

# 城市轨道交通通信信号专业的智能运维系统

施 聪

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

**摘 要** 针对国内外轨道交通智能运维技术的发展现状, 详细阐述了城市轨道交通通信信号专业智能运维系统的创新性体系结构、技术方案架构及业务功能, 研究了基于新型技术应用的多源融合感知、多引擎融合预警、运维多专业融合协同、主动维修决策等关键技术。智能运维系统, 打通了平台与各线路之间、核心业务之间的接口, 利用技术创新及业务集成, 实现了设备的可视化实时监测、故障诊断及预测、设备质量评价等功能, 可提高维护效率, 保障运营安全。

**关键词** 城市轨道交通; 通信信号系统; 智能运维系统

**中图分类号** U29-39; U231.7

**DOI:** 10.16037/j.1007-869x.2020.08.042

## Communication and Signal Intelligent Operation and Maintenance System in Urban Rail Transit

SHI Cong

**Abstract** According to the development status of intelligent operation and maintenance system in urban rail transit all over the world, the innovative architecture, technical solution architecture and business functions of rail transit signal intelligent operation and maintenance system are elaborated in detail, key technologies based on the new system, such as the application of multiple source perception, multiple engine fusion early warning, multi-professional integration and cooperation, as well as active maintenance decision are studied. Through the implementation of the intelligent operational and maintenance system, interfaces between the platform and each line and between the core businesses are opened, the technological innovation and business integration could ensure the realization of real-time visual monitoring, fault diagnosis and prediction, equipment quality evaluation, and improve the maintenance efficiency and operation safety.

**Key words** urban rail transit; communication and signal system; intelligent operation and maintenance system

**Author's address** Communication and Signaling Branch, Shanghai Metro Maintenance Support Co., Ltd., 200235, Shanghai, China

当前,城市轨道交通通信信号设备维修维护工作面临工作量急剧增长、维修技术复杂、各专业的维护系统分散配置、数据利用率低等问题<sup>[1]</sup>,无法有效实现通信信号系统全寿命周期健康管理及运维,需要对传统维护技术进行变革提升。

## 1 智能运维系统发展现状

随着城市轨道交通线网规模的不断扩增,物联网、大数据分析及人工智能等新一代信息技术的应用越来越广泛,城市轨道交通智能运维平台的建设与研究于近年来快速发展。开发新型智能交通管理系统、推广应用智能检测监测及运维技术在交通强国战略中具有重要作用<sup>[2]</sup>。

目前,国内研究集中于智能运维系统的技术初探及建设方案的初步应用实践。文献[3]基于大数据应用,针对城市轨道交通信号系统提出5层智能运维平台架构,同时将智能运维分为感知、规则、理解、预测及闭环5个阶段。文献[4]从系统组成及其功能模块方面,介绍了东莞地铁智能运维平台应用与实践。文献[5]基于铁路各业务系统现状,将智能运维平台结构划分为智能感知网、宽带与泛在连接、云计算中心、大数据中心及分析决策层。

国外关于城市轨道交通智能运维的现有研究较少,仍处于维护支持系统研究阶段。日本 COS-MOS 新干线综合运输管理系统、德国 COBRA 列车设备诊断系统及法国 TIGRE 铁路动车组维修监测系统的应用较为成熟<sup>[6]</sup>,但在一体化、集成化建设研究,以及智能化诊断、预测预警等关键技术研究方面存在不足。

