

有轨电车资产全生命周期管理系统设计^{*}

金建飞^{1,2} 徐正良^{1,2} 何利英^{1,2} 赵晓峰³ 刘宏祥³

(1. 上海有轨电车工程技术研究中心, 200125, 上海;

2. 上海市城市建设设计研究总院(集团)有限公司, 200125, 上海;

3. 上海电气自动化设计研究所有限公司, 200023, 上海//第一作者, 高级工程师)

摘要 有轨电车资产全生命周期管理系统是依托部署灵活、拓展方便的微服务架构, 配合高性能协议、大容量消息队列和嵌入式框架等关键技术, 具备重点增强面向多专业的统一的智能化维保功能。其覆盖计划修、故障修和状态修等范围, 打造出计划、工单、库存和物资等基本管理模块, 构建统一的设备数据采集平台。可实现全生命周期的设备台账、RAMS(可靠性、可用性、可维护性和安全性)指标和 LCC(全生命周期成本)指标的收集、分析、计算、存储功能, 并对预测性维护进行了有益尝试。

关键词 有轨电车; 全生命周期; 资产管理系统

中图分类号 F530.67:U482.1

DOI:10.16037/j.1007-869x.2022.09.043

Tram Asset Full Life Cycle Management System Design

JIN Jianfei, XU Zhengliang, HE Liying, ZHAO Xiaofeng, LIU Hongxiang

Abstract Tram asset full life cycle management system is micro service architecture based on flexible deployment and convenient extension, working with key technologies including high performance protocol, high capacity message queue and embedded architecture, multi-profession oriented unified intelligent maintenance functions are emphatically enhanced. It covers preventive/corrective/predictive maintenance, building basic management modules of planning, work sheet, inventory and material, and establishing a unified equipment data acquisition platform. The collection, analysis, calculation, storage functions of full life cycle equipment account, RAMS (reliability, availability, maintainability and safety) index, LCC (life cycle cost) index can be realized, and beneficial attempt is carried out to run predictive maintenance.

Key words tram; full life cycle; asset management system

First-author's address Shanghai Urban Construction Design & Research Institute (Group) Co., Ltd., 200125,

Shanghai, China

当前有轨电车运营调度管理系统主要是设计面向调度人员的运营调度功能。常言道“三分建、七分管”。随着各系统后期维护管理愈发受到重视, 如何升级为面向全生命周期的资产管理系统是设计和运维人员面临的共同课题。

本文探讨的有轨电车资产全生命周期管理系统, 是面向资产密集型企业的解决方案, 它通过信息化手段优化维修任务, 合理安排维修计划、资源及活动, 并以提高资产可利用率、降低运营维护成本、追求设备寿命周期费用最经济和设备效能最高为目标^[1]。

1 系统设计背景及构建原则

近年来, 有轨电车新建项目多以调度管理系统为主体, 集成或互联互通、票务和电力监控等专业, 并与智能交通等外部系统互通, 构建了综合运营调度管理平台, 如深圳、成都、嘉兴等城市。但其仍存在一些问题: ①建设成本较高, 每个弱电系统都有独立硬件和网络设备, 接口多使用点对点通信协议, 信息共享不足, 跨业务联动、应急快速响应能力有待提高; ②建设单位或设计院负责协调各子系统供货商进行接口设计、发货、安装和联调工作, 工作量大; ③同一线路设置多个分立工区, 人力不能充分运用, 导致整体运维效率不高。

这里有必要提出有轨电车资产全生命周期管理系统设计。该系统为有轨电车网络运营管理提供互联互通和大数据平台, 实现子系统的快速联动反应, 可进一步提升整体运营管理性能; 同时将各子系统的运营大数据集中处理和分析, 把有效

^{*} 上海市国际科技合作基金项目(19210730300)

的状态检测数据发送至运维管理系统,以实施有轨电车系统全生命周期的资产管理。在确保安全运营的基础上,集成优化运营管理,可节约人力物力投入,减少运营维护成本,真正实现有轨电车的经济运行。

2020 年 3 月,中国城市轨道交通协会发布的《中国城市轨道交通智慧城轨发展纲要》^[2]提出了有轨电车资产全生命周期管理系统构建的原则:

