

基于智能感知的 火力发电厂输煤系统除尘器协同控制

文 ◆ 四川白马循环流化床示范电站有限责任公司 陆 刚

引言

火电厂是供电单位，火电厂能否正常稳定运行直接决定了国家或地区经济社会的发展速度和发展水平。输煤系统是电厂燃料的重要来源，“生命线”指的是从受煤仓卸煤到把煤送到锅炉燃烧之前这段系统的工作过程，包括燃料接卸、贮存、掺烧、采制化等工作。其中，煤炭在搬运、破碎筛分以及输煤过程中产生的扬尘均占比较大。这些粉尘不仅会造成环境污染，无法达到国家相关要求，还会磨损输煤系统机械设备部件，造成维护成本增大，甚至引发粉尘爆炸事故，严重危及电厂的安全生产^[1]。

基于此，本文利用智能感知技术实现对火力发电厂输煤系统除尘器的协同控制，首先，分析输煤系统粉尘的来源及特点，并结合智能感知技术建立粉尘监测网；其次，设计除尘器协同控制策略，实现多设备联动调节；最后，试验验证优化方案。研究表明，基于智能感知的协同控制优化可有效提高除尘效率，降低能耗，对火力发电厂输煤系统的粉尘治理提供了一种新的方法。

1 输煤系统粉尘来源与特性分析

1.1 粉尘来源分析

火力发电厂输煤系统的粉尘主要来源于燃料接卸、存储、输送、破碎、筛分以及掺烧等环节。在燃料储存过程中，煤炭一般存放在煤场或煤仓中。使用堆取料机进行堆料或取料时，由于煤炭存在落差，会产生大量粉尘，经过风吹，煤炭表层会被带起尘土并飞散开来，形成扬沙。

在运输燃料时，皮带输送机通过转载点、落料点等位置时，因煤炭下落碰撞以及空气扰动等因素会产生大量粉尘。此外，皮带的跑偏、打滑等问题同样会产生大量粉尘^[2]。

在燃料破碎和筛分环节，煤炭在破碎机和筛分机中受到挤压、剪切、撞击等作用而被破碎和筛分，在此过程中会产生大量细小的粉尘颗粒，且由于设备内部的高速运动，粉尘会随气流而扩散到设备外部。

1.2 粉尘特性分析

该系统产生的粉尘以煤粒为主，其性质主要包括粉尘浓度、粒径分布、密度、比电阻等。其中，粉尘浓度方面，由于不同环节间存在一定差别，如破碎筛分环节粉尘浓度较高，而相对封闭的储存区域则粉尘浓度较低。粒径方面，输煤系统的粉尘粒径范围较大，从几微米到数百微米不等。粒径小于 $10\mu\text{m}$ 的粉尘具有较强的扩散性和吸附性，且容易随风飘扬进入人体，对人体健康造成损害；粒径大于 $10\mu\text{m}$ 的粉尘则易于沉降于设备表面或地面，不仅造成环境污染，还会影响设备

【作者简介】陆刚（1970—），男，江苏南通人，本科，工程师，研究方向：电厂输煤等。

运转。粉尘的密度随燃煤的种类及品质不同而有所差别，一般在 $1.2\text{g}/\text{cm}^3 \sim 1.6\text{g}/\text{cm}^3$ 之间。粉尘比电阻则是衡量静电除尘器除尘效果的重要参数。输煤系统的粉尘比电阻主要受到粉尘成分、温度以及湿度等因素影响，在不同工况下亦不相同。

2 除尘器协同控制策略的具体实施

2.1 协同控制架构搭建

搭建“监测—分析—决策—执行”的闭环协同控制架构，以智能感知获取的粉尘浓度、设备状态等数据为基础，通过数据处理中心的分析模型生成控制指令，再由各除尘器执行终端完成参数调整。其中，监测层负责实时采集输煤系统各环节的粉尘浓度、温湿度以及除尘器运行参数；分析层运用大数据算法识别粉尘变化趋势和设备运行规律；决策层根据分析结果制定最优控制方案；执行层则精准调节除尘器的风量、风压、清灰周期等参数，确保各设备协调运作^[3]。