## 2 通信信号专业智能运维系统

针对目前国内外城市轨道交通智能运维系统的不足,本文提出新的城市轨道交通通信信号专业智能运维系统(以下简称“通号运维系统”)。

### 2.1 通号运维系统的体系架构

本文提出的通号运维系统体系架构主要包括监 测体系、业务体系、技术体系及评价体系( 见图 1)。

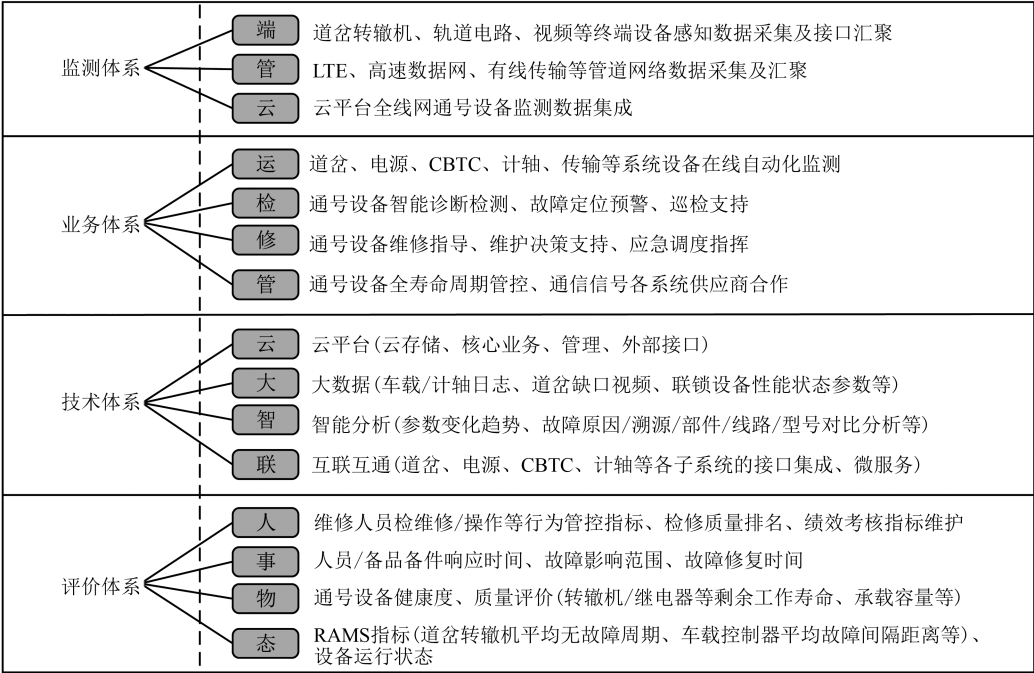


图 1 通号运维系统的体系架构

2.1.1 监测体系

对通信信号( 以下简为“通号”) 设备功能进行调整和划分,打破系统与线路间的界限,解决现有的各维护系统监管孤立的问题,建立“端、管、云”的监测体系,实现设备的综合性、一体化的端到端在线监测系统。所谓“端、管、云”即终端数据采集、管道数据采集、云中心集成。

1) 终端数据采集。针对通号专业实现道岔转辙机、计轴、CBTC( 基于通信的列车控制)、电源、机房环境等设备数据的采集和汇聚功能;针对通信专业实现音频、视频、电话、电脑、时钟同步系统、定位系统等终端设备数据的采集和汇聚功能。

2) 管道数据采集。针对 LTE( 长期演进)、数字集群、5G( 第五代通信)、物联网、线路有线传输、高速数据网、信息网络等管道设备,完成数据的采集和汇聚功能。

3) 云中心集成。通过云中心,实现各通号设备的在线监测、跨系统故障溯因、故障诊断及预警,并为运维人员提供维修决策辅助依据。

2.1.2 业务体系

现行通号专业维修系统的数据标准不统一,各设备维护系统及信息管理系统间相互独立,形成“信息孤岛”。此外,目前的维护维修管理大多采用传统的计划性维修模式,主要凭借经验,以定性方

式来实施设备检查及维护,存在“维修不足”和“维修过剩”等资源分配不合理的问题。在传统维修模式下,设备安全性、可靠性及其可用性很难得到有效的控制与保障<sup>[7]</sup>。

通过重塑通号专业的“运、检、修、管”业务闭环,来实现运维管理的信息化、智能化和智慧化。即:①建设满足设备运行状态自动化在线监测的智能运维系统;②建设满足设备智能化诊断检测、故障定位和隐患预警的智能运维系统,并支持巡检过程自动化、智能化;③建设满足设备应急抢修的完整信息化支撑系统,建设满足设备重大修决策支持的数据分析系统;④建设既满足设备全寿命周期管控要求,又符合维护技术及管理要求的信息管理系统。

2.1.3 技术体系

1) 云平台。也称云中心,位于线网层,负责线网中心资源的统一分配及部署。云中心可分为云存储区、核心业务区、管理区及外部接口区。

2) 大数据。通过数据总线实现通号运维系统的结构化数据、非结构化数据及实时流数据等各种类型数据的接收,利用大数据宽表技术构建各设备的基础数据表、业务宽表,并存储在基础云平台。

3) 智能化分析引擎。利用大数据、机器学习和其他分析技术,通过预防检测及动态分析,完成通

号设备的故障智能定位及预警、故障根本原因分析、业务量预测、设备全寿命周期管理及健康度评估等工作。

4) 跨专业联动。通过微服务和可视化门户的方式,实现跨系统、跨专业的信息联动。

2.1.4 评价体系

按照应用场景、宏观管控等要求,结合“人、事、物、态”等 4 方面管理指向,构建多专业、多维度的通号设备评价系统。评价系统的评价指标主要包括基础指标、衍生指标及自定义指标。

