

接触轨供电制式下专用轨回流 方案研究

孙建军¹, 邢春阳¹, 兰慧峰¹, 李国玉¹, 李传辉², 黄齐来²

(1. 青岛地铁集团有限公司, 山东青岛 266045; 2. 北京城建设计发展集团股份有限公司, 北京 100037)

摘要: 国内已有城市轨道交通工程采用架空接触网供电、专用轨回流解决杂散电流泄漏问题, 但目前尚无接触轨供电制式下的专用轨回流应用案例。基于接触轨供电制式, 提出4种专用轨回流方案, 从对区间设备的影响、车辆回流、线路网络化运营、供电系统继电保护、安全性和成本效益等方面, 通过定量、定性的方法分别对4种专用轨回流方案进行分析评价, 论述各个方案的可行性和优缺点。最终提出推荐的基于接触轨供电制式下的专用轨回流方案, 并总结专用轨回流对其他专业的影响。

关键词: 城市轨道交通; 接触轨; 专用轨回流; 设置方案; 综合评价

中图分类号: U231

文献标志码: A

文章编号: 1672-6073(2025)01-0142-07

Research on Dedicated Rail Return Current Schemes Based on Contact Rail Power Supply Traction Systems

SUN Jianjun¹, XING Chunyang¹, LAN Hui Feng¹, LI Guoyu¹, LI Chuanhui², HUANG Qilai²

(1. Qingdao Metro Group Co., Ltd., Qingdao, Shandong 266045;

2. Beijing Urban Construction Design & Development Group Co., Ltd., Beijing 100037)

Abstract: The urban rail transit projects in China have adopted overhead contact system power supply and dedicated rail return current scheme to solve the problem of stray current leakage. However, there are currently no applications of dedicated rail return under contact rail power supply systems in China. This article proposes four dedicated rail return current schemes based on the contact rail power supply systems. It analyzes and evaluates these four schemes through quantitative and qualitative methods, considering aspects such as equipment impact, vehicle current return, networked operation of lines, power supply system protection, safety, and cost-effectiveness. It discusses the feasibility, advantages, and disadvantages of each scheme, and ultimately recommends a dedicated rail return scheme based on the contact rail power supply system. Finally, it proposes a recommended dedicated rail return scheme based on the contact rail power supply system, and summarizes the impact of dedicated rail return on other disciplines.

Keywords: urban rail transit; contact rail; dedicated rail return current; reflux scheme; comprehensive evaluation

1 研究背景

传统城市轨道交通直流牵引供电系统采用接触轨或架空接触网供电、走行轨回流的方式。对于走行轨

兼做回流轨而言, 易受施工、环境等因素的影响, 其对地的绝缘性能普遍未达到《地铁杂散电流腐蚀防护技术标准》(CJJ/T49—2020)中提出的过渡电阻不小于 $15 \Omega \cdot \text{km}$ 的标准^[1-2], 列车运行时势必会产生杂散电流泄

收稿日期: 2024-03-12 修回日期: 2024-06-05

第一作者: 孙建军, 男, 硕士, 高级工程师, 从事城市轨道交通供电工作, 18766265308@126.com

基金项目: 2023年度北京市科技服务业专项(20230467182)

引用格式: 孙建军, 邢春阳, 兰慧峰, 等. 接触轨供电制式下专用轨回流方案研究[J]. 都市轨道交通, 2025, 38(1): 142-148.

SUN Jianjun, XING Chunyang, LAN Hui Feng, et al. Research on dedicated rail return current schemes based on contact rail power supply traction systems[J]. Urban rapid rail transit, 2025, 38(1): 142-148.

漏,引起地铁结构钢筋和沿线市政管道腐蚀等危害^[3-5]。

城市轨道交通直流供电系统中杂散电流腐蚀防护原则主要以抑制杂散电流产生、减少杂散电流向地铁外部扩散为主^[6],但现有杂散电流防护措施无法有效抑制杂散电流的泄漏。从国内外对杂散电流腐蚀防护的研究成果来看,采用专用轨回流是一种有效的解决方案^[7-8],已在国内外城市轨道交通线路中有成熟的应用案例,如伦敦 Jubilee Line 采用侧部接触轨供电+底部专用轨回流方式;温哥华 Millennium Line 采用同侧布置接触轨供电+专用轨回流方式;宁波轨道交通 4 号线、6 号线,郑州轨道交通 17 号线,绍兴地铁 2 号线等地铁线路采用架空接触网供电+专用轨回流方式。

国内青岛、武汉、无锡等城市的城市轨道交通以接触轨作为正极,国外城市轨道交通线路采用接触轨供电+专用轨回流方案,但其供电电压等级和车辆转向架结构均与国内地铁线路存在较大差异,无法直接适配应用。因此,本文基于接触轨供电为前提,提出 4 种专用轨回流方案,通过对各方案分析评价,为后续接触轨供电制式的城市轨道交通线路中专用轨回流技术的应用提供参考依据。