2.2 分区域协同控制逻辑

针对燃料接卸区、破碎筛分区、皮带输送转载点等不同区域的粉尘特性，制定差异化协同控制逻辑。燃料接卸区出现瞬时高浓度粉尘时，先启动微雾抑尘装置形成水雾屏障，同时联动脉冲布袋除尘器处理逸散粉尘，二者配合时间控制在5s内；破碎筛分区持续高浓度扬尘时，由容积式导料槽进行初级沉降，再启动多管冲击式除尘器和湿式多级旋流除尘器分级处理，根据粉尘浓度动态调整三者的运行功率占比；皮带输送转载点粉尘浓度较低时，以无动力除尘器为主，当

浓度超过阈值，自动启动烧结板除尘器辅助过滤，同时适当降低皮带运行速度减少扬尘。

2.3 设备参数动态调节方法

基于实时监测数据，对各类除尘器的核心参数进行动态调节。脉冲布袋除尘器根据滤袋表面粉尘附着量调整清灰周期，当附着量达到设定值时，自动缩短清灰间隔；湿式多级旋流除尘器依据粉尘浓度变化调节进水量和风速，浓度升高时增加水量并提高风速，增强分离效果；微雾抑尘装置根据粉尘粒径分布改变雾粒大小和喷雾量，针对细小粉尘减小雾粒直径并加大喷雾强度，确保水雾与粉尘充分接触。

2.4 故障协同应对机制

建立设备故障协同应对机制，当某台除尘器出现故障时，系统立即启动备用设备或调整周边除尘器的运行参数，弥补除尘能力缺口。例如，若脉冲布袋除尘器发生滤袋破损，数据处理中心会迅速指令相邻的湿式多级旋流除尘器提高运行功率，并发出维修警报；若微雾抑尘装置因喷嘴堵塞停运，将自动增加对应区域脉冲布袋除尘器的风量，避免粉尘浓度上升，保障输煤系统除尘效果的稳定性。

3 实验验证与结果分析

3.1 实验方案设计

为验证基于智能感知的火力发电厂输煤系统除尘器协同控制优化模型的有效性，在某火力发电厂的输煤系统进行了现场实验。

该厂#1机组输煤系统原设计共有13台除尘器（布袋除尘器7台，静电除尘器6台），#2机组输煤系统原设计共有26台静电除尘器。先后对除尘器实施了以下改造。

（1）对#2机组二级破碎机室和#8转运站的4台静电除尘器、#1机组一级破碎机室和二级碎煤机室的4台布袋除尘器进行了无动力除尘装置改造^[4]。

（2）将#1、#2机组煤仓和筒仓的静电除尘器改造更换为“脉冲式布袋除尘器+煤仓落料口装防尘罩”和微雾抑尘装置。

（3）将#1、#2机组煤仓间转运站的静电除尘器改造更换为脉冲式布袋除尘器。

（4）将#1、#2机组转运站的原静电除尘器和反吹式布袋除尘器改造更换为脉冲式布袋除尘器。

（5）将#2机组一级碎煤机室的原静电除尘器改造更换为多管冲击式除尘器。

实验选取了输煤系统中的燃料接卸区、破碎筛分区、皮带输送转载点等粉尘浓度较高且具有代表性的区域作为实验对象，在这些区域布置了智能传感器，实时监测粉尘浓度、温度、湿度等参数，并对该区域的多台除尘器进行协同控制优化改造。

实验分为两个阶段。第一阶段采用传统的固定参数控制方式运行，让除尘器按照传统的控制方式连续工作一周，记录各个区域的粉尘浓度及除尘器的工作能耗情况。第二阶段运用基于智能感知的协同控制优化模型展开工作，同样连续运行一周并记录数据。

3.2 实验结果分析

数据显示,传统控制方式运行状态下,输煤系统所有实验区域的平均粉尘浓度均为 $12.5\text{mg}/\text{m}^3$ 。其中,破碎筛分区最高,平均值为 $20.3\text{mg}/\text{m}^3$;燃料接卸区次之,平均值为 $15.6\text{mg}/\text{m}^3$;皮带输送转载点最低,平均值为 $8.2\text{mg}/\text{m}^3$ 。

