

[文章编号] 1003—4684(2020)02-0048-04

输电线路杆塔接地电阻信息化测量设备的开发

彭红刚，王牧浪，何泽斌，徐 研

(广州供电局有限公司，广东 广州 510000)

[摘 要] 为了克服输电线路杆塔接地运维工作中存在的不足，基于移动互联网技术开发了一套杆塔接地电阻的信息化测量设备。该设备基于异频法原理，滤除了地中杂散电流的影响，保证了测量精度。同时，在测量完成后自动将测量条件和结果上传至云端数据平台，通过测量 GPS 位置与杆塔 GPS 位置的距离匹配计算，实现测量数据与“接地参数大数据云平台”数据库的对接。在测量过程中直接将“离线数据”转化为“线上数据”，有效提高了接地运维的工作效率和准确率。最后，对部分超高压线路杆塔的接地电阻进行了现场测量。试验结果表明，研制的信息化测量设备测量精度高、抗干扰能力强，大幅减少了杆塔接地的运维、测量时间，有效推进了电网接地运维的信息化和数据化。

[关键词] 杆塔接地测量；信息化设备；异频法；大数据云平台

[中图分类号] TM932 [文献标识码] A

输电线路杆塔的接地系统是保障线路安全运行的重要环节，杆塔接地电阻是表征其接地性能的重要指标。在输电线路的运维工作中，保证杆塔接地电阻在合理的区间内，能使输电线路有较高的耐雷水平，有效减少雷害事故，并有效限制线路接地故障条件下杆塔附近的接触电压和跨步电压，防止人畜触电事故。然而，在实际运维工作中，花费大量人力物力测量得到的杆塔接地电阻数据的可利用率仍然很低。各省市电力公司仍需每年申请专项科研项目开展线路的防雷接地改造工作，造成了严重的资源浪费。

综合分析，引起上述现象的主要原因包括以下 3 个方面：1)在测量环节中，所需记录的数据多、工作量大，对测量人员的专业性要求较高，现有工作方法效率低，且有一定的错误率，导致大量的测量数据难以取信；2)在数据分析环节中，尚无统一的标准尺度和专业的评估方法，运行人员很难根据测量数据直接判断接地装置状态的运行情况；3)在运维管理环节中，不能对测量工作的全业务流程实现监管和查询。可能存在惰工和数据造假情况，测量数据的客观真实性难以保证。

基于以上分析，有必要开发一种接地电阻测量的智能终端设备。在杆塔接地电阻测量过程中实现“一键式”完成“测量+上传”，直接将测量得到的“离线数据”转化为“线上数据”。有效提高测量环节中

的工作效率，减少错误率。同时，建立用户可查询的输电线路杆塔接地参数的大数据云平台，并结合接地装置的运行状态评估方法和接地故障风险分级方法，提高测量数据的利用率，支撑运维管理决策。本文的阐述重点是围绕一种输电线路杆塔接地电阻信息化测量设备的开发，应用本设备进行了实验室测量和实地现场测量，通过与传统测量方法进行实测的对比分析知：该设备体积小、重量轻、操作简单用时少、测量精度高。

1 接地电阻测量的常用方法及存在问题分析

1.1 三极法的基本原理

根据杆塔接地电阻的定义，如果需要测量杆塔的接地电阻，则首先需要在接地装置中注入一定大小的电流。然后，在与接地装置一定距离的位置处设置一个可提供电流回路的电流极，使经接地装置散流到周围土壤中的注入电流重新再回到可用于测量的电流回路中，并用电流表测得该电流。同时，为了测得接地装置的电位，需要设置一个可用于测量电位差的电压极，且该电压极应设置在零电位点处。这样，通过测量回路中电压电流关系的简单计算便可以得到该杆塔接地装置的接地电阻。接地电阻测量回路见图 1。

[收稿日期] 2019—10—10

[基金项目] 中国南方电网科技项目(GZ_JKJXM20170029)

[第一作者] 彭红刚(1985—)，男，湖北黄冈人，广州供电局有限公司工程师，研究方向为高压输电线路运维管理

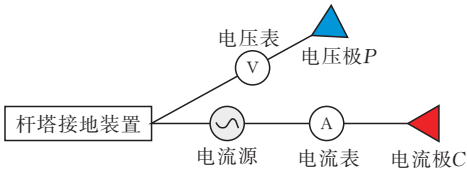


图 1 接地电阻测量回路原理图

1.2 回路法的基本原理

回路法测量杆塔接地电阻是最新的一版 DL/T475—2017《接地装置特性参数测量导则》中推荐的测量方法。该方法是由最早的“钳表法”发展而来。钳表法由于其使用方法简单、现场测量工作量小的特点,在杆塔接地测量运维中得到了广泛的应用。但实际应用中,钳表法的缺点也十分明显:测量所采用的电流较小,测量稳定性和准确率相对低。

