

铁路道床污物清理技术方案的研究

张旭峰

宝鸡中车时代工程机械有限公司, 陕西 宝鸡 721003

摘要：目前，铁路道床散煤等污物清理还是以人工为主，本文针对散落在铁路道床上的煤粉、沙土等污物，研究采用自动化机械设备进行清理^[1]，该研究为国内铁路道床煤粉专业化清扫装备提供依据，可有效解决目前运煤专线隧道口铁路道床散落煤粉清理，实现机械化替代人工，降低劳动强度，减少人工作业粉尘危害。同时，可有效降低运煤专线窗口维修时间占用率，同时对提升我国铁路养护机械装备水平，完善铁路养护装备类型，具有巨大的社会效益。

关键词：铁路道床；污物；装置

Research On The Technical Scheme Of Railway Road Bed Dirt Cleaning

Zhang Xufeng

Baoji CRRC Times Construction Machinery Co., LTD. Baoji, Shaanxi 721003

Abstract：At present, the cleaning of dirt such as loose coal on railway ballast is still mainly carried out manually. Aiming at the dirt such as pulverized coal and sand scattered on railway ballast, this paper studies the use of automated mechanical equipment for cleaning, which provides a basis for professional cleaning equipment of pulverized coal on railway ballast in China, and can effectively solve the cleaning of pulverized coal scattered on railway ballast at the tunnel entrance of the special coal-carrying line. To achieve mechanization instead of manual labor, reduce labor intensity, reduce dust hazards of manual operation. At the same time, it can effectively reduce the maintenance time occupation rate of the coal special line window, and at the same time improve the level of railway maintenance machinery and equipment and improve the type of railway maintenance equipment, which has huge social benefits.

Keywords：railway ballast; dirt; equipment

引言

全国铁路营业里程已超过15万公里，其中高速铁路线路达到3万公里，重载运输线路近1万公里。随着我国铁路运营里程和使用年限的不断增加，结合国家铁路“十三五”发展规划加强科技研发和自主创新，全面提升基础保障能力。传统的以人工为主、装备为辅助的铁路养护和铁路救援工作很难满足时代发展需求^[2]。

铁路道床污物处理装置为一款粉尘清理装备，主要面向铁路维保市场需求，清理铁路道床煤粉、沙子等污染物^{[3][4]}。

一、技术方案

铁路道床污物清理产品功能，主要包括轨道外侧煤粉清扫功能、轨道内侧煤粉清扫功能、除（降）尘功能、安全监测功能等。

本文将散落在隧道口附近的煤粉作为研究清理的对象，针对该需求进行调研及方案研究。同时，为了更加细致的研究，将总技术方案分解为4项子关键技术，逐一进行对比验证。如表1所示

表1 产品关键技术明细

序号	关键技术		技术参数指标
1	隧道煤粉多模式高效清扫技术	整机作业工艺集成匹配技术	集成度：一节车厢实现所有作业功能 整机工作效率： $\geq 120 \text{ m}^3/\text{h}$ 整机宽度：① 行驶状态： $\leq 3.1 \text{ m}$ ② 作业状态： $\geq 6 \text{ m}$

序号	关键技术		技术参数指标
2		超厚煤粉高效清扫及分离技术	清理煤粉厚度： 200 mm
3		作业过程气力输送风量匹配技术	风机风量： $\leq 36000 \text{ m}^3/\text{h}$ 风机风压： $\geq 9000 \text{ pa}$
4		隧道煤粉多模式高效清扫及智能控制技术	煤粉清理作业宽度： $\geq 6 \text{ m}$ 智能控制安全作业模式： $\geq 6 \text{ 种}$

（一）整机作业工艺集成匹配技术

研究整机作业流程、工况，设计在一节车厢完成所有作业功能的方案，整机宽度满足行驶状态： $\leq 3.1 \text{ m}$ ，作业状态： $\geq 6 \text{ m}$ ；整机作业效率匹配能力 $\geq 120 \text{ m}^3/\text{h}$ 。首先通过研究隧道作业工况、作业特点；其次提出满足一节车厢，行驶状态和作业状态尺

* 作者简介：张旭峰（1989年5月—），男，汉，甘肃省白银市，宝鸡中车时代工程机械有限公司，工程师，本科，研究方向：轨道交通

寸要求的方案，然后匹配计算整机物料输送工艺链，最后完成设计方案，完成整机作业工艺匹配。

1. 作业工况、工法、工艺分析

对铁路隧道断面、煤粉分布情况、车辆作业特点进行分析。在隧道口内煤粉清扫长度约1公里，轨道内侧清扫宽度1.4m，轨道外侧清扫宽度4.8m（单侧宽度2.4m），煤粉最大清扫厚度约200mm，煤粉粒径 $\leq 3\text{mm}$ 的占比90%^[5]，在清理煤粉等污物时铁路道砟不能被清理走，同时，在隧道内作业需考虑防尘、防爆等影响健康及安全的因素。

