

Design and research on the ventilation system of high-prototype rail grinder

Jianchang Yang Xuhang Zheng Jiwu Fang Zengbao Wang

Zhuzhou Times Electronic Technology Co., Ltd., Zhuzhou, Hunan, 412007, China

Abstract

The operational efficiency of rail polishing vehicles in high-altitude areas is significantly affected by the performance of the ventilation system. This article takes the ventilation system of the polishing vehicle as the research object, uses finite element simulation to simulate the fluid flow of the entire rail polishing vehicle, constructs a vehicle heat flow field model, and reveals the heat flow law and the degree of influence on the temperature of the ventilation system. Based on this model, the influence of heat flow state and temperature distribution is analyzed, and the overall structural layout of the vehicle is optimized. An optimization scheme of adding guide plates is proposed to solve the impact of brake resistance heat flow on the ventilation system, effectively improving the stability of the ventilation system. This study provides a theoretical basis for the improvement of ventilation systems for high-altitude work equipment.

Keywords

high-altitude operation; fluid simulation; rail polishing; structural optimization; stability

高原型钢轨打磨车通风系统设计研究

杨建昌 郑旭航 方继武 王增宝

株洲时代电子技术有限公司, 中国·湖南 株洲 412007

摘 要

钢轨打磨车在高原地区作业效能受通风系统性能影响显著, 本文以打磨车通风系统为研究对象, 利用有限元仿真, 对钢轨打磨车整车进行流体仿真, 构建整车热流场模型, 揭示了热流流动规律和对通风系统温度的影响程度。基于该模型分析热流流动状态和温度分布的影响, 对整车结构布局进行优化, 提出增加导流板的优化方案, 解决制动电阻热流对通风系统的影响, 有效提高了通风系统的稳定性。本研究为高原作业装备的通风系统的改进提供了理论依据。

关键词

高海拔作业; 流体仿真; 钢轨打磨; 结构优化; 稳定性

1 引言

钢轨打磨车(以下简称打磨车)用于钢轨表面打磨廓形, 面对高海拔地区高寒缺氧、超长大坡道、密集隧道群等极复杂条件, 通风系统是保障整列车正常运行的关键部分, 该系统稳定性直接影响打磨距离及效率。通风系统主要由牵引散热系统和电气间通风系统两部分组成, 牵引散热系统主要给转向架上的牵引电机提供冷却空气, 以满足牵引电机散热功能, 电气间通风系统主要是给车内提供洁净空气, 满足车内通风, 且维持车内微正压, 保证打磨时的粉尘不从车体缝隙进入车内^{[1][2]}。

随着海拔高度的上升, 大气密度将逐渐降低, 平均每上升 1000 m, 大气密度将降低 9% 左右, 而海拔 4000m 以上时

大气密度下降幅度更为剧烈。对车辆通风系统而言, 高原条件下虽然进入通风机内体积流量不会发生太大的变化, 但质量流量会随着海拔高度的升高明显降低, 导致通风系统散热效果也随之急剧下降, 所以车辆在高原地区行驶过程中, 经常出现过热现象, 影响正常行驶^{[3][5]}。且打磨车在行驶过程中制动电阻、发动机等装置会产生大量热空气, 这些热空气容易对通风系统造成负面影响^{[3][4]}。本文以某型打磨车为研究对象, 通过建立整车外部的三维仿真模型, 模拟车辆在高海拔地区热流场情况, 并根据结果对设计进行优化改进, 提升通风散热能力, 减弱热空气流对通风系统影响, 提高车辆稳定性, 为整车设计提供理论依据。

2 工作原理及问题分析

2.1 高原型钢轨打磨车介绍

高原型钢轨打磨车采用内燃、接触网取电双动力源, 整车由两节动力车和两节非动力车组成, 采用交流电传动技术,

【作者简介】杨建昌(1981-), 男, 中国江西赣州人, 本科, 高级工程师, 从事轨道车辆研究。

在长大隧道、长大坡道等环境条件下相比传统内燃动力钢轨打磨车具备显著优势，能有效解决现有内燃动力钢轨打磨车噪音污染、废气污染、发动机过热及随海拔增高功率下降等问题，为解决高原地区钢轨打磨作业难题提供了可行性^{[1][5]}。

2.2 牵引散热系统工作原理

如图1所示牵引散热系统作用于动力车，布置于牵引电机上方，由进风道、通风机安装座、出风道构成。进风处设置迷宫式百叶窗，能够有效地抑制粉尘和雨水的进入，冷空气经过通风机加压后，通过下方的排气管道进入牵引电机，对牵引电机进行强迫风冷散热。另外牵引散热风机电机可通过程序进行变频操作，满足随海拔变化调整牵引电机的散热风量。

由于打磨作业过程中车体下方粉尘较大，所以散热系统将车顶的冷空气吸入，经通风机吹向车底，进风口的位置远离出风口，不会出现热风回流导致部件过热。能很好解决隧道内发动机过热停机等问题，可以实现高原地区长大隧道钢轨打磨连续作业。

