铁路计算机应用
RAILWAY COMPUTER APPLICATION

智能高铁大模型技术应用架构及典型场景设计

王同军，李　平，代明睿，李　瑞，张　雪

Application architecture and typical scenarios of intelligent high-speed railway large model technology

WANG Tongjun, LI Ping, DAI Mingrui, LI Rui, and ZHANG Xue

引用本文:
王同军, 李平, 代明睿, 等. 智能高铁大模型技术应用架构及典型场景设计[J]. 铁路计算机应用, 2025, 34(11): 1–7.
WANG Tongjun, LI Ping, DAI Mingrui, et al. Application architecture and typical scenarios of intelligent high-speed railway large model technology[J]. Railway Computer Application, 2025, 34(11): 1-7.

在线阅读 View online: http://tljsjyy.xml-journal.net/2025/I11/1

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

大模型在铁路智能客站的应用研究
Application of large model in railway intelligent passenger transport station
铁路计算机应用. 2025, 34(9): 18–24

基于大模型的防伪检测技术及其在智能铁路领域的应用进展
Anti counterfeiting detection technology based on large model and its application progress in field of intelligent railway
铁路计算机应用. 2025, 34(6): 25–32

铁路人工智能平台设计及关键技术研究
Design and key technology research of railway artificial intelligence platform
铁路计算机应用. 2023, 32(8): 9–16

基于人工智能技术的铁路电子公文数据智能化分析及关联方法研究
Intelligent analysis and correlation method of railway electronic document data based on artificial intelligence technology
铁路计算机应用. 2024, 33(1): 67–71

基于大模型与多智能体交互的铁路客运软件智能化UI测试方法
Intelligent UI testing method for railway passenger transport software based on large model and multi-agent interaction
铁路计算机应用. 2025, 34(8): 28–32

基于人工智能的高铁动车组智能运维数据分析系统的构建
Intelligent operation and maintenance data analysis system of high-speed railway EMU based on artificial intelligence
铁路计算机应用. 2022, 31(7): 14–18

关注微信公众号，获得更多资讯信息

文章编号：1005-8451（2025）11-0001-07

智能高铁大模型技术应用架构及典型场景设计

王同军[1]，李　平[2]，代明睿[3]，李　瑞[3]，张　雪[3]
（1. 中国铁道学会，北京　100844；
2. 中国铁道科学研究院集团有限公司　科技和信息化部，北京　100081；
3. 中国铁道科学研究院集团有限公司　电子计算技术研究所，北京　100081）

摘　要：当前，人工智能技术正依托丰富的应用场景迅速地赋能千行百业，成为提高新质生产力的重要手段。人工智能算法复杂度持续提升、数据规模和模态不断扩展，以及算力资源不断增强，为大模型的发展应用提供了重要基础。文章详细分析国内外大模型技术研究及应用现状，提出将大模型技术与高速铁路（简称：高铁）相关应用场景深度融合的智能高铁大模型技术应用架构。以人工智能基础设施、铁路人工智能平台、铁路人工智能大模型作为智能高铁场景的底座支持，构建智能高铁智能体；通过智能体深度赋能智能高铁的智能建造、智能运营、智能装备、基础平台等相关应用场景，最终形成完善的智能高铁大模型技术应用架构。

关键词：大模型；人工智能；智能高铁；应用场景；智能体
中图分类号：U238 : TP39　**文献标识码：**A　**DOI：**10.3969/j.issn.1005-8451.2025.11.01

Application architecture and typical scenarios of intelligent high-speed railway large model technology

WANG Tongjun[1], LI Ping[2], DAI Mingrui[3], LI Rui[3], ZHANG Xue[3]
(1. China Railway Society, Beijing　100844, China；2. Department of Science, Technology and Information Technology, China Academy of Railway Sciences Corporation Limited, Beijing　100081, China；3. Institute of Computing Technologies, China Academy of Railway Sciences Corporation Limited, Beijing　100081, China)

