

文章编号:1673-8411 (2014) 02-0105-03

一次接地电阻测量的不确定度评定与分析

于 潇, 刘开道, 胡 定

(钦州市气象局, 广西 钦州市 535000)

摘 要:通过测量一处测风塔接地电阻,分析并评定了测量结果的不确定度,并指出评定不确定度的重点是熟悉并准确判定不确定度的来源,找出更准确的评定不确定度的方法。

关键词:接地电阻;不确定度;B类不确定度评定

中图分类号:P427.32

文献标识码:A

Analysis and uncertainty evaluation on a grounding resistance measurement

Yu-Xiao, Liu Kai-dao, Hu Ding

(Qinzhou Municipal Meteorological Service, Qinzhou Guangxi 535000)

Abstract: Based on measuring the grounding resistance of a wind tower, the uncertainty of measurement results was analyzed and evaluated, and it is pointed out that the focus of the uncertainty evaluation are familiar with and accurately determine the source to find a more accurate method for uncertainty evaluation.

Key Words: grounding resistance; uncertainty; Class B uncertainty evaluation

1 测量不确定度的定义

一切测量结果都不可避免的具有不确定度。根据 JJF1059-1999《测量不确定度评定与表示》中的定义,(测量)不确定度是表征合理地赋予被测量之值的分散性,与测量结果相联系的参数。

2 接地测量不确定度的评定步骤

(1)明确被测量;(2)分析不确定度来源;(3)评定各个标准不确定度分量 $u_i(y)$;(4)计算合成标准不确定度 $u_c(y)$;(5)列出不确定度分量的汇总表;(6)计算扩展不确定度:由合成标准不确定度 $u_c(y)$ 和包含因子 k 的乘积得到扩展不确定度 U ,取包含因子 $k=2$;(7)给出测量不确定度的最后陈述。

3 实务分析

2012年9月10日,笔者对钦州市龙门港镇北

村炮台角岛一处梯度风观测站进行了接地电阻测量,并对测量结果进行测量不确定度评定。所用测量仪器为:德产 METREL MI2126型接地电阻测量仪。

4 分析不确定度来源

(1)测量标准或标准物质提供的测量不确定度。(2)测量仪器的计量性能的局限性。(3)测量方法和测程序的近似和假设。(4)测量环境的影响或对环境的影响与控制不完善。

5 测量不确定度的评定方法

5.1 标准不确定度分量的A类评定方法

对被测量 X ,在同一条件下进行 n 次独立重复观测,观测值为 $x_i(i=1,2,\dots,n)$,得到算术平均值及实验标准偏差 $s(x)$ 。算术平均值的实验标准偏差就是该测量结果的A类标准不确定度 $u_A(x)$ 。

收稿日期:2013-09-28

作者简介:于潇(1986-),男,黑龙江哈尔滨人,本科,从事防雷技术工作。

$$u_A(x) = s(\bar{X}) = \frac{s(x)}{\sqrt{n}} \quad (1)$$

5.2 标准不确定度的 B 类评定方法

标准不确定度的 B 类分量是借助于一切可利用的有关信息进行科学判断,得到估计的标准偏差。

(1) 根据有关信息或经验,判断被测量的可能值区间 $(-a, a)$;

(2) 假设被测量值的概率分布;

(3) 根据概率分布和要求的置信区间 p 估计置信因子 k , 则 B 类标准不确定度 u_B 为

$$u_B = \frac{a}{k} \quad (2)$$

公式(2)中, a 为被测量可能值区间的半宽度; k 为置信因子或包含因子。区间半宽度 a 值是根据有关的信息确定的。

6 各个标准不确定度分量的评定

6.1 u_{A1} 的评定

测量数值分别为: $3.74\Omega, 3.74\Omega, 3.74\Omega, 3.75\Omega$; 在本论文中 $s(x)$ 的计算将不采用贝塞尔公式, 而是采用极差法计算。经计算得到 $s(x) = 0.005$, $s(\bar{X}) = 0.002$, 平均值 $\bar{X} = 3.74\Omega$ 。

