

有轨电车地面充电装置内循环散热系统优化方案*

陈修强

(中车青岛四方机车车辆股份有限公司, 266111, 青岛)

摘要 [目的]为解决现有有轨电车地面充电装置存在外壳防护性能不稳定、散热系统装置复杂、散热效率低等问题,设计了一种有轨电车地面充电装置内循环散热系统。[方法]介绍了地面充电装置的组成及散热原理,分析了其散热效率低的原因;针对密闭柜体整体内循环的散热系统,介绍了内循环散热系统优化方案,利用 FLOTHERM 仿真软件对原方案与优化方案散热系统的风速及温升情况进行对比,并进行了试验验证。[结果及结论]基于空调冷却整体内循环的散热系统无法有效解决大功率高热损耗集中发热器件的散热问题,这与制冷系统的制冷量大小无关,而与散热系统的风道回路有关。所提内循环散热系统优化方案在空调出风口、电抗器及空调回风口之间形成闭环风道回路,大幅降低了大功率集中发热器件的温升,有效提升了散热系统的散热性能,优化后充电装置中的电抗器温升降低约 20.1%。所提优化方案能够满足内循环散热系统的温升要求。

关键词 有轨电车; 充电装置; 内循环散热系统

中图分类号 U482.1

DOI:10.16037/j.1007-869x.2024.02.037

Optimization Scheme of Internal Circulating Heat Dissipation System for Tram Ground Charging Device

CHEN Xiuqiang

(CRRC Qingdao Sifang Co., Ltd., 266111, Qingdao, China)

Abstract [Objective] To solve the problems of unstable shell protection performance, complex HD (heat dissipation) system configuration, and low HD efficiency existing in current tram ground charging devices, a scheme of ICHD (internal circulating head dissipation) system for tram ground charging device is designed. [Method] The composition and HD principle of the ground charging device are introduced, and the reasons for the low HD efficiency are analyzed. In view of the overall ICHD system of the enclosed cabinet, an ICHD system optimization scheme is proposed. The FLOTHERM simulation software is utilized to compare the airflow velocity and temperature rise between the original and optimized schemes, and ex-

perimental verification is conducted. [Result & Conclusion] It is found that the overall ICHD system based on air-conditioning cooling is unable to solve the HD issues of high-power and high-heat loss centralized heating devices. This inefficiency is not related to the cooling capacity of the refrigeration system but rather to the airflow circuit of the HD system. The proposed optimization scheme forms a closed-loop airflow circuit between the air-conditioning airflow outlet, inductor and air-conditioning return air vent, significantly reducing the temperature rise of high-power centralized heating devices. This effectively enhances the HD performance of the HD system, resulting in a temperature rise reduction of approximately 20.1% in the inductor of the charging device after optimization. The proposed optimization scheme satisfies the temperature rise requirements of the ICHD system.

Key words tram; charging device; internal circulating heat dissipation system

0 引言

随着城市轨道交通的快速发展,一种新型的城市轨道交通工具——无接触网储能式有轨电车,受到了越来越多的市场认可^[1-2]。由于该种有轨电车采用站台室外的大功率变流地面充电装置进行充电作业,因此其地面充电装置需在做好柜体防护的基础上实现快速有效的系统散热功能。

基于此,针对密闭柜体整体内循环的散热系统散热效率低的问题,本文提出一种基于空调冷却的有轨电车地面充电装置内循环散热系统(以下简称“内循环散热系统”)优化方案,利用 FLOTHERM 软件仿真计算原方案与优化方案下的风速与温度,并进行散热系统试验。通过仿真与试验验证,所提优化方案能够满足内循环散热系统的温升要求,大幅降低大功率集中发热器件的温升,有效提升散热系统的散热性能。本文研究可为大功率集中发热

* 中国中车“十四五”科技重大专项项目(2021CXZ021)

装置散热系统设计提供工程经验与技术指导。

1 内循环散热系统

1.1 充电装置组成

有轨电车地面充电装置由机柜、机柜空调、功率模块及电抗器等部件构成,如图1所示。其中:柜体起到了承载及固定作用;机柜空调是自带蒸发器与冷凝器的空调一体机,安装于柜体前后门板上部;4个功率模块安装于柜体中部,内置独立风道,由安装于风道进风口顶部的风机通过散热片将功率模块内部的热量带出;4个电抗器安装于柜体底部,位于功率模块正下方。

