

地铁沿线杂散电流对埋地金属管道的腐蚀研究



周斌*

上海市自来水奉贤有限公司, 上海 201400

摘要: 今年来, 随着我国地铁体系的不断完善, 地铁沿线敷设的金属埋地管道出现的严重腐蚀问题受到社会关注。为了探讨其腐蚀机理, 文章简述地铁杂散电流对埋地金属管道的腐蚀现状及特点, 介绍了地铁杂散电流对埋地金属管的腐蚀速度快、强度大、影响范围广的特点。综述了相应的腐蚀机理, 介绍了目前国内外对杂散电流的检测和防护方法。包括管地电位测试、土壤电位梯度测试、试片法或极化探头法测试、电流探针法测试、智能杂散电流检测仪 (SCM) 检测、腐蚀检查片测试等。提出了“以堵为主, 以排为辅, 堵排结合, 加强监测”的防护方法。

关键词: 地铁; 杂散电流; 埋地金属管道; 腐蚀防护

DOI: [10.57237/j.wjese.2023.02.001](https://doi.org/10.57237/j.wjese.2023.02.001)

Study on Corrosion of Buried Metal Pipeline by Stray Current Along Metro Line

Zhou Bin*

Shanghai Waterworks Fengxian Co., Ltd., Shanghai 201400, China

Abstract: This year, with the continuous improvement of China's subway system, serious corrosion problems of metal buried pipelines laid along the subway have attracted social attention. In order to discuss the corrosion mechanism, this paper briefly describes the corrosion status and characteristics of the subway stray current on the buried metal pipes, and introduces the characteristics of the subway stray current on the buried metal pipes, such as fast corrosion speed, large strength and wide influence range. The corresponding corrosion mechanism is summarized, and the detection and protection methods of stray current at home and abroad are introduced. Including pipe to ground potential test, soil potential gradient test, test piece method or polarization probe method test, current probe method test, intelligent stray current detector (SCM) test, corrosion inspection piece test, etc. The protection method of "giving priority to plugging, taking drainage as auxiliary, combining plugging with drainage, and strengthening monitoring" is proposed.

Keywords: Metro; Stray Current; Buried Metal Pipes; Corrosion Protection

*通信作者: 周斌, 17421171@qq.com

1 引言

近年来，随着我国社会发展迅速，城市交通得到了十足的发展，其中城市地铁得到了尤为显著的大规模发展，但地铁系统的运行会伴随杂散电流的产生，地铁的杂散电流对埋地金属管道的腐蚀具有促进作用，该问题对于埋地管道的维护是至关重要的。目前地铁列车牵引动力一般用直流电，利用走行轨作为回流线路。由于走行轨本身具有电阻，且走行轨对地做不到完全绝缘，造成一部分电流以散流的形式从走行轨泄漏到大地，这部分电流称为杂散电流，又叫迷流[1]。

近年来，管网维修养护统计数据发现，地铁沿线的供水管网腐蚀相对严重，维修记录较多集中在地铁沿线或周边敷设的金属管道。地铁杂散电流会加快埋地金属管道的腐蚀，其电流强度远大于金属管道静态电化学腐蚀产生的微电流，严重的管道腐蚀则会导致漏损、爆管事故发生。为了实现对埋地金属管道的防护，对地铁杂散电流的控制是研究重点。

在地铁杂散电流的影响下，埋地金属管道受到腐蚀甚至导致漏损的事故在国内外均有发生，在第一期工程的北京地铁运行多年后，该工程范围内的埋地金属水管发生严重腐蚀；上海也有此类事故发生，在 2 号线中世纪大道段内，埋地燃气钢管在修好至 2008 年之间便发生 10 次左右的由管道腐蚀导致的漏失事故；国外也存在类似事故，例如在美国、加拿大和俄罗斯等国家同样有着由地铁杂散电流导致的埋地金属管道腐蚀的事故发生[2]。