Abstract: Currently, artificial intelligence technology is rapidly empowering various industries with rich application scenarios, becoming an important means of improving new quality productive forces. The increasing complexity of artificial intelligence algorithms, the continuous expansion of data scale and modality, and the continuous enhancement of computility resources provide important foundations for the development and application of large models. This paper provided a detailed analysis of the research and application status of large model technology at home and abroad, and proposed an intelligent high-speed railway large model technology application architecture that deeply integrated large model technology with high-speed railway related application scenarios. It took artificial intelligence infrastructure, railway artificial intelligence platform, and railway artificial intelligence large models as the foundation support for intelligent high-speed railway scenarios, constructed intelligent high-speed railway intelligent agents, and then deeply empowered the intelligent construction, ntelligent operation, ntelligent equipment, basic platform and other related application scenarios of intelligent high-speed railway through intelligent agents, ultimately formed a complete intelligent high-speed railway large model technology application architecture.

Keywords: large model；artificial intelligence；intelligent high-speed railway；application scenarios；agent

随着云计算、大数据、物联网、移动互联、人工智能、北斗卫星导航、BIM（Building Information Modeling）、5G移动通信等技术的发展，中国铁路信息化、数字化建设取得突破性进展。BIM技术在铁路设计、施工、运营中得到广泛应用，铁路数据服务平台汇集了海量的行业动、静态数据和业务分析模型，为铁路建设、装备、运营的智能化发展打

收稿日期：2025-07-30
基金项目：中国国家铁路集团有限公司科技研究开发计划合同（P2024S001）
作者简介：王同军，正高级工程师；李　平，首席研究员。

下重要基础。特别是中国铁路依托冬奥会重大保障工程—京张高铁（北京—张家口高速铁路），开启了智能高铁体系化研究和应用的新篇章。

2019年，全面采用智能高铁成套技术体系的京张高铁开通运营。京张高铁采用基于BIM的协同设计、数字化工厂和智能施工、时速350 km的高铁自动驾驶等技术，以及具备智能行车—智能安全—智能服务等功能的智能动车组、智能客运站服务和智能运营维护（简称：运维）系统等，实现高铁移动装备、固定基础设施及内外部环境间信息的全面感知、泛在互联、融合处理、主动学习和科学决策，建成全生命周期一体化管理的新一代高铁系统[1-3]。

近年来，随着DeepSeek等一系列国产大模型的出现和快速应用，我国人工智能大模型技术应用进入到新的发展阶段。国产大模型的异军突起，打破了国外对于大模型发展的常规定势，使我国人工智能技术不仅落地应用，而且在底层架构、算法等核心层面更具发言权；大模型在应用层面的普通消费应用，如人工智能创作等，向场景更加复杂的工业生产应用层面转变；大语言模型、图像大模型、语音大模型、多模态大模型等，为建造、装备、运营等领域的知识理解、图像识别、自主学习、智能决策等运营场景提供了新的可能，也为智能高铁的升级优化提供了新的技术手段[4]。

本文在全面分析国内外大模型技术研究及应用现状基础上，设计了“平台+应用”的智能高铁大模型技术应用架构及典型场景，并对智能高铁大模型技术应用提出相关建议。

1 国内外大模型技术研究和应用现状

1.1 国外大模型技术研究及应用现状

以OpenAI、Google、Meta等为代表的科技巨头引领着国外大模型技术发展。在自然语言处理方向，OpenAI的生成式预训练变换器（GPT，Generative Pre-trained Transformer）系列模型具有里程碑意义，其迭代版本GPT-4具备较好的语言理解、生成及逻辑推理功能，通过大规模语料的无监督预训练结合特定任务的有监督微调策略，在多类复杂文本任务中表现出突破性性能；Google研发的BERT（Bidirectional Encoder Representations from Transformers）模型基于Transformer架构的预训练范式，后续推出的PaLM（Pathways Language Model）等模型在模型规模扩展、多语言支持及知识图谱融合等方面取得显著进展。在计算机视觉与多模态领域，OpenAI的CLIP（Contrastive Language-Image Pre-training）与Meta的DALL-E（Deep Learning Text to Image Generation with Diffusion Models）系列实现了跨模态语义对齐，其文本—图像生成能力为视觉内容理解与识别提供了解决方案。

