



基于多源信息融合的自动驾驶过分相技术研究与应用

李铁兵, 江帆, 朱婷, 杨宜萍, 李建漳, 朱保林
(株洲中车时代电气股份有限公司, 湖南 株洲 412001)

摘要: 针对重载列车安全、平稳、高效通过电分相区的运行需求, 文章提出一种基于自动驾驶系统的自动过分相技术方案。该方案优先采用北斗差分定位技术获取列车精准位置信息, 并结合线路条件、运行速度及工况等数据, 由自动驾驶系统规划并控制列车在最佳时机完成动力卸载和主断路器分断操作, 以实现平稳、安全的过分相过程; 同时, 系统配备人机交互功能, 通过文字与语音方式实时显示过分相状态, 有效解决了自动过分相过程中的人机交互障碍问题, 进一步提升了列车运行安全性。实际应用表明, 该自动驾驶过分相技术可显著降低司机的劳动强度, 提高了列车在分相区的运行效率和平稳性, 并能够适应复杂运行条件下的行车要求。

关键词: 重载列车; 自动驾驶过分相; 北斗差分定位; 人机交互; 重载铁路

中图分类号: U268.4

文献标志码: A

文章编号: 1000-128X(2025)04-0155-07

0 引言

我国电气化铁道牵引区段采用单相工频交流供电制式。为避免相邻牵引供电所间因相位不同而导致相间短路, 保护电力机车设备和接触网, 需在供电所之间设置无电区, 即电分相区^[1], 以实现牵引供电相的电气隔离与切换。

重载组合列车编组长、载重大, 在通过电分相区时存在以下难点: ① 速度损失大。列车在电分相区失去接触网的电力供应, 依靠初始动能惰行, 相较于非重载列车, 若重载组合列车在上坡道运行, 一旦断电时间长, 在上坡道动能损失大, 导致增大电分相区停车的风险。② 纵向冲动大。重载组合列车编组长, 其不同车辆通常运行在不同坡道线路上, 动力卸载过程中对牵引或制动力控制失准, 则会引发显著的纵向冲动, 若此冲动超出安全限界, 则可能损伤车辆部件, 甚至危及行车安全。

重载列车过分相的方式主要包括手动、车载自动与地面自动3种。其中, 手动过分相作为传统方式, 依

赖司机人工操作, 不仅劳动强度大, 而且存在误操作风险。地面自动过分相通过对传统的电分相区电路进行改造, 能显著缩短断电时间, 降低机车动力损失; 然而, 其线路改造周期长、投资成本高、地面设备维护困难, 制约了其大规模应用。车载自动过分相因无须人工干预、成本较低等优势, 已成为应用最为广泛的方式^[2], 但该方式在固定位置触发动力卸载, 其工况转换时机缺乏适应性, 易引发较大纵向冲动, 影响列车运行平稳与安全; 此外, 在起车、抢速等特殊工况下, 过早的动力卸载难以满足实际行车需求。因此, 现有方式在应对复杂运营场景时仍存在显著局限性。

对于未在电分相区前方预设地面应答器的线路, 车载自动过分相装置因缺乏精确的定位基准, 难以获取可靠的列车位置信息, 可能引发带电过分相等安全事故, 影响铁路运输的整体效率与安全。

列车自动驾驶技术作为提升驾驶操作一致性和安全性、提高运输效率的有效手段, 已在多条重载铁路线中完成试验并投入应用。该系统通过实时感知车载关键设备状态, 动态优化动力卸载过程和主断路器断

通信作者: 李铁兵, 男, 硕士, 高级工程师, 研究方向为机车自动驾驶技术; E-mail: litiebing@126.com

引用格式: 李铁兵, 江帆, 朱婷, 等. 基于多源信息融合的自动驾驶过分相技术研究与应用[J]. 机车电传动, 2025(4): 155-161.DOI:10.13890/j.issn.1000-128X.2025.04.019.

Citation: LI Tiebing, JIANG Fan, ZHU Ting, et al. Research and application of automatic train operation across neutral sections based on multi-source information fusion positioning method[J]. Electric drive for locomotives, 2025(4): 155-161.DOI:10.13890/j.issn.1000-128X.2025.04.019.

