

基于大数据分析的铁路机车运用管理优化研究

刘 进

山东钢铁股份有限公司 山东济南 271104

摘 要：随着我国铁路运输现代化进程不断加快，机车作为运输系统中的核心动力装备，其运用管理水平直接影响运输效率与安全保障能力。传统的机车运用管理模式依赖人工调度与经验判断，难以有效应对复杂运行环境和大规模数据处理需求。近年来，大数据技术在交通运输领域逐渐普及，为铁路机车运用提供了新的技术支撑与管理理念。本文系统梳理了当前机车运用管理面临的主要问题，分析大数据技术在铁路系统中的实际应用基础，进一步提出以数据驱动的机车调度优化、状态预测与维修资源配置策略，探索构建智能化、精准化、高效化的机车运用管理体系。研究还展望了人工智能、数据治理与区域协同等未来发展方向，为铁路运输组织管理水平的提升提供技术与理论支撑。

关键词：大数据；铁路机车；运用管理；调度优化；状态预测；智能运输

一、铁路机车运用管理的现状与挑战

（一）当前机车运用管理体系概述

我国铁路机车运用管理体系由多个环节组成，主要包括机车配属、运用调度、交路安排、运用计划执行、状态监控与维护保障等。管理主体通常为铁路局调度所、机务段、运用车间等单位，通过调度系统对所属机车实施组织与指挥。在传统模式下，调度人员根据交路图、运行图和调度命令安排机车上线任务，机车司机与机务段进行日常联络与状态汇报，形成“调度-执行-反馈”的管理流程。

目前铁路系统已建设了若干信息化平台，如机车运用信息系统、综合调度指挥系统、机务管理系统等，实现了基本的数据共享与操作自动化。这些平台在提升管理效率、减少重复劳动方面发挥了一定作用。但总体来看，仍处于“以信息记录为主、以人工分析为辅”的阶段，缺乏面向大数据环境的深度挖掘与智能分析能力。

尤其在面对复杂运力配置、多车型混合运用、高强度交路衔接等情形时，系统缺乏实时感知与预测调节能力，易导致机车利用率偏低、故障预测滞后、计划调整困难等问题。由此可见，现有机车运用管理体系虽在不断发展，但在“智能化调度、精准化预测、资源最优化配置”等方面仍存在较大改进空间。

（二）存在的主要问题与管理瓶颈

首先，数据分散与平台孤岛问题突出。当前铁路运输系统虽已建立多个信息管理平台，但不同系统之间数

据标准不统一、接口不兼容，造成机车运行信息、故障记录、维保数据等无法高效整合与联动使用。数据孤岛严重限制了对全生命周期数据的关联分析与集成挖掘，削弱了管理系统的智能化基础。

其次，调度决策依赖人工经验。虽然信息系统能够提供部分运行信息，但机车调度依然大量依赖调度员的经验判断，面对临时性任务调整、故障处置或突发事件响应时，人工干预仍占主导地位，导致响应速度慢、方案可靠性低，难以实现最优决策。

第三，缺乏基于数据驱动的运行状态评估与预测机制。目前多数机车运行状态以“事后评价”为主，缺乏对设备健康度的实时量化与趋势分析能力，容易导致维护不及时、隐患检测不充分的问题，影响运行安全与维修效率。

最后，维修资源配置存在冗余与不平衡现象。由于缺乏科学的运用数据分析手段，机车的维保安排普遍以时间周期为准，未能充分结合运行强度与状态指标实施“按需维护”，造成部分资源浪费或维保不足，影响整体设备利用率。

二、大数据分析技术在铁路系统中的应用基础

（一）大数据采集与清洗在铁路行业的实现路径

铁路系统是一个高度复杂的典型物理-信息融合系统，每日产生的数据量极其庞大，包括列车运行数据、轨道信息、设备状态、气象环境、维保记录等。机车作为其中核心的动力系统，其相关数据来源广泛，主要包

括车载控制系统、传感器网络、机务系统记录以及调度平台日志等。大数据的采集与传输需依赖稳定的通信架构,如GSM-R、4G/5G通信、专用光纤通道等。

在大数据采集完成之后,第一步是对原始数据进行预处理和清洗。这一过程包括数据去重、缺失值填充、异常点识别与校正等,目的是提高数据的完整性与可用性。在铁路系统中,常常由于传输故障、传感器误差或录入疏忽导致数据质量不高,因而清洗环节成为大数据分析链条中的关键节点。同时,标准化处理也不可忽视,不同来源数据需按照统一规范进行编码、格式转换和标签定义,以确保后续数据分析系统能够高效识别与计算。

