

地铁联络线供电回流模式转换方案设计

王键波 陈青云 吴 炼

(绍兴市轨道交通集团有限公司, 312099, 绍兴)

摘 要 [目的]用联络线连接的地铁线路间有可能采用不同的供电回流模式。为提高列车过轨效率,须在联络线内设置回流模式转换段,并对回流模式转换方案进行设计,设计方案应满足使用走行轨与回流轨回流的需求。[方法]以绍兴地铁 1 号线(以下简称“1 号线”)、绍兴地铁 2 号线(以下简称“2 号线”)一期工程为例,介绍了这 2 条线路的概况及联络线的具体情况。从运营条件、经济性、工程可实施性等方面,针对联络线内供电回流模式转换提出了 3 个设计方案(方案一、方案二及方案三),分别对这 3 个方案进行了优缺点分析。[结果及结论]推荐采用方案三。方案三不仅可以有效解决列车动力损失的问题,减小 2 条线路之间产生电气导通、串流的可能性,还可以优化转线过轨流程,提高列车转线过轨效率。

关键词 城市轨道交通; 供电回流模式; 联络线; 专用回流轨; 接触网

中图分类号 U224.2⁺6

DOI:10.16037/j.1007-869x.2024.09.031

Conversion Scheme Design of Power Supply Return Mode for Metro Connection Lines

WANG Jianbo, CHEN Qingyun, WU Lian

(Shaoxing Rail Transit Group Co., Ltd., 312099, Shaoxing, China)

Abstract [Objective] The metro lines connected by connection line may adopt different power supply current return modes. In order to improve the efficiency of train line transfer, it is necessary to set up the return mode conversion section within the connection line and design the return mode conversion scheme, which shall meet the demand of using the running rail and the return rail to return current. [Method] With Shaoxing Metro Line 1 (hereinafter referred to as "Line 1") and the first phase project of Shaoxing Metro Line 2 (hereinafter referred to as "Line 2") as examples, the overview of the two lines and details of the connection line are introduced. From the aspects of operation conditions, economy and engineering feasibility, three design schemes (Scheme 1, Scheme 2 and Scheme 3) for the power supply return mode conversion within the connection line are proposed, and their advantages and disadvantages are analyzed respectively. [Result & Conclusion]

Scheme 3 is recommended. It can not only effectively solve the problem of train power loss, reduce the possibility of generating electrical conduction and foreign current between the two lines, but also optimize the train line transfer process and improve the efficiency.

Key words urban rail transit; power supply return mode; connection line; specific current return rail; catenary

随着城市轨道交通线网密度的提高,城市土地资源愈发紧张,共用车辆段资源的必要性愈发凸显,联络线的研究及应用也备受关注。部分地铁新建线路(如成都地铁 10 号线)通过联络线,将新线列车转运至既有车辆段内进行列车的定临修、周月检等维保作业,部分地铁线路(如重庆轨道交通环线和 4 号线)直接利用联络线实现线间的互联互通。本文以绍兴地铁 1 号线(以下简称“1 号线”)、绍兴地铁 2 号线(以下简称“2 号线”)一期工程为例,从运营条件、经济性、工程可实施性等方面对联络线内供电回流模式转换方案进行设计。

1 工程概况

1.1 线路的工程概况

1 号线(含柯桥段)全长 47.1 km,有 28 座车站,设车辆段 1 座(万绣路车辆段)、停车场 1 座(鉴湖停车场)。1 号线的配线示意图如图 1 所示。

2 号线一期工程初步设计按照 GOA4(无人干预列车运行)设计,采用 UTO(无人值守的列车自动运行)模式。该线全长 10.8 km,有 9 座车站^[1](其中镜湖站由 1 号线建设),设车辆段 1 座(袍江车辆段),其出入段线与海南路站接轨。该线设主变电所 2 座,分别为奥体(镜湖)主变电所(与 1 号线共享,由 1 号线建设)、袍江两湖主变电所(与 5 号线共享)。2 号线一期工程采用 DC 1 500 V 架空接触网授流,专用回流轨回流。2 号线接入 1 号线镜湖运营控制中心,由镜湖运营控制中心管理。2 号线一期工程的配线示意图如图 2 所示。

