

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^{*}

张 郁

(上海地铁维护保障有限公司通号分公司, 200235, 上海//正高级工程师)

摘 要 上海城市轨道交通已经进入了超大规模网络化时代,运营设备运维体系亟需转型。根据国家在“十四五”期间对运营设备数字化、智能化转型的要求,利用上海城市轨道交通既有线路信号系统大修改造的契机,提出了未来上海城市轨道交通线网信号系统、通信系统的总体规划思路。通过运用智能运维技术建设平台化管理体系,并建立与之相匹配的“三台型”生产组织结构,以达到超大规模网络化设备全寿命周期维护管理的目标。

关键词 城市轨道交通;超大规模网络;智能运维;设备管理;总体规划

中图分类号 U231.7

DOI:10.16037/j.1007-869x.2021.11.001

Management and Transformation of Signaling Communication Equipment under Super- large-scale Network of Shanghai Urban Rail Transit

ZHANG Yu

Abstract Shanghai urban rail transit has entered the era of super-large-scale network, and the operation and maintenance system of operation equipment urgently needs transformation. According to the national requirements for digital and intelligent transformation during the 14th Five-Year Plan period, taking advantage of the opportunity of overhaul and transformation of existing line signaling system of Shanghai urban rail transit, the overall planning idea of signaling system and communication system of Shanghai urban rail transit line network in the future is put forward. By using intelligent operation and maintenance technology to build a platform management system and to establish a matching "three sets" production organization structure, the goal of life-cycle maintenance and management of super-large-scale networked equipment is achieved.

Key words urban rail transit; super-large-scale network; intelligent operation and maintenance; equipment management;

overall planning

Author's address Telecom & Signaling Branch, Shanghai Metro Maintenance Support Co., Ltd., 200235, Shanghai, China

2021年初,上海轨道交通15号线、18号线投入运营,上海城市轨道交通的运营线网总长度达到762 km,位居全球第一。这标志着上海城市轨道交通已经迈进了超大规模网络化运营时代,与此同时,其也面临着比以往更多的管理压力和更为复杂的运营环境。

按照国务院对运营设备数字化、智能化转型的要求形成的各专业“十四五”总体规划和新的运维行动指南,是当下上海城市轨道交通运营管理工作的重心。目前,上海城市轨道交通超大规模下网络化运营管理所面临的主要问题为:

1) 超大规模网络化运营管理的特点及延时运营等措施,在为市民带来便利的同时也导致全网设备维修的时间资源极度紧张。每日有7 000节列车行驶在762 km的线路上,但部分车辆在夜间的停运检修时间不足2 h。

2) 各系统服役都逼近设计的性能极限,列车最短间隔时间已缩短至110 s,严重突破各系统在设计时所规定的标准负载能力。

3) 经过20多年的运营,大部分线路老龄化问题严重,已经到达大修年限,导致设备的维护难度进一步增加。如何进行设备大修和系统延寿是运营管理中不可避免的问题。

4) 线网早晚高峰的客流量非常大,现有的应急体系和一线员工的工作能力已很难应对某些突发故障。将10年前几乎不影响运营的小故障放到现在规模如此巨大的线网中,其对运营的影响将成倍放大,个别设备故障产生的社会影响甚至到了难以

^{*} 上海市科学技术委员会科研计划项目(18DZ1205802)

承受的程度。

因此,为顺应数字化智能化转型的要求,应建设以智能运维为核心的平台化体系,全方位调整管理组织架构,将维修模式从既有的故障修向状态修和预测修演变,逐步建立低成本的维护模式,最终建立全网设备全生命周期内设备状态可控的高效率、低成本的可持续发展模式。

