

# 上海地铁运营维护保障数字化转型实践与思考

俞光耀

(上海申通地铁集团有限公司, 201103, 上海//正高级工程师)

**摘要** 上海地铁现已形成超大规模运营网络,面临客流量大、系统设备复杂、运维难度高等诸多挑战,为进一步提升运维质量、保障运营安全,上海地铁加快推进基于全生命周期管理的运营维护保障数字化转型探索。分析了上海地铁运维保障现状和数字化运维建设需求,介绍了数字化运维的技术支撑和应用场景。提出数字化运维建设,通过贯穿全场景的技术创新,突破专业壁垒及多层分散的管理界面,打通生产过程中的数据流、信息流,优化资源配置,形成集约复合、协同联动的运营维护体系。基于数字化运维,可实现传统的线路级运维模式向网络级运维模式转变,全面实现一体化运维管理。

**关键词** 城市轨道交通;数字化转型;运营维护保障

**中图分类号** U231.94

DOI:10.16037/j.1007-869x.2021.05.001

## Digital Transformation of Operation and Maintenance in Shanghai Metro

YU Guangyao

**Abstract** Shanghai Metro has formed a super-large network and is faced with many challenges such as large passenger flow, complex system equipment and difficult operation and maintenance. To improve the quality of operation and maintenance and to guarantee safe operation, Shanghai Metro has accelerated promoting the digital transformation of operation and maintenance based on lifecycle management. Current situation of Shanghai Metro operation and maintenance and requirements of digitalization construction are analyzed, of which the technological support and application scenarios are introduced. It is proposed that, in the construction of digital operation and maintenance, by applying technological innovation in all scenarios, professional barriers and decentralized management interface are surmounted, thus the data flow and information flow are integrated, and the allocation of resources are optimized in the production process, forming an intensive and interconnected maintenance system. Based on digital operation and maintenance, the transformation from conventional line mode to network mode can be realized, achieving intergrated operation in all aspects.

**Key words** urban rail transit; digital transformation; operation and maintenance

**Author's address** Shanghai Shentong Metro Group Co., Ltd., 201103, Shanghai, China

随着交通强国战略、智慧城市建设的快速推进<sup>[1]</sup>,城市轨道交通作为其重要组成,亟需从传统思维向数据思维转变,以数字化驱动质量提升,更好地管控运营安全,优化交通环境,提升效能效益。根据《上海城市总体规划(2017—2035年)》,到2035年,上海将建成卓越的全球城市 and 社会主义现代化国际大都市<sup>[2]</sup>。在上海城市发展的新征程中,上海地铁要有新目标、新作为、新贡献,从建设运营的高速增长向高质量发展转型。

当前,上海地铁拥有世界范围内线路总长最长的城市轨道交通系统。截至2021年1月,上海地铁运营线路19条(含磁浮线),线路总长772 km;2019年年客运量38.8亿人次,最高日客运量1 329.4万人次;受疫情影响,2020年客运量虽有所降低,年客运量28.34亿人次,但仍位居全国首位。随着上海地铁线网建设的不断发展、网络化运维转型的不断深化,“线网规模大、系统复杂化、场景多样性、运营负荷重、维保时间紧”的运维特点凸显,基于数字化的技术创新及管理手段变革,成为支撑城市轨道交通运维管理的源动力。

### 1 上海地铁运营维护保障现状

1) 新旧线路监测水平参差不齐。上海地铁线路建设年代跨度大,通信、信号、车辆、供电、工务、车站机电设备等专业没有统一的监测标准,维护支持系统所采集的监测信息不统一、不全面,且各自独立,集成化、综合化、智能化水平不足。次新线路的监测功能较为完善,而老线路的监测采集信息量有限。

2) 故障处置机制以经验为主。目前,虽然各线

路的各专业维护支持系统采集了大量数据,但由于数据采集的智能化程度不高,采集的数据仍需人工分析处理,因此,当故障发生时,现场人员还是主要依赖其经验进行判断处置。上海地铁设备的型式与制式多样、数量庞大,备品备件种类繁多,部分设备更是国内外首次投用的新设备,系统复杂度高、专业接口要求不断提高,造成维护人员难于准确把握设备操作的稳定性和可靠性规律。

