

文章编号: 1674—8247(2024)05—0048—05
DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2024.05.008

车站接近轨延时出清的原因分析及 解决方案探讨

何向东

(沪昆铁路客运专线贵州有限公司, 贵阳 550081)

摘 要:对于采用 ZPW-2000 轨道电路的线路,尤其是开通区间逻辑检查功能的线路,当列车采用通过进路通过车站时,部分车站控制台显示界面上会出现车站接近区段出清晚于进站内方区段出清的情况,某些线路甚至会出现列车进入股道后,车站接近区段才出清的情况,对正常的铁路运营造成一定的影响。本文对车站接近区段晚于站内区段出清的现象进行分析,并提出解决方案以供探讨。

关键词:接近区段;站内区段;延时出清

中图分类号:U284.2 **文献标志码:**A

Cause Analysis and Solution Discussion of Delayed Clearing of Station Approach Track

HE Xiangdong

(Shanghai-Kunming Railway Passenger Dedicated Line Guizhou Co., Ltd., Guiyang 550081, China)

Abstract: For the lines using ZPW-2000 track circuit, especially those with section logic check function, when trains passes through stations through the route, some stations will clear the station approach section later than the section inside the station on the console display interface, and some lines will even clear the station approach section after the train enters the station track. It will have a certain impact on the normal railway operation. This paper analyzes the phenomenon that the station approaching section is cleared later than the station section, and puts forward the solution for discussion.

Key words: approach section; station section; delayed clearing

1 概况

对于区间采用 ZPW-2000 系列轨道电路的线路,尤其是开通区间逻辑检查功能的线路,当列车采用通过进路通过车站时,部分车站控制台显示界面上会出现接近区段出清晚于进站内方区段出清的情况,某些线路甚至会出现列车进入股道后,接近区段才出清的情况,对正常的铁路运营造成影响,如车站联锁、

CTC 控显终端与信号集中监测维护终端上接近区段出清时机不一致导致信号集中监测系统报警,当列车快速通过时造成车站联锁进路不能正常解锁的情况。本文所论述的接近区段出清晚于进站内方区段出清的主要适应场景分析如下。

1.1 运营场景分析

车站控制台根据轨道继电器(GJ)的吸起和落下显示轨道空闲和占用状态,接轨区段如果由多段轨道

收稿日期:2024-08-29

作者简介:何向东(1970-),男,高级工程师。

引文格式:何向东. 车站接近轨延时出清的原因分析及解决方案探讨[J]. 高速铁路技术, 2024, 15(5): 48-52.

HE Xiangdong. Cause Analysis and Solution Discussion of Delayed Clearing of Station Approach Track[J]. High Speed Railway Technology, 2024, 15(5): 48-52.

电路组成,则按照整个闭塞分区的状态将多段轨道电路合并显示。以信号机内方区段为无岔区段的情况为例,在办理列车通过进路时的运营场景如下。

场景1:列车位于S口的3JG,3JG由ZPW-2000轨道电路衰耗控制器励磁的QGJ(由落下到吸起的反应时间约2.8 s,原因见2.1节)和由QGJ经过缓吸电路(缓吸约2.5 s,原因见2.1节)励磁的GJ处于落下状态,如图1所示。

