

火力发电厂锅炉飞灰含碳在线测量装置故障分析及措施

马 龙

宁夏枣泉发电有限责任公司, 宁夏 银川 750411

[摘要] 火力发电厂锅炉飞灰含碳量是衡量燃烧效率的重要指标, 其实时监测对优化锅炉运行、降低发电成本具有重要意义。本文基于某电厂 HQCT-I 智能型飞灰测碳仪的应用实例, 系统分析了在线测量装置的常见故障类型及成因, 结合设备结构、测量原理和现场运维经验, 提出了针对性的故障排除措施与优化改进方案。研究结果表明, 通过硬件改进、软件优化和标准化管理, 可显著提升装置可靠性, 为同类设备的故障预防与维护提供参考。

[关键词] 火力发电厂; 飞灰含碳量; 在线测量; 故障分析; 优化措施

DOI: 10.33142/hst.v8i3.15837

中图分类号: TK229.63

文献标识码: A

Fault Analysis and Measures of Online Measuring Device for Carbon Content in Boiler Fly Ash of Thermal Power Plant

MA Long

Ningxia Zaoquan Power Generation Co., Ltd., Yinchuan, Ningxia, 750411, China

Abstract: The carbon content in fly ash of thermal power plant boilers is an important indicator for measuring combustion efficiency. Real time monitoring is of great significance for optimizing boiler operation and reducing power generation costs. This article is based on an application example of the HQCT-I intelligent fly ash carbon analyzer in a power plant. It systematically analyzes the common types and causes of faults in online measuring devices, and proposes targeted troubleshooting measures and optimization improvement plans based on equipment structure, measurement principles, and on-site operation and maintenance experience. The research results indicate that through hardware improvement, software optimization, and standardized management, the reliability of the device can be significantly improved, providing reference for fault prevention and maintenance of similar equipment.

Keywords: thermal power plants; carbon content in fly ash; online measurement; fault analysis; optimization measures

燃煤锅炉飞灰含碳量的实时监测是火力发电厂节能降耗的关键环节。传统化学灼烧失重法存在滞后性, 而基于微波谐振原理的在线测量技术(如 HQCT-I 系统)虽能实现连续检测, 但在实际应用中常因设备故障导致数据失准。

1 火力发电厂锅炉飞灰含碳测量装置概述

1.1 锅炉飞灰的定义与特性

飞灰指的是燃煤锅炉尾部烟气中的固体颗粒物, 其成分主要包括未燃尽的碳、硅酸盐及金属氧化物。作为衡量燃烧效率的重要参数, 飞灰的含碳量直接关系到锅炉的热效率及污染物的排放水平。当煤粉的燃烧不完全时, 未燃尽的碳将以飞灰形式进入烟气中, 因此, 飞灰中碳含量较高通常意味着燃烧效率较低, 这会导致更多的燃料消耗与碳排放。

飞灰的组成及其特性对锅炉的运行效率及污染物排放水平有着直接的影响。对飞灰含碳量进行实时监测, 有助于优化锅炉的燃烧过程, 提升锅炉的整体热效率, 减少环境污染。飞灰中的碳颗粒能够有效吸收微波能量, 通过微波能量的衰减, 能够反映飞灰中的碳含量, 进而为在线测量技术提供理论支持。

1.2 在线测量装置的工作原理

HQCT-I 智能型飞灰测碳仪表系统利用微波谐振原理进行飞灰含碳量的在线测量。该原理基于飞灰中的碳颗粒

能够吸收微波能量, 导致微波能量衰减。通过检测衰减量, 系统能够反演出飞灰的含碳量。该系统由取样装置和仪表机柜两大部分组成。取样装置包括取样枪、旋流集尘器及排烟管, 负责从锅炉尾部烟道中采集飞灰样本。而仪表机柜则包含微波测量单元、振打单元及嵌入式 PC 处理单元等, 负责信号测量、数据处理与传输。微波测量单元通过谐振腔探测微波能量衰减, 并将其转换为飞灰含碳量的数值, 从而确保飞灰含碳量的实时监测, 显著提高了测量的准确性和实时性。

1.3 现有测量技术与设备

传统的飞灰含碳量测量方法依赖化学灼烧失重法。尽管这种方法具有较高的精度, 但由于其滞后性, 未能提供实时数据, 而且分析周期较长, 影响了锅炉燃烧优化的及时性。相比之下, 基于微波谐振原理的 HQCT-I 在线测量设备能够提供飞灰含碳量的连续、实时监测。这些设备能够迅速响应锅炉燃烧条件的变化, 并通过实时反馈帮助调整燃烧参数, 从而优化燃烧效率。

