

基于物联网的城市轨道交通机电设备全寿命周期运维管理平台（DLSP-O）建设

宋治国 刘瀚文 钟 敏
中车城市交通规划设计研究院有限公司 江苏 南京 211800

摘要：本文聚焦基于物联网的城市轨道交通机电设备全寿命周期运维管理平台（DLSP-O）建设。先分析城市轨道交通机电设备在规划、建设、运营、更新各阶段的全寿命周期运维管理需求。接着阐述DLSP-O平台的架构设计，涵盖四层总体架构及各层详细设计。介绍了平台关键技术，包括物联网感知、数据传输与安全等多项技术。最后说明平台实施步骤，从规划调研到运营维护，为平台建设与应用提供全面指导。

关键词：物联网；城市轨道交通；机电设备；全寿命周期管理；智能运维

1 城市轨道交通机电设备全寿命周期运维管理需求分析

城市轨道交通机电设备全寿命周期运维管理，对保障轨道交通安全、高效运行至关重要，有着多方面需求。在设备规划与设计阶段，需充分考虑运维的便捷性与经济性。设计应便于后期设备的巡检、维修与更换，合理规划设备布局，预留足够的操作空间；选用质量可靠、维护成本低的材料与部件，降低全寿命周期内的运维总成本。建设安装阶段，要严格把控施工质量。确保设备安装符合规范，避免因安装不当引发后续运行故障；同时，建立完善的设备档案，详细记录设备信息、安装过程及调试数据，为后续运维提供基础资料。运营阶段，需实现实时监测与精准诊断。运用先进的传感器和监测技术，对设备运行状态进行实时监控，及时发现潜在故障隐患；借助大数据分析和智能诊断系统，准确判断故障类型和位置，提高维修效率^[1]。设备更新改造阶段，要依据设备实际运行状况和性能评估结果，科学制定更新改造计划。在保证安全的前提下，合理平衡设备更新成本与效益，确保设备始终处于良好的运行状态，延长设备使用寿命，提升城市轨道交通系统的整体运营效能。

2 基于物联网的DLSP-O平台架构设计

2.1 平台总体架构

DLSP-O平台基于物联网技术，采用“感知层-网络层-平台层-应用层”四层架构，推动城市轨道交通机电设备运维管理数字化、智能化升级。感知层是数据采集终端，获取设备运行与环境参数等基础数据；网络层负责数据传输，保障数据高效安全送达平台层；平台层作为核心数据处理中心，完成数据存储、整合、分析与挖

掘；应用层面向实际运维场景，提供多样功能模块满足不同需求。架构设计遵循兼容性原则，适配不同品牌型号设备及现有运维系统；秉持可扩展性理念，预留接口支持升级拓展；坚守安全性准则，构建多层防护体系保障安全。四层架构有机融合，实现从数据采集到决策执行的闭环管理，有效提升运维管理效率与智能化水平。

2.2 感知层设计

感知层是DLSP-O平台的数据采集基础，采用多元感知设备部署方案，全面精准监测机电设备运行状态。针对不同设备特性选型适配感知设备，如供电系统用电压、电流、温度传感器；通风空调系统用风速、温湿度、压力传感器；电梯与自动扶梯系统用振动、位移、转速传感器；消防系统用烟感、温感、气体传感器。感知设备精度高，采样频率1-10Hz，确保数据时效性；低功耗设计，支持双模式供电；有自诊断功能，便于更换故障传感器。同时配备边缘计算模块，对采集数据初步过滤、清洗与格式转换，减轻无效数据传输压力。

2.3 网络层设计

网络层是DLSP-O平台的数据传输通道，采用“有线+无线”融合模式构建稳定高效安全网络。有线传输用工业以太网与光纤通信，工业以太网支持1000Mbps速率，满足实时监测与视频数据传输；光纤通信抗干扰强、传输远，用于区间设备与控制中心长距离传输。无线传输用4G/5G、LoRa、WiFi技术，4G/5G保障移动运维终端与平台实时通信；LoRa用于低功耗传感器，覆盖1-3公里；WiFi用于车站内部运维终端短距离交互。网络层部署防火墙等安全模块，对数据端到端加密；采用负载均衡技术优化流量；建立冗余链路，主链路故障自动切换，保障传输连续性。