1 运营设备运维体系转型的机遇和方向

1.1 转型机遇

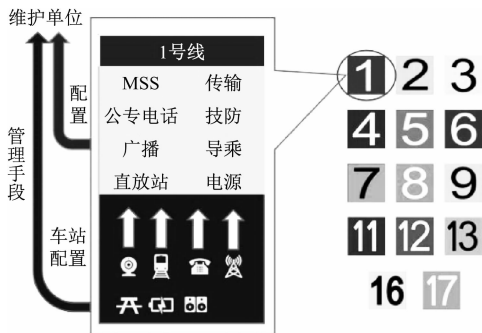
经过 20 多年的发展,上海城市轨道交通已逐步形成了以专业为基础的维护体系。随着运营线网总长度的增加,所需维护的设备种类激增,而通过提高员工的技术能力、加大维护频次等传统的维护管理手段,已无法提高设备的维护水平。但是,通过 20 多年城市轨道交通设备维护经验的积累,设备维护单位对设备的功能要求有了深刻的理解。目前,上海城市轨道交通的设备管理需要转型,需要利用上海城市轨道交通老旧线路大改造的机遇,通过设备数字化、智能化的转型方式,以大数据和信息化技术作为设备管理的基础,打造全新的上海城市轨道交通超大规模网络运营设备平台化体系管理模式^[1]。

1.2 转型方向

在上海城市轨道交通线路的建设和改造阶段,设计都相对独立,没有固定的设计要求和功能需求,这导致了设备型号和其他相关系统间的接口存在很大差异。如图 1 a) 所示,原有的设备运维模式聚焦单线管理,以各线的独立运行为主,因此,设备控制点多,核心维护资源较为分散;如图 1 b) 所示,未来以平台化管理为基础的线网设备运维模式可实现智能化、集约化、扁平化管理,根据技术人员在日常运维中的表现对其工种进行分类。此外,新模式还支持端对端运维服务。平台化体系建设是机电系统超大规模网络化运维的转型方向。基于平台化管理,对未来新建线路建设需求进行总体规划,梳理并统一线路各系统间的接口和设备型号,掌握设备的全时段数据,可做到浸入式管理,最终达到从设备的计划修、故障修向状态修、预测修转型的目标^[2]。

2 形成平台化管理的智能运维体系

为了适应上海城市轨道交通超大规模网络化运营的要求,应建立平台化的管理体系,以智能运



a) 原有的各线独立运行的设备运维模式



b) 以平台化管理为基础的线网设备运维模式

注:MSS——维护支持系统;公专电话——公务专用电话。

图 1 城市轨道交通运营设备运维的转型方向

Fig. 1 Transformation direction of urban rail transit operation and maintenance equipment

维平台为核心,各专业网络与子平台为架构,实施端到端的浸入式管理。基于集中建设、逻辑收敛、全状态监控、统一管理配置、统一对接智能运维平台等原则,各设备专业应建设与超大规模网络化运维相匹配的专业基础平台集群,并覆盖全网,以形成智能化、浸入式、扁平化的设备管理方式。在平台化管理模式下,各设备专业的运维工作应围绕基础平台进行,使维护工作逐步从分散型管理向网格化管理过渡。

应通过智能运维平台的大数据分析,为优化设备的维护策略提供指导。为满足平台化体系管理的海量数据需求,各专业将进一步对设备相关数据的采集、传输进行升级。同时还将开展各子专业路网级平台的建设,使之与智能运维平台对接,使各专业平台在智能运维平台体系中统筹建设与管理的关系,并对各专业设备的运维状态进行深度评估^[3]。

3 信号、通信系统智能运维的总体规划思路

3.1 信号系统的总体规划思路

随着设备状态监测技术的发展,信号系统所采

用的技术和设备也在更新替代。目前,上海城市轨道交通所辖线路共有 10 种信号制式,这些制式反映了上海城市轨道交通信号系统 20 多年的演进过程。在超大规模网络化运营的时代下,上海城市轨道交通将在 CBTC(基于通信的列车控制)系统互联互通的基础上与智能运维相结合,在总结 20 多年的维护经验后进行增强型演进,信号系统未来的运维目标是形成基于标准化和长期演进的零故障、多模块的列车控制系统。

