

地铁车辆空调冷凝水库内排放研究与设计优化^{*}

郑 辉

(中铁第一勘察设计院集团有限公司, 710043, 西安//高级工程师)

摘 要 为研究空调冷凝水排放最佳方案,从冷凝水排放结构着手,提出了集中排放方案。通过增设冷凝水箱、电磁控制阀等措施将运行中的冷凝水自动存储,并将排水口调整至车辆底部中央位置。工程实践证明,相比于排水沟和排水坡两种形式,优化车辆冷凝水排水结构可以节省 90% 的工程成本,并在检修影响、维护保养和外形美观等方面均具有明显优势。

关键词 地铁; 车辆; 空调冷凝水; 排放结构

中图分类号 U270.38⁺3

DOI:10.16037/j.1007-869x.2023.01.036

Research and Design Optimization of Metro Vehicle Air-conditioning Condensate Water In-garage Discharge

ZHENG Hui

Abstract In order to study the optimal air-conditioning condensate water discharge scheme, a centralized discharge scheme is put forward from the angle of condensate water discharge structure. By measures including adding condensate water tank, electromagnetic control valve and so on, the condensate water in operation can be automatically stored, and the drainage outlet can be adjusted to the central position at the bottom of the vehicle. Engineering practice has proved that, compared with drainage ditch and drainage slope, the optimization of vehicle condensate water drainage structure can save 90% of the engineering cost, while having obvious advantages in overhaul impact, maintenance and appearance.

Key words metro; vehicle; air-conditioning condensate water; discharge structure

Author's address China Railway First Survey and Design Institute Group Co., Ltd., 710043, Xi'an, China

随着我国城市轨道交通的不断发展,作为地铁车辆主要部件的车辆空调系统也获得了较大的发展。目前,车辆空调冷凝水排水口位于车轮外侧,冷凝水排至轨道外侧后再流至检修地沟,容易造成

库内地面积水现象,不利于库内清洁保养。此外,积水处理不当还会影响运营生产作业安全。针对库内冷凝水排放源头进行分析,从冷凝水排放结构着手,提出了一种集中排放冷凝水方案。采用增设自动控制的方式将冷凝水存储后进行有序排放,本研究可为后续场段工程设计提供技术优化参考。

1 地铁车辆空调现有布置方式

目前,地铁车辆空调一般采用集中单元式空调机组布置方式,空调机组安装在车辆顶部位置,空调控制模块位于车厢电器间。空调机组出风口与车顶吊装的均匀静压风道通过软连接方式运行,均匀静压风道布置主要考虑车长方向因素,主风道布置在中间,静压腔和送风格栅布置在两侧。空调回风主要从空调机组底部回风格栅进入机组,完成空气循环回路。在进行制冷工作时,空调机组会产生大量冷凝水,如果不及时排放,冷凝水会通过风口和风道进入车厢内,进而影响乘客以及危害车内电气设备安全,故需要及时将冷凝水排出空调机组外。

2 车辆空调冷凝水排放结构

地铁每节车的车辆顶部约 1/4 和 3/4 位置处分别布设 2 台空调机组。每个空调机组设有 4 个排水槽,通过这 4 个排水槽将空调机组的冷凝水排至车体雨檐,经车体雨檐导流至车辆端墙排水管,最后再排至车下,排水口位于车轮外侧^[1]。车辆空调冷凝水排水管布置示意图如图 1 所示。由图 1 可知,车辆空调冷凝水的直接排放对钢轨下放扣件有腐蚀性,进而会影响钢轨的绝缘性。此外,当车辆运行至车辆段或停车场内的停车列检库时,空调冷凝水从排水口散排影响了库内作业环境,不方便检修人员作业,同时也增加了保洁人员的工作量和难度^[2]。为解决车辆空调冷凝水从排水管出口任意

^{*} 中铁第一勘察设计院集团有限公司科研项目(院科 19-86)

