

余热锅炉安全运行与故障分析研究

朱顾全 章志鹏

华能苏州热电有限责任公司, 江苏 苏州 215000

[摘要]余热锅炉是工业生产中实现能源梯级利用的关键设备,其安全运行直接关系到生产系统的稳定性和经济性。文中系统分析了余热锅炉的安全运行特点,从爆管、排烟温度异常、引风系统故障、给水系统故障及联锁保护报警故障五个方面深入剖析了典型故障的成因机理,并在此基础上提出了加强设备巡检维护、优化热工参数控制、提高水质管理水平、完善自动化监测联锁保护以及建立故障预警与应急处臵机制等优化措施,以期余热锅炉的安全运行管理提供参考。

[关键词]余热锅炉;安全运行;爆管故障;排烟温度;联锁保护

DOI: 10.33142/aem.v8i6.20095

中图分类号: TK229.92

文献标识码: A

Research on Safe Operation and Fault Analysis of Waste Heat Boiler

ZHU Guquan, ZHANG Zhipeng

Huaneng Suzhou Thermal Power Co., Ltd., Suzhou, Jiangsu, 215000, China

Abstract: Waste heat boiler is a key equipment for achieving energy cascade utilization in industrial production, and its safe operation directly affects the stability and economy of the production system. The article systematically analyzes the safe operation characteristics of waste heat boilers, and deeply analyzes the causes and mechanisms of typical faults from five aspects: pipe burst, abnormal exhaust gas temperature, induced draft system failure, water supply system failure, and interlocking protection alarm failure. Based on this, optimization measures such as strengthening equipment inspection and maintenance, optimizing thermal parameter control, improving water quality management level, improving automation monitoring and interlocking protection, and establishing fault warning and emergency response mechanism are proposed to provide reference for the safe operation and management of waste heat boilers.

Keywords: waste heat boiler; safe operation; explosion tube failure; exhaust gas temperature; interlocking protection

引言

余热锅炉属于工业生产中的重要节能设备,它把生产过程中产生的废气、废液或者动力机械排出的热能转化成蒸汽或者热水,从而达到能源二次利用的目的。由于能源价格不断上涨,节能减排的要求也越来越高,余热锅炉在冶金、化工、电力等行业中的使用越来越普遍。但是余热锅炉的运行工况比较复杂,受热面长时间处在高温烟气冲刷、交变热应力的作用之中,并且烟气里常常携带有腐蚀性的成分以及粉尘颗粒,设备的安全运行受到了诸多方面的考验。一旦出现故障,不但会降低余热回收效率,还会造成停产事故或者安全事故。因此,对余热锅炉典型的故障原因进行分析,并提出相应的改善措施,对保证余热锅炉的安全、稳定、高效运行有重大意义。本文从余热锅炉安全运行特点出发,对各种典型的故障原因进行系统地整理,并提出相应的优化措施。

1 余热锅炉安全运行特点分析

余热锅炉和常规燃料锅炉在结构、运行方式上存在较大差别。余热锅炉分为火管式和水管式两种,水管式余热锅炉在烟气温度高、管板厚的工况下具有更好的适应性,其受热面的布置方式会根据进口烟气温度进行调整。根据余热来源的不同性质,余热锅炉可以分为高温烟气余热、高温炉渣余热等类型,以满足不同的工业生产环节的要求。余热锅炉的安全运行有如下特点。第一,受热面没有受到强制组装应力。余热锅炉每一个受热元件在整体组装时,没有强制组装的现象,因此不会产生组装应力;每一个环形翅片管组只有一端焊接在钢结构上,另一端是自由的,在运行过程中不会产生热应力。该结构特点可以减小热疲劳损伤的风险。第二,运行参数要准确控制。锅炉运行时要随时注意水位的变动,维持在合适的范围内,防止出现水位过高或者过低的情况导致故障的发生。排烟温度的控

制也很重要,必须保证其处在正常的范围之内才能保证锅炉的高效运行。第三,余热锅炉安全性能十分重要,必须采取各种手段保证设备安全运行,采用合适控制方式,设置齐全安全装置,定时检修和检查设备等。另外,余热锅炉联箱上设有安全阀等保护装置,给超压工况提供安全保障。