开时间,提高列车通过电分相区的平稳性和运行效率。针对不同线路条件下重载列车自动过分相问题,列车自动驾驶系统提供了有效的解决路径。本文将通过理论分析、技术整合与方案设计,研究列车自动驾驶、精准定位及平稳操纵等关键技术,提出一种基于自动驾驶系统的自动过分相技术方案。

1 过分相关键技术

1.1 过分相定位技术

精准可靠的列车定位是实现自动过分相控制的关键。目前,常用的列车定位技术包括轮轴测速测距定位、地面传感定位和北斗定位系统定位。

轮轴测速测距定位是指通过车轮上的轮轴速度传感器,实时测量列车车轮旋转角速度,结合车轮周长计算线速度,再对速度进行积分运算得到行驶距离,最后根据地面应答器进行位置基准校正^[3]。该方法具有原理简单、成本低及适用性广的优点。然而,在实际运行中,车轮磨损、空转或滑行等现象会导致列车定位产生误差,且该误差具有累进特性,从而使其整体定位精度受限。

地面传感定位是基于点式通信的列车位置感知技术。通过在电分相前后固定位置安装地面应答器形成静磁场,当机车通过时磁场变化产生感应电信号,车载设备根据收到的电信号确定列车的精确位置^[4]。该方法的优点在于定位原理直接,精度较高,通常误差不大于2 m。然而,地面应答器的安装和维护成本较高,当应答器出现丢失或功能失效时,无法实现列车定位功能。

北斗卫星差分定位原理如图1所示。该系统通过在铁路沿线设置卫星差分基准站,计算差分修正数(即卫星定位的误差)并将其发送至车载信号接收机,车载设备结合自身接收的卫星定位信息和差分信息,计算列车位置^[5]。北斗差分定位的优点是定位精度高,投入成本低,维护方便,且使用寿命长。然而,其性能受地理环境影响较大,当列车驶入隧道、桥梁或林区

等信号受遮蔽区域时,卫星信号易受到干扰甚至缺失,将导致不同程度的定位失效问题。

1.2 过分相动力卸载

在列车驶近电分相区并断开主断路器之前,重载货运机车需完成牵引力或电制动力的卸载过程。该动力卸载策略是决定列车通过电分相区时运行平稳性的关键因素。

现有的车载自动过分相系统普遍采用可变斜率动力卸载控制策略。机车在接收到分相预告信号后,根据机车的运行速度、牵引力/电制动力以及与主断路器强断点的距离,实时计算机车的卸载斜率,并依此对动力系统进行线性调整^[6]。该策略的卸载触发位置固定,当机车处于特定坡道工况(如上坡牵引或下坡电制动)时,容易造成列车纵向冲动,影响运行安全和平稳性。

根据平稳操纵规范,优秀司机在平原区段能基于线路条件、载重与运行速度等因素,优先选择合理的动力卸载地点。随后,按既定斜率将动力卸载至特定值并保持一段时间,分阶段完成动力卸载。通过保持小牵引拉钩状态,合理选择工况转换时机,完美实现列车运行控制的平稳性^[7]。此外,在电分相前起车、抢速运行等特殊场景下,优秀司机还能根据实时行车需求,动态调整动力卸载点和卸载斜率,在确保安全的前提下,有效提升列车通过电分相区的平均速度。

2 自动驾驶过分相方案设计

2.1 系统架构

基于自动驾驶系统的自动过分相功能(简称“自动驾驶过分相”),由列车自动驾驶系统(包括自动驾驶装置(automatic train operation, ATO)和智能显示单元(intelligent display unit, IDU))、LKJ-15型列车运行监控装置(简称LKJ-15)和中央控制单元(central control unit, CCU)协同工作实现,其系统架构如图2所示。上述三者通过信息交互与功能配合,共同构成了自动驾驶过分相的核心控制体系。自动驾驶系统与

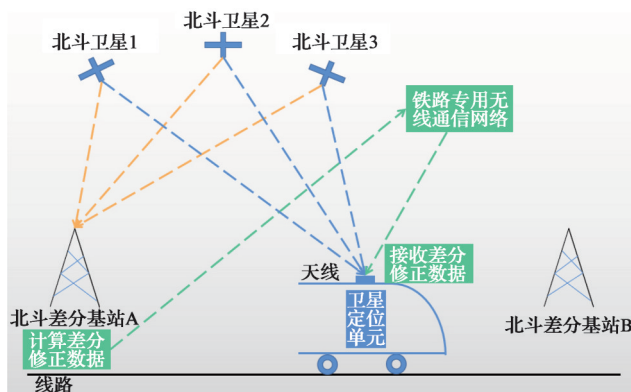


图1 北斗差分定位原理图

Fig. 1 Schematic diagram of BeiDou differential of positioning

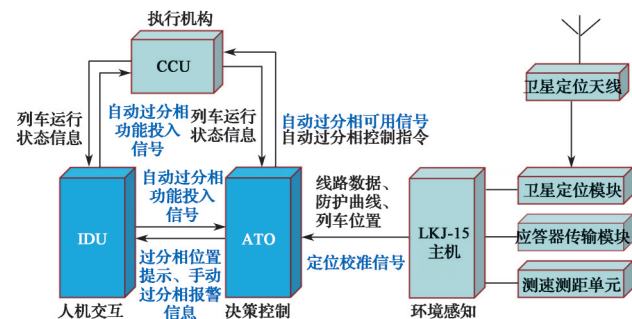


图2 自动驾驶过分相系统架构

Fig. 2 Composition of neutral-section passing based on automatic train operation system

