文章编号：2097-5899(2025)03-0009-06　　**中图分类号：**U239.4　　**文献标识码：**A
DOI：10.16669/j.cnki.issn.2097-5899.202407170001
引用格式：单伟，苏天祺，焦晨，等. 数据中台在重载铁路基础设施智能运维中的应用与实践探索[J]. 铁路物流，2025，43(3)：9-14.
SHAN Wei，SU Tianqi，JIAO Chen，et al. Application and Practice of Data Center in Intelligent Operation and Maintenance of Heavy Haul Railway Infrastructure[J]. Railway Logistics，2025，43(3)：9-14.

数据中台在重载铁路基础设施智能运维中的应用与实践探索

单　伟[1]，苏天祺[1]，焦　晨[1]，薛肖遥[1]，耿小亮[2]

(1. 陕西靖神铁路有限责任公司 生产技术部，陕西 榆林　719000；2. 北京全路通信信号研究设计院集团有限公司 运输指挥与信息技术研究院，北京　100070)

摘　要：随着重载铁路信息化、智能化建设，重载铁路相关单位积累了海量的监测检测数据。重载铁路基础设施智能运维系统对这些数据进行收集处理，实现包含设备全生命周期、维检修、监测检测一体化等在内的综合性运维，数据中台在其中扮演着重要角色。通过介绍数据中台的架构、核心功能和关键技术，针对重载铁路基础设施智能运维系统的目标和挑战，阐述数据中台的解决策略，并详细描述了数据中台在运维核心场景中发挥的作用。在实践探索部分，展示了智能运维数据中台的设计与实现，并提供了应用案例分析，能够为重载铁路相关领域的研究和发展提供一定的理论和实践参考。

关键词：重载铁路；数据中台；辅助决策；业务数据；数据汇集

0　引言

随着我国经济的快速发展，对铁路运输需求也不断提升[1]，重载铁路承载的货运任务越来越多。为保障其高效、稳定、安全运行，重载铁路在信息化、智能化建设方面进行深度投入，更多新技术装备投入生产运营，积累了海量的检测、监测、运维、管理等分散存储数据[2]。这些数据由于历史原因，大多分散在不同的监测检测系统中，只能辅助本系统方向的运维决策，缺乏数据汇聚及共享分析的平台手段，其运用模式也无法保障数据定义的一致性。

重载铁路基础设施智能运维(以下简称“智能运维”)旨在对重载铁路工务、电务、供电专业各监测检测系统的数据进行规范化收集与处理，并依赖所收集的数据实现多专业的智能综合性运维，解决多专业、多系统数据分散、定义不清、无法融合的根本性问题。

数据中台作为一种集成的数据管理和分析平台，定义了一套标准化的数据治理流程，涵盖数据的采集、解析、清洗到治理、存储和分析，并最终可实现数据的可视化和输出，是适配多专业运维数据汇集及共享的理想选择。研究旨在深入分析数据中台技术在智能运维中的应用，探索其在不同业务场景下的实际效能，从而为智能运维提供数据融合的解决方案。

1　数据中台技术概述

1.1　数据中台的架构

数据中台通常由数据处理、数据可视、数据地图和数据输出等主要功能模块组成，运维数据中台功能如表1所示。数据处理模块包括数据解析、数据清洗和数据治理等子模块，其中数据治理进一步细分为元数据管理、数据质量管理和数据标准管理，旨在确保数据的准确性和一致性。数据存储模块负责结构化和非结构化数据的存储，为大数据分析提供坚实的基础。数据分析模块则利用先进的数据处理技术，充分挖掘

收稿日期：2024-07-17

数据的价值，为上层应用提供丰富的数据服务[3]。数据可视模块通过数据展示、数据报表和数据详情等功能，将复杂的数据分析结果转化为直观的图表和报告，方便用户进行数据的获取以及结果分析[4]。数据地图是对数据资产体系化、结构化的管控视图，提供数据总览、数据主题管理、数据检索和数据资产报告等功能，使用户能够快速定位和访问所需的数据资源。数据输出模块支持内部订阅输出和外部开放性输出，确保数据中台的数据服务能够灵活地服务于企业内外部的多样化需求。

