DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.251146

城市地铁对地下管线杂散电流干扰问题研究

高志贵
(天津嘉信技术股份有限公司,天津市 300384)

摘　要: 随着城市的快速发展,地铁作为重要的公共交通方式,其建设规模不断扩大。与此同时,地下管线作为城市基础设施的关键组成部分,承担着能源输送、信息传输等重要功能。然而,地铁运行过程中产生的杂散电流会对地下管线造成干扰,威胁管线的安全运行。旨在解决城市地铁对地下管线的杂散电流干扰问题。通过采集和分析管中电流数据,利用管中电流的相关性和衰减率来判断杂散电流的流入流出位置。基于此,制定了针对性的杂散电流治理方案,包括确定排流位置和选择适合的排流方法。研究结果表明,该方法能够有效定位杂散电流位置,治理方案切实可行,为城市地铁与地下管线的共存环境下的杂散电流干扰问题提供了有效的解决思路。

关键词: 城市地铁;地下管线;杂散电流干扰;管中电流相关性;衰减率
中图分类号: TU990.3　　**文献标志码:** A　　**文章编号:** 1009-7716(2026)01-0052-04

Research on Stray Current Interference of Urban Subways to Underground Pipelines

GAO Zhigui
(Tianjin Genius Technology Co., Ltd., Tianjin 300384, China)

Abstract: With the rapid development of cities, the construction scale of subways, an important public transportation mode, is continuously expanding. At the same time, the underground pipelines, as a key part of urban infrastructure, undertake the important functions such as energy conveyance and information transmission. However, the stray current generated during the operation of the subway will cause interference to underground pipelines and threaten the safe operation of the pipelines. The aim is to solve the stray current interference of urban subways to underground pipelines. By collecting and analyzing the current data in the pipeline, the correlation and attenuation rate of the current in the pipeline are used to determine the inflow and outflow locations of the stray current. Based on this, a targeted stray current treatment scheme is formulated, including determining the electric drainage location and selecting a suitable electric drainage method. The research results show that this method can effectively locate the location of the stray current, and the treatment scheme is feasible, providing an effective solution to the problem of stray current interference in the co-existence environment of urban subways and underground pipelines.

Keywords: urban subway; underground pipeline; stray current interference; correlation of current in pipeline; attenuation

0　引　言

随着城市化进程的加速,城市地铁作为重要的公共交通方式,在全球范围内得到了迅猛发展。地铁系统以其高效、环保的特点,极大地缓解了城市交通压力,成为现代城市基础设施的重要组成部分[1]。与此同时,地下管线作为城市生命线系统,承担着供水、排水、燃气、电力等多种功能,对城市的正常运转和居民生活起着不可或缺的作用[2]。然而,地铁直流牵引供电系统在运行过程中不可避免地会产生杂散电流,此种杂散电流具有动态变化特性,在同一管道段处杂散电流流入/流出,阴极和阳极区域随时间不断切变[6]。这些杂散电流通过土壤介质泄漏到周围环境中,会引起管道腐蚀,阴极剥离和阴极保护效率降低等问题,对地下管道的完整性构成了极大的威胁[7]。因此,深入研究地铁杂散电流对地下管线的干扰机制及其防护方法,对于保障管线的安全运行具有重要意义[8]。本文将以实际检测案例为基础,探讨基于管中电流相关性和衰减率判定杂散电流流入流出位置的方法,并提出针对性的治理方案,以期为相关工程实践提

收稿日期:2025-08-21
作者简介:高志贵(1988—),男,学士,高级工程师,从事埋地管道探测与检测技术研究、设备研发工作。

供理论支持和实践指导。

1　杂散电流干扰基本原理

地铁杂散电流的来源主要是地铁的直流牵引供电系统,供电系统采用走行轨兼做回流轨设计[9]。在城市轨道交通系统中,直流牵引供电系统通过接触网向列车供电,而列车通过走行轨回流电流至电源。然而,由于走行轨与大地之间并非完全绝缘[10],部分回流电流会泄漏到土壤中,形成杂散电流。这种泄漏电流通常由走行轨的电阻、对地绝缘性能下降以及轨道接缝等因素引起。且在地铁加速/减速运行时,附近的埋地管道电位相对于地铁轨道电位为负/正,杂散电流从地铁走行铁轨流出/入,经过土壤流入/出管道[11]。杂散电流对地下管线的干扰机理主要表现为电化学腐蚀和电磁干扰。电化学腐蚀发生在杂散电流流入或流出管道的位置,尤其是在防腐层破损点处,电流流出会导致金属管道的阳极溶解,从而加速腐蚀过程[3]。依据轨道交通相关资料可知,地铁直流引流状态下产生的杂散电流,1 A 电流平均 1 年可腐蚀 9.55 kg 钢铁[12]。电磁干扰则表现为管地电位的异常波动,可能干扰管线上安装的电子设备或监测系统的正常运行。

