

城市轨道交通能源管理系统的总体设计及其主要功能^{*}

李 晔 张凌云 刘国桐^{**} 王 忻 吉祥雨

(铁科院(北京)工程咨询有限公司, 100081, 北京//第一作者, 助理研究员)

摘 要 目的: 为了加强城市轨道交通(以下简称“城轨”)能源的精细化管理, 以信息化手段达到节能降耗的目的, 对城轨能源管理系统的总体设计及其主要功能进行研究。方法: 对城轨能源管理的现状进行了调研, 从硬件条件、作业方式、信息化条件及管理方式等方面总结了城轨现有能源管理方式的痛点, 提出城轨能源管理的应用需求。根据城轨能源管理需求, 结合目前城轨行业的软硬件条件, 制定了扩大能源数据资产管理范围、完善智能节能算法及构建数字能源管理体系等城轨能源管理的总体目标。从“源-网-荷-储”的总体设计理念出发, 建立符合城轨行业统一的能源管理系统总体架构, 并从智能调配、智能巡检、智能运维及智能控制等方面阐述了城轨能源管理系统的主要功能。结果及结论: 形成了一套适用于城轨行业的能源管理系统, 该系统的总体架构自下而上划分为数据感知层、网络传输层、数据存储层、数据处理层、数据分析层、应用层及表示层。

关键词 城市轨道交通; 能源管理系统; 总体设计; 主要功能

中图分类号 TK018:U231

DOI:10.16037/j.1007-869x.2023.10.022

Overall Design and Key Functions of Urban Rail Transit Energy Management System

LI Ye, ZHANG Lingyun, LIU Guotong, WANG Xin, JI Xiangyu

Abstract Objective: To enhance the refined management of energy in URT (urban rail transit) and achieve the goal of energy conservation and consumption reduction through information technology, the overall design and primary functions of the URT energy management system are investigated. Method: A survey of the current status of URT energy management is conducted, summarizing the pain points of existing energy management methods from aspects such as hardware conditions, operational methods, information conditions and management

methods. The application requirements for URT energy management are identified. Based on these requirements and the current software and hardware conditions in URT industry, the overall objectives of URT energy management are established, including expanding the scope of energy data asset management, enhancing intelligent energy-saving algorithms, and constructing a digital energy management system. Guided by the overall design concept of ‘source-network-load-storage’, a unified energy management system overall architecture for the URT industry is developed, and the primary functions of URT energy management system are elucidated, including intelligent allocation, intelligent inspection, intelligent operation-maintenance, and intelligent control. Result and Conclusion: A tailored energy management system suitable for the URT industry is formulated. The overall architecture of the system is divided into layers from bottom to top: data perception layer, network transmission layer, data storage layer, data processing layer, data analysis layer, application layer, and display layer.

Key words urban rail transit; energy management system; overall design; main function

Author’s address Academy of Railway Sciences (Beijing) Engineering Consult Co., Ltd., 100081, Beijing, China

城市轨道交通(以下简称“城轨”)的飞速发展伴随着对能源管理要求的日益提高。《“十四五”现代综合交通运输体系发展规划》提出, 至2025年, 交通运输行业单位运输周转量二氧化碳排放强度较2020年下降5%^[1]。《中国城市轨道交通绿色城轨发展行动方案》提出发展绿色城轨, 2030年前实现碳达峰, 2060年前实现碳中和的目标。《中国城市轨道交通智能城轨发展纲要》提出智慧城轨的发展需要与大数据、物联网及区块链等计算机技术深

^{*} 铁科院(北京)工程咨询有限公司科研开发基金项目(2022ZXJ003); 中国铁道科学院研究集团有限公司科研开发基金项目(2023YJ244)

^{**} 通信作者

度融合,建立智能能源系统,至 2025 年运营能耗下降指标率达到 15% 的目标^[2]。

城轨行业的飞速发展导致运营能耗的增加不容忽视,同时新能源、储能等新技术的井喷式发展,使得电网特性日趋复杂^[3]。随着物联网、大数据、机器学习等计算机技术在各行业的发展应用,利用信息化手段优化对城轨能源智能管控的方法,建立互联网和能源网深度融合的能源互联网是产业发展的大势所趋,传统的能源管理方式亟待转变^[4]。

1 城轨能源管理现状及需求分析

1.1 现状分析

目前,国内城轨能源管理的信息化程度不高,距离建设智能化的能源管理体系仍有很大差距,存在的具体问题如下:

