

# 亚临界炉锅水 pH 降低原因分析及预防对策

杨崇豪

(华北水利水电学院 环境工程系, 河南 郑州 450045)

**摘要:**通过对某电厂水质事故实例的分析,指出锅水 pH 降低的原因是由于混床树脂泄漏进入主系统造成,采用不锈钢梯形绕丝配水装置和负压反冲式树脂捕捉器可以预防这类事故发生。

**关键词:**火电厂; 运行; 事故分析; 给水; 锅水 pH 值

中图分类号: TK223.5 文献标识码: A

## 1 前言

20世纪90年代以来,中国电力工业的装机容量发生了质的飞跃。100 MW 以下机组逐步退役,300 MW、600 MW 机组成为主力机组投入运行。当发电机组进入亚临界压力参数后对给水水质的要求就非常苛刻了。原国家水利电力部在SD163-85“火力发电厂水汽质量标准<sup>[1]</sup>”中给出的要求如表1所示。

表1 亚临界压力机组火电厂水汽质量标准(SD163-85)

锅炉压力 MPa	给水 pH	锅水 pH	蒸汽 $\mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$
15.68~18.64	9.2~9.4	9.0~10.0	$\leq 0.3$

表1中所示的锅水值为针对亚临界压力汽包锅炉用磷酸盐法炉内处理时其锅水的控制标准。“标准”中还明确指出:“当锅水 pH 值低于标准时,应当查明原因,采取措施。”

为了达到表1所示的标准,火电厂对影响水汽品质的各个工艺节点都做了严格的控制。如化学补给水生产工艺采用了离子交换除盐、电渗析、反渗透等各种高科技手段制水对凝结水采用了全部除盐处理,通过高速混床制水;等等。由于采取了严格的防范措施,水质一般不会发生问题,可以保证火电厂的安全、经济运行。但是,当某一工艺设备、材料或措施产生了故障或差错,就会影响到水质,危及电厂的安全。故“SD163-85”标准中强调必须“查明原因,采取措施”。

本文通过某电厂在生产中发生的几起水质事故实例的剖析,研究了产生的原因以及处理的方法,提出了预防对策。

## 2 几起水质事故实例

**事例 A**——1996年4月27日12:30,某电厂1号机高负荷运行。化学监督人员测得锅水 pH 为 8.0, 低于 SD163-85 标准中规定的锅水 pH 9.0~10.0 范围,当时值班人员采取了增加锅内加磷酸三钠量,使锅水  $\text{PO}_4^{3-}$  的含量维持在 3.0 mg/L 的水平,同时又检查给水 pH 控制在 9.2~9.4 范围,符合 SD163-85 标准的要求,但是锅水的 pH 仍维持在 8.0 左右,最低时曾降至 7.0 以下, pH 回升困难,仍低于标准要求,此时,检查饱和蒸汽、过热蒸汽、再热蒸汽等的电导率也都超标了,从原有的 0.1~0.2  $\mu\text{s}/\text{cm}$  全面上升到了 0.3  $\mu\text{s}/\text{cm}$  以上,14:20 紧急退出 1 号机的凝结水除盐处理的 A、B 高速混床,同时继续增加锅内加磷酸三钠量,把锅水的  $\text{PO}_4^{3-}$  含量控制到 4.0 mg/L 水平,并加大锅炉排污,但锅水的 pH 值仍然上升缓慢,仅达到 9.0 左右,一直维持到 4 月 28 日 6 时以后锅水的 pH 才逐渐恢复正常。事故时间全部历程为 17.5 小时。

**事例 B**——1999年2月14日8:40,某电厂4号机高负荷运行。化学监测人员测得锅水 pH 为 8.63, 低于标准要求,值班人员立即采取向 4 号锅加磷酸三钠处理,但锅水 pH 一直难以上升。15:30 测得锅水的 pH 为 7.71,  $\text{PO}_4^{3-}$  为 0 mg/L, 经检查给水 pH 符合标准要求,在 9.2~9.4 范围内。于是,22:30 紧急退出 4 号凝结水除盐处理的高速混床系统,但延至 2 月 15 日 5 点,4 号炉锅水 pH 一直在 7.0 左右,在此之前最低时锅水 pH 曾达到 4.69,酸性运行。此时检查饱和、过热、再热蒸汽等的电导率已超标,高达 0.5

