

上海地铁工务专业设施智能运维系统

周 亮

(上海地铁维护保障有限公司,200070,上海//高级工程师)

摘 要 以上海地铁工务专业设施智能运维系统为研究对象,介绍了该系统的架构,并详细描述在线监测及大型装备离线检测在轨道及桥隧结构设施运维上的应用情况,进一步分析了数据管理系统及图像识别等新技术对于设施状态数据管理及规律特点挖掘的作用。上海地铁工务专业智能运维系统使工务专业设施安全状态的管控水平及效率得到了有效提升。

关键词 上海地铁;工务专业设施;智能运维系统;在线监测

中图分类号 U29-39

DOI:10.16037/j.1007-869x.2020.08.006

Intelligent Operation and Maintenance System of Shanghai Metro Civil Engineering Facilities

ZHOU Liang

Abstract With the operation and maintenance system of Shanghai metro civil engineering facilities as the research background, the structure of the system is introduced, the application of on-line monitoring and large-scale equipment off-line detection in the operation and maintenance of track, bridge, tunnel structure and facilities are elaborated in detail, the roles of new technologies such as data management system and image recognition in facility status data management, in rules and characteristics mining are further analyzed. The intelligent operation and maintenance system of Shanghai metro civil engineering facilities has improved the level and efficiency of safety status management and control.

Key words Shanghai metro; civil engineering facilities; intelligent operation and maintenance system; on-line monitoring

Author's address Shanghai Rail Transit Maintenance Support Co., Ltd., 200070, Shanghai, China

截至 2019 年底,上海地铁网络运营里程已达 705 km,位居世界第一。上海地铁工务专业设施规模庞大,其设备检修工作极其繁重。上海地铁工务专业设施检测以常规人工方式为主,难以高效精准

地管控设施安全状态。地铁工务专业设施智能运维系统(以下简为“智能运维系统”)引进了大型装备进行离线检测,实施部分在线监测,能有效提高设施状态检测效率。此外,智能运维系统还借助数据管理系统建设及图像识别等新手段应用,提高了设施状态管理及分析水平。

1 智能运维系统的架构

智能运维系统架构如图 1 所示。通过加强采集层、构建数据层、做好分析层及加强应用层等措施,智能运维系统的工作效率得到提高。具体措施如下:

- 1) 加强数据采集层。提升和完善离线检测和在线监测手段,增加离线及在线监测业务覆盖度,降低人工检测方式占比。
- 2) 构建数据管理层。集成轨道及桥隧设施的状态信息数据,实现状态参数的不同维度统计和可视化展示,对设备或结构病害实现关联分析,为后续分析层建立基础。
- 3) 基于数据管理层,利用包括图像识别在内的

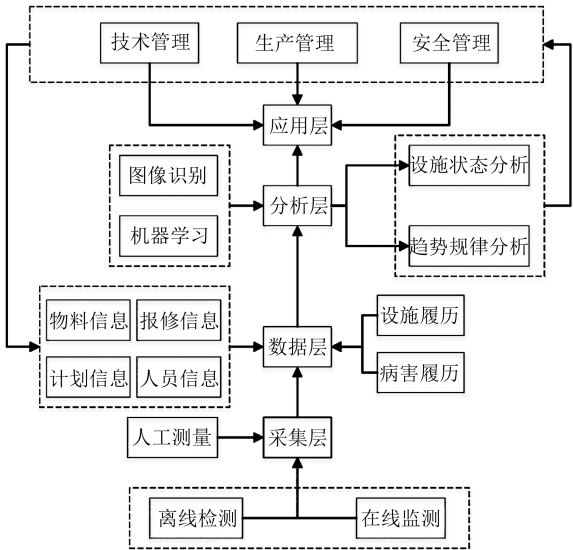


图 1 智能运维系统架构示意图

各类人工智能等手段,做好分析层,掌握设施变化规律及特点,挖掘设施在运营的期发展趋势,为科学检修方案提供依据。

4) 依据分析层结果,有针对性地开展生产管理、技术管理以及安全管理工作,科学合理实施工务设施检修方案,实现各类生产资源的高效整合利用。

2 智能运维系统的关键技术

2.1 离线检测

与人工检测相比,智能运维系统采用各类装备对工务设施进行高效的离线检测。其检测结果相对客观,可替代或补充传统低效的人工检测方式。截至目前,工务专业离线检测主要包括 4 种装备,如表 1 所示。