流淌的问题,一般需要从工程设计方面考虑冷凝水的组织排放措施。

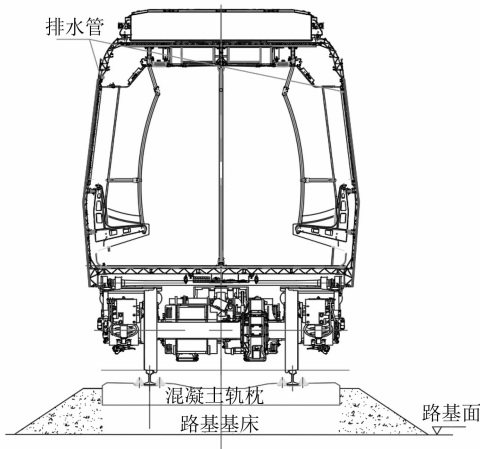


图 1 车辆空调冷凝水排水管布置示意图
Fig. 1 Schematic diagram of vehicle air-conditioning condensate water drain pipe layout

3 库内冷凝水排放设计现状

基于车辆空调系统布置,库内冷凝水的排放设计主要有两种:设置空调冷凝水水沟形式;设置排水坡度,将冷凝水导至检查坑水沟内部。

3.1 空调冷凝水集水沟形式

3.1.1 连续型集水沟

考虑到车辆在库内行驶时,空调冷凝水会持续不间断地排放,且车辆存在停车误差,因此将冷凝水集水沟设置为通长形式。连续型空调冷凝水集水沟平面布置示意图如图 2 所示。冷凝水水沟的一般尺寸为 122 000 mm×300 mm(以 B 型车为例),水沟内每隔 30 m 设置一处最低点,最低点与检查坑内水沟通过排水管相连,将水沟内冷凝水导至检查坑内集水沟^[3]。

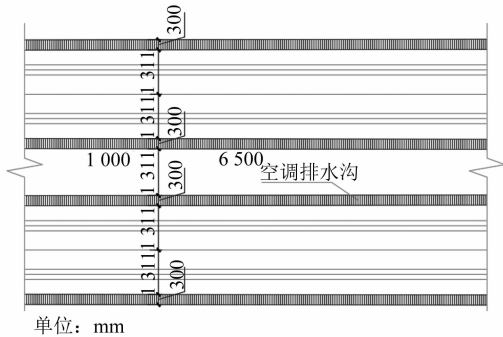


图 2 连续型空调冷凝水集水沟布置示意图
Fig. 2 Diagram of condensate water drainage ditch arrangement for continuous air-conditioning

3.1.2 断开式集水沟

按照车辆冷凝水排放位置的不同,断开式集水沟可分为两种形式:

1) 相邻集水坑合并式。主要用于将相邻两辆车的空调冷凝水集中至车辆贯通道处排放的情况,仅在空调冷凝水排水口区域下方设置空调集水坑。考虑停车误差等因素,空调冷凝水沟尺寸一般为 550 mm×1 600 mm,1 列位单侧设置 7 个空调集水坑,两侧共计 14 个/列位空调集水坑。

2) 断开式集水沟。1 辆车的 4 个空调出水口下方均设置 1 个空调集水坑,其尺寸为 300 mm×1 000 mm,按照 6 辆编组列车计算,两侧共设置 24 个空调集水坑,空调集水坑预埋暗管和检查坑内集水地坑相连通。断开式空调冷凝水集水沟布置示意图如图 3 所示。

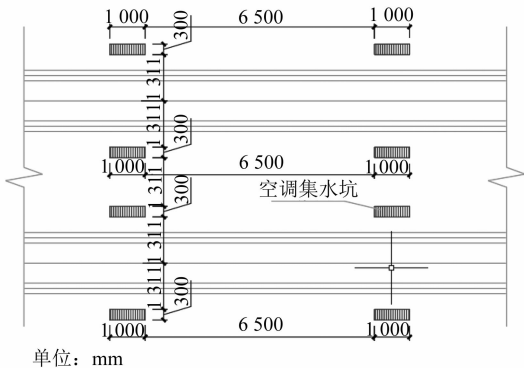


图 3 断开式空调冷凝水集水沟布置示意图
Fig. 3 Schematic diagram of condensate water collecting ditch layout for off-line air-conditioning

