

文章编号:2096 - 5389(2018)06 - 0083 - 04

风电场大地网接地阻抗测试个例分析

卢志红¹, 张世谨², 李冬梅¹

(1. 广东省河源市气象局, 广东 河源 517000; 2. 贵州省黔南自治州气象局, 贵州 都匀 558000)

摘 要:大地网是风电场的主要组成部分,对地网接地阻抗这项性能参数定期的开展安全测试是风电场安全保障的重要工作。该文介绍了东源蝉子顶风电场特殊的地理环境和大地网的敷设方式,研究分析了接地阻抗测试需要具备的条件和方法,并选择四极法、异频法、夹角法、补偿法等相结合的接地阻抗测试方法进行实践分析。通过实践得出,实验采用的方法是可行的,且大型地网接地阻抗测试接地极布线采用 0.618 测试方法、30°夹角测试法是科学的。归纳阐述了误差来源及消除误差的方法和注意事项,希望给予风电场大地网接地阻抗测试提供技术参考。

关键词:风电场;大型地网;接地阻抗;测试分析

中图分类号:TM862+.3 **文献标识码:**B

Case analysis of ground impedance test of wind farm earth network

LU Zhihong¹, ZHANG Shijin², LI Dongmei¹

(1. Heyuan Meteorological Bureau, Heyuan 517000, China;

2. Qiannan Meteorological Bureau of Guizhou Province, Duyun 558000, China)

Abstract: The geodetic network is the main component of the wind farm. It is an important task to ensure the safety of the wind farm by regularly conducting safety tests on the ground impedance of the grounding grid. This paper introduced the special geographical environment of wind farm of Dongyuan Ziziding and the laying method of geodetic network. This research studied and analyzed the conditions and methods needed for ground impedance test, and chose four - pole method, different frequency method, angle method and compensation method, and combined with ground impedance test method for practical analysis. Through practice, the method adopted in the experiment is feasible, and the grounding impedance test of the large grounding grid, which is based on the 0.618 test method and the 30° angle test method is scientific. This paper also summarized the sources of error and the methods for eliminating errors and its precautions, wishing to provide a technical reference for ground impedance test of wind farms.

Key words: wind farm; large geodetic grid; ground impedance; verification analysis

1 引言

随着风力发电技术日益成熟,世界各国将发展风电作为应对气候变化和提高可再生能源比重的重要举措。十三五期间,广东省规划布局建设风电场址 147 个、总装机容量约 870 万千 W(含 2015 年底前已核准项目 50 个,装机容量 290 万千 W),仅广东河源市将建成东源岑田抽水蓄能电站、和平县

紫云嶂风电场、龙川大帽山风电场、河源电厂二期等项目。风电场布设环境特殊,接地都采用大型地网接地系统,当前国内许多雷电技术研究学者们将不同地理环境下大型地网设计及其接地阻抗测试方法等做为研究的重要内容。如张争等对异频测试抗干扰技术优越性进行了分析^[1];王亚平通过建立准确电路模型和数字计算模型,通过无线传输测试电流、GPS 定位装置固定辅助接地极,分析不拆避

收稿日期:2018 - 05 - 04

第一作者简介:卢志红(1980—),女,工程师,主要从事雷电灾害防御研究工作,E-mail:79560973@qq.com。

雷线进行大地网接地阻抗准确测量的方法及运行状态诊断方法,得出不拆避雷线测出的接地阻抗值要比实际值小 15% ~ 20% 的结论^[2];叶平等研究分析了大型地网接地电阻测试的内容和方法,并进行了误差分析^[3]。但这些研究大多是对测试方法原理和数据处理上的分析,缺少系统的直接指导如何开展大地网接地阻抗测试的研究。

风电场为获得较高风速实现风力发电,多建于山顶或山脊,特殊的地理环境大大提高了地网设计、施工和检测的难度。本文对一面处于悬崖且现场有高压线的风电场大地网接地阻抗测试处理过程和测试方法进行了详细的分析,以期为复杂多样的高山风电场开展大地网检测工作提供技术参考。