2.4 平台层设计

平台层是DLSP-O平台核心处理中枢，采用“云-边-端”协同架构。云端部署分布式云服务器集群，用大数据技术框架构建大容量存储中心，支持PB级数据存储与检索；通过数据中台整合数据，消除数据孤岛，实现多专业数据互联互通。边缘节点部署在车站与区间机房，用边缘计算服务器本地化处理实时数据，快速响应即时需求，降低云端压力与传输延迟。终端计算单元集成于运维终端与感知设备，实现本地协同。平台层还部署人工智能算法引擎，集成故障诊断等核心算法，提供决策建议；配备数据备份与恢复系统，采用异地多活备份策略保障数据安全。

2.5 应用层设计

应用层作为DLSP-O平台的用户交互界面，围绕运维管理全流程需求，设计多元化功能模块，满足不同岗位运维人员的使用需求。设备状态监测模块实时展示各专业设备运行参数、状态信息，采用可视化图表呈现数据变化趋势，当参数超出阈值时自动触发声光报警，并推送报警信息至相关运维人员终端。故障管理模块实现故障上报、诊断、派单、处置、归档的全流程闭环管理，结合人工智能算法自动识别故障类型与故障位置，提供故障处置方案参考，记录故障处置过程形成故障案例库^[2]。维护管理模块支持维护计划制定、下发、执行与考核，根据设备运行状态与寿命预测数据生成个性化维护计划，自动提醒运维人员开展维护工作，记录维护内容形成维护档案。设备全寿命周期管理模块整合设备从采购、安装、运行到报废的全流程数据，生成设备全寿命周期档案，支持设备性能评估与选型优化。另外，应用层还设计统计分析、报表生成、移动运维等辅助模块，支持运维数据多维度分析与定制化报表输出，移动运维模块适配手机、平板等移动终端，实现运维工作随时随地开展。

3 DLSP-O 平台关键技术

3.1 物联网感知技术

物联网感知技术是DLSP-O平台精准监测设备状态的核心支撑，融合多种感知技术与设备，提升数据采集的全面性与准确性。利用射频识别技术对设备、备件唯一标识管理，标签存储关键数据，运维人员用手持终端可快速读取，实现全流程溯源。无线传感器网络技术将分散传感器组成网络，自组织网络拓扑保障稳定性，支持节点动态增减。机器视觉技术用于电梯运行、轨道设备外观检测等场景，高清摄像头采集数据，结合算法识别外观缺陷等问题。红外传感用于设备温度异常监测，实现远距离、非接触测量；超声波传感用于管道泄漏等检

测，提升隐蔽故障检测能力。这些技术融合，全方位、多维度感知机电设备运行状态。

3.2 数据传输与安全技术

数据传输与安全技术是DLSP-O平台稳定运行的关键，构建“传输高效化、安全立体化”体系。数据传输采用第五代移动通信技术与工业以太网融合方案，前者支持高带宽、低延迟传输，延迟控制在10毫秒内，满足实时控制与高清视频传输需求；后者采用环网拓扑，提升可靠性，用虚拟局域网隔离传输不同专业数据。数据安全技术从采集到使用全流程防护：采集阶段用设备身份认证；传输阶段用传输层安全协议与虚拟专用网络加密；存储阶段加密存储敏感数据并控制访问权限；使用阶段部署数据脱敏技术。同时，建立安全审计系统，全程记录数据操作行为，便于追溯安全事件。

3.3 大数据分析与挖掘技术

大数据分析与挖掘技术是DLSP-O平台智能化运维决策的核心动力，深度分析海量运维数据挖掘价值。采用数据清洗与融合技术，对原始数据去噪、补全、去重，融合多源数据构建运维数据模型。运用机器学习算法构建故障诊断模型，基于历史数据训练，精准识别定位故障，诊断准确率超95%；用时间序列分析算法预测设备运行参数趋势，结合寿命曲线模型预测剩余寿命，支撑预防性维护。通过关联规则挖掘技术分析参数与故障等关联关系，找出影响稳定性的关键因素，为维护优化与选型改进提供依据^[3]。此外，用数据可视化技术以图表等形式呈现分析结果，提升解读效率，辅助运维人员决策。

3.4 虚拟现实与增强现实技术

虚拟现实与增强现实技术为DLSP-O平台提供沉浸式运维管理与培训手段。虚拟现实技术构建机电设备三维仿真模型，还原内部结构、安装布局与运行状态。运维人员戴虚拟现实头盔进入虚拟场景，可进行设备拆解、组装模拟训练，熟悉构造与流程，避免损坏设备；还能开展故障模拟演练，训练故障诊断与处置能力，提升应急效率。增强现实技术通过移动终端或智能眼镜将虚拟信息与现实场景叠加，运维人员现场作业时，终端实时显示运行参数、维护手册等信息，辅助精准维护与故障修复；设备巡检时，自动识别部件，叠加显示状态与历史维护信息，助巡检人员快速发现潜在问题。二者应用实现运维培训与现场作业数字化升级，降低成本、提升质量。

