

Optimization of Dust Pollution Control Technology and Assessment of Energy Conservation and Emission Reduction in Coal Conveying Systems at Thermal Power Plants

Dongsheng Xu

Guoneng Jilin Longhua Thermal Power Co., Ltd. Jilin Thermal Power Plant, Jilin, Jilin, 132021, China

Abstract

The coal conveying systems in thermal power plants generate substantial coal dust during fuel transportation, which not only endangers workers' health but also accelerates equipment wear, causes environmental pollution, and creates safety hazards. With increasingly stringent environmental policies and growing pressure for energy conservation and emission reduction, optimizing dust control technologies in coal conveying systems has become a focal point of industry attention. This paper systematically examines the primary sources and hazards of dust pollution in thermal power plant coal conveying systems, analyzes the applicability and limitations of existing dust suppression and collection technologies, and focuses on integrated optimization pathways for advanced techniques such as high-efficiency mist suppression, enclosed negative-pressure conveying, and intelligent dust collection. Through case studies from typical engineering projects, this study evaluates their actual energy-saving and emission-reduction effects. Research findings indicate that through coordinated application of multiple technologies, coal conveying systems in thermal power plants can significantly reduce both dust emissions and energy consumption levels, providing strong support for the green and low-carbon transformation of the power industry.

Keywords

thermal power plants; coal conveying systems; dust pollution; dust suppression technology; energy conservation and emission reduction; system optimization

火电厂输煤系统粉尘污染控制技术优化及节能减排效果评估

徐东升

国能吉林龙华热电股份有限公司吉林热电厂，中国·吉林 吉林 132000

摘 要

火电厂输煤系统在燃料输送过程中易产生大量煤尘，不仅威胁作业人员健康，还加剧设备磨损、引发环境污染及安全隐患。随着环保政策趋严与节能减排压力增大，输煤系统粉尘治理技术的优化成为行业关注的焦点。本文系统梳理了火电厂输煤系统粉尘污染的主要来源与危害，分析了现有抑尘与收尘技术的适用性与局限性，重点探讨了高效抑尘喷雾、密闭负压输送、智能收尘等先进技术的集成优化路径，并结合典型工程案例，评估其节能减排的实际效果。研究表明，通过多技术协同应用，火电厂输煤系统粉尘排放与能耗水平可显著降低，为电力行业绿色低碳转型提供有力支撑。

关键词

火电厂；输煤系统；粉尘污染；抑尘技术；节能减排；系统优化

1 引言

火电厂作为我国电力供应的主力军，其燃料系统的绿色化与清洁生产水平直接关系到国家能源结构调整与环保目标的实现。输煤系统作为燃料供应链条中的核心环节，常年高负荷运行过程中会产生大量煤尘，造成作业区空气污染，影响设备健康并威胁作业人员安全。粉尘排放还易诱发爆炸、火灾等安全事故，成为火电厂安全管理与环保治理中

的突出难题。随着“双碳”目标和环境标准的日益严格，输煤系统粉尘污染控制与节能减排已成为提升电厂核心竞争力、实现可持续发展的关键环节。当前，行业内普遍应用喷雾抑尘、密闭输送、机械收尘、负压除尘等多种技术，但仍存在治理效果不稳定、能耗高、维护复杂等痛点。本文在梳理粉尘污染成因的基础上，分析了主流治理技术的优势与不足，提出了面向绿色低碳目标的系统集成优化路径，并通过实际运行数据，对节能减排效果进行科学评估，为火电厂燃料系统粉尘治理提供理论与工程参考。

