

DOI:10.3969/j.issn.1674-1951.2020.06.015

中东大型油气锅炉运行中常见问题及处理

Common problems and their countermeasures of large-scale
petroleum-gas boiler in the Middle East

朱少春

ZHU Shaochun

(上海电气集团股份有限公司电站分公司, 上海 201199)

(Power Station Branch, Shanghai Electric Power Generation Group, Shanghai 201199, China)

摘 要:针对伊拉克共和国 Wassit 电站 6 台油气锅炉近 6 年运行中所出现的低温腐蚀、锅炉振动、炉底泄漏、油枪失效等问题,结合中东地区周边电厂的调研情况,通过对比分析和模拟计算,指出了低温腐蚀、锅炉振动的原因,建议燃用中东含硫量较高的燃油时,空气预热器进口风温和出口烟温设计值应分别不低于 80 ℃ 和 175 ℃,送风机出口应加装导流板或采用对称布置的喇叭形风道,尾部烟道宜采用考登钢;设计时应应对锅炉振动进行充分计算,避免后期出现问题时再花巨资改造。比较了不同形式炉底密封装置和油枪装置的优缺点,可为相关企业的选型设计提供参考。

关键词:油气锅炉;低温腐蚀;振动;炉底密封;油枪;中东

中图分类号:TK 227

文献标志码:B

文章编号:1674-1951(2020)06-0072-04

Abstract:To address the low temperature corrosion, boiler vibration, furnace bottom leakage and oil gun failure occurred in six petroleum-gas boilers of Wassit Power Station in Republic of Iraq during the past six years, an research on surrounding power plants in the Middle East was conducted. By comparison and simulation calculation, the causes and countermeasures of low temperature corrosion and boiler vibration were pointed out. It is recommended that the design values of the air temperature at the inlet and the smoke temperature at the outlet of the air preheater should not be lower than 80 ℃ and 175 ℃, respectively. Deflectors or a horn-shaped air duct with symmetrical arrangement should be installed at the outlet of the blower, and the tail flue duct should be made of Corten steel. The boiler vibration should be fully considered at designing stage, so as to avoid the huge cost in rectifying the flawed construction. The advantages and disadvantages of different furnace bottom sealing devices and oil gun devices are compared, which can provide a reference for the selection and design of related enterprises.

Keywords:petroleum-gas boiler; low temperature corrosion; vibration; sealing of furnace bottom; oil gun; the Middle East

0 引言

改革开放以来,中国经济经历了近 40 年的中高速增长,国内电力装机容量,尤其是传统煤电装机容量已逐渐趋于饱和。统计显示,截至 2017 年 12 月,中国 6 000 kW 及以上电厂发电设备容量已经高达 1 780 GW,其中煤电装机容量为 980 GW,2017 全年煤电装机容量新增投产仅 34 GW,同比增长 3.5% (增长幅度已连续 2 年下降),远低于 2015 年的 7.0%,到 2020 年全国煤电装机规模将控制在 1 100 GW 以内,发展空间极其有限^[1];全国发电设备累计

平均利用小时数为 3 416,2017 年 1—11 月已累计降低 18%^[2];同时,随着国务院“三去一降一补”政策的实施,国家发改委近几年也已多次发文要求各地严格控制煤电新建机组的审批,停建或缓建了一大批煤电项目^[3-4]。

在这样的大背景下,越来越多的电力企业将目光从国内投向了海外,出口产品也从传统的以煤电机组为主转变为以煤电机组为主、油气机组为辅。笔者自 2009 年起在伊拉克共和国境内参与建设了 Wassit 电站 4 台 330 MW 油气机组和 2 台 610 MW 油气机组,本文针对该电站锅炉近 6 年运行中所出现的问题,结合中东地区沙特 Rabigh 电厂、沙特 Shu-qaiq 电厂、伊朗 Sahand 电厂的调研情况,重点研究