LKJ-15 监控装置及 CCU 分别采用以太网和 MVB 冗余网络进行深度交互, 避免了额外的硬件加装与布线, 具有成本低、周期短及便于维护的优势。

LKJ-15 监控装置为自动驾驶过分相提供铁路信号、线路数据、运行限速及列车位置等关键信息。设备改造时, 在 LKJ-15 中新增专用的定位插件以接入北斗差分定位信息, 并由 LKJ-15 主机进行数据融合与位置校正, 提升列车定位的整体精度与可靠性。

自动驾驶装置 ATO 是实现自动驾驶过分相功能的核心决策与控制单元。通过对列车运行状态和场景的实时感知, 基于多目标动态优化算法, 选择列车合理的动力卸载位置和斜率, 并控制列车完成动力卸载及主断路器断开操作, 有效抑制列车纵向冲动并降低动能损失, 提升列车过分相的平稳性和运行效率。

中央控制单元 CCU 是自动驾驶过分相功能的执行单元, 它实时接收 ATO 与 IDU 发送的数据, 并驱动执行机构完成动力卸载及主断路器断开等操作, 同时将列车的实际运行状态反馈至自动驾驶系统。

智能显示单元 IDU 为自动驾驶过分相功能提供人机交互接口。司机可通过该界面选择是否投入自动驾驶过分相功能。在功能运行期间, IDU 实时显示列车运行关键数据和异常信息。当出现异常时, 可通过语音和文字的形式提示司机手动过分相, 确保过分相安全。

2.2 自动驾驶过分相原理

自动驾驶过分相功能包括定位校准、动力卸载、主断路器断开、安全防护等环节, 其系统原理如图 3 所示。LKJ-15 在接近电分相区 (JZ 区段) 进行定位校准, 自动驾驶系统据此获取列车精确位置信息。随后, 自动驾驶系统综合线路数据、距电分相区距离、运行工况与速度等多信息进行决策, 控制列车在 D 点 (动力卸载决策点) 前完成动力卸载。卸载点的选取遵循平稳操纵原则, 优先考虑在下坡道卸载牵引力, 上坡道卸载制动力。系统设有冗余安全防护机制: 若列车行驶到 B 点 (语音报警点) 时, ATO 仍未收到主断路器断开反馈, 则判定 CCU 执行失败, 并通过语音和文本报警, 提示司机完成主断路器断开操作; 当 CCU 判断机车已驶离电分相区后, 将控制闭合主断路器, 并向 ATO 反馈其合闸状态。其中, 关键位置点 D (动力卸载点) 和点 B (报警点) 的具体位置考虑了通信时延,

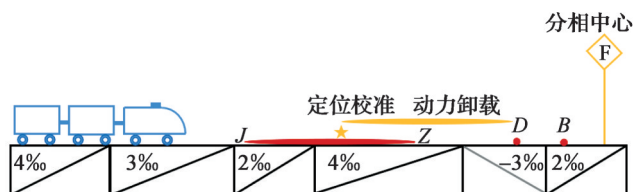


图3 自动驾驶过分相原理示意图

Fig. 3 Schematic diagram of neutral-section passing based on automatic train operation system

并依据线路限速要求进行动态调整。

2.3 自动驾驶过分相定位方式

在未布设地面应答器的线路区段, 难以获取可靠的列车位置信息以实现精准的自动过分相。针对此问题, 本文优先采用北斗差分定位技术。在铁路沿线布设可覆盖大部分电分相区的北斗差分基站, 则仅需在 LKJ-15 中增装一块定位插件, 即可为系统提供高精度的差分定位信息, 具有精度高、成本低、周期短的优势, 其定位方式如图 4 所示。

