

基于 CTCS2 + ATO 信号系统的市域 铁路区间自动折返方案

王 勇¹ 王松林² 马海波³ 魏建华⁴

(1. 卡斯柯信号有限公司, 200071, 上海; 2. 上海申铁投资有限公司, 200030, 上海;

3. 常州地铁集团有限公司, 213003, 常州; 4. 中国铁路上海局集团有限公司合肥高铁段基础设施段, 230011, 合肥)

摘 要 [目的] 采用 CTCS2 + ATO (第二级中国列车自动运行控制系统 + 列车自动运行) 信号系统的市域铁路, 在公交化运营场景下, 当发生故障或临时运营计划调整时, 存在列车在区间折返的需求, 为提高市域铁路列车区间折返作业安全和效率, 提出了一种列车区间自动折返方案。[方法] 采用优化既有 CTCS2 + ATO 信号系统局部电路配线、接口通信协议、软件控制逻辑的方法, 独立控制区间折返区域轨道电路发码方向, 利用计算机联锁、列控中心、调度集中各系统之间既有接口通信协议的预留字段增加折返进路标识, 优化区间轨道电路编码逻辑、应答器布置及报文发送逻辑, 增加正常进路/折返进路、区间方向、列车不同区域多场景组合轨道电路发码防护控制逻辑, 实现市域铁路信号系统区间自动折返。并从普遍适应性、运营效率、运营安全等方面分析了方案的可行性。[结果及结论] 该优化方案在上海市域铁路机场线工程项目的首次应用结果, 以及采用部分真实现场数据对该优化方案进行仿真的结果, 均表明该区间自动折返方案满足一般市域铁路 3 min 运营追踪间隔要求。

关键词 市域铁路; 列车控制系统; 区间自动折返

中图分类号 U231.7

DOI:10.16037/j.1007-869x.2024.12.058

Automatic Turn-back Scheme for City Railway Intervals Based on CTCS2 + ATO Signaling System

WANG Yong¹, WANG Songlin², MA Haibo³, WEI Jianhua⁴

(1. CASCO Signal Co., Ltd., 200071, Shanghai, China; 2. Shanghai Shen-Tie Investment Co., Ltd., 200030, Shanghai, China; 3. Changzhou Metro Group Co., Ltd., 213003, Changzhou, China; 4. China Railway Shanghai Group Co., Ltd. Hefei High Speed Railway Infrastructure Section, 230011, Hefei, China)

Abstract [Objective] When there is a malfunction or temporary operation schedule adjustment under public transit operational scenarios, the train turn-back in intervals is required for city railways using the CTCS2 + ATO (Chinese train control

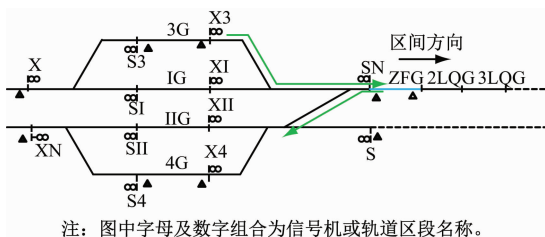
system level 2 + automatic train operation) signaling system. To enhance the safety and efficiency of the interval turn-back operations in city railways, an automatic train turnback scheme is proposed. [Method] By optimizing the existing local circuit wiring, interface communication protocols, and software control logic in CTCS2 + ATO signaling system, and controlling the track circuit coding direction in the interval turn-back area independently, the proposed scheme can achieve signaling system automatic turn-back operations in city railway intervals through utilizing reserved fields in the existing interface communication protocols between the computer interlocking system, train control center, and centralized dispatching system to add turn-back route identifiers, refining the track circuit coding logic, balise placement and message transmission logic to increase normal/turn-back routes, interval directions, and multi-scenario combinations of track circuit coding protection logic. The feasibility of the proposed scheme is analyzed in terms of adaptability, operational efficiency, and safety. [Result & Conclusion] The first application results of this optimized scheme in Shanghai City Railway Airport Line project, along with simulation results of the scheme based on partial site data, demonstrate that the interval automatic turn-back scheme meets the operational requirement of a typical 3-minute tracking interval for city railways.

