

成都地铁车辆专业零部件深度维修模式的探索与实践

耿成帮 郭 瑞 陈 文 张立明 张太平

(成都地铁运营有限公司, 610081, 成都//第一作者, 高级工程师)

摘 要 目的: 为了有效解决成都地铁车辆设备维保存在的问题, 提升车辆设备的可靠度, 成都地铁车辆专业需开展电客车零部件自主深度维修模式的研究。方法: 首先, 阐述了目前成都地铁车辆设备主要存在的问题, 分析了车辆各关键子系统的故障情况。其次, 对车辆专业零部件深度维修的技术和管理措施进行论述, 建立了车辆专业深度维修的组织架构, 讨论了深度维修的场所建设及设施搭建所需考虑的主要因素, 并阐述了与之相关的综合保障机制。最后, 在阐述车辆专业零部件深度维修的实施概况的基础上, 对车辆专业零部件深度维修的实施效果进行分析。结果及结论: 实施零部件深度维修后, 设备故障率明显降低, 设备维修成本大幅下降, 解决了目前地铁车辆维保的问题, 提升了车辆自主维修的能力。

关键词 城市轨道交通; 车辆; 深度维修模式

中图分类号 U239.54

DOI:10.16037/j.1007-869x.2023.07.042

Deep Maintenance Mode Exploration and Practice for Chengdu Metro Vehicle Specialized Components

GENG Chengbang, GUO Rui, CEHN Wen, ZHANG Liming, ZHANG Taiping

Abstract Objective: To effectively address the issues existing in Chengdu Metro vehicle equipment maintenance and improve the reliability of vehicle equipment, Chengdu Metro vehicle discipline needs to gradually carry out research on component independent and deep maintenance for electric passenger cars. Method: Firstly, the main problems existing in Chengdu Metro vehicle equipment are elaborated, and the failure situations of various key subsystems of the vehicle are analyzed. Secondly, the technical and management measures of vehicle discipline for component deep maintenance are discussed, and the organizational structure for vehicle component deep maintenance is established. The main factors to be considered in the construction of deep maintenance sites and facilities are explained, and the comprehensive guarantee mechanism related to

it is also elaborated. Finally, based on the implementation overview of vehicle specialized component deep maintenance, the vehicle specialized component deep maintenance implementation effect is analyzed. Result & Conclusion: After component deep maintenance, equipment failure rate decreased evidently, equipment maintenance cost dropped drastically, solving the metro vehicle maintenance problems and improving vehicle independent maintenance capability.

Key words urban rail transit; vehicle; deep maintenance mode

Author's address Chengdu Metro Operation Co., Ltd., 610081, Chengdu, China

成都是我国第12个开通地铁的城市。自2010年1号线投入运营以来, 成都地铁实现了由线到网的发展。截至2021年底, 成都地铁已开通13条线路, 线网总长度为557.84 km。2021年成都地铁线网的日均客运量超过500万人次, 最高日客运量超过700万人次。提升车辆设备的可靠度是保障地铁运营服务质量的重要措施之一, 这对成都地铁车辆专业维保工作提出了非常高的要求, 为此, 成都地铁针对车辆专业零部件开展了自主深度维修模式的探索与实践。

1 成都地铁车辆设备深度维修背景分析

1.1 成都地铁车辆设备维保存在的问题

地铁在拥有高运力、高效准点及节能环保等优点的同时, 也面临着设备后期维护成本大及维护技术要求高等难题。随着地铁线路运营年限增加, 车辆设备逐渐老化, 部分设备已达寿命后期, 车辆各子系统的故障率增加, 车辆检修工作面临了设备出质保、产品升级停产、配件供应价格上涨及备件购买周期增长等问题。与此同时, 车辆专业设备的自主维修程度不够深入, 仍采用外观状态检查及功能

试验等方式进行检修,并通过整体换件来消除设备故障。为解决这一系列问题,成都地铁车辆专业亟需对设备零部件深度维修展开深入研究。

1.2 成都地铁车辆关键子系统故障情况

成都地铁 1 号线和 2 号线是成都地铁线网内日运营时间最长的 2 条线路,本文基于 2017 年的统计数据,对这 2 条线路车辆的 PIDS(列车广播与乘客信息显示)、车门、空调、制动、牵引及辅助供电等 6 个关键子系统的年故障数进行分析,其结果如表 1 所示。