2 飞灰含碳在线测量装置故障分析

2.1 设备硬件故障分析

2.1.1 传感器故障

飞灰含碳在线测量装置中的传感器负责接收与处理

微波信号。传感器通过微波谐振原理工作,飞灰中的碳粒吸收微波能量,导致微波能量衰减,衰减量与飞灰中碳含量呈正相关。然而,传感器的测量精度往往会受到飞灰物理性质的影响,尤其是在飞灰颗粒结块或受到污染时,微波谐振腔的传感效果会显著下降。结块的飞灰会阻碍微波的传递,导致衰减信号异常,从而影响测量结果。如果未能及时清理传感器或传感器被污染,测量数据会偏离真实值,进而影响燃烧优化的效果。高温、高压或腐蚀性环境中,传感器也可能因长期使用而性能退化。为了确保传感器的可靠性,必须定期进行清洁、维护及状态检查,避免灰尘、污染物及外界温度的变化对其性能产生负面影响。

2.1.2 电气连接故障

飞灰含碳在线测量装置内部的电气连接系统对于设备的正常运行至关重要,它确保了各组件之间的通信与数据传输。如果电气连接发生故障,通常表现为振打单元电路接触不良或电源波动,这可能导致设备误动作或运行不稳定。振打单元接触不良会使振动不均匀,影响取样装置的正常工作,甚至导致振打装置卡涩,无法有效清理飞灰样本,进而影响测量精度。电源波动也是常见的电气故障原因。在设备运行时,电源的稳定性要求较高。电源电压波动可能导致微波源、嵌入式PC处理单元及其他控制系统的异常工作,进一步影响测量结果的准确性,甚至可能损坏设备^[1]。为了确保设备正常运行,电源的稳定性至关重要,尤其是在电力系统波动较大的环境中,需配备稳压装置及滤波器,以防电源波动影响设备运行。

2.1.3 控制系统故障

控制系统是飞灰含碳在线测量装置的“大脑”,负责协调各硬件模块的运行及数据处理。温控仪或固态继电器失效时,可能导致空气加热单元的温度失控,引发一系列问题。温控仪失效可能导致空气加热单元无法精确调节温度,影响飞灰样本的采集与传输。固态继电器故障则可能导致加热系统不稳定。该继电器控制加热元件的工作,失效后温度调节失灵,导致温度波动异常,影响设备的正常工作,甚至损害其他硬件组件。为了避免此类故障的发生,必须定期检查并校准控制系统,确保温控仪、固态继电器及其他控制组件正常运行。

2.2 软件系统故障分析

2.2.1 数据处理与算法错误

飞灰含碳量的在线测量依赖嵌入式PC进行数据处理与分析。嵌入式PC依据微波测量单元收集的数据,结合标定系数与算法模型来计算飞灰含碳量。然而,算法精度会受到煤种变化、煤质波动等多种因素的影响。如果标定系数未能及时更新,或者算法未能有效适应煤种的变化,测量结果可能出现偏差。例如,不同煤种的碳粒含量及分布差异会对微波能量的吸收特性产生影响。如果算法未对煤种变化作出调整,测量结果将无法准确反映飞灰的真实

含碳量。

2.2.2 系统配置与调试问题

飞灰含碳在线测量装置的正常运行需要合理的系统配置与调试。配置错误或通信模块参数设置不当,会导致数据传输失败。例如,RS-485通信模块常用于设备与上位机之间的数据传输,但若通信地址设置发生冲突,系统就无法正常接收数据。

2.3 外部因素导致的故障

2.3.1 环境影响

飞灰含碳在线测量装置的稳定性与运行环境密切相关。取样枪尾部温度过低时,飞灰样本可能结露,导致取样管路堵塞。低温环境会使得取样枪尾部温度下降,从而使飞灰中的水分凝结成固体,阻碍灰样的流动,进而影响测量数据的准确性^[2]。烟道振动也可能对测量装置产生影响。振动可能导致密封件松动,进而引发漏灰现象,影响测量精度,还可能导致设备内部部件的磨损或腐蚀。为避免外部环境因素对设备的干扰,取样枪应安装在适宜的环境中,并确保设备的密封性,以提高设备的稳定性与准确性。

