



机车自动驾驶系统跨路局跨交路运行技术研究

刘耀峰¹, 周文伟², 张征方³

(1. 中国铁路西安局集团有限公司, 陕西 西安 710054;

2. 株洲中车时代电气股份有限公司, 湖南 株洲 412001;

3. 中车株洲电力机车研究所有限公司, 湖南 株洲 412001)

摘要: HXd1 机车自动驾驶系统已在西安局西康线开展日常运用考核, 为应对后续跨路局跨交路场景应用给机车自动驾驶系统操纵带来的挑战, 文章深入分析了在多线路运行、转线转场运行、编组和车辆类型多样等跨路局、跨交路场景下机车自动驾驶系统操纵面临的困难, 研究和实现了电子地图与运行标尺、面向转场转线的运行规划与控制、面向多编组多车辆类型的运行规划与控制等技术。现场应用结果表明, 该技术能实现在跨路局跨交路场景下货运列车的安全运行, 提升机车自动驾驶系统的适应能力。

关键词: 货物列车; 机车自动驾驶; 跨路局; 跨交路; 安全运行

中图分类号: U268.4

文献标志码: A

文章编号: 1000-128X(2025)01-0131-08

0 引言

自2018年西安局开展机车自动驾驶技术研究^[1-2]以来, 机车自动驾驶系统已在国产化HXD1机车上装车, 并在西康线区间(安康东—新丰镇)开展常态化应用。机车自动驾驶系统实现了自动起车、区间自动运行(包括贯通试验、过分相运行控制及临时限速控制)以及自动停车等运用场景的自动驾驶功能, 自动化操控率超过99%。截至2024年底, 总运行里程已达120万km。

我国铁路线路纵横交错, 运输组织灵活。货物列车存在跨路局、跨交路运行的情况, 包括由运行线路非固定引起的多线路运行、转线转场运行, 以及由车辆类型多样、编组类型多样、载重不固定等引起的不同场景运用, 这为机车自动驾驶系统的进一步推广带来新的挑战^[3]。

为解决上述问题, 本文从西康线机车自动驾驶系统运用现状出发^[4-6], 梳理并分析跨路局、跨交路相关场景对货物列车自动驾驶系统的影响, 研究自动驾驶

系统跨路局跨交路运行技术, 提升系统适应性。

1 应用场景分析

机车自动驾驶系统跨路局、跨交路运行时, 存在控车线路数据不完备、运行场景复杂和列车编组多样等问题, 不同问题将引起列车运行的不同风险。

1.1 线路数据不完备的影响分析

在跨路局、跨交路运行场景下, 所有机车都可能覆盖多条线路, 装有自动驾驶系统的机车可能会在“新”线路上运行。在这样的新线路上, 列车运行监控系统LKJ提供的基础线路数据只包含了列车运行所需的定位位置信息和线路信息(包括信号机信息、坡度数据、分相区参数等)^[7-8], 自动驾驶系统无法接收到控车所需的完整数据(包括禁停区数据、贯通试验点信息、分相区长度、股道长度、侧线出站反向进站信号机位置、精确停车对标点等)。新线路控车信息的缺失会导致违规停车、贯通位置不合理等列车运行问题,

通信作者: 周文伟, 男, 高级工程师, 长期从事自动驾驶系统研发工作; E-mail: zhouww2@csrzc.com

引用格式: 刘耀峰, 周文伟, 张征方. 机车自动驾驶系统跨路局跨交路运行技术研究[J]. 机车电传动, 2025(1): 131-138.DOI:10.13890/j.issn.1000-128X.2025.01.016.

Citation: LIU Yaofeng, ZHOU Wenwei, ZHANG Zhengfang. Research on locomotive automatic operation system crossing railway bureaus and route boundaries[J]. Electric drive for locomotives, 2025(1): 131-138.DOI:10.13890/j.issn.1000-128X.2025.01.016.

严重时甚至可能引发列车救援等风险。同时，系统无法实时获取列车运行时刻表，因而难以实现准点目标，严重时可能导致列车运行延误。典型跨路局线路运行场景可能缺失的线路数据及影响分析如表1所示。

表1 数据缺失及影响分析

Table 1 Analysis of data missing and impact

运用场景	缺失数据	风险分析
机外停车	禁停区位置、长度	列车禁停区停车，危害列车正常运行
贯通试验	贯通试验区位置、长度	未正常进行贯通试验，无法检测列车异常及制动性能
车站停车	股道长度、对标停车点位置	无法实现车站对标停车，影响车站调车作业
区间运行	运行时分/运行时刻表	列车区间运缓，影响铁路货物运输效率

1.2 运行场景复杂的影响分析

1) 支线跳转场景

在支线跳转场景中，存在多条支线可选（如图1所示）。由于列车运行监控系统LKJ无法根据地面系统提前获取目标支线的进路数据，而LKJ系统中的默认支线不一定是实际进路的支线，且不同支线的车站、线路、限速等信息不同，因此在支线跳转时可能出现信息瞬变，进而影响列车操控。

假设在输入实际支线号前LKJ系统中的默认支线限速较高，则机车自动驾驶系统按默认支线的限速操纵列车高速运行；支线跳转时若司机选择了实际支线且其限速值比系统默认支线限速值低，则限速信息的瞬间变化可能造成列车控速困难，严重时会导致列车超速、冒进冒出事故。

