

杨磊,王百朋,强玉华. 防雷安全测量结果不确定度评定[J]. 陕西气象,2017(5):34-37.

文章编号:1006-4354(2017)05-0034-04

防雷安全测量结果不确定度评定

杨磊¹,王百朋²,强玉华¹

(1. 丽水市气象局,浙江丽水 323000;2. 陕西省防雷中心,西安 710014)

摘要:为了提升和规范防雷检测,确保检测报告的公正、准确,有必要对防雷接地电阻测量结果进行不确定度评定。接地电阻的测量不确定度主要来自设备的精准度、分辨力和测量重复性,同时加长线阻的测量、土壤电阻率的测量也是不确定度的主要来源。选用适合防雷行业的测量不确定度评定模型,结合实例分析了防雷接地电阻的A类评定、B类评定、合成不确定度和扩展不确定度,结合评定结果说明了检测不确定度评定的重要性和必要性。

关键词:防雷测量;不确定度;评定

中图分类号:P429

文献标识码:B

防雷安全检测是根据建筑物、设施的防雷设计要求,对防雷装置进行的检查、测量、信息综合分析处理的过程。测量的数据主要包括接地电阻值、土壤电阻率等。防雷接地电阻值作为重要的测量数据,检测报告中通常仅给出测量值,并没有考虑测量结果的不确定度。如果防雷接地电阻的测量值处于国标判定值附近,那么测量值的不确定度将对检测结论是否符合标准要求产生重要影响。因此,有必要对防雷接地电阻测量结果进行不确定度评定,计算不确定度并在检测报告中给出,确保报告的科学、规范、准确。

1 测量不确定度评定方法

1.1 不确定度来源

可依据JJG366—2004《接地电阻表检定规程》和JJF 1059.1—2012《测量不确定度评定与表示》中规定的方法对接地电阻仪进行校准,并对接地电阻值进行不确定度分析。采用工频接地电阻测量仪,通过三级法^[1]测量工频接地电阻值。接地电阻测量结果的不确定度来源^[2-3]主要有如下几个方面。(1)测量人员未按作业规程布置辅助桩位,在下雨或冻土天气、有地电位干扰、地下有

金属物的干扰环境下测量;(2)测量仪器自身的分辨率、精确度、稳定性等计量特性;(3)被测量样品选取不当,如表面有防锈漆或有锈蚀,没有清除表变覆盖物可能造成较大的测量误差;(4)对测量数据进行修正和换算时引入的不确定度,如需要减掉测量加长线阻时,线阻的测量引入的误差,或需要将工频接地电阻换算为冲击接地电阻时引入的误差。在确定适合的测量环境、良好人员素质和测量方法、流程,固定的测量样品等测量条件下,影响接地电阻测量不确定度的主要来源为三个方面:仪器自身的不确定度、修正加长线阻引入的不确定度、工频换算为冲击电阻引入的不确定度。

1.2 测量数学模型

接地电阻测量的真实值用被测量 Y 表示, Y 的估计值为 y , y 的标准不确定度 $u(y)$ 取决于各测量输入量 x_1, x_2, \dots, x_n 的标准不确定度 $u(x_1), u(x_2), \dots, u(x_n)$ 。不确定度关系式^[4-5]为

$$u(y) = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x_1}\right)^2 u^2(x_1) + \left(\frac{\partial f}{\partial x_2}\right)^2 u^2(x_2) + \dots + \left(\frac{\partial f}{\partial x_n}\right)^2 u^2(x_n)}$$

$$= \sqrt{\sum_{k=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial x_k}\right)^2 u^2(x_k)} \quad (1)$$

收稿日期:2017-01-16

作者简介:杨磊(1982—),男,汉族,湖北十堰人,硕士,工程师,从事防雷检测、技术评价、质量管理等工作。

基金项目:丽水市高层次人才培养资助项目“基于区域气候模式的丽水生态气候变化预测”(2014RC24)

