 DOI: https://doi.org/10.12349/iser.v6i2.4807

# Adaptive Cleaning and Dust Suppression Technology for Conveyor Belts in Port and Wharf Based on Intelligent Sensing and High-Pressure Micro-Mist Linkage

**Hualiang Huang Hongjiang Zeng Renkun Wei Mingda Liu**

Beibu Gulf Port Fangchenggang Terminal Co., Ltd., Fangchenggang, Guangxi, 538001, China

**Abstract**

This paper focuses on the research of adaptive cleaning and dust suppression technology for port terminal conveyors, which integrates intelligent sensing and high-pressure micro mist systems. By using intelligent sensing technology to monitor key data such as dust concentration in real-time and accurately, and employing high-pressure micro mist technology to pressurize water into micro mist for efficient dust suppression, the two systems are linked to create an adaptive cleaning and dust suppression system. This system encompasses several key modules including intelligent sensing, data transmission, control, and high-pressure micro mist execution. Practical application cases demonstrate that this technology significantly reduces dust concentration on port terminal conveyors, enhances cleaning efficiency, and offers both economic and environmental benefits, providing strong technical support for the construction of green ports.

**Keywords**

Commercial buildings; Electrical design; Intelligentization; Energy saving

# 智能传感与高压微雾联动的港口码头输送机自适应清扫抑尘技术

黄华良 曾洪江 韦仁坤 刘明达

北部湾港防城港码头有限公司，中国 · 广西 防城港 538001

**摘 要**

本文聚焦智能传感与高压微雾联动的港口码头输送机自适应清扫抑尘技术展开研究。通过智能传感技术实时精准监测粉尘浓度等关键数据，利用高压微雾技术将水加压形成微雾实现高效抑尘，两者联动构建起自适应清扫抑尘系统。该系统涵盖智能传感、数据传输、控制以及高压微雾执行等多个关键模块。实际应用案例表明，此技术显著降低了港口码头输送机的粉尘浓度，提升了清扫效率，具有良好的经济效益与环境效益，为绿色港口建设提供了有力的技术支撑。

**关键词**

商业建筑；电气设计；智能化；节能

## 1 引言

随着全球经济的快速发展，港口作为国际贸易的重要枢纽，其货物吞吐量不断攀升。输送机作为港口码头货物运输的关键设备。然而，这些散装物料在输送过程中极易产生大量粉尘，给港口码头带来了严重的粉尘污染问题。港口码头输送机产生的粉尘不仅会对周边环境空气质量造成严重影响，还会对工作人员的身体健康构成威胁。粉尘还会对港口设备造成损害，加速设备的磨损，降低设备的使用寿命，增加设备的维护成本，影响港口的正常生产运营 [1]。随着环保意识的不断提高和环保法规的日益严格，港口码头粉尘污染治理已成为亟待解决的重要问题。传统的粉尘治理方法如洒水降尘、布袋除尘等，存在着效率低、能耗高、适应性差等问题，难以满足港口码头日益增长的环保需求。智能传感与高压微雾联动的自适应清扫抑尘技术作为一种新型的粉尘治理技术，具有高效、节能、智能等优点，为港口码头输送机粉尘污染治理提供了新的解决方案。

## 2 智能传感与高压微雾联动技术原理

### 2.1 智能传感技术

智能传感技术是工业自动化关键，在港口码头输送机粉尘治理中至关重要。通过各类传感器，它能实时获取输送机运行及周边粉尘浓度等关键信息，为高压微雾抑尘和清扫

【作者简介】黄华良（1974–），男，壮族，中国广西防城港人，工程师，从事码头输送设备环保清理抑尘系统研究。

提供数据支撑。粉尘浓度传感器是监测核心，如激光粉尘传感器，利用光散射原理，检测精度高、响应速度快，能快速捕捉粉尘浓度变化，检测范围 0 - 1000mg/m³，精度 ±5%，响应时间 1 秒内。β 射线粉尘传感器基于射线衰减原理，测量准确、稳定性好，受环境影响小。压力传感器用于监测输送机皮带张力和高压微雾系统喷雾压力。监测皮带张力可及时调整张紧度，保证输送机正常运行；监测喷雾压力能确保雾滴粒径合适，使抑尘效果最佳，一般喷雾压力控制在 5 - 10MPa。振动传感器监测输送机运行状态，通过分析振动信号判断设备故障，如轴承磨损等，及时预警，保障设备安全稳定运行。