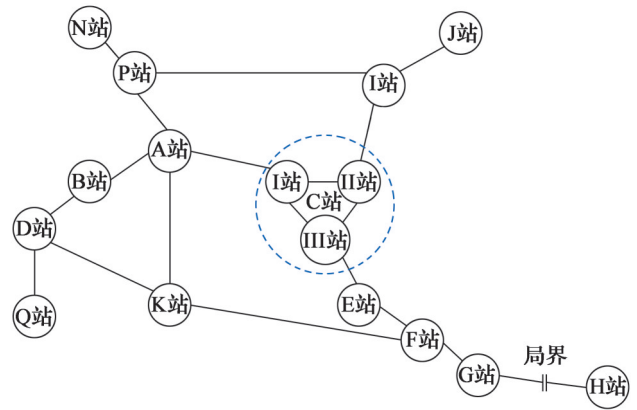


图1 典型的货运列车支线跳转场景

Fig. 1 Schematic diagram of typical freight train scenario of branch transfer

2) 转场运行场景

在转场运行场景中，当列车运行至侧线进站信号机（该信号机通常为“接发车进路信号机”）后，列车转场至侧线接车，信号灯由双黄灯转白灯，下一架信号机可能接收的机车信号为绿黄灯、黄灯、红黄灯

或双黄灯，但由于LKJ在转场运行时无法根据地面系统和机车信号进行列车防护（防护曲线不闭口），因此当列车所在红黄灯信号区间线路较短（区间长度小于最小制动距离）且列车控速不当时将引发超速，严重时可能导致列车冒进事故。

3) 侧线出站遇分相场景

侧线出站时道岔区段的机车信号灯为白灯，而部分车站的出站道岔区段在第一离去区间设置了分相区，分相区位于平坡甚至小上坡段且与第一离去信号机距离较近。机车自动驾驶系统只能接收机车信号，无法获取地面信号，根据相关标准可知机车信号和地面信号显示方式不同。当第一离去信号机的实际地面信号显示为黄灯时，若自动驾驶系统接收到的机车信号为双黄灯（表示允许列车按规定速度通过出站信号机），则需控制列车在第一离去信号机前停车，而此时如果列车运行到收码点位置接收到红黄灯信号，且控制列车停车的制动点距离分相区过近时，将面临列车起动后过分相困难甚至滞留分相区的风险，如图2所示。

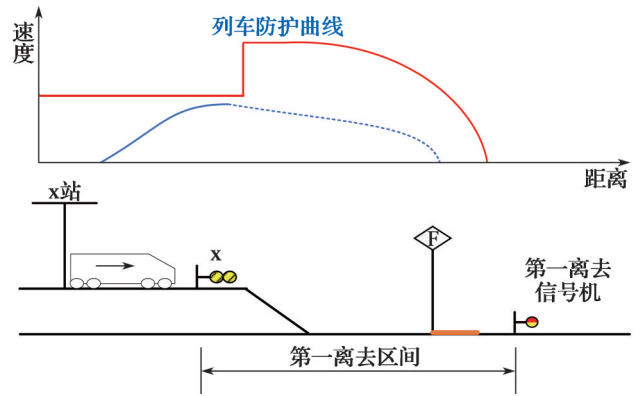


图2 侧线出站遇分相场景示意图

Fig. 2 Scenario schematic diagram of phase separation after station departure on siding

针对上述特殊运行场景，机车自动驾驶系统需通过策略优化降低风险。

1.3 列车编组种类多的影响分析

货运列车跨路局、跨交路运用时，会遇到不同趟次列车编组和载重存在较大差异的情况。不同编组和不同载重的列车需遵循的列车操纵规则不同，例如在长大下坡道区间，轻载工况无须使用空气制动进行调速，重载工况则必须使用空气制动进行调速^[9-10]，在使用空气制动的过程中需要针对不同编组（不同空重车比例）采取不同的控制量才能保证操纵安全。

货物列车根据不同类型的货物（固体货物、液体货物、固液混合货物）采用不同类型的装载车辆（C62、C64、C70、C80、行包车、粮食车等），机车自动驾驶系统暂无法获取上述信息。由于不同类型车辆的阻力模型不同、空气制动力存在差异^[11]，因此需通过动态自适应控制来保证不同类型车辆操纵的平稳安

全。例如, 针对液体货物或固液混合货物, 当采用快速加速或大减压量制动的操纵策略时, 罐体内液体货物将产生显著冲击载荷, 此时高重心罐车容易出现点头运动, 进而引发心盘错位, 威胁行车安全。

2 运行实现方法

2.1 控车数据缺失的解决方法

机车自动驾驶系统通过补充控车数据制作电子地图和运行时刻表软件, 并基于LKJ的线路数据及定位信息生成机车自动驾驶电子地图和运行时刻表控车数据文件, 弥补机车自动驾驶控车数据不足的问题, 机车自动驾驶系统构成示意图如图3所示, 其中黄色图例部分为缺失的部分控车数据。

首先梳理新线路所需的具体数据元素 (如表2所示); 其次基于这些数据元素设计电子地图数据组织结构与数据编辑软件, 对电子地图数据进行编辑并生成机车自动驾驶系统可识别的文件; 最后将文件预存在

机车自动驾驶系统中, 车载软件可根据与数据组织结构相匹配的数据检索方法对地图数据文件进行检索, 在列车运行至相关场景时可提前检索到所需的具体数据元素来控制列车安全运行。

表2 典型的机车自动驾驶系统电子地图数据
Table 2 Data of typical electronic map for locomotive ATO system

场景	数据	来源
机外停车	禁停区位置、长度	工务数据
贯通试验	贯通试验位置	机务段操纵五色图
站内停车	停车标与前方信号机距离、股道长度	工务数据
侧线出站	收码点位置	工务数据
区间运行	分相区长度	工务数据