3) 设备管理信息链不完整。现阶段,上海地铁存在多个设备管理系统且各自独立,主要承载系统为 EAM(设施设备基础数据管理系统)、MSCP(物资供应系统),缺少对设备管理的全过程记录,存在信息流断层和不对称的情况。从设备全生命周期管理来看,不同阶段、不同部门的工作都需要规范化,在保持核心基础数据唯一性和延续性的基础上,实现设备管理、资产管理、生产管理的融合。

4) 维护管理体系以计划性为主。当前,上海地铁通信、信号、车辆、供电、工务、车站机电设备等专业维保主要根据修程修制进行巡检、日常养护、集中维护、检修、调测、鉴定等,为时间驱动型维护模式。通过计划性维护作业降低设备元器件失效率、防止系统性能下滑。该体系下维护作业缺乏事前指导,针对性不强,会造成部分人力、物力浪费。随着运营线路的不断增加,维保工作量迅速增长,再加之设备维护规程的滞后与维护模式的不同步、不适应,影响了日常养护维修的有效性。

## 2 数字化运维的建设需求

### 2.1 集成化状态监测及预警

面向运维管理者,通过全景化视图呈现轨道交通线网关键设施设备的在线监测状态及参数,展示总体运维指标和关键设备运维指标,以此概览全线网设施设备运维状况。同时,实现设备状态实时故障诊断及隐患预警,以此压缩故障延时,减少故障对运营的影响。

### 2.2 精准化运维处置

基于智能分析及高度融合的运维信息,提供规范化和标准化的故障及隐患处理流程,建立准确、快速、规范的故障及隐患处理体系。具体功能应包括:① 系统自动判断故障或隐患范围及原因,在故障出现时,以故障原理图、故障位置图等方式显示故障处所,图表化显示故障时刻采集的信息特征;② 系统提供维修处理的标准化操作及高真实还原

的可视化视图,指导现场维护人员精准快速操作;③ 系统自动监督故障处理全过程,形成事件闭环,保障作业有效且不留隐患。

### 2.3 协同化远程支持

建立应急协同体系,提供远程控制、远程分析、远程应急指挥和远程维护作业,可以高效组织抢修,快速克服故障,避免对运营造成影响。通过提供设备故障的应急预案和故障影响评估,以及资源信息化协调组织,实现故障应急处置的最优化。具体功能应包括:① 远程控制设备重启,对无人值守处所部分关键设备可进行远程控制重启;② 应急联动,基于实时 GIS(地理信息系统)图展示应急资源分布及实时路况信息;③ 应急预案管理,提供应急预案流程树管理及展示功能;④ 故障影响评估,提供故障影响范围、故障延时评估功能;⑤ 移动终端重大事件应急推送,支持单兵设备实时调看,提供远程技术支撑。

### 2.4 动态化管理方式

建立能够反映设备全生命周期状态变化的动态履历信息库,包括设备编码、设备树、故障代码,同时具有备件管理、资产管理等功能,为设备建立唯一台账,覆盖采购、入库、出库、报废各阶段,实现资产履历数据“一管到底”式的全生命周期管理。同时,可利用 BIM(建筑信息模型)技术,传递设备形态、位置等信息,使设备树具备多维化;将 BIM 维度延伸至 4D 甚至 5D,真正实现数字化与可视化的结合应用。如图 1 所示的多维设备树,包含编码结构+柜内配置+BIM 模型视角。

### 2.5 智能化决策分析

基于大数据、机器学习等新兴技术探索数据规律性,实现关键设施设备的综合分析、关键系统的日志分析、系统运行的趋势分析、人员的行为分析及专项分析等。同时,通过建立设备健康评价体系,为设备的状态修和科学中大修提供支撑。其中:综合分析可实现多专业的关联性分析及溯源;专项分析可通过多维度的统计比对,实现设备同比、环比等多位分析;设备健康质量评估分析可建立设备质量评估基础体系框架、健康质量评估模型及算法,实现设备健康质量评估、预测设备使用寿命,如图 2 所示;管理层决策分析通过对人员的行为分析、对设备的 RAMS(可靠性、可用性、维修性和安全性)指标统计等,为运维管理决策提供支撑。

