

文章编号:1673-8411 (2015) 03-0103-04

接地电阻测量方法及误差分析

吕昆坤¹, 黄耀磊¹, 辛学飞², 吴英杰³

(1.湘西土家族苗族自治州气象局, 湘西, 416000; 2.张家界市气象局, 张家界, 427000; 3.花垣县气象局, 湘西, 416400)

摘要:通过对常用的检测方法进行分析和总结,结合日常检测工作中可能引起测量误差的因素,提出合理可行的解决方法。

关键词:接地电阻;测量;误差

中图分类号:TMO

文献标识码:A

The Analysis of Earth Resistance Measuring Methods and Errors

Lv kunkun, Huang yaolei, Xin xuefei, Wu yingjie

(1. Xiangxi Tujia and Miao Autonomous Prefecture Meteorologic Bureau, Xiangxi, 416000;

2. Zhang jiajie Municipal Meteorological Bureau, Zhangjiajie, 427000;

3. Huayuan County Meteorological Bureau, Xiangxi, 416400)

Abstract: Through analysing and summarizing the commonly-used detecting methods, combining with the factors possibly caused measure errors in the daily work. This paper presents some reasonable and feasible solutions.

Key words: earth resistance; measure; errors.

1 引言

接地系统是现代防雷技术中最重要的一环,直接关系到建筑物、设备的安全运行和人民生命财产安全。良好的接地系统是维护电力、电子信息系统安全运行、保障建(构)筑物、电气、信息、通讯设备和人员安全的重要措施。如何准确测量接地电阻、减少测量误差,准确的判定接地系统是否有效是防雷工作的一项重要工作。

2 接地电阻与测量原理

2.1 接地电阻

接地是将电子、电气设备及电力系统的某些部分与大地相连接。这些连接是通过设置接地装置来实施的,接地装置是埋入地下的接地体与接地连线

的总和^[1]。接地电阻由接地极与引线的连接电阻、接地极本身的电阻、接地极与土壤的接触电阻和接地极周围土壤的体积电阻等四个部分组成。

其中接地极以及引线都是铜、铁等导电性良好的金属材料,电阻小,接地极的散流电阻要比接地极和引线电阻大很多,因此通常将接地极及引线的电阻忽略不计。接地极与土壤的接触电阻和接地极周围土壤的体积电阻之和占接地电阻的绝大部分,通常把它们称为散流电阻,近似地看做为接地电阻。

2.2 接地电阻的测量原理

测量接地电阻的基本原理是欧姆定律。根据欧姆定律,给待测接地极施加一定的电流 I ,再测量出该电流产生的电位降 U ,就得到了接地电阻 $R=U/I$ 。显然要想求得接地电阻,首先要一个能形成电流回路电流极 C ;其次还需要一个零电位的电压极 P ,当

收稿日期:2015-01-25

作者简介:吕昆坤(1983.9-),男,甘肃静宁人,工程师,学士,从事防雷检测和管理工作的。

接地电流 I 通过待测接地极以半球面形状向地中流散时,流到足够远的地方,电位降为 0,也就是说零电位在距离被测接地极足够远的地方,这显然很难形成闭合回路,难以满足电流的连续性和闭合性规律。因此在电位降法、四极法等接地电阻测量过程中,如何准确的找到零电位也是准确测量接地电阻的关键。一般对于单根待测接地极来说,距离待测接地极 20m 以外的地方,散流电阻近似为零,电位也趋近于零,接地电阻的测量就是利用了这一结论。

3 常用的接地电阻测量方法

接地电阻测量方法通常有以下几种:两点法、三点法、三极法、四极法、大电流法、倒相法、变频法和钳测法等,文中结合 K-6470N 多功能防雷装置检测仪对三极法、四极法等给出正确的接线和测量方法,供防雷检测工作人员参考。

3.1 两点法

两点法适用于待测接地极的接地电阻较大的小型接地装置,直接用伏安法测量,测得的接地电阻值是待测接地极和辅助接地极电阻值之和。所选用的辅助接地极接地电阻必须足够小,相比较待测接地极的接地电阻值,辅助接地极的接地电阻被认为是可忽略的。对于接地电阻值低的接地极,此法的误差较大。