Key words city railway; train control system; railway interval automatic turn-back

CTCS2 + ATO (第二级中国列车自动运行控制系统 + 列车自动运行)^[1] 信号系统具备无人自动折返、扣车、跳停等功能, 但仍然不能满足市域铁路公交化运营需求。例如, 市域铁路列车因故障或临时计划调整需在区间折返时, 高度依赖人工进行安全防护, 同时涉及复杂的区间改方向办理流程。为提高市域铁路列车区间折返作业安全和效率, 本文提出了一种市域铁路列车区间自动折返技术方案。

1 区间自动折返方案设计

列车区间自动折返路径如图 1 所示。列车由站内 3G 股道至折返轨 ZFG 停稳,然后根据进站信号机 SN 至 IIG 股道进行折返。列车区间自动折返技术方案通过优化区间区段编码方向控制电路,在 CBI(计算机联锁)、TCC(列车控制中心)、CTC(调度集中)系统接口协议预留位扩充进路折返标识,实现 CTCS2+ATO 线路站后区间自动折返功能,且不影响既有 CTCS2+ATO 制式下各信号子系统设备间互联互通功能。



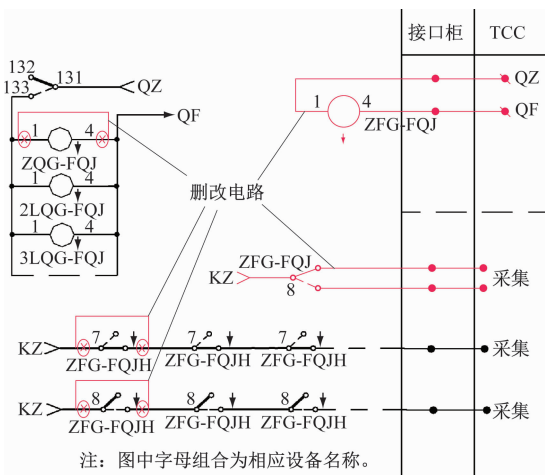
注:图中字母及数字组合为信号机或轨道区段名称。

图 1 列车区间自动折返路径

Fig. 1 Path of train interval automatic turnback

1.1 区段编码方向控制电路优化

方向控制电路优化方案如图 2 所示(删改电路用红色标示)。折返轨 ZFG 的 FQJ(方向切换继电器)^[2]由原 FJ(方向继电器)带动改为由 TCC 直接驱动,从原区间串联采集改为 TCC 单独采集,使 TCC 能够灵活控制列车在区间折返时的方向。



注:图中字母组合为相应设备名称。

图 2 方向控制电路优化方案

Fig. 2 Optimized scheme of directional control circuit

1.2 系统接口协议优化

修改 CTC 与 CBI 接口协议,在 CTC 软件逻辑中增加根据运行计划触发不同类型进路的功能,如

表 1 所示。在接口规范^[3]命令类型分配表预留的其他字段中增加折返进路类型(类型值为 0xba)。

修改 TCC 与 CBI 接口协议^[4]中进路编号结构,在 CBI 软件逻辑中增加折返进路标识处理逻辑功能,如表 2 所示。B11—B10 字段中新增加了折返接车进路标识及折返发车进路标识。

表 1 CBI-CTC 接口命令类型分配

Tab. 1 Type allocation of CBI-CTC interface commands

类型名	类型值	说明
折返进路	0xba	折返进路的始端+终端按钮

表 2 TCC-CBI 接口协议进路编号

Tab. 2 Route number of TCC-CBI interface protocol

数据	含义
B15—B13	车站编号:000b—111b
B12	引导进路标识:0b——正常列车进路;1b——引导列车进路
B11—B10	进路性质:00b——接车进路;01b——发车进路,10b——折返接车进路;11b——折返发车进路
B09—B00	进路序号:1—1 023