机车自动驾驶系统区间运行时电子地图使用的基本原理为利用车站号 z 和交路号 j 在电子地图文件数据结构中检索当前运行区间的分相区数据 $F(z,j)$ 、贯通试验数据 $G(z,j)$ 、收码点数据 $S(z,j)$ 、停车点数据 $T(z,j)$ 等。电子地图数据 D_{map} 可表示如式(1)。

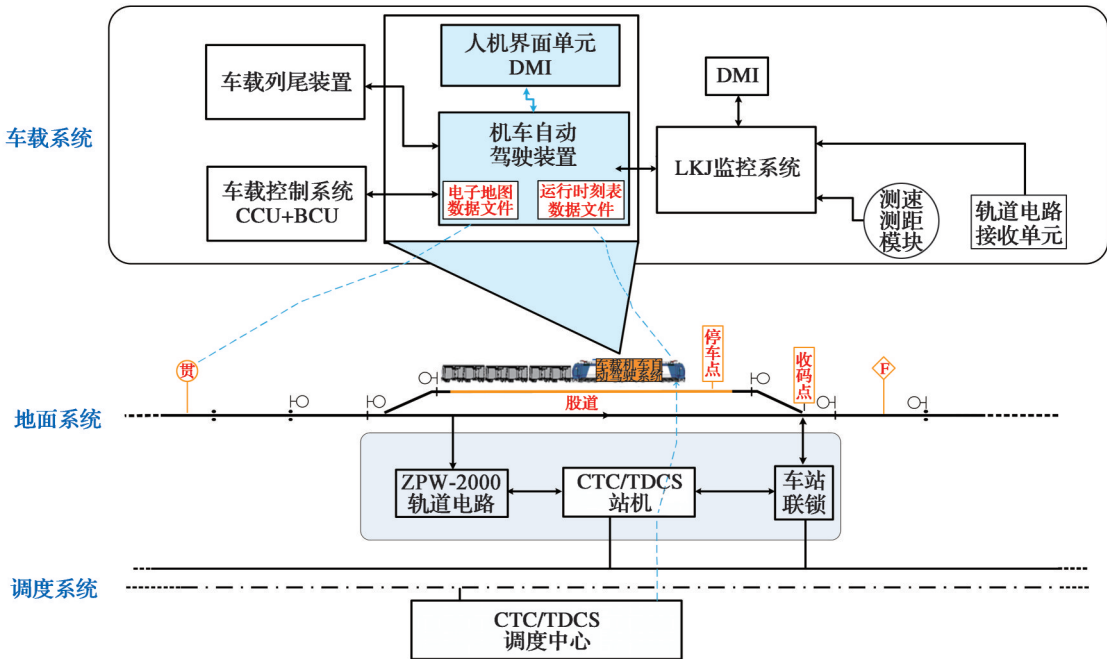


图3 机车自动驾驶系统构成示意图

Fig. 3 Composition of locomotive ATO system

$$D_{\text{map}} = f(z, j) = \begin{cases} F(z, j) \in [F_1(z_1, j_1), F_2(z_2, j_2), \dots, F_{n-1}(z_{n-1}, j_{n-1}), F_n(z_n, j_n)] \\ G(z, j) \in [G_1(z_1, j_1), G_2(z_2, j_2), \dots, G_{n-1}(z_{n-1}, j_{n-1}), G_n(z_n, j_n)] \\ S(z, j) \in [S_1(z_1, j_1), S_2(z_2, j_2), \dots, S_{n-1}(z_{n-1}, j_{n-1}), S_n(z_n, j_n)] \\ T(z, j) \in [T_1(z_1, j_1), T_2(z_2, j_2), \dots, T_{n-1}(z_{n-1}, j_{n-1}), T_n(z_n, j_n)] \\ \vdots \end{cases} \quad (1)$$

为满足列车按图运行的要求同时还设计了运行时刻表软件。首先, 根据路局运行标尺文件获取每条线路各站区间的区间运行时分数据, 基于此设计运行时刻表数据组织结构与编辑软件; 其次, 通过运行时刻表编辑软件生成机车自动驾驶系统可识别的文件格式;

最后, 将数据文件预存在机车自动驾驶系统中, 车载软件可根据与数据组织架构匹配的数据检索方法对运行时刻进行检索, 在列车运行至相应站区间时, 可提前依次检索所需的具体数据元素来控制列车准点运行, 具体如式(2)所示。

$$T_{\text{target}} = t_{\text{cz}} + t_{\text{zt}} + t_{\text{fj}} + t_{\text{qj}}(z, j) = \begin{cases} h(z, j) \in [h_1(z_1, j_1), h_2(z_2, j_2), \dots, h_n(z_n, j_n)] \\ m(z, j) \in [m_1(z_1, j_1), m_2(z_2, j_2), \dots, m_n(z_n, j_n)] \end{cases} \quad (2)$$

式中: T_{target} 为机车自动驾驶系统控制列车到达前站的预期目标时刻; t_{cz} 为当前车站列车始发时刻; t_{zt} 为当前车站列车站停时间; t_{fj} 为当前车站起停车附加时分; $t_{\text{qj}}(z, j)$ 为当前区间运行时刻表数据, 其基本原理为利用车站号 z 和交路号 j 在电子地图文件的数据结构中检索当前运行区间的小时数据 $h(z, j)$ 和分钟数据 $m(z, j)$ 。

2.2 面向特殊场景的控制策略

通过分析支线跳转、转场运行、侧线出站遇分相等跨路局、跨交路运行场景的特殊性以及自动驾驶系统操纵的影响, 以兼顾列车运行安全和效率为目标, 设计了面向这些特殊场景的机车自动驾驶运行控制