2 专用轨回流方案影响因素

结合国内外专用轨已实施方案,按照专用轨设置位置不同,提出 4 种适用于接触轨供电方式的专用轨回流方案,如图 1 所示。结合城市轨道交通系统的

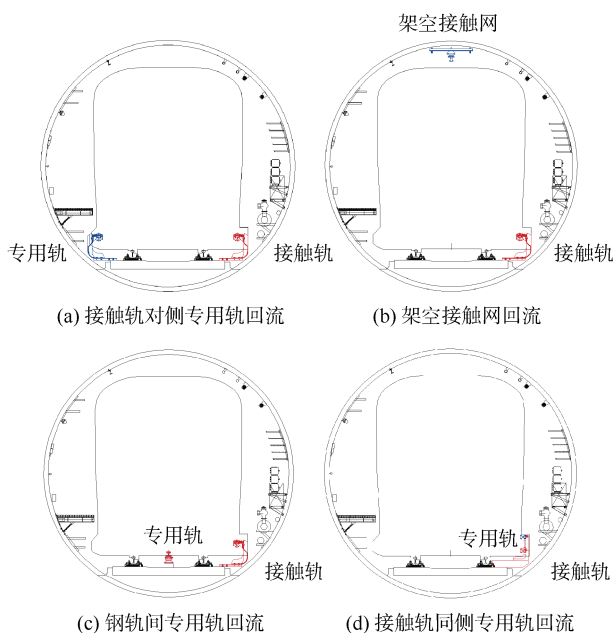


图 1 专用轨回流方案示意

Figure 1 Schematic diagram of dedicated rail return current scheme

特点和工程实践经验,提出影响专用轨回流方案的主要因素。

1) 对区间设备系统的影响。城市轨道交通轨行区内设有不同专业的设备及管线,轨行区增设专用轨后,需要考虑专用轨是否会对轨行区的设备布置(如信号应答器、区间环网电缆等)产生影响。

2) 对车辆回流的影响。传统城市轨道交通供电系统利用钢轨回流,全线钢轨连续设置能够保证车辆连续回流;而对于专用轨回流方式,由于专用轨布置受道岔区、人防门等特殊位置的限限制,无法连续布置,需要在特殊位置断开专用轨,使得专用轨布置不连续,可能导致车辆局部区段电流无法回到变电所负极,列车失去动力,影响车辆正常运行。因此,需要考虑专用轨布置是否对车辆回流造成影响。

3) 对网络化运营的影响。随着城市线网快速建设,轨道交通线路由单线运营向网络化运营发展,为了充分利用轨道交通资源提升运营效率,更多的城市提出线路间互联互通、架修资源共享的需求。因此,需要考虑专用轨回流的列车、结构、限界和回流模式转换等方面是否对网络化运营造成影响。

4) 对供电系统继电保护的影响。供电系统采用专用轨回流后,负极对地绝缘性能大幅提高,需要考虑供电系统继电保护产生的影响及保护配置的优化。

5) 安全性分析。城市轨道交通供电系统的回流方式发生变化,需对专用轨回流对供电系统安全性影响进行分析评估。

6) 成本效益分析。城市轨道交通供电系统采用专用轨回流后,对轨道交通系统不同专业产生影响,建设投资变化,需要对建设过程的成本进行分析。

综合以上 6 个方面,本文对提出的 4 种专用轨方案进行逐一分析,论证各个方案的可行性及优缺点。

3 专用轨回流方案分析

接触轨授流方式主要分为上部授流、下部授流、侧部授流。目前,国内采用接触轨供电制式的线路大多数采用下部授流接触轨供电方式,接触轨在人防门、道岔、车站电分段等地均设置断口^[9-10]。因此,以下部授流接触轨供电制式为例,对所提出的 4 种专用轨回流方案进行分析研究。

3.1 对侧专用轨回流方案

本方案在接触轨对侧设置专用轨,均采用下部授流方式,专用轨安装几何尺寸、设备选型与接触轨一致。结合提出的影响因素对本方案进行可行性评价分析。

1) 对区间设备系统的影响。供电系统采用走行轨回流制式时，接触轨通常布置在线路一侧，同时为保证车辆连续受电，在车辆转向架两侧设置集电靴，如图 2 所示。

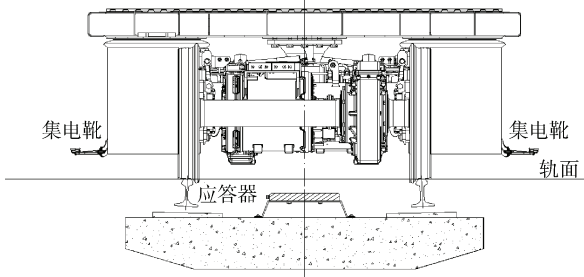


图 2 车辆转向架集电靴位置示意

Figure 2 Schematic diagram of the position of the collector shoes on the train bogie

