

# 基于大数据云平台的智慧城市轨道交通运维管理一体化体系

朱 莉<sup>1</sup> 邹小星<sup>2</sup>

(1. 上海地铁维护保障有限公司, 201106, 上海; 2. 上海电气泰雷兹交通自动化系统有限公司, 201206, 上海//第一作者, 高级工程师)

**摘 要** 当前, 城市轨道交通从快速建设阶段转入高效、智能化发展新时期, 随着全自动运行模式的提出, 对与之相匹配的智能化维修能力需求迅速增长。针对现有系统中在信息共享、数据挖掘、作业精度、资源配置与人工物料等方面存在不足的问题, 提出了以大数据云平台为基础的智慧城市轨道交通运维管理一体化体系、全方位智能化故障管理体系和智能化维修管理体系, 并描述了其上海轨道交通 5、14 号线的项目实践及展望。

**关键词** 城市轨道交通; 大数据; 云平台; 智能化故障管理体系; 智能化维修管理体系; 运维管理一体化体系

**中图分类号** U29-39

**DOI:** 10.16037/j.1007-869x.2020.S2.001

## Integration System of Intelligent Urban Rail Transit Operation and Maintenance Management Based on Big Data

ZHU Li, ZOU Xiaoxing

**Abstract** At present, urban rail transit in China has changed from the rapid construction to a new period of efficient and intelligent development. With the introduction of the full automatic operation (FAO) mode, demands for the corresponding intelligent maintenance capacity are growing rapidly. To solve the deficient problems of current system in information sharing, data mining, operation accuracy, resource allocation and artificial materials, an integrated smart city metro operation and maintenance management system based on cloud platform is put forward, which is supported by a comprehensive intelligent fault management system and a refined maintenance management system. The application in project practice on Shanghai rail transit Line 5 & 14 and the prospect of the system to the future are described.

**Key words** urban rail transit; big data; cloud platform; intelligent fault management system; intelligent maintenance management system; operation and maintenance integration system

**First-author's address** Shanghai Metro Maintenance Support Co., Ltd., 201106, Shanghai, China

## 1 构建以大数据云平台为基础的智能化运维系统

### 1.1 建立多源一体化数据传输机制

智能化运维系统庞大且复杂, 由多专业多系统联合运作(各专业自成体系构成独立数据源), 对于城市轨道交通运营起到强大支撑作用。智能化运维系统基于安全可信的数据采集、控制标准及技术, 实现各专业多源数据的安全传输与获取, 并通过分布式数据总线传输至大数据云平台。

### 1.2 建立开放、共享、安全、稳定的大数据云平台

该平台采用分布式计算架构, 依托云存储、虚拟化、大数据技术, 实现城市轨道交通设备运行维护海量数据的实时处理和深度挖掘。平台综合利用现有的硬件资源, 可有效节省硬件存储空间及提升数据处理效率。作为智慧城市轨道交通运维体系的平台支撑, 大数据云平台起到承下启上的作用, 接收设备海量采集数据进行整合分析, 并为上层提供计算、存储, 以及网络资源和大数据挖掘分析能力支持, 使得信息资源获得全面的共享整合<sup>[1]</sup>。

### 1.3 建立基于云平台的智能化轨道交通运维管理系统

城市级轨道交通系统通常由多条线路组成, 各专业分别提供线路级设备维护支持系统, 并具备分专业维护能力。随着城市轨道交通网络的不断扩张, 呈现出城市线网级的轨道交通体系, 这促进了多线路、多专业一体化运维管理体系的搭建。云平台按融合的粒度分成以下两个场景:

1) 单线路多专业平台: 各专业分布式处理, 依据场景式故障分析, 全面分析多专业数据之间关联性, 借助云平台的分布式数据框架为智能化运维提供全面的跨专业的数据服务支持。

2) 多线路的线网融合平台: 多线路、多专业数

据量呈线性扩展,设备数据体量和维度呈指数增长,多线路的线网融合平台可全方位反映设备状态和线路特性,提供城市集成化、网络级的数据服务支持,实现设备维护的大数据管理。

云平台在智慧城市轨道交通多线路、多专业运维管理系统中的应用,可实现多系统信息资源共享,促进信息的多维度融合<sup>[1]</sup>,有效地解决了多系统运行维护数据分散及信息孤岛问题。采用全面感知、深度联系、智能分析,可促进城市轨道交通运维管理数据的融合凝聚及价值挖掘。