3.2 三点法^[2]

三点法适用于小型接地装置接地电阻的粗略测量。该方法基于两点法,测得待测接地极与两个辅助接地极间的电阻 r_{12} 、 r_{13} 以及两个辅助接地极间的电阻 r_{23} ,通过公式求 $r_1 = \frac{r_{12} - r_{13} + r_{23}}{2}$ 得待测接地极的接地电阻值。对于待测接地极为单根接地极,要求三个电极相互间的距离应至少为 5m,最好为 10m 或以上。对于较大面积、接地电阻值较低的接地网来说,其间距应至少与接地网尺寸属同一数量级。而对于大型地网而言,间距要求很难满足,因此该方法不适宜大型地网的测量。

3.3 三极法

电位降法是给待测接地极注入电流,记录该电流与待测接地极和电压极之间电压的关系,在测试中多次改变电压极位置测量得到待测接地极与电压极之间的电位降曲线,通过测量曲线分析得到接地电阻测量值的测量方法。因电位降法需要多次反复测量,工作量大、绘制电位降曲线复杂,不利于现场

操作。三极电位补偿法是在电位降理论基础上发展的一套简化测量方法,其中包括 0.618 法和 30° 夹角法。

3.3.1 0.618 法

0.618 法是将电流极、电压极与待测接地极布设在一条直线上。理论上,存在一个可得出待测接地极真实接地电阻值的电压极补偿点。当电压极与待测接地极之间的距离 d_{CP} 满足 $d_{CP}/d_{CC}=0.618$ (d_{CC} 为待测接地极与电流极之间的距离)时,可准确测量出电阻值(图 1)。

3.3.2 30° 夹角法

三极法测量接地电阻时,还可将电流极和电压

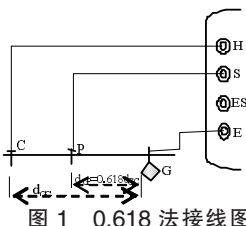


图 1 0.618 法接线图

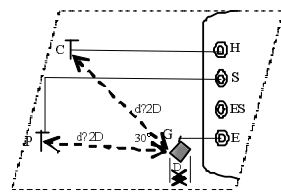


图 2 30° 夹角法接线图

极与待测接地极布设成等腰三角形,当顶角为 28.96° 时接地电阻测量误差为零,在实际应用中,顶角近似取 30°,这就是 30° 夹角法。一般情况下两个电极距被测电极的距离不应小于被测地网对角线的 2 倍(图 2)。

0.618 法和 30° 夹角法都是通过均匀土壤环

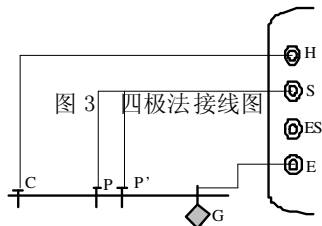


图 3 四极法接线图

境下寻求接地极和电流极之间的零电位点,从而有效地利用了电流极的引入造成的电场畸变,测得接地电阻值。

3.4 四极法

四极法(图 3)是一种能够有效消除电流、电压引线间互感影响的测量方法,四极法也是在三极法的基础上衍生出来的,其测量方法是在三极法的基础上在被测接地极附近再增设一个辅助电压极,并且可以通过倒相消除地中干扰电流的影响^[3]。但四

极法对于大型地网接地电阻测量时会受到一定条件的限制。

3.5 大电流法

大电流法是在待测接地极中通过不小于 30A 的大电流, 提高信噪比以降低杂散电流对测量结果影响的测量方法。大电流法可以有效消除变电站、发电厂等接地网中会存在较大的杂散电流的影响, 减小测量结果和计算结果引入误差, 提高测量的准确度。用大电流法测量接地电阻时需要提供功率较大的电源, 大功率电源装置一般都比较庞大, 给检测工作带来极大的不便。