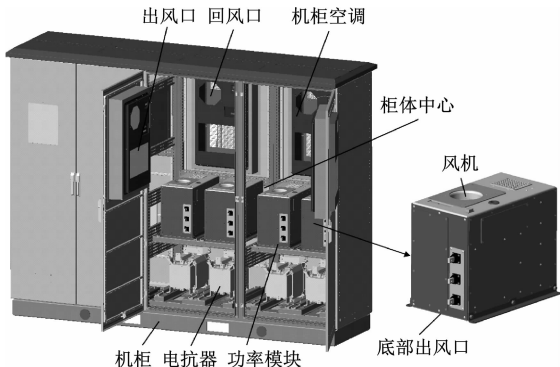


图1 地面充电装置组成示意图

Fig. 1 Diagram of ground charging device composition

1.2 散热原理

有轨电车地面充电装置的内部发热单元包括功率模块与电抗器,其发热功率为5.8 kW,考虑到散热系统的散热余量,选用4台制冷量为1.5 kW的机柜空调进行空调冷却,空调总制冷量为6.0 kW,与发热功率相匹配。

当充电装置启动后,电抗器与功率模块开始工作并产生热量;空调启动制冷工作,从空调出风口发出制冷风;功率模块内置风机在吸入空调发出冷风的同时,带动功率模块产生的热量向柜体下部流动,对电抗器进行散热;空调上部回风口的回风风机将柜内热风吸入空调蒸发器后,冷却下来的空气再通过空调下部出风口吹出,形成内循环散热系统。在第一台样机制作完成后,对其进行温升试验测试。测试结果表明,功率模块出现了高温报警。

1.3 散热效率低的原因分析

为了查明高温报警的原因,对上述充电装置再次进行温升试验测试,并在功率模块、电抗器及柜体内部中间位置布置了温度检测点,利用温度记录

仪实时检测柜体内部及发热器件的温升状况。

检测结果表明:①功率模块温升为48.7℃,这是由于空调出风口与功率模块进风口之间存在风道短路现象导致的,由空调出风口发出的冷风没有完全进入功率模块;②电抗器温升为85.1℃,已接近温升上限,由功率模块风机带出来的热量与电抗器产生的热量集中在柜体底部,无法及时进入空调回风口而导致热量累积;③柜内环境温度温升为21.1℃,柜体底部热量的积聚导致柜内环境温度逐渐升高,导致空调出风口温度有所升高,进而形成温升累积循环。

2 内循环散热系统优化方案

2.1 优化方案

针对柜内风道短路导致热量累积无法及时散出的问题,在空调出风口与功率模块进风口之间增加风道一,同时在柜体底部与顶部中间增加风道二及风道风机,将底部热量通过风道二引至空调回风口附近^[3]。内循环散热系统优化方案示意图如图2所示。风道二进风口位于电抗器底部,设定两种进风口方案,其参数对比如表1所示。

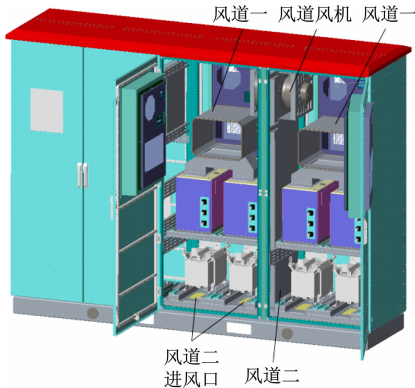


图2 内循环散热系统优化方案示意图

Fig. 2 Optimization plan diagram of internal circulating heat dissipation system

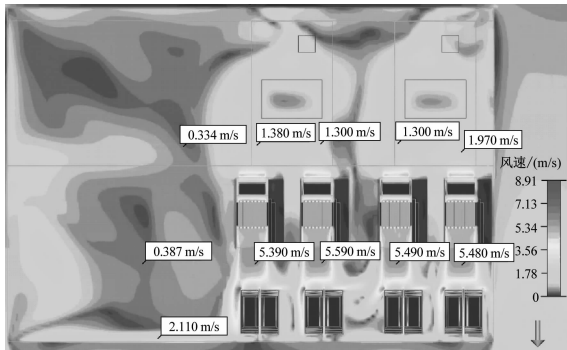
表1 两种进风口方案参数对比

Tab. 1 Comparison of parameters between two air inlet schemes			
方案	进风口数量	进风口尺寸	位置
方案一	4	100 mm(长)×300 mm(宽)	电抗器底部下方
方案二	8	50 mm(长)×300 mm(宽)	电抗器底部两侧