1.3 软件控制逻辑优化

TCC 根据 CBI 发送的进路类型控制进出站应答器报文发送,以及折返轨 ZFG、区间其他轨道区段编码(如果折返区段非本站 TCC 管辖,可利用既有列控站间通信协议^[4]交互边界编码和方向信息。

1) 正常发车作业。如图 3 所示,当办理往折返轨 ZFG 的正常发车进路或与折返轨 ZFG 不相关的进路建立时,如果当前区间方向为发车(原方向为发车或改方向成功),折返轨 ZFG 追踪离去轨 2LQG 正常发码,离去轨 2LQG 及其他区间区段追踪至邻站边界或邻站进站信号显示编码。如图 4 所示,如果当前区间无方向(改方向失败),折返轨 ZFG 根据本站进站信号红灯发送 HU(红黄)码,离去轨 2LQG 发 JCM(检测码)。如果当前区间状态为接车方向(改方向失败)时,折返轨 ZFG 根据本站进站信号红灯发送 HU 码,离去轨 2LQG 按折返轨 ZFG 占用追踪编码,区间列车行车许可不延伸进入折返轨 ZFG,以防止突然办理往折返轨 ZFG 折返发车进路时,导致正在区间运行的接近列车行车许可突降从而触发制动。

2) 正常接车作业。如图 5 所示,当办理信号机 SN 为始端的正常接车进路时,折返轨 ZFG 根据信号机 SN 显示及站内区段状态追踪编码,离去轨

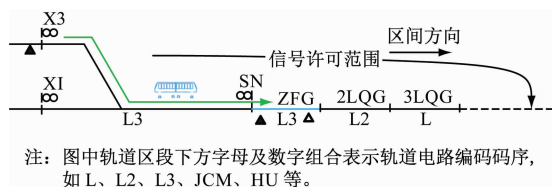


图 3 正常发车场景

Fig. 3 Normal departure scenario

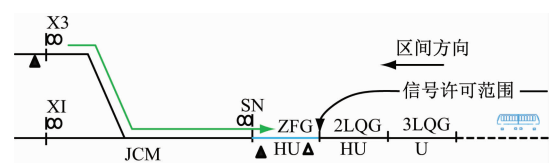


图 4 排列正常发车进路(区间改方向不成功)

Fig. 4 Arrange the normal departure route (interval direction alteration unsuccessful)

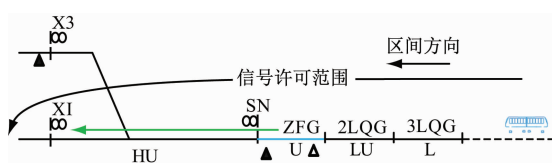


图 5 正常接车场景

Fig. 5 Normal pick-up scenario

2LQG 及其他区间区段与既有 CTCs2 + ATO 系统发码逻辑原则上保持一致。

3) 自动折返作业。如图 6 所示,当办理往折返轨 ZFG 的折返发车进路时,TCC 根据进路折返标识,控制折返轨 ZFG 发送发车方向的 HU 码;列车完全进入折返轨 ZFG 进路解锁后,TCC 根据出站跨压逻辑及折返轨 ZFG 占用状态在软件控制逻辑中对折返标识参数进行自保励磁,使折返轨 ZFG 维持 HU 码不变,直至办理折返接车进路时;TCC 在软件控制逻辑中切掉折返发车进路的折返标识参数自保状态,折返轨 ZFG 根据折返接车进路编码;列车完全进入折返接车进路后,相应轨道电路发码恢复根据进站信号机 SN 红灯发送 HU 码。在折返作业期间,正处于区间的其他列车不论在接车还是发车方向运行,均不受折返作业的影响。

