

# 燃油燃气锅炉高温烟箱绝热密封材料的改造

韩相忠

(西安建筑科技大学 材料系, 陕西 西安 710055)

**摘要:**就高铝硅酸铝纤维板作为耐高温抗风蚀材料, 在高温烟箱上的应用做了详细的阐述, 提出了耐火纤维复合炉衬的计算方法, 在锅炉设计中具有实用性。

**关键词:**燃油燃气锅炉; 高铝硅酸铝纤维板; 复合炉衬

中图分类号: TK225 文献标识码: B

## 1 前言

中心回焰式锅炉的前烟箱门, 三回程锅炉的干背及烟箱门均受到  $900\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 1\ 100\text{ }^{\circ}\text{C}$  高温烟气的加热和冲刷, 如果这种高温烟箱的绝热和密封不好, 将直接影响锅炉的使用寿命, 甚至导致锅炉不能正常运行。

国产燃油燃气锅炉的高温烟箱门多采用轻质耐热混凝土, 莫来石轻质浇注料。这种材料的密度一般为  $1\ 200 \sim 1\ 500\text{ kg/m}^3$ , 虽然比重质炉衬轻了很多, 但做出的炉门仍然很重。在使用过程中容易出现裂纹, 导致绝热层过早脱落。为了克服轻质耐热混凝土炉衬的上述缺点, 笔者尝试用耐火纤维板做高温炉门衬材料, 收到良好效果。

## 2 耐火纤维做高温炉衬材料的优点

### 2.1 重量轻

耐火纤维制品的容重为  $130 \sim 220\text{ kg/m}^3$ , 仅为轻质耐热混凝土容重的  $10\% \sim 15\%$ 。用耐火纤维制品做炉衬材料重量轻, 炉门开启轻便。

### 2.2 绝热效果好

耐火纤维制品的导热系数为  $0.03 \sim 0.04\text{ W/(m}\cdot^{\circ}\text{C)}$ , 轻质耐热混凝土的导热系数为  $0.4 \sim 0.5\text{ W/(m}\cdot^{\circ}\text{C)}$ 。根据传热原理, 散热量  $q = \frac{\lambda}{S} \Delta t$ , 式中  $\lambda$  为导热系数,  $S$  为炉衬厚度,  $\Delta t$  为炉衬内外表面温度差。如果  $q$  不变, 则  $\lambda$  与  $S$  成反比。所以用耐火纤维做炉衬材料, 厚度可以减薄。

### 2.3 使用寿命长

耐火纤维毡及其它制品耐急冷急热性好, 非常适应燃油燃气锅炉经常停开的工作特点。因此使用寿命长。

### 2.4 隔音效果好

能减少燃烧产生的噪音。

### 2.5 价格适宜

耐火纤维制品的价格虽然比轻质耐热混凝土贵, 但由于采用复合炉衬, 重量轻, 费用与轻质耐热混凝土接近。

## 3 高温烟箱炉衬的结构

### 3.1 材质的选择

耐火纤维的材质不同, 使用温度也不同(表1)。

表1

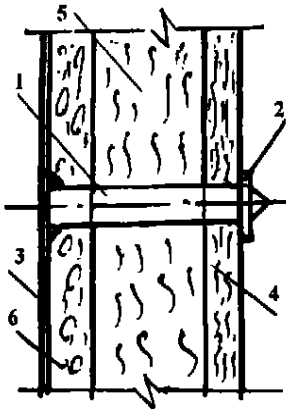
纤维名称	最高使用温度/ $^{\circ}\text{C}$	安全使用温度/ $^{\circ}\text{C}$
普通硅酸铝纤维	1 150	$\leq 1\ 000$
高纯硅酸铝纤维	1 260	$\leq 1\ 100$
高铝硅酸铝纤维	1 400	$\leq 1\ 200$
微晶硅酸铝纤维	1 400	$\leq 1\ 250$
纯料含锆硅酸铝纤维	1 450	$\leq 1\ 350$
莫来石纤维	1 600	$\leq 1\ 300$
氧化铝纤维	1 600	$1\ 400 \sim 1\ 450$

表1中可以看出, 从使用温度和价格上考虑, 锅炉烟箱门衬的工作层(接触火焰部位)宜采用高铝硅酸铝纤维, 保温层宜采用普通硅酸铝纤维。

### 3.2 品种的选择

耐火纤维制品的品种很多, 有耐火纤维棉、耐火纤维板、针刺毯、毡, 耐火纤维砖, 纤维管、绳等。其中大部分不抗风蚀, 即耐不住高速气流的冲刷。而锅炉烟箱的门衬必须抗  $20\text{ m/s}$  以上烟速的冲刷, 特制的耐火纤维板可以满足这一要求。锅炉烟箱门衬最好选耐高温、抗风蚀的高铝纤维板做工作层, 普通硅酸铝纤维(不一定要求抗风蚀)做中间保温层, 外保温层可选用价格低廉的岩棉毡, 构成复合层。这

