

耐火纤维工业炉墙的特点及其质量控制

薛国生, 葛奎忠

(华东电炉厂, 江苏丹阳 212362)

摘要: 系统分析了耐火纤维工业炉墙与传统耐火砖炉墙相比较所具有的十大特点, 为了充分发挥耐火纤维炉墙的特点, 应对耐火纤维炉墙的材质、施工方法进行全面的控制。

关键词: 耐火纤维; 压缩比; 导热系数。

中图分类号: TG155.1

文献标识码: B

文章编号: 1008-1690(2004)01-0034-04

Characters and Quality Control of Industrial Fire-fiber Furnace Wall

XUE Guo-sheng, GE Kui-zhong

(Huadong Electric Furnace Factory, Danyang Jiangsu Province, 212362)

Abstract: Compared with traditional firebrick wall, as many as ten advantages of firefiber industrial furnace wall were systematically analysed. Ways of quality control and method of calculation of heat transfer for the firefiber furnace wall were also introduced.

Key Words: firefiber; compression ratio; heat transfer coefficient

耐火纤维又称陶瓷纤维, 是一种人造无机非金属纤维材料。20世纪60年代美国首先在加热炉上使用, 由于其卓越的性能, 各先进国家都纷纷研制使用。我国在20世纪70年代研制使用, 80年代初推广应用, 到80年代后期已完全成熟可靠, 广泛使用^[1]。实践证明, 这种新颖、轻质、软性、耐火隔热材料在工业炉上使用后有显著的经济效益。

1 耐火纤维炉墙特点

1.1 比重轻

传统的耐火砖的比重为 $2100\text{kg}/\text{m}^3$, 耐火纤维毯的比重仅为 $128\text{kg}/\text{m}^3$, 只占传统耐火砖的6.1%。当组成炉墙时, 若按1平方米计算, (见图1、图2) 则全纤维炉墙的重量仅为传统耐火砖炉墙的7.1%。

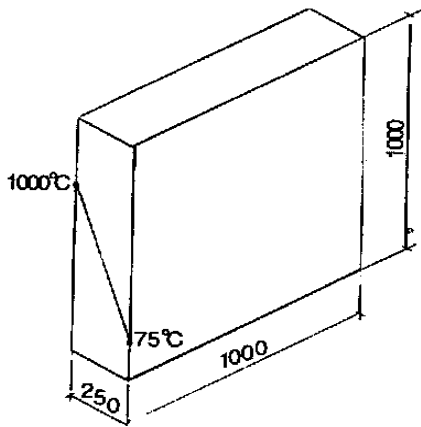


图1 耐火纤维炉墙
Fig. 1 fire-fiber wall

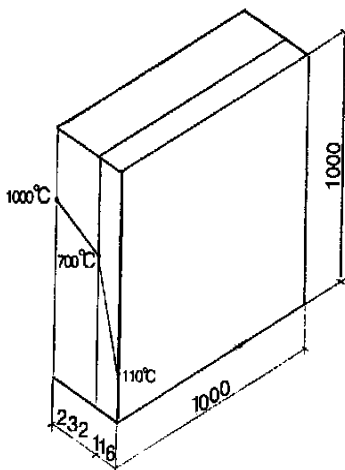


图2 耐火砖炉墙
Fig. 2 firebrick wall

收稿日期: 2003-12-25

作者简介: 薛国生, 男, 生于1945年, 厂长, 热处理新设备项目负责人。

1.2 蓄热损失小

图 1 所示的全纤维炉墙其蓄热损失为 22200kJ, 而图 2 所示的传统耐火砖炉墙其蓄热损失为 445386kJ, 耐火纤维炉墙的蓄热损失仅为传统耐火砖炉墙蓄热损失的 4.7%^[2]。

1.3 散热损失小

根据传热计算, 图 1 的耐火纤维炉墙其散热损失为 2449kJ/m²·h, 而当炉温相同时, 图 2 传统耐火砖炉墙的散热损失为 4961kJ/m²·h。耐火纤维炉墙的散热损失为传统耐火砖炉墙散热损失的 49%。

1.4 节能效果好

由于耐火纤维炉墙的比重轻, 隔热效果好, 因此其蓄热损失和散热损失都明显地低于传统耐火砖炉墙。经众多用户的实际测定, 对于间隙式加热炉, 耐火纤维炉墙同传统耐火粘土砖炉墙相比其节能率为 20%~35% 左右。其全年的节能费用是相当可观的, 举例说明。