采用回路法进行测量时,将被测杆塔所有的接地引下线拆除并用金属短接在一起,作为被测接地装置的测试引线。再由被测接地装置、接地装置杆塔、避雷线、远方多级杆塔及其接地装置和大地形成的回路中接入测试仪器。测量回路见图 2。

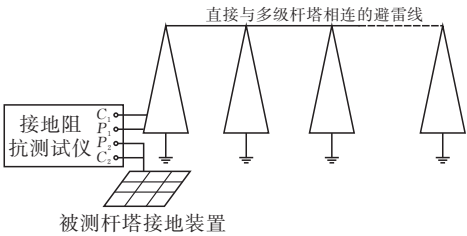


图 2 回路法测量杆塔接地电阻的原理示意图

1.3 杆塔接地系统运维测量过程中存在的问题分析

1)现有测量方法的优劣对比 在电力行业标准 DL/T475—2017 中,明确提出了线路运维工作中杆塔接地电阻测量的 2 种方法:三极法和回路法。这 2 种方法主要是从杆塔接地电阻测量回路的选择和设置的不同进行了分类。两种方法的对比见表 1。

表 1 三极法和回路法优缺点对比

典型方法	优点	缺点
三极法	理论误差较小,可信度相对较高	1)对测量人员技术性要求较高
		2)测量时需放线布设电压、电流极,测量工作量和劳动强度较大,每次测量费时长,平原平均测量时间为 20 min,山区为 45 min
回路法	方法简单,不用放线。单次测量费时短,工作量和劳动强度低。	1)理论误差相对较大
		2)采用钳表法时,测量电流较小,测量稳定性和准确率相对低
		3)有一定的适用性限制。如不适用于地线绝缘杆塔及引下线与基础钢筋直接连接的杆塔

2)运维测量过程中存在的问题 在传统的运维

测量过程中,所有的测量条件和测量数据都需要技术人员手动记录。在测量的各环节中,所需记录的数据多、工作量大,对测量人员的专业性要求较高。现有传统的工作方法效率低,且有一定的错误率。导致大量的测量数据难以取信。同时,运维管理人员不能对测量工作的全业务流程实现监管和查询。可能存在惰工和数据造假情况,测量数据的客观真实性难以保证。

传统的线路运维中杆塔接地测量过程的主要问题:

现场测量环节,1)采用手抄记数,工作量大,对测量人员的专业性要求较高。所需记录的数据多,可能遗漏关键的条件或参数。效率低,且有一定的错误率。2)不能实现测量过程的全流程痕迹记录。运维工作的过程难以监管。可能存在惰工和数据造假情况,测量数据的客观真实性难以保证。

后期数据处理环节,1)需录入、统计的数据量较大,效率低,且有一定的错误率。2)由于缺乏统一方法,运维部门对数据的使用率较低。3)缺乏集中的数据库,数据分析工作的效率较低,且效果不佳。在接地装置的状态评估方面,大多凭经验判断,难以科学指导随后的运检工作计划。

2 测量系统的设计方案

2.1 整体设计思路

本杆塔接地电阻信息化测量设备主要包括以下 8 个设计模块:中央处理器模块,异频激励源模块,信号采集模块(电流、电压),数据储存模块,LCD 显示模块,通讯模块,GPS 定位模块,电池及电源模块等八个模块。系统整体装置结构见图 3。

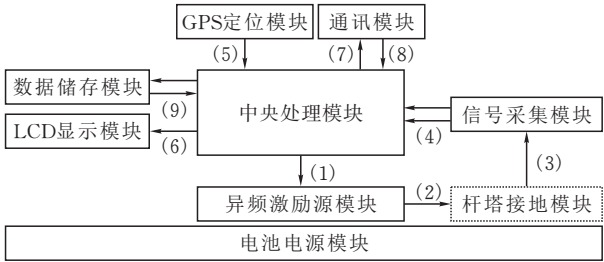


图 3 输电线路杆塔接地装置电阻信息化测量系统框图

当操作人员使用该信息化设备进行杆塔接地电阻测量时,中央处理器模块发送一个信号指令给异频激励源模块,异频激励源模块在布置的测量回路中分别产生一个 47 Hz 和 53 Hz 的异频电流源,如图 3 中过程(1)、(2)。此时,通过信号采集模块对杆塔接地装置的电压、电流信号进行测量采集,并将测得的电压、电流信号传输至中央处理器模块,如图 3 中过程(3)、(4)。同时,GPS 定位模块将设备的地