### 2.2 高压微雾抑尘技术

高压微雾抑尘技术是控制港口码头输送机粉尘污染的关键手段。它将水转化为微小雾滴与粉尘作用，实现粉尘沉降抑制。高压泵是系统核心动力源，通过机械传动把电机机械能转化为水压能，能将水压提升至 5 - 10MPa 甚至更高，为微雾形成供能。加压后的水经由不锈钢或高压橡胶管制成的高压管路，按输送机结构和粉尘产生区合理布置，输送至各喷嘴。喷嘴是关键部件，以离心式为例，高压水在内部螺旋槽或旋转部件作用下高速旋转，在离心力下形成水膜，离开出口后因空气剪切力和表面张力破碎成 10 - 50μm 的微小雾滴，比表面积大，易与粉尘接触。微雾滴靠惯性碰撞、拦截和布朗运动与粉尘结合，形成大颗粒团，在重力作用下沉降，过程中微雾滴吸收热量，降温和增湿，进一步促进沉降，有效抑制粉尘，减少其在空气中的悬浮时间和浓度。

### 2.3 两者联动的工作机制

智能传感与高压微雾联动是港口码头输送机高效清扫抑尘的核心，依靠先进控制算法和通信技术构建精准粉尘治理体系。 智能传感器像“感知神经元”，以激光粉尘传感器为例，其利用激光束遇粉尘散射原理，由内部探测器将散射光强度转成电信号，经算法解析出粉尘浓度数值。当粉尘浓度超过 50mg/m³ 阈值，传感器向控制系统发出信号，触发高压微雾系统。 高压微雾系统依据粉尘浓度和输送机运行状态，采用比例控制策略调整喷雾量 [2]。如浓度达 100mg/m³，喷雾量增至正常 1.5 倍。运用动态时间调整算法控制喷雾时间，浓度短暂升高，恢复正常后持续喷雾 5 - 10 分钟；浓度持续超标，喷雾时间延长，物料装卸高峰期可能连续工作 30 分钟以上。系统借助 RS485 总线通信或无线通信技术实现高效联动。RS485 总线通信抗干扰强、传输距离远；无线通信技术安装部署灵活，便于传感器和高压微雾系统分布在输送机关键位置，确保数据快速准确传输。

## 3 自适应清扫抑尘系统设计

### 3.1 系统架构设计

智能传感与高压微雾联动的港口码头输送机自适应清扫抑尘系统架构精密，由智能传感、数据传输、控制和高压微雾执行四层构成，协同完成清扫抑尘。智能传感层是基础，布置激光粉尘、压力、振动等传感器，监测输送机运行及粉尘浓度，覆盖关键部位，实时采集数据。数据传输层是“信息桥梁”，采用有线与无线结合传输。RS485 总线抗干扰强，用于短距离；Wi-Fi、ZigBee 等无线技术灵活方便，适用于远距离或布线难的场景。控制层是“大脑”，接收处理数据，依据预设规则生成控制指令，调整高压微雾系统喷雾参数和清扫设备状态，还有故障诊断预警功能。高压微雾执行层是“执行终端”，高压微雾系统依指令加压输水，喷头按输送机结构和粉尘源布局，精准调整喷雾参数实现抑尘；清扫设备如刮板、刷子清扫器，自动清扫输送机表面沉降粉尘，防止二次扬尘。