随着大模型技术与业务融合的不断深化，世界主要铁路发达国家正积极围绕高铁大模型技术开展相关应用探索。在铁路运输领域，瑞士联邦铁路通过部署智能调度系统，实时整合客流、气象及设备状态等多源数据，借助人工智能算法动态优化列车运行图，线路准点率提升12%[5]；英国Network Rail则将预测性维护模型与强化学习技术相结合，构建智能运维决策系统，减少30%的非计划性停运时间[6]。在客运服务智能化方面，美国Amtrak铁路公司开发了人工智能客服系统，处理约80%的常规票务咨询业务[7]；JR东日本公司则基于生成式大模型技术，通过分析旅客历史行为数据，自动生成个性化行程规划建议，并支持多语言导览信息的动态创建[8]。

当前，大模型技术在国外铁路行业的应用已取得初步成效，但仍处于探索阶段，实践多集中于单点技术验证，迫切需要向规模化技术落地及典型应用场景等方向深度拓展，聚焦于构建行业专用大模型、突破多模态数据融合瓶颈及建立符合铁路运营特性的模型应用架构，推动铁路技术创新与产业应用的协同发展。

1.2 国内大模型技术研究及应用现状

近年来，国产大模型数量呈现井喷式增长，人工智能核心产业规模不断扩大。林而贤等人[9]针对于工业视觉领域提出了适用于工业领域视觉大模型的集成自监督（IAE，Integrated Autoencoders）算法，该算法结合了掩码自编码器（MAE，Masked Autoencoders）算法及对比自监督算法，通过对工业识别图片进行相应的特征抽取，达到增强模型分辨

缺陷的能力；刘祥根等人[10]针对工艺设计领域提出了一种混合稀疏注意力机制，该机制能够有效缓解Transformer大模型所存在的计算冗余及语义一致性问题，大幅提升模型的精确性与性能；姜霄等人[11]在石油化工产业链辅助决策场景中，采用chatglm-6b模型作为辅助决策大模型的基座大模型，通过p-tuning方法对各类决策知识进行微调，针对不同场景设计出对应的问答助手智能体，让智能体能够根据用户的提问自动选择相应的算法与数据来响应用户提问；潘可悦等人[12]提出了一种用于提取复杂街景要素的多模态大模型，该大模型在LLaVA模型基础上引入多层感知器，再采用Transformer，通过跨模态学习视觉与语言信息，达到精确解析语义及精确提取街景图像要素的目的；微软亚洲研究院团队以语言模型作为多模态模型的基础，在Kosmos-1语言模型的基础上不断拓展和增强视觉、声音等不同模态的感知能力，通过与原生语言模型的对齐融合操作，实现大模型的多模态推理和跨模态迁移[13]。

在高铁大模型技术领域中，李子林等人[14]在高铁专业知识问答领域提出了KFRAG（Knowledge-Filtering Retrieval Augmented Generation）架构，该架构能够较好地切分高铁知识段落语句块，并对切分内容进行有效知识过滤，减少噪声干扰，以达到高精度回答问题的效果；齐昊天[15]在高铁专业知识问答领域，提出了一种查询感知注意力的知识检索模型，通过该模型提升算法的检索准确率，并使用该模型与ChatGLM3-6B模型、提示词工程进行相应的结合，构建形成了一个针对高铁的问答系统RailGPT-Chat；郑守禧[16]在高铁轴承故障诊断研究中提出了图像特征融合方法，以及一种膨胀卷积模型（Swin Transformer），借助图像特征融合方法增强轴承的特征表达能力，并通过膨胀卷积增强局部信息的获取能力，分别从浅层维度和深层维度获取轴承的特征信息，从而达到增强模型检测精度的效果。

