

doi:10.3969/j.issn.1672-6073.2013.01.016

地铁杂散电流腐蚀防护系统相关问题探讨

路春莲 李 铭

(西安市地下铁道有限责任公司 西安 710018)

摘要 论述地铁牵引供电系统中的杂散电流腐蚀防护系统,讨论地铁杂散电流腐蚀产生的机理及其危害,阐述治理杂散电流所采用的方法和防治原则,简要介绍目前应用的杂散电流监测系统和排流柜之间的关系,对杂散电流腐蚀防护提出合理建议。

关键词 地铁;过渡电阻;杂散电流;监测系统;排流柜;运营维护

中图分类号 U231.7 **文献标志码** A

文章编号 1672-6073(2013)01-0064-04

目前,地铁列车牵引用电一般都采用直流电,由设置在沿线的牵引变电所通过架空线或第三轨向列车馈电,利用走行轨作为回流线路。地铁系统的走行轨本身具有电阻且对地做不到完全绝缘,所以总有一部分回流电流从走行轨泄露到大地。这部分从走行轨泄露的电流被称为杂散电流,也叫迷流^[1]。

1 杂散电流的危害和防治

1.1 杂散电流的主要危害

杂散电流对金属管线、混凝土结构钢和通信系统均有不同程度的危害,也被看做是一种环境污染,其主要危害包括以下几方面。

1.1.1 腐蚀金属

1) 杂散电流引起的腐蚀比自然腐蚀要剧烈得多。杂散电流引起的腐蚀与钢铁在电解质中发生的自然腐蚀不同:自然腐蚀的电流是自发进行的,其实质是一种化学腐蚀;杂散电流的腐蚀是在自然腐蚀的基础上外加直流电流作用而引起的结果,实质是一种电化学腐蚀。杂散电流在数值上要比自然腐蚀的电流大几十倍,甚至上百倍。

收稿日期: 2012-04-20 修回日期: 2012-05-22

作者简介: 路春莲,女,工程师,从事地铁供电系统运营管理与研究,
luchunlian1122@163.com

2) 当杂散电流为1 A时,一年内可腐蚀10 kg铁。在杂散电流干扰比较严重的地区,电流可达到几十安培甚至几百安培,壁厚8~9 mm的钢管快则2~3个月就会穿孔,可见杂散电流造成的腐蚀相当严重^[2]。

3) 排流网是杂散电流的良好通道。当设置在牵引变电所的排流柜装置未启动排流功能时,在回电点附近杂散电流从排流网的结构钢中流出,结构钢失去电子而带正电,形成铁离子,铁离子与水蒸气中的硫酸根离子作用变成硫酸盐,因而被腐蚀。

4) 北京地铁一期工程投入运营数年后,其主体结构钢筋发现严重腐蚀,隧道内水管腐蚀穿孔,仅东段部分区段就更换水管54处^[3];天津地铁也存在水管被杂散电流迅速蚀穿的情况^[4];香港地铁曾因地铁杂散电流引起煤气管道腐蚀穿孔,造成煤气泄漏的事故^[5]。

1.1.2 破坏混凝土结构

1) 在杂散电流由混凝土进入钢筋之处,钢筋呈阴极状态。如果阴极析氢且氢气不能从混凝土逸出,就会形成等静压力,使钢筋与混凝土脱开。

2) 在电流离开钢筋的部位,钢筋呈阳极而发生腐蚀,并形成腐蚀产物 Fe(OH)_2 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{xH}_2\text{O}$ (红锈)、 Fe_3O_4 (黑锈)等。腐蚀产物在阳极处堆积,会以机械力作用排挤混凝土而使之开裂^[6]。

3) 根据研究,红锈的体积可扩大到原来钢筋体积的4倍,黑锈体积可扩大到原来的2倍。铁锈的形成使钢筋体积膨胀,进而对周围混凝土产生压力,使混凝土内部形成拉应力。由于混凝土的抗拉强度很低,一般只有0.88~1.5 MPa,使混凝土沿钢筋方向开裂^[6]。