2 余热锅炉典型故障分析

2.1 爆管故障原因分析

爆管是余热锅炉最严重、危害最大的故障类型,成因复杂多样,牵涉到设计、制造、运行、水质等各方面。从运行角度来说,锅炉负荷忽高忽低、减温水使用不合理、管道内积盐积垢是造成过热器爆管的常见原因。由于大量积盐造成的过热器管垢下腐蚀,引起过热器管腐蚀穿孔,造成爆管。积盐现象一般与水汽品质控制不善有关,炉水中盐类物质含量过高时,在管壁内表面会沉积形成垢层,垢下局部浓缩产生酸性或者碱性腐蚀环境,造成管壁减薄穿孔。从结构设计角度出发,周期性热应力、减温水流量超量程、焊接质量不好、管束结构不合理、旋转烟气流是造成高压过热器爆管的主要原因。机组启停及负荷变化时,受热面管壁受到交变热应力的作用,如果应力大于材料的疲劳极限就会产生裂纹,并逐渐扩展。制造过程中没有按照要求进行整体退火,也会造成爆管。另外强制循环泵故障、炉管质量问题也容易造成爆管事故。

2.2 排烟温度异常分析

排烟温度属于评价余热锅炉运行经济性的关键参数,排烟温度出现异常上升或者下降的情况,都会体现出设备存在某种故障隐患。排烟温度过高主要是由于余热锅炉受热面杂质沉积过多,热量向后堆积造成的。随着运行时间的增加,烟气中携带的粉尘会逐渐在受热面管束表面沉积形成灰垢,灰垢的热阻远远大于金属管壁,使传热效率大大降低,烟气热量不能被充分吸收而向后传递,造成排烟温度不断上升。一般情况下,随着时间的推移,排烟温度会逐渐升高,排烟温度的升高不但会对锅炉本体造成损害,还会由于锅炉受热面的积灰而产生安全隐患。排烟温度过低也要加以注意^[1]。排烟温度过低,说明锅炉炉墙存在严重的漏风现象,人孔门关闭不严或者锅炉进口烟温过低,都会导致锅炉热效率下降,使锅炉出力低于汽机正常运行要求,同时也会给锅炉除尘系统运行造成不良影响。排烟温度异常还会和省煤器泄漏、烟道阻力变化等有关,排查时需要考虑受热面积灰、漏风、给水温度变化等各方面因素。

2.3 受热面腐蚀与磨损故障分析

余热锅炉受热面腐蚀和磨损属于长期运行过程中常见的典型故障,二者常常互相叠加、互相加剧。腐蚀可分

为低温腐蚀和高温腐蚀两种。低温腐蚀多发生在省煤器、尾部烟道等低温受热面,当受热面壁温低于烟气酸露点时,烟气中的 SO_3 和水蒸气结合成硫酸蒸汽,在金属表面凝结并不断侵蚀管壁,造成管壁均匀减薄或者产生点蚀坑,严重时甚至可以贯穿管壁引起泄漏。高温腐蚀多发生在过热器部位,当燃料中含有钒、钠、硫等元素时,在高温下就会形成低熔点共晶盐类,附着在管壁上破坏金属的氧化保护膜,使新鲜的金属不断被氧化消耗,造成管壁迅速变薄。同时烟气中夹带的飞灰颗粒以一定的速度冲刷受热面管壁,造成磨损,在烟气流速高或者灰浓度大的地方,管壁迎风面就会逐渐形成凹坑、棱角状减薄或者穿孔。磨损造成管壁表面变粗糙、变薄,暴露了新的金属,更容易被腐蚀介质侵蚀;腐蚀产生的剥落层在冲刷的作用下会加速脱落,使管壁越来越薄,二者形成恶性循环。腐蚀和磨损的共同作用使受热面的承压能力明显降低,管壁强度不够就会发生爆管或者泄漏事故,受热面积垢过多还会严重降低换热效率,成为影响余热锅炉安全经济运行的重要隐患。