在整机作业工法方面，包括行动编组、行动步骤、行动方法三个方面。

a) 行动编组：①车辆编组：铁路道床吸污车+物料车；②人员编组：指挥组（司机室1人）、监控组（司机室1人）、作业组（地面2人）。

b) 行动步骤：工位勘察；主扫刷落位；侧清扫装置水平伸出；侧清扫垂直落位；主输送启动；卸料器启动、风机启动；主扫刷启动；侧清扫装置启动；车辆定速前进；作业过程监控；作业停止；收回装置；离开场地。

c) 行动方法：①运用“多模式一键切换”，一键操作展开或收回主扫刷和侧清扫装置；②运用“应急作业处置”，处置应急停车、带载启动、应急避障作业。

在不同清扫方案对比分析方面，对机械清扫、负压清扫、组合清扫4种清扫方式对比分析，侧清扫装置采用“滚刷+刮板链输送”的机械清扫方式，具有清扫厚度大、效率高等优点，主吸扫装置采用“滚刷+气力输送”的组合清扫方式，兼顾车架结构布置空间和作业效率。

2. 全断面清扫方案

a) 工作状态，主扫吸装置清扫轨道内侧煤粉；侧清扫装置布置于车体左右两侧，单侧3个，每个侧清扫装置可实现水平伸缩，实现一次性最大作业宽度 $\geq 6.2\text{m}$ ；

b) 行驶状态，主扫吸装置抬起离地，6个侧清扫装置全部抬起离地、水平缩回，宽度尺寸3.1m。

3. 全断面清扫方案各装置作业效率匹配

对主扫吸和侧清扫不同装置的作业效率进行匹配，按设计最大作业效率 $140\text{m}^3/\text{h}$ （ $\geq 120\text{m}^3/\text{h}$ ），其中轨道外侧作业效率 $110\text{m}^3/\text{h}$ ，轨道内侧作业效率 $30\text{m}^3/\text{h}$ ^[6]。

（二）超厚煤粉高效清扫及分离技术

研发可实现200mm厚煤粉一次清扫装置，煤粉与铁路道砟的分离装置，先行试验验证清扫厚度、作业效率、分离效果。

1. 侧清扫装置理论设计计算

建立入料口刷毛计算模型、刮板链运行阻力计算模型、物料抛出计算模型，开展滚刷滚动阻力、抛高与入料口高度匹配、刮板链输送效率功率、物料抛出轨迹计算。如图1所示

2. 筛分装置筛分效率优化

设计新型拨料筛分装置，优化分析不同筛网倾角时的作业效率和漏料速率，得到 18° 倾角时单装置最大作业效率 $26\text{m}^3/\text{h}$ ，整机配置6个装置，最大理论作业效率可达 $156\text{m}^3/\text{h}$ 。如图2所示

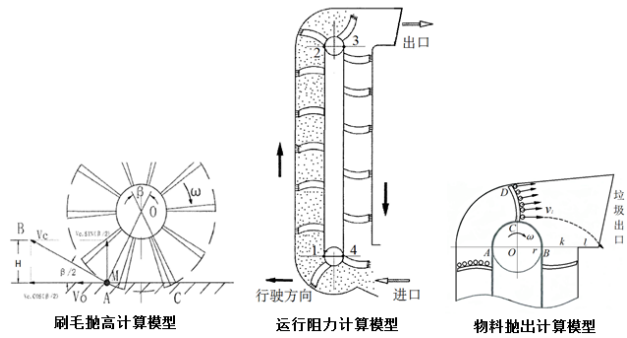


图1侧清扫装置理论设计计算

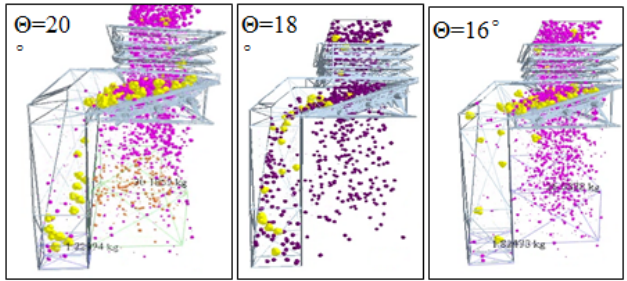


图2不同筛面倾角时筛分效果对比

3. 开展试验验证

侧清扫装置开展清扫厚度和作业效率验证，清扫煤粉厚度可达205mm，单装置 $23\text{m}^3/\text{h}$ ，最大作业效率 $138\text{m}^3/\text{h}$ ^[7]，满足要求。

主扫吸装置基于市政用扫路车吸扫装置，验证主扫吸清扫厚煤粉效果和煤粉道砟清扫效果，200mm厚度煤粉清扫不发生堵料，合理调节吸管风速，铁路道砟不被吸起，方案可行。

筛分装置开展煤粉与道砟混合料的分离试验验证，分离效果明显，方案可行。

（三）作业过程气力输送风量匹配技术

匹配整机干式除尘和主扫吸物料风量和风压需求，匹配调节风机转速，实现风机风量的动态管理，提高风量利用率，风机风量 $35000\text{m}^3/\text{h}$ ，风机风压 $\geq 9000\text{pa}$ ^[8]。首先通过理论计算除尘和清扫的风量需求，设计三维模型，其次搭建整机CFD有限元仿真分析模型，进行优化校核，最后通过试验验证除尘效果^[9]。