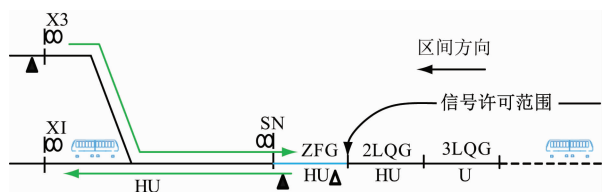


图 6 自动折返作业

Fig. 6 Automatic turnback operations

折返作业期间,CTC 根据进路解锁或列车停稳状态控制折返接车进路触发的时机,车载 ATO 可根据折返轨 ZFG 上的 Q 应答器或 SN 应答器位置信息及车长信息控制折返轨 ZFG 上的停车位置。

办理折返发车进路后,出站应答器报文的线路数据包(CTCS-1)^[5]中 SN 信号点类型的描述由既有的“出站口”改为“没有信号机”,SN 应答器(或者折返轨 ZFG 上的 Q 应答器)兼作为信号车载系统计算折返尽头停车点的应答器使用,增加发送停车位置信息包(CTCS-13)^[5]。CTCS-13 信息包中 Q-PLATFORM(站台位置)填写“无站台”,Q-DOOR(站台是否设置站台门)填写“无站台门”,N_G(列车停靠的股道编号)填写折返轨 ZFG 的“股道编号”,D_STOP(本应答器到停车定位基准点间的距离)填写“32767”,用于解决列车自动折返时运行计划匹配的问题。

2 方案可行性分析

2.1 普遍适用性

优化后的编码方向控制电路简单,软件新增内容清晰独立。该方案兼容既有线路且适用于新建线路。

2.2 运营效率

在办理折返进路时,升级后的信号系统能够根据计划完成列车无人自动折返功能。该方案已在上海市域机场联络线上成功应用^[6]。

以某市域铁路的实际工程线路数据作为输入参数,对该方案的运营效率进行仿真验证。仿真输入参数包括:

- 1) 车长:200.5 m(8 辆编组);
- 2) 交叉渡线限速:50 km/h;
- 3) 站台限速:80 km/h;
- 4) 正线出站信号机(图 1 中 X1)至出站口(图 1 中 SN)长度:449 m;
- 5) 折返防护信号机(图 1 中 SN)至侧线出站信号(图 1 中 X3)长度:451 m;
- 6) 坡度: -1‰ ~ 2‰。

仿真结果如图 7 所示。图中红色和蓝色线分别表示 2 列追踪运行列车。运行过程为:从邻站出发,到本站停车办理乘客下车作业,站后折返完成后停车办理乘客上车作业,返回邻站。折返发车进路上列车运行时间为 65.4 s,折返接车进路和车载自动换端时间为 21.0 s,折返接车进路上列车运行时间

为 67.5 s,总追踪间隔为 145.0 s,满足一般市域铁路 3 min 运营追踪间隔要求,且不影响有列车折返作业区间相邻接车站正常发车(多车追踪场景下的时间与区间长度和允许速度有关)。

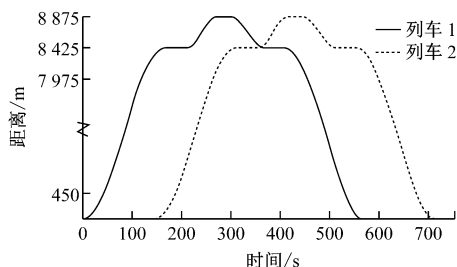


图 7 列车自动折返仿真结果

Fig. 7 Simulation results of train automatic turnback

2.3 运营安全

办理折返作业或常态下无进路建立时,该方案通过控制轨道电路编码进行防护,区间列车凭行车许可不能进入折返轨 ZFG,从而保证了列车运行安全。

3 结语

本文通过分析采用 CTCS2 + ATO 信号系统的市域铁路的公交化运营区间自动折返场景需求,提出了一种区间自动折返优化方案。该方案在保证 CTCS2 + ATO 信号系统与国铁线路互联互通和同等级别安全防护的基础上,极大提高了市域铁路公交化运营效率,扩展了既有国铁 CTCS2 + ATO 信号系统灵活性且自动化水平更高,有助于促进市域铁路运营服务向更高标准、更好水平迈进。

参考文献

- [1] 中国国家铁路集团有限公司. CTCS-2 级列控车载设备技术规范:Q/CR 843—2021[S]. 北京:中国铁道出版社有限公司, 2021:2.
China State Railway Group Co., Ltd. Technical specification for CTCS-2 onboard ATP: Q/CR 843—2021 [S]. Beijing: China Railway Publishing House Co., Ltd., 2021:2.

