文章编号：1003-1421(2026)02-0080-08
引用格式：高峰，白利洁，齐威，等. 基于CTC系统的列车区间交会风险防控方法研究[J]. 铁道运输与经济，2026，48(2)：80-87.
GAO Feng，BAI Lijie，QI Wei，et al. Research on Risk Prevention and Control Method for Train Section Meeting Based on CTC System[J]. Railway Transport and Economy，2026，48(2)：80-87.

基于CTC系统的列车区间交会风险防控方法研究

高 峰[1]，白利洁[1]，齐 威[1]，赵宏涛[2]

(1.北京华铁信息技术有限公司 行车指挥自动化事业部，北京 100081；2.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)

摘 要：列车区间交会风险防控一直以来都是铁路运输安全重点关注的问题和亟待提升的专项工作内容之一。通过分析实际可能会发生的列车区间交会场景，如相邻线同向交会、相邻线相向交会、多相邻线列车交会等，找出交会风险的特征点，并结合站场表示数据、阶段计划数据、车次追踪数据等，探索风险判断的关键因素；优化CTC系统逻辑结构，开创相邻线端口计划数据站间传输及缓存机制，打通风险判据的数据链路；最终结合CTC系统站内排路安全防控策略，研究列车区间交会风险防控方法。经过实验，该方法的有效性、稳定性及与CTC系统的兼容性均得到了验证，结果良好。该防控方法在铁路信号控制系统层面阻断了列车区间交会风险，提升了铁路运输行车安全，在安全技防保障和精益高效指挥能力提升等方面发挥了积极有效的作用，也为铁路运输安全智能化发展提供了新思路。

关键词：风险防控；区间交会；CTC系统；区间相邻线；相邻线端口
中图分类号：U298.1 **文献标识码**：A **DOI**：10.16668/j.cnki.issn.1003-1421.20250611002

Research on Risk Prevention and Control Method for Train Section Meeting Based on CTC System

GAO Feng[1]，BAI Lijie[1]，QI Wei[1]，ZHAO Hongtao[2]

(1. Automated Train Command and Control Division, Beijing Huatie Information Technology CO., Ltd., Beijing 100081, China;
2. Signal & Communication Research Institute, China Academy of Railway Sciences Corporation Limited, Beijing 100081, China)

Abstract: The prevention and control of train section meeting risks has always been one of the key issues in railway transportation safety and a special task that urgently needs to be improved. This paper analyzed actual possible train section meeting scenarios, such as same-direction meeting on adjacent lines, opposite-direction meeting on adjacent lines, and train meetings on multiple adjacent lines. It identified the characteristic points of meeting risks and explored key factors for risk judgment by integrating station yard representation data, stage plan data, train tracking data, etc. The paper optimized the logical structure of the CTC system, created an inter-station transmission and caching mechanism for plan data at adjacent line ports, and opened up the data link for risk criteria. Finally, combined with the in-station route arrangement safety prevention and control strategy of the CTC system, it studied the risk prevention and control methods for train section meetings. Through experiments, the effectiveness, stability, and compatibility with the CTC

收稿日期：2025-06-11
通信作者：赵宏涛(1983—)，男，河北邢台人，中国铁道科学研究院集团有限公司通信信号研究所副研究员。
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(J2024X001)

system of this method were verified, and the results were good. This prevention and control method eliminated train section meeting risks at the railway signal control system level, enhanced railway transportation safety, played a positive and effective role in aspects such as safe technical prevention and control and the improvement of lean and efficient command capabilities, and provided new ideas for the intelligent development of railway transportation safety.
Keywords: Risk Prevention and Control; Section Meeting; CTC System; Adjacent Line in Section; Adjacent Line Port

0　引言

当前铁路运输发展呈现需求多样化、调控精细化和安全智能化的趋势，为了提升经济效益、平衡发展客货运输业务，部分线路实行客货共线运营[1-3]的模式。但在该运营模式下的铁路运输生产承担着更多安全风险，如不同类型列车在区间交会行驶时可能因为车距太近导致车体擦碰的风险；尤其针对货物列车与动车组交会，在交会过程中列车相对速度较快容易引起气动特性发生较大变化，可能导致零散货物掉落，进而引发安全事故。为此，《铁路技术管理规程》原则上要求动车组与超限车、超限车与超限车、动力分散车组与货车禁止在区间交会，列车区间交会风险的防控也成为铁路运输安全重点关注的问题和亟待提升的专项工作内容之一。