接地电阻 R 与测试电压 V 和测试电流 I 的测量函数可表示为: $R = f(V, I)$, 即 $R = V/I$, 三者对应的不确定度分别表示为 u_R, u_V, u_I , 根据公式(1)求偏导数, 接地电阻 R 的不确定度 u_R 计算公式为

$$\begin{aligned} u_R &= \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x_V}\right)^2 u_V^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial x_I}\right)^2 u_I^2} \\ &= \sqrt{\left(\frac{1}{I}\right)^2 u_V^2 + \left(\frac{V}{I^2}\right)^2 u_I^2} \\ &= \sqrt{\frac{u_V^2}{I^2} + \frac{V^2 u_I^2}{I^4}}. \end{aligned} \quad (2)$$

如有其他新增引入的标准不确定分量, 用 $u(z_i)$ 表示, 那么测量不确定度 u_R 改写为

$$\begin{aligned} u'_R &= \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x_V}\right)^2 u_V^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial x_I}\right)^2 u_I^2 + \sum_{i=1}^m u^2(z_i)} \\ &= \sqrt{\frac{u_V^2}{I^2} + \frac{V^2 u_I^2}{I^4} + \sum_{i=1}^m u^2(z_i)}. \end{aligned} \quad (3)$$

1.3 不确定度评定

接地电阻 R 的不确定度取决于 u_V 和 u_I , 应首先对 u_V 和 u_I 进行评定, 如有其他新引入的不确定分量, 也应一并进行分析。评定 V 和 I 的标准不确定度方法又可分为 A 类和 B 类。

1.3.1 A 类不确定度评定 测量值 x 的标准不确定度主要来源是测量重复性。在对同一被测量重复测量 n 次, 其中某次测量值 x_i 的标准偏差 $S(x)$ 可由贝塞尔公式^[6] 给出

$$s(x) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}. \quad (4)$$

对于 m 组测量数据, 如果每组测量次数相同, 均为 n 次, 进行 m 组测量的合并标准偏差计算公式为

$$s_p(x) = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m s(x)^2}. \quad (5)$$

当用算数平均值 \bar{x} 作为估计值时, A 类不确定度 u_A 可表示为

$$u_A(x) = u(\bar{x}) = s(\bar{x}) = \frac{s(x)}{\sqrt{n}}. \quad (6)$$

按公式(4)计算的标准偏差, 其自由度^[6] 为 $v = n - 1$, 按式(5)计算的标准偏差, 其自由度 $v = m(n - 1)$ 。

1.3.2 B 类不确定度评定 B 类评定方法^[7-8] 不需要直接测量数据, 是根据测量相关信息、资料或经验判断被测量的可能值的分布区间 $[\bar{x} - a, \bar{x} + a]$ 。那么 B 类标准不确定度 u_B 可表示为

$$u_B = \frac{a}{t}. \quad (7)$$

区间半宽度 a 可由仪器说明书、仪器的校准或鉴定证书等信息中获取, 置信因子 t 值可查表^[7] 得出。在进行 B 类评定时, 自由度^[9] 可近似表示为

$$v \approx \frac{1}{2} \left[\frac{\Delta u(x)}{u(x)} \right]^{-2}. \quad (8)$$

1.3.3 合成标准不确定度 合成标准不确定度 u_C 由影响不确定度的各个分量组成, u_i 为合成标准不确定度的各分量, 当由 A 类和 B 类标准不确定度组成时^[10], 则

$$u_C = \sqrt{\sum_{i=1}^n u_i^2} = \sqrt{u_A^2 + u_B^2}. \quad (9)$$

1.3.4 扩展不确定度 扩展不确定度是被测量可能值所包含区间的半宽度, 如果要求扩展不确定度所确定的区间具有接近于规定的包含概率 P 时, 扩展不确定度表示为 U_P , 当 P 为 95% 或 99% 时, 可表示为 U_{95} 和 U_{99} 。

$$U_P = k_P u_C \quad (10)$$

在计算 U_P 时候, 应给出有效的自由度 v_{eff} , v_{eff} 可按下式计算^[11-12]

$$v_{\text{eff}} = u_C^4(y) / \sum_{i=1}^n \frac{u_i^4(y)}{v_i}. \quad (11)$$

k_P 是概率为某一值时的包含因子。已知自由度 v_{eff} 和概率, 可通过查表^[11-12] 得出 k_P 。

2 测量结果不确定度评定

测量接地电阻时, 选择同一建筑物的接闪器、引下线、地网接地预留点作为样品测点。在确定电压探测极和电流探测极的位置后不再调整探极位置, 采用同一条加长线作为测试连接线, 分别对三组样品各自进行 3 次测量, 记录测量的电压值和电阻值并计算电流值。利用接地测试仪测量加长线的线阻 3 次。利用土壤电阻率测试仪测量所处位置的土壤电阻率, 根据公式 $\rho = 2\pi R_E$ 计算冲击接地电阻 R_E 值。