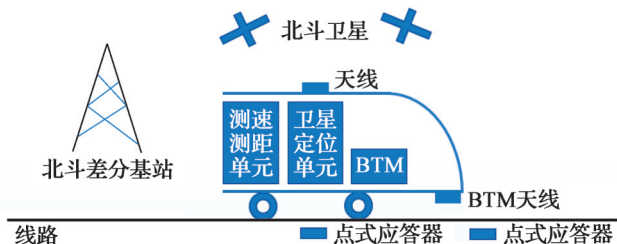


图4 列车定位原理示意图

Fig. 4 Schematic diagram of train positioning

列车在正线运行的过程中, LKJ-15 通过轮轴测速测距法获取列车位置信息 D_1 。当接近电分相区时, LKJ-15 内的卫星定位插件同步获取北斗差分定位信息 D_2 , 并将其发送给 LKJ-15 主机进行对比判断。当两种定位方式得到的列车位置偏差 ($|D_1 - D_2|$) 小于特定值时, 采用北斗差分定位信息对 D_1 进行校正; 否则, 将维持原 D_1 数据, 不予校正, 避免在列车严重空转或滑行等异常工况下因错误校准而引入更大的位置误差。

对于部分受地理环境或基础设施因素限制而无法可靠接收北斗信号的电分相区, 设置了地面感应器定位模式。通过在电分相前固定位置安装地面感应器, 获取列车位置信息 D_3 , 并与轮轴测距位置 D_1 进行对比。当两种定位方式得到的列车位置偏差 ($|D_1 - D_3|$) 小于特定值时, 以 D_3 对 D_1 进行校正; 否则, 维持 D_1 不变, 确保系统在多种工况下的定位可靠性。

2.4 控制流程

自动驾驶过电分相控制流程如图 5 所示, 分为以下 6 个操作步骤:

第一步: 功能状态判断。在自动驾驶模式下, ATO 可投入自动过分相功能, 司机通过 IDU 界面选择是否投入该功能。当自动驾驶过分相功能投入时, IDU 给 ATO 和 CCU 发送“自动过分相功能投入”信号, 随后, ATO 给 CCU 发送“ATO 过分相可用”信号, 建立协同控制; 若功能未投入, ATO 给 CCU 发送“ATO 过分相不可用”信号。

第二步: 动力卸载控制。当 LKJ-15 处于通常模式时, ATO 根据其提供的位置信息及前方电分相位置信息, 实时计算列车与电分相区的距离。在此基础上, ATO 综合线路数据、信号状态、限速要求等场景信息

和列车实时运行状态，自动生成列车最优目标速度曲线，并将列车运行工况、牵引/制动级位等控制指令传输给CCU。

在电分相前预设范围内，如果LKJ-15触发定位校准并向ATO发送信息，ATO则依据平稳操作要求，动态优化动力卸载点，分阶段控制CCU完成牵引或电制动力的平稳卸载。

第三步:断开主断路器操作。ATO在接收定位校准信息后，于电分相前合适位置向CCU发送“自动过分相控制”指令。CCU接收到IDU发送的“自动过分相功能投入”信号以及ATO发送的“ATO过分相可用”信号和“自动过分相控制”信号后，执行主断路器断开操作。

第四步:安全导向防护。当ATO未收到LKJ-15的校准信息，或于电分相前规定距离内未接收到CCU的“主断断开”信号时，ATO将向IDU发送“前方过分相需要手动完成”信号，IDU通过语音和文本提示司机执行手动过分相。

第五步:从车过分相控制。重载组合列车自动驾驶在过分相过程中采用同步控制策略。当ATO接收到定位校准信息后，根据主从车车头间距推算出从车位置。在主车通过电分相时，自动驾驶系统根据线路条件及列车速度，自动规划从车运行级位及牵引力/电制动力。定位校准完成后，系统基于轮轴测速测距方式实时确定从车位置信息，在电分相前合理选择动力卸载位置

并分阶段完成动力卸载，CCU控制完成主断路器断开操作。

第六步:过分相后控制。当CCU判断机车通过电分相区后，控制主断路器闭合并向ATO反馈主断路器状态，ATO随即解除惰行，输出牵引力/制动力控制指令，控制列车跟随目标速度曲线运行。

2.5 人机交互设计

自动驾驶人机交互技术实现司机和系统之间的信息传递^[8]，在自动过分相过程中，将重要信息直观地显示在人机交互单元上，便于司机掌握列车运行状态，进一步提升自动驾驶过分相的安全性。自动驾驶过分相功能涉及到的人机交互信息如图6所示。