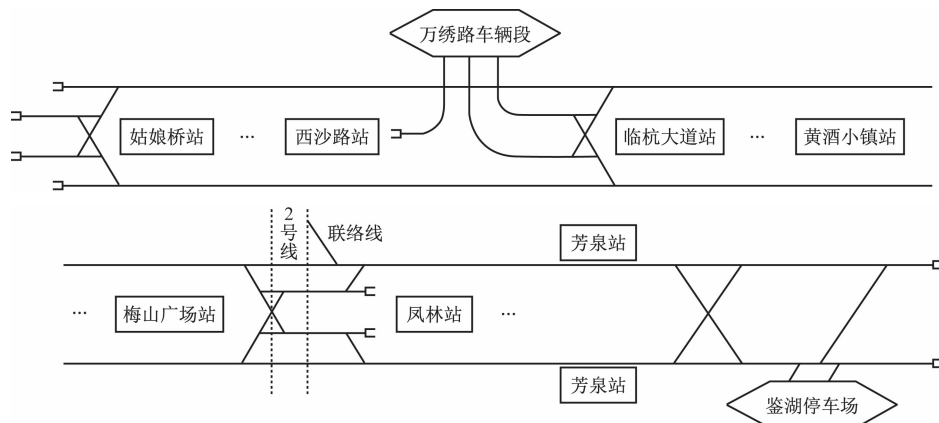


图1 1号线配线示意图

Fig. 1 Wiring diagram of Line 1

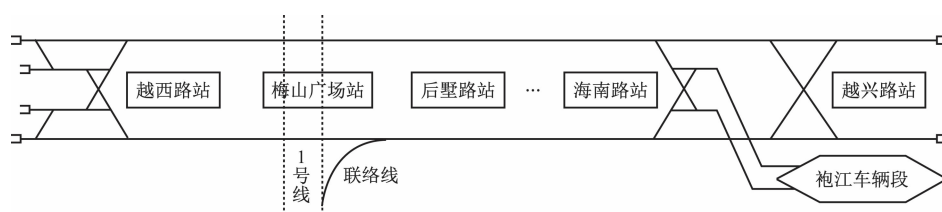


图2 2号线一期工程配线示意图

Fig. 2 Wiring Diagram of Phase I Project of Line 2

因规划调整,2号线一期工程对线路资源进行进一步的整合优化:缓建袍江车辆段,在海南路站—越兴路站区间内增设线上停检线(包括3个日检列位、1个周月检列位),通过联络线共享1号线万绣路车辆基地资源,以满足2号线一期车辆临修、定修等需求。

1.2 联络线供电回流模式转换方案设计的必要性

由于2号线一期工程车辆段缓建,2号线列车的年检、镟轮、大架修场所及工程车停放场所均为1号线万绣路车辆段,由此,列车转场至万绣路车辆段、工程车运行至2号线正线实施检修等工作均需通过1号线、2号线的线间联络线。与设有场段的线路相比,2号线列车往返经过该联络线的频次较高。

为了从根本上杜绝杂散电流的危害^[2-5],2号线采用了专用轨回流制式,即:变电所通过接触网供电,杂散电流通过第四轨回流至变电所。但由于1号线采用走行轨回流制式,二者回流制式的不同导致2号线列车在1号线行驶时,必须先在联络线上将回流模式切换为走行轨回流模式。为此,需要对不同回流制式下地铁联络线的供电回流模式转换方案进行设计。

2 回流模式转换的设计方案

为了满足列车在1号线、2号线联络线间回流模式转换的需求,在联络线内设置了回流模式转换段。该转换段可以同时满足列车采用专用轨回流、走行轨回流2种模式的要求,保证不同线路或不同供电分区的电气隔离要求。转换段设置是列车回流模式转换设计中不可缺少的部分^[6]。