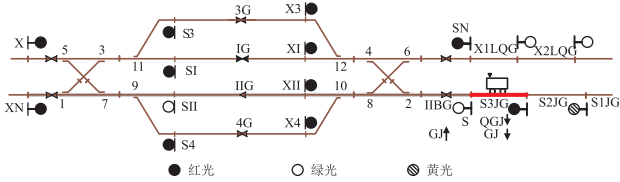


图1 列车位于3JG示意图

场景2:列车离开3JG进入站内,3JG的QGJ延时吸起,GJ保持落下,3JG保持红光带。列车进入IIBG时,IIBG的GJ落下,如图2所示。

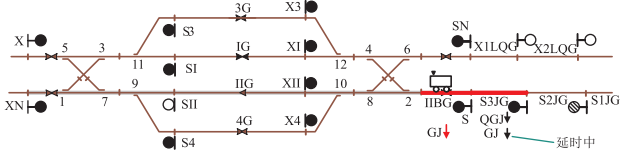


图2 列车离开3JG示意图

场景3:列车离开IIBG,IIBG的GJ吸起;3JG的QGJ吸起,GJ保持落下(延时吸起中)。3JG保持红光带,如图3所示。

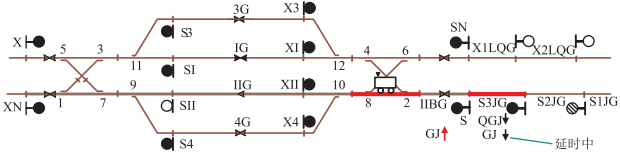


图3 列车离开IIBG示意图

场景4:3JG的GJ吸起(延时结束),3JG红光带消失,如图4所示。

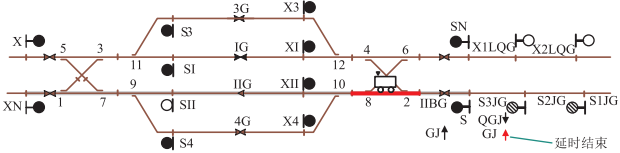


图4 3JG延时出清示意图

从上述运营场景分析可知,列车进站时3JG出清晚于站内轨出清与3JG的出清延时时间、站内轨长度和列车运行速度均有关,3JG的出清延时时间越长,或站内轨道的长度越短,或列车运行速度越高,3JG出清

晚于站内出清的时间差就越大。所以在接近轨为分割区段,进站信号机内方为无岔轨的车站,当列车通过车站时,容易出现3JG出清晚于站内轨出清的情况。

1.2 线路技术条件分析

列车通过时3JG出清晚于站内轨出清,一般适用于如下技术条件的线路:

(1) 区间采用ZPW-2000系列轨道电路(轨道出清延时较长),站内采用25 Hz相敏轨道电路或高压脉冲轨道电路(轨道出清延时较短)^[1-2]。

(2) 车站接近区段所属的闭塞分区由多段ZPW-2000轨道电路组成。

(3) 进站内方轨道区段长度设置过短。

(4) 车站办理通过进路,列车运行速度较高,列车占用进站内方区段的时间较短。

(5) 为实现区间占用逻辑检查功能,车站设有铁路信号区间综合监控系统。

2 原因分析

2.1 区间轨道出清延时分析

区间轨道区段和站内轨道区段通过设置轨道电路设备实现区段的占用和出清检查,轨道区段占用时,轨道电路设备驱动GJ落下,轨道区段出清时,轨道电路设备驱动GJ吸起。

区间各轨道区段设置1个区间轨道继电器(QGJ)和轨道继电器(GJ),轨道电路衰耗器可根据轨道分路情况直接驱动QGJ吸起和落下,采用QGJ的前接点接通GJ的驱动线圈,驱动GJ吸起和落下,如图5所示。

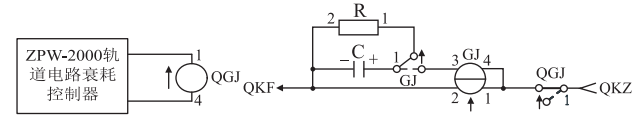


图5 区间轨道QGJ及GJ励磁原理图

根据TB/T 3532-2018《ZPW-2000轨道电路设备》^[3]的相关规定,区间轨道电路衰耗器驱动QGJ由落下到吸起的反应时间为2.3~3.5 s(取经验值2.8 s)。在GJ的驱动电路中设有1个由电阻和电容组成的缓吸电路(其中继电器为JWXC-1700,R为51 Ω,C为1 000 μF),根据实际应用测试,该电路对GJ继电器励磁的延迟时间约2.5 s。

所以列车出清区间轨道区段后,GJ励磁吸起延时为:2.8 s+2.5 s=5.3 s。

2.2 区间由多段轨道电路组成时出清延时分析

受ZPW-2000轨道电路传输长度限制,当区间通过信号机至通过信号机的区间闭塞分区长度超过轨道

电路传输长度时,需将闭塞分区划分为多个轨道区段,每个轨道区段单独设置 GJ 继电器。在此多段轨道电路中,运行方向后方轨道区段发送电路中会串入紧邻前方轨道区段的 GJ 继电器前接点。接近分区以两段轨道电路为例,当列车顺向运行,列车先占压 BG,BG_GJ 落下,接近信号机显示红灯,防止后续列车进入接近区段。列车出清 BG,顺向占压 AG,AG_GJ 落下,切断 BG 的发送通道,BG_GJ 依旧落下,接近信号机仍显示红灯,避免后续列车进入接近区段,当列车出清 AG,占用站内区段时,AG_GJ 吸起,BG_GJ 延时吸起,接近信号机根据进站的信号机显示恢复正常点灯^[4-6]。