2　基于相关性和衰减率的判定方法

2.1　检测案例介绍

本研究以某城市地铁线路及其邻近的埋地天然气管道为检测案例,该地铁线路采用直流牵引供电系统,运行过程中产生显著的杂散电流泄漏现象。埋地燃气管道总长度约 50 km,与地铁线路存在 4 处交叉位置和一段约 20 km 的平行区段。管道材质为⌊450 钢,外防腐层采用 3PE 涂层,阴极保护采用强制电流方式。通过对管道沿线多个测试桩的电位测量数据,并结合 24 h 连续监测数据分析,确认此管段受到了地铁的直流杂散电流干扰。监测数据曲线如图 1 管地电位 24 h 监测数据曲线图所示。

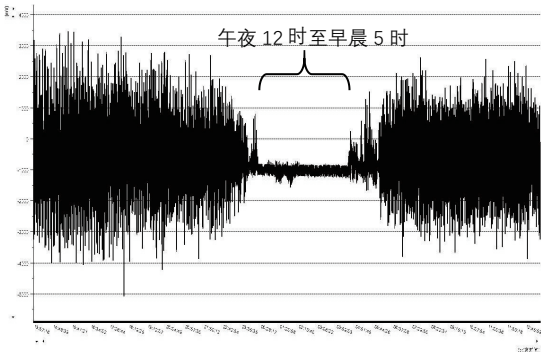

图 1　管地电位 24 h 监测数据曲线图

2.2　管中电流相关性分析

为了准确判断杂散电流在管道中的流入流出趋势,本研究采用两台杂散电流数据记录仪 SCL,一台放置在电位波动较大的 43#测试桩作为基准板,另一台作为移动板对管道沿线多个测点的电流数据进行同步采集。通过对不同位置与基准板之间管中电流数据的对比分析,发现电流波动形态存在明显的相关性。此外,通过计算各监测点电流数据的相关系数,可以进一步量化电流波动的同步性。若两监测点的电流相关系数接近 1,则说明二者受到同一杂散电流源的干扰;若相关系数接近−1,则表明杂散电流在这两点之间存在流入或流出的转换关系。例如,图 2 相关性与衰减率分析结果图中,30#与 28#测试桩相关性分别是 81% 和−74%,表明 30#与 28#测试桩之间存在同源的杂散电流,且流动方向相反,经地铁线路分布及综合全线相关性分布情况,判定此处为电流流入位置。这种基于电流相关性的分析方法,能够有效识别杂散电流在管道中的传播路径及其流入流出趋势。

2.3　管中电流衰减率分析

衰减率是指杂散电流在管道中传播过程中强度逐渐减弱的程度,其大小与杂散电流的流入流出位置密切相关。在本研究中,衰减率通过计算移动板与基准板之间电流幅值的比值来确定。具体而言,假设管道上基准板的电流幅值为 I,移动板的电流幅值为 I_i,则衰减率 A 可定义为:

$$A=I_i/I\times100\%$$

相邻的两处监测点衰减率的变化数值越大,表明杂散电流在该区域存在杂散电流的流入或流出点。通过对管道沿线各监测点的衰减率进行计算和分析,发现某些特定区段的衰减率显著高于其他区域。例如,图 2 相关性与衰减率分析结果图中,在 28#、26#和 23#测试桩,其衰减率分别为 300%、236% 和 163%,且相关性符号相同,表明 3 处监测点的杂散电流流动方向相同,28#至 26#测试桩之间电流衰减了 64%,26#至 23#测试桩电流衰减了 73%。这一现象表明,28#至 26#和 26#至 23#测试桩之间存在电流流出。结果表明,衰减率变化区域与杂散电流流入流出点具有较高的吻合度,从而实现了对杂散电流位置的精准定位。

