

doi: 10.3969/j.issn.1672-6073.2024.03.022

# 城市轨道交通数字化运营实践

## ——以昆明地铁4号线为例

何雄

(北京城建设计发展集团股份有限公司, 北京 100037)

**摘要:**城市轨道交通高速发展对企业运营管理带来了前所未有的挑战,传统的运营方式制约了数据的使用和资源的共享。随着交通强国战略、智慧城市建设的快速推进,地铁作为居民交通出行的重要组成部分,高额运营成本与传统运营管理手段不匹配的矛盾,亟需从传统思维向数字思维转变,以数字化驱动运营管理质量提升,提高企业生产效率。本文对轨道交通数字化运营的难点进行了总结分析,并以昆明地铁4号线为案例,展示4号线运营数字化转型的路径及数字化运营的经济效益成果。4号线通过搭建基于云平台的轨道交通综合自动化系统及业务一体化管理系统,并同步开展企业数字化转型变革,实现地铁数字化运营,以实践推进企业降本增效,为同行业提供了面向城市轨道交通的数字化运营解决方案。

**关键词:**城市轨道交通;数字化转型;云平台;综合自动化系统;业务一体化管理系统;昆明地铁4号线

中图分类号: U231.1

文献标志码: A

文章编号: 1672-6073(2024)03-0164-06

## Digital Operation Practice of Urban Rail Transit: A Case Study of Kunming Metro Line 4

HE Xiong

(Beijing Urban Construction Design &amp; Development Group Co., Ltd., Beijing 100037)

**Abstract:** Rapid urban rail transit growth presents new challenges for operation and management. Traditional methods limit data and resource utilization. China's "strong transportation country" strategy and smart city development necessitate a shift from traditional to digital thinking for subways, a crucial component of resident travel. Digitalization offers the potential to enhance operational efficiency and quality. This study analyzes the challenges of digital rail operations and presents Kunming Metro Line 4 as a case study. It explores Line 4's digital transformation journey, highlighting its economic benefits. By establishing a cloud-based comprehensive automation and business integration management system, Line 4 achieved synchronized digitalization across the enterprise, enabling practical implementation of digital metro operations. This approach reduced costs, improved efficiency, and offers valuable solutions for urban rail transit digitalization within the industry.

**Keywords:** urban rail transit; digital transformation; cloud platform; comprehensive automation system; business integration management system; Kunming Metro Line 4

收稿日期: 2023-12-22 修回日期: 2024-04-15

作者简介: 何雄,男,本科,高级工程师,主要从事轨道交通运营管理, hexiong@yjrt.com.cn

基金项目: 北京市科委(20230467182)

引用格式: 何雄.城市轨道交通数字化运营实践:以昆明地铁4号线为例[J].都市轨道交通,2024,37(3):164-169.

HE Xiong. Digital operation practice of urban rail transit: a case study of Kunming metro line 4[J]. Urban rapid rail transit, 2024, 37(3): 164-169.

轨道交通作为关系国计民生的基础性行业和国家产业政策重点支持的战略性新兴产业，“产业数字化升级，企业数字化转型”是十四五期间一个重要发展趋势。

企业数字化转型是指企业从业务、管理到运营的全面信息化、数字化，通过将云计算等数位技术串联，应用于企业的业务、管理和运营，以数字化技术、数字产品和数字平台基础设施为支撑点，进而引发组织管理模式变革的过程<sup>[1]</sup>。虽然不同行业对数字化转型的概念定义不统一，但总体来看，数字化转型是由技术升级推动企业管理变革，具有战略价值。与传统企业信息化相比，应用数字化技术赋能企业生产管理代表的是一种融合、高效、具有洞察力的企业创新经营模式。

昆明地铁4号线(以下简称“4号线”)作为昆明市首批PPP(public private partnership)项目，通过搭建基于云平台的轨道交通自动化系统及业务一体化管理系统，完成了数字化转型。其意义在于降低运营成本、提高企业管理效率，在消费升级的背景下从企业积累的海量数据中提取出有效的信息并加以利用，为乘客和企业提供个性化服务。