采用本节提出的专用轨回流方案时，车辆两侧对称布置正极接触轨和负极专用轨，并将车辆两侧集电靴极性调整为“一正一负”，与接触轨和专用轨布置匹配，与其他专业区间设备不存在侵限冲突情况。因此，该方案对区间设备系统无影响。

2) 对车辆回流的影响。接触轨供电列车以地铁 B 型车辆为主，通常分为 3 节编组和 6 节编组。在道岔处专用轨与接触轨相同，均需设置断口。根据经验，当 3 节编组列车通过道岔时可能存在部分区段无法取流、列车失电的情况，如图 3(a)所示。采用本节专用轨方案后，专用轨同样在道岔处位置断口，专用轨布置不连续，可能引起列车失电范围扩大，如图 3(b)所示。

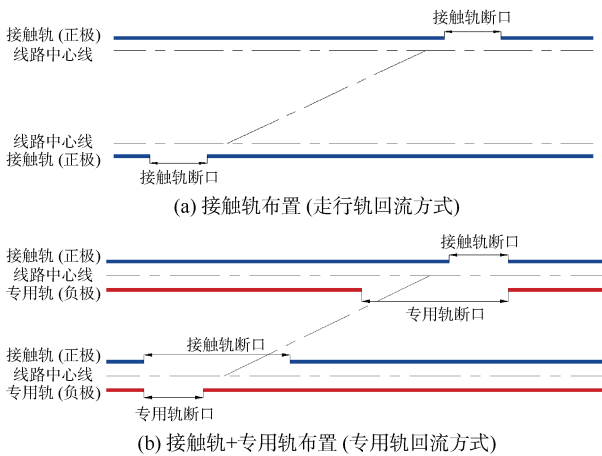


图 3 道岔处接触轨和专用轨断轨示意

Figure 3 Schematic diagram of contact rail and dedicated rail layout at the turnout

依次核对不同编组车辆通过单开道岔和交叉渡线道岔时是否存在失电区，结果如表 1 所示，6 节编组列车集电靴间距较大，本方案在各类型道岔区均不存在失电情况，列车回流不受影响。而 3 节编组列车在通过 5 m 交叉渡线时存在 2 处列车失电区，恢复电力会对列车内部电子器件形成短时冲击，影响其设备使用寿命。因此，本方案在 3 节编组列车线路中会对列车回流产生一定的影响。

表 1 方案一不同编组列车道岔区失电校验结果统计

Table 1 Statistical table of power loss verification results for switch areas of different train groups in Scheme 1

序号	道岔形式	列车编组	
		3 节编组	6 节编组
1	7 号单开道岔	无失电区	无失电区
2	9 号单开道岔	无失电区	无失电区
3	5 m 交叉渡线	存在失电区 2 处	无失电区

注：列车以 B 型车为基准，3 节编组列车集电靴最远距离 51.64 m，6 节编组列车集电靴最远距离 110.7 m。

3) 对网络化运营的影响。为满足不同回流制式线路间互联互通、架修资源共享等网络化运营需求，需要车辆同时能在专用轨回流线路和走行轨回流线路上运行。从限界和负极模式转换两个方面分析：一方面，本方案对区间设备和车辆限界(车辆在平直线线上正常运行状态下的最大动态包络线)无影响；另一方面，由于存在两种回流模式，需要车辆设置负极转换开关，在转换车站或联络线设置转换段，列车在转换段内停车进行负极转换操作。具体转换流程如图 4、图 5 所示。

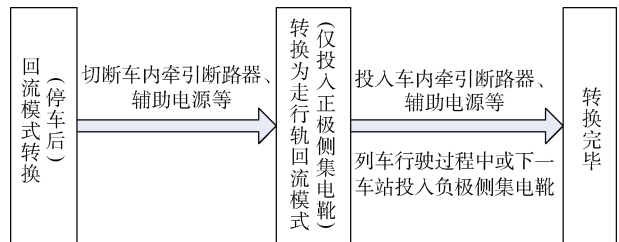


图 4 方案一专用轨回流向走行轨回流转换流程示意

Figure 4 Scheme 1: schematic diagram of the conversion process from dedicated rail return current to running rail return current

