文章编号：2097-5899(2026)02-0044-07　　**中图分类号**：U239.4　　**文献标识码**：A
DOI：10.16669/j.cnki.issn.2097-5899.202505160001
引用格式：杜天军，张志春，魏喜莲，等. 重载铁路基础设施一体化智能运维平台的研究及应用[J]. 铁路物流，2026，44(2)：44-50，64.
DU Tianjun，ZHANG Zhichun，WEI Xilian，et al. Research and Application of Integrated Intelligent Operation and Maintenance Platform for Heavy-Haul Railway Infrastructure[J]. Railway Logistics，2026，44(2)：44-50，64.

重载铁路基础设施一体化智能运维平台的研究及应用

杜天军[1]，张志春[2]，魏喜莲[3]，汤　超[3]

(1. 陕西靖神铁路有限责任公司 生产技术部，陕西 榆林　719000；2. 陕西铁路物流集团有限公司 生产技术部，陕西 西安　710000；3. 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：为探讨重载铁路基础设施一体化运维问题，针对重载铁路基础设施运维管理现状，以及重载铁路发展对一体化运维的需求，结合大数据、人工智能、物联网、数据挖掘等新技术，重点研究重载铁路基础设施一体化智能运维平台的总体架构、系统架构、技术架构、功能结构以及采用的关键技术和未来的应用前景，提升了重载铁路基础设施多专业的融合管理。研究创新性提出重载铁路基础设施一体化运维的新思路，为实现铁路基础设施综合维修生产一体化管理提供了重要参考。

关键词：重载铁路；基础设施；一体化；智能运维；关键技术

0　引言

重载铁路以其运量大、效率高的特点，在国家物流运输体系中占据愈发重要的战略支点，随着重载铁路运输量的持续上升，重载铁路路网规模快速扩大、列流密度大幅增加、外部环境复杂，对设备安全保障水平和故障应急处置能力提出更高要求。然而，运维工作中存在诸多问题和弊端，一是工务、电务、供电分专业垂直管理的模式，此模式下虽然在维护管理的专业性、可靠性上发挥了重大作用，但也面临着天窗综合利用率较低、专业之间结合部多、生产资源不能统筹共用、应急协同不高效等弊端；二是工电供设备关联性强，配合度紧密度高，各专业主要技术指标、性能指标相互制约，专业之间的依存度高，事实上已经形成了“你中有我，我中有你”的专业技术格局；三是维检修主要依据检修周期对设备进行维检修而忽视设备的实际健康状况造成过度修或不足修，从而导致资源错配和成本浪费；四是数据孤岛，工电供各专业数据相互独立，缺乏统一平台整合分析，影响维护决策效率等问题[1]。由此可见传统的运维模式已经不能完全适应重载铁路发展的要求，必须转变观念、创新思路，深入推进生产方式、组织方式、管理方式创新，急需构建更为安全可靠、质量强化、降本增效、高效应急、专业融合的基础设施维护管理系统，不断提升养护维修的质量效率和效益。

1　研究背景

1.1　国内研究现状及背景

传统的生产组织模式已经不能完全适应铁路生产的发展需求，中国国家铁路集团有限公司(以下简称“国铁集团”)于2017年开始推动打破专业间壁垒的改革，相继出台一系列政策深入推进铁路综合维修生产

收稿日期：2025-05-16
通信作者：魏喜莲(1978—)，女，山东郓城人，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正高级工程师。

一体化，如《中国铁路总公司关于加快推进高速铁路综合维修生产一体化管理的通知》(铁总工电〔2018〕148号)提出“七统一，一联合”的综合维修生产一体化管理模式要求[2]；《中国铁路总公司关于深化高速铁路综合维修生产一体化改革的指导意见》(铁总工电〔2019〕45号)提出加强信息化建设，共享专业信息资源，研发推广工电供综合维修生产管理信息系统统一平台，综合利用各专业动/静态监测数据，掌握设备质量变化趋势，辅助编制各级生产计划；《关于进一步深化高速铁路综合维修生产一体化站段改革的指导意见》(铁办〔2019〕19号)提出在各铁路局设置基础设施段，负责工务、供电、电务、机务的维护管理；为加强各专业信息资源的共享和信息化建设，《新时期交通强国铁路先行规划纲要》明确提出“深化修程修制改革，建立健全设施设备维护评价标准体系，推进全生命周期云端智能健康管理，提高维检修专业化、集约化、精准化、智能化、造修一体化水平”。上述政策文件都代表了铁路运营维护中工电供专业一体化的导向，必将朝“综合”和“协同”的方向发展。