2 蝉子顶风电场大地网概况

国电电力东源蝉子顶风电场工程地理坐标介于 114°50' ~ 114°56'E 之间,23°56' ~ 23°58'N 之间,四周皆为山地,面积为 12.4 km²,海拔高度在 700 ~ 1 100 m 之间,平均土壤电阻率为 1 795.38。装机规模为 49.5 MW,共拥有 33 台 1 500 kW 风力发电机组,110 kV 升压站一座。由于风机都装在高山,地网敷设难度大,为满足接地要求,又相对便于施工,采取同一座山或临近的几台风塔共用一个大地的接地方式。

3 接地阻抗测试方法选择分析

蝉子顶风电场风机基本沿着东西走向设立,为

避免高压线和风机塔本身对接地阻抗测试的干扰,理论上测试现场接地线敷设应尽量沿着南北两个方向。但由于北边是悬崖,现场只能考虑从南偏西的方向布线。因项目地形复杂、土壤不均匀,测试设备有限,选择了四极—异频—夹角—补偿相结合的测试方法,消除各种因素引起的误差。同时,选择干燥季节,避开避雷线、地下管线、输电线的环境下进行现场测试。

4 风电场大地网实验测试及分析

4.1 测试设备及测试参数

风电场地网面积大,常规电阻检测设备电流小,不适合用到大型地网接地阻抗测试,根据厂房提供测试参数要求,建议采用不小于 3 A 电流进行测试。本次实验测试选用(型号:SKY - 2013)大型地网接地阻抗测试仪,测试电流有 0.2 A、0.5 A、1 A、2 A、3 A 5 个档次。因附近有风电场箱变,为消除零序电流的影响,测试过程中选择测试电流 3 A,频率分别选择 45 Hz 和 55 Hz,选取 25 号风塔、27 号风塔和 31 号风塔为实验点。

4.2 测试误差随接地极夹角变化实验分析

采用异频—夹角—等距相结合的测试方法,将仪器与地极布置成 $d_{GC} = d_{GP}$ 夹角形状,进行实验测试。采集数据如下表 1:

表 1 接地阻抗现场测试值
Tab. 1 Ground Impedance Field Test Value

测试点	测试频率	$d_{GC} = d_{GP}$	20°夹角 电阻/Ω	25°夹角 电阻/Ω	30°夹角 电阻/Ω	35°夹角 电阻/Ω	40°夹角 电阻/Ω	45°夹角 电阻/Ω	50°夹角 电阻/Ω	60°夹角 电阻/Ω
25 号风塔	45 Hz	2D	1.126	1.088	1.021	0.908	0.852	0.724	0.721	0.477
	55 Hz	2D	1.116	1.101	1.002	0.891	0.873	0.812	0.711	0.479
26 号风塔	45 Hz	2D	1.101	1.053	1.007	1.001	0.854	0.744	0.699	0.652
	55 Hz	2D	1.261	1.02	1.023	0.991	0.852	0.798	0.765	0.501
27 号风塔	45 Hz	2D	1.112	1.101	1.012	0.879	0.841	0.811	0.757	0.421
	55 Hz	2D	1.212	1.003	1.02	0.923	0.912	0.707	0.801	0.478

由表 1 可以看出,当电压线接地长度与电流线接地长度相等为 2D 时,接地阻抗值随电流线与电压线的夹角变大而变小,在夹角 30°左右时接近设计实际电阻值。

根据公式 $\delta = \frac{R - R_G}{R_G} = r_g \left[\frac{1}{d_{PC}} - \frac{1}{d_{GP}} - \frac{1}{d_{GC}} \right]$ 对

测量值进行误差计算,计算数据结果如表 2。公式中 δ 为测量误差, R 为实测电阻值, R_G 为实际电阻值, r_g 为接地半径, d_{GC} 为电流极与半球接地体中心之间的距离为, d_{GP} 为电压极与半球接地极中心之间的距离为, d_{PC} 为电流极与电压极之间的距离。