2.3.2 操作误差

操作误差是导致飞灰含碳在线测量装置故障的重要原因之一。例如,调压喷嘴的开度调整不当,可能导致取灰流量异常,进而影响飞灰样本的采集。喷嘴开度过大或过小都会导致取样量不稳定,从而影响测量数据的准确性。操作人员应确保喷嘴开度保持在正常范围内,以稳定取样流量。另外,振打装置的安装角度对其正常工作有很大影响。若振打装置未安装水平,可能导致振动不均匀,进而引起机械磨损,影响装置的长期使用。振打装置必须水平安装,确保其正常运行,避免因振动不平衡引发设备故障。

3 故障排除与维护措施

3.1 定期检查与预防性维护

定期检查与预防性维护是飞灰含碳在线测量装置长期稳定运行的基础。管路密封性检查是保障测量精度的关键因素之一。每周检查管路密封性并定期清理旋流集尘器是预防故障的有效措施。旋流集尘器在工作过程中容易积聚灰尘,若不定期清理,灰尘堆积可能会影响信号传输,甚至堵塞取样装置,从而影响飞灰样本的采集。定期检查管路的畅通性,可有效减少因堵塞而导致的设备故障。防堵过滤装置的更换也在预防性维护中占据重要地位。每季度更换防堵过滤装置,确保灰尘与杂质不会堵塞系统的关键部件,保持系统的高效运作。与此同时,必须校验微波测量单元的信号稳定性,以确保测量结果的准确性。通过这种定期的检查与维护,可大大降低设备故障率,并确保飞灰含碳在线测量装置始终具备高测量精度。

3.2 故障诊断与排除流程

当设备发生故障时,及时的故障诊断与排除是恢复测量装置正常工作的重要环节。故障排查的第一步应当聚焦

于硬件问题的识别。对于振打装置卡涩的现象,应当优先检查弹簧的弹力与安装方向是否符合要求。弹簧弹力不足或安装方向不当,都可能导致振打装置无法正常工作,影响飞灰样本的取样效率。若微波源出现供电异常,应立即检查电源电压的稳定性以及供电线路的正常性。电源电压波动较大时,应及时加装稳压装置以确保微波源稳定运行,避免供电异常导致的微波信号不稳定,进而影响测量精度^[3]。在处理软件故障时,重启嵌入式 PC 系统通常是解决暂时性软件错误与数据传输问题的有效方法。如果问题依旧存在,则可能是标定系数存在偏差或算法未适应煤种变化。此时,重新标定算法系数,确保算法与当前煤种的匹配,将有助于提升数据处理的准确性。

3.3 设备校准与数据校验

设备的定期校准与数据校验对确保飞灰含碳在线测量装置的准确性至关重要。每月采集飞灰样本并与实验室化验结果进行比对,是保证测量准确性的核心步骤。通过将实验室分析结果与设备测量数据进行比对,可以及时调整标定曲线,确保测量结果始终维持在一个准确范围内。定期的校准与比对不仅能保持设备精度,还能提高测量数据的可靠性。随着飞灰样本的变化,设备标定系数也需要进行动态调整。利用 GPRS 远程诊断模块对设备状态进行实时监控,操作人员能够及时发现设备偏差,并可远程调整参数,从而避免测量误差的发生。远程诊断功能有效地减少了故障响应时间,确保设备始终处于最佳工作状态,从而提高了设备运行的稳定性与可靠性。

3.4 设备升级与技术改进

随着技术的不断进步,飞灰含碳在线测量装置的设备升级与技术改进是提升设备性能与稳定性的有效途径。采用低振动电动振打马达替代传统气动装置,能够有效减少机械磨损。气动振打装置虽具有优越的性能,但较大的振动强度可能对设备产生长期磨损。相比之下,电动振打马达能提供稳定的振动强度,且振动较小,从而有效降低机械磨损,延长设备使用寿命。温控系统对于飞灰含碳在线测量装置的稳定运行至关重要。通过升级温控系统的 PID 算法,可提高加热单元的温度稳定性,确保设备在各种环境条件下都能保持稳定工作。PID 算法的优化使温控系统能够更精准地调节加热元件的输出功率,从而减少因温度波动引发的故障风险。温控系统的持续优化将大大提升设备的整体稳定性,为飞灰含碳在线测量装置提供更可靠的运行保障。

