基于大数据的铁路货运司机工作负荷分析与调度优化

张奕

中国铁路北京局集团有限公司丰台机务段，中国·北京 丰台区 100071

摘要：随着我国铁路货运量持续增长，运输组织愈加复杂，司机工作负荷不断攀升，其对运输安全、运行效率与调度质量的影响愈加凸显。传统以经验判断为主的司机排班与负荷评估方式已难以适应现代铁路运输体系对精准化、智能化管理的需求。本文以大数据技术为核心工具，围绕铁路货运司机工作负荷的量化评估与调度优化展开研究。系统梳理当前铁路货运司机工作负荷的构成要素与运行特点，指出评估标准模糊、信息来源分散、负荷监控滞后等突出问题；从数据采集、指标体系构建、负荷模型设计、训练与推断全过程分析传统管理模式效率低下的内在原因；进而提出基于深度行为数据的负荷动态预测模型、基于调度仿真的排班优化策略以及基于多源数据融合的预警与反馈机制。研究认为，通过构建以大数据驱动的工作负荷全周期管理体系，可显著提升司机排班的科学性与运行组织的精细化水平，实现安全、效率与司机身心健康的协同优化，为铁路货运调度现代化提供可行路径。

关键词：大数据；铁路货运；司机工作负荷；调度优化；智能排班

Big Data—Driven Analysis of Workload and Scheduling Optimization

Zhang Yi

China Railway Beijing Group Corporation Fengtai Locomotive Depot, China Beijing Fengtai District 100071

Abstract: With the continuous growth of China's railway freight volume and the increasing complexity of transportation organization, the workload of freight locomotive drivers has significantly risen, exerting a direct influence on transportation safety, operational efficiency, and scheduling quality. Traditional experience-based workload assessment and scheduling methods can no longer meet the demand for precision and intelligence in modern railway operations. Using big data technology as the core analytical tool, this study focuses on the quantitative assessment of railway freight drivers' workload and the optimization of scheduling strategies. First, it systematically reviews the structural components and operational characteristics of drivers' workload, identifying key issues such as ambiguous evaluation standards, fragmented data sources, and lagging monitoring mechanisms. Second, the study examines the root causes of inefficiency in traditional management from the perspectives of data collection, indicator system design, workload modeling, and prediction processes. Subsequently, it proposes a dynamic workload forecasting model based on multi-source behavioral data, a simulation-driven scheduling optimization framework, and a real-time workload early-warning and feedback mechanism. The study concludes that establishing a big-data-driven full-cycle workload management system significantly enhances the scientific basis of driver scheduling and improves operation refinement, achieving coordinated optimization of safety, efficiency, and driver well-being, thus offering a feasible path toward modernizing railway freight dispatching.

Keywords: Big data; Railway freight; Driver workload; Scheduling optimization; Intelligent dispatching

0 引言

随着铁路货运规模持续扩大，运输组织结构日益复杂，司机作为列车运行安全的核心岗位，其工作负荷水平直接影响运输系统的稳定性与调度效率。然而，传统铁路货运调度长期依赖经验规则与静态指标，难以对司机工作负荷进行动态、精准与全量化评估，导致负荷分配不均、疲劳风险上升、排班效率受限等现实问题日益突出。在智能铁路与数字交通全面推进的背景下，如何以大数据为支撑重构司机负荷评估体系，提升调度策略的科学性与自动化水平，已成为铁路货运现代化建设中的关键议题[1]。

1 铁路货运司机工作负荷的构成与现状分析

1.1 铁路货运司机工作负荷的构成要素

铁路货运司机的工作负荷由生理负荷、心理负荷、任务负荷与环境负荷四大要素共同作用而成，呈现出复合性与动态性并存的特征。生理负荷主要来源于长时段作业、昼夜交替值乘、连续坐姿操作等因素，在高频注意力集中

状态下，司机心率、肌肉紧张度与疲劳指数会显著上升。

心理负荷则由高风险责任、突发情况应对、线路环境复杂度等因素叠加而来，心理压力与警觉度随运行环境变化而不断调整。任务负荷主要体现在作业强度、任务时长、作业流程复杂性以及任务集中度等方面，例如繁忙区段频繁调车、特殊天气下的操纵要求等，均会增加任务强度。环境负荷涉及噪声、振动、气候条件、昼夜节奏变化等外部因素，对司机生理与心理状态均具有直接影响。在实际运行中，这四类负荷相互交织，共同决定司机的整体负荷水平[2]。

1.2 铁路货运司机工作负荷现状

当前铁路货运司机的整体工作负荷呈现偏高、波动大与监测不足的综合态势，已经成为影响运输安全与组织效率的重要制约因素。在运输需求持续增长、货运计划频繁变动的背景下，司机往往面临值乘间隔不规则、跨时段作业增多、连续运行时间拉长等情形，生理负荷呈现持续积累趋势。长时间保持坐姿、维持高强度视注意力与操控动作，使疲劳在多个作业周期之间不断叠加，恢复时间难以保障，生理状态易出现隐性衰减[3]。