列车负极模式转换过程主要操作：列车停车一切断主回路电源—关闭辅助电源—回流模式转换—闭合主回路电源—列车启动—重新投入辅助电源，整个转换过程可利用列车停车时间完成，约 35 s，在车辆启动出站后再操作空调重新投入，完成整个转换过程。上述分析可知，本方案能够满足网络化运营要求，对

已通车线路限界也无影响。

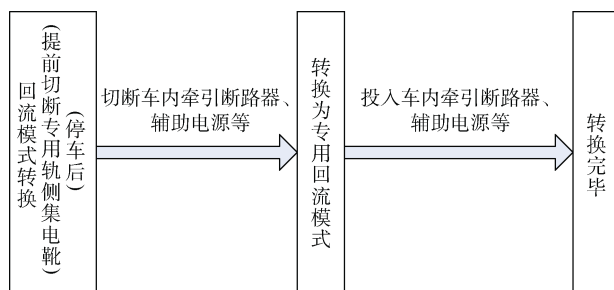


图5 方案一走行轨回流向专用轨回流转换流程示意

Figure 5 Scheme 1: schematic of the conversion process from running rail return current to dedicated rail return current

4) 对供电系统继电保护的影响。供电系统采用专用轨回流后, 负极对地绝缘性能大幅提高, 当正极对地、负极对地发生接地故障时, 故障电流无法回到变电所负极, 导致对应开关无法跳闸切除故障。因此, 在现状供电系统机电保护基础之上, 需要增设地-负单向导通装置, 为入地短路电流提供回到负极的有效通路, 保证系统保护可靠性。

5) 安全性。供电系统一般配置正极可视化接地装置, 线路停运或出现区间疏散等情况, 将正极接地, 保证人员安全。采用专用轨回流后, 应在现状配置基础之上, 增设专用轨接地装置, 将专用轨可靠接地, 保证系统安全。

6) 成本效益。本方案对供电系统、轨道系统、车辆、站台门系统等方面产生影响。主要取消杂散电流系统、增加专用轨回流、优化牵引变电所布点、取消道床排流网及连接端子、车辆增加回流模式转换开关、站台门无需绝缘安装、取消区间和车站结构测防端子等。经核算, 本方案增加建设投资约43万元/km。

综合分析可知, 本方案采用对侧专用轨回流方案对区间设备系统无影响, 能够满足线网间互联互通、资源共享要求, 6节编组列车通过道岔区域无失电区, 3节编组列车存在2处失电区, 对供电系统继电保护、安全性影响较小, 增加建设投资约43万元/km。因此, 本方案具备可行性和可实施性。在应用过程中, 还需要提前核验和优化线路布置, 满足各编组车型供电要求, 规避列车失电风险; 提高负极模式转换程序化, 提高转换效率, 降低人员误操作风险。

3.2 架空接触网回流方案

在接触轨供电的基础之上, 本方案在车辆上方设置架空接触网回流, 如图1(b)所示。相比于现状国内

已采用的接触网供电、专用轨回流方案, 仅将极性互换。负极架空接触网设备选型与现状正极架空接触网方案相同。结合本文提出的影响因素对本方案进行可行性评价分析。

1) 对区间设备系统的影响。由于接触轨供电线路隧道顶部空间无其他设备。因此, 本方案对区间的设备安装无影响。

2) 对车辆回流的影响。由于架空接触网贯通布置, 列车取流效果与走行轨回流时完全一样。因此, 本方案连续取流效果不受回流形式改变的影响。

3) 对网络化运营的影响。同理本方案从限界和负极模式转换两个方面分析。限界方面, 经核实本方案对区间限界无影响。需要注意已开通线路矩形隧道断面的净空是否能够满足架空接触网的安装要求。负极模式转换方面, 本方案仅考虑负极架空接触网回流与走行轨回流之间的转换, 转换流程: 列车停车一切断主回路电源—关闭辅助电源—回流模式转换—闭合主回路电源—列车启动—重新投入辅助电源, 转换时间约35s, 在车辆启动出站后再操作空调重新投入, 完成整个转换过程。具体回流转换流程如图6、图7所示。上述分析可知, 本方案能够满足网络化运营要求, 对已通车线路限界也无影响。

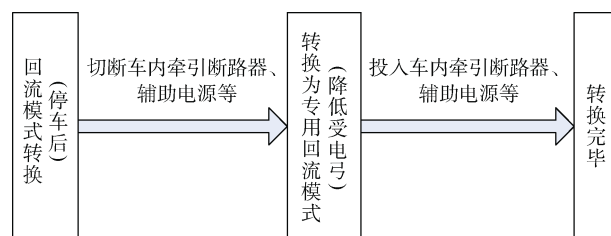


图6 方案二架空接触网回流向走行轨回流转换流程示意

Figure 6 Scheme 2: schematic diagram of the conversion process from overhead contact system return current to running rail return current

