文章编号：1003-1421(2025)12-0183-10
引用格式：侯大山，陈佩耀，郑理华，等.基于车载控制的货物列车靠标停车优化方案研究[J].铁道运输与经济，2025，47(12)：183-192.
HOU Dashan，CHEN Peiyao，ZHENG Lihua，et al. Research on Optimization Scheme of Freight Train Parking at Stop Sign of Station Track Based on On-Board Control[J]. Railway Transport and Economy，2025，47(12)：183-192.

基于车载控制的货物列车靠标停车优化方案研究

侯大山[1]，陈佩耀[2]，郑理华[1]，单一龙[1]，何之煜[1]，李建雄[1]

(1.中国铁道科学研究院集团有限公司 通信信号研究所，北京 100081；2.中国铁路西安局集团有限公司 新丰镇车站，陕西 西安 710608)

摘 要：普速铁路货运采用CTCS-0级列控系统，受限于既有线当时的线路设计，CTCS-0对于货物列车站内靠标停车的处理较为复杂，而且存在较多的人工操作情形，成为影响铁路货运安全重要因素。分析货物列车到发线有效长和列车运行监控装置(LKJ)相关标准规范，梳理和研究货物列车靠标停车困难特殊车站和特殊前行控制2种方式的控制逻辑，提出利用北斗卫星定位和列车测速测距的多信息融合组合定位方法，既有LKJ系统同无线调车机车信号和监控系统(STP)配合实现侧线股道号自动输入，特殊前行控制模式下设计司机二次确认机制等货物列车靠标停车控制的改进和优化方案。通过对列车靠标停车优化方案的研究，可以减少货物列车站内靠标停车过程的人工介入，提高货物列车靠标停车时的安全性，为我国普速铁路货运的优化提供建议。

关键词：普速铁路；CTCS-0；货物列车；车载设备；列车运行监控装置(LKJ)；靠标停车
中图分类号：U284.4 **文献标识码：**A **DOI：**10.16668/j.cnki.issn.1003-1421.20250513003

Research on Optimization Scheme of Freight Train Parking at Stop Sign of Station Track Based on On-Board Control

HOU Dashan[1]，CHEN Peiyao[2]，ZHENG Lihua[1]，SHAN Yilong[1]，HE Zhiyu[1]，LI Jianxiong[1]

(1. Signal & Communication Research Institute, China Academy of Railway Sciences Corporation Limited, Beijing 100081, China; 2. Xinfengzhen Railway Station, China Railway Xi'an Group Co., Ltd., Xi'an 710608, Shaanxi, China)

Abstract: CTCS-0 train control system is adopted in Chinese conventional railway freight transportation. Due to historical existing railway line design constraints, the handling of freight train parking at the stop sign of the station track involves complex procedures and significant manual interventions, becoming an important factor affecting railway freight safety. This study analyzed relevant standards of the effective length of freight train receiving-departure track and train monitoring device (LKJ), identified, and studied the control logic of special stations with parking difficulties at the stop sign of station track mode and special forward movement control mode. Optimized solutions for freight train parking at the stop sign of the station track were proposed. By leveraging a multi-information fusion integrated positioning method with Beidou satellite positioning and train speed and distance measurement, automatic input of side-track numbers was achieved through integration of the existing LKJ system with shunting wireless signal and monitoring system

收稿日期：2025-05-13 **修订日期：**2025-10-21
基金项目：中国国家铁路集团有限公司科技研究开发计划课题(K2024G013)

(STP), and driver double confirmation protocols in a special forward movement control mode were designed. The research demonstrates that these improvements can reduce manual operations and enhance safety by studying an optimized scheme of freight train parking at the stop sign of station track processes, which provides actionable recommendations for optimizing conventional railway freight operations in China.

Keywords: Conventional Railway; CTCS-0; Freight Train; On-Board Device; Train Monitoring Device (LKJ); Parking at Stop Sign of Station Track

0　引言

我国货物列车普遍运行在开通时间较早的普速铁路，这些普速铁路采用CTCS-0级列控系统，由于受限于当时的线路设计、经济和环境影响条件[1-3]，CTCS-0级列控系统存在着需要大量依靠机车乘务员进行人工操作的情形[4-6]，列车运行监控装置(LKJ)是普速铁路普遍应用的车载设备之一，基于普速铁路复杂的线路和运营条件，LKJ在货物列车站内停车时定义了多种控制模式，当列车头部无限接近出站信号机或需要越过前方控制曲线闭口点时，就存在着作业环境复杂、人工操作过多等特点，如果人工操作不当则可能直接危及行车安全[7]，因此对货物列车站内停车的研究就显得十分紧迫和必要。

随着国民经济的快速发展，铁路货运量不断加大，提高列车质量，加长列车编组成为货物列车发展趋势[8-10]。近年来一些研究人员对货物列车靠标停车(即司机依据运行规程，通过一次精准制动，使货物列车停车后其指定车辆的车门中心线与站台指定停车位置标志线精准对准的标准化作业过程)控制的相关问题进行了探讨，但从普速铁路和车载设备角度出发进行研究的内容较少，而且相关规范对于靠标停车的叙述也比较简略。从LKJ的角度出发，通过梳理货物列车到发线有效长和车载设备的相关规范，分析和研究货物列车站内停车的控制逻辑，提出货物列车靠标停车控制的改进和优化方案，进而提升铁路货物运输安全、高效运营能力。

1　货物列车靠标停车规范分析

1.1　货物列车到发线有效长相关规范

《铁路车站及枢纽设计规范》(GB 50091—2006)第3.1.7章和《铁路车站及枢纽设计规范》(TB 10099—2017)第3.1.7章第2条规定，货物列车到发线有效长应根据牵引机车类型、货物输送能力和所牵引列车长度并结合地形条件共同决定[11-12]，到发线有效长应按1 050 m，850 m，750 m或650 m系列选用；2014版《铁路技术管理规程》(普速铁路部分)第十一章第247条规定，列车应按照列车运行图和列车编组计划来规定编组长度，列车长度应根据运行区段内车站到发线的有效长度确定，并预留30 m附加制动距离[13]。