【作者简介】徐东升（1978-），男，中国吉林吉林人，本科，工程师，从事燃料输煤研究。

2 火电厂输煤系统粉尘污染的成因与危害

2.1 粉尘污染的主要来源与分布特点

火电厂输煤系统在燃料卸车、转运、筛分、落煤及皮带运输等多个环节，因煤炭物料的破碎、扬撒、振动及气流扰动，易产生大量可吸入煤尘。卸车口、转运站、落煤管、皮带机头尾等位置，成为粉尘污染最为集中的高发区域。尤其是在落煤管下部与皮带机交界面，煤尘因重力落体和气流扰动复合作用，呈现高浓度悬浮和迅速扩散的趋势。煤尘粒径分布广，轻质细微颗粒极易随气流飘散，不仅污染范围广、悬浮时间长，还大大增加了治理难度。设备高速运行和频繁启停进一步促进了粉尘的二次扬散，细粒煤尘通过通风系统进入厂区其他区域，恶化整体空气质量。不同煤种的含尘量、含水率、粒度分布等物理特性，也会直接影响粉尘的生成强度与防控难度，对治理技术提出更高要求。

2.2 粉尘污染的危害分析

长期高浓度煤尘暴露对火电厂健康、安全和可持续发展造成多重威胁。对作业人员而言，煤尘吸入可诱发尘肺病等职业病，严重影响身体健康与生产安全。粉尘堆积在厂区和设备表面，不仅成为二次污染源，加重环境治理负担，还导致设备密封件、轴承等部件磨损加剧，缩短设备寿命、增加检修和维护频次。煤尘遇明火极易发生火灾或爆炸，成为火电厂安全管理的重大隐患。部分细粒粉尘随雨水冲刷形成含煤废水，进一步加剧水环境污染。粉尘的持续堆积还会降低设备传动效率、增加运行阻力，导致能耗上升，间接削弱火电厂绿色低碳发展的实际成效。

2.3 相关环保政策及行业标准趋严

随着环境保护政策日益严格，国家和地方对火电厂大气污染物排放的监管持续加码。粉尘排放限值不断收紧，《火电厂大气污染物排放标准》《煤炭行业粉尘防治规范》等法规对煤电企业粉尘治理提出了具体要求。多数大型火电厂已在主要污染环节配置了较为完善的粉尘治理设施，实现了覆盖全流程的污染防控。但在治理系统智能化、节能化及运行稳定性方面，仍存在较大提升空间。行业发展趋势倒逼火电厂持续引入高效、低耗的新型抑尘和收尘技术，积极构建全过程、分层级、多节点的粉尘污染防控体系，为电力行业实现绿色转型和高质量发展提供坚实支撑。

3 输煤系统常用粉尘治理技术及其局限

3.1 机械抑尘与喷雾抑尘技术

机械抑尘主要依赖挡尘帘、挡风板、封闭罩等刚性结构，通过物理隔离和气流导向，减缓煤炭从落料口或筛分区域的自由下落及扬撒过程中的紊流生成，将粉尘局限在较小范围内，降低大气中粉尘浓度。封闭罩可配合自动升降装置，根据实际运行工况动态开启或闭合，实现灵活防尘。喷雾抑尘则采用高压泵将水介质经多级喷头雾化，生成 $5 \sim 50 \mu\text{m}$ 的水雾颗粒，与煤尘通过碰撞凝结后增重沉降，显著提升了

对大粒径粉尘的捕集效率。实际工程表明，喷雾系统在落煤点和转运台面可将粉尘浓度降低60%以上。然而，机械抑尘结构长期受煤流冲击和磨损影响，易出现密封失效、变形或裂纹，需定期维护与更换密封件；喷雾系统对水质（硬度、悬浮物含量）、泵压稳定性及喷头布局有严格要求，水泵堵塞、喷嘴滴漏等故障易导致抑尘不均匀，且高压雾化耗电量较大，运行能耗和维护成本不容忽视。为提高可靠性，可引入在线监测与智能控制，实现喷雾喷洒量与粉尘浓度联动。

3.2 密闭输送与负压除尘技术

密闭输送系统通过对输煤通廊、皮带机头尾及落料装置进行全封闭设计，将物料与外界空气隔离，最大限度抑制煤尘逸散。常用的密闭方式包括钢构板房、活动滑板门及软连接帘，模块化设计便于扩展与维护。负压除尘则在卸车口、落煤管口、皮带机转接点等高扬尘风险区域安装集尘罩，通过抽风管道将含尘气体引入布袋除尘器或高效滤筒除尘器，利用脉冲反吹技术定期清灰，实现对煤尘的高效收集。两者结合可在封闭空间内形成可控负压环境，粉尘被集中抽取处理，排放达到环保标准。尽管该技术组合在长距离、大流量输送中表现突出，但密闭结构施工与维护成本高昂，密封件老化或安装偏差易导致漏风；负压除尘设备功率大，滤袋及风机等易损件更换频繁，需专业人员定期检修，系统对自动化、智能化运维平台依赖度高，以确保长期稳定运行。

