

地铁电客车均衡修维修模式的实践探究

陈孚望, 刘媛

太原轨道交通一号线建设运营有限公司, 山西 太原 030000

DOI: 10.61369/SSSD.2026070041

摘 要 : 结合某地铁项目运营实际需求, 为优化电客车维修效率、降低维修综合成本, 本文提出将传统计划修模式改造为均衡修模式。实践论证表明, 均衡修模式在大幅缩短车辆维修耗时的同时, 能够有效保障维修质量, 为地铁车辆运维管理提供优化路径。

关 键 词 : 城市轨道交通; 电客车; 均衡修; 维修模式

Practical Exploration of the Equalized Maintenance Mode for Metro Electric Multiple Units (EMUs)

Chen Fuwang, Liu Yuan

Taiyuan Rail Transit Line 1 Construction and Operation Co., Ltd., Taiyuan, Shanxi 030000

Abstract : Combined with the actual operational needs of a certain metro project, to optimize the maintenance efficiency of electric multiple units (EMUs) and reduce the comprehensive maintenance cost, this paper proposes transforming the traditional scheduled maintenance mode into an equalized maintenance mode. Practical verification shows that the equalized maintenance mode not only significantly shortens the vehicle maintenance time but also effectively guarantees the maintenance quality, providing an optimized path for the operation and maintenance management of metro vehicles.

Keywords : urban rail transit; electric multiple units (EMUs); equalized maintenance; maintenance mode

一、研究背景

在城市轨道交通运维体系中, 电客车维修成本占整体维修成本的 40% 左右, 当前行业内主流的电客车维修模式多借鉴铁路运维经验, 采用以运行里程和运营时间为核心依据的“计划修 + 故障修”模式, 设置双周检、三月检、年检等固定修程, 需将列车停运后开展集中式全面检查与维修作业。

车辆维修环节是制约地铁列车上线率提升的核心因素, 维修耗时占据了列车可运营时间的较大比例。通过优化车辆维修模式缩短维修占用的运营时间, 是低成本、高效率提升列车上线运营数量的有效途径。同时, 随着周边城市化进程加快, 地铁线网化发展趋势显著, 客流持续攀升导致列车运力与运能需求的矛盾日益突出。某地铁结合 PPP 项目运营特点, 针对传统电客车维修模式的诸多弊端, 经车辆运维部门专项调研与论证, 制定了电客车均衡修修程体系, 以期破解运维与运营的供需矛盾。

二、均衡修修程体系概述

均衡修修程是以列车整体可靠度和各零部件故障周期为核心依据, 针对性调整列车维修规程, 通过精细化管理发挥运维效能、优化维修作业条件, 从而缩短列车维修停库时间, 实现列车利用率与运行可靠性双重提升的维修体系。该模式既能够保障列

车运行安全可靠、提高列车投运率, 也能进一步提升整体维修作业能力。

均衡修修程的核心思路是对传统计划修中双周检、三月检、定修的全部作业内容进行拆解与重构, 划分为 12 个均衡修修程和 24 个特别修修程; 通过优化作业流程、升级工器具与材料配置、调整人员组织架构等方式提升作业效率, 充分利用地铁运营窗口时间完成维修作业, 在不影响列车正常出库运营的前提下, 最大化提升列车资源利用率。

三、均衡修修程体系的深度分析

(一) 修程体系的科学设置

电客车检修周期的制定, 综合参考车辆各零部件设计使用寿命、实际磨损规律, 结合车辆现场运用情况与长期检修经验确定。本次均衡修修程设置中, 将传统双周检、三月检、年检的维修对象划分为通用检查项目和增量检查项目, 对应设置均 1 至均 12 共 12 个均衡修修程; 同时梳理受电弓维护、空调维护、蓄电池维护、联轴节加油、齿轮箱换油等专项作业内容, 形成 13 个特别检查项目, 并将其科学组合分配至 24 个修程中, 构建完成 24 个特别修修程体系。

均衡修各修程均包含通用检查项目, 主要涵盖电气柜与空调柜、列车通讯控制系统、乘客信息显示系统、司机室及客室相关

设施、转向架、车钩、风源模块、各类气管及阀类等全方面基础检查；各修程根据定位设置差异化增量检查项目，如均 1 重点开展牵引电动机加油、轮对数据测量等作业，均 11 聚焦车门各部件润滑维护、紧急解锁封条更换等内容，各增量项目各有侧重、相互补充，形成完整的检修闭环。

在维修计划编排层面，综合考量当地季节性气候特点与年度重大节假日设备普查需求，规避极端气候对检修作业的不利影响，制定标准化作业计划，即每月所有运营列车仅需完成 1 次均衡修和 2 次特别修修程，实现修程的常态化、规范化推进。