1. 理论计算风量需求

开展理论设计计算，干式除尘风量需求 $12564\text{m}^3/\text{h}$ ，主扫吸风量需求 $17625\text{m}^3/\text{h}$ ，总风量需求 $\geq 31000\text{m}^3/\text{h}$ ^[10]。

2. CFD有限元校核

搭建CFD有限元仿真分析模型，验证风量和风压需求，当总风量为 $35000\text{m}^3/\text{h}$ ，风压6419 pa，同样风量下，有滚刷时管道内阻力是无滚刷时的1.3倍，因此系统需要风压不低于8344.7pa，因此，本方案风压 $\geq 9000\text{pa}$ 满足要求。如图3所示

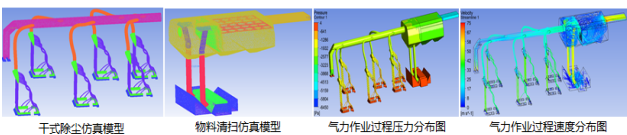


图3 CFD有限元仿真分析

（四）隧道煤粉多模式高效清扫智能控制技术

针对隧道不同作业工况，设计操作简单智能的一键切换按

键,节约作业准备时间,提高清扫效率。工作模式 ≥ 6 种。

1.设计组合清扫智能控制方能

根据隧道煤粉分布情况,设计全断面清扫、轨道外侧清扫、轨道内侧清扫、左侧清扫、右侧清扫、一键收车模式,实现障碍物检测报警,人工确认,一键切换工作模式,提高清扫效率。

2.设计搭建硬件模型，障碍物模拟识别

设计了多模式高效清扫软硬件方案,初步搭建了障碍物识别系统,进行了模拟试验。如图4所示

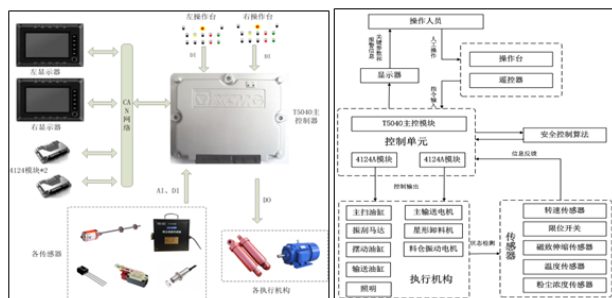


图4 6种常见智能一键清扫模式

三、结语

基于上述功能及性能分析,轨道外侧煤粉清扫功能和轨道内侧煤粉清扫功能拟采用分段清扫设计原理,轨道内侧污物采用“滚扫+气力输送”清扫方案;轨道外侧污物采用集成“滚扫+刮板提升+筛分+皮带输送”的清扫方案,左、右两侧分别对称设置三个清扫装置,通过组合方式扩大清扫范围。车辆在行驶过程中,可确保轨道内清扫宽度和轨道外左右清扫宽度到达不少于6m的隧道一次性全地面清扫宽度。

铁路道床污物处理是我国现阶段运煤干线铁路重要的维护工作,对我国铁路运输安全、运输效率都有直接的影响,该研究具有一定的社会经济效益。

参考文献

- [1] 陈宪麦, 陈楠, 王日吉, 李赛, 董春敏. 粗、细粒径煤质对道砟颗粒剪切性能的影响 [M]. 中南大学学报 (自然科学版), 2022.
- [2] 陈楠. 基于离散元法的钢轨—轨枕—有砟道床力学性能的研究 [M]. 铁路运输, 2023.
- [3] 张继恩, 郭关柱. 利用气流吹吸原理吸收铁路道床堆积煤粉的关键特性研究 [M]. 中国铁路, 2015.
- [4] 李勇俊. 有砟铁路道床动力特性的离散元并行计算及试验研究 [M]. 大连理工大学, 2020.
- [5] 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 [M]. 青岛理工大学, 2022.
- [6] 张灵, 史天亮. 轨道清污车吸污效率影响参数正交试验研究 [M]. 轨道交通装备与技术, 2020.
- [7] 张灵, 史天亮. 铁路道床吸污车吸污性能试验研究 [M]. 中国铁路, 2015.
- [8] 张灵, 史天亮. 铁路道床吸污车吹吸装置流场数值模拟及结构优化 [M]. 铁道科学与工程学报, 2015.
- [9] 许渊博. 道床吸污车粉尘监控系统设计研究 [M]. 内燃机与配件, 2017.
- [10] 胡传亮, 郭关柱. 利用侧吹风提高铁路道床吸污车吸污能力研究 [M]. 中国铁路, 2013.