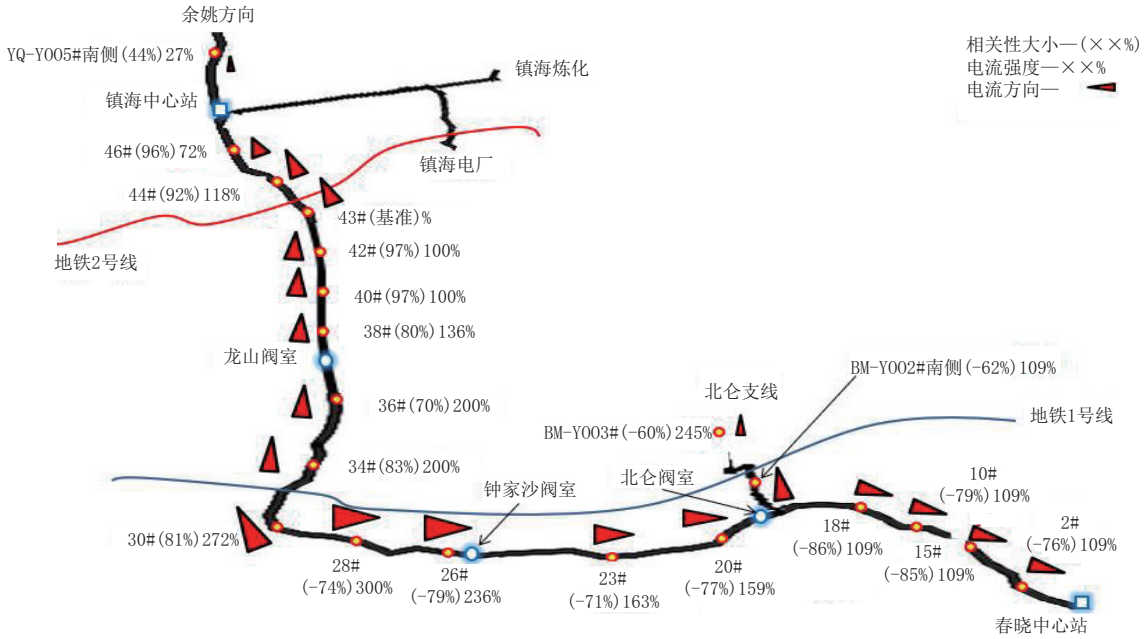

图2　相关性与衰减率分析结果图

3　杂散电流治理方案制定

排流防护是管道侧防护的重要措施之一,将管道的杂散电流通过一定回路有组织地排出,即可消除管道的腐蚀危险[13]。

3.1　排流位置确定

依据《金属和合金的腐蚀-交流腐蚀的测定防护准则》(GB/T 40377—2021)规定,采用极化电位(EIR-free)和交流电流密度(JAC)综合评价交流杂散电流的可接受程度,当JAC<30 A/m^{2}或者30 A/m^2≤JAC<100 A/m^2,且-1.15 V(CSE)≤EIR-free<-0.90 V(CSE)时不会发生腐蚀[14]。杂散电流的流入和流出位置是制定排流方案的关键依据,其准确性直接影响治理效果。基于前文对管中电流相关性和衰减率的分析,可以确定杂散电流在管道上的具体分布特征。研究表明,杂散电流通常在地铁牵引变电站附近或轨道绝缘性能较差区段流入地下管道,并在管道涂层缺陷处或与其他金属结构连接点流出[4]。因此,排流位置的选择应遵循以下原则:首先,优先选择杂散电流流入较大的区域作为排流或屏蔽处理,以减少电流流入管道内;其次,考虑杂散电流流出较大的区域作为排流点,避免杂散电流通过防腐层破损部位直接流出,降低管体腐蚀风险。此外,还需结合地铁系统的运行特点,如列车运行密度和供电模式,动态调整排流位置,确保治理措施的长期有效性。

在实际操作中,排流位置的确定需综合考虑多种因素。例如,由于分析结果表明在30#至34#、36#至38#、28#至26#和26#至23#测试桩之间属于杂散电流流出位置,因此在此4处位置施加排流装置,使杂散电流通过排流接地极流出,从而避免管道本体发生杂散电流腐蚀。

3.2　排流方法选择

针对杂散电流干扰问题,常见的排流方法包括直接排流、极性排流和强制排流等,每种方法均有其适用范围和技术特点。直接排流是通过将管道与地铁排流网直接连接,利用排流网的低阻抗特性将杂散电流引回地铁系统,适用于杂散电流流入量较大的区域。然而,该方法可能对地铁系统的正常运行造成一定影响,需谨慎评估其技术可行性。极性排流则是在牺牲阳极与管道之间安装极性装置(如二极管),阻止杂散电流反向流入,从而保护管道免受干扰。强制排流则是通过外加电源的方式,强制将杂散电流从管道中排出,适用于复杂干扰环境下的精准治理,但设备成本较高且维护难度大[5]。

