

文章编号:1673-8411 (2017) 02-0090-04

城市轨道交通大地网接地电阻测量技术研究

康强

(广西区防雷中心, 广西 南宁 530022)

摘要:根据接地网的接地电阻的测量原理,建立合适的短距测量所需要的接地网等效模型,提出一种符合现场要求的短电流极引线测量方法,为解决由于接地电阻测量极引线过长而带来的一系列难题做一些具有实际意义的实验和探讨。

关键词:轨道交通;大地网;接地电阻;短距测量

中图分类号:P427.32

文献标识码:A

Study on grounding resistance measurement technology of urban rail transit geodesic network

Kang Qiang

(Guangxi Lightning Protection Center, Guangxi Nanning 530022)

Abstract: Based on the measuring principle of grounding resistance of geodesic network, the suitable equivalent model for short distance measurement was established to put forward a short current-electrode wire measurement method and to solve a series of difficult problems due to the over-length wire.

Keywords: rail transit; geodetic network; grounding resistance; short distance measurement

1 引言

地铁接地电阻的检测工作是地铁各设备防雷及电气安全性能检测的一个重点和难点,其准确性是确保检测数据公正科学的前提^[1],但实际检测中受到检测环境和对象的限制,不能按规定要求布置接地极或使用标准长度测量导线的情况经常发生,因此探索出一种能准确短距离测量大型地网接地阻抗的测试方法,能够对处在城市中心高楼林立、建筑密集、人员、车辆流量大、其它设施较多的场所的大型接地装置进行测量,如地铁站或城区变电站等。

2 大型地网接地电阻测量方法及适用场合

2.1 补偿法

(1)0.618法

0.618法是补偿法测量的经典方法,为方便现场使用,DL/T 475—2006对其测试步骤进行了简化,如图1所示,接地网、电流极、电压极呈直线布置,电压极P在电流极C和接地网G之间移动三次,每次移动距离为DGC的5%,三次测量结果误差在5%以内即可,要求电流极DGC与被测接地网边缘距离应为被测试接地网最大对角线D的4-5倍。DL/T475—2006规定,大型地网一般不宜采用直线法测试,如果条件所限而必须采用时,应注意使电流线和电压线保持尽量远的距离,以减少互感耦合对测试结果的影响。

(2)30°夹角法

30°夹角法也称等腰三角形法,是补偿法的另一种形式,如图2所示,电压极与电流极呈等腰三角形布置,电流极P与电压极C的夹角为28.95°时,可

收稿日期:2016-12-25

作者简介:康强(1981-),男,贵州瓮安人,大学本科,工程师,从事防雷减灾工作。

以测量得到准确的接地阻抗值。DL/T475—2006 规定,30°夹角法测试时,电流极和电压极布线长度约为 2D^[2]。

2.2 远离法(远离夹角法)

远离夹角法是基于零电位参考点的物理意义,将无穷远点这个物理意义上的零电位点作为电位参考点。远离法在接地网和电流极平面上任意角度都可以实现准确测量,是克服土壤不均匀条件影响的测量接地电阻的最有效的方法。DL/T475—2006 规定,只要条件允许,大型接地网接地阻抗的测试都应采用远离夹角法,布线长度一般为 4D~5D,电流极、

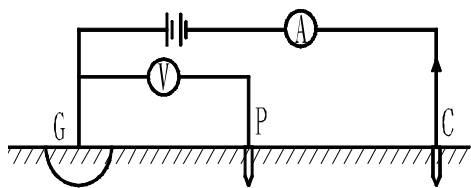


图1 接地电阻测试示意图

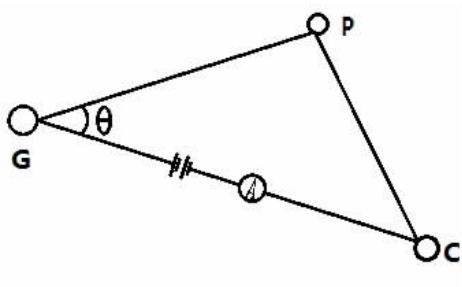


图2 30°夹角法电极布置示意图

电压极布线长度相近。远离法的测试结果总是偏小,必须将接地阻抗测试值按式(1)进行修正。

$$Z = \frac{Z'}{1 - \frac{D}{2} \left[\frac{1}{D_{GP}} + \frac{1}{D_{GC}} - \frac{1}{\sqrt{D_{PG}^2 + D_{CG}^2 - 2D_{PG}D_{CG}\cos\theta}} \right]} \quad (1)$$

