

城市轨道交通专用回流轨研究^{*}

王溢斐

(中国铁路设计集团有限公司, 300308, 天津//工程师)

摘要 为彻底消除杂散电流的危害,提出架空接触网加专用回流轨方案。着重阐述了专用回流轨与限界、车辆、供电系统、轨道及站台门等专业的配合性设计。从建设投资和全寿命周期成本进行专用回流轨的经济性分析。经论证,专用回流轨可有效降低杂散电流防护的全寿命周期成本。

关键词 城市轨道交通;专用回流轨;杂散电流

中图分类号 TM922.31

DOI:10.16037/j.1007-869x.2022.04.047

Research on Special Return Conductor Rail for Urban Rail Transit

WANG Yifei

Abstract In order to completely eliminate the harm of stray current, the scheme of overhead contact system (OCS) combining special return conductor rail system is proposed. The supporting design of professions including limit, vehicle, return conductor rail, power supply system, track and screening door in the special return conductor rail system is expounded emphatically. The economic analysis of the system from aspects of construction investment and full life-cycle cost is carried out. Conclusion is arrived that special return conductor rail system can effectively lower the full life-cycle cost of stray current protection.

Key words urban rail transit; special return conductor rail; stray current

Author's address China Railway Design Corporation, 300308, Tianjin, China

1 研究背景

城市轨道交通直流牵引供电系统一般采用走行轨回流的方式。走行轨对地、对结构钢筋应绝缘,其过渡电阻不应小于 $15 \Omega \cdot \text{km}$ 。随着运营时间的推移,受灰尘、油渍、渗水及金属粉末等长时间积累影响,钢轨与大地之间的绝缘性能降低。已开

通线路的对地过渡电阻普遍为 $0.8 \sim 3 \Omega \cdot \text{km}$,远远低于设计要求值。一部分回流电流通过钢轨泄漏至道床,并由道床流经沿线金属管线和建(构)筑物钢筋,形成杂散电流,使金属发生电化学腐蚀,使沿线金属管线、土建结构的安全和使用寿命受到严重影响^[1-2]。

近年来,随着大量地铁线路的开通,杂散电流泄露情况加剧,对城市地下管网的金属管线影响越来越严重,成为各地整治治理的难题。目前,为消除杂散电流的危害,常采取以下防护措施:合理设置牵引变电所,缩短变电所距离、增加轨地绝缘水平、在地下埋设排流网并加装排流柜、使用重型钢轨并焊接成长轨等。

由于钢轨与大地之间的绝缘水平优化空间有限,故常用防护措施难以从根本上彻底消除杂散电流。世界各国均高度重视并投入大量人力、物力研究杂散电流防护措施。目前,最有效的方案是设置专用回流轨。基于杂散电流产生原理而设计的专用回流轨可保证回流电流不经过钢轨、大地,而通过专用回流轨回到牵引变电所负极。

英国伦敦地铁、意大利米兰地铁 M1 线及马来西亚吉隆坡轻轨采用第三轨供电、第四轨回流的形式,杜绝了杂散电流的产生,取得了较好的效果。

在我国,专用回流轨也有较多应用。重庆跨坐式单轨系统正极轨和负极轨分别位于轨道梁两侧;上海浦江线采用胶轮四轨回流;目前已开通的宁波地铁 4 号线,以及正在建设中的宁波地铁 7 号线、宁波地铁 8 号线、绍兴地铁 2 号线、郑许市域铁路等均采用架空接触网供电、专用回流轨回流方式^[3]。

2 专用回流轨系统

直流牵引供电系统采用的专用回流轨涉及了限界、车辆、供电、轨道及屏蔽门等多专业。需多专

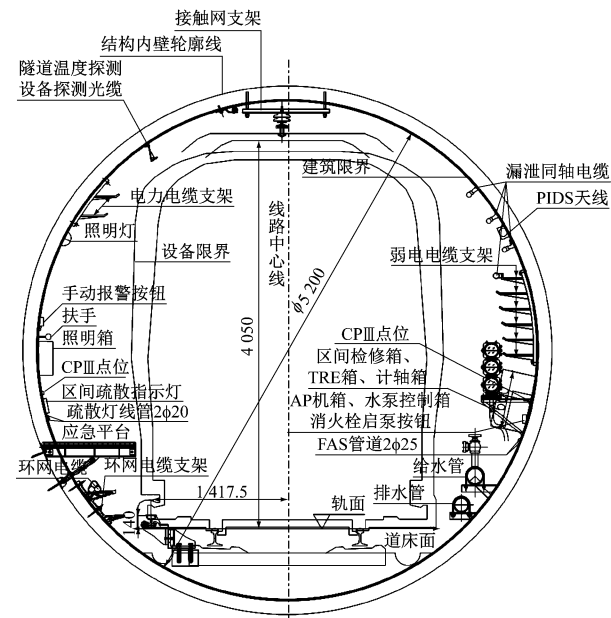
^{*} 中国铁设科技开发项目(2019YY221104)