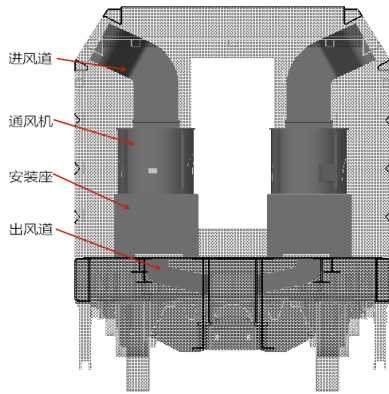


图1 牵引散热系统三维示意图

2.3 电气间散热系统工作原理

如图2所示电气间通风系统作用于电气间，同样应采用独立风道通风，进风处设置迷宫式百叶窗，能够有效地抑制粉尘和雨水的进入，空气经离心通风机加压，通过导流安装柜导流后，经双层过滤装置过滤后进入电气间，对车内电气柜进行通风散热，并维持电器间微正压，使打磨粉尘不进入电气柜等高压设备。双层过滤装置由旋风除尘器和粉尘过滤器构成，可过滤70%以上的 $5\mu\text{m}$ 粉尘，保证车内设施和人员健康。

3 整车三维模型与流场边界条件分析

3.1 基于整车流场建模

为更直观验证打磨车在高原实际散热状况，利用Fluent对打磨车在有限空间内排出的热空气进行仿真，揭示了打磨车静止和作业时排气的流动规律。由于两个动力车相同，为简化计算选取一节作业车进行仿真，并对其表面进行简化处理，运用三维建模软件对打磨车外部流场进行了三维建模，

并进行网格划分。因为本文以打磨车作为研究对象，所以计算模型与产热组件安装尺寸保持完全一致，计算区域为车体周围流体区域，在前端添加空气流速条件，进而代替车辆向前行驶时气流状况。

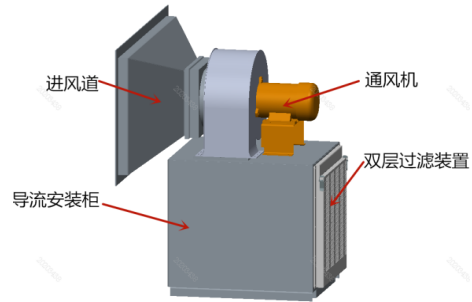


图2 电气间通风系统三维示意图

3.2 流场计算条件及边界条件

为模拟海拔4500m环境，将流体介质设为air（空气密度 $0.64\text{kg}/\text{m}^3$ ）温度为 20°C ，并且根据打磨车作业工况设定车体运行速度 $20\text{km}/\text{h}$ ；牵引风机进口窗边界条件定义为velocity-outlet风速 $130\text{m}^3/\text{min}$ ；电气间风机进口窗边界条件定义为velocity-outlet风速 $60\text{m}^3/\text{min}$ ；制动电阻进风口边界条件定义为velocity-outlet风速 $144\text{m}^3/\text{min}$ ，温度为 300K ，制动电阻出风口边界条件定义为velocity-inlet风速 $144\text{m}^3/\text{min}$ ，温度为 500K 。其余整车四周空气边界定义为pressure-outlet，相对压力 0MP_a ，保证空气自由流动，其余车体表面设置定义为Wall。收敛残差精度取 10^{-6} 。

4 整车流场仿真结果分析

图3为打磨车保持 $20\text{km}/\text{h}$ 车速运行时整车热流运动轨迹仿真结果。当车辆持续运行时，由于车体处于运动状态，车体压缩前进方向空气，迫使气流沿车体表面向后方运动，制动电阻产生的热流随气流运动，被整车后方牵引通风机吸入。热流排出制动电阻后温度达到最高，和外界空气进行热交换，但由于海拔较高，空气密度低，热交换效果不理想。通过对车体后方牵引通风机进风百叶窗截面进行分析，热流气体占百叶窗面积的60%，平均温度较外界温度高 36°C ，最高点温度为 106°C ，严重影响后方牵引电机散热，进而威胁车辆正常行驶作业。

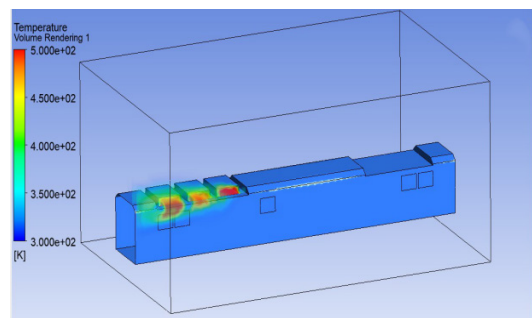


图3 20km/h车速时制动电阻热流温度图

5 整车热流场优化方案及流场仿真分析

5.1 整车热流场优化方案

在打磨车作业过程中，制动电阻与牵引电机性能的稳定性成为保障打磨效果的关键指标。面对高海拔地区的长大坡道和隧道，制动电阻需长时间工作以控制和限制速度，因此，优化整车的流场显得刻不容缓。