理位置信息传送至中央处理器模块,如图3中过程(5)。中央处理器模块通过计算处理得到一系列本次测量的最终数据,传送至LCD显示模块和数据存储模块,实现人机交互,如图3中过程(6)。随后,通讯模块将本次测量的最终数据上传至远端监控中心的服务器中,如图3中过程(7)。最后,当中心服务器收到本次测量的最终数据,服务器发送“测量成功”的指令返回至通讯模块并通过显示模块告知操作人员,如图3中过程(8)。另外,操作人员也可通过显示操作系统,对存储模块中的历史测量数据进行查询读取,如图3中过程(9)。

测量操作人员在杆塔接地电阻测量回路的布置中可根据现场实际条件及精度要求,自行选择采用三极法或回路法进行回路布置,并将对应方法通过设备通讯模块上传至服务器。

2.2 主要硬件的设计方案

2.2.1 异频激励源模块 本设备中异频激励源模块主要将中央处理器模块产生的47 Hz和53 Hz信号进行放大输出。由于需要产生不低于30 W的输出功率,又需要保证设备工作时不产生过度的能量消耗,因此选择TPA3118作为核心放大器。异频测量源的产生原理框图见图4。

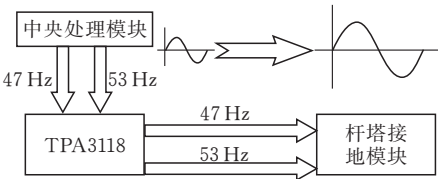


图4 异频测量源的产生原理框图

2.2.2 信号采集处理模块 本设备信号采集模块的设计中,电压信号的采集使用的是1:1隔离变压器,次级按比例分压形成6个不同档位(6/12,5/12,4/12,3/12,2/12,1/12)的电压值,依据实时负载电压强度,中央处理器会控制继电器选择合适通道。电流信号的采集使用霍尔电流传感器,分辨率为189 mV/A,能将电流信号转换为纯净的电压信号。

根据实际测试,电压、电流传感器均具有良好的频率响应和精确的信号输出。在负载为20 Ω,满功率情况下,负载电压与测量电压对比见图5。

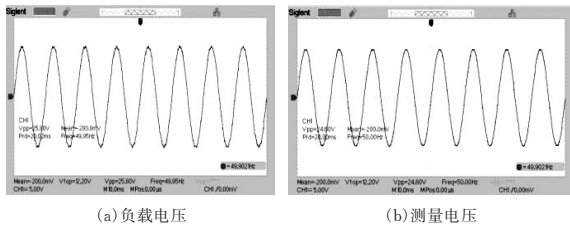


图5 负载电压与测量电压对比

2.2.3 数据存储模块 由于本信息化设备需要工

作在各种自然环境中,设备与后台服务器需要通过蜂窝网络进行数据传输,在某些无网络信号覆盖的地区采集的杆塔接地电阻结果无法及时上传到服务器,所以需要将采集的数据进行本地保存,以备网络恢复后续传。本设备采用Micro SD卡作为存储介质,最大能存储4 GB数据,掉电不易失。本设备亦支持USB通信,通过USB连接PC,用户可将Micro SD数据读出。

2.2.4 LCD显示模块 本设备采用3.5寸液晶显示屏作为人机交互窗口,使用串口与中央处理器进行通讯。显示屏显示的内容主要包括:测量步骤选择、测量结果显示、电池剩余电量、当前时间、当前经纬度坐标、当前信号强度、历史测试数据查看等。

2.2.5 GPS定位与通讯模块 为保证被测数据的真实性、唯一性以及系统的可扩展性,本设备采用GPS定位模块标定被测杆塔的实际位置。GPS定位模块选型为GPS-1513模块,使用串口与中央处理器模块进行通讯。

设备与后台服务器的数据传输采用GSM网络通信方法,可以使用GPRS数据流量和短信两种手段传输数据,具体可根据实际情况选择。通讯模块选型为SIM800,使用串口与中央处理器模块进行通讯。

2.3 软件系统程序设计

依照设备开发的技术路线,本设备的测量系统有如下3方面的主要功能:1)接地电阻的数据测量,2)测量结果及GPS信息的即时数据通信,3)历史测量数据的查询和显示。在信息化接地电阻测量设备的主程序设计中,围绕这3个方面的主要功能进行了充分的考虑设计(图6)。