例 1 一台中型燃油加热炉, 采用传统耐火砖炉墙时的平均耗油量为 50kg/h, 而改用耐火纤维炉墙时的平均耗油量为 40kg/h, 假定该炉子全年的使用时间为 4000 小时, 轻柴油的单价为 3 元/kg, 则全年的节油费为:

$(50 - 40) \text{ kg/h} \times 4000 \text{ h/年} \times 3 \text{ 元/kg} = 120000 \text{ 元/年}$

例 2 一台平均耗电为 100kW 的电阻炉, 由传统的耐火砖炉墙改为耐火纤维炉墙后, 其全年的节电费为(电费单价为 0.7 元/kW·h):

$100 \text{ kW} \times 20\% \times 4000 \text{ h/年} \times 0.7 \text{ 元/kW} \cdot \text{h} = 56000 \text{ 元/年}$

因此, 采用耐火纤维炉墙的投资回报率是很高的。

1.5 对环境污染少

由于燃油加热炉因采用耐火纤维炉墙比传统耐火砖炉墙节约燃油 20%~35%, 因此其排放的烟气量也减少了 20%~35%。对一台平均耗油为 50kg/h 的燃油加热炉其全年排放的烟气量可减少(每公斤柴油燃烧后可产生的烟气量为 12.5m³/kg)^[3]:

$50 \text{ kg/h} \times (20\% \sim 35\%) \times 12.5 \text{ m}^3/\text{kg} \times 4000 \text{ h/年} = 500000 \sim 875000 \text{ m}^3/\text{年}$ 。

1.6 使用寿命长

传统耐火砖炉墙有许多砖缝, 经多次热胀冷缩后, 砖缝会扩大松动, 不仅散热损失加大, 而且破坏了炉墙的整体性, 使用寿命下降。而耐火纤维炉墙是整体压缩成型, 能抗急热急冷, 其稳定性、隔热性、

整体性均优于传统耐火砖炉墙, 因此使用寿命比传统耐火砖炉墙要长。目前已有个别经验丰富的炉子制造厂向用户承诺耐火纤维炉墙的自然使用寿命大于 5 年。

1.7 炉体结构轻巧

由于耐火纤维炉墙的重量很轻, 加热和冷却时炉墙又无热应力和外加胀力, 因此耐火纤维炉墙及其钢结构要比传统耐火砖炉墙及其钢结构要轻巧得多。由此还产生了炉体移动式结构新颖的加热炉。一台 880kW 的炉体移动式电阻炉, 由于采用耐火纤维炉墙, 其庞大的炉体只需人工手摇机构即能轻巧地移动。

1.8 加热和冷却速度快

耐火纤维炉墙重量轻、蓄热小, 因此炉子的加热和冷却速度很快, 热效率高。对于像轧辊和高合金钢零件淬火后需及时回火, 按常规做法需配备一台专用的回火炉。因为耐火砖炉墙从 850~1000℃ 自然冷至 200~300℃ 需 8~12 小时以上, 而耐火纤维炉墙其自然冷却时间仅需 0.5~1 小时, 因此轧辊和高合金钢零件淬火后可仍在淬火炉中回火, 对于产量不高的厂家可省去一台回火炉。

1.9 炉子密封性好

高质量的炉子对炉子的密封性要求很高, 因为密封性差的炉子会造成炉温均匀性差、热耗大, 加热质量差。经压缩成型的耐火纤维炉墙透气阻力很大, 密封性也好。耐火纤维炉墙的各相对移动部位(炉门与门框、台车与炉体)采用弹性软密封自动压紧结构, 使其密封可靠, 有效地防止炉内热量和烟气外溢, 可提高炉温均匀性, 节约能耗, 延长炉子使用寿命, 改善操作环境, 提高加热质量。

1.10 检修简易方便

耐火纤维质地柔软, 可加工性好, 因此耐火纤维炉墙的检修也非常简便。对炉墙损坏的部位只要局部去除, 再用新的耐火纤维进行粘结修补即可, 因此只要对操作工稍加培训指导即可自行检修, 不需要专门的筑炉工。

正因为耐火纤维炉墙有上述特点, 被国外誉为“工业炉结构的巨大革命”。国内行家称耐火纤维炉墙工业炉是优质、高效、低耗、长寿、清洁、灵活的工业炉设备。

2 耐火纤维炉墙质量控制

2.1 耐火纤维材质选用

严格按炉子使用温度不同而选用不同材质的耐火纤维(见表 1)

