

智慧煤场环境粉尘监测与喷雾降尘联动控制优化

王红平

新疆天富能源股份有限公司发电产业天河热电分公司 新疆生产建设兵团石河子市 832000

【摘要】：智慧煤场运行中粉尘浓度变化具有突发性与空间差异性，传统喷雾装置难以对复杂工况做出及时调节，易造成降尘不足或资源浪费。基于实时监测与自动控制理念，将粉尘传感网络、数据处理算法与喷雾设备联动，使喷雾强度、开启时序与喷射范围能够随粉尘变化动态匹配。通过构建多源信息融合模型，提升浓度识别精度，并利用自适应调控思路减少延迟，使喷雾响应更贴近粉尘演化特征。该方式能够在保证降尘效果的同时减少水耗与能耗，为煤场环境治理提供高效化、智能化路径。

【关键词】：智慧煤场；粉尘监测；喷雾联动；降尘优化；自动控制

DOI:10.12417/2811-0722.26.03.054

引言

煤场作业过程中物料翻转载频繁，空气扰动剧烈，粉尘浓度常呈不稳定升高态势，易对设备运行与人员健康造成不利影响。随着传感技术和智能控制技术的快速发展，粉尘监测数据已能够在更高精度和更短周期内获得，为构建动态化降尘机制奠定基础。粉尘生成具有瞬时性和区域性特征，若喷雾响应滞后或强度不匹配，便会使降尘效果大幅削弱。将监测数据与喷雾动作紧密联动，可使喷雾行为更贴近粉尘的真实变化，呈现出更高的效率与更强的针对性。由此形成的智能化调控模式，正在推动煤场环境治理迈向更加精细的方向。

1 煤场粉尘变化特征与监测需求分析

煤场物料在堆取、运输和落差转移过程中形成大量悬浮颗粒，这些颗粒在空气动力扰动下呈现出显著的瞬态升高特征。粉尘粒径分布受物料含水率、煤质结构及设备扰动频率影响，局部区域常出现高浓度聚集现象。当大型机械运转、车辆频繁穿梭或风速升高时，空气流场被持续扰乱，粉尘扩散速度提升，浓度曲线往往呈现突增式波动。这类波动性加剧了监测难度，使固定点采样难以全面反映空间变化状态^[1]。浓度峰值在短时间内完成跃迁，若无法对其进行实时捕捉，降尘措施难以匹配实际状况，导致喷雾滞后或喷雾密度不均的情况出现。基于这一特征，监测系统必须具备更高的响应速度与动态识别能力，才能对粉尘演化过程形成有效记录。

随着煤场规模扩大、区域功能分区增多，粉尘扩散呈现出空间非均匀特性。在作业路径、料仓、皮带落料口等区域，浓度梯度差异明显，甚至以多中心形式分布，形成不稳定扩散链条。传统依赖人工巡测或单点传感的方式难以覆盖全部关键位置，容易出现监测盲区，导致喷雾系统获取的信息滞后或失真。为了准确识别浓度变化趋势，需要构建由激光散射式传感器、微光学颗粒计数单元与风向风速模块组成的监测网络，使采集数据更为连续和立体。多点协同布设能够呈现粉尘的空间梯度分布，用以判定扩散路径和累积区域，为联动喷雾提供更加精细的依据。同时，高频采样与数据清洗方法可减少噪声干扰，使浓度阈值判断更接近实际状态。

煤场环境还受季节性与气象条件影响，湿度、温差、空气湍流强度都会改变粉尘悬浮时长和沉降轨迹。监测系统若无法将气象变量纳入感知范围，容易导致喷雾策略偏离实际需求。通过将风场模型、热环境参数与粉尘浓度信息共同整合，可在短时间内捕捉粉尘生成源头与运动趋势，实现更准确的数据驱动控制逻辑。监测需求由单一浓度识别向多维度信息融合过渡，使煤场能够依据实时数据开展动态响应，从而在喷雾联动过程中达到浓度识别与响应行为同步化的目标。基于这一结构化监测体系，可使智慧煤场具备更强的粉尘状态感知能力，为后续喷雾控制优化奠定稳定的数据基础。

2 监测网络构成与粉尘信息获取机制

煤场粉尘的监测网络在构成上依赖多类型感知节点的协同运作，使数据获取具备连续性与空间完整度。传感节点通常布局在落料点、运输通道、堆垛边缘等高粉尘活动区域，并采用激光粒子散射模块、电荷感应式测量单元或光学衍射组件对不同粒径区间的颗粒进行识别。为减轻环境噪声对采样精度的干扰，节点内部集成温湿度校准单元与光路补偿机制，使传感信号在强光、低温或高湿条件下仍保持稳定输出^[2]。节点间通过低时延无线通信协议互联，形成覆盖面广、密度可调的监测矩阵，使粉尘浓度变化能够以较高频率在网络内传输，实现对动态波动的实时捕捉。