1.2　车载设备相关规范

普速铁路列车将LKJ和机车信号设备相结合使用[14-15]，其中LKJ是列车安全防护的主体设备，通过车载基础数据和机车信号信息计算行车许可终点(EOA)，生成目标距离模式曲线，监控机车安全运行。根据货物列车的车型和运营条件不同，货物列车防止冒进停车的控制模式距离计算方法也不同[16-18]，我国货物列车采用LKJ设备，LKJ定义了特殊控制模式监控列车在站内靠标停车，根据《列车运行监控装置(LKJ)模式设定规范》(TJ/DW 173—2015)，当列车准备在站内停车时，LKJ不输出常用制动指令[19]，即在出站信号机分区内，车载设备收到HU码，机车信号转为停车信号，LKJ不输出常用制动指令，只输出紧急制动指令，由于站内停车的紧急制动曲线较常用制动曲线斜率增大，在站内低速行驶时限速更高，司机在站内更容易进行靠标停车操作。LKJ防止冒进停车目标的控制模式距离由空走距离、有效制动距离与安全距离之和构成，即

$$S = S_k + S_e + S_a \tag{1}$$

式中：S为LKJ控制模式距离，m；S_k为空走距离，m；S_e为有效制动距离，m；S_a为安全距离，m。

目标停车控制模式计算的安全距离按下式取值。

$$S_a = A + 0.5v_0 \tag{2}$$

式中：S_a为安全距离，m；A为安全距离基本值，m，紧急制动取20 m，常用制动取50 m；v_0为制动

初速度，km/h。

这样紧急制动曲线的控车闭口点就较常用制动曲线向前延伸了30 m，更接近出站信号机，司机可以更准确地靠标停车，LKJ防止冒进信号控制模式的制动曲线如图1所示。

2　货物列车靠标停车控制方式研究

2.1　靠标停车困难特殊车站控制

对于机车停车位置标距出站信号机较近的车站，LKJ车载基础数据可以预先将其设置为靠标停车困难特殊车站，在站内遇到停车信号，司机操纵货物列车靠标停车时，可以按规定取消站内停车控制并由司机负责确认列车与出站信号机的实际距离，进行靠标停车。靠标停车困难特殊车站控制方式如图2所示，当货物列车和出站信号机的距离D_{remain}<200 m且列车实时速度v_{NRT}<15 km/h时，此时LKJ将控制曲线由紧急制动干预曲线变为常用制动干预曲线，将控制曲线开口至当前出站信号机的次一架信号机，监控列车以固定模式限速值15 km/h(常用制动限速值16 km/h)运行。列车在车站内停车5 min内，控制曲线保持开口状态，5 min后LKJ恢复出站信号机的停车控制。

2.2　特殊前行控制

对于车载数据未设置靠标停车困难特殊车站的，当货物列车尾部未越过警冲标，列车头部需越过控制曲线关闭点靠标停车时，LKJ采用货物列车特殊前行控制模式，在列车运行过程中，需同时满足进入特殊前行控制的所有条件，特殊前行控制进入条件如表1所示。LKJ提供进入特殊前行的操作条件，司机负责选择进入特殊前行模式并输入需要特殊前行的距离D_{remain}(D_{remain}<100 m)，LKJ解除该出站信号机的停车控制并监控列车以15 km/h为固定模式限速值运行。

同样需要指出的是，列车只需满足退出特殊前行控制的某一项条件，就会退出特殊前行控制。特殊前行控制退出条件如表2所示。

2.2.1　货物列车的特殊前行控制

货物列车在出站信号机内特殊前行控制方式如图3所示，列车运行至3G股道A点停车时，在D_{ss}<70 m时进入特殊前行控制，司机操作并设定剩余距离D_{remain}<100 m，此时列车固定模式限速值为15 km/h(常用制动限速值16 km/h)，然后列车缓慢提速，允许特殊前行的剩余距离应随着距出站信号机的距离同步减少，缓慢提速至16 km/h(3G股道B点)，LKJ输出常用制动指令，继续提速至19 km/h(3G股道C点)，LKJ输出紧急制动指令，减速直至速度为0(3G股道D点)，特殊前行模式依然有效。紧急制动缓解后，缓慢起车，列车以15 km/h恒速运行，直至