1) 基础指标是指在运维系统中处于核心地位,不能再分解的指标。在运维系统建设初期,基础指标会有明确的定义。基础指标的数据主要源自于

各专业的维护系统。例如,RAMS(可靠性、可用性、可维护性和安全性)指标属于基础指标。

2) 衍生指标是基于运维管理的业务扩展需求,由多个基础指标按照一定的方法计算后生成的指标。维护人员检修质量排名即属于衍生指标。

3) 自定义指标是指依托智能分析技术,结合复杂的业务需求定义的、能反映真实运维场景的指标,如设备健康度指标等。

2.2 通号运维系统的技术实现

按技术实现方式,通号运维系统的结构(见图 2)划分为感知层、云层、平台层及应用层。其中,通号运维系统应用层还可按业务功能划分为监测中心、应急中心、分析中心及健康管理中心等 4 个功能中心。

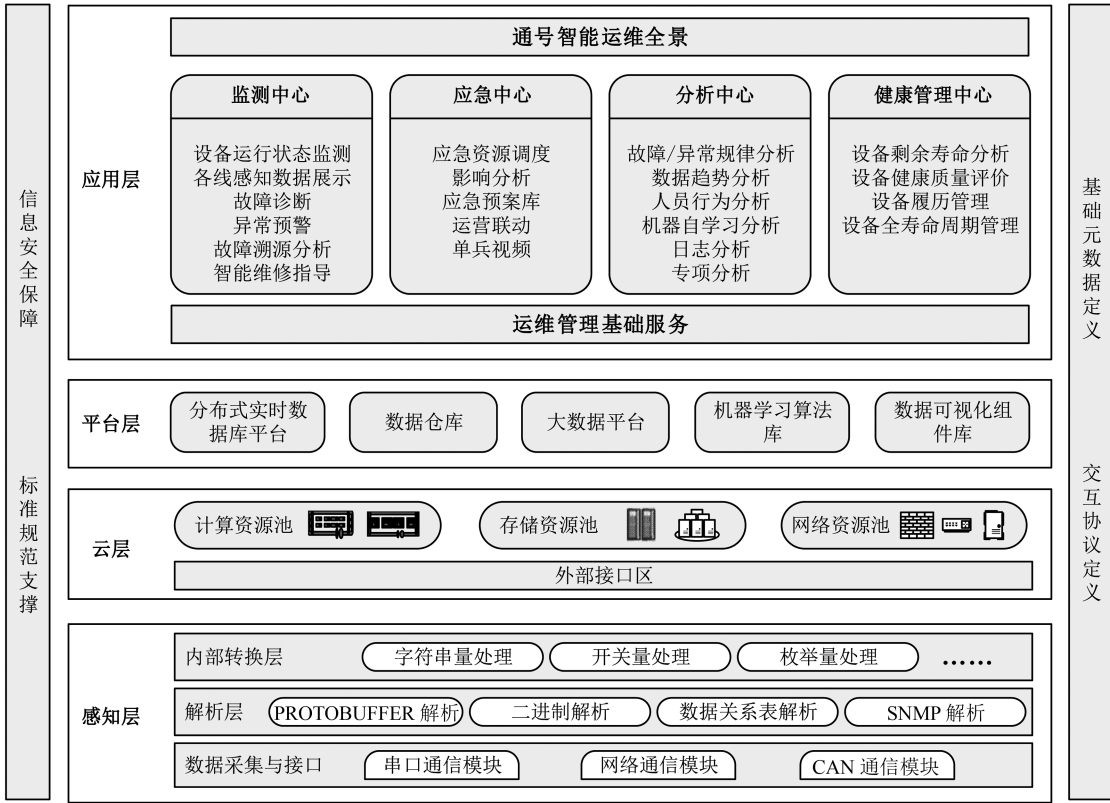


图 2 通号运维系统的技术实现方案架构

2.2.1 感知层

感知层内部采用分层的结构,其包含数据采集与接口层、解析层、内部转换层。

数据采集与接口层采用进程分离的设计方式,针对网络、串口及 CAN(控制器局域网)等常用的通信方式,采用模块化的设计方法进行封装。所有采用上述通信方式的接口均可复用该通信基础模块。其中外部接口业务模块包括通信模块、配置模块、

日志模块及基础类库等,面向道岔转辙机、CBTC 系统、计轴日志、电源、环境温湿度、信息网络等设备提供接口。每个接口应用仅对应唯一的数据采集与接口进程,从而实现接口的进程分离,进而获得基础通信框架与协议解析部分的分离。接口开发工作主要是实现接口协议的解析。

