

# 锅炉管子失效的机理和解决途径

徐利军 (华东工业大学)

曲国斌 (哈尔滨锅炉厂)

刘道平 (中国矿业大学)

〔摘要〕本文论述了锅炉管子失效的几种主要失效机理,提出了防止锅炉管子失效措施和解决方法。

关键词 锅炉 锅炉管子失效

分类号 TK227

## 1 前言

锅炉管子失效是锅炉工作安全可靠的首要问题。锅炉管子失效的破坏特点是在同样的管子、同一种材料、相同的断面上重复发

生。

事实上锅炉管子失效时,经常采用涂层和衬垫焊接等方法来修复。通常缺乏锅炉管子失效根本原因的统计数据,从而导致了重复破坏。

表1 22种锅炉管子失效机理

应力断裂	短期过热 <sup>+</sup> 、高温蠕变、异种钢焊接 <sup>+</sup>
水侧腐蚀	苛性腐蚀 <sup>×</sup> 、氢损伤 <sup>×+</sup> 、孔蚀 <sup>×+</sup> 、应力腐蚀裂纹 <sup>×</sup>
烟气侧腐蚀	低温腐蚀、水冷壁腐蚀、煤灰腐蚀、油灰腐蚀
磨损	飞灰磨损 <sup>+</sup> 、落渣磨损、吹灰磨损 <sup>+</sup> 、煤粒磨损 <sup>+</sup>
疲劳	振动疲劳、热疲劳 <sup>×+</sup> 、腐蚀疲劳 <sup>×+</sup>
质量控制缺陷	维修损伤 <sup>+</sup> 、化学偏离 <sup>×</sup> 、材料缺陷 <sup>+</sup> 、焊接缺陷 <sup>+</sup>

注:× 失效机理受循环化学剂的影响;

+ 失效机理受维护行为的影响。

表2 主要失效机理

腐蚀疲劳
飞灰磨损
氢损伤
高温蠕变
短期过热
吹灰磨损
水冷壁烟气侧腐蚀
落渣磨损

锅炉管子失效机理分成22种(见表1)。锅炉管子失效的减少与动力装置循环化学剂的控制紧密地联系在一起。在22种锅炉管子失效机理中七种受到循环化学剂性质的影

收稿日期 1993 06 10 修改定稿 1993 10 12

本文联系人 徐利军 男 31 讲师 200093 上海市华东工业大学

响。同样锅炉管子失效的减少与动力装置的维护有着密切的关系,在22种锅炉管子失效机理中有12种(包括表2中根据锅炉有效损失排列的八种主要锅炉管子失效机理中的飞灰磨损和氢损伤)受到维护行为的影响。

为了解决锅炉管子失效,美国在1985年推出了一个供电站工作人员使用的锅炉管子失效防护程序。

## 2 电站锅炉水冷壁的锅炉管子失效

### 2.1 腐蚀疲劳

在亚临界电站锅炉中,腐蚀疲劳是引起损失的首要原因,腐蚀疲劳通常发生在管子的接头处。腐蚀疲劳通常被认为应力诱发腐蚀、应力腐蚀或焊接缺陷。

金相检验表明腐蚀疲劳的裂纹是横断颗粒状的,裂纹处通常有氧化皮,裂纹相对是宽而钝的。腐蚀疲劳始终发生在水侧,随后扩散到外表面。

碳钢的腐蚀疲劳受到水的化学性质的强烈影响,水中氧气的含量是主要因素。溶解氧增加能减少热疲劳损坏;PH值是影响腐蚀疲劳的第二主要因素。减少水中的PH值或增加锅炉中的氧化物磷酸盐的含量对防止腐蚀疲劳是有效的。影响腐蚀疲劳的因素还有装置启动次数、运行时间和化学清洗次数。用绘制腐蚀疲劳影响图可以解决腐蚀疲劳。