式中:θ为电流线和电位线的夹角;Z'为接地阻抗的测试值。

2.3 几种测试方法的适用场合

补偿法的适用有严格的前提条件,无论是 0.618 法还是 30°夹角法,均要求均匀的土壤条件,否则补偿点并不在 0.618 或 30°夹角附近,补偿法将存在较大的误差,而误差的大小无法预测和计算,视现场土壤条件变化而变化。因此,在土壤结构不均匀的场合,不应采用补偿法。远离夹角法是克服土壤不均匀条件影响的测量接地电阻的最有效的方法,只要条

件允许,大型接地网接地阻抗的测试都应采用远离夹角法。需要注意的是几种测试方法布线长度为电流极、电压极与接地网最近边缘的直线距离,而不是布线的实际长度,一般用 GPS 进行定位获取。

理论上,不管电流引线多长,在接地系统与电流极之间总存在一个电压极补偿点位置,使测量结果等于接地电阻的真实值。中国的电力行业标准均推荐使用电位降法或由其衍生的方法如 0.618 法、等腰三角形法等测量接地电阻。近年来,国内清华大学、华北电力大学和重庆大学对接地电阻的短距离测量法进行了系列研究^[3-6],但是 0.618 法是建立在半球形计算模型基础上的,实测时要求待测接地网与电流极之间有足够的间距和均匀分布的土壤,不利于现场实施。

3 地铁接地网接地电阻短距测量原理分析

3.1 地铁地网设计

根据地铁接地网的设计可以看出,地铁接地网均为外缘闭合、内部敷设若干均压导体的网状结构,并在边缘敷设若干垂直接地极的长方形接地网^[7]。

根据接地理论知道,接地体地面电位的大小与入地短路电流、土壤电阻率的大小成正比,也就是说入地短路电流、土壤电阻率的大小的变化不会对测量位置造成影响^[8]。因此,对地铁接地网计算模型的建立主要是基于长方形接地网为主进行计算分析。

3.2 典型地铁接地网分析模型建立

对于一定面积的形状的方形地网,从距离地网边缘超过 40m 的位置开始,可以认为地网外电位分布与地网布置方式关系不大。可以选取一种典型布置方式构成的接地网来进行研究和分析,所得到的结论对地网现常用的各种布置方式都是成立的^[9-10]。将地铁接地网等效成一个圆盘接地体,通过对圆盘电极的短距测量讨论,从而得到实际地网短距测量的测量位置。因此将地铁接地网等效成以其长边边长为直径的圆盘电极,使用圆盘电位公式进行分析计算。

3.3 短距测量引线起点(电流注入点)的确定

地铁接地网接地引出装置的布置位置不是在地网的中心位置,导致测量引线起始点的位置不明确,从而必然导致测量位置点的确定上存在偏差^[11]。是从地网边缘计算还是从电流注入点计算起呢?根据测量理论,电流极距离待测地网越近,合成的电位曲

表 1 0.618 法与 D-0.509 法的测量结果比较

站名	A/m ²	0.618 法			均值/ Ω	D-0.509 法			误差/%
		D _{CC} /m	D _{CP} /m	R1/ Ω		D _{CC} /m	D _{CC} /m	R2/ Ω	
凤岭站	216 × 17	830	510	0.200	0.192	216	110	0.196	2.08
			460	0.190					
			420	0.186					
西律站	225 × 16	1000	610	0.247	0.243	225	115	0.232	4.53
			550	0.242					
			500	0.239					