解析层负责提供各种方式的协议解析基本模块(如二进制解析模块、数据关系表解析模块、

SNMP 解析模块等),主要采用通用模块脚本化解析和特殊模式自定义解析共同实现。

内部转换层主要负责将解析后的数据转换成内部标准数据格式。其主要工作内容包括字符串处理、开关量处理及枚举量处理等。

### 2.2.2 云层

云层通过在线网中心构建基础平台资源、计算资源和存储资源,实现设备资源的自动化配置和部署,来满足上层应用的要求。云层的基础设施构建应无关于线网上层应用的实现,并具备横向扩展能力,用于支持其对线路扩展、业务扩展及数据量扩展的要求。

此外,云层还在外部接口区设置了网络隔离设备,以对接外部管理系统及移动终端等。

### 2.2.3 平台层

平台层在云层的基础上,采用通用化的平台技术,实现与应用无关的软件平台化构建,包括了基础数据存储平台、大数据平台、机器学习算法库、数据可视化组件库等平台资源。

### 2.2.4 应用层

应用层基于线网云层存储的海量数据信息,借助于平台层的成熟技术手段,实现跨线路、跨专业的数据综合展示、分析及运维应用等功能,为线路设备维护提供更超前的预告及更专业的指导。

此外,通号运维系统技术架构的实现基于信息安全保障、标准规范支撑以及基础元数据定义、交互协议定义等的支撑。系统网络架构以信息系统安全等级保护相关标准为依据、参考工控系统安全防护标准和指南,建立基于等级保护的网络安全、物理安全、应用安全、主机安全及数据安全的综合安全防御体系。根据城市轨道交通专业技术标准、设计规范以及国际电气与电子工程师协会(IEEE)、电子工业协会(EIA)等通用标准规范,构建适应城市轨道交通线网级通信信号设备监测与运维管理的架构体系。通过基础元数据定义、交互协议定义,统一数据描述方法与描述语言,标准化数据协议,建立可复用资源库,其通过系统设计,能适应多种跨专业设施设备,从而实现数据融合、资源共享。

## 2.3 通号运维系统的业务功能

### 2.3.1 在线监测

在线监测功能负责完成全线网系统、设备的实时运行状态监测,以及图形可视化概览和关键信息展示。通过对各类设备进行长期的、深入的研究,

综合评估监测需求、技术可行性,可总结出相应的在线监测关键参数;通过物联网技术、安全保障技术及智能识别技术来实现安全、有效、实时的感知监测。在线监测功能业务包括设备运行状态监测、各线路感知数据展示、智能诊断、故障及异常预测预警、故障溯源分析、智能维修指导等。

### 2.3.2 应急联动

应急联动功能负责组织高效的抢修,实时对故障定位,合理调度备品、物资、值班人员及应急人员,以快速克服故障、避免对运营造成影响。故障诊断模块可智能定位故障处所及诊断故障原因,并提供维修指导建议。影响分析模块可智能预测故障对列车运营的影响范围,推动运维联动。应急联动功能业务包括应急资源调度、故障定位、影响分析、应急预案库、运营联动及单兵视频等。

### 2.3.3 智能分析

智能分析功能负责基于大数据及云计算技术,实现设备运行及维护历史数据的深度挖掘与分析,并提供具有历史规律价值的指导分析结果,为后续的维护维修决策提供支持。应急联动功能的业务包括设备故障综合分析、故障/异常规律分析、数据趋势分析、人员行为分析、机器自学习分析、日志分析、专项分析等决策分析。

### 2.3.4 健康管理

健康管理功能负责实现对全线网通信信号设备的健康度、剩余寿命及承载容量的智能分析。设备健康度是实现设备状态修及其辅助维修决策的重要指标,其算法各维度信息包括设备当前及近期的监测参数的劣化趋势、设备设计寿命、设备运用时长或频次、历史故障异常表现、同批次设备故障异常表现、同型号设备故障异常表现、设备工作环境、设备冗余度、设备重要度等。健康管理功能业务包括设备剩余寿命分析、健康质量评价、设备履历管理及设备全寿命周期管理等。

## 2.4 通号运维系统的关键技术

近年来,物联网、大数据、云计算、人工智能等新一代信息技术快速发展,分别从数据采集与在线监测、数据分发和快速访问、主动预警、业务系统集成等方面,为设备全寿命周期健康管理提供了技术支持。本研究面向超大城市轨道交通线网常态化、高强度持续运营的行业重大需求,围绕通信信号专业设备全寿命周期安全性和可用度的持续保障,综合运用物联网、大数据、人工智能等先进技术,构建