策略。

①支线跳转场景。针对该场景的安全风险, 通过制定策略提前降低列车运行速度。其控制策略实现步骤如下: 首先对多支线跳转车站进行标记, 提前获取各支线线路信息、限速信息; 其次根据当前列车速度计算并预测各支线最低速度目标点; 然后再根据各支线约束条件计算操纵序列, 确定最佳降速起点位置, 确保各支线的控制安全; 最后, 若司机输入的支线为系统计算的最危害支线, 则按照最危害支线的线路条件控制列车安全运行, 否则按照最新支线数据重新对列车进行规划与控制。

②转场运行场景。针对该场景中列车越过接发车进路信号机后, LKJ2000限速曲线不闭口的情况, 为防止列车冒进, 机车自动驾驶系统应基于三显示/四显示自动闭塞系统特性预测红黄灯位置, 并进行相应的运行曲线规划和速度控制 (如图4所示)。

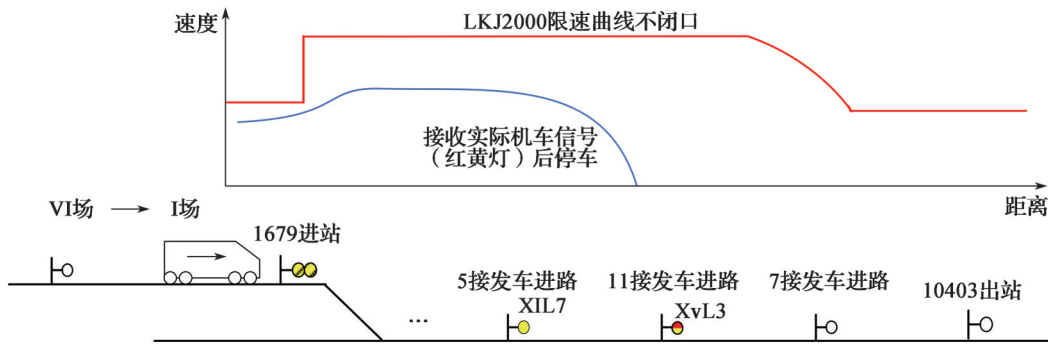


图4 货车列车转场运行场景示意图

Fig. 4 Schematic diagram of operational scenario of freight train transfer

③侧线出站遇分相场景。针对该场景, 一方面机车自动驾驶系统通过电子地图获取收码点位置信息; 另一方面, 如果出站信号机和第一离去信号机之间存在分相区, 为避免在出站道岔区段和分相区的停车风险, 机车自动驾驶系统在人机交互单元上设置了交互弹窗, 具体实现步骤如图5所示。

针对列车支线跳转、转场运行、侧线出站等场景, 系统的安全策略关键点均包含: 列车在当前最高运行速度下, 其辅助驾驶功能是通过预测列车空气制动力来实现空气制动安全降速起点的计算, 具体如图6所示。

列车空气制动力 $f_{\text{air}}(t)$ 的预测与充排风时间密切相关, 计算方法为

$$f_{\text{air}}(t) = \begin{cases} 0, & 0 < t \leq t_{k,1} \\ \beta_c \varphi_h \tilde{\mu} \sum_{i=1}^N K_i(t), & t_{k,1} < t \leq t_{k,N} + T_N \\ \beta_c \varphi_h \tilde{\mu} \sum_{i=1}^N K_{\max}, & t > t_{k,N} + T_N \end{cases} \quad (3)$$

式中: $t_{k,N}$ 为第 N 节车辆的制动缸开始充气时间; T_N 为第 N 节车辆的制动缸充气时间; β_c 为常用制动系数; φ_h 为换算摩擦因数; $\tilde{\mu}$ 为列车制动力系数; K 为闸瓦压力, 随时间而变化。

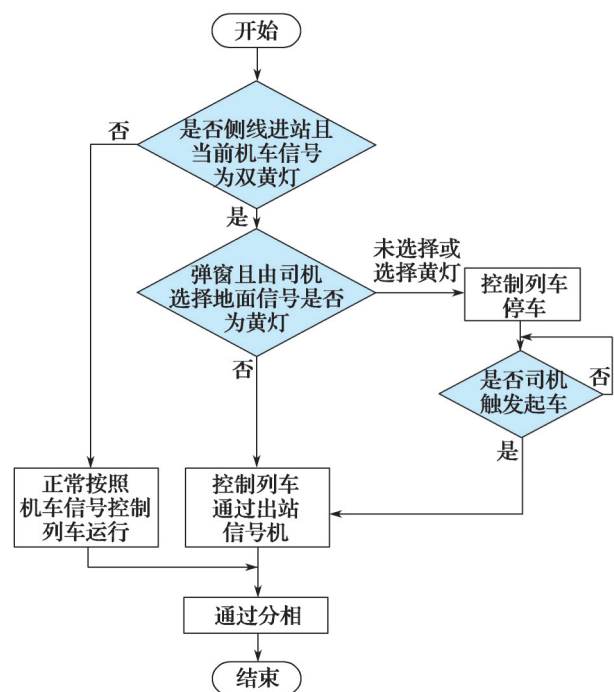


图5 侧线出站遇分相运行流程图

Fig. 5 Operation flowchart for phase separation after station departure on siding