1.2　国外研究现状

国外方面，铁路发达国家在运维管理上普遍采用扁平化组织架构，“管理、检测、养护、维修”科学合理分化，运维模式正迈向“专业化集中维修、综合性协同养护、跨领域联动作业”。例如，JR东日本旅客铁道株式会社维修组织架构为：设置1个运行本部和7个支社，每个支社下设7个技术中心，分别为土木技术中心、车辆技术中心、道路养护技术中心、电力技术中心、信号通信技术中心、设施技术中心、综合维修基地，负责新干线基础设施的运维工作。法国高速铁路公司维修组织架构为：平均300 km设1处基础设施综合维修段，全线共设置6个综合维修段，综合维修段根据管辖里程下设若干综合维修工区，综合维修段的管理机构为各地区铁路局[3]。

2　重载铁路基础设施一体化智能运维平台

2.1　概述

重载铁路基础设施一体化智能运维平台(以下简称“智能运维平台”)是一个集工务、电务、供电等多专业于一体的智能运维平台。智能运维平台以国铁集团《关于进一步深化高速铁路综合维修生产一体化站段改革的指导意见》(铁办〔2019〕19号)为纲领，在全面梳理与总结工务、电务、供电专业信息系统建设现状、维修组织方式与业务需求的基础上，以生产组织为核心，进行业务流程再造，搭建支撑“一体化管理、集中化组织、专业化维修”的一体化运维管理系统，实现多源异构数据采集、统一治理、建模、关联数据的综合分析与共享，生产流程规范，信息全面共享，有效提升综合维修生产管理水平。

2.2　系统方案

智能运维平台主要包括多源异构数据采集、数据中台搭建和智能运维应用3部分，将工务、电务、供电等专业的运维数据统一纳管，软硬件资源共享，通过统一界面构建开放、集成、高效、灵活的重载铁路基础设施一体化智能运维平台，重点研究了设备全生命周期管理、全量化采集分析在线/离线检测数据&实时监测数据&人机巡检数据、设备故障综合分析诊断、计划编制及作业管控、设备健康评估及趋势预测、全景运维等核心功能。系统方案如图1所示。

2.3　技术方案

智能运维平台的系统架构分为10个层级，分别为展示层、网关层、应用层、服务层、数据集成层、技术基础层、运行保障层、数据存储层、部署运维层、大数据平台；结构化的层级架构划分可完整呈现应用系统的全局设计框架[4]。系统架构如图2所示。