收稿日期:2019-08-27;修回日期:2020-01-10

和总结油气锅炉及其主设备的设计特点及建议,以期为业内电力企业走出去提供一些借鉴。

1 油气锅炉低温腐蚀问题研究

该电站6台锅炉运行不到2年就出现了严重的低温腐蚀现象,近2/3的空气预热器(以下简称空预器)冷端换热元件全部腐蚀脱落,部分换热片经烟囱飘散至全厂各地(如图1所示),近3/4的尾部烟道存在腐蚀减薄或穿孔现象,最终不得不花费巨资更换换热元件并将尾部烟道材质改为考登钢。对中东地区同类油气机组进行调研后,认为该锅炉产生低温腐蚀的原因主要有以下3点。



图1 因低温腐蚀脱落的空预器冷端换热元件
Fig.1 Dropout of a heat exchange element at the air preheater cold end due to low temperature corrosion

1.1 锅炉排烟温度设计值偏低

锅炉燃用的原油中硫的质量分数超出设计值,高达4.5%,燃烧时产生了大量的 SO_x ,而锅炉最大连续蒸发量(BMCR)工况下空预器进口风温和出口烟温设计值仅分别为73.9℃和148.0℃,导致空预器冷端金属温度低于实际酸露点(118.3℃),大量酸露凝结,这是造成严重低温腐蚀的主要原因。对比采用同等含硫量燃料的沙特 Rabigh 电厂、沙特 Shuqaiq 电厂和伊朗 Sahand 电厂的设计和运行情况,建议空预器进口风温和出口烟温设计值应分别不低于80.0℃和175.0℃,以预防低温腐蚀。

1.2 送风机出口风道设计不合理

锅炉送风机采用离心式风机,出口风道为楔形风道(如图2所示),而非传统对称布置的喇叭形风道。数值模拟显示,二次风经风机加压后在风道内形成偏心射流,造成风道内流场分布严重不均,呈现下部流速高、上部流速低的特点,且上部出现了30%的回流区域(如图3所示),严重减小了下游暖风器的有效换热面积,直接导致二次风温升达不到设计值(机组BMCR工况下二次风温升应为65.0℃,实际运行中二次风温升仅为50.0℃),这是造成

严重低温腐蚀的次要原因。建议送风机出口应加装导流板或采用对称布置的喇叭形风道,以改善流场均匀性。

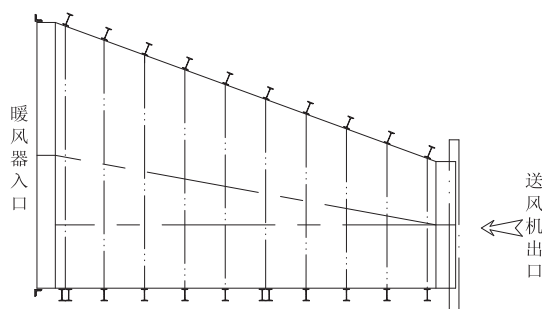


图2 送风机出口楔形风道纵向截面图
Fig.2 Longitudinal section of the wedge air duct at the outlet of a forced draft fan

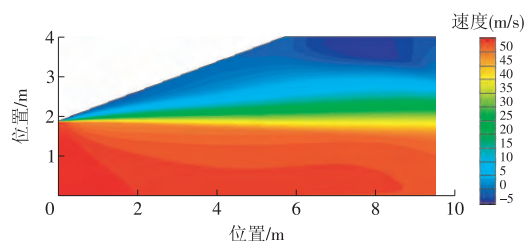


图3 送风机出口风道水平方向分速度云图
Fig.3 Horizontal velocity contour of a forced draft fan outlet duct

1.3 尾部烟道防腐效果较差

锅炉尾部烟道在设计时采取了碳钢内衬玻璃鳞片的抗腐蚀措施,但实际使用效果较差:一是因为玻璃鳞片虽具有较好的抗腐蚀性,但其对施工环境、施工人员素质等要求较高,施工质量难以保证;二是因为碳钢与玻璃鳞片热膨胀系数不一致,长达70m的尾部烟道受热后,钢板与玻璃鳞片之间产生相对位移,玻璃鳞片附着力减弱,导致大面积拉裂和脱落,丧失了对烟道的保护功能;三是不同单位在设计时沟通不充分,空预器出口烟温取值时仅考虑了空预器自身的低温腐蚀和锅炉热效率等问题,忽略了尾部烟道内会有5.0~10.0℃的温降,加剧了烟道的腐蚀。根据该电厂改造后的使用情况,建议尾部烟道采用考登钢,以提高抗腐蚀能力。