采用转换段的直接目的是实现列车自身回流模式的转换,但最终目标是为了让列车能够进入与2号线供电系统完全独立的1号线供电系统。回流模式转换段长度应小于联络线长度,在转换段内增加的设备主要有接触网绝缘分段器、钢轨绝缘节及专用回流轨断口。其中:接触网绝缘分段器须设在联络线内,且通常位于转换段中间位置。

本文提出了3个设计方案,这3个方案的不同之处在于如何设置钢轨绝缘节(以下简称“绝缘节”)。确定了绝缘节的位置,即可进一步确定专用回流轨等设备的布设方案。

2.1 方案一 绝缘节对齐接触网绝缘分段设置

方案一为绝缘节对齐接触网绝缘分段设置,即:在联络线中间位置处设置绝缘节,专用回流轨布设至绝缘节处,2号线在联络线内设有单向导通

装置,允许列车在需要时应急切换至走行轨回流模式。接触网绝缘分段、绝缘节及回流轨断口的位置保持一致。方案一的设备布置示意图如图3所示。

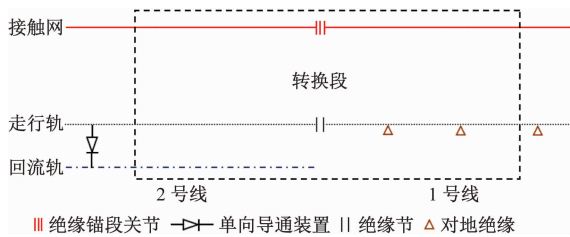


图3 方案一设备布置示意图

Fig. 3 Equipment layout diagram of Scheme 1

2.1.1 2号线往1号线方向的列车牵引制动分析

1) 在列车制动运行至绝缘节位于两个受电弓之间的过程中,再生制动生效,此时列车回流模式为回流轨回流。当列车的第一个受电弓越过绝缘分段后,列车前半部分的回流靴无法回流,再生制动失效。

2) 列车停车后切换信号制式及回流制式,将回流制式切换为走行轨回流。列车完成切换后启动牵引。2号线部分电流通过轨道、道床,经过单向导通装置回到回流轨,其电流流向如图4所示。此时由于部分电流通过道床回流到回流轨,会产生一些杂散电流。

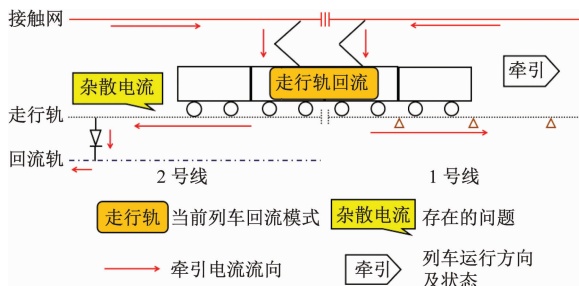


图4 方案一下2号线往1号线方向列车牵引的电流流向

Fig. 4 Current flow direction of train traction from Line 2 to Line 1 under Scheme 1

2.1.2 1号线往2号线方向的列车牵引制动分析

1) 在列车制动运行至绝缘节位于两个受电弓之间的过程中,再生制动生效,此时列车回流模式为走行轨回流。当列车的第一个受电弓越过绝缘分段后,列车前半部分的再生制动电流与牵引电流相反,2号线方向走行轨与回流轨间的单向导通装置不允许再生电流通过,列车前半部分的再生制动失效。

2) 列车停车后切换信号制式及回流制式,将回

流制式切换为回流轨回流。列车完成切换后启动牵引。因1号线侧无回流轨,列车后半部分无法回流,因此,列车将损失一半牵引动力。列车后半部分受电弓过绝缘分段后,列车后半部分电气回路导通,牵引动力恢复正常。