国内大模型的研究与应用已形成一定的规模格局，但对高铁场景的大模型技术研究仍处于探索试验阶段。将已有的大模型成果与高铁场景紧密融合并构建出智能高铁大模型技术应用架构，是目前智能高铁研究的核心[17]。

2　智能高铁大模型技术应用架构

人工智能基础设施、铁路人工智能平台和铁路人工智能大模型等3部分作为智能高铁大模型技术应用架构的技术支持，结合相应的智能高铁需求，构建出对应的智能高铁智能体，最终将智能体应用于各个智能高铁大模型应用场景，如图1所示。

2.1　人工智能基础设施

人工智能基础设施主要包含计算资源、存储资源、网络资源、人工智能算力卡及设备相关的安全防护措施。通过集成图形处理器（GPU，Graphics Processing Unit）、人工智能算力加速卡等硬件设施，形成高算力的智能计算服务集群，该集群不仅需要并行处理海量训练数据的强大计算能力，还需要具备能够高速储存海量数据的高速存储设备及相应的低延迟网络，以达到数据快速处理流转的目的，并对硬件设备的相关能耗进行严格控制，在性能和功耗之间找到合适的平衡支点；同时，需要对硬件基础设施制定相应的安全保护措施，以保护大模型数据隐私。随着模型规模的不断扩大，硬件系统还需要具备良好的扩展性，根据具体任务灵活调整资源配置，使其既能满足当前训练需求，也为未来的技术升级预留相应的空间。

2.2　铁路人工智能平台

铁路人工智能平台主要包含开放门户、数据标注、模型研发、模型推理、算力管理、运行管理等6个子系统。其中，开放门户子系统以数据集市、能力集市和案例集市为核心，收集铁路专业的数据集、模型及应用案例，构建铁路人工智能开放门户；数据标注子系统主要服务于人工智能数据标注环节，实现集约化和精细化的标注运营管理，提供规模化的标注生产作业；模型研发子系统服务于人工智能模型研发环节，为铁路人工智能研发人员提供一站式人工智能开发服务，实现人工智能模型的快速构建；模型推理子系统主要服务于人工智能模型推理环节，根据铁路业务场景提供云端推理、边缘推理多种推理方式；算力管理子系统提供多种不同的资

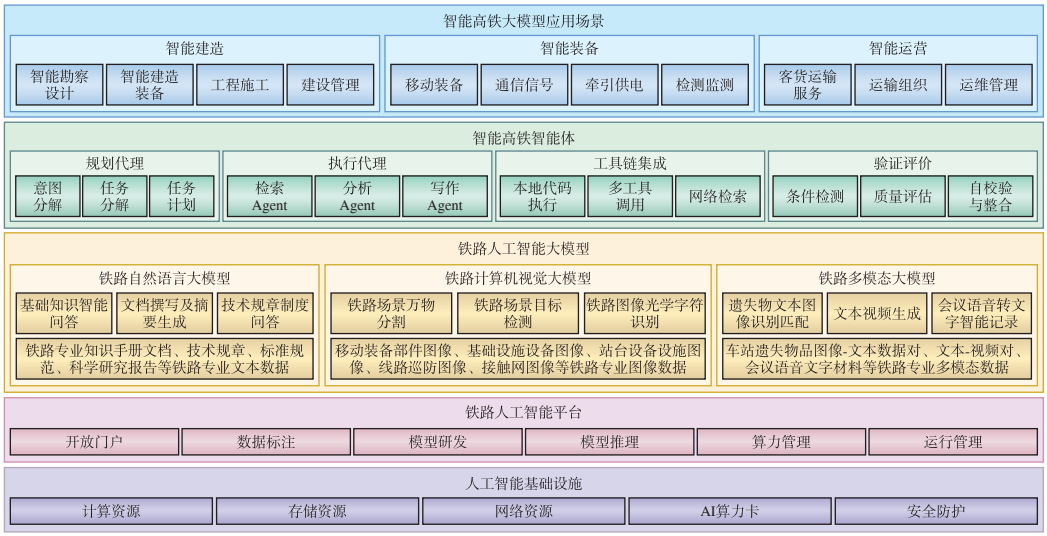


图1 智能高铁大模型技术应用架构

源分配策略，根据业务场景需求分配人工智能计算资源；运行管理子系统提供人工智能服务上线后的运维、监控、管理等服务，提供日志采集、存储、检索等多项功能，辅助平台日常管理工作。

