

余热锅炉超温超压事故案例分析与防范措施

张靖衍

河北诺聘网络科技有限公司, 河北 石家庄 050000

[摘要]在工业领域中,余热锅炉作为核心装备,在有色金属加工、钢铁冶炼、化工生产等高能耗行业中有着重要的作用,可以提高能源利用,控制生产成本。然而在实际运行过程中,超温超压事故是最危险的一种故障类型,一旦发生,不仅会导致设备损坏,甚至会威胁现场操作人员的安全造成巨大的经济损失,对企业的正常生产造成严重影响。鉴于此,本次研究分析余热锅炉超温超压相关事故的典型案例,对导致事故发生的原因进行分析,并结合行业规范以及国家标准,制定针对性的防范干预策略,为提升余热锅炉安全运行、降低事故、保障现场人员的安全提供理论参考与实践指导。

[关键词]余热锅炉;超温超压;事故案例;原因分析;防范措施

DOI: 10.33142/hst.v8i12.18437

中图分类号: TQ086

文献标识码: A

Case Analysis and Preventive Measures of Overheating and Overpressure Accidents in Waste Heat Boilers

ZHANG Jingkan

Hebei Nuopin Network Technology Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: In the industrial field, waste heat boilers play an important role as core equipment in high energy consuming industries such as non-ferrous metal processing, steel smelting, and chemical production. They can improve energy utilization and control production costs. However, in actual operation, over temperature and over pressure accidents are the most dangerous type of fault. Once they occur, they not only cause equipment damage, but also threaten the safety of on-site operators, causing huge economic losses and seriously affecting the normal production of enterprises. In view of this, this study analyzes typical cases of accidents related to overheating and overpressure in waste heat boilers, analyzes the causes of accidents, and combines industry standards and national standards to develop targeted prevention and intervention strategies, providing theoretical reference and practical guidance for improving the safe operation of waste heat boilers, reducing accidents, and ensuring the safety of on-site personnel.

Keywords: waste heat boiler; overtemperature and overpressure; accident cases; cause analysis; preventive measures

引言

但随着国家节能减排政策的持续深化,在工业企业领域中,余热回收利用成为了提高能源利用效率,控制生产成本的关键决策^[1]。作为余热回收利用系统中的核心设备,余热锅炉主要是通过回收工业窑炉、熔炼炉等设备排放的高温烟气所蕴含的热能,借助高效的热交换机制将水加热生成蒸汽,广泛应用于供暖、发电等环节,为各类生产环节提供了必需的热能支持,进而实现了能源的梯级利用^[2]。然而余热锅炉在实际运行过程中高度依赖不稳定的工业余热热源,余热锅炉进口烟气的温度与流量频繁波动,且设备长时间处于高压高温的环境之下,极易发生锅炉本体结构损坏、炉管爆裂等各类安全事故。超温超压是余热锅炉最典型的恶性事故类型,当蒸汽压力超过额定压力时,受热面材料的机械程度也会随之下降,导致导管变形,甚至发生破裂、引发锅炉爆炸^[3]。鉴于此,为了确保整个生产区域的安全稳定进行,本文研究深入分析余热锅炉超温超压事故案例,明确事故成因,加强完善相应的防范策略。

1 余热锅炉超温超压典型事故案例分析

1.1 XX公司余热锅炉金属软管爆裂事故

(1) 事故概况

xx公司新建艾萨熔炼技术生产铜及硫酸项目,配套余热锅炉用于回收艾萨熔炼炉高温烟气热能。当班调度员听到巨响后,通过监控发现锅炉房大量蒸汽喷出,随即启动应急预案,拉响警报并通知紧急停炉、人员撤离。事故造成多人伤亡,直接经济损失较大。事后检测发现,从熔炼炉到余热锅炉的冷却屏水纹金属软管爆裂,大量高温饱和蒸汽喷出是直接原因。

