

基于机车运行轨迹的机车调度管理系统设计与应用

罗胜利

国能朔黄铁路发展有限责任公司调度指挥中心 062350

【摘要】随着铁路运输规模不断扩大和网络结构日益复杂,传统机车调度管理模式已难以适应现代铁路运输组织需要,机车调度组织机车运用工作直接关系到列车运行正点率、均衡性,影响运输效率和成本。本文针对铁路运输企业机车调度管理过程中存在的问题,设计开发了一套基于机车运行轨迹的机车调度管理系统,该系统以机车位置及运行轨迹为基础数据,集成了机车调度监控、可视化、计划编制、运行统计分析等功能模块,系统在局管进行了试点应用,有效提升了机车调度管理信息化、科学化水平。

【关键词】铁路运输;机车调度;轨迹数据;调度管理系统

Design and application of locomotive dispatching management system based on locomotive running trajectory

Luo Shengli

Dispatching and command center of Guoneng Shuohuang Railway Development Co., LTD 062350

【Abstract】As the scale of railway transportation continues to expand and network structures become increasingly complex, traditional locomotive dispatching management models have become inadequate for modern railway transportation organization needs. The organization of locomotive operations directly affects train punctuality and balance, impacting transportation efficiency and costs. This paper addresses the issues in locomotive dispatching management within railway transportation enterprises by designing and developing a locomotive dispatching management system based on locomotive operation trajectories. The system uses locomotive positions and operational tracks as foundational data, integrating functions such as dispatch monitoring, visualization, planning, and operational statistical analysis. The system has been piloted in the jurisdiction of the railway bureau, effectively enhancing the informatization and scientific level of locomotive dispatching management.

【Key words】 railway transportation; locomotive dispatching; trajectory data; dispatching

引言:

随着铁路运输需求不断增长和运输组织日益复杂,传统机车调度管理模式已难以满足铁路运输高质量发展的需要,机车调度直接关系到铁路运输效率、成本及安全,亟待利用信息技术手段实现机车调度管理智能化。基于机车运行轨迹大数据的机车调度管理是提升机车使用效率、保障列车正点运行、降低运输成本的有效途径。本文以机车运行轨迹为基础,设计了一套机车调度管理系统,为机车调度管理决策提供数据支撑。

一、机车调度管理系统的需求分析

机车调度是铁路运输组织核心环节之一,其管理水平直接影响到铁路运输效率、成本和服务质量,但是当前许多铁路运输企业的机车调度管理仍存在诸多问题和不足。在充分调研基础上,课题组从实用性、科学性、先进性等角度出发,提出了机车调度管理系统需要实现的主要功能:

实时获取机车位置、速度等状态参数,形成机车运行轨

迹数据,为后续功能提供基础数据支撑。机车运行状态是调度管理的基础依据,传统调度方式主要通过车站报点、轨道电路占用等间接手段获取,存在信息滞后、不准确等问题,利用北斗卫星定位、移动通信等技术手段,可以实时采集机车位置、速度、方向等关键参数,并按照一定时空粒度(如每10秒一个点)存储,形成连续机车运行轨迹数据,高精度、高频次轨迹数据是实现后续调度监控、数据分析等功能的基础。

直观展示机车实时位置、行驶路线等信息,便于调度人员及时掌握机车运行动态。当列车偏离运行计划时,及时预警提示,传统列车调度指挥主要依靠调度员工作经验,存在随意性大、操作不当风险高等问题,系统应充分利用轨迹数据,通过可视化、数据挖掘等技术,直观呈现机车实时位置、行驶路线、速度曲线等关键信息,便于调度人员快速、准确地掌握机车运行状态。系统还应提供列车运行监控功能,根据列车运行图,实时计算列车运行里程、运行时分,当列车实际运行偏离既定计划时,及时预警提示,引导调度人员采取针对性调整措施,保证列车正点率。

辅助制定周、月度机车运用计划,合理安排机车流向,

优化牵引任务分配,减少机车单机走公里。科学合理的机车运用计划是提高铁路运输效率的关键,传统机车运用计划主要依靠调度人员手工编制,存在工作量大、计划不准等问题,系统应充分利用机车轨迹大数据,辅助调度人员自动生成周、月度机车运用计划。一方面,通过对历史数据挖掘分析,总结机车周转规律,结合线路条件、列车开行等因素,合理预测机车需求,指导机车调运;另一方面,在兼顾机车检修作业的同时,优化机车牵引任务分配,提高机车平均牵引总重,减少甚至避免机车单机走行,从而最大限度地发挥机车效能^[1]。