上述 AG、BG 的 GJ 延时吸起情况如下:列车顺序占用 BG、AG 后,当列车离开 AG,2.8 s 后 AG_QGJ 励磁吸起,2.5 s 后 AG_GJ 励磁吸起;随后 BG 发送通过恢复,2.8 s 后 BG_QGJ 励磁吸起,再 2.5 s 后 BG_GJ 励磁吸起。

综上所述,当由两个轨道区段组成时,闭塞分区占用出清的延时为: $2.8\text{ s} + 2.5\text{ s} + 2.8\text{ s} + 2.5\text{ s} = 10.6\text{ s}$ 。在此基础上每增加一个分割区段,闭塞分区的出清延时将增加 $2.8\text{ s} + 2.5\text{ s} = 5.3\text{ s}$ 。带分割点的轨道区段发送电路如图 6 所示

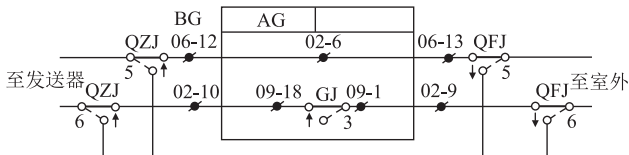


图 6 带分割点的轨道区段发送电路

2.3 站内轨道出清延时分析

站内采用 ZPW-2000 轨道电路时,其轨道延时出清情况与区间一致。当站内采用非 ZPW-2000 轨道电路时,主要考虑以下情况:

(1) 站内采用 25 Hz 相敏轨道电路。站内各轨道区段设置 1 个 GJ 继电器,站内轨道电路采用二元二位轨道继电器或微电子接收器驱动 GJ 继电器,其中微电子接收器驱动时 GJ 继电器缓吸时间为 0.3~0.5 s,二元二位轨道继电器驱动时 GJ 继电器缓吸时间及 GJ 后续带动的 GJF 的动作时间可忽略不计。

(2) 站内采用高压脉冲轨道电路。站内各轨道区段设置 1 个 GJ 继电器,轨道电路接收设备的缓吸时间不大于 2.5 s,GJ 后续带动的 GJF 的动作时间可忽略不计。

根据上述分析可知,站内采用非 ZPW-2000 系列轨道电路时,站内轨道区段的出清延时不大于 0.5 s,按 0.5 s 取值。

2.4 区间继电式逻辑检查延时分析

根据 Q/CR 603-2017《自动闭塞区间继电式逻辑检查技术条件》^[7] 的规定,区间继电式逻辑检查电路是在既有 ZPW-2000 系列自动闭塞电路上叠加能实现区间继电式逻辑检查功能的电路;或 ZPW-2000 系列自动闭塞电路中能实现区间继电式逻辑检查功能的局部电路,该电路可实现逻辑检查区段空闲、区段正常占用、区间故障占用、区段失去分路、占用丢失、逻辑检查区段防护、逻辑检查区段报警灯功能。

当由区间综合监控系统(以下简称“QJK”)实现区间逻辑检查功能时,该系统对闭塞分区逻辑状态由占用变为空闲且保持 3 s 以上则判定为空闲,其主要作用是防止轻车跳动或轨道电路瞬间分路不良,即 QJK 对区间轨道区段设备状态的出清判断需延时 3 s。

QJK 实现逻辑检查时,针对各股道区段驱动 1 个防护继电器(FHJ),当发生占用丢失时通过 FHJ 接点切断轨道区段 GJ 继电器的励磁电路,实现对轨道区段的安全防护,具体电路如图 7 所示。

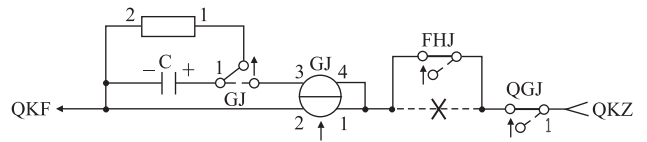


图 7 区间综合监控 FHJ 结合电路图

当列车顺向通过,轨道区段由占用变为空闲时,QJK 设备采集到轨道区段的 QGJ 吸起状态后延时 3 s 判区段空闲,驱动 FHJ 励磁,通过 FHJ 继电器前接点接通 GJ 的励磁电路。当闭塞分区存在多个轨道区段时,仅在该闭塞分区最后方轨道区段的 GJ 励磁电路中串入 FHJ 继电器前接点。

