

城市轨道交通通号专业的数字化维修体系

吴 敏

(上海地铁维护保障有限公司通号分公司, 200235, 上海)

摘 要 [目的]传统的通号专业维修工作以计划修和故障修为主要的维保模式,在集成化和智能化方面存在不足,缺乏科学合理的维修体系支撑,维修业务耗时多且效率低。对此,有必要探索城市轨道交通通信及信号专业的数字化维修体系。[方法]由传统维修模式现状提出,数字化维修体系架构由数字化维修系统平台和维修模式的适配共同组成。着重阐述了数字化维修系统平台的六层架构及功能模块。结合上海地铁维护保障有限公司通号分公司的实际案例,从维修组织机构适配优化、维修规程适配优化、数字化维修模式转型及不同维修场景的应用效果等方面,论述了数字化维修模式的适配调整。[结果及结论]数字化维修系统平台是数字化维修体系的技术支撑和基础,其智能化的功能模块能有效减少维修人员工作量。结合数字化维修模式的适配调整,可优化维修资源配置。实际应用效果表明,数字化维修能实现对维修信息的全面采集、高效处理与智能分析,能有效提高维修效率和维修质量。

关键词 城市轨道交通;通号专业维修;数字化维修

中图分类号 U284.92; U285.6

DOI:10.16037/j.1007-869x.2024.11.019

Digital Maintenance System for Urban Rail Transit Signaling Discipline

WU Min

(Telecom & Signal Branch, Shanghai Metro Maintenance Support Co., Ltd., 200235, Shanghai, China)

Abstract [Objective] Traditional maintenance work in signaling discipline mainly relies on planned and fault repair as the major maintenance mode, its shortcomings are manifested in the lack of integration, intelligence, and a scientifically grounded maintenance system, resulting in time-consuming and inefficient repair business. Thus, there is a need to explore a digital maintenance system for urban rail transit communication and signaling discipline. [Method] Based on the status of traditional maintenance mode, a digital maintenance system framework consisting of a digital maintenance platform and the adaptation of the maintenance mode is proposed. The six-layer architecture and functional modules of the digital maintenance platform are elaborated with emphasis. By referencing a practical case from the Telecom and Signal Branch of Shanghai Met-

ro Maintenance Support Co., Ltd., the adaptation and optimization of digital maintenance mode are discussed, from aspects such as the adaptation optimization of maintenance organization structure and procedures, the transition to digital maintenance mode, and the outcomes of application in various maintenance scenarios. [Result & Conclusion] The digital maintenance platform serves as the technical foundation and support for this system. Its intelligent functional modules could significantly reduce the workload for maintenance personnel. When combined with the adapted digital maintenance mode, it could optimize the allocation of maintenance resources. Practical application results demonstrate that the digital maintenance system enables comprehensive data collection, efficient processing, and intelligent analysis of maintenance information, thereby effectively improving both maintenance efficiency and quality.

Key words urban rail transit; communication and signaling discipline maintenance; digital maintenance

信号系统和通信系统是城市轨道交通的“大脑”和“神经”,其运行状态直接影响列车运行的安全和效率。传统通号维修工作大多以监测系统和网络管理类系统为基础,以计划修和故障修为主流的维保模式,在集成化和智能化方面存在不足,缺乏科学合理的维修体系支撑,不仅维修业务耗时多、效率低,而且难以向状态修及预防修模式转型。

当前数字化和智能化技术快速发展。为了保障通号设备可靠运行,有必要基于物联网、大数据及大模型等先进技术,结合通号设备维修维护规程及生产作业流程规范等,建立城市轨道交通通号专业的数字化维修体系(以下简称“通号数字化维修体系”),以实现维修工作高度智能化。

1 通号数字化维修体系的架构

通号数字化维修体系以现代信息技术为基础,以数据驱动及智能化决策为核心,强调对维修信息的全面采集、高效处理与智能分析,通过实时监控和预测性维护,精准掌握设备状态,进而优化维修