2 油气锅炉振动问题研究

该电站锅炉为亚临界、四角切圆、正压箱式炉,可单独燃烧或混燃原油、重油和天然气,相比于燃煤锅炉,其燃料易燃性更好、热值更高,所以锅炉总体布局较紧凑,炉膛尺寸较小,炉膛断面热负荷、容积热负荷和最高燃烧温度均较高,后烟井烟气流速较快,易诱发锅炉剧烈振动。运行初期4台330MW锅炉后烟井均产生了严重的振动,危及机组安全、稳定运行。

研究表明,油气锅炉的振动一般发生在炉膛和后烟井部位^[5-11]。炉膛振动主要是由热声振动引起的,其机理比较复杂,分第 1 类热声振动和第 2 类热声振动。第 1 类热声振动是指当燃料及燃料风温度与炉膛燃烧温度之间存在较大温差时,会导致热能和声能之间以固定的频率发生相互转化,当这一频率与炉膛固有声学频率耦合时,就会引起炉膛共振。一般可通过降低燃烧器与炉膛温差,调整燃烧器或炉膛尺寸以改变其固有频率等方式来消除振动。第 2 类热声振动是指湍流燃烧时产生的燃烧振荡与其诱发的压力振荡互相影响,形成闭环激励机制,二者频率和相位重合时会导致有规律的脉动,引起自激发热声振动,当炉膛布置有多只相同类型的燃烧器时,振动会在炉膛内反复传播、反射并得到加强,引起炉膛振动。一般可通过改变燃料空气比例,优化炉膛流场来消除振动。后烟井振动是由于高速烟气通过密集布置的蛇形管排时,在管排后部会形成卡门涡街,当脱涡频率、声学驻波频率、后烟井固有频率有两者或以上发生耦合时,就会引起共振。一般可在后烟井内布置防振隔板,将后烟井人为分割成几个小的烟井,以改变斯特劳哈尔数,从而消除振动。

该电站 330 MW 油气锅炉的脱涡频率为 54.4 Hz,驻波三阶频率为 56.7 Hz,两者耦合引起了后烟井严重振动。通过加装防振隔板改变声学驻波频率,很好地解决了振动问题。沙特 Rabigh 电厂曾出现过严重的热声振动,通过采取加装阻尼器、改造进风口等措施解决了炉膛振动问题。2 个电站后期改造均花费了巨大的人力、物力和财力,且因在海外,改造周期长,给企业带来了巨大的风险。因此,建议在锅炉设计之初,应提前对锅炉振动进行充分计算,避免后期出现问题时再进行补救。

3 不同形式炉底密封研究

对于正压锅炉,炉底密封是保证锅炉严密性,防止烟气外漏的重要部件,主要有水密封和机械密封 2 种形式。该电站 330 MW 锅炉采用了机械密封,610 MW 锅炉采用了水密封。

机械密封主体采用碳钢结构,整体通过生根于左右侧墙水冷壁的大梁悬挂于炉底。机械密封虽能随锅炉整体向下膨胀解决自身垂直膨胀问题,但无法解决与其相连的水平固定布置的再循环烟道的三向膨胀问题(炉底垂直膨胀量约为 260 mm),两者间的膨胀节经常拉裂;同时,机械密封与水冷壁采用大尺寸矩形双波金属膨胀节连接,其周向膨胀较大,机组每次启停时都会拉裂。

水密封主体采用 UNS N08926 超级不锈钢,由 2 部分组成:一部分为水封插板,通过疏形板与水冷壁连接,随锅炉在水封槽内自由地三向膨胀;另一部分为固定布置在锅炉 0 m 的水封槽,通过膨胀节与再循环烟道连接。