## 1 轨道交通数字化运营的难点分析

城轨交通是资产密集型行业，运营组织基于大量的设施设备资源，随着相关设备信息化、网络化程度的提升，大量监控、检测数据持续产生。这类数据规模大、类型多，具备典型的大数据特征。地铁运营数字化转型就是充分利用数字化信息处理技术和网络通信技术，对信息元关联，并产生数据价值。但在实际操作中，往往面临顶层规划滞后、数字化平台建设孤岛化、数字化可持续运营难等问题。

### 1.1 顶层规划滞后

中国城市轨道交通协会2020年3月发布了《中国城市轨道交通智慧城轨发展纲要》，提出“交通强国，城轨担当”，为城轨行业的智慧发展提供了指导。2022年8月，《城市轨道交通绿色发展行动计划》发布，指导构建既智慧化又绿色化的新时代中国特色城市轨道交通。

智慧城轨发展的政策指导及行业发展指南是2020年才开始广泛深入运营企业的，在2020年以前完成规划的城轨交通工程的弱电系统初步设计大多采用的是传统轨道交通弱电设计方案，与数字化转型不符<sup>[2]</sup>。

后续初设修编及工程建设概算调整流程复杂，存在概算难以调整的风险。

同时，在规划阶段就考虑数字化转型的工程，由于建设概算的限制，大多只统筹规划了生产系统的数字化建设，管理系统数字化建设大多是在线路开通运营后才开始逐步规划建设的。数字化建设不同步会造成企业对“人、财、物、运、修”的管控协同能力不足。

### 1.2 数字化平台建设孤岛化

国内城市轨道交通长期按线路和专业划分的建设模式，主要关注面向数据处理的硬件投资，造成线路和专业条块分割、软硬件设备分设，各系统联动、协同困难，数据价值低，缺乏数据挖掘手段与管理策略，难以满足线路网络化运营的需求。

随着轨道交通系统规模越来越大，需要监控的系统和设备点越来越多，轨道交通企业虽资产规模庞大、数据种类繁多，但数据以孤岛形式存在，分析难度大，难以为日常管理决策提供有效帮助和实际价值。简单的信息堆砌造成信息量大且没有有效处理，增加了调度人员工作的难度和判断上的误导。

### 1.3 数字化可持续运营难

数字化转型是从“硬件”到“数据”的转变，其资产必然会数据化，进而形成数据资产。这些数据资产包括但不限于客流数据、设备维护数据、采购数据等，无论是后续运营过程中数据资产的维护还是数据信息安全防护，都给企业管理带来了巨大挑战。

同时，程序性业务决策的自动化，增加了公司对知识工作的需求，并使人们更加关注智力资本的价值。地铁运营企业数字化转型亟须一批既懂数字技术又懂管理的复合素质员工，人才培养难度较大。

## 2 数字化运营转型路径

企业实施数字化转型战略，是指利用大数据、云计算、云平台等数字化技术改造企业的价值创造、组织结构和组织运营流程等组织要素，从本质上讲，数字化转型就是利用数字化技术改变组织当前的战略经营行为<sup>[3]</sup>。

相较而言，目前轨道交通领域从企业实施战略的角度对地铁运营在数字经济时代下完成数字化转型实践的研究和具体案例相对较少，大部分是提出实现企业数字化的各阶段规划、远期目标<sup>[4-6]</sup>。基于上文对地

铁运营数字化的难点分析，总结了昆明地铁 4 号线运营数字化转型的实现路径，分为 5 步。

### 2.1 数字化顶层设计

考虑到轨道交通行业数字化发展趋势的需求，2017 年建设之初，昆明地铁 4 号线就完成了“两平台+两网络”的数字化建设发展蓝图规划，两个平台指城轨云平台和公有云平台。两张网络指城轨云平台组建的运营生产网及公有云平台采用的公共网络服务。如图 1 所示。

在资金有限的条件下，建设期昆明地铁 4 号线首

先完成城轨云平台和运营生产网搭建，实现生产系统数字化；运营初期采用公共网络服务搭建公有云平台，实现管理系统数字化。最终，通过打通生产系统与管理系统，形成统一数据中台，实现生产管理一体平台数字化。

### 2.2 生产系统数字化

建设之初，将初步设计中的综合监控系统优化为基于云平台的轨道交通综合自动化系统(简称“云交自动化系统”)，采用创新的融合架构，构建生产系统的统一中台，如图 2 所示。

