

A Brief Discussion on the Optimization Plan for Enhancing the Efficiency of Regular Maintenance of Passenger Cab Equipment in EMU Trains

Tianyu Pan

Wuhan CRRC Sifang Maintenance Center Co., Ltd., Wuhan, Hubei, 430200, China

Abstract

In response to the problems such as lengthy processes, uneven resource allocation, and delayed status perception in the regular maintenance of passenger car equipment for EMU trains, this paper, based on the concepts of lean management, digital monitoring, and dynamic scheduling, has developed an optimization plan for improving the efficiency of passenger car equipment maintenance. By reconfiguring the maintenance processes for seats, air conditioning, lighting, door control, and passenger information display devices, the original 12 steps were reduced to 8 steps, and a state-triggered digital maintenance management system and a dynamic resource allocation mechanism were established. Case analysis shows that the single maintenance duration decreased from 120 minutes to 90 minutes, the timely rate of fault handling increased from 85% to 98%, the completion rate of maintenance tasks increased from 90% to 99%; the labor cost decreased by 15%, the spare part loss reduced by 10%, and the single comprehensive cost decreased by 12%. The research indicates that this plan can effectively enhance the efficiency, economy, and continuous optimization capability of the regular maintenance of passenger car equipment for EMU trains.

Keywords

passenger compartment equipment of EMU; regular maintenance; lean management; digital monitoring; dynamic resource allocation

浅谈动车组客室设备常态化检修效率提升优化方案

潘天宇

武汉中车四方维保中心有限公司, 中国·湖北 武汉 430200

摘要

针对动车组客室设备常态化检修中存在的流程冗长、资源配置不均和状态感知滞后等问题, 本文基于精益管理、数字化监测与动态调度思路, 构建了客室设备检修效率提升优化方案。通过对座椅、空调、照明、门控及旅客信息显示装置的检修流程进行重构, 将原有12个步骤压缩为8个步骤, 并建立状态触发式数字化检修管理体系与资源动态配置机制。案例分析表明, 优化后单次检修时长由120 min降至90 min, 故障处理及时率由85%提升至98%, 检修任务完成率由90%提高至99%; 人工成本下降15%, 备件损耗减少10%, 单次综合成本下降12%。研究表明, 该方案能够有效提升动车组客室设备常态化检修的效率、经济性与持续优化能力。

关键词

动车组客室设备; 常态化检修; 精益管理; 数字化监测; 资源动态配置

1 引言

随着动车组运用密度持续提高, 客室设备检修已由传统周期性维护逐步转向高频次、短周转的常态化作业模式。座椅、空调、照明、门控及旅客信息显示装置等设备涉及多专业协同, 检修过程中容易出现工序重复、信息传递滞后、工具与人员配置不均等问题, 进而影响车组周转效率和运维成本^[1]。尤其在到段检修与高级修场景下, 有限时间内完成多类设备的状态确认、异常排查和结果闭环, 对检修组织方

式提出了更高要求。

2 动车组客室设备常态化检修现状及问题分析

动车组客室设备常态化检修通常围绕座椅、空调、照明、门控与旅客信息显示装置展开, 现有作业模式仍以计划性巡检和到段复核为主, 检修人员依照标准化作业指导书对设备外观、紧固状态、功能响应以及接口状态进行逐项确认。这种模式在保障基础安全方面具有现实基础, 但在高密度运营和短时周转场景下, 流程链条偏长的问题逐渐显现, 尤其是同类项目在不同工位间被反复核验, 重复检查步骤占比已接近25%, 由此带来的作业停留时间延长较为明显。结合某动车组高级修案例观察, 单次客室设备检修时长平均超出标

【作者简介】潘天宇(1998-), 男, 中国湖北潜江人, 硕士, 助理工程师, 从事动车组高级修研究。

准15%，时间消耗主要集中在信息传递、状态复核以及异常追踪环节，反映出现行模式对多专业协同的适配程度仍显不足。

从资源组织方式来看，当前检修现场的人力与工具配置更多依赖经验预判，尚未形成与车组状态、检修节拍相匹配的动态调配机制。高峰时段内，关键工位的人员和专用工具往往呈现阶段性紧张，而低负荷时段又存在闲置现象，资源利用率仅约60%。这种不均衡并非单纯的数量不足，而是资源投放节奏与实际需求波动之间存在错位，导致部分检修任务在等待人员到位、工具转运和工序交接中被动延后。进一步来看，客室设备种类多、接口差异大，座椅调节机构、空调风道组件以及照明回路的检修需求并不一致，若仍沿用静态配置方式，难以兼顾设备复杂性与作业连续性，进而把局部拥堵扩展为整体效率损耗^[2]。