2.4 给水系统故障分析

给水系统要向余热锅炉不间断、稳定地供应水,可靠性影响锅炉水位控制和受热面安全。给水系统常见的故障有给水泵故障、给水调节阀泄漏、水位计指示不准、水质异常等。给水泵平衡盘磨损、给水调节阀泄漏属于联合循环余热锅炉给水系统中比较常见的一种问题。给水泵长时间运转之后,平衡盘由于经常承受轴向力而产生磨损,使泵的轴向窜动量变大,严重的时候会引发叶轮和泵壳的碰磨。给水泵、给水管道的出现故障或者锅炉负荷增加没有及时启动给水泵,会造成给水压力下降。给水压力不足会直接造成锅炉水位下降,严重的还会引起缺水事故。锅炉排污阀泄漏严重,排污量过大也会造成给水系统失衡^[2]。水质管理方面,凝结水、中高压给水取样及加药管距离过近、取样管与加药管错接等问题,都会造成水汽品质异常,而引起炉水 pH 值和电导率超标。

2.5 联锁保护及报警故障分析

联锁保护及报警系统是余热锅炉安全运行的最后一道防线,在参数达到危险阈值的时候,会自动发出保护动作指令,防止事故的扩大。按照《蒸汽锅炉安全技术监察规程》的规定,对于蒸发量不小于 2t/h 的锅炉,除了装设水位表之外,还应当装设高低水位报警器、低水位联锁保护装置等。余热锅炉的液位计、温度传感器、压力传感器、流量计等安全附件应和燃烧器联锁,产生事故信号时应立即关闭燃气进料阀门切断燃烧实现安全停炉。联锁保护系统的常见故障包括误动和拒动两类。误动是在正常工作状

态下保护装置错误动作造成的不必要的停机,拒动是在真正需要保护时装置没有及时动作。炼油企业余热锅炉补燃系统电气控制回路设计存在的缺陷,造成一次装置停车事故,因为一次装置在事故状态下不能保证备用电动机启动。另外,凝结水泵跳闸之后备用泵联启失败也属于联锁系统常见的故障情况。这类故障的主要原因就是控制逻辑设计不合理、传感器精度不够或者信号传输线路出现故障。

表 1 余热锅炉联锁保护装置主要参数及功能

保护项目	监测参数	报警设定值	联锁动作	备注
汽包水位保护	汽包水位	高/低水位报警值	低水位时自动停炉	双重冗余配置
汽包压力保护	汽包压力	超压报警值	安全阀自动开启泄压	分级动作
蒸汽温度保护	过热蒸汽温度	超温报警值	自动调节减温水	防止过热器超温
给水流量保护	给水流量	低流量报警值	联锁启动备用给水泵	防止缺水
引风机联锁	风机运行状态	风机跳闸信号	联锁关闭相应挡板	防止烟气倒灌

3 余热锅炉安全运行优化措施

3.1 加强设备巡检与维护管理

完善的巡检、维护制度是保证余热锅炉安全运行的根基。启动余热锅炉前,操作人员应先对锅炉本体、热力系统、水系统、烟气系统等进行彻底检查,保证所有的设备、部件及连接管道都在正常的工作状态。运行中要经常检查锅炉有无泄漏等现象,发现问题及时处理,防止小问题酿成重大事故。对于爆管故障多发的受热面部位,要加大汽包检修的重点检查力度,更换腐蚀结垢异常的管段,做好水汽查定工作。对引风机等转动设备要制订完善的清灰制度,定时用蒸汽吹灰、声波吹灰清除受热面及管道内积灰,加强引风机、挡板等设备的巡视检查与保养。定期维护、检查可以很好地防止振动问题的发生。

3.2 优化燃烧及热工参数控制

合理的热工参数控制是防止各种故障发生的保证。运行时要严格控制进炉的废气量,保证适当的气水比,防止由于比例失调造成超温超压现象的发生。停炉时要缓慢降低温度,逐渐减小蒸汽量,防止由于降温太快而使设备受到过热损害。为了解决排烟温度过高问题,应对余热锅炉增加低温过热器,对省煤器安装螺旋翅片管制成的积木式箱体模块化结构,增加受热面^[3]。燃烧工况不稳,例如配风不当、炉膛负压忽高忽低等情况都会造成烟气流动不顺畅,产生涡流和回流,增大阻力损失。因此要保证燃烧系统稳定运行,合理配风,使炉膛负压在正常范围内。运行