(2) 事故原因分析

①直接原因:冷却屏水纹金属软管存在固有的质量缺陷,加之长时间处于恶劣的工况环境之下,长期承受高温烟气的冲刷以及温度波动的反复冲击,导致软管出现疲劳损坏、爆裂等问题^[4]。该金属软管主要作为连接余热锅炉和熔炼炉的核心部件,在材质选择方面,如果没有充分考虑到烟气温度波动所带来的应力问题,在设备运行过程中,频繁的冷热交替下,使得管壁内部产生变化,管壁厚度不断降

低,最终发生破裂,进而引发高温蒸汽外泄的严重事故。

②间接原因:一方面是设备在选型以及设计方面存在一定的缺陷,在设计的过程中并未充分考虑到高温工况对于接部件的长期影响,并没有安装有效的保护装置或未配置有效的热缓冲装置;另一方面,未实时监测热应力变化、关键连接部件(如冷却屏金属软管)的温度场分布及振动频谱等核心参数。

1.2 案例总结

通过对上述案例的分析可知,余热锅炉超温超压事故的发生与多种因素存在密切相关,包括设备的运行、制造、设计以及管理等多个方面^[5]。材质选择、参数匹配不合理,缺乏安装安全装置均属于设计缺陷,是导致事故发生的先天性隐患。在设备运行过程中管理不规范,也是导致事故发生的主要诱因,未实时监测设备超负荷运行,异常情况未及时处理等。除此之外,并未按照规范做好设备的维护保养工作,导致部分部件磨损老化,加剧事故风险。

2 余热锅炉超温超压事故防范措施

2.1 优化设计制造,消除先天性隐患

燃气-蒸汽联合循环电站中,燃气轮机排烟温度达500~600℃,直接排放会浪费热能。通常采用余热锅炉回收余热,产生蒸汽驱动汽轮机做功,提升机组效率。以2×400MW级9F燃机为例,余热锅炉由多级受热面串联构成,通过逆流传热实现多级换热,使出口烟温降至120℃以下,其管束材质依工况选用SA210C或TP347H不锈钢。控制系统需实时监测关键参数,并根据负荷与燃机状态协调控制,确保锅炉安全稳定运行。为了确保余热锅炉的安全运行,合理的设计制造尤为关键,因此需要结合运行工况的复杂性以及相关标准规范合理设计,消除先天性缺陷。

在设备的参数匹配与材质选择方面,设计过程中对热源烟气的温度以及流量波动范围进行深入的评估,并结合实际运行工作制定相应的锅炉额定参数。高温烟气余热锅炉的连接部件以及受压部件优先选择具备抗腐蚀性、耐高温、抗疲劳等优异特性的材质^[6]。严格按照相关规范做好材料的检验工作。如耐磨性能优异的管材适用于烟气含尘量高的场景中,增强管材的抗磨损能力,增加管壁厚度,确保锅炉的长期稳定安全运行。

在安全保护装置设计方面,配备烟气旁路分流装置,在锅炉实际运行过程中,当进口烟温超过设计值时,该装置的旁路阀门能够迅速自动开启分流高温烟气,可以有效防止锅炉超温。与此同时,在锅炉受热面的关键部位设置压力监测点,温度监测点,实时监测锅炉的温度与压力,及时掌握锅炉的运行状态,及时发现潜在的安全隐患,并采取相应的处理措施。此外,对于锅炉所配备的安全阀、压力表等安全附件必须严格契合锅炉的额定参数要求,其起跳压力的设置应严格按照1.05~1.1倍额定压力进行精确设置,避免锅炉处于超压运行状态,安全阀并具备手动起跳功能^[7]。

此外,在制造生产的过程中,要严格按照焊接工艺规范进行操作,确保焊接的质量。对关键部件进行严格的检验,避免出现不合格的产品,同时做好液压试验,确保设备合规。

2.2 规范运行操作,强化过程管控

余热锅炉运行过程中,通过建立标准化的操作流程,密切监测各项参数,严格按照规范操作,可以有效防范超温超压事故。锅炉处于正常稳定运行状态时,锅内的压力可以维持在合理区间范围之内,尽管出现波动,幅度也维持在极小的范围内。然而,当出现余热烟气量突增、给水系统运行异常、安全阀功能故障等突发状况时,压力也会随之发生异常变化。工业余热锅的压力不仅具有突发性,而且在现场容易受到温度、振动、电池等多因素的干扰,影响压力测量数据的准确性。