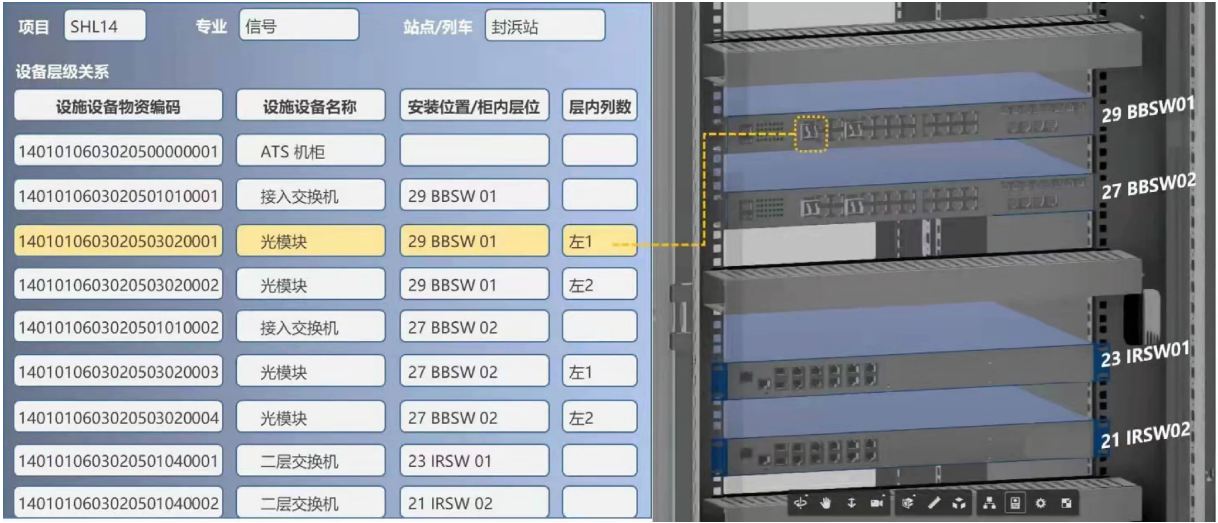


图 1 基于 BIM 的多维设备树管理



图 2 设备健康质量评估

3 数字化运维技术支撑

数字化运维技术是面向城市轨道交通设备设施的状态实时检测、监控及综合业务应用,通过终端设备实时感知设施设备所产生的海量、异构信息,然后将感知信息经各类通信传输管道进行传输。上海地铁从智能运维数字化应用需求出发,以“云、管、端”模式为技术支撑(见表 1),对关键技术进行重点突破,完成了产业特色明确、覆盖面广的支撑应用平台。

表 1 “云、管、端”模式内涵

类别	目标项目	支撑技术
“云”	基础资源、数据、业务、应用服务	云计算技术、大数据技术、人工智能、BIM
“管”	数据传输层、数据管道	移动互联网、5G、车地无线和 Wi-Fi 技术
“端”	数据采集层、多专业综合检测单元	物联网技术、智能巡检

1) “云”:在云构建层面,集中将云计算、大数据、BIM、人工智能等新一代技术应用到运营维护保

障业务中,构建涵盖设施设备全生命周期管理的网络化智能运维体系。

2)“管”:主要实现不同的在线检测系统的实时状态数据,通过车地无线、5G、Wi-Fi、移动互联网等技术,被发送和获取,提高检修效率。

3)“端”:主要实现通过基于机器视觉、红外线、激光、传感器等物联网技术的检测装置,监测不同的多专业在线检测系统,获取实时状态信息,提高维护效率,并有效支持维护管理作业。