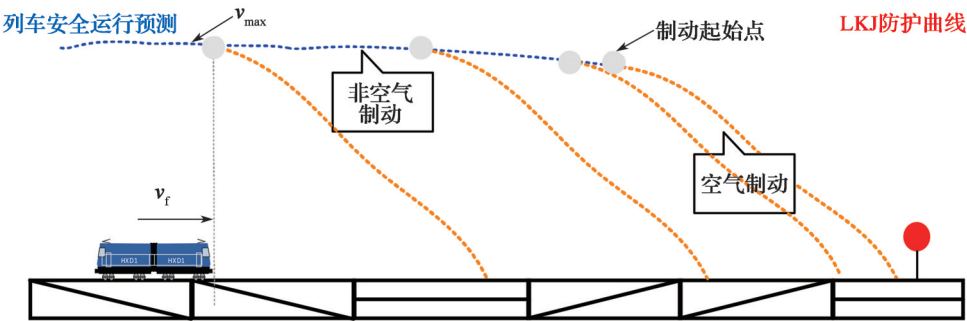


图 6 空气制动安全降速点计算
Fig. 6 Calculation of safe deceleration point for air braking

2.3 不同列车编组自适应方法

为满足不同编组和载重、不同车辆类型、不同货物类型列车运行对自动驾驶系统的要求, 设计了面向多编组、多车辆类型的自动驾驶运行自适应方法, 其控制原理如图 7 所示。

①在自动驾驶系统人机交互界面上设计了车辆类型、货物类型等参数设置窗口, 机车发车前将提示司机输入以上信息。之后系统根据车辆类型参数计算列

车基本阻力控车模型, 根据货物类型计算列车牵引/电制动力的加载斜率及空气制动力。

②根据坡道数据、弯道数据等线路数据信息, 以及列车编组、载重、车辆类型、货物类型、机车状态等控制对象信息, 建立机车自动驾驶系统阻力模型、空气制动系统模型等控制模型, 具体为

$$\dot{s}=v$$
$$m\rho\dot{v}=f_{\text{basic}}(v)+f_{\text{slope}}(s)+f_{\text{curve}}(s)+f_t(u_1)+f_b(u_2)+f_{\text{air}}(u_3)$$

(4)

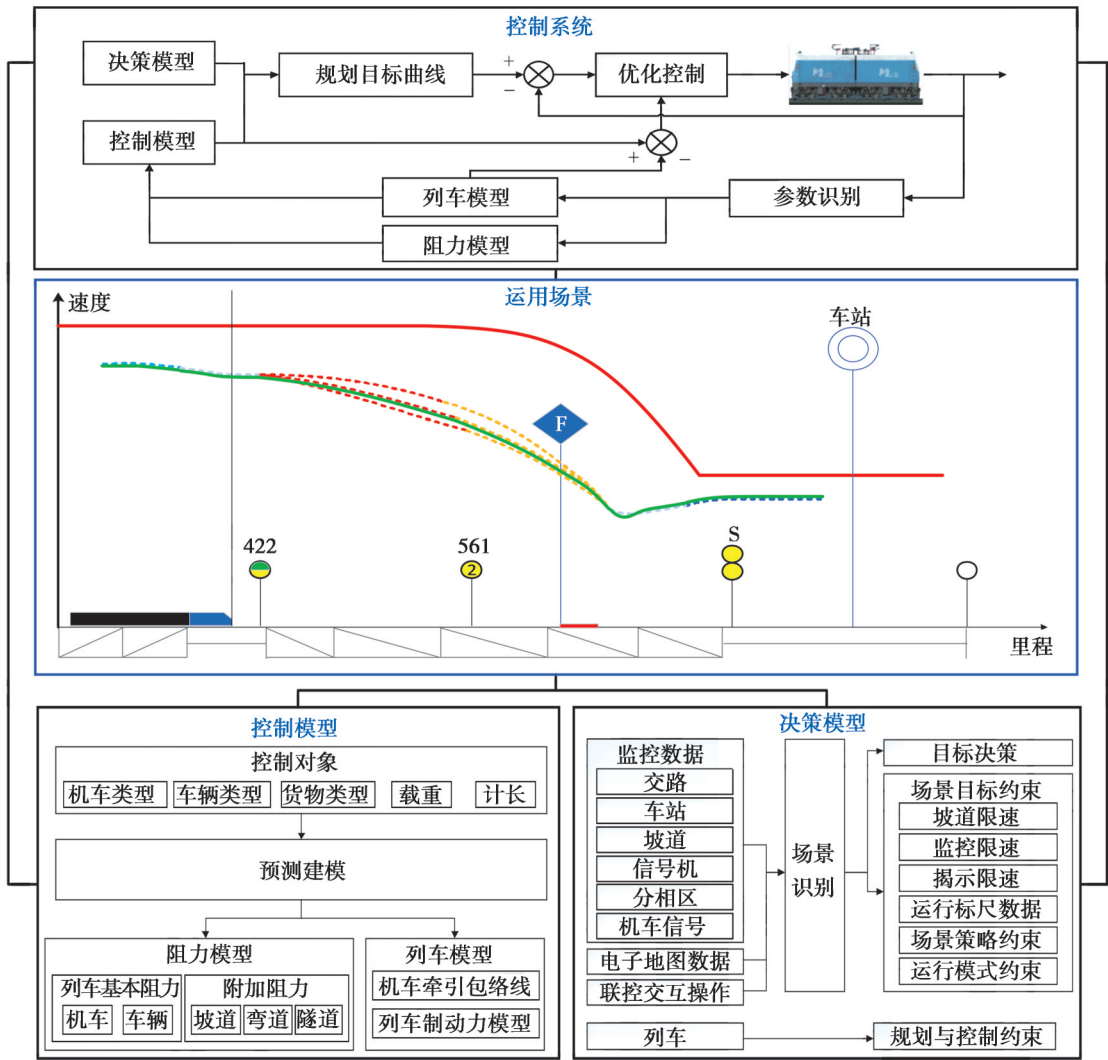


图 7 面向多编组多类型车辆的自动驾驶运行规划与跟踪控制框图(临时限速)