在锅炉启动之前,首先进行水质的检查,严格把控给水质量,确保给水硬度 $\leq 0.03\text{mmol/L}$ 、含氧量 $\leq 0.05\text{mg/L}$,将锅炉水的pH值精准控制在9.0~12.0^[8],以免锅炉内部结构甚至发生腐蚀的现象,延长锅炉的使用周期。对各个阀门管道进行仔细检测,确保排气阀给水阀处于开启状态,排污阀、蒸汽阀处于关闭的状态。加强管道连接部位的检查,确保无任何泄露的情况发生^[9]。对水位计压力表进行校验,手动测试安全阀的起跳功能,通过对安全附件检查,可以确保锅炉的安全运行。在锅炉的启动过程中,严格把控升温升压的速率,避免温度和压力的骤变对设备造成损伤。锅炉停运时,逐步切断余热来源,控制降温速率 $\leq 8^\circ\text{C/h}$ 。

加强完善在线监测体系,实时监测锅炉运行过程中的关键参数,包括蒸汽压力、进口烟温、锅水水质、出口蒸汽温度等。针对各个关键参数合理的设定相应的报警阈值,当超出规定范围后,系统会及时触发报警机制,及时向操作人员发出警示信号,及时调整运行工况。加强水质的管理工作,通过在线监测以及实验室抽检严格执行水质日检制度,保障各项水质指标严格契合GB/T 12145—2022要求。同时结合锅炉的具体运行状况,定期开展锅炉的排污处理工作,通过将锅炉的杂质与沉淀物及时排出,可以有效防止结垢的发生。锅炉长时间没有运行,需要提前24h向锅内注入经检验合格的锅水浸泡管壁,在金属表面形成保护膜,避免腐蚀。

2.3 强化维护保养,保障设备健康状态

通过定期对设备进行维护保养,可及时发现和处理设备磨损、老化等问题,确保设备处于正常运行状态,延长其使用周期,以此预防事故的发生风险。严格按照相关标准要求设备说明书制定相应的检修计划,全面检查锅炉的安全附件,管道受热面等,尤其要关注阀门的严密性、受热面是否出现磨损、腐蚀等异常情况。检修过程中一旦发现设备存在缺陷,及时建立台账,并对整改的责任与时间进行明确。若管道内结垢厚度超过1mm,根据管道的材质、现场、实际工况等因素,合理选择机械清洗或化学清

洗,以消除管道内壁的结垢,以使其恢复管道的正常流通。发现安全附件失效时,第一时间停机更换。若发现阀门垫片出现损坏情况,挑选耐油、耐高温且质量合格的垫片进行更换。对于烟气含尘量处于较高水平的余热锅炉,安排专人定期对受热面积灰进行清理,确保通流面积畅通。

2.4 完善安全管理,健全责任体系

加强完善相关安全体系,对各岗位职责进行明确,加强对人员的培训工作,可规范管理流程,防范事故。以现场工况为依据,合理完善余热锅炉安全运行管理办法、检修维护操作规程、事故应急预案等一系列制度规范,清晰界定各岗位人员的职责,做到责任到人,精准管理。同时,严格遵循特种设备注册登记制度要求进行检验检测、安全评估,保障设备始终处于合规、安全的运行状态。组织检修人员、操作人员参加培训工作,培训过程中着重讲解设备的工作原理、故障判断,应急处理方法等,以确保人员可以深入了解并熟练掌握,提高人员的专业素质水平^[10]。培训完成之后统一安排考核,通过后可以上岗工作。这之外,定期组织工作人员参加应急演练活动,通过模拟真实突发场景,实验人员在紧急状况发生下的处理能力,反应能力以及协同配合能力。运用风险评估方法,精准识别热锅炉在运行过程中起的潜在风险点,并根据风险发生的后果严重程度进行合理的分级,对于高风险环节,构建多层次全方位的管控体系,针对受压附近连接部位,在严格控制焊接工艺质量的同时,加强密封性能的监测与维护工作,及时消除风险隐患。