结合本案例的具体情况,建议在杂散电流流出较大的区域采用极性排流方法,同时调高管道阴极保护系统输出电流,使干扰区域内的阴极保护满足存在杂散电流干扰时的评判标准,以兼顾治理效果和经济性。治理后电位采集结果如表1所示。

4　结　论

本研究以城市地铁对地下管线的杂散电流干扰问题为核心,通过理论分析与实际检测案例相结合

表 1　治理前后电位测量结果　　单位:mV

测试桩	治理前保护电位			治理后保护电位		
	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值
44#	−1 174	−684	−929	−1 113	−929	−1 021
43#	−1 119	−701	−910	−1 062	−878	−970
23#	−1 180	−800	−990	−1 169	−953	−1 061
19#	−1 038	−712	−875	−1 130	−894	−1 012
15#	−976	−686	−831	−1 032	−892	−962

的方法,探讨了杂散电流的产生机制及其对地下管线的干扰机理。研究表明,地铁直流牵引供电力系统在运行过程中不可避免地会产生杂散电流泄漏,而杂散电流通过土壤介质流入或流出地下管线时,会导致管体电位波动,尤其流出位置会使管体腐蚀程度加剧。针对这一问题,本文提出了基于管中电流相关性和衰减率判定杂散电流流入流出位置的方法,该方法通过采集不同位置的管中电流数据,结合数据分析与图表展示,能够有效定位杂散电流的关键影响区域。此外,在治理方案制定方面,本研究结合排流位置确定原则与多种排流方法的对比分析,提出了适用于具体案例的排流策略。

研究成果表明,采用管中电流相关性和衰减率作为判定依据,不仅可以精准定位杂散电流的流入流出点,还能为后续治理方案的制定提供可靠的技术支持。这种方法在实际工程应用中具有较强的操作性和推广价值,尤其是在复杂城市环境下,能够有效降低杂散电流对地下管线的腐蚀风险,保障管线系统的安全运行。

参考文献:

[1] 吴广春,李德明,张梦梦.埋地管道地铁杂散电流干扰源头控制法[J].腐蚀与防护,2022,43(6):13-19
[2] 龚孟荣.地铁邻近埋地金属管线杂散电流分布特性研究[J].铁道标准设计,2023,67(1):161-166.
[3] 包黄莉,汤彬坤,冯阳.管道杂散电流干扰及防腐层破损分析[J].无损检测,2023,45(5):1-5.
[4] 董亮,石超杰,陈树新.埋地管道受地铁杂散电流干扰的缓解方法及效果数值模拟[J].北京交通大学学报,2020,44(3):19-29.
[5] 董亮,姜子涛,杜艳霞.地铁杂散电流对管道牺牲阳极的影响及防护[J].石油学报,2016,37(1):117-124.
[6] 文陈鼎,黎金华,秦朝葵.地铁附近燃气管道杂散电流干扰分析及评价[J].上海煤气,2024(3):1-4.
[7] 马帅杰,冯志永,杜艳霞,等.动态杂散电流干扰下管地电位的波动特征[J].腐蚀与防护,2024,45(2):90-96.
[8] 陈程.华南某成品油管线地铁杂散电流干扰评价及防护方案研究[J].材料保护,2024,57(2):167-174.
[9] 颜达峰.地铁杂散电流对燃气埋地钢质管道的干扰及防护措施[J].上海煤气,2023(3):4-7.
[10] 钱根,王沛沛,湛博.地铁杂散电流对隧道钢筋极化电位分布影响研究[J].铁道标准设计,2023,67(11):200-206.
[11] 肖强荣.地铁杂散电流对成品油管道牺牲阳极的影响及防护措施[J].石油化工腐蚀与防护,2021,38(1):1-5.
[12] 于志永.地铁车辆段杂散电流的特征分析及防护[J].城市轨道交通研究,2017,20(10):44-47.
[13] 廖倩玉,陈志光.轨交杂散电流干扰下埋地管道排流测试分析[J].城市燃气,2022(3):1-8.
[14] 包文红,李广印,吴少炯.天然气管道受交流杂散电流干扰评估及排流防护治理[J].特种设备安全技术,2024(3):12-15.
[15] 万红霞,李婷婷,宋东东,等.杂散电流对埋地管道的腐蚀及排流方式的研究进展[J].表面技术,2021(4):125-134.