因此在采用 QJK 设备实现区间继电式逻辑检查的线路上,轨道区段正常出清的延时时间如下:

一段轨道电路组成的闭塞分区: $2.8\text{ s} + 3\text{ s} + 2.5\text{ s} = 8.3\text{ s}$ 。

二段轨道电路组成的闭塞分区: $2.8\text{ s} + 2.5\text{ s} + 2.8\text{ s} + 3\text{ s} + 2.5\text{ s} = 13.6\text{ s}$ 。

三段轨道电路组成的闭塞分区: $2.8\text{ s} + 2.5\text{ s} + 2.8\text{ s} + 2.5\text{ s} + 2.8\text{ s} + 3\text{ s} + 2.5\text{ s} = 18.9\text{ s}$ 。

四段轨道电路组成的闭塞分区: $2.8\text{ s} + 2.5\text{ s} + 2.8\text{ s} + 2.5\text{ s} + 2.8\text{ s} + 2.5\text{ s} + 2.8\text{ s} + 3\text{ s} + 2.5\text{ s} = 24.2\text{ s}$ 。

2.5 实际运营场景举例

以成昆铁路复线先锋营站的实际运营情况为例进行分析,区间采用 ZPW-2000A 轨道电路,站内 25 Hz 相敏轨道电路,先锋营站 S 口的接近轨 666G 为两个

分割点的闭塞分区,如图 8 所示。

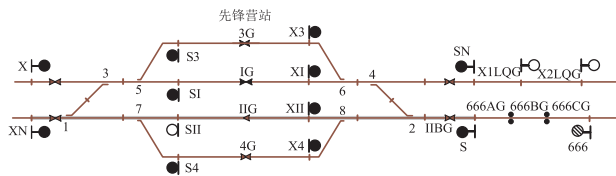


图 8 CG 发送通道检查条件修改图

成昆铁路复线的设计速度为 160 km/h,即通过列车最高速度为 160 km/h。

先锋营站站内 IIBG 的长度为 100 m, 2DG 的长度为 106 m, 8DG 的长度为 76 m。

当列车离开 666AG 完全进入站内后,666G 的 GJ 吸起延时约为: $2.8\text{ s} + 2.5\text{ s} + 2.8\text{ s} + 2.5\text{ s} + 2.8\text{ s} + 3\text{ s} + 2.5\text{ s} = 18.9\text{ s}$ 。

当列车离开 IIBG、2DG、8DG 后, IIBG、2DG、6DG 的 GJ 吸起延时均为: 0.5 s。

列车从离开 666AG 到离开 IIBC 的时间约为:
 $100 \text{ m} \div (160 \text{ km/h} \div 3.6) = 2.3 \text{ s}。$

列车从离开 IIBG 到离开 2DG 的时间约为:106 m
 $\div (160 \text{ km/h} \div 3.6) = 2.4 \text{ s}$ 。

列车从离开 2DG 到离开 6DG 完全进入股道的时间约为: $76 \text{ m} \div (160 \text{ km/h} \div 3.6) = 1.7 \text{ s}$ 。

根据以上计算可知:

666G 的 GJ 吸起晚于 IIBG 的 GJ 吸起时间约为:
 $18.9\text{ s} - 2.3\text{ s} - 0.5\text{ s} = 16.1\text{ s}$ 。

666G 的 GJ 吸起晚于 2DG 的 GJ 吸起时间约为:
 $18.9\text{ s} - 2.3\text{ s} - 0.5\text{ s} - 2.4\text{ s} - 0.5\text{ s} = 13.2\text{ s}_0$

666G 的 GJ 吸起晚于 6DG 的 GJ 吸起(列车完全进入股道)时间约为:18.9 s-2.3 s-0.5 s-2.4 s-0.5 s-1.7 s-0.5 s=11 s。

综上所述,列车以最高运营速度通过车站时,接近区段 666G 出清较站内 8DG 晚 11 s,导致列车占用股道区段,站内咽喉区均出清的情况下,接近轨 666G 仍未出清。

3 接近区段出清晚于站内区段出清产生的主要问题

当接近区段出清晚于进站内方区段出清时,主要产生如下问题:

(1)联锁、CTC、信号集中监测等控制终端显示与列车运行实际不符,对车务人员办理列车进路造成一定的视觉干扰。

(2) 车站联锁、CTC 控显终端与信号集中监测维护终端上接近区段出清时机不一致, 导致信号集中监测系统报警。

(3) 由于部分计算机联锁系统检查接近轨的占用和出清条件,当列车快速通过,站内区段红光带先于接近区段消失时,会造成进路不能正常解锁。

(4) 车站设置区间综合监控设备时, CTC (TDCS) 采集区间轨道继电器 GJ 的接点; 而联锁系统采集区间轨道继电器采用 QGJ 继电器接点, 导致 CTC 接近区段控显光带较联锁接近区段控显光带出现延时出清的情况^[8-11]。

4 解决方案

4.1 进站内方区段设置应有适当的长度

车站设有区间综合监控系统时,若进站口闭塞分区只有一段轨道电路,区间轨道电路出清延时为 8.3 s,进站内方轨道电路出清延时 0.5 s,时间差为 7.8 s,该时间内应保证列车通过进站内方区段,区段长度 L 应不小于如下值:

通过速度 120 km/h 时, $L = (120 \div 3.6) \times 7.8 = 260$ m; 通过速度 160 km/h 时, $L = (160 \div 3.6) \times 7.8 = 346$ m。

4.2 接近区段多段轨道电路之间的逻辑关系调整

当车站接近区段有多段轨道电路时,可通过修改多段轨道电路之间的逻辑关系,使多段轨道电路之间独立显示。若接近区段有 3 个区段,分别为 AG、BG、CG,具体方案如下:

(1) BG 发送通道中不再检查 AG 的 GJ 条件, CG 发送通道中不再检查 BG 的 GJ 条件, CG 及 BG 发送通道检查进站信号机灯丝 1DJ 及 LXJ 条件, 保证进站红灯灯丝断丝时红灯灯光转移及本区段显示占用, 以 CG 发送通道为例, 如图 9 所示。

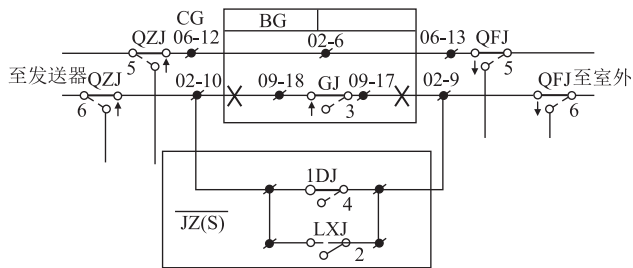


图9 CG 发送通道检查条件修改图

(2) 修改 CG 发码电路,在 CG 发码电路串入 BG、AG 的串联条件,当列车出清 CG 压入前方 BG、AG 时,CG 轨道电路有车占用时由原无码改为发检测码,如图 10 所示。同理,BG 发码电路串入 AG 的条件,BG 轨道电路有车占用时由原无码改为发检测码。

(3)修改防护信号机点灯电路图。以接近区段由3段轨道电路组成为例,原点灯电路中只串接有CG₁

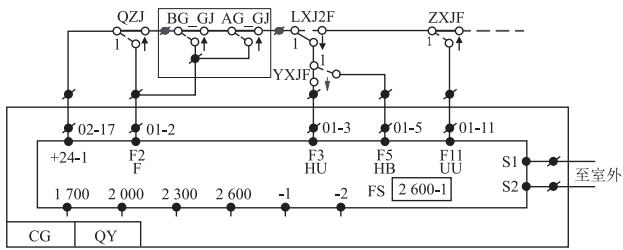


图 10 CG 发码电路修改图

GJF 继电器的前接点条件,修改后,在原点灯电路 DJ 励磁电路、2DJ 励磁电路及回线电路中串入 AG_GJF、BG_GJF 的串联条件,当接近区段 AG、BG、CG 任意一个区段占用时,接近信号机均可点亮红灯,以防止后续列车进入。信号机点灯电路修改如图 11 所示。

