

高参数超临界锅炉受热面磨损机理及检修维护策略改进

孟凡宇

福建华电可门发电有限公司, 福建省福州市, 350512;

摘要: 高参数超临界锅炉作为电力生产领域的核心设备, 其运行效率与安全性直接影响电力系统的稳定供应。受热面作为锅炉的关键组成部分, 在长期运行过程中易受磨损影响, 导致设备寿命缩短、故障频发, 甚至引发严重的安全事故。本文围绕高参数超临界锅炉受热面磨损问题展开研究, 深入分析磨损产生的机理, 从气流运动、颗粒冲击、受热面结构及运行工况等方面探究磨损的主要影响因素。在此基础上, 针对当前检修维护工作中存在的不足, 提出一系列改进策略, 包括优化检修周期、创新检测技术、完善维护手段等, 旨在为提高高参数超临界锅炉受热面的运行可靠性、延长设备使用寿命提供理论支持与实践参考。

关键词: 高参数超临界锅炉; 磨损机理; 检修维护

DOI: 10. 64216/3080-1508. 25. 11. 038

引言

随着电力工业向高效节能环保发展, 高参数超临界锅炉因热效率高、污染物排放低, 在火力发电中广泛应用。受热面作为锅炉换热核心部件, 负责传递燃料燃烧热量, 但在高参数高负荷工况下, 长期受烟气、飞灰作用, 磨损问题突出。

受热面磨损会导致管壁减薄, 降低承载与换热能力, 还可能引发管壁破裂、介质泄漏等故障, 影响锅炉运行、造成经济损失, 甚至威胁人员安全。因此, 深入研究其磨损机理、制定科学检修维护策略, 对保障锅炉安全稳定运行意义重大。

目前国内外学者虽在受热面磨损研究与检修技术上有成果, 但高参数超临界锅炉技术发展使运行工况更苛刻、磨损影响因素更复杂, 传统机理分析与检修策略已不适用, 需进一步研究优化, 为锅炉安全可靠运行提供保障。

1 高参数超临界锅炉受热面磨损机理分析

高参数超临界锅炉受热面磨损是多因素作用的复杂物理过程, 核心机理可分为三方面:

1.1 气流携带颗粒冲击磨损

这是受热面磨损的主要形式, 磨损程度取决于飞灰颗粒特性、气流速度及冲击角度。

飞灰颗粒特性直接影响磨损: 颗粒硬度越高, 对管壁的切削研磨作用越强; 粒径与质量越大, 冲击时动能越大, 磨损越明显; 棱角颗粒比圆形颗粒更易造成管壁损伤。

气流速度是关键影响因素, 磨损量与气流速度的三次方甚至更高次方成正比。高参数超临界锅炉为保证换

热效果, 受热面区域烟气流速较高, 使飞灰颗粒获得大动能, 冲击管壁时磨损作用强烈, 一旦流速超临界值, 磨损量会急剧增加。

冲击角度也显著影响磨损: 颗粒小角度(近切线)冲击时以切削磨损为主, 磨损量较大; 大角度(近垂直)冲击时以挤压、疲劳磨损为主, 磨损量较小。因受热面结构复杂、气流运动不均, 颗粒冲击角度多样, 导致不同区域磨损程度差异明显。

1.2 受热面结构不合理导致的局部磨损加剧

结构设计缺陷易造成局部气流异常或颗粒聚集, 加剧磨损。

弯头、三通等管件是磨损高发区: 气流在此处转向易产生涡流与加速, 使飞灰颗粒速度、浓度骤增, 对管件内壁形成强烈冲击。管束排列也影响磨损: 排列过密会缩小气流通道的, 导致局部流速升高; 排列不均则造成气流分布失衡, 形成高流速区域, 这些区域均易成为磨损重点部位。

此外, 受热面积灰、结渣会间接加剧磨损: 积灰与结渣会改变气流通道形状和截面积, 导致局部流速变化; 且灰渣层易在气流与颗粒作用下脱落, 脱落的大块灰渣被气流携带冲击受热面, 引发严重磨损。

1.3 运行工况波动引发的磨损

锅炉启动、停运、负荷调整及参数偏离设计值, 均会加剧受热面磨损。

启动与停运时, 炉膛温度剧烈变化使受热面热胀冷缩, 导致其与支撑结构相对位移, 破坏表面保护膜或氧化层, 暴露的新鲜金属更易受烟气、飞灰磨损; 同时, 此阶段气流速度与颗粒浓度不稳定, 易出现气流紊乱,

进一步加重磨损。

负荷调整时,燃料与送风量变化导致烟气量、气流速度改变:负荷骤增会使气流速度升高,飞灰颗粒动能增大,冲击磨损增强;负荷骤降则可能导致颗粒沉积,后续负荷回升时,沉积颗粒被气流重新携带,对受热面造成更严重磨损。