表1　运维数据中台功能

Tab.1　Functions in operation and maintenance data center

功能模块	子模块
数据处理	数据解析、数据清洗、数据治理
数据治理	元数据管理、数据质量管理、数据标准管理
数据存储	—
数据分析	—
数据可视	数据展示、数据报表、数据详情
数据地图	数据总览、数据主题管理、数据检索、数据资产报告
数据输出	内部订阅输出、外部开放性输出

1.2　数据中台的关键技术

数据中台的关键技术涵盖了数据采集、数据存储、数据处理、数据分析、数据安全等多个方面。在数据采集技术包括多源异构数据的接入和集成，以及物联网(IoT)设备的实时数据流采集，确保数据的完整性和实时性。数据存储技术则侧重于构建高可用、高扩展的数据仓库，通常采用分布式存储系统来处理大规模数据集，同时保证数据的持久化和备份。数据处理技术是数据中台的核心，涉及数据抽取、清洗、转换、装载[5]等ETL过程，以及数据治理框架的建立，包括元数据管理、数据质量管理和数据标准管理。这些技术确保了数据的准确性和一致性，为后续的数据分析和应用打下坚实基础。数据分析技术则利用机器学习、统计分析和数据挖掘等方法，从海量数据中提取有价值的信息和洞察。预测性维护和故障诊断就是数据分析技术在智能运维中的重要应用，通过分析历史数据和实时数据，预测设备故障和性能退化，从而实现主动式运维。数据安全技术是保障数据中台稳定运行的另一关键，包括数据加密、访问控制、身份验证和安全审计等，确保数据在采集、存储、处理和传输过程中的安全和隐私保护。数据中台还需要具备强大的数据服务能力，通过API管理、数据服务接口和微服务架构等技术，为不同的业务场景提供定制化的数据服务和应用支持。

1.3　数据中台与智能运维的关系

数据中台作为智能运维系统的数据处理和分析核心，提供了一个集中化的数据管理和服务框架，通过高效的数据集成、清洗、治理和存储机制，确保智能运维系统能够访问到高质量、标准化的数据资源。这些数据资源是智能运维进行故障诊断、预测性维护、设备管理和决策支持等应用的基础。

在智能运维系统中，数据中台的关键作用体现在以下方面：①数据中台通过实时数据处理和分析，为运维团队提供即时的洞察和预警，从而实现故障的快速响应和预防性维护。②数据中台的数据可视化和报表功能，使得运维人员能够直观地理解复杂的数据信息，提高运维决策的效率和准确性。③数据中台的API和服务接口，为智能运维系统提供了灵活的数据服务，支持定制化的应用开发和业务流程集成。

2　重载铁路基础设施智能运维管理的需求分析

2.1　目标与挑战

重载铁路基础设施智能运维管理的核心目标是通过数据中台的强大数据处理和分析能力，提高运维管理自动化、智能化水平[6]，以提高运维效率和系统可靠性。智能运维管理旨在利用数据中台集成的高质量数据资源，进行深入的故障诊断、执行预测性维护、优化设备管理，并为决策提供有力支持。面对的挑战包括如何确保数据中台能够持续提供实时、准确的数据处理能力，以满足智能运维对于即时洞察和预警的需求；如何通过数据可视化和报表功能，使运维团队能更直观地理解复杂数据，从而提升决策的效率和准确性；如何利用数据中台提供的API和服务接口，支持智能运维系统的定制化开发和业务流程的无缝集成。同时，还需解决数据安全、模型准确性、系统适应性等问题，以应对不断变化的IT环境和业务需求，确保智能运维系统的长期有效性和适应性。

