

变电站大地网接地阻抗测试研究*

谭惠冰, 吴从权, 张 鹏

(江门市气象局, 广东江门 529000)

摘要: 本文通过对江门市 220 kV 杜阮变电站大型地网接地阻抗进行测试, 运用电流-电压表(变频/定频)三极法的直线法、 30° 夹角法、远离夹角法进行实践分析。结果表明: 大地网接地阻抗值与测试电流、频率无关, 与互感系数、电流极和土壤的接触面积以及电流线和电位线的夹角有关。在测试中, 应尽量增大电流极与土壤的接触面积, 增大电流线与电位线之间的距离, 测试结果接近或小于设计值, 相比之下, 远距离测试法更符合要求。

关键词: 变电站 大地网 接地阻抗 测试 直线法 夹角法

中图分类号: P427.32 文献标识码: A 文章编号: 1002-7378(2020)02-0213-05

DOI: 10.13657/j.cnki.gxkxyxb.20200603.009



微信扫一扫, 与作者在线交流(OSID)

0 引言

随着城市的发展, 大地网广泛应用于发电厂、变电站、换流站、风力发电系统、光伏电站、储能电站等不同行业, 其接地阻抗值是表征接地系统安全性的一项重要重要的技术指标。当前, 国内许多学者将不同行业的大地网测试作为研究的重点, 如卢志红等^[1]对风电场大地网接地阻抗测试研究表明, 接地极布线用 0.618 法、 30° 法是相当合适的; 康强^[2]对城市轨道交通大地网接地电阻的测量技术进行研究, 提出短电流极引线测量方法; 黄云等^[3]应用异频法对淇澳大桥接地阻抗进行测试, 有效避免了高频干扰、带电运作的线路、测量回路的互感、地中零序电流及地下导体对测量大型地网防雷接地装置阻抗的影响; 韦卓运等^[4]使用 MI2127 和 MI2126 接地电阻测试仪对电流极、电压极辅助线在不同夹角 θ 下进行多次接地电阻测量实验, 研究得出, 土壤电阻率越小, 接地电阻最大值

与最小值相差越小, 而土壤电阻率越大, 电阻降越大, 接地电阻最大值与最小值相差越大, 偏差越明显。

本文分别运用电流-电压表三极法的直线法、 30° 夹角法、远离夹角法^[5]对江门市 220 kV 杜阮变电站大地网接地阻抗进行测试, 分析这 3 种方法的优缺点, 为大地网接地阻抗测试工作提供参考。

1 材料与方 法

1.1 现场勘察

杜阮变电站地理坐标为东经 112.99° , 北纬 22.64° , 位于小山坡上, 三面环山, 正面是公路。1 km 范围内年平均地闪密度 >30 次/($\text{km}^2 \cdot \text{年}$), 属于强雷暴区。大地网尺寸为 $191.0 \text{ m} \times 144.5 \text{ m}$, 对角线长(D)约为 240 m。站内设置主控室、10 kV 配电装置室、巡维中心等建筑物及 4 台 180 MVA 主变压器、220 kV 出线 6 回、110 kV 出线 14 回、10 kV 出线 30 回、无功补偿电容器 $4 \times 5 \times 8$ 016 kvar、电抗器

* 广东省江门市气象局科学技术研究项目“大地网参数性能测试研究”(201906)资助。

【作者简介】

谭惠冰(1980—), 女, 工程师, 主要从事公共气象服务工作, E-mail: 710086472@qq.com。

【引用本文】

谭惠冰, 吴从权, 张鹏. 变电站大地网接地阻抗测试研究[J]. 广西科学院学报, 2020, 36(2): 213-217.

TAN H B, WU C Q, ZHANG J. Research on the Measurement of Grounding Impedance of Substation Earth Network [J]. Journal of Guangxi Academy of Sciences, 2020, 36(2): 213-217.