资源配置,提高维修效率和维修质量。

通号数字化维修体系架构如图 1 所示。该体系由数字化维修系统平台(以下简称“维修平台”)和维修模式的适配共同组成。通号数字化维修体系

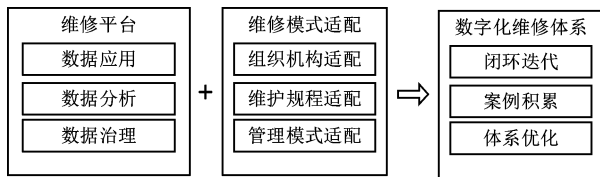


图 1 通号数字化维修体系架构

Fig. 1 Architecture of telecom & signal digital maintenance system

通过维修平台实现对通号多维度数据的标准治理、综合分析和运维应用,采用数字化、智能化的系统工具,参考相关智能运维系统,充分评估通号各子系统及设备的状态,同步重塑维修组织机构、维护规程和管理模式,完成维修模式适配,从而形成人机融合的应用环境。

2 维修平台

2.1 维修平台的分层架构

维修平台是数字化维修体系的技术支撑和基础。维修平台以数据驱动为基础,采用六层分层架构,如图 2 所示。

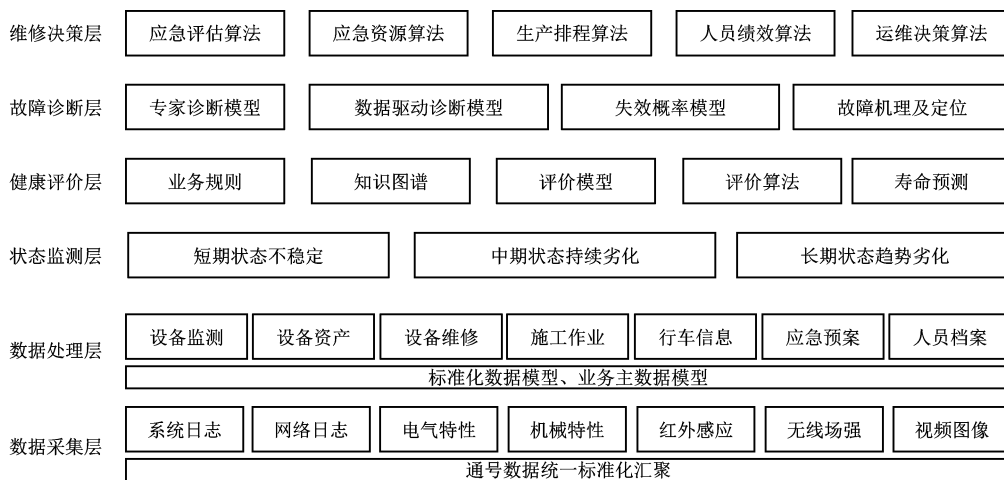


图 2 维修平台架构

Fig. 2 Architecture of digital maintenance system platform

1) 数据采集层。基于建立的数据接入标准规范,数据采集层通过维修平台同线路侧的信号维护系统及通信各网络管理系统接口,实现了通号专业底层各类感知采集数据的统一标准化汇聚,可为数据处理层提供原始数据。

2) 数据处理层。该层对数据采集层得到的原始数据进行处理,生成标准化的数据模型,并构建业务主数据模型,可为上层业务分析场景提供聚合的数据对象。

3) 状态监测层。该层以采集点为监测对象,通过建立突变、异常波动、趋势变化等状态异常模型,采用不同算法,能识别设备的短期、中期和长期状态不良,并发出预警。

4) 健康评价层。面向设备隐患风险预防,健康评价层采用基于业务规则和知识图谱构建的设备机理评价模型和算法,能实现设备健康评价指导,还能实现设备寿命预测。

5) 故障诊断层。故障诊断层面向设备故障诊断和定位,通过构建专家诊断模型、数据驱动诊断模型、失效概率模型等,分析故障机理,实现设备故障定位及指导。

6) 维修决策层。维修决策层结合业务生产需求,通过设计研制应急评估算法、应急资源算法、生产排程算法、人员绩效算法和运维决策算法,可实现维修决策和各类业务智能化提升。

2.2 维修平台的功能模块

维修平台功能模块构成如图 3 所示。维修平台分为五大模块,以设备健康中心模块为核心,在生产组织中心模块、应急指挥中心模块和决策分析中心模块开展生产业务应用,通过全景驾驶舱模块实现一图全局概览。