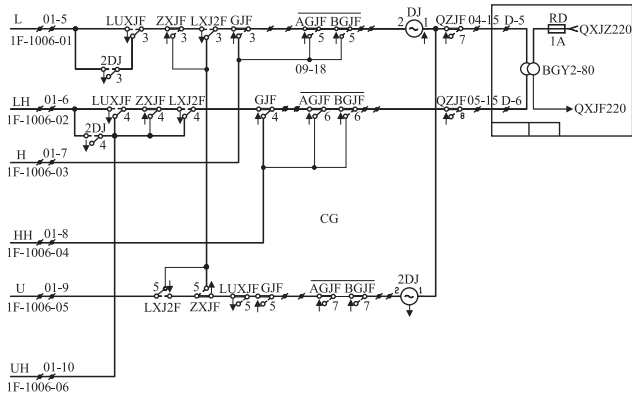


图 11 信号机点灯电路修改图

(4)修改 TDCS/CTC 采集电路,使闭塞分区显示为 AG、BG、CG 的 GJ 的串接条件。

修改接近区段多段轨道电路之间的逻辑关系后,接近区段出清总延时为:2.8 s + 2.5 s + 3 s = 8.3 s,同进站口闭塞分区只有一段轨道电路的延时时间相同,进站内方区段设计合适长度即可保证控制台显示与列车运行实际一致。

4.3 CTC 控显延时出清的软件处理方案

部分线路在工程实施的过程中,为避免出现接近区段出清晚于站内区段出清的问题,车站 CTC 软件采用“延时 10 s”给出进站内方区段出清的方案。在车站设有区间综合监控系统时,该方案可以解决进站口闭塞分区只有一个区段的情况,进站口闭塞分区有多个区段时,仍会存在接近区段出清晚于站内区段出清的现象。

此外,为保证联锁、CTC(TDCS)、信号集中监测等控显终端显示的一致性,在满足相关技术要求的情况下,各信号系统统一采集轨道继电器 GJ(GJF)的继电器接点。

5 结论

本文对接近区段出清晚于站内区段出清的原因进行了分析,并提出了解决方案以供探讨,在实施过程中应根据车站具体情况采用相适应的方案。在接近闭塞分区只有一段轨道电路的情况下,结合设计速度,可采取加大站内区段设计长度或车站 CTC 软件对进站内方区段出清延时的方案;当接近闭塞分区有多段轨道电路的情况下,需要修改接近区段多段轨道电路之间的逻辑关系。结合设计速度,采取加大站内区段设计长度或车站 CTC 软件对进站内方区段出清延时的方案。

本文所述的解决方案,采用修改外部电路的思路。在车站接近区段有多段轨道电路时,通过修改多段轨道电路之间的逻辑关系、修改发码电路、修改点灯电路等手段,该方案工程造价低且实施周期短,避免了修改信号系统软件所带来的修改周期长、工程造价高的问题,在成昆铁路复线信号区间自动闭塞工程中得到了成功应用,有效解决了车站接近区段在联锁、CTC、信号集中监测的控显上出清不一致的问题。

参考文献:

[1] TB/T 3090-2004 25 Hz 相敏轨道电路微电子接收器[S].
TB/T 3090-2004 25 Hz Phase Detecting Track Circuit Micro-electronic Receiver[S].
[2] TB/T 3553-2019 轨道电路系统:不对称高压脉冲轨道电路[S].
TB/T 3553-2019 Track Circuit System: Asymmetrical High-voltage Impulse Track Circuit System[S].
[3] TB/T 3532-2018 ZPW-2000 轨道电路设备[S].
TB/T 3532-2018 ZPW-2000 Track Circuit Equipment[S].
[4] TB/T 3060-2016 机车信号信息定义及分配[S].
TB/T 3060-2016 Cab Signaling Message Definition and Allocation[S].
[5] TB/T 3206-2017 ZPW-2000 轨道电路技术条件[S].
TB/T 3206-2017 Technical Specification for ZPW-2000 Track Circuit[S].
[6] 于晓泉. 关于高速铁路联锁延时解锁的探讨[J]. 铁路通信信号工程技术, 2019, 16(2): 1-6.
YU Xiaquan. Discussion on Interlocking Time Delay Release of High Speed Railway[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2019, 16(2): 1-6.
[7] Q/CR 603-2017 自动闭塞区间继电器式逻辑检查技术条件[S].
Q/CR 603-2017 Technical Conditions for Relay-based Logic Check in Automatic Block Section[S].
[8] 许殿君. 调度集中系统测试范围自动分析研究[J]. 铁路通信信号工程技术, 2019, 16(6): 55-57, 65.
XU Dianjun. Research on Automatic Analysis of Centralized Traffic Control Test[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2019, 16(6): 55-57, 65.