### 4 数字化运维应用场景分析

围绕运维管理核心任务,面向感知、诊断、预

警、决策和协同全流程,结合城市轨道交通运维的实际需求,从生产自动化、流程优化、制度创新三个层次,不断丰富应用场景,进行运营维护保障全流程健康度管控,实现业务流程的全面转型升级。业务应用场景如表 2 所示,包含 3 大类别、11 个核心场景需求。在生产上实现线路级运维到网络一体化运维升级、人工巡检到自动化巡检升级,在流程上实现分散管理到集中统一管理升级,在制度上实现计划维修到智能维修升级等。以预测运维为例,智能运维与传统运维应用场景对比如图 3 所示。

表 2 数字化运维应用场景分析

类别	场景需求	业务应用	应用场景	运维模式转型
生产 (自动化)	信息获取	设备状态监测	设备实时运行状态、性能参数、接口状态等监测	人工测量→在线数据感知
	信息分析	事件处置	维护建议指导、排故方案、系统告警/预警、告警闭环处理、知识图谱	人工分析→机器自动化
	设备故障	故障管理	故障识别、故障定位、故障原理图、故障溯源、可视化故障再现等	经验引导→设备评价引导
	预测运维	设备健康度管理	数据趋势分析、设备寿命分析、设备异常预警、设备状态评估、风险问题预查	事后告警→事前预警
	一体化运维	多专业协同	设备综合集成展示、综合全景视图、线网设备状态总览、运维一体化协同机制	线路生产管理→网络扁平化管理
流程 (优化)	综合调度	应急抢修	调度预案、应急安全防护、运营影响范围	人工调度→协同一体化
	辅助决策	设备全生命周期管理	动态履历、剩余寿命预测、设备质量评价、设备利用率	文件碎片式管理→全生命周期动态管理
	辅助洞察	维修效能管理	维修成本、绩效考核 KIP(关键业绩指标)、人员行为分析、供应商评价	粗放管理→精细管理
	资源优化	维修资源管理	备件、人力、维修周期优化等	人工经验→信息化流程管控
制度 (创新)	状态修转型	生产作业管理	设备综合巡视、试验、维护、性能恢复等	计划修+故障修→状态维修
	标准化管理	标准/规程管理	规范技术标准、运维规程调整建议、生产计划自动生成	传统铁路模式→“云、管、端”运维模式

### 5 运维数字化转型思考

1) 建立标准规范,推动数字建设标准化。目前,城市轨道交通领域数字化建设尚缺乏统一的标准规范,对运维全流程的管控乏力,无有效的评价体系支撑,极大束缚了运维数字化转型的推进。为满足城市轨道交通高质、快速的发展需求,实现数字化持续赋能,以政府、行业协会指导性文件为基础,通过借鉴国内外数字化建设相关成功经验和实践,加快研究建立标准规范,覆盖“云、网、数、安”

(云平台、网络、数据、信息安全)等核心技术,为城市轨道交通数字化建设提供坚实有力的机制保障。

2) 优化资源整合,构建一体化运维管理体系。基于应用场景、宏观管控等要求,依托智能运维平台,紧抓人员、技术、物资和数据四大资源,建立一体化协同运维管理体系,优化维修资源分配、设备管理流程,实现跨专业、跨系统、跨线路的运维全流程管控,实现全生命周期数据资源管理;同时,有效支持多技能、复合型维护人员培养和物资管理一体化两个闭环,有效提高维护效率和资源利用率。