(上接第 340 页)

- [5] 赵博. 基于 CTCS2 + ATO 的城际和市域铁路到发线有效长优化研究[J]. 中国铁路, 2023(7):32.
ZHAO Bo. Research on optimization of effective length of arrival & departure track for intercity and regional railways in metropolitan area based on CTCS2 + ATO[J]. China Railway, 2023(7):32.
[6] 刘洋. 市域铁路地下车站到发线有效长度研究[J]. 城市轨道交通研究, 2021, 24(4):58.
LIU Yang. Effective length of arrival and departure lines of urban

- [2] 中国国家铁路集团有限公司. 列控中心技术规范:Q/CR 817—2021[S]. 北京:中国铁道出版社有限公司, 2021:45.
China State Railway Group Co., Ltd. Technical specification for train control center: Q/CR 817—2021[S]. Beijing: China Railway Publishing House Co., Ltd., 2021:45.
[3] 国家铁路局. 调度集中与计算机联锁接口规范:TB/T 3496—2017[S]. 北京:中国铁道出版社有限公司, 2017:8.
National Railway Administration of the People's Republic of China. Interface specification between centralized traffic control and computer based interlocking: TB/T 3496—2017 [S]. Beijing: China Railway Publishing House Co., Ltd., 2017:8.
[4] 中国国家铁路集团有限公司. 列控中心接口规范:Q/CR 864. 1—2021[S]. 北京:中国铁道出版社有限公司, 2021:3.
China State Railway Group Co., Ltd. Interface specification of train control center: Q/CR 864. 1—2021 [S]. Beijing: China Railway Publishing House Co., Ltd., 2021:3.
[5] 中国国家铁路集团有限公司. 列控系统应答器应用技术条件:Q/CR 769—2020[S]. 北京:中国铁道出版社有限公司, 2020:29.
China State Railway Group Co., Ltd. The balise application technical conditions for the train control system: Q/CR 769—2020 [S]. Beijing: China Railway Publishing House Co., Ltd., 2020:29.
[6] 上海申铁投资有限公司. 关于印发《市域铁路 CTCS2 + ATO 列控系统自动折返工程设计举例(暂行)》等 4 项标准性技术文件的通知:沪申铁字[2023]078 号[S]. 上海:上海申铁投资有限公司, 2023:1.
Shanghai Shen-Tie Investment Co., Ltd. Notice on issuing four standard technical documents including 'Design Examples of CTCS2 + ATO Train Control System Automatic Turnback Engineering for Urban Railways (Provisional)': HSTZ [2023] No. 078 [S]. Shanghai: Shanghai Shen-Tie Investment Co., Ltd., 2023:1.

- 收稿日期:2024-05-20 修回日期:2024-06-10 出版日期:2024-12-10
Received:2024-05-20 Revised:2024-06-10 Published:2024-12-10
• 通信作者:王勇,工程师, wangyong@casco.com.cn
• ©《城市轨道交通研究》杂志社, 开放获取 CC BY-NC-ND 协议
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license

railway underground stations[J]. Urban Mass Transit, 2021, 24(4):58.

- 收稿日期:2024-07-08 修回日期:2024-08-10 出版日期:2024-12-10
Received:2024-07-08 Revised:2024-08-10 Published:2024-12-10
• 通信作者:宋睿,工程师, 279694831@qq.com
• ©《城市轨道交通研究》杂志社, 开放获取 CC BY-NC-ND 协议
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license