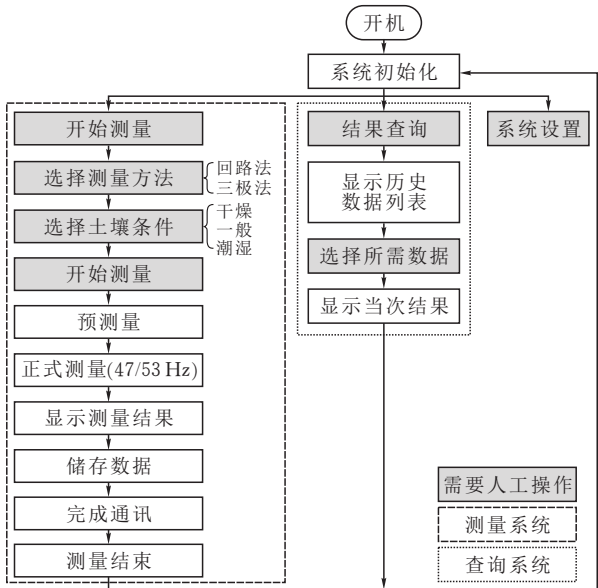


图6 “测量”功能操作流程

3 设备技术指标及实地测量结果

3.1 主要技术指标

设备外箱使用专业级电子设备工程仪表箱,采用开细胞核结构设计,重量轻,强度高,耐候性好,具有防水、防撞击、防尘等特性(图 7)。技术指标:尺寸 232 mm×192 mm×111 mm,输出波形为标准正弦波,频率 47/53 Hz,最大输出电流大于 500 mA,测量精度 1%。

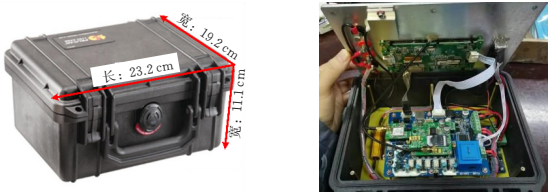


图 7 负载电压与测量电压对比

3.2 现场杆塔测量结果

为了验证异频法信息化测量设备的现场测量情况,项目组对部分输电线路杆塔的接地电阻进行了实地现场测量。每次测量中,项目组首先采用了本项目所研制的异频法信息化测量设备基于回路法进行现场测量,随后还采用 ZC-8 系列接地电阻测量仪(摇表)基于三极法进行了测量。

通过现场实地测量,得到 5 组有效测量数据(表 2)。

从表 2 可以看到,本设备测量结果稳定、精度高、抗干扰能力强,特别适用于电磁环境复杂地区的杆塔测量。同时,每基塔的平均测量时间仅为 9 min,与三极法相比,能有效节省 86%的测量时间,并大幅降低了测量中工作强度。

表 2 异频法信息化测量设备实地测量结果

线路及杆塔编号	ZC-8 摇表			异频法信息化测量设备	
	放线长度/m	测量用时/min	实测值/ Ω	测量用时/min	实测值/ Ω
220 kV 凤路一回 31 # 杆塔	100/60	65	2.1*	12	1.87
	100/50		1.9*		
220 kV 凤路二回 9 # 杆塔	160/80	90	2.4	9	2.76
220 kV 夏锦一回 116 # 杆塔	100/50	70	1.3	9	1.92
	100/60		1.4		
110 kV 锦狮线 39 # 杆塔	100/50	60	1.9	8	2.31
500 kV 夏凤 2 回 39 # 杆塔	100/50	55	6.5	8	6.63

* 测量时表指针来回摇摆,取中间读数

4 结论

1)本文针对现有常用的杆塔接地电阻测量方法中存在的共性问题,提出了一种杆塔接地电阻的信息化测量运维方法,并研发了一套杆塔接地电阻的信息化测量设备。实现了在接地测量的现场通过“一键式”操作完成接地参数的“数据测量”和“数据上传”,有效提高测量环节中的工作效率,减少了整个运维工作中的错误率。

2)通过现场多种方法的试验对比研究,表明本文研制的信息化测量设备测量精度高、抗干扰能力强,特别适用于电磁环境复杂地区的杆塔测量。能大幅提高接地运维测量中的工作效率,有效推进电网接地运维的信息化和数据化,工程应用前景广阔。

5078-5086.

[2] 柴守江,潘文霞.不拆卸接地线的杆塔接地电阻测量方法[J].电网与清洁能源,2016,(32)3:45-49.

[3] 周力行,王允龙,朱珺玮,等.基于 DSP+CPLD 杆塔冲击接地电阻测量仪设计和实现[J].电瓷避雷器,2011,(4):68-72,77.

[4] 赵立英,王敏珍.输电线路杆塔接地状态在线监测技术研究[J].现代电子技术,2019,(42)12:100-103,107.

[5] 刘宇舜,许军,严国志,等.杆塔地网接地电阻测量的工频干扰机理及抑制措施[J].武汉大学学报(工学版),2014,47(2):239-243,249.

[6] 王东烨,吴传玺,韦德福,等.强干扰下对特高压输电线路参数的异频法准确测量[J].东北电力技术,2017,38(4):24-26,31.

[7] 许晓.多频电流注入式杆塔接地电阻测量装置及应用研究[D].重庆:重庆大学电气工程学院,2015,4.

[参 考 文 献]

[1] