

露天矿输煤系统粉尘治理技术与应用研究

王 洋

国能宝清煤电化有限公司朝阳露天煤矿 黑龙江 双鸭山 155600

摘 要: 露天矿输煤系统在破碎、转载、输送等环节产生大量粉尘, 不仅污染矿区环境、加速设备磨损, 更对作业人员健康构成严重威胁, 同时煤尘集聚还埋下安全生产隐患。本文系统分析露天矿输煤系统粉尘产生机理与特性, 从密闭抑尘、湿式除尘、干式除尘及辅助技术等方面深入探讨各类治理关键技术, 并结合技术经济指标进行综合对比分析。在此基础上, 以内蒙古锡林浩特一大型露天煤矿工程为例, 设计综合治理方案并评估应用效果, 为露天矿粉尘治理提供理论与实践参考。

关键词: 露天矿; 输煤系统; 粉尘治理; 抑尘技术

引言: 露天矿开采过程中, 输煤系统承担着煤炭破碎、输送与转运任务, 是粉尘产生的主要源头之一。破碎站冲击点、皮带转载点及输送沿线在物料跌落、振动及风力作用下产生大量扬尘, 导致作业场所粉尘浓度超标。长期暴露于高浓度粉尘环境中, 作业人员尘肺病患病风险显著增加, 设备磨损加剧, 煤尘集聚还面临爆炸危险。随着环保法规日益严格与绿色矿山建设推进, 粉尘治理已成为露天矿亟待解决的重要课题。如何根据工况条件选择适宜技术并优化组合, 实现高效经济治理, 需要系统深入研究。本文将从粉尘产生机理入手, 分析各类治理关键技术特点, 并结合工程实例探讨综合治理方案。

1 露天矿输煤系统粉尘产生机理与特性分析

1.1 露天矿输煤系统工艺流程概述

露天矿输煤系统一般由破碎站、带式输送机、转载站和储煤场构成。采场原煤经矿用卡车运至破碎站, 经破碎机破碎到合适粒度后, 由带式输送机送往选煤厂或储煤场。输送线路长, 设多个转载点用于方向与高程调整。破碎站是首要产尘源, 破碎时煤炭受挤压冲击产生大量细微粉尘, 卸料落差引发诱导气流扬尘。带式输送机运行时, 细粒煤粉受振动与风流作用从表面逸散, 物料含水量低、风速大时更明显。转载点是产尘集中区, 物料跌落产生的冲击气流卷起细颗粒形成尘云。储煤场堆取料作业也产生大量扬尘。露天矿输煤系统完全暴露于自然环境, 大风下粉尘扩散广, 冬季低温影响湿式除尘效果, 理解各环节产尘特征是针对性治理的前提。

1.2 粉尘产生机理

输煤系统粉尘产生有多种物理机制。诱导气流作用是转载点产尘主因, 物料跌落带动空气向下, 到落料点气流向四周逸散, 卷起细颗粒煤粉。跌落高度和物料量

影响诱导气流强度与扬尘程度。剪切破碎机制存在于破碎和输送过程, 破碎机挤压冲击使新生表面暴露产尘, 皮带输送中物料颗粒摩擦剪切也增加细粉。振动逸散机制作用于输送沿线, 托辊与皮带冲击引起振动, 使煤块表面细粉脱离。风力吹蚀机制在露天环境突出, 大风剥离物料表面细颗粒, 转载点尘云也随风扩散。物料落差冲击碎裂煤块增加产尘量, 干燥气候下物料含水率低, 粉尘更易脱离, 各机制相互叠加, 需针对性治理^[1]。

