

基于水气协同的输煤栈桥抑尘自清洁系统设计与应用

闫鑫 赵亮 赵洋

大唐内蒙古多伦煤化工有限责任公司 内蒙古锡林郭勒盟多伦县 027300

DOI: 10.32629/ems.v8i7.21189

[摘 要] 在煤炭物料转运作业流程中，输煤栈桥、转运站、皮带输送机等核心设备持续运转，会产生大量悬浮煤尘颗粒物。鉴于此，本文以水气协同除尘技术为核心依托，集成防堵自清洗粉尘治理装置、双循环雾浴除尘设备、密闭式导料槽、缓冲清扫成套装置，完成输煤栈桥一体化抑尘自清洁系统的整体方案设计。结合大型煤化工现场技改工程完成落地应用，通过现场实测数据验证该系统在粉尘综合治理、设备长效稳定运行、能耗精细化管理、污染物达标排放等方面的实际应用成效，可为火电、煤化工等同类企业输煤系统粉尘综合治理工程提供借鉴。

[关键词] 水气协同；输煤栈桥；抑尘自清洁；粉尘治理；煤化工

煤炭是煤化工生产、火力发电行业不可或缺的核心原材料，厂区内煤炭转运、皮带输送的全流程环节，均会伴随不同程度的煤尘扩散问题。无组织飘散的煤尘，一方面会污染厂区周边大气环境，加剧设备零部件磨损、老化、失效问题，大幅提升设备检修频次与备品备件采购成本；另一方面，悬浮煤尘达到一定浓度后易引发爆炸事故，同时也是诱发作业人员呼吸系统职业病的关键因素，是现阶段煤炭深加工企业安全生产与绿色生产管理中亟待解决的重点难题。针对上述工程痛点，本文依托水气协同治理技术理念，融合源头抑尘、密闭控尘、末端除尘、设备自清洗、智能自动控制等多项功能，搭建一体化输煤栈桥抑尘自清洁系统，并开展现场工程应用研究。

1 水气协同抑尘自清洁系统总体设计

煤炭储运系统中，输煤栈桥承担原煤转运、输送核心功能，物料跌落撞击、皮带回程带料、廊道空气对流会持续扩散煤尘。当前行业主流治理手段各有短板，难以兼顾抑尘、

清扫、节水降耗需求。本文中具体设计如下：

1.1 系统设计思路

本次技改工程摒弃传统单设备、单点位、碎片化的粉尘治理模式，立足工程实际需求，确立“源头抑制、过程密闭、末端净化、智能联动、自动清堵”的整体设计思路^[1]。

整套系统以水气协同技术为核心支撑，整合高压干雾抑尘、湿式精准除尘、设备自动清洗、导料槽全密闭、皮带纠偏清扫等多项功能，构建覆盖煤炭输送全流程的闭环粉尘治理体系。水气协同技术的核心治理原理为：充分利用厂区现有成熟的压缩空气管网与生产用水管网资源，结合现场输煤工况、产尘浓度及粉尘粒径分布特点，精准调配水气混合比例，生成与煤尘颗粒适配的超细雾滴。悬浮煤尘与超细雾滴发生充分碰撞、吸附、团聚，促使细小粉尘颗粒增重沉降，实现源头抑尘。