### 3.2 智能传感模块设计

在智能传感与高压微雾联动的港口码头输送机清扫抑尘系统里，智能传感模块至关重要，其设计影响系统整体运行。粉尘浓度监测选用基于米氏散射理论的激光粉尘传感器，通过光学探测器捕捉散射光转电信号，经算法算出粉尘浓度，检测范围 0 - 1000mg/m³，精度 ±5% ，响应 1 秒内，常安装在落料点、转接处。压力传感器基于压阻或应变效应监测皮带张力，压阻式传感器靠敏感元件电阻变化测张力，装在张紧装置处，皮带张力一般控制在 800 - 1300N 。振动传感器利用压电或磁电效应，监测电机、轴承座等关键部件振动，判断设备故障，轴承磨损时能及时报警。 数据采集采用分布式与集中处理结合模式。各传感器配独立采集模块，先将模拟信号转为数字信号，再通过 RS485 总线（短距离、抗干扰）或 Wi-Fi、ZigBee 等无线通信模块（布线难或远距离场景），把数据传至中央数据处理单元，经综合分析处理，为后续控制提供数据支撑。

### 3.3 高压微雾模块设计

高压微雾模块是清扫抑尘系统的关键执行部分，其设计关乎抑尘效果，由高压泵、管路和喷嘴等部件组成。高压泵是动力源，选型需考虑流量和压力。依据输送机规格和粉尘产生量，计算所需水流量，如 100 米长、5 米宽的输送机栈桥，粉尘量大时约需 100L/min 水流量，配合 5 - 10MPa 喷雾压力，可选用德国威乐 PH-1003 高压柱塞泵，流量 50 - 150L/min，压力达 10MPa。管路负责输水，布局依输送机结构和粉尘区规划，直线型输送机平行布管，复杂结构灵活布置。材质选 304 不锈钢管，耐腐蚀、耐压等级 16MPa 以上，能适应港口恶劣环境。喷嘴影响微雾粒径和抑尘效果，港口输送机多采用离心式喷嘴，因其结构简单、雾化好、不易堵。依输送机宽高和粉尘区分布，5 米宽输送机栈桥在距表面 1 - 2 米高处，每隔 1 - 2 米布一个喷嘴。考虑喷雾角度 60 - 120 度范围，确保喷雾区域衔接，无死角。

### 3.4 控制系统设计

控制系统是智能传感与高压微雾联动的港口码头输送机清扫抑尘系统核心，关乎系统运行与抑尘能力。硬件上，

西门子 S7-1200 系列 PLC 是关键，其丰富的输入输出接口可连接各类传感器和执行机构，数字量接口接收传感器数字信号，模拟量接口转换模拟信号供分析。数字量输出控制高压泵、阀门，模拟量输出调节高压泵转速。以太网通信模块实现 PLC 与上位机高速传输，方便上位机监控、远程控制和多系统集中管理。软件方面，数据采集与处理程序定时采集传感器数据，经滤波处理后存储并上传；控制算法程序采用模糊控制算法，依据粉尘浓度等数据，按模糊规则调整高压微雾系统喷雾参数，适应复杂工况，响应粉尘变化；人机交互界面程序基于组态软件开发，操作人员能直观查看系统信息，设置参数、控制设备，还具备故障诊断与报警功能，系统异常时及时提示。

## 4 技术应用案例分析

### 4.1 案例选取与背景介绍

为了深入验证智能传感与高压微雾联动的港口码头输送机自适应清扫抑尘技术的实际应用效果，选取位于我国东部沿海地区的某港口作为研究案例。该港口是我国重要的综合性港口之一，年货物吞吐量达数亿吨，其中煤炭、矿石等散装物料的运输量占比较大。港口内配备了多条大型输送机，负责将货物从卸船机或堆场输送至转运车辆或其他存储设施。这些输送机的长度从数百米到上千米不等，宽度在 1.4- 2 米之间，运行速度通常为 3.15- 4.75m/s。根据实地监测数据，在未采取有效抑尘措施时，港口输送机周围的粉尘浓度常常超过国家规定的职业接触限值。港口原有的粉尘治理措施主要为定期洒水降尘和简易的布袋除尘装置，但这些措施在实际应用中效果不佳，无法满足日益严格的环保要求。因此，该港口急需一种高效、智能的粉尘治理技术来改善作业环境。