1) 设备健康中心模块。设备健康中心模块根据通号设备特点,选用短、中、长期健康模型和算法,结合层次分析法和综合模糊评价体系,实现设

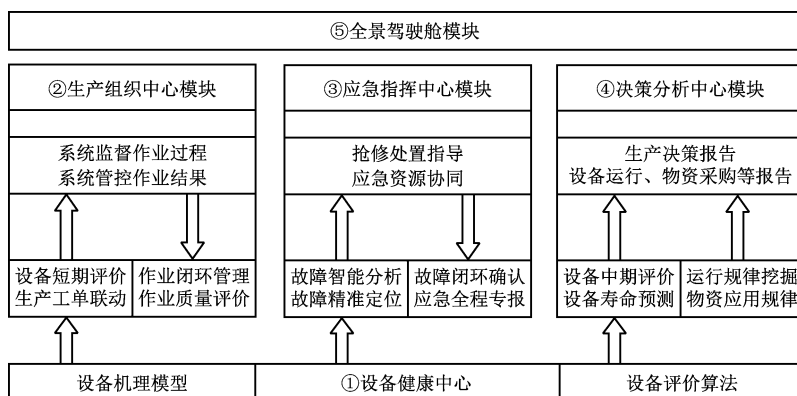


图 3 数字化维修系统功能模块构成

Fig. 3 Functional module composition of digital maintenance system

备健康统一管理。

2) 生产组织中心模块。该模块以设备短期健康评价作为生产作业依据,指导生成状态修生产工单;在生产作业过程中,通过维修平台实现作业过程监督和结果管控;作业完成后,完成设备确认和流程闭环,评价作业质量。

3) 应急指挥中心模块。当设备故障影响运营时,该模块提供故障智能分析和处所定位,为抢修人员提供动态处置指导,为指挥人员提供人员、物资、车辆等资源协同;当故障处置完成后,数字化维修系统确认闭环有效并自动生成应急专报。

4) 决策分析中心模块。该模块能完成设备中长期健康趋势评价和寿命预测,进而做出面向中大修的生产维修决策;能挖掘归纳设备运行规律及物资应用规律,进而做出设备运行、物资采购等运维决策。

5) 全景驾驶舱模块。该模块为运维人员提供全局化概览的统一视图,为生产组织、应急指挥和决策分析人员提供统一的维护主界面。

3 数字化维修模式适配

基于维修平台,上海地铁维护保障有限公司通号分公司(以下简称“上海通号分公司”)已初步建设了分层分级的三台式运维组织模式,数字化维修体系已初步建成。其中三台指面向一线工班的前台,面向区域化指挥和管控的中台,以及面向线网级综合决策的后台。

三台式运维组织模式,需要对既有组织机构和维护规程进行适配性优化,以更好地达到人机协同、降本增效的目的。

3.1 数字化维修的组织机构适配调整

传统的维修组织机构通常划分为工班级和管理级。其中管理级机构难以对生产过程实行实时管控,也难以保证运维决策的科学性。为有效提升运维成效,有必要基于数字化维修模式特点,适配调整组织机构,重新分配人员岗位职能,建设“强中台+智后台”的运维组织机构。

上海通号分公司根据既有自身组织机构特点,保留既有的线路工班机构作为前台机构,以既有的维护部(通常管辖2~3条线路)作为中台管理机构,以新建面向线网的运维支持部作为后台管理机构,通过中、后台管理机构的协同作业,共同为运维生产过程赋能。适配调整后上海通号分公司的数字化维修组织机构如图4所示。与既有维护组织机构相比,适配调整后的数字化维修组织机构能更科学合理地优化维修资源,可降低约20%的维修成本。

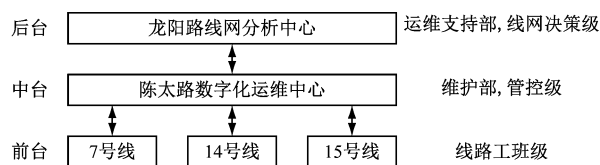


图 4 适配调整后上海通号分公司的数字化维修组织机构
Fig. 4 Organizational structure of digital maintenance in Shanghai Telecom and Signal Branch after adaptability adjustment

3.2 数字化维修的修程修制适配调整

数字化维修有必要调整既有的修程修制。上海通号分公司基于维修平台的强大功能,对既有维护规程进行适配性调整,形成数字化维修作业内容。在数字化维修中,维修平台基于设备监视功能