（二）列车投运率提升效果分析

某地铁拟定运营时间为 6:00-22:00，高峰与非高峰时段采用差异化运行图，排除洗车、调车等非维修作业影响后，早高峰首列回库车 9:15 至晚高峰末列出库车 15:30 期间，拥有约 5 小时的运营窗口时间，可充分用于回库列车的维修作业。

该地铁现阶段可上线运营列车共 17 列，传统计划修模式下，每日需扣车 4 列开展检修，列车投运率约为 76.4%。推行均衡修修程后，结合当前运营用车需求，每个工作日仅需完成 1 列均衡修和 1 列特别修作业；其中 1 列特别修利用运营窗口时间完成，早晚高峰均不扣车；1 列均衡修因作业耗时较长，仅在晚高峰时段扣车维修。该模式下，列车早高峰投运率提升至 88.2%，晚高峰投运率达 82.3%，投运率得到显著提升。

从维修扣车时间来看，传统计划修模式下，每列列车每年需完成 1 次年检、3 次三月检、20 次双周检，年度维修停库总天数达 14 天；均衡修模式下，每列列车每年完成 12 次均衡修、24 次特别修，因大量利用运营窗口时间，年度维修停库总天数仅为 6 天，相比传统模式减少 57.14%，列车有效运营时间大幅增加。

（三）运维综合成本管控分析

1. 日常维修成本

均衡修模式下，电客车年度检修作业由传统的 20 次双周检、3 次三月检、1 次年检，调整为 12 次均衡修、24 次特别修。从修程编制来看，核心减少了 8 次双周检作业，参考现场生产定额，每列列车单次双周检消耗 268 元，8 次双周检可节约 2144 元 / 列。该地铁初期配属 17 列列车，年度可节约日常维修成本 3.6 万元。

2. 架大修成本

均衡修模式使每列列车年度扣车时间减少 8 天，17 列列车每年可减少扣车 136 天。从实际运营效果来看，每日上线列车可增加 1.5 列次，等效于新增 1.5 列运营电客车。

该地铁电客车最高运营速度 120km/h，平均旅行速度 72.23km/h，根据车辆技术规格书，列车运行 75 万公里或运营 5 年（以先到为准）需开展架修，运行 150 万公里或运营 10 年（以先到为准）需开展大修。按 8min 发车间隔、上线 12 列列车（含 2 列备车）测算，列车平均每日运行 680km，在 30 年寿命周期内，每列列车需完成 5 次架修、4 次大修。经核算，均衡修模式下可等效节约 6 列列车的架大修成本，其中架修单辆成本 150 万元、大修单辆成本 400 万元，累计可节约架大修成本 14100 万元。

3. 购车成本

因均衡修模式实现每日上线列车增加 1.5 列次的运营效果，无需额外购置对应数量的电客车，直接节约购车成本 4500 万元。

综合核算，均衡修模式在列车 30 年寿命周期内，可累计节约车辆综合成本 = 日常维修成本 + 架大修成本 + 购车成本 = 108+14100+4500=18708 万元，平均每年节约成本 623.6 万元，成本管控效果显著。

（四）维修资源利用效率优化分析

1. 提升运维人员利用率

传统计划修模式下，班组作业量存在明显的忙闲不均问题，如三月检作业前两日需配置 9 人，第三日下午动调作业仅需 4 人，人员资源配置效率偏低。均衡修模式通过对作业内容的合理拆分与整合，安排日检班配合均衡修班开展作业，实现每日维修工作量的均匀分配，班组人员配置更趋合理，大幅提升了运维人员的整体利用效率。

2. 提升维修作业的科学性与经济性

传统计划修的维修周期主要依据设备供货商维护手册制定，为追求统一化检修标准，部分零部件维修频次被过度增加，既造成维修资源的浪费，也易因过度检修导致设备额外磨损。而设备实际运行状态受地域环境、使用工况等因素影响存在差异，部分部件需针对性调整维修策略。均衡修修程以设备可靠性为核心，通过对各系统、各部件开展功能与故障分析，制定科学匹配的维修策略，实现维修作业的精准化、高效化，从根源上减少资源浪费。

3. 实现作业安排的人性化

均衡修修程在计划编排时充分结合当地气候特征，将走行部润滑油脂更换、高压风吹扫等作业避开高温酷暑季节，降低恶劣气候对作业人员的影响，体现了维修制度的人性化设计，有助于提升员工现场作业效率。

4. 全面提升员工专业技能水平

均衡修模式对运维人员技能提出了综合性要求：均衡修班需熟练掌握全部均衡修、特别修及故障临修作业内容，日检班需精通日检、特别修及故障临修作业。这一要求有效改善了传统维修模式下不同修程班组员工技能水平差距较大的问题，推动运维团队整体技能水平提升，进一步提高了现场维修作业效率。