1) 用能设备接入管控困难。国内城轨在时间、地域上呈现不平衡发展,较早建立的城轨站房与线路的绝大部分用能设备智能化水平较低,自动化节能措施不足。

2) 人工作业质量难以保证。目前仍然存在相当比例的车站与线路依赖人工抄表、人工检修及人工记录。人工作业的弊端较多,在抄表中容易造成错抄、漏抄等情况;定期检修造成问题发现不及时、故障原因分析效率低等;人工录入的数据精度难以保证、数据格式不规范、信息传递效率较低,且在出现错误时无法有效溯源。

3) 信息壁垒难以打破。目前,一些城轨公司已建立的能源管理系统无法与其他信息系统形成有效的联动,信息孤岛现象仍然存在。

4) 数据资产的利用不充分。城轨行业现有的能源管理系统仅能够实现远程监控和能源数据统计分析此类较为基础的功能,智能化管控的手段不足,对数据资产的利用不充分。

5) 能源管理系统定位模糊。城轨的能源消耗主要来源于电、水、气,但在部分投入使用的能源管理系统中未能将水和气纳入管理范畴,导致管理对象不全面。

6) 能源管理方式落后。对于能源的管理方式较为传统,未形成依托信息化的能源管理制度,缺乏对新能源业务的管理经验^[5]。

1.2 需求分析

针对城轨能源管理的现状,存在如下应用需求:

1) 提升设备智能化水平。为建设基于数字孪

生的城轨能源管理系统^[6],提升各类设备的智能化水平,实现在虚拟空间的全方位映射。

2) 推进能源全寿命周期数据贯通。推进“源-网-荷-储”的能源全寿命周期数据贯通,把控整体能源流向信息。

3) 完善数据资产管理机制。随着设备智能化程度提高,结构化与非结构化的数据量呈指数增长趋势,需利用大数据技术建立数据资产管理机制。

4) 扩大现有能源管理范围。将除电能以外的其余能源纳入管理范围,扩大能源管理范围。

5) 研发自动节能控能技术。研发节能算法,利用已有数据训练模型,实现节能决策智能下发并对关键能耗设备的自动控制。

6) 建立数字能源管理体系。改变现有的能源管理方式,建立以信息化手段为基础的数字能源管理体系。

2 城轨能源管理系统的总体设计

城轨能源管理系统围绕“源-网-荷-储”的能源流设计^[7],以能量流和信息流为主线,实时监控能源全寿命周期流向中的各个关键节点数据,协调调配能源的分配与使用,以达到精准化控制、精细化管理及常态化节能的目的^[8]。

2.1 总体目标

城轨能源管理系统基于对其能源管理现状的深度分析及具体需求,提出以下 3 个总体目标:

1) 扩大能源数据资产管理范围。在城轨站房及沿线增加分布式光伏组件、逆变器、双向电表、充电桩等智能设备,将新能源设备及下一年度充电设备纳入城轨能源使用范围以内;对既有老旧电气设备进行更新,利用物联网技术监控关键运行数据。

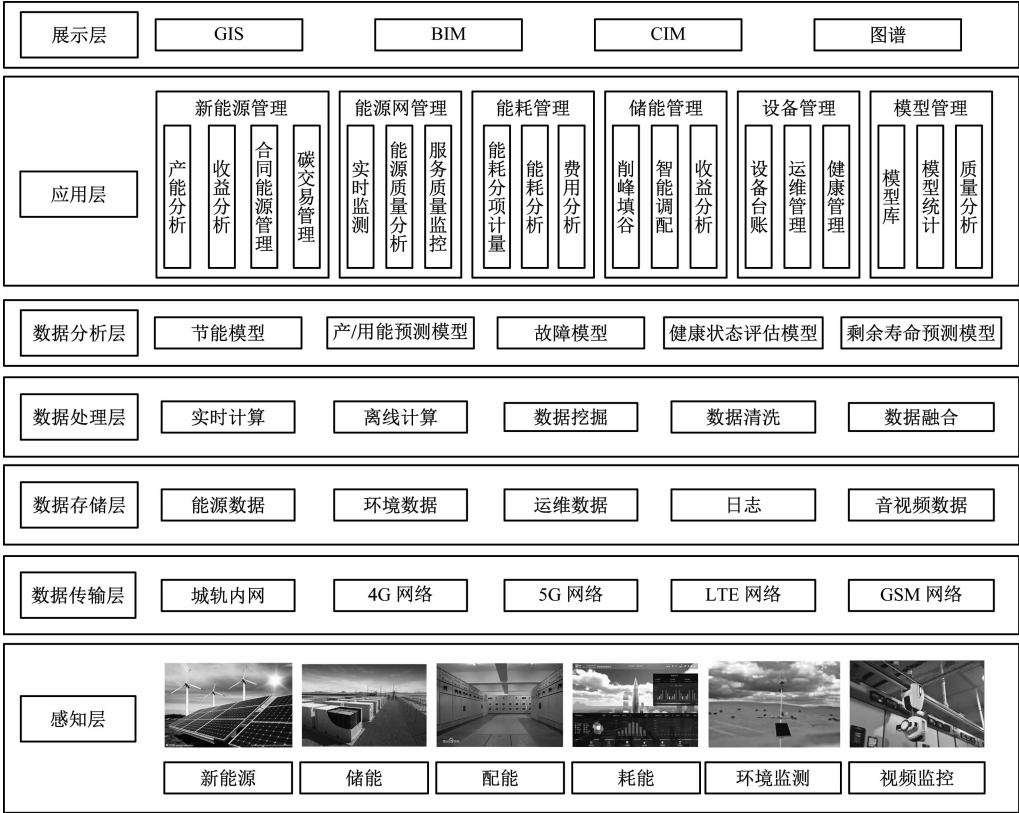
2) 完善智能节能算法。在形成对能源数据资产的治理机制后,利用海量数据不断训练优化各类分析、预测及控制模型,实现以先进的计算机技术对能源的精准调配,最大限度地达到节能降耗的目的。