~0.8 μs/cm。经向 4 号炉锅内投入氢氧化钠溶液处理后, 2 月 15 日 7 点左右锅水 pH 才回升至 9.29, 恢复正常。

事故时间全部历程为 22.5 小时。

事例 C——1993 年 7 月 23 日 16:00, 某电厂 2 号机高负荷运行。化学运行人员发现锅水 pH 呈下降趋势, 采取增加给水加氨量等措施, 未能制止锅水 pH 下降趋势, 于是向锅内加大磷酸三纳量, 锅水 pH 才有所回升。直至 24 日 10:30, 解列两台高速混床后, 水汽系统才恢复正常, pH 值维持在 9.28 左右。事故时间全部历程为 18.5 小时。

### 3 原因分析

以凝汽式火电厂为例, 进入锅炉汽包内的给水有两个来源, 一是化学补给水, 二是凝结水。上述事例中可见, 当锅水 pH 降低的事故发生时, 检查锅炉给水的 pH 值, 符合 SD163—85 标准的要求, 因此可以排除“因给水 pH 低而使锅水 pH 降低”这个因素。从事例中还可以见到, 锅水 pH 降低后, 即使加大了锅内磷酸三纳的量, 在相当一个时段内, 锅水 pH 值回升仍然困难, 甚至还在继续下降, 在事例 B 中最低时锅水 pH 竟为 4.69, 使锅炉处于酸性工况运行, 这类事故如果多次、反复、长时间发生, 对发电厂带来的后果将是灾难性的! 事例 B 中最后不得不采取向锅炉内加入苛性钠溶液来提高锅水 pH 的极端手段! 在以上事例中当锅水 pH 降低事故发生时, 蒸汽的电导率均有提高, 超标高限在事例 B 中曾达到标准要求的 2.7 倍, 说明此时蒸汽含盐量大为增加, 超标运行。

事例中当向锅炉汽包内加入磷酸盐后, 锅水 pH 仍不回升, 而此时给水 pH 值又在标准范围内运行, 则可以判断: 必定是锅炉汽包内存在着酸性物质产生源, 这个酸性源必定是给水带入的有机类物质。

表 1 所示的试验数据是某电厂锅水 pH 降低事故时, 锅水水样分析数据。

表 1 锅水取样数据

取样时间	pH	TC(mg/L)	TOC(mg/L)
8:30	9.10	0.87	0.41
15:00	8.72	1.90	1.50
15:20	7.00	2.53	2.11
18:20	8.64	2.64	1.75

从试验数据可见, 锅水 pH 降低时, 锅水 TOC 的

量猛增, 最高时可达正常值的 5 倍。说明锅水内有许多的有机物存在, 它与锅水 pH 有着显著的相关性。

在火电厂水处理中广泛使用的离子交换树脂是一种有机高分子物质。

当离子交换树脂或其有机溶出物漏入主系统后, 在炉内高温(550℃左右)和亚临界压力(15.6~18.64 MPa)环境下, 极有可能发生氧化分解, 产生有机酸。

因此, 漏入锅内的离子交换树脂及其溶出物就是锅筒内的酸性源, 它抵消了锅内加入磷酸三纳的作用, 使锅水 pH 不见回升, 同时, 有机酸分子随蒸汽携带出锅筒, 使蒸汽系统的电导率升高超标。

在上述事例中, 当凝结水除盐处理的高速混床系统退出运行后, 锅水 pH 出现缓慢回升, 直至恢复正常。可见, 离子交换树脂及其溶出物是由高速混床系统漏入主系统进入锅内的, 当切断了酸性源的供应者后, 锅水 pH 才能恢复正常。

在事例 A 和事例 B 中, 当高速混床退出运行后, 打开混床检查, 确实发现混床水帽有破裂现象, 泄漏树脂进入主系统(事例 A); 另外也发现混床的树脂捕捉器因清理不及时产生故障而泄漏树脂进入主系统(事例 B), 造成了锅水 pH 降低的事故。事例 C 中虽未发现树脂泄漏进入主系统, 但对树脂进行了钝化处理后, 溶出物释放明显减少, 系统逐渐恢复正常。

### 4 预防对策

目前国内 300 MW、600 MW 亚临界压力机组火电厂大多设置高速混床系统对凝结水进行除盐处理, 由于汽轮机凝结水一般是非常纯净的水, 但处理量非常大, 要求混床运行流速高达 80~100 m/h, 更高的达到 110~120 m/h, 运行压力 3.3~4.0 MPa, 甚至更高, 对树脂的物理和化学性能要求很高, 否则树脂颗粒受压而破碎是一个很严重的问题。本文事例 A 和事例 B 就是因为碎树脂未通过混床树脂捕捉器故障泄漏而进入主系统造成锅水 pH 降低事故的。对树脂质量也应当有要求, 防止溶出物释放。