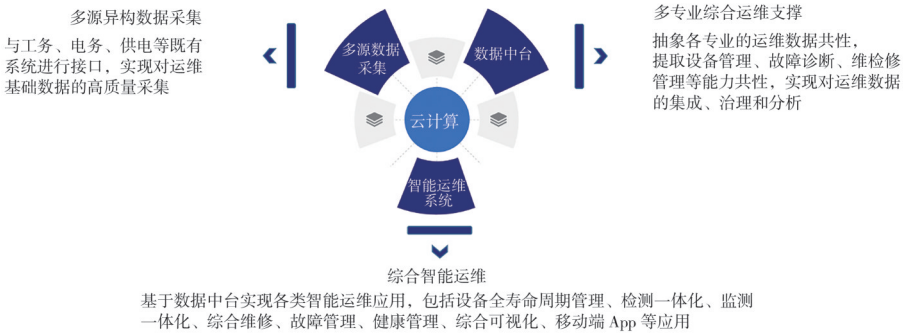


图1　系统方案

Fig.1　System scheme

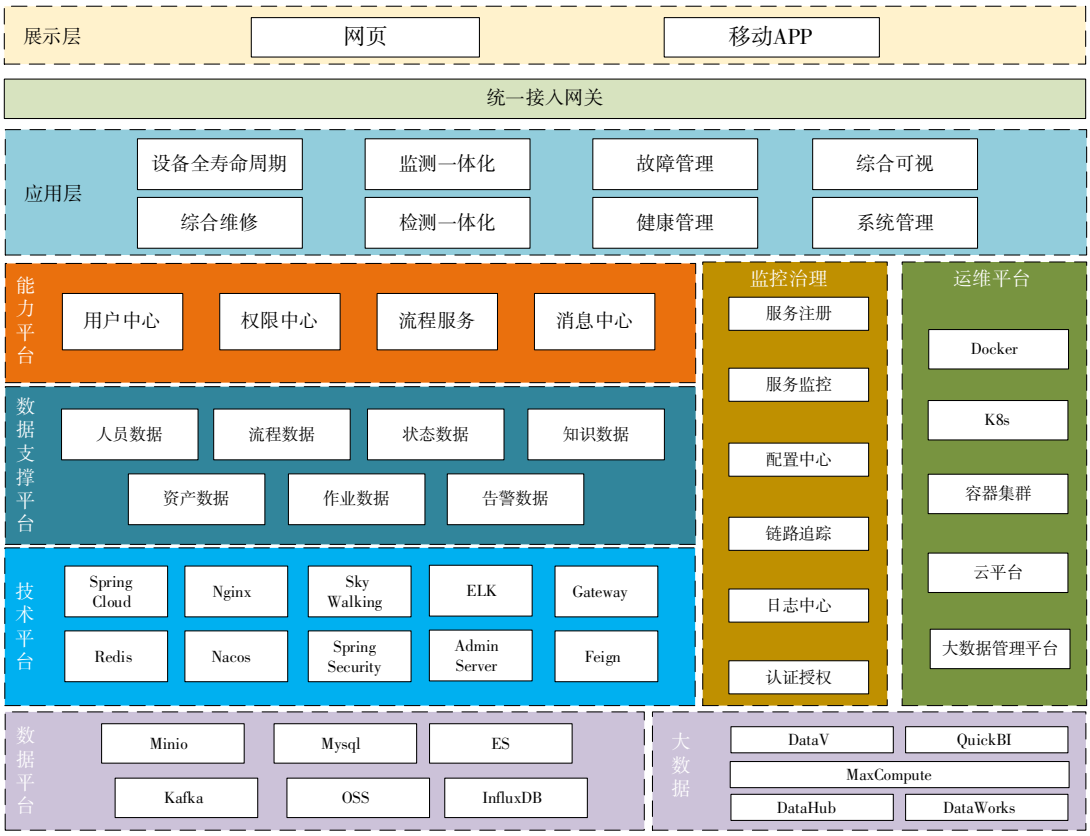


图2　系统架构

Fig.2　System architecture

2.3.1　展示层

展示层是智能运维平台与用户交互的界面。系统提供网页、大屏、移动App 3种展示方式，方便用户通过不同的终端设备访问系统，快速浏览系统展示数据信息，实现多平台、多方式的系统使用方式。

2.3.2　网关层

统一接入网关是系统的入口，可以过滤和转发用户的请求。网关负责对外部请求进行统一的路由、鉴权、限流、熔断等处理，保证系统的安全性和稳定性。

2.3.3　应用层

应用层是系统的核心业务层，实现管理铁路智能运维的各个环节。智能运维场景8大智能应用分别为设备全寿命周期管理、检测一体化、监测一体化、综合维修、故障管理、健康管理、综合可视和系统管理，全面提升铁路运维的智能化水平。

2.3.4　服务层

服务层作为数据的支撑平台，可以提供各种通用的功能和能力。该部分提供了用户中心、流程服务、权限中心、消息中心等公共能力，支撑应用层的业务需求，提高系统的复用性和可扩展性。

2.3.5　数据集成层

数据集成层为系统提供了数据支撑平台，它可以收集和处理各种类型的数据。数据集成层整合了组织机构数据、人员数据、设备设施基础数据、巡检数据、实时监测数据、告警数据、维检修数据、流程数据等多源异构数据，构建重载铁路运维的数据资产库，为应用层和大数据平台提供数据支持。

2.3.6　技术基础层

技术基础层提供了系统的技术平台，采用Spring Cloud、Nginx、Sky Walking、ELK、Gateway、Redis、Nacos、Kafka、SpringBoot Admin Server等主流技术框架，构建微服务化架构，可以实现系统的高效开发和运行。

2.3.7　运行保障层

运行保障层通过对系统的监控和治理，可实现系统的自动化监控和管理。采用服务注册、服务监控、配置中心、链路追踪、日志中心、认证授权等技术手段，实现系统的动态配置管理、服务治理和安全防护，保障系统的可靠性和可维护性。