### 2.2 周边裂纹热疲劳

美国155个超临界电站锅炉的大部分受到周边裂纹热疲劳影响。这种裂纹通常位于管子周边,发生在高热通量的锅炉管子外表面。裂纹涉及的种类有:周边裂纹、横向裂纹、横断面裂纹、银丝裂纹和网状裂纹。

裂纹通常是在事故发生后才发现。EPRI在最近的三年内对易发生裂纹的敏感区域进行了检控,检控的参数有——温度、压力、循

环的化学剂、烟气环境、决定临界和超载参数。

裂纹和过热是由于内部沉积而引起高温和炉边炉渣脱落的综合作用,并且是随机发生的。内部沉积物经常是波纹状的,波纹状的磁铁矿的形成直接与高热通量区域的管子温度和锅炉压降问题有关。

在直流超临界锅炉中,美国使用氨和联氨去除所有易挥发性气体;而在欧洲,直流临界电站使用中性或碱性PH值处理氧化化学剂。

### 2.3 短期过热

短期过热的主要原因有:管内汽水分配不良、不匀等造成缺水;炉内局部的热负荷过高;管内严重结垢或异物堵塞管子。

短期过热使管壁温度超过管材的下临界温度,材料强度明显下降,在内压力的作用下,发生胀管和爆管现象。短期爆管大多发生在锅炉的水冷壁管,但有时在过热器和再热器中也会发生短期过热导致锅炉管子失效,锅炉管子失效的部位一般发生在向火面。

解决短期过热的办法是改进受热面的布置使汽水分配和循环合理;去除管子中的异物和内壁沉积的污垢;稳定运行工况。

### 2.4 氢损伤

当水处理设备损坏或再生化学剂被无意中引进给水中,导致锅炉给水的PH值下降,从而发生氢损伤。

氢损伤的机理是在锅炉水冷壁管子的内表面的活性氢穿入锅炉管壁中与钢管中的碳发生化学反应形成甲烷。甲烷聚集在晶粒边界,使管子内表面脱落。氢损伤主要发生在晶粒边界。

防止氢损伤发生的最有效的方法是保护锅炉内部的干净,如果有污物进入给水中,必须用化学处理方法处理掉污物。当PH值降低到一定值时,必须清洗以后才能重新投入运行。

### 3 锅炉过热器、再热器管子失效

在锅炉的过热器、再热器中,表1所列的22种失效除了苛性腐蚀、氢损伤、孔蚀、低温腐蚀、水冷壁腐蚀等五种锅炉管子失效外,其余17种锅炉管子失效都有可能发生。

#### 3.1 高温蠕变的机理

高温蠕变在有效损失中居第四位,在过热器、再热器中发生的高温蠕变的机理实际上是大量分离的和不同性质机理的总汇。两种原始的机理:①炉边腐蚀:由于腐蚀煤(通常 $>0.2\%CL$ )的作用,在管子表面形成低熔点的三硫酸铁。诱发磨损的烟气可能破坏保护的氧化层,管子圆周应力增加、长期蠕变导致管子失效;②特定管子部位的长期过热:主要由于初始设计不合理和管材合金选取不当。并且异种管子焊接处容易产生这类锅炉管子失效。锅炉管子在设计温度下运行,一般使用寿命能达到10~15万小时以上。如果锅炉管壁温度长期处于设计温度以上而低于材料的下临界点温度,则会发生碳化物球化、管壁减薄、持久强度下降、蠕变速度加快,导致锅炉管子失效。

最近18年左右,进行了大量的技术研究来评价过热器、再热器的寿命。主要的评估方法有以下几种:①用超声波方法测量管壁的厚度来决定管壁的减薄和腐蚀率;②管子烧损试验;③统计处理方法;④测量管子温度(由于费用昂贵且热电偶经常被烧坏,因此不经常使用);⑤根据材料碳的分解和硬度变化预测温度;⑥测量内部氧化层厚度来预测温度。