表1 耐火纤维的品种

Table 1 Kinds of the fire- fiber

炉子额定使用温度 (氧化气氛)	耐火纤维材质	参考价格 (元/kg)
< 1000℃	普通硅酸铝耐火纤维	7
< 1100℃	高纯硅酸铝耐火纤维	9.5
< 1200℃	高铝硅酸铝耐火纤维	15
< 1300℃	含锆型硅酸铝耐火纤维	25
< 1400℃	多晶莫来石耐火纤维	90

2.2 耐火纤维材质控制

2.2.1 化学成份控制

耐火纤维的主要成份为 Al_2O_3 、 SiO_2 、 Fe_2O_3 及渣球等,含量均应符合有关标准要求。对供应商提供的耐火纤维制品应复验化学成份,主要复验 Al_2O_3 和渣球含量。

2.2.2 外观和手感检查

耐火纤维制品外观颜色以白为佳,手感柔软有弹性,用手指把耐火纤维捻碎时无明显的渣球刺手感;把耐火纤维拉断时纤维较长为合格品,反之为劣品。

2.2.3 耐火纤维品牌选择

各种品牌的耐火纤维优劣差别较大,使用者应选用规模大,信誉好的制造商的产品。

2.3 耐火纤维炉墙施工质量控制

2.3.1 耐火纤维应与炉子壳体固定牢靠

耐火纤维与炉子壳体固定牢靠后才组成一个整体的耐火纤维炉墙,如果二者固定不牢靠,造成耐火纤维脱离炉子壳体会使整个炉墙烧损,尤其是炉顶耐火纤维更易脱落,这是造成耐火纤维炉墙损坏的重要因素之一。

耐火纤维炉墙固定方法有以下4种:

a. 机械分块式固定法

把经压缩至 $300 \times 300 \times 250\text{mm}$ 的耐火纤维模块采用紧固件与炉子壳体钢板进行机械固定,其优点是抗震性好,特别适合于罩式炉和井式炉,但施工较麻烦易产生收缩缝。

b. 机械大块式固定法

把经压缩成 $1500 \times 600 \times 250\text{mm}$ 的耐火纤维模块采用穿钢条与炉壳焊接固定。适合于箱式和台车式炉墙,施工简易。

c. 大型叠砌式耐火纤维炉墙的粘结法

大型叠砌式耐火纤维炉墙($1200 \times 2400 \times 250\text{mm}$)采用特殊的粘结剂将耐火纤维与钢板网相

粘结组成耐火纤维炉墙,其优点是施工安装和维修方便,适合于大型的台车式炉墙。

d. 粘结和机械复合固定法

本方法是弥补粘结固定法的不足,在对耐火纤维进行粘结固定的同时,在距冷面三分之一纤维处再穿钢条进行机械固定,防止耐火纤维脱落。炉顶耐火纤维均采用复合固定法。

2.3.2 耐火纤维炉墙应有足够的厚度

耐火纤维炉墙厚度与炉温的关系应符合表2的规定

表2 耐火纤维炉墙厚度与炉温之间的关系

Table 2 The dependence of fire- fiber wall thickness on furnace temperature

炉温 ℃	炉墙厚度* (mm)	炉墙冷面温升 ℃
1000	250	55
900	200	50
800	180	50
700	150	50

*叠砌式炉墙

在耐火纤维炉墙外壳60~100mm处外复彩钢板组成一个空气隔热层,不仅使炉子外表整齐美观,而且更有效地降低炉子外表温度,这是一种用户极欢迎的组合式炉墙。

2.3.3 耐火纤维炉墙应有足够的压缩比

对燃料炉,其耐火纤维墙的压缩比应大于25%;对于电阻炉,其耐火纤维炉墙的压缩比应大于40%。压缩比不足会使耐火纤维炉墙在使用过程中,产生收缩缝而导致炉墙早期损坏。