在报告测量结果时, 不确定度 U 或 $u_c(x)$ 都只能是 1~2 位有效数字, 但为避免结果修约而重新引入不确定度, 笔者将各个不确定度分量 $u_i (i=1, 2, \dots, n)$ 取 3 位有效数字。

$$u_{A1} = s(\bar{X}) = 0.002\Omega。$$

6.2 u_{B2} 的评定

接地电阻测量仪(德产 METREL MI2126 型)于 2011 年 11 月 28 日在广西壮族自治区计量检测研究院进行了计量校准, 校准报告中给出的接地电阻的测量不确定度为: $U_r = 0.6\% \sim 1.2\% (k=2)$, 其中 U_r 是指相对扩展不确定度, 是仪器的扩展不确定度与仪器示值的比值, 本例中仪器的示值以重复测量得到的算数平均值代替。即: 扩展不确定度 $U = U_r \times \bar{R}$, 则用于评定 u_{B2} 的区间半宽度为: $a = U$, 校准报告给出的置信因子 $k=2$, $\bar{R} = \bar{X} = 3.74\Omega$, U_r 取最大值 1.2%。

$$u_{B2} = \frac{a}{k} = \frac{U_r \times \bar{R}}{k} = 0.022\Omega。$$

6.3 u_{B3} 的评定

德产 METREL MI2126 型的说明书给出了仪器的“最大允许误差: $\pm\Delta$ ”为 $\pm(2\% \text{ of reading} + 10 \text{ digits})$, 意为最大允许误差为“读数的 0.02 倍与 10 倍

的仪器分辨力之和”, 这里讲读数近似的看成 $\text{reading} = \bar{R} = \bar{X} = 3.74\Omega$, 数显接地电阻测量仪的分辨力为 0.01Ω 。则 $\Delta = 2\% \times \bar{X} + 10 \times 0.01 = 0.175$ 。则用于评定 u_{B3} 的区间半宽度为: $a = \Delta$, 三角分布的置信因子 $k = \sqrt{6}$ 。

$$u_{B3} = \frac{a}{k} = 0.071\Omega。$$

6.4 u_{B4} 的评定

测风铁塔的接地装置除利用基础内钢筋外, 还在距离铁塔 3.0m 处布置环形接地网, 并辅以深度为 1.5m 的垂直接地体帮助降低接地电阻值, 所以测风铁塔的接地体可等效的看成为半径为 3.0m 的半球接地体。

当土壤电阻率 ρ 均匀时, 半球接地体的实际接地电阻为:

$$R_1 = \frac{\rho}{2\pi \cdot r} \quad (3)$$

其中 r 为接地体的等效半径, $r = 3.0\text{m}$ 。

当使用直线布置的三级法测量接地电阻时:

$$R_2 = \frac{\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{d_{12}} - \frac{1}{d_{13}} + \frac{1}{d_{23}} \right) \quad (4)$$

公式(4)中 d_{12} 是接地体与电压端子的直线距离, d_{23} 为电流端子与电压端子的直线距离, d_{13} 为接地体与电流端子的直线距离, $d_{13} = d_{12} + d_{23}$ 。

$$\Delta R = R_2 - R_1 = \frac{\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{d_{23}} - \frac{1}{d_{12}} - \frac{1}{d_{13}} \right) \quad (5)$$

当 $d_{12} = 0.618 \times d_{13}$ 时, 这种测量方法称之为补偿法或 0.618 法, 此时 $\Delta R = 0$, $R_2 = R_1$, 用此方法得到的接地电阻值接近接地体实际的接地电阻, 然而, 室外接地测量受地形因素影响很大, 无法保证电压桩会打在合适的位置, 设 $k = \frac{d_{12}}{d_{13}}$, 按照经验及合理的估计, 则 $k = 0.5 \sim 0.7$ 。

$$M = \Delta R / R_2 = \frac{\frac{1}{d_{23}} - \frac{1}{d_{12}} - \frac{1}{d_{13}}}{\frac{1}{r} + \frac{1}{d_{23}} - \frac{1}{d_{12}} - \frac{1}{d_{13}}} \quad (6)$$

德产 METREL MI2126 型接地电阻仪中的连接仪表与电流极的辅助测量线长为 30.0m, 连接接地体与仪表的辅助测量接地线不足 1.0m 长, 由于其长度远小于 30.0m, 所以可忽略不计, 取 $d_{13} = 30.0\text{m}$, $d_{12} = k \times d_{13}$, $d_{23} = d_{13} - d_{12}$, $r = 3.0$, 当 $k = 0.5$ 时, $M_{\min} = -0.0909$ 为最小值, 此时测量示值比实际值偏小, 偏小的量值为示值的 9.09%, 当 $k = 0.7$ 时, $M_{\max} = 0.0995$ 为最大值, 此时示值比实际值偏大, 偏大的量值为示值的

