

电厂锅炉锅筒寿命计算

王运民 (长沙电力学院)

[摘要] 从锅炉锅筒运行中产生疲劳寿命损耗的实际情况出发,给出锅炉锅筒寿命计算的方法及计算机框图,并作实例计算。

关键词 锅炉锅筒 应力 寿命

分类号 TK223.13

0 前言

锅筒是电厂锅炉设备中的重要组成部件,工作中它内部充满着高温高压的水和水蒸气。锅炉锅筒受力复杂,它除了要承受额定工作压力下的机械应力外,还要承受冷态启停、热态启停及负荷改变等工况下锅炉锅筒壁的循环机械应力。正是在这些反复交变应力的多次作用下,使得锅筒产生疲劳损伤,危及电厂的安全经济运行。

亚临界压力以下的锅炉锅筒,其内部介质温度不超过 360°C ,高温蠕变对锅筒寿命的影响可略去不计:只要计算出锅筒的疲劳寿命损耗,就能确定锅炉锅筒目前的安全运行状况。

淮北电厂是华东网局的电网调峰厂,而该厂 1977 年投产的 SG-400/140-50410 型锅炉锅筒是“文革”期间的产品,已运行了近 20 年。为保证锅炉能安全经济地参与电网调峰,有必要对该锅筒的寿命进行一次全面地计算。

1 锅炉锅筒疲劳寿命计算方法

1.1 锅炉锅筒热应力计算

1.1.1 锅筒壁径向温差引起的热应力

在锅筒的内外壁上,环向热应力和轴向热应力相等,且是径向截面上最大的热应力。

对于锅筒内壁

$$\sigma_{\theta} = \sigma_{iz} = \frac{a_1 E}{1-\nu} [t_p - t(0, j)]$$

对于锅筒外壁

$$\sigma_{\theta} = \sigma_{iz} = \frac{a_1 E}{1-\nu} [t_p - t(N, j)]$$

式中 e_{θ}, e_{iz} ——锅筒径向温差引起的环向及轴向热应力

a_1, E, ν ——材料的线膨胀系数、弹性模量和泊松比

$t(N, j)$ ——锅筒壁内温度场分布

t_p ——锅筒壁内体积平均温度

N, j ——有限差分法所取的节点数和节点变量

1.1.2 锅筒上、下壁温差引起的轴向热应力

$$e_z = 0.3 a_1 E \Delta t$$

式中 Δt ——锅筒上下壁之间的最大温差

1.2 锅筒内压力变化引起的循环机械应力

$$\sigma_{m\theta} = \frac{P(D_1 + S_y)}{2S_y}$$

式中 P ——锅筒内水蒸气饱和压力

D_1, S_y ——锅筒内径和有效厚度

1.3 最大循环应力幅的确定

如图 1 所示,锅筒集中下降管孔的纵向和横向截面的 A、B 两点处,由于应力集中,该处应力幅最大,是锅筒工作中的最危险点。选择此位置作计算点,考虑各自的应力集中系数后,按第三强度理论,

收修改稿 1997-03-13

本文联系人 王运民 男 1960 年生 讲师 410077 长沙电力学院动力系热动教研室

©1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

求出各点的主应力差。

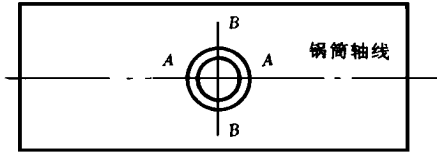


图 1 锅筒疲劳计算点位置示意图

对纵向截面 A 点

$$e_{12} = 3.3e_{m0} + 2e_{\theta} - 2e_z$$

$$e_{23} = P - 0.2e_{m0}$$

$$e_{31} = e_z - P - 3.1e_{m0} - 2e_{\theta}$$

对横向截面 B 点

$$e_{12} = 0.5e_{m0} - 2e_{1z} - 3e_z$$

$$e_{23} = 2.1e_{m0} + 2e_{1z} + 3e_z$$

$$e_{31} = -2.6e_{m0}$$

以上主应力差是随时间变化的,因而可以求出整个循环过程中各点主应力差的波动范围 Δe ,再将所有的 Δe 进行比较,求出一个最大的波动范围 Δe_{max} ,则最大循环应力幅为

