

# Research on intelligent analysis system for EMU train mechanics

Zhaolong Dou<sup>1</sup> Guixing Li<sup>1</sup> Zhenzhen Zhu<sup>1</sup> Hongbin Li<sup>2</sup> Zhengzhe Xie<sup>2</sup>

1. China Railway Zhengzhou Group Co., Ltd. Zhengzhou EMU Depot, Zhengzhou, Henan, 450000, China  
2. Zhong'an (Zhengzhou) Safety Technology Co., Ltd., Zhengzhou, Henan, 450007, China

## Abstract

To address operational challenges in high-speed rail systems characterized by “high-speed and high-density” operations, this study investigates an intelligent analysis system for on-board train mechanics. The research tackles pain points in traditional management practices—such as excessive post-operation review workload and low efficiency—by first identifying operational needs through field research and proposing a “end-edge-cloud” collaborative architecture. Subsequently, deep learning algorithms are optimized to enhance operational recognition accuracy through multi-scenario data integration. The system features functional modules covering data collection, intelligent analysis, rule management, and closed-loop issue resolution, ultimately establishing a comprehensive management framework encompassing planning formulation, execution, analysis, and verification processes.

## Keywords

vehicle mechanic; work management; intelligent analysis; full-process management system

# 动车组随车机械师作业智能分析系统研究

窦照龙<sup>1</sup> 李贵兴<sup>1</sup> 朱真真<sup>1</sup> 李红彬<sup>2</sup> 谢正哲<sup>2</sup>

1. 中国铁路郑州局集团有限公司郑州动车段, 中国·河南 郑州 450000  
2. 中安(郑州)安全科技有限公司, 中国·河南 郑州 450007

## 摘要

为解决高速铁路“高速度、高密度”运行背景下, 动车组随车机械师传统“定时拍照+录像+事后复盘”作业管理模式存在的复盘工作量大、工作效率低下等痛点, 本文开展动车组随车机械师作业智能分析系统研究。首先通过实地调研明确作业管理需求, 提出“端—边—云”协同系统架构; 其次优化基于深度学习算法, 结合多场景数据增强提升作业识别精度; 进而设计涵盖作业数据采集、智能分析、规则管理、问题闭环的系统功能模块, 构建“计划制定—执行—分析—复核”全流程管理体系。

## 关键词

随车机械师; 作业管理; 智能分析; 全流程管理体系

## 1 引言

伴随我国高速铁路网络的持续扩建与多轮提速工程推进, 铁路运输已深度构建起形成“高速度、高密度”的运行体系。与之相适配的铁路现场作业模式发生显著转变, 同步呈现出“作业点位分散、线路跨度广、作业场景复杂多变、一线人员作业类型繁多多样、全过程监控难度攀升”等显著特点, 对现场作业管理的精细化水平和响应效率提出了更高标准。

## 2 现状及需求分析

当前, 动车组随车机械师的作业行为记录采用传统的

“定时拍照+录像”模式: 随车机械师在出乘期间, 使用记录仪或摄像手电记录作业过程; 待退乘后, 将拍摄的照片、视频等资料统一回传至网盘, 综合分析室由专人开展事后分析。该模式下无法实时对随车机械师的工作质量及作业行为进行管理, 且综合分析室需核查大量的照片、视频, 存在管理滞后、工作量大, 耗费大量人力资源、时间资源等问题。

针对上述作业管理痛点, 研究并构建动车组随车机械师作业智能分析系统, 已成为突破传统管理瓶颈、提升铁路现场作业管理精细化水平、规范一线作业行为的关键路径, 对保障铁路运输安全、优化现场管理效能具有重要的现实意义。