2.3.8　数据存储层

数据存储层是系统的数据平台，实现数据的存储和分析。数据平台使用 Minio、Kafka、MySQL、ES、OSS、InfluxDB 等数据库技术，存储和处理海量的信息数据，可满足不同应用场景对数据的需求。

2.3.9　部署运维层

部署运维层为系统提供了安全便利的运维平台，可以使得系统的部署和运维在不同环境下安全运行。系统使用 Docker、K8s、容器集群、云平台、大数据管理平台等工具，实现系统的自动化部署和运维管理，提高系统的可用性和灵活性。

2.3.10　大数据平台

大数据平台是系统的数据分析层，实现大数据深度挖掘。系统通过使用 DataV、QuickBi、DataHub、DataWorks 等大数据产品，对工务、电务、供电等专业的数据进行可视化展示和智能分析，为用户提供决策支持和优化建议。

2.4　总体架构

智能运维平台需持续支撑重载铁路基础设施运维业务的工作需求，同时与云计算、大数据、AI 智能等新一代信息技术相结合，采用多层架构、模块化的设计模式，构建基于新一代信息技术的智能运维平台，总体架构如图 3 所示。

智能运维平台总体架构包括数据源层、数据中台、应用层、展示层。其中，数据中台包含数据统一采集、数据处理及数据服务等；应用层和展示层是根据用户特定需求定制开发的具体应用部署。

2.4.1　多源数据采集与分析

智能运维平台全量化采集综合检测车及其他(如车载式线路检查仪等)检测数据、日常检查数据、现场检查维护记录数据，实时采集工务、电务、供电等专业的监测数据；规范化采集设备基础数据、维检修数据，实现数据集中管理和分析，发现设备可能存在的缺陷/故障，并同步到故障管理模块的缺陷/故障库，实现缺陷/故障上报，并将数据同步到设备全寿命周期模块集中展示，为故障管理和健康管理模块提供数据支撑。

2.4.2　数据中台

数据中台是一种集成了数据管理、数据治理、数据服务等的平台，通过整合企业内外部的分散数据，打破数据孤岛，建立统一的数据标准和规范，通过将所有的数据资源和服务整合到一个统一的平台上，实现数据的集中管理和服务。

从技术角度来看，数据中台是一个基于云计算的技术架构，采用分布式、微服务、容器化等技术手段，实现数据的采集、存储、计算、管理、服务等多个环节。数据中台可以对接各种数据源，并通过数据治理手段，保证数据的完整性、准确性和一致性。同时，数据中台提供各种数据服务接口，使业务系统可以方便地获取所需的数据，实现快速的数据分析和业务决策。