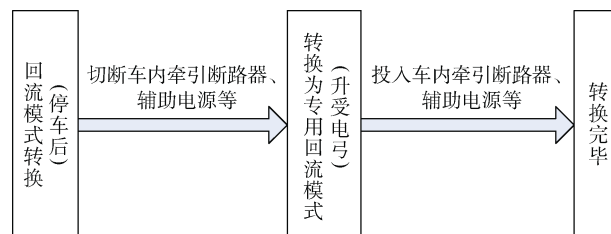


图7 方案二走行轨回流向架空接触网回流转换流程示意

Figure 7 Scheme 2: schematic diagram of the conversion process from running rail return current to overhead contact system return current

4) 对供电系统继电保护的影响分析。本方案对供电系统继电保护影响与方案一相同。

5) 安全性。本方案负极接地要求与方案一相同,考虑在负极架空接触网设置接地装置。

6) 成本效益。本方案对供电系统、轨道系统、车辆、站台门系统等产生影响。主要取消杂散电流系统、增加架空接触网回流、优化牵引变电所布点、增加接触网检修作业车、取消道床排流网及连接端子、车辆增加回流模式转换开关、站台门无需绝缘安装、取消区间和车站结构测防端子等。由于架空接触网阻抗高于接触轨阻抗,牵引变电所设置数量多于采用专用轨回流方案,同时线路存在两种接触轨悬挂方式,需要增加接触网检修设备。经核算,本方案增加建设投资约 80 万元/km。

综合分析可知,本方案采用架空接触网回流方案对区间设备系统无影响,能够满足线网间互联互通、资源共享要求,列车能够连续可靠取流,对供电系统继电保护、安全性影响较小,建设投资成本较高,增加建设投资约 80 万元/km。因此,本方案具备可行性和可实施性。在应用过程中,应重点考虑城市整体建设规划、城市景观要求以及增设架空接触网带来的相关运营需求。

3.3 底部专用回流轨回流方案

在接触轨供电的基础之上,本方案在两根钢轨之间增加负极专用轨,如图 1(c)所示。结合本文提出的影响因素对本方案进行可行性评价分析。

1) 对区间设备系统的影响。本方案专用轨设置在两根钢轨之间,专用轨安装高度需要考虑集电靴浮动、弹簧动挠度、回流靴的组装公差等因素,经核算专用轨接触面高度需高于钢轨顶面 105 mm。由于车辆转向架底部设有齿轮箱、电机等设备,为满足车辆动态限界与专用轨安装高度要求,专用轨仅能安装在两根钢轨中间位置,这将与信号系统应答器安装位置冲突,需要重新设计应答器、车载 BTM 天线、主机等设备的布置方案,以满足信号系统功能需求。因此,本方案对信号设备影响大,对其他设备无影响。

2) 对车辆回流效果的影响。本方案在两根钢轨中间设置专用轨,同理由于专用轨在道岔处位置需设置断口,专用轨布置不连续,可能引起列车失电范围扩大,如图 8 所示。

依次核对不同编组车辆通过单开道岔和交叉渡线道岔时是否存在失电区,校验结果如表 2 所示,列车

在通过道岔区时,仅 3 节编组列车通过 5 m 交叉渡线时存在 2 处车辆失电区域,其余情况对于列车取流均无影响。因此,本方案在 3 节编组线路中会对列车回流产生一定的影响。

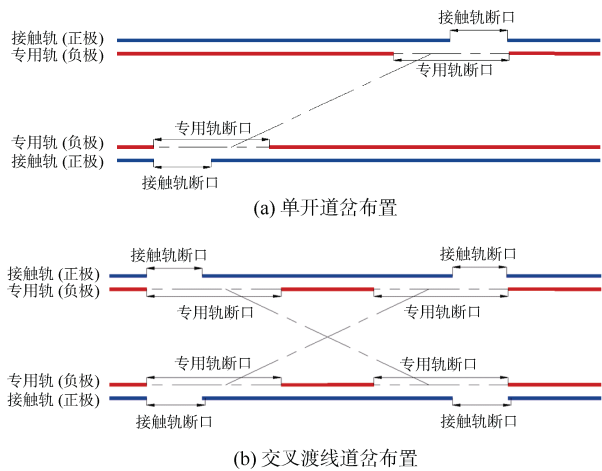


图 8 方案三道岔处接触轨及专用轨布置示意

Figure 8 Scheme 3: schematic diagram of the layout of contact rail and dedicated rail at the turnout

表 2 方案三不同编组列车道岔区失电校验结果统计
Table 2 Statistical table of power loss verification results for switch areas of different train groups in Scheme 3

序号	道岔形式	列车编组	
		3 节编组	6 编组
1	7 号单开道岔	无失电区	无失电区
2	9 号单开道岔	无失电区	无失电区
3	5 m 交叉渡线	存在失电区 2 处	无失电区