业配合专用回流轨技术进行系统性设计。

2.1 限界

采用专用回流轨时,城市轨道交通车辆受电弓及车体部分应采用 CJJ/T 96—2018《地铁限界标准》规定的架空接触网授电的车辆限界,转向架回流靴部分可采用 CJJ/T 96—2018《地铁限界标准》规定的接触轨授电的车辆限界。

我国地铁通常采用内径为 5 500 mm 的圆形盾构隧道。其架空刚性悬挂接触网和专用回流轨布置如图 1 所示,多数已投入运营的城市轨道交通线路具备改造成专用回流轨的土建条件^[4]。



注:尺寸单位为 mm;AP 为接入点;FAS 为火报警系统;PIDS 为旅客信息显示系统;CP III 为轨道控制网。

图 1 专用回流轨断面布置示意图

Fig. 1 Schematic diagram of cross-section layout of special return conductor rail

2.2 车辆

采用专用回流轨的车辆需在转向架上增设回流靴,故车辆主电路需做相应调整。

2.2.1 增设回流靴

与第三轨类似,车辆需增设的专用回流靴通过弹簧或气动装置滑块与回流轨接触,实现动态接触回流。回流靴的设置需考虑到列车过道岔区、断轨以及故障情况下的负极电流回流能力。

宁波地铁 4 号线在每列列车两侧各设置 10 个回流靴,且每个回流靴额定电流约为 1 000 A,其可以满足列车通过轨断区的回流能力需求。

线路在道岔、道口及场段出入线等地段需设置

断轨。断轨两侧用电缆连接。为保证可靠回流,断轨长度的设置应同回流靴数量及间距相配合,以保证回流靴能正常工作。

2.2.2 车辆主电路的调整

列车上所有的回流靴应通过贯通母线并联起来,以保证列车牵引回流电流均通过回流靴可靠地流向专用回流轨。

车辆应设置绝缘检测装置来检测车辆负极绝缘效果,以防止回流靴长期运行而导致的老化或绝缘性能降低。车辆应设置专用回流轨回流模式和走行轨回流模式的切换装置,以满足跨线互联互通的运行需求。

2.3 供电系统

采用专用回流轨后,无需再对杂散电流腐蚀进行防护,可降低杂散电流监测系统的维护成本。

受钢轨电位和电压降因素影响,采用钢轨回流时,牵引变电所布点间距为 2.8 ~ 3.0 km;采用专用回流轨回流后,只需考虑电压降即可,牵引变电所间距可达 3.5 ~ 5.0 km。可见,专用回流轨能减少牵引变电所布点,节约建设成本^[5]。

与走行轨回流相比,专用回流轨电阻值约为走行轨的 40%;因此,无论是在正线还是在场段内,专用回流轨电位均低于走行轨回流电位。

2.4 钢轨及结构工程

采用专用回流轨后,钢轨不再作为回流的通道。因此,钢轨的接头焊接及纵向电阻等要求降低,轨道工程内杂散电流测试端子、绝缘结、排流网钢筋、相关排流网连接端子等均可取消,相应的工程实施更加简单。

2.5 站台门

采用专用回流轨后,站台门无需再进行绝缘安装,门体通过接地电缆转接箱和车站综合接地网连接,有效消除了站台门绝缘下降,增加了安全可靠。

2.6 专用回流轨

专用回流轨基本组成结构与第三轨类似,通常分为上部受流、下部受流及侧面受流等 3 种形式。

城市轨道交通道床类型有多种。对于不同类型的道床,回流轨支架的安装形式有所差异。专用回流轨支架安装形式须根据道床及轨枕形式进行适配性设计。在碎石道床段,回流轨支架安装在轨枕上,即回流轨支架与轨枕合架;在整体道床段,回