表 1 成都地铁 1 号线和 2 号线车辆专业关键子系统年故障数统计(2017 年)

Tab.1 Annual failures statistics of Chengdu Metro Line 1 and Line 2 key subsystems of vehicle discipline (2017)

线路	车辆专业各子系统的年故障数/次					
	PIDS	车门	空调	制动	牵引	辅助供电
1 号线	930	1 126	638	198	261	1 028
2 号线	1 201	875	172	230	91	924
合计	2 131	2 001	810	428	352	1 952

由表 1 可知:2017 年这 2 条线路 PIDS 子系统的年故障数最高(全年合计为 2 131 件),其高价值故障件主要为 LED(电子地图)、CC(车载控制器)、CMON(视频监控显示器)等配件;其次为车门子系统的年故障数(共计 2 001 件),其高价值故障件包括车门控制器、车门滑车体、驱动电机装置及编码器等;辅助供电子系统及空调子系统的年故障数也较高,分别达到了 1 952 及 810 件,高价值故障件主要包括空调控制器、司机室仪表及紧急通风逆变器。

从表 1 还可以看出,PIDS、车门、辅助供电及空调等年故障率较高的子系统,均为与乘客关联性最强、最容易引发乘客投诉的系统:PIDS 系统故障会导致列车站点信息显示错误、报站错误等问题;车门故障处置时间较长,会影响乘客上下车时间,列车发生晚点或清客的概率较大;辅助供电子系统及空调子系统故障将直接影响乘客的乘坐舒适度。

为有效解决上述故障,提升设备可靠度,维保人员通常会采用更换故障件的方式消除故障,更换下来的配件不能得到有效的修复和利用。因此,成都地铁车辆专业从 2017 年开始实行车辆专业零部件的深度维修,深度维修工作先选取故障高发、对

正线行车安全影响较小的 PIDS 为试点,再推广至其他故障率较高的高价值配件。

2 车辆专业零部件深度维修的技术和管理措施

2.1 深度维修的整体思路

成都地铁车辆专业以公司车辆专业技师工作室为依托,搭建了深度维修工作组。根据各线路车辆设备的故障情况,结合设备的维修价值及维修可行性,制定出零部件深度维修各阶段的具体工作方案。工作方案主要包括技术论证、基础设施建设及配套管理制度建设等方面。

1) 技术论证:由于设备厂商提供的设备技术资料不完整,且技术深度不足,深度维修需对待维修设备的工作原理进行深入研究,整理并完善其技术资料,这是深度维修的理论基础;同时,需配套完成设备图纸及维修工艺等文件的编制,为维修实施提供作业指导。

2) 基础设施建设:在技术论证后,需设计、制造出待修件维修及测试的工艺装备(以下简称“工装”),并完善设备维修、测试等现场所需的基础设施建设。

3) 配套管理制度建设:需建立健全深度维修工作管理制度、核心工作流程及台账等,以规范管理故障件的送修、试验及质保等工作。

2.2 深度维修组织架构搭建

依托公司车辆专业技师工作室资源建立的深度维修工作组分为电气设备维修组及机械设备维修组 2 个组,每组均制定了详细的全员岗位工作职责及管理细则,以确保各部分工作的高效运作。2 个组分别配备了 1 名车辆电气工程师和 1 名车辆机械工程师,这 2 名专业技术人员主要负责设备原理研究、技术论证及设备维修等技术类工作,以对维修技术进行指导。此外,还配备了综合管理人员,以对组内非技术性事务进行指导。综合管理类人员主要负责物料申购、备件管理及台账建立等保障类工作。车辆专业深度维修的组织架构如图 1 所示。

在各阶段工作实施前,先组织人员进行集中培训,以确保整体工作顺利推进。同时,深度维修工作组以部门/车间的绩效管理制度为基础,制定了小组内部的奖惩机制,并制定了维修难度分级、工作量化标准与绩效分配的联动方案,建立按劳按绩