1.2 系统整体架构

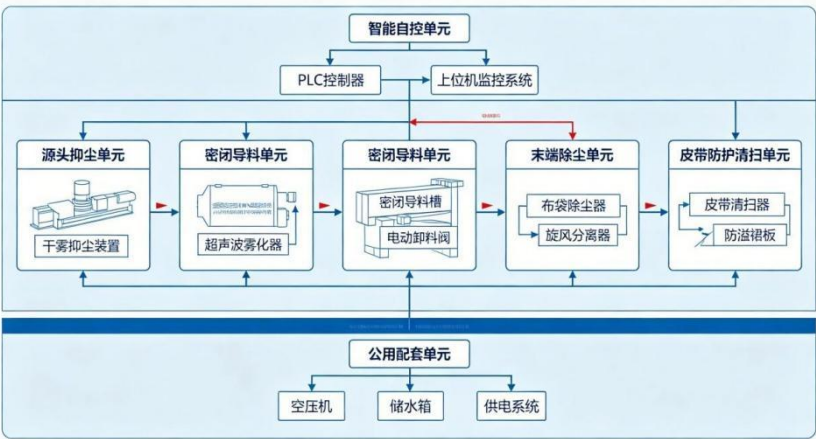


图 1 系统整体架构

结合输煤栈桥产生点位分散、产尘工况复杂、二次扬尘多发的特点，整套系统划分为六大功能模块，分别为源头抑

尘单元、密闭导料单元、末端除尘单元、皮带防护清扫单元、智能自控单元及公用配套单元。各功能模块独立运行、协同

联动、互补适配，形成全流程、闭环式粉尘治理体系，整体架构如图 1。

1.3 核心设备选型与参数设计

结合现场输煤工况条件、产尘点位分布特征、设备安装

空间限制及国家现行大气污染物排放标准，完成核心治理设备的选型、数量配置及运行参数精准核定，系统核心设备配置及主要技术参数如表 1 所示。

表 1 系统核心设备配置及主要技术参数表

设备名称	型号规格	核心技术参数	应用位置
防堵自清洗粉体环境清洁系统	成套系统	工作水压、气压，单套功率，具备自动清堵功能	双料给料机
双循环雾浴除尘器	防爆型	处理风量（19000~24000m³/h），除尘效率≥99%，噪声<75dB（A）， 防爆等级 IIICT130℃	各转运站及皮带产生区域
密封导料槽	定制钢结构	侧板 6mm Q235A 钢板，8mm 16Mn 耐磨板，多层阻燃抑尘挡帘	全输煤皮带落料段
缓冲床	工业缓冲型	冲击变形量≤50mm，耐温 - 30℃~80℃	皮带落料冲击点
电动纠偏 + 回程清扫装置	成套清扫设备	纠偏响应灵敏，清扫器耐磨防粘连	皮带机全程
蓄能终端一体机	ZK-ST-01	防护等级 IP54，DC24V 控制，支持就地 / 远程控制、联动 DCS	各抑尘系统控制站

2 水气协同抑尘自清洁系统关键子系统设计

2.1 防堵自清洗粉体环境清洁系统

防堵自清洗粉体环境清洁系统是本次水气协同除尘技术落地应用的核心设备，结合厂区产尘点位分布特征，现场共计布设 7 套设备，全面覆盖 7 处重点产生区域^[2]。单套设备系统主要由蓄能终端一体机、防堵自清洗射流器、介质调配箱、增压泵、反冲洗过滤器及配套连接管路组成，设备结构紧凑、适配性强，可满足高负荷连续运行需求。根据皮带机头、机尾产生强度差异化特征，本次工程采用非对称式射流器布设方案：皮带头部各产生尘点位布设射流器，皮带尾部产生量更大、扬尘更剧烈，对应布设 8 套同型号射流器。设备正常运行过程中，压缩空气与生产用水按照最优配比混合，生成粒径均匀的超细雾滴，在产生区域形成全覆盖密闭雾幕，通过吸附团聚作用实现悬浮煤尘快速沉降。

2.2 双循环雾浴除尘系统

双循环雾浴除尘器作为整套系统的末端深度净化设备，内部腔体划分为干雾降尘区、水气分离区、泥水沉积区三个独立功能区域，分工明确、逐级净化。含尘气体进入设备腔体后，首先在干雾降尘区与超细雾滴充分接触融合，悬浮粉尘被雾滴充分捕捉、团聚后沉降至泥水沉积区；完成粉尘净化的气体进入水气分离区，实现气水彻底分离，洁净空气最终通过高度不低于 15m 的排气筒高空排放，完全符合有组织排放规范标准。设备采用闭环双循环运行模式，泥水沉积区收集的除尘废水经专用增压水泵加压后，回流至前端喷雾单元循环复用，实现生产废水零外排^[3]。

2.3 密闭导料与皮带防护系统

原有导料槽密封结构不完善、密闭性不足，作业过程中易产生大量诱导风，是导致粉尘无组织外溢的核心诱因之一。

在皮带物料下落冲击点位加装工业缓冲床，有效吸收物料下落产生的冲击动能，减少物料冲击扬尘，同时保护输送带免受刚性冲击损坏。

项目同时对皮带机机架做加固处理，配套加装电动纠偏托辊，有效改善皮带运行抖动、跑偏等常见故障。在皮带回程段布置高强度合金清扫器，彻底清理皮带表面附着的残煤、煤泥，从源头杜绝回程带料引发的二次扬尘，同时规避电机过载、皮带打滑等连锁故障。

2.4 智能自控与电气系统

设备搭载高精度运行传感器、料流传感器，可实时采集皮带运行状态、物料输送流量等参数，实现喷雾抑尘、自清洗、末端除尘设备的同步联动启停，杜绝设备空转能耗浪费。控制系统通过硬接线方式与厂区 DCS 集散控制系统对接，可向中央控制室实时上传设备运行状态、故障报警信号、现场粉尘浓度等关键数据，管理人员可通过中控平台完成整套设备的远程监控、参数调节与故障排查。项目作业区域属于煤尘爆炸危险区域，为保障设备运行安全，现场所有仪表、电气设备防爆等级满足要求，设备整体防护等级达到 IP65，可适应粉尘、潮湿等复杂现场环境。供电回路就近接入厂区现有配电室，电缆统一采用 A 级阻燃铜芯电缆，提升电气系统运行安全性。

3 项目实施与工程应用

3.1 项目概况

本次技改应用项目为大唐内蒙古多伦煤化工有限责任公司输煤系统粉尘综合治理一期工程，施工场地位于内蒙古锡林郭勒盟多伦县淖尔镇盆窑村厂区内，项目性质为环保节能技术改造，建设资金全部由企业自有资金筹措。该企业为国内规模化煤基烯烃生产基地，厂区输煤系统承担着动力机

