

动车组设备舱内流场计算分析

于庆斌 邵 晴

(中车长春轨道客车股份有限公司国家轨道客车工程研究中心, 130062, 长春//第一作者, 正高级工程师)

摘 要 为清晰掌握动车组在极端温度和恶劣风环境下设备舱内沙尘的流向情况, 采用列车空气动力学的数值计算方法, 对不同恶劣风环境和高温条件下动车组设备舱内流场进行研究。通过对动车组设备舱内压力场和速度场流向的分析比较, 获取了动车组在不同车速和不同风速下, 其设备舱内流场变化情况, 以及底部开孔对设备舱内流场的影响。

关键词 动车组; 设备舱; 流场

中图分类号 U226.2; X169

DOI: 10.16037/j.1007-869x.2021.02.014

Calculation and Analysis of EMU Equipment Compartment Flow Field

YU Qingbin, SHAO Qing

Abstract In order to clearly grasp the flow direction of dust in the equipment compartment of EMU in extreme temperature and severe wind environment, the numerical calculation method of train aerodynamics is used to study and analyze the flow field in EMU equipment compartment under different severe wind environment and high temperature conditions. Through the analysis and comparison of the flow direction of pressure field and velocity field in EMU equipment compartment, the change of flow field in EMU equipment compartment at different train speed and under different wind speed conditions, and the influence of bottom hole on flow field in equipment compartment are obtained.

Key words EMU; equipment compartment; flow field

Author's address CRRC Changchun Railway Vehicles Co., Ltd., 130062, Changchun, China

随着我国高速铁路的快速建设, 越来越多的动车组行驶在类似兰新线、哈大线等极端温度、恶劣风环境的线路上^[1-3]。这些特殊环境对动车组的安全运营和列车设备舱的通风散热性能均产生很大影响^[4-5]。为了减小风、沙、雨、雪对动车组设备舱内吊挂设备的影响, 同时缓解因设备舱内温度过高而影响动车组正常运行的情况, 动车组设备舱采用了大面积格栅加过滤网的特殊密封式结构和通风形式^[6-7], 既保证设备舱与外界气流交换和散热, 又

能阻挡外界砂砾等杂质进入设备舱。但即使这样, 仍会有细小的沙尘进入设备舱内, 对设备舱和内部设备产生影响。

本文采用列车空气动力学的数值计算方法, 对恶劣风环境和高温条件下动车组在明线和通过风区挡风墙^[8]等工况下的设备舱内流场进行模拟研究。主要研究了动车组距离挡风墙不同位置时, 设备舱内部流场的变化情况; 考虑动车组在不同车速和不同风速下, 其设备舱内流场的变化情况, 以及底部开孔对设备舱内流场的影响。

1 动车组设备舱内流场计算条件

本文选取动车组设备舱内对周围流场及温度场有较大影响的牵引辅助变流器和主变压器车辆作为研究对象, 采用湍流模型^[9-10]模拟动车组周围空气流场的流向, 分析设备舱内变流器和主变压器周围流场及其温度场的分布情况。

1.1 计算模型

计算模型根据某型号动车组设备舱及其内部设备创建。图 1 为采用 3 辆编组的动车组及设备舱数值计算模型。图 2 为动车组设备舱内部布置图。其中, 图 2 a) 为位于头车和尾车的带有牵引辅助变流器的动车设备舱, 图 2 b) 为位于中间车的带有主变压器的拖车设备舱。