2.2　数据中台在智能运维中的作用

数据中台在智能运维管理中扮演着中枢的角色，通过集中化的数据管理和服务框架，为智能运维提供坚实的数据基础和分析能力。数据中台的作用体现在高效的数据集成和治理机制，能够整合来自不同运维环节的海量数据，确保数据的质量和一致性。这些数

据经过清洗、转换后，形成标准化、结构化的数据资源，为智能运维中的故障诊断和预测性维护提供可靠的数据支撑。数据中台的实时数据处理和分析能力，使得智能运维系统能够快速响应故障事件，实现早期预警和即时处理，从而提高系统的可用性和减少意外停机时间。此外，数据中台提供的数据可视化工具和报表功能，帮助运维人员直观理解复杂的数据模式，提升决策的效率和准确性。数据中台的API和服务接口，为智能运维系统的定制化开发和与现有业务流程的集成提供了灵活性。通过这些接口，智能运维系统可以轻松扩展新功能，快速适应业务需求的变化。为了应对数据安全和模型准确性等挑战，数据中台还需集成先进的数据加密技术和访问控制机制，确保数据的安全性和合规性，同时，采用机器学习和人工智能算法，不断优化数据处理模型，提高智能运维的准确性和效率。

2.3　智能运维管理的业务场景

智能运维管理的业务场景涵盖了铁路基础设施的全生命周期监控与维护，旨在实现对线路、钢轨、道岔、桥梁、隧道等关键资产的实时状态监测和故障预警。在智能运维的业务场景中，数据中台作为核心，对多源异构数据进行实时采集[7]，通过先进的数据处理和分析技术，提供设备状态的实时监控、故障诊断、预测性维护和资产性能优化等功能。智能运维管理的业务场景主要包括线路和钢轨的磨损监测、道岔的运行状态分析、桥梁和隧道的结构健康监测、信号机和转辙机的故障检测、通信光缆的干扰检测、接触网和牵引变电设备的效能评估等。通过智能运维平台，运维团队能够及时响应各种故障和异常情况，减少意外停机时间，提高铁路运输的安全性和可靠性。智能运维管理还涉及到运维资源的优化配置、运维流程的自动化管理以及运维决策的智能化支持。通过数据中台的数据可视化和数据地图功能，运维人员可以直观地掌握设备状态和性能指标，实现运维决策的数据驱动。

3　数据中台在智能运维中的应用

3.1　数据集成与管理

在重载铁路的智能运维体系中，数据集成与管理是构建数据中台的基石，对于整合来自铁路轨道、通信系统、信号系统等多个专业设备和系统的数据至关重要。将来自重载铁路运营各环节的数据，如通信监测数据、轨道状态信息、信号系统日志等，统一汇总，形成一个连贯的数据视图，为深入分析提供基础。但海量运维数据在格式、存储介质、来源等方面各有不同，导致数据无法直接使用[8]。通过采集、清洗、转换和加载(ETL)[9]流程，对异构数据进行标准化处理，确保数据的一致性和准确性，从而提高数据质量。利用数据湖或数据仓库技术，集中存储和管理结构化与非结构化数据，为智能运维系统提供强大的数据后盾。对存储的数据进行有效分类和索引，优化数据检索效率，确保运维人员能够快速访问所需数据。实施严格的数据安全措施，包括访问控制[10]等加密技术，保护数据免受未授权访问和泄露的风险。执行元数据管理、数据质量管理、数据安全合规、数据模型设计[11]等数据治理措施，保障数据的完整性和可信度。通过精细化的数据集成与管理，智能运维系统能够全面监控重载铁路的基础设施状态，及时发现并预防潜在故障，为铁路运营提供科学的决策支持。

