

CR400BF 智能型动车组动力电缆磁场分布对车辆环境的影响

高 畅¹ 李重阳¹ 杨 明² 武玉新¹ 康丽齐¹ 高 雅¹

(1. 中车长春轨道客车股份有限公司工程技术中心, 130062, 长春;
2. 长春长客-庞巴迪轨道车辆有限公司, 130062, 长春//第一作者, 高级工程师)

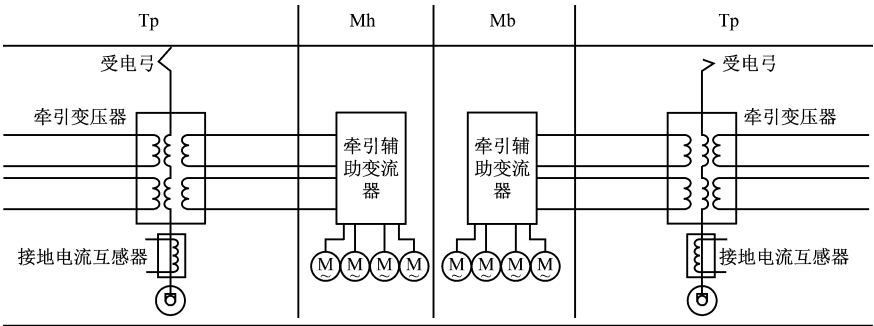
摘 要 CR400BF 智能型动车组牵引系统采用大功率动力电缆,其所产生的磁场分布对周围环境会产生一定的影响。使用 ANSYS 有限元分析软件的静磁场分析功能,对动力电缆在车辆运行工况下的磁场分布进行了模拟,分析了动力电缆的磁场分布状态及其对车辆环境的影响。
关键词 智能型动车组; 动力电缆; 磁场分布; 车辆环境中图分类号 U266.2; TM247
DOI:10.16037/j.1007-869x.2022.02.018

MFD Influence of CR400BF Intelligent EMU Power Cable on Vehicle Environment
GAO Chang, LI Chongyang, YANG Ming, WU Yuxin, KANG Liqi, GAO Ya

Abstract The CR400BF intelligent EMU traction system adopts high power cable, and the magnetic field distribution (MFD) of which generates a certain impact on the surrounding environment. The magnetic field analysis function of ANSYS finite element analysis software is used to simulate the MFD of power cable under train operating condition. Finally, the MFD of power cable and its influence on the vehicle environment are

analyzed.
Key words intelligent EMU; power cable; magnetic field distribution; vehicle environment
First-author's address Engineering Technology Center, CRRC Changchun Railway Vehicles Co., Ltd., 130062, Changchun, China

CR400BF 智能型动车组是我国高速铁路复兴号的车型之一,它采用单弓受流方式,由受电弓从接触网接收 25 kV/50 Hz 单相交流电,通过带有接地开关的真空断路器传输给牵引变压器,牵引变压器降压输出 1 500 V 单相交流电供给牵引辅助变流器,脉冲整流器将单相交流电变换成直流电,经中间直流电路将 DC 2 600 ~ 3 000 V 的直流电输出至牵引逆变器,为其提供电能,并对牵引电机进行变频调速,进而将驱动力矩通过带过载保护装置的柔性联轴节传递给轮对,驱动列车运行,如图 1 所示。CR400BF 智能型动车组采用大功率 IGBT(绝缘栅双极型晶体管)构成的牵引系统。



注:M 为电机; Tp 为带受电弓的拖车; Mh 为带残疾人设施的动车; Mb 为带餐吧设施的动车。

图 1 CR400BF 智能型动车组牵引系统示意图

Fig.1 Schematic diagram of CR400BF intelligent EMU traction system

CR400BF 智能型动车组牵引系统采用 150 平硅橡胶绝缘耐高温动力电缆来承载中间直流环节电压(DC 2 700 ~ 3 600 V)。该电缆自由、平行地布设在铝合金车底三角型腔中,且仅在端部设备处对

其进行固定,没有多余的活动量,以防其在动车运行中发生拉伸或磨擦,并且防止其在无支撑的状态下被拉伸过长。动力电缆所产生的磁场强度对车内环境、旅客舒适度、车下设备运行都存在着间接影响。采用 ANSYS 有限元分析软件中的静磁场分析功能对动车组车体建立模型,分析动力电缆的磁场分布^[1]。