为了防止同类事故发生, 某电厂把混床水帽全部更换为国家专利技术不锈钢梯形绕丝配水装置(ZL95224805.0)<sup>[2]</sup>后, 杜绝了因水帽故障而泄漏树脂的现象, 保证了电厂的安全运行。

(转 100 页)

定的转子轴向长度内增加了有效齿数。此外,由于双齿尖齿增加了对漏过汽封间隙的汽(气)流阻力,从而减小了汽封间隙流量系数( $Q_e$ )。

采用上述技措改进后的新型汽封,其运行效果可用以下计算汽封漏汽量公式表达:

$$\Delta G = Q_e K_z f \sqrt{\frac{g(P_1^2 - P_2^2)}{Z \cdot P_1 V_1}}$$

式中: $\Delta G$ ——汽封漏汽量; $P_1$ ——汽封前压力; $P_2$ ——汽封后压力; $f$ ——汽封间隙的圆周环形面积; $Z$ ——汽封齿数; $Q_e$ ——汽封间隙流量系数(双齿尖齿形的 $Q_e < 1$ ); $V_1$ ——汽封前比容; $K_z$ ——漏汽系数,高低齿 $K_z = 1$ ,平齿 $K_z > 1$ 。

从以上计算公式看汽封漏汽量与汽封间隙大小成正比,当汽封的实际间隙小于或等于设计间隙就能保持汽封系统的正常工作。反之,汽封的运行实际间隙增加到一定值时轴端汽封系统的正常工作就被破坏,汽轮机汽封的原送汽压力和原抽汽设备的容量就不能保证轴端汽封“A”腔和“B”腔设计规定的压力值。由此引起低压侧轴端汽封大量空气从汽封外侧漏入汽轮机,引起冷凝器真空度下降。由此明显看出,采用以上改进技措是保证汽封系统正常工作、减小汽封漏汽量,为从根本上解决轴端汽封严

重漏汽问题的有效途径。

## 4 结论

两台国产 50 MW 汽轮机,2 号机在 1999 年检修期改造了高压侧和低压侧轴端汽封,汽轮机真空严密性试验表明:在改造前汽轮机真空下降速度平均每分钟为 2.5 kPa,改造后真空下降速度平均每分钟为 0.16 kPa。1 号机在 2 号机汽封改造成功的基础上,于 2000 年 4 月在汽轮机检修期内完成了汽封改造,1 号机真空严密性试验表明:在汽封改造前由于汽封系统漏汽严重无法做真空严密性试验,轴端汽封改造后汽轮机真空下降速度为平均每分钟 0.25 kPa。

两台国产 50 MW 汽轮机在不改动汽封送气压力,不增加抽气器容量的条件下,仅改造轴端汽封后其真空严密性均达到部颁标准“汽轮机真空下降速度平均每分钟不大于 266 ~ 399 Pa/min”的要求。由此从根本上解决了汽轮机真空严密性不合格的难题,提高了汽轮机运行的安全性和热经济性。

(何静芳 编辑)

(接 92 页)

树脂捕捉器是安装在混床出水口用于防止混床配水装置(水帽)发生故障引起树脂泄漏进入主系统的一种装置,该装置也可用来截流破碎树脂末,保证锅炉主系统的安全运行。但现有的树脂捕捉器当运行一段时间后,常会因树脂碎末的堵塞不得不停运,采用人工办法进行清理,费时费力,设备还得停运,如何能做到树脂捕捉器可以在运行中实现定期或不定期自动清理,既不使设备停运又达到清理的目的呢?《负压反冲式树脂捕捉器》专利技术(ZL97209214.5)<sup>[3]</sup>就是为解决这一问题而获得的实用新型专利,该专利已经在美国兰德公司注册。

## 5 结论

(1) 因高速混床配水装置或树脂捕捉器故障使树脂泄漏进入炉内主系统,在炉内高温高压条件下发生氧化分解,产生有机酸,是某电厂锅水 pH 降低事故发生的原因。这类事故虽不多见,但对树脂漏

入到主系统的途径及其所引起的不良后果应有充分认识,应当采用先进的技术杜绝这类事故发生的苗头。

(2) 进入锅筒的化学补给水也有可能因混床泄漏树脂进入主系统造成锅水 pH 降低的隐患,要引起警惕,采取预防措施。

(3) 不锈钢(1Cr18N9Ti 或 316L)梯形绕丝配水装置及负压反冲式树脂捕捉器技术是防止同类事故发生的有效技术手段。

邹向群、王燕玲同志提供了部分数据,李民同志提了许多意见,谨表示致谢!