针对列车区间交会风险方面的安全技术，已有学者进行了相关研究。张可新等[4]针对时速200 km客货共线铁路动车组与货物列车区间交会技术可行性进行了研究。刘俊等[5]以特定车型在区间禁止交会为约束条件，以减少列车总旅行时间、提高线路整体运行效率为优化目标，在列车计划层面提出客货共线运行图调整优化方法。赵宏涛等[6]提出基于站间协同的智能调度系统框架，打通调度系统内部数据链路，研究行车安全策略和调优规则的动态管理。徐风远等[7]探讨列车运行速度、线间距及列车载重对城际列车在隧道内交会时横向偏移量的影响。王峰等[8]研究线间距对时速600 km级高速磁浮列车明线交会气动性能的影响。

上述部分研究内容主要针对列车区间交会时的风险参数和可行性进行分析，另一部分研究基于列车计划优化调整或改善行车安全策略来避免列车区间交会风险的发生。在此基础上，研究将深入分析列车交会时的风险场景，找出预防风险的关键因素，并基于调度集中系统(Centralized Traffic Control，CTC)研究切实有效的列车区间交会风险防控方法。

1　列车区间交会风险分析

1.1　风险场景分析

根据列车行车路线的特点与车站站型设计的差异，列车区间交会场景可分相向交会、同向交会和多线交会。

1.1.1　相向交会风险

车站与区间线路的连接节点被称作端口，区间线路的行车方向由端口的发车方向决定，若目标端口的发车方向与相邻区间线路连接的端口(以下简称“相邻线端口”)发车方向不一致则会发生列车相向交会。列车在区间相向交会场景如图1所示，该交会形式是铁路运输中最常见的，对应发生交会风险的情况如下。

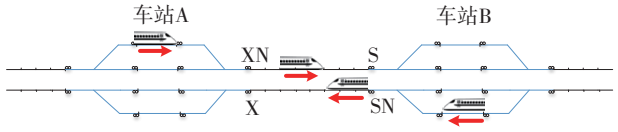

图1　相向交会场景

Fig.1　Scenario of opposite-direction meeting

（1）区间相邻线正在运行的列车与本车禁止区间交会，若继续允许本车进入区间则会产生相向交会风险。

（2）即将进入区间相邻线的列车与本车禁止区间交会，若没有掌握邻站发往区间相邻线的计划行车情况，贸然允许本车驶入区间同样会产生相向交会风险。

1.1.2　同向交会风险

属于同一车站的两个相邻线端口发车可能会导致列车在区间同向交会，同向交会场景如图2所示，对应发生交会风险的情况如下。

（1）区间相邻线正在运行的列车与本车禁止区间交会，且本车运行速度大于前车，若允许本车进入区间则有可能产生同向交会风险。

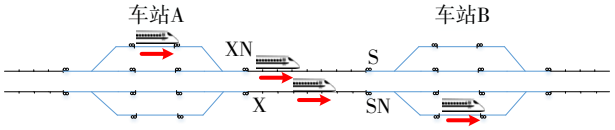

图2　同向交会场景

Fig.2　Scenario of same-direction meeting

（2）相邻线端口已经允许列车进入区间相邻线且该车与本车禁止区间交会，若继续允许本车驶入区间则同样会产生相向交会风险。

1.1.3　多线交会风险

由于车站站型的特殊设计，特定区间线路会同时拥有多条相邻线。多相邻线场景如图3所示，区间线路1分别与区间线路2、区间线路3互为相邻线。

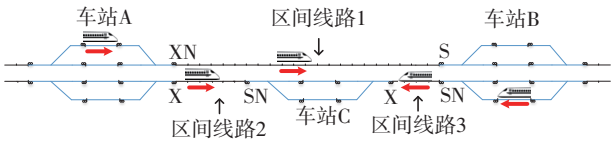

图3　多相邻线场景

Fig.3　Scenario of meeting on multiple adjacent lines

多线交会风险可视为多对双线交会风险的组合，即区间线路1与相邻线路的交会风险可视作区间线路1与区间线路2、区间线路1与区间线路3的组合交会风险，该交会风险可能是多个同类交会风险的组合(均为相向交会或同向交会)，也可能是不同类交会风险的组合。