2 杂散电流的腐蚀机理

杂散电流腐蚀属于电化学腐蚀，是一种氧化还原反应。地铁直流牵引供电形成的杂散电流及其腐蚀部位如图所示。

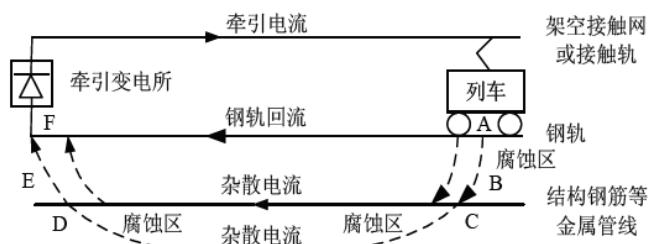


图 1 地铁杂散电流腐蚀[3]

走行轨和金属管线均为电子导体，地面为离子导体，随着电流的流动，电子在 A 点和 D 点流出，金属导体和地面组成的界面为阳极；电流在 C 点和 F 点流入，地面和金属导体组成的界面为阴极。杂散电流流过的路径可以看作两个电池串联在一起，即：

电池 1 (AC)：走行轨 (阳极) — 大地 (B) — 金属管 (阴极)

电池 2 (DF)：金属管 (阳极) — 大地 (E) — 走行轨 (阴极)

当杂散电流从 A 点和 D 点流出时，金属体都会放出电子，发生电解腐蚀。

下，因此腐蚀不容易检测。当没有地铁杂散电流影响时，腐蚀电流仅几十毫安；但在存在地铁杂散电流影响时，该腐蚀电流最大可到上百毫安，根据法拉第电解定律，随着 1A 的电流通过钢管表面流入土壤，钢管每年被腐蚀约 10kg，展现出地铁杂散电流对埋地金属管腐蚀程度之大[4]。

(2) 影响范围广。由于地铁沿线埋地金属管线大都分布成网状，杂散电流干扰腐蚀几乎能影响整个管网。

4 杂散电流的检测

目前常用的检测方法有：管地电位测试、土壤电位梯度测试、试片法或极化探头法测试、电流探针法测试、智能杂散电流检测仪 (SCM) 检测、腐蚀检查片测试等[5]。刘喜峰等设计了基于 CAN 总线技术的杂

3 杂散电流对埋地金属管腐蚀的特点

(1) 腐蚀速率快，程度大。由于金属管道埋在地

散电流在线监测系统，并通过实验室的模拟实验装置进行验证[6]；李威等对地铁杂散电流监测中的 IR 降误差进行了分析，通过实验验证了 IR 降的存在[7]；陈志光对管地电位法、土壤表面电位梯度法、电流探针测试法和智能检测仪法等常见的检测方法进行了比较分析[8]；李守本等设计了上海明珠线杂散电流检测系统，并通过模拟试验检验了这种实时监测系统的性能，试验结果得出此系统可以快速准确地监测杂散电流的干扰情况[9]；徐光强介绍了大连快轨 3 号线是如何监测由地铁系统产生的杂散电流以及在监测过程中所使用到的系统方案，结果表明该方案在投入运行中数据采集速度快，准确可靠，适合在城区和城际之间的快轨工程中应用[10]；李振芳等介绍了深圳地铁 3 号线在监测地铁杂散电流过程中所使用到的系统方案设计及应用，该检测系统采用分布式集中监控系统，监控系统中上位机用来分析所监测到的数据，从而实现实时监测功能[11]；缪云青等提出了自动检测和动态补偿的开关电源补偿方案，设计并实现了实验室地铁杂散电流模拟装置[12]；马柯等采用 SCM 检测仪，对广州地铁 13 号线并行的长输天然气管道进行检测分析，结果显示采用 SCM 技术能够准确记录管道中流动的杂散电流信息[13]。

5 杂散电流腐蚀的防护

《埋地钢质管道腐蚀防护工程检验》（GB/T 19285-2014）规定，发生直流干扰的条件为管地电位发生的正向偏移 $\geq 20\text{mV}$ 或电位梯度在土壤表面 $> 0.5\text{mV/m}$ ；在金属管道的任意位置，若其管地电位相对自然电位正向偏移量 $\geq 100\text{mV}$ 或金属管道周围的土壤表面的电位梯度 $> 2.5\text{mV/m}$ ，可通过直流排流方法或其他保护方法保护管道不受腐蚀。