$$e_{a0} = \frac{1}{2} \Delta e_{max}$$

1.4 确定锅炉锅筒疲劳寿命

锅炉锅筒各种应力循环的允许循环次数(亦即疲劳寿命),是根据设计疲劳曲线由对应的循环应力幅 e_a 查得的。因而在求取最大循环应力幅后,还应将其转换成设计疲劳曲线中的循环应力幅 e_a

$$e_a = \frac{E_d}{E} e_a$$

式中 E_d —设计疲劳曲线所给定的弹性模量

$$E_d = 2.068 \times 10^5 \text{ MPa}$$

E —锅筒材料的弹性模量

实际工作中,锅炉锅筒要承受多种循环应力幅的作用,如锅炉的启停,变负荷运行,水压试验等。若这些循环应力幅对锅筒的疲劳累积损伤(亦即疲劳寿命损耗)满足

$$\frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} + \dots + \frac{n_n}{N_n} < 1$$

则锅筒处于安全状态

式中 n_1, n_2, n_n —各种应力循环的实际循环次数

N_1, N_2, N_n —各种应力循环的允许循环次数(由设计疲劳曲线查得)

2 锅炉锅筒寿命计算程序框图

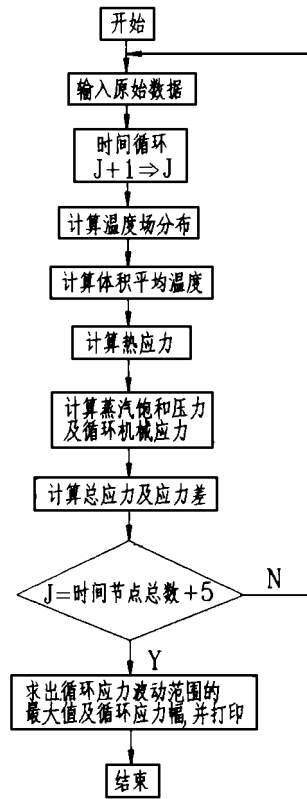


图 2 锅筒寿命计算框图

3 SG400- /140- 50410 型锅炉锅筒寿命计算

3.1 原始计算数据

锅筒内径 $D_1 = 1600\text{mm}$, 外径 $D_2 = 1760\text{mm}$, 锅筒额定工作压力 $P_e = 15.21\text{MPa}$ (表压), 锅筒材料 BHW 35, 材料定性温度 $t = 282.6^\circ\text{C}$, 弹性模量 $E = 186392\text{MPa}$, 线胀系数 $\alpha_1 = 1.276 \times 10^{-5} \text{ m}/(\text{m}^\circ\text{C})$, 导温系数 $a = 520.95 \text{ mm}^2/\text{min}$ 泊松比 $\nu = 0.3$

计算锅筒上下壁温差引起的热应力时, 对冷态启停 $\Delta t = 40^\circ\text{C}$, 对热态启停, $\Delta t = 30^\circ\text{C}$, 对变负荷运行 $\Delta t = 20^\circ\text{C}$, 对安全门校验 $\Delta t = 40^\circ\text{C}$, 对锅炉爆管 $\Delta t = 120^\circ\text{C}$ 。

假定锅筒内温升率 V (温降率 $-V$) 是均匀的, 锅炉冷、热态启停, 锅炉爆管启停, 安全门校验及变负

荷运行中, $V = \pm 1.5C / \text{min}$

3. 2 锅炉锅筒实际循环方式

根据锅炉的实际运行情况, 锅炉锅筒的寿命计算应考虑热态启停循环、冷态启停循环、锅炉爆管启停循环、变负荷运行循环、水压试验及锅炉校安全门六种循环方式。锅炉运行规程规定, 除特殊情况外, 锅炉均采用冷态启停方式, 因而实际热态启停次数很少。为计算结果更加安全起见, 特将锅炉热态启停工况并入冷态启停工况中计算。