3.1.1 信号系统的标准化

标准化是各线路信号系统互联互通的基础,线间的互联互通可为上海超大规模的城市轨道交通网络提供更为灵活、高效的运营组织模式。结合上海城市轨道交通的现状,确定将车载设备标准化(即统一定义车载的相关接口,统一车载外挂设备的型号)作为互联互通技术壁垒的突破口。“十四五”期间,上海城市轨道交通将结合部分线路信号系统的大修更新改造,通过车载标准化来实现上海城市轨道交通互联互通的 V1.0(即列车在线网间互通)。

在行业协会互联互通标准、上海 CBTC 系统互联互通规范体系和车载标准化互联互通 V1.0 具体要求的基础上,结合全自动运行等新技术的发展及应用,上海城市轨道交通将以实现线网互联互通 V2.0(即列车跨线运营)为下一阶段的工作目标,持续推进研究。具体包括以下方面:

1)顶层设计。从新线初期阶段规划设计、顶层设计、机电总体设计入手,以信号互联为设计核心,综合考虑车辆、供电、线路、站台门等专业的互通条件,消除专业间的壁垒。

2)技术攻关。统一互联互通信号系统的需求和系统架构;采用车地通信方式与接口通信协议兼

容技术;实现满足互联互通需求信息传输的安全编码与解码技术;实现满足互联互通需求的列车安全防护和精确控制技术;实现互联互通下不同地面设备控制的列车平稳切换技术;采用统一的电子地图与变更维护管理技术。

3)管理模式。信号系统由原来的线路级管理转变为网络级管理,实现线网系统间无缝隙兼容。为实现该目标,需解决如不同安全授权单位间交叉许可的安全管理、软件管理等问题,急需通过技术研究与攻关进一步提升互联互通的可用性。

3.1.2 信号系统的多模块化

在保证标准化的前提下,预留 FAO(全自动运行)的系统接口,对无线、定位、测速等多模块冗余子系统进行持续演进。多模块化有助于各关键子系统性能提高,使技术迭代更平滑,兼容性更强。

以通信系统的无线专业为例进行说明。无论是 CBTC 系统还是车车通信系统,均需在良好的通信网络下运行。利用通信系统发展迅速的特点,可建立双套、双制式的通信网络,如将现有的 LTE-M(城市轨道交通用长期演进)和 Wi-Fi(无线保真)相互冗余,以确保信号系统的正常通信。未来应用 5G(第 5 代移动通信技术)后,LTE-M 系统单套运行,在不影响运营的前提下通过对通信网络进行更新改造,用 5G 替代现有的 Wi-Fi 系统,实现 LET-M 和 5G 的相互冗余。在更远的未来,还可建立如 5G、6G(第 6 代移动通信技术)等更贴合时代技术的双冗余通信网络系统。

3.2 通信系统的总体规划思路

通信系统各子系统基本具备平台化管理条件,应根据集中建设、逻辑收敛、全状态监控、统一管理原则予以配置,并对接智能运维网络级基础平台。通信系统各子系统的分类划分如表 1 所示。

表 1 通信系统总体规划
Tab.1 Overall planning of communication system

系统层级	特征	涉及子系统	核心设备设置位置	线网设备管理方式
路网级系统	需进行路网级核心交换、或核心数据下发的系统	高速数据网、专用无线、 公专电话、上层网时钟、 信息、技防	3C 大楼、东宝兴路 OCC	核心网管终端管理
线路级系统	单线具备系统业务功能	信号、广播导乘、记点、线 路时间、线路传输	各线路 OCC	线网级管理平台管理/线路级网管终端管理
车站级系统	单站具备业务功能	通信电源、消防无线	各线路 OCC	线网级管理平台管理/线路级网管终端管理

注:3C 大楼为上海轨道交通网络运营调度指挥大楼的简称;OCC 为运营控制中心。

根据上述分类原则,未来的通信系统规划主要包括以下方面:

1)上层通信系统(线网级系统)。将建立各专业平台,监控全部设备状态;与智能运维核心平台对接,实现设备的平台化管理,满足浸入式管理的条件,在平台上统一业务管理与配置;为满足各通信子系统在既有线路更新改造、后续新建线路接入时的要求,将增设各子系统核心设备;在条件允许时,各类核心设备在半生命周期时引入第2套主备核心,以降低核心网改造和线路改造之间的相互影响。