2.4 耐火纤维炉墙的传热计算

2.4.1 导热系数 λ 的确定

笔者把较为权威的资料上所介绍的 λ 值进行整理并绘成导热系数 λ 与使用温度 t 之间的关系图(图3),发现 λ 数值的分散度极大,这是因为影响耐火纤维 λ 值的因素很多,如材质、比重,施工方法等。而且耐火纤维的传热机理及其导热系数 λ 的物理概念也不同于一般的耐火材料,因此在实际应用时应以实测的导热系数为准。只要精确地测得炉墙的内、外温度即可按式(1)求得耐火纤维炉墙向周围空间所散发的热流 $q^{[2]}$,然后将 q 代入经典的传热计算公式(2)即可求出实际的 λ 值,并建立起导热系数 λ 与温度 t 之间的回归方程(3)^[4],然后按公式(4)^[5]采用试算逼近法即可求出耐火纤维炉墙的厚度。

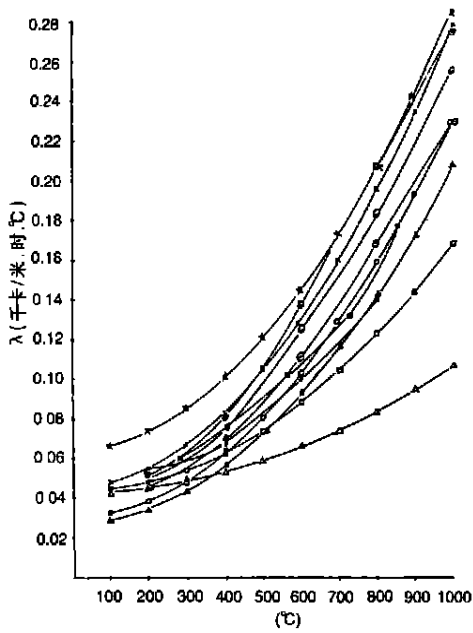


图3 各种耐火纤维炉墙导热系数λ与温度的关系
Fig.3 The dependence of heat transfer coefficient λ of fire-fiber wall on temperature

$$q = A (t_{\text{表}} - t_{\text{环}})^{1.25} + 3.9 \left[\left(\frac{t_{\text{表}} + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{t_{\text{环}} + 273}{100} \right)^4 \right] \quad (1)$$

$$\lambda_{\text{实测}} = \frac{q \cdot s}{t_{\text{内}} - t_{\text{表}}} \quad (2)$$

$$\lambda_{\text{实测}} = 0.065 + 0.22 \left(\frac{t}{100} \right)^2 \quad (3)$$

$$q = \frac{t_{\text{内}} - t_{\text{表}}}{S} \cdot \lambda \quad (4)$$

上式中:

q —— 热流(千卡/米²·时)

A —— 考虑散热面位置不同的系数:

热面朝上取 A = 2.8

热面垂直取 A = 2.2

热面朝下取 A = 1.4~1.5

t_表 —— 炉墙外表面温度(°C)

t_环 —— 炉墙外表面的环境温度

t_内 —— 炉墙内表面温度(°C)

λ —— 导热系数(千卡/米·时·°C)

s —— 炉墙厚度(米)

【公式(1)适合于安装在厂房内炉子外墙的热流计算】

3 结论

3.1 用耐火纤维炉墙代替传统的耐火砖炉墙,在技术上已经很成熟,并产生显著的经济效益,已得到愈来愈多的用户和炉子制造商的认可。

3.2 为了充分发挥耐火纤维炉墙的特点,必须对耐火纤维炉墙的材质和施工质量进行严格的控制。

3.3 耐火纤维炉墙的导热系数λ值是炉墙传热计算的一个重要参数,但是影响其λ值的因素复杂,因此各资料提供的λ值的分散度较大,只能根据具体的耐火纤维炉墙的材质和施工方法进行实际测定并按经典的热流计算方法求得的λ值,才较符合耐火纤维炉墙的传热情况。

参 考 文 献

- [1] 马鞍山钢铁设计院,耐火纤维应用技术文集[M]. 1985
- [2] 炉墙表面的散热量[J]. 工业炉,1984. (3)
- [3] 王秉权,工业炉设计手册[M]. 2002
- [4] 上海师范大学,回归分析及其试验设计[M].
- [5] 米哈伊洛夫,传热学基础[M]. 1954

简 讯

敬 告 读 者

近从《国外金属热处理》获悉,声称由“山西人民出版社”印刷、定价高达980元的16开精装四卷本《热处理工艺全书》,推销人员在邮发征订单。经比对,该书纯系盗用《热处理手册》第三版四卷本全部内容的盗版书,所谓的主编清华大学教授谢绍自及副主编和编委均系虚构,希望读者及业内人士提高警惕,不要上当受骗。

(编辑部)