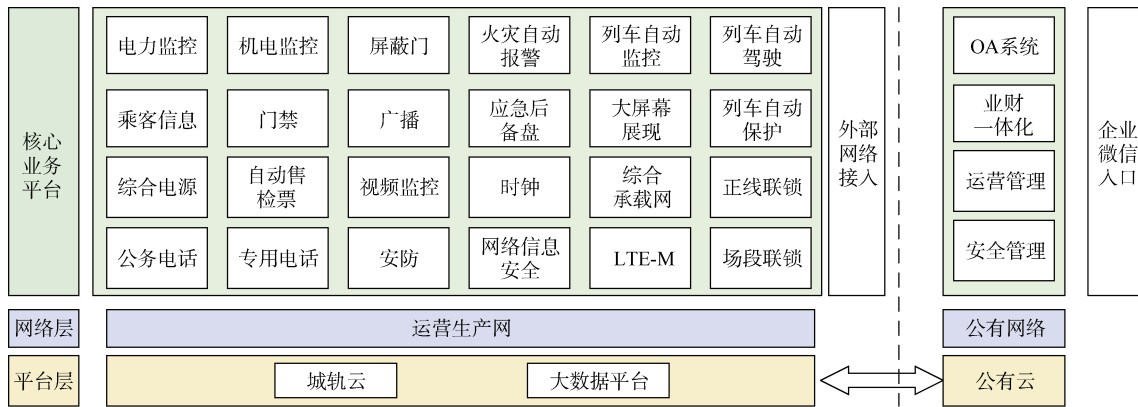


图 1 昆明地铁 4 号线数字化运营规划蓝图

Figure 1 Kunming Metro Line 4 Digital operation planning Blueprint

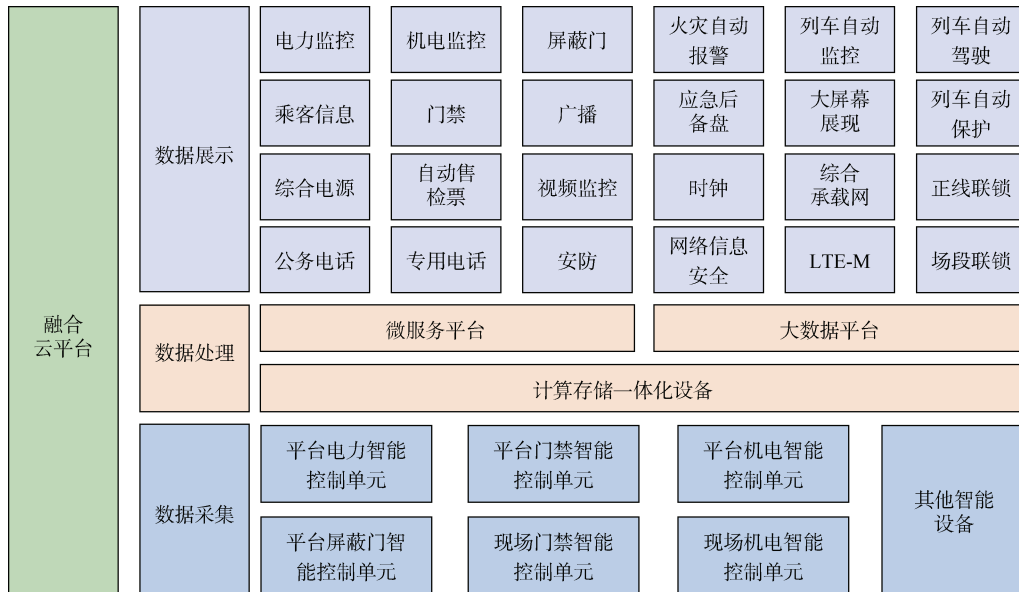


图 2 基于云平台的轨道交通综合自动化系统

Figure 2 Integrated automation system for rail transportation based on cloud platform