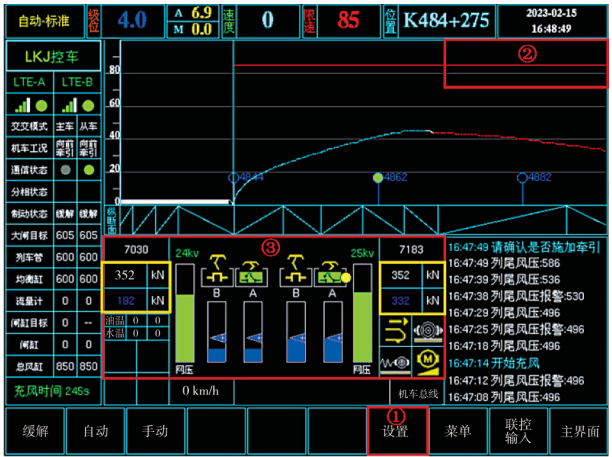


图6 自动驾驶过分相信息显示

Fig. 6 Information display for neutral-section passing based on automatic train operation system

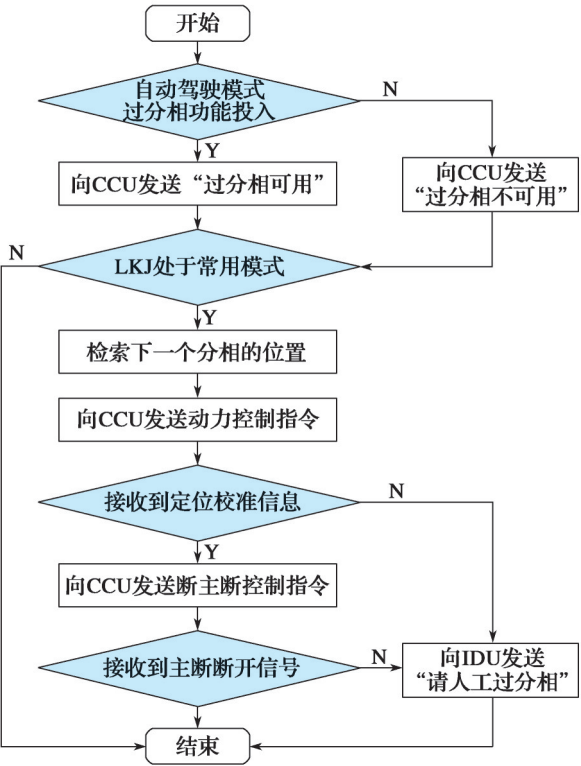


图5 自动驾驶过分相ATO控制逻辑

Fig. 5 Flow chart of ATO control logic for neutral-section passing based on automatic train operation system

自动过分相功能分为“投入状态”和“切除状态”，在人机交互单元的设置子界面下，设有“自动过分相投入/切除”切换按键，点击按键后出现弹窗，司机可以选择投入或者切除自动过分相功能。此外，系统具备掉电保护功能，即每次重启自动驾驶装置时，能自动恢复至上一次断电前所设置的功能状态。

在主界面右上角（对应图6中②号矩形区）以文本形式动态显示自动过分相功能状态。当投入自动过分相功能时，显示蓝色“ATO过分相投入”字样，功能切除时，则显示红色“ATO过分相切除”字样。当ATO未收到LKJ-15发送的定位校准信息时，该区域将显示蓝色“请人工过分相”文本，同时触发语音提示司机手动过分相，确保列车安全通过分相区。

在图6的③号矩形区内，实时显示机车状态信息，以便司机监控动力卸载和主断开闭情况。其中，黄色矩形框内上格数据分别表示主、从车的牵引力/电制动力的目标值，下格数据则对应其实际值；实际值中，牵引力显示为蓝色，电制动力显示为红色。图标表示受电弓升起，需要关注对应机车的主断路器状态，图标表示主断闭合，其余图标均表示主断路器断开。

3 试验情况与效果

为验证自动驾驶系统的过分相性能, 2023年5月组织了某型铁路列车的专项线路试验。两次试验累计安全运行里程逾700 km, 取得了良好效果, 有效验证了该系统在自动过分相场景下的安全性与可靠性。

3.1 自动驾驶过分相成功率

根据现场试验结果, 试验线路上行方向共设置8处电分相, 其中7处位于北斗差分基站有效覆盖范围内, 自动驾驶系统在此7处均成功实现了自动过分相控制; 下行方向同样设置8处电分相, 其中5处有差分基站覆盖, 系统全部完成自动过分相。其余4处电分相因处于差分信号覆盖盲区, 系统提示转为人工操作。