智能运维数据中台针对非实时数据进行统一治理、

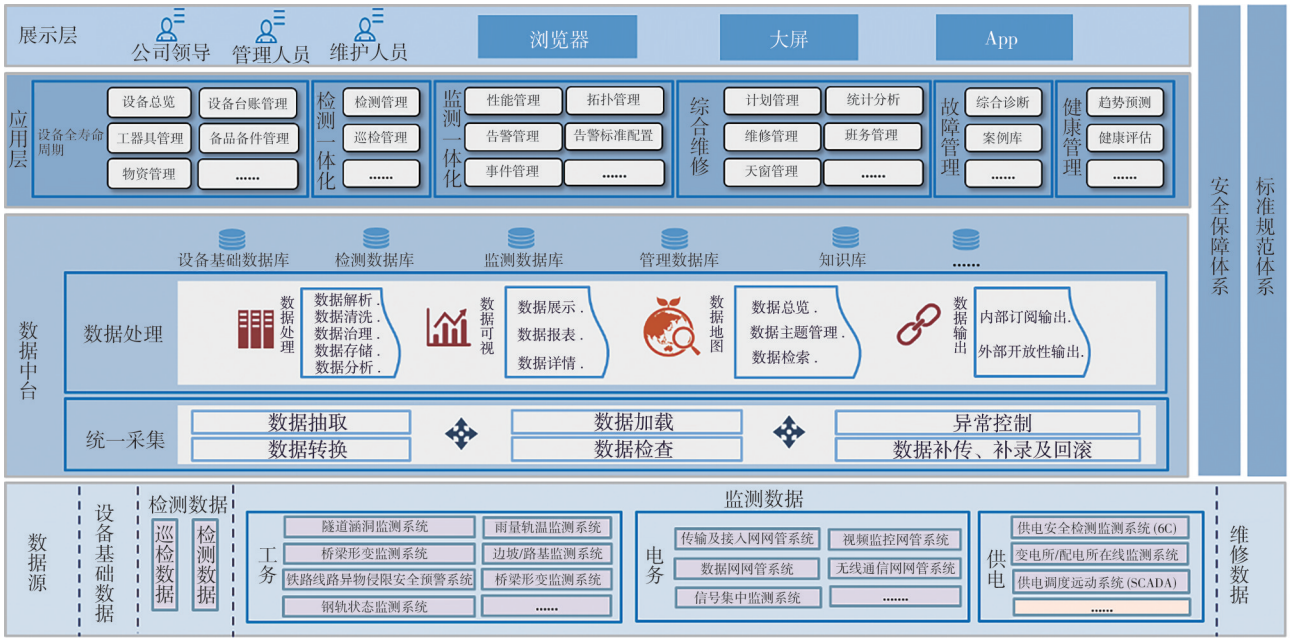


图 3　总体架构

Fig.3　Overall framework

建模，形成数据资产仓库，为各类指标统计、数据挖掘提供数据服务，针对实时数据进行统一采集、快捷建模、通过订阅为各类实时性业务提供数据服务，实现数据统一管，业务部门不再管数据，根据需要取数据用即可；实现数据统一用，对数据进行信息化编码、规范标准、监控等，保障用户充分理解所用数据，降低错用率；实现数据去找人，根据不同用户类型、不同数据使用需求，建立多种数据共享方式，并根据业务特点、人员特征直接推送相关数据；实现数据可展示，搭建数据报表、数据地图、数据资产看板，提高用户查看和查询数据效率[5]。数据中台如图4所示。

2.4.3　智能应用

智能应用主要包括设备全寿命周期管理、检测一体化、监测一体化、综合维修、故障管理、健康管理、综合可视化、系统管理、移动端App等9大功能模块[6]。智能应用如图5所示。