运行参数偏离设计值也会加剧磨损:过量空气系数过大时,烟气量增加、流速升高,且飞灰氧化性增强;燃料灰分过高则会提高飞灰颗粒浓度,均会增加颗粒冲击磨损概率。

2 高参数超临界锅炉受热面检修维护现状及存在问题

2.1 检修维护现状

当前高参数超临界锅炉受热面检修维护以定期检修为主,结合日常巡检与故障维修。定期检修按固定周期开展全面检查,覆盖受热面外观、壁厚、焊缝等,及时处理缺陷;日常巡检由工作人员定期核查运行参数与受热面外观,排查异常;故障维修则在故障后紧急修复,恢复锅炉运行。

检测技术上,主流采用超声波、射线、磁粉等传统方法,可精准检测壁厚与焊缝缺陷;部分电厂已尝试红外热成像、内窥镜等新技术,以提升检测效率与准确性。

维护手段主要包括清灰、防磨涂层喷涂与管壁更换。清灰多采用机械或高压水射流方式,清除积灰结渣;磨损严重区域喷涂耐磨涂层以增强耐磨性;管壁磨损至无法修复时,则进行更换处理。

2.2 存在问题

尽管当前的检修维护工作在一定程度上保障了高参数超临界锅炉受热面的运行安全,但在实际应用过程中仍存在诸多问题,主要表现在以下几个方面:

2.2.1 检修周期不合理

目前采用的定期检修周期主要基于经验制定,缺乏对受热面实际磨损状况的科学评估。这种固定的检修周期可能导致以下问题:一方面,对于磨损程度较轻的受热面,过早进行检修会造成人力、物力和财力的浪费,增加检修成本;另一方面,对于磨损程度严重的受热面,若未能及时进行检修,可能会导致缺陷扩大,引发严重的安全事故,影响锅炉的正常运行。

2.2.2 检测技术存在局限性

传统的检测方法虽然能够有效发现受热面的大部分缺陷,但在检测过程中仍存在一定的局限性。例如,

超声波检测需要工作人员在现场进行操作,对于一些位置隐蔽、空间狭窄的受热面区域,检测难度较大,容易出现检测盲区;射线检测对人体有辐射危害,需要采取严格的防护措施,检测效率较低;磁粉检测仅适用于铁磁性材料,对于非铁磁性材料的受热面无法进行检测。此外,传统检测方法大多属于离线检测,需要在锅炉停运状态下进行,无法实时监测受热面的磨损状况,难以及时发现运行过程中出现的突发故障。

2.2.3 维护手段不够完善

在维护手段方面,虽然清灰、防磨涂层喷涂等方法得到了广泛应用,但仍存在一些问题。例如,机械清灰容易对受热面表面造成损伤,尤其是对于管壁较薄的受热面,可能会加剧磨损;高压水射流清灰虽然清灰效果较好,但需要控制好水压和清洗时间,否则容易破坏受热面的氧化层;防磨涂层的使用寿命有限,且在喷涂过程中若工艺控制不当,涂层容易出现脱落、开裂等问题,影响防磨效果。此外,对于受热面的局部磨损,目前缺乏有效的针对性维护措施,往往需要对整个受热面部件进行更换,增加了维护成本。

2.2.4 检修维护管理水平有待提高

部分电厂在高参数超临界锅炉受热面的检修维护管理方面存在不足,主要表现在以下几个方面:一是缺乏完善的检修维护管理制度,检修工作的规范性和标准化程度较低,容易出现检修质量不达标、检修记录不完整等问题;二是检修人员的专业素质参差不齐,部分检修人员对高参数超临界锅炉的结构特点和磨损机理了解不够深入,在检修过程中难以准确判断缺陷的性质和严重程度,影响检修效果;三是缺乏有效的信息管理系统,无法对受热面的检修维护历史数据、运行数据等进行有效整合和分析,难以为检修维护策略的优化提供数据支持。

3 高参数超临界锅炉受热面检修维护策略改进

针对当前检修维护工作的不足,结合受热面磨损机理,从优化检修周期、创新检测技术、完善维护手段、提升管理水平及强化保障措施五方面,提出如下改进策略:

3.1 优化检修周期,实施状态检修

为避免定期检修的盲目性,需建立基于受热面实际磨损状态的检修模式。首先,构建磨损状态评估体系:定期检测受热面壁厚、表面粗糙度、涂层完好率等参数,结合锅炉运行负荷、燃料特性等数据,采用模糊综合评价法、神经网络等确定受热面剩余寿命与检修优先级。