1.2　风险判断因素

通过对区间交会风险场景的分析，了解到列车信息、区间行车信息等是交会风险判断的关键因素。本节将整合CTC系统既有数据(如站场表示数据、阶段计划数据、车次追踪数据等)，详细分析每一项风险判断因素。

1.2.1　列车信息

判断交会风险所需的列车信息包含列车类型和列车最高允许时速。

（1）列车类型是用来判断是否禁会的关键，其获取方式分为2种。首先，铁路行业对特定类型的列车会规定一个车次号范围，凡是范围内的车次号就会对应到固定的列车类型[9-10]，所以可以根据车次号与列车类型的映射关系获取车型；其次，CTC系统的阶段计划数据包含有车次号与列车类型等信息，以列车车次号为索引，可通过阶段计划数据获取其对应的列车类型。因各铁路局集团公司对其管内的列车类型与车次号关系定义可能不完全一致，相比较而言，通过阶段计划获取列车类型的方法更为灵活且可靠。

（2）列车最高允许时速是由列车类型决定的，在获取到列车类型的前提下，依据特定线路对不同车型的静态限速上限规定可确定该车的最高允许时速信息。

1.2.2　区间行车信息

区间行车信息涉及实际行车和计划行车2个方面。

区间实际行车指的是区间线路正在行车的信息，包括列车位置和列车运行方向。列车位置由列车车次号和列车当前占用的区间对象组成，该信息属于站场表示数据，为CTC系统既有数据；列车运行方向如图4所示，可通过车次号标识的箭头方向或者区间两端端口的接发车方向灯确定。

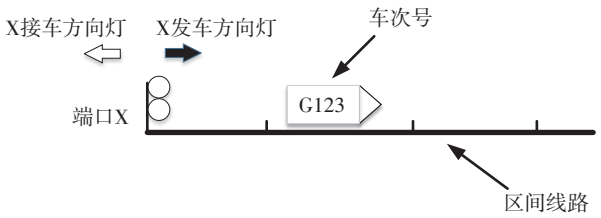

图4　列车运行方向

Fig.4　Train operation direction

区间计划行车完全依赖CTC系统的阶段计划信息。CTC系统阶段计划以分散自律的方式执行，即各个车站分别执行其管辖范围内的列车计划[11]。车站分散自律子系统接收中心阶段计划，并将其自动拆分为各个方向端口的独立计划，计划中包含有车次号、列车类型、计划类型(接车、发车、通过)、计划时间、计划执行状态(包括等待、排路成功、进路占用等)等信息，并且按照计划时间的先后顺序进行排列，表示未来一段时间内计划经过此端口的列车信息，端口计划如表1所示。

区间线路两端分别连接2个邻站的端口，其中一个标记为接车端口，另一个标记为发车端口。同

表1　端口计划

Tab.1　Port plan

序号	车次号	列车类型	计划类型	计划时间	计划执行状态
1	G111	高速动车组	发车	9:00	排路成功
2	D26	动车组	接车	9:15	等待
3	70101	超限货物列车	发车	9:20	等待

一列车计划在区间线路先发后接，所以只要正确识别向该区间线路的发车端口，就可以掌握区间计划行车情况。

2　列车区间交会风险防控方法

通过对CTC系统逻辑结构进行优化，并结合交会风险场景研究相应的列车区间交会风险防控方法。

2.1　CTC系统逻辑结构优化

基于既有的CTC系统逻辑结构，各车站只掌握本站管辖范围内的行车信息，为此需要进一步优化系统逻辑结构，使得各车站能够掌握区间相邻线的计划行车信息。

结构优化之前针对相邻线端口新增属性内容，包括端口归属车站和端口关联区间线路，其中归属车站属性具体指的是端口关联的车站站码，用于指向端口计划的传输目的；而关联区间线路属性则表现为端口所连接的区间线路ID，用于指向查找对应区间线路上的行车信息；针对一个端口可以设定有多个相邻线端口；同时新增端口计划数据类型，方便站与站之间传输端口计划信息。

CTC系统逻辑结构优化如图5所示，共进行了2方面的优化：一是设定目标端口的相邻线端口，当相邻线端口归属本站则直接在站内数据中获取对应的端口计划，当相邻线端口归属于邻站则主动将本端口计划信息发送至相邻线端口所属车站；二是