2)下层通信系统(线路级系统和车站级系统)。根据平台化建设要求,在统一各线路通信设备的型号、制式与接口的基础上,实现设备信息的透明化和网络扁平化,简化系统架构,最终实现平台化管理。以广播与导乘系统为例,目前PIS(乘客信息系统)与PA(公共广播)的融合技术和实施方案已较为成熟,原有的VGA(视频图形阵列)、HDMI(高清多媒体接口)、BNC(刺刀螺母连接器)等接口已经停产淘汰,使用光纤解决方案才是未来的技术发展趋势。今后,PIS与PA将合二为一,统一为音视频信息发布系统。这2个系统的合并,简化了网络架构,也降低了平台化建设的难度。

4 重新塑造中台型生产组织结构

4.1 优化生产组织架构目标

上海城市轨道交通超大规模网络对设备运维提出了更高的管理要求,原有的垂直型生产管理体系已无法满足如此大体量的管理需求,需要优化组织架构,改变管理理念,构建健全、完善的管理机制,形成将故障消灭在萌芽阶段的超前维护思路,从而达到体制顺畅、边界清晰、降本增效的目的。

4.2 三台型生产组织结构

基于数据的平台化管理模式,遵循“功能科学合理、分级分层管理”的原则,上海城市轨道交通通信和信号系统的组织结构应向“三台型”生产组织结构转变。通过基础设施设备向平台化浸入式管理方向的演进,全面落实对项目的全周期统筹监管,可实现扁平化的生产管控体系治理和层级化的业务模式优化,使得设备管理更加高效,业务运作更加敏捷、灵活。

4.2.1 敏捷型前台

前台是对灵活性要求最高的线路级生产部门,

需要快速适应瞬息万变的设备运维状态,并直接提供相关维护服务。此外,前台还有1个次要功能,即帮助后台探索开发未来资源(包括技术),为后台提供故障发生前的初步预判和故障发生后的管理改进建议。

在前台内部,同样采用类似前台(维护部综合组)、中台(维护部系统组)、后台(维护部管理层)的“三台型”架构,以实现前台的岗位复合和减员增效。其中:维护部管理层负责总体协调;维护部系统组承担所辖线路的数据监控、技术指导和业务支撑,同时进行驻地(停车场)维护业务;维护部综合组负责所辖线路的维护工作,可通过岗位复合或委外方式进一步减少维护人员的数量。

4.2.2 全面型中台

中台是战术性管理部门,发挥中台承上启下的关键作用,可彻底改变原来故障只能由一线人员抢修及维护的理念。通过智能运维平台化体系提供的各项设备状态和数据,中台可提前进行布局,在故障萌芽阶段及时予以消除,达到设备零故障的目标。同时,由于中台连接了众多专业,可提炼出各专业的共性需求,为前台部门业务和项目建设提供统一的支撑性服务,并实现数据在各层级、各部门之间的透明流动。除此以外,中台还将前台长期累积的数据转化为高度标准化、高度模块化的技术手段,为前台提供丰富、有效的维护模式。

4.2.3 前瞻型后台

后台由职能部门组成,主要负责高度前瞻性的战略设计,以及年度生产计划的制定与评估。此外,后台还承担着企业文化传播与领导力培养等任务。后台通过为前台和中台赋能,实现对前台和中台的长期性支撑,主要包括总体规划、服务支持、资源管理、风险管控和整体协调等。

5 智能运维的作用及在生产中的定位

科技创新成果的应用,对城市轨道交通线路的建设及运维手段的不断更新起到了直接的推动作用。智能运维系统的诞生,将引导城市轨道交通运营设备运维新模式的深度变革,驱动技术人员不断提升技能水平,促进运维管理向着更科学、更高效、以人为本的方向持续发展。