1.1.3 对通信系统产生影响

杂散电流使通信导线与附近大地形成电位差,会在接地的通信设备机架上形成高电位而影响通信,甚至危及设备和人员的安全。

可见,寻求减少杂散电流腐蚀危害的方法是非常重要的。目前,我国地铁建设处于高潮时期,因此要全

面考虑杂散电腐蚀防护问题,设计合理的杂散电流腐蚀防护系统具有一定的现实意义。

1.2 杂散电流的腐蚀防护

尽管杂散电流腐蚀防护系统涉及多个专业,但由于直流牵引供电系统是产生杂散电流的根源,因而通常将杂散电流腐蚀防护系统归由供电系统设计。

在直流牵引电流流经走行轨时,因走行轨存在内部电阻,所以在走行轨上产生纵向电位,其大小与直流牵引电流、走行轨电阻和供电分区长度有关。在相同条件下,牵引变电所的供电分区长度越长,走行轨上产生的纵向电位差越大,杂散电流泄漏量就越大,不利于杂散电流腐蚀防护。在日本,将杂散电流腐蚀防护的需要列为确定牵引供电分区长度的首要条件^[7]。

因为杂散电流的危害在地铁修建初期甚至是二三十年内都不能明显地表现出来,所以未能引起足够的重视。一旦杂散电流对地铁本身及周边设施造成危害,其后果往往相当严重,有时甚至是不可挽回的。

1.3 杂散电流的防治方法

通过对杂散电流产生的原因及腐蚀过程进行分析,可以知道提高走行轨对地绝缘和保持牵引回流畅通是治理杂散电流泄露的两种途径。在行业内,对杂散电流腐蚀的防治总结为“以防为主,以排为辅,防排结合,加强监测”的16字原则。根据这个原则,提出了3种应对杂散电流的方法。

1.3.1 方法1

控制杂散电流产生的源头,减少杂散电流产生的总量,即“防”的方法。这种方法有两个要点:第一是增加轨地过渡电阻值,即要加强绝缘;第二是减小回流轨的纵向电阻,这一点从目前来看,通过选用大截面的重型钢轨和控制焊接长轨接缝的电阻值比较容易做到^[2]。

1.3.2 方法2

对泄露出钢轨的杂散电流采取排流的方法来减少其腐蚀危害,即“排流法”。目前,多采用极性排流法。该方法是在道床下和隧道侧壁铺设纵向电气连接的钢筋排流网,使杂散电流通过这个人设置的低阻值金属网络回流到牵引所附近,再通过电缆将排流网引出端子与排流柜连接,通过排流柜进行极性排流,使杂散电流及时地回到牵引所整流器的负极。

1.3.3 方法3

对杂散电流进行实时监测,一旦发现泄露超标,则采取一定的对策来减轻其危害,即“测”的方法。该方法运用杂散电流监测系统,通过在地铁沿线布置相当

数量的传感器,对结构钢筋的腐蚀程度进行实时监测,为地铁运营维护提供必要的参考。

因为杂散电流和经由轨道回流的正常电流是一个此消彼长的关系,其中关键的决定因素就是轨地过渡电阻值。因为“防”的方法是控制源头的方法,具有主动性,通过控制施工质量和做好后期运营维护就可以最大限度地控制杂散电流的产生,而“排”的方法是被动的,是在泄露达到一定程度后采取的补救措施,不是解决问题的根本办法。

2 对轨地过渡电阻进行全程控制

《地铁杂散电流腐蚀防护技术规程》规定:新建线路的走行轨与区间主体结构之间的过渡电阻值不应小于 $15 \Omega \cdot \text{km}$,对于运行线路不应小于 $3 \Omega \cdot \text{km}$ 。杂散电流腐蚀的防护应坚持“以防为主”的原则,“防”的关键就是控制轨地过渡电阻值,为此就必须想办法增加轨道绝缘强度。笔者认为,比较有潜力的做法是:在地铁建设阶段,在钢轨的绝缘安装方面不断开展新材料、新工艺、新工法的研究;在地铁运营阶段,加强绝缘维护工作。只有堵住杂散电流泄露的源头,使杂散电流的泄露总量得到控制,才能有效地治理杂散电流。另外,轨地过渡电阻的控制还需要对各专业提出一些要求。