为保障整列车具备足够的制动力，每列车配置了八个制动电阻。考虑到制动电阻的防雨需求以及车辆双向行驶的特性，我们决定摒弃垂直方向和车辆行驶方向排风散热的方案。为防止各制动电阻之间相互影响，我们将整列车的制动电阻出风侧统一调整为同向。现有的设计方案中，制动电阻与进风百叶窗的距离过近，然而，综合考虑通风系统的风阻和沿程压力损失，我们决定维持通风系统的位置不变，将其依然设置在牵引电机的正上方。在此基础上，我们将制动电阻向车辆中部移动，使其与进风百叶窗保持 1.5 米的横向距离，并在制动电阻的出风侧添加导流板。

这样的优化设计有几大优势：首先，通过增加制动电阻与进风百叶窗的距离，可以更有效地利用周围空气进行散热，减少牵引电机因过热而导致的性能衰减；其次，导流板的添加能够更有效地引导风流，进一步增强散热效果，避免热空气在制动电阻周围滞留；同时，制动电阻的合理布局和调整，有助于减少相互之间的热干扰，提高整体系统的稳定性和可靠性。

5.2 优化方案流场仿真分析

将打磨车优化后的车体模型重新导入，仿真边界条件与之前相同，生成图 4 为增加导流板后 20km/h 车速时流场仿真结果。由图可知：气流依旧延车体向后运动，但由于提升制动电阻到百叶窗的距离，正常空气和热流充分进行热交换，到进风百叶上方时温度已明显下降，且距进风位置较远。可以看出，热流从制动电阻排出后，经导流板引导后直接向上方运动，只有小部分热流弥散于进风口水平位置，通过对车体后方牵引通风进风百叶窗截面进行分析，热流气体占百叶窗面积的 1%，平均温度较外界温度高 0.3 度，最高点温度为 27℃，满足通风系统设计的要求。

为验证车辆高速运行时流场变化，进而提升打磨通过长大坡道的可行性，模拟车速 120km/h 状态结果如图 5 所示：由于车速变快气流流速增加，热流经导流板导流后快速向后运动，且相较于之前热流高度下降幅度较小，未达到进风位置，进风截面未有温度变化，可以认为此方案能够解决制动电阻热流对通风系统的影响，并且无问题产生。

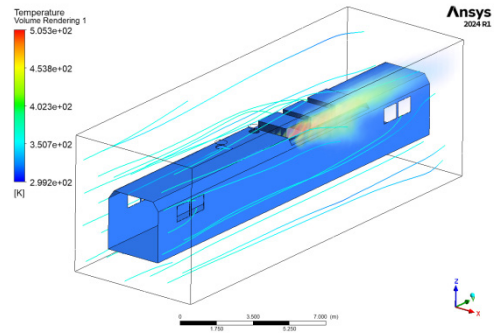


图 4 增加导流板后 20km/h 车速时车体流场图

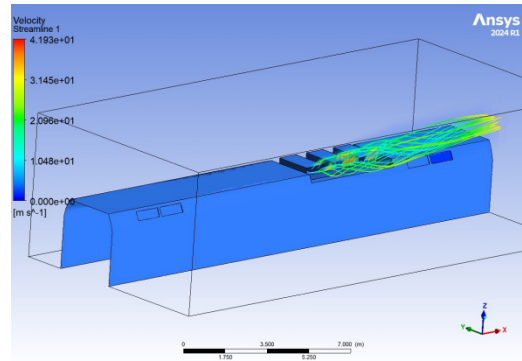


图 5 增加导流板后 120km/h 车速时车体流场图

6 总结与展望

在高海拔、长坡道及隧道等复杂运营环境中，制动电阻等产热原件长时间工作会产生大量热量。优化后的热流场设计，在保证原有制动力的情况下，降低了热流对通风系统的影响，确保列车运行的安全性和平稳性。这对于提升高速列车的整体运营效率和安全性具有重要意义。总之，通过对制动电阻布局的优化和通风系统设计，我们有效解决了高速列车在高海拔、复杂线路条件下的散热难题，为列车的安全、稳定运行提供了坚实保障。未来，我们还将继续探索更先进的散热技术，进一步提升高速列车的性能和可靠性。

参考文献

- [1] 杨建昌,唐辉,金贵文.高原长大隧道打磨作业研究与实践[J].现代城市轨道交通,2023(11):26-31.
- [2] 董耐强.钢轨打磨列车高原运行问题探讨[J].铁道车辆,2015,53(07):32-34+6.
- [3] 侯明坤.高原山区铁路曲线地段钢轨打磨研究[J].铁道机车车辆工人,2009(08):1-7.
- [4] 许翔,王丹,徐俊芳,等.车辆冷却系统高原热平衡性能研究[J].装备环境工程,2021,18(02):1-5.
- [5] 杨建昌,王建宏,朱红军,向鹏霖,黄干,周明翔.双动力48磨头钢轨打磨车研制[J].中国机械工程,2019,30(03):365-371.