取酬、能进能出的工作机制,以进一步提升工作组的内部动力。

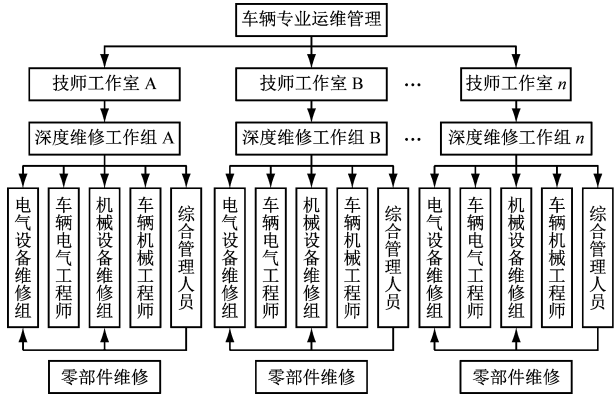


图 1 车辆专业深度维修的组织架构图

Fig. 1 Deep maintenance organizational structure diagram of vehicle discipline

2.3 深度维修工作的场所规划与建设

为实现车辆设备深度维修与检修车间内既有资源/配套设施的共享,实现地铁车辆日常维保与深度维修工作的互补及联动,应基于车辆专业技师工作室及检修车间的场地布点情况,规划并建设深度维修工作组的工作室。

深度维修工作室分为综合办公区、研发区和检修区 3 个部分:综合办公区主要用于日常办公和员工培训;研发区主要用于设备原理研究和技术论证等工作;检修区主要用于车辆设备的深度维修、保养及维修前后的功能试验等工作。各工作区域内设施的设计均须符合安全、消防及应急等要求,并满足可视化、精益化的管理要求。同时,维修工作室还应结合公司的文化品牌及线路主题进行特色打造,以体现企业文化、核心价值观及管理理念。图 2 为成都地铁 1 号线和 2 号线车辆专业深度维修工作室的现场图。

2.4 深度维修设施搭建

深度维修设施的研发与建设主要围绕 3 类设施进行:① 维修设施,主要用于车辆设备拆装和维修工作,采用“非标工装自主设计制作+采购通用工具”模式搭建;② 室内试验设施,主要用于车辆设备维修前后室内模拟功能测试及问题诊断;③ 车上诊断设备,主要用于车辆故障设备下车前及装车后的故障诊断及数据分析。

因车辆设备功能及接口的针对性极强,故深度维修的大部分设施采用自主研发的方式进行搭建。表 2 为成都地铁 1 号线和 2 号线车辆专业常用的深

度维修工作设施范例。



a) 1 号线的深度维修工作室



b) 2 号线的深度维修工作室

图 2 成都地铁 1 号线和 2 号线的车辆专业深度维修工作室现场图

Fig. 2 Site pictures of Chengdu Metro Line 1 and Line 2 deep maintenance workshop of vehicle discipline

表 2 成都地铁 1 号线和 2 号线车辆专业常用的深度维修工作设施范例

Tab. 2 Examples of commonly used deep maintenance facilities of vehicle discipline for Chengdu Metro Line 1 and Line 2

类别	名称	主要功能
维修设施	车门滑车体维修装置	拆卸、压装车门滑车体
	踏面制动单元拆装装置	拆卸、安装踏面制动单元
	LED 灯板试验装置	检测 LED 灯板指示灯工作状态
室内试验设施	空调控制系统综合试验台	诊断及测试空调系统关键设备状态
	车门控制器测试试验台	门控器诊断测试,实现门控器的故障点定位
车上诊断设备	紧急通风逆变器测试工装	电客车紧急通风逆变器免拆卸故障诊断

注:表中所有设备的搭建方式均为自主设计制作。

2.5 综合保障机制建设

2.5.1 配套高效的物资申购机制

成都地铁物资采购流程大致为申报需求计划、分公司立项、制定采购计划、执行采购、签订采购合

同、物资验收及支付结算等环节^[1]。车辆专业深度维修的物资采购要求高,物资采购响应落地效率的要求也较高:采购物资种类繁多且要求尽量减短采购周期,以实现快速、单批次数量小、高频次及多种类的采购需求。按照既有的管理方式进行物资采购,无法满足深度维修设备的管理进度要求。因此,成都地铁在保障设备采购合规性的前提下,对深度维修设备的采购方式及流程进行了创新,对“云平台”对备件平台采购、“中车购”框架采购及“零星采购”等采购方式进行集成,将原设备采购周期从原先的1~6个月压缩至1~30 d。在深度维修技术达到成熟阶段的情况下,对历年设备故障率和维修情况进行大数据分析,以精准评估年度及月度的物资需求,并由此制定精准的物资采购计划。