3 动车组客室设备常态化检修效率提升优化策略

3.1 检修流程精益化重构

基于精益管理理念对动车组客室设备常态化检修流程进行重构时，关键不在于简单压缩工序数量，而在于围绕价值流辨识把非增值活动从作业链条中剥离出来。现有检修组织通常将座椅、空调、照明、门控以及旅客信息显示装置分散安排在不同检查节点，信息传递、记录复核和状态回填占用了较多作业时段，容易使检修人员把时间消耗在重复确认上。由此，价值流分析被用于重新梳理作业路径，即从工单接收、设备分区、并行核查、异常确认到结果闭环进行连续观察，识别出冗余签认、跨工位重复记录以及不必要的返工确认环节，并将其从主流程中移出，使检修活动更贴近设备状态变化的真实节拍。

在流程组织层面，重构思路强调把原本按设备类别线性展开的检修方式，调整为按区域与专业耦合的并行作业模式。座椅结构检查、照明回路确认以及局部附件紧固可在同一车厢内同步推进，空调风道与温控组件的功能核查则可与门控状态确认交叉开展，从而减少工位间往返移动和等待时间。对于需要跨专业协同的项目，则把接口确认、功能联调以及异常标记放入同一作业窗口内处理，避免因前序环节未闭合而反复回退。这样一来，流程不再以单一设备为中心进行割裂式排布，而是依托客室空间组织方式把相邻任务进行合并，既保留了标准化检修所要求的可追溯性，也降低了低价值动作对节拍的干扰。

3.2 数字化检修管理体系构建

在动车组客室设备常态化检修语境下，数字化检修管理体系的构建并非单纯叠加信息技术，而是把设备状态感知、检修指令流转以及工单闭环控制重新纳入同一数据链路之中。围绕空调、座椅、照明、门控以及旅客信息显示装置，可运用物联网客室设备状态监测系统把分散在客室各区域

的运行信息连续汇集起来，形成可追溯的状态底座。系统采集内容宜覆盖空调滤网压差、座椅调节次数、照明回路通断状态、门控动作次数以及显示屏通信延迟等指标，其中压差变化能够反映风道阻力累积情况，调节次数则可作为机械磨损强度的表征变量。借助传感节点、边缘网关以及车载通信链路，设备运行信息得以在检修到段前完成初步归集，检修人员不再依赖到场后逐项翻查，工单生成方式也由经验触发逐步转向状态触发。

3.3 检修资源动态配置优化

在动车组客室设备常态化检修场景中，资源动态配置的优化并不只是对人员数量作机械增补，而是要把历史检修数据沉淀为可供调度决策调用的需求画像。围绕座椅、空调、照明、门控以及旅客信息显示装置的检修记录，可构建资源需求预测模型，将故障类型、作业时长、工位占用、工具调用频次以及返工概率纳入同一分析框架，从而识别不同周转时段的资源波动规律。鉴于动车组到段时间相对集中，检修负荷常在交接班、首末班次衔接以及高级修窗口内出现峰值，若仍沿用固定编组方式，更容易把人员等待和工具闲置叠加为隐性损耗。基于这一现实情境，资源投放方式宜由静态配备转向弹性匹配，即依托模型对未来若干小时内的工单密度进行预判，把基础检修组、机电联动组以及异常处置组进行动态重组，使人力、工器具以及备件周转能够贴合实际作业节拍。

从现场组织角度来看，弹性排班制度为资源配置的精细化运行提供了更具适配性的支撑。高峰时段将原有2组检修小组调整为3组，不仅能够缓解座椅锁止件、照明回路以及门控执行机构同时检修时的工位拥堵，还可把等待协调、跨岗支援以及工具转运时间压缩到较低水平。与传统固定班次相比，这种排班方式并未改变检修标准本身，而是把资源响应前移到工单生成之前，使班组编成随任务强度发生弹性变化。

4 优化方案实施效果评估

4.1 效率指标对比分析

在动车组客室设备常态化检修优化方案落地后，效率指标的变化能够较直接地反映流程重构、数字化管理以及资源动态配置之间的耦合效果。结合某动车组客室设备检修案例的实施记录，单次检修时长由优化前的120 min下降至90 min，故障处理及时率由85%提升至98%，检修任务完成率由90%提高至99%。这些指标并非孤立波动，而是共同指向检修链条中等待、复核以及跨工位协同环节的同步收缩，表明优化方案对常态化检修的节拍控制已产生较为稳定的改善作用。

任务完成率由90%提高至99%，则从侧面说明资源动态配置对任务闭环能力的支撑开始增强。高峰时段内，弹性排班与工具周转配置把原先容易出现的人员短缺和

设备闲置状态进行了重新平衡,使座椅、空调以及门控相关任务能够在同一检修窗口内连续推进,减少了因等待支援而形成的未完工项。结合该案例的实施过程,完成率接近满额并不意味着任务复杂度下降,而是说明检修组织方式已更适宜高密度周转场景下的实际需求,能够把有限资源更多投向关键缺陷处置与复核签认环节。综合观察上述指标变化,优化方案对动车组客室设备常态化检修效率的改善具有较明确的指向性,单次时长缩短、及时率提升以及完成率提高之间形成了相互支撑的关系。尤其是在客室设备多专业并行、周转时间紧张的运行语境中,这类变化对于压缩检修占线时间、提升车组周转连贯性以及增强异常处置能力具有较强的现实意义。

