

泽普石化厂余热锅炉炉管穿漏故障分析

(塔里木石油勘探开发指挥部, 新疆 库尔勒市 841000) 陈仁贵

摘要: 一台燃气轮机余热锅炉在短时间运行后就发生了炉管穿漏事故。经分析, 事故的直接原因系在锅水循环系统中加设了一个不合适的节流孔板。

关键词: 余热锅炉; 锅炉; 故障分析

中图分类号: TK229.929

文献标识码: B

1 前言

泽普石化厂一台燃气轮机余热锅炉, 在试运期间就发生炉管穿漏事故。锅炉制造商——西尼格林公司和 NEI-IRD 达比公司经过调查分析, 提出事故的原因是锅炉在运输途中“可能”进水, 造成了局部腐蚀; 试运时, 在腐蚀区构成发生“蕊沸”(wick boiling)的地点, 导致碱浓缩, 结果因“腐蚀削削”(caustic gouging)作用而发生锅炉穿漏。

电厂方面经过全面调查研究, 排除了“在运输途中可能进水”的可能性。提出事故的直接原因是外方调试工程师在锅水循环系统加设了一个不合适的节流孔板。

这起事故的起因分析及其防范措施, 对余热锅炉的设计、运行有一定的参考价值。

2 事故简介

1989年6月15日, 首次连续运行了156小时的泽普石化厂热电分厂2号燃气轮机余热锅炉发生了炉管漏水事故, 被迫停炉检修。经检查有两根蒸发器管束严重腐蚀以致穿孔。其它部位也有不同程度的腐蚀。

余热锅炉的流程简图如图1所示。其主要参数为:

额定蒸发量 24 t/h

上锅筒工作压力 1.57 MPa

过热器出口温度 $250\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (试运时为 $310\text{ }^{\circ}\text{C}$)

给水温度 $105\text{ }^{\circ}\text{C}$

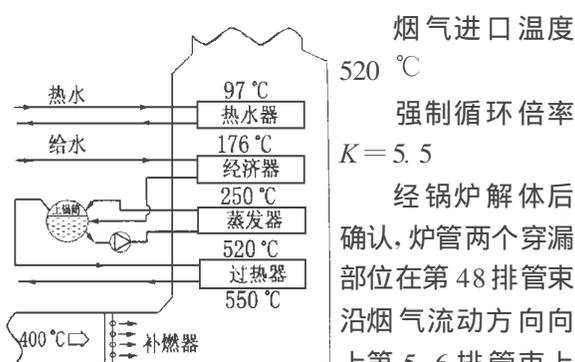


图1 WHB-146 余热锅炉
流程简图

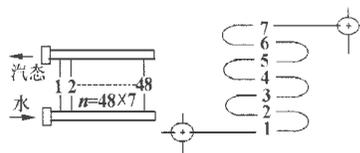


图2 蒸发器联箱 布置及
48 排管束展开图

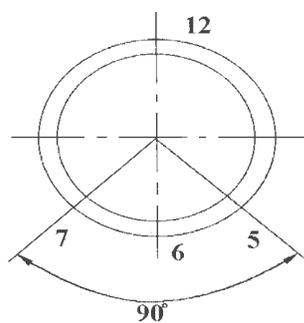


图3 炉管 腐蚀部位

被检查的第一组管束6排管子内壁光滑, 呈暗褐色, 无结垢。

在飞利浦 PW1700X 射线衍射仪上对腐蚀产物的分析表明, 腐蚀产物是由 Fe_3O_4 、 Fe_2O_3 和极少量未知相构成, 此物相说明, 此产物是炉管基体金属在

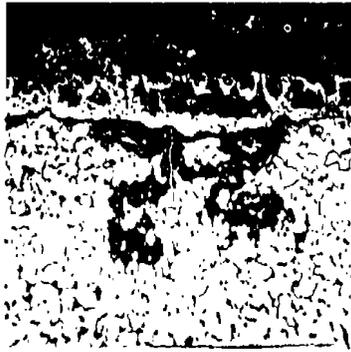


图 4 腐蚀坑底形貌

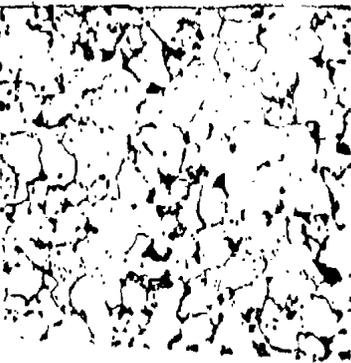


图 5 炉管组织及珠光体碳化物球化

300℃~570℃范围内的较高温度下被腐蚀而形成。

穿孔部位横截面经显微分析,可见氧化物与基体间有腐蚀孔洞,孔洞深入基体一侧,呈细长条沟状,铁素体晶粒间的珠光体岛被最先腐蚀(图4),珠光体中碳化物大都已球化(图5)。