4×1×8 016 kvar,装机容量 360 MW。

1.2 测试的基本要求

接地阻抗与土壤的潮湿程度密切相关^[6-7],应尽量选择在天气干燥或土壤未冻结的季节,不应在雷、雨中或地表温度过高时进行,也不能雨后立即进行^[8-12]。测试布线时,应安排专人负责,避免车辆行驶碾压线路导致断裂或人员触碰导致伤亡情况的发生^[13-14]。

本工程接地阻抗设计值要求 $\leq 0.5 \Omega$,优先采用变频电流法进行大地网接地阻抗的测试,测试电流频率宜为 40—60 Hz,测试电流不宜小于 3 A,实验现场若干扰大,可加大测试电流,同时需要特别注意测试安全。测试电流线和电位线均采用不小于 2.5 mm² 多股铜导线。

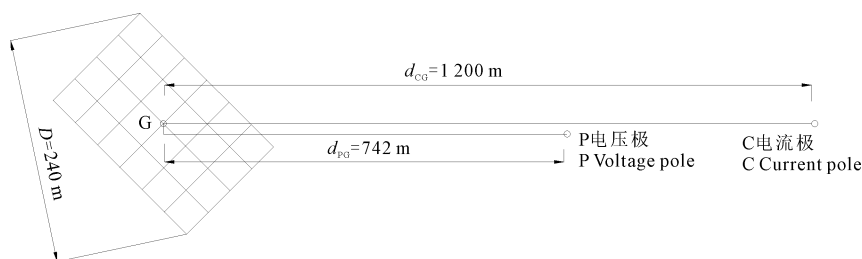


图 1 三极直线法测试示意图

Fig. 1 Test diagram of three pole straight line method

两线之间单位长度互感阻抗根据公式(1)计算^[5]:

$$M = 2.0 \times 10^{-7} l \ln \frac{D_g}{d}, \quad (1)$$

式中, l 为两线平行的距离(m), d 为两线之间的间距(m), D_g 一般取 $80\sqrt{\rho}$ (m)。

1.3.2 30°夹角法布线方式

30°夹角法采用 d_{CG} 和 d_{PG} 相等的等腰三角形布线, θ 约为 30°, $d_{CG} = d_{PG} \geq 2D$, $2D = 2 \times 240 \text{ m} = 480 \text{ m}$, 现场测试选取放线长度为 500 m, 利用 GPS 定位获取 C 极和 P 极位置, 如图 2a、2b。

1.3.3 远距离夹角法布线方式

远距离夹角法与 30°夹角法相仿, 要求夹角不宜小于 30°, θ 通常为 45°以上。现场始端为测试引入点, 电位线和电流线由变电站门口正对马路引出, 分别沿马路左、右两侧进行 120°和 170°布线, 选取放线长度为 $d_{CG} = d_{PG} = 4.5D = 1080 \text{ m}$, 在电流极打入 5 根铁桩, 形成一个环形小接地网, 用金属连接导线连

1.3 测试方法

本测试(G点为大地网测试点)选用的电流线和电位线均为 4 mm² 多股铜线连接, 电压极 P 和电流极 C 打入的铁桩为 $\phi 20$ 金属棒, 长 1.5 m, 打入地中深度为 1.3 m, 分别采用直线法、30°夹角法、远距离夹角法进行对比分析。

1.3.1 直线法布线方式

电流线和电位线沿同一路径铺设的方法称为三极法中的直线法, 也称为 0.618 法。测试中 C 极应布置得尽量远, 本测试中 C 极与被试大地网中心的放线长度为该大地网对角线长度的 5 倍, 即 $d_{CG} = 5D = 5 \times 240 \text{ m} = 1200 \text{ m}$, P 极与被试大地网中心的放线长度 $d_{PG} = 0.618d_{CG} = 0.618 \times 1200 \text{ m} = 742 \text{ m}$ 。分别于 P、C 极各打入一根铁桩, 如图 1 所示。

