

地铁杂散电流防护分析研究

徐红云

北京地铁运营有限公司供电分公司 北京海淀 100000

摘要: 伴随经济的飞速进步,我国各个地区的地铁建设速度有所改善,目前城市供水管道、燃气管道、雨水管道、供电电缆和通信电缆等均采用地下埋设方式,腐蚀风险和防止地下水流向这些管道和电缆已成为需要立即考虑的问题。

关键词: 轨道交通;杂散电流防护;方式

城市轨道交通杂散电流会对周边的金属管线造成腐蚀。介绍了轨道交通杂散电流的危害及常规的防护措施,从防护间距、加强绝缘、主动防护等方面提出了特殊区段的加强防护措施。

一、杂散电流的形成和影响因素

杂散电流的产生原因主要可归纳为电位梯度和电流泄露。变电站将交流电转换为直流电,通过架空接触线将电流送入地铁机车,电流通过轨道返回变电站,形成闭环。由于轨道上的电阻,轨道对地有电压,轨道与地不绝缘,两者之间也有一定的电阻,轨道的电压和对地的电阻的存在导致轨道持续地往大地泄露电流,即杂散电流。在额定电流不变的情况下,杂散电流的大小与轨道的电阻和土壤的电阻率有关。

1. 杂散电流的腐蚀原理

土地中的杂散电流可以从管道一端绝缘层的损坏点流入管道,从另一端绝缘层的损坏点沿管道流向管道外流向管道。杂散电流流入管道的部位带有电荷,为阴极区。一般情况下阴极区不会受腐蚀影响,而若电位过负则有可能在阴极区的管道表面发生析氢腐蚀,进一步损坏绝缘层。杂散电流流出管道的部分带正电,为阳极区。管道中的铁离子会溶解在周围的电解液中,并与空气中的氧气氧化。

2. 杂散电流的腐蚀特点

(1) 杂散电流腐蚀强度大。进一步损坏绝缘层。杂散电流流出管子的部分带正电,为阳极区。管内的铁离子会溶解在周围的电解液中,并与空气中的氧气氧化。(2) 杂散电流腐蚀范围广。地铁电流在整个市区的地下金属燃气管道中几乎随处可见,并且流动的大小和方向是随机的。(3) 腐蚀一般集中在局部。防腐保温层损坏的部分通常会造成严重的侵蚀,很快就会形成穿孔。上海地铁2号线世纪大道沿线的DN300燃气钢管在2010年

前已经泄漏十余次,造成重大经济损失和社会影响。香港地铁的杂散电流造成煤气管道腐蚀穿孔,并引发煤气泄漏事故。2010年广州白云机场地铁开通后,机场空燃管道阴极保护系统因地下不稳定流动而失效,管道安全受到严重威胁。以上例子都证明了杂散流的问题,减少其造成的危害刻不容缓。

二、轨道交通杂散电流常规防护措施

一般情况下,轨道交通杂散电流腐蚀防护系统的设计主要围绕“防”“排”“测”三方面进行。在单边供电条件下,杂散电流 I_s 的计算公式为:

$$I_s = IR_g L^2 / (8R_{g/s})$$

式中:

I_s ——泄漏的杂散电流, A;

I ——列车牵引平均电流, A;

R_g ——走行轨纵向电阻, Ω/km ;

$R_{g/s}$ ——走行轨对地过渡电阻, Ω/km ;