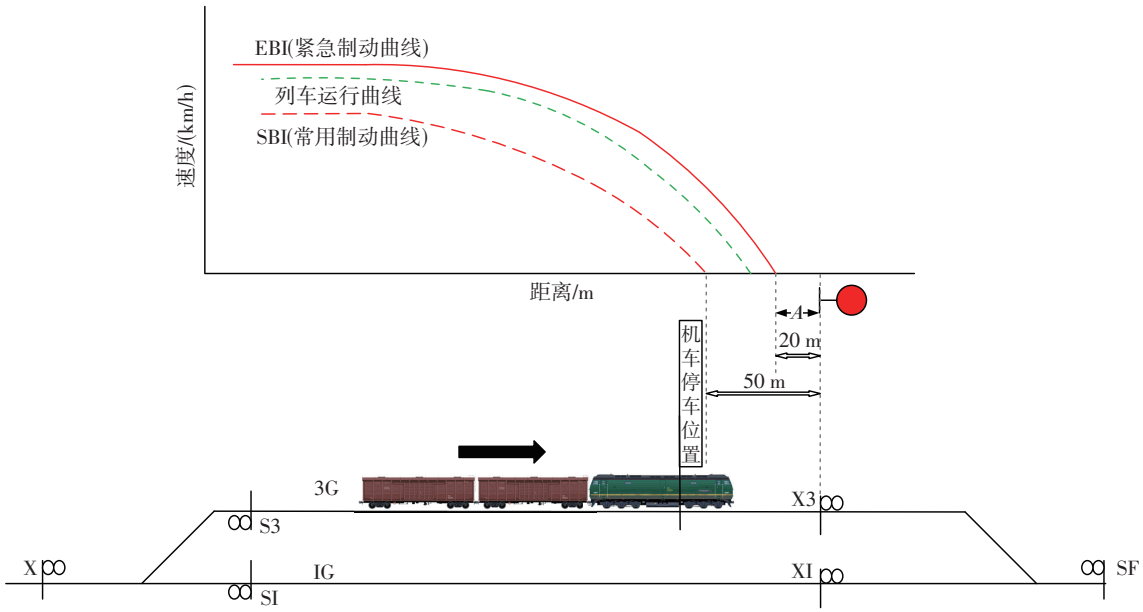

图1　LKJ防止冒进信号控制模式的制动曲线

Fig.1　Brake curve of LKJ preventing overrunning signal control mode

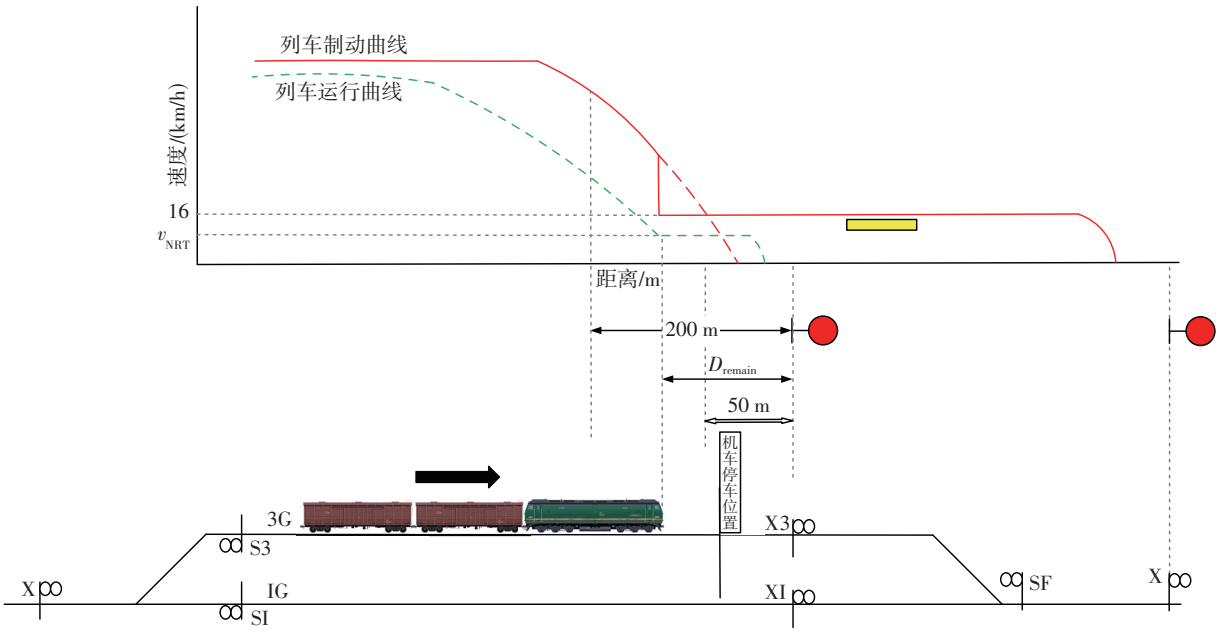

图2　靠标停车困难特殊车站控制方式

Fig.2　Control method of special stations with parking difficulties at stop sign of station track

表1　特殊前行控制进入条件

Tab.1　Entry condition of special forward movement control

序号	进入特殊前行条件
1	货物列车
2	列车运行速度为0
3	首次进入特殊前行模式时，列车前方为出站信号机
4	LKJ车载基础数据在列车当前运行车站未设置“靠标停车困难特殊车站”
5	列车距出站信号机的距离D_{ss}<70 m时停车
6	LKJ未处于“20 km/h限速工作状态”
7	LKJ接收的机车信号为停车信号(非红灯和低频“H码”)
8	LKJ存储有在本车站未执行的“停用基本闭塞法改用电话闭塞法”“绿色许可证”等特殊控制模式

表2　特殊前行控制退出条件

Tab.2　Exit condition of special forward movement control

序号	退出特殊前行条件
1	特殊前行过程中，机车信号变为行进信号
2	特殊前行过程中，机车停车后选择调车模式
3	特殊前行过程中，LKJ转入降级模式

剩余距离为0，LKJ输出紧急制动指令(3G股道E点)，同时DMI剩余距离显示窗口消失，LKJ自动退出特殊前行控制模式。在停车状态下(3G股道F点)，司机通过正确操作，可第二次启动特殊前行控制模式。

对于在站内已经进入特殊前行控制下的列车，在出站信号机前停车时间≥5 min时，则LKJ可以自动退出特殊前行控制模式。在满足进入特殊前行条件的前提下，LKJ允许重复进入特殊前行控制模式。

2.2.2　货物列车在通过出站信号机后的特殊前行控制

由于特殊前行控制模式的特殊性，在列车与出站信号机的距离D_{ss}<70 m的位置可以设置特殊前行的距离D_{remain}最大为100 m，因此特殊前行的控制曲线可开口至出站信号机外，列车可在出站信号机外实施特殊前行控制，货物列车过出站信号机后特殊前行控制方式如图4所示。列车运行至3G股道A点停车时，在D_{ss}<70 m时进入特殊前行控制模式，缓慢起车并越过出站信号机停车(3G股道B点)，LKJ显示越过出站信号机后的停车时间≥5 min时，LKJ不会退出特殊前行模式；列车起车按规定速度运行，直至特殊前行的剩余距离为0(3G股道C点)时，LKJ输出紧急制动指令，但此时LKJ不会退出特殊前行模式；在停车状态下，司机输入正确的调度命令号和特殊前行剩余距离，列车可以启动新一轮的特殊前行控制。