## 2 构建全方位的智能化故障管理体系

城市轨道交通智能化运维管理体系需要强大的智能化故障诊断及预防预测能力作为支撑,其既能提前发现设备及管理风险隐患,实现预防性维护,又能在故障一旦发生后实现精准故障定位,并提供行之有效的维护及排除故障方案。智能化故障管理体系还应具备自成长性,可根据维护经验的不断积累而不断优化诊断模型和维修策略。智能化故障管理体系构架如图1所示。

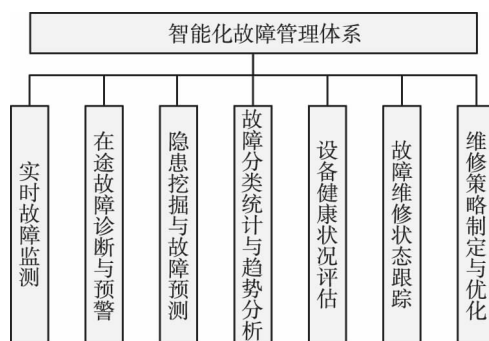


图1 智能化故障管理体系的构架

智能化故障管理体系包括以下6个模块:

1) 实时故障监测模块:通过硬件故障反馈电路或加装硬件采集设备的方式,精准地采集故障状态数据,利用故障反馈机制定位故障部件,通过图形化及报警信息的方式实时展示部件故障状态。该模块可精准监测故障发生信息,并给予及时的故障提醒。

2) 在途故障诊断与预警模块:根据设备运行规律或可能性前兆经验值,制定预警判断指标,在故障发生前及时预报设备的异常状况,并提供相应的预防性维护措施建议,从而可极大地降低设备故障所造成的损失。

3) 隐患挖掘与故障预测模块:设备隐患挖掘与故障预测需结合大量历史及实时运行数据来分析研

究,主要有基于知识和基于数据驱动两种方法。

(1) 基于知识的方法:主要以相关专家和技术人员的启发性经验知识为基础,定性或定量描述过程中各单元之间的连接关系、故障传播模式等;在设备出现异常征兆后通过推理、演绎等方式模拟专家在监测数据上的推理能力,从而自动完成设备故障预警和诊断分析。该类方法无需精确的数学模型,但对专家知识有较强的依赖性。常用方法主要包括专家系统、故障决策树、模糊逻辑等。

(2) 基于数据驱动的方法:通过挖掘过程数据中的内在信息建立数学模型和表达过程状态,根据模型来实施过程的有效分析。基于数据驱动的故障预警和状态监测技术直接通过系统的历史数据建立故障预警模型,其通用性和自适应能力较强。但由于该类基于数据驱动的方法并不明确系统的内部结构和机理信息,所以对预警结果的解释相对困难。

4) 基于场景的故障统计与趋势分析模块:根据不同运营故障场景统计分析数据相关性和事件发生趋势,从而判定可能存在的系统部件性能劣化趋势,并提醒维护人员采取预防性维护措施;某些故障场景可能由多专业设备部件关联所致,通过基于多专业融合的数据平台和大数据挖掘,可实现多专业复杂场景的故障原因深度分析。

5) 设备健康度评估模块:建立对设备健康状况评估打分、定义打分机制,横向对比体现同一类型设备的性能情况,以获取关键性能评估指标、建立关系并设置其重要等级权值。针对不同设备建立健康度评估模型,通过设备健康度评价体系与打分机制反映设备健康状态,以提供周期性维护指导和科学制定预防性维修计划。

6) 维修策略制定与优化模块:在运维管理工作中,可以通过对故障原因、故障特征作综合统计分析,结合历史故障处置方案,不断优化专家知识库提供的维修建议和应急措施,为维修策略的制定提供技术支持。例如,基于引起故障部件的统计,可生成月度/年度部件故障数频次排名,直观展示子系统及部件的故障情况,为维修策略的制定提供数据支撑。

## 3 构建全过程的智能化维修管理体系

智能化维修管理体系将提供精细化管理流程,具备响应度快、精准度高、可操作性强等特点。

### 3.1 多角度、多形式的故障展现方式

利用多元可视化技术,将有效数据以报警、图

形、图像、表格、统计趋势等形式表达出来,实时、多角度、多形式地展现设备状态变化,系统用户也可以实时地查询服务器信息,以便于维护人员周期性的巡检工作。维修管理工作需要以细化的流程和集中化的平台作为依托,提供高效的运维管理手段,提高发现问题和排除故障的效率。