由运行记录查得, SG400/140-50410型锅炉投产至今, 冷态启停 341次, 热态启停 27次 (冷、热态启停中有 65次锅炉爆管启停), 变负荷运行 6520次, 工作压力水压试验 69次, 超压水压试验 6次, 安全门校验 15次。

3. 2. 1 冷态启停循环

锅筒压力变化范围 0~ 15. 21 MPa (表压), 锅筒内介质相应饱和温度变化范围 99. 09~ 343. 77°C。

3. 2. 2 变负荷运行循环

负荷变化范围 90~ 125 MW, 锅筒压力相应变化范围 10. 30~ 15. 21 MPa (表压), 锅筒内介质相应饱和温度变化范围 313. 86~ 343. 77°C。

3. 2. 3 安全门校验

锅筒压力变化范围 0~ 16. 43 MPa (表压), 锅筒内介质相应饱和温度变化范围 99. 09~ 349. 97°C。

3. 2. 4 水压试验

超压水压试验, 锅筒压力变化范围 0~ 19. 01 MPa (表压)

工作压力水压试验, 锅筒压力变化范围 0~ 15. 21 MPa (表压)

3. 2. 5 锅炉爆管启停循环

锅筒压力、饱和温度变化范围同冷态启停循环 (锅炉爆管启停, 锅筒压力变化范围有时达不到 15. 21 MPa, 但照此计算, 会更加安全些)

3. 3 锅炉锅筒寿命计算结果及分析

由表 1 可以看出, 对纵向截面 A 点, 疲劳累积损伤为

$$\frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} + \frac{n_3}{N_3} + \frac{n_4}{N_4} + \frac{n_5}{N_5} + \frac{n_6}{N_6} = 0. 413 < 1$$

对横向截面 B 点, 疲劳累积损伤为

$$\frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} + \frac{n_3}{N_3} + \frac{n_4}{N_4} + \frac{n_5}{N_5} + \frac{n_6}{N_6} = 0. 186 < 1$$

计算结果表明, 锅炉锅筒最危险点的疲劳累积损伤最大值仅为 0. 413, 远小于 1 因而该锅筒目前的工作状况是安全的, 可以放心地参与电网调峰运行。

表 1 SG- 400/140- 50410型锅炉锅筒疲劳寿命计算结果

| 部位 | 循环方式 | 最大应力差 (MPa) | 最小应力差 (MPa) | 最大循环应力幅 e_{ao} (MPa) | 循环应力幅 e_a (MPa) | 疲劳寿命 N (次) | |
|----------------|----------------------|---------------------|----------------|---------------------------|----------------------|---------------------|------|
| 纵向 截面 A点 | 冷态启停 $n_1 = 303$ 次 | 553. 501 | - 66. 687 | 310. 094 | 344. 046 | 1290 | |
| | 变负荷运行 $n_2 = 6520$ 次 | 553. 501 | 360. 025 | 96. 738 | 107. 330 | $8. 95 \times 10^4$ | |
| | 安全门校验 $n_3 = 15$ 次 | 597. 889 | - 66. 674 | 332. 282 | 368. 664 | 1036 | |
| | 锅炉爆管 $n_4 = 65$ 次 | 553. 501 | - 66. 687 | 310. 094 | 344. 046 | 1290 | |
| | 水压 试验 | 工作压力试验 $n_5 = 69$ 次 | 553. 501 | 0 | 276. 751 | 307. 052 | 2010 |
| | | 超压试验 $n_6 = 6$ 次 | 691. 782 | 0 | 345. 891 | 383. 763 | 940 |
| 横向 截面 B点 | 冷态启停 $n_1 = 303$ 次 | 458. 751 | 0 | 229. 376 | 25. 490 | 4350 | |
| | 变负荷运行 $n_2 = 6520$ 次 | 415. 438 | 238. 551 | 88. 444 | 98. 128 | $1. 25 \times 10^5$ | |
| | 安全门校验 $n_3 = 15$ 次 | 486. 987 | 0 | 243. 494 | 270. 154 | 3250 | |
| | 锅炉爆管 $n_4 = 65$ 次 | 609. 111 | 0 | 304. 556 | 337. 902 | 1523 | |
| | 水压 试验 | 工作压力试验 $n_5 = 69$ 次 | 436. 091 | 0 | 218. 046 | 241. 920 | 4880 |
| | | 超压试验 $n_6 = 6$ 次 | 545. 040 | 0 | 272. 520 | 302. 358 | 2280 |