2.1.3 优缺点分析

方案一的优点为:结构简单,管理界面划分清晰。

方案一的缺点为:列车在交界面处制动时,会有半列车的再生制动失效,导致闸瓦使用更频繁,增加了闸瓦磨耗;列车在交界面处向2号线方向牵引时,将损失一半牵引动力;走行轨回流模式下列车在2号线的部分将产生杂散电流;由于1号线和2号线走行轨通过绝缘节直接连接,列车经过时不可避免会短暂导通,将少许1号线的迷流导入2号线。

2.2 方案二 绝缘节靠2号线设置

方案二为绝缘节靠2号线设置,即:绝缘节设置在2号线侧,1号线侧的轨道需绝缘铺设。为了使列车在转换段内使用两种回流模式时均不产生动力损失,转换段内需全部敷设专用回流轨;转换段内回流轨不应受到2号线电流的影响,须设单向导通装置,与2号线做单向隔离。单向导通装置与绝缘节对齐,通道内回流轨通过电连接直接连通走行轨。方案二的设备布置示意图如图5所示。

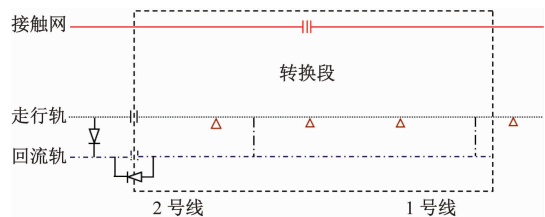


图5 方案二设备布置示意图

Fig. 5 Equipment layout diagram of Scheme 2

2.2.1 2号线往1号线方向的列车牵引制动分析

1) 在列车制动运行至绝缘分段位于两个受电弓之间的过程中,再生制动生效,此时列车回流模式为回流轨回流。由于联络线回流轨与2号线回流轨通过单向导通装置连接,列车第一个受电弓进入转换段后,部分再生制动失效。列车两个受电弓均进入转换段后,全车再生制动失效。方案二下2号线往1号线方向列车制动的回流示意图如图6所示。

2) 列车停车后切换信号制式及回流制式,将回

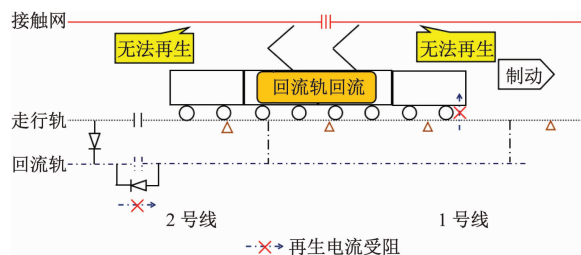


图6 方案二下2号线往1号线方向列车制动的回流示意图
Fig. 6 Schematic diagram of the current return of train braking from Line 2 to Line 1 under Scheme 2

流制式切换为走行轨回流。列车完成切换后启动牵引。当绝缘分段位于列车两个受电弓之间时,列车前半部分与列车后半部分的牵引电流分别来自1号线和2号线。后车受电弓通过绝缘分段后,全车的牵引电流均来自1号线。

2.2.2 1号线往2号线方向的列车牵引制动分析

1) 在列车制动运行至绝缘分段位于两个受电弓之间的过程中,再生制动生效,由于此时列车回流模式为走行轨回流。当列车前半部分受电弓过绝缘分段后,再生电流无法通过单向导通装置,列车前半部分再生制动失效。

2) 列车停车后切换信号制式及回流制式,回流制式切换为走行轨回流。列车完成切换后启动牵引。2号线侧的牵引电流直接通过回流轨回流,1号线侧的牵引电流通过走行轨连通回流轨回流。方案二下1号线往2号线方向列车牵引的电流流向如图7所示。