1.3 粉尘特性分析

粉尘特性是选择治理技术和设计除尘参数的依据。粒径分布上, 输煤系统粉尘以呼吸性粉尘为主, 粒径小于10微米颗粒占比高, 危害大。破碎站附近粉尘粒径较粗, 转载点及输送沿线细颗粒比例高。物理特性方面, 煤尘真密度与煤质相关, 为每立方厘米1.2至1.5克; 安息角影响粉尘沉积与二次飞扬, 细粉尘安息角小易流动; 物料含水率影响粉尘逸散, 低于百分之四易飞扬, 高于百分之八扬尘减弱, 但过高影响煤炭品质与输送效率。化学成分上, 煤尘主要含碳物质, 伴生二氧化硅等矿物成分, 游离二氧化硅含量决定致纤维化能力。湿润性影响湿式除尘效果, 煤尘表面疏水性强, 需添加湿润剂。荷电性是静电除尘基础参数, 露天矿粉尘特性受气候影响, 干燥季节细颗粒比例升高, 湿润季节含水率增加, 掌握特性可为技术选择提供依据。

2 露天矿输煤系统粉尘治理关键技术研究

2.1 密闭抑尘技术

密闭抑尘是粉尘治理的基础性措施, 通过物理隔离阻断粉尘扩散路径。导料槽优化设计是关键环节之一, 传统导料槽密封性差, 粉尘易从缝隙逸出。现代防逸尘导料槽采用迷宫式密封结构, 槽内设置多道缓冲帘降低气流速度, 出口处配设橡胶防尘帘密封, 使含尘气流在槽

内沉降。双层密封裙板设计进一步增强密封效果，内层阻挡细小粉尘外溢，外层防止外部气流干扰。转载点全封闭是将整个产尘点包围在封闭空间内，采用钢结构骨架配合彩钢板或耐磨衬板封闭，设置观察窗与检修门方便操作维护。封闭空间内形成微负压，防止粉尘向外扩散。全封闭输送机栈桥是长距离输送的密闭方案，将整条皮带置于封闭廊道内，栈桥断面根据输送机尺寸与检修空间确定，彩钢板封闭造价适中，气膜封闭适用于特殊环境要求。封闭结构需考虑通风与消防要求，避免瓦斯积聚。防风流窜技术针对露天大风环境，在封闭结构进出料口设置双重密封，栈桥进出口安装快速卷帘门，减少气流贯通。密闭抑尘优势在于不受气候影响、运行成本低，但不能根本消除粉尘需配合除尘设施。设计需充分考虑设备检修维护便利性，避免因封闭过度影响正常生产。

2.2 湿式除尘技术

湿式除尘技术利用水与粉尘接触捕集颗粒，是露天矿应用广泛的治理方法。喷雾降尘通过喷嘴将水雾化向产尘点，雾滴与粉尘碰撞凝聚沉降。高压微雾系统工作压力可达5至10兆帕，产生粒径10至50微米的细微雾滴，对呼吸性粉尘捕集效率高。喷嘴布置需根据产尘点空间形态优化，破碎站卸料口周边设置多角度喷嘴形成雾幕，转载点落料处环形布置全覆盖喷雾。干雾抑尘是近年推广技术，产生直径1至10微米的干雾，雾滴细小且与粉尘粒径相近，凝聚效率更高且耗水量低，物料增湿少，特别适用于煤炭输送。泡沫抑尘是在水中添加发泡剂产生细腻泡沫，通过泡沫发生器喷射至产尘点，泡沫与粉尘接触浸润后破裂沉降，捕集效率高于普通喷雾，抑尘剂还能改善煤尘湿润性。泡沫抑尘耗水量极低，几乎不增加物料含水率，冬季防冻优势明显。湿式除尘需重点关注冬季防冻问题，北方露天矿低温季节水管易冻结。伴热系统采用电伴热或蒸汽伴热维持管道温度，喷头选用防冻型或压缩空气吹扫排空。干雾技术耗水量小残留少，冻堵风险相对较低。水质处理同样重要，硬水易结垢堵塞喷头，需软化或定期清洗。湿式除尘初期投资适中，运行成本主要是水与电耗，但需持续供水且寒冷地区防冻投入增加^[1]。

2.3 干式除尘技术

干式除尘技术无需用水，通过过滤或静电作用捕集粉尘，适用于缺水或冬季严寒地区。脉冲布袋除尘器是应用最广的干式设备，含尘气流进入除尘器经滤袋过滤，洁净气体排出，滤袋表面粉尘层增厚时脉冲喷吹清灰。除尘器选型需根据处理风量、入口粉尘浓度及排放要求确定过滤面积与滤料材质。滤料选择影响除尘效率