2.2.3　单红灯下的特殊前行控制

由于机车信号的不同制式，LKJ特殊前行的控制方式有所区别。

（1）在停车状态下列车处于特殊前行控制，机

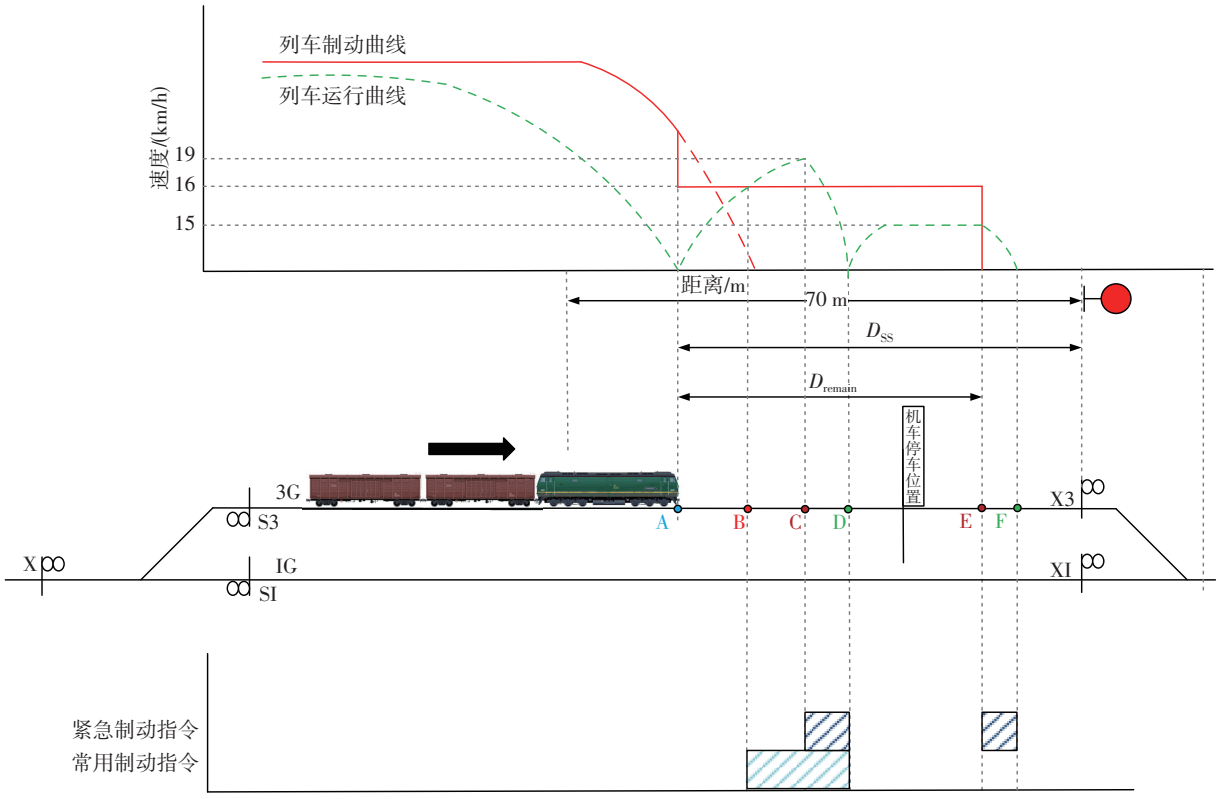

图3　货物列车在出站信号机内特殊前行控制方式

Fig.3　Control method of freight train's special forward movement control mode in rear of starting signal

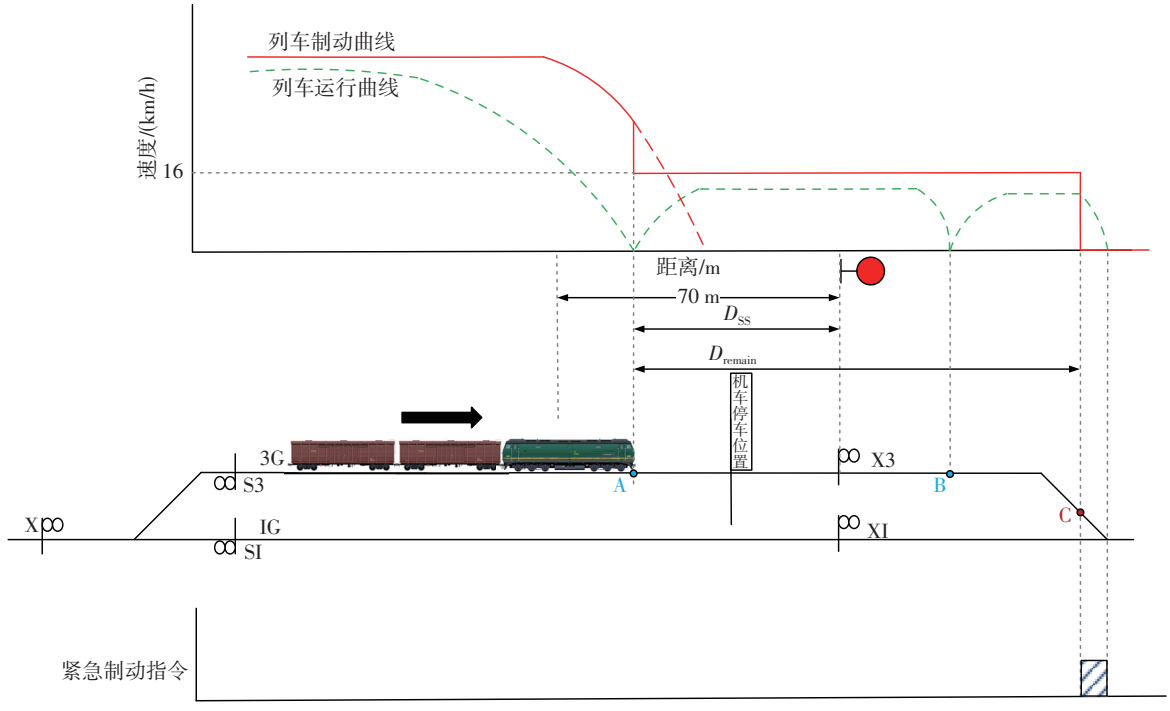

图4　货物列车过出站信号机后特殊前行控制方式

Fig.4　Control method of freight train's special forward movement control mode in advance of starting signal

车信号变为单红灯时，考虑到向后压钩起动的因素，列车缓慢起车且运行距离<10 m时停车，LKJ不退出特殊前行模式；运行距离≥10 m时，LKJ输出紧急制动指令，若此时LKJ显示处于站内，则自

动退出特殊前行模式，若LKJ显示处于站外，则不退出特殊前行模式。

（2）列车在特殊前行模式下，起车并在运行过程中，机车信号变为单红灯，LKJ应输出紧急制动指令，若此时LKJ显示处于站内，则自动退出特殊前行模式，若LKJ显示处于站外，则不退出特殊前行模式。