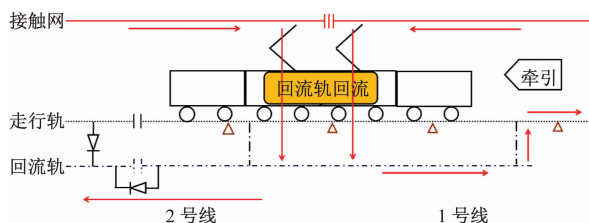


图7 方案二下1号线往2号线方向列车牵引的电流流向
Fig. 7 Current flow direction of train traction from Line 1 to Line 2 under Scheme 2

2.2.3 优缺点分析

方案二的优点为:两个运行方向的牵引均不会损失动力;理论上不会因为切换走行轨回流导致在2号线产生杂散电流。

方案二的缺点为:设备界面较复杂,会产生管理界面划分问题;2号线侧再生制动失效,增加列车的闸瓦磨损;1号线和2号线走行轨通过绝缘节直

接连接,列车经过时不可避免会短暂导通,将少许1号线的杂流导入2号线。

2.3 方案三 两侧均设绝缘节

方案三为两侧均设绝缘节,即:在转换段两侧均设置绝缘节,使转换段钢轨成为1号线钢轨(对地绝缘)与2号线钢轨(直接接地)的过渡段。方案三基本杜绝了1号线杂散电流扩散至2号线的可能性,转换段内回流轨全部铺设,通过单向导通装置与通道内的走行轨连接。此外,为了便于设备界面划分及设备运营维护管理,将接触网绝缘分段设置到转换段1号线侧,与绝缘节对齐。方案三的设备布置示意图如图8所示。

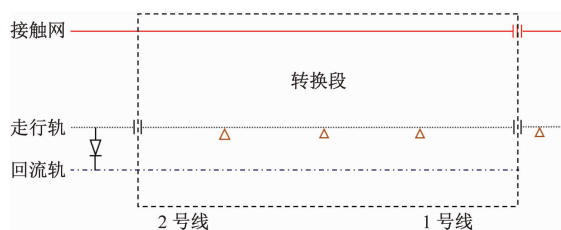


图8 方案三设备布置示意图
Fig. 8 Equipment layout diagram of Scheme 3

2.3.1 2号线往1号线方向的列车牵引制动分析

1) 在列车制动运行至停在转换段的过程中,再生制动生效,由于此时列车回流模式为回流轨回流,全车再生制动正常生效。方案三下2号线往1号线方向列车制动的回流示意图如图9所示。

2) 列车停车后切换信号制式及回流制式,将回流制式切换为走行轨回流。列车完成切换后启动牵引。牵引电流由走行轨通过回流轨回到2号线变电所。受电弓过绝缘分段后,牵引电流来自1号线。

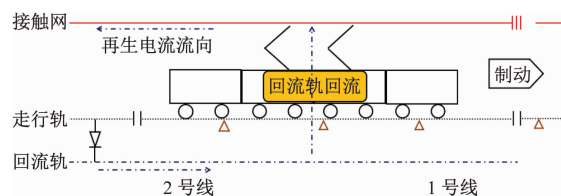


图9 方案三下2号线往1号线方向列车制动的回流示意图
Fig. 9 Schematic diagram of the current flow of train braking from Line 2 to Line 1 under Scheme 3

2.3.2 1号线往2号线方向的列车牵引制动分析

1) 在列车制动运行至停在两个绝缘节中间的过程中,再生制动生效,此时列车回流模式为走行轨回流。由于再生电流无法通过回流轨流向走行轨,列车前半部分受电弓越过绝缘分段后,再生制

动失效。当两个受电弓均越过绝缘分段后,全车再生制动失效。

2) 列车停车后切换信号制式及回流制式,将回流制式切换为走行轨回流。列车完成切换后启动牵引。牵引电流通过回流轨直接回到 2 号线,列车不会发生失去动力等情况。

2.3.3 优缺点分析

方案三的优点为:不损失动力,1 号线与 2 号线轨道间有一段独立且绝缘的轨道作为过渡。相比方案一、方案二,方案三能减少发生打火的概率,同时两线轨道中间用一段轨道隔开,可以减少 1 号线杂散电流扩散到 2 号线的可能性。此外,方案三设备管理界面较清晰,便于运营管理。

