

轨道交通杂散电流对埋地金属管线的影响及应对措施

靳 凯

(上海市隧道工程轨道交通设计研究院, 200235, 上海//工程师)

摘 要 城市轨道交通杂散电流会对周边的埋地金属管线造成腐蚀和破坏。介绍了轨道交通杂散电流的危害、评判标准及常规的防护措施,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,并设计了一种新型轨道交通沿线金属管线的杂散电流防护装置。

关键词 城市轨道交通; 杂散电流; 埋地金属管线; 腐蚀防护

中图分类号 U223.6⁺2

DOI:10.16037/j.1007-869x.2021.05.043

Influence of Urban Rail Transit Stray Current on Buried Metal Pipeline and Countermeasures

JIN Kai

Abstract The stray current can cause corrosion and damage to buried metal pipelines near track. The hazards of rail transit stray currents, evaluation criteria and regular protective measures are introduced, and enhanced protective measures for special sections in terms of protective spacing, reinforced insulation and proactive protection are proposed. A new type of stray current protection device for metal pipelines along track is designed.

Key words urban rail transit; stray current; buried metal pipelines; corrosion protection

Author's address Shanghai Tunnel Engineering & Rail Transit Design and Research Institute, 200235, Shanghai, China

由于城市地下空间限制,许多轨道交通在建设过程中,不可避免地要和一些天然气管道、油气管道等埋地金属管线出现并行或交叉敷设的情况。在上述特殊区段全面考虑杂散电流腐蚀问题,设计合理的防护方案,对于埋地金属管线的防护及地铁本身来说,具有一定的现实意义。

1 杂散电流腐蚀的标准

GB/T 28026.2—2018《轨道交通地面装置电气

安全、接地和回流 第2部分:直流牵引供电系统杂散电流的防护措施》(以下简称“GB 28026”)中提到,结构钢筋对地电位高峰小时正向偏移值小于200 mV时,非阴极防护区的结构不需要采取特别的措施^[1]。

2020年新发布的行业标准——CJJ/T 49—2020《地铁杂散电流腐蚀防护技术标准》(下简称CJJ/T 49)对防护指标进行了细化,当地铁沿线没有阴极防护区时,要求同GB 28026,否则结构钢筋对地电位高峰小时正向偏移值应 ≤ 100 mV^[2]。

燃气行业的标准和规范一般利用管地电位正向偏移值 > 20 mV和土壤电位梯度2个指标作为评判标准,CJJ 95—2013《城镇燃气埋地钢质管道腐蚀控制技术规程》、GB 50991—2014《埋地钢制管道直流干扰防护技术标准》(以下简称“GB 50991”)、GB/T 21447—2018《钢制管道外腐蚀控制规范》等规范均规定:当管地电位正向偏移值 > 20 mV或土壤电位梯度 > 0.5 mV/m时,确认存在直流干扰;当管地电位正向偏移值 > 100 mV或土壤电位梯度 > 2.5 mV/m时,管道需及时采取防护措施^[3-5]。

轨道交通杂散电流设计时,可以根据结构钢筋对地电位高峰小时正向偏移平均值 ≤ 0.1 V来考虑,既符合了地铁方面的设计规范,又满足了燃气行业的规范要求。

2 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^[6]:

$$I_s = IR_g L^2 / (8R_{g/s}) \quad (1)$$

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/T 49 也明确要求 $R_{g/s}$ 不应低于 $15 \Omega \cdot \text{km}^{[2]}$ 。

除了上述有关“防”的措施, 一般还兼有“排”和“测”的措施。“排”, 即在轨道正下方设置杂散电流收集网(即排流网), 为杂散电流提供一条畅通的低电阻回路, 将其引回变电所负极。排流网纵向钢筋总截面应满足远期高峰时段排流网对地电位正向偏移平均值 $\leq 0.1 \text{ V}$ 的要求。

