

# 基于内壁氧化膜厚度测量的炉管寿命诊断系统的开发

张都清<sup>1</sup>,王雪亮<sup>2</sup>,张广成<sup>1</sup>,张丙法<sup>1</sup>

(1. 山东电力研究院, 山东 济南 250002; 2. 山东华能德州发电厂, 山东 德州 255300)

**摘要:** 介绍一种通过测量锅炉高温炉管的内壁氧化膜厚度,来计算其运行的当量温度,并结合多种试验结果对炉管的运行状态进行评估的系统,应用此系统可以快速地判断锅炉管子的剩余寿命,指导现场检修。

**关键词:** 锅炉炉管; 内壁氧化膜测量; 当量温度; 剩余寿命评估

**中图分类号:** TK222 **文献标识码:** B **文章编号:** 1003-4897(2003)08-0049-02

## 1 引言

火力发电厂高温、高压锅炉炉管的工作环境十分恶劣,其管壁金属的运行温度和应力在运行过程中逐渐升高,造成炉管的剩余寿命明显缩短,尤其以高温过热器和高温再热器因超温而引起的泄漏及爆管最为明显,是导致锅炉强迫停运的最主要原因之一。准确评定锅炉炉管剩余寿命的关键在于能否准确测定锅炉炉管金属的实际运行壁温。目前,尽管有一些在炉内直接测温的方法,但要进行长期有效测量还存在不少困难。为此,我们开发以超声波测量锅炉炉管内壁氧化膜厚度为基础的锅炉炉管内壁氧化膜厚度快速无损测量和剩余寿命评定系统,为锅炉管寿命的评定提供一种简便、快速、无损、经济和实用的方法。

## 2 理论依据

金属在有不定期氧分压的高温汽(气)体中使用,其表面必然会氧化。氧化的速度取决于温度、汽(气)体的成份、金属的成份等因素。当金属成分和汽(气)体成份一定时,氧化膜厚度的变化与炉管的运行温度和时间直接相关,对碳钢而言,其氧化膜厚度增长的速度几乎是线性的;对低合金钢而言,其氧化膜厚度增长的速度与运行温度和运行时间之间存在着复杂的指数关系,其动力学方程可描述为<sup>[1]</sup>:

$$X = f(t \cdot T), \quad X^n = Kt$$

式中:  $X$  为内壁氧化膜厚度(mm),  $t$  为运行时间(hr),  $T$  为运行温度( ),  $n$  为指数,  $K$  为氧化膜增厚速率。

许多研究表明,火力发电厂锅炉炉管常用的Cr-Mo、Cr-Mo-V等低合金钢,其指数  $n$  值范围在2.1~2.6之间。

锅炉炉管内壁氧化膜厚度与运行温度和时间的关系可进一步描述为<sup>[2]</sup>:

$$\lg X = A + B \cdot LMP$$

$$LMP = T(20 + \lg t) \times 10^{-3}$$

式中:  $LMP$  为L-M参数,  $A$ 、 $B$  为材料系数。

通过时效模拟试验及现场取样分析验证,可建立不同材料的氧化动力学方程。

由于锅炉炉管的运行条件的差异,如:水处理状况、应力状况等也对炉管内壁氧化膜的增厚有明显的影响,因此,锅炉炉管内壁氧化膜的增长规律不尽一致,在进行炉管壁温评定时,还要综合考虑这些因素。

锅炉炉管的应力评定可采用周向应力计算方法<sup>[3]</sup>:

$$= P \cdot D / (2W)$$

式中: 为平均周向应力,  $P$  为蒸气压力,  $D$  为平均直径( $D_{外} + D_{内}$ )/2,  $W$  为炉管壁厚,一般为实测壁厚  $W_i$ 。

实际运行中的应力评定,同样要考虑壁厚的变化,金属壁厚  $w_i$  随着氧化的发展而减少,这一过程是不可逆的,由于应力的逐渐增加而导致锅炉管的寿命明显缩短也是锅炉炉管临危状态评估的特点之一。