9.95%, $M=0$ 时, k 约为 0.62。用于评定 u_{B4} 的区间半宽度为: $a = \frac{1}{2} (M_{\max} - M_{\min}) \times \bar{X}$, 假设其为三角分布, 其中三角分布的置信因子 $k = \sqrt{6}$ 。

$$u_{B4} = \frac{a}{k} = 0.145 \Omega.$$

6.5 u_{B5} 的评定

德产 METREL MI2126 型数显接地电阻测量仪测量范围为 $(0 \sim 9.99) \Omega$ 时的分辨力为 $\delta = 0.01 \Omega$, 则区间半宽度 $a = \delta/2$, 置信因子为 $k = \sqrt{3}$ 。

$$u_{B5} = \frac{a}{k} = 0.003 \Omega.$$

7 合成标准不确定度的评定

测量仪器的分辨力会对测量结果的重复性有影响。在测量不确定度评定中, 当重复性引入的标准不确定度分量 (u_{A1}) 小于仪器的分辨力所引入的不确定度分量时, 可以不考虑测量所引入的不确定度分量。本例中 $u_{A1} < u_{B5}$, u_{B5} 将替代 u_{A1} 。

由于 $u_i (i=1, 2, \dots, n)$ 的计量单位和测量结果的计量单位相同 (均为: Ω), 所以无需计算灵敏系数。评定合成标准不确定度 u_c 的通用公式为:

$$u_c = \sqrt{\sum_{i=1}^5 u_i^2} = \sqrt{0.022^2 + 0.071^2 + 0.145^2 + 0.003^2} = 0.16 \Omega \quad (7)$$

上文已经提到 u_c 最多取 2 位有效数字, 这里 u_c 是进行修约后得到的结果。

8 扩展不确定度 U 的评定

扩展不确定度 U 是由合成标准不确定度 u_c 乘以包含因子 k 得到的,

$$U = k \cdot u_c \quad (8)$$

测量结果可表示为: $Y = y \pm U$; y 是被测量的最佳估计值, $y = \bar{X} = 3.74 \Omega$, 即被测量 Y 的可能值以较高的置信概率落在 $[y - U, y + U]$ 区间上。为了使所有给出

的测量结果之间能够方便的互相比较, 在大多数情况下取包含因子 $k=2$, $U = k \cdot u_c = 0.32 \Omega$, 则由 $U = 2 \cdot u_c$ 所确定的区间具有的置信概率 (置信水平) 约为 95%。

最终, 带有扩展不确定度的测量结果报告的表示: $R = 3.74 \Omega$; $U = 0.32 \Omega$, $k=2$ 。

9 结论

测量不确定度评定的重点是: 判定不确定度的来源。不确定度的来源的分析取决于对测量方法, 测量设备。测量条件及对被测量的详细的了解与认识, 必须具体问题具体分析, 不能随意套用。

对于标准不确定度 u_{B4} 分量, 此分量的计算需要测试人员熟悉接地体的大致形状、垂直接地体的深度和水平接地体的长度, 当被测物是大型地网时, 建议加大测量仪器电流极距离接地体的距离, 并且使测量仪器的电压极尽量按照“0.618 法”布置, 这样可以更加准确的评定标准不确定度 u_{B4} 分量。

参考文献:

- [1] 陈先禄, 刘渝根, 黄勇. 接地 [M]. 重庆: 重庆大学出版社, 2002: 136-142.
- [2] 中国计量科学研究院. JJF1059-1999: 测量不确定度评定与表示 [S]. 北京: 中国计量出版社, 1999: 22-26.
- [3] 中国计量测试学会. 二级注册计量师基础知识与专业实务 [M]. 北京: 中国质检出版社, 2011: 191-237.
- [4] 傅俊霖, 黄君健, 何肖珍. 防雷装置接地电阻的认识和探讨 [J]. 气象研究与应用, 2008, 29 (2): 66-67.
- [5] 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, 33 (3): 91-93.
- [6] 韦卓运, 杨召绪, 阳宏声, 等. 关于广西地方标准防雷装置检测技术规范的要害分析 [J]. 气象研究与应用, 2009, 30 (2): 84-86.
- [7] 杨德荣, 梁丹. 接地电阻测量中应注意的几个问题 [J]. 气象研究与应, 2009, 28 (2): 72-74.
- [8] 梁和生. 小型水电站的防雷检测 [J]. 气象研究与应用, 2008, 29 (S1): 48-49.