种复合层炉衬既经济又实用。



1—拉杆; 2—夹紧板; 3—炉门框板; 4—高铝硅酸铝纤维板; 5—普通硅酸铝纤维毡; 6—岩棉毡

图 1

### 3.3 炉衬的固定方法

炉门先用金属做成框架, 把耐火纤维平铺在框架内, 用高温胶粘牢, 并用耐热钢金属拉杆固定(见图 1)。

耐火纤维受到高温加热后要产生收缩, 使接缝变大, 因此各层间的接缝要错开, 接缝要挤紧粘牢。固定金属拉杆及类板要采用耐热材料, 温度低于 1 000 °C 的部位采用不锈钢, 温度高于 1 000 °C 的部位用耐热钢(Cr25Ni20)。

## 4 复合层炉衬各层厚度的计算

根据最佳热能原理, 炉衬有一个经济厚度, 其值可根据稳定态传热来求得。

$$\text{稳定态传热公式 } q = -\lambda \frac{dt}{dx}$$

式中:  $q$ —散热量,  $W/m^2$ ;  $\lambda$ —导热系数,  $W/(m \cdot ^\circ C)$ ;  $t$ —温度,  $^\circ C$ 。

各种玻璃态耐火纤维毡或毯的导热系数可用下式计算:  $\lambda = e^{A+Bt}$

式中:  $A$  和  $B$ —常数, 数值见表 2。

表 2 不同密度耐火纤维毡(毯)导热系数  $A$  及  $B$  值

密度 / $kg \cdot m^{-3}$	$A$		$B$
	平面方向传热	侧面方向传热	
96	-3.18	-2.92	$1.94 \times 10^{-3}$
128	-3.18	-2.92	$1.74 \times 10^{-3}$
160	-3.17	-2.91	$1.63 \times 10^{-3}$
192	-3.13	-2.87	$1.49 \times 10^{-3}$
288	-3.05	-2.79	$1.25 \times 10^{-3}$

将  $\lambda = e^{A+Bt}$  代入  $q = -\lambda \frac{dt}{dx}$ ,

得  $X = \frac{1}{qB} (e^{A+Bt_N} - e^{A+Bt})$  (m)

式中:  $t$ —炉衬内某一点的温度,  $^\circ C$ ;  $t_N$ —炉衬内表面温度,  $^\circ C$ ;  $X$ —炉衬内某一点距内表面距离, m;  $q$ —稳定态热损失,  $W/m^2$ 。

各层间的介面温度可用下式计算

$$t = \frac{1}{B} [\ln(e^{A+Bt_N} - qBX) - A] \quad (^\circ C)$$

炉门外壁对空气的总散热量  $q$  用下式计算

$$q = \alpha_\Sigma (t_w - t_h)$$

式中:  $\alpha_\Sigma$ —垂直平面(涂漆)对空气的总散热系数,  $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ ;

$t_w$ —炉门外表面温度,  $^\circ C$ ;

$t_h$ —环境温度,  $^\circ C$ 。

表 3  $\alpha_\Sigma$  的数值

外表面温度 / $^\circ C$	40	60	80	100	120
$\alpha_\Sigma$	8.236	9.57	10.556	11.484	12.296

用实例说明上述各式的计算方法。

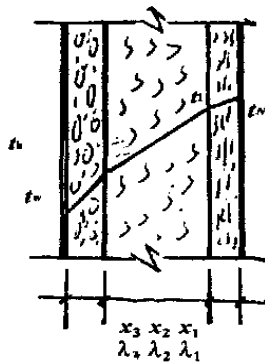


图 2

例题: 中心回焰式燃气锅炉的前烟箱门采用耐火纤维复合炉衬: 工作层材质为高铝硅酸铝纤维板, 密度  $\rho = 128 \text{ kg/m}^3$ , 厚度为  $X_1$ , 导热系数为  $\lambda_1$ ; 中间层为普通硅酸铝纤维毡,  $\rho = 96 \text{ kg/m}^3$ , 厚度为  $X_2$ , 导热系数为  $\lambda_2$ ; 外保温层选用岩棉毡,  $\rho = 160 \text{ kg/m}^3$ , 厚度为  $X_3$ , 导热系数为  $\lambda_3$ 。

又知炉门衬内表面温度为  $t_N = 1000 \text{ }^\circ C$ , 炉门外表面温度为  $t_w = 60 \text{ }^\circ C$ ; 环境温度为  $10 \text{ }^\circ C$  (冬季), 试计算炉门衬各层厚度。