通过分析,确认炉管穿孔事故主要由碱腐蚀造成,这与外方的分析报告完全一致。

3 事故原因分析

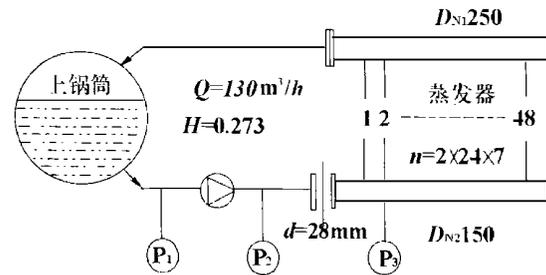


图 6 蒸发器及循环管流程简图

Q —为循环水流量 v/h D_N —集箱的口径 H —蒸发器上下集箱水柱高度 m n —蒸发管排数 d —节流孔板口径

3.1 调查该锅炉在运输、商检、安装、调试全过程中的有关资料和记录,排除了“运输过程中可能进水”的可能性。但是从调试记录中发现,为解决“循环泵压低—报警—停机”的矛盾,外方调试工程师在蒸发器联箱入口处增加了一 $\Phi 28\text{ mm}$ 的节流板。由于原设计中该处无此板,这对原设计中的水力参数和热力参数带来一系列重大影响。为具体说明这个问题,对此作了具体的核算。

该锅炉属强制循环形式的余热锅炉,其循环倍率 $K=5.5$,符合一般设计标准。

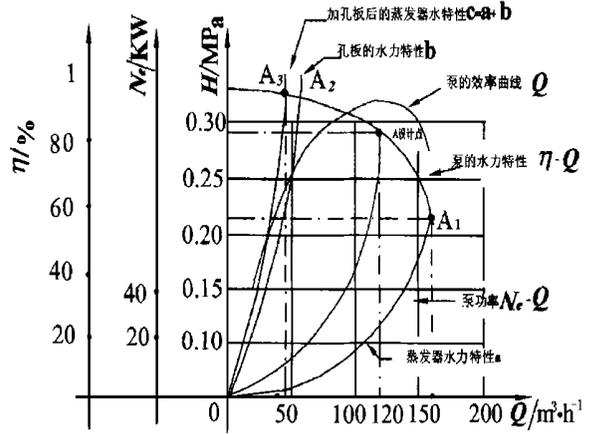


图 7 循环泵、节流孔板、蒸发器水力特性

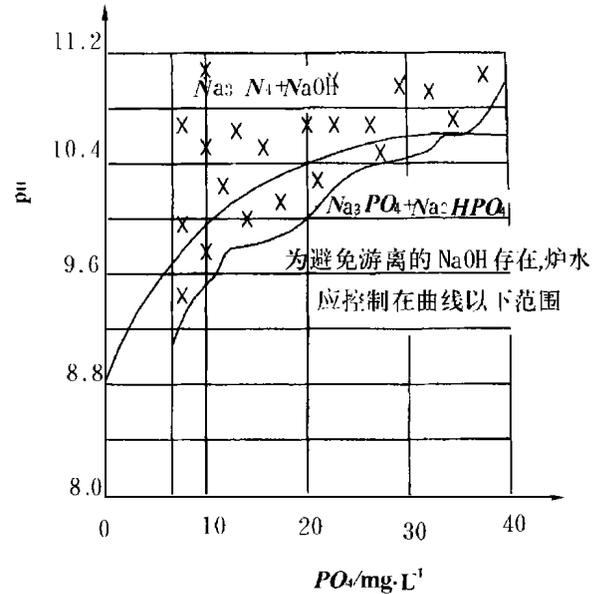


图 8 锅水协调磷酸盐处理曲线

用图解法近似求出加孔板后循环泵的实际流量。在现场测得未加孔板时循环泵扬程为 0.20 MPa 左右,从图 7 可知,循环泵工作点在 A_1 , 流量为 $150\text{ m}^3/h$ 以上。孔板的水力特性为曲线 b , 加孔板后蒸发器水力循环特性曲线为 $a+b$, 这时循环泵工作点由 A_1 点移到 A_3 点, 泵压从 0.20 MPa 升到 0.33 MPa, 泵的流量从 $150\text{ m}^3/h$ 以上降至 $50\text{ m}^3/h$ 以下。