3　货物列车靠标停车优化方案研究

站内靠标停车困难特殊车站和特殊前行控制都是针对货物列车站内停车的有效控制方式，但由于通过LKJ得到的列车运行位置和实际列车位置的误差，以上控制模式都重点偏向于机车乘务员负责确认距离，防止列车冒进，而人工操作不可避免地存在误操作，任何一个误操作都极有可能引发安全风险，为了减少货物列车靠标停车的安全隐患，提出针对货物列车靠标停车的优化方案。

3.1　优化列车定位

造成货物列车靠标停车困难的原因之一是列车本身的测速测距误差，由于行车许可终点(EOA)的设置过于苛刻，因此LKJ靠标停车困难特殊车站、LKJ特殊前行模式的定义和设置均与测速测距误差有关。为了减小LKJ测速测距单元计算得到的列车速度、位置误差，针对车载LKJ系统架构，集成列车测速测距单元和北斗定位模块，提出一种列车组合定位方法，提高列车定位精度。

目前机车轮轴端安装的速度传感器大多为光电式速度传感器[20]，机械磨损会引发脉冲信号的缺失，因此系统采用非接触霍尔式速度传感器，避免物理因素产生的机械磨损，提高列车低速运行时的测速可靠性。

采用北斗卫星定位+车载测速测距模块的列车组合定位方式，自动追踪站内货物列车的位置，可以更好地反映列车运行状态，修正列车测速测距误差。既有线沿线部署北斗差分基站，卫星定位功能以北斗卫星导航系统(BDS)为核心，车载设备加装BDS模块，利用RTK卫星差分数据修正位置误差，获取货物列车的GIS精确坐标，并将坐标在GIS地图进行匹配，计算货物列车在站内股道的精确位置，同车载测速测距模块计算得到的列车走行距离实时融合计算修正列车当前速度、位置。

列车组合定位架构如图5所示，车载测速测距模块采集霍尔速度传感器和雷达速度传感器信息并通过算法得到列车速度、位置信息。测速测距模块采用滤波器对噪声进行滤波处理，进行空转轮滑检测，通过设计相应算法对空转轮滑进行补偿处理，有效提高测速测距精度。车载BDS定位模块通过天线实时接收定位信息并计算处理，得到列车经纬度信息报文。车载计算机接收车载BDS定位模块发送的定位信息、测速测距模块的速度和位置，并结合基础数据中的车站信息、股道信息、信号机数据等信息，通过列车组合定位算法得到最终的列车速度和位置，完成列车距离校正，实现货物列车更为精确的站内停车，列车组合定位原理示意图如图6所示。

3.2　进站股道号自动输入

机车乘务员在申请特殊前行模式前，需熟知本编组的列车长度和前方站场的股道长度，以此为依据来计算申请特殊前行距离，同时在进站前，乘务员需谨慎确认并人工输入股道号。按照“车地一体化”的设计思路，在既有LKJ系统架构的基础上，LKJ通过无线调车机车信号和监控系统(STP)获取地面进路预告信息，实现侧线股道号自动输入功能，可以减少乘务员在列车进站过程中人工操作，有效降低乘务员错输、漏输风险。

既有LKJ系统主要由车载设备构成，既有STP系统主要由地面设备和车载设备组成，车地间通过专用无线通信设备进行信息交互[21-23]，LKJ和STP车载设备具有物理连接通道，可以借助STP的车地通信通道获取前方站股道号信息。股道号自动输入方法系统架构如图7所示。

STP系统通过车载设备电台与地面设备的数传电台连接，地面设备从计算机联锁系统或TDCS/CTC系统获取车站的联锁信息及进路开通情况，从LKJ获取列车走行中的数据交路、监控交路、当前车站号、下一车站号、方向、信号机、下一信号机、机车信号、工务线路号、里程、速度、位移等信息，继而得到列车的精确位置，结合当前联锁进路的情况，获得前方接车/进站的车站号，以及对应车站号的联锁接车股道名称。