3.3 机械收尘与静电除尘技术

机械收尘器利用离心力、重力沉降或惯性碰撞原理，在气流进入除尘器瞬间便将大颗粒煤尘分离捕集，适用于初级粉尘处理，与喷雾或布袋除尘配合使用，可减少后端除尘压力。结构简单、占地面积小，易于在输煤系统末端或旁路灵活布置；但对 $<10 \mu\text{m}$ 细颗粒的捕集效率不足，需要与其他抑尘手段联动。静电除尘技术则基于高压电场作用，使煤尘带电后被极板吸附，处理效率可达99%以上，尤其擅长捕集细悬浮尘。实际上，静电除尘器对气体密封性、电场均匀性及入口气流分布要求极高，任何泄漏或电极污染均会导致效率波动；此外，设备投资及维护成本较高，极板清灰系统和电源系统需定期检修。综合来看，单一机械或静电除尘技术难以覆盖输煤系统多点、多源、动态复杂的粉尘产生特点，必须通过机械抑尘、喷雾抑尘、密闭负压、机械收尘、静电除尘等多种技术的协同优化，实现全过程、全环节的精细化、智能化粉尘治理。

4 输煤系统粉尘治理技术的集成优化路径

4.1 多元协同抑尘系统构建

针对火电厂输煤系统点多源、颗粒分布广的粉尘特点，构建“机械+喷雾+密闭+负压”多元协同抑尘系统，可有效提升整体治理效能。各环节采用定制化组合措施：如在卸车及转运处采用高压喷雾与密闭罩协同，在皮带转接点和落煤管下部布置负压抽风与局部喷雾，末端增设挡尘帘和

集尘槽，实现分级、分区防控。智能化控制平台对各类抑尘设备运行状态、粉尘浓度、煤流变化等参数实时监测，自动联动开启抑尘设施，提升治理的实时性与精细化水平。集成系统具备可扩展性与柔性配置能力，能适应不同规模、不同煤种和气候条件下的治理需求。

4.2 高效低耗喷雾及智能水雾抑尘技术

高效喷雾抑尘装置采用多级压力可调、超细雾化喷头，结合自适应调节系统，根据煤流量、风速、粉尘浓度动态调控喷雾强度，实现资源精准投放与能耗最优。部分电厂引入超声波水雾发生器和自动循环供水系统，有效降低用水量和运维负担。智能喷雾系统集成粉尘浓度在线监测、远程控制与故障报警功能，可实时根据环境变化调整工作参数，提升系统智能化水平。水雾粒径、分布均匀性和气液接触效率的提升，使得对细粒悬浮煤尘的捕集率大幅提高，显著减少作业区可吸入颗粒物浓度。

4.3 绿色密闭与高效负压收尘系统

结合绿色密闭结构与高效负压收尘，可进一步提升系统整体抑尘水平。密闭输送通廊采用模块化装配设计，便于维护和升级，密封性能优良。关键扬尘点设置高效负压集尘罩及高压脉冲滤袋除尘器，对煤尘实现就地、高效收集。部分项目引入变频风机与智能风量调节系统，依据实际粉尘浓度动态调整抽风强度，兼顾节能与抑尘效果。高效滤袋采用耐高温、抗腐蚀材料，延长使用寿命并降低运维成本。绿色密闭与高效负压技术的集成应用，实现了煤尘“源头控制—过程收集—末端治理”的全流程闭环，满足更高环保标准要求。