通过对人工介入的4处电分相区运行数据进行分析可知, 由于该区段未部署差分定位基站, 列车无法接收有效的卫星差分信号, 且分相位置前方缺少地面应答器作为辅助定位依据, 列车定位无法实现精准校准。在此条件下, ATO未收到LKJ-15的定位校准信息, 为确保过分相过程的绝对安全, 系统自动退出自动过分相功能, 并提示司机进行人工接管。为实现全线自动过分相功能的工程化应用, 建议在上述4处电分相区域增设卫星差分定位基站。若分相区段位于隧道等卫星信号屏蔽区域, 则可在分相点前的固定位置增设地面应答器, 从而构建连续可靠的定位校准机制, 保障自动驾驶系统在全线范围内的稳定运行。

3.2 电分相区运行速度

根据自动驾驶系统数据记录文件, 本文对自动驾驶和人工驾驶过分相的运行情况进行统计分析, 分别计算试验线路上行各个电分相的运行时间及速度。每一个电分相区的计算里程是指电分相前一架信号机至后一架信号机的距离。试验线路上行方向共有7处电分相区实现了自动过分相功能, 统计得到的运行时间和速度如表1所示。

表1 上行线电分相区运行数据对比

Table 1 Comparison of operational data for neutral section passing on up line

电分相位置	里程/ m	运行时间/s		运行速度/(km·h ⁻¹)	
		自动驾驶	人工驾驶	自动驾驶	人工驾驶
K425+095	2 484	120	132	74.52	67.75
K473+340	2 195	105	108	75.26	73.17
K492+925	1 541	74	77	74.97	72.05
K514+775	2 032	98	105	74.64	69.67
K541+110	1 543	75	77	74.06	72.14
K558+750	2 355	114	115	74.37	73.72
K580+840	1 200	99	134	43.64	32.24
累计值或平均值	13 350	685	748	70.16	64.25

对统计结果进行分析表明, 与人工驾驶模式相比, 自动驾驶系统在通过电分相区时的平均速度提高了5~6 km/h, 区段总运行时间缩短约63 s, 有效提升了重载货物列车的运输效率。在部分典型区段, 如K514+775和K580+840处, 自动驾驶的速度优势显著, 分别提高了4.97 km/h和11.4 km/h, 且运行过程中的速度稳定性更强。通过分析两处线路数据文件, 发现K514+775处电分相区位于4‰的大上坡路段, K580+840处电分相区位于4‰的大下坡路段且连接的侧线限速45 km/h。为直观对比运行效果, 绘制了K514+775处电分相区的速度-位置曲线, 如图7所示, 可以发现自动驾驶模式下的速度曲线波动更小、整体速度更高。

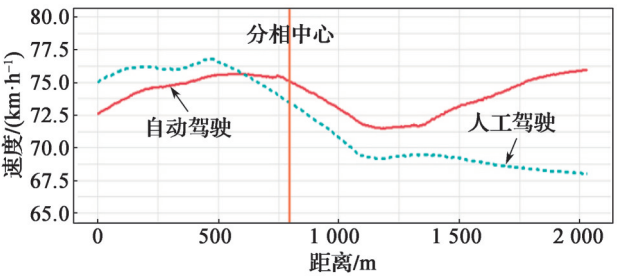


图7 K514+775处电分相区速度位置曲线
Fig. 7 Speed-position curve in the neutral-section at K514+775

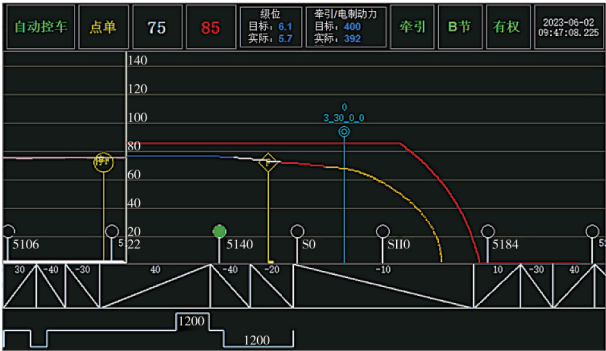
上述分析表明, 与人工驾驶相比, 自动驾驶过分相策略能有效缩短运行时间, 提升运输效率。在困难区段, 凭借更优的控制精度与适应性, 实现了更平稳高效的运行效果。