3.6 倒相法

倒相法是在三极法的基础上通过改变电压极、电流极极性从而改变电源正、反两次或多次倒相测试(K-6470N 在手动模式下可以直接改变电流方向达到倒相的目的), 将两次测试结果分析处理, 达到抗干扰的目的。倒相法只有在外界干扰很弱的情况下才有一定的效果, 而倒相法需要分阶段测量多个电压电流值, 而地中的干扰信号是随机量, 两次或多次的测量, 很难保证干扰信号的同一性, 这必然会影响到测量结果的准确度。

3.7 变频法

变频法是 70 年代以来接地电阻测量方法研究的主要内容之一。使用异于工频的变频电源信号产生测试信号, 注入电流小、电压低、安全性好, 并进行软硬件滤波去除干扰信号后利用现代信号处理技术求出接地电阻值, 可以有效地消除干扰电流的影响、提高测量的准确性, 它还容易实现多次重复的测量。

3.8 钳测法

钳测法是利用钳口式接地电阻测量仪进行测量, 不必布置辅助接地极和断开接地引线, 只要用钳口钳住接地线或接地棒就能进行测量, 实现了接地电阻在线测量^[4], 极大的简化了检测接地电阻测量过程, 减少了工作量。该测试设备钳口内有两个独立线圈, 一个产生交流电压, 另一个用于测试回路电流, 两个线圈之间的互感效应对测量精度有较大的影响, 且注入交流电压只有单一的测试频率, 如其频率与电气设备地网泄露电流频率接近时, 测量精度很低。

4 引起误差的因素分析及解决方法

土壤电阻率、地网布置情况和接地材料的材质、规格等是决定接地电阻的重要因素。但是在日常检

测工作中, 测量设备、测量方法以及周围的环境也会对测量结果形成很大的影响。

4.1 接地电阻测试仪中电压表内阻的影响^[5]

由于常用的接地电阻测量仪器中电压表和电位极是串联关系, 设备中电压表的内阻会给测量结果带来误差, 并且误差为负值, 也就是说仪器测得的接地电阻值要小于接地极实际的接地电阻值。

解决方法: 在选取接地电阻测试仪时应考虑电压表内阻, 内阻越大误差越小, 一般要求测试仪中电压表的内阻大于或等于电压极散流电阻的 50 倍。

4.2 电流极与电压极引线互感的影响

0.618 法等测量方法中, 电压极和电流极引线是平行布置的, 因此当电流流经电流极引线时在电压极引中会产生感应电动势, 引线间的互感造成的误差可高达 $0.1\Omega/100\text{m}$ 。

解决方法: 选用截面不应小于 $1.0\text{--}1.5\text{mm}^2$ 的电压极和电流极引线。测量时需要将引线拉直, 避免测试线弯曲而产生自感现象, 并定期维护测试线, 对于可能折断或使用时间较长的线路及时更换^[7,9]。可选择四极法测量有效消除电流极与电压极引线的互感。

4.3 辅助接地极的影响

辅助接地极的材质、形状、布置位置以及布置辅助接地极附近的土壤环境都会对测量结果造成影响。

解决方法: 选用表面光滑不易弯曲的圆钢作为辅助接地极, 测量时应保证辅助接地极打入地的时与土壤充分接触, 以免引起高接触电阻。正确布置辅助接地极, 当采用 0.618 法测量接地电阻时, 电流极的位置应距接地极取 $(4\sim 5)D$ (D 为被测接地装置的最大对角线长度)^[6]。当采用 30° 夹角法时辅助接地极距待测接地极 $2D$ 以上。随着城市建筑密度的增大, 可供布置辅助地极的位置非常有限, 经常会遇到因地面硬化而不能布置辅助接地极, 这时可用布块或毛巾将辅助接地极包起来放置在硬化地面上, 再在布块或毛巾上浇水, 然后进行测量。如遇沥青等导电性较差的地面, 该方法不适合, 需重新寻找辅助接地极的布置位置。

4.4 地电流和电磁场的影响

一些检测场所的变压器接地、电子电器设备接地、地下金属管道等, 可能使杂散电流流入地表或者在地表附近形成电磁场。当辅助接地极布设在其周围, 容易产生电位差, 影响测量结果。同时在检测高

