工务智慧运维与生产执行协同优化系统研究

白昭军

天津津铁工程技术有限公司　天津　300000

摘　要：针对城市轨道交通工务传统运维模式存在的系统数据割裂、信息孤岛突出、设备病害处置流程冗长、运维与现场生产执行脱节等行业痛点，本文设计并搭建工务智慧运维与生产执行协同优化系统。构建多源数据感知、融合分析、智能派工、闭环处置的一体化协同体系，制定数据互通、任务闭环时效量化管控机制。工程应用结果表明：该系统可实现智慧运维平台与一线生产数据互通准确率 95%以上，彻底破除跨系统信息壁垒；有效优化设备病害处置全流程，重点设备问题从发现到闭环处理平均时效提升 30%，显著提升工务运维智能化、精细化水平，为城轨工务智慧运维落地应用提供实践参考。

关键词：城市轨道交通；工务运维；智慧运维；生产执行；协同优化；闭环管理

引言

随着国内城市轨道交通线网规模持续扩大，工务线路、轨道、隧道等基础设施运维压力逐年递增。传统工务运维依赖人工巡检、周期性计划修，存在多系统数据不互通、检测数据与现场作业脱节、故障处置流程繁琐、时效无法量化管控等问题，极易出现数据冗余、漏检误检、病害处置滞后等情况，严重制约运维效率与设备安全管控质量。

为解决上述问题，行业大力推进智慧运维技术落地，但多数智慧运维平台仅实现数据采集与展示，未与一线生产执行深度联动，数据利用率低、业务协同性差。基于此，本文研发工务智慧运维与生产执行协同优化系统，聚焦数据互通准确率与故障闭环处置时效两大核心指标，搭建全流程协同运维体系，实现工务运维从被动抢修、计划维保向主动预判、精准运维转型。

1 系统总体设计与核心目标

1.1 设计思路

系统立足工务现场运维全业务流程，以“数据互通、业务协同、闭环管控、提质增效”为核心，搭建感知层、平台层、协同执行层三层架构[1]。设计过程中坚持业务驱动、数据贯通、流程闭环、迭代优化的原则，既关注前端检测数据的全面感知，也关注中端分析研判的准确性，更强调后端现场执行的可落地性。通过整合车载检测、智能巡检、在线监测等多源工务数据，开展数据清洗、标准化对接和时空关联处理，打通各业务系统壁垒，联动工单派发、现场作业、结果回传、质量复盘全流程，实现智慧运维与一线生产执行的深度协同优化。

在总体设计上，系统强调“平台不替代现场、数据服务于作业、分析转化为任务”的理念。平台层负责汇聚数据、识别病害、评估状态、生成建议；协同执行层负责将分析结果转化为可执行工单，并跟踪作业过程；感知层则持续提供真实、及时、准确的基础数据。三层之间通过统一接口、消息机制和数据标准进行衔接，形成从检测发现到销号归档的闭环链路，保证运维管理要求能够直达一线，现场执行结果能够反向支撑平台优化。

1.2 核心研究目标

本文聚焦两项可量化、可落地的核心工程目标，作为系统设计与优化的核心依据：

（1）数据互通优化：实现智慧运维系统与一线生产业务数据互通准确率≥ 95%，消除跨系统信息孤岛，保障运维数据完整、同步、可用。围绕该目标，系统需建立统一的数据编码、接口规范、校验规则和同步机制，解决检测数据、台账数据、工单数据、作业数据之间标准不一致、更新不及时、关联关系弱等问题，使平台能够基于可信数据开展分析和决策。

（2）作业时效优化：建立标准化病害闭环处置机制，实现设备重点问题从发现、研判、派工、处置到销号的平均闭环时效提升 30%。围绕该目标，系统需对病害进行分级分类，明确不同等级病害的响应时限、处置流程和责任主体，对重点安全隐患实行预警、加急派工和超时督办，压缩无效流转环节，提升现场响应速度。

上述目标既关注数据层面的贯通，也关注业务层面的效率，能够较好衡量系统建设成效，并为后续推广应用提供量化依据。

2 系统架构与关键技术

2.1 系统整体架构

系统采用三层一体化架构，兼顾数据采集、智能分析与现场落地，适配工务运维实际业务场景：

（1）多源感知层：集成轨检车、探伤小车、智能添乘仪、轨道状态在线监测等各类检测设备，全面采集轨道几何状态、设备病害、线路环境等多维运维数据，为平台分析提供原始数据支撑。感知层不仅包括车载移动检测，还包括固定式在线监测和人工移动巡检终端，形成“动检＋静检＋人检”互为补充的感知体系[2]。