成一个圆形闭合微型电流地网以减小回路电阻, 如图 3a、3b 所示。

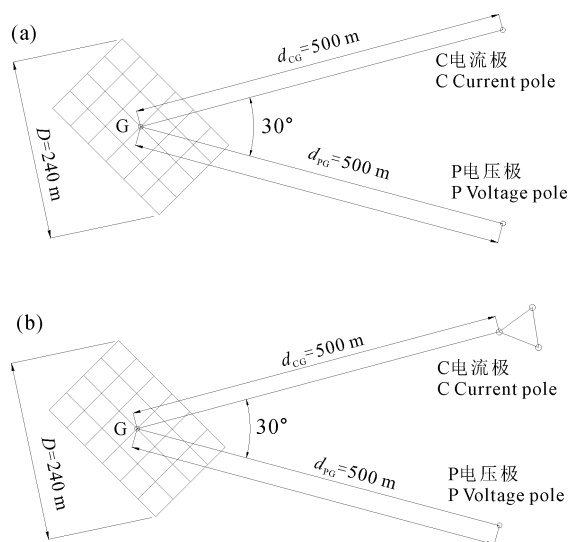


图 2 30°夹角法测试示意图

Fig. 2 Test diagram of 30° angle method

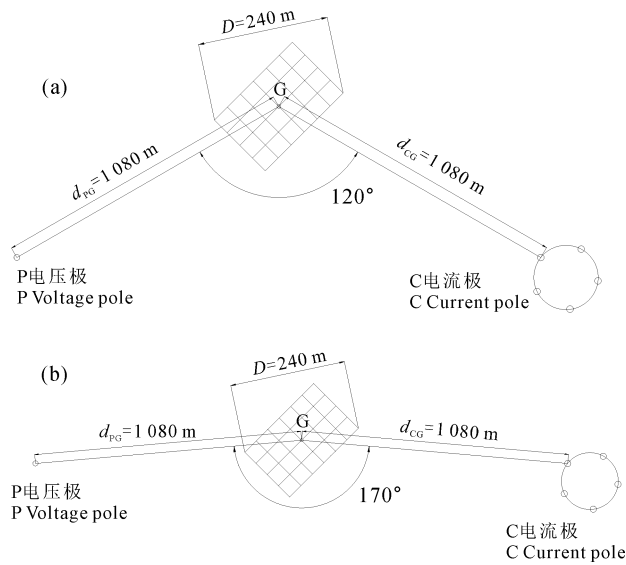


图3 远距离夹角法测试示意图

Fig. 3 Test diagram of long-distance angle method

一般情况下,当两线夹角 θ 大于 30° 时,仪表的测试值并不是实际接地阻抗值,测试值小于实际值,必须将测试值按式(2)进行修正^[2]。

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

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 结果与分析

2.1 直线法

第1组试验:选用变频法测试,从表1测试结果可以看出,接地阻抗值随着测试电流和频率的变化,测试结果变化不大,最大值与最小值相差仅0.68%,因此,变频法测试接地阻抗值与测试电流、频率无关,但测试结果比接地阻抗设计要求 $\leq 0.5 \Omega$ 偏大。综合分析,考虑布线时电流、电位线布线方向一致,两线之间距离太近,电流线中电流的流动,耦合到电位线会产生干扰电压,将叠加到所要测试的电压上,因而产生测试误差。

线间互感因素与两线平行长度和线间距离有关,随着线间距离的不断增大而互感阻抗值逐渐减小,表明电位线和电流线间的互感影响逐渐衰减。因此,消除线间互感因素的影响,必须加大两线间距。

表1 变频直线法接地阻抗测试值

Table 1 Test value of grounding impedance with frequency conversion linear method

测试电流 Test current (A)	测试频率 Test frequency (Hz)	测试结果 Test result (Ω)
3	47.5/52.5	0.773 5
	45/55	0.773 3
	55/65	0.773 8
4	47.5/52.5	0.773 8
	45/55	0.773 1
	55/65	0.773 6
5	47.5/52.5	0.768 5
	45/55	0.770 8
	55/65	0.770 4

研究表明,当两线间距离增大到8 m及以上的距离时,线间互感因素对于结果的影响可以近似忽略不计^[5]。故在实际测试中,尽量使电位线和电流线的间距在8 m以上,此时测量得到的感性部分可以认为主要是地网本身结构固有的感性分量引起的。

第2组测试:选用定频法测试进行对比,从表2测试结果可以看出,同一测试电流下,接地阻抗值随着测试频率的增加而增加;而同一频率下,接地阻抗值随着测试电流值增加而增加,测试结果误差较大(图4)。定频法测试不能够消除现场的电磁干扰,测试数据准确度较差,因此判断,定频法不适用于大地网测试。