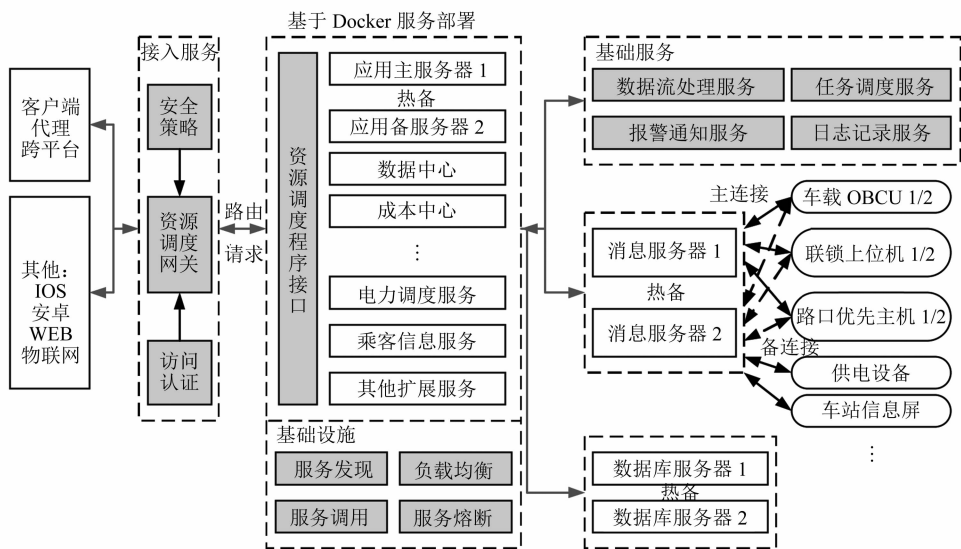
- 1) 统一的硬件和网络平台。构建全线网综合信息平台,处理生产调度和安防管理、信息发布与票务管理、企业管理及办公自动化等业务。所有子系统挂接同一骨干网络,业务间使用网闸隔离。
- 2) 统一的数据平台。采用统一的数据库存储各子系统业务数据和功能结构化数据,通过平台的消息机制分发给不同客户端;基于实时库中不同的业务关键阈值,实现可定制跨业务联动场景服务。
- 3) 统一的操作界面和诊断维护。设计统一的多工种操作界面,根据账号授予不同工作站和不同操控权限。通过综合设备维护界面,进行所有设备的状态监督、指标预警、寿命管理等,引入人工智能

的关联分析,提高故障诊断和预测能力。

2 系统微服务架构

有轨电车资产全生命周期管理系统主要由应用服务器、消息服务器、集群数据库服务器和客户端代理等部件组成。应用服务器执行数据采集和预处理、计划触发响应、工单流转处理和预测判定等。消息服务器是系统对外通信的中转站;集群数据库服务器通过磁盘阵列存储报警、事件、计划、工单和台账,能满足至少一年的容量要求;客户端代理提供人机接口,支持跨平台应用,以及移动端、物联网和云平台的扩展。

为部署的灵活性和后期维护的可扩展性,该系统采用了更强调服务专业化和精细化的微服务架构。有轨电车资产全生命周期管理系统微服务架构如图 1 所示。其主要服务是基于 Docker 容器技术的部署方式,根据项目需求加载更多专业,每类服务均按需使用基础设施和基础服务,协调服务之间的配合关系和运行时序。当客户端代理与服务端建立通信时,在处理安全策略和访问认证后才能通过资源调度网关和资源调度程序接口调用服务^[3]。



注: IOS 为苹果公司开发的移动操作系统; OBCU 为车载控制单元。

图 1 有轨电车资产全生命周期管理系统微服务架构

Fig. 1 Micro service architecture of tram asset full life cycle management system

2.1 高性能协议

应用服务器之间、应用服务器与数据库服务器之间,传输数据量非常大,实时性要求很高,所使用的高性能数据通信协议属于异步事件驱动的网络

应用程序框架,缓冲区功能强大,能提供很多类接口,亦可将接收缓冲区包转换成所需数据格式;而二进制数据格式的 Protobuf 协议编解码工具库,具备更好的传输和组解包效率,可广泛支持人工智

能、区块链和物联网等应用。

2.2 消息队列

作为系统关键部分,应用服务器的任务处理压力很大,所以在与外部子系统通信时增加消息服务器,使用提供统一消息服务的应用层标准高级消息队列协议 AMQP(应用间消息通信的一种协议),是面向消息的中间件设计,其不受客户端/中间件产品、开发语言等限制,支持一对一、一对多、自动分享模式,在降低连接复杂度的同时,能保证通信消息的可靠性^[4]。