作业现场呈现出调度节奏紧凑、线路区段复杂度差异显著、任务密度变化频繁等特征，心理负荷随之显著提升。繁忙区段的频繁指令交互、突发情况处理需求以及不同区段风险等级的快速切换，使司机在短时间内承受较强的认知压力，注意力资源被持续拉动。尤其是在夜间运行、恶劣天气或特殊运输情境下，心理负荷更易呈现集中上升。

负荷监测方式仍以经验判断、班组口头反馈等传统方式为主，缺少系统化、可量化、可追溯的实时监测手段。生理数据、作业数据与环境数据未能形成统一的采集与分析体系，潜在的过载风险难以及时识别，班组管理对疲劳状态的判断具有明显滞后性。此外，调度组织仍受到路径规划模式固化、排班规则缺乏弹性等因素影响，不同司机之间的能力差异、状态差异和恢复差异未能在调度策略中得到充分体现。部分地区仍存在按经验分配任务、按固定模式排班的情况，使负荷分布呈现结构性不均衡。

2 铁路货运司机工作负荷的大数据监测

2.1 多源数据的采集与融合

铁路货运司机工作负荷的大数据分析以多源数据的系统化采集与深度融合为前提，不同类型的数据共同构成负荷识别的基础框架。行车相关数据是描述任务强度与作业复杂度的重要依据，包括运行速度变化、限速区段分布、坡度起伏、停车与起动车次、调车过程的时序特征等。这类数据能够反映司机在不同运行阶段所面临的操作需求与认知压力，体现任务负荷的客观特征。随着列控系统与智能感知设备的普及，行车数据的精度与连续性显著提升，为负荷分析提供了高质量的轨迹信息[4]。

司机个体生理数据反映其作业状态与疲劳程度，是负荷监测不可或缺的关键部分。心率、心率变异性、皮肤电反应、眼动指标、眨眼频率、面部表情特征等生理与行为数据，能够刻画司机在不同任务场景下的生理变化模式，为识别疲劳上升、压力增强等隐性负荷变化提供量化信号。通过可穿戴设备与驾驶室内智能监测系统，可实现生理数据的实时采集，使负荷监测从主观判断向客观量化转变。

2.2 基于大数据的工作负荷识别方法

在多源数据融合的基础上，铁路货运司机工作负荷的识别可依托多种建模方法与算法体系，实现对负荷状态的动态刻画与精准判定。负荷的变化具有连续性与阶段性特征，时间序列分析能够展示其随运行时段、任务强度和环境变化而产生的波动趋势。通过对心率、眼动、运行速度变化、停车频次等指标的时序建模，可以捕捉负荷的累积速率与衰减规律，识别持续高强度作业下可能出现的疲劳隐患[5]。

在大规模司机群体中，作业模式与生理反应存在显著个体差异。利用聚类算法对任务特征、生理反馈、环境感知等多维数据进行分类，可形成典型负荷模式，为不同类型司机建立差异化的负荷画像。例如，一类司机在繁忙区段心率波动明显，另一类司机在长时段夜间运行中出现持续疲劳趋势，这些群体特征有助于识别高风险人员结构，为调度分配策略的优化提供依据。

机器学习模型可进一步提升负荷预测的精度。基于随机森林、XGBoost、LSTM 等模型构建负荷预测框架，可将生理信号、运行行为、环境因素与历史负荷趋势组合输入，实现对潜在过载风险的提前识别。深度学习模型擅长捕捉非线性特征与长序列依赖关系，适用于识别复杂工况下的负荷突增，如多次紧急制动、坡道密集区段或恶劣天气情境。预测结果可作为调度优化的关键输入，使决策系统提前做好调整准备。

3 铁路货运司机负荷失衡的形成机制分析

3.1 作业组织模式对负荷失衡的影响

铁路货运作业以强计划性、强时效性和高连续性为基本特征，现有作业组织模式在满足运输需求的同时，也在无形中加剧了司机工作负荷的失衡。一方面，排班安排仍以“任务完成”为主导目标，排布逻辑更多围绕列车开行

计划与运输能力而展开，对司机个体差异、线路技术条件差异以及跨昼夜作业对机体节律的扰动关注不足。部分司机长期值乘重载线路、长大区段或高风险区段，且经常承接清晨、深夜等不规则时段任务，结构性高负荷由此形成，恢复时间被持续压缩[6]。

另一方面，繁忙枢纽站场和高密度区段的作业过程呈现指令交互频繁、调车作业集中、运行节奏紧绷等特征，调度命令、线路变更、进路调整等信息在短时间内密集出现，司机需要在有限时间窗口内完成判断、操作与确认等一系列动作，任务密度显著攀升，心理压力与认知负荷同步增加。处于这种高强度信息刺激环境中的司机，更容易出现注意力疲劳与反应迟缓等隐性风险。

运输生产中不可避免存在突发任务、临时增开列车、应急运输保障等情形，计划频繁调整成为常态，原有的休息安排和任务节奏被打乱。司机在短周期内反复经历“计划压缩—临时加班—连续响应”的循环，当值乘与休息边界不断被挤压，负荷累积过程被进一步加速。