云交自动化系统取代了分立的多岛平台，使得全系统管理数据服务器性能加强，完全替代了原有弱电

系统自成体系、相互独立的烟囱式架构，统一数据接口及应用访问规范，实现就地数据采集、提升效率，

为大数据挖掘分析提供统一平台<sup>[7-10]</sup>。

### 2.3 管理系统数字化

运营之初，昆明地铁4号线结合目前大数据、移动互助等数字化技术，按照数字化运营规划蓝图，

于运营期前两年搭建完成集财务、运营管理、企业管理、安全管理、经营管理业务为一体的基于云平台的一体化管理系统(简称“业务一体化系统”)，如图3所示。

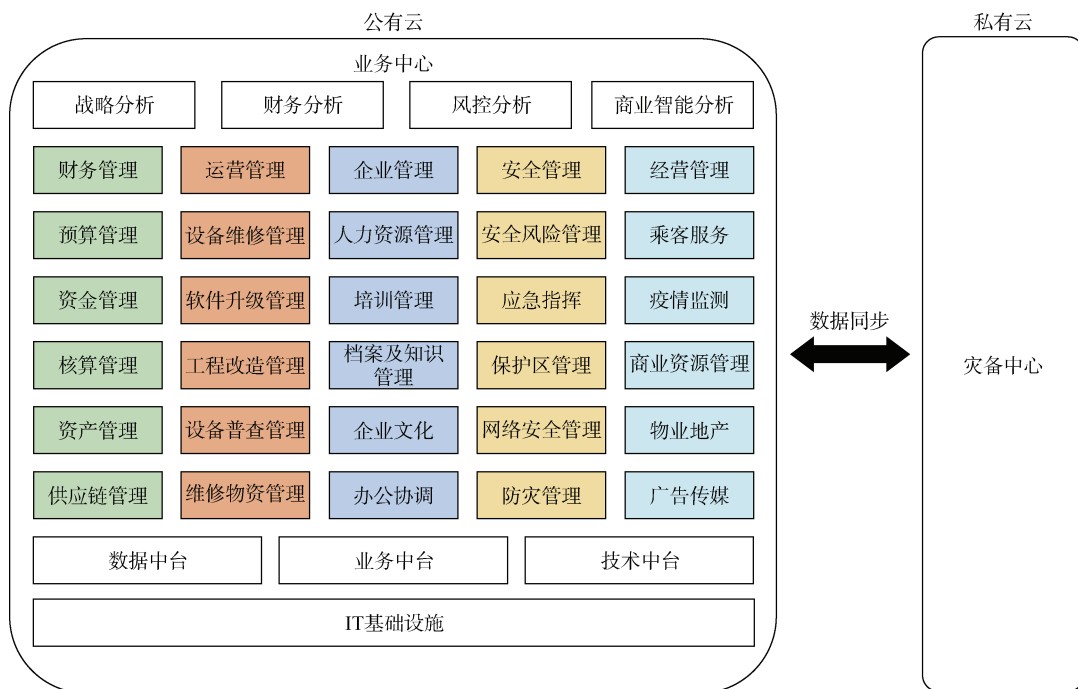


图3 基于云平台的业务一体化管理系统

Figure 3 Integrated business management system based on cloud platform

相较于自建数据中心，公有云服务按需采购，不产生建设、设备维修、资产折旧、能源消耗等显性成本。在保证成本、进度、质量前提下，利用公有网络搭建“一体化两中心”的混合云计算环境，形成以公有云为主的业务中心及私有云为主的灾备中心。可满足现有及后续的自建系统部署，实现数据的完整性，降低数据丢失风险。

### 2.4 打通生产系统与管理系统

采用云计算安全扩展技术，设置防火墙及网闸安全设备，打通基于云平台的轨道交通综合自动化系统与业务一体化管理系统，实现不同云服务客户虚拟网络之间的隔离，工单到底、数据联动，业务数据在多系统间互通、互享。例如，云交自动化系统的网管平台监测到设备故障后，可直接将设备故障上报到运营管理系统，运营管理系统自动接报、派修、提醒当前步骤的故障处理人，有效缩短故障响应时间、提升处置效率，避免故障处理延误情况的发生。

### 2.5 企业数字化转型

为保障数字化运营可持续发展，昆明地铁4号线

集中从人才培养、管理模式两个层面进行变革，促进地铁运营企业从个人角色转变、组织运作变化，推动管理模式变革。

#### 2.5.1 人才培养层面

企业数字化运营亟须一批具备云计算、大数据、网络安全、密码应用等相关技能的人才。在人员培养模式方面，昆明地铁4号线定期与相关云业务公司及高校开展交流，邀请轨交云开发、云运维相关人员为公司员工开展业务培训。同时，分类甄选数字化人才，设立基层维护岗、云平台工程师岗及云专业技术负责人。