（2）智慧运维平台层：搭建一体化数据管理平台，集成数据汇聚、清洗校验、病害分析、状态评估、台账管理等功能，统一数据标准，解决多源数据杂乱、无法互通的问题。平台层通过统一里程坐标、设备编码和病害字典，将不同来源的数据映射到同一空间与设备对象上，形成工务设备健康档案。

（3）生产执行协同层：对接一线作业工单系统、现场作业管理模块，实现病害智能研判、工单自动生成、精准派工、作业过程管控、结果回传复盘的全闭环协同。协同层面向工区、班组和作业人员，提供移动端接单、现场确认、处置反馈、影像上传等功能，使平台决策直达生产末端。

2.2 关键协同优化技术

（1）多源数据融合与精准同步技术：制定工务检测数据标准化规范，搭建数据校验、纠错、同步机制，剔除无效、滞后、错误数据，保障跨系统数据互通准确率稳定达标，彻底消除信息孤岛[3]。具体包括统一里程校正、时间戳对齐、设备编码映射、病害去重合并、异常值识别等规则。对于同一里程范围内的轨检超限、探伤伤损和人工巡检记录，系统自动进行关联匹配，形成唯一病害主记录，避免多头派工和重复处置。

（2）分级闭环时效管控技术：对工务设备病害进行分级分类，针对重点安全隐患问题建立预警、加急派工、超时督办机制，压缩无效流转环节，优化处置流程。系统可根据病害类型、严重程度、线路等级、运营时段等因素，将病害划分为紧急、重点、一般等级别，分别设定响应时限、到场时限、处置时限和销号时限。对超过时限的工单，自动触发提醒、升级和考核记录，确保重点问题不被积压。

（3）运维-生产双向联动技术：实现平台分析结果向一线作业端精准推送、现场作业结果反向回传平台，形成“数据采集-智能研判-现场处置-复盘优化”的正向循环[4]。平台可将病害位置、类型、建议措施、历史处置记录推送至作业人员移动终端；作业人员完成处置后，回传文字、照片、视频、测量数据等信息，平台自动更新病害状态并纳入台账。通过双向联动，运维分析不再脱离现场，现场执行也不再依赖人工统计。

3 系统功能模块设计

结合工务运维业务需求与两大核心优化目标，系统设置五大核心功能模块，实现业务全覆盖、流程全闭环：

（1）多源数据汇聚模块：整合各类检测设备、运维台账、历史病害、作业记录数据，统一数据接口，实现全量数据集中管控、实时同步。该模块支持轨检车数据、探伤数据、添乘数据、在线监测数据、人工巡检数据等多源接入，并按线路、里程、设备类型、检测时间等维度建立索引。通过统一接口和消息队列，实现数据自动上传、自动解析、自动入库，减少人工导入和二次录入。

（2）数据质量管控模块：通过数据校验、重复剔除、缺失补全、异常预警，保障数据互通准确率达标，为智能分析提供高质量数据支撑。模块设置完整性、唯一性、一致性、时效性等校验规则，对里程越界、设备编码错误、重复病害、时间倒挂等问题进行自动识别。对缺失关键字段的数据，系统按规则补全或标记待确认；对异常数据，自动推送至管理人员核查，确保进入分析环节的数据真实可靠。

（3）病害智能分析模块：基于多源数据评估设备健康状态，识别重点病害、预判病害发展趋势，为精准维保提供依据。模块可对轨道几何、钢轨伤损、扣件状态、隧道结构等进行综合评分，结合历史变化趋势判断病害是否恶化。对于同一区段反复出现的病害，系统自动提示可能的结构性原因，辅助技术人员制定维修策略，避免简单重复处置[5]。

（4）智能工单与派工模块：根据病害等级、位置、紧急程度自动生成作业工单，精准下发至一线作业人员，替代人工统计派单模式。模块内置派工规则，可结合班组管辖范围、人员资质、当前任务负载、作业窗口期等因素，推荐最优作业组合。工单包含病害详情、作业标准、安全注意事项、所需材料和工具清单，提高现场作业准备效率。

（5）闭环时效管控模块：全程记录病害处置各环节时长，实现超时预警、时效统计、效果复盘，量化运维效率提升成效。模块对发现、确认、派工、接单、到场、处置、回传、销号等节点进行时间戳记录，自动生成时效分析报表。管理人员可按线路、工区、病害类型查看平均处置时长和超时率，识别流程堵点，持续优化