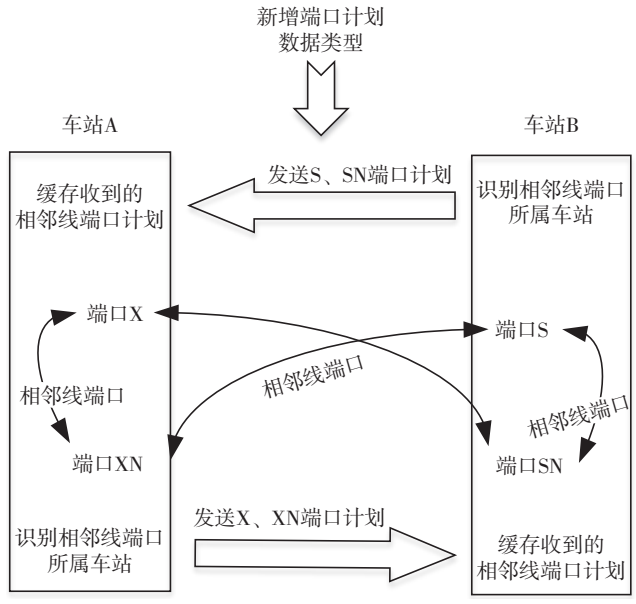

图5　CTC系统逻辑结构优化

Fig.5　Optimization of CTC system's logical structure

缓存收到的相邻线端口计划，用于判断目标端口列车是否与相邻线端口的计划列车存在区间交会风险。

2.2　列车区间相向交会风险防控方法

列车区间相向交会风险防控方法如图6所示。

（1）目标发车端口的列车计划达到触发排路时机，查找点亮发车方向灯的相邻线端口并识别其归属车站，若归属于邻站，则判定区间相向运行。

（2）检查区间相邻线正在运行列车类型，若判断与本端口列车禁止区间交会，则认为存在区间交会风险，暂停排列进路并报警提示。

（3）分析区间相邻线端口计划，查找计划列车与本端口列车禁止区间交会，且状态为“排路成功”或者“进路占用”的计划，若存在满足条件的计划，即认为该计划列车具备优先进入区间的条件，为防止发生区间交会风险，暂停排列进路并报警提示。

（4）若判断以上风险不存在或已消除，则下达排路命令并开放发车允许信号。

2.3　列车区间同向交会风险防控方法

列车区间同向交会风险防控方法如图7所示。

（1）目标发车端口的列车计划达到触发排路时机，查找点亮发车方向灯的相邻线端口并识别其归属车站，若同属于本站，则判定区间同向运行。

（2）检查区间相邻线正在运行列车类型，若判断与本端口列车禁止区间交会，则进一步比较两车在本区间线路的最高允许时速，若本端口列车时速较高则认定存在交会风险，暂停排列进路并报警提示；此处还需要考虑区间线路的临时限速条件，若临时限速值小于两车最高允许时速则认定两车实际行车速度相同，不存在风险。

（3）分析相邻线端口计划，查找计划列车与本端口列车禁止区间交会，且状态为“排路成功”或者“进路占用”的计划，若存在满足条件的计划则认为该计划列车具备优先进入区间的条件，为防止发生区间交会风险，暂停排列进路并报警提示。