### 3.2 细致化、规范化的运维管理流程

智能化维修管理体系根据年表计划、天窗计划、临时任务、检测数据、检查报告、漏检漏修、报警信息等自动生成维修工单,并推送给相关工区。生成的维修工单可以根据单号、工单状态、设备、部件、报警类型、报警级别、优先级、时间(提出、实施、完成等)、维修工作状态、设备状态等进行分类查询和汇总统计,以便于运维人员分析管理。

当工区收到推送的维护工单后,根据作业内容指定维护人员、作业时间,并按照维护作业流程准备材料、工具,作业前完成情况分析和安全预想。智能化维修管理系统可给予维修作业指导。

作业后维护人员填写工单完成情况,只有在维修工作完成且设备状态正常的情况下,智能化维修管理系统才认定执行完毕,工单闭环。从而实现维修作业的有效卡控和闭环管理。

### 3.3 远程维修新模式

采用运维工作站下发、手持终端网络推送等多渠道故障信息发布方式,使维护人员可及时接收待处理的任务请求,根据计划要求及指导意见执行维修作业。

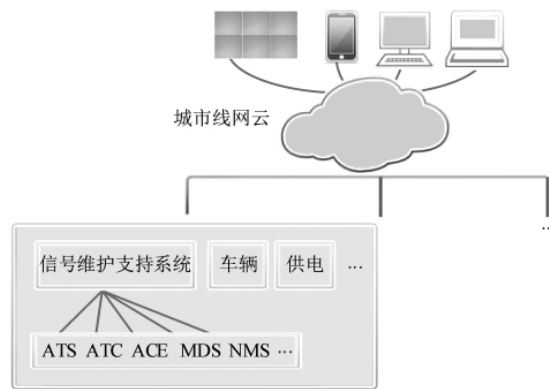
1) 任务工单分派管理:维护作业人员可以通过手持设备远程登录系统,查询维修工单以及任务地点、作业内容、设备,以及作业流程等任务的具体信息。

2) 维修任务执行管理:维护作业人员在设备维护过程中可以利用单兵视频对工作过程进行拍摄并实时传送,线网运维中心技术管理人员结合系统显示信息,可远程指导现场人员维修作业。完成作业后将相关数据及维修操作信息上传至智能化维修管理体系中,便于专家知识库优化及设备维修过程的有效管控。

## 4 基于上海城市轨道交通城市云的实践与展望

截至2018年12月,上海城市轨道交通运营线路共16条,运营里程共705 km,日均客流达千万人次,形成了四通八达的大规模城市轨道交通线路网。同时,在建新线14、15、18号线,均为GoA4(无人干

预列车运行)的全自动运行线路。随着运营模式的快速智能化演进,实时、准确、高效的智能化维修体系亟需建立并实践运行。图2为上海城市轨道交通智能化运维云平台拓扑图。目前,该平台已在上海轨道交通5、14号线试点实施,由上海地铁维护保障有限公司联合专业系统供应商,建立了多专业统一运维管理平台,从整体出发提出了统一的运维管理流程,可进一步提高运维事件的反应效率和资源的利用率。



注:ATS——列车自动监控;ATC——列车自动控制;ACE——计轴设备;MDS——微机监测系统;NMS——网络管理系统

图2 上海城市轨道交通智能化运维云平台拓扑图

1) 线路级专业智能化运维系统:将线路级设备信息融合汇总,综合提供各专业系统设备相关维护信息指导及管理手段。例如,信号智能化运维系统数据主要来源于ATS系统、ATC系统、计轴设备、NMS及自采集设备等;ATS、ATC、计轴、NMS等设备均具备系统自诊断和监测报警功能,并集成于信号智能化运维系统中。信号智能化运维系统对各类基础设备实现自采集,包括外电网、电源屏、信号机、道岔转辙机、环境温湿度等。结合专业系统特点,基于核心维护人员及专家的经验总结出适用的专家诊断知识库,通过清晰直观的展现方式告知维护人员可能发生的故障点或回路,辅助维护人员进行排除故障和指导故障处理。

2) 线路级多专业融合运维平台:大数据平台可以面向多专业应用,城市轨道交通维保系统主要包括信号、车辆、供电、工务等专业,在此基础上进一步扩大数据融合。可基于多专业数据融合场景,如信号专业与车辆数据相结合,进行列车打滑及黏着力评估,分析恶劣天气下列车冲标、欠标的深度原因,进行优化系统设计等。