方案三的缺点为:1 号线往 2 号线方向运行时,列车存在再生制动失效的情况。

2.4 方案比选结果

相比于方案一与方案二,方案三有效解决了列车动力损失的问题,并隔绝两条线路的走行轨,尽可能减小了 1 号线和 2 号线之间产生电气导通、迷路的可能性。本文推荐采用方案三。

3 结语

本文推荐的方案三将联络线转换段的轨道绝缘铺设,在两端设置绝缘节,可以防止列车过轨时可能产生的电气导通问题,尽可能杜绝 1 号线的杂散电流扩散至 2 号线。通过设置单向导通装置,列车在转换段内可以适应两种回流模式,列车停在转换段内即可实现回流模式的切换,过联络线时不必精确对标停车。因此,方案三可优化过轨流程,提高通过联络线的效率。结合高铁上搭载的成熟的列车自动过分相技术原理,可以进一步在列车不停车情况下实现回流模式的自动转换。

参考文献

- [1] 荀学登,杨琛,芮胜利,等. 深厚软土地区地铁工程施工关键技术研究:以绍兴市轨道交通 2 号线一期工程土建施工 4 标

段为例[J]. 中国建材科技, 2021, 30(2): 122.

GOU Xuedeng, YANG Chen, RUI Shengli, et al. Research on key technology of metro construction in deep soft soil area—Taking civil construction section 4 of Shaoxing rail transit line 2 phase I project as an example[J]. China Building Materials Science & Technology, 2021, 30(2): 122.

- [2] 成吉安. 城市轨道交通专用回流轨牵引供电技术方案研究[J]. 城市轨道交通研究, 2019, 22(9): 143.
CHENG Ji'an. Traction power supply scheme for urban rail transit special return rail[J]. Urban Mass Transit, 2019, 22(9): 143.
- [3] 黄江伟,李守杰,王龙. 城市轨道交通专用轨回流供电系统设计与应用[J]. 城市轨道交通研究, 2022, 25(1): 193.
HUANG Jiangwei, LI Shoujie, WANG Long. Design and application of special rail return current power supply system in urban rail transit[J]. Urban Mass Transit, 2022, 25(1): 193.
- [4] 吴飞,刘肖,孔锴,等. 杂散电流对地铁周围的危害及防治[J]. 建筑技术, 2021, 52(8): 966.
WU Fei, LIU Xiao, KONG Kai, et al. Harm of stray current to surrounding area of metro and prevention thereof[J]. Architecture Technology, 2021, 52(8): 966.
- [5] 喻奇. 地铁专用回流轨牵引供电系统应用方案[J]. 城市轨道交通研究, 2021, 24(1): 37.
YU Qi. Research on application scheme of traction power supply system with special return conductor rail for metro[J]. Urban Mass Transit, 2021, 24(1): 37.
- [6] 李金龙,王正. 专用轨回流与走行轨回流模式联络线转换设置方案[J]. 电力系统装备, 2020(7): 64.
LI Jinlong, WANG Zheng. Connecting line conversion scheme of special rail return and running rail return mode[J]. Electric Power System Equipment, 2020(7): 64.
- [7] 左超,靳佩跃,吕文博. 专用轨回流模式转换段方案研究[J]. 电气化铁道, 2020, 31(增刊 1): 150.
ZUO Chao, JIN Peiyue, LYU Wenbo. Study on the scheme of transition section of return mode of dedicated rail[J]. Electric Railway, 2020, 31(S1): 150.

· 收稿日期:2022-09-29 修回日期:2022-12-30 出版日期:2024-09-10
Received:2022-09-29 Revised:2022-12-30 Published:2024-09-10
· 通信作者:王键波,助理工程师,1124331425@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

欢迎订阅《城市轨道交通研究》

服务热线 021—56830728 转 821