“测”, 即在道床或结构上设置测试端子和参比电极, 来实时监测道床钢筋或结构钢筋的极化电位, 判断其腐蚀情况。当监测到极化电位超标时, 投入排流装置。

3 特殊区段的杂散电流防护措施

3.1 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。GB 50991 建议管线与直流牵引系统宜保持间距, 但并没有具体要求^[4]; GB 28026 中进行了明确, 规定走行轨与埋地金属管线的土壤中距离应大于 $1.0 \text{ m}^{[1]}$; GB 50028—2006《城镇燃气设计规范》要求稍高, 穿越轨道的燃气管道顶部距轨道轨底不小于 $1.2 \text{ m}^{[7]}$ 。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。

3.2 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, 混凝土轨枕很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, 还可以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, 其绝缘电阻值可达到 $1.24 \times 10^9 \Omega^{[8]}$, 甚至可以用于环境更为恶劣的有轨电车项目。

绝缘复合轨枕则可以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, 绝缘电阻值可达到 $1.0 \times 10^{10} \Omega^{[9]}$, 目前在北京、上海、成都、常州等地的轨道交通项目中均有应用。

3.3 走行轨并接电缆

从式(1)可以看出, 通过减小走行轨纵向电阻 R_g , 也可以达到减小杂散电流的目的。因此, 也可在特殊区段两端各延伸一定长度内的走行轨并接一段电缆, 采用打孔胀钉螺栓方式与钢轨进行连接, 以降低走行轨纵向电阻。

3.4 增大排流网截面

排流网纵向电压 U 的计算公式^[6]:

$$U = \frac{L^3}{\sqrt{2}} \times \frac{IR_g R_s}{R_{g/s}} \quad (2)$$

式中:

U ——排流网允许的电压降, V;

R_s ——排流网单位长度电阻, Ω/km , $R_s = \rho \cdot L/S$, S 为排流网纵向钢筋总截面, mm^2 。

从式(2)可以看出, S 越大, R_s 越小, 则 U 越小, 即可以通过增大排流网纵向钢筋总截面将纵向电压降控制在较小范围, 减小杂散电流的泄漏水平。

在特殊区段增大排流网截面的方法有很多, 可以通过在该区段内增加排流网钢筋数量、预埋紫铜排、两端各延伸一定长度内的排流网并接排流电缆来实现。

3.5 主动型防护措施

除上述措施外, 还可以采用阳极保护法、阴极保护法、牺牲阳极法、排流保护法等措施进行防护。

阳极保护法防护效果较好, 是通过将管线电位提高到钝化电位来进行防护, 但是由于地下管线情况复杂, 实际操作起来较为困难。阴极保护法防护效果也很好, 但是需要设置专门的直流电源, 通过供出反方向电流来抵消杂散电流, 造价相对较高。

轨道交通线路中一般可采用牺牲阳极法和极性排流法, 分别用于地下区段和地面区段的埋地金属管线防护。

3.5.1 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。该方法较为简单, 易于实现, 主要是利用锌、镁等活泼金属作为阳极, 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。阳极的选型和布置应符合 GB/T 21448—2017《埋地钢制管道阴极保护

技术规范》中“牺牲阳极系统”的相关规定^[10]。

3.5.2 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及容易受到自然环境影响,杂散电流泄漏量往往更大,周围埋地金属管线的腐蚀也较为严重,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。图1为一种轨道交通沿线金属管线的杂散电流防护装置^[11]。

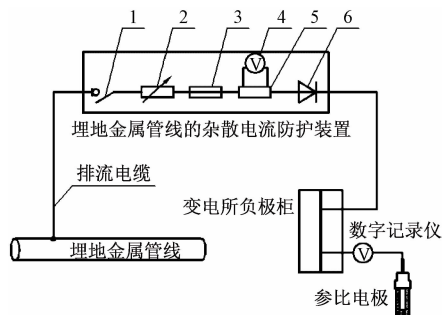


图1 一种轨道交通沿线金属管线的杂散电流防护装置

图1中:“1”为负荷开关,主要用于通断回路,并具有简单的灭弧功能;“2”为可自动调节大小的限流电阻,避免过度排流;“3”为熔断器,用于保护回路;“4”和“5”分别为分流器和表计,用于测量排流值;“6”为二极管,用于保证杂散电流单方向流动。