(渠 源 编 辑)

power, steam turbine, real-time simulation

采用热天平研究煤粉燃烧特性时氧通量的计算 = **The Calculation of Oxygen Flux During the Study of Pulverized Coal Combustion Characteristics with the Help of a Thermobalance** [刊,中] /Zhu Qunyi, Zhao Guangbo, et al (Harbin Institute of Technology), Lu Wei (Harbin University of Science & Technology) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power, 1997, 12(6): 438~ 441

Described in this paper is the method of calculating the oxygen flux through a crucible outlet section during the study of pulverized coal combustion characteristics with the use of a thermobalance. Through the analysis and calculation of combustion characteristic curves of Zhi Jin coke it is found that the oxygen needed for the combustion of a sample was transferred to the sample layer surface in a diffusion mass transfer manner through the crucible outlet section. The oxygen partial pressure and oxygen flux on the sample layer surface can be determined by the use of Fick's diffusion law. **Key words** thermobalance, pulverized coal combustion, oxygen flux

电厂锅炉锅筒寿命计算 = **The Calculation of the Boiler Drum Life of a Utility Boiler** [刊,中] /Wang Yunmin (Changsha Electric Power Institute) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power, 1997, 12(6): 442 ~ 444

On the basis of an analysis of fatigue-caused life loss during the operation a boiler drum this paper presents a method for calculating the fatigue life of a boiler drum taking into account its wall temperature distribution, thermal stress cycle, mechanical stress and cycle stress amplitude, etc. With the boiler of Huaibeï Power Station being taken as an example calculated is the fatigue life of the boiler drum. **Key words** boiler drum, temperature field, stress, fatigue life

锅筒式蒸汽锅炉水处理工艺设计计算 = **Calculation of the Water Treatment Technological Design of a Drum Type Steam Boiler** [刊,中] /Kuang Pingjian (Boiler & Pressure Vessel Inspection Institute Under the Harbin Municipal Labor Bureau) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power, 1997, 12(6): 445~ 447

With some specific examples a fairly detailed description is given of the method for calculating the water treatment technological design of a steam boiler. Through the organic integration of the boiler and the relevant calculations of the water treatment the demineralized water quantity required by the boiler is determined on the basis of the boiler parameters, operating conditions and water quality data. Finally, the various performance parameters of the water treatment equipment are identified. Such an approach makes it possible to eliminate the inconveniences of the feedwater treatment design method when only calculation formulas are given and the demineralized water quantity required by the boiler is assumed to be a known quantity. In conclusion, the method of designing regeneration equipment is also presented, thus further improving the water treatment technological design. **Key words** boiler water treatment, ion exchanger, drum type steam boiler

鳍片分离式浓淡燃烧器的开发与应用 = **The Development and Application of Fin-separation Type Dense-dilute Burners** [刊,中] /Miao Changxin, Li Kai, Li Jiansheng (Shandong Electric Power Scientific Research & Test Institute) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power, 1997, 12(6): 448~ 451

It is possible to improve combustion stability by properly increasing the concentration of pulverized coal. On the basis of an experimental study a versatile, low-resistance and high-efficiency fin-separation type dense-dilute burner has been developed. By bringing the pulverized coal concentration to an optimum value to facilitate