4 飞灰含碳在线测量装置的优化设计与改进

4.1 技术改进与设备升级

延长飞灰含碳在线测量装置使用寿命的一项关键技术改进是定制耐磨陶瓷取样枪嘴。在传统的高温高压工作环境中,取样枪嘴容易因摩擦与腐蚀而发生磨损,从而影响测量精度及设备稳定性。采用耐磨陶瓷取样枪嘴能显著

增强其耐用性与抗腐蚀性,延长设备使用寿命,减少因磨损或腐蚀带来的故障发生率。另一个关键的设备升级是引入冗余通信模块,特别是双 RS-485 接口设计。这项设计的核心目的是增强数据传输的稳定性。传统的单一通信接口可能因线路故障或信号干扰导致数据传输中断,从而影响飞灰含碳数据的实时监测。引入双 RS-485 接口后,若其中一个接口发生故障,另一个接口仍能正常工作,避免了通信故障导致的数据丢失或系统停机。冗余通信模块的引入,也使系统在复杂工业环境下具有更强的容错能力,确保设备稳定运行。

4.2 数据处理算法优化

飞灰含碳在线测量装置的测量精度与稳定性,在很大程度上取决于数据处理算法的有效性。为了应对煤种差异带来的影响,采用机器学习技术建立煤种自适应模型成为解决这一问题的有效方法。煤种的不同会影响飞灰中碳颗粒的分布及含量,进而改变微波能量的吸收特性,从而影响测量结果。自适应模型的建立依赖大数据分析技术,通过分析历史煤种数据及其对应的飞灰含碳量,可以有效预测并调整不同煤种下的测量误差,确保测量结果的准确性与可靠性。随着时间的推移,机器学习模型会不断优化,适应更为复杂的煤种变化,从而提升飞灰含碳在线测量装置的测量精度及系统稳定性。

4.3 自动化与智能化水平提升

自动化与智能化水平的提升已成为飞灰含碳在线测量装置未来发展的核心。通过集成 AI 诊断系统,设备的智能化水平得到了显著提升。AI 诊断系统实时监控设备状态,能够自动识别振打装置等关键部件的异常振动模式,及时发出预警。系统通过分析设备的运行数据,检测到振打装置的异常振动情况(如振动过大或频率异常),并根据设定标准发出警报,提醒操作人员进行检修或调整。AI 诊断系统不仅提升了设备的运行安全性,还能显著减少人工干预的频率,减轻操作人员的负担。当设备发生故障或异常时,AI 系统能自动识别并进行初步诊断,为维修人员提供准确的故障信息,从而缩短故障排除时间,增强设备的可靠性与稳定性。

4.4 远程监控与智能诊断系统

随着信息技术的发展,远程监控与智能诊断系统已成为飞灰含碳在线测量装置优化的重要方向。通过开发云端数据平台,能够实现多个机组飞灰含碳数据的集中管理与横向对比。该平台不仅能够实时采集并存储不同机组的飞灰含碳数据,还能通过数据分析与比对,帮助管理人员快速发现潜在问题并及时进行调整^[4]。云平台还支持远程诊断功能,技术人员可以通过远程连接访问设备实时数据,分析故障原因并提出解决方案。

5 结语

飞灰含碳在线测量装置的稳定运行是火力发电厂优

化燃烧控制的基础。本文通过故障分析与改进实践表明,结合硬件维护、软件优化与智能化升级,可显著降低设备故障率。未来研究需进一步探索多传感器融合技术与全生命周期管理策略,以全面提升在线监测系统的可靠性与经济性。

[参考文献]

- [1]张超,柳宁,绳鹏鹏,等.飞灰含碳在线测量在 660 MW 机组锅炉燃烧中应用[J].冶金能源,2024,43(1):54-56.
[2]徐珂.火电厂运行调整及锅炉燃烧调整对飞灰品质的

影响[J].科技资讯,2024(1):1.

[3]李振丞.循环流化床锅炉飞灰含碳量问题[J].电力设备管理,2024(13):237-239.

[4]包有超,薛宁涛.燃煤锅炉掺烧高挥发分煤种爆燃原因分析及解决措施[J].设备管理与维修,2024(16):156-159.

作者简介:马龙(1995.1—),男,学历:大学本科,毕业院校:华北电力大学,所学专业:自动化,目前职称:助理工程师。