表 1 工务专业离线检测装备种类及检测内容		
装备种类	主要检测内容	其与人工检测效率之比
轨检车	钢轨几何形位及磨耗	50
探伤车	钢轨伤损	30
线阵相机	隧道表观病害	12
三维激光扫描仪	隧道断面变形及表观病害	10

由表 1 可见,装备离线检测的效率优势明显,其中轨检车离线检测与人工效率比达到 50 倍。

2.1.1 轨道检查车

上海地铁轨道检查车采用 C 型车车辆限界,依靠内燃机车牵引作业,其检测速度平均达到 50 km/h。轨道检查车配置有轨道几何测量设备、钢轨全断面测量设备、自动定位设备、加速度测量设备及波磨测量设备等。这些设备可检测的内容如表 2 所示。

表 2 轨道检查车各配置设备的检测内容	
配置设备名称	检测内容
轨道几何测量	轨距、轨向、高低、水平和超高、曲线半径、三角坑
钢轨全断面测量	钢轨断面、磨耗、轨底坡
加速度测量	轴箱垂向振动加速度、水平振动加速度
波磨测量	钢轨波磨的波峰、波谷及波长

其中,波磨测量设备将不等弦原理与非接触式激光传感器相结合,进行波磨测量。

2.1.2 钢轨探伤车

上海地铁的钢轨探伤车常与轨道检查车一同编组上线检测。钢轨探伤车配置了探伤设备、耦合水设备及信号分析处理设备,具有自动对中功能和轨面视频功能。钢轨探伤车所配置设备的检测内容如表 3 所示。

表 3 钢轨探伤车各配置设备的检测内容		
配置设备名称	检测内容或作用	备注
探伤设备	横向裂纹、竖向劈裂、纵向水平裂纹、螺栓孔裂纹、焊接焊缝接头内损伤	可对焊接的无缝钢轨、有缝钢轨、涂油地段钢轨等进行探测
耦合水设备	在作业中将水喷在钢轨表面作为耦合剂,减少杂波干扰,来保证探伤顺利进行	由耦合剂箱、水泵、防冻液箱及管路等组成
信号分析处理设备	具有多通道(至少 24 通道),同时处理不同信号的能力和波形回放能力	

2.1.3 隧道断面图像在线检测设备

隧道断面图像在线检测设备由图像采集模块、光源模块以及后台图像分析模块组成,依附于轨道检查车进行高速采集。其中,图像采集模块配置了 6 台 2 k 高清线阵相机,光源模块配置了 13 组补光灯。

在随着轨道检查车运行的过程中,图像采集模块会不间断地对隧道断面轮廓进行连续扫描,并存储图像。其隧道结构线阵相机可覆盖到除道床面以外的大部分断面区域,约 280°范围。隧道断面图像在线检测设备可针对隧道结构渗漏水、缺损等表观病害进行扫描检测,并检查隧道内设施设备。

2.1.4 三维激光扫描仪

三维激光扫描仪利用小型电动轨行装置搭载激光扫描设备实现移动扫描,可获取扫描对象的三维坐标及灰度图像,具有非接触测量、高分辨率、高精度、高效率等优点。其扫描结果数字化,信息全面客观。

三维激光扫描仪的检测速度可达 5 km/h。检测过程具有匀速、低振动、小型化等优点。其获取的隧道变形精度小于 3 mm。此外,由激光扫描点反射率而形成的灰度图影像分辨率可达 1 mm。

2.2 在线监测

由于工务专业部分设施的状态变化具有实时性,且受环境影响明显,故智能运维系统需进行在线监测,以实时监控其状态或参数的变化。

2.2.1 轨道设施的在线监测

轨道设施的在线监测项目主要为浮置板、道岔等关键部件,对断轨等异常病害进行在线监测。具体内容如表 4 所示。

表 4 轨道设施的在线监测项目及内容	
在线监测项目	监测内容
浮置板在线监测	环境敏感区段的振动、噪声、位移等
道岔状态在线监测	基本轨爬行、尖轨振动、轨距等
钢轨在线监测	断轨

1) 浮置板在线监测。为了保障列车行车安全,

智能运维系统需选择关键断面进行浮置板工作状态的在线监测,并评估钢弹簧浮置板道床的减振降噪效果。监测物理量包括浮置板竖向和水平向位移、隔振器弹簧的传递力、钢轨应变、桥面及道床板的振动和噪声。