L ——牵引变电所和列车之间的距离, km。

从式(1)看出, $I_s \propto L^2$, 可以通过合理设置变电所间距减少杂散电流; $I_s \propto R_g$, 可以通过选用无缝钢轨、增加均回流点等措施保持回流通畅,减少杂散电流; $I_s \propto 1/R_{g/s}$, 可以通过设置绝缘垫、走行轨对地保持一定间隙、保持轨道清洁干燥等措施加强走行轨对地绝缘, CJJ/T49也明确要求 $R_{g/s}$ 不应低于 $15\Omega \cdot \text{km}$ 。除了上述有关“防”的措施,一般还兼有“排”和“测”的措施。“排”,即在轨道正下方放置一个漏电流收集网络(即排水网),以提供一个对杂散电流具有低电阻的平滑回路,并将其引导回变电站的负极。排水管网纵向钢筋总截面必须满足长期峰值负荷期间排水管网对地电位正偏差的平均值 $\leq 0.1\text{V}$ 的要求。“测量”是指在轨道支座或结构上安装测试端子和参考电极,实时监测轨道杆或结构钢筋的极化电位,评估其腐蚀情况。当极化电位超过标准

时,投入排流装置。

1.具体杂散电流防护措施

(1)与埋地金属管线的间距要求

管线与干扰源的间距是决定干扰程度的重要因素,埋地金属管线应尽可能远离直流牵引系统的轨道交通线路。GB50991建议管线与直流牵引系统宜保持间距,并没有具体要求;GB28026中进行了明确,规定走行轨与埋地金属管线在土壤中距离应大于1.0m;GB50028—2006《城镇燃气设计规范》要求穿越轨道的燃气管道顶部距轨道轨底不小于1.2m。新建管线可按上述要求执行,既有管线则可通过管线迁改来实现。

(2)用专用轨回流

回流轨的绝缘水平要求需和接触网保持一致。地铁在可行性研究或初步设计阶段,基本完成了孤流腐蚀防护技术方案的选择。国内地铁通常采用圆形隧道、矿法(马蹄形)隧道和露天(矩形)隧道以及高架桥和地下管道。在后期调整杂散电流防护方案有可能对其限界空间产生影响,以及对土建工程有可能产生实质影响。

(3)采用走行轨回流方案,做到加强绝缘和监测

采用方案二走行轨对地、走行轨对结构钢筋应绝缘,其过渡电阻值不应小于 $150\Omega/\text{km}$ 。由于杂散电流对钢筋和金属管道腐蚀是一个缓慢的过程。在地铁线路刚开通时,走行轨周围无灰尘、铁屑、油污等含盐沉积物,此时走行轨的绝缘水平较高,杂散电流也相对较少。随着地铁开通年限的增长,由于列车和走行轨磨损增加,道床周围粉尘、油污、砂土的累积,以及道床积水等原因,将会降低钢轨对地过渡电阻值,导致杂散电流增多。此时应需相应的排流措施。由于方案二无排流装置措施,地铁运营后期过渡电阻不可避免的要减少,无法满足当初设计和运营要求,因此在国内地铁中应用较少。

(4)阴极保护法

阴极保护法分为牺牲阳极保护法和冲击电流阴极保护法。保护牺牲阳极的方法使用比管道中的材料更具化学性的金属。(例如镁、铝、锌等)制作成牺牲阳极材料,将其与管道阳极连接或镀在管道外层。根据电化学腐蚀原理,管道金属处于阴极区,而化学性质更为活泼的材料处在阳极区被侵蚀。牺牲阳极保护法施工较简单,但若受较大的杂散电流干扰时易失效,牺牲阳极的使用寿命会限制管状金属的保护时间。外加电流阴极保护法是用外接直流电源连接管状金属和保护材料,管状金属接电源负极,保护材料接电源正极。被保护的管状金属处于阴极电位,保护材料处于阳极电位并被腐蚀。该法

的优点是所用的保护材料不受限制,可使用化学性质较不活泼的金属,延长系统的保护寿命;缺点是需要外接电源,维护复杂,成本高于牺牲阳极保护的方法。

①地下区段埋地金属管线防护:轨道交通地下线路中埋地金属管线的防护可以采用牺牲阳极法。该方法简单易于实现,主要是利用活泼金属作为阳极,通过测试装置或直接与金属管线相连,使金属管线变为阴极,从而达到管线防护的目的。

