the kiln cars share the largest proportion of the volume. Now, we commonly used cement to fill the expansion of vermiculite, cement vermiculite expansion weight, larger than the thermal conductivity, so that will not only result in increasing the weight of the kiln cars and trucks caused by the kiln to increase the storage capacity, down conduction more heat. If the light switch to other cheaper insulation materials (such as fly ash, expanded perlite), it is entirely possible to reduce the weight of the kiln car, and does not increase the cost of vehicles.

Kiln tunnel kiln car surface is constructed in the largest component of the problem. Both sides of the wall of the kiln, kiln car tops and kiln kiln surface to form the four side of the kiln car should consume at least face the heat, because the other three surface heated in the kiln to maintain constant temperature, their heat consumption limited to outside the conduction of heat loss. However, the kiln car is to push down in the cold tunnel kiln, and kiln cars surface in addition to heat conduction down outside, it will absorb and store heat, as it should be to reach the surface with the final calcination temperature, when the cars from the tunnel kiln after the kiln temperature will be reduced to room temperature, resulting in heat loss, so high-quality insulation materials to prevent heat loss is a necessary condition.

Thicker surface kiln cars, heat conduction losses down the less. For the storage of energy, its principle is: the more thin surface layer, the smaller the proportion of heat storage. Kiln cars each side has its best thickness, if not met, it will lead to increased downward heat conduction. If exceeded, increased storage capacity. Kiln cars to achieve the final surface will be roughly the calcination temperature. Therefore kiln car surface heating from room temperature to about 1000 °C, it will play a decisive impact on storage. Therefore, the top material of the refractory material should be as light as possible the composition of the lower material to reach only the lower temperature, they are less affected by storage. So they weight less than



the top of the key. Apart from the kiln car surface should have the smallest heat consumption, but also a number of other requirements to be met. It must be sealed at the bottom, it must safely transport carrying brick and cave-bearing test. Should also have the mechanical stability (solid, durable, non-deformation, weathering resistance, etc.) In addition, the kiln car surface is constantly exposed to temperature changes, the it must be capable of sustaining the heat of this ever-changing effects of . Therefore, the refractory material used should be able to resist the impact of this difference.

Due to the production of daily to clear the kiln cars, coupled with the burning of the kiln cars serious erosion, therefore, the kiln car a firm and durable surface. To the manufacturer, the urgent need for the mechanical properties of light and kiln cars are a good side. Through measurement of design and technical security means, or in the production process of the principle of the use of appropriate technology to prevent the collapse of roasting green body so as to avoid the mechanical properties of the kiln car damage.

Tunnel kiln is the most expensive part of the kiln car parts, should be as little as possible to spend money, but when used in the regular period of less maintenance costs, to a certain extent, these seemingly contradictory requirements, it seemed an ideal solution can not only Coordination will continue to seek to minimize the shortcomings.

In line with the country on the Prohibition of the promotion of hollow clay brick implementation of the policy change, to adapt to Medium Small brick wide technological transformation, "brick" magazine furnace technology equipment on the market through years of investigation and experience to engage in mapping different plant scale, different types of materials suitable for a new type of "tunnel drying chamber general drawings" and energy efficient "general-purpose drawing kiln." Drawing together the different materials, different sizes of clay, shale, coal gangue and fly ash sintered brick and hollow brick kiln drying chamber and working drawings.

The introduction of all the drawings are in production after a long-term practice of a mature technology, in mapping the course of the industry not only absorbed the advanced technology at home and abroad make it more reasonable structure to adapt to broader, but also increased a great deal of structural details and text Note the use of units in order to facilitate construction.

"Brick" magazine furnace equipment technology development and also the introduction of drawings at the same time supporting the GSJ series delivery and hot dry room ZFJ series of energy-efficient fans and high-temperature kiln energy-saving anti-corrosion primer fan (see "brick" color magazine ad ), and dry cars, kiln cars, top car machines, car ferry, and from the dry room, round kiln technology consulting, transformation debugging equipment to all types of the corresponding service package of concessions.