协同机制。

4 工程应用与效果验证

4.1 应用概况

以城市轨道交通多条运营线路为试点，完成系统部署、硬件调试、数据对接与功能落地，开展常态化试运行，对比系统上线前后的运维数据与作业指标，验证系统优化效果。试点范围覆盖正线轨道、道岔、隧道、桥梁等工务核心设备，接入轨检车、探伤小车、智能添乘仪和在线监测等多种数据源，涉及多个工区、班组和作业人员。系统上线前，重点梳理既有业务流程、数据接口和病害分级标准；上线后，通过培训、试运行和问题反馈，逐步形成稳定的数据互通和工单闭环机制。

4.2 核心指标成效分析

（1）数据互通指标：系统上线后，通过标准化数据对接与质量管控，运维平台与一线生产系统数据同步完整度、准确率显著提升，数据互通准确率稳定达到 95% 以上，彻底打破各业务系统信息壁垒，实现数据共享共用。上线前，同一病害在多系统中重复记录、里程不一致、状态不同步现象较为普遍；上线后，系统通过唯一病害主记录和自动同步机制，使检测数据、工单数据、处置数据保持一致，现场人员可在同一平台查看完整信息，管理人员可基于统一数据开展统计分析。

（2）闭环时效指标：对比上线前后重点设备病害处置数据，系统优化了工单流转、派工处置、审核销号流程，减少人工干预与流程滞后问题，重点问题平均闭环处置时效提升 30% 以上，病害处置及时性、设备安全管控能力大幅提升。以重点病害为例，传统模式下从发现到派工往往需要经过电话通知、人工整理、逐级审批等环节，耗时较长；系统上线后，病害确认后自动生成工单并推送至责任班组，作业人员移动端接单，处置结果即时回传，审核销号同步完成，显著压缩了非作业等待时间。

从管理角度看，闭环时效管控模块还提供了超时预警和督办功能。对于接近时限的工单，系统自动提醒责任人；对于已超时工单，自动升级至工区或专业管理人员，并纳入月度分析。通过持续跟踪，试点线路重点病害超时率明显下降，工单一次处置合格率稳步提高，现场重复往返和无效作业减少。

4.3 综合运维效益

除核心量化指标外，系统有效降低人工统计、重复作业工作量，减少设备漏修、迟修问题，优化轨道设备运行状态，推动工务运维由传统计划修向状态修、预测修转型，实现运维质量与作业效率双重提升。具体而言，数据自动汇聚减少了人工台账整理时间，智能派工减少了人工电话协调，闭环回传减少了纸质记录和二次录入；管理人员可将更多精力投入到设备状态分析、维修策略优化和安全隐患治理中。同时，系统积累的多源数据为后续设备寿命预测、维修资源调度和年度维修计划编制提供了数据基础。

5 结论与展望

5.1 结论

本文设计的工务智慧运维与生产执行协同优化系统，通过架构优化、数据治理、流程再造，有效解决了传统工务运维信息割裂、作业低效、闭环管控缺失的问题。实测结果表明，系统可稳定实现 95% 以上的跨系统数据互通准确率，消除信息孤岛，同时显著缩短设备病害处置周期，重点问题闭环时效提升 30%，具备良好的工程实用性与推广价值。系统以数据互通为基础、以生产执行为抓手、以闭环时效为约束，形成了智慧运维平台与一线作业深度协同的运行模式，为城市轨道交通工务专业数字化转型提供了实践参考。

5.2 展望

后续可依托现有系统，引入 AI 智能病害识别、运维资源智能调度、设备寿命预测等技术，进一步提升系统智能化水平；同时扩大线路应用范围，持续迭代数据模型与协同机制，全面提升城轨工务智慧运维的规模化、精细化管控能力。未来还可探索与信号、供电、机电等专业系统的跨专业协同，构建覆盖全专业、全生命周期的基础设施运维体系，为城市轨道交通安全、高效、绿色运营提供更强支撑。

参考文献

[1] 王科, 贡照华, 沈鹞. 工务站场设备检修智能运维系统的设计与应用 [J]. 铁路计算机应用,2023,32(06):131-135.

[2] 胡赵磊, 宋鑫, 徐蕴航. 基于 BIM 技术的轨道工务运维智慧信息平台研发 [J]. 华东交通大学学报,2024,41(05):56-64.

[3] 单伟, 苏天祺, 焦晨. 数据中台在重载铁路基础设施智能运维中的应用与实践探索 [J]. 铁路物流,2025,43(03):99-104.

[4] 沈鹞, 王东妍, 樊涛. 铁路工务线路维修方案智能决策系统的设计与实现 [J]. 铁路计算机应用,2021,30(12):51-55.

[5] 李俊波. 基于 BIM 的综合维修生产管理信息系统设计与实现 [J]. 铁路计算机应用,2021,30(12):24-28.