3.3 电分相区运行平稳性

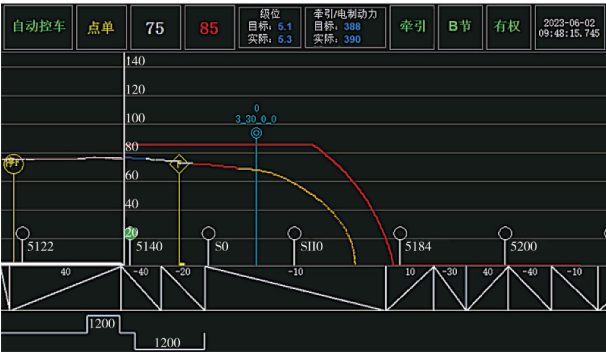
自动驾驶过分相技术采用阶段式卸载策略, 结合列车运行工况和线路数据, 通过算法动态搜索合适的动力卸载点, 并控制列车分阶段完成动力卸载, 提升运行平稳性。本文以K514+775处电分相区为例展示自动驾驶过分相动力卸载过程, 如图8所示。图8中, 列车前方彩色曲线为规划速度曲线, 其颜色表征不同运行工况: 蓝色线代表牵引, 白色线代表惰行, 红色线代表电制动, 橙色线代表空电联合制动; 列车下方栏为坡道数据, 正值为上坡, 负值为下坡; 上方菜单栏则实时显示牵引力/电制动力的目标值和实际值, 蓝色字体为牵引力, 红色字体为电制动力。

观察图8(a)可以发现, 列车在电分相前4‰的上坡道维持约400 kN的牵引力, 工况基本保持稳定。进入图8(b)中所示的4‰的下坡道后, 列车开始卸载牵引力, 初次卸载至200 kN并维持10 s以上, 第二次卸载至60 kN并继续维持10 s以上, 最终在电分相前完全卸除牵引力, 使列车惰行通过电分相区。自动驾驶过分相技术优先选取在下坡道卸载牵引力, 在上坡道卸载电制动力, 可以在一定程度上避免列车内部车辆工况不一致导致的较大车钩力和运行冲动, 从而有效提升

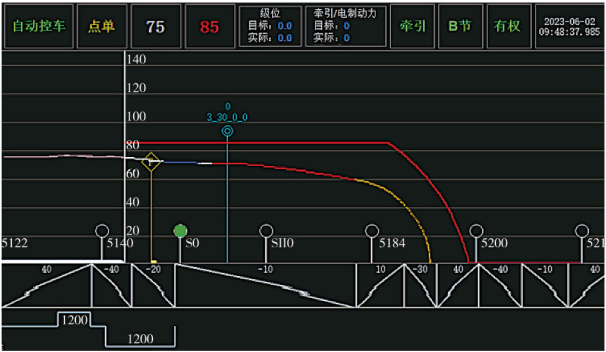
列车通过电分相区时的运行平稳性。



(a) 动力卸载前



(b) 动力卸载过程中



(c) 动力卸载后

图 8 电分相前列车动力卸载过程

Fig. 8 Process of traction power reduction of train approaching neutral section

为评估运行平稳性，分别计算试验线路上行方向自动驾驶和人工驾驶模式下通过各电分相区的平均纵向力，如图 9 所示，其中平均纵向力的正值表示拉钩力，负值表示压钩力。分析可知，自动驾驶模式下的平均纵向力均有效控制在 400 kN 以内，在有效提升过

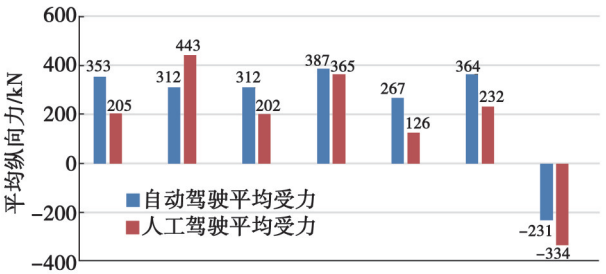


图 9 在电分相区平均纵向力对比

Fig. 9 Comparison of mean longitudinal force in neutral section

分相区运行效率的同时，可以保障在电分相区的运行平稳性。

4 结论

针对重载列车自动过分相对安全、效率及平稳性的核心需求，通过研究列车精准定位、平稳控制、智能驾驶和人机交互等关键技术，本文首先提出了一套基于自动驾驶系统的过分相技术方案。该方案可有效替代司机完成速度控制、动力卸载和主断分合等操作，将电分相区平均运行速度提高 5~6 km/h，在保障安全的同时显著提升运行效率；然后进一步提出一种多源融合定位的自动驾驶过分相控制方法，其优势在于能够在有限的基础设施和预算条件下快速提升列车定位性能，满足自动过分相的高精度定位需求，并结合自适应算法实现分相区内列车的精准控制。尤其在长大坡道叠加电分相等复杂线路条件下，面对抢速运行、分相前起车等典型场景，采用本方法相较于采用传统固定式过分相方式，能够在位置与力控多个维度实现动态智能调整，从而保障列车高效、平稳、安全地通过电分相区。