一般遵循“以堵为主，以排为辅，堵排结合，加强监测”的原则。

- (1) “堵”：控制源头，减少杂散电流的产生。降低走行轨电阻值；增大走行轨与道床、其他主体结构之间的过渡电阻；根据实际情况减小变电所之间的远近，实行双边供电；采用较高的牵引电压[14]。
- (2) “排”：排流法，建立杂散电流的收集排流系统，利用低阻值的回流通路，人为地将泄漏的杂散电流引回变电所。《埋地钢质管道直流干扰防护技术标准》（GB50991-2014）提到四种排流保护方法，包括直接排流、极性排流、强制排

流和接地排流。

- (3) “加强监测”：实时监测杂散电流的大小，根据监测到的分布和泄漏情况，及时消除隐患。
- (4) 其他防护方法：阴极保护法可以采用牺牲阳极或者强制电流两种方式。一般多采用牺牲阳极方式，既可以起到排流作用，又可提供阴极保护电流[15]。

6 结论

管道腐蚀所带来的危害不容忽视，在做好城市轨道交通建设的同时，要高度重视地铁杂散电流对埋地金属管道的腐蚀。对于杂散电流的检测方法已经比较成熟，在实现对电流的有效检测的基础上，对杂散电流的防护需要进一步的研究。研究过程中由于地下管网系统错综复杂，需要分析杂散电流分布规律及影响其分布的各种因素，设计出合理有效的防护方案，才能减轻杂散电流腐蚀的危害，提高管网运行的安全性，降低维护成本。

参考文献

- [1] 王兰炜, 张宇, 张兴国, 胡哲, 地电阻率观测中地铁杂散电流特征研究 [J] 地震学报, 1-17.
- [2] 黎金华, 秦朝葵, 刘睿涵, 文陈鼎, 欧昱杰, 地铁对高压天然气管道杂散电流干扰监测评价 [J] 煤气与热力, 42(08) (2022) 1-8+19.
- [3] 赵卓庚, 关于地铁的杂散电流防护措施分析 [J] 中国高新技术企业, (03) (2013) 82-84.
- [4] 覃慧敏, 杜艳霞, 路民旭, 毕武喜, 付安庆, 轨道交通对埋地管道动态直流干扰腐蚀的研究进展 [J] 腐蚀科学与防护技术, 30(06) (2018) 653-660.
- [5] 程善胜, 张力君, 杨安辉, 地铁直流杂散电流对埋地金属管道的腐蚀 [J] 煤气与热力, (07) (2003) 435-437.
- [6] 许春香, 刘喜峰, 基于 CAN 技术在地铁杂散电流监控系统的设计研究 [J] 河南科学, 28(08) (2010) 997-1000.
- [7] 李威, 地铁电机车运行杂散电流监测及防护技术.
- [8] 陈志光, 秦朝葵, 马飞, 轨道交通动态直流杂散电流检测及判定 [J] 煤气与热力, 31(10) (2011) 35-39.
- [9] 李守本, 姚萍, 王洪仁, 张克宇, 上海轨道交通明珠线杂散电流防护与监测系统 [J] 材料开发与应用, (03) (2001) 23-26.
- [10] 徐光强, 大连快轨 3 号线杂散电流现场监测系统方案及应用 [J] 继电器, (09) (2003) 40-42.

- [11] 李振芳, 王富荣, 许聪颖, 深圳地铁3号线杂散电流实时监测系统 [J] 都市快轨交通, (02) (2007) 80-83.
- [12] 缪云青, 基于开关电源的地铁杂散电流自动检测和动态补偿装置, 首都师范大学, 2006.
- [13] 马柯, 肖超波, 周杨飞, 陈成, 贺肖, 基于 SCM 技术的城市地铁动态杂散电流检测 [J] 管道技术与设备, (03) (2019) 56-59.
- [14] 覃慧敏, 都业强, 吕超, 杜艳霞, 埋地管道动态直流杂散电流干扰评估及防护技术的研究现状 [J] 腐蚀与防护, 39(06) (2018) 409-417+424.
- [15] 唐德志, 陈宏健, 杜艳霞, 付勇, 谷坛, 路民旭, 地铁杂散电流干扰下埋地金属管道镁阳极排流技术研究 [J] 腐蚀科学与防护技术, 30(06) (2018) 577-584.