

铁路货运司机工作效率与智能调度系统优化

齐鹏程

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: 在铁路运输网络规模持续扩张、货运量不断增长的背景下, 铁路货运司机作为运输链条中的关键人力资源, 其工作效率直接影响运输能力、列车周转效率与线路利用水平。本文以铁路货运司机效率影响因素及智能调度系统优化为研究对象, 首先梳理了现行铁路货运组织模式下司机班制安排、作业流程、劳动负荷与调度机制的运行现状, 指出班制僵化、调度信息不对称、交路设计滞后与人工调度易受主观因素影响等导致“效率瓶颈”“资源错配”等突出问题; 其次, 从组织管理、线路运能结构、司机劳动特征、信息系统协同性与安全约束等维度剖析效率低下的内在动因; 进而提出以智能调度系统为核心, 通过构建数据驱动的路网编制模型、自动排班算法、司机负荷监测体系与动态风险评估机制, 提升司机利用率与运输组织弹性。研究认为, 唯有以智能化技术与组织机制协同推动调度体系重构, 才能在既定安全边界下最大化司机与运能资源的配置效率, 持续提升铁路货运运输能力。

关键词: 铁路货运; 司机效率; 智能调度; 交路优化; 排班模型

Optimizing Work Efficiency of Railway Freight Drivers and Intelligent Dispatching Systems

Qi Pengcheng

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

Abstract: Against the backdrop of expanding railway networks and increasing freight volumes, railway freight drivers play a crucial role in determining transport capacity, train turnover efficiency, and line utilization levels. This study examines the influencing factors of driver efficiency and the optimization of intelligent dispatching systems. First, it reviews the current operation of driver shift arrangements, workflow structures, workload distribution, and dispatch mechanisms under existing freight organization modes, identifying prominent issues such as rigid shift systems, information asymmetry, outdated routing design, and subjective interference in manual dispatching. Second, it analyzes the underlying causes of inefficiency from the perspectives of organizational management, line capacity structure, driver labor characteristics, information system compatibility, and safety constraints. Furthermore, the study proposes optimization paths centered on intelligent dispatching systems, including data-driven routing models, automated scheduling algorithms, workload monitoring, and dynamic risk assessment mechanisms. The study concludes that only through technological empowerment and systematic dispatching reform can resource allocation efficiency be maximized within the safety boundary, thereby sustainably enhancing freight transportation capacity.

Keywords: Railway freight; Driver efficiency; Intelligent dispatching; Routing optimization; Scheduling model

0 引言

随着铁路货运组织进入高密度、快周转的发展阶段, 司机作为列车运行的核心岗位, 其工作效率成为影响运输组织质量的关键变量。然而, 在传统调度体系中, 司机排班、交路设计和任务分配仍以人工经验为主要依据, 导致调度反应滞后、资源配置刚性以及劳动负荷不均衡等问题频发。与此同时, 铁路行业数字化进程加速推进, 智能调度系统、算法排班、动态路径选择以及实时风险监测等技术为提升司机效率提供了可行路径。

1 铁路货运司机工作效率的现状分析

1.1 司机作业资源构成与排班方式

铁路货运司机工作资源主要包括人员资质、交路结构、班制模式与任务配置方式。铁路系统中司机需持有不同等级的运行资格, 其上岗结构受线路等级、机型类别与运行任务限制。在排班方式上, 多以固定交路、轮乘制与周期性编班为主, 但由于线路负荷与到发频次差异明显, 班制难以做到完全匹配运量节奏。

在实际运行中, 司机排班往往由调度人员依据经验进

行,存在排班粒度粗、弹性不足的问题。部分繁忙区段司机出勤率高、负荷重,而部分区段则出现闲置人力,导致总体资源配置效率偏低。此外,任务分配未完全建立在司机工作量与疲劳状态监测基础上,班制安排与实际劳动负荷之间常出现偏差,影响效率与安全^[1]。

1.2 现行调度体系中的效率损失

现行铁路货运调度体系虽然形成了以安全规程为核心、以岗位职责为基础的组织流程,但在运量增长与运行密度加大的背景下,其固有结构逐渐暴露出明显的效率损失。人工调度仍占据主要地位,调度人员需在有限时间内综合考虑列车运行图、司机班制、机车可用状态及线路拥堵情况,当运输组织进入高峰时段或突发情况频繁出现时,调度决策需依赖经验进行快速判断。然而,人工判断的反应速度和信息处理能力难以匹配实时变化的运能波动,往往存在响应滞后、局部决策优先的倾向,使整体运输组织缺乏协调性,甚至出现列车等待、机车闲置或司机排班冲突等问题,削弱系统效率。