（1）设备全寿命周期管理。通过收集基础设施设备基础数据，自动关联故障维修记录、养护维护记录、设备监

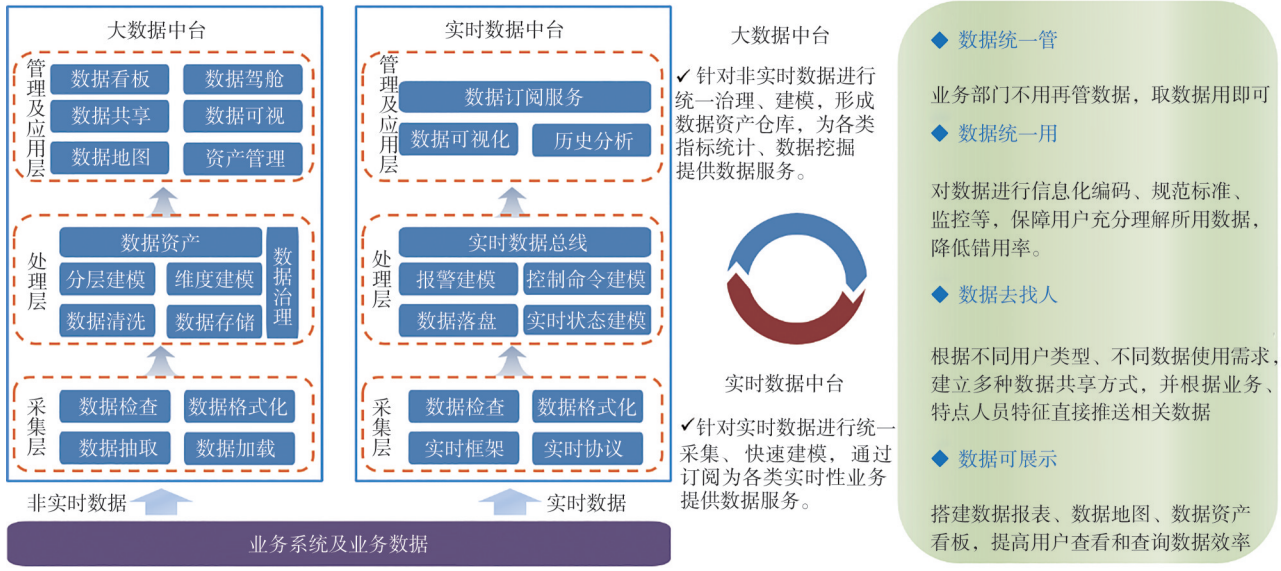


图4　数据中台

Fig.4　Data middle platform

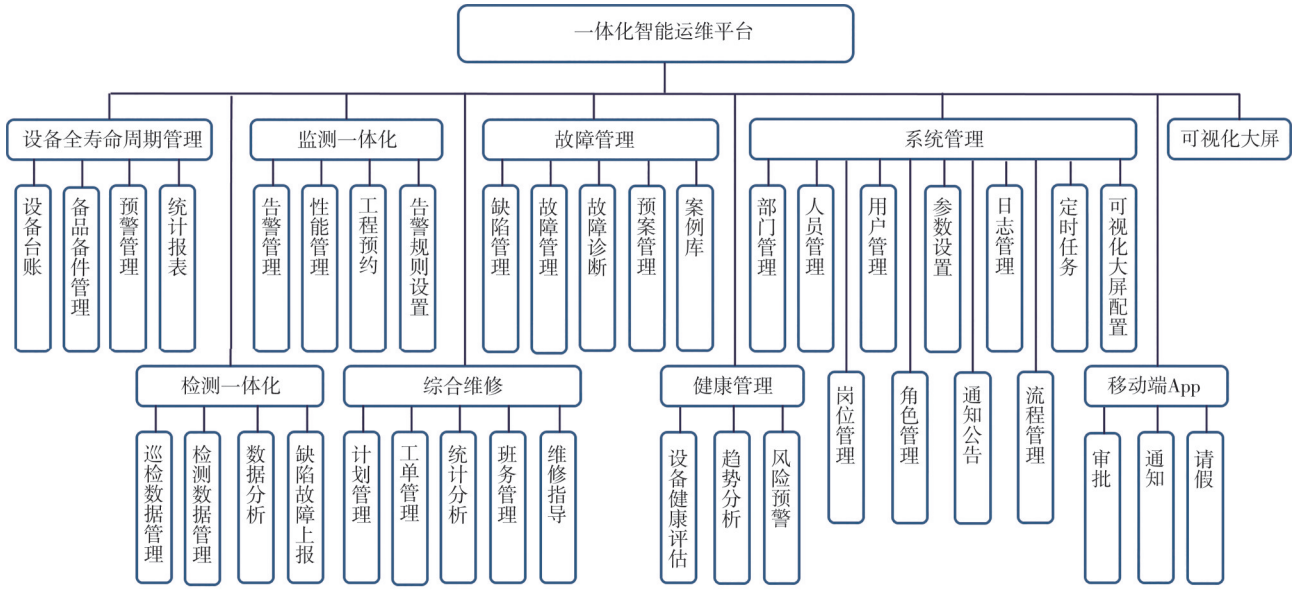


图5　智能应用

Fig.5　Intelligent application

测检测记录、报废下线记录等形成贯穿设备全寿命周期的数字化履历，实现硬件、软件、数据的一体化管理。

（2）检测一体化。对设施设备的人机巡检数据、检测数据进行集中管理和异常分析，发现存在的缺陷/故障，并同步到故障管理模块，实现缺陷/故障上报，并将数据同步到设备全寿命周期模块集中展示，为故障管理和健康管理模块提供数据支撑。

（3）监测一体化。接入各专业既有监测系统的实时监测数据，获取相应业务数据、告警数据、性能数据，实现工务、电务、供电等专业设备状态实时监测，故障/缺陷处置流程的全过程跟踪。

（4）综合维修。实现计划制定—维修执行—日报管理—统计分析—指导新计划制定的维修流程统一、闭环管理，通过周计划多专业协调自动检测作业时间冲突，提升维修天窗利用率；提供派工单、作业计划单和日报表管理，汇总工作日志以及多维度自动计算天窗兑现率，提供检修规程、设备检查标准等维修指导文件的浏览及下载功能；汇总综合维修数据，按年、月、日提供计划完成情况及工作量统计，针对设备检修及缺陷处理，为用户提供检修周期预警及缺陷超期预警；实现人员管理、自动排班管理以及交接班管理等功能；统一管理检修规程、作业标准、作业指导和检查标准，方便查询、浏览和下载，提升维修知识的查阅效率。