2.3 集成框架

为确保列车运行实时监控核心功能的可靠性和安全性,同时兼顾各弱电专业操作和维护功能,采用了嵌入式集成框架。该框架基于开源网页浏览器控件,支持 Windows、Linux、Mac 平台,提供 C、C++、.NET、Python 等多计算机语言接口,实现 HTML5(第5代超文本标记语言)特性,且具备多进程管理功能。

3 系统功能

有轨电车资产全生命周期管理系统在原有运营调度管理模块基础上拓展出丰富的智能化维保功能。

3.1 计划管理

计划管理是维保活动的总纲,包括编制、审核、修改、发布、执行、核验等环节。按工作周期有年、月、周、日计划;按工作性质有生产性、故障修、状态修、欠修返修、配合作业及临时性计划。计划管理以年计划起始,生产主管基于维护管理规程、上一年计划执行情况、新增技术改造等进行编制。完成的年计划经过维保公司内部维保部经理、技术部经理、质安部经理、调度室经理、生产副总各级审批后,由调度室计划员报集团公司计划部审批,通过后作为下一年度计划性指导文件。年计划审批流程见图2。

其中,年计划含年表和月表,内容有计划编码、维修类别、线路、部门、班组、设备、设备类别、专业、位置、作业要求、作业内容、维护方式、供应商编码、检修频次、计划工时(分钟)、合计工时(分钟)、年计工时(分钟)和触发条件等。每一条计划任务编制前,需先创建标准工作,然后针对不同设备和位置进行复制修改;触发条件也是先编制通用触发事件,定义标准工作前置条件,然后在创建具体计划任务时自动关联。

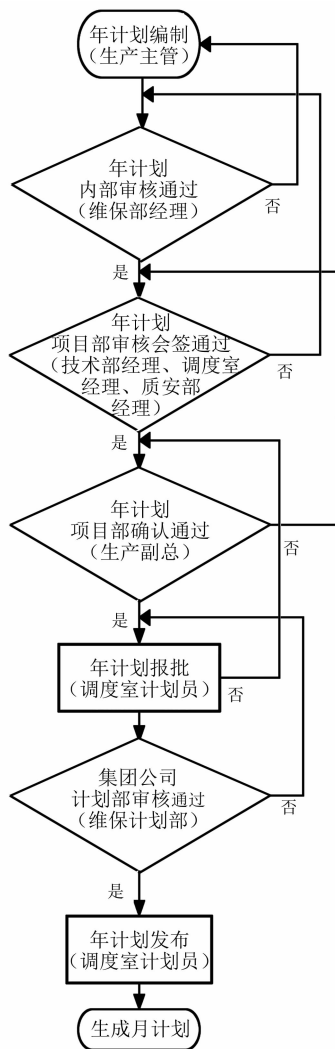


图2 年计划审批流程

Fig. 2 Year plan review process

3.2 工单管理

工单管理是结合预定义工单模板,生成作业、质检工单后派发给班组人员以具体落实工作,相关人员完成工作后回填工单,作为总结记录信息。工单管理流程见图3。工单管理包括模板管理、工单生成、查询、审核、派发、执行和关闭等。工单有生产、维修、质量和其他通用等类型。生产性工单对应生产性计划,属于常规检修作业,具有规程和作业指导书,通过设备类型、作业内容和周期来匹配工单模板自动生成工单;维修性工单对应故障修计划,通过现场提报且已确认的故障报告来人工创建工单,系统罗列出根据故障现象查询的专家库文档作为维修参考;质量工单对应检修完成后的质检计划,是生产性或维修性工单的后继工单,用于评价操作性工单执行效果;其他通用工单泛指非常规性

计划工单,此类计划参考资料需临时导入,同时保留维修记录和过程信息。

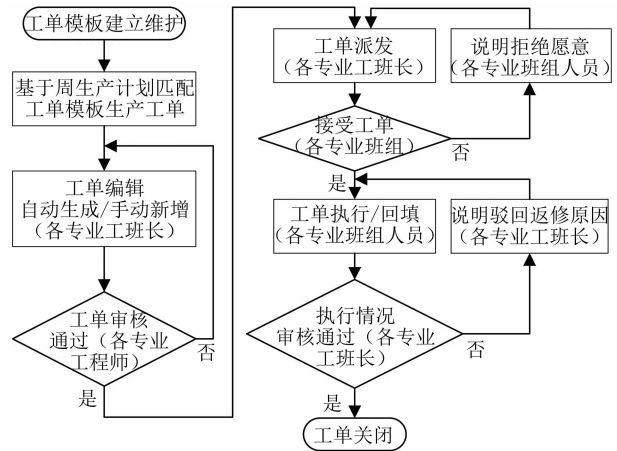


图3 工单管理流程

Fig. 3 Year plan review process

工单模板包括工单号、工单类型、工单状态、设备编码、设备类型、设备位置、作业内容(生产性工单)、作业周期(生产性工单)、故障报告(维修性工单)、所需物料、人员资质要求、所需工具、作业指导书、规程、作业记录单、危险点分析以及防范措施、安全措施及注意事项等。