2.1 对轨道专业的要求

过渡电阻值的控制与轨道专业关系最为密切,但杂散电流腐蚀防护系统一般归供电专业管理,在专业衔接上存在衔接不严密的弊端,轨道专业对钢轨绝缘安装的重要性往往认识不足。但是,杂散电流腐蚀防护系统普遍是在试运营或正式运营以后才组织验收,这时大家关心的问题集中在杂散电流监测系统的通信或系统功能的实现上,往往忽视对过渡电阻的要求。有些新修线路是在全线轨道铺完后才测量,过渡电阻值往往达不到规范要求,有的甚至出现轨道与排流网连通的情况。因此,建议在轨道验收条款里明确轨地过渡电阻阻值的要求。

2.2 对土建施工的要求

加强和保持轨道绝缘是一项系统工程,需要多工种、多专业紧密配合。

2.2.1 道床排水沟设置

根据测定,不同含水状态下混凝土电阻率差别很大,如表1所示。

混凝土在潮湿和干燥状态下,电阻率相差很大。因此,保持混凝土整体道床的干燥,不但是加强走行轨道对地绝缘的有效措施,而且也是减少轨道绝缘垫

表1 混凝土电阻率^[2]

含水状态	电阻率参考值/ $\Omega \cdot m$
在水中	40~55
在湿土中	100~200
在干土中	500~1 300
在干燥的大气中	12 000~18 000

堆积含盐沉积物的有力措施。因此,宜将道床排水沟设在道床两侧,并保证排水通畅,这有利于保持道床混凝土的干燥,可以有效防止走行轨对地绝缘水平的降低。例如,必须把排水沟设置在道床中间,适当增加排水坡度,使积水及时排进区间水池^[2]。

2.2.2 道床混凝土设置

为有效防止杂散电流对主体结构钢筋的腐蚀,杂散电流道床收集网钢筋与走行轨之间需要进行绝缘处理,道床收集网钢筋与主体结构钢筋之间也应避免金属连通。为保证收集网与走行轨之间的绝缘性能,位于钢轨下面的道床混凝土层需要具有一定厚度。

2.3 对运营维护的要求

在工程建设时,要重视日常维护,采取合理措施,严格施工,同时需要加强运营养护和维修,这样才能保证杂散电流腐蚀防护获得长期效果。

在运营维护中,应采取有效的措施,使轨道绝缘性能保持在一定水平上。

1) 定期清扫线路,清除粉尘、油污、赃物、沙土等,保持走行轨清洁和绝缘水平良好。

2) 及时消除道床积水,保持道床处于干燥状态。

3) 根据杂散电流监测系统的报警信息,及时处理线路异常现象。

清扫工作的重点是钢轨绝缘安装部分,按铺枕数量1 440根/km算,一条25 km的地铁线路约有7.2万个绝缘点需要清扫除尘,工作量较大。建议:对绝缘安装部位采取保护措施,如可用绝缘材料对结合部位进行覆盖,或涂抹绝缘漆,拉长维护周期,降低维护强度;对于除尘、除油和保持干燥,可考虑开发一种兼顾除尘、除油和干燥功能的非标设备,或采

用其他高科技手段,以便有效地提高维护效率。

3 杂散电流监测系统与排流柜

3.1 杂散电流监测系统

3.1.1 系统组成

目前,地铁中用到的杂散电流监测系统一般由参比电极、智能传感器、信号转接器、监测装置及上位机组成。在传感器之间、传感器与信号转接器之间、信号转接器与监测装置之间,均通过现场总线实现信息传递;监测装置通过变电所内的通信网络与电力监控系统接口,将处理和统计后的数据传至杂散电流监测系统的上位机。图1为一个监测分区智能传感器、信号转接器以及排流柜与杂散电流监测装置的连接关系。