2.5.2 建立健全的质保追溯机制

车辆设备的深度维修是在确保提升运营设备可靠度的基础上开展的维修工作,必须优先满足维修设备的质量要求。成都地铁车辆专业深度维修工作组对从故障设备选择、设备维修、设备验证到设备装车全流程登记、追踪及“用户”回馈分析的全过程,建立了质量闭环管理机制,并将设备质量问题及设备返修率纳入深度维修工作组及维修人员的考评机制中,以切实保障维修质量。

2.5.3 建立健全的维修数据分析机制

车辆设备深度维修工作涉及的数据较多,主要包括设备维修数据、成本分析数据及质量追溯数据等。做好这些数据的统计分析,可以挖掘车辆设备的维保潜能,并为电客车设备质量、检修成本等分析提供依据。健全的维修数据分析机制主要包括编制周报、月报和年报,可为车辆专业设备各阶段状态的分析和总结提供宝贵的数据。

2.5.4 建立健全的维修管理制度

应明确各部门对返修件管理的相关职责,以有效控制和预防因返修件质量问题引发车辆设备质量问题的情况,确保车辆设备运营安全。为此,车辆专业制定了《深度维修备品备件返修再利用管理细则》,以确保各项工作的规范化和标准化。

3 车辆专业零部件深度维修的效果分析

3.1 车辆设备深度维修的实施概况

城市轨道交通投资大,回报低。多年来,地铁车辆电气设备维修停留在对故障部件实行整体更换的方式,运营成本负担较大。车辆出质保期后,

配件价格不断飙升,且购买周期长、流程复杂,给设备维保带来了巨大挑战。为扭转被动局面,成都地铁执行深度维修后,工作室开始研究电子元器件级别的更换和维修,在降低运营成本的同时,也可使员工对车辆设备原理有更深入的了解,提升对设备系统的认知程度。1号线和2号的深度维修模式趋于成熟后,2018年起在成都地铁线网全面予以推广。

电客车部件深度维修对象的选择,要以不影响电客车安全运营为前提,重点考虑故障率高、价格高、采购周期长及对生产影响较大的部件。电客车部件深度维修的设备主要包括 PIDS、辅助供电、内装等子系统,以及车门子系统的部分机械部件,在此基础上持续将辅助类设备纳入深度维修范畴。本文选取了10种车辆专业典型的深度维修设备,如表3所示。经统计,LED灯板是目前维修量最大的零部件,该零部件的维修量占每年车辆设备零部件维修总量的77%以上。深度维修工作组通过技术分析后不再采用原有整体更换灯板方式,而改用更换故障灯珠方式,新的维修方式既保障乘客的乘坐体验,又达到了创新增效的目的。目前深度维修工作室纳入深度维修的零部件种类已达70余种,且多数零部件已从2017年的深度试修转变为目的的常态化深度维修。

表3 车辆专业深度维修典型设备统计表
Tab.3 Statistics of typical equipment for deep maintenance of vehicle discipline

序号	设备名称	序号	设备名称
1	LED灯板	6	客室扬声器
2	LED控制板	7	手持麦克风
3	客室LCD(液晶显示器)	8	监视系统车辆接口单元
4	CMON(视频监视显示器)	9	烟火报警主机探测器吸气泵
5	乘客紧急报警器	10	烟火报警主机探测器

此外,深度维修工作人员对设备原理开展了由点到面、由浅到深的系统性研究,先依据厂家提供的有限技术资料来了解设备的整体功能和原理,再对设备进行拆分,通过查找网络资料掌握其构成零部件的工作原理及结构性能,从而为后期各阶段的维修工作和试验台搭建提供理论基础^[2]。随后结合设备的结构及原理,从故障现象入手,分析并确定故障点,研究出有效的维修方法。