线就越陡,对测量位置点的准确度要求就越高,测量位置的偏差很容易造成测量结果的较大偏差,甚至是错误^[12-13]。

由于地网是由若干金属导体相互连接构成的网孔形结构,因此接地理论中将整个地网视为一个等势体^[14]。电流从地网中心注入和电流从边缘导体注入,所造成的电位分布被认为是基本相同的。因此,在短距测量的情况下,电流注入点虽然布置在地网的接地引出装置 P1—P9 之一上。但计算电流极和电压极引线长度时应该从地网最近的边缘为起点开始计算,一般用 GPS 定位获得,而不是布线的实际长度^[15]。

3.4 短距测量辅助电流极位置的确定

圆盘电极的实际接地电阻 R_0 为:

$$R_0 = \frac{\rho}{4r} \quad (2)$$

式中: R_0 为圆盘电极接地电阻值,单位 Ω ; r 为圆盘电极半径,单位 m; ρ 为土壤电阻率,单位 $\Omega \cdot m$ 。

从地网边缘布线的测量布置时,在电流极影响下,所测得的圆盘电极的接地电阻为:

$$R = \frac{\rho}{4r} - \frac{\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{D_{CC}} - \frac{1}{D_{PC}} + \frac{1}{r} \sin^{-1} \frac{r}{D_{CP} + r} \right) \quad (3)$$

要使测量结果符合实际值,所测得的 R 与实际电阻的差别为: $\Delta R = R_0 - R$, 设法使测量误差 ΔR 为零。即

$$\Delta R = -R_0 - R = \frac{\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{D_{CC}} - \frac{1}{D_{PC}} + \frac{1}{r} \sin^{-1} \frac{r}{D_{CP} + r} \right) = 0 \quad (4)$$

计算(3)把各变量换成与地网半径 r 对应的关系,令 $D_{CC} = nr$, $D_{CP}/D_{CC} = a$, 则可求解出补偿点位置 a 与引线长度 nr 的关系。

(1) 当 $n=2$ 时,将 $D_{CC} = D = 2r$, 代入式(3)可以解得 $\alpha = D_{CP}/D_{CC} = 0.509$, 即当缩短电流极引线长度为圆盘直径长度,测量点位于地网边缘时,将补偿点的位

置布置在 0.509 倍地网等效直径长度附近,就可以测量得到准确的地网接地电阻。

(2) 当 $n=4$ 时,将 $D_{CC} = 2D = 4r$, 时代入式(3)可以解得 $\alpha = D_{CP}/D_{CC} = 0.557$, $D_{CP} = 0.557 \times 2D = 1.114D$, 即补偿点的位置在 1.114 倍地网等效直径长度附近。

4 试验验证

为验证上述方法测试大地网接地阻抗的可靠性和实用性,选择两个地铁站接地网进行对比测量,在测试中同时采用传统的 0.618 法测出接地电阻进行对比,测量数据如表 1 所示。

从表 1 可以看出,0.618 法与 D-0.509 法的测量误差相差在 5% 内,在工程上属于可以接受的范围。

5 结论

(1) 在短距测量地铁接地网时,测量位置可以选择 P1—P9 的任意一个接地引出装置作为电流注入点,但测量引线的长度应从地网边缘为起点开始计算,这样可以避免选择测量位置的混乱。

(2) 地铁人工接地网可以等效为直径等于接地网长边边长的圆盘接地极,通过对测量电压极位置的分析,提出了 D-0.509 接地电阻测量方法。通过对两个地网接地电阻测量对比,测量误差在工程规定的允许范围内^[16],验证了 D-0.509 法的可行性。

(3) D-0.509 法缩短了电流极和电压极的布线长度,减小了布线难度,使测量更加方便、安全,适用于测量处于城市中心地铁站或城区变电站等地网面积大和布线困难的大型地网接地电阻。

参考文献:

- [1] GB50157-2013 地铁设计规范 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2013.
- [2] DL/T475-2006 接地装置

(下转第 96 页)