2) 道岔在线监测。道岔在线监测设备主要包括高精度激光位移传感器及数据传输模块,能针对道岔关键部位动作状态进行实时监控,以便于提前判断道岔故障类型及读取故障过程数据,为抢修争取时间。道岔在线监测设备布置如图 2 所示。此外,在列车经过时的动态测量数据,可用于道岔精调,以保证道岔服役状态良好。

3) 钢轨在线监测。钢轨断轨实时监测设备的布置如图 3 所示。根据报警精度,整个监测区间被划分为若干子监测区段。智能运维系统通过连接钢

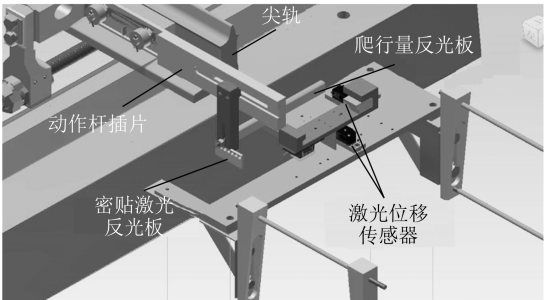


图 2 道岔在线监测设备布置示意图

轨收发器的 PWM(脉宽调制)控制电路产生 500~1 000 Hz 的信号并输送,依据收发器采集信号减弱(突变)的原理来监测区间是否断轨,并判断断轨位置。钢轨在线监测能及时发现钢轨断裂的状态,具有监测的钢轨长度可配置、误报率极低、施工方便、安装无需破坏现有设备和不影响先有设备使用等特点。

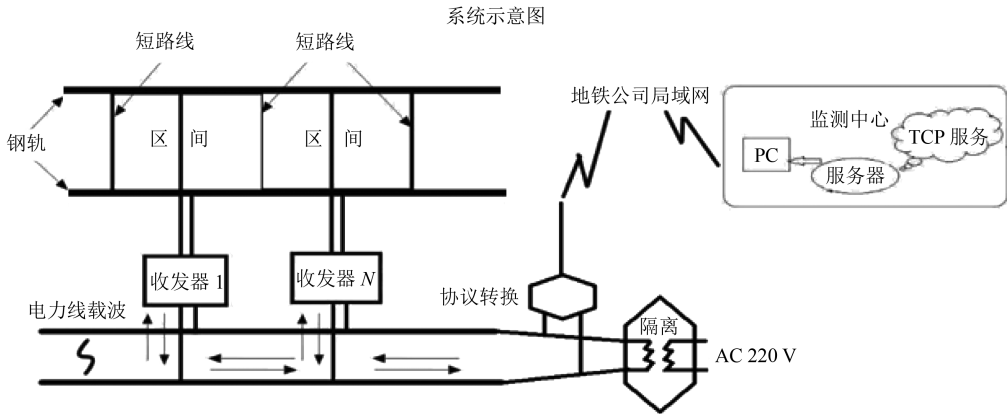


图 3 钢轨在线监测示意

2.2.2 桥隧设施的在线监测

桥隧设施在线监测主要包括隧道自动化监测、桥梁健康系数在线监测及桥梁防撞设施在线监测。具体监测内容如表 5 所示。

表 5 桥隧设施在线监测项目及内容

在线监测项目	监测内容	备注
隧道自动化监测	断面收敛、差异沉降等	针对外部施工影响
桥梁实时健康监测	桥梁状态监测	
桥梁防撞设施在线监测	桥梁风险区段监控	

1) 隧道自动化监测。当隧道结构周边存在施工作业时,需根据施工规模及类型,相应实施影响范围内的结构自动化监测,以实时监控施工作业对隧道结构的影响。监测内容通常包括断面收敛及纵向差异沉降,一般使用激光测距仪、精密水准仪及电子水平尺等监测设备。

2) 桥梁实时健康监测。针对线网内钢管拱桥、

斜拉桥及大跨度连续梁等桥型,实施实时健康监测,其监测内容如表 6 所示。以斜拉桥为例,根据其结构特点,采用位移计、激光挠度仪及加速度传感器等设备,对其斜拉索索力、梁体支座处纵向位移及主跨跨中的下挠度实施监测,如图 4 所示。