四、均衡修修程推行的总结与对策

某地铁电客车在保障运营安全的前提下，具备全面推行均衡修修程的现场条件，该模式的推行兼具显著优势与实际挑战，需针对性制定应对措施。

（一）均衡修修程的推行优势

第一，修制体系无需大幅改革。推行均衡修模式无需对现有维修制度进行根本性调整，减少了技术规程、作业流程、班组配置的调整工作量，规避了修制变更规划、技术规程梳理、人员二次技能培训、安全管控体系重构等一系列复杂工作流程，降低了模式切换的管理成本与实施难度。

第二，规避物料采购计划误差。传统模式向均衡修模式过渡阶段，易因修程调整导致物料采购计划偏差，而本次均衡修修程是在现有物料供应体系与采购流程基础上优化制定，有效避免了过渡阶段的物料采购误差，保障了检修作业的物料供应稳定性。

第三，快速锻造高效维修队伍。均衡修模式对人员技能的综合性要求，能够倒逼运维人员快速学习、掌握多岗位作业技能，在短时间内实现团队专业能力的整体提升，锻造一支高效、全能的地铁车辆维修队伍。

第四，提升生产组织效率。均衡修模式依托运营窗口时间开展作业，减少了列车转轨、跨区域调车等额外作业环节，简化了现场生产组织流程，有效提升了维修作业的生产组织效率。

（二）均衡修修程推行的困难及解决措施

第一，需精细化管理体系支撑。均衡修模式对现场运维管理的科学性、严谨性、责任性要求较高，需构建适配的管理体系。对此，通过外出调研学习国内地铁均衡修运维先进经验，深入研究均衡修修程管理与培训体系，从管理制度、作业过程、管理方法、人员培训等维度进行深度剖析，总结并编制形成适配本项目电客车的均衡修管理机制。

第二，对备件保障能力要求严格。均衡修修程对车辆停扣时间管控严格，需充足的备品备件与轮换件作为支撑，提升维修资源配备效率。对此，组织各专业工程师结合各系统运行需求，编制电客车全品类备品备件清单，制定科学化、常态化的备件与轮换件需求计划，保障现场作业的备件供应。

第三，试修初期或出现故障率波动。均衡修模式试运行阶段，因作业流程、人员配合等方面需磨合，列车故障率可能出现

阶段性上升，待磨合完成后将逐步下降并趋于稳定。对此，在试运行期间适当增加维修检查频次，针对走行部、受电弓等关键部件及车门、PIS 系统等高故障率部件制定专项检查方案，加大检查力度；同时在列车上线运营前，制定标准化“上线前检查”方案，确保列车在试运营阶段保持良好的技术状态与运行安全性。

第四，零部件故障周期数据积累不足。初期对部分零部件的实际故障周期掌握不够精准，影响修程优化的科学性。对此，在列车调试阶段，安排各专业工程师负责对应系统的故障数据统计与分析，持续总结现场运维经验，为电客车安全运营、备品备件配置及修程进一步优化提供可靠的数据支撑。

五、结束语

地铁车辆维修制度是保障地铁运营安全稳定的核心支撑，科学完善的维修制度能够有效提升列车投运率、降低运营综合成本，推动车辆维修管理向更可靠、更经济的方向发展。

均衡修修程体系摒弃了传统干线铁路的维修模式思维，更加适配城市轨道交通平高峰客流量差距大、运营窗口时间固定的特点，通过精细化的修程设置、高效的作业组织、科学的资源配置，实现了车辆利用率提升、维修停时缩短、运营成本降低的多重目标，车辆运用效率得到显著提升。本次某地铁电客车均衡修修程的研究与实践，为城市轨道交通行业车辆维修模式的优化升级提供了实际参考案例，也为后续地铁线网化运维管理积累了宝贵经验。

参考文献

- [1] 刘佳, 李瑞荣. 城市轨道交通车辆均衡修模式分析研究 [J]. 城市轨道交通研究, 2022 (03).
- [2] 万宇. 成都地铁车辆均衡修探讨与应用 [J]. 铁道机车车辆, 2017 (05).
- [3] 罗永革. 湿式离合器金属带式无级变速器 (CVT) 控制策略研究 [D]. 浙江大学, 2002.
- [4] 张昕. 电动助力转向助力特性的仿真分析 [D]. 吉林大学, 2026.
- [5] 庄江丽. FlexRay 总线的组网及其在混合动力客车上的应用 [D]. 北京交通大学, 2012.
- [6] 李仕锋. 客车上部结构侧翻安全性研究 [D]. 重庆交通大学, 2012.
- [7] 廖英英. 高速铁道车辆半主动悬挂系统动力学建模优化与仿真分析 [D]. 北京交通大学, 2012.
- [8] 徐双亿. 基于实际交通状态的氢燃料电池汽车能耗因子预测方法研究 [D]. 北京交通大学, 2023.
- [9] 杨文静. 基于动态闭塞分区的混跑线路运能提升方法研究 [D]. 北京交通大学, 2023.
- [10] 刘瑞扬, 杨京. 铁路客车运行安全监控系统 [M]. 中国铁道出版社, 2005.