3) 构建数字能源管理体系。新能源在城轨上的应用及管理仍处于初级阶段,还未形成有效的管理模式。项目深层次目标在于依托信息化平台,结合目前的业务需求和功能需求,建立设备资产台账,构建数字化新能源设备运维管理体系;深挖新能源管理业务(包括合同能源管理业务、财务业务及碳交易业务等),形成完善的能源管理体系。

2.2 总体架构

城轨能源管理系统的总体架构突出了海量能源数据的采集、存储、分析、调度等能力,自下而上

划分为数据感知层、网络传输层、数据存储层、数据处理层、数据分析层、应用层及展示层^[9-11]。城轨能源管理系统的总体架构如图 1 所示。



注:GIS 为地理信息系统;BIM 为建筑信息模型;CIM 为城市信息模型;4G 为第 4 代移动通信技术;5G 为第 5 代移动通信技术;LTE 为长期演进;GSM 为全球移动通信标准。

图 1 城轨能源管理系统的总体架构

Fig. 1 Overall structure of URT energy management system

- 1) 数据感知层。对老旧电气设备进行更换或改造,利用物联网技术采集能源流向节点中的关键数据,为城轨能源管理系统模型的建立提供数据基础。
- 2) 网络传输层。在原有通信方式上增加 5G 传输方式,保证设备、服务器与系统间数据传输的稳定性和即时性。
- 3) 数据存储层。利用大数据技术深度挖掘能源管理业务的相关数据,对不同类型结构型数据进行分析 and 存储,并建立合理的数据管理机制。
- 4) 数据处理层。利用数据清洗、数据融合、数据挖掘等技术对数据进行初步处理。
- 5) 数据分析层。建立不同能源管理场景下的算法模型,进一步挖掘数据的潜在价值。
- 6) 应用层。加强城轨能源设备的运用、维护、检修等业务,以及能源管理中的能源调配、财务管

理、合同能源管理等业务的智能化建设。

7) 展示层。利用折线图、柱状图及饼图等进行不同维度的统计分析,利用 GIS、BIM 对线路与建筑进行可视化建模,把握能源在各关键节点的重要信息及整体流向。

3 城轨能源管理系统的主要功能

城轨能源管理系统利用数字孪生技术,建立绿色节能的数字化城轨,以丰富的数据资产及强大的云计算能力作为支点,改变以人为控制为主导的能源管理模式,实现信息流和能源流的深度融合。城轨能源管理系统的主要功能如下:

- 1) 智能调配。结合能源峰谷价格以及产能测、储能侧与用能测的能源信息,对能源的可靠性和经济性进行综合研判,利用最优化方法建立数学模型,制定当前最佳能源调配策略。

2) 智能巡检。利用 VCA(智能视频分析)技术,对城轨站房、线路布设的高清视频图像数据进行分析,建立灾害监测、异物入侵监测、人员行为监测等模型,实现远程智能巡检,提高巡检效率。

3) 智能运维。利用 PHM(故障预测与健康管理)技术,结合各类设备传输到地面的运行参数数据,建立各关键设备的故障诊断、故障预测及健康状况评估模型,以保证硬件的运行状态良好,防止因设备故障导致的能源损耗。