在信息获取过程中，监测网络不仅承担采集功能，还承担初步处理任务。节点端利用嵌入式滤波算法对原始数据进行噪声剔除，并根据风速、气流方向和气压等变量进行瞬态误差修正，使粉尘浓度特征更贴近真实环境状态。多节点数据同步回传后，可在边缘计算单元中完成颗粒谱分析和空间融合处理，通过机理模型推算粉尘扩散路径，识别局部高值区与粒径分布趋势。由于煤场内部的气流扰动频繁，扩散模式具有不规则跳变特征，系统需要在极短周期内完成数据整合，才能维持监测连续性并为喷雾联动系统提供及时有效的输入。

监测网络的构建还依赖稳定的通信链路和策略化的数据调度方式。煤场设备运转频繁、金属结构密集，易导致信号反射和衰减，因此网络在设计时会加入多跳路由结构，通过节点

间自组织机制提升连接可靠性。同时,监测平台利用动态带宽分配策略区分高优先级与低优先级数据,使浓度突变信息能够优先传递至控制端。结合气象传感模块输入,可实现风场、湿度与粉尘浓度的同步感知,提升粉尘状态判定的精度。通过这种结构化的监测网络,粉尘信息可在较短延迟内完成采集、处理与传输,为后续喷雾设备的触发判断和调控优化提供稳定的数据来源,使智能化联动具备坚实的感知基础。

3 喷雾系统响应特征与联动触发条件构建

喷雾系统在煤场运行过程中呈现出明显的动态响应特征,其喷射强度、雾滴粒径分布与覆盖范围均受压力波动、阀门启闭速度以及管路阻力变化影响。喷雾装置在受控状态下需在极短时间内完成压力稳定,才能形成适宜粒径的雾滴,使其在空气中具备足够的停留时间与凝聚能力。为了适应粉尘浓度的突发性跃迁,系统内部常采用变频泵、比例调节阀和分区喷头组构建可调式喷雾链条,使喷射范围与强度能够在有限延迟下快速重构^[3]。在煤场风场扰动较强的区域,喷雾系统还需依据实时气流走向调节喷射角度,通过流体动力优化模块校正雾滴轨迹偏移,使其在受风条件下仍能覆盖目标区域。各种结构特性共同塑造了喷雾系统的响应能力,也对联动触发条件的构建提出更高要求。

粉尘与喷雾之间的联动逻辑以浓度变化曲线为核心依据,但单一阈值判断往往无法准确反映煤场粉尘的复杂性。为了避免装置在低浓度扰动下频繁启停,系统常将浓度梯度、变化速率、空间分布特征与风速方向共同纳入触发算法,使触发条件由静态量向动态量转变。当监测网络检测到浓度快速上升、粒径谱向粗颗粒倾斜或高值区趋于扩散时,控制端会根据模型预判粉尘扩散趋势,对喷雾动作进行预触发指令下发。在此过程中,触发条件通过多参数加权方式形成优先级排序,使喷雾响应能够匹配粉尘的演化节奏。对于不同功能区,触发条件还可依据长期运行数据形成自适应修正,使系统在高频落料区、回转区域及半封闭空间内形成差异化触发策略,提升喷雾精准度与资源利用效率。

喷雾联动触发机制在实施过程中需要处理监测信息、环境变量和设备状态之间的耦合关系。控制端通常配置边缘计算单元,对来自监测网络的高频数据进行短周期分析,通过浓度预测模型判断粉尘是否将进入阈值区间,并结合泵体压力、喷头开启数量和管网流量的实时状态构建响应窗口。当风速升高或气流方向发生偏移时,触发机制会根据风场模型重新分配喷头组,使喷射面与粉尘路径更为吻合。若监测到设备状态出现异常,如压力不足、喷头堵塞或泵体负载偏移,系统会调整触发参数,避免装置在非理想条件下运行,保证喷雾行为的稳定性。通过这一系统化构建过程,喷雾系统能够在监测数据、环境变化与自身工作能力之间建立协调关系,使喷雾响应更接近粉尘扩散机制,为后续调控优化奠定坚实基础。

4 多源数据融合下的喷雾调控优化路径

喷雾调控的优化依赖对粉尘特征、气象条件与设备状态等多源数据的综合处理,使控制指令能够与实际环境同步演变。监测系统获取的浓度分布、粒径谱与扩散趋势通过数据融合算法在短周期内完成整合,与风场参数、湿度梯度及温度变化形成协同输入,使喷雾调控模型具备对环境扰动的敏感性。多源信息的融合不仅提升对粉尘行为的辨识精度,也使雾滴沉降路径的预测更加贴近真实气流结构^[4]。通过引入基于概率模型的动态推断机制,控制端能够获得更清晰的粉尘扩散轨迹,为喷雾强度与喷射方向的调节提供可靠依据,使系统在不同风速区间和不同作业负荷下均能保持相对稳定的降尘效果。