解: 假设内层与中间层的介面温度  $t_1 = 950 \text{ }^\circ C$  (普通硅酸铝纤维的安全使用温度); 中间层与外层的介面温度为  $t_2 = 600 \text{ }^\circ C$  (岩棉的安全使用温度)

$$q = \alpha_\Sigma (t_w - t_h) = 9.57 \times (60 - 10) = 478.5 \quad (W/m^2)$$

根据  $\rho = 128 \text{ kg/m}^3$ , 查表 2 得  $A = -3.18$   $B = 1.74 \times 10^{-3}$

$$\text{则 } X_1 = \frac{1}{478.5 \times 1.74 \times 10^{-3}} \times (e^{-3.18+1.74 \times 10^{-3} \times 1000} - e^{-3.18+1.74 \times 10^{-3} \times 950}) = 0.02356 \text{ (m)}$$

选用厚度为 0.03 m。

$t_1$  的校核:

$$t_1 = \frac{1}{1.74 \times 10^{-3}} [\ln(e^{-3.18+1.74 \times 10^{-3} \times 1000} - 478.5 \times 1.74 \times 10^{-3} \times 0.03) + 3.18] = 936 \text{ }^\circ C$$

符合普通硅酸铝纤维安全使用温度要求。

根据  $\rho = 96 \text{ kg/m}^3$ , 查得  $A = -3.18$   $B = 1.94 \times 10^{-3}$

$$X_2 = \frac{1}{478.5 \times 1.94 \times 10^{-3}} \times (e^{-3.18+1.94 \times 10^{-3} \times 936} - e^{-3.18+1.94 \times 10^{-3} \times 600}) = 0.1318 \text{ (m)}$$

选用厚度为 0.13 m。

校核  $t_2$ :

$$t_2 = \frac{1}{1.94 \times 10^{-3}} [\ln(e^{-3.18+1.94 \times 10^{-3} \times 936} - 478.5 \times 1.94 \times 10^{-3} \times 0.13) + 3.18] = 607 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

符合要求。

根据  $\rho = 160 \text{ kg/m}^3$ , 查得  $A = -3.17$   $B = 1.63 \times 10^{-3}$

$$X_3 = \frac{1}{478.5 \times 1.63 \times 10^{-3}} \times (e^{-3.17+1.63 \times 10^{-3} \times 607} - e^{-3.17+1.63 \times 10^{-3} \times 60}) = 0.085 \text{ (m)}$$

选用厚度为 0.085 m,  $t_3$  不需校核。

### 5 高温烟箱门与炉体间的密封

(挥 编辑)

(上接第 312 页)

但预测精度提高了一个数量级。图 4、图 5 分别是  $P = 4$  时的训练和预测的结果。

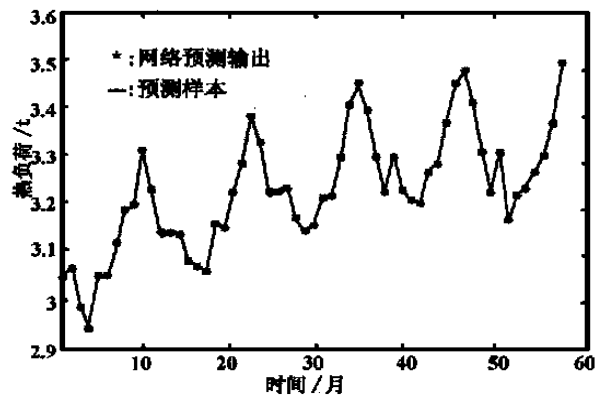


图 4  $P = 4$  时网络训练结果

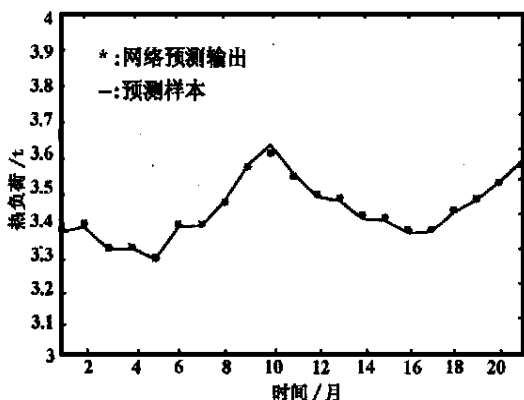


图 5  $P = 4$  时网络预测结果

由于锅炉炉膛呈微正压(一般为 100~200 Pa), 所以密封压力不高,但是温度较高。在这种情况下用耐火纤维毡做密封材料比石棉绳要好。但耐火纤维毡耐压能力差,一般压缩比控制在 3:1 范围内。用耐火纤维毡密封可不必象石棉绳那样加密封槽,用平面压紧即可。密封材料厚度 10~20 mm,宽度为 30~50 mm。

### 6 使用效果

抗风蚀耐火纤维复合炉衬及密封结构已经过一个采暖期的考验,证明这种材料保温性能好,实际运行中外表面温度仅 40  $^\circ\text{C}$ ,炉门无跑烟漏气现象。采暖期过后打开炉门观察,炉衬完好无损,证明材料选择和结构设计是正确的。