2.1 A类和B类不确定度评定

将测量数据带入公式(4)分别计算接闪器、引下线、接地网的标准偏差 $s(x)$, 并利用公式(5)

计算各参数的合并标准偏差 $s_p(x)$ 。通过标准偏差和合并标准偏差由公式6计算A类不确定度 u_A , 并计算自由度。具体结果见表1。

表1 各参数对应的A类不确定度

参数	标准偏差 $s(x)$			合并标准差 $s_p(x)$	A类不确定 u_A	自由度 ν_1
	接闪器	引下线	接地网			
电压	0.100	0.058	0.058	0.075	0.043	6
电流	0.027	0.020	0.019	0.022	0.013	6
电阻	0.015	0.025	0.010	0.018	0.010	6
线阻	0.006	0.010	0.015	0.011	0.006	6
电阻率	0.800	0.666	1.480	1.045	0.603	6
R_E	0.025	0.021	0.047	0.033	0.019	6

对于B类不确定度评定,一方面是由仪器的最大允许误差给出,通过公式(7)可计算仪器自身引入的B类不确定度 u_{B1} 。另一方面,由仪器可读性引入的不确定度,与仪器分辨力有关,通过公式(7)可得出仪器可读性引入的B类不确定度 u_{B2} 。B类评定的自由度由公式(8)给出。各参数对应的B类评定见表2。

2.2 合成不确定度评定

合成不确定度可按以下两种方法计算得出:一是将A类和B类评定的数据代入公式(9)计算合成不确定度 u_{R1} ,二是将测量的电压值和根据计算得出的电流值代入公式3计算合成不确定度 u_{R2} 。对应的自由度 ν_{eff1} 和 ν_{eff2} 根据公式(11)算出。

实际检测中,利用加长线来测量接地电阻,也会通过测量土壤电阻率进行冲击接地电阻的换算。为了进行比较,分别计算仅由电阻值引入的合成不确定度;考虑电阻值和线阻引入的合成不确定度;考虑电阻值、线阻及电阻率综合引入的合成不确定度,具体见表3。

2.3 扩展不确定度评定

通过计算接地电阻值的扩展不确定度,可以反映接地电阻值所分布的区间,以及电阻值数据的不确定大小。根据表3中计算的自由度 ν_{eff} , 取置信概率 P 为95%,通过查表可得到包含因子 k_p ,由公式(10)可计算考虑电阻值、线阻、电阻率在不同组合情况下的扩展不确定度(表4)。

表2 各参数对应的B类不确定度

参数	总平均值 X	最大允许误差	B类不确定度 u_{B1}	自由度 ν_1	分辨力	B类不确定度 u_{B2}	自由度 ν_2
电压	15.000	0.043	0.375	12	0.10	0.0289	∞
电阻	4.620	0.010	0.115	12	0.01	0.0028	∞
线阻	0.750	0.006	0.048	12	0.01	0.0028	∞
R_E	5.961	0.019	0.086	12	0.01	0.0028	∞

表3 合成不确定度评定

选项	合成不确定度 u_{R1}	ν_{eff1}	合成不确定度 u_{R2}	ν_{eff2}
电阻值	0.1152	12.2	0.1162	∞
电阻值+线阻	0.1248	16.3	0.1258	∞
电阻值+线阻+电阻率	0.1528	28.1	0.1536	∞

表 4 扩展不确定度评定表

选项	扩展不确定度 U_{R1}	包含因子 k_{P1}	扩展不确定度 U_{R2}	包含因子 k_{P2}
电阻值	0.25	2.18	0.23	1.96
电阻值 + 线阻	0.26	2.12	0.25	1.96
电阻值 + 线阻 + 电阻率	0.31	2.04	0.30	1.96