2.3 铁路人工智能大模型

铁路人工智能大模型包括铁路自然语言大模型、铁路计算机视觉大模型及铁路多模态大模型等。

铁路自然语言大模型的样本库包含各类铁路专业知识手册文档、铁路技术规章制度、铁路标准规范及铁路相关的科学研究报告。基于国产开源的自然语言基座大模型，对铁路自然语言样本库数据进行微调训练，进而得到铁路自然语言大模型，其主要功能包括基础知识智能问答、文档撰写、摘要生成及铁路专业技术规章制度问答等，为使用者提供铁路领域文本的理解与生成能力。

铁路计算机视觉大模型的样本库包含移动装备部件图像、基础设施设备图像、站台设备设施图像、线路巡防图像、接触网图像等铁路专业图像数据。基于开源的计算机视觉基座大模型，对铁路计算机视觉样本库数据进行微调训练，进而得到铁路计算机视觉大模型，其主要功能包括铁路场景万物分割、铁路场景目标检测、铁路图像光学字符识别等，为使用者提供铁路计算机视觉相关功能。

铁路多模态大模型的样本库包含车站遗失物品图像–文本数据对、文本–视频对、会议语音文字材料等铁路专业多模态数据。使用国内开源的多模态基座大模型，对铁路多模态大模型样本库数据进行微调训练，进而得到铁路多模态大模型，其主要功能包括车站遗失物品文本图像识别匹配、文本生成视频、会议语音转文字智能记录等，为使用者提供多模态、跨模态的大模型服务。

2.4 智能高铁智能体

智能高铁智能体通过相应的传感器接口（如人机交互信息）获取用户输入的信息，根据用户输入信息类别调取相应类别的大模型接口；由大模型对输入信息进行深度解析，得出用户意图，生成相应的总体任务，并对其进行分解，根据任务步骤进行计划安排；基于预设规则，生成最优行动方案，在大模型内部通过任务分解，调用相应的执行检索、分析、写作等代理，同时也可以根据智能体的决策属性，通过调用智能体对外接口（如执行本地代码、工具包调用、网络检索），将决策转化为具体行动；根据执行结果与用户反馈，通过条件检测、质量评估、自校验与整合等多种验证评价方式，持续优化模型参数，实现智能体的不断迭代与升级。

2.5 智能高铁大模型应用场景

智能高铁大模型应用场景可划分为智能建造、智能装备及智能运营。其中，智能建造类涵盖智能勘察设计、工程施工、建设管理等关键技术场景；智能装备类涵盖移动装备、通信信号、牵引供电、检测监测等关键技术场景；智能运营类涵盖智能建

造、智能装备和智能运营等关键技术场景。

3　智能高铁大模型技术典型场景

智能高铁大模型技术典型场景从大模型技术应用架构出发，针对智能建造、智能装备、智能运营等领域的典型场景进行整体探索设计。基于分类分层设计原则，自顶而下划分为 3 个板块、10 个领域、23 个应用场景，其中，智能建造板块 6 个应用场景，智能装备板块 9 个应用场景，智能运营板块 8 个应用场景。如图 2 所示。