完整获取设备的状态数据是智能运维的关键。所获取的设备状态信息是否满足智能运维应用的要求,主要包括2个判断要素:数据维度和数据质

量。首先,为了获取设备有价值的特征,应合理部署传感器,以获得如振动、声音、电气参数、转速、动态日志等可多维度反映设备故障(特别是设备早期失效)的工况,还应评估长期积累的运行数据;其次,对各种智能化运维场景下的设备状态进行监控,不同品牌、不同制式系列的设备,缺陷特征可能完全不同,因此需要在设计之初就考虑选择适应性强的设备。同时,在系统平台侧也应采用开放的方式,邀请各厂家一起参与智能运维工况的筛选及智能模型的构建。

应加速培养技术人员的业务能力,提高智能运维的建设水平。智能运维可在新线验收、运维评估、故障定位等方面提供各种设备状态综合监视、智能诊断、状态评价的应用,可以物化为全新的运维装备,为技术人员能力的提升提供更加坚实的技术保障,可迅速提高整体的数字化智能检测和诊断能力,及时消除故障隐患,对设备故障进行精准定位,快速恢复运营。采用智能运维平台化管理后,设备的运维取得了良好的成效:行车系统设备异常的检测成功率达到 95% 以上;关键设备的故障漏报率控制在 0.5% 以下;设备故障的平均处理时间从 60 min 降至 10 min 以内;列车晚点率下降了 30%;道岔动作寿命从 15 万次增加至 47 万次;车载控制器的故障发生率从 300 万车 km/次降至 1 047 万车 km/次。可见,智能运维的应用落地切实保障了超大城市交通动脉的运行安全。

提高运维模式的效率与加速运维模式的转型是智能运维的发展目标。科技和知识的结合带来了运维模式的转变,数字化运维能力随之产生,从而大幅提升业务效率。在保证行车安全性和设备系统可靠性不变的条件下,新的运维模式使设备维修的项目和时间间隔趋于合理,节约了维修的人力、物力。同时,通过对设备状态进行评估,改变了过去大拆大卸的做法,只进行必需的项目和必需的深度修理,由此设备日常诊断的工作量可降低 40%~70%。据估算,智能运维系统替代人工现场的周

期性巡检后,每条城市轨道交通线路的平均设备运维工时可节约 37(人·时)/周,节省维护人员约为 0.4 人/km。这些维护人员可转变身份,投入到老线的大修改造项目中,为超大城市轨道交通网络的高效、可持续发展提供技术支撑。

6 结语

本文基于平台化体系建设,对信号系统和通信系统进行总体规划。建立“三台型”管理体系是超大规模城市轨道交通网络化设备运维的发展方向,而设备运维的最终目标是实现全寿命设备维护管理。为此,应积极探索实施互联互通的可行性,形成各类设备标准化管理制度,重塑设备运维管理的组织架构,构建新的管理模式,建设与超大规模网络相匹配的“安全至上、开放合作、创新进取、追求卓越”的平台化生态管理体系,以实现全寿命设备维护管理的目标。

参考文献

- [1] 李樊. 数字化转型下的城市轨道交通信息化规划总体方案研究[J]. 铁路计算机应用, 2020(11):14.
LI Fan. Overall plan of urban rail transit information based planning under digital transformation[J]. Railway Computer Application, 2020(11):14.
- [2] 李琪. 城市轨道交通规划与城市发展的互动作用[J]. 智能城市, 2020(22):113.
LI Qi. Interaction between urban rail transit planning and urban development[J]. Intelligent City, 2020(22):113.
- [3] 陈楠. 北京轨道交通信息化总体规划的研究[J]. 铁路通信信号工程技术, 2020(9):49.
CHEN Nan. Research on overall planning of IT application in Beijing rail transit[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2020(9):49.
- [4] 俞光耀. 上海超大规模轨道交通网络运营管理对策研究[M]. 上海:上海书店出版社,2018:1.
YU Guangyao. Research on operation and management countermeasures of Shanghai super large scale rail transit network[M]. Shanghai: Shanghai Bookstore Publishing House, 2018:1.

(收稿日期:2021-03-25)

欢迎订阅《城市轨道交通研究》

服务热线 021—51030704