表2 定频直线法接地阻抗测试值

Table 2 Test value of grounding impedance with constant frequency linear method

测试电流 Test current (A)	测试频率 Test frequency (Hz)	测试结果 Test result (Ω)
3	45	1.235
	55	1.264
	60	1.436
4	45	1.921
	55	2.096
	60	2.376
5	45	2.465
	55	2.635
	60	2.868

上述结果表明,在进行变频直线法测试时,注入地网电流值的增大和频率的变化对于接地阻抗并无影响,但电流线和电位线之间由于距离太近产生互感致使测试结果偏大,其影响可以通过增大线间距离来消除。而定频直线法测试数据准确度较差,一般不建议用于大地网测试。

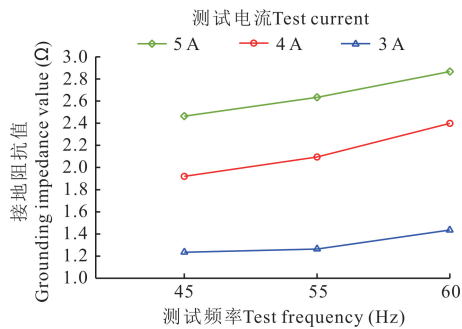


图4 定频测试电流、频率对接地阻抗值的影响

Fig. 4 Influence of constant frequency test current and frequency on ground impedance

2.2 30°夹角法

由于变频法测试接地阻抗值与测试电流、频率大小无关,以下测试均选用测试电流为5 A,变频55/65 Hz,选取大地网中心点附近的4个测试点进行测试。

第3组测试:分别在C极和P极各打入一根铁桩(图2a),由表3可以看出,测试结果较稳定,误差小,接近或且小于接地阻抗设计值。

表3 30°夹角法单桩测试接地阻抗值

Table 3 Measurement of grounding impedance value of single pile by 30° angle method

测试地点 Test location	单桩测试结果 Test result of single pile (Ω)	三桩测试结果 Test result of three piles (Ω)
1# 主变本体 1# Main-transformer	0.483 2	0.470 2
2# 主变本体 2# Main-transformer	0.480 3	0.469 2
10 kV 高压室 10 kV high voltage room	0.481 8	0.469 8
220 kV 高压场地 220 kV high voltage site	0.482 6	0.470 9

第4组测试:在电流极打入3根铁桩,用金属导线连成一个三角形回路(图2b),测试结果(表3)显示,三桩电流极比单桩电流极的测试值小。

根据第3,4组测试数据,分析得出电流极与土壤的接触面积增大,从而使接触电阻变小,其测试值也就变小。

第3,4组测试结果表明,30°夹角法在测试中由于电位线和电流线具有一定的夹角,间隔距离较大,可有效避免线间互感因素的影响,测试结果比较准确。但在实际操作中,由于地理条件的限制,放线困难,大多无法采用30°夹角法进行测试。

2.3 远距离夹角法

第5组测试:同样选用测试电流为5 A,变频55/

65 Hz,选取夹角 $\theta \approx 120^\circ$,由表4可以看出,测试结果稳定,修正值小于0.5 Ω,接地阻抗值符合设计要求。

表4 远距离夹角法测试接地阻抗值

Table 4 Measurement of grounding impedance value by long-distance angle method

测试地点 Test location	120°夹角 120° angle		170°夹角 170° angle	
	测试结果 Test result (Ω)	修正值 Correction value (Ω)	测试结果 Test result (Ω)	修正值 Correction value (Ω)
1# 主变本体 1# Main-transformer	0.356 2	0.423 1	0.338 0	0.405 5
2# 主变本体 2# Main-transformer	0.360 3	0.427 9	0.340 4	0.408 4
10 kV 高压室 10 kV high voltage room	0.355 9	0.422 7	0.335 6	0.402 6
220 kV 高压场地 220 kV high voltage site	0.368 1	0.437 2	0.336 8	0.404 1

第6组测试:测试电流和频率同上,选取夹角 $\theta \approx 170^\circ$,近似于反向法,由表6可以看出,对比夹角 $\theta \approx 120^\circ$ 时的测试数据,测试结果随着测试夹角的增大测试值变小。