从上述  $P = 2$  和  $P = 4$  训练和预测的结果可以看出本文中的方法网络结构比文献[2]的结构简单,预测精度高。

### 5 结论

(1) 采用基于增长型结构学习算法的 RBF 神经网络,具有结构简单、预测精度高的特点。用于热电厂热负荷预测获得了十分满意的结果。

(2) 由于 RBF 神经网络不存在局部极小问题,增长型结构学习算法自动构造近优的网络,从根本上解决了过拟合问题,提高了网络的泛化能力。

(3) 应用例子进一步说明了本文中的方法比文献[2]中的方法更简单、合理、具有普遍性。

### 参考文献:

- [1] 葛晓霞, 缪国君. 热电厂热负荷的预测方法[J]. 热力发电. 1996, 26(2): 25-28.
- [2] 李勇, 宋景东. 热电厂热负荷预测的神经网络方法[J]. 热能动力工程. 1998 13(6): 447-448.
- [3] HORNIK K. Approximation capabilities of multilayer feedforward network[J]. *Neural Networks*. 1991, 4(2): 251-257.
- [4] FAHLAM S E, LEBIERE C. The cascade-correlation learning architecture[A]. *Advances in Neural Information Processing System* (2) [C]. Touretzky, Eds. 1990: 524-532.

(复 编辑)

大尺寸四角切圆燃烧锅炉汽温偏差原因分析及措施= **An Analysis of the Cause Leading to Steam Temperature Deviation in a Large-sized Tangentially Fired Boiler and Measures Taken for Its Alleviation** [刊, 汉] / ZHANG Yi, LI Ping-yang (Heilongjiang Provincial Academy of Electric Power Engineering, Harbin, China, Post Code: 150030), FU Zhi-hua (Harbin No. 703 Research Institute, Harbin, China, Post Code: 150036) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2001, 16(3). — 336 ~ 337

A comprehensive comparison was conducted of the results of the thermodynamic testing of a boiler with those of the boiler thermodynamic calculation followed by a pertinent analytic study. On this basis the pipe connecting a rear panel to the last row of a tube bank was changed from a cross-connected form to a parallel-connected one. Ensuing operation of the modified boiler indicates that such a modification has been highly successful. **Key words:** tangentially fired boiler, steam temperature deviation, cross-connected pipe

蓄冷空调的设计及经济分析= **The Design and Economic Analysis of a Chill Storage-based Air Conditioning System** [刊, 汉] / ZHANG Li-wei, WANG Jin-fong (Zhengzhou Light Industry Institute, Zhengzhou, China, Post Code: 450002), YANG Chong-ying (Henan Provincial Industrial School, Zhengzhou, China, Post Code: 450002) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2001, 16(3). — 338 ~ 339, 315

A chill storage-based central air conditioning system features a huge capacity for peak load shaving and fulfillment. Moreover, as compared with other conventional types of central air conditioning system it enjoys the advantage of a lower demand for main machine capacity and fairly low power consumption for its operation, contributing to bright prospects for its widespread applications. **Key words:** chill storage, central air conditioning, design

燃油燃气锅炉高温烟箱绝热密封材料的改造= **Improvement of a Thermal-insulation Seal Material Employed for the High-temperature Smoke-box of an Oil and Gas-fired Boiler** [刊, 汉] / HAN Xiang-zhong (Xi'an University of Architectural Science & Technology, Xi'an, China, Post Code: 710055) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2001, 16(3). — 340 ~ 342

Aluminum fiber-plates of high-alumina silicate have been used for the high-temperature smoke-box of a boiler as a kind of high-temperature resistant and erosion-proof material to serve as boiler furnace composite lining. In addition to a detailed discussion of the above use, the authors have also provided a calculation method for the above-mentioned furnace lining. The paper may benefit those engaged in the design of oil and gas-fired boilers in general. **Key words:** oil and gas-fired boiler, fiber plate of high-alumina silicate, furnace lining, composite material

水膜式热力除氧器的改造= **Technical Modification of a Water-membrane Type Thermal Deaerator** [刊, 汉] / ZHUANG Yu-ping, TAN Hong, FU Chang-hong (Harbin No. 703 Research Institute, Harbin, China, Post Code: 150036) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2001, 16(3). — 343 ~ 344

An analysis was conducted of the testing of a water-membrane generating pipe, the major internal element of a deaerator head. The optimum type of the pipe structural design has also been devised and demonstrated. Concerning some specific problems encountered during the operation of the water-membrane type thermal deaerator the authors have proposed a modification scheme, thus providing a new approach for the retrofit of the above type of deaerator commonly used in power plants. **Key words:** deaerator, water-membrane generating pipe, modification