组、化工气化装置的原煤输送任务，日均输煤量高达近 3 万吨。厂区动力区配置数条输煤皮带机，化工区配套建设多座转运站、皮带输送机、滚轴筛、碎煤机等设备^[4]。

3.2 项目实施计划

表 2 项目实施进度计划表

实施阶段	工作内容
可行性研究报告编制	方案论证、参数核算、投资估算、合规性分析
详细工程设计	施工图设计、设备参数细化、管路布局规划
设备招标与到货	核心设备采购、生产、运输、进场验收
现场施工安装	旧设备拆除、新设备安装、管路敷设、电气接线
系统调试投用	单设备调试、联动调试、性能检测、正式投运

3.3 施工难点与应对措施

首先是不停产施工协调难度大。厂区输煤系统无法全线停机，针对这一问题，现场采用分段隔离、分区施工的作业方式，利用设备日常短时检修窗口开展施工。单次作业仅针对单条皮带、单个转运站开展改造，现场设置硬质隔离围挡与安全警示标识，实现施工区域与生产区域物理分隔，全程不影响整体输煤作业。其次是设备安装空间受限。输煤栈桥内部通行空间狭窄，原有桥架、水管、气管、电缆交错排布，大型机具进场、设备吊装都存在较大阻碍。正式施工前，技术人员结合三维图纸完成现场复测，重新优化设备与管路走向。现场优先采用模块化分体设备进场组装，搭配小型便携吊装工具完成高空、狭小区域的安装作业，同时优化管路排布。作业区域属于煤尘爆炸危险环境，动火、电气接线、金属打磨等作业风险较高。现场严格执行危险作业审批流程，作业前彻底清理作业区域内积聚的煤尘，安排专职安全人员全程监护，并配备足量消防器材。所有施工机具、电动工具均满足防爆要求，电气接线严格遵循防爆施工规范，从源头规避安全风险。最后是跨系统联动调试流程复杂。抑尘系统需要与皮带机、厂区 DCS 控制系统、原有公用管网协同匹配。

3.4 应用效果分析

本次改造构建的“源头抑尘+过程密闭+末端净化”协同治理模式落地成效突出。改造后，输煤系统有组织排放粉尘浓度稳定控制，优于火电厂大气污染物超低排放限值标准；输煤作业区域无组织粉尘浓度 $\leq 1.0\text{mg}/\text{m}^3$ ，厂界粉尘监测指标全部合规达标。

皮带防护、纠偏、清扫系统完成改造后，皮带运行抖动、跑偏、回程带料等长期困扰现场生产的问题得到彻底解决。防堵自清洗系统投入使用后，喷嘴、管路无需人工清理，双循环雾浴除尘器也未出现积灰、堵塞等故障，整套粉尘治理设备可在高负荷工况下长期稳定运行。从能耗角度来看，项

为最大限度降低技改施工对厂区正常生产的影响，项目采用分阶段、错峰施工模式，全程避开主线生产周期，保障企业生产连续性。项目整体分为五大实施阶段，具体进度规划如表 2 所示。

目整体能耗处于行业同类工程合理区间，节能效果突出^[5]。整套系统采用闭环水循环设计，除尘用水 100%循环复用，年水资源利用率实现最大化。

结语

总之，本次落地应用的水气协同抑尘自清洁系统，针对性解决了传统输煤除尘设备风量匹配不足、易堵塞积灰、各功能单元协同性差、二次扬尘多发、运维成本高等行业共性难题。系统采用模块化集成设计，最大化利旧厂区现有公用工程体系，无需新增占地、无需增设专职岗位，施工改造便捷、对生产干扰小、后期运维简便。水气协同除尘耦合自动清堵的技术方案，高度适配煤尘湿式治理的复杂工况；搭配智能联动自控系统，有效提升了输煤系统整体自动化、智能化管控水平。

[参考文献]

[1]巴烈电,张永清,姜学鹏. 输煤栈桥柔性水幕与可燃排热系统优化设计 [J]. 中国安全生产科学技术, 2026, 22 (3): 133-139.

[2]祁寅华,张翔,严成,等. 塑烧板除尘器在输煤系统中的应用及性能特性研究 [J]. 洁净煤技术, 2025, 31 (S2): 792-797.

[3]龙永祥,王惠杰,张兆军,等. 输送带转载点粉尘多维协同治理技术研究 [J]. 洁净煤技术, 2025, 31 (S2): 807-813.

[4]陆刚. 基于智能感知的火力发电厂输煤系统除尘器协同控制 [J]. 中国信息界, 2025, (9): 24-26.

[5]张宝健,张志远,许勃,等. 皮带转载点封闭式自动化干雾抑尘技术研究 [J]. 煤矿现代化, 2025, 34 (4): 75-78+82.

作者简介: 闫鑫, 1994 年 6 年, 男, 汉族, 本科, 河北张家口, 工程师, 设备工程、设备管理。