表 2 夹角 θ 改变的测量误差

Tab. 2 Measurement error of angle θ change

θ	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	60°
$d_{GC} = d_{GP} = 2D$	21.9%	8.8%	-2.0%	-6.4%	-14.1%	-18.4%	-27.4%	-28.5%

由上述分析和表 2 看出,随着布线角度不断改变,接地网的测试电阻误差率在夹角 $\theta = 30^\circ$ 的两边呈曲线上升态势。当布线夹角 $\theta < 30^\circ$ 时,测试电阻比设计阻抗大;布线夹角 θ 接近 30° 时,测试电阻与设计阻抗基本相同;当夹角 $\theta > 30^\circ$ 时,测试电阻比设计阻抗小。

4.3 布线位置 α 值、布线长度均改变的误差实验分析

针对蝉子顶风电场土壤层有改变,电阻率变化

大问题,现场进行了改变接地极布线位置的测试实验。测试过程中增大电流极与被测接地装置之间的距离,让电压极与被测接地装置之间的距离也相应的增大。

采用异频—夹角 $\theta = 30^\circ$ 测试方法,改变 d_{GP} 和 d_{GC} 长度进行现场测试,采集数据如表 3:

表 3 接地阻抗现场测试值

Tab. 3 Ground impedance field test value

测试点	测试频率	D/ Ω		2D/ Ω		3D/ Ω	
25 号风塔	45 Hz	1.226	1.046	1.088	1.002	1.07	1.003
	55 Hz	0.106	0.154	1.101	1.032	1.002	1.01
26 号风塔	45 Hz	1.301	1.327	1.053	1.103	1.007	1.008
	55 Hz	2.061	2.118	1.02	1.201	1.023	1.1
27 号风塔	45 Hz	1.212	1.135	1.001	1.19	1.012	1.055
	55 Hz	1.116	1.203	1.003	1.007	1.02	1.102

由于电流极 $d_{GC} = D$ 时,地极布线还在地网区,干扰大,理论上偏理实际值大,所以此次不分析 $d_{GC} = D$ 数据,测试数据分析如图 1。

由表 4 画出变化曲线图如下:

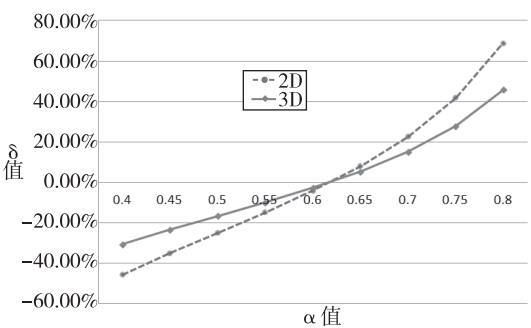


图 1 测试误差随布线位置 α 值变化曲线图

Fig. 1 Curve of test error as a function of wiring position α

由图 1 可看出,当电压极布线长度与电流极布线长度比值 α 接近 0.6 时,测量误差趋于零,当远离 0.6 时,测量误差 δ 随 d_{GC} 的增大而减少。

4.4 布线长度、夹角 θ 均改变的误差实验分析

选择四极—异频结合的测试方法,将仪器与布线设置成 $d_{GC} = d_{GP}$ 形状,同时改变布线长度与夹角 θ 进行测试。通过测试值,分析不同的 d_{GC} 与 θ 值的测量误差。

由表 4 分析数据可看到,在 $\theta = 30^\circ$ 时,测量误差接近零,测量误差 δ 随 d_{GC} 的增大而减少。当 θ 在 25° 与 35° 之间时,测量误差 δ 随 d_{GP} 和 d_{GC} 增大明显变小。

表 4 布线长度、夹角 θ 改变的测量误差

(单位:%)

Tab. 4 Measurement error of wiring length and angle θ change

(Unit:%)

θ		20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	60°
$d_{GC} = d_{GP}$	D	44.00	15.50	−3.40	−16.90	−26.90	−34.70	−34.80	−45.90
	2D	23.20	8.10	−1.50	−7.30	−14.30	−18.10	−24.40	−26.50
	3D	14.70	5.20	−1.10	−5.60	−9.00	−11.60	−13.60	−16.70