上述两种设置方式皆可,两者的区别在于车辆空调冷凝水的布置方式不同,前者将相邻两辆车的空调冷凝水集中至车辆贯通道处排放,而后的空调冷凝水就近排放。

采用冷凝水集水沟形式可将车辆冷凝水快速排至检查坑内,且地面不易积水。但上述措施在具体实施时存在以下两个问题:① 土建施工一般节点早于车辆招标,导致集水坑与空调冷凝水不对应情况,进而导致冷凝水不能有效排放至集水坑;② 库内集水坑数量较多,影响地面美观,且施工时容易造成预埋水管堵塞,后期维护成本较高。

3.2 两侧排水坡形式

在柱式/壁式检查坑两侧设置冷凝水集水沟后将会造成工程投资成本增加,且后期维护成本也会有所提高,因此考虑将空调冷凝水自然排至检查坑

内水沟。考虑到空调冷凝水水量不大,且轨道两侧低地面因施工工艺原因存在地面不平现象,地面清洁保养时也会存在积水,故将两侧低地面向检查坑方向的坡度设置为 1%~3%^[4],检查坑内水沟由中间设置改为两侧设置,宽度由 1 条宽为 500 mm 的集水沟改为 2 条宽为 200 mm 的集水沟。空调冷凝水两侧排水坡布置方式示意图如图 4 所示。

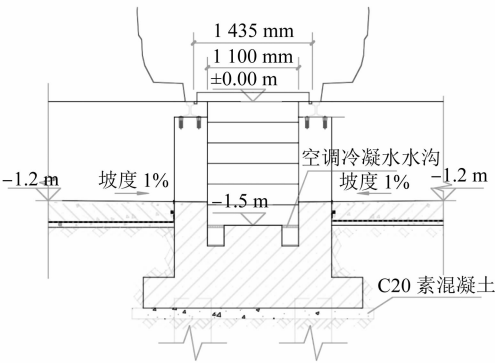


图 4 空调冷凝水两侧排水坡布置方式示意图

Fig. 4 Diagram of air-conditioning condensate water drainage slope layout on both sides

3.3 空调冷凝水排放使用现状分析

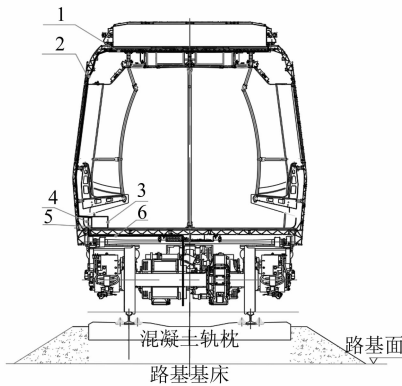
现阶段的空调冷凝水排放措施主要以工程措施为主,主要有排水沟和排水坡两种形式。上述两种空调冷凝水排放形式基本解决了冷凝水在库内随意散排的弊端,但排水沟和排水坡两种方式在库内地面美观性、施工难度、维护清洁等方面存在一定问题,且会增加额外的工程投资。以广州地区为例,该区域同时期有 8 个场段均采用断开式集水沟排放形式,施工后发现实际存在以下困难:集水坑太小施工难度大、集水坑篦子使用一段时间后容易变形、集水坑预埋水管太小容易堵塞^[5]。因此解决空调冷凝水排放需从车辆冷凝水排放结构上进行了考虑。