时应尽量保持锅炉负荷和燃料品质的稳定,防止负荷突然大幅度变化。

3.3 提高水质管理水平

水汽品质控制属于防爆管、防腐蚀的重要环节。应按照 GB/T12145《火力发电机组及蒸汽动力设备水汽质量》标准的要求,严格控制给水、炉水和蒸汽各项质量指标。运行时做好水汽品质的监督和控制,定时检测给水硬度、pH 值、电导率、溶解氧等重要指标。对炉水 pH 值、电导率异常偏高现象进行检测水汽氢电导率、痕量离子、硬度,结合热力系统水汽流程综合分析,找到泄漏源并采取相应措施。给水处理中要合理设置加药点、取样点,防止取样管与加药管错接等设计、安装问题的发生。锅炉运行期间水处理及排污工作要到位,定期排污以控制炉水的浓缩倍数,防止盐类在受热面上沉积。对于水质持续异常的状况,要从各方面查找原因、分析原因,提出解决措施,以提高水汽质量。

3.4 完善自动化监测与联锁保护

自动化监测和联锁保护系统完善,可以提高余热锅炉的安全水平。应根据锅炉本体和辅助系统的重要部位安装温度、压力、流量、水位等在线检测仪表,对运行参数进行实时采集并显示。在锅炉水进出口、烟气进出口处设测温、测压点,在烟气进口处设烟气流量检测点,在锅炉水进口处设流量检测点。联锁保护系统要对高、低水位超出允许范围发出报警信号,促使运行人员及时发现并处理问题。对重要的辅机采取一开一备的配置形式,保证备用设备联锁启动可靠^[4]。对逻辑设计过程中出现的误动、误报的逻辑逐个分析,采用增加闭锁条件、改变逻辑顺序等方式来降低系统误动、拒动的风险。当锅炉水位、压力、温度达到极限值或者循环泵出现故障时,联锁保护装置应该可以自动停炉。

3.5 建立故障预警与应急处置机制

故障预警和应急处置机制属于安全运行管理体系的重要组成。根据历史运行数据和故障案例来建立各种典型的故障预警指标体系。对于爆管故障,重点监测汽包水位和给水流量的差值变化,当差值持续异常增大时及时预警。排烟温度异常时,应设置排烟温度趋势报警,当温升速率超过正常范围时及时干预。对引风系统故障采用振动监测、轴承温度监测可以提前发出预警。在应急处置上要制定出详细的故障应急预案,轻微的振动可以按照相应的办法进行处理,如果出现剧烈的振动并且伴有撞击声或者轴承温度持续上升到 80℃ 以上并不断上升的情况,则需要立即停止该风机的运行,并采取紧急停炉的措施。给水管道泄

漏轻微可以保证锅炉给水时,能维持短时间运行;如果故障加剧直接危及人身和设备安全时,则应停炉。

4 结语

余热锅炉安全运行牵涉到设备结构、运行控制、水质管理、自动保护等诸多方面,任何一个环节出现疏忽都会造成设备故障或者安全事故的发生。本文从爆管、排烟温度异常、引风系统故障、给水系统故障、联锁保护报警故障这五个方面对余热锅炉的典型故障原因进行了系统的分析,从设备巡检维护、热工参数控制、水质管理、自动化监测联锁保护、故障预警应急处置五个方面提出了相应的优化措施。经过实践证明,只有建立贯穿设计、制造、安装、运行、维护全过程的安全管理体系,才能有效地降低余热锅炉的故障率,延长设备的使用寿命,达到安全、

高效、稳定地进行余热回收的目的。

[参考文献]

- [1]魏铭毅,张喧博,杜伟,等.余热锅炉汽水系统泄漏分析及特征提取[J].科技与创新,2023(16):70-72.
- [2]姚洪洋,沈岩.燃气-蒸汽联合循环机组余热锅炉烟气深度余热利用研究[J].应用能源技术,2026(4):35-37.
- [3]罗艳.某余热锅炉循环水泵的振动分析及解决措施[J].有色冶金设计与研究,2022,43(6):24-27.
- [4]王强.硫酸厂余热锅炉 DCS 控制系统改造与应用[D].陕西:西安科技大学,2018.

作者简介:朱顾全(1991—),毕业于东南大学热能与动力工程专业,中级工程师,现就职于华能苏州热电有限责任公司。