已知了炉管的当前运行壁温和应力状况,还不能知道炉管确切的剩余寿命,必须进一步了解炉管在当前金属材料状况下寿命损耗的规律。在这方面的研究虽然较多,但由于材料的等级和状态的不同,

**基金项目:** 山东电力公司重点科研项目(鲁电合同1997年第10号)。

其寿命损耗的规律也不同,在其他等级和状态的材料上所测得的规律并不完全适用于当前材料,而且相同等级和状态的材料在不同的部件上有不同的寿命损耗规律,因此,在寿命评估计算中有必要加以修正,一般是采用下限分析方法或增加修正系数的方法来解决这个问题。本项目采用的是修正系数的方法。

目前测定材料的蠕变断裂时间的方式主要有:等温线法和温度-时间参数法(LM参数)。研究表明<sup>[4]</sup>,LM参数法更适用于锅炉炉管剩余寿命的评估,所以本项目采用的是LM参数法,其基本方程为:

$$LMP = T(C + \lg t_r), LMP = f(\quad)$$

$$LMP = C_1 + C_2 \lg \quad + C_3 \lg^2 \quad + C_4 \lg^3 \quad$$

金属材料寿命的概念也不尽一致,对于高温炉管,材料的寿命主要取决于管子的蠕变寿命,材料的蠕变断裂寿命的计算是通过大量的运行后的管子断裂持久强度数据进行分析、绘制应力与LMP之间的曲线来进行的。当知道炉管的运行温度、应力和时间,采用这些基本方程即可精确地评估炉管的剩余寿命。

另外,如前面所述,氧化膜的不断增厚是有其基本规律的,采用氧化动力学方程,可预测在一定温度、应力和时间条件下达到极限厚度的时间。采用极限厚度分析方法也可预测炉管的剩余寿命。

本项目是以上述原理为基础,通过开发现场实用的超声波测量锅炉炉管内壁氧化膜厚度的技术,结合多种温度预测方法和两种寿命评估方法,取其结果平均值或下限值,由各管段的评估结果汇总后即可得到整个部件(锅炉炉管)的温度分布场、应力分布场、剩余寿命分布场,可直观地判断整个部件的剩余寿命状况,以指导锅炉的安全、经济运行和维修。

### 3 系统特点

基于内壁氧化膜测量的锅炉炉管寿命评估系统主要由锅炉管壁金属厚度及内壁氧化层厚度测量系统和锅炉管温度及寿命评估软件两大部分组成。具有以下几个特点:

1) 该技术的超声测厚系统能分清并精确测量锅炉管壁金属层厚度及内壁氧化层厚度。在役锅炉管壁厚度由以下几部分组成:管外壁氧化垢层+管壁金属层厚度+管内壁氧化层。目前,电站锅炉管的壁厚测量用普通测厚仪不能分清以上几部分的厚

度,得出的读数为以上几部分厚度的总和,而不是锅炉管实际剩余金属层厚度(只有这部分厚度为管强度做贡献)。

2) 通过锅炉管内壁氧化层厚度(管内壁氧化层厚度的增长与其当量金属温度有对应关系)等参数计算出管子的当量金属温度,及其沿整个炉膛宽度和高度方向的分布场(温度场),从而找出哪些管段处于超温运行状态。

3) 通过锅炉管金属层厚度等参数计算出锅炉管的应力分布场(过去计算应力时采用的是管壁厚度为金属层厚度+氧化层厚度)。

4) 通过当量金属温度及运行应力等参数计算出各管段的剩余寿命,及其分布场,得出哪些管段需要及时更换。可指导电厂制定锅炉检验计划、维护计划、换管计划,配合其它手段实现状态检修。在更换锅炉管时做到有目的、有计划,而不是目前所采取的盲目大面积的换管,从而避免不必要的浪费。

### 4 应用实例

某发电厂#1炉系上海锅炉厂制造,型号为SG420/13.7-M418A型锅炉。于1993年11月25日投产,截止到2001年10月本次氧化膜测量时,机组共运行63000余小时,开62次,停63次。