Fig. 7 Block diagram of planning and tracking control for ATO involving multiple formations and vehicle types

式中: m 为列车质量; s 为列车所处轨道位置; v 为列车速度; ρ 为考虑转动惯量的参数; $f_{\text{basic}}(v)$ 为列车基本阻力; $f_{\text{slope}}(s)$ 为由轨道海拔落差产生的坡道阻力; $f_{\text{curve}}(s)$ 为由轨道线路弯道产生的向心力; $f_t(u_1)$ 为列车牵引力; u_1 为机车电牵引控制级位; $f_b(u_2)$ 为列车电制动力; u_2 为机车电制动控制级位; $f_{\text{air}}(u_3)$ 为列车空气制动力; u_3 为制动系统大闸目标减压量。

$f_{\text{basic}}(v)$ 可表示为

$$f_{\text{basic}}(v) = a + bv + cv^2 \quad (5)$$

式中: a 为仅与机车车辆特性相关的系数; b 为与速度相关的系数; c 为列车空气阻力系数。

$f_{\text{slope}}(s)$ 采用车辆加权平均的方式计算, 可表示为

$$f_{\text{slope}}(s) = \sum_{i=1}^n f_{i,\text{slope}}(s_i) \quad (6)$$

式中: $f_{i,\text{slope}}(s_i)$ 为单节机车或车辆的坡道阻力, 可以用式(7)表示; s_i 为机车/车辆所在的位置; i 为机车/车辆的序号。

$$f_{i,\text{slope}}(s_i) = \sum_{i=1}^n (m_i \times g \times F_{\text{slope}}(s_i)) \quad (7)$$

式中: F_{slope} 为线路坡度函数。

$f_{\text{curve}}(s)$ 可表示为

$$f_{\text{curve}}(s) = -m \times 600/R \quad (8)$$

式中: R 为轨道弯道曲线半径; $f_{\text{curve}}(s)$ 为由轨道线路弯道产生的向心力。

③自动驾驶系统通过机车信号、限速信息、线路数据、电子地图数据及人机交互数据等信息识别运行场景, 生成起车、停车、过分相、循环空气制动、临时限速、起伏坡道等场景的运行控制约束, 建立机车自动驾驶约束目标函数如式(9)所示, 进而实现列车未来一段时间内的运行曲线规划。

$$\min J = \min \left(\sum_{k=1}^N \left(f_k \Delta s + \Delta v^2 + (f_{k+1} - f_k)^2 \right) + H \right) \quad (9)$$

$$H = \sum_{k=1}^N \left((U_k^2 - 1)(U_k - U_{k-1}) \operatorname{sgn}(F_{\text{slope}}(s_k)) \right)$$

式中: Δs 为优化步长; N 为闭塞区间线路根据优化步长离散后的区段数; Δv 为步长速度差; f_k 为列车在 k 时刻的牵引力; U_k 为列车在 k 时刻的运行工况; s_k 为列车在 k 时刻的位置。

约束条件为

$$\left. \begin{aligned} 0 &\leq f_k \leq f_{\max}(v_k) \\ U_k - U_{k-1} - 1 &\leq 0 \\ \sum_{i=k-T}^k (U_i - U_{i-1})^2 - 1 &\leq 0 \\ v_k &\leq V_{\text{LKJ}}(s_k) \\ v_N &= v_E \\ s_N &= s_E \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

式中: v_k 为列车在 k 时刻的速度; V_{LKJ} 为列车 LKJ 限

速; v_N 为规划速度, 与列车运行时刻表期望速度 v_E 一致; s_N 为规划区间长度, 与列车实际站区间期望距离 s_E 一致。

④自动驾驶运行曲线规划完成后, 以运行曲线为追踪目标, 以列车运动模型为基础, 利用最小二乘法估计观测模型, 解决模型不确定性和非线性问题; 再进行模型前馈补偿, 克服模型失准和欠驱动等影响因素, 从而得到精确的控制列车运行的牵引/制动指令, 实现自适应鲁棒速度跟踪控制。

针对不同编组下列车自适应控制方法, 通过构建相同场景下不同编组列车编组参数来实现列车仿真测试 (如图8所示), 仿真结果表明:

①相同列车编组时, 仿真模型与列车实际运行数据切合度较高, 证明采用本文方法能够满足自适应调节需求。

②不同列车编组时, 虽然列车实际运行速度不同, 但仿真和实际运行数据均可自动进行适应性控制, 满足实际运输要求。

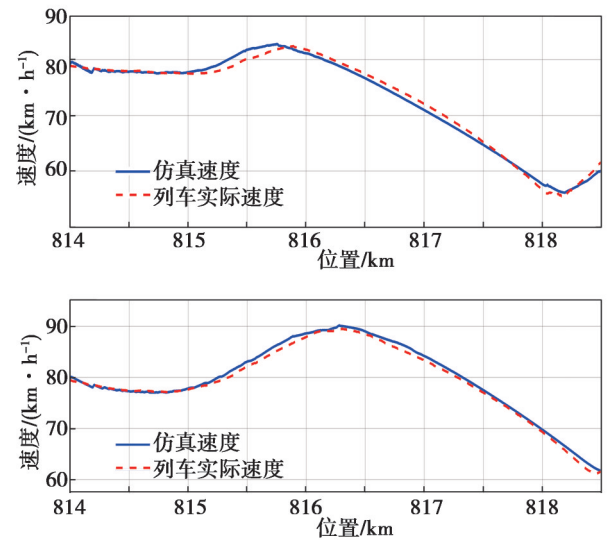


图8 自适应控制仿真测试图 (不同编组下的仿真与实际速度对比)