负荷开关、熔断器、二极管、分流器和表计等可根据排流电流值的1.5~2.0倍进行选型。排流电流值 I 的计算公式^[4]为:

$$I = V_{PR} / (R_1 + R_2 + R_{PG} + R_{RG}) \quad (3)$$

式中:

V_{PR} ——未排流时的管轨电压, V, 可按 GB 50991 附录 A.4 管轨电压测试的方法进行现场实测;

R_1 ——排流电缆内阻,可初步选定电缆型号,计算出排流电流值 I 后,再校验电缆的载流量,如不满足要求,可放大一档继续校验;

R_2 ——排流器内阻,即图2防护装置内部的电阻值(除限流电阻外);

R_{PG} ——管道接地电阻, $R_{PG} = \sqrt{r_3 w_3}$, r_3 为管道的纵向电阻,可现场实测, w_3 为管道防腐层泄漏电阻,可按 GB 50991 附录 A.2 管地电位测试的方法进行现场实测;

R_{RG} ——钢轨接地电阻, $R_{RG} = \sqrt{r_4 w_4}$, 其中, r_4

为钢轨纵向电阻,可按 GB 28026 中附录 B.1 轨条电阻测量的方法进行实测, w_4 为钢轨道床泄漏电阻, CJJ/T 49 规定该值应大于 $15 \Omega \cdot \text{km}$ ^[2], 可按 GB 50991 附录 A.6 轨地电位测试的方法进行现场实测。

排流可以降低杂散电流对埋地金属管线的腐蚀,将管线的极化电位限制在 0.5 V 的标准之内。但是,过度排流也容易引起钢轨电位上升及杂散电流泄漏量变大,反而危害到周围其他管线或钢筋。因此设计时还需结合最大保护和最小干扰的原则,统筹考虑周围管线情况,设置一个限定排流量 I_D , 使管线的极化电位保持在 0.5 V 附近,既保证管线处于钝化状态,又避免过度排流带来其他危害。上述要求可以通过在防护装置内部串联一个连续可变并能够自动调节大小的限流电阻 R_{CL} 来实现,其大小可按如下公式^[4]计算:

$$R_{CL} = (I/I_D - 1) V_{PR} / I \quad (4)$$

3.5.3 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 GB 50991 中有关电位正向偏移平均值 η_v (%) 的规定。

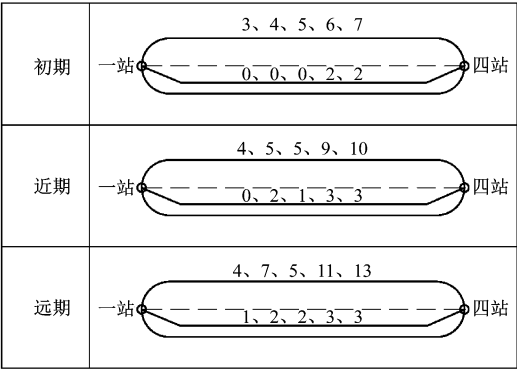
4 结语

在一些埋地天然气管线、油气管道等与轨道交通并行或交叉敷设的特殊区段,杂散电流的防护措施尤为重要,除一些常规的防护措施以外,本文提出了几种加强防护措施。合理地选取防护方案,不仅可以减少对埋地管线的危害,对轨道交通自身来说,也起到了一定保护作用。

参考文献

- [1] 国家市场监督管理总局,中国国家标准化管理委员会. 轨道交通 地面装置 电气安全、接地和回流 第2部分:直流牵引供电系统杂散电流的防护措施: GB/T 28026.2—2018[S]. 北京:中国标准出版社,2018.
- [2] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 地铁杂散电流腐蚀防护技术标准: CJJ/T 49—2020[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2020.
- [3] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 城镇燃气埋地钢质管道腐蚀控制技术规程: CJJ 95—2013[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2013.