与使用寿命，涤纶针刺毡适用于常温，芳纶聚酰亚胺等耐高温滤料用于破碎站热烟气。表面覆膜滤料孔径细小，排放浓度可低于每立方米10毫克。清灰方式有脉冲喷吹与反吹风两类，脉冲喷吹清灰强度大、能耗低，适用于高浓度工况。负压吸尘管道设计需合理布置吸尘点，破碎站及转载点设置密闭吸尘罩，通过管道连接至除尘器。管道风速需满足粉尘输送要求，避免沉降堵塞，同时考虑阻力平衡保证各点吸风均匀。旋风除尘器作为预处理设备，可分离粗颗粒减轻布袋负荷，但单独使用难以达到排放标准。干式除尘优势在于无水耗、无冻堵、回收干煤泥可直接利用，但设备投资较高，滤袋需定期更换，运行成本主要是电耗与耗材。低温高湿环境下滤袋易糊袋，需采取保温加热措施。防爆设计必不可少，煤尘爆炸风险要求除尘器设置泄爆阀、隔爆阀及监测报警装置。干式除尘适用于集中产尘点如破碎站、转载站，与密闭技术配合形成负压抽风系统，实现高效治理。

2.4 其他辅助技术

除主体除尘技术外，若干辅助技术在粉尘治理中发挥补充作用。物料增湿是最简单直接的辅助手段，在破碎站前设置喷淋装置，向原煤均匀洒水提高含水率，从源头减少粉尘产生。增湿需控制加水量，避免物料过湿影响破碎筛分效率，雨季时还可适当减少。风力抑制技术针对露天环境，在储煤场或转载站周边设置防风抑尘网，网板开孔率及高度根据主导风向风速设计，可降低下风向风速60%以上，减少风力吹蚀扬尘。抑尘网兼具遮挡视觉污染功能，但需定期维护清理积尘。化学抑尘剂应用日益广泛，将湿润剂或粘结剂喷洒于物料表面或路面，湿润剂降低水的表面张力增强煤尘湿润性，粘结剂在物料表面形成固化膜防止粉尘逸散。抑尘剂适用于储煤场、道路及长期堆存煤堆，效果可持续数日至数月。静电除尘利用高压静电场使粉尘荷电后在集尘极沉积，对亚微米级粉尘效率高，但煤尘比电阻范围窄，过高或过低均影响效果，且设备庞大投资高，在输煤系统应用有限。超声波雾化技术是新型辅助手段，通过超声波将水打散为微细雾滴，能耗低于高压喷雾，雾滴粒径均匀可控^[3]。辅助技术需与主体工艺匹配，纳入综合治理方案统筹考虑，而非简单堆砌。多项技术合理组合，可优势互补实现最佳治理效果。

2.5 技术综合对比分析

各类粉尘治理技术优劣各异，需依工况综合比选。除尘效率上，干式布袋除尘超99%，排放浓度低于每立方米10毫克；湿式除尘为90% - 99%；密闭抑尘无除尘功能，但能控制扩散。投资成本，密闭抑尘最低，喷雾系统居

中,布袋除尘器较高。运行成本方面,密闭抑尘基本无能耗,喷雾系统耗水耗电,布袋除尘要换滤袋、消耗压缩空气。环境影响上,湿式除尘产生污水需处理,干式除尘无二次污染但要处置煤尘。物料适应性上,喷雾对疏水性煤尘效果差,布袋除尘不受粉尘性质影响。气候适应性上,露天矿中湿式技术冬季易冻堵,干式技术低温高湿易糊袋,密闭技术受影响最小。维护管理上,喷雾要清洗喷头,布袋除尘要检查更换滤袋。综合来看,露天矿输煤系统粉尘治理宜采用以密闭为基础、抑尘为重点、除尘为保障的路线,形成多层次防控体系,兼顾效果与成本优化组合。