“车一机一人”三大核心资源受限于信息系统的分散化而难以联动。当前许多铁路货运企业的调度信息平台属于分阶段建设产物,机车运用系统、司机考勤与排班系统、货运列车计划系统之间数据兼容性不足,信息交换依靠人工传递或低频同步。当司机可用状态未能实时更新、机车周转未能自动关联列车计划时,调度人员难以基于完整信息进行最优匹配决策,导致出现资源闲置与任务重叠并存的结构性矛盾。此外,缺乏统一数据接口使调度系统难以开展跨部门协同优化,更无法通过算法实现整体性排班与动态调整^[2]。

1.3 劳动负荷不均与安全边界约束

铁路货运司机的劳动负荷具有明显的时空差异性和岗位特征,既受到运行区段里程长短、坡道曲线条件、限速要求等客观条件影响,也与作业时间分布、夜班比例以及编组、调车等复杂作业环节密切相关。在现行以固定交路、相对刚性的班制为主的组织模式下,运量高峰区段与繁忙时段的司机往往长期处于高强度运转状态,工作节奏紧凑、周转间隔缩短,休息时间被不断压缩,实际劳动负荷远高于制度设计的“平均水平”;而在运量相对较低或时段不均衡的区段,一部分司机则因任务安排不足、车次稀疏而出勤率偏低,形成“忙闲两极”的结构性失衡。这种负荷不均不仅降低了整体人力资源利用效率,还可能诱发高负荷司机的疲劳积累与心理压力上升,埋下安全隐患^[3]。

同时,铁路运输对安全边界有着比多数行业更为严格

的制度约束。司机连续作业时间上限、两次出勤之间的休息时长、夜间运行频次以及累积夜班天数等均被明确限定,疲劳评估和健康状态也被纳入上岗条件。在这些刚性约束下,调度人员在编制交路和排班时必须优先满足安全与合规要求,许多在数学上“高效率”的组合方案在现实中因突破安全边界而无法采用。这使得效率提升不能简单依靠压缩休息时间或提高单人出勤频率,而必须在安全红线之内进行精细化优化。对于调度系统而言,一方面需要在劳动负荷均衡化与运能保障之间寻找平衡,避免局部过载;另一方面还要实时监控司机作业强度与疲劳风险,适时调整任务配置。这种在强约束条件下的资源调配大大增加了调度问题的复杂度,也凸显出引入智能算法与精细化管理手段的必要性。

2 铁路货运司机效率低下的原因分析

2.1 组织与流程的制度性约束

铁路货运的运输组织以高度程序化和标准化为特征,从列车编组、调车作业、机车整备到行车组织,每一个环节都有严格的规章制度和操作流程。这一制度体系在保障运输安全、维持运行秩序方面发挥了重要作用,但也在客观上削弱了组织的柔性,使调度难以根据运量波动和线路状态进行快速调整。固定交路、固定班制、固定作业流程等安排,本质上是一种以“稳定可控”为导向的制度设计,在货运需求相对平稳的时期能够有效支撑生产组织。然而,当运量结构呈现出明显的峰谷特征、不同区段之间的负荷差异不断拉大时,过于刚性的交路模式容易导致司机人力与运能需求错位,难以及时把富余资源向紧张区段倾斜,形成制度性效率损失。

铁路系统内部呈现出较强的部门分工,运输、机务、调度等单位在职责划分、考核指标和信息系统上相对独立,各自围绕本部门目标进行资源配置与流程安排。这种纵向管理特征在一定程度上保证了专业化运作,却削弱了跨部门协同的动力与机制。司机作为贯穿各环节的关键人力资源,其排班、培训、考核和使用分别由不同部门掌握,缺乏统一的统筹平台和协同规则^[4]。调度人员在司机与机车、列车计划匹配时,往往需要通过电话、报表或线下沟通获取信息,既增加了时间成本,也使决策依赖个人经验,难以形成面向整体效率的优化方案。制度与流程的固化,使组织对环境变化的响应呈现明显滞后,成为制约司机效率提升和智能调度系统发挥作用的重要内在约束。

2.2 线路运能差异造成资源错配

铁路货运网络具有明显的区段差异特征:一方面,干

线繁忙区段和重载通道长期处于高密度开行状态,列车运行图紧凑、作业窗口有限,线路利用率接近或达到运能上限;另一方面,一些支线或运量相对较低的区段则车流稀疏、占线率较低,存在较大的运能冗余。在现有以区段、局段为边界的资源配置格局下,司机编制和岗位设置往往与所属区段绑定,缺乏跨区统筹调配机制,导致司机资源难以随着货源流向和运量重心的变化实现跨区共享和动态重组。

在这种条件下,繁忙区段司机长期承担高频次出勤和高强度运行任务,班制安排紧凑、周转时间压缩,劳动负荷持续偏高;而相对充裕区段则因列车开行数量有限、作业需求不足,部分司机处于“半闲置”状态,年均有效出勤时长明显低于系统平均水平,形成同一网络内部“疲于奔命”与“无事可做”并存的结构矛盾。由于缺少以全网或更大范围为对象的统筹模型和调度规则,资源配置多在局部空间内优化,难以通过跨区段调剂实现整体均衡^[5]。结构性错配不仅降低了人力资源利用率,推高了单位运量的人力成本,还削弱了调度系统的弹性,使其在应对突发增量、季节性高峰和临时增开列车时,必须依赖加班、临时借用等方式被动应对,进一步放大效率损失。