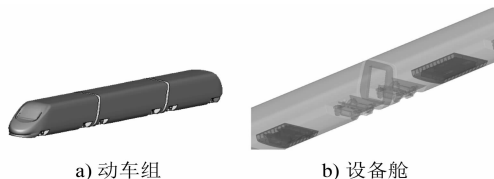


图 1 动车组及设备舱数值计算模型

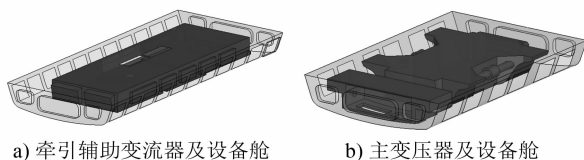


图 2 动车组设备舱内部布置图

1.2 边界条件

边界条件按照格栅(包括滤网)、牵引辅助变流器和主变压器实际设计时的通风量及散热功率来设置。模拟计算中,线路的线间距均取 5 m;各工况均采用 3 辆编组(头车+中间车+尾车)的形式,且头车为安装变流器的动车,中间车为安装主变压器的拖车。本文主要针对动车组设备舱内的流场进行研究,计算时同时考虑列车外部流场和设备舱内部流场间的耦合。表 1 为动车组通过挡风墙时设备舱模拟工况表。表 1 中,风速及车速根据《铁路客运专线技术管理办法》中关于动车组列车遇大风行车限速的规定及大风管理办法选取。

表 1 动车组通过挡风墙时设备舱模拟工况表

工况	温度/ ℃	风速/ (m/s)	车速/ (km/h)	挡风墙 高度/m	位置
1	45	60	0	4.0	1 线
2	45	45	120	4.0	1 线
3	45	35	200	4.0	1 线
4	45	20	250	4.0	1 线
5	45	60	0	4.0	2 线
6	45	45	120	4.0	2 线
7	45	35	200	4.0	2 线
8	45	20	250	4.0	2 线

注:1 线为远离挡风墙侧的线路;2 线为靠近挡风墙侧的线路。

动车组设备舱及吊挂设备壁面、地面均采用标准壁面函数模拟。具体设备舱及内部设备边界条件设置如表 2~4 所示。设备舱内边界条件设置如图 3 所示。计算表 2 中的格栅阻力特性时,首先对实车格栅(包括过滤网)的通风特性进行试验测试获得相关数据,然后对格栅前后流速进行处理,得到格栅前后压降,从而获得格栅在不同风速下的阻力特性。

表 2 格栅阻力特性

风速/(m/s)	12.4	14.4	18.6	20.4	26.9	30.5
阻力/Pa	92.2	124.1	207.2	249.5	432.7	552.8

表 3 设备发热量及表面热流密度

设备	发热量/ W	总表面积/ m ²	热流密度/ (W/(m ² ·K))
牵引辅助变流器	250 0	27.42	91.19
主变压器	374 0	29.98	124.75

表 4 设备通风量

设备	通风量/ (m ³ /s)	通风口总面积/ m ²	通风口流速/ (m/s)
牵引辅助变流器	2.7	0.592 2	4.56
主变压器	7.0	0.720 0	9.72

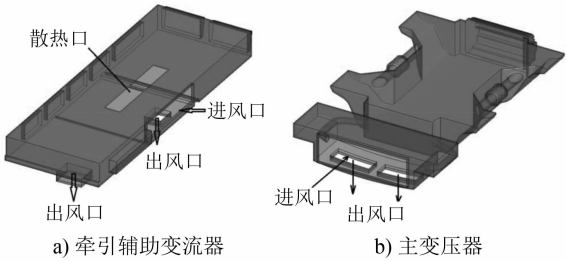


图 3 设备舱内边界条件设置

2 计算结果与分析

2.1 列车静止时设备舱内流场模拟分析

图 4 为列车处于静止状态以及设备和通风系统正常工作下,动车和拖车的设备舱表面压力分布云图。通过对模拟结果分析可知:动车组设备舱内变流器内部流场压力相对外部较大,且整个流场处于强湍流状态,流场内分布有大小不一的涡;受风机影响,拖车设备舱冷却箱内流场压力相对拖车设备舱内要大;相对动车设备舱内流场而言,拖车内流场相对平稳。

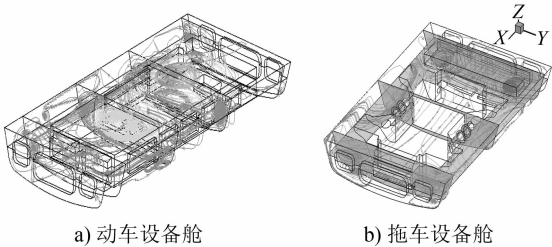


图 4 列车静止时设备舱内三维流线图

2.2 不同工况下设备舱内流场模拟分析

图 5~8 分别是横风为 60 m/s、45 m/s、35 m/s 和 20 m/s 时,列车分别以 0、120 km/h、200 km/h 和 250 km/h 的速度于 1 线和 2 线通过挡风墙风区,且