超声波方法对现场氧化层厚度的测量是有效的,这种测量与管子试样和金相测量有相互关联。更进一步的研究表明氧化层的厚度能用涡流探针测量。这种测量方法的优点

是可以沿管子方向连续测量,而超音速测量只能在管子的特定位置测量。给合氧化层厚度测量技术和前面提到的测量技术,对过热器和再热器寿命进行评估是非常有效的。

#### 3.2 异种钢焊接失效

在美国由于最近十年EPRI作了很大的努力,异种钢焊接引起的锅炉管子失效不是主要的损失。

异种钢焊接存在于过热器和再热器的最后出口处,在出口处需要把铁素体钢和奥氏体钢焊接起来。这种焊接造成管子失效。

异种钢接头焊接界面是蠕变断裂的薄弱部位,其断裂寿命比母材低很多,比同种接头也低很多。材料间的蠕变强度相差很大是造成这种现象的主要原因。两种材料之间热膨胀系数不匹配也会加速这种失效,但不是主要原因。

人们开始认为脱碳是影响异种钢焊接接头失效的主要原因。通过大量的运行实践和试验研究表明,脱碳不是造成异种钢焊接失效的主要原因。焊缝界面两边产生脱碳后会造成长度蠕变强度的不匹配,从而加速了焊接失效。

不同性质的焊条,异种钢焊接失效的部位各不一样,解决异种钢焊接最理想的方法是在两种材料之间接入一过渡段,两条焊缝再分别选择蠕变强度不同的焊条焊接,这样就形成一个蠕变强度阶段梯度过渡的过渡连接。

影响异种钢焊接使用寿命的主要因素是使用条件。使用条件包括——温度、温度的周期性变化、压力负荷、净重负荷和由于限制热膨胀的负荷。对异种钢焊接寿命不同的焊条和焊接外形有明显的影响,镍焊条比不锈钢焊条焊接寿命高5倍。

### 4 省煤器和尾部烟道的锅炉管子失效

在大部分国家飞灰磨损对燃用矿物燃料的电站是最严重或第二严重的问题,飞灰磨损主要发生在省煤器和尾部烟道。

解决飞灰磨损的传统方法是在发生飞灰磨损的地方加挡板改变气流的流向或加涂层。最初的研究认为这些技术的使用导致了飞灰磨损的重复发生。因为它们只是简单地把高速气流引到临近的其它区域。

飞灰磨损可能的主要原因是均匀的和过量的空气流,空气流加速了大量的飞灰流动并直接撞击管子表面。不规则的管子排列和变形的管子排列导致了飞灰磨损。还有下列因素也会加速飞灰磨损的发生:①气流的引导和管子的不规则排列;②在最大设计连续工况以上运行;③在设计最大空气流量以上运行;④烟气不均匀流动下运行;⑤由于积灰烟气通道变小,提高了气流速度;⑥燃料的含灰量越高,则发生飞灰磨损的机会就越高。

通常采用减少飞灰撞击管子的量、速度或增加管子的抗磨性来防止飞灰磨损。改变锅炉的运行状态(减载、降低过量空气量、平衡空气量、改良吹灰器和防止灰的积累)是可以改变灰的流速的。这些方法通常会降低热流量和最大作功能力。也经常考虑使用隔板来降低飞灰磨损,但必须考虑不把飞灰磨损传递到临近区域。焊垫板或喷涂是一种短期行为,它增加了管子的抗磨性,但没有解决飞灰磨损的根本原因。在省煤器中经常把错列管子的排列改成顺列排列。

## 5 结束语

随着现代化科学技术的发展,除了腐蚀疲劳以外人们已经找到了其余各种锅炉管子失效的解决办法。如果人们把已知道的锅炉管子失效的机理、造成锅炉管子失效的根本原因、如何维护、氧化层厚度测量技术方法、循环化学剂的选取和电站管理方法及专家解决锅炉管子失效的手段编成人工智能计算机程序——锅炉管子失效的专家系统,就能大大减少锅炉管子失效而造成的各方面损失或从根本上解决锅炉管子失效。目前我们正在同上海锅炉厂等单位合作开发锅炉管子失效的专家系统。