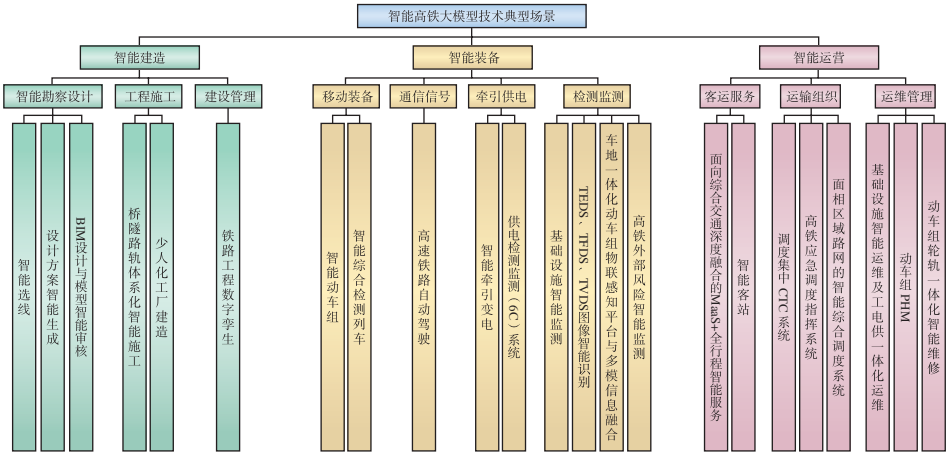


图2　智能高铁大模型技术典型场景

3.1　智能建造

3.1.1　智能勘察设计

（1）智能选线：融合大模型技术，搭建智能选线设计系统，实现铁路智能选线、线路方案综合评价等功能；深化复杂选线环境下线路方案智能生成和线站协同智能优化算法研究。

（2）设计方案智能生成：实现可行性研究阶段隧道洞口横、纵断面设计图智能生成；建立铁路勘察设计知识库，完善标准规范及设计原则智能检索系统，开展路基、桥梁智能设计研究，形成土建工程智能设计系统。

（3）BIM 设计与模型智能审核：研究基于大模型和知识图谱的 BIM 设计成果智能审核方法，在桥梁、建筑等专业进行验证；面向专业三维设计需求，研究大模型智能体框架，开展模型成果智能审核等应用研究。

3.1.2　工程施工

（1）桥隧路轨体系化智能施工：推动桥面设施、隧道衬砌、路基边坡等结构装配式结构设计与施工，研发配套智能施工装备；推动桥梁、隧道、路基、轨道质量检测的自动化、智能化升级；进一步提升隧道衬砌施工、轨道精调等环节施工装备的作业质量、作业效率及对现场复杂作业条件的适应性。

（2）少人化工厂建造：推动预制构件流水线的钢筋绑扎和预埋件安装等环节自动化生产，实现全工序的智能建造；通过对不同类型数据的融合处理、主动学习和科学决策，提升预制构件建造效率与管理水平，更高效利用人、机、料等各类资源。

3.1.3　建设管理

铁路工程数字孪生：基于施工现场三维语义重建技术，构建智能驱动的数字工程双体系迭代机制，研发多项目数据聚合平台，优化数字工程咨询与认证体系；基于施工方案智能生成优化、人工智能技术解析标准条文，开发基于图神经网络的合规性推理系统，构建智能审查知识中枢；建立 BIM 模型健康度评价指标体系，实现工程质量安全分析预警及施工进度工序回溯分析，创新数字工程检测模式。

3.2　智能装备

3.2.1　移动装备

（1）智能动车组：研究牵引、制动、网络控制等关键系统的多维度状态监控技术，提升动车组自感知能力；优化控制、诊断与故障隔离及远程传输等技术，增强远程智能诊断能力，提升整体可用性和安全性；在智能行车、服务、运维领域实现自动

驾驶、环境智能调节、多源信息交互、故障预测、健康评估及多维决策；构建基于系统建模的整车设计仿真平台，研发并验证新一代智能动车组。

（2）智能综合检测列车：应用人工智能识别分类技术，对综合检测车采集的轨道几何不平顺波形数据在阳光、雨雪、电磁等干扰形成的无效数据进行甄别，并以治理后的轨道几何、车辆响应、轮轨力等多源轨道数据进行综合性的评估分析，实现轨道板上拱、简支梁上拱、钢轨接头不良等多种病害的智能识别。