3.2　实时数据处理与分析

在重载铁路的智能运维系统中，数据中台采用先进的数据处理引擎，能够实时采集和处理来自铁路工务、电务、供电等多个专业系统的高速数据流。收集的数据类型包括传感器读数、设备状态信息、环境监测变量等，这些数据通过铁路系统内的传输网络实时传输至数据中台。利用流处理技术和内存计算，数据中台能够快速处理和分析汇聚的数据，为铁路运维提供即时的业务洞察。通过应用复杂事件处理技术，数据中台可以对实时数据流进行模式识别，及时发现并分析设备运行中的异常模式。运用机器学习算法对数据进行深入分析，预测设备潜在的故障和性能退化，从而提前采取维护措施。数据中台能够根据预设的规则和阈值，自动触发预警系统，快速响应可能的故障情况，实现故障的早期发现和及时处理。通过实时数据处理与分析，智能运维系统为重载铁路提供科学的决策支持，帮助优化维护计划，减少意外停机时间，提升铁路运输效率。

3.3　预测性维护与故障诊断

在智能运维应用中，数据中台通过集成和分析来自铁路基础设施的大量实时监测数据，运用机器学习、深度学习等先进的数据分析技术，对设备的健康状态进行持续评估，预测性维护与故障诊断流程如图1所示。这种分析能够识别设备性能的微妙变化，预测潜在的故障和维护需求，从而实现从传统的周期性维护向基于条件的维护转变。数据中台的故障诊断功能通过实时监测设备的运行参数，结合历史故障数据，建立故障特征库，实现对各种复杂故障模式的快速识别

和定位。当系统检测到异常时，能够自动触发诊断流程，分析故障原因，并提供维修建议或自动执行修复操作，减少系统停机时间，提高运维效率。数据中台还能够根据设备的使用情况和性能变化趋势，优化维护计划和资源分配，实现预防性维护，避免故障发生。

3.4　自动化决策支持

在智能运维中，数据中台还能提供自动化决策支持，这一功能通过高度集成的数据分析和处理能力实现，自动化决策流程如图2所示。利用数据中台，运维团队能够快速访问和分析来自铁路基础设施的海量监测数据，包括线路、钢轨、道岔等关键部件的状态信息。通过应用机器学习算法和数据挖掘技术，数据中台能够识别数据中的模式和趋势，为决策者提供深入的业务洞察。自动化决策支持系统能够根据实时数据分析结果，自动生成运维决策建议，如维护工作的优先级排序、资源分配和调度建议等。这些建议帮助运维团队优化决策流程，提高响应速度和运维效率。自动化决策支持还涉及到故障模拟、风险评估和预测性维护计划的生成，这些都是基于对历史数据和实时数据的深入分析。

4　智能运维管理的实践探索

4.1　智能运维平台的收集与实现

智能运维平台设计以数据中台为核心，旨在实现对铁路基础设施的全面监控和管理。平台的设计遵循模块化和层次化原则，确保系统的可扩展性和灵活性，智能运维系统架构如图3所示。在数据采集层面，平台通过与工务、电务、供电等专业系统的接口集成，实现对线路、钢轨、道岔等关键设施的实时数据采集。这些数据通过既有的传输通道汇聚至智能运维系统中，为后续的数据处理和分析提供原材料。数据处理模块是平台的中枢，负责对收集到的大量异构数据进行清洗、转换、集成，最后加载到数据仓库[12]。利用大数据分析技术，能够对原始数据进行预处理，去除重复值、缺失值、异常值，并进行标准化处理[13]，确保数据的质量和一致性。数据中台的构建则侧重于数据的存储、治理和分析。平台采用分布式存储技术，支持结构化和非结构化数据的高效管理。数据治理功能通过元数据管理、数据质量管理和数据标准管理，确保数据的准确性和合规性。在应用层面，智能运维平台提供了设备管理、故障管理、维检修管理等核心运维应用。设备管理模块支持对铁路基础设施的全生命周期管理，包括设备档案、状态监控和维护记录。故障管理模块利用机器学习算法，实现故障的早期诊断和预警。维检修管理模块则根据设备状态和故障预测结果，自动生成维修和检修计划。综合可视化模块通过数据地图和数据展示工具，为运维人员提供直观的数据分析结果。这些工具支持多维度的数据展示，包括设备状态、故障分布、性能指标等，帮助运维团队做出更加精准的决策。