在协同控制优化模型运行后,相较于传统控制方式,各实验区的平均粉尘浓度均大幅降低,破碎筛分区降低到 $9.7\text{mg}/\text{m}^3$,燃料接卸区降到 $7.2\text{mg}/\text{m}^3$,皮带输送转载点可以降到 $3.1\text{mg}/\text{m}^3$ 。

经过协同控制优化模型改造后,输煤系统各个分区的粉尘浓度有所下降,总除尘效率提高了 53.6%,其中对于粉尘浓度最高的破碎筛分、燃料接卸区域除尘效率分别增加了 52.2% 和 53.8%,因此该协同控制优化模型可以有效针对不同的生产环节进行除尘。

能耗方面,在使用传统控制方法的运行阶段,实验区域除尘器的耗能为 8650kWh。在协同控制优化模型的运行阶段,实验区域除尘器的耗能为 6230kWh,相比之前的能耗降低率是 28.0%。

能耗下降的主要原因是,通过协同控制优化模型可以依照粉尘浓度的变化情况来调整除尘器运行的各项参数,粉尘浓度低时,降低除尘器的风量和风压等参数,以降低能耗;粉尘浓度高时则可针对性地提升部分除尘器的相关参数。在此情形下,避免了传统控制方式将除尘器长期维持在高能耗的状态运行的现象^[5]。

此外,不同除尘器间协调工作可以减少无效的能量消耗,避免出现重复除尘、过量除尘问题,从而降低整体能耗。

实验过程中检测了除尘器的运转情况,在采用常规控制方式时,因无除尘器设备运行状态的实时监控及报警功能,出现了 2 台除尘器轻微故障停机现象,进而导致除尘效果降低。而对于协同控制优化模型运行过程,在运行中利用智能感知技术检测到 3 起设备故障隐患,并提前进行了设备检修工作,消除了故障发生的风险,避免了因设备故障导致除尘器出现断续工况的现象。由此可见,协同控制优化模型对于设备运行效率和系统的安全、稳定运行都起到了较大的作用,有助于提高除尘效果,降低能源消耗量,提高设备的稳定性和可靠性。

结语

本文提出的基于智能感知的火力发电厂输煤系统除尘器协同控制优化模型,在现场进行了相关实验验证,通过与原始物理控制方案比较可知,应用该优化模型后能明显提高输煤系统的除尘效果,同时减少除尘器能耗,提高设备运行稳定性能。

就实际使用功能而言,这种协同控制优化模型可以有效利用智能化感知优势对输煤系统的粉尘浓度及设备运行状态实施动态检测与精确控制,同时依据实际工况对除尘器的运行参数进行动态调节,兼顾各种类型的尘粒。该模型适用于各类煤炭运输行业,在火电厂输煤部门使用可以使工作场地更加干净卫生,工人工作更加安全舒适;能降低设备维修费用,提高电厂的经济效益和环保水平;有利于火电厂输煤部门实现减人增效目标,保证安全生产。

然而,本研究尚存在一定问题。一是本文实验在某火力发电厂的输煤系统内完成,由于不同火力发电厂的输煤系统规模、设备配置和运行工况等各不相同,故该模型还需在其他类型的电厂中加以验证与调整。二是模型中采用的优化算法,在试验过程中达到了较好效果,但是对于更为复杂、非线性工况可能存在一定不足,仍需对其进行优化和完善。三是智能感知装置价格较高,运维成本相对较大,会对其他类别的电厂进行推广造成一定阻碍。^[6]

引用

- [1] 余玉霞,杨兴朋.一种输煤系统湿式除尘器:CN202421054614.3[P].CN222428239U[2025-07-13].
- [2] 闫立印.基于智能控制的哈尔乌素露天矿输煤系统高效除尘器应用[J].露天采矿技术,2023,38(1):32-34.
- [3] 吴晓平.输煤系统粉尘治理中的优化改造及应用——以张掖发电公司湿法静电除尘器为例[J].冶金管理,2022(7):57-59.
- [4] 赵桐.国能太仓电厂输煤系统火灾隐患综合治理改造[J].电力设备管理,2024(2):206-208.
- [5] 杨国鑫.火电厂输煤无动力除尘装置改造设计研究[J].电力设备管理,2024(20):107-109.