注:列车以 B 型车为基准,3 节编组列车集电靴最远距离 51.64 m,6 节编组列车集电靴最远距离 110.7 m。

3) 对网络化运营的影响。结合本方案车辆结构设计,回流靴设置在车辆底部,考虑车辆车体垂向晃动、轮对磨耗等因素,回流集电靴在自由状态最低点高于轨面 20 mm,两根钢轨之间设备均未低于轨面。因此,本方案车辆能够满足互联互通要求。

对于回流模式转换,需要在专用轨与走行轨之间进行回流转换,停车转换流程与方案二一致。

4) 对供电系统继电保护的影响。本方案对供电系统继电保护影响与方案一基本一致。

5) 安全性。本方案在正极接触轨基础之上,在两根钢轨之间增设负极专用轨。由于专用轨授电接触面朝上,在人员检修、疏散时易触碰,因此需要在现状配置基础之上,增设专用轨接地装置,保证人员安全。

6) 成本效益。本方案对供电系统、轨道系统、信

号系统、车辆、站台门系统等产生影响。主要取消杂散电流系统、增加专用轨回流、优化牵引变电所布点、调整信号系统方案、取消道床排流网及连接端子、车辆增加回流模式转换开关、站台门无需绝缘安装、取消区间和车站结构测防端子等。由于本方案需调整信号设备方案,借鉴北京地铁机场线案例,需要增加应答器及车载主机等信号设备。经核算,本方案增加建设投资约 55 万元/km。

综合分析可知,本方案采用两钢轨之间设置专用轨回流方案对区间信号设备系统影响大,对其他区间设备无影响,能够满足线网间互联互通、资源共享要求,6 节编组列车通过道岔区域无失电区,3 节编组列车存在 2 处失电区,对供电系统继电保护、安全性影响较小,建设投资成本增加约 55 万元/km。因此,本方案具备可行性和可实施性。在应用过程中,应在工程中结合线路条件优化线路布置,尽量避免失电区,全新设计车辆底部转向架和信号系统设备布置,进行相关测试,保证列车安全可靠运行,还需要考虑轨行区人员疏散问题。

3.4 同侧专用回流轨回流方案

在接触轨供电基础之上,本方案在接触轨同侧设置专用轨,如图 1(d)所示。专用轨与接触轨采用共架安装,专用轨设置在接触轨上方,保证正负极绝缘间距,如图 9 所示。结合本文提出的影响因素对本方案进行可行性评价分析。

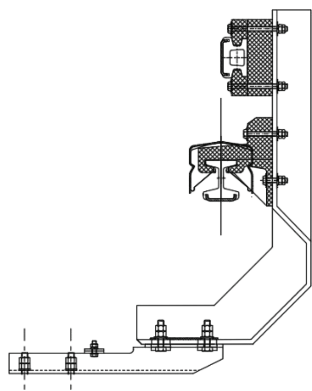


图 9 专用轨侧部授流绝缘支架示意

Figure 9 Schematic diagram of insulation support for dedicated rail side current collection

1) 对区间设备系统的影响。接触轨及专用轨安装于同侧,一般安装于行车方向右侧,与其他专业区间设备不存在侵限冲突情况。因此,该方案对区间设备系统不产生影响。

2) 对车辆回流效果的影响。本方案专用轨与接触轨断轨方案一致,列车取流效果与走行轨回流时完全一样。因此,本方案连续取流效果不受回流形式改变的影响。

3) 对网络化运营的影响。本方案将专用轨设置于接触轨上方。对于新建线路而言,对区间设备无影响;而对于既有线路,需要核对走行轨回流线路的疏散平台、站台门、水管等设备是否侵入专用轨回流车辆的限界,在满足限界时具备线网互联互通的条件。对于回流模式转换而言,考虑负极专用轨与走行轨之间的回流转换,需要在转换车站停车转换,转换流程与方案二一致。

4) 对供电系统继电保护的影响。本方案对供电系统继电保护影响与方案一基本一致。

5) 安全性。本方案在正极接触轨基础之上,同侧设置负极专用轨。人员检修、疏散时易触碰到负极专用轨,因此增设专用轨接地装置,保证人员安全。同时,由于正极与负极绝缘距离近,易发生正极与负极短路,引起变电所频繁跳闸,需在正、负极轨之间设置绝缘防护罩。

6) 成本效益。本方案对供电系统、轨道系统、车辆、站台门系统等产生影响。主要取消杂散电流系统、增加专用轨回流、优化牵引变电所布点、取消道床排流网及连接端子、车辆增加回流模式转换开关、站台门无需绝缘安装、取消区间和车站结构测防端子等。经核算,本方案增加建设投资约 42 万元/km。