1 CR400BF 智能型动车组车体模型的建立

动车组车体模型的建立包括参数定义、实体建模和划分网络。以 CR400BF 智能型动车组为模板建立车体模型,如图 2 所示。车体材料采用以镁和硅为主、 Mg_2Si 为主要强化项的 6 系铝合金型材,三角型腔采用厚 6.7 mm 的 6 系铝合金型材。车体材料的工艺性能较好,便于焊接。

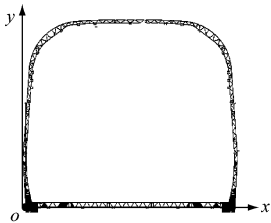
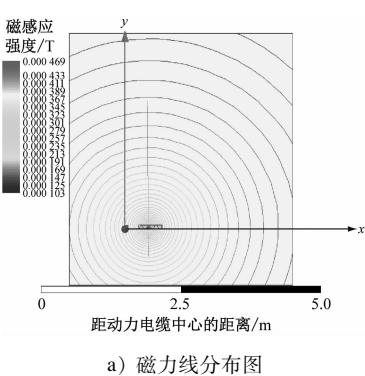


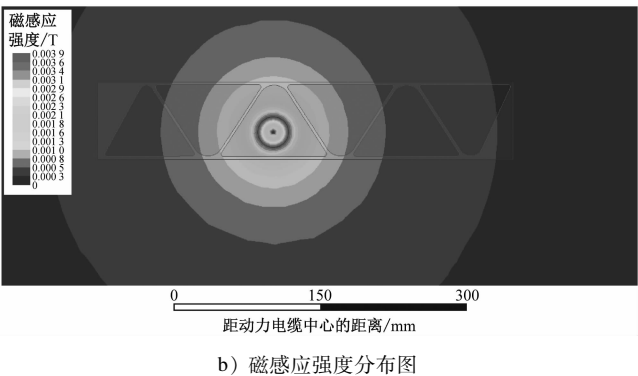
图 2 CR400BF 智能型动车组车体模型

Fig. 2 Car body model of CR400BF intelligent EMU

因动力电缆的导体材料、横截面形状和尺寸在线路中的确定性,以及动力电缆与型腔中相对位置的稳定性,并且在布设路径中周围介质未随着运动和时间有所变化,因此,可将动力电缆称为均匀传



a) 磁力线分布图



b) 磁感应强度分布图

图 4 动力电缆的磁场分布云图

Fig. 4 Magnetic field distribution cloud chart of power cable

由图 4~5 可知,动力电缆在额定电流工况下产生了一定的静态磁场。随着监测点在 y 轴上离动力电缆中心的距离不断增加,动力电缆的磁感应强度

输线。为了便于研究动力电缆的电场和磁场,将动力电缆拟定为理想导体。按照设置车体材料属性的方法,设置导体属性。

因动力电缆自由平行布设在铝合金车底三角型腔中,故将车体模型截取出车体底架三角型腔区域,并将动力电缆模型放置其中,形成完整的有限元模型^[2],如图 3 所示。



图 3 CR400BF 智能型动车组车体有限元模型

Fig. 3 Finite element model of CR400BF intelligent EMU

考虑计算结果的精度和效率,使用 ANSYS 软件自带的智能网格划分工具对该模型进行有限元网格划分。设置网格单元为三角形单元,在控制 SmartSizing 水平后,设置单元尺寸,进而达到最优解,使得磁场分布趋于真实化。

根据动力电缆在车辆运行工况下所承载的电流,在模型上给动力电缆施加载荷(电流)^[3],以此来分析动力电缆在工作时所产生的磁场对车辆环境的影响^[4]。同时选择车体上所有的节点,然后添加边界条件,以提升边界的模拟性。

2 动力电缆磁场二维数值模拟分析

对动车组车体底架三角型腔模型中动力电缆的磁场进行了二维数值模拟研究。动力电缆所产生的磁场对车辆环境的影响,如图 4~5 所示。

逐渐减弱;在 0.1 m 范围内磁感应强度大于 0.5 mT;在 1.5 m 处磁感应强度为 0.1 mT;距离 2.0 m 后,磁感应强度几乎为零。

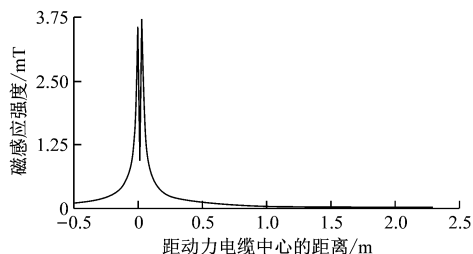


图5 动力电缆的磁场波形图

Fig.5 Magnetic field waveform of power cable

3 结论

1) 动力电缆在额定电流工况下产生的磁感应强度随其在 y 轴上离动力电缆中心的距离趋近于正态分布。

2) 我国目前采用的低频电磁场公众暴露限值为低频磁感应强度 $100 \mu\text{T}$, 长期生活在此环境中对人体是有危害的, 尤其对老人、儿童、孕妇等人群有一定影响。此外, 在此基础上, 可尝试对车体型腔结构或者动力电缆电气参数进行优化, 并对相关模型进行二次仿真及分析, 以减少电磁感应对车内环境的污染。