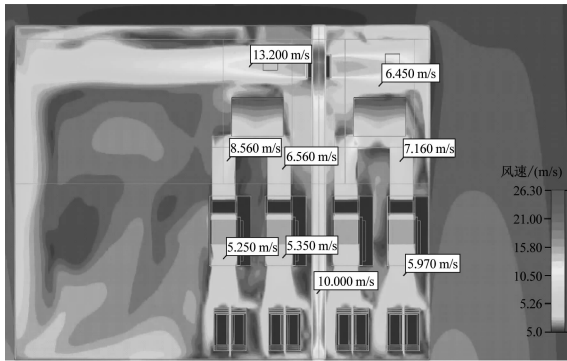
2.2 原方案与优化方案仿真计算结果对比

方案二中,由于电抗器底部风口远离风道二,

其进风口风量会小于近侧风口的风量,进而导致电抗器两侧风量不一致,电抗器内部温度不均匀。因此,本文将方案一作为优化方案进行研究,并对其进行温升试验验证。利用 FLOTHERM 软件搭建仿真计算模型,采用六面体结构化网格进行模型离散^[4-5],对原方案及优化方案进行仿真计算分析,两种方案的风速云图对比如图 3 所示。由图 3 可知:原方案中,最大风速位于功率模块进风口处,而从电抗器至空调回风口处几乎无风向运动;优化方案中,在增加风道一后,空调出风口处的风完全进入功率模块内部风道,后经电抗器及风道二回到空调回风口。



a) 原方案



b) 优化方案

图 3 原方案与优化方案的风速云图对比

Fig. 3 Comparison of wind speed nephogram between original and optimized schemes

2.3 优化方案试验验证

利用温度记录仪分别记录 4 组功率模块内部、电抗器内部及柜体中心测定点处(见图 1)的温度变化。温升试验数据如表 2 所示。经过 5.1 h 试验后,柜体中心测定点在 1.0 h 内的温升小于 1℃,功率模块温升小于 50℃,电抗器温升小于 90℃。由此可知,优化方案能够满足内循环散热系统的温升

要求。通过对柜体内部散热系统散热风道进行优化设计后,柜内的环境温度及器件温度明显有所降低,使内循环散热系统最终达到稳定状态。

表 2 温升试验数据

Tab. 2 Temperature rise test data

器件	优化前后	温升/℃				平均温升/℃
		件 1	件 2	件 3	件 4	
功率模块	优化前	47.3	47.8	48.5	48.7	48.1
	优化后	39.1	39.4	40.5	40.9	40.0
电抗器	优化前	83.2	83.8	85.1	84.5	84.2
	优化后	66.2	67.0	68.2	67.6	67.3

注:优化前后,功率模块温升降低率为 16.9%,电抗器温升降低率为 20.1%。

3 结论

1) 基于空调冷却整体内循环散热系统无法有效解决大功率高热损耗集中发热器件的散热问题,通过温升试验发现,其与制冷系统的制冷量大小无关,而与散热系统的风道回路有关。

2) 通过 FLOTHERM 软件进行仿真计算,并对风道进行优化设计,所提优化方案能够满足内循环散热系统的温升要求。

3) 优化后散热系统的电抗器温升降低率约为 20.1%。优化方案的内循环散热系统在空调出风口、电抗器及空调回风口之间形成闭环风道回路,大幅降低了大功率集中发热器件的温升,有效提升了散热系统的散热性能。

参考文献

- [1] 陈朝晖,毛业军,张伟先. 现代有轨电车地面充电装置的应用研究[J]. 电力机车与城轨车辆, 2017, 40(6): 25.
CHEN Zhaohui, MAO Yejun, ZHANG Weixian. Study on application of charging device for modern tramcar[J]. Electric Locomotives & Mass Transit Vehicles, 2017, 40(6): 25.
- [2] 邹鹏,车伟兴. 现代有轨电车受电方式研究[J]. 技术与市场, 2018, 25(1): 26.
ZOU Peng, CHE Weixing. Study on power receiving mode of modern trams[J]. Technology and Market, 2018, 25(1): 26.
- [3] 肖占,付余. 某型现代有轨电车送风系统结构改进设计[J]. 城市轨道交通研究, 2019, 22(增刊 1): 96.
XIAO Zhan, FU Yu. Structural improvement design of air supply system for a modern tram[J]. Urban Mass Transit, 2019, 22(S1): 96.
- [4] 王长昌,杜广群. 基于 FloTHERM 的车载电气设备风冷散热器参数优化设计[J]. 铁道车辆, 2019, 57(4): 17.