Fig. 8 Simulation testing of adaptive control (simulation results vs. actual speeds for different formations)

3 线路试验验证

为验证机车自动驾驶系统跨路局、跨交路运行技术的成效, 西安局于2023年6月13日安排HXD1型1553号机车开展了1趟襄渝线(安康东—达州)机车自动驾驶试验 (如图9所示), 之前机车自动驾驶系统未曾在该线路运行过。上行试验车次为30122, 总重1 220 t, 19辆重车, 30辆空车; 下行试验车次为30103, 总重4 243 t, 53辆重车, 货物为固体 (钢材)。机车自动驾驶系统控制列车在变坡点、起伏坡道、长大上坡道、长大下坡道、限制弯道线路段运行平稳,

试验过程验证了系统转线运行、贯通试验、机外停车遇分相、机外停车变通过、区间起车、侧线对标停车、正线对标停车、正线通过、过分相、临时限速、

正线停车变通过、侧线通过、侧线出站白灯运行等场景的运行控制功能, 列车全程采用自动驾驶控车运行。

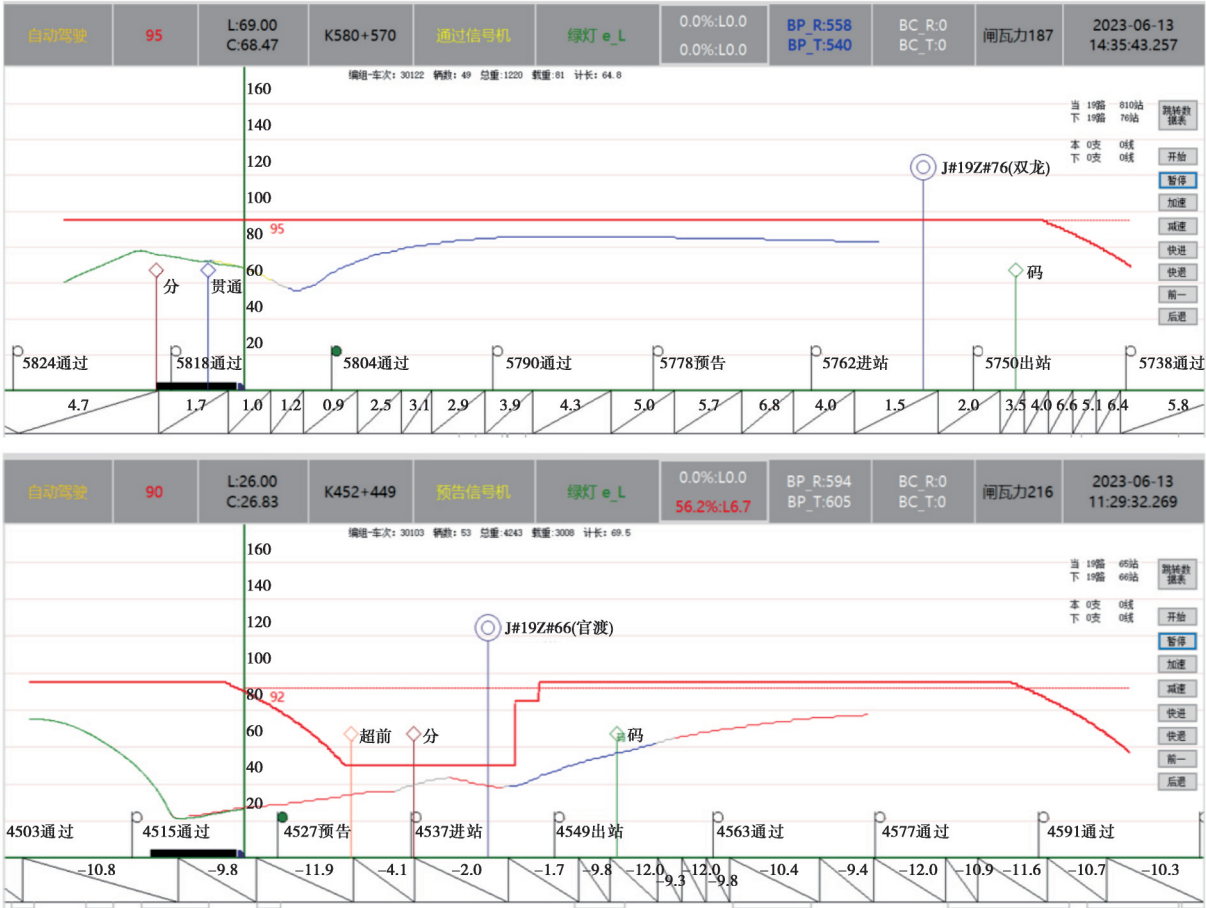


图9 襄渝线机车自动驾驶运行情况

Fig. 9 Automatic train operation of locomotives on Xiangyang-Chongqing railway

由试验结果可知, 机车自动驾驶系统跨路局、跨交路运行效果达到预期, 采用本文的技术方案能保障自动驾驶货运列车在跨路局、跨交路场景下的安全和平稳运行。

4 结语

货物列车跨路局、跨交路运行是机车自动驾驶系统应当具备的能力。本文深入分析了跨路局、跨交路场景下机车自动驾驶系统操纵面临的挑战, 研究开发了电子地图和运行时刻表软件、支线跳转/转场运行/侧线出站遇分相场景的控制策略、面向多编组多类型车辆的运行规划与控制方法。

通过襄渝线的试验表明, 本文实现的技术能保障货运列车的跨路局、跨交路安全运行, 同时试验也为后续机车自动驾驶系统的升级及推广应用提供了指导, 具体如下:

①列车运行监控系统 LKJ 不能为机车自动驾驶系统提供控车所需的全部线路信息, 为保障列车运行安

全, 必须在机车自动驾驶系统内部补充贯通试验点、分相区长度、股道长度、禁停区长度、侧线出站收码点位置等电子地图数据。

②针对跨交路、侧线出站等场景, 可通过人机交互单元提前输入支线、实际机车信息等控车相关关键信息, 保障列车安全运行的同时提高运行效率。

在后续的实际工作中, 可扩大应用机车自动驾驶系统的线路范围, 以进一步验证系统的适应能力。

参考文献:

[1] 肖家博, 尚敬. 货运机车自动驾驶系统研究与设计[J]. 控制与信息技术, 2018(6): 38-43.
XIAO Jiabo, SHANG Jing. Research and design of freight locomotives automatic train operation system[J]. Control and information technology, 2018(6): 38-43.
[2] 尚敬, 刘勇, 江帆. 机车自动驾驶技术研究与应用[J]. 机电传动, 2023(1): 1-12.
SHANG Jing, LIU Yong, JIANG Fan. Research and application of locomotive automatic operation technology[J]. Electric drive for locomotives, 2023(1): 1-12.

- [3] 胡云卿, 江帆, 张征方. 机车自动驾驶关键技术 with 问题研究[J]. 控制与信息技术, 2024(4): 1-10.
HU Yunqing, JIANG Fan, ZHANG Zhengfang. Research on key technologies and issues of locomotive automatic operation[J]. Control and information technology, 2024(4): 1-10.
- [4] 沈子扬, 白金磊, 钟谱华, 等. 面向关键场景的货运机车自动驾驶控制策略研究[J]. 控制与信息技术, 2024(3): 36-44.
SHEN Ziyang, BAI Jinlei, ZHONG Puhua, et al. Research on automatic driving control strategy for freight locomotives in key scenarios[J]. Control and information technology, 2024(3): 36-44.
- [5] 蔡永辉, 张朋刚, 宁侨, 等. 机车自动驾驶系统模式切换策略研究[J]. 机车电传动, 2020(1): 74-78.
CAI Yonghui, ZHANG Penggang, NING Qiao, et al. Research of pattern switching strategy for locomotive automatic train operation system[J]. Electric drive for locomotives, 2020(1): 74-78.
- [6] 茹锡勇, 刘振华, 肖家博, 等. 机车自动驾驶系统安全导向策略研究[J]. 机车电传动, 2020(1): 65-68.
RU Xiyong, LIU Zhenhua, XIAO Jiabo, et al. Research on security strategy of locomotive automatic train operation system[J]. Electric drive for locomotives, 2020(1): 65-68.
- [7] 中国铁路总公司. 铁路技术管理规程[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2014.
China Railway Corporation. Technical management rules of railway[M]. Beijing: China Railway Publishing House Co., Ltd., 2014.
- [8] 中国铁路总公司. 列车运行监控装置(LKJ)控制模式设定规范[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2015.
China Railway Corporation. Specification of settings for control mode of train monitoring device[M]. Beijing: China Railway Publishing House Co., Ltd., 2015.
- [9] 钟谱华, 张征方, 熊佳远. 一种重载列车自动驾驶操纵曲线规划方法[J]. 控制与信息技术, 2021(6): 35-42.
ZHONG Puhua, ZHANG Zhengfang, XIONG Jiayuan. A planning method of automatic driving control curve for heavy haul train[J]. Control and information technology, 2021(6): 35-42.
- [10] 李程, 张征方, 沈子扬. 基于预测控制的货运机车自动驾驶技术研究[J]. 控制与信息技术, 2020(6): 8-13.
LI Cheng, ZHANG Zhengfang, SHEN Ziyang. Research on freight locomotive automatic driving based on predictive control[J]. Control and information technology, 2020(6): 8-13.
- [11] 郑永杰. 分组式电空制动与空气制动列车纵向冲动比较研究[D]. 大连: 大连交通大学, 2019.
ZHENG Yongjie. Comparative study on longitudinal impulse of grouped train electric controlled pneumatic braking and air brake[D]. Dalian: Dalian Jiaotong University, 2019.

Research on locomotive automatic operation system crossing railway bureaus and route boundaries

LIU Yaofeng¹, ZHOU Wenwei², ZHANG Zhengfang³

(1. China Railway Xi'an Group Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi 710054, China; 2. Zhuzhou CRRC Times Electric Co., Ltd., Zhuzhou, Hunan 412001, China; 3. CRRC Zhuzhou Institute Co., Ltd., Zhuzhou, Hunan 412001, China)

Abstract: The automatic train operation (ATO) system for HXD1 locomotives has been incorporated in routine operational assessments on the Xi'an-Ankang line under the Xi'an railway bureau. This paper aims to address the challenges posed to the locomotive ATO system in future operational scenarios that involve crossing the railway bureaus and route boundaries. It presents an in-depth analysis of the difficulties faced by the ATO system in these scenarios including operation across multiple railway lines, track and yard transfers, and diverse train formations and vehicle types. The study focuses on the research and implementation of key technologies for operation crossing different bureaus and route boundaries, including electronic maps and operational scales, transfer-oriented operational planning and control, as well as operational planning and control for multiple formations and vehicle types. Field application results demonstrate that these technologies contribute to the safe operation of freight trains in operational scenarios involving different bureaus and route boundaries, by enhancing the adaptability of the locomotive ATO system.

Keywords: freight train; locomotive automatic operation; crossing railway bureaus; crossing route boundaries; safe operation