除上述工单填报和流转外,系统还提供针对现场的工作许可管理,即在工单确认实施后现场开工前,与调度室统一确认施工时间地点、协调配合及是否动车等,以提前发现施工冲突和作业危害。

3.3 库存管理

备品备件库存管理包含基础数据管理、物料收发流程管理、库存盘点及特殊物料管理,以保证物料收、发、用的全程信息跟踪。基础数据主要是定义和维护仓库、物料的基础信息;物料收发流程包括收料、入库、领料、退料、出库、调拨、移库、特殊入库、报废等,以支撑日常维保作业;库存盘点是以仓库为单位,进行存货的核查、查询及库存量欠缺、超限报警提醒等^[5]。

此外还有物料月消耗分析。基于物料出库信息,结合关联工单,将统计结果细化到计划性、非计划、应急抢修、报废等各类消耗,这些与其他计划性消耗汇总整合为完整的物资需求计划。

3.4 物资管理

物资管理是对工器具、劳保用品、办公用品的登记和处置,内容包括所属专业、所属系统、物资名称、物资分类、物资编码、规格型号、单位、供应商、

价格和鉴定周期等。

较重要的工器具检定,包括上一次和下一次检定日期查询、送检和回填。检定日期参考物资基础信息中的检定周期,若检定周期为0,则无需检定。

3.5 设备台账

包括设备基本信息、履历管理、配置管理、RAMS(可靠性、可用性、可维护性和安全性)管理、LCC(全生命周期成本)管理,用于收集设备运行基础数据,统计、分析、计算高阶运维指标,为预测性维护打基础。

1) 设备基本信息是定义和维护设备类型和台账作为智能化维保业务主数据。设备类型包括类型的编码、名称、型号、描述和技术资料(图纸、安装使用手册、维护规程、作业指导书)等。设备台账包括所属专业、系统、设备代码、名称、类型、规格型号、描述、供应商、制造商、出厂序列号、安装位置、上线日期、使用年限和附件等。

2) 设备履历管理包含检修、故障、配置更改、更换等履历。所有履历信息,均对应施工作业数据以涵盖全生命周期。设备履历管理见图4。

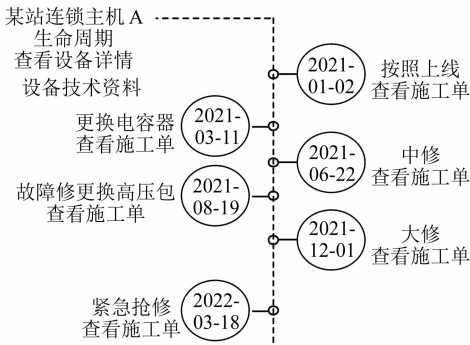


图4 设备履历管理

Fig. 4 Equipment account management

3) 设备配置管理是为各设备配置公里数上限、使用次数上限、寿命到期日期、质保到期日期等,根据配置的上限和规则到期自动提醒。

4) RAMS 管理包括设计指标录入、运维指标计算、设计和运维指标比较分析、技术改造成果统计,使 RAMS 分析形成从设计到运维的闭环管理。

5) LCC 管理主要是建立以有轨电车维保构型为基础的设备全寿命周期成本模型,实现 LCC 指标配置与管理,从现有系统或导入方式获取设备业务、履历与成本信息以计算 LCC 指标,其中关键成本信息至少包括采购、运营、维修、技术升级、管理、报废处置等费用^[6]。

3.6 预测性维护

预测性维护即状态修,是最具智能部分,在实时状态监测基础上,分析报警数据,运用故障模型进行预警和建议,以提高维修效率、降低库存成本。

状态监测以原理图、设备布置图等形式展示设备实时运行状态,以列表形式实时展示设备报警、预警信息,包括设备类型、名称、安装位置、报警描述、报警时间、报警级别、恢复时间和处理状态等。点击设备图元和报警信息,可快捷查看设备基本信息、运行参数和履历等。