经过清洗与标准化的数据,可进一步纳入中央数据湖或分布式数据库系统,为建模分析与智能决策提供可靠数据基础。

(二) 铁路机车相关数据类型与结构特征

铁路机车相关的数据具有高维度、强关联、高实时性与多样性等特点。从数据类型来看,主要包括结构化数据(如运行参数、检修记录)、半结构化数据(如传感器输出日志、车载记录数据)和非结构化数据(如语音通话记录、现场图片、视频监控等)。

这些数据在维度和时间粒度上存在显著差异。例如,运行数据如速度、电流、制动状态采样频率可达到毫秒级,而维保数据通常为日/月级的事件数据。此外,机车不同子系统间存在复杂的逻辑与功能关联,如牵引系统、电气系统、制动系统、控制系统等,其状态变化往往互为因果,需通过多变量关联建模方式进行统一分析。

数据分析过程中,还需将静态属性(如机车型号、配属单位、服役年限)与动态状态数据融合使用,以实现更全面的机车运行画像和行为模式建模。

(三) 数据分析平台与关键技术支撑

铁路行业大数据分析需依托功能强大的计算平台与算法支持系统。当前,常用平台包括Hadoop、Spark、Flink等分布式数据处理框架,用于处理大规模数据的批处理与流处理任务。同时,数据库管理采用HBase、Hive、ClickHouse等工具以支持高效的查询与索引。

在算法层面,主流方法包括时间序列分析、机器学习建模(如随机森林、XGBoost、神经网络等)、聚类分析与异常检测等,用于构建状态识别、趋势预测与行为分析模型。可视化平台如Tableau、Power BI、国产BI工具也被用于运维态势展示与辅助决策。

铁路系统还逐步建设跨区域、跨平台的数据中台与云端协同平台,实现数据从采集、存储、分析到服务的全生命周期闭环管理。通过平台化支撑,为铁路机车运用的智能化管理提供了技术基础。

三、基于大数据的铁路机车运用优化策略

(一) 机车调度智能化管理模型构建

基于大数据分析构建机车调度智能化模型,是提升铁路运输组织效率的核心手段。系统可通过历史调度数据、运行状态数据与车站任务数据构建调度规则模型,并引入图论、运筹优化与强化学习等方法,实现对调度方案的自动生成与实时调整。

在模型设计上,需综合考虑机车可用状态、剩余运行公里数、司机作业安排、交路连接要求等多个因素,建立多目标约束调度优化模型。通过算法模拟与仿真工具(如AnyLogic、Arena等),可提前预测不同调度方案下的运行效率、换乘压力和机车利用率,从而辅助调度员快速做出更优决策。

部分铁路局已在试点推行“自适应调度平台”,实现了基于数据驱动的调度计划生成、应急调整与事后分析功能,在保障运输秩序的同时提升资源利用率。

(二) 运行状态预测与故障预警机制

通过多源数据融合建模,可实现机车运行状态的实时评估与未来状态预测。例如,可通过电流、电压、温度、振动等指标构建状态监控模型,识别出可能的运行异常或早期故障迹象。结合历史故障模式与维修记录,还可训练机器学习模型实现自动故障分类与预测,如采用LSTM神经网络预测牵引系统的功率输出趋势,或基于聚类算法识别出高风险车辆群体。

状态预测不仅有助于减少突发故障、提升运行安全性,也可用于优化维保计划,实现从“定期检修”向“按需维护”转型。部分铁路企业已通过“健康码”系统对机车进行运行状态打分,纳入维修计划决策依据。

(三) 数据驱动的维修资源配置优化

传统的维修资源配置主要依赖预设周期与现场经验,易导致维保任务集中或重复安排。通过对运行轨迹、负载强度、作业频次与状态评估数据的综合分析,可实现对机车健康状况的动态评估,进而智能生成最优维修周期与资源分配方案。