2.5 优化应急处置,降低事故损失

加强完善应急处理机制,以便在事故发生时第一时间进行相应的处理,有效控制事态的发展,从而确保现场人员的安全,降低经济损失。

针对超温超压的事故,加强完善专项应急预案,对应急流程、职责分工、组织框架、救援干预策略等内容进行清晰明确。预案应清晰界定超温超压工况下的初期应急处理措施,及时启动烟气旁路阀,可以有效改变烟气流向,达到降温的效果。通过立即开启安全阀,实施泄压操作可以有效释放系统内的多余压力。切断余热热源供给,避免压力与温度的升高。与此同时,需要精准规划人员的撤离路线,以便在紧急事故发生下,人员能够快速安全的撤离。同时需要配备充足的应急装置,包括耐高温的防护服、应急照明、对讲机、防毒面具、防护手套、急救药品等,定期对装备的完好性进行检测,以确保在紧急状况下可以及时使用。

3 结论

余热锅炉超温超压事故仅会造成人员伤亡,而且会造

成严重的后果,影响范围比较广泛。余热锅炉超温超压事故的发生与制造设计、运行以及管理等多个环节密切相关,因此,为了确保现场人员的安全,降低事故的发生风险,需要构建全生命周期安全防控体系。在设计制造环节应该严格把控参数以及材料,通过合理的选型以及参数优化匹配,完善安全保护装置,从源头降低事故的发生风险。设备运行的过程中,要严格按照标准化的作业程序,同时密切监测各项参数以及水质的动态管理。同时加强对设备的维护与保养工作,加强对人员技能的专业培训,应急管理体系的建设,配备标准化的应急物资装备库,定期开展演练,逐步提升应急的响应效能。工业企业应充分认识余热锅炉安全运行的重要性,根据现场的具体情况将防范措施落到实处,确保设备可以安全高效的运行,预防超温超压事故发生率,保障生产安全,推动余热回收利用产业持续健康发展。未来可引入 AI 算法预测压力异常趋势,拓展监测温度等参数,开发移动端 APP 提升操作便捷性。

[参考文献]

- [1]徐国望,易彬.催化裂化余热炉主体设备腐蚀成因分析与对策[J].长炼科技,2018,11(4):45-48.
 - [2]陈阳.催化裂化装置高温烟气管道焊缝开裂原因分析及应对措施[J].石油化工设备,2024,53(4):74-77.
 - [3]黄修行,麻克栋,韦文业,等.某供热锅炉腐蚀结垢原因分析及化学清洗[J].化学工程与装备,2024,12(8):89-93.
 - [4]张世东.浅析锅炉省煤器泄露事故[J].内蒙古石油化工,2015,41(11):68-70.
 - [5]林张新,姚锐,韦士波.燃气轮机分布式能源技术在导热油余热锅炉项目中的应用[J].今日制造与升级,2024,11(1):127-129.
 - [6]崔新房,尤德峰,赵宇龙,等.上置式烧结合余热锅炉在环冷机余热回收利用实践[J].冶金动力,2023(5):114-118.
 - [7]陈嵩涛,朱德力,刘军,等.焚烧炉—余热锅炉系统不同负荷下运行能效与分析[J].锅炉技术,2023,54(5):61-65.
 - [8]魏铭毅,张暄博,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.
 - [9]刘永明.某水泥厂余热发电系统用风测试及分析[J].建材技术与应用,2023,11(1):39-41.
 - [10]唐寅,闫城,朱静,等.基于传热性能变化的余热锅炉故障诊断及应用[J].热能动力工程,2022,37(10):156-161.
- 作者简介:张靖衍(1988.5—),毕业院校:河北联合大学轻工学院,所学专业:热能与动力工程,当前就业单位:河北诺聘网络科技有限公司,职务:职员,职称级别:中级。