

# 长大重载隧道内粉尘预警-抑尘联动技术研究

周新年 刘桂双

大秦铁路股份有限公司茶坞工务段

DOI:10.32629/etd.v6i5.16896

**[摘要]** 长大重载隧道内由活塞风、振动等因素引发的煤尘污染问题日益严峻,已成为制约铁路安全高效运营的关键瓶颈。为解决此难题,本文围绕隧道内部这一粉尘污染防控的核心环节,开展了隧道内粉尘预警-抑尘联动技术系统的研发,构建了粉尘浓度智能感知、超标阈值判定与抑尘设备自动启停的闭环控制系统。该研究直接为后续实现隧道环境粉尘的有效、快速、智能化控制提供坚实的技术保障。

**[关键词]** 长大重载隧道; 活塞风; 隧道粉尘; 智能化

**中图分类号:** U455 **文献标识码:** A

## Research on Early Warning and Dust Suppression Linkage Technology in Long and Heavy-Haul Tunnels

Xinnian Zhou Guishuang Liu

Chawu Business Section, Datong-Qinhuangdao Railway Co., Ltd.

**[Abstract]** The issue of coal dust pollution caused by factors such as piston wind and vibration in long and heavy-haul tunnels has become increasingly severe, posing a critical bottleneck to the safe and efficient operation of railways. To address this challenge, this paper focuses on the core aspect of dust pollution prevention and control within tunnels. It involves the development of a tunnel dust early warning and dust suppression linkage technology system, establishing a closed-loop control system for intelligent perception of dust concentration, determination of 超标 thresholds, and automatic activation and deactivation of dust suppression equipment. This research provides a solid technical foundation for the subsequent achievement of effective, rapid, and intelligent control of dust in tunnel environments.

**[Key words]** long and heavy-haul tunnels; piston wind; tunnel dust; intelligent

### 引言

我国作为全球主要的煤炭生产与消费国,其资源分布呈现显著的区域不平衡,高度集中于山西、陕西和内蒙古(“三西”地区),形成“西丰东缺、北富南贫”的格局。预计在未来相当长时期内,“三西”仍将是全国煤炭开采与供应的核心区域。为实现资源跨区域调配,全国约80%的煤炭需依赖铁路运输。随着大秦铁路成功开行3万吨重载列车试验,我国跻身全球少数掌握此项尖端重载技术的国家之列。重载运输以其高效率、低成本的优势,成为我国陆路煤炭运输的骨干方式。

然而,煤炭铁路运输过程伴随着显著的物料损失与环境挑战。受列车振动、货物泄漏及高速气流(风力常达5级以上)的共同作用,车厢顶部的煤尘极易散逸。尤其在列车交会或进入隧道时,风力骤增会引发严重的煤粉扬尘<sup>[1]</sup>。隧道内更为复杂:万吨级重载专列进出导致的断面突变,会引发强烈的“活塞风”效应。

这双重作用(强风与活塞风)<sup>[2]</sup>导致大量表层细煤及煤尘被吹离车厢,散落在铁路沿线,特别是隧道内部。据研究数据,仅运输途中的散落损耗,每年就造成超过我国当年煤炭总产量1%的损失,构成巨大的资源经济浪费和安全威胁。

近年来,随着环保要求提高和技术进步,针对铁路、矿山、港口等场景的粉尘治理技术快速发展。贾龙等<sup>[3]</sup>设计了“工作面多模块组网式喷雾降尘系统+采煤机滚筒泡沫抑尘系统”的综合粉尘防治技术,并在现场进行了实际应用。鲁轲等<sup>[4]</sup>确定了适用于现场的抑尘剂最佳配比方案和使用浓度,并开展了固定道路智能洒水降尘系统现场应用研究,有效提高了道路抑尘效果并延长持续时间。然而,现有研究缺乏有效的长大重载隧道内粉尘预警-抑尘联动手段。

因此,本研究研发了长大重载隧道内粉尘监测技术和长大重载隧道内粉尘预警-抑尘联动系统,为解决长大重载隧道内粉

尘监测预警及处置难题,提升长大重载隧道的安全作业水平提供了研究基础。

### 1 技术方案

具体的技术方案见图1所示。本方案中,工人完成药剂粉末与水的桶内混合并设定搅拌时间后,系统自动搅拌并储存药剂。粉尘传感器实时监测,浓度超标即驱动药剂泵(水泵1)喷洒药剂。浓度恢复安全值时,药剂泵停止,清洗泵(水泵2)自动启动,抽取清水清洗喷淋设备及管道,随后系统休眠。药剂桶低水位触发预警。通过循环上述步骤,实现智能联动抑尘。

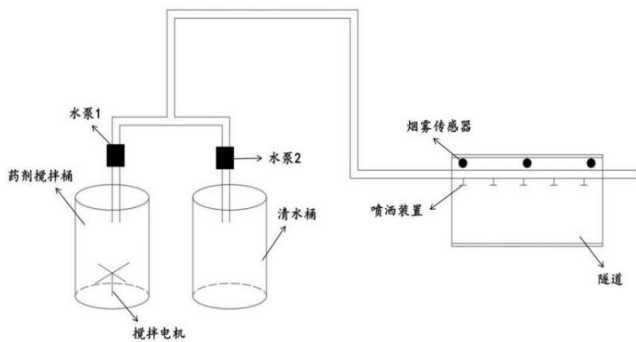


图1 技术方案图

相应的,课题开发了长大重载隧道内粉尘预警-抑尘联动的实时监控系统,如图2所示。为了满足现场降尘的各项需求,设置以下设备进行协同工作,保证整套系统正常运行。设备由控制机柜、抽水电机、搅拌电机、变压器、喷淋设备、粉尘传感器、水桶以及在线端服务器组成。