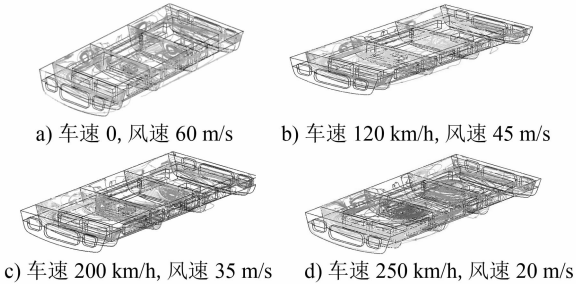


图 5 列车在 1 线遇横风时动车设备舱内三维流线图

设备及通风系统在正常工作条件下时,动车和拖车设备舱表面压力分布云图。

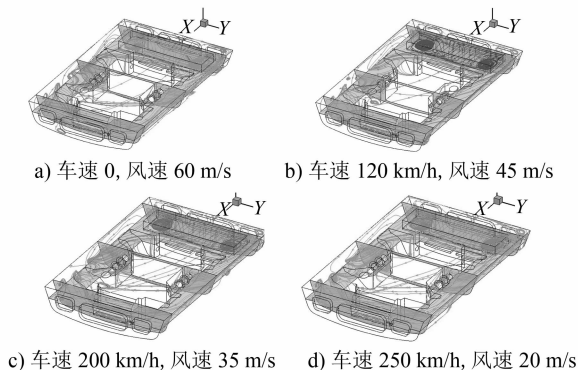


图6 列车在1线遇横风时拖车设备舱内三维流线图

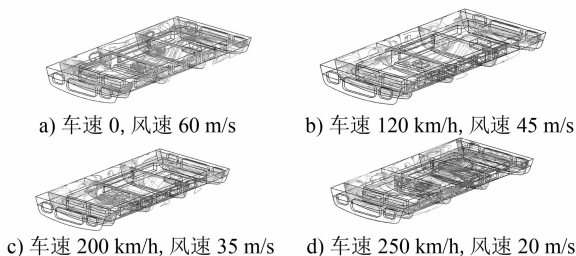


图7 列车在2线遇横风时动车设备舱内三维流线图

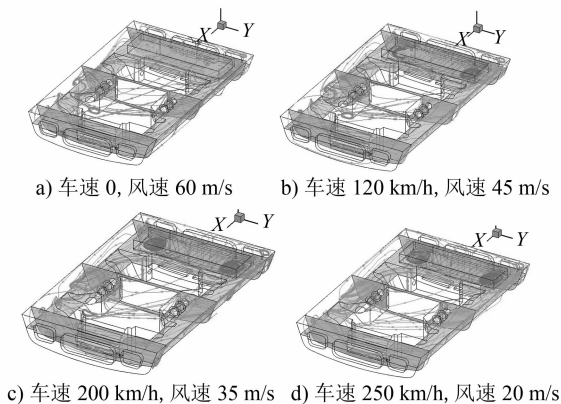


图8 列车在2线遇横风时拖车设备舱内三维流线图

由图5~8可知,不同工况下动车设备舱内流场明显改变,拖车设备舱内流场基本一致;动车设备舱及变流器内涡的位置及大小改变明显,拖车设备舱内压力有较大差别;动车设备舱内部处于负压状态,拖车设备舱内压力分布相对较均匀;随横风风速增大,动车设备舱内负压随之显著增大;不同工况下设备舱内相同位置处压力变化也较为明显。

