

螺纹烟管换热、流阻的运行校核 与入口烟温对换热的影响

李志强 刘殿彪 王劲光 范兆岩 王昌明

(北京电工技术经济研究中心)

〔提要〕 本文介绍螺纹烟管流阻与放热的计算公式。指出螺纹烟管入口烟温变化对螺纹烟管吸热量及对锅炉总阻力的影响不大,建议在锅炉设计时,在可能的情况下,尽量提高入口烟温。

主题词 锅壳式锅炉 螺纹管 烟管 传热 阻力 优化设计

螺纹管作为一种高效传热元件已逐渐被人们所重视,螺纹管在锅壳式锅炉中作为高效传热烟管已被应用多年^[1]。由于采用螺纹烟管可明显减少烟管数量(约40%);而且全部采用螺纹烟管后,可取消厚壁拉撑管,因此,越来越多的厂家已经或准备用螺纹烟管代替直烟管。

哈尔滨工业大学与龙江锅炉厂合作,在热态试验台上对不同几何参数的螺纹管进行换热与流阻试验并得出便于应用的综合关系式^[2]。最近,机械电子工业部北京电工研究所与北京节能锅炉厂合作,又对上述关系式在运行锅炉上进行传热与流阻测试校核,进一步证实该关系式的误差不大,可完全满足工程需要。

烟管锅壳式锅炉热力优化设计中,一个重要问题是烟管入口烟温的合理选择,本文给出了计算分析结果。

一、螺纹烟管换热与流阻的运行校核

文献[2]给出的螺纹管(图1)流阻与放热关系如下:

流阻关系式

$$\left(\frac{8}{f}\right)^{\frac{1}{2}} = 2.5 \ln\left(\frac{d}{2e}\right) + 0.868 \left(\frac{e}{d}\right)^{-0.33} \left(\frac{t}{e}\right)^{0.368} \left[1 + 0.0296 \times (\ln Re - 9.48)^2\right] \text{Exp}\left(-0.005 \frac{t}{e}\right) - 3.75 \quad (1)$$

放热关系式

$$\begin{aligned}
 \alpha &= \lambda Nu/d \\
 Nu &= St Re Pr \\
 St &= \left(\frac{f}{8}\right)^{\frac{1}{2}} / \left\{ 2.5 \ln\left(\frac{d}{2e}\right) + 10.77 \left(\frac{e}{d}\right)^{0.33} \left(\frac{t}{e}\right)^{0.098} \right. \\
 &\quad \left. \times \left[\frac{e}{d} Re \left(\frac{f}{8}\right)^{\frac{1}{2}} \right]^{0.273} Pr^{0.5} - 3.75 \right\}
 \end{aligned} \tag{2}$$

$$Re = wd/v$$

式中 f ——沿程阻力系数;
 d ——内直径, m;
 e ——螺纹深度, m;
 t ——螺距, m;

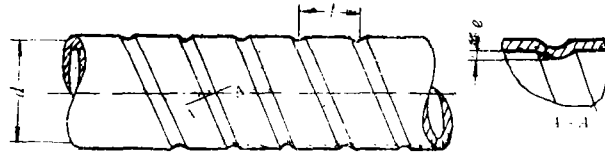


图1 螺纹管结构示意图

α ——放热系数, kW/(m²·°C),
 λ ——导热系数, kW/(m·°C),
 Nu ——努谢尔特数;
 St ——斯坦顿数;
 Re ——雷诺数;
 Pr ——普朗特数;
 w ——螺纹管内平均流速, m/s;
 ν ——介质运动粘度, m²/s.

上述公式的试验范围: $Re = 6 \times 10^3 \sim 3 \times 10^4$, $e/d = 0.0196 \sim 0.0682$, $t/d = 0.324 \sim 0.920$.