层建筑物时,加长的测试线容易将空中一些无线电,电磁杂波等信号通过测试线引向测量仪器,对测量结果产生严重影响。

解决方法:选择抗干扰能力在 20db 以上的接地电阻测试仪进行测量。测量前先了解地下金属管道和设备接地的布置情况,根据地下金属管道和设备接地的具体情况布选择影响尽可能小的地方放置辅助接地极。对设置有短接卡的引下线,应断开后进行测量,在没有设置短接卡的情况下,尽量在干扰设备不运行的环境下进行测量。测量方法可在三极法测量的基础上,采用一根同轴线作为测试线,同轴线的一端接在待测接地极上,另一端分别接到测试仪 ES 和 E 端口,这样可以避免电磁干扰,提高测量的分辨率^[7](图 4)。可选择变频法或大电流法,通过改变测试电压的频率和电流强度消除影响^[8]。

4.5 大地趋肤效应、激发极化效应的影响

在测量过程中当注入电流使“大地—导线”形成

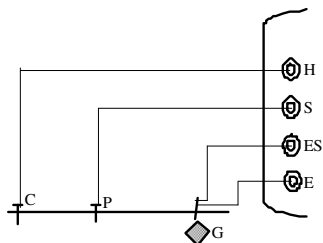


图 4 能有效消除干扰的三极法接线图

回路时,交流电流就会在待测接地极和电流极之间流动,使得该区域内产生电磁场,由于趋肤效应的作用使得测量的电阻值大于待测接地极实际接地电阻值。同时当地下有矿石或岩石存在时,受测试电流场作用会产生二次电场,二次电场随时间变化而变化。受激发极化效应作用,土壤电阻率降低,测量的电阻值小于待测接地极实际接地电阻值。

解决方法:调整辅助接地极的位置进行多点多次测量,对测量结果应用莱特准则进行取舍,以消除测量误差,使检测数据真实可靠^[9]。

4.6 仪器本身对测量结果的影响

除以上可能引起测量结果误差的因素外,检测仪器本身也会对测量结果造成严重的影响。

解决方法:检测仪器要经常维护,特别是对测试线连接部位、辅助地桩、虎钳夹等要经常检查、维护,

仪器应及时年检和校准,不得使用超检仪器^[7,10]。

5 结论

(1) 接地电阻是防雷系统中的一项重要技术指标,也是衡量系统安全性、有效性的重要参数。在日常的接地电阻测量工作中,只有选择适当的检测设备、检测方法和测试线,并根据现场可能影响的环境进行调整,才能把检测误差降到最低,确保检测数据的科学性、准确性和权威性。

(2) 文中测量接地电阻值的方法是以土壤为均匀土壤、电流极引线足够长和待测接地体可近似看作半球体的形状为前提条件。如果土壤是非同质的,或接地极、电流极为复杂形状,则难于测量和计算,此时要用计算机进行进一步处理^[2]。

参考文献:

- [1] 肖稳安、张小青, 雷电与防护技术基础 [M]. 北京: 气象出版社, 2006.
- [2] 中华人民共和国国家质量技术监督局.GB/T 17949.1-2000.接地系统土壤电阻率、接地阻抗和地面电位测量导则. 第一部分: 常规测量 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2000.
- [3] 张明峰, 变电站接地网的研究 [D], 东南大学, 2005
- [4] Li W, Zou J, Sun H. Research on the new clamp-on ground resistance on-line tester based on AC variable frequency [C]. Dalian, China: 2006, (05): 33-34.
- [5] 冯志伟, 影响接地电阻测量的因素分析 [D]. 南京信息工程大学, 2011.
- [6] 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.GB/T21431-2008.建筑物防雷装置检测技术规范 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [7] 孟刚、于宝和, 防雷接地电阻偏离真值的探讨 [J]. 吉林气象, 2008 (2): 26-27.
- [8] 翟玉泰、于东海、王立民, 接地电阻测试影响因素分析 [J]. 气象研究与应用, 2012 (9): 91-93.
- [9] 朱海洋、陈德刚、吴跃宏、郑雪梅, 接地电阻测量方法及阻值分析 [J]. 气象研究与应用, 2009 (12): 163-164
- [10] 张红梁, 影响接地电阻测量值的因素及排除方法初探 [J]. 科技风, 2011 (3): 266.