②地面区段埋地金属管线防护:车场等地面区段由于道床型式制约容易受到自然环境影响,杂散电流泄漏量往往更大,可选用防护效果更好的极性排流法。极性排流法是将金属管线直接与变电所负极柜相连,使泄漏到金属管线的杂散电流再流回变电所负极。

③主动型防护措施效果评价:牺牲阳极法或极性排流法主要是通过减小管地电位正向偏移幅值,或缩短其正向偏移持续时间来减小对埋地金属管线的干扰。采用防护措施后,管地电位应达到或接近未受干扰前的状态或满足GB50991中有关电位正向偏移平均值 $\eta V(\%)$ 的规定。

(5)加强走行轨绝缘

轨道交通走行轨系统主要由钢筋混凝土道床、钢筋混凝土轨枕、橡胶绝缘垫和钢轨构成,其中,橡胶绝缘垫电阻值一般为 $1.0 \times 10^8\Omega$ 。但是,混凝土在干燥和潮湿的条件下电阻率相差非常大,混凝土轨枕容易在潮湿条件下变为导电介质,导致杂散电流泄漏,从而影响埋地金属管线。在有埋地金属管线的特殊区段,除常规措施外,还可采用纳米涂层涂覆钢轨、绝缘复合轨枕代替普通轨枕等措施来加强绝缘。其中,纳米涂层是利用纳米级颗粒对钢轨侧面及底部的铁基表面进行紧密包覆,其绝缘电阻值可达 $1.24 \times 10^9\Omega$,甚至可以用于环境更为恶劣的有轨电车项目。绝缘复合轨枕则可采用发泡聚氨酯树脂材质,该材质具有优异的绝缘性和耐久性,绝缘电阻值可达 $1.0 \times 10^{10}\Omega$ 。

(6)隔离法

隔离法是一种对电缆沟里的管线进行绝缘安装措施,一般在管道金属外表面涂抹绝缘涂料。常见的绝缘涂料有沥青、缩醛树脂和聚丁烯等。该法的优点是操作简单,一般不需维护,成本较低;缺点是防护效果不稳定,涂抹不彻底或地铁长期运行后涂料开裂会严重影响保护效果。

三、杂散电流的监测

杂散电流一般很难被监测到,常用的监测方法是以设备或系统的接地端作为地,监测钢轨对地的极化电压。

而地本身的电位变化较大,需有恒定不变的电位做基准参考点。实际应用中埋地金属管道对地电位差是指金属管道和参考电极之间的电位差,目前常用埋入式长效硫酸铜做参考电极。我国在地铁建设初期就已开始预埋这类参考电极,在使用参考电极监测管道对地电位方面已较成熟。由于杂散电流产生在地铁车辆运行过程中,工作人员无法进入其中进行监测,所以一般采用监测系统数据进行数据采集。

四、结束语

电气化铁路接触网施工技术作为新型的重要技术之一,其发展的正常与否直接关系着居民出行安全。相关部门必须要引起高度的重视,从实际出发、从理论出发,提高电气化铁路接触网的整体施工质量,促进我国铁路运输事业能够得到再度提升。

参考文献:

[1]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,2018,30(06):577-584.

[2]郑焱文,黄小美,龚智利,吕山,肖隆明,罗敏.埋地钢质燃气管网地铁杂散电流腐蚀防护模拟[J].煤气与热力,2020,40(07):35-42+44.

[3]王禹桥,黄玉坚,彭成宽,李威,王承涛.基于地表电位梯度的地铁杂散电流动态干扰范围评估模型[J].北京交通大学学报,2020,44(03):30-36.

[4]顾清林,姜永涛,曹国飞,葛彩刚,丁疆强,高荣钊,修林冉,杨阳.关于长输天然气管道受地铁动态直流杂散电流干扰的思考与探讨[J].全面腐蚀控制,2019,33(06):1-5.