【作者简介】窦照龙(1985-), 男, 中国河南永城人, 本科, 工程师, 从事动车组检修运用研究。

## 3 解决方案

### 3.1 研究方法

本研究主要使用实地调研与需求分析、技术融合与创新、算法研发与验证、系统设计与开发以及实证研究与推广相结合的研究方法。

**实地调研与需求分析：**通过实地走访动车段，深入调研随车机械师和综合分析室分析员的作业现状，收集一线作业数据，分析作业流程中存在的问题和改进需求，为后续的系统设计和算法研发提供基础。

**技术融合与创新：**结合 AI 深度学习技术、视频图像识别技术等前沿技术，将这些技术与铁路作业管理的实际需求相结合，创新性地提出数字化、标准化的作业流程和监管流程，为系统的智能化管理提供技术支持。

**算法研发与验证：**针对随车机械师作业场景，研发智能分析算法，解决现场作业漏拍、拍摄质量低、未按规范执行等问题。通过大量数据训练和验证，确保算法的准确性和可靠性。

**系统设计与开发：**基于算法研发成果和技术融合创新，设计并开发动车组随车机械师作业智能分析系统。系统具备视频/图片拍摄、数据上报、数据分析、数据统计等功能，实现作业情况的实时监控和智能化管理。

**实证研究与优化：**在动车段进行实证研究，验证系统的实际应用效果。通过收集和分析系统运行数据，发现问题并进行优化改进，提高系统的稳定性和实用性。

### 3.2 解决思路

基于调研分析，提出构建“端—边—云”协同架构的解决思路，实现作业管理的全流程闭环。

**端侧：**作业人员通过移动作业终端规范操作，实时采集作业数据；**边侧：**算法服务器对多模态作业素材（视频、图像等）进行边缘智能处理，完成作业行为模型化识别；**云侧：**依托云服务开展深度智能分析，支持作业场景规则可视化建模（转化为 AI 算法，通过机器学习持续训练优化），同时通过多端适配（铁路作业分析系统 PC 端、移动 APP），满足分析人员核查、监督人员管控的差异化需求。

**技术突破：**基于 AI 视觉分析技术，融合视频分析、图像识别、自然语言处理等技术，实现作业过程中视频、图片、文字等关键信息的智能提取与核验，推动管理模式从“事后滞后复盘”向“动态管控”升级，高效破解铁路现场作业“点多、线长、监控难”的痛点。

## 4 基于深度学习的作业分析算法应用

### 4.1 技术原理

动车组随车机械师作业智能分析系统构建于前沿深度神经网络架构之上，融合 Vision Transformer 与 YOLO11 分割网络的混合注意力机制，实现亚像素级精度的实时视觉理解。采用多模态特征金字塔与自适应感受野技术，通过时空

卷积神经网络捕获动车作业的细粒度行为语义，集成端到端可微分光学字符识别引擎，构建认知级视觉推理系统。核心算法基于神经架构搜索优化的轻量化 Transformer，实现零延迟推理与语义级场景理解的统一。

### 4.2 模型优化策略

为满足动车组随车机械师作业场景的准确性需求，算法采用了两项优化。一是数据增强：针对不同光线（白天/夜间）、车型（和谐号/复兴号）、作业时段（早高峰/检修期），通过图像翻转、亮度调节、添加噪声等方式扩充标注数据集（含 10 万+设备状态样本、5 万+作业行为样本），提升模型泛化能力。二是模型轻量化：基于 MobileNetV3 骨干网络压缩 YOLOv11 模型，参数规模减少 60%，推理延迟控制在 150ms 以内，适配动车组随车机械师作业边缘计算设备。

采用元学习驱动的渐进式知识图谱构建策略，通过神经网络可塑性调控与突触权重重要性评估机制，实现灾难性遗忘免疫的持续学习范式。核心优化包括：弹性权重固化（EWC 正则化）、知识蒸馏驱动的特征传承、自适应神经元激活模式调节和动态网络拓扑重构。通过多任务学习与对抗性训练的协同优化，构建认知弹性与泛化鲁棒性并存的智能系统，支持少样本快速适应与零样本跨域迁移，实现人工智能在复杂工业场景下的认知突破。

### 4.3 关键应用场景

随车机械师作业采用全程视频录制、图片拍摄模式，实现从“静态捕捉”到“动态追踪”的跨越，通过连续画面的智能分析，提升识别的精准度与完整性。主要关键应用场景包括酒精测试、受电牵引、制动状态、受电弓监测、车门状态、主控端车头等作业的识别分析。

## 5 构建动车组随车机械师作业智能分析系统

### 5.1 业务流程

首先由乘务车间值班员录入作业图表信息与每日动车组运用计划，形成作业任务基线；值乘随车机械师接收并确认计划内容后，开展现场作业执行；作业数据同步进入系统完成自动分析，再由综合分析室专人对分析结果进行人工复核。

复核环节中，若判定存在疑似问题，则反馈至乘务车间进行问题确认；若无疑似问题，则记录流程信息并查看作业分析统计结果，通过“计划制定→作业执行→智能分析→问题闭环”的连贯逻辑，实现铁路作业从任务下发到结果管控的全链条数字化管理。