其次,制定动态检修计划:依据评估结果,对磨损轻、寿命长的受热面延长检修周期,对磨损重、有潜在缺陷的缩短周期,并结合年度运行计划合理安排检修时间,避开高负荷时段。此外,加强在线监测,通过安装磨损、压力、温度传感器,实时监测受热面状态,数据异常时及时调整检修计划。

3.2 创新检测技术,提高检测效率和准确性

为克服传统检测局限,需引入新型检测技术。一是推广在线检测技术:利用超声波在线检测实时监测管壁厚度,通过红外热成像检测表面温度分布,间接判断磨损与积灰情况,实现锅炉不停运检测。二是研发应用机器人检测技术:针对隐蔽、恶劣区域,研发专用检测机器人,凭借灵活运动机构与先进设备,完成受热面全方位检测并实时传输数据,提升检测安全性与效率。三是引入大数据与人工智能技术:整合检测、运行、检修数据,挖掘规律趋势;建立磨损预测模型,通过机器学习预测壁厚变化,为检修提供科学依据。

3.3 完善维护手段,提高受热面耐磨性

针对现有维护缺陷,需创新维护技术。一是优化清灰技术:研发脉冲气流清灰(利用气流冲击力除灰,损伤小)与超声波清灰(无接触、效率高),减少清灰对受热面的损伤。二是改进防磨涂层技术:研发陶瓷基复合、金属陶瓷等高性能涂层,采用等离子、超音速火焰喷涂工艺提升涂层质量,同时加强涂层监测与修复。三是采用局部防磨措施:在弯头加装耐磨衬板、管束迎风面设防磨罩,对磨损管壁堆焊耐磨合金,针对性解决局部磨损问题。

3.4 提升检修维护管理水平,保障检修质量

需从制度、人员、信息系统三方面提升管理水平。一是建立完善管理制度:制定检修规程与标准,规范操作;建立质量验收与记录制度,确保检修质量并留存数据。二是加强人员培训:定期开展理论培训(锅炉结构、磨损机理、新型技术)与实操演练,通过技能考核与绩效挂钩,提升检修人员专业素质。三是建立信息管理系统:构建涵盖受热面全生命周期数据的平台,实现信息查询、磨损趋势分析与检修流程化管理,同时与运行控制系统联动,动态监测预警。

3.5 强化策略实施保障措施

为确保策略落地,需构建多维度保障体系。组织上,

成立专项管理小组,明确职责,建立运行、检修、技术部门联动机制。技术上,与科研院所、高校合作引进先进技术,加强内部研发,提升自主解决问题能力。资金上,合理安排预算,保障设备购置、技术研发等投入,建立资金监督机制,提高使用效率。

4 结论与展望

4.1 结论

本文研究表明,高参数超临界锅炉受热面磨损由多因素导致:气流携带颗粒冲击是主因,受飞灰特性、气流速度及冲击角度影响;结构不合理(如弯头、管束排列不当)加剧局部磨损;运行工况波动则破坏表面保护层,进一步恶化磨损。当前检修维护存在不足:检修周期不科学、传统检测有局限、维护手段针对性差、管理体系不完善。而基于磨损状态的动态检修、新型检测技术推广、防磨与清灰技术优化及管理体系完善等改进策略,可多维度保障受热面安全运行。

4.2 展望

未来可从四方面深入研究:磨损机理上,结合数值模拟与实验,分析极端工况下颗粒运动及气流场作用,构建精准预测模型;检测技术上,研发小型化耐高温在线传感器,优化检测机器人多参数同步检测能力;维护技术上,攻关长效自修复防磨涂层,探索绿色清灰及模块化修复技术;管理模式上,借数字孪生技术实现可视化管理,推动行业建立统一检修维护标准,助力电力工业高质量发展。

参考文献

- [1]柳青,阎维平.电站锅炉尾部受热面磨损及防磨途径的探讨[J].电站系统工程,2005,21(004):47-48. DOI:10.3969/j.issn.1005-006X.2005.04.020.
- [2]杜宝忠.循环流化床锅炉炉膛受热面磨损及预防技术研究[D].华北电力大学,2014. DOI:10.7666/d.Y2658627.
- [3]王世山.循环流化床锅炉受热面磨损的数学模型及预防措施[J].热力发电,2007,036(002):24-27. DOI:10.3969/j.issn.1002-3364.2007.02.007.
- [4]李明,白文海,赵志红.循环流化床锅炉受热面磨损分析及其防治措施[J].特种设备安全技术,2009.
- [5]杨磊,李振庆,刘景新,等.基于磨损机理的电站锅炉磨损伤伤模式浅析[J].电站系统工程,2015(006):031.