近 3 年的使用发现,机械密封虽然造价较低,但无法很好地解决其自身与锅炉和再循环烟道间的三向膨胀问题,膨胀节经常拉裂,造成炉底大量烟气外漏,后期维护工作量较大;而水密封因原理和结构简单,很好地克服了自身与锅炉和再循环烟道间的三向膨胀问题,运行稳定,使用效果较好。

4 不同形式油枪装置研究

常见的油枪装置主要有同心管式和平行管式^[12]。同心管式油枪枪体由内外 2 根直径不等的同心圆管组成,内管走雾化蒸汽,外管走燃油(如图 4 所示);平行管式油枪枪体由 2 根平行圆管组成,分别走雾化蒸汽和燃油(如图 5 所示)。为了配合锅炉燃烧器上下 $\pm 30^\circ$ 摆动,2 种油枪前端均可采用软管,与后端硬管以焊接的形式连接。

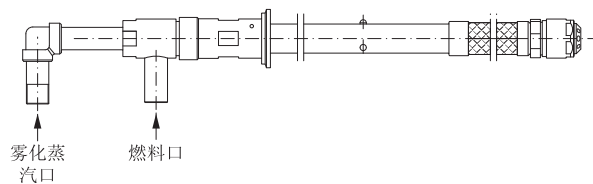


图 4 同心管式油枪示意

Fig. 4 Sketch of a concentric tube type oil gun

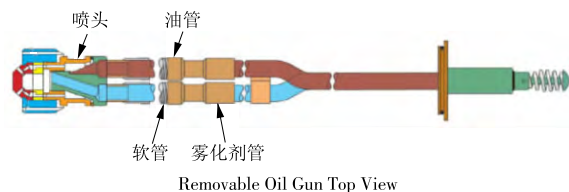


图 5 平行管式油枪示意

Fig. 5 Sketch of a parallel tube type oil gun

该电站 6 台锅炉均采用同心管式油枪,经过近 5 年的使用后,主要存在以下问题(以 330 MW 锅炉为例):油枪堵塞频繁,每周需清理 1 次,维护工作量大;油枪平均使用 24 个月后,出力大幅下降,由设计值 4 t/h 下降至 3 t/h 左右。采用同心管式油枪的伊朗 Sahand 电厂也存在同样的问题,而采用平行管式油枪的沙特 Rabigh 电厂、沙特 Shuqaiq 电厂的油枪仅需每 4 周清理 1 次且出力未出现大幅下降。分析认为,主要原因是相比平行管式油枪,同心管式油枪内外管间距太小,仅为 8 mm 左右,油枪退出后内外管间的剩余残油无法彻底吹扫干净,在内管高温蒸汽和炉内高温辐射的烘烤下结焦(如图 6 所示),

长期附着在内管外壁和外管内壁,减小了流通面积,导致出力下降。



图6 油枪内外管结焦情况

Fig. 6 Coking of inner and outer tubes of the oil gun

同时,该电站同心管式油枪平均使用 20 个月,前端的金属软管会出现不同程度的破损和变形^[13],轻则导致油枪报废,重则导致油枪着火点提前,直接烧损枪体和喷口(如图 7 所示),每年需花费大量经费更换油枪前端金属软管。采用同心管式油枪的伊朗 Sahand 电厂也存在同样的问题,而采用平行管式油枪的沙特 Shuqaiq 电厂则不存在此问题(沙特 Rabigh 电厂采用的是硬管油枪,无可对比性)。分析认为,主要原因是在相同的柔韧性和通流能力下,相比于平行管式油枪,同心管式油枪外管直径较大、壁厚较薄,外管弯曲时形变更大,承受的应力也更大,在反复上下摆动的过程中更容易损坏;再者,同心管式油枪外管外壁与其外套管内壁容易因残油结焦而黏结,油枪频繁进退时更容易撕裂。



a 金属软管破损
a Damage of a metal hose

b 燃烧器喷口烧损
b Burning of a burner nozzle

图7 油枪金属软管破损和燃烧器喷口烧损

Fig. 7 Damage of a metal hose of an oil gun and burning of a burner nozzle

5 结论

本文针对伊拉克共和国 Wassit 电站 6 台油气锅炉近 6 年使用过程中所存在的问题,重点分析了低温腐蚀、油气锅炉振动产生的原因并提出了改进建议,同时对炉底水密封和机械密封、同心管式油枪和