（5）故障管理。实现管理缺陷信息，实时查看处理状态，处理全流程跟踪，实现缺陷“上报—审批—消缺”闭环管理，对于典型案例可一键入库，实现缺陷实例库的增长；实现管理故障信息，实时查看处理状态，故障分析报告等全流程跟踪管理，对于典型案例可一键入库，实现故障案例库的增长；综合多元数据，构建故障诊断模型，实现故障快速定位；综合历史经验积累、缺陷/故障处理专家意见，形成运维知识图谱。

（6）健康管理。从缺陷/故障数量、位置、频次等维度分析状态演化机理与规律，构建健康评价模型，评估设备健康状态；通过对设备基础数据、状态数据、检测监测数据、维修数据、缺陷/故障数量、位置、频次等进行多源数据分析，根据状态演化机理和规律，发现指标的异常变化点，预测发展趋势和风险概率。

（7）综合可视化。基于GIS+BIM，实现现场环境包括轨道、隧道、桥梁、路基、站场房屋、牵引变电所相关设备、接触网相关设备、通信信号相关设备BIM展示，利用三维平台和业务系统相融合，动态呈现设备状态、设备参数、缺陷及故障信息等[7]。

（8）系统管理。实现对部门、人员、岗位、角色、权限、菜单、通知公告、定时任务、参数设置、日志管理等方面的日常维护管理功能[8]。

3　关键技术研究

智能运维平台的关键技术研究涉及多源异构数据采集与融合技术、故障智能诊断技术、设备全生命周期管理技术等多个方面。

3.1　多源异构数据采集与融合技术

多源异构数据采集与融合技术是实现智能分析的核心支撑，主要涵盖数据采集、集成、清洗、融合及应用等多个环节。

智能运维平台需要全量化采集工电供各专业监测系统中实时数据和离线的检测数据、基础数据及运行维护数据，这些数据在数据量、数据类型、数据结构和数据格式等方面都存在着巨大差异，采用多源异构数据采集技术将这些数据统一采集到智能运维平台中[9]，对采集到的原始数据进行清洗，去除噪声和异常值，并进行标准化处理，以便于后续的分析和建模。再利用数据融合技术直接整合不同来源的数据，提取各数据源特征后进行融合，增强模型泛化能力，利用Transformer、CNN-Transformer等模型，实现跨模态特征关联。

3.2　智能故障预测技术

重点研究了基于统计学的故障智能诊断技术，该诊断技术是通过对样本数据的分析，提取故障特征，实现对故障类型的识别。

面向故障智能诊断，研究提出了一种基于因果贝叶斯网络的重载铁路接触网风险预测模型，以解决现有研究未充分考虑风险因素与后果间复杂因果关系的问题。首先，通过历史数据分析，识别气候条件、车辆负载和设备故障等风险因素；然后，结合接触网故障树和FMEA方法，构建风险传播因果网络，明确风险因素间的条件概率关系。接着，利用贝叶斯网络进行反向推理，识别关键风险节点及因果链。最后，基于实际运行数据对风险进行评估。结果表明，该方法不仅能分析直接风险影响，还能揭示潜在因果路径，提高了评估的准确性和可靠性，为铁路运营维护提供参考[10]。

3.3　设备全生命周期管理技术

设备全生命周期管理是指对设备从采购、部署、使用、维护到报废的全过程进行管理和控制。该过程涉及设备管理的硬件、软件、安全、数据等方面，目的是确保设备在整个生命周期内都能够高效、安全地运行，同时实现最大化的价值。

设备全生命周期管理以设备编码为唯一标识，以设备基础信息、技术资料、现场图片为基础，以事件关联技术为核心，自动关联告警信息、故障信息、位

置信息、维护信息、设备健康状态及趋势预测，实现贯穿设备全生命周期的数字化履历、硬件、软件、数据的一体化精细化管理。

4　结论及展望

研究围绕重载铁路基础设施一体化智能运维平台的构建，针对传统运维模式中存在的工电供专业分割、数据孤岛、资源浪费、应急协同效率低等问题，提出了一体化智能运维解决方案。智能运维平台基于国铁集团“综合维修生产一体化”政策导向，采用多源异构数据采集、数据中台整合、智能应用开发等技术手段，实现了设备全生命周期管理、故障智能诊断、健康状态评估及趋势预测等核心功能。通过打破专业壁垒、优化生产组织流程、提升数据共享能力，智能运维平台显著提高了运维效率，降低了成本，并为重载铁路安全高效运营提供了技术支撑。