综合分析可知,本方案采用侧部授流专用轨回流对区间设备系统无影响,能够满足线网间互联互通、资源共享要求,列车能够连续可靠取流,对供电系统继电保护、安全性影响较小,建设投资成本增加投资约 42 万元/km。因此,本方案具备可行性和可实施性。在应用过程中,应重点考虑回流集电靴易受到车辆运行晃动引起靴轨离线造成拉弧等问题,影响授流质量。同时,正、负极相距较近,空气绝缘距离小,在后续运营过程中可能发生短路停电的风险,影响正常运营。另经调研,采用侧部授流的磁悬浮线路相比于采用下部授流的地铁线路,其靴轨磨耗显著增加。因此,本方案在实施过程中,应注意优化正负极位置关系及靴轨关系,保证列车供电可靠,降低靴轨磨耗。

3.5 综合对比

本文提出的 4 种专用轨回流设置方案均具备可行性,各有优缺点,从主要影响因素综合对比 4 种方案,具体如表 3 所示。

表3 四种专用轨方案对比分析

Table 3 Comparison and analysis of four special rail schemes

主要影响因素	方案一： 对侧专用回流轨回流	方案二： 架空接触网回流	方案三： 底部专用回流轨回流	方案四： 同侧专用回流轨回流
设备系统影响	无影响	对区间隧道顶部安装设备，影响范围小	信号应答器安装位置影响范围大	部分疏散平台、站台门安装方式影响范围小
车辆取流效果	一般	好	一般	一般
网络化运营	满足网络化运营要求；转换流程较复杂	需降弓满足网络化运营要求；转换流程简单	仅专用轨列车满足网络化运营要求；转换流程简单	满足网络化运营要求；转换流程简单
供电系统继电保护	影响小	影响小	影响小	影响小
安全性	影响小	影响小	影响小	影响大
成本效益	每公里增加建设投资约43万元	每公里增加建设投资约80万元	每公里增加建设投资约55万元	每公里增加建设投资约42万元
可能存在的问题	转换流程复杂	改变城市整体设计理念；带来弓网问题；部分隧道断面不足接触网要求	车辆转向架重新设计；信号系统重新设计；互联互通程度低；区间人员疏散问题需研究	正负极绝缘距离较近；靴轨磨损严重；靴轨关系较差
整体实施难度	易	易	难	易

4 专用轨回流系统对其他专业的影响

增设专用轨后对城市轨道交通其他专业会产生一定的影响，主要包括供电、轨道、车辆、站台门、限界、土建等。

1) 供电系统。供电系统采用专用轨回流后，由于牵引间距不受轨电位限制，牵引网阻抗减小，可最大化发挥牵引供电能力，应适当调整牵引变电所数量；结合专用轨供电系统保护方案，需增设地-负单向导通装置、专用轨接地装置等设备，取消全线杂散电流腐蚀防护系统及全线钢轨电位限制装置；可取消线路内轨道绝缘结。

2) 轨道系统。道床内可取消设置排流网及排流网连接端子、杂散电流监测端子。

3) 车辆。车辆增设负极集电靴或受电弓、负极模式转换开关，调整车辆电气方案；电力工程车需采用专用轨回流，配置转换开关，其他工程车应满足限界要求。

4) 站台门系统。站台门无需绝缘设计及安装；站台门系统的门体设计应直接接地，站台门内部整体等电位连接，并通过电缆与综合接地网连接。

5) 限界。针对上述4种方案，部分方案设备布置存在冲突的情况，需要结合专用轨回流车辆限界进行核对调整，避免发生侵限问题。

6) 土建。区间和车站结构可取消设置测防端子。

5 结论

本文结合国内外研究成果，提出基于接触轨供电

制式的4种专用轨回流设置方案，分别从对设备系统的影响、车辆回流、网络化运营、供电系统继电保护、安全性、成本效益等6个影响因素对各方案的可行性进行分析论证，主要结论如下。

1) 4种专用轨回流方案均具备可行性。

2) 每种专用轨回流方案均存在实施难点，在具体项目实施中应重点考虑。对侧专用轨回流方案需重点考虑列车转换模式简单化问题；架空接触网回流方案需综合考虑城市整体景观和增加架空接触网后对运营维护的影响；底部专用轨回流方案需要重点考虑区间人员疏散问题；同侧专用轨回流方案需要重点考虑正、负极绝缘距离近、侧部授流质量差、磨损高等问题。

3) 4种专用轨回流方案各有优缺点，综合考虑经济成本、技术成熟度和安全性，推荐优先采用方案一。同时各城市应结合自身轨道交通线网特点，经综合比选确定适合的专用轨回流方案，从而解决杂散电流带来的困扰。

参考文献

- [1] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 地铁杂散电流腐蚀防护技术标准: CJJ/T 49—2020[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2020.
- Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Technical standard for stray current corrosion protection in metro: CJJ/T 49—2020[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2020.