3.2.2 通信信号

高铁自动驾驶：研究面向安全、准点、舒适、节能等多目标优化技术，以及高等级自动驾驶和自动折返换端技术，实现驾驶模式自适应决策。

3.2.3 牵引供电

（1）智能牵引供电：依托牵引供电设备电气、状态、环境等全场景多维信息的感知，基于现有的广域保护监测系统数据，结合大模型技术，智能分析判断供电设备故障的位置及状况，并主动提供解决方案，辅助调度人员决策。

（2）供电检测监测系统（6C）：现阶段 6C 智能化检测监测应用多为单个的智能化检测应用，如接触网零部件、鸟窝等单个场景的应用，依托人工智能平台视觉大模型的分析，将 6C 检测的全场景任务统一纳入检测监测任务，提高供电检测任务的效率，降低视觉识别的成本。

3.2.4 检测监测

（1）基础设施智能监测：融合无人机、语言大模型和视觉大模型等技术，实现铁路工务、电务、供电等基础设施的安全监测与智能预警。

（2）动车组运行故障图像检测系统（TEDS，Trouble of moving EMU Detecting System）、铁路货车故障轨边图像检测系统（TFDS，Trouble of moving Freight car Detection System）、客车故障轨旁图像检测系统（TVDS，Train coach machine Vision Detection System）的图像智能识别：推进列车车身关键部件位置摄像机建设补强，完善地面安全检测监测体系；深化监测检测数据、图像、视频的融合分析与智能化处理技术，升级自动报警技术。

3.3 智能运营

3.3.1 客运服务

（1）智能客运车站（简称：客站）：开展基于铁路人工智能大模型的客站智能视频分析技术研究，重点攻关站台越线预警、电扶梯异常行为识别、客流动态监测等核心场景算法，同步研发人机协同安检的智能判图系统，通过增量学习技术持续提升危险物品识别精度，推动多场景落地应用；围绕旅客无感出行需求，构建融合多检票模式的智能服务架构，优化大模型驱动的人脸识别算法调度策略，形成自适应出站服务体系，开展实证性试点验证。

（2）面向综合交通深度融合的 MaaS+全行程智能服务：依托海量的旅客联程联运、订票、候补等信息，基于大模型，为旅客提供耗时少、换乘便捷、出行时间短等精准服务场景下的旅客智能服务信息，并结合列车到发、列车运行等生产数据，以及应急管理数据，提升客站内旅客服务水平。

3.3.2 运输组织

（1）调度集中系统：基于文本大模型，对当前调度任务中涉及的综合计划任务、调度管理、调度命令、应急辅助决策数据进行学习，实现动态的开行计划调整推演方案生成，以及特殊运行场景下如列车晚点等突发状况下主动预警信息的生成。

（2）高铁应急调度指挥系统：依托高铁应急处置方案信息，基于文本大模型技术，实现在列车晚点、自然灾害等突发情况下对应急场景的预判、故障影响时长分析，快速生成应急救援方案，提高应急指挥的响应水平。

（3）面向区域铁路网的智能综合调度系统：基于深度学习自感知、自学习、自决策的特点，针对区域内列车区间交叉、车站安全间隔时间不足等冲突，智能化调整沿线车站列车到发时刻，实现列车运行的动态疏解，增强铁路网内本线、跨线等复杂情况下的调度能力，进一步释放运能。

3.3.3 运维管理

（1）基础设施智能运维及工电供一体化运维：基于工电供一体化运维平台，对工务基础设施的典型病害、轨道电路及道岔转辙设备的状态、接触网

零部件的缺失和故障等典型场景进行一体化综合性研判，探索基于多模态大模型的统一识别技术，以及综合性维系方案生成技术，提高多场景跨专业一体化综合运维能力。

（2）动车组故障预测与健康管理（PHM，Prognostics Health Management）：动车组PHM技术的主要功能是通过对动车组新造、运用检修、检测监测等全生命异构数据的综合性分析，实现故障的精准预测，结合大模型技术，将现阶段的修程修治、维修计划、维修方案进行学习，结合大数据分析结果，实现精准维修方案生成及维修辅助提醒，进一步提高维修效率。