统计分析机车运行里程、周转时间、牵引总重情况等指标,多维度评价机车使用效率。效率评估是加强机车管理的重要手段,传统考核方式主要采用人工统计,往往只关注机车能否完成任务,忽视了运用过程中是否存在效率低下问题。传统的统计是以司机报单为基础数据,存在延时,不能实时反映的机车效率指标。系统应该充分利用轨迹数据,从时间、空间等多个维度,统计分析机车日/月度运行里程、日/月周转时间、牵引总重、能源消耗等关键性能指标,客观评价机车使用效率。不仅要横向比较不同机车、不同线路周转情况,也要纵向分析同一机车、同一线路长期效率变化趋势。管理人员可以通过效率评估,总结先进机车管理经验,找出落后短板,不断改进和提升。

二、基于机车运行轨迹的机车调度管理系统设计

(一) 系统架构设计

本系统采用经典的 Browser/Server (浏览器/服务器) 架构模式。Browser 端,也称为前端或用户界面层,通过浏览器访问系统,承担数据展示和人机交互功能,调度人员可以直观查看机车实时位置、行驶轨迹等状态信息,提交调度指令,Browser 端采用轻量级设计,尽量将复杂计算放到服务器端,提高页面响应速度。

Server 端,也称为后端或业务逻辑层,是系统核心,承担主要业务处理任务。Server 负责机车定位数据接收、存储、压缩,并基于原始数据提取轨迹特征,进行地图匹配、相似度计算等,为轨迹异常检测、运行图偏差分析等提供支持,Server 还使用调度算法,结合列车开行计划、线路约束等,生成机车运用计划。

Browser 端和 Server 端通过数据总线进行数据共享和交互,数据总线规定了前后端数据交换的接口规范和通信协议,系统各功能模块之间也通过数据总线,实现信息互联互通,避免“信息孤岛”。这种架构易于扩展和集成,满足各个层面机务管理人员及各个层面机车调度员生产管理需求^[2]。

(二) 机车定位与轨迹数据管理

机车定位子系统是整个调度管理系统的数据来源和基础,它主要负责实时采集机车位置、速度等状态参数,考虑到铁路运营环境的复杂性,系统采用北斗/GPS 双模卫星定位终端,可以在野外、隧道、站场等不同场景下保证定位的连续性和可靠性。双模终端定位精度可达到 10 米以内,完全能够满足列车监控和调度指挥的需求,机车端采集的原始定位数据通过移动通信网络(如 4G、5G)实时传输到服务端,考虑到现有移动通信网络的覆盖范围、传输带宽等限制,传输过程中可能会发生延迟、丢包等问题,需要在服务端进行必要数据修复和补偿处理。

服务端需要管理和维护海量机车定位和轨迹数据。一方面,要为前端展示、调度计划等功能提供高效数据检索和访问服务;另一方面,要满足数据分析、轨迹挖掘等业务的大规模离线计算需求。因此,系统后台采用分布式存储框架(如 HDFS)和时空数据库(如 Postgis)相结合的方式管理机车轨迹数据,利用 HDFS 的高容错、高吞吐的特性,可以低成本地存储海量历史轨迹数据;利用 Postgis 空间索引、坐标转换等功能,可以高效支持基于位置的数据检索和分析。系统还引入了 Spark、Flink 等流式计算平台,对实时到达的海量定位数据进行清洗、压缩、存储,并实时计算衍生指标如速度等,进一步丰富了轨迹数据信息维度。为优化前端响应速度和用户体验,系统在时空数据库之上构建多级索引,采用预聚合、预计算等方式,加速了关键区域、关键时段内历史轨迹查询和检索性能,通过一系列存储和计算架构优化,系统可以支撑百万量级机车定位点数据管理,满足铁路调度业务苛刻需求。

(三) 机车调度监控与可视化

调度监控子系统为列调人员提供实时、直观的机车运行状态信息。在电子地图上以点、线、面等符号标注机车实时位置、行驶路线、作业区域。对低速运行、长时间停车等异常情况给予颜色标记。轨迹可视化采用矢量切片地图,前端使用 Openlayers 等开源 WebGIS 框架渲染轨迹、车站、线路等地理要素,考虑到铁路线路网复杂性,设计多级显示模式:一级显示铁路线路网概况,段级显示机务段机车分布情况,站区级显示车站车流及股道占用情况。结合列车运行图,开发列车监控功能,以不同颜色线条绘制既定运行线、实际运行线,直观展示列车运行图执行情况,当列车运行提前或延误达到预警阈值时,及时给出预警提示^[3]。

(四) 机车运行统计分析

统计分析子系统挖掘轨迹数据价值,多角度评价机车使用绩效,按照铁路局、机务段、车型等不同统计维度,计算以下关键绩效指标。

1.日/月度机车全周转时间,该指标反映机车时间利用情况,通过纯运转时间、中间站停留时间、本段(外段)所在站停留时间、本段(外段)整备停留等时间占比分析机车时

间利用结构,发现时间浪费环节。

2.日/月度机车走行公里,该指标直接反映机车行驶里程,是铁路局考核机务段重要指标之一,系统每日统计上报机车走行公里里,本务机走行公里,沿线走行公里,辅助走行公里,换算走行公里,月底汇总,对超/欠里程的机车标注异常,溯源分析。