3 输煤系统粉尘治理方案设计与应用实例

3.1 工程概况

内蒙古锡林浩特一大型露天煤矿,地处北方干旱半干旱地区,年产原煤1200万吨。其输煤系统有两座半移动式破碎站、全长8.7公里带式输送机及五处转载站。破碎站用双齿辊破碎机,单台每小时处理3000吨,卸料口落差8米,产尘严重。输送机带宽1.6米,带速每秒4.5米,途经空旷多风地带,最大风速每秒25米。转载站是钢结构密闭厂房,原有简易喷淋除尘设施,喷嘴堵塞,效率不足50%。现场监测,破碎站周边总粉尘浓度每立方米150至220毫克,呼吸性粉尘35至50毫克;转载站内部总粉尘浓度超300毫克,远超国标。冬季长达5个月,最低气温零下35摄氏度,湿式除尘设施冬季停用。因环保压力大、投诉多、面临限产处罚,决定对输煤系统进行粉尘综合治理改造。

3.2 综合治理方案设计

依据工程实际与治理目标,方案遵循源头控制、过程密闭、末端除尘路线。破碎站采用干湿结合治理,卸料口设高压干雾抑尘系统,喷嘴分层形成立体雾幕,干雾粒径小于10微米,耗水量每吨煤0.1升。破碎机出口导料槽改双层密封,设缓冲挡帘和橡胶防尘帘,上部开吸尘口连脉冲布袋除尘器。转载站以密闭抽风为主,设全封闭防尘罩,优化吸尘口位置,管道风速每秒18米,汇总至集中式布袋除尘器。输送机沿线用全封闭彩钢板栈桥,设微雾喷嘴抑制粉尘。储煤场周边增设防风抑尘网,场内存煤喷洒抑尘剂。控制系统实现粉尘浓度在线监测

与设备联动,冬季有管道伴热等措施保障运行,方案预留检修通道与操作空间^[4]。

3.3 应用效果分析

综合治理方案分阶段实施后全面评估。粉尘浓度监测显示,破碎站周边总粉尘浓度降至每立方米15至25毫克,呼吸性粉尘降至每立方米5至8毫克,去除效率分别达88%和83%。转载站内部总粉尘浓度降至20毫克以下,作业环境改善。输送机栈桥内粉尘浓度控制在10毫克以内。冬季干雾系统与伴热措施保障设备正常运行,除尘器排放口颗粒物浓度稳定在每立方米8毫克以下。经济效益上,每年回收煤粉和煤泥直接经济效益近百万元,设备磨损减缓。环境效益上,厂界总悬浮颗粒物浓度降低,投诉消除。社会效益上,降低尘肺病风险,员工满意度提升。运行成本年均约60万元,投资回收期约3.5年。存在干雾喷嘴需定期维护、滤袋寿命受低温影响问题,后续将优化。整体方案达预期目标,为同类露天矿提供范例。

结束语:

露天矿输煤系统粉尘治理是一项涉及多学科的系统工程,需要从粉尘产生机理出发,针对露天环境特点选择适宜技术并优化组合。本文系统分析了输煤系统各环节粉尘产生机制与粉尘特性,为技术选择提供理论依据。随着环保要求日益严格,粉尘治理技术将持续发展,智能化控制、高效滤料、新型抑尘剂等新技术将不断涌现。绿色矿山建设不仅要求末端治理达标,更需从源头减少产尘,优化工艺降低落差提高物料含水率。期待更多矿山企业重视粉尘治理,加大投入持续改进,为员工创造健康工作环境,为矿区周边守护蓝天白云。

参考文献:

- [1]杨传铭.输煤系统粉尘综合治理研究[J].大众标准化,2023(17):95-97.
- [2]张凯.输煤系统粉尘治理策略研究[J].能源与环保,2024,46(10):21-26,33.
- [3]陈宝迁.输煤系统粉尘处理的几点思考[J].科学与信息化,2023(14):70-72.
- [4]梁杰,史帅.关于输煤系统粉尘综合治理的研究与应用[J].中国设备工程,2024(24):248-250.