2.4 测量不确定度报告

若根据仪器示值给出的接地电阻进行不确定度评定,在考虑电阻、线阻、电阻率综合引入的不确定度时,扩展不确定度 $U_{R1} = 0.31$,那么 $R_1 = (4.62 - 0.75)/E \pm 0.31 \Omega$,包含因子 $k_{P1} = 2.04$,自由度 $\nu_{\text{eff1}} = 28.1$ 。若基础地网换算系数 $E = 1$,不考虑测量电阻率引入的不确定度,电阻值为 $R_1 = 3.87 \pm 0.26 \Omega$ 。若要求 $R_1 \leq 4 \Omega$,那么该测量对象的电阻值是存在不符合要求的风险。如果按照 $R = V/I$ 导出测量不确定度函数来评定不确定度,在考虑电阻、线阻、电阻率综合引入的不确定度时,扩展不确定度 $U_{R2} = 0.30$,那么 $R_2 = (4.62 - 0.75)/E \pm 0.30 \Omega$,包含因子 $k_{P2} = 1.96$,自由度 ν_{eff2} 为 ∞ 。若基础地网换算系数 $E = 1$,不考虑测量电阻率引入的不确定度,电阻值为 $R_2 = 3.87 \pm 0.25 \Omega$ 。若要求 $R_2 \leq 4 \Omega$,同样存在不符合要求的风险。因此,检测不确定评定十分必要和重要。

任何测量数据都存在误差和不确定性,真实数据无法确定。但是可以通过测量的不确定度评定,来反映测量数据分布的区间。在出具防雷装置检测报告时,可将表 1~表 4 中的数据以附表的形式在检测报告中给出。通过测量结果的不确定数据可以直观的反映接地电阻的分布区间,测量结果就令人信服。

3 结论

(1)防雷接地电阻的检测不确定度主要来自设备的最大允许误差引入的不确定度、设备的分辨力引入的可读性不确定度、仪器的测量重复性引入的不确定度。使用加长线时,需考虑测量加长线线阻引入的不确定度;如进行冲击电阻换算时,需考虑测量土壤电阻率引入的不确定度。

(2)通过测量的不确定度评定,来反映测量数

据分布的区间。对防雷接地电阻进行不确定度评定十分必要和重要。

(3)在检测报告编制程序中,应该建立不确定度程序,并对测量结果的不确定度进行评定,将不确定数据在检测报告中给出。特别是测量结果接近标准判定值附近时,给出不确定度既能体现检测的科学水准,又能有效的降低和规避实验室测量不确定度带来的风险。

参考文献:

- [1] 建筑物防雷装置检测技术规范:GB/T 21431—2015 [S]. 北京:中国标准出版社,2015.
- [2] 宋明顺. 测量不确定度评定与数据处理[M]. 北京:中国计量出版社,2000.
- [3] 赵自文. 电子专用测试设备测量不确定度来源分析[J]. 计量与测试技术,2009,36(11):72-74.
- [4] 耿维明. 不确定度评定的测量函数[J]. 中国计量,2011,9(3):68-70.
- [5] 陈怀艳,曹芸,韩洁. 基于蒙特卡罗法的测量不确定度评定[J]. 电子测量与仪器学报,2011,25(4):301-308.
- [6] 张春滨. 检定结果 A 类标准不确定度的评定方法[J]. 宇航计测技术,2001,21(2):59-61.
- [7] 罗刚. 不确定度 A 类评定及不确定度 B 类评定的探讨[J]. 计量与测试技术,2007,34(12):68-70.
- [8] 魏运芳,曹满,聂佳仪. 不确定度评定中 A 类评定与 B 类评定的探讨[J]. 计量技术,2011(12):63-65.
- [9] 江影,白玉明. 电阻测量中的 B 类不确定度的分析及计算[J]. 黑龙江大学自然科学学报,1998(2):88-92.
- [10] 李培国. 多组测量的合成不确定度评定[J]. 中国计量,2010(2):97-99.
- [11] 浦天舒. 合成不确定度的自由度[J]. 纺织高校基础科学学报,1994,7(4):368-371.
- [12] 袁玉静,钱绍圣. 扩展不确定度分析与评定[J]. 中国计量学院学报,2004,15(3):181-185.