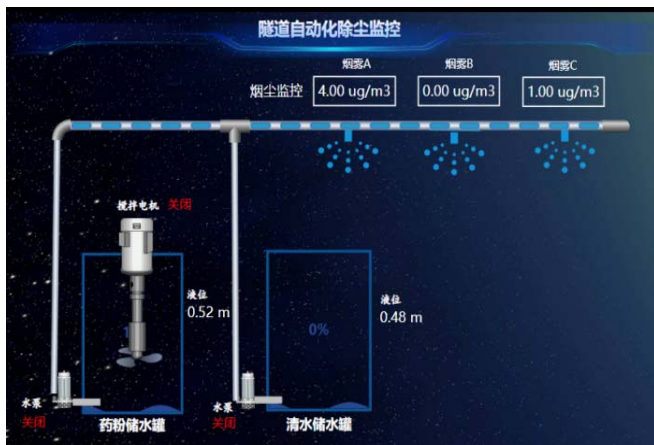


图2 在线端实时监控系统

现场实施中,工人需要完成药剂与水的桶内混合,设定并启动可配置时长的自动搅拌,药剂储存于桶中。粉尘传感器(烟雾)监测隧道浓度,超过可配置阈值则启动水泵1进行喷洒作业。浓

度降至可配置安全值则水泵1停止工作,并启动水泵2,按可配置时长(例: 1min)抽取清水清洗管道与喷洒装置,后水泵2停止工作。

该系统通过部署的传感器实时采集数据并监测设备运行状态,同时可借助摄像头远程观察现场情况。根据设定的粉尘浓度的启动和停止阈值,可以实现抑尘过程的全自动运行,期间无需人工干预。为防止设备堵塞、保障畅通运行,系统内置自动清洗功能,在每次抑尘剂喷洒结束后自动执行,无需人工操作。所有设备均支持手动启停操作,以应对特殊或紧急情况。设备全程联网,可通过定制的专用界面进行远程监控与操作,实现远程处理现场问题。此外,可根据不同的现场实际条件与需求进行针对性定制,以更好地满足现场作业要求。

### 2 测试与分析

对该系统进行测试,可以看出,系统可在10分钟内高效降尘并恢复作业可视度。分别取不喷洒药剂与喷洒药剂两种工况进行分析,设置喷洒浓度为 $1500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,得出图3所示的粉尘浓度数据演化曲线。可以看出,在粉尘浓度爬升时,两曲线接近重合,说明此时喷洒药剂对粉尘抑制效果不大,但在后半段喷洒药剂的工况下,粉尘浓度下降的明显要比不喷洒快。这说明药剂主要起作用时段为粉尘源不再产生粉尘时,此时喷洒药剂效率最高。

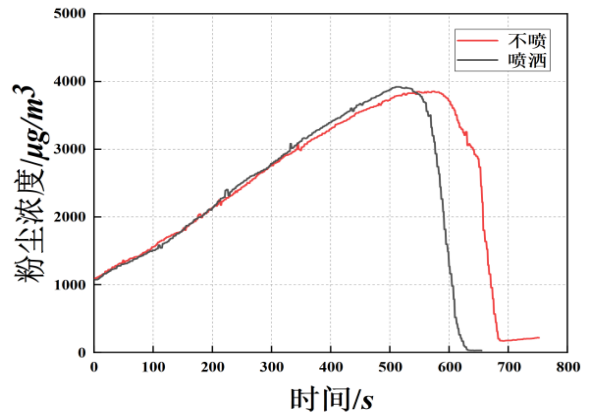


图3 测试中粉尘浓度随时间的演化曲线

### 3 结论

本文主要研究了一种智能化隧道内粉尘预警-抑尘联动技术系统,该系统对隧道降尘有显著的效果,能提升降尘效率。结合实际情况可以选择高效时段,也就是粉尘源不再产生粉尘时进行喷洒,也可为了防止粉尘逃逸选择从一开始便喷洒药剂进行抑制。两者都对长大重载隧道内粉尘浓度降低有显著效果。

#### 【参考文献】

[1]杨鸿克.重载铁路隧道入口段风流场特性及粉尘运移规律数值模拟[D].青岛理工大学,2022.

[2]刘纪俭,孟鑫,兰慧峰,等.地铁隧道运动列车的活塞风特性研究[J].都市轨道交通,2025,38(03):27-34+47.

[3]贾龙,任跃武,刘斌,等.离柳矿区煤矿综采工作面综合防尘技术研究[J].陕西煤炭,2025,44(07):101-106.

[4]鲁轲,巫亮,王迪.固定运输道路智能洒水降尘系统在红

沙梁煤矿的应用[J].能源与环保,2025,47(06):9-16+23.

**作者简介:**

刘桂双(1985--),男,硕士,高级工程师,研究方向:铁路隧道工程防灾减灾。