(下转第 211 页)

功能的正确配合。电空混合制动的防滑控制已在多个城轨线路中成功应用。

防滑保护系统能将列车的当前制动力与当前轮轨黏着调整为接近水平,在防滑控制过程中产生一定的轮轨间清洁作用,通过车轮与轨道间的相对滑动在一定程度内改善轮轨黏着,但却不能实质性地改变轮轨间的黏着状态,特别是低黏着状态。因此,若要缩短列车滑行状态下的制动距离,需要与其他增黏措施结合使用。

参考文献

- [1] 代宝乾,汪彤,丁辉,等. 地铁运营系统危险有害因素辨识分析[J]. 中国安全科学学报, 2005, 15(10): 80.
DAI Baoqian, WANG Tong, DING Hui, et al. Recognition and analysis of risky hazardous factors in subway operation system[J]. China Safety Science Journal, 2005, 15(10): 80.
- [2] 郭强,车超,赵扬宇,等. 城市轨道交通车辆防滑性能评估标准浅析[J]. 现代城市轨道交通, 2018(5): 13.
GUO Qiang, CHE Chao, ZHAO Yangyu, et al. Analysis of assessment standards for transit vehicle slide protection performance[J]. Modern Urban Transit, 2018(5): 13.
- [3] 方少安. 列车防滑控制与不利黏着时制动力计算[J]. 铁道车辆, 2011, 49(1): 30.
FANG Shaoran. The anti-slip control of train and calculation of brake force with harmful adhesion[J]. Rolling Stock, 2011, 49(1): 30.

(上接第 202 页)

- WANG Changchang, DU Guangqun. Optimization design of parameters of air-cooled radiators for train-carrying electrical equipment based upon FLoTHERM [J]. Rolling Stock, 2019, 57(4): 17.
- [5] 姚英姿,胡良果. 基于 Flotherm 的干式变压器散热研究[J]. 现代机械, 2021(2): 79.
YAO Yingzi, HU Liangguo. Research on heat dissipation performance of dry-type transformer based on Flotherm[J]. Modern Ma-

(上接第 206 页)

- [3] 崔轶昕,刘琴,赵程,等. 基于车地和车车通信列车运行自动控制系统分析研究[J]. 现代城市轨道交通, 2022(6): 41.
CUI Yixin, LIU Qin, ZHAO Cheng, et al. Analysis and research on automatic train operation control system based on train-ground and train-train communication[J]. Modern Urban Transit, 2022(6): 41.
- [4] 张家晨. 基于车-车通信的列车自主运行系统应用与展望[J]. 现代城市轨道交通, 2022(增刊2): 13.
ZHANG Jiachen. Application and prospect of train autonomous op-

- [4] 韦皓. 动车组超低黏着轨面制动防滑性能试验研究[J]. 铁道学报, 2017, 39(9): 67.
WEI Hao. EMU anti-slide performance experimental study on ultra-low adhesion rail surface[J]. Journal of the China Railway Society, 2017, 39(9): 67.
- [5] 李荣伟,李培曙. 有效改善粘着 适应高速车辆制动要求[J]. 铁道车辆, 2000, 38(6): 9.
LI Rongwei, LI Peishu. Improve adhesion effectively to meet requirements of high-speed braking[J]. Rolling Stock, 2000, 38(6): 9.
- [6] 崔虎山,陈磊,刘中华,等. 地铁车辆制动防滑控制故障分析[J]. 城市轨道交通研究, 2019, 22(4): 15.
CUI Hushan, CHEN Lei, LIU Zhonghua, et al. Analyses of anti-slip control fault in metro braking system[J]. Urban Mass Transit, 2019, 22(4): 15.
- [7] 邱伟明,周若湘. 地铁列车轮轴卡死处理方案及分析[J]. 电力机车与城轨车辆, 2005, 28(4): 59.
QIU Weiming, ZHOU Ruoxiang. Disposition scheme and analysis for metro train with blocked axle[J]. Electric Locomotives & Mass Transit Vehicles, 2005, 28(4): 59.

· 收稿日期:2021-10-25 修回日期:2021-12-25 出版日期:2024-02-10
Received:2021-10-25 Revised:2021-12-25 Published:2024-02-10
· 通信作者:张兴旺,高级工程师,rqszxw@126.com
· ©《城市轨道交通研究》杂志社,开放获取 CC BY-NC-ND 协议
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license

chinery, 2021(2): 79.

· 收稿日期:2021-07-16 修回日期:2021-07-16 出版日期:2024-02-10
Received:2021-07-16 Revised:2021-07-16 Published:2024-02-10
· 通信作者:陈修强,工程师,xiuqiangchen@126.com
· ©《城市轨道交通研究》杂志社,开放获取 CC BY-NC-ND 协议
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license

eration system based on vehicle-to-vehicle communication [J]. Modern Urban Transit, 2022(S2): 13.

· 收稿日期:2021-08-05 修回日期:2021-11-26 出版日期:2024-02-10
Received:2021-08-05 Revised:2021-11-26 Published:2024-02-10
· 通信作者:黄柒光,高级工程师,124153289@qq.com
· ©《城市轨道交通研究》杂志社,开放获取 CC BY-NC-ND 协议
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license