上述公式利用计算机计算十分方便。

实际运行锅炉的流阻试验一般并不困难,但传热试验由于测值较多,且在高温下,故很少进行。由于螺纹烟管的应用日益扩大,尽管在空气介质热态试验台上已尽量考虑了试验条件与实际情况的相似性,而且也重视了测试精度,因而回归出来的关系式基本可以信赖。当然在运行锅炉上进行螺纹烟管的换热校核试验还是十分必要的。为此,我们在北京节能锅炉厂一台新试制的DZW60—7/95/70锅炉上进行了上述试验。

螺纹烟管前后烟温用热电偶测试,但必须对测头辐射进行修正^[3],修正后的实测值为^[4]

$$\theta_{y'} = 553.6^\circ\text{C}, \theta_{y''} = 155.0^\circ\text{C}$$

根据实测耗煤量与固体未完全燃烧损失换算得计算耗煤量

$$B_i = 133.8 \text{ kg/h} = 0.03717 \text{ kg/s}$$

根据实测空气过剩系数换算的烟气体积

$$V_y = 10.1 \text{ m}^3/\text{kg} \text{ (标准状态)}$$

传热面积

$$H = 15.8 \text{ m}^2$$

放热量

$$Q_C = V_y (C_{y'} \theta_{y'} - C_{y''} \theta_{y''}) = 5369.6 \text{ kJ/kg}$$

对数温压

$$\Delta t = \frac{\theta_{y'} - \theta_{y''}}{\ln[(\theta_{y'} - t_s)/(\theta_{y''} - t_s)]} = 165.1^\circ\text{C}$$

式中 壁面温度 $t_s = (95 + 70)/2 + 30 = 112.5^\circ\text{C}$

放热系数

$$\alpha = B_i Q_C / (\Delta t H) = 0.0765 \text{ kW}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$$

以上计算按受热面不存在积灰考虑, 由于烟速约 15 m/s (见后), 即使长期运行, 积灰对换热影响也不大^[5], 不会有明显偏差。则螺纹烟管对流放热系数为

$$\alpha_d = \alpha - \alpha_f = 0.0748 \text{ kW}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$$

式中 辐射放热系数 $\alpha_f = 0.0017 \text{ kW}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ^[4]。

由平均烟温 $\bar{\theta}_y = 344.3^\circ\text{C}$, 流通截面积 $F = 0.059 \text{ m}^2$, 得烟速

$$w_y = B_i V_y \frac{\bar{\theta}_y + 273}{273} \frac{1}{F} = 14.7 \text{ m/s}$$

由 $\bar{\theta}_y$ 查得 $\nu = 50.06 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, $\lambda = 5.22 \times 10^{-5} \text{ kW}/\text{m} \cdot ^\circ\text{C}$, $Pr = 0.6456$ 。螺纹管几何参数 $e = 1.55 \text{ mm}$, $s = 24 \text{ mm}$, $d = 45 \text{ mm}$ 。代入式 (1)、(2), 得对流放热系数

$$\alpha_d' = 0.0777 \text{ kW}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

相对误差

$$\left| \frac{\alpha_d - \alpha_d'}{\alpha_d} \right| \times 100\% = \left| \frac{0.0748 - 0.0777}{0.0748} \right| \times 100\% = 3.88\%$$

螺纹管前后的静压用U型压差计测得, 由于动压值很小, 则静压差即代表阻力。螺纹烟管前后的静压值为

$$P' = -30 \text{ mmH}_2\text{O} = -294.2 \text{ Pa}$$

$$P'' = -95 \text{ mmH}_2\text{O} = -931.7 \text{ Pa}$$

则阻力为

$$\Delta P = P' - P'' = 637.5 \text{ Pa}$$

将前述各有关数据代入式 (1), 得螺纹烟管阻力系数 $f = 0.0868$, 阻力值 $\Delta P' = 619.0 \text{ Pa}$ ^[6]

相对误差

$$\left| \frac{\Delta P - \Delta P'}{\Delta P} \right| \times 100\% = \left| \frac{637.5 - 619.0}{637.5} \right| \times 100\% = 2.9\%$$