流轨支架可直接在道床上打孔安装,并尽量避免触及道床钢筋。

回流轨选用钢铝复合接触轨,其本体一般选用铝镁合金或综合性能优于铝镁合金的材料制成,不锈钢带宜选用 10Cr17 优质铁素体不锈钢材料或 06Cr19Ni10 不锈钢材料。钢铝复合轨标准定长宜为 15 m。

回流轨支架可采用一体式或带调节功能式绝缘支架。以宁波地铁 4 号线为例,专用回流轨的受流面距钢轨轨顶面的垂直距离为 140.0 ± 5.0 mm,专用回流轨中心线距近侧钢轨内侧面的水平距离为 700.0 ± 5.0 mm(见图 2)。绝缘支座安装间距一般不超过 5.0 m。

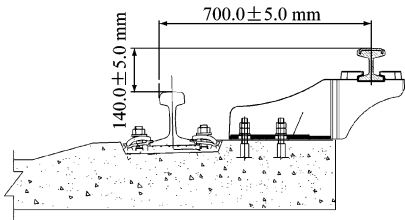


图 2 专用回流轨安装示意图

Fig. 2 Installation diagram of special return conductor rail

高架及地面正线锚段长度一般为 75 m,地下段锚段长度一般为 90 m。在锚段中间需设置防爬器:在线路坡度 $i < 20‰$ 的区段,设置 1 组;在 $20‰ \leq i < 40‰$ 的区段,设置 2 组,在 $i \geq 40‰$ 的区段,设置 3 组。

在电分段、道岔、人防门及防淹门处,专用回流轨断开布置。为保证人员安全,在车站站台处专用回流轨应布置在对侧,并增设防护罩,使其远离旅客,以减少线路上发生电击事故的可能性。

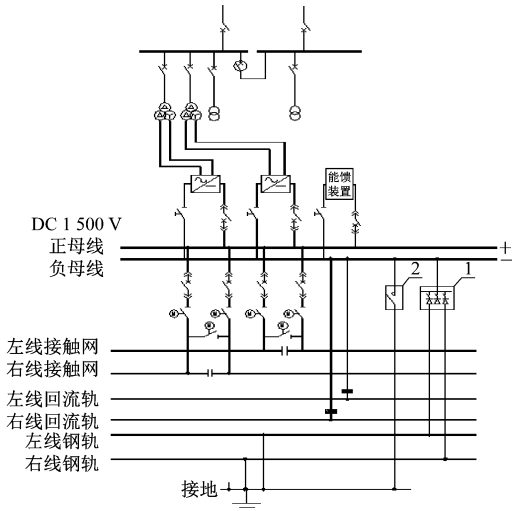
2.7 保护装置方案

为保证人员检修及疏散的安全,采用专用回流轨时钢轨应直接接地。因专用回流轨对地绝缘良好,故当发生接触网对钢轨短路故障时,短路电流较小,不在变电所直接接地框架泄漏保护范围内。因此,需设置专用回流轨的接地保护装置(见图 3)。

2.7.1 负地单导装置

在走行轨方案基础上完善继电保护装置。在钢轨与专用回流轨之间设置负地单导装置,并设置泄漏电流监测元件。当发生直流接地故障时,负地单导装置不仅可为故障电流提供通路,还能检测故障电流的大小。

泄漏电流监测元件可在车辆负极回路中与车辆壳体间绝缘不良时进行报警。此时,泄露电流经由专用回流轨、钢轨和大地流回牵引所负极,并不影响列车运行。此外,车辆壳体、大地及钢轨为等电位,不会影响车上乘客的安全。



注:1 为负地单导装置;2 为专用回流轨接地装置。

图 3 专用回流轨的保护配置示意图

Fig. 3 Schematic diagram of protection configuration of special return conductor rail

2.7.2 专用回流轨接地装置

在变电所内设置专用回流轨接地装置。当需要人员疏散或设备检修时,可通过专用回流轨接地装置将回流轨与大地连接,以保证回流轨与大地等电位,使接地电流小于 100 mA/km,确保人员不发生触电危险。

2.7.3 钢轨均流及续流电缆的设置

采用专用回流轨方案后,钢轨不再承担回流功能。为保证接触网正极与钢轨发生短路时变电所保护装置能可靠动作,在每座车站处将每行架空地线、钢轨 2 根轨条及上下行钢轨用电缆连接,然后通过接地电缆连接至变电所接地母排。在区间,结合联络通道原则上每隔 600 m 将每行架空地线、钢轨 2 根轨条及上下行钢轨用电缆连接。