4.2　数据中台在智能运维中的集成应用

数据中台在智能运维系统中的集成应用是实现智能化运维管理的核心。在集成过程中，数据中台作为数据汇集和处理的中心节点，通过与工务、电务、供电等多个专业检测监测系统的接口对接，实现数据的全面采集。这些数据主要包括线路状态、钢轨磨损、道岔使用情况、桥梁和隧道的健康状况、信号机和转辙机的运行数据、通信光缆的传输质量、接触网和牵引变电设备的效能等。数据中台利用强大的数据处理能力，对采集到的海量数据进行实时的清洗、转换、聚合和存储，确保数据的质量和一致性。通过构建统一的数据模型，数据中台整合了不同来源和类型的数据，形成了一个综合的数据资源库，为智能运维提供了坚实的数据基础。在智能运维系统中，数据中台支持实时数据处理和分析，为故障诊断和预测性维护提供决策支持。数据中台的数据可视化和数据地图功能，使得运维人员能够直观地理解复杂的数据信息，提高运维决策的效率和准确性。数据中台还提供数据服务接口，支持智能运维应用的快速开发和部署，提高运

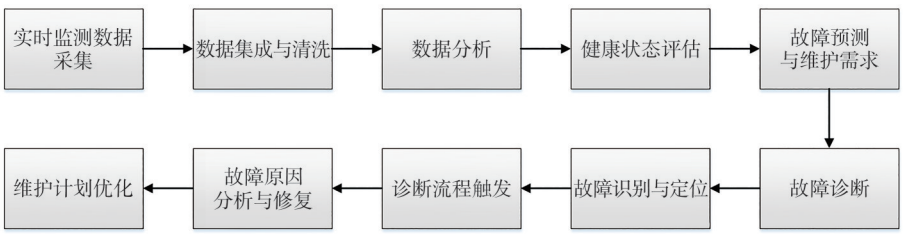


图1　预测性维护与故障诊断流程

Fig.1　Predictive maintenance and fault diagnosis process

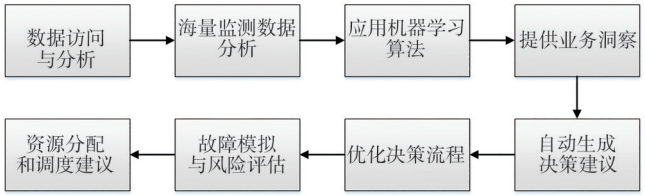


图2　自动化决策流程

Fig.2　Automated decision-making process

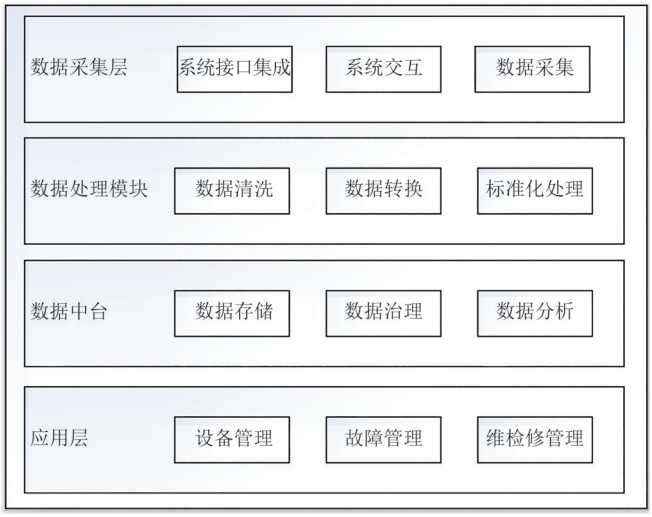


图3　智能运维系统架构

Fig.3　Intelligent operation and maintenance system architecture

维响应速度和灵活性。数据中台的集成应用还涉及到数据治理和数据资产管理，包括元数据管理、数据质量管理和数据标准管理，确保数据在整个运维过程中的准确性和可追溯性。通过数据中台的数据共享和输出功能，智能运维系统能够实现跨专业、跨层级的数据共享，提高数据的利用效率和价值。