3.1.2 功能实现

杂散电流监测装置与上下行信号转接器通过RS485总线或CAN总线进行数据通信,上下行信号转接器分别与分布在车站两端的各智能传感器连接;通过各监测点传感器,实时采集监测点的结构钢筋的极化电位、接触电位,参比电极自然本体电位,并对采集的模拟量进行A/D转换、计算、存储、统计,通过变电所内通信网络与杂散电流监测系统的上位机连通。在上位机电脑上,可以看到全线杂散电流监测点的信息。一般杂散电流监测系统具备通信、测量、计算、显示、报警及分析功能等。

智能传感器是杂散电流监测系统最前端的信号采集装置,其接线如图2所示,信号采集端子分别与钢轨、排流

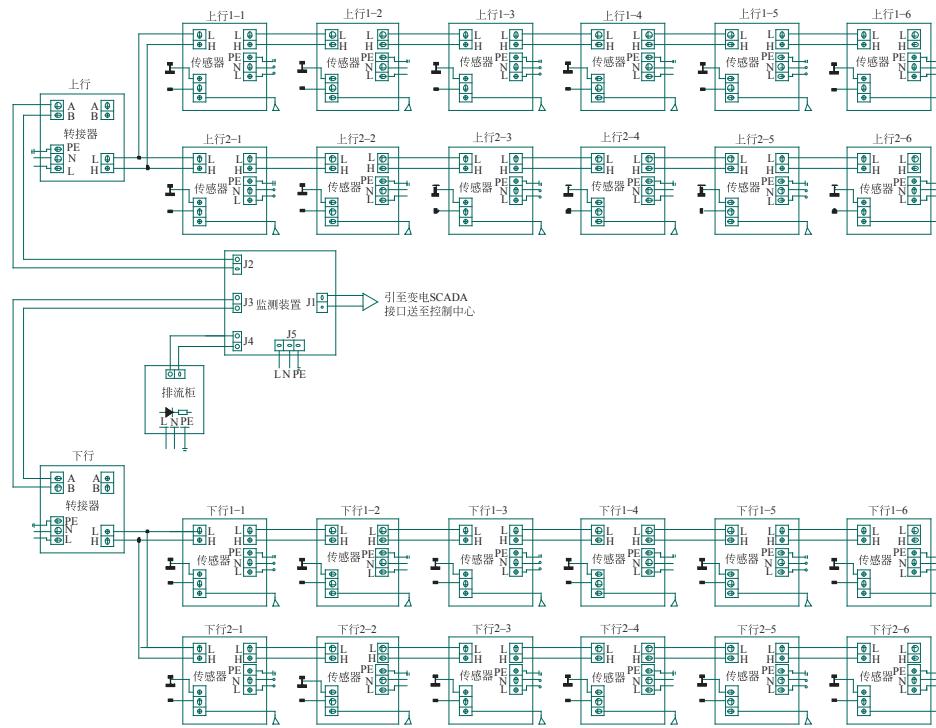


图1 杂散电流监测系统

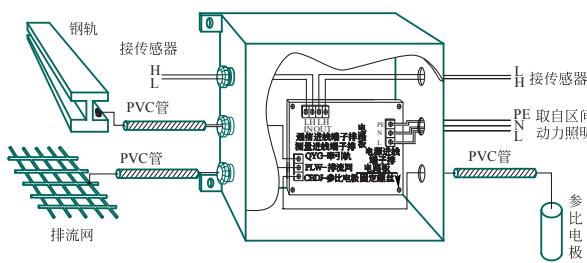


图 2 智能传感器接线

网以及参比电极相连。另外,通信端子与相邻的传感器连接,电源一般采用 AC220 V,取自区间照明配电箱。

3.2 排流柜

排流柜是地铁杂散电流腐蚀防护系统内一个不可或缺的设备,通常安装在牵引变电所内,电气连接在排流网与负极柜之间。排流网收集的杂散电流通过排流柜的极性排流,回到整流器负极,以防止杂散电流进一步扩散,造成更大范围的危害。