3 基于智能调度系统的效率提升路径

3.1 构建数据驱动的交通与排班模型

在智能调度理念下,交通与排班不再仅依赖经验和静态规则,而是以多源数据为基础进行建模与优化。调度系统可持续采集司机历史出勤记录、单趟运行时长、接续间隔、昼夜分布、线路坡道与限速信息、区段拥堵程度、列车时刻表以及机车周转计划等数据,构建“人一机一线一时”一体化数据库。

在此基础上,通过建立交路优化模型,将司机可用状态、安全约束、机车利用、列车开行计划等因素统一纳入约束条件,以减少空驶、候班和重复调车等低效环节,实现司机与机车、线路资源的整体匹配。模型不仅关注单一出勤的效率,还可在更长时间尺度上分析司机劳动节奏与疲劳积累趋势,依据不同司机的生理节律、适应时段和工作偏好,对班制强度和交路组合进行差异化设置,从而缓解“高峰超负荷—低峰闲置”的波动,使排班结果在满足安全红线的前提下兼顾公平性与持续性,为后续引入智能算法与自适应优化奠定基础^[6]。

3.2 引入智能排班算法提升资源利用率

在交路与排班模型的基础上,引入智能排班算法可以显著提升计算效率与资源利用水平。通过运用遗传算法、

启发式搜索、整数规划或强化学习等方法,系统能够在短时间内生成并评估大量排班方案,快速在复杂约束空间中逼近最优或次优解。

算法将司机工作时长上限、最小休息时间、夜班比例、安全风险指标以及机车与列车计划等条件转化为约束集合,以“减少空转时间、提高有效作业比例、平衡劳动负荷”为优化目标,自动完成司机与任务的匹配和顺序安排。与传统依赖人工调整的排班方式相比,智能排班可以有效减少同一时段内的任务重叠和资源争用,降低因信息不对称导致的临时改班和频繁插班现象,缩短候班时间^[7]。同时,算法可根据运量变化滚动重新排班方案,在运能高峰或突发任务出现时,通过局部重构实现柔性调整,避免“一改动就牵一发而动全身”的连锁反应,在保证安全与稳定的前提下持续提升司机利用率与系统整体效率。

3.3 建立疲劳监测与动态风险评估机制

在智能调度框架下,司机效率提升必须与安全风险管控深度耦合。通过引入疲劳监测与动态风险评估机制,可以将原本依赖经验判断的“感觉疲劳”转化为可量化、可预警的指标体系。调度系统可基于可穿戴设备采集心率、睡眠质量、活动强度等生理数据,结合司机驾驶过程中的操作特征(如制动频率、操纵平顺性、反应时长等)对疲劳水平进行综合评估,并与其近期出勤时长、夜班次数、连续运行里程等信息联动,形成动态疲劳指数。当疲劳指数接近预设阈值时,系统可自动限制其继续承担长距离或高强度任务,触发调度调整或强制休整^[8]。

通过对夜间运行、长大坡道、繁忙节点站、重载区段等场景构建风险识别模型,调度系统能够提前识别高风险时段和区段,在排班阶段就预留安全裕度,如增加双司机配置、延长接续间隔或调整交路走向。疲劳监测与风险评估的嵌入,使调度决策从“事后纠偏”转变为“事前预防+事中干预”,在确保安全边界不被突破的前提下,为司机效率的稳态提升提供坚实支撑。

参考文献:

- [1] 赵华. 铁路货运场站数字化管理模式创新探讨——以成都局集团公司大弯镇站为例[J]. 铁路物流, 2025,43(01):40-47.
- [2] 吴荣山, 伍丽芳. 铁路货运生产作业与管控平台进货流程及界面优化方案研究[J]. 铁道货运, 2024,42(09):37-44.
- [3] 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.

[4] 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.

[5] 韩克林, 夏堃. 高速铁路动车组司机运用管理优化研究[J]. 黑龙江交通科技, 2021,44(02):196-197+199.

[6] 林海艺, 于莹莹, 王芳. 铁路机车司机睡眠状况调查分析[J]. 铁路节能环保与安全卫生, 2020,10(04):40-45.

[7] 丁万斌. 铁路货运与现代物流融合发展[J]. 长安大

学学报(社会科学版), 2018,20(01):28-37.

[8] 陈婷婷, 唐国慧, 闻骊萍. 铁路货运机车司机生活习惯调查[J]. 铁路节能环保与安全卫生, 2012,2(05):267-270.

作者简介: 齐鹏程, 男, 汉族, 河北省唐山市, 中国铁路北京局集团有限公司丰台机务段, 本科, 哈尔滨工程大学, 研究方向: 材料科学与工程。