#### 2.5.2 管理模式层面

生产管理方面，引入国际先进的英国资产管理规范PASS55(asset management-specification)及以可靠性为中心的维修(reliability centered maintenance, RCM)模式和全面生产管理(total productive maintenance, TPM)模式，以贯通设备全生命周期数字化管理为主线，通过业务驱动形成维修工作任务网格化分级拉动机制，调动各层级生产运营人员全面参与昆明地铁4号线设备全生命周期管理。

企业管理方面，以企业资源管理规划(enterprise resource planning, ERP)思想为核心，将人、财、物作为核心价值链，实现预算、资金、采购、库存、资产等业务的一体化联动控制，通过对资源、业务的全面管控和综合分析，推进优化预算执行率、库存周转率、维护计划兑现率、人员工时占用率等指标，实现整体资源利用率提升。

### 3 4 号线运营数字化运营经济效益分析

#### 3.1 节省人工成本

对比传统地铁运营模式，4 号线基于云平台的轨道交通综合自动化系统采用高度整合云方案，并对系统进行模块级的重新整合构建，各专业数据采集设备、工作台终端实现统一，打破了传统的维修组织模式。运营期成立弱电维护中心，负责云交自动化系统光纤配线架(optical distribution frame, ODF)以上的上位机设备维护，同时将通信中心维修业务并入弱电维护中心，维修整体维护人员每千米减少 0.6 人，如图 4 所示。

同时，由于云交自动化系统的集成，站务及调度终端使用设备实现集中监控，客服岗每站每班减少 1 人、电力调度与环控调度岗位合并，运营人员每千米减少 2 人。与传统弱电系统的维修维护及运营服务人员编制相比，4 号线生产人员整体减少 114 人，运营 30 年

累计节省人工成本 5.44 亿元。

业务管理及故障管理方面，应用业务管理一体化系统后，由于系统业务协同，各部门预算管理、物资管理、费用报销、资产管理、故障管理工作职能整合，通过融合岗位可减少管理人员配置 56 人，运营 30 年累计节省人工成本 2.67 亿元。

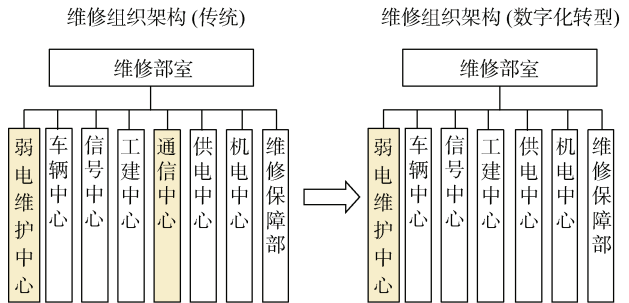


图 4 维修组织架构变化

Figure 4 Maintenance organizational changes

#### 3.2 节省建设投资及运营维护成本

云交自动化系统采用智能一体机作为车站级核心设备，实现对各类现场设备的信息采集、存储、处理、控制、交换、上传；控制中心采用云计算技术实现了控制中心、车站的融合城轨云，可对车站云及中心云统一集中管理和运维，降低了运维难度，如图 5 所示。