3.2 深度维修的收效

3.2.1 深度维修技术趋于成熟

成都地铁深度维修工作自开展以来,取得了丰硕的成绩。维修团队在缺少专业技术支持的情况下,完成了设备原理、检测工装及维修方案的自主研究,突破了诸多技术壁垒,并制定了一系列管理制度,将深度维修逐步过渡到常态化维修。2017—2021年,技师工作室已为车辆专业、设备专业、机电专业、站务专业及综合部门维修设备70余种(共计6 633件),且未出现二次返修和影响运营的情况。随着可维修件种类的不断扩展,车辆专业设备的深度维修技术逐渐成熟,成都地铁线网车辆专业零部件采用深度维修的数量呈逐年递增趋势,如图3所示。

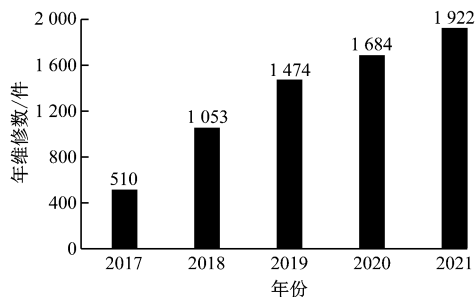


图3 成都地铁线网车辆专业零部件深度维修的年维修数(2017—2021年)

Fig. 3 Annual maintenance quantity of vehicle specialized components deep maintenance for Chengdu Metro line network (2017—2021)

3.2.2 设备故障率明显降低

通过对 PIDS、辅助供电等子系统的部件进行深度维修,因运营年限长引起的设备老化问题得到了有效改善。图4为2017—2021年成都地铁1号线和2号线车辆 PIDS、辅助供电子系统的年故障数。由图4可知:2个子系统的年故障数均呈现逐年稳步下降的趋势,并在2021年后期基本达到稳定状态。与乘客关联度高的子系统设备的故障率降低,可进一步提升服务品质,改善乘客的乘坐体验。

3.2.3 运营维修成本大幅下降

深度维修在一定程度上解决了车辆设备维保面临的设备老化及配件价格上涨等问题。据统计,2017—2021年间,车辆设备的深度维修模式为成都地铁线网节省运营成本共计2 804.2万元,各年度所节约的设备维修成本如图5所示。由图5可看出:2017年深度维修处于起步阶段,全年共计节约的维修成本价值为195.4万元;2018—2021年,随

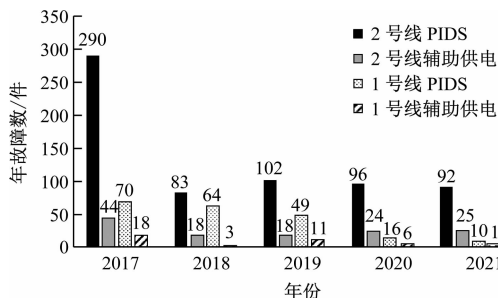


图4 成都地铁1号线和2号线车辆 PIDS、辅助供电子系统年故障数(2017—2021年)

Fig. 4 Annual failures of vehicle PIDS and auxiliary power supply subsystems for Chengdu Metro Line 1 and Line 2 (2017—2021)

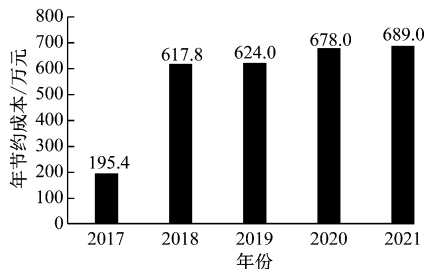


图5 成都地铁线网车辆专业零部件实施深度维修所节约的设备维修成本(2017—2021年)

Fig. 5 Equipment maintenance costs saved by implementing vehicle specialized components deep maintenance for Chengdu Metro line network (2017—2021)

着深度维修业务的不断扩展和技术的逐步成熟,各年度共计节约的设备维修成本呈稳中有升的趋势,年节约设备维修成本均大于600.0万元。

3.2.4 深度维修技术成果收获颇丰

深度维修模式需要对车辆设备结构和原理进行深入剖析,技术人员对车辆设备原理有了深入了解,设备检修水平随之得以提升。在公司“育人才、谋发展”战略指引下,深度维修工作取得了多项技术成果。对2018—2021年成都地铁车辆专业的深度维修技术成果进行统计,其结果如表4所示。