平行管式油枪使用中所存在的问题进行了比较。建议:燃用中东含硫量较高的原油时,空预器进口风温和出口烟温设计值应分别不低于 80.0℃ 和 175.0℃,以预防低温腐蚀;应重视送风机出口流场均匀性对下游暖风器使用效果的影响;尾部烟道宜采用考登钢,抗腐蚀效果更好;锅炉设计初期应对炉膛振动和后烟井振动进行充分计算,避免后期出现问题时再花巨资改造;炉底水密封原理和结构更简明,相较于复杂的机械密封,长期使用效果更好;平行管式油枪不论是结焦程度还是使用寿命,均优于同心管式油枪。希望上述建议能为业内电力企业走出国门提供一定的借鉴。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国国家能源局. 中国电力发展报告 2017 [EB/OL]. [2019-08-25]. http://www.nea.gov.cn/2018-05/24/c_137202940.htm.
- [2] 中华人民共和国国家能源局. 国家能源局发布 1—11 月份全国电力工业统计数据 [EB/OL]. [2019-08-25]. http://www.nea.gov.cn/2017-12/21/c_136842885.htm.
- [3] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. 关于做好 2018 年重点领域化解过剩产能工作的通知 [EB/OL]. [2019-08-25]. http://www.ndrc.gov.cn/gzdt/201804/t20180420_882996.html.
- [4] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. 煤炭工业发展“十三五”规划 [EB/OL]. [2019-08-25]. http://www.ndrc.gov.cn/fzgggz/fzgh/ghwb/gjjgh/201706/t20170605_850004.html.
- [5] 代魁,李春光,郭江滨,等. 大型燃油锅炉热声振动分析和预防[J]. 节能技术,2016,34(1):55-60.
DAI Kui, LI Chunguang, GUO Jiangbin, et al. Analyzing and prevention of large capacity oil boiler thermal acoustic vibration [J]. Energy Conservation Technology, 2016, 34(1):55-60.
- [6] 边防,张玉刚,王怀勇,等. 超临界塔式锅炉振动原因分析与处理[J]. 热力发电,2015,44(5):113-117.
BIAN Fang, ZHANG Yugang, WANG Huaiyong, et al. Reason analysis and treatment for vibration in a supercritical unit tower type boiler [J]. Thermal Power Generation, 2015, 44(5):113-117.
- [7] 吴柏杨. 大型电站锅炉尾部烟道声学振动机理及消振措施[J]. 锅炉技术,2000,31(10):23-25.
WU Boyang. Acoustic vibration mechanism and vibration damping measures for backpass of large utility boiler [J]. Boiler Technology, 2000, 31(10):23-25.
- [8] 周俊虎,周末,寿伟义,等. 四角切圆燃煤锅炉燃烧噪音和炉墙振动频谱特性的试验研究[J]. 工程热物理学报,1997,18(5):644-648.

(下转第 82 页)