- [8] 李亚芬, 张原端等. 风力发电机组雷电防护 [J]. 内蒙古科技与经济, 2015, 336: 89-91.
- [9] 蒋承霖, 黄浩辉, 植石群. 广东地区大风拟合的适用性研究 [J]. 广东气象, 2010, 32 (2): 8-10.
- [10] 宫靖远等. 风电场工程手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.
- [11] 洪华芳, 周歧斌, 边晓燕. 风力发电机叶片的雷击损伤与雷电保护 [J]. 东华电力, 2009, 37 (10): 1778-1781.
- [12] 潘艺, 周鹏展, 王进. 风力发电机叶片技术发展概述 [J]. 湖南工业大学学报, 2007, 21 (3).
- [13] 林雨人等. 深圳大运会场馆建设施工现场防雷接地与电气安全 [J]. 广东气象, 2010, 32 (3): 44-45.
- [14] 风力发电机组防雷装置检测技术规范 [S]. 气象出版社, 2015.
- [15] 徐式强, 赵建吉, 黄革鑫. 大型地网接地电阻的测试 [J]. 气象研究与应用, 2009, 30 (z2): 204-206.
- [16] 丘志彪. 探讨计算机房防雷屏蔽的检测方法 [J]. 气象研究与应用, 2012, 33 (1): 100-101.
- [17] 杨国雄; 李文飞; 邓庆祥. 深圳机场二次雷达站防雷地网整改工程设计分析 [J]. 气象研究与应用, 2015, 36 (2): 128-129.
- [18] 林伟华; 梁美婵; 张强. 计算机机房雷电感应防护工程方案 [J]. 气象研究与应用, 2012, 33 (1): 104-105.

.....

(上接第 93 页)

- 特性参数测量导则 [S]. 北京: 中国电力出版社, 2006.
- [3] 刘玄毅, 等. 接地电阻测量方法及使用仪器分析 [J]. 高电压技术. 1992, (4): 85-88.
- [4] 常树升, 陈增吉, 房连玉. 双层土壤中测量接地电阻的补偿法 [J]. 东北电力学院学报. 2001, 21 (4): 61-63.
- [5] 刘黎. 地网接地电阻短距测量方法和降阻新技术研究 [D]. 重庆: 重庆大学, 2003.
- [6] 黄锐锋, 李琳, 张波, 等. 变电站接地网接地电阻近距离测法与系统开发 [J]. 高电压技术, 2004, 30 (9): 27-29.
- [7] 韦卓运, 康强, 等. 布线方式对测量接地电阻的影响分析 [J]. 气象研究与应用, 2014, 35 (1): 111-112.
- [8] 周开春, 何明峰. 多种降阻剂材料搭配在变电站接地网改造中应用 [J]. 广西气象, 2006, 27 (2)
- [9] 洪展. 雷电对石油气站的危害及防护措施 [J]. 气象研究与应用, 2007, 28 (3): 67-69.
- [10] 丁溢锋. 电源避雷器选型与安装应注意的事项 [J]. 气象研究与应用, 2007, 28 (4): 64-66.
- [11] 黄仁立, 等. 磷酸系列化工厂雷电综合防护措施 [J]. 气象研究与应用, 2008, 29 (1): 66-68.
- [12] 吴少峰, 肖伟军, 张羽. 新一代多普勒天气雷达三级终端的设计与应用 [J]. 广东气象, 2013, 35 (2): 67-70.
- [13] 杜连书. 防雷装置检测常见的几个问题 [J]. 气象研究与应用, 2012, 23 (S1): 117.
- [14] 张娟, 徐加民, 林卓宏. 闪电电涌对区域自动气象站的破坏机理及闪电电涌防御技术 [J]. 广东气象, 2013, 35 (3): 58-60.
- [15] 吴亚玲, 李辉. 深圳市 2000 年以来气象灾害及其风险评估 [J]. 广东气象, 2013, 31 (3): 43-45.
- [16] 张中舟, 李莉. 现行测量接地电阻存在的问题及解决方法 [J]. 气象研究与应用, 2009, 30 (S2): 171-172.