## 参考文献:

- [1] 中国电力企业联合会标准化部编,电力工业标准汇编,火电卷(6),电厂化学(中册)[M].北京:中国电力出版社,1996.
- [2] 郑锡钧,杨崇豪. 不锈钢梯形绕丝配水装置[P].中国专利:ZL95224805.0,1996-10-02.
- [3] 杨崇豪. 负压反冲式树脂捕捉器[P].中国专利:ZL97209214.5,1998-09-02.

(何静芳 编辑)

so played a beneficial role in devising a method for the modeling of combustors with a complicated shape. **Key words:** single-tube return-flow combustor, numerical simulation, turbulent flow

舰船锅炉炉膛热力计算方法的修正 = **Revision of the Thermodynamic Calculation Method for a Naval Boiler Furnace** [刊, 汉] / Li Zhi-tao, Zhang Yu-hui, Chen Bing, *et al* (Harbin No. 703 Research Institute, Harbin, China, Post Code: 150036) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2001, 16(1). — 83 ~ 85

With regard to the specific features of a naval boiler furnace the authors have analyzed and compared the calculation results obtained when using various methods set forth in "the United Standards of 1973" etc. In the present paper recommended is a revision method adapted for the thermodynamic calculation of boiler furnace off-design conditions. **Key words:** naval boiler, thermodynamic calculation, furnace heat transfer

国产 200 MW 汽轮机转子在线热应力监测与寿命管理 = **On-line Monitoring of Rotor Thermal Stresses and Service Life Management for a Chinese-made 200 MW Steam Turbine** [刊, 汉] / Li Ai-jun, Xie Dan-mei, Yang Jun, Wang Jian-mei, Liu Xian-fei (Power Engineering Department, Wuhan University of Water Resources and Electrical Power, Wuhan, China, Post Code: 430072), Huang Shu-hong, Shen Tao (Power Engineering Department, Central China National University of Science & Technology, Wuhan, China, Post Code: 430074) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2001, 16(1). — 86 ~ 88

Through the use of an object-oriented language the authors have developed a software designed for the on-line monitoring of rotor stresses and service life management for a Chinese-made 200 MW steam turbine. In addition to thermal stress monitoring the software is also capable of abnormal data inquiry, offering guidance for start-up and shutdown operations as well as their recollection, etc. **Key words:** steam turbine, rotor, thermal stress, service life

能源消费与国民经济发展的灰色关联分析 = **Grey Correlation Analysis of Energy Consumption and National Economy Development** [刊, 汉] / Huang Fei (Wuxi Division under the Harbin Institute of Technology, Wuxi, China, Post Code: 214151) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2001, 16(1). — 89 ~ 90

Grey correlation analysis is a kind of systemic analytical method. Through the use of this analysis it is possible to identify the major factors which influence the evolution and variation of key variables. Analyzed in this paper is the grey correlation of energy consumption and national economy development. The results obtained therein may serve as reference data for relevant administrative departments and sectors. **Key words:** grey correlation analysis, energy consumption, national economy development

亚临界炉锅水 pH 降低原因分析及预防对策 = **An Analysis of the Causes of Boiler Water pH Value Reduction in a Subcritical Pressure Boiler and Some Measures Taken for Its Prevention** [刊, 汉] / Yang Zhong-hao (North China Institute of Water Resources and Hydroelectric Power Engineering, Zhengzhou, China, Post Code: 450045) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2001, 16(1). — 91 ~ 92, 100

In connection with a series of boiler water quality failures occurring at a certain power plant an analysis was conducted of the cause of the decrease in boiler water pH value. As a result, it is ascertained that the above-cited decrease has been caused by the leakage of mixed bed resin into the main system. The use of a water distribution device equipped with stainless steel trapezoid-shaped wound wires and a negative-pressure reverse-rinsing resin catcher has led to the prevention of the above-mentioned failure. **Key words:** thermal power plant, operation, accident analysis, feedwater, boiler water pH value

新型的烟气分析设备及其应用 = **A New Type of Flue-gas Analyzing Device and Its Applications** [刊, 汉] / Wang Tie-cheng, Liu Min, Xun Bai-qiu, *et al* (Harbin No. 703 Research Institute, Harbin, China, Post Code: 150036) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2001, 16(1). — 101 ~ 104