### 5.2 系统架构

系统采用“基础设施-平台-应用-展示-用户”五层协同架构，支撑铁路作业智能管理，如图所示。

### 5.3 系统功能

**数据采集：**作业数据采集功能通过移动应用终端拍摄照片、录制视频，采用 4G/5G 移动通信技术实时将作业数

据回传至作业行为分析系统确保时效性。

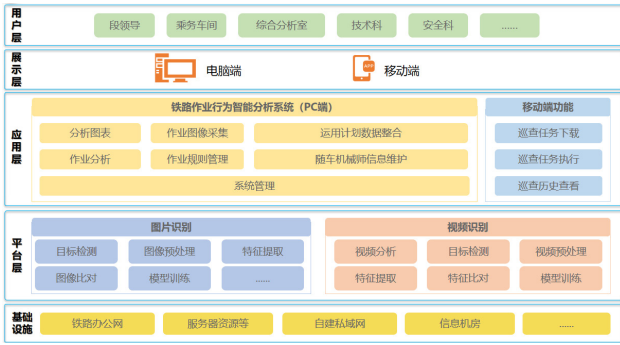


图 1 动车组随车机械师作业智能分析系统架构图

**数据整合：**数据整合功能通过模块化设计实现作业全流程管理；作业图表支持车次时间配置与作业顶点设定，提供可视化编辑界面；每日运用计划动态关联作业图标数据，自动生成结构化运行记录；作业图像关联运用计划、作业顶点完成状态智能匹配，便于进度跟踪与质量核查。系统通过多维度数据联动，实现从计划制定到执行监控的一体化整合。

**作业分析：**作业分析功能通过 AI 视频图像识别与机器学习算法，自动分析随车机械师上传的图片、视频，生成量化问题报告。系统支持人工复核机制，用户可修正 AI 误判结果，确保分析准确性。最终数据经确认后存入问题信息库，形成结构化历史记录，便于追溯与决策分析。该功能实现从智能识别到闭环管理的全流程自动化，兼顾效率与可靠性。

**作业规则：**作业规则管理功能通过精细化分类与动态配置实现标准化作业管控；作业项管理基于作业部位、车型及算法差异配置识别规则，实现作业质量、时效与合规性的量化评估。系统通过结构化数据管理（如分级权限与动态调整机制）确保规则可追溯、可迭代。

**移动应用：**移动应用通过云端协的中心管理系统下载作业任务至移动作业终端，确保任务信息实时更新与精准传达；任务执行依托高清音视频录制完整记录现场情况，结合 GPS 定位与时间戳强化证据链可信度。

## 6 应用效果对比分析

现阶段综合分析室分析岗采用日均项目覆盖（含异地过夜），月度人员覆盖的检查方式进行作业。

基于日均项目覆盖作业方式，人工检查方式与智能分析系统检查方式的效率对比见表 1。

基于月度人员覆盖的作业方式，人工检查方式与智能分析系统检查方式的效率对比见表 2。

表 1 日均项目覆盖分析效率对比

	人工检查	智能分析系统检查
分析交路(个数)	15	15
分析岗(人数)	3	1
工作效率提升	200%	
分析总时长	21.9 小时/日	7.5 小时/日
分析时长减少	65.75%	

表 2 月度人员覆盖分析效率对比

	人工检查	智能分析系统检查
随车机械师(人数)	480	480
分析岗(人数)	3	1
工作效率提升	200%	
分析总时长	700 小时/日	240 小时/日
分析时长减少	65.71%	

综上对比分析所述，智能分析系统与传统人工方式的作业效果在在提升岗位效率、减少分析时长、减少漏判等方面呈现显著差异，可有效的减少人工检查易因视觉疲劳、因经验差异导致识别漏判，准确率难以稳定保障。相较而言，智能分析系统大幅提升了作业分析的效率与精度，为铁路巡检的“实时管控”提供了核心支撑。

## 7 结语

本文围绕动车组随车机械师作业管理痛点，完成了从需求分析、技术方案设计到系统功能实现的全链条研究。通过构建“端-边-云”协同架构与轻量化深度学习算法，成功解决了传统作业管理中复盘工作量大、工作效率低下的核心问题，系统具备的作业自动分析、人机协同复核、问题清单输出等功能，已形成可落地的作业管理数字化方案，对保障铁路运输安全、降低管理成本具有重要现实意义。

未来将进一步优化算法的环境适应性，融合深度学习技术实现多动车段数据协同训练；同时扩展系统应用边界，将智能分析能力延伸至动车组司机、乘警等其他铁路作业岗位，构建全域化铁路现场作业智能管理体系，助力智慧铁路建设深度推进。

## 参考文献

- [1] 王燕波.动车组故障智能分析系统设计[J].科技创新与生产力,2018,(08):103-105.
- [2] 马文龙.动车组受电弓视频监控系统智能识别技术研究[J].科技创新导报,2019,16(18):43-44.3.
- [3] 莫志艺,楼捍卫,李继军.高铁智能安防监控体系信息上传动车组驾驶室技术与应用系统[J].中国铁路,2022,(12):129-134.