由以上换热、流阻实测值与式 (1)、(2) 计算值对比可见, 式 (1)、(2) 是有足够精确度的。

二、烟管受热面入口烟温对换热的影响

在锅炉结构不变的条件下, 螺纹烟管入口烟温变化对出口烟温、锅炉热效率及流阻的影响如表1所示。由表可见, 入口烟温由650℃上升至850℃, 其出口烟温仅提高27.5℃, 热效率仅下降1.48%, 流阻上升也不多, 仅有68.65Pa(7mmH₂O), 它对锅炉总阻力〔约1961.33Pa(200mmH₂O)〕影响很小, 却可以使烟管以前的受热面明显减少。因此, 设计锅炉时, 螺纹烟管入口烟温力求高一些, 但对于热水锅炉, 应注意防止由于过冷沸腾而导致管板炸裂。

直烟管入口烟温变化对出口烟温、锅炉热效率及流阻的影响如表2所示。对比表1和2可见, 二者影响趋势基本一样, 但入口烟温提高的影响比螺纹烟管为小。其中螺纹烟管几何参数: $d = 45\text{mm}$, $e = 1.55$, $t = 24$; 直烟管: $d = 45\text{mm}$ 。

表1 螺纹烟管入口烟温对出口烟温、锅炉热效率及流阻的影响

螺纹烟管入口烟温(°C)	850	800	750	700	650	600	550	500
螺纹烟管出口烟温(°C)	225.5	222.5	213.0	204.0	198.0	188.5	176.8	167.8
锅炉热效率(%)	72.4	72.5	73.1	73.6	73.9	74.5	75.2	75.6
螺纹烟管阻力(Pa)	660.5	634.3	626.3	600.0	591.9	556.1	520.0	511.8

表2 直烟管入口烟温对出口烟温、锅炉热效率及流阻的影响

直烟管入口烟温(°C)	850	800	750	700	650	600	550	500
直烟管出口烟温(°C)	306.8	303.8	289.5	276.0	262.3	241.0	233.0	218.5
锅炉热效率(%)	67.6	67.6	68.6	69.4	70.0	71.7	71.7	72.5
直烟管阻力(Pa)	215.1	206.2	203.2	194.2	191.2	179.3	167.3	164.4

参 考 文 献

- [1] 重庆大学传热教研组、重庆锅炉厂。螺纹烟管的应用及传热和流阻性。见重庆大学论文专辑, 1978
- [2] 郝平等。螺纹管在锅壳式锅炉上应用的实验研究与优化设计方法。节能技术, 1988, (5)
- [3] 叶大钧。热力机械测试技术。机械工业出版社, 1988年
- [4] 刘殿彪等。北京节能锅炉厂DZW60-7/95/70螺纹烟管热水锅炉传热测试与分析。机电部北京电工研究所, 1989年
- [5] 钟永明。螺纹管内流动机理与积灰、磨损试验研究。哈尔滨工业大学研究生论文, 1988年
- [6] 李强志。北京节能锅炉厂DZW60-7/95/70螺纹烟管热水锅炉烟风阻力测试与分析。机电部北京电工研究所, 1989年

欢迎对本刊提出批评建议

In-Service Checking for the Heat Exchange and Flow Resistance of Screw tubes and the Influence of Inlet Flue Gas Temperature on the Heat Exchange

Li Zhiqiang, Liu Dianbiao, Wang Jinguang, et al

(Beijing Electrical Engineering & Economy Research Institute)

Abstract

Presented in this paper are formulas for calculating flow resistance and heat exchange coefficient of screw tubes, which have proved to be accurate and reliable in a proof test on an in-service boiler. It is pointed out that variations of flue gas temperature at the inlet of a screw tube have little influence on the heat exchange and total flow resistance of the boiler, and suggested to raise the inlet flue gas temperature as high as possible in the design of a boiler.

Key Words: shell boiler, screw tube, flue gas tube, heat transfer, resistance, optimum design

(上接第32页)

A Way to Improve Blade Vibration Mode Laser Holographic Image Quality

Wang Feng, Lu Zhiyi

(Harbin Marine Boiler & Turbine Research Institute)

Abstracts

The authors propose a method of improving blade vibration mode laser holographic image quality on the basis of the laser holographic vibration measurements on rotor blades of a low pressure compressor.

Key Words: laser measurement, blade, vibration, holography