锅炉的(平均)循环倍率 K 降至 1.87 小于 2.5。因此,蒸发器管束的运行工况远离设计点,处于危险状态。

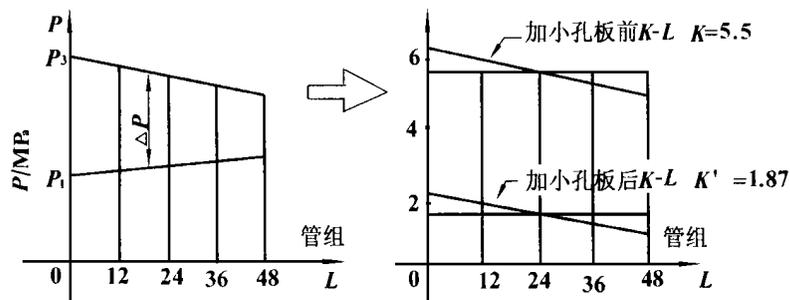


图 9 各管束压头分布 各管束循环倍率

3.2 锅水情况分析:

从运行记录中发现, 试运行锅水 PO_4 偏离了规定指标。规定在 pH 值为 10.5 ~ 11.5 时, PO_4 应为 50 ~ 100 mg/L, 但实际为 6 ~ 44 mg/L, 究其原因是在电厂当时因 Na_2HPO_4 未到货而未进行协调磷盐处理。对照分析协调磷盐处理曲线(图 8), 锅水 pH— PO_4 指标大都在曲线上方范围内含有游离的 NaOH, 当炉管结垢或发生汽水分离时, 极易造成碱腐蚀。

3.3 关于水力偏差分析:

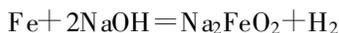
该锅炉蒸发器集箱进出口方向在同一侧(如图 2), 管组联接呈“U”型, 因此各组(共 48 组)蒸发器管束的水压头 ΔP_i , 水流量 Q_i 和循环倍率 K_i 是不相等的, 他们的变化规律相同, 以靠近进口法兰处为最大, 以离进口法兰最远处为最小。因此, 在平均循环倍率 $K = 1.87$ 的时候, 远离法兰的一组或几组的实际循环倍率 K_i 很可能降至 1 或接近于 1, 它们的变化规律如图 9 所示。在循环倍率 $K_i = 1$ 的管束, 必然会造成锅水停滞和汽水分离现象, 给运行中的锅炉带来很大的危害。

3.4 事故原因评述

由于在蒸发器集箱入口处增加了一个孔径很不合理的节流锐孔板, 使循环泵的流量由设计中的 $120 m^3/h$ 以上锐减到 $45 m^3/h$ 以下, 从而使蒸发器的循环倍率 K 由设计的 5.5 降至 1.87 左右; 由于锅炉各组蒸发器管束在设计中存在着一定的水力偏差, 这就使得锅水循环最弱的一组或几组的蒸发器管束的循环倍率降至 1 或接近于 1, 从而发生汽水分离、炉水停滞和锅水浓缩现象; 又由于锅水中含有大量的游离 NaOH, 因此在锅水浓缩的管段必然会发生碱腐蚀:

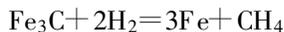


生成的亚铁酸钠在高 pH 值的锅水中是可溶的, 它被流动的锅水所带走, 裸露的 Fe 与 NaOH 又直接反应:



生成的 H_2 又会因流体停滞的原因不能及时排

除, 它渗入金属与碳发生反应:



生成的 C_4H_4 (甲烷) 同 H_2 一起都会沿金属晶体边缘渗透, 产生的应力使管材本体沿晶体间开裂, 在热应力的共同作用下, 造成整块的金属脱落, 形成“氢腐蚀”。

由于水力参数大大偏离原设计值, 也有可能使蒸发器某区域的温度大大偏离设计值, 使炉管过热, 继而发生“蒸汽腐蚀”:



生成的氢气同样会发生如前所述的“氢腐蚀”。

该锅炉的蒸发器管束呈水平位置。被浓缩的锅水总是集聚在炉管的下半部, 炉管的受热面也是在下部, 因此遭受腐蚀的部位总是在炉管的下半部。由于炉管壁温最高, 锅水浓缩最高部位应该是在汽水分层段或锅水停滞的管段, 而锅水停滞段的位置又是随锅炉的运行工况在不断地改变, 因此腐蚀最强烈, 以致穿孔的部位往往是多部位而不连续, 但它们大都发生在锅水循环最弱的管束的上半部(指回程), 这些都与实际情况完全吻合。