目前智能运维平台已在朔黄铁路(神池南—黄骅港)、浩吉铁路(浩勒报吉—吉安)、大秦铁路(韩家岭—柳村南)落地应用。朔黄铁路工电供一体化智能运维系统的落地应用使天窗利用率提升20%、设备故障率下降15%、应急响应时间缩短30%；浩吉铁路工电供一体化智能运维系统的应用也取得了显著的成效，如人工巡检工作量减少40%、设备故障预测准确率超过90%；大秦铁路综合检测大数据平台落地应用使钢轨伤损识别准确率提升至95%、年度维修成本降低约10%。

重载铁路基础设施一体化智能运维平台将显著提高工电供专业的综合分析能力和故障综合诊断能力[11]，其应用前景不仅体现在效率提升与成本节约，更将重塑铁路运维的产业生态。随着技术迭代、政策落地与市场成熟，智能运维平台有望成为铁路运维的主流模式，助力我国铁路高质量发展。

参考文献：

[1] 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)：11-21，57.
WU Wei，MA Xiaoning，YIN Xinbei，et al. 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)：11-21，57.

[2] 李　斌. 基于边云协同技术的高速铁路“工电供”综合运维一体化管理平台研究与探索[J]. 电信科学，2019，35(S2)：77-83.
LI Bin. Research and Exploration of Integrated Management and Operation Platform for High Speed Railway“Work and Power Supply”Based on Edge Cloud Coordination Technology[J]. Telecommunications Science，2019，35(S2)：77-83.

[3] 陈耿钦. 高速铁路信息通信基础设施设备智能运维综合管理平台研究[J]. 铁道通信信号，2020，56(4)：54-57.
CHEN Gengqin. Study on Integrated Management Platform for Intelligent Operation and Maintenance of Information and Communication Equipment and Facilities in High Speed Railway[J]. Railway Signalling & Communication，2020，56(4)：54-57.

[4] 马　祯，贺文轩，杨　雪，等. 深圳城际铁路智能检测监测综合一体化平台设计与构想[J]. 铁道运输与经济，2023，45(7)：28-35.
MA Zhen，HE Wenxuan，YANG Xue，et al. Design and Conception of Intelligent Detection and Monitoring Integrated Platform for Shenzhen Intercity Railway[J]. Railway Transport and Economy，2023，45(7)：28-35.

[5] 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.

[6] 戚小玉. 基于铁路数据服务平台的电务大数据智能运维技术研究与应用[J]. 铁道运输与经济，2023，45(9)：66-73.
QI Xiaoyu. Research and Application of Big Data Intelligent Operation and Maintenance Technology for Communication & Signaling Based on Railway Data Service Platform[J]. Railway Transport and Economy，2023，45(9)：66-73.

[7] 王辉麟，肖彦峰，张俊尧，等. 基于BIM的铁路基础设施综合运维管理平台研发与实践[C]//第十六届中国智能交通年会(ITSAC 2021)论文集. 北京：机械工业出版社，2021：313-324.

[8] 李俊波. 铁路基础设施综合维修生产管理信息系统构建重点及关键技术[J]. 中国铁路，2019(3)：27-33.
LI Junbo. Key Points and Technologies of Integrated Maintenance Production Management Information System Construction for Railway Infrastructure[J]. Chinese Railways，2019(3)：27-33.

[9] 宁　滨，莫志松，李开成. 高速铁路信号系统智能技术应用及发展[J]. 铁道学报，2019，41(3)：1-9.
NING Bin，MO Zhisong，LI Kaicheng. Application and Development of Intelligent Technologies for High Speed Railway Signaling System[J]. Journal of the China Railway Society，2019，41(3)：1-9.

[10] 赵国智，王振林，闫　龙，等. 基于因果贝叶斯网络的重载铁路接触网风险评估研究[J]. 铁路物流，2025，43(5)：53-60，72.
ZHAO Guozhi，WANG Zhenlin，YAN Long，et al. Risk Assessment for Heavy-Haul Railway Contact Lines Based on Causal Bayesian Network[J]. Railway Logistics，2025，43(5)：53-60，72.

[11] 尹春雷. 高铁综合运维的发展与展望[J]. 铁路通信信号工程技术，2019，16(10)：106-110.
YIN Chunlei. Development and Prospect on Integrated Operation and Maintenance of High Speed Railway[J]. Railway Signalling & Communication Engineering，2019，16(10)：106-110.

（责任编辑：吴文娟）

（下转第64页）