（4）若判断以上风险不存在或已消除，则下达排路命令并开放发车允许信号。

2.4　列车多线交会风险防控方法

列车多线交会风险防控方法如下。

（1）多线交会场景下，目标端口拥有多个点亮发车方向灯的相邻线端口，当目标端口列车计划达

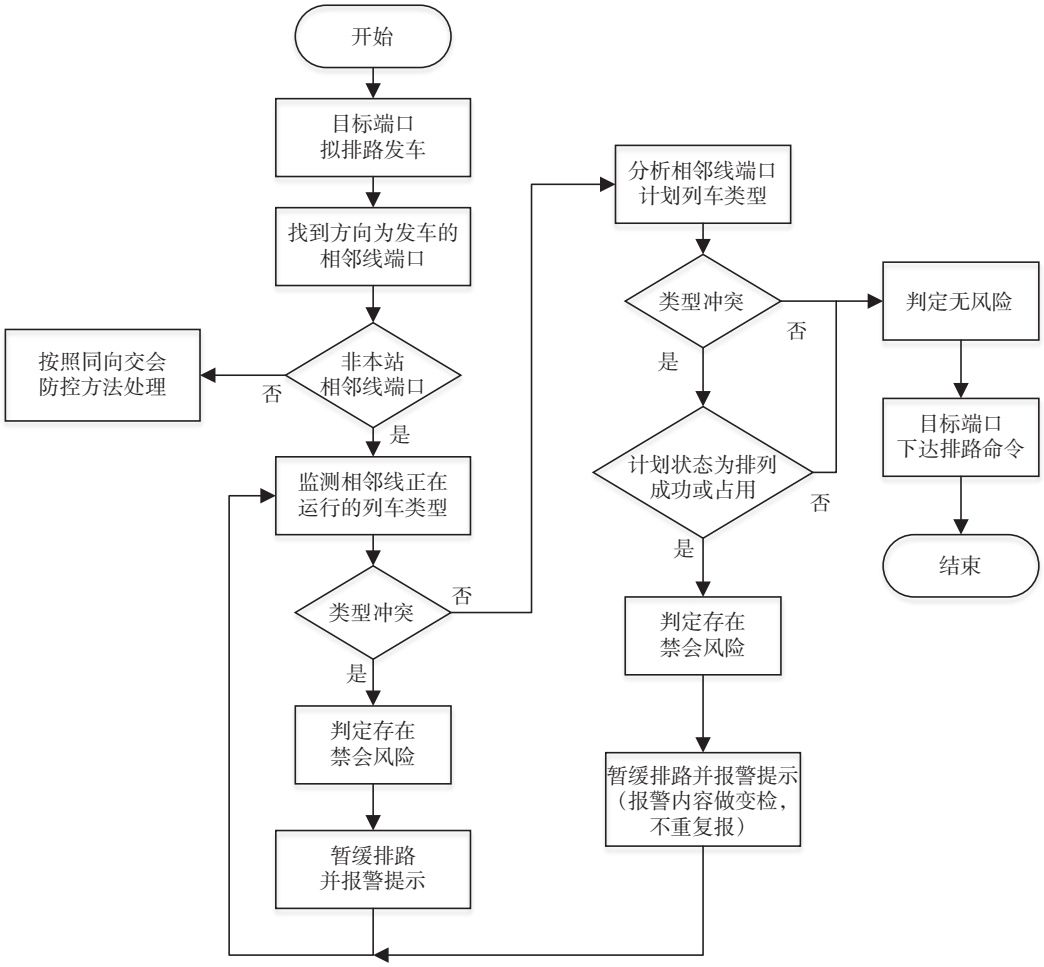

图6　列车区间相向交会风险防控方法

Fig.6　Risk prevention and control method for opposite-direction meeting of trains in section

到触发排路时机时需分别判断本端口与相邻线端口的发车方向是否一致。

（2）若目标端口与相邻线端口为同向发车，则采用列车区间同向交会风险防控方法进行风险防控。

（3）若目标端口与相邻线端口为相向发车，则采用列车区间相向交会风险防控方法进行风险防控。

（4）当目标端口列车与所有区间相邻线运行列车和相邻线端口计划列车无交会风险，方可允许下达排路命令并开放发车允许信号，否则暂缓排路并报警提示。

3　实验验证

研究针对基于CTC系统的列车区间交会风险防控方法进行了功能场景、可靠性与兼容性等方面的验证。

3.1　功能场景验证

模拟区间交会场景，分别就超限车与超限车区间禁会卡控、超限车与动车组区间禁会卡控、货车与动力分散车组区间禁会卡控进行了验证。

实验中的区间交会场景如图8所示，怀来站SN端口与下花园北站XN端口互为相邻线端口。模拟下花园北站内的高速铁路列车G668已被允许发车，其计划状态为排路成功。

当怀来站内超限车70011达到发车排路时机，检测到下花园北站内高速铁路列车G668即将进入区间相邻线，且两车满足超限车与动车组禁止区间交会要求，判断存在区间相向交会风险，卡控超限车70011排路进入区间，并向终端发出报警提示，报警内容如图9所示，车站值班人员根据提示内容即可明确发生风险的位置以及冲突双方的列车车次。