STP根据获取LKJ发送的列车运行前方车站信息，和LKJ基础数据或站场图数据的对比，识别出

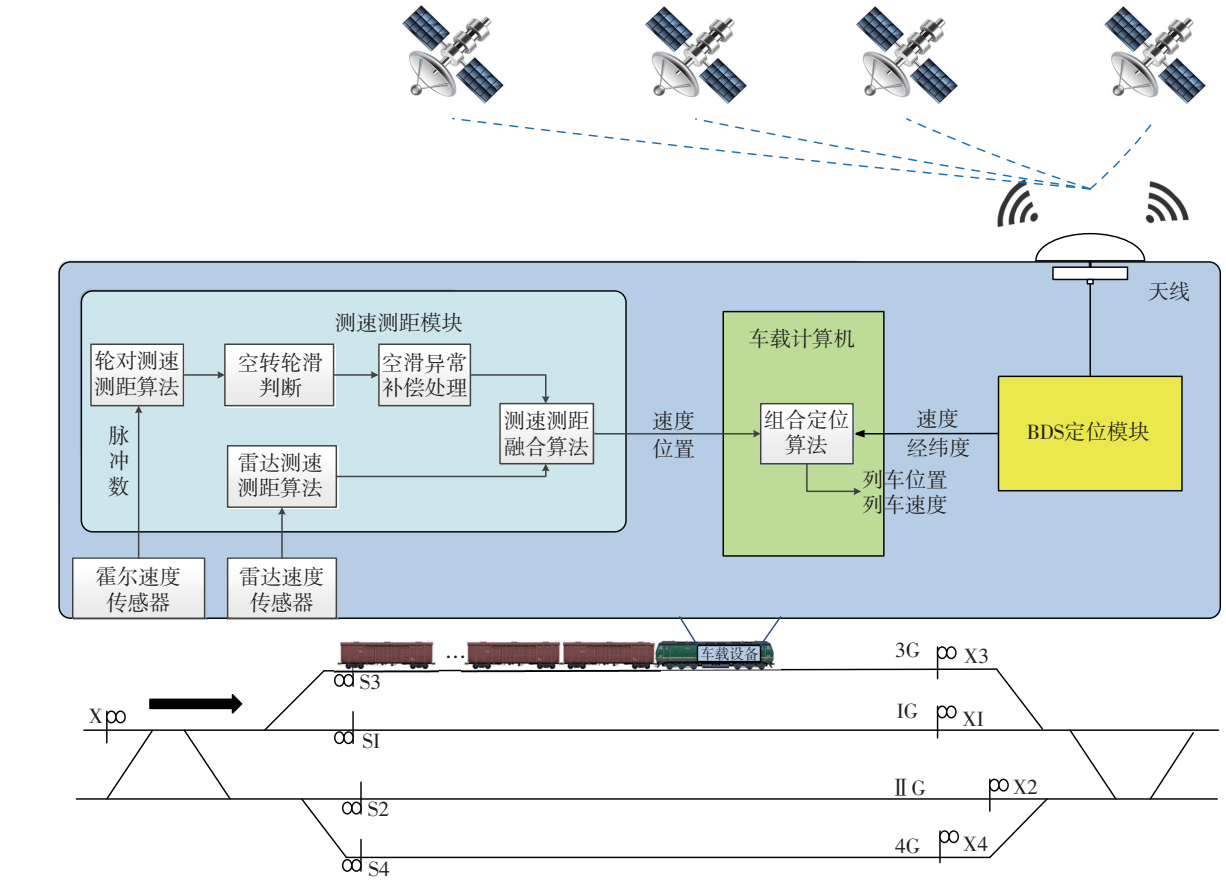

图5　列车组合定位架构

Fig.5　Structure of train integrated positioning

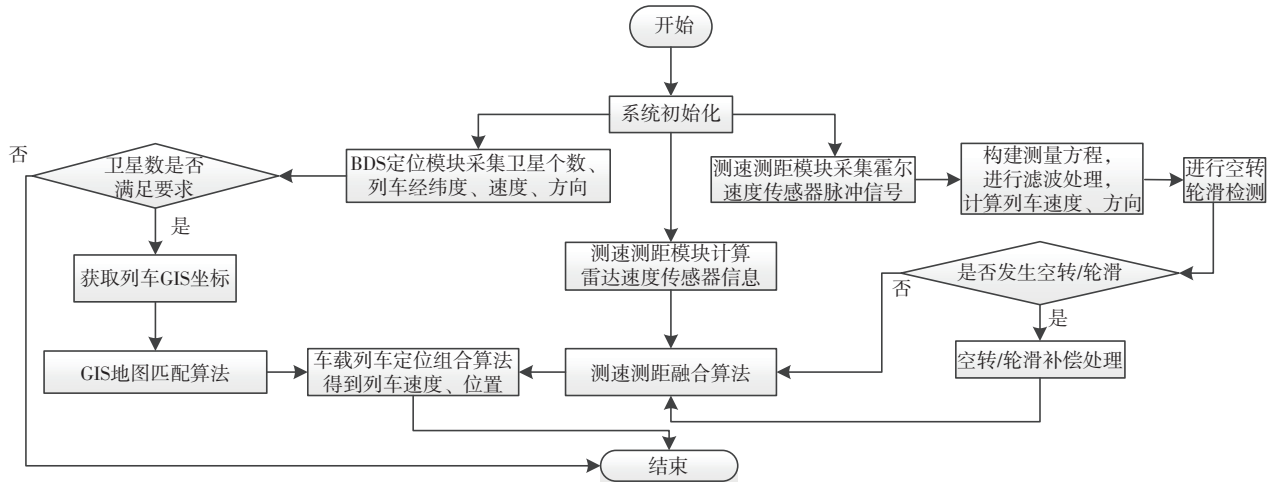

图6　列车组合定位原理示意图

Fig.6　Train integrated positioning principle

列车运行前方车站开通的侧线股道号。股道号解析成功后，STP 系统向 LKJ 发送列车运行前方车站开通的股道号信息。LKJ 收到数据后，对收到的车站号、侧线股道号和数据版本号进行校核，核对一致后，将侧线股道号信息进行处理，根据 STP 系统发送的股道号，列车运行至前方车站时按接收到的股道号进行提示、记录及控制。股道号自动输入方法流程图如图 8 所示。