在数据融合过程中,喷雾系统的调控策略通常采用自适应参数更新方式,使模型能够从历史运行记录中提取有价值特征。浓度响应延迟、喷嘴覆盖效率、水雾粒径变化及泵体负荷曲线等信息在融合后形成可解释的数据结构,支持控制端对喷雾行为进行动态修正。当扩散路径呈现偏移趋势,系统会根据风场模型进行喷头组合调整,使喷雾面与粉尘运动方向保持重叠。若检测到浓度峰值存在持续性增长迹象,调控模块会扩大喷雾半径并提升压力频率,使雾滴覆盖区域能够抵消上升趋势。在此过程中,融合算法承担着关键的预测任务,使喷雾动作具备一定前瞻性,从而降低粉尘快速聚集带来的冲击程度。

喷雾调控的优化还需要考虑煤场运行的节奏变化,实现降尘需求与资源消耗之间的动态平衡。数据融合系统通过解析粉尘周期性波动与作业时间序列,推断不同时段的降尘需求,进而对喷头启停策略进行分级管理,使水量与能耗维持在合理区间。对于高频粉尘活动区域,系统在融合结果的支持下会采用更细化的喷头切换模式,使喷雾量能够随浓度变化呈现梯度式调整,避免连续高压运行带来的资源浪费。若环境湿度较高或气流趋于稳定,调控逻辑会自动降低喷雾密度,使降尘策略与外部条件形成匹配。在多源数据的共同支撑下,喷雾装置能够在复杂条件下保持灵活性,通过持续参数更新与智能化分配构建更高效的调控路径,使降尘效果与系统运行稳定性同步提升。

5 智慧煤场粉尘抑制成效与联动控制提升点

智慧煤场在粉尘抑制方面的成效取决于监测网络的响应速度、喷雾系统的动态调节能力以及两者之间的协同强度。随着监测精度的提升,粉尘浓度变化能够在更短周期内被捕捉,为喷雾装置的启动时机提供稳定依据。浓度峰值区间的识别让喷雾动作趋于针对性,使雾滴沉降与粉尘扩散路径实现较高重合度^[5]。在高负荷作业阶段,通过实时监测与喷雾联动构成的闭环控制,可使粉尘峰值呈现明显削减趋势,整体浓度曲线趋于平稳。这种抑制效果在粉尘易聚集的落料口、堆取机回转半径内表现尤为突出,使作业区域的能见度与空气质量维持在更稳定的范围内。

随着联动机制日趋完善,喷雾系统在复杂条件下的适应性不断增强。风速升高、空气扰动频繁等情境容易导致雾滴偏移,而联动系统通过风场参数反馈对喷头开角和压力进行实时校正,使喷雾覆盖区域在气流影响下仍保持较高有效性。浓度突增阶段的提前触发策略可减少污染积累时间,使喷雾行为带有一定的预防属性。粒径谱变化分析与喷雾粒径调节之间的匹配度提升,使粗颗粒与细颗粒的沉降路径得到针对性处理。随着多源数据融合的深入应用,喷雾模式在不同区域形成差异化配置,使资源分配更加贴合粉尘特点,进而提高整体抑尘效率。

在联动控制不断发展中,仍存在值得优化的提升点。部分区域因结构限制、气流紊动或设备布置不均导致监测数据存在局部偏差,需要通过密度可调式节点布设与补偿算法改善空间覆盖能力。喷雾系统在长时间运行后可能出现压力衰减、喷头微堵或泵体负荷波动,对联动精度造成一定干扰,因此有必要借助设备状态监测模块实现对关键部件的连续诊断。随着数据

量的持续增长,控制端的计算负载增加,需要引入更高效的建模方式以确保实时性不受影响。通过不断强化监测、控制与设备管理之间的协同能力,智慧煤场的粉尘抑制表现将呈现更高稳定度,使联动控制体系在复杂工况下保持持续可靠的运行状态。

6 结语

智慧煤场的粉尘治理在动态监测、数据融合与喷雾响应协同作用下形成更具精准度的调控体系。粉尘生成与扩散的复杂性在结构化监测网络中得到有效捕捉,使喷雾动作能够依据浓度变化与风场特征及时调整。喷雾系统的响应能力、设备稳定性与联动触发逻辑的完善,使降尘过程能够适应多种工况,并在高负荷环境下保持较高效率。随着多源数据的持续深化应用,粉尘抑制模式呈现出智能化、灵活化的特征,为煤场运行提供更可靠的环境保障,使整体治理成效更趋稳定。

参考文献:

- [1] 郭强之,慕云涛,于金宁,等.工作场所粉尘浓度在线监测技术研究进展[J].中国职业医学,2025,52(04):472-476.
- [2] 李楠.基于粉尘浓度监测的采煤工作面喷雾智能调控技术研究[J].能源与节能,2025,(04):96-98.
- [3] 闫聪.火电厂智慧煤场管控系统技术探析[J].电力设备管理,2025,(04):147-149.
- [4] 张咏琪,王杰,周渝皓,等.粉尘浓度监测技术研究现状与发展趋势[J].工矿自动化,2024,50(12):111-119+165.
- [5] 张兰庆,张来祖,汪锋,等.智慧煤场掺配系统的设计与优化[J].自动化应用,2023,64(10):1-3.