3.2 司机个体差异与负荷累积机制

铁路货运司机的工作负荷并非单纯由任务强度决定，而是在个体特征、作业情境与生活方式多重作用下形成的动态累积结果。不同司机在生理基础、心理特质、职业经验与作业习惯等方面存在显著差异，同一工况在不同个体身上会呈现出截然不同的负荷轨迹。生理层面上，有的司机对心率波动极为敏感，稍有紧张便出现明显生理应激，有的则对昼夜节律变化更为脆弱，一旦频繁跨时段值乘，睡眠结构被打乱，疲劳感在多个作业周期中不断累积。心理层面上，风险感知偏高的司机在通过复杂区段、恶劣天气和繁忙站场时，长时间维持高度紧张状态，心理负荷易居高不下；应急处置依赖经验的司机在面对突发情况时反应较快，但也更容易在连续高压处置后出现“事后脱力”，形成延迟显性的疲劳反应。

经验差异同样影响负荷演化路径。经验丰富的司机往往能够更准确预判线路风险与作业节奏，表面上看压力较小，但在超长时间、高密度任务叠加情境中，易在不自知的状态下进入注意力衰减阶段，隐性疲劳难以及时觉察。新司机则更容易在陌生线路、复杂工况下面临认知过载，短期内负荷迅速攀升。生活节律、作息习惯、健康状况等非工作因素，也通过影响机体恢复能力而改变负荷累积速度，不规律饮食、睡眠质量不佳、运动不足等情况，会削弱每一轮休息的恢复效果，使负荷基线水平逐渐抬升[7]。

4 基于大数据的铁路货运司机调度优化模型

4.1 调度优化的目标体系构建

在大数据条件下，调度优化的目标不再仅限于运输效率，而是形成“安全—效率—负荷平衡”的三元并行目标体系。安全性目标要求调度过程中降低司机在高负荷状态下执行任务的概率，并将高风险区段与高生理负荷水平精准匹配，实现动态风险管控。其次，效率目标依然包括列车准点率、运输时长、车辆周转率等核心指标，通过优化资源配置提升整体运输能力[8]。

负荷均衡目标强调对司机工作强度、连续作业时长与生理负荷的动态均衡，使调度结果兼顾任务需求与个体可承受能力。为实现上述目标体系，需要构建以负荷预测、风险评估与资源分配为核心的多目标优化框架，并通过权重配置实现不同阶段的调度侧重点转换，使模型具备适应多场景运行的能力。

4.2 调度优化模型的结构与方法

基于多源数据支持与负荷识别结果，可构建包含输入层、决策层与输出层的调度优化模型。输入层整合列车运行数据、司机排班数据、线路风险信息、司机生理负荷与任务负荷预测值，为模型提供全量数据基础。决策层采用多目标优化算法，如粒子群算法、遗传算法或多目标线性规划模型，通过对不同方案的负荷影响、运行成本与效率表现进行迭代评估，生成候选调度方案。为应对突发任务与运行扰动，可引入滚动优化机制，通过实时数据更新对调度方案进行动态调整。输出层根据优化结果生成排班表、任务分配方案与负荷预警提示，实现与调度系统的无缝对接[9]。

此外，可在模型内部引入约束条件，包括最大连续作业时长限制、岗位休息强制约束、区段风险分级限制等，确保调度方案在满足运输需求的同时兼具安全性与科学性。通过上述结构设计，调度优化由传统静态模式向自适应、实时化与智能化转型，为全面提升铁路货运组织水平提供技术路径。

参考文献：

[1] 苌道凯. 铁路机车运输司机的工作压力及其影响因素[J]. 中国储运，2025,(04):54-55.

[2] 张彦春，陈敏，李卓. 铁路动车组司机工作压力对不安全行为作用机理研究[J]. 铁道科学与工程学报，2024,21(09):3518-3528.

[3] 王洪峰，邢国栋. 铁路机车运输司机的工作压力及其影响因素探讨[J]. 中国储运，2023,(09):154-155.

[4] 刘宇. 铁路机车司机的工作压力及其影响因素探究[J]. 科技创新与应用，2015,(16):293.

[5] 韩振亚. 铁路机车司机工作压力与安全绩效关系分析[J]. 科技创新与应用，2015,(07):175.

[6] 贾子若，杨书宏，宋守信. 安全绩效与工作压力、职业倦怠关系研究——以铁路机车司机为例[J]. 中国安全科学学报，2013,23(06):145-150.

[7] 刘玉，陈叶梅，武振业. 基于工作压力的人力资源管理研究——以机车司机为例[J]. 商场现代化，2010,(23):128-130.

[8] 刘玉，苏文胜，谭春燕. 中国铁路机车司机工作压力源结构模型研究[J]. 西南交通大学学报 (社会科学版)，2010,11(01):48-52.

[9] 刘玉，武振业，赵恩江等. 铁路机车司机工作压力影响因子结构分析[J]. 中国铁道科学，2010,31(01):130-133.

作者简介：张奕，男，中国铁路北京局集团有限公司丰台机务段，本科，天津宁河，内蒙古农业大学，交通运输专业。