（3）动车组轮轨一体化智能维修：深化轮轨一体化智能运维决策方案研究；推进动车组轮轨状态多元异构数据贯通融合，结合PHM系统，开展一体化决策数智化模型试点应用及推广。

4　结束语

本文分析国内外大模型技术研究及应用现状，基于当前铁路人工智能应用发展水平，结合智能建造、智能装备及智能运营，设计了智能高铁大模型技术应用架构及典型场景。下一步，要加强跨领域、跨行业的协同创新，进一步推动大模型技术在铁路建造、装备、运营等领域的赋能；应加强铁路领域大小模型联动、云边算力协同、大模型幻觉控制、高质量数据集构建、数据安全与隐私计算等技术的研究，确保智能高铁大模型稳定可靠应用。

参考文献

[1] 王同军. 智能高速铁路概论 [M]. 北京：高等教育出版社，2023：2.

[2] 王同军. 中国智能高速铁路体系架构研究及应用 [J]. 铁道学报，2019，41（11）：1-9.

[3] 王同军. 京张高铁智能化服务总体架构、关键技术与应用示范 [J]. 铁路计算机应用，2021，30（7）：1-8.

[4] 王同军，李　平，王万齐. 智能高速铁路“模数驱动、轴面协同”理论研究及应用 [J]. 铁道学报，2025，47（1）：1-10.

[5] Caimi, G., &Jordi, J. Operations research at SBB Railway Company[J]. Operations Research, 2024, 72(3): 1-4.

[6] Nampalli, R. C. R. Leveraging AI and deep learning for predictive rail infrastructure maintenance: Enhancing safety and reducing downtime[J]. International Journal of Engineering and Computer Science, 2023, 12(12): 1-8.

[7] U.S. Department of Transportation, Intelligent Transportation Systems Joint Program Office. Artificial intelligence and machine learning for transportation [DB/OL]. [2025-07-20]. https://www.itskrs.its.dot.gov/sites/default/files/doc/06_AI%20ML%20in%20Transportation_Final%20508_01_25_22.pdf.

[8] Veluru, C. S. Transforming travel planning: The impact of generative AI on itinerary optimization, cost efficiency and user experience[J]. Journal of Artificial Intelligence &Cloud Computing, 2023, 2(4): 1-8.

[9] 林而贤，张　潮，周雄图，等. 基于集成自监督的工业视觉大模型算法研究 [J]. 小型微型计算机系统，2025，46（4）：907-913.

[10] 刘祥根，郭　彦，李　玥，等. 面向工艺设计的领域大模型构建方法 [J]. 四川大学学报（自然科学版），2025，62（3）：513-521.

[11] 姜　霄，王　涛，卞珞珈. 大模型及人工智能策略赋能石化产业链场景研究 [J]. 中国石油和化工标准与质量，2025，45（6）：115-117.

[12] 潘可悦，吴　维，程　湘，等.基于大型多模态模型的街景图像典型场景要素提取 [J/OL].计算机工程，（2025-04-10）[2025-07-11]. https://doi.org/10.19678/j.issn.1000-3428.0070469.

[13] 微软亚洲研究院. 无界：透视微软创新研究之境 [M]. 北京：电子工业出版社，2025：61-67

[14] 李子林，王　跃，刘庆猛，等. 面向铁路知识问答的知识过滤检索增强生成方法 [J]. 中国铁路，2024（12）：121-129.

[15] 齐昊天. 基于检索增强架构的铁路领域智能咨询方法研究 [D]. 秦皇岛：燕山大学，2024.

[16] 郑守禧. 基于Transformer网络的高速列车轴承故障诊断研究 [D]. 石家庄：石家庄铁道大学，2024.

[17] Ficzere P. The role of artificial intelligence in the development of railway transportation[J]. Design of Machines and Structures, 2023, 13(1): 58-63.

责任编辑　王　浩