3) 线网级智能化的运维一体化平台:城市线网级智能化云平台,将城市级多条城市轨道交通线路

(下转第22页)



度势必会超越UTO。

另一方面,为提升UTO下线路RAMS而新增的应急功能并不能完全取代现场人员的应急处置。鉴于此,甚至出现部分线路采用UTO模式建设后,业主却仍担心应急不力而始终派人值守的情况,从而造成了“有人值守的无人值守全自动运行”这种根源性的矛盾。若线路长期或始终设置驻车人员,将导致大多数自动或远程人工应急功能沦为摆设,因为现场的人工应急处置通常要快于自动或远程人工应急处置,许多自动应急功能其实也需要调度员远程确认并以列车限速方式运行,如列车蠕动就远不如直接将列车转为ATPM(具有ATP防护的人工驾驶)来得高效。UTO的一个理念就是当列车迫停区间时,尽量使列车维持自动运行至下一站,以便多职能人员登车处置。既然到下一站仍要转为人工干预,则有人值守情况下直接人工干预的效率更高,最终导致了有人值守的UTO线路实际按DTO方式来运营和应急处置。而UTO建设成本高于DTO,UTO下始终派人在车上值守,未能达到减员的目的,反而增加了建设成本和运营成本。

无人值守方式在部分发达国家的城市轨道交通项目中具有优势,是由于该模式可较好地应对司机罢工以及司机较高的工资水平等问题,减员的确可以有效地降低运营成本。另一方面,这些城市轨道交通项目因当地的居民生活节奏较慢、对UTO应急能力较差的固有状况具有一定的承受能力,这些均与我国的国情不一致。在我国,UTO的实际优势更多在于改变了原本司机从库内上车的方式,多职

能人员可选择在离家较近的车站登车,增加了其休息时间,车辆基地的司机公寓或休息室也可随之减少甚至取消。同时,UTO的正线过夜功能也可节约能耗,并减小车辆基地的规模。此外,UTO具有强烈的科技感,乘客可进入原本隔离的驾驶室,进而增加了一定的列车载客面积。

当业主对无人值守所导致的应急隐患感到担忧时,完全可以建设DTO线路。DTO不但具备了与UTO相当的高效运行能力,同时其应急能力更高,是当前城市轨道交通项目建设不错的选择。尤其对于旧线改造,与UTO相比,DTO在原有ATO线路基础上增加的功能较少,现场调试时间较短,运营模式也变化不大,因此优势更为明显。

## 6 结语

综上所述,UTO模式有利有弊,是否确实需要将无人值守作为线路运营的顶层需求由业主确定。若选定UTO模式,还应结合所在城市对线路的成本、运营延误的实际承受能力等因素选择UTO的新增功能。总之,全自动运行模式的选择应由业主根据自身实际情况统筹考虑,择善而用。

## 参考文献

- [1] 顾伟华,汪小勇,艾文伟,等.轨道交通无人驾驶信号系统关键功能分析[J].地下工程与隧道,2015(2):1.
- [2] 邵伟中,朱效洁,徐瑞华,等.城市轨道交通事故故障应急处置相关问题研究[J].城市轨道交通研究,2006(1):3.

(收稿日期:2020-04-16)

(上接第3页)

的信息进行融合。随着数据维度增大,数据可全方位反映设备的状态和各线路特性,以实现多系统信息资源的融合共享。结合ATS提供的列车运营信息,以及维护支持系统提供的维护信息,可实现运营与维护的实时联动。在故障处理时,可同时结合运营场景及设备故障信息的历史回放来作全面分析,以便采取及时有效的应急措施和维护策略,“智能化运营+维修一体化”将成为今后的发展趋势。

## 5 结语

智慧城市轨道交通运维管理一体化体系建设应在现有信息化水平的基础上,针对其中存在的信息共享、数据挖掘、作业精度、资源配置与人工物料等

方面的不足等问题,通过建立基于大数据云平台的智能化运维系统,促进数据进一步融合;同时构建全方位的智能化故障管理系统以及全过程的智能化维修管理系统,为城市轨道交通系统设备持续可靠的运行提供有力支撑。

## 参考文献

- [1] 李中浩,朱东飞,邢智明.以信息化助推城市轨道交通快速发展的思考[J].城市轨道交通研究,2017(5):1.
- [2] 刘纯洁.上海智慧地铁的研究与实践[J].城市轨道交通研究,2019(6):1.

(收稿日期:2020-03-28)