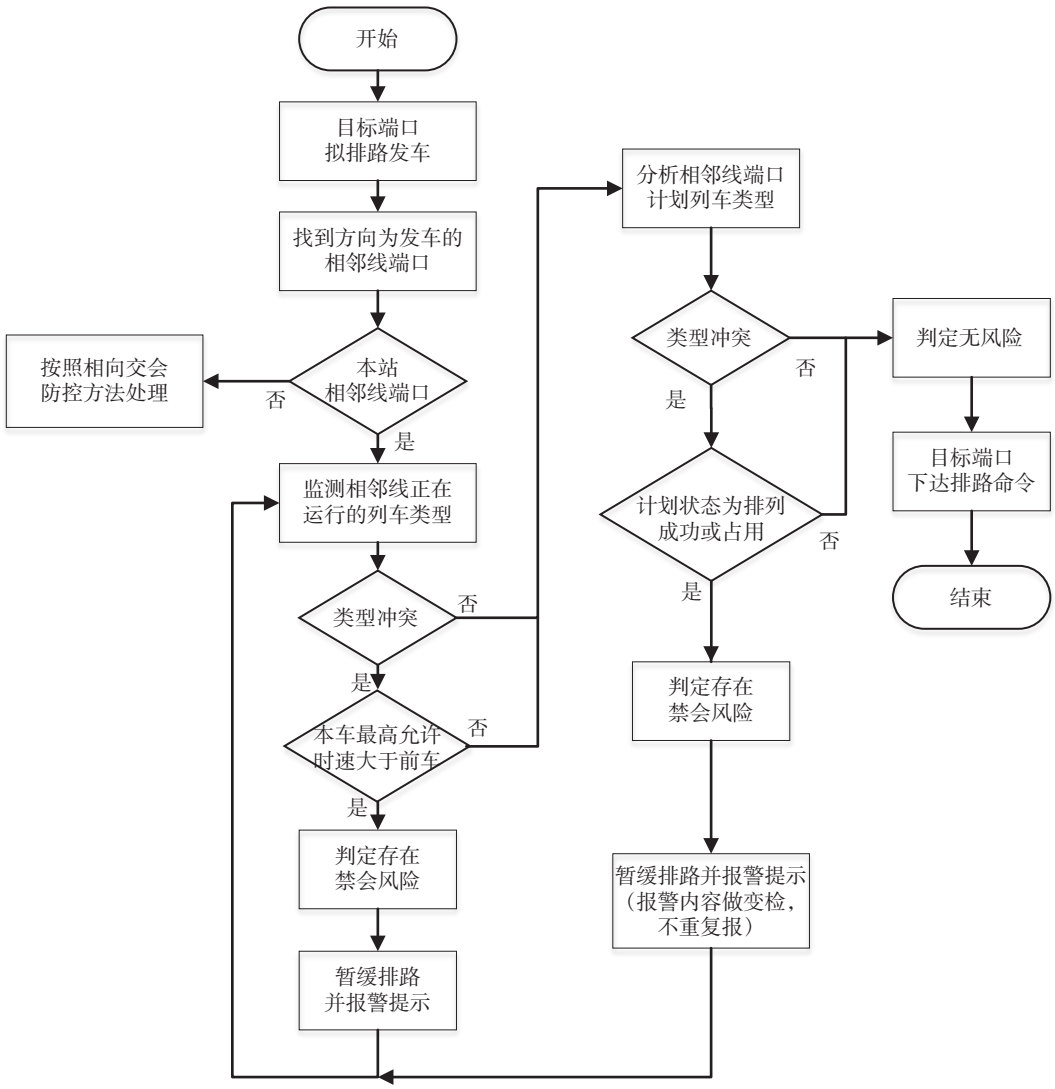

图7　列车区间同向交会风防控方法

Fig.7　Risk prevention and control method for same-direction meeting of trains in section