4.3　数据中台实现设备生命周期高效管理

通过数据中台，将原本分散于线上线下、不同系统、不同结构的设备数据进行收集和处理，将设备相关内容进行有效关联，准确描述设备所处的不同阶段，构建全面设备数字履历系统，使业务人员能够准确掌握各设备当前和历史信息，实现设备全生命周期管理。

首先，数据采集模块通过接口对接、数据库导入等方式，将多源异构数据导入到数据中台，并对这些数据进行清洗和格式化操作，去掉重复数据和脏数据，形成统一的存储结构，放入数据资源库。数据建模模块对清洗后数据进行实体维度和业务明细上的建模，丰富不同来源的设备基础信息，并将多业务下设备动态信息和设备状态进行汇总关联。通过数据治理模块，对设备基础信息、设备业务过程信息进行定义和值域范围规范化，确保数据一致性和理解一致性。经过上述处理的设备数据，涵盖了最全的设备基础属性，如设备编码、设备名称、设备类型、设备型号、出厂信息、轮检修信息等，并且将相关业务过程和设备状态进行了关联，如设备检测信息、设备监测信息、设备告警、设备缺陷、设备报废等。最终形成准确、全面的设备履历数据。

其次，设备履历数据导入至数据查询引擎产品中，以支持多维度、高效灵活的查询需求，满足高并发查询需求。数据可视化模块实时提取这些数据结果，并在前台直观展示，使得复杂的数据分析结果易于理解和操作，如面向领导的管理驾驶仓、面向流程经理的报表报告[14]等。

最后，通过数据查询引擎和可视化方式，更加直观理解查看设备所处生命周期，实现不同刻度下的汇总统计，并对其进行操作干预，对设备生命周期实现高效管理[15]。

5　结束语

在工电供智能运维管理中，数据中台技术的应用与实践探索为提升运维效率和质量提供了重要支撑。通过数据中台的建设与应用，汇聚了工务、电务、供电专业相关数据，打通数据壁垒，实现了对运维数据的集成、管理、处理和分析，为智能运维决策提供了更加可靠的数据支持。在未来的研究中，可以在机车、车辆等其他铁路专业推动数据中台技术应用落地，进一步探索智能运维管理水平的提升方案，推动重载铁路全专业基础设施运维工作向智能化、自动化、高效化的方向发展，实现运维管理的持续优化和提升。

参考文献：

[1] 贾双营. 中老铁路运输能力影响因素分析及优化探讨[J]. 铁道货运，2023，41(7)：14-18.
JIA Shuangying. Influencing Factors and Optimization of Transport Capacity of China-Laos Railway[J]. Railway Freight Transport，2023，41(7)：14-18.

[2] 张　斌，王　巍，吴明明. 基于网管告警分析的重载铁路通信设备故障诊断系统研究[J]. 铁道货运，2022，40(9)：52-58.
ZHANG Bin，WANG Wei，WU Mingming. Research on Fault Diagnosis System of Communication Equipment for Heavy-Haul Railways Based on Network Management Early Warning[J]. Railway Freight Transport，2022，40(9)：52-58.

[3] 刘淑梅，杜　彬，云桂桂，等. 基于数据中台和流程平台的业务中台建设与实践[J]. 现代电子技术，2022，45(20)：65-68.

[4] 李欣泽，邓　昀，陈守学.基于物联网的数据分析结果可视化系统的设计[J].科技创新与应用，2021，11(32)：36-40.

[5] 张　宁，贾自艳，史忠植.数据仓库中ETL技术的研究[J].计算机工程与应用，2002，38(24)：213-216.
ZHANG Ning，JIA Ziyan，SHI Zhongzhi. Study On Research on Technology of ETL in Data Warehouse[J].Computer Engineering and Applications，2002，38(24)：213-216.