(下转第 207 页)



注:图中数字依次为淡季工作日、淡季周末、旺季工作日、旺季周末、节假日的行车量;在初期、近期和远期中,第一行数字的单位为对/h,第二行数字的单位为列/h。

图 8 早高峰列车交路图

5 结语

国内旅游轨道交通发展迅速,悬挂式单轨系统作为一种轻型、美观、适应能力强的轨道交通制式,在旅游线的应用前景较为广阔。但是任何轨道交通均存在规模大、造价高昂的问题,因此做好旅游线的行车组织精细化设计,设计合理建设规模是项

(上接第 201 页)

[4] 中华人民共和国住房和城乡建设部,中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.埋地钢制管道直流干扰防护技术标准:GB 50991—2014[S].北京:中国计划出版社,2014.

[5] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.钢制管道外腐蚀控制规范:GB/T 21447—2018[S].北京:中国质检出版社,2018.

[6] 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.

[7] 中华人民共和国建设部,中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.城镇燃气设计规范:GB 50028—2006[S].北京:中

目实施的重点。本文从客流时间分布、客流空间分布、客流需求特征等三方面分析客流特征,为行车组织设计打好基础;然后主要从行车对数、列车运行交路、旅行速度等与旅游线特征相关的三部分内容进行行车组织设计方法的研究;最后结合算例,设计与之相匹配的行车组织方案,为具体工程实施提供参考。

参考文献

[1] 李芾,许文超,安琪.悬挂式单轨车的发展及其现状[J].机电传动,2014(2):16.

[2] 刘广武,连义平,张凯.旅游轨道交通运输组织模式研究[J].铁道运输与经济,2018(1):106.

[3] 郭旭东,刘永平,王远回.以旅游功能为主的城市轨道交通线路客流预测方法[J].城市轨道交通研究,2018(1):49.

[4] 吕晓东.城市轨道交通列车运行交路问题研究[D].成都:西南交通大学,2012.

[5] 陈福贵.地铁单向加车小交路方案研究[J].都市快轨交通,2018(5):123.

[6] 四川省住房和城乡建设厅.悬挂式单轨交通设计标准:DBJ 51/T 099—2018[S].成都:西南交通大学出版社,2018:12.

(收稿日期:2019-05-07)

国建筑工业出版社,2006.

[8] 黎明化工研究院化工新材料检测中心.纳米瓷涂层绝缘检测报告[R].洛阳:洛阳双瑞橡塑科技有限公司,2016.

[9] 中华人民共和国住房和城乡建设部.聚氨酯泡沫合成轨枕:CJ/T 399—2012[S].北京:中国标准出版社,2013.

[10] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.埋地钢制管道阴极保护技术规范:GB/T 21448—2017[S].北京:中国标准出版社,2018.

[11] 殷爽,傅铭,王晨,等.一种轨道交通沿线管道杂散电流防护装置:CN209534795U[P].2019-10-25.

(收稿日期:2020-04-15)

上海轨道交通市域线嘉闵线工程可行性研究报告获批

上海市发展和改革委员会发布:上海轨道交通市域线嘉闵线工程可行性研究报告已获批。正线全长44.04 km,途经嘉定区、闵行区。自嘉定城北路站,经新成路站、嘉戩公路站、丰茂路站、南翔站、金园五路站、金运路站、天山路站、虹桥站、迎宾三路站、沪星路站、七宝站、七莘路站、莘建路站,至闵行银都路站。

嘉闵线是上海市域网络中南北向的骨架线路。该项目建设对推动长三角地区交通基础设施互联互通、促进虹桥国际开放枢纽发展、完善本市轨道交通网络、改善地区交通出行环境具有重要作用。嘉闵线正线除虹桥枢纽段采用地面敷设,地面段长度2.68 km,其余均为地下段,地下段长度41.36 km。全线设14座地下车站,1座地面车站。采用最高运营速度为160 km/h的动车组列车,快慢车组合运输模式。项目建成后,将实现与轨道交通2号线、9号线、12号线等9条线路,以及市域线机场联络线的换乘,未来还将实现与多条规划轨道交通的换乘。

(摘自2021年5月13日“上海发布”)