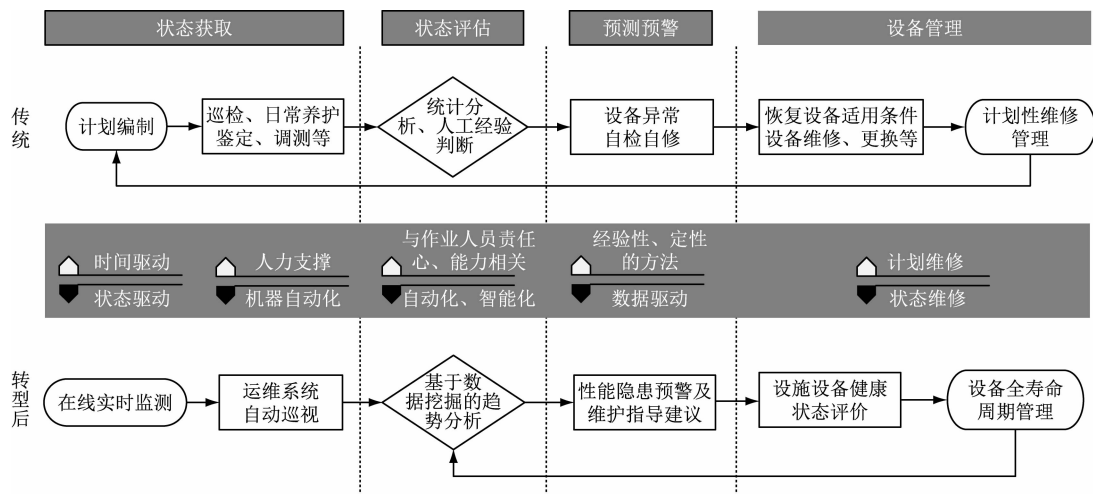


图3 传统运维与智能运维的应用场景对比(以预测运维为例)

3) 维保模式升级,推进“故障修+计划修+状态修”。目前设施设备维保主要采取定期计划性维护(修程、修制)和事后故障维修(临修、抢修)的维护策略。针对该模式下维护成本高、维护人员工作强度大的问题,推进“专家型故障修+经验型计划修+感知型状态修”的维护模式。围绕精准维修理念、智能化诊断分析能力,形成专家型故障修模式;基于设备质量评估,实行设备巡检、养护、调测、鉴定、轮修、大中修等周期性维修,达到设备运行质量可靠性提升,形成经验型计划修模式;依托系统运行状态在线感知及预警能力,形成感知型状态修。

## 6 结语

近年来,上海地铁积极推进运营维护保障数字化转型工作,取得了一定成效。以列车控制系统为例,作为城市轨道交通的“大脑”,其在线网运营中发挥核心控制作用,而全自动驾驶的发展趋势对其安全稳定运行提出了更高要求。面对规模效应及运维逆境,基于数字化支撑,上海地铁2017年完成了线网级“列车控制系统全寿命周期健康管理平台”建设,实现列车控制系统多源安全感知、多引擎融合诊断预警等创新技术的大规模融合应用,并首次系统性地实现了“列车控制系统设备状态修”。在提升运营质量、提高维修效率、降运维成本等方

面产生了显著效益,在国内外城市轨道交通运维数字化实践中具有示范作用。

城市轨道交通是一个多专业协同联动的庞大复杂系统,面向数字化转型各阶段的科学合理性,以科技创新为持久驱动动力,综合“云、大、物、移、智”(云计算、大数据、物联网、移动互联网、人工智能)等技术应用,形成交叉支撑、循环迭代的良性发展。通过统一规划、统筹实施,实现跨系统、多模态海量数据的汇聚、融合、共享、分析、决策,探索新一代信息技术与城市轨道交通生产、运维的深度融合,为生产方式变革注入新动力,推动转型发展和提质增效,进一步提升城市轨道交通数字化水平。

## 参考文献

- [1] 中华人民共和国中央人民政府. 中共中央、国务院印发《交通强国建设纲要》[EB/OL]. (2019-09-19)[2020-12-19]. [http://www.gov.cn/zhengce/2019-09/19/content\\_5431432.htm?trs=1](http://www.gov.cn/zhengce/2019-09/19/content_5431432.htm?trs=1).
- [2] 上海市人民政府. 上海市城市总体规划(2017—2035年)[R]. 上海:上海市人民政府,2018.
- [3] 中国城市轨道交通协会. 中国城市轨道交通智慧城轨发展纲要[R]. 北京:中国城市轨道交通协会,2020.
- [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.

(收稿日期:2021-03-02)

欢迎访问《城市轨道交通研究》网站

[www.umt1998.com](http://www.umt1998.com)