4.2 成本效益评估

在动车组客室设备常态化检修的优化实施过程中,成本结构的变化较能反映流程精益化、数字化管理以及资源动态配置之间的协同效应。结合某动车段客室设备检修组织案例,优化后人工成本较优化前降低15%,主要缘由在于重复核验工序被压缩以后,检修人员在信息传递、状态复核以及结果回填环节上的无效停留明显减少,班组间的交接等待也随之收窄。与此同时,备件损耗减少10%,这一变化并非来自备件使用强度的简单下降,而是源于状态前移识别机制把部分潜在缺陷提前纳入处置范围,避免了故障扩展后带来的整件更换和附属部件连带拆装。对客室设备这类多专业耦合对象而言,座椅锁止件、门控执行机构以及照明接插件的损耗控制,往往与检修节拍是否贴合设备真实状态直接相关,优化后的组织方式使部件拆装次数得到抑制,材料消耗因而呈现出更平稳的下降趋势。

从总体支出角度来看,优化方案落地后,单次常态化检修的综合成本下降12%,其构成并不局限于人工和备件两项,而是同时涵盖工时占用、工具周转、异常追踪以及重复进场所形成的隐性支出。鉴于动车组客室设备检修具有到段时间集中、任务类型分散以及工位衔接紧密的特性,若仍维持传统静态配置方式,成本往往会在等待协调和返工确认中被动放大。优化后,工单流转路径更为紧凑,数字化监测又把异常定位前移到设备状态变化阶段,使检修人员能够把资源集中投向关键缺陷处置,进而减少了不必要的开盖、复测和跨工位返工。结合该案例的投入产出测算,方案实施后每投入1元可节省2.5元,说明前期在监测终端、数据接口以及管理流程重构方面形成的投入,能够在后续持续运维中转化为更高比例的成本回收^[1]。

4.3 可持续性与推广价值分析

从常态化检修体系的演进路径来看,该优化方案的复制性主要体现在流程组织逻辑、状态监测口径以及资源调

度方式三方面具有较强的通用特征。动车组不同车型在客室设备布置、接口形式以及检修节拍上存在差异,但座椅、空调、照明、门控以及旅客信息显示装置所对应的基础检修逻辑并未发生根本变化,因此,前述以价值流梳理为基础的流程精益化重构,可以在同类车型的客室设备检修场景中平移应用。结合CRH系列、复兴号不同编组的维护现实,只需围绕设备编码规则、监测点位密度以及工位衔接顺序作适配调整,便可把原有分散式核验转化为区域化并行处置,从而减少重复记录以及跨工位返工对节拍造成的干扰。

从长期运行效果来看,常态化检修体系一旦与数字化监测、动态调度机制形成稳定耦合,设备故障率的下降便不再体现为短周期波动,而会逐步沉淀为持续性的风险收敛过程^[4]。基于检修数据台账不断积累的背景,滤网堵塞、门控迟滞、照明回路接触不良以及座椅锁止件磨损等问题能够更早进入维护窗口,潜伏性缺陷被提前处置后,故障链条扩展的概率随之减弱。按照该类设备磨损规律的演化趋势,后续年度故障率有望维持约5%/年的下降幅度,这种下降并不依赖额外增加检修强度,而是来自状态识别更前置、维修决策更贴近真实劣化过程以及资源投放更契合检修负荷的共同作用。

5 结语

本文围绕动车组客室设备常态化检修效率提升问题,提出了以流程精益化重构、数字化检修管理和资源动态配置为核心的优化路径。实践结果表明,该方案在缩短检修时长、提高故障处置及时性、增强任务闭环能力以及降低综合成本方面均具有较明显成效。从应用前景看,该模式具备较强的通用性和推广价值,可为同类动车组客室设备检修组织优化提供参考。后续可进一步结合AI故障预测技术,完善多源数据融合分析与趋势预警机制,推动常态化检修由状态响应向智能预测持续演进。

参考文献

- [1] 户佐安,张文豪,周甲明,黄鑫磊,张玉召.考虑可变编组和均衡检修的动车组运用计划编制优化研究[J].北京交通大学学报,2025,49(02):14-24.
- [2] 华晶,王鹏,于伟,肖会超,蔡田,章阳.动车组制动系统软件自动化测试方法研究与实现[J].铁道机车车辆,2025,45(03):81-87.
- [3] 范立,李丹勇,刘冰,尤嘉,贾潞.基于改进SOLOv2网络的动车组TEDS图像辅助识别关键技术研究[J].铁道机车车辆,2025,45(02):1-11.
- [4] 赵日鑫,何世伟,张杰,刘杰,丛铭,吴艺迪.高铁枢纽环线公交化列车新增运行线优化方法[J].北京交通大学学报,2025,49(01):28-37.