此外，本系统具备人机交互与安全导向功能，可实时展示列车运行状态并在异常情况下及时报警，进一步增强过分相过程的安全性。

参考文献：

[1] 胡家喜, 周方圆. 电气化铁路列车过分相技术现状及发展[J]. 机车电传动, 2019(3): 1-5.
HU Jiayi, ZHOU Fangyuan. Status and development of neutral section passing technology for electrified railway trains[J]. Electric drive for locomotives, 2019(3): 1-5.
[2] 郑勇, 李学明, 袁靖, 等. 神华号 HXD1 型电力机车的新型自动过分相控制[J]. 机车电传动, 2019(3): 12-16.
ZHENG Yong, LI Xueming, YUAN Jing, et al. New neutral section automatic passing control of Shenhua HXD1 electric locomotive[J]. Electric drive for locomotives, 2019(3): 12-16.
[3] 郭隆龙. 基于 5G 通信的列车运行安全综合监控系统研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2022.
GUO Longlong. Research on comprehensive monitoring system for train operation safety based on 5G communication[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2022.
[4] 杨辉, 徐可萱, 付雅婷. 基于改进遗传算法的重载列车多目标优化控制研究[C]//第 32 届中国过程控制会议 (CPCC2021) 论文集. 太原: 中国自动化学会过程控制专业委员会, 2021: 885.
YANG Hui, XU Kexuan, FU Yating. Research on multi-objective optimal control of heavy haul train based on improved genetic algorithm[C]//Proceedings of the 32nd China Process Control Conference (CPCC2021). Taiyuan:

- Process Control Professional Committee of the Chinese Society of Automation, 2021: 885
- [5] 蔡煊, 陶汉卿, 侯宇婷, 等. 北斗卫星导航系统在列车定位中的应用研究与发展[J]. 铁道科学与工程学报, 2022, 19(8): 2417-2427.
- CAI Xuan, TAO Hanqing, HOU Yuting, et al. Application research and development of Beidou navigation satellite system in train positioning[J]. Journal of railway science and engineering, 2022, 19(8): 2417-2427.
- [6] 王雨, 李鹏, 颜罡, 等. HXD1C 电力机车自动过分相控制[J]. 机车电传动, 2015(4): 42-44.
- WANG Yu, LI Peng, YAN Gang, et al. Automatic neutral-section passing control for HXD1C electric locomotive[J]. Electric drive for locomotives, 2015(4): 42-44.
- [7] 宁侨, 李铁兵, 霍晟, 等. 重载列车自动驾驶纵向动力学仿真技术研究[J]. 机车电传动, 2020(1): 58-64.
- NING Qiao, LI Tiebing, HUO Sheng, et al. Research on longitudinal dynamics simulation technology of automatic driving of heavy haul train[J]. Electric drive for locomotives, 2020(1): 58-64.
- [8] 周文伟, 朱龙, 赵云伟, 等. 机车自动驾驶系统人机交互设计与应用[J]. 机车电传动, 2020(1): 53-57.
- ZHOU Wenwei, ZHU Long, ZHAO Yunwei, et al. Human-machine interaction design and application of locomotive automatic train operation system[J]. Electric drive for locomotives, 2020(1): 53-57.

Research and application of automatic train operation across neutral sections based on multi-source information fusion positioning method

LI Tiebing, JIANG Fan, ZHU Ting, YANG Yiping, LI Jianzhang, ZHU Baolin

(Zhuzhou CRRC Times Electric Co., Ltd., Zhuzhou, Hunan 412101, China)

Abstract: This paper presents a neutral-section passing solution based on the automatic train operation system, designed to meet the operational requirements for heavy-duty trains to safely, smoothly, and efficiently traverse neutral sections. In this solution, the automatic train operation system plans and controls trains to reduce traction power and disconnect the main circuit breaker at optimal times, enabling smooth and safe passage through neutral sections. This automatic process primarily relies on accurate train positioning information obtained through BeiDou differential positioning, combined with data including track conditions, train running speeds, and operating conditions. Additionally, this solution incorporates man-machine interaction features, displaying real-time neutral-section passing status via text and voice. This functionality eliminates man-machine interaction obstacles during automatic neutral-section passing, further ensuring operational smoothness and safety. Practical applications of this solution demonstrate that it significantly reduces manual labor intensity for drivers, enhances operational efficiency and smoothness during neutral-section passing, and exhibits strong adaptability to complex operating conditions.

Keywords: heavy-duty train; neutral-section passing based on automatic train operation; BeiDou differential positioning; man-machine interaction