对流过热器管材料为钢102,规格38×6,设计压力13.7MPa,设计温度540。在2001年的机组大修时发现管子球化4~5级。鉴于此,厂内决定利用大修期间对过热器管进行寿命评估。

对流过热器现场测量的位置在对流过热器管下弯头、离下弯头1m的直段和离顶棚1.5m的直段,对所有的104排管子进行了内壁氧化膜测量,测量部位为直管段和管子的弯头。检查发现管子内壁氧化膜厚度在0.166~0.370mm。根据内壁氧化膜的厚度预测管子运行的当量温度在531~595,已超过该钢种的极限运行温度(590)。

采用L-M参数法,预测管子的剩余寿命按照目前运行水平,该过热器管的剩余寿命不长,特别是下弯头的部位,剩余寿命最短的弯头,仅为29000h。

### 5 结论

采用本文所开发的系统,可快速地评定锅炉高温炉管的当前状态,结合其它检查手段,可估算管子的剩余寿命,指导现场检修,为锅炉高温炉管的状态检修打下了基础。

(下转第59页)

期装置本身性能限制,为解决压差问题,采用在同期电压回路增加了一个同期变压器的方法,这样做不仅使二次回路复杂,而且给运行操作带来繁琐,建议更换同期装置并尝试文中介绍方法。

#### 参考文献:

- [1] 许正亚. 电力系统自动装置[M]. 北京:水利电力出版社,1992.
- [2] 卓乐友,等. 微型自动准同步装置的设计和应用

[M]. 北京:中国电力出版社,2002.

收稿日期: 2002-10-28; 修回日期: 2003-03-17

#### 作者简介:

陈建文(1967-),男,工程师,从事继电保护调试及运行维护工作;

吕季平(1972-),男,工程师,从事继电保护整定计算及调试、运行维护工作。

### Adjustment of automatic synchronizing units for the change of parameter of main system

CHEN Jianwen, LV Ji-ping

(Huaibei Power Plant, Huaibei 235000, China)

**Abstract:** This paper analyses that the parameters of the automatic synchronizing equipment in which the synchronous voltage is taken from different voltage stage should be adjusted, when the parameter of the main system are changed. Combined with practice, the method of setting the parameters of the equipment and the method of adjusting and testing are introduced in detail.

**Key words:** ratio of main transformer; automatic synchronizing equipment; voltage mismatch setting; adjustment

(上接第 50 页)

#### 参考文献:

- [1] Viswanathan R. Life assessment technology for fossil power plant [A]. American power conference on life assessment technology for fossil power plant. 西安:2001.
- [2] 吴非文. 火力发电厂高温金属运行[M]. 北京:水利电力出版社,1981.
- [3] GB9222/T-88 水管锅炉强度计算[S]. 北京:中国标准出版社,1988.
- [4] 涂善东,等. 高温过程设备的寿命评价技术进展[J]. 压

力容器,1996,(2).

收稿日期: 2002-11-01

#### 作者简介:

张都清(1970-),工程师,硕士,研究方向为电站金属部件的寿命评估;

王雪亮(1970-),工程师,研究方向为电站金属部件的寿命评估的研究;

张广成(1970-),工程师,学士,研究方向为电站金属部件的寿命评估的研究。

### Rearch on the life assessment of boiler tube based on inner wall oxide measurement

ZHANG Du-qing<sup>1</sup>, Wang Xue-liang<sup>2</sup>, ZHANG Guang-cheng<sup>1</sup>, Zhang Bing-fa<sup>1</sup>

(1. Shandong Electric Power Research Institute Jinan 250002, China; 2. Shandong Huaneng Power Plant, Dezhou 255300, China)

**Abstract:** The paper introduces a system that the equivalent temperature is calculated through measuring the inner wall metal oxide scale thickness and the operating state of the boiler tube, is assessed combined with many tests. The application of the system can quickly estimate the remaining life of the boiler tube and inspect the operating procedures on spot.

**Key words:** boiler tube; inner wall oxide measurement; equivalent temperature; remaining life assessment