具体实施中,可构建维修优先级评分模型,将机车按照运行风险等级分组,并匹配不同维保策略。例如,对于状态优良的车辆可适当延长周期,而对运行异常频

发的机车则提前安排检修，从而提高维修资源的针对性与效率。

四、数据驱动下铁路机车管理的未来发展趋势

(一) 人工智能与大模型辅助决策机制

在铁路运输系统逐步向智能化演进的背景下，传统基于经验的调度方式已无法满足高密度运输网络的复杂管理需求。未来，人工智能，特别是基于深度学习与大模型的辅助决策机制，将在铁路机车管理中发挥核心作用。当前，人工智能在图像识别、语音识别、预测建模等方面已取得显著成果，而其与大数据系统结合后，具备从海量数据中自动学习规律、形成推理框架并实时优化策略的能力。

在机车运用管理领域，人工智能可以嵌入调度系统，实时接收多源数据（如运力需求、线路状态、机车位置与运行工况），并结合历史运行行为与维修记录，构建可自我学习的调度优化引擎。未来大型语言模型（如铁路行业专用知识图谱大模型）可被训练用于理解调度命令、自动生成运行计划草案、辅助调度员应对突发事件等复杂决策任务，实现“数据理解—方案推演—智能推荐”的闭环控制流程。

(二) 跨区域运力协同与平台一体化管理

目前铁路机车运用仍存在区域分割、平台分散等问题，不同铁路局、段之间的数据交互与运力共享仍面临技术与机制上的障碍。随着铁路运输需求呈现出高度弹性与区域不均衡性，未来的管理体系将朝着“全国统筹、区域联动、平台协同”的方向发展，实现跨区域运力一体化调配与实时动态管理。

基于数据中台建设与云平台部署技术，未来铁路系统将构建起多层次、可视化的机车运力调控平台，打破局段边界，形成统一的资源池化管理机制。通过对机车调度状态、剩余运用能力、交路负载分布的实时感知，系统可根据运行压力动态分配资源，实现不同区域间的调车优化、互备补充和空闲资源利用最大化。

(三) 安全可控的数据治理与标准体系建设

随着铁路行业对数据资源的高度依赖，数据资产已成为机车运用管理中最为关键的战略要素之一。然而，数据在广泛流通和集中处理过程中，也带来了数据泄露、数据篡改、数据滥用等潜在风险，因此构建一套系统、完备、安全的数据治理体系显得尤为重要。

未来铁路系统需从顶层设计出发，建立覆盖数据采

集、传输、存储、使用、共享到销毁全生命周期的治理制度。在数据采集阶段应明确授权边界，禁止过度收集；在传输过程中应采用加密通道与访问控制，确保数据在网络中流动的安全性；在使用层面应推动数据脱敏技术、差分隐私算法和数据水印机制的应用，防止数据在分析过程中泄露敏感信息。

与此同时，铁路行业需推进统一的数据标准体系建设，制定明确的元数据规范、数据交换接口与质量评估机制。标准化的数据结构将有助于不同系统的数据融合与高效调用，推动各级平台实现深度协同。通过构建“平台可信、数据可控、标准统一”的治理体系，不仅可有效保护数据资产安全，也为智能调度系统的持续演进提供可信赖的数据基础。

结束语

铁路机车作为运输系统的重要组成部分，其运用效率与安全水平直接关系到铁路运输能力与服务质量。本文基于大数据分析视角，从技术基础与实践需求出发，系统分析了我国机车运用管理存在的问题，并提出了调度优化、状态预测与资源配置等数据驱动的管理策略。

研究表明，大数据技术为铁路运输装备管理带来了全新的发展机遇，能够有效提升机车利用率、保障运行安全并优化维修资源分配。在此基础上，未来可通过人工智能、大模型、云平台等技术手段进一步完善调度体系，实现跨区域运力协同与智能化决策，为构建现代化铁路运输系统提供有力支撑。

参考文献

- [1] 陈志远, 李晓光. 铁路机车运用管理中的大数据应用探析[J]. 铁道运输与经济, 2022(5): 17-22.
- [2] 赵立涛, 王晨阳. 基于大数据的铁路装备智能调度研究[J]. 交通科技, 2023(3): 56-60.
- [3] 罗雪琳. 铁路机务管理信息化现状与对策分析[J]. 铁路技术创新, 2022(4): 33-37.
- [4] 张子涵, 陈伟峰. 面向智能铁路的大数据平台架构研究[J]. 中国铁路, 2023(2): 45-50.
- [5] 王启明. 铁路运输设备状态预测技术研究综述[J]. 铁路计算机应用, 2021(11): 69-74.
- [6] 江佩文, 马凯. 数据驱动下的铁路运力资源配置优化路径[J]. 系统工程, 2023(6): 81-86.