4 DLSP-O 平台实施步骤

4.1 平台规划与需求调研

平台规划与需求调研是DLSP-O平台实施的基础，

用于明确建设目标、范围与功能需求，为后续开发提供依据。组建由运维管理人员、技术专家和开发人员构成的调研团队，通过现场调研、座谈会、问卷调查等多种方式开展工作。现场调研深入车站、区间和控制中心，考察设备运行、运维流程及数据采集情况，梳理出故障处置响应慢、维护计划缺乏针对性等痛点。组织各专业运维人员座谈，收集设备状态实时监测、故障自动报警等功能需求；问卷调查则收集一线人员对平台操作便捷性、数据展示形式的建议。基于调研结果进行需求分析，形成需求规格说明书，明确功能模块、性能指标和接口要求。结合城市轨道交通发展规划制定建设规划，明确各阶段目标、时间节点和资源投入，编制可行性研究报告，经审批后启动后续工作。

4.2 平台开发与测试

平台开发与测试依据需求规格说明书进行平台构建与质量验证。采用敏捷开发模式，将开发划分为多个迭代周期，每个周期完成部分功能模块开发与测试。开发团队按架构设计方案开展工作：感知层完成传感器选型、开发与调试，适配机电设备；网络层制定传输协议、部署调试网络设备；平台层部署云服务器集群、搭建数据中台和开发算法引擎；应用层基于用户需求开发功能模块，设计操作界面。开发中建立每日例会与阶段评审机制，及时解决问题。测试同步进行，采用单元、集成、系统、用户验收等多阶段测试。单元测试验证单个模块正确性；集成测试检验模块协同能力；系统测试验证整体性能与功能完整性；用户验收测试由运维人员参与，根据反馈修改优化，直至平台达到上线标准。

4.3 平台部署与上线

平台部署与上线实现DLSP-O平台从开发到运营环境的迁移，确保平稳投入使用。制定详细部署方案，明确流程、分工、时间节点和应急预案。部署前完成运营环境准备，包括搭建云服务器集群、配置网络设备、安装调试感知设备等，测试硬件性能，优化软件环境。采用分阶段部署策略，先在试点线路部署，实现设备与平台对接，调试数据采集、传输与展示功能，确保数据实时上传、模块正常运行。试点期间安排技术人员值守，监测状态，收集反馈，解决问题。试点运行1-3个月后，组

织评估，通过后逐步在其他线路推广。上线前开展全员培训，确保运维人员掌握操作方法，发布使用手册和运维管理制度，正式启动平台上线运行。

4.4 平台运营与维护

平台运营与维护保障DLSP-O平台长期稳定运行，提升服务能力。建立专业运营维护团队，分为运营管理组和技术维护组。运营管理组负责日常管理，包括用户权限、数据质量监控和运维流程优化，收集需求，分析数据，为功能优化提供依据；技术维护组负责技术维护，包括设备巡检、故障修复、软件升级和漏洞修复等^[4]。制定常态化维护制度，明确巡检周期、内容和考核标准，技术维护组每日监测，每周巡检服务器和网络设备，每月校准和维护感知设备。建立快速故障响应机制，30分钟内响应，2小时内到达现场处置，重大故障启动应急预案。每季度开展性能评估，根据结果和技术趋势升级优化平台，如引入新算法提升诊断准确率，新增功能模块满足新需求，确保平台适配运维管理发展。

结束语

基于物联网的DLSP-O平台建设，为城市轨道交通机电设备全寿命周期运维管理带来了数字化、智能化变革。通过满足各阶段运维需求、合理架构设计、关键技术支撑以及有序实施步骤，该平台有效提升了运维管理效率与智能化水平。未来，随着技术不断发展，平台需持续升级优化，以更好地适应城市轨道交通发展，保障其安全、高效运行，为行业发展提供坚实的技术保障。

参考文献

- [1]蔡宇晶,高凡,孟宇坤等.城市轨道交通设备智能运维系统设计及关键技术研究[J].铁路计算机应用,2023,32(07):79-83.
- [2]邹东;冯剑冰.数字孪生技术在城市轨道交通供电系统中的应用场景分析[J].城市轨道交通研究,2021,24(03):158-162+165.
- [3]邵小辉.轨道交通机电设备的自动化改造及维护管理[J].电子元器件与信息技术,2021,5(4):133-134+137.
- [4]黄英.信息化在交通机电设备维护管理系统中的应用研究[J].中阿科技论坛(中英阿文),2020(4):70-71+116.