(下转第156页)

- logy, 2013, 62(8): 3569-3580.
- [4] ZABOLI A, VAHIDI B, YOUSEFI S, et al. Evaluation and control of stray current in DC-electrified railway systems[J]. IEEE transactions on vehicular technology, 2017, 66(2): 974-980.
- [5] 杨晓峰, 薛皓, 郑琼林. 基于双向可变电阻模块的杂散电流与轨道电位动态模拟系统[J]. 电工技术学报, 2019, 34(13): 2793-2805.
YANG Xiaofeng, XUE Hao, Trillion Q.Zheng. Stray current and rail potential dynamic simulation system based on bidirectional variable resistance module[J]. Transactions of China electrotechnical society, 2019, 34(13): 2793-2805.
- [6] 刘炜, 周林杰, 唐宇宁, 等. 直流牵引供电回流系统与杂散电流扩散的联合仿真模型[J]. 电工技术学报, 2023, 38(16): 4421-4432.
LIU Wei, ZHOU Linjie, TANG Yuning, et al. Co-simulated model of DC traction power supply return system and stray current diffusion[J]. Transactions of China electrotechnical society, 2023, 38(16): 4421-4432.
- [7] 许蓓. 城市轨道交通钢轨电位过高原因及限制措施研究[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2015.
XU Bei. Research on reasons for high rail potential and restrictive measures in urban rail transit[D]. Xuzhou: China University of Mining and Technology, 2015.
- [8] 陈民武, 赵鑫, 丁大鹏, 等. 城市轨道交通供电系统钢轨电位限制装置操作过电压研究[J]. 中国铁道科学, 2017, 38(6): 94-99.
CHEN Minwu, ZHAO Xin, DING Dapeng, et al. Research on switching surge of rail over-voltage protection device in power supply system for urban rail transit[J]. China railway science, 2017, 38(6): 94-99.
- [9] 陈华银, 樊国桢, 张丽, 等. 排流柜及钢轨电位限制装置对杂散电流及钢轨电位影响的测试分析[J]. 城市轨道交通研究, 2022, 25(3): 31-35.
CHEN Huayin, FAN Guozhen, ZHANG Li, et al. Test and analysis of current drainage cabinet and OVPD influence on stray current and rail potential[J]. Urban mass transit, 2022, 25(3): 31-35.

(编辑: 王艳菊)

(上接第148页)

- [2] 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及应用[J]. 城市轨道交通研究, 2022, 25(1): 193-196.
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): 193-196.
- [3] 谢宗桀. 地铁独立轨回流技术应用研究[J]. 铁路技术创新, 2018(2): 113-116.
XIE Zongjie. Research on application of independent rail reflux technology in subway[J]. Railway technical innovation, 2018(2): 113-116.
- [4] 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): 37-41.
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): 37-41.
- [5] 陈屹. 城市轨道交通四轨供电方式的探讨[J]. 电气化铁道, 2010, 21(2): 49-50.
CHEN Yi. Discussion on urban rail transportation fourth rail power supply mode[J]. Electric railway, 2010, 21(2): 49-50.
- [6] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 地铁设计规范: GB 50157—2013[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2014.
Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Code for design of metro: GB 50157—2013[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2014.
- [7] 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): 143-145.
CHENG Ji'an. Traction power supply scheme for urban rail transit special return rail[J]. Urban mass transit, 2019, 22(9): 143-145.
- [8] 张云太. 城市轨道交通第四回流轨牵引供电技术[J]. 现代城市轨道交通, 2011(4): 8-10.
ZHANG Yuntai. Traction power supply technology of the fourth return rail in urban rail transit[J]. Modern urban transit, 2011(4): 8-10.
- [9] 李鲲鹏, 黄德亮, 关金发, 等. 集电靴与接触轨集电系统研究综述[J]. 都市轨道交通, 2018, 31(5): 92-100.
LI Kunpeng, HUANG Deliang, GUAN Jinfa, et al. A technology survey of the current collector and the conductor rail power supply system[J]. Urban rapid rail transit, 2018, 31(5): 92-100.
- [10] 刘卡丁, 徐光强, 杨波. 深圳地铁3号线牵引供电授流制式适应性分析[J]. 都市轨道交通, 2010, 23(1): 15-17.
LIU Kading, XU Guangqiang, YANG Bo. Adaptability of the traction power supply feeding mode to Shenzhen metro line 3[J]. Urban rapid rail transit, 2010, 23(1): 15-17.

(编辑: 王艳菊)