4 冷凝水排放结构改进方案

4.1 空调冷凝水排水结构改进方案

分析既有车辆空调冷凝水排放结构可知,通过排水管将车辆顶部两组空调机组中的 8 个冷凝水排水口连接汇集于车辆中部,再沿着车辆侧壁结构引入车厢内座位底下设置的冷凝水储水箱,水箱底部设排水管,排水管敷设在车体两侧。空调冷凝水排水结构改进方案设计断面如图 5 所示。排水管上增设电磁控制阀,阀门受控于列车控制器,两者通过

硬线连接,电磁控制阀门出口接排水管延伸至车辆纵向中心线 250 mm 范围,设置排水管出口高度与车辆底部最低点平齐。此外,增设冷凝水储水箱接至顶部排水管,水箱容积按最长区间运行时,空调机组最大制冷排水量的两倍考虑,水箱内设水位检测器和溢流管,溢流管出口接入排水管。



注: 1——地铁车辆车顶排水汇集管网;
2——车辆顶部至冷凝水储水箱排水管;
3——冷凝水储水箱; 4——溢流管;
5——电磁控制阀门; 6——排水管。

图 5 空调冷凝水排水结构改进方案设计断面

Fig. 5 Design section of the air-conditioning condensate water drainage structure improvement scheme

当地铁车辆运行时,列车控制器控制冷凝水储水箱出口的电磁控制阀关闭,地铁车辆空调机组在工作时产生的冷凝水先通过排水管汇集排入冷凝水储水箱中。当地铁列车进站或入场段停车列检库后,列车控制器发送制动停稳指令(速度为 0),同时发送信号控制冷凝水储水箱出口的电磁控制阀打开,把储水箱中的冷凝水排放至停车列检列位钢轨间的排水沟,避免了冷凝水排放滴落至钢轨扣件及绝缘橡胶垫上的情况,较好地规避了腐蚀钢轨扣件、破坏钢轨绝缘性等情况,以及其对停车列检库内工作环境的影响。当列车启动制动信号消失时(速度不为 0),列车控制器在发送取消制动信号的同时,控制冷凝水储水箱出口的电磁控制阀关闭,冷凝水储水箱继续收集空调机组工作产生的冷凝水。空调冷凝水排水结构改进方案流程图如图 6 所示。

4.2 冷凝水排放成本对比

空调冷凝水排水结构改进方案仅在原车辆设备上新增了冷凝水储水箱、电磁阀门及若干控制电缆,改进后的排水管总长减少了约 5 m,经成本测算,相关费用合计增加约 2 000 元/列(以地铁 B 型

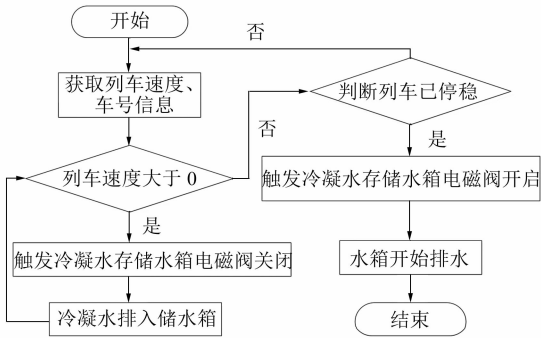


图 6 空调冷凝水排水结构改进方案流程图

Fig. 6 Flow chart of improvement scheme for air conditioning condensate water drainage structure

车 6 辆编组为例)。为确定列车空调冷凝水排放的最优方案,从投资、检修、美观等多个方面对 3 种不同形式的排水方案进行对比,如表 1 所示。综合对比分析,以一个 40 列位停车规模的车辆段为例,采用空调冷凝水排水结构改进方案的总投资最多能节省约 72 万元。此外,空调冷凝水排水结构改进方案具有不涉及大量的土建改造和施工、排水效果较好、后期维护量少、工程可实施性较强等优点。从工程施工难度、维护检修工作量、库内美观方面而言,空调冷凝水排水结构改进方案更具有优势,对后期运营影响最小。