3 经济性分析

专用回流轨能杜绝杂散电流的泄漏,有效减少了对杂散电流防护的实施难度及后期运营维护工作量,降低了杂散电流防护的全寿命周期成本。

对于某正线长度 30 km,采用 DC 1 500 V 架空接触网供电的地铁工程,按采用走行轨回流方案和

专用回流轨方案的建设投资对比如表 1 所示^[6]。

表 1 走行轨回流方案和专用回流轨方案的建设投资对比
Tab.1 Comparative analysis of construction investment in running rail return scheme and special return conductor rail scheme

项目	走行轨 回流方案	专用回 流轨方案	投资差额(专用回 流轨-走行轨 回流方案)/万元
正线牵引所	12 座	11 座	-1 200
专用回流轨		增加约 60 km	+9 000
接地保护		24 套	+360
车辆增加负极贯通 母线及回流靴		按 40 列配套	+4 000
杂散电流防护措施	常规	只设置监测系统	-2 100
轨电位限制装置	48 套		-960
排流柜及电缆	13 套		-260
钢轨绝缘及 排流铜端子	约 20 万套		-360
站台板绝缘	24 站		-480
合计			+8 000

由表 1 可见,与走行轨回流方案相比,采用专用回流轨方案的长度 30 km 线路建设投资增加约 267 万元/km。采用传统走行轨回流时,需加强杂散电流防护设备的监测和维护管理,需保持道床的清洁、干燥,对不符合绝缘要求的钢轨绝缘垫需及时更换,其运营维护工作量较大。采用专用回流轨消除了杂散电流的腐蚀危害,在后期运行中无需对走行轨绝缘进行维护,减少了杂散电流监测和运营维护成本。

4 结语

本文对城市轨道交通专用回流轨进行了系统性研究,着重阐述了专用回流轨各专业的配合性设计,得到以下结论:

1) 专用回流轨需限界、车辆、供电系统、轨道、站台门等多个专业的配合,才能实现系统性设计。

2) 专用回流轨可参照国内地铁接触轨技术进行配合设计,具有成熟的工程应用经验。

3) 为保证专用回流轨的可靠性和安全性,需设计相应的保护配置方案,配置负地单导装置及专用回流轨接地装置等。

4) 专用回流轨能够消除杂散电流的腐蚀危害,减少杂散电流防护的实施难度及后期运营维护工作量。

参考文献

[1] 张海波.城市轨道交通牵引供电系统杂散电流防护[J].城市轨道交通研究,2010(1):76.
ZHANG Haibo. Protection against stray current in rail transit tractive power system[J]. Urban Mass Transit, 2010(1):76.

[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(9):143.
CHENG Ji'an. Traction power supply scheme for urban rail transit special return rail[J]. Urban Mass Transit, 2019(9):143.

[3] 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.
ZHANG Yuntai. Technology of traction power supply for the fourth traction return rail of transit[J]. Modern Urban Rail Transit, 2011(4):8.

[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(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(1):37.

[5] 程军.城市轨道交通单设回流轨系统关键技术研究[D].北京:北京交通大学,2020.
CHENG Jun. Research on the key technology of single return rail system in urban rail transit[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2020.

[6] 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.
XIE Zongjie. Research on application of metro independent rail reflux technology[J]. Railway Technical Innovation,2018(2):113.

(收稿日期:2021-09-01)

(上接第 216 页)

[12] 中华人民共和国国务院.社会信用体系建设规划纲要(2014—2020 年)[EB/OL].(2014-06-14).
http://www.gov.cn/zhengce/content/2014-06/27/content_8913.htm.
The State Council of the People's Republic of China. Outline of social credit system construction plan (2014—2020)[EB/OL].
(2014-06-14).
http://www.gov.cn/zhengce/content/2014-06/27/content_8913.htm.

[13] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准管理委员会.城市轨道交通安全防范系统技术要求:GB/T 26718—2011[S].北京:中国标准出版社,2011.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine, Standardization Administration. Technical requirements for safety system of urban mass transit: GB/T 26718—2011[S]. Beijing: Standards Press of China, 2011.

(收稿日期:2021-01-12)