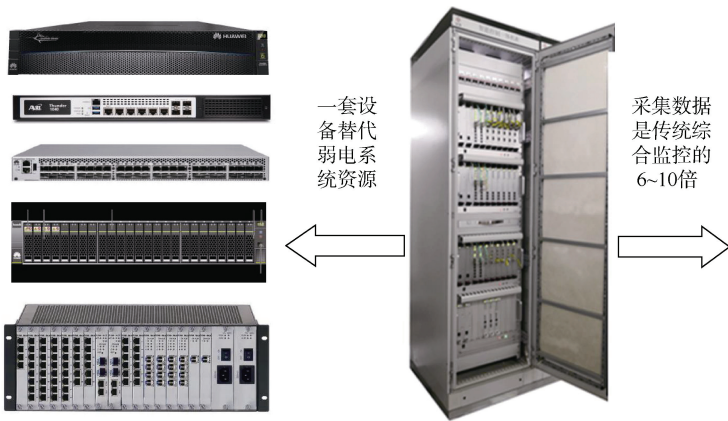


图 5 车站一体机设备

Figure 5 Station all-in-one equipment

| 系统     | 单车站采集数据点位 |          |          |          | 总计     |
|--------|-----------|----------|----------|----------|--------|
|        | AI 模拟量输入  | AO 模拟量输出 | DI 数字量输入 | DO 数字量输出 |        |
| FAS    | 6 000     | 250      | 8 000    | 250      | 14 500 |
| PSCADA | 5 334     | 344      | 3 238    | 204      | 9 120  |
| BAS    | 1 279     | 315      | 4 168    | 1 330    | 7 092  |
| PSD    | 1 982     | 0        | 54       | 5 075    | 7 111  |
| PIS    | 600       | 0        | 0        | 0        | 600    |
| AFC    | 2 008     | 0        | 5 151    | 0        | 7 159  |
| ACS    | 151       | 96       | 0        | 0        | 247    |
| CCTV   | 0         | 0        | 250      | 0        | 250    |
| PA     | 247       | 116      | 32       | 0        | 395    |
| 合计     | 17 601    | 1 121    | 20 893   | 6 859    | 46 474 |

高度集成化、模块化的设计，大大压缩了物理空间的占用，整体提高软、硬件资源的利用率，避免了系统之间的重复投资。前期规划节省土建概算 200 万~500 万/车站，因节省房间继而节省气体灭火、动照、通风系统概算 1 458.65 万元，节省后期该类设备运营维护成本 449.09 万元/年，如图 6 所示。

采用一体机和城轨云平台，整合传统 IT 设备，建设期设备投资共计节省 1.35 亿元，运营 30 年节省维护成本 1.35 亿元。

昆明地铁 4 号线通过运营数字化转型，实现建设期投资节省 2.36 亿元，特许经营 30 年节省运营成本 9.76 亿元，如表 1 所示。

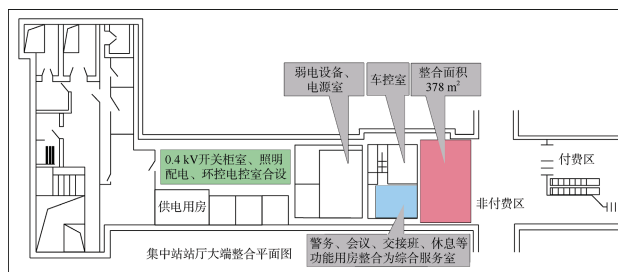


图6 专业整合, 集中设备区域

Figure 6 Specialized consolidation and centralized equipment areas

表1 昆明地铁4号线数字化转型后经济效益分析

Table 1 Analysis table of economic benefits after digital transformation of Kunming Metro Line 4

| 项目              | 建设期          | 运营期                          |                  |
|-----------------|--------------|------------------------------|------------------|
|                 |              | 每年                           | 30年              |
| 基于云平台的轨道交通自动化系统 | 节省土建概算1.01亿元 | 人员优化减少114人, 节省人工成本1 813.23万元 | 累积节省人工成本5.44亿元   |
|                 | 节省设备概算1.35亿元 | 维护成本节省449.09万元               | 累计节省维护成本1.35亿元   |
|                 |              | 更新改造成本节省101.07万元             | 累计节省更新改造成本3032万元 |
| 业务一体化管理系统       |              | 人员优化减少56人, 节省人工成本890.71万元    | 累计节省人工成本2.67亿元   |
| 合计              | 节省2.36亿元     | 节省0.33亿元                     | 累计节省9.76亿元       |

## 4 总结与展望

本文基于昆明地铁4号线运营数字化转型的实践, 围绕基于云平台的轨道交通综合自动化系统及业务一体化管理系统, 展示4号线运营数字化转型路径, 并进行经济效益分析, 为同行业数字化转型提供参考, 对轨道交通数字化运营发展具有积极的意义。