故障预测即设备剩余使用寿命预测,综合使用回归法、外推法、相似法建立故障模型,对不同可修部件采用不同模型进行有效预测^[7]。回归法是通过训练准确的回归模型来描述性能状态变化过程与剩余寿命的映射关系,输入性能退化过程参数后得到剩余寿命,有明确使用寿命和退化曲线的部件常使用此模型,如车辆各类机械部件;外推法是利用设备投用后的性能数据重新建立退化曲线并预测后续发展趋势,设备从当前时刻到达预设失效阈值或失效面的时间为剩余寿命,该模型适合无明确寿命或退化曲线的复杂机电设备,如道岔转辙机。相似法是利用两个或以上服役设备与历史样本设备性能退化曲线进行相似度匹配,确定最相似的样本作为参考集,通过数据融合方法预测当前样本剩余寿命,适用于寿命不长的部件,如各类电源系统中的蓄电池。

通过故障预测模型得到各类预警信息后,还需进行忽略和处置,筛选最有效信息,提报故障、制定检修计划、生成并派发作业工单。忽略或处置后的预警归入历史预警信息内容,包括设备类型、名称、安装位置、预警描述、预警时间、预警级别、处置或忽略时间、预警状态等。

通过故障预测模型还可输出维修建议并分析计算结果,按优先级进行性能排队,支持不同维度的筛选查询。当工程师认可维修建议后,允许根据此维修建议新建临时作业计划。对于输出的备件需求预测结果,同样在工程师确认后,合并入年、月物料需求计划。

4 结语

有轨电车资产全生命周期管理系统是对现有运营调度管理系统的再次升级,依托部署灵活、拓展方便的微服务架构,配合高性能协议、大容量消息队列和嵌入式框架等关键技术,重点增强面向多专业的统一的智能化维保功能,覆盖计划修、故障修、状态修等范围,打造出计划、工单、库存和物资

等基本管理模块,构建统一的设备数据平台,以实现全生命周期的设备台账、RAMS 指标、LCC 指标的收集、分析、计算、存储,并进行预测性维护的有益尝试。该系统设计将在实际运用中不断积累数据、修正模型,以帮助有轨电车提高设施设备运维管理水平和公共服务水平。

参考文献

- [1] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 资产管理 管理体系 要求:GB/T 33173—2016[S]. 北京:中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,2016:3.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Asset management—management systems—requirements: GB/T 33173—2016[S]. Beijing: General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China,2016:3.
- [2] 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.
China Association of Metros. Smart urban rail development outline of China urban rail transit [R]. Beijing: China Association of Metros,2020.
- [3] 王琰洁,王孟强,刘泽三,等. 基于微服务的统一应用开发平台应用上云关键技术研究[J]. 电力信息与通信技术,2021(4):64.
WANG Yanjie,WANG Mengqiang,LIU Zesan, et al. Research on key technologies of application cloudification for unified application platform based on microservice[J]. Electric Power Information and Communication Technology,2021(4):64.
- [4] 刘飞扬,叶麟,余翔湛,等. 面向大规模网络的实时高可靠消息分发技术[J]. 智能计算机与应用,2020(1):285.
LIU Feiyang, YE Lin, YU Xiangzhan, et al. A real-time and high reliable message distribution technology for large scale networks [J]. Intelligent Computer and Applications, 2020(1):285.
- [5] 赵刚. 基于“智慧地铁”的城市轨道交通资产管理系统研究[J]. 城市轨道交通研究,2022(1):166.
ZHAO Gang. Research on urban rail transit asset management system based on 'smart metro' [J]. Urban Mass Transit,2022(1):166.
- [6] 杨瑞睿,滕彦. 基于 BIM 的海上风电全生命周期建设管理平台研究[J]. 水电与新能源,2022(4):15.
YANG Ruirui,TENG Yan. Life cycle construction management platform for offshore wind power projects based on BIM technology[J]. Hydropower and New Energy,2022(4):15.
- [7] 国家市场监督管理总局. 智能服务-预测性维护-通用要求:GB/T 40571—2021[S]. 北京:国家市场监督管理总局,2021:7.
State Administration for Market Regulation. Intelligent service—predictive maintenance—general requirements: GB/T 40571—2021[S]. Beijing:State Administration for Market Regulation,2021:7.

(收稿日期:2022-05-15)