最多可完成传统日常巡检作业 93.33% 的工作,基于设备状态监视功能最多可完成传统日常养护作业 62.50% 的工作,还能将传统计划修逐步转为基于设备健康评价的动态状态修等,从而大幅降低维保人员的工作量,节约人力成本。

3.3 数字化维修模式转型

以维修平台为驱动,完成组织机构和维护规程的适配性优化后,传统的上海轨道交通通号维护模式也发生了积极的转型变化,主要体现在:

1) 维修工班复合化,实现更优的维护资源配置。既有单条线路各专业分设工班,包括信号专业维修工班(可细分为正线工班、控制中心工班、车载工班等)、通信专业维修工班(可细分为正线工班、中心工班等),不仅维护职责分散,而且效能较低。修程修制适配性调整后,维修人员工作量大幅减少。对每条线路合理划分区段,并在区段配备 2 个综合工班,复合化配置维护资源,从而覆盖信号专业和通信专业的综合维修养护工作。

2) 改进应急模式,优化应急资源配置。在既有应急模式下,为了确保应急响应的及时性,通常设置双人值守岗,以应对可能突发的运营故障。以道岔故障为例,为了缩短抢修时间,双人值守岗需要同时赶赴室内、室外,并行检查可能的故障原因。由于运营故障发生率低,应急资源配置存在一定的

浪费。维修平台的智能诊断功能可直接定位故障位置,此时由中台机构统一进行应急指挥,而前台机构(应急抢修工班)由于仅协同作业,可设置单岗值守。如此既能提高应急效率,也能优化应急资源配置。

3) 机器学习及数据库积累,可提供专家级的指导与分析。随着上海轨道交通线网规模的扩大,专家型维护人才不足。为了向全线网提供专家级的专业生产分析和指导,在维修平台建立相应案例知识模型,采用机器学习技术,将专家的经验知识及成功案例数字化,并积累到数据库。验证该模型的有效性及其可用性后,中台及前台机构可直接利用维修平台获取专家级的指导建议,从而有效提升维修水平。

4) 建立独立的数据分析机构,实现维修平台的不断完善。以运维支持部为维修平台的应用支点,建立独立的数据分析机构,在应用中不断拓展案例知识模型,积累数据库,调整修程修制,螺旋式完善维修平台。

3.4 数字化维修的应用效果

数字化维修采用数字化、智能化手段,适配性调整维修组织机构和修程修制后,能有效提高维修效率和维修质量。典型场景下数字化维修的应用效果如表 1 所示。

表 1 典型场景下数字化维修的应用效果

Tab. 1 Application results of digital maintenance in typical scenarios

典型场景	业务内容	维修平台对应的功能	数字化维修的应用效果
日常巡检	设备关键参数、运行状态检查	设备在线状态监测、设备参数性能评价	实时监测代替人工巡检过程,取消日常巡检过程
	设备外观检查	智能视频识别	远程识别代替人工巡检过程,减少维护工作量
日常养护	短期计划性的日常养护作业	设备短期健康评价、短期维修决策报告、动态维修计划规划、维修质量评价报告	通过设备状态修模式转型,大幅降低短期计划性维修人工成本
	中长期计划性的日常养护作业	设备中长期健康评价、中长期维修决策报告、动态维修计划规划、中长期规律性质量评价报告	设备状态修模式转型,及时发现共性和群体性的维修规律性问题,提升维修决策能力
设备中大修	中大修统一改造计划	设备寿命预测、中大修维修决策报告	建立个体化的设备中大修决策,规避按设备类型“一刀切”的更换模式,大幅节省中大修成本
故障应急抢修	故障应急实时指导	故障智能定位、动态流程处置指导	压缩故障处置延时,减少运营影响
	应急资源协同组织	应急资源自动推荐、应急资源扁平化协同	提升应急组织效率
维修作业过程管控	维修过程监督	检修任务机器监督、检修达标率统计	提升检修质量和规范性
	维修结果卡控	检修设备状态机器卡控、检修隐患自动告警	避免检修疏漏及隐患

(下转第 91 页)

广泛的适用性。

4 结语

本文对轨枕内锁道岔转换设备的工作原理、结构特点、试点应用情况做了详细描述和分析,为新建线路建设和既有线路改造的工程设计和设备选型提供了理论支持和实践指导:

1) 轨枕内锁道岔转换设备采用了密封型转辙机、分体式动作机构、自适应表示机构、惰性减振胶垫、整体绝缘、螺栓紧固件防松等技术,减少了土建工况对道岔转换设备性能的影响,能自动适应道岔环境变化,大幅减少了设备的日常维护工作量。

2) 轨枕内锁道岔转换设备作为一种适用、简易、稳定、可靠的道岔转换设备,能够最大限度降低施工难度和建设成本,具有十分广阔的应用前景。

参考文献

- [1] 石瑞军. ZYJ7 电液转换设备外锁闭和安装装置的优化[J]. 科技与创新, 2017(2): 104.
- SHI Ruijun. Optimization of external locking and installation device for ZYJ7 electro-hydraulic turnout switching equipment[J]. Science and Technology & Innovation, 2017(2): 104.

(上接第 86 页)

由表 1 可见:在日常巡检、日常养护、设备中大修、故障应急抢修和维修作业过程管控场景下,基于维修平台提供的功能,可实现更高质量、更高效的维护。

4 结语

通号数字化维修体系能实现对维修信息的全面采集、高效处理与智能分析,能优化维修资源配置,是提高维修效率和维修质量的有力保障。

随着大数据和人工智能技术的快速发展,通号数字化维修体系将更加完善,将为城市轨道交通通号维修提供更智能化的辅助工作,以适配更有效的生产模式。

参考文献

- [1] 张郁. 上海城市轨道交通超大规模网络化下通信及信号设备的管理与转型[J]. 城市轨道交通研究, 2021, 24(11): 1.
- ZHANG Yu. Management and transformation of signaling communication equipment under super-large-scale network of Shanghai

- [2] 周俊伟. 重载铁路道岔电液转换设备优化研究[J]. 铁道通信信号, 2016, 52(6): 16.
- ZHOU Junwei. Research of electro-hydraulic converter technology for heavy haul railway[J]. Railway Signalling & Communication, 2016, 52(6): 16.
- [3] 朱述川, 刘自富. 美国施必牢防松螺母在煤矿井筒装备上的应用[J]. 煤矿机械, 2006, 27(1): 161.
- ZHU Shuchuan, LIU Zifu. Application of spirallock nuts to well equipment in coal mine[J]. Coal Mine Machinery, 2006, 27(1): 161.
- [4] WAKABAYASHI K. Special double hard-lock nuts: JP20150001489A[P]. 2016-07-11.
- [5] 国家铁路局. 铁路道岔转换设备安装技术条件: TB/T 3508—2018[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2018: 1.
- National Railway Administration. Railway turnout switching equipment installing technical specification: TB/T 3508—2018[S]. Beijing: China Railway Publishing House, 2018: 1.

· 收稿日期: 2024-03-18 修回日期: 2024-04-24 出版日期: 2024-11-10
Received: 2024-03-18 Revised: 2024-04-24 Published: 2024-11-10
· 通信作者: 戴洋竞, 工程师, 280752686@qq.com
· ©《城市轨道交通研究》杂志社, 开放获取 CC BY-NC-ND 协议
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license

- urban rail transit[J]. Urban Mass Transit, 2021, 24(11): 1.
- [2] 温彤. 上海城市轨道交通智慧维保解决方案[J]. 城市轨道交通, 2022(2): 38.
- WEN Tong. Shanghai urban rail transit smart maintenance and support resolutions[J]. China Metros, 2022(2): 38.
- [3] 祖萌蒙. 城市轨道交通信号智能运维系统设计与研究[J]. 信息与电脑, 2023, 35(9): 146.
- ZU Mengmeng. Design and research of intelligent operation and maintenance system of urban rail transit signal[J]. Information and Computer, 2023, 35(9): 146.
- [4] 宁鑫. 轨道交通信号智能运维系统研究[J]. 铁道通信信号, 2023, 59(10): 8.
- NING Xin. Research on signal intelligent operation and maintenance system for rail transit[J]. Railway Signalling & Communication, 2023, 59(10): 8.

· 收稿日期: 2024-05-20 修回日期: 2024-07-12 出版日期: 2024-11-10
Received: 2024-05-20 Revised: 2024-07-12 Published: 2024-11-10
· 通信作者: 吴敏, 高级工程师, 1426174226@qq.com
· ©《城市轨道交通研究》杂志社, 开放获取 CC BY-NC-ND 协议
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license