表 1 3 种空调冷凝水排放优缺点对比

Tab.1 Merits and demerits comparison of 3 types of air-conditioning condensate water discharge							
方案	排水效果	施工难度	整体效果	场地成本	检修影响	工程成本项目	后期运维成本项目
排水沟	分散排水,排水效果较好	连续、断开式水沟施工难度大,容易堵塞排水孔	检修低地面增设水沟,不美观	连续式水沟占用库房面积 72 m ² /列,断开式水沟占用库房面积约 12 m ² /列	水沟盖板长时间使用易变形,检修时易晃动,影响作业	连续式水沟工程费用较常规增加约 2.0 万元/列,断开形式增加 1.2 万元/列	后期水沟盖板须更换,排水沟须定期清理
排水坡	分散排水,排水效果不佳	排水坡度较小,对施工工艺要求较高,施工难度大	检修低地面无水沟,整体效果好	不占用库内检修通道	斜坡遇水易滑	两侧低地面施工以及检查坑内排水沟合计增加约 0.5 万元/列	检查坑内水沟宽度较小,须定期清理
排水结构改进方案	集中排放,排水效果最佳	检修低地面无水沟,整体效果好	整体效果最好	不占用库内检修通道	对检修无影响	车辆增加约 0.2 万元/列,无其他工程费用	电磁阀需定期维保

5 结语

本文分析了现阶段地铁车辆空调布置和冷凝水排水结构方案,对现阶段停车列检库内设计所采取的两种空调冷凝水排放方案进行了分析研究,主要获得以下结论:

- 1) 现阶段采取的排水沟和排水坡两种冷凝水排放形式均对停车列检库内列检人员和保洁人员作业造成一定的影响,存在库内地面积水现象,通过土建措施的改进不能有效地解决排水问题,且对后期维护造成一定的困扰。
- 2) 通过在地铁车辆上增设冷凝水水箱、电磁阀等设备可将冷凝水集中收集,同时对冷凝水排水管路进行改进。空调冷凝水排水结构改进方案在工程投资、维护保养成本、库内环境美观、检修影响等方面均具有较大优势。建议后续类似新建工程在地铁车辆排放冷凝水设计时采用所提方案形式。

参考文献

[1] 刘小龙. 试析轨道车辆空调机组冷凝水排放的设计要点[J].

山东工业技术,2018(12):40.
LIU Xiaolong. Analysis of design points of condensate discharge from air conditioning unit of rail vehicles[J]. Shandong Industrial Technology,2018(12):40.
[2] 黄志玲,江现昌,敖斌,等. 南昌地铁 1 号线车辆空调机组优化设计方案[J]. 铁道车辆,2016,54(10):21.
HUANG Zhiling, JIANG Xianchang, AO Bin, et al. Optimization design scheme of air-conditioner sets on vehicles for Nanchang Metro No.1 Line[J]. Rolling Stock,2016,54(10):21.
[3] 刘增民. 渭河车辆段工艺设计特点分析及优化[J]. 铁道标准设计,2015,59(4):129.
LIU Zengmin. Analysis and optimization of characteristics in process design of Weihe rolling stock depot[J]. Railway Standard Design,2015,59(4):129.
[4] 何瑞兰,任盼盼,赵辰,等. 完全有组织排水技术在地铁车辆段中的应用[J]. 都市轨道交通,2018,31(5):101.
HE Ruilan, REN Panpan, ZHAO Chen, et al. Application of fully organized drain technology in planning for prevention of city waterlogging[J]. Urban Rapid Rail Transit,2018,31(5):101.
[5] 刘忠俊,陈俊,彭玉龙. 天津地铁 1 号线车辆空调漏水原因分析与处理[J]. 城市轨道交通研究,2011,14(5):74.
LIU Zhongjun, CHEN Jun, PENG Yulong. Analysis and remedy of air conditioner leakage on Tianjin Metro Line 1 vehicles[J]. Urban Mass Transit,2011,14(5):74.

(收稿日期:2021-04-09)