4) 智能控制。利用边缘计算、机器学习及深度学习等计算机技术,结合客流、环境等因素对关键用能场景进行深入分析,为主要用能设备建立节能模型,实时规划用能策略并对用能设备进行智能控制。

4 结语

全面发展各类绿色节能新技术,推动建设绿色智能城轨是双碳背景下能源管理发展的必然要求。通过分析能源管理现状,总结今后建设能源管理系统的普适性规律,研究城轨行业能源管理平台总体架构,以达到建设绿色城轨,提高能源管理水平的目的。

参考文献

- [1] 中华人民共和国国务院. 国务院关于印发“十四五”现代综合交通运输体系发展规划的通知:国发[2021]27号[A]. 北京:中华人民共和国国务院,2021.
- State Council of the People's Republic of China. Notice of the State Council on issuing Development Plan Modern Comprehensive Transportation System in the 14th Five-Year Plan: GF [2021] No. 27[A]. Beijing: State Council of the People's Republic of China, 2021.
- [2] 于鑫. 城市轨道交通绿色低碳技术研究及展望[J]. 现代城市轨道交通, 2022(8): 1.
- YU Xin. Research and prospect of green and low-carbon technology for urban rail transit [J]. Modern Urban Transit, 2022 (8): 1.
- [3] 吴宗臻, 王小锁, 张凌云, 等. 轨道交通光储直柔技术应用及展望[J]. 现代城市轨道交通, 2022(8): 19.
- WU Zongzhen, WANG Xiaosuo, ZHANG Lingyun, et al. Progress of PDEF technology and its application prospect in rail tran-

sit[J]. Modern Urban Transit, 2022(8): 19.

- [4] 孙宏斌, 郭庆来, 吴文传, 等. 面向能源互联网的多能流综合能量管理系统: 设计与应用[J]. 电力系统自动化, 2019, 43(12): 122.
- SUN Hongbin, GUO Qinglai, WU Wenchuan, et al. Integrated energy management system with multi-energy flow for energy Internet: design and application[J]. Automation of Electric Power Systems, 2019, 43(12): 122.
- [5] 刘昊, 李克飞. 太阳能光伏发电系统在城市轨道交通中的应用研究[J]. 现代城市轨道交通, 2022(8): 38.
- LIU Hao, LI Kefei. Study on the application of solar photovoltaic generation system in urban rail transit[J]. Modern Urban Transit, 2022(8): 38.
- [6] 陶飞, 刘蔚然, 张萌, 等. 数字孪生五维模型及十大领域应用[J]. 计算机集成制造系统, 2019, 25(1): 1.
- TAO Fei, LIU Weiran, ZHANG Meng, et al. Five-dimension digital twin model and its ten applications[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2019, 25(1): 1.
- [7] 曾鸣, 杨雍琦, 刘敦楠, 等. 能源互联网“源-网-荷-储”协调优化运营模式及关键技术[J]. 电网技术, 2016, 40(1): 114.
- ZENG Ming, YANG Yongqi, LIU Dunnann, et al. 'Generation-grid-load-storage' coordinative optimal operation mode of energy Internet and key technologies [J]. Power System Technology, 2016, 40(1): 114.
- [8] 陈树勇, 宋书芳, 李兰欣, 等. 智能电网技术综述[J]. 电网技术, 2009, 33(8): 1.
- CHEN Shuyong, SONG Shufang, LI Lanxin, et al. Survey on smart grid technology[J]. Power System Technology, 2009, 33(8): 1.
- [9] 马学鹏, 夏国臣. 城市轨道交通能源管理系统研究[J]. 城市轨道交通研究, 2014, 17(4): 102.
- MA Xuepeng, XIA Guochen. On urban rail transit energy management system[J]. Urban Mass Transit, 2014, 17(4): 102.
- [10] 汤石男. 全集成能源管理系统设计与应用[J]. 现代城市轨道交通, 2020(12): 132.
- TANG Shinan. Fully integrated energy management system design and application[J]. Modern Urban Transit, 2020(12): 132.
- [11] 何斌, 张华志, 温建民, 等. 城市轨道交通智能供电系统框架及功能设计[J]. 现代城市轨道交通, 2022(8): 80.
- HE Bin, ZHANG Huazhi, WEN Jianmin, et al. Framework and function design of intelligent power supply system for urban rail transit[J]. Modern Urban Transit, 2022(8): 80.

(收稿日期:2023-03-15)

欢迎投稿《城市轨道交通研究》

投稿网址:tougao. umt1998. com