### 4.2 系统实施过程与关键技术应用

在港口实施智能传感与高压微雾联动的自适应清扫抑尘系统时，经多步骤确保系统高效稳定运行。安装前期，技术团队勘察输送机布局、工况及周边环境，据此规划设备安装位置。在粉尘高发区安装激光粉尘传感器，皮带张紧装置和微雾管路装压力传感器，易故障部件装振动传感器。高压微雾系统安装时，高压泵选靠近水源且易维护处，用 304 不锈钢管铺设管路，密封连接部位防漏水，按输送机结构布置离心式喷嘴，提升抑尘效果。同时，在合适位置安装刮板、刷子清扫器等自动清扫装置。系统安装后进入调试阶段。先校准测试智能传感系统，用标准粉尘源校准激光粉尘传感器，调整压力、振动传感器。调试高压微雾系统时，优化喷雾压力、量和时间，如粉尘浓度 80mg/m$^3$ 时，调整喷雾压力 8MPa，量 120L/h，持续 15 分钟。联动控制调试中，模拟不同工况，验证联动效果，检测到粉尘超标时启动微雾并调参数，输送机停则停喷雾、启清扫，经多次测试优化算法，实现高效清扫抑尘。

### 4.3 应用效果评估与数据分析

为评估港口应用智能传感与高压微雾联动的自适应清扫抑尘技术的效果，对其进行了全面的数据分析。在粉尘浓度上，安装前，输送机正常运行时，周边 1 米内平均浓度达 150mg/m$^3$，装卸高峰期超 250mg/m$^3$。安装该技术系统后，系统稳定运行时，平均浓度降至 30mg/m$^3$ 以下，装卸高峰期也能稳定在 50mg/m$^3$ 左右，显著改善了港口空气质量。清扫效率方面，安装前靠人工清扫，500 米长输送机需 5 名工作人员耗时约 4 小时，且效果有限，易造成二次扬尘。安装系统后，自动清扫设备在输送机运行时就能工作，无需停机，清扫 500 米长的输送机仅需 1 小时，且清扫更彻底。

## 5 结论与展望

本文聚焦智能传感与高压微雾联动的港口码头输送机自适应清扫抑尘技术，成果兼具理论与应用价值。系统设计上，依据港口输送机作业及粉尘产生特点，搭建涵盖智能传感、数据传输、控制与高压微雾执行层的架构。智能传感层多传感器协同，实时精准监测；数据传输层有线无线结合，保障稳定高效；控制层借 PLC 和智能算法生成指令；高压微雾执行层实现抑尘与清扫。技术研究中，剖析智能传感、高压微雾及联动控制策略。明确各传感器原理、性能与传输方式，优化安装与采集参数；选型优化高压微雾系统关键部件，确定最佳喷雾参数；基于模糊控制算法建立联动控制模型，提升智能化与响应速度。实际应用表明，该技术成效显著，港口输送机周边粉尘浓度从 150mg/m$^3$ 降至 30mg/m$^3$ 以下，装卸高峰期稳定在 50mg/m$^3$ 左右，清扫效率大幅提升，自动清扫 1 小时完成，远超人工。展望未来，此技术将多维度发展。智能化方面，融合人工智能等技术，借助深度学习精准预测粉尘浓度，优化喷雾与清扫策略；设备集成化与小型化方向，紧密集成设备，减小体积重量，降低安装维护难度；拓展应用领域上，向矿山开采、煤炭运输、建筑施工等行业推广 [3]，针对不同行业特点优化，助力更多行业治理粉尘污染，为绿色发展贡献力量。

## 参考文献

[1] 高小剑.一种多货种散货码头带式输送机回程水洗清扫装置[J].港口装卸,2022,(01):8-9.

[2] 李少良,李建红,刘卫斌,等.港口散料码头带式输送机系统的实践[J].起重运输机械,2021,(05):69-72.

[3] 尹辉.回程皮带清扫箱抑尘系统设计[J].港口装卸,2020(3):33-3351.