## 参 考 文 献

- 1 Dooley R B. Analysis and prevention of BTF. Canadian Electrical Association. CEA 83/237/G31, November, 1983
- 2 Lamping G A. Manual for the investigation and correction of BTF. EPRI CS-3945, 1985
- 3 Dooley R B. A vision for reduction boiler tube failure. part I, Power Engineering, March, 1992;33-37
- 4 Dooley R B. A vision for reduction boiler tube failure. part I, Power Engineering, May, 1992;41-42
- 5 陈吉刚等. 锅炉管子失效和防止措施. 热力发电, 1992, (1-3)
- 6 Sumitomo metal industries, Limited. Boiler tube failures and analysis. March, 1988

欢 迎 刊 登 广 告

ratio. **Key words:** *circulating fluidized bed, combustion efficiency, circulation ratio*

- (215) **Selection and Application of S-type Fan Pulverizing Mills**..... Cheng Qinggang (*Harbin Electric Power plant Equipment Design Institute*)

It is well-known that the main factors influencing the performance parameters of fan pulverizing mills include coal quality characteristics, fan mill construction features and operating mode. In selecting traditional fan mills correction factors, such as coal grindability, coal fineness and raw coal moisture content, are taken into account to determine the performance parameters of the fan mills. Practice has shown that such a selection method is not proper and lacks versatility. Trial grinding of coal types constitutes a relatively reliable method for the selection of fan mills and the design of coal pulverizing systems. The present paper deals with a  $s_{0.2.300}$  fan mill testing system set up on the basis of flow and geometry-similar theory, Through. the experimental verification of Zhalenor and Houlinghe mine lignites the relevant parameters of trial grinding have been implanted into a heavy-duty fan mill selection design, thus providing design institutes with a reliable basis for the rational selection of fan mills and related pulverization systems. **Key words:** *fan pulverizing mill, trial grinding, type selection, application*

- (221) **A study on Louvered pulverized Coal Concentrator Resistance Characteristics**.....Xing Chunli, Sun Shaozeng, Wu shaohua, Sun Enzhao, Qin Yukun (*Harbin Institute of Technology*)

With the use of a horizontal concentration pulverized coal burner it is possible to effect a simultaneous realization of highly efficient burning of pulverized coal, prevention of slagging, stable combustion and low  $NO_x$  emissions. A novel type of inertia-based concentrator of pulverized coal, the louvered concentrator plays a key role in attaining the combustion of horizontal concentrated pulverized coal. Its successful application necessitates the study of the following four issues: resistance characteristics, the distribution of air flow and pressure, concentration characteristics and wear-resisting properties. This paper focuses on the investigation of the effect of structural parameters on concentrator resistance loss. The test results show that with the increase on the number of louvered concentration grid units and their clearance and the increase in concentration grid inclination the resistance loss of the louvered concentrator tends to decrease. **Key words:** *pulverized coal combustion, louvered concentrator, classification*

- (226) **The Mechanism and Solution Methods of Boiler Tube Failure**..... Xu Lijun (*Hua Dong Institute of Technology*), Qu Guobin (*Harbin boiler works*), Liu Daoping (*China Mineral University*)

This paper has analyzed the leading mechanism of boiler tube failures and proposed prevention methods and solution methods of boiler tube failures. **Key words:** *utility boiler, boiler tube failure*

- (230) **Numerical Calculation of Three-dimensional Flow Fields in Turbomachine Blade Rows**..... Du Zhaohui, Weng Peifen, Zhong Fangyuan (*Shanghai Jiaotong University*)

With the help of a time dependent finite volume method the authors have worked out a computer program of the calculation of three-dimensional non-viscous flow field in turbomachine blade rows. The actual calculation results demonstrate the stability of the numerical calculation of the said method, high convergent speed and relatively good agreement with experimental data,