5 误差来源及消除分析

5.1 误差来源

根据大型地网接地阻抗测试方法原理、接地阻抗值变化因素,可以看出测量误差的来源主要有测试方法、电压干扰、高频干扰、接地装置的零序电流和测量引线间的互感等几个方面。而由测试方法引起的误差主要包括测试地极的位置选择、使用的测量仪器以及选择的测试电流大小 3 个方面。

5.2 消除误差方法

①在现场测量中,因地形复杂、土壤不均匀或地质有突变,想取得更为准确地确定“零电位区”,无论是 0.618 直线补偿法或是 30° 夹角补偿法,其布线方向应尽可能的向土壤比较均匀的方向放测量线,避免向土壤不均匀或地质有突变的方向测量。

②在实际测试中,可以采用使用高内阻、增大电流引线截面积、并联电容、增大测试电流、倒相法、三相电源、暂时断开中性线、四极法、异频法等方法手段消除各种因素引起的误差,各种方法互相联系、相辅相成。

③在实验研究过程中发现,避雷线、地下管线、输电线等对接地阻抗测试值也有不同程度的影响,会使测试值偏小,应尽可能避开。另外,土壤电阻率对测量结果有明显影响,导则规定接地装置测试应尽量在干燥季节,测量不应在雷雨后立即进行。

6 测试注意事项

①出发现场前检查设备工具是否带齐全,是否准备劳保装备。

②在实际测试工作中,要对大型地网周围进行详细的勘查,尽量避开信号干扰源、建筑物、湖泊等以减少测量结果的误差。

③为使得测试顺利进行,测试前先用万用表检查测试导线与地极的接触点是否完好,线路是否有断开。

④布线时要注意线路是否有交叉,是否拉直,是否与周围管线形成回路。

⑤进行测试工作时要注意工作人员的自身安全,使用仪器时请勿触摸面板接线端子以及引线的裸露部分。

7 结论

本文通过实例对大型地网接地阻抗测试技术进行了分析,得出结论:

①由于大型地网面积大,四周环境复杂,各种信号干扰大。开展现场测试前,做好测试方案,根据现有测试仪器和测试条件选定测试方法。同时,尽量使用操作简单且抗干扰能力强的仪器。

②实验证明,大型地网接地阻抗测试接地极布线采用 0.618 测试方法、30° 夹角测试法是相当科学的。

③接地阻抗测量误差主要由测试方法、信号干扰、接地装置的零序电流和测量引线间互感、避雷线、电力线等方面引起,可采用高内阻、增大电流引线截面积、并联电容、增大测试电流、倒相法、三相电源、暂时断开中性线、四极法、异频法等方法手段消除。

④由测试方法引起的误差主要包括测试地极的位置选择、使用的测量仪表以及测试电流的大小 3 个方面。实践证明,这些误差可以在测试过程中直接避免或减小。

参考文献

- [1] 张争,徐立君.大型地网接地阻抗测试方法及注意事项[J].农技服务,2016(3):159.
- [2] 王亚平.不拆避雷线进行大型地网接地阻抗测试方法的研究[D].硕士学位论文.
- [3] 叶平,罗志勇,余文静,等.大型地网接地阻抗测试中注意事项探析[J].价值工程,2012(11):97-99.
- [4] 王亮,隋朝月,等.执电厂接地阻抗特性参数测试方法分析[J].气象灾害防御,2016(1):28-31.
- [5] 翟长春.变电站接地网设计分析与讨论[J].科技咨询导报,2007(4):30-32.
- [6] 王东烨,李谦,等.DL/T475-2006.接地装置特性参数测量导则[S].北京:中国电力出版社,2006.
- [7] DL/T621-1997.交流电气装置的接地[S].北京:中国电力出版社,1998.
- [8] 安中全,张书静.大型地网接地电阻测量分析方法与比较[J].内蒙古电力,1993(4).
- [9] 姚金霞,常景荣.大型地网接地阻抗测量中的几个问题[J].山东电力技术,1997(2).