- [5] 唐树芳,唐郭安,刘帅. 300 MW 机组新型凝抽背供热改造技术分析[J]. 工程技术研究,2018,31(15):88-89.
TANG Shufang,TANG Guoan,LIU Shuai. Technical analysis of new condensing extraction backpressure heating retrofit technology of 300 MW unit[J]. Engineering Technological Research,2018,31(15):88-89.
- [6] 李树明,刘青松,朱小东,等. 350 MW 超临界热电联产机组灵活性改造分析[J]. 发电技术,2018,39(5):65-70.
LI Shuming,LIU Qingsong,ZHU Xiaodong,et al. Flexibility transformation analysis of 350 MW supercritical cogeneration unit[J]. Power Generation Technology,2018,39(5):65-70.
- [7] 居文平,吕凯,马汀山,等. 供热机组热电解耦技术对比[J]. 热力发电,2018,47(9):115-121.
JU Wenping,LYU Kai,MA Tingshan,et al. Comparison of thermo-electric decoupling techniques for heating units[J]. Thermal Power Generation,2018,47(9):115-121.
- [8] KOXTKVT A T. 汽轮机末级动叶栅在非设计工况下的振动[J]. 郑叔琛,译. 国外透平,1984,(24).
KOXTKVT A T. Vibration of turbine last stage moving cascade under non design condition[J]. Translate by ZHENG Shuchen. Overseas Turbine,1984,(24).
- [9] 孟凡林. 665 毫米末级叶片在小容积流量工况下的试验研究[J]. 汽轮机技术,1986,28(6):24-29.
MENG Fanlin. Experimental study of 665 mm last stage blade under the condition of small volume flow[J]. Turbine Technology,1986,28(6):24-29.
- [10] 王仲博. 小容积流量下汽轮机末级长叶片可靠性的试验研究[J]. 中国电机工程学报,1987,7(4):45-51.
WANG Zhongbo. Experimental study on reliability of last stage long blade of steam turbine under small volume flow[J]. Proceedings of the Chinese Society for Electrical Engineering,1987,7(4):45-51.
- [11] 刘万琨. 汽轮机末级叶片颤振设计[J]. 东方电气评论,2007,21(4):7-13.
LIU Wankun. Flutter design for steam turbine last blade[J]. Dongfang Electric Review,2007,21(4):7-13.
- [12] 周盛,郑叔琛. 蒸汽轮机叶片颤振研究[J]. 力学与实践,1986,8(1):13-17.
ZHOU Sheng,ZHENG Shuchen. Study on blade flutter of steam turbine[J]. Mechanics in Engineering,1986,8(1):13-17.
- [13] 佚名. 大功率汽轮机叶片安全运行问题[J]. 热力发电,1974,3(7):30-43.
Anonymous. Safety operation of blades of high power steam turbine[J]. Thermal Power Generation,1974,3(7):30-43.
- [14] 夏宝鸾,杜鲜明,郑德澍. 国外大型汽轮机事故的一些情况[J]. 热力发电,1974,3(7):88-125,127.
XIA Baoluan,DU Xianming,ZHENG Deshu. Some cases of large steam turbine accidents abroad[J]. Thermal Power Generation,1974,3(7):88-125,127.
- [15] 刘帅. 沈阳金山能源股份有限公司切除低压缸进汽改造可行性研究报告[R]. 杭州:华电电力科学研究院有限公司,2017:44-49.
- [16] 刘帅. 沈阳金山能源股份有限公司切除低压缸进汽工程总结报告[R]. 杭州:华电电力科学研究院有限公司,2018:3-9.
- [17] 刘帅,高新勇,孙士恩,等. 一种用于切除低压缸进汽的热电联产系统:201820288317.3[P]. 2018-03-01.
- (本文责编:刘芳)
-
- 作者简介:**
刘帅(1990—),男,陕西西安人,工程师,工学硕士,从事叶轮机械结构强度与振动特性分析、火电机组热电解耦技术等方面的研究(E-mail:240867583@qq.com)。
-
- REN Tianlong. Study on oil and gas boiler vibration of overseas EPC project[J]. Boiler Technology,2015,46(2):27-29.
- [12] BAUKALC EJR. The john zink combustion handbook[M]. Florid:CRC-Press,2001.
- [13] 沈引根. 伊拉克 Wassit 油气锅炉燃烧器烧损及油枪漏油的原因分析[J]. 锅炉技术,2014,45(4):49-52.
SHEN Yingen. Analysis of the cause of burning loss and oil leakage of the burner of Wassit oil and gas boiler in Iraq[J]. Boiler Technology,2014,45(4):49-52.
- (本文责编:刘芳)
-
- 作者简介:**
朱少春(1988—),男,湖北黄冈人,工程师,工程硕士,从事海外电站热机专业技术管理工作(E-mail:zsc_hust@163.com)。