一般地下牵引变电所设置的排流柜包括 4 个排流支路和 1 个接地支路,4 个排流支路包括上、下行道床排流支路和上、下行侧壁排流支路。4 个排流支路的输入端分别与上、下行道床排流网引出端子和上、下行侧壁排流网引出端子连接,接地支路输入端与变电所综合接地端子连接,各支路杂散电流通过各支路设置的整流二极管进行极性排流,在排流柜内各支路的杂散电流汇集到一个汇流母排上,再通过电缆将汇流母排与负极柜连接,使杂散电流最终回到整流器负极。高架线路因无隧道侧壁排流网,故相比地下变电所排流柜少两个排流支路,高架段地面变电所一般设置 3 个支路,分别是上、下行道床排流支路和接地支路。

3.3 监测系统与排流柜的关系

目前,国内大多数地铁杂散电流监测系统与排流柜没有建立有效的测控关系,仅有的控制也只是在测量轨地过渡电阻时,监测装置给排流柜发送启动命令,收集排流电压和排流电流,没有真正做到根据杂散电流的监测状况来有效地控制排流柜的投切。对于已进行控制的个别线路,其控制方式和控制策略也不尽相同,有的采用模拟量控制,有的采用开关量控制,也有的进行模糊控制。国内地铁普遍的做法是:在一个监测装置所带的传感器中,若超过半数的极化电位超标,就投入对应的排流柜。究竟哪种控制方式最能有效地发挥作用,还需做进一步研究。

4 结语

1) 充分重视杂散电流腐蚀防护专业在地铁建设

和运营中的重要性。

2) 对相关标准、规范中提到的技术参数(过渡电阻、主体结构钢筋纵向电阻等),在相关专业施工过程控制、验收等环节中严格把关,无条件地执行标准及规范的要求。

3) 坚持杂散电流防治中“以防为主”的原则,认识到排流只是权宜之计,想方设法地控制杂散电流泄露的源头。

4) 继续进行相关专业的科研攻关,开展新材料、新工艺、新工法和新技术应用的研究。

“千里之堤,溃于蚁穴。”杂散电流腐蚀防护专业作为直流牵引供电系统的一个小分支,往往不会引起大家的足够关注,但其造成的危害恰恰是不可估量、无法挽回的。希望借此文引起地铁建设及运营相关部门的重视,采取有效措施,保障地铁长期持续安全运营。

参考文献

- [1] CJJ 49—92 地铁杂散电流腐蚀防护技术规程 [M]. 北京:中国计划出版社,1993.
- [2] 吴国华. 地铁杂散电流对金属管材的腐蚀与防护机理 [J]. 铁道标准设计,1998(10):38-39.
- [3] 马洪儒. 北京地下铁道的杂散电流腐蚀与防护 [J]. 城市轨道交通,1990(1):11-19.
- [4] 高敬宇,易凡. 地铁及轻轨杂散电流腐蚀与防护 [J]. 天津理工学院学报,1996,12(1):32-36.
- [5] 周晓军,高波. 地铁迷流对钢筋混凝土中钢筋腐蚀的试验研究 [J]. 铁道学报,1999,21(5):99-105.
- [6] 林江,唐华,于学海. 地铁迷流腐蚀及其防护技术 [J]. 建筑材料学报,2002,5(1):72-76.
- [7] 于松伟,杨兴山,韩连祥,等. 城市轨道交通供电系统设计原理与应用 [M]. 成都:西南交通大学出版社,2008.

(编辑:郭洁)

Study on Protective Systems against Metro Stray Current Corrosion

Lu Chunlian Li Feng

(Xian Metro Co., Ltd., Xi'an 710018)

Abstract: This article describes the principles of generation of metro stray current and its corrosion to protective systems, elaborates the protective measures adopted to prevent the stray current, and briefly introduces the relation between stray current monitoring system and current drainage cabinet used at present, with suggestions to prevent the stray current corrosion given in the end.

Key words: urban rail transit; transition resistance; stray current; monitoring system; current drainage cabinet; operation and maintenance