5 节能减排效果评估与案例分析

5.1 节能减排综合评价指标体系

为科学评价输煤系统粉尘治理措施的节能减排效益，需构建涵盖粉尘排放浓度、捕集效率、能耗水平、系统可用率及维护成本等五大核心指标的评价体系。首先，通过厂区环境空气质量监测数据，量化粉尘排放浓度变化；结合抑尘系统运行台账，计算捕集效率的提升幅度；其次，采集除尘设备及辅助系统的用电量和水耗，统计能耗水平与运行成本；同时记录系统可用率和故障停机时长，评估稳定性；最后，汇总滤袋、喷头、风机等易损部件的更换频次与费用，量化维护成本。基于上述数据，开展定量对比与趋势分析，并对节能降耗效果显著的技术方案，引入碳减排因子和生命周期成本（LCC）分析，综合评估全生命周期的环保与经济效益。这一多维度量化评价方法，可为电厂优化抑尘治理策略、实现环境效益与经济效益的双重提升提供决策支持。

5.2 典型工程案例成效分析

以某沿海大型火电厂为例，在输煤主系统实施多技术集成优化改造后，作业区 PM10 和 PM2.5 平均浓度较改造

前下降 70% 以上，远优于同期同类型电厂。喷雾系统采用智能自适应控制，较传统喷雾降低用水量 30%，年均节省运行用水及能耗费用近百万元。高效负压除尘设备投运后，集尘效率提升至 99% 以上，设备维护周期显著延长，备品备件消耗降低。治理后系统综合能耗下降 10% 以上，单位发电量碳排放强度明显降低。多环节的自动化与信息化升级，实现远程监控与智能运维，减少了人工投入，提升了设备利用率和故障响应速度。工程案例充分说明，系统集成优化是火电厂输煤系统粉尘治理与节能减排的有效路径。

5.3 环境与社会效益分析

系统性粉尘治理措施显著改善了厂区及周边空气质量，作业环境粉尘浓度大幅降低，员工呼吸健康风险和职业病发生率明显下降，安全生产得到有效保障。煤尘二次扬尘减少，厂区及周边生态环境水土污染压力减轻，植被和土壤质量逐步恢复。抑尘系统用水量和除尘设备能耗持续下降，运行成本降低，与绿色低碳政策高度契合。抑尘设施的自动化和智能化升级，实现了远程监控、数据分析与预测维护，提升了系统可用率和运维效率，加快了电厂向智能化管理模式转型。该模式不仅为火电厂自身可持续发展奠定坚实基础，也为能源行业绿色制造、循环经济和区域社会可持续发展提供了可复制的示范经验。

6 结语

火电厂输煤系统粉尘污染防控是保障企业安全、高效、绿色运行的重要基础。面对愈发严格的环保标准和节能减排压力，单一治理技术已难以满足复杂多变的实际工况需求。本文梳理了输煤系统粉尘成因及危害，分析了主流治理技术的优劣，提出了多元集成与智能优化的系统性解决方案。工程实践与数据评估表明，多技术协同可有效降低粉尘排放、能耗与运维成本，实现节能减排和环境质量同步提升。展望未来，随着大数据、物联网与智能制造的深入应用，火电厂输煤系统的粉尘治理将步入高效智能与绿色低碳的新时代，为我国能源行业可持续发展贡献更大力量。

参考文献

- [1] 陈永鑫.发电厂输煤系统粉尘综合治理技术分析[J].电力设备管理,2025,(02):255-257.
- [2] 黄天健,黄晓明,李旭.国能九江燃煤转运皮带机高压自动微雾降尘系统应用[J].能源与环境,2024,(03):120-123.
- [3] 黄建新,赵开功,黄婷,等.燃煤电厂输煤系统粉尘治理方法[J].中国安全科学学报,2024,34(S1):52-58.
- [4] 邓中一.火电厂输煤系统粉尘治理技术措施[C]//中国智慧工程研究会.2024智慧施工与规划设计学术交流论文集.国家能源集团辽宁电力有限公司沈西热电厂;2024:455-456.
- [5] 范嘉良.火力发电厂运煤系统煤尘治理探讨[J].当代化工研究,2023,(21):122-124.