[6] 单　东，李志敏，燕　飞，等.建设公众客户服务支撑系统提升运维管理自动化、智能化水平[J].山东通信技术，2015，35(3)：9-12.

[7] 吴海涛，廖　兵，王　丹，等.数据中台实时数据抽取关键技术研究[J].中文信息，2021(9)：8-9.

[8] 刘　志，李铭路，付　强.强化数据赋能，稳步提升运维智能化水平：长沙银行运维数据中台建设实践[J].中国金融电脑，2023(11)：74-76.

[9] EL-SAPPAGH S，HENDAWI A，BASTAWISSY A. A Proposed Model for Data Warehouse ETL Processes[J].Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences，2011，23(2)：91-104.

[10] 徐江峰，刘恒强.基于角色和加密技术的访问控制研究[J].微计算机信息，2008，24(3)：36-38.

[11] 吴信东，董丙冰，堵新政，等.数据治理技术[J].软件学报，2019，30(9)：2830-2856.
WU Xindong，DONG Bingbing，DU Xinzheng，et al. Study On Data Governance Technology[J].Journal of Software，2019，30(9)：2830-2856.

[12] 刘伟华.基于元数据库的通用ETL系统设计与开发[D].成都：电子科技大学，2012.

[13] 周艳聪，郝园媛.基于机器学习的运营商客户行为分析[J].科学技术与工程，2022，22(2)：585-592.
ZHOU Yancong，HAO Yuanyuan. Study On Research of Operator Customer Behavior Analysis Based on Machine Learning Algorithm[J]. Science Technology and Engineering，2022，22(2)：585-592.

[14] 庞爱民.一体化智能运维助力企业数字化转型[J].软件和集成电路，2024(1)：28-29.

[15] 武　威，马小宁，殷新贝，等.面向重载铁路基础设施智能运维的朔黄铁路智能大脑平台总体设计及关键技术研究[J].铁道运输与经济，2023，45(11)：11-21.
WU Wei，MA Xiaoning，YIN Xinbei，et al.Study On Research on Overall Design and Key Technologies of Shuohuang Railway Intelligent Brain Platform for Intelligent Operation and Maintenance of Heavy-Haul Railway Infrastructure[J]. Railway Transport and Economy，2023，45(11)：11-21.

（责任编辑：吴文娟）

Application and Practice of Data Center in Intelligent Operation and Maintenance of Heavy Haul Railway Infrastructure

SHAN Wei[1]，SU Tianqi[1]，JIAO Chen[1]，XUE Xiaoyao[1]，GENG Xiaoliang[2]

(1. Production Technology Department, Shaanxi Jingshen Railway Co., Ltd, Yulin 719000, Shaanxi, China; 2. Transport Command and Information Technology Research Institute, CRSC Research & Design Institute Group Co., Ltd, Beijing 100070, China)

Abstract: With information and intelligent construction of heavy haul railways, related units in this field have accumulated a large amount of monitoring and testing data. The intelligent operation and maintenance of heavy duty railway infrastructure collects and processes these data, achieving comprehensive operation and maintenance including the whole life cycle of equipment, maintenance, monitoring, and testing integration. The data center plays an important role in the intelligent operation and maintenance management of heavy duty railways. This paper introduced the architecture, core functions, and key technical capabilities of the data center and proposed the solution strategies for the data center to achieve these goals and overcome challenges in the intelligent operation and maintenance management of heavy duty railways. It listed the function of data center in the operation and maintenance core scenario. Through practical exploration, the design and implementation of the data center for intelligent operation and maintenance management were demonstrated. It also provided an application case analysis, which could provide some theoretical and practical reference for the research and development of fields related to heavy haul railways.

Keywords: Heavy Haul Railway; Data Center; Assistant Decision; Business Data; Data Aggregation