3.3　特殊前行控制的司机二次确认

货物列车在启用靠标停车困难特殊车站控制或

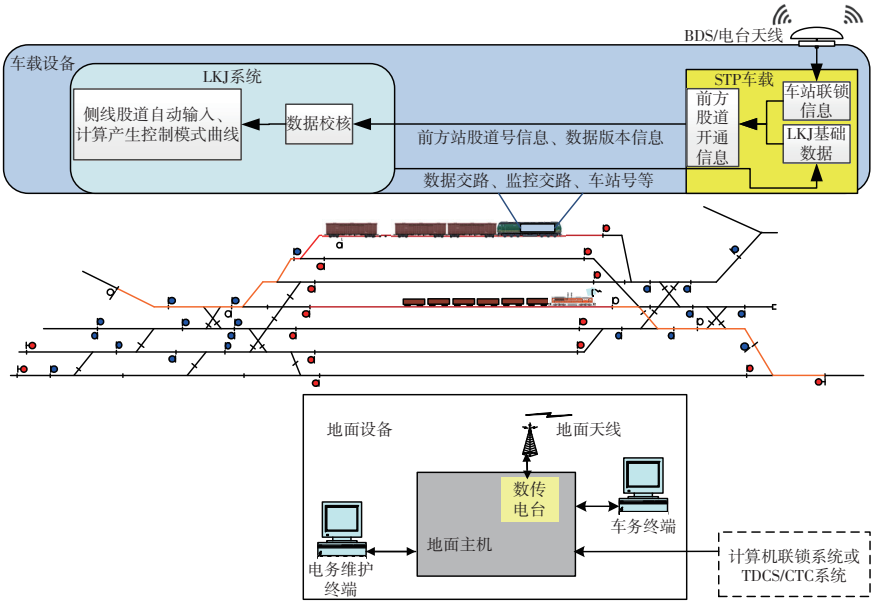

图7　股道号自动输入方法系统架构

Fig.7　System structure of automatic track number input method

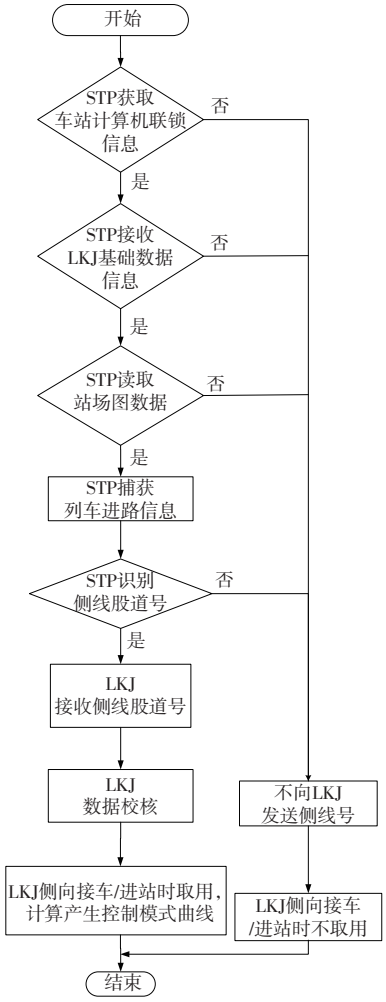

图8　股道号自动输入方法流程图

Fig.8　Flow chart of automatic track number input method

特殊前行控制时，可以越过前方出站信号机，这时LKJ需要由机车乘务员操作并申请越过模式曲线关闭点，由机车乘务员保证行车安全，当人工解除停车控制后，如果出现列车前方线路异常、有列车占用、列车位置计算误差、车载基础数据异常等情况，就会造成站内靠标停车控制功能的错误执行，发生列车冒进甚至脱轨的危险。

因此，在特殊前行控制时，机车乘务员人工解除对应出站信号机停车控制后，LKJ判断乘务员申请特殊前行长度是否超过列车前端距出站信号机的距离，如果超过则需要在列车运行至距出站信号机30 m内时，LKJ增加“列车即将越过出站信号机”语音提示，提醒机车乘务员即将越过出站信号机，设计“司机二次确认”功能，人机交互界面弹窗提示“是否确认越过出站信号机”并开始5 s倒计时，机车乘务员在出现“二次确认”弹窗5 s内按压“确认键”方可越过出站信号机，5 s内机车乘务员不做处理，则LKJ输出紧急制动指令，解除开口速度控制，特殊前行控制司机二次确认流程图如图9所示。这样在特殊前行控制模式下，如有货物列车需越过前方出站信号机的情况，司机二次确认功能可以增强车载设备对列车越过出站信号机时的防护，保障特殊前行这种开口速度控制的安全性。

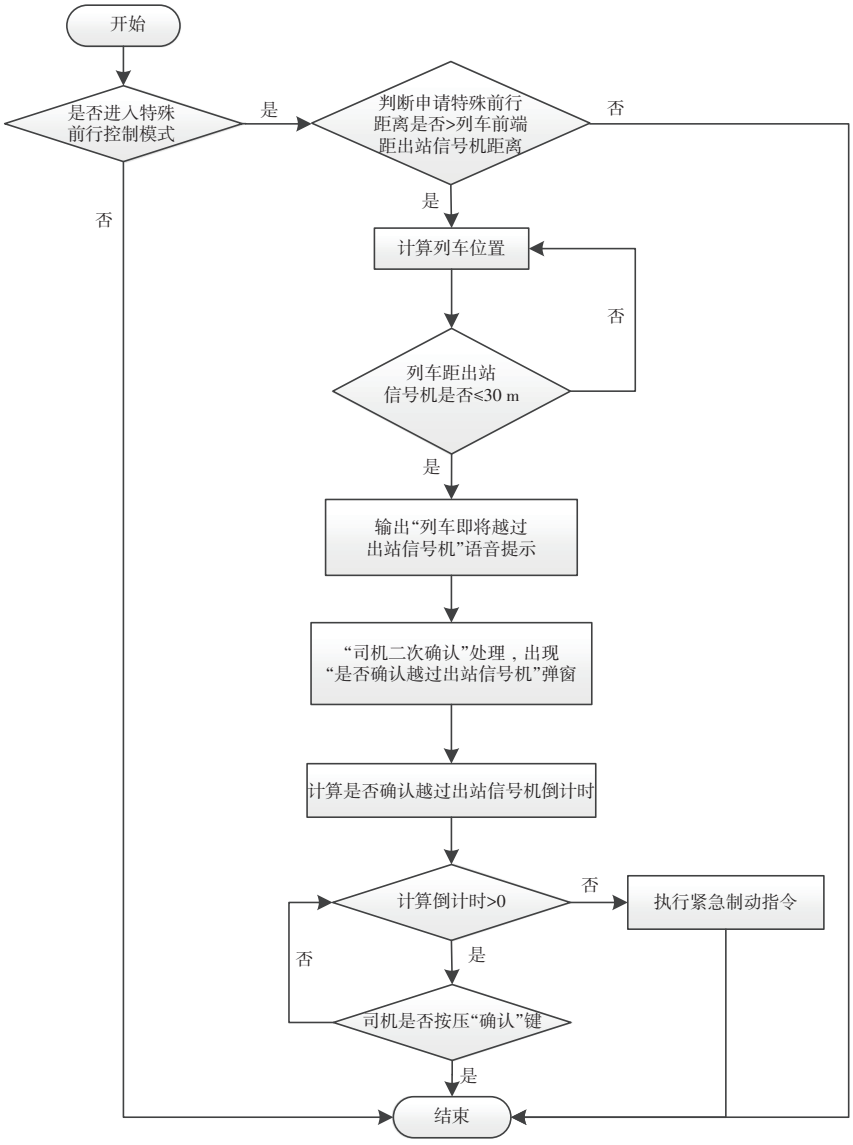

图9　特殊前行控制司机二次确认流程图

Fig.9　Flow chart of driver double confirmation for special forward movement control

4　结束语

针对货物列车靠标停车过程机车乘务员人工操作和安全性不足等问题，提出了优化列车定位、进站股道号自动输入、特殊前行控制司机二次确认等适用于货物列车靠标停车的普速铁路CTCS-0级列控优化设计，通过车载设备的改造，可以减少货物列车机车乘务员在列车站内停车时人工操作的次数，降低出错概率，提高货物列车靠标停车时的安全性。

参考文献：

[1] 徐效宁，李　辉. 列车运行监控装置制动距离计算的优化研究[J]. 铁道标准设计，2025，69(1)：185-190.
XU Xiaoning，LI Hui. Research on Optimization of Train Monitoring Device Braking Distance Calculation[J]. Railway Standard Design，2025，69(1)：185-190.