(下转第 91 页)

路。第二,在交路的选择中,不仅要考虑单个列车的运行情况,更要关注整体。算法会对当前列车的前序列车交路进行分析,并在选择当前列车交路时,尽量减少对前序列车交路的影响,避免出现设备反复调转的情况,从而提高运行效率。

3 结束语

在“提质增效”的大背景下,合理的交路选择算法是提高轨道交通运行效率的有效手段。本文将信号设备拓扑结构和属性信息以静态数据的形式,通过图机器学习方法,进行节点重要度分析。依据节点的重要度,给出了一种交路选择算法,为交路选择提供了一种参考方案。

参考文献:

[1] 发改产业[2017]2000 号,增强制造业核心竞争力三年行动计划[S].
Fa Gai Chan Ye[2017]No 2000, Three-year Action Plan to Enhance the Core Competitiveness of the Manufacturing Industry [S].
[2] 李国芳,郭少琛,瞿何舟.城市轨道交通 Y 型交路快慢车停站方案优化[J].综合运输,2023,45(2):60-65.
LI Guofang, GUO Shaochen, QU Hezhou. Optimization of Stop Scheme for Urban Rail Transit Based on Y-type Routing with Express and Local Train[J]. China Transportation Review, 2023, 45(2): 60-65.
[3] 韩嘉.基于客流时空分布特性的南宁轨道交通 1 号线列车运行图交路优化[J].城市轨道交通研究,2023,26(2):51-54.

HAN Jia. Optimization of Nanning Rail Transit Line 1 Train Diagram Routing Based on Passenger Flow Spatial Temporal Distribution Characteristics[J]. Urban Mass Transit, 2023, 26(2): 51-54.
[4] 翁顺,吴俐滢,朱宏平,等.基于模糊聚类的高速列车车速识别[J].高速铁路技术,2022,13(4):13-23,29.
WENG Shun, WU Liying, ZHU Hongping, et al. Speed Recognition of High-speed Train Based on Fuzzy Clustering [J]. High Speed Railway Technology, 2022, 13(4): 13-23, 29.
[5] XU Yong, Xin JIA, WANG Zhe, et al. Transit Network Models and Optimal Path Selection Algorithm for the Integrated Bus and Subway System [J]. CAAI Transactions on Intelligent Systems, 2015, 10(3):482-487.
[6] 支瑞聪,万菲,张德政.零样本图学习综述[J].计算机系统应用,2022,31(5):1-20.
ZHI Ruicong, WAN Fei, ZHANG Dezheng, Overview on Graph-based Zero-shot Learning [J]. Computer System and Applications, 2022, 31(5):1-20.
[7] 汤曦,王义.基于统一坐标系的多源数据入库方法设计[J].高速铁路技术,2022,13(6):52-56.
TANG Xi, WANG Yi. Design of a Method for Multi-source Data Warehousing Based on the Unified Coordinate System[J]. High Speed Railway Technology, 2022,13(6):52-56.
[8] 朱莹莹,王英波.信号设备数据配置工具在 CBTC 中的研究与实现[J].铁路通信信号工程技术,2019,16(9):61-64.
ZHU Yingying, WANG Yingbo. Research and Implementation of Signal Equipment Data Configuration Tool in CBTC System [J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2019, 16(9): 61-64.

(上接第 52 页)

[9] 宋盼,徐秀兰.高压脉冲轨道电路和 25Hz 轨道电路时间特性匹配解决方案[J].铁路通信信号工程技术,2019,16(7):89-92.
SONG Pan, XU Xiulan. Solution to Time Characteristic Matching Problem of High-voltage Pulse Track Circuit and 25 Hz Phase-sensitive Track Circuit [J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2019, 16(7): 89-92.
[10] 高俊明,李明兵,唐乾坤,等.400 km/h 高速铁路 ZPW-2000 轨道电路器材适应性研究[J].高速铁路技术,2022,13(1):83-

88.
GAO Junming, LI Mingbing, TANG Qiankun, et al. Study on Adaptability of ZPW-2000 Track Circuit Equipment for 400 km/h High-speed Railway [J]. High Speed Railway Technology, 2022, 13(1): 83-88.
[11] 马建忠.高速铁路区间轨道电路“红光带”故障处置方法与研究[J].高速铁路技术,2019,10(6):49-53.
MA Jianzhong. Research and Treatment Method of “Red Light Band” Fault in Section Track Circuit of High Speed Railway[J]. High Speed Railway Technology, 2019, 10(6): 49-53.