

“四创新”项目最佳实践案例



发布单位：温州市铁路与轨道交通投资集团有限公司、中车青岛四方机车车辆股份有限公司

申报案例课题：基于 AI+数字赋能的多机协同车辆智能运维模式

目 录

一 项目背景与挑战	1
二 解决方案和创新点	1
三 成果和效益	2
四 可复制性和展望	4

基于 AI+数字赋能的多机协同车辆智能运维模式

一、案例背景与挑战

列车运维是列车全生命周期关键环节，能够识别并处置车辆服役过程中产生的部件疲劳缺陷、变形、缺失及异物等异常状态。传统检修作业以人工目视巡检为主，该作业模式具有劳动强度大、效率低、故障回溯难等弊端。为积极响应国家“智慧城轨”发展战略需求，以提升列车运维智能化水平为目标，开展了车辆外观状态智能检测关键技术与装备研发，推动了车辆外观检测作业由“人检”到“机检”的方式转变，实现了列车外观故障项点的智能、精准、快速识别，形成了基于 AI+数字赋能的多机协同车辆智能运维新模式。

二、解决方案与创新点

（1）多机协同的智能检测设备群构建

在车辆段“咽喉处”部署 360 检测设备，检修库内部署巡检机器人、无人机、四足机器人，共同组成智能检测设备群，各设备能够实现数据互通与协同作业。

（2）基于检修规程的检测任务执行

列车运营回段，由 360 检测设备进行车辆全向外观图像采集，对转向架、车下电气设备、车顶受电弓等关重件及车体外观进行异常识别；车辆入检修库后由巡检机器人、无人机、四足机器人进行精细化检测，检修任务包含 360 检出异常项点复核检与 360 不可检项点的补充检。

（3）轨旁一体化控制平台数据贯通

部署轨旁一体化管控平台，功能涵盖设备管理、模型管理、检修工艺设计、任务下发、检测结果展示与处置等，检测设备群由平台进行集成管控，满足各设备作业数据贯通与共享需求。

（4）数据综合利用

车辆维保数据能够与 MRO、PHM 等业务系统互通，为车辆健康诊断、故障识别与回溯、修程修制优化提供支撑。

如图 1 所示，通过模式落地，实现了车辆一级修项点覆盖率 $\geq 80\%$ ，检测准确率 $\geq 98\%$ ，漏报率为 0，车辆维保单列车作业减员 50%，作业效率提升 60%，数

据信息化采集存储提升 100%，提升了车辆运维智能化水平。



图 1 基于 AI+数字赋能的多机协同车辆智能运维模式

三、 成果与效益

2025 年 3 月 28 日，中国交通运输协会在北京主持召开了“温州 S2 绿色智慧车辆段建设研究与应用”项目成果评价会，案例相关研究成果评价为国际先进。

（1）智能运维多设备复合作业模式创建

结合车辆段 360 检测设备、巡检机器人、无人机、四足机器人作业现状，创建了“360 过车全检+机器人/无人机异常定检+人工复核确认”三级作业模式，基于车辆构型统一了维保数据规范，实现了多设备联动作业，提升了车辆段智慧运维能力。

（2）巡检机器人地形自适应及多传感器融合导航技术

针对检修库内沟道不平、空间狭窄等场景通过性差等问题，巡检机器人采用四驱四转轮式底盘与小型化结构设计，最小可进入 650mm 宽度地沟进行车底巡检。同时结合激光雷达与 3D 视觉导航技术（如图 2），实现复杂环境下±5mm 定位精度，具备高鲁棒性避障功能。

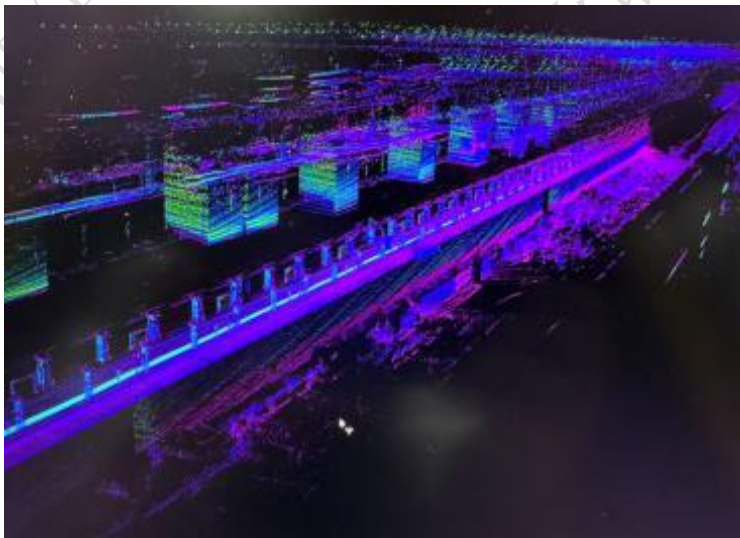


图 2 基于 3D 激光雷达的检修库内扫描图

(3) 无人机与四足机器人多源数据采集与智能检测技术

无人机、四足机器人通过搭载 4K 高清相机、高精度激光雷达等设备（如图 3、4），进行车顶、车厢内部件高清图像、库内 3D 点云环境地图等数据高精度采集，通过车间高速网络将检测视频流实时传输至检测服务器平台，基于人工智能算法实现异物、外观破损、部件缺失等故障模式自动化检测与分析。



图 3 无人机车顶巡检



图 4 四足机器人库内巡检

(5) 社会效益

案例所包含的技术成果在保障车辆安全运营可靠性、优员增效提质等方面产生良好影响，提升社会认可度。通过模式落地，以车辆全生命周期管理为主线，贯通 S-PHM、S-MRO 等业务系统，实现数据的互联互通，有效推进了场段数字化转型升级。此外，基于车辆智能运维模式能够提升线路运行准点率与乘客出行可靠性，为公众提供更连续、高效的出行服务，增强城市公共交通系统的社会信任度与吸引力。检修作业自动化检率提高、现场作业人员减少，提高了作业人员的安全性。

(6) 经济效益

车辆智能化检修装备运用后，将支撑车辆一级修由 4 日检至 8 日检，后续实现 15 日检后，预计检修人员优化率 25%。

四、可复制性与展望

(1) 设备应用推广

无人机具备高效、灵活等自主巡检特点，在可推广至电力设施巡检、桥隧巡检、火力发电锅炉巡检等场景应用。四足机器人具有卓越的地形通过能力，可推广至设备间机房巡检、铁路道岔巡检等场景应用。

(2) 运维模式推广

在温州 S2 实现稳定全流程应用，验证计划修向状态修转型路径，为行业提供可复制样板，推动产学研用深度融合与智能化升级。

五、项目团队

温州市铁路与轨道交通投资集团有限公司：吴越、张冠男、陈雁鸣、赵清、谷斌斌，叶胜聪

中车青岛四方机车车辆股份有限公司：孙晓东、张一然、刘汉、李宾、

联系人：周扬 18815199868