表 6 桥梁实时健康监测内容

桥梁类型	监测项目
钢管拱桥	吊杆力、跨中下挠、梁体纵向位移等
斜拉桥	索力、跨中下挠、梁体纵向位移等
大跨度连续梁	跨中下挠、梁体纵向位移等

3) 防撞设施的在线监测。针对线网内易受撞击的龙门防撞架等桥梁防撞设施实施在线监测,如图 5 所示。通过北斗卫星导航系统可对桥梁防撞架进行地理位置在线定位。此外,倾斜传感器可实时监测龙门架倾斜情况,并在防撞设施受撞击后及时报警。

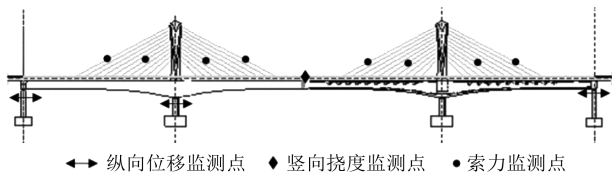


图 4 斜拉桥的实时健康监测示意



图 5 龙门防撞架的在线监测设备实景图

2.3 数据处理、管理及评估

2.3.1 数据处理

依靠传统人工目视判断方式,难以高效准确完成病害识别工作。智能运维系统通过超声探伤或线阵相机扫描手段,可获取大量设施图像信息;利用机器学习新技术手段,可实现对病害的图像智能识别。

以隧道表观病害识别为例,智能运维系统通过机器学习技术,不断进行实际样本的识别训练,目前隧道渗漏水识别率可已达 90%。

2.3.2 数据管理

智能运维系统通过离线检测及在线监测收集了海量数据。其数据管理子系统可实现对设施状态信息的高效管理。其中线路轨道病害的统计结果如图 6 所示。数据管理系统可实现对钢轨伤损及几何超限病害相关数据的高效存储、查询及统计。

通过数据管理子系统进行状态信息管理,还能后续状态评估及趋势分析等工作提供基础。



图 6 数据管理子系统的轨道病害统计界面

2.3.3 状态评估

在数据高效管理的基础上,智能运维系统集成了设施基础信息、状态数据、病害信息及维修信息,能实现多维度统计分析,可提炼和设计评估指标,进而实现对设施的状态评估。

以隧道结构为例,通过综合隧道地层信息、周边施工信息、违规作业信息、病害信息及维修信息等,可实现针对隧道最小单元(管片)的基本评价。

3 结语

以人工为主的传统检修模式已难以适应上海地铁工务专业的超大规模设施维护需求。智能运维体系明显提升了关键设施的安全状态管控能力,能对海量的检测监测信息进行高效管理和利用,为后续实现设施状态长期趋势分析、实现设施安全状态智能预警提供了基础。

参考文献

[1] 王生华,殷培强. 上海地铁智能运维系统建设情况[J]. 城市轨道交通,2019(5): 17.

[2] 刘纯洁,王大庆. 超大规模城市轨道交通线网全寿命周期健康管理研究[J]. 城市轨道交通研究,2019(5): 7.

[3] 上海申通地铁集团有限公司. 协会推动行业发展又一国家示范工程项目 上海轨道交通车辆智能运维系统[J]. 城市轨道交通,2019(5): 10.

(收稿日期:2020-04-15)

(上接第 14 页)

[3] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 城市轨道交通结构安全保护技术规范:CJJ/T 202—2013[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2013.

[4] 中华人民共和国交通运输部. 城市轨道交通运营管理规定:交通运输部令[2018]第 8 号[S]. 北京:中华人民共和国交通运输部,2018.

[5] 成都市人民代表大会常务委员会. 成都市城市轨道交通管理条例:成人发[2017]第 6 号[S]. 成都:成都市人民代表大会常务委员会,2017.

[6] 成都市住房和城乡建设委员会. 成都市城市轨道交通保护区

内项目建设管理实施细则(试行):成建委[2018]第 852 号[S]. 成都:成都市住房和城乡建设委员会,2018.

[7] 成都市住房和城乡建设委员会. 成都市城市轨道交通设施安全保护方案编制导则:成建委[2018]第 842 号[S]. 成都:成都市住房和城乡建设委员会,2018.

[8] 中国城市轨道交通协会. 城市轨道交通前期咨询工作收费指导意见[S]. 北京:中国城市轨道交通协会,2015

[9] 中国国家发展和改革委员会. 工程勘察设计收费管理规定:计价格[2002]第 10 号[S]. 北京:中国物价出版社,2002.

(收稿日期:2020-05-20)