上述结果表明,远距离夹角法在接地网和电流极平面上任意角度都可以实现测量,是克服土壤不均匀条件影响的最有效方法,因此,大地网接地阻抗测试采用远距离夹角法是最适宜的。

3 结论

对江门市220 kV杜阮变电站大地网接地阻抗进行的测试表明,电流-电压表三极法的直线法、30°夹角法、远离夹角法这3种方法具有以下优缺点:(1)变频直线法测试接地阻抗值与测试电流、频率无关,与两线之间距离和两线平行长度有关,定频直线法测试结果误差较大,不适用于大地网测试;(2)30°夹角法测试结果小于且最接近设计要求值,测试结果比较准确,但在布线过程中会受到客观条件的限制,一般不使用;(3)30°夹角法从电流极单桩到多桩测试,增大电流极与土壤的接触面积,接地阻抗测试值变小;(4)从30°夹角法到远距离夹角法,电流线与电位线的夹角增大,接地阻抗测试值变小。鉴于此,大地网接地阻抗值与测试电流、频率无关,而与互感系数、电流极和土壤的接触面积以及电流线和电位线的夹角有关,因此在测试中,应尽量增大电流极与土壤的接触面积,增大电流线与电位线之间的距离,使测

试结果接近或小于设计值。相比其他两种方法, 远距离测试法更符合要求。

参考文献

- [1] 卢志红, 张世谨, 李冬梅. 风电场大地网接地阻抗测试个例分析[J]. 中低纬山地气象, 2018, 42(6): 83-86.
- [2] 康强. 城市轨道交通大地网接地电阻测量技术研究[J]. 气象研究与应用, 2017, 38(2): 90-92, 96.
- [3] 黄云, 方文海, 秦俊萍. 采用变频法测量淇澳桥大型地网接地阻抗的实践[J]. 气象研究与应用, 2018, 39(2): 125-127.
- [4] 韦卓运, 康强, 丁溢锋, 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.
- [5] 王凤杰. 地网接低阻抗测量的改进方法及其应用研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2015.
- [6] 张金, 王学孟, 邓婧. 接地电阻随测量电极位置变化的规律及其应用[J]. 广东气象, 2015, 37(2): 65-68.
- [7] 于潇, 刘开道, 胡定. 一次接地电阻测量的不确定度评定与分析[J]. 气象研究与应用, 2014, 35(2): 105-107.
- [8] 邓利科, 邓福兴, 宋月华. 连州风力发电场防雷接地探讨[J]. 气象研究与应用, 2017, 38(4): 88-90.
- [9] 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): 120-122.
- [10] 蒋伟文, 梁开聪. 探讨雷电防护接地电阻的降低方法及应用[J]. 气象研究与应用, 2016, 37(4): 112-114.
- [11] 黄仁立, 韦华红. 新型自动气象站雷电防护技术探讨[J]. 气象研究与应用, 2016, 37(2): 106-109.
- [12] 许伟乾, 曾志雄, 彭锦荣. 一次雷电引发接地装置反击现象的分析[J]. 广东气象, 2018, 40(6): 68-70, 73.
- [13] 林雨人, 刘敦训, 李汉标, 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] 何庆浩. 防雷检测能力认定工作常见问题的分析[J]. 广东气象, 2016, 38(4): 67-69.

Research on the Measurement of Grounding Impedance of Substation Earth Network

TAN Huibing, WU Congquan, ZHANG Juan

(Jiangmen Meteorological Service, Jiangmen, Guangdong, 529000, China)

Abstract: In this paper, the grounding impedance of the large-scale grounding grid of 220 kV Duruan substation in Jiangmen City is tested, and the straight line method, 30° angle method, and far angle method of current-voltage meter (frequency conversion/fixed frequency) three-pole method are used for practical analysis. The results show that the grounding impedance value of the grounding grid is independent of the test current and frequency, and is related to the mutual inductance coefficient, the contact area between the current pole and the soil, and the angle between the current line and the potential line. In the test, the contact area between the current pole and the soil should be increased as much as possible, and the distance between the current wire and the potential wire should be increased. The test result is close to or less than the design value. In contrast, the long-distance test method is more in line with the requirements.

Key words: substation, earth network, earth impedance, test, method of straight line, method of included angle

责任编辑: 符支宏