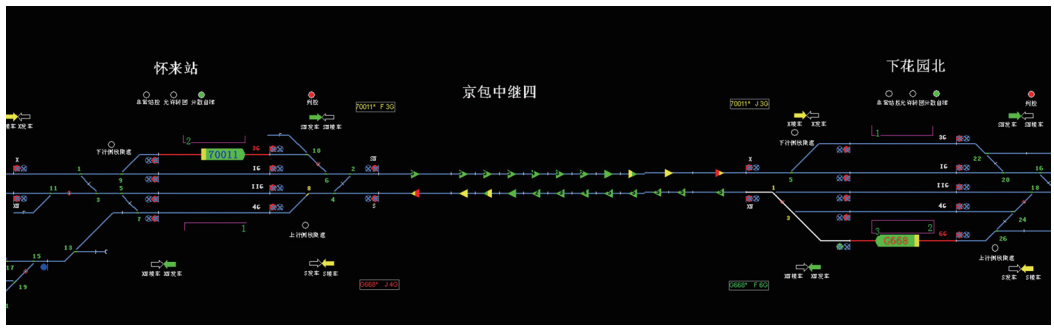

图8　区间交会场景

Fig.8　Scenario of section meeting



图9　报警内容

Fig.9　Alarm content

3.2　可靠性与兼容性验证

搭建基于CTC系统的综合仿真环境[12]，模拟客货列车按照计划在目标线路共线混跑，验证列车区间交会风险防控方法的可靠性及与CTC系统的兼容

性。实验结果统计如表2所示。

表2　实验结果统计

Tab.2　Statistics of experimental results

实验周期	客货共线混跑时长/h	模拟上下行列车对数/对	禁会风险发生次数/次	禁会风险防控成功率/%
1	12	103	7	100
2	12	132	9	100
3	12	120	11	100
4	12	121	13	100
5	12	115	8	100

结果表明：该方法可以有效防控列车区间交会风险，且稳定可靠。同时在实验过程中，CTC系统运行正常，既有功能实现未受影响，表明该方法与CTC系统兼容性良好。

4　结束语

通过分析列车区间交会风险场景及风险判断关键因素，优化CTC系统逻辑结构，制定出基于CTC系统的列车区间交会风险防控方法。针对特定发车端口，监测其区间相邻线运行列车和相邻线端口计划，预判可能发生的列车区间交会风险，并通过自动控制本端口列车禁止进入区间避免风险发生。该方法的有效性、可靠性及与CTC系统的兼容性均得到验证，结果良好。本防控方法在铁路信号控制系统层面阻断了列车区间交会风险，提升了铁路运输行车安全，在安全技防保障和精益高效指挥能力提升等方面发挥了积极有效的作用，也为铁路运输安全智能化发展[13-15]提供了新思路。未来可进一步研究相匹配的列车计划优化调整策略，构建“计划层面-执行层面”的联动分析框架，探究如何在风险防控的基础上进一步提升行车效率[16-17]，为列车区间交会风险问题的解决提供更全面的理论依据。

参考文献：

[1] 王顺发. 客货共线铁路分级标准评价与研究[J]. 铁道运输与经济，2024，46(8)：74-81，125.
WANG Shunfa. Evaluation and Research on Classification Standard of Mixed Passenger and Freight Railway[J]. Railway Transport and Economy，2024，46(8)：74-81，125.

[2] 窦　磊. 采用CTCS-2级列控系统的客货共线铁路信号工程设计探讨[J]. 铁道通信信号，2025，61(3)：86-90.
DOU Lei. Discussion on Signal Engineering Design of Passenger and Freight Mixed Operation Railway with CTCS-2 Level Train Control System[J]. Railway Signalling & Communication，2025，61(3)：86-90.

[3] KURHAN M，FISCHER S，KURHAN D，et al. Assessment of Combined High Speed Passenger and Freight Train Movement to Mitigate Environmental Impact[J]. IOP Conference Series：Earth and Environmental Science，2025，1491(1)：012023.

[4] 张可新，张哲铭，谢　泽，等. 时速200 km客货共线铁路动车组与货物列车区间交会技术可行性研究[J]. 铁道运输与经济，2024，46(12)：209-215.
ZHANG Kexin，ZHANG Zheming，XIE Ze，et al. Technical Feasibility Research of Electric Multiple Units Passing by Freight Trains on a 200 km/h Mixed Passenger and Freight Railway[J]. Railway Transport and Economy，2024，46(12)：209-215.

[5] 刘　俊，吴乙漩，王洪伟，等. 面向区间禁会要求的客货车共线运行图调整优化方法[J]. 北京交通大学学报，2023，47(1)：1-8.
LIU Jun，WU Yixuan，WANG Hongwei，et al. Adjustment and Optimization Method of Train Diagram in Mixed Passenger and Freight Lines for Requirement of Prohibiting Section Meeting[J]. Journal of Beijing Jiaotong University，2023，47(1)：1-8.

[6] 赵宏涛，曹　桢，郑　勇，等. 基于站间协同的智能调度系统设计及关键技术[J]. 中国铁路，2024(7)：172-178，187.
ZHAO Hongtao，CAO Zhen，ZHENG Yong，et al. Design and Key Technologies of Intelligent Dispatching System Based on Inter-Station Collaboration[J]. China Railway，2024(7)：172-178，187.