昆明地铁4号线现已建设有城轨云平台和大数据平台, 业务系统都统一承载在云平台上, 并通过大数据平台的数据交互, 实现业务间的融合和各业务系统的数字化升级。2023年1月, 4号线发布了《昆明地铁4号线绿色智慧地铁白皮书》以指导智慧化城轨的有序建设, 下一步将依托云平台, 由数字化向智慧化迈进。

### 参考文献

[1] 曾德麟, 蔡家玮, 欧阳桃花. 数字化转型研究: 整合框架与未来展望[J]. 外国经济与管理, 2021, 43(5): 63-76.  
ZENG Delin, CAI Jiawei, OUYANG Taohua. A research on digital transformation: integration framework and prospects[J]. Foreign economics & management, 2021, 43(5): 63-76.

[2] 黄天印, 李昀辉, 徐文洁. 城轨行业数据管理能力成熟

度模型研究[J]. 城市轨道交通, 2020(9): 44-49.

HUANG Tianyin, LI Yunhui, XU Wenjie. Research on maturity model of data management capability in urban rail transit industry[J]. China metros, 2020(9): 44-49.

[3] HESS T, Matt C, BENLIAN A, WIESBOECK F. Options for formulating a DT strategy[J]. MIS quarterly executive, 2016, 15(2): 123-139.

[4] 虞赛君. 城市轨道交通企业数字化转型的策略探讨: 以合肥市轨道交通集团为例[J]. 城市轨道交通研究, 2023, 26(8): 283-285.

YU Saijun. Discussion on the strategy of digital transformation of urban rail transit enterprises—taking Hefei rail transit group as an example[J]. Urban mass transit, 2023, 26(8): 283-285.

[5] 史永飞. 厦门轨道交通建设数字化转型实践与思考[J]. 都市快轨交通, 2023, 36(4): 35-39.

SHI Yongfei. Digital transformation in Xiamen rail transit construction: practices and reflections[J]. Urban rapid rail transit, 2023, 36(4): 35-39.

[6] 李中浩. 中国城市轨道交通数字化转型的发展与展望[J]. 城市轨道交通, 2022(6): 10-12.

LI Zhonghao. Development and prospect of digital transformation of China urban rail transit[J]. China metros, 2022(6): 10-12.

[7] 魏运, 白文飞, 李宇杰. 智慧地铁需求分析及功能规划研究[J]. 都市快轨交通, 2020, 33(1): 40-48.

WEI Yun, BAI Wenfei, LI Yujie. Development demand and function planning of smart metro[J]. Urban rapid rail transit, 2020, 33(1): 40-48.

[8] 包叙定. 践行“双碳”战略, 建设绿色城轨谱写城轨交通高质量发展新篇章《中国城市轨道交通绿色城轨发展行动方案》解读[J]. 城市轨道交通, 2022(8): 36-40.

BAO Xuding. Practice the “double carbon” strategy, build a green urban rail and write a new chapter on the high-quality development of urban rail transit interpretation of the action plan for the development of green urban rail transit in China[J]. China metros, 2022(8): 36-40.

[9] 冯娟, 李玉建. 城市轨道交通数字化管理技术方案研究[J]. 计算机应用与软件, 2014, 31(5): 99-102.

FENG Juan, LI Yujian. Study on a technical solution for digitalisation management of urban rail transit[J]. Computer applications and software, 2014, 31(5): 99-102.

[10] 张森, 朱志伟, 湛维昭, 等. 广州市“智慧地铁”研究与实践[J]. 城市轨道交通研究, 2020, 23(11): 19-26.

ZHANG Sen, ZHU Zhiwei, ZHAN Weizhao, et al. Research and practice of Guangzhou rail transit “smart metro”[J]. Urban mass transit, 2020, 23(11): 19-26.

[11] 曾淑仪, Jaspal Singh. 轨道交通的数字化转型: 行业中的改革[J]. 城市轨道交通, 2021(10): 22-25.

ZENG Shuyi, SINGH J. Digital transformation of rail transit: reform in the industry[J]. China metros, 2021(10): 22-25.

[12] 王皓. 城轨企业数字化转型刍议[J]. 城市轨道交通, 2021(10): 30-32.

WANG Hao. Discussion on digital transformation of urban rail enterprises[J]. China metros, 2021(10): 30-32.

(编辑: 傅依萱)