如表4所示,依托深度维修工作的开展,成都地铁线网2018—2021年间共计开展了员工培训近1 800人次,制定包括LCD高压条及控制板更换、司控器维修及烟火报警主机维修等工艺文件共计18个,发表论文10篇,申请紧急通风逆变器试验台等国家专利共计12项。此外,车辆专业技师工作室也多次获得成都市总工会职工创新工作室等荣誉称号,5名工作室成员获得了“成都工匠”称号,1名工作室成员获得了“金牛工匠”称号。

表 4 成都地铁线网车辆专业深度维修技术成果统计
(2018—2021 年)

Tab. 4 Deep maintenance technology achievement statistics of vehicle discipline for Chengdu Metro line network (2018—2021)

年份	工艺文件数/个	QC(质量控制)课程数/个	发表论文数/篇	申请国家专利数/个
2018	1	1	0	1
2019	4	3	2	3
2020	5	4	4	4
2021	8	8	4	4
合计	18	16	10	12

4 结语

车辆设备的深度维修,在一定程度上解决了地铁车辆检修所面临的各类问题,提高了车辆专业维修的自主性。未来如何将深度维修作用延续并放大,仍是成都地铁人需要攻克的难题。

1) 扩大深度维修的范围与深度,逐步开展对牵引、制动及辅助供电等正线运营影响较大的车辆子系统的原理研究,重点对牵引制动系统控制板卡、空调控制器、门控器,以及制动气路的各类阀体等等控制系统/设备进行研究。

(上接第 222 页)

吸湿器内干燥剂颜色正常,呼吸器及导管无堵塞;气温突然变化时,应检查变压器的油位、油温无异常变化。

当发现变压器出现异常时,及时采取措施。

4 结语

随着我国城市轨道交通行业的飞速发展,在为市民提供便捷的公交服务的同时,也给城市带来了供电系统的谐波污染。城市轨道交通在运行过程中,其供电系统极易产生谐振现象,影响其正常工作,因此,根据谐波谐振的发生原理和特性,探讨谐波抑制措施对保证城市轨道交通的安全、稳定运行具有重要意义。

参考文献

[1] 陶琨. 城市轨道交通牵引供电系统的继电保护配置[J]. 中国

2) 利用深度维修已掌握的设备原理和设备状态,对既有修程修制进行优化,使车辆设备“检、养、修”制度更加合理,维修成本更优。

3) 加强源头治理,将深度维修掌握的技术反哺到车辆架大修及新车设计制造中,从源头上提升车辆设备的可靠性和稳定性。

4) 基于深度维修对 PIDS 等系统原理及功能的掌握程度,结合设备全寿命周期管理,在设备寿命到期前研究车辆设备系统的升级改造方案,让既有列车设备系统的改造更具有针对性,找到更优的技术解决方案。

参考文献

[1] 饶咏,张耘. 城市轨道交通大规模线网运营环境下物资精准采购体系[J]. 城市轨道交通研究, 2020, 23(12):189.
RAO Yong, ZHANG Yun. Material precise procurement system in urban rail transit large-scale network operational environment[J]. Urban Mass Transit, 2020, 23(12):189.
[2] 潘文海. 广州地铁 3 号线列车车门控制器离线检测装置的设计与应用[J]. 城市轨道交通研究, 2016, 19(3):127.
PAN Wenhai. Design and application of off-line detection device for train door controller of Guangzhou Metro Line 3[J]. Urban Mass Transit, 2016, 19(3):127.

(收稿日期:2022-06-21)

科技投资, 2020(15):306.
TAO Kun. Relay protection configuration of traction power supply system in urban rail transit[J]. China Venture Capital, 2020(15):306.
[2] 马九洋,李天石. 城市轨道交通钢轨对地过渡电阻的检测分析[J]. 现代城市轨道交通, 2019(8):86.
MA Jiuyang, LI Tianshi. Inspection analysis of transitional resistance of rail to track in urban rail transit[J]. Modern Urban Rail Transit, 2019(8):86.
[3] 朱瑛. 配电网无功补偿及谐波治理技术研究及应用[J]. 科技风, 2020(12):196.
ZHU Ying. Research and application of reactive power compensation and harmonic control technology in distribution networks[J]. Technology Wind, 2020(12):196.

(收稿日期:2023-01-12)