[7] 徐风远，陈云龙，赵　奇，等. 隧道交会工况下城际列车横向偏移量影响研究[J]. 青岛大学学报(自然科学版)，2025，38(2)：30-35.
XU Fengyuan，CHEN Yunlong，ZHAO Qi，et al. Research on the Influence of Lateral Deviation of Municipal Trains under Tunnel Intersection Conditions[J]. Journal of Qingdao University (Natural Science Edition)，2025，38(2)：30-35.

[8] 王　峰，张　雷，杨明智，等. 线间距对时速600公里级高速磁浮列车明线交会气动性能的影响[J]. 空气动力学学报，2023，41(4)：31-40.
WANG Feng，ZHANG Lei，YANG Mingzhi，et al. Effect of Line Space on Aerodynamic Performance of Two High Speed Maglev Trains Passing by each Other at the Speed of 600 km/h

in Open Air[J]. Acta Aerodynamica Sinica，2023，41(4)：31-40.

[9] 魏小丰. 调度集中系统车次号技术的研究[J]. 铁路通信信号工程技术，2022，19(6)：44-49，63.
WEI Xiaofeng. Research on Train Number Technique for Centralized Traffic Control System[J]. Railway Signalling & Communication Engineering，2022，19(6)：44-49，63.

[10] 徐培娟，阎致远. 中国动车组车次号编码改进方案研究[J]. 铁道标准设计，2024，68(9)：18-23.
XU Peijuan，YAN Zhiyuan. Research on Improving the Coding Scheme of China's EMU Trains[J]. Railway Standard Design，2024，68(9)：18-23.

[11] 高　峰，桂乐琴，宋鹏飞，等. 智能高速铁路ATO列车计划传输方案研究[J]. 铁道运输与经济，2020，42(8)：20-24，32.
GAO Feng，GUI Leqin，SONG Pengfei，et al. A Study on the Train Plan Transmission Scheme of Intelligent High Speed Railway Based on ATO[J]. Railway Transport and Economy，2020，42(8)：20-24，32.

[12] 赵随海，宋鹏飞，林海桐，等. 高速铁路调度集中一体化仿真测试平台的设计与实现[J]. 铁道运输与经济，2018，40(8)：65-70.
ZHAO Suihai，SONG Pengfei，LIN Haitong，et al. The Design and Implementation of Integrated Simulation and Test Platform for High Speed Railway Centralized Traffic Control[J]. Railway Transport and Economy，2018，40(8)：65-70.

[13] 王振东，齐　威，苗义烽，等. 基于云计算技术的铁路调度集中系统架构设计研究[J]. 铁道运输与经济，2020，42(1)：38-43.
WANG Zhendong，QI Wei，MIAO Yifeng，et al. A Study on the Design of the Architecture of Railway CTC System based on Cloud Computing Technology[J]. Railway Transport and Economy，2020，42(1)：38-43.

[14] 郭梓烨，单馨漪，官　科，等. 数字铁路局：推动铁路高质量发展的重要引擎[J]. 铁道通信信号，2024，60(10)：1-12.
GUO Ziye，SHAN Xinyi，GUAN Ke，et al. Digital Railway Bureau：An Important Engine for Promoting High-Quality Railway Development[J]. Railway Signalling & Communication，2024，60(10)：1-12.

[15] 张大威. “四网融合”资源共享型车辆基地行车指挥系统方案研究[J]. 铁道通信信号，2023，59(11)：20-25.
ZHANG Dawei. Research on the Scheme of “Four Networks Integration” Resource Sharing Vehicle Base Traffic Command System[J]. Railway Signalling & Communication，2023，59(11)：20-25.

[16] 张天祥，张　巍，秦　胜，等. 国外铁路货物运输组织发展现状与启示[J]. 铁道货运，2024，42(12)：88-97.
ZHANG Tianxiang，ZHANG Wei，QIN Sheng，et al. Development Status and Enlightenment of Foreign Railway Freight Organizations[J]. Railway Freight Transport，2024，42(12)：88-97.

[17] 宋蔚峰，冯小芳. 铁路局集团公司运输调度安全管理关键技术及应用研究[J]. 铁道货运，2024，42(9)：27-36.
SONG Weifeng，FENG Xiaofang. Key Technologies and Applications of Transportation Dispatching Safety Management of Railway Group Corporation[J]. Railway Freight Transport，2024，42(9)：27-36.

(责任编辑　吴文娟)