[2] 臧一佩，梁志国，冯浩楠，等. 普速铁路信号系统控车优化方案研究[J]. 铁道运输与经济，2021，43(12)：109-115.
ZANG Yipei，LIANG Zhiguo，FENG Haonan，et al. Optimization Scheme of Train Control for the Signal System of Conventional Railway[J]. Railway Transport and Economy，2021，43(12)：109-115.

[3] 侯大山，郑理华. 新一代列车运行监控装置的设计研究[J]. 铁道通信信号，2021，57(5)：6-10.

HOU Dashan, ZHENG Lihua. Study on Design of Next Generation LKJ[J]. Railway Signalling&Communication, 2021, 57(5): 6-10.

[4] 徐效宁. 普速铁路CTCS-0级列控系统优化方案研究[J]. 铁道工程学报，2019，36(11)：82-84，91.
XU Xiaoning. Research on the Optimization Scheme of CTCS-0 Train Control System for General Speed Railway[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2019, 36(11): 82-84, 91.

[5] 郑理华，李一楠，阳亦斌. LKJ车载数据无线远程换装系统设计[J]. 铁道运输与经济，2018，40(9)：51-56.
ZHENG Lihua, LI Yi'nan, YANG Yibin. A Design of LKJ Onboard Radio Remote Data Reloading System[J]. Railway Transport and Economy, 2018, 40(9): 51-56.

[6] 司晓星，贺　涛，邢　斌，等. 普速铁路车机联控自动控制系统的研究与应用[J]. 铁道货运，2023，41(6)：43-47.
SI Xiaoxing, HE Tao, XING Bin, et al. Research and Application of Station and Locomotive Joint Control with Automatic Control System for Conventional Railway[J]. Railway Freight Transport, 2023, 41(6): 43-47. .

[7] 张小强，赵　周. 铁路调车作业安全防护技术研究[J]. 铁道货运，2024，42(1)：31-36.
ZHANG Xiaoqiang, ZHAO Zhou. Research on Safety Protection Technology for Railway Shunting Operation[J]. . Railway Freight Transport, 2024, 42(1): 31-36.

[8] 赵建勋，田长海，张守帅，等. 普速铁路列车间隔时间计算方法对比研究[J]. 铁道运输与经济，2023，45(10)：99-108.
ZHAO Jianxun, TIAN Changhai, ZHANG Shoushuai, et al. Comparison of Train Headway Calculation Methods in Conventional Railway[J]. Railway Transport and Economy, 2023, 45(10): 99-108.

[9] 王道奇. 铁路货物列车编组计划数字化编制系统构建研究[J]. 铁道运输与经济，2024，46(7)：87-96.
WANG Daoqi. Research on the Construction of Digital Compilation System for the Railway Freight Train Marshalling Plan[J]. Railway Transport and Economy, 2024, 46(7): 87-96.

[10] 权诗琦，刘　畅，秦欢欢. 中欧班列南通道沿线国家铁路联盟发展研究[J]. 铁路物流，2025，43(2)：58-64.
QUAN Shiqi, LIU Chang, QIN Huanhuan. Development of Railway Alliances of Countries along Southern Route of China Railway Express[J]. Railway Logistics, 2025, 43(2): 58-64.

[11] 中华人民共和国建设部，国家质量监督检验检疫总局. 铁路车站及枢纽设计规范：GB 50091—2006[S]. 北京：中国标准出版社，2006：8.

[12] 国家铁路局. 铁路车站及枢纽设计规范：TB 10099—2017[S]. 北京：中国铁道出版社，2017：11.

[13] 中国铁路总公司. 铁路技术管理规程(普速铁路部分)：TG/01—2014[M]. 北京：中国铁道出版社，2014.

[14] 中国铁路总公司. 列车运行监控装置(LKJ)[M]. 北京：中国铁道出版社，2013.

[15] 杨志刚. LKJ列控技术与应用[M]. 北京：中国铁道出版社，2012.

[16] BOSSO N, MAGELLI M, ZAMPIERI N. A Numerical Method for the Simulation of Freight Train Emergency Braking Operations Based on the UIC Braked Weight Percentage[J]. Railway Engineering Science, 2023, 31(2): 162-171.

[17] MICHÁLEK T, KOHOUT M, ŠLAPÁK J, et al. Curving and Running Resistance of Freight Trains: Current Experience with On-Track Measurements[J]. Vehicle System Dynamics, 2025, 63(10): 1983-1997.

[18] PUDOVIKOV O E, MENAKER G M. Pneumatic Brake Control System of a Freight Train[J]. Russian Electrical Engineering, 2023, 94(9): 654-658.

[19] 中国铁路总公司. 列车运行监控装置(LKJ)控制模式设定规范：TJ/DW 173—2015[M]. 北京：中国铁道出版社，2015.

[20] 杨崇福. 基于多源信息融合的列车运行控制系统测速定位技术研究[J]. 控制与信息技术，2024(6)：123-128.
YANG Chongfu. Research on Speed and Position Detection Technology for Train Operation Control System Based on Multi-Source Information Fusion[J]. Control and Information Technology, 2024(6): 123-128.

[21] 冯　军，赵　阳，尚麟宇. 铁路车站调车作业安全监控技术研究[J]. 铁道运输与经济，2020，42(4)：67-71.
FENG Jun, ZHAO Yang, SHANG Linyu. A Study on the Safety Monitoring Technology of Shunting Operation in Railway Station[J]. Railway Transport and Economy, 2020, 42(4): 67-71.

[22] 冯　军，杨华昌，栾德杰. 无线调车机车信号和监控技术装备发展综述[J]. 铁道通信信号，2019，55(S1)：109-113.

[23] 王海霞. 港口铁路动态跟踪车列控制系统研究[J]. 铁路物流，2025，43(2)：34-40.
WANG Haixia. Research on Dynamic Tracking Train Control System for Port Railway[J]. Railway Logistics, 2025, 43(2): 34-40.

(责任编辑　魏　然)