通号运维系统。

#### 2.4.1 多源融合感知技术

通号设备特别是列车控制设备(如计算机联锁、信号安全继电器、车地无线通信等设备),数据采集安全隔离要求高,工程实施限制多,室内外分布广,采样尺度复杂多样,存在突出的采样困难。

多源融合感知技术通过融合光纤、视频、无线、激光及气敏等多源感知技术,实现了通号系统的可信、精确、全覆盖感知;实现了面向列车控制核心安全设备的非侵入式声、光、电及信息流等感知,以保障感知的安全性;实现了可智能自识别关键场景、自切换采样模式的综合智能感知系统。

#### 2.4.2 多引擎融合预警技术

转辙机、轨道电路及无线通信等通号设备的运行场景复杂、异常样本稀少、缺乏稳态特征,存在诊断难、预警难的突出问题。此外,由于感知信息多样化,传统的面向单一类别的波形分析技术已无法满足实时预警分析及诊断需求。

多引擎融合预警技术通过波形分析、推理分析、故障树分析等多种引擎混合驱动,同时引入城市轨道交通专业知识图谱,结合机器学习技术,实现了数据与图谱的动态结合,能满足复杂查询、关联分析及根因追踪等场景需求。

#### 2.4.3 运维多专业融合协同技术

通号系统各设备数据(如道岔缺口视频、计轴日志、继电器开关量、传输网络数据等)存在显著的异构性,除了数字量、符号等结构化数据,还包含大量的文本、图片、报表、图像和音频等非结构化数据。其数据集成面临实时性和安全性难题。

运维多专业融合协同技术通过各专业系统异构数据的归一、存储和解析方法,提出了分布式实时消息总线方法,可形成具有信息安全保障的大数据集成平台,使得多维数据智能分析及对专业系统结合部数据进行智能挖掘成为可能。

#### 2.4.4 主动维修决策技术

通号设备(如区域控制器、视频监控设备等)劣化机理复杂,其维修决策严重依赖人工经验,往往存在过度维修和欠维修。

基于设备全生命周期的质量监控和评估,主动维修决策技术可实现智能预测并推荐设备的检修周期和使用寿命;根据设备的真实质量水平,结合报警文本信息、故障视频、电气特性曲线、电路原理图、维修流程指南、维修历史记录等多维信息,主动

维修决策技术能动态智能地提出设备维护和维修计划,辅助实现主动维护决策,在实现设备高度可靠性的同时,实现维护保障工作的提质增效。

### 3 结语

本文所介绍的城市轨道交通通信信号专业智能运维系统已在上海地铁通信信号智能运维平台得以应用实践。该平台于2017年建成投用,经过第一阶段线路改造及龙阳路地铁基地通信信号智能运维线网中心建设,已完成道岔转辙机、通信信号电源、CBTC系统、计轴系统、设备环境等关键系统接入,综合应用了多源融合感知、多引擎融合预警、运维多专业融合协同、主动维修决策等关键技术。获取初步成效如下:通过设备集成化监测、故障快速决策及故障预警分析,实现平均故障接手时间、维修响应时间、故障修复时间等大幅减少,降低了劳动强度、提升了维护效率;通过设备质量评价、设备健康度分析,进行维修策略调整,促进维护维修模式从故障修、定时修向状态修转变,现已实现上海轨道交通12、13、16、17号线状态修试点,降低系统全寿命维护成本;通过智能诊断和大数据分析,指导现场排查原因及跨专业分析,实现应急能力和运行质量提升;通过设备资产及技术管理、设备全寿命周期管理等,实现综合性维护管理能力提升。它为城市轨道交通通信信号系统设备网络化运维提供了全面的数据支持、主动的防御手段,以及一体化的健康管理。

### 参考文献

- [1] 许华阳,李润锦.城市轨道交通信号系统在线监测系统信息集成化平台方案研究[J].城市轨道交通研究,2019(9):180.
- [2] 中国政府网.中共中央、国务院印发《交通强国建设纲要》[OL].2019-09-19[2019-09-19].[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).
- [3] 杜时勇.基于大数据的城轨信号系统线网智能运维平台研究[J].都市快轨交通,2019(3):13.
- [4] 张黎璋.东莞地铁设备智能运维系统分析[J].城市轨道交通研究,2019(9):160.
- [5] 林刚.基于大数据云计算的铁路智能运维系统技术研究[J].铁道通信信号,2019(5):31.
- [6] 杨文轩.基于大数据的城轨信号系统健康维护平台研究[D].北京:北京交通大学,2016.
- [7] 王庆锋,杨剑锋,刘文彬等.过程工业设备维修智能决策系统的开发与应用[J].机械工程学报,2010(24):168.

(收稿日期:2019-11-27)