4 事故防范

既然 $\Phi 28$ mm 锐孔板是造成这次事故的主要原因, 那么就把它拆除。但是, 考虑到不加孔板时循环泵的扬程仅 0.20 MPa, 远离泵的设计扬程 0.30 MPa, 并且马达功率偏大, 因此我们又决定增加一个孔径合适的节流孔板。从而也解决了循环泵“压低—报警—停机”的矛盾。

经计算增设一 $\Phi 66$ mm 之孔板, 流量为 $120 m^3/h$, 循环倍率为 5.0, 符合余热锅炉的设计规定, 同时循环泵扬程由 0.20 MPa 升高到 0.25 MPa, 这不仅使泵功率降低, 而且改善了蒸发器的水力特性。

对锅炉重新进行化学清洗和煮炉, 以清除锅水浓缩时的炉管积垢, 重新建立 Fe_3O_4 保护膜。

迄今, 该余热锅炉已安全运行了 10 年。

参考文献

- [1] 范从振主编. 锅炉原理. 北京: 高等教育出版社, 1985.
- [2] 李瑶珠编. 燃气蒸汽联合循环电站. 北京: 清华大学出版社, 1988 年 3 月
- [3] (英) U R 艾万恩. 金属的腐蚀与氧化. 北京: 机械工业出版社, 1984.
- [4] 邹厚英, 吴仁芳编. 电厂化学. 北京: 电力工业出版社, 1980.

(复 编)

the occasional popping of boiler safety valves. This places a very high demand to the fast response of the combustion control system. The present paper describes a boiler combustion system suited for frequent load changes.

Key words: steam power plant, main boiler, combustion control system

密闭式高温冷凝水回收系统的应用 = **Application of a Sealed High-temperature Condensate Recovery System**

[刊, 汉] / Xia Li (Yunnan Zuxun Tobacco-Leaf Roasting Factory) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2000, 15(2). — 178 ~ 179

Described in this paper are the use-effectiveness of a sealed high-temperature condensate recovery system as well as some test results and use-experience. **Key words:** high-temperature condensate, recovery system, energy savings

泽普石化厂余热锅炉炉管穿漏故障分析 = **An analysis of the Leak-rupture Failure of a Heat-recovery Boiler Tube at Zepu Petrochemical Works**

[刊, 汉] / Chen Rengui (Tarimo Petroleum Prospecting and Development Headquarters) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2000, 15(2). — 180 ~ 182

A tube leak-rupture failure took place in a gas-turbine heat-recovery boiler after a short period of operation. An analysis of the direct cause of the failure indicates that the insertion of an improper throttle orifice-plate in the boiler water circulation system is the main culprit. **Key words:** heat recovery boiler, boiler, failure analysis

A333-3 钢低温管道的焊接 = **Welding of A333-3 Steel Low-temperature Pipeline**

[刊, 汉] / Liang Xiaojie (Daqing Petrochemical Engineering Co.) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2000, 15(2). — 183 ~ 185

Taking the construction of a low-temperature pipeline for a 480,000 t/year ethylene cracking separation plant as an example, this paper focuses on the welding features of low-temperature A333-3 steel tubes. The welding experience and related welding material management are also described. **Key words:** A333-3 steel, low-temperature, welding

石门电厂 2 号机透平油质差的原因分析与改进状况 = **An Analysis of the Causes Leading to Poor Turbine Oil Quality in Shimen Power Plant No. 2 Turbine Unit**

[刊, 汉] / Xiao Hancan, Zhou Ke (Changsha Electric Power Institute), Liu Shekai, et al (Hunan Shimen Power Plant) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2000, 15(2). — 185 ~ 186

As a result of investigations and fact-based reasoning the main causes of slag-carryover and presence of water in the oil of a 300 MW turbine unit oil system at Shimen Power Plant were identified. To cope with the problem, a pertinent improved scheme has been introduced after a major overhaul of the turbine unit and satisfactory results have been finally achieved. **Key words:** turbine oil, analysis, improvement, reliability

循环流化床锅炉的磨损及防磨措施 = **Wear of Circulating Fluidized-bed Boiler Elements and Wear-prevention Measures**

[刊, 汉] / Chen Yuliang, Zhang Tong, Zhang Chunliu, et al (Jinan Boiler Works) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2000, 15(2). — 187 ~ 188