3.日/月日车公里,机车日车公里的高低和沿线走行公里、列车对数、周转距离成正比;和机车使用台数、全周转时间、机车需要系数成反比。因此,当周转距离延长,沿线走行公里增大和全周转时间缩短,使用台数减少时,日车公里就能提高。而周转距离和列车对数主要取决于客观因素,所以,压缩机车全周转时间也就是提高日车公里的主要措施。对异常指标,溯源分析。

4.日/月日产量,机车日产量的高低与日车公里、列车平均牵引总重成正比,与单机率、重联率、机车运行台数成反比,要提高机车日产量就必须大力提高列车平均牵引总重,加速机车周转,压缩机车使用台数,提高日车公里,减少单机走行率、重联率等有关因素。对异常指标,溯源分析。

5.消耗的能源量/万吨公里,该指标反映机车能源使用效率、营运成本,通过轨迹与动力学模型估算单车能耗,结合能源价格核算平均成本,开展同型机车、不同线路能耗对比,为节能挖潜提供参考。反映资源浪费程度,通过分段对比分析,发现薄弱区段,引导调度员合理调度^[4]。

三、机车调度管理系统的应用实践

局管内两个铁路枢纽试点搭建并运行机车调度管理系统,经过3个月的试用,取得了积极成效:

1.通过列车监控功能,调度人员及时发现列车晚点、机车低效运转等问题,从而有效提升了机车在途可视化管理水平,平均列车正点率提升了1.5%。

2.系统优化了营运线施工、货运增开等时段的机车调度,通过机车流向优化,有效减少了调车作业次数,缓解了枢纽站压力,平均每趟列车节约了1.2小时。

参考文献

- [1]方胜盛.基于机车运行轨迹的机车调度管理系统设计与应用[J].铁路计算机应用,2024,33(01):33-37.
 - [2]杨凯,付多忠,杨丹华,等.基于机车数据融合的机车综合应用系统设计与实现[J].铁路计算机应用,2022,31(03):64-67.
 - [3]方鑫,吴剑伟,李玉端.电力机车BMS01电池管理系统的研究与设计[J].电力机车与城轨车辆,2025,48(01):118-121.
 - [4]牛敏,左建乐,李胜永,等.隧道变频牵引机车数据采集及存储系统的设计与应用[J].机械工程师,2023,(06):97-99.
 - [5]张海亮,徐莉,韩庆宇.GPS机车调度系统设计与应用[J].冶金设备管理与维修,2019,37(04):8-12.
- 作者简介:罗胜利(1978.01-)男,汉,陕西商洛人,本科,工程师,研究方向:铁路机车运用与管理。

3.加强了机车能耗成本控制,针对高能耗区段,系统引导司机采取节能操纵,平均节能2.4%,同时挖掘高里程、低重载机车的运用潜力,平均机车日均运用里程提高了8公里。

试点效果表明,基于机车运行轨迹大数据调度管理是一种切实可行的管理新模式,值得在更大范围内推广应用,某铁路局计划下一步建设覆盖全路的机车调度管理系统,并与列车集中调度系统(CTC)、货运管理等信息系统实现互联互通,逐步建成智慧型铁路运输体系,通过构建全路统一机车调度平台,将进一步提高铁路运输组织效率,降低运营成本,为铁路高质量发展提供有力支撑^[5]。机车调度管理系统的应用也为其他铁路局智慧化转型提供了有益借鉴,未来,随着大数据、人工智能等技术不断发展,铁路机车调度必将迎来更加智能高效运行管理新时代。系统还可通过对海量历史数据深度挖掘,总结形成机车能耗模型、机车运用规律等,为机务段、车务段等部门提供精准数据支持和辅助决策,实现机车全生命周期精细化管理,通过与铁路地图、天气预报等外部数据的关联分析,系统可实现更加准确的机车调度预测,提前做好物资配置、人员安排等工作,从而最大限度地提升铁路运输效率。可以预见,在不远的将来,借助先进信息化手段,铁路机车调度一定能够突破时空限制,实现更加柔性灵活的全网统筹,为旅客出行和货物运输提供更加优质服务,助力铁路运输行业迈向高质量发展的新台阶。

结语

未来,我们拟充分运用物联网、人工智能等前沿信息技术,不断优化升级现有系统,扩展更多智能应用场景,力争将其打造成为铁路智慧运输体系的关键支撑和示范样板,为铁路高质量发展注入新动能,我们也将积极探索将系统在其他交通运输行业推广应用,促进形成可复制、可推广的解决方案,助力交通运输行业数字化、智能化变革。