参考文献

- [1] 王田戈, 胡晓迪. 基于 ANSYS 的电磁场分析[J]. 内蒙古科技与经济, 2020(9): 79.
WANG Tiange, HU Xiaodi. Analysis of magnetic field distribution based on ANSYS [J]. Inner Mongolia Science Technology & Economy, 2020(9): 79.
- [2] 杨超群. 基于 ANSYS 的石油套管应力磁测有限元数值模拟研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2014: 20-24.
YANG Chaoqun. The study of finite element numerical simulation for magnetism-stress detecting in oil casing based on ANSYS[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2014: 20-24.
- [3] 律方成, 张兆华, 汪佛池. 基于有限元的动车组高压隔离开关均压环优化设计[J]. 电工技术学报, 2016(10): 218.
LYU Fangcheng, ZHANG Zhaohua, WANG Fochi. Design optimization of grading ring for electric multiple unit high voltage disconnector based on FEM[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2016(10): 218.
- [4] 律方成, 马建桥, 刘宏宇, 等. 基于有限元的高压设备箱绝缘优化研究[J]. 系统仿真学报, 2015(11): 2858.
LYU Fangcheng, MA Jianqiao, LIU Hongyu, et al. Insulation optimization of high voltage box based on finite element method[J]. Journal of System Simulation, 2015(11): 2858.

(收稿日期: 2021-08-25)

(上接第 70 页)

- WANG Lei, YU Dongming, DING Yong. Feasibility study on raising the operation speed of EMU from 350 km/h to 400 km/h [J]. Electric Drive for Locomotives, 2017(1): 17.
- [2] 张军, 王建华, 兆文忠. 动车组车体车门设计及模态性能改进[J]. 大连交通大学学报, 2020(2): 17.
ZHANG Jun, WANG Jianhua, ZHAO Wenzhong. Research on door design and modal performance promotion for EMU bodywork[J]. Journal of Dalian Jiaotong University, 2020(2): 17.
- [3] 谢素明, 赵建, 王成强. 动车组铝合金车体结构刚度协调设计原则[J]. 大连交通大学学报, 2016(5): 8.
XIE Suming, ZHAO Jian, WANG Chengqiang. Stiffness coordination design principle for EMU aluminum alloy car body structure[J]. Journal of Dalian Jiaotong University, 2016(5): 8.
- [4] 贾尚帅, 李明高, 张军. 城际动车组车体模态灵敏度分析[J]. 大连交通大学学报, 2016(4): 24.
JIA Shangshuai, LI Minggao, ZHANG Jun. Research on modal sensitivity of intercity EMU bodywork [J]. Journal of Dalian Jiaotong University, 2016(4): 24.

- [5] 王贺鹏, 佟维. 车体模态测试仿真[J]. 内燃机车, 2008(4): 1.
WANG Hepeng, TONG Wei. Simulation of car body mode measurement[J]. Diesel Locomotives, 2008(4): 1.
- [6] 佟维, 刘晓雪. 高速动车组铝合金车体结构优化策略[J]. 计算力学学报, 2009(3): 424.
TONG Wei, LIU Xiaoxue. Optimization strategy of aluminum alloy car body of high-speed train unit [J]. Chinese Journal of Computational Mechanics, 2009(3): 424.
- [7] 刘永强, 朱卫, 岳译新. 车体模态仿真方法分析[J]. 电力机车与城轨车辆, 2019(2): 27.
LIU Yongqiang, ZHU Wei, YUE Yixin. Analysis of modal simulation method for car body [J]. Electric Locomotives & Mass Transit Vehicles, 2019(2): 27.
- [8] 田玉坤, 田葆桢. EN 12663《铁路应用—铁道车辆车体结构要求》标准分析研究[J]. 铁道车辆, 2018(5): 12.
TIAN Yukun, TIAN Baoshuan. Analysis and research on EN 12663 railway applications: Structural requirements of railway vehicle bodies [J]. Rolling Stock, 2018(5): 12.

(收稿日期: 2021-08-25)