2.3 底部开孔对设备舱内流场的影响

为了研究是否可通过在设备舱底部开孔的方式使沙尘顺利排出设备舱外,在设备舱底部开了 ϕ

50 mm 和 ϕ 25 mm 的排尘孔,并对开孔后设备舱内的压力和流线情况进行了分析。图9~12给出了动车组在30 m/s 横风下以250 km/h 的速度运行,且在设备及通风系统正常工作条件下时,动车和拖车设备舱表面压力和流线分布云图。

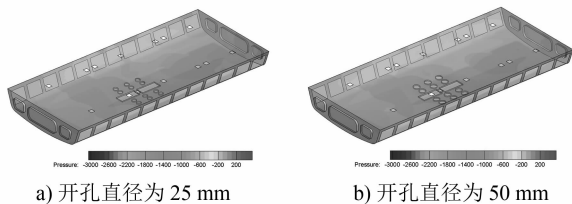


图9 不同开孔直径下动车设备舱表面压力分布

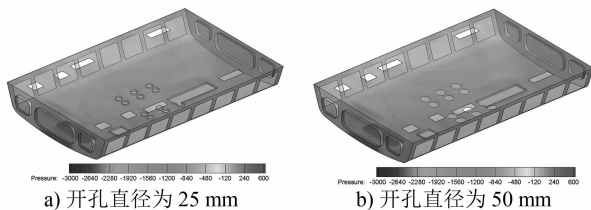


图10 不同开孔直径下拖车设备舱表面压力分布

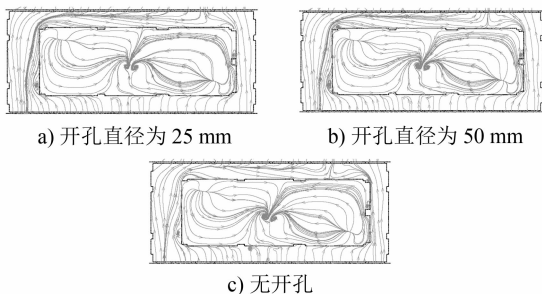


图11 不同开孔直径下动车设备舱内流线图

对图9~10进行分析可知,动车和拖车设备舱底部开孔均不改变动车设备舱表面压力分布规律,且设备舱表面压力随开孔直径变化不明显。

对图11~12进行分析可知,动车设备舱底部开孔对设备舱流场无显著影响,开孔大小对流场影响不明

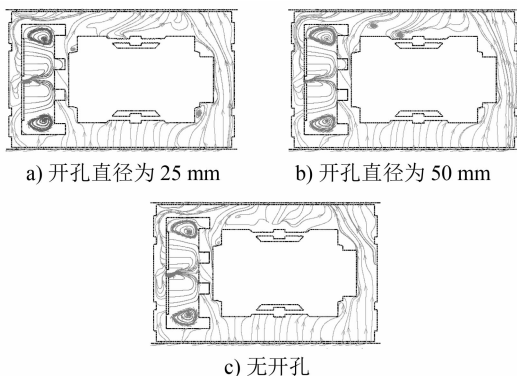


图12 不同开孔直径下拖车设备舱流线图

显;拖车设备舱底部开孔对设备舱流场有明显影响;底部开孔导致设备舱内湍流程度更加剧烈,形成较多的涡流;随开孔直径增大,设备舱内涡流增多且变大。

3 结论

1) 列车在静止且设备及通风系统正常工作的状态下,动车设备舱内整个流场处于强湍流状态,拖车设备舱相对动车设备舱内流场而言相对平稳。

2) 列车于1线运行时,动车设备舱内部处于负压状态;随着横风速增大,动车设备舱内负压显著增大;拖车设备舱内流场基本一致,舱内压力有较大差别。

3) 列车于2线运行时,动车设备舱内迎风侧区域压力比底部及背风侧压力大;不同工况下,动车设备舱内流场均处于强湍流状态;拖车设备舱内处于负压状态,与列车位于1线时基本相同。

4) 设备舱开孔及开孔直径变化不改变设备舱表面压力分布规律,且设备舱表面压力随开孔直径变化不明显。动车设备舱内风机流量较小,底部开孔对动车设备舱内流场影响较小;拖车设备舱内风机流量很大,开孔对拖车设备舱内流场影响相对较大,导致拖车设备舱内形成较多的涡流,随开孔增大涡流直径增大。

(上接第55页)

标,该频率激励来源于轮对。

2) 轮对错误镟修导致常接触区过于平坦,左右车轮轮径差过小,实际匹配等效锥度过低,引起轮对1 Hz低频蛇行运动。

3) 车体在平稳性超标路段表现为“侧滚+横移”模态振动。

4) 视频测试作为一种有效测试手段,验证了轮对1 Hz低频蛇行运动,客观且最为直接地揭示了事物的本质特征。

5) 按照实际薄轮缘方案镟修,将薄轮缘位置做适当过渡,常接触区基本保持不变,以此来保证 ± 3 mm附近的轮径差,确保锥度合理,这是最为根本的解决方法。

6) 适当降低抗蛇行减振器刚度,提高其阻尼,利用车体抑制转向架1 Hz低频振动,可适当缓解车体1 Hz低频晃动。

参考文献

[1] 沈继强,卜继玲,黄运华.城轨列车铰接式转向架方案及其动

参考文献

- [1] 李炎,周伟,丁叁叁,等.沙漠地区铁路动车组过境风沙流卸载分布特性试验研究[J].中南大学学报(自然科学版),2017(9): 2544.
- [2] 许良中,梁习锋,刘堂红,等.单车明线工况下高速列车室内压力波动研究[J].中南大学学报(自然科学版),2014(8): 2878.
- [3] 梁习锋,杨明智,周丹,等.兰新第二双线路基防风风洞实验研究报告[R].长沙:中南大学轨道交通安全教育部重点实验室,2010: 11-14.
- [4] 牛纪强,梁习锋,周丹,等.动车组过隧道时设备舱气动效应动模型试验[J].浙江大学学报(工业版),2016(7): 1258.
- [5] 胡文锦.高速列车设备舱通风散热及气动响应研究[D].成都:西南交通大学,2013.
- [6] 于庆斌.动车组设备舱整体强度分析[J].装备制造技术,2015(10): 237.
- [7] 于庆斌,张兰.兰新客运专线动车组设备舱差压跟踪试验研究[J].城市轨道交通研究,2019(2): 17.
- [8] 葛盛昌,蒋富强.兰新铁路强风地区风沙成因及挡风墙防风效果分析[J].铁道工程学报,2009(5): 1.
- [9] 梅元贵,孙建成,许建林,等.高速列车隧道交会压力波特性[J].交通运输工程学报,2015(5): 34.
- [10] 章磊.高速列车隧道通过气动性能研究[D].成都:西南交通大学牵引动力国家重点实验室,2012: 15-50.

(收稿日期:2020-09-05)

力学性能研究[J].铁道机车车辆,2008(5): 36.

- [2] 周劲松,任利惠,杨国桢,等.铰接式高速列车运行平稳性及其试验研究[J].机械工程学报,2004(10): 124.
- [3] RYOHEI S.日本铰接式转向架的开发[J].国外铁道车辆,2006(3): 25.
- [4] 李凡松,王建斌,石怀龙,等.动车组车体异常弹性振动原因及抑制措施研究[J].机械工程学报,2019(12): 178.
- [5] 石怀龙,王建斌,戴焕云,等.联轴器不对中导致的车体振动研究[J].振动、测试与诊断,2015(4): 626.
- [6] 汪群生,曾京,魏来,等.车下悬吊设备不平衡振动对车体振动的影响[J].铁道学报,2017(2): 24.
- [7] 贾尚帅,赵明,李明高.高速动车组列车异常振动问题研究[J].铁道机车车辆,2015(增刊1): 117.
- [8] SHI H, WANG J, WU P, et al. Field measurements of the evolution of wheel wear and vehicle dynamics for high-speed trains[J]. Vehicle System Dynamics,2018(8): 1187.
- [9] WEI L, ZENG J, CHI M, et al. Carbody elastic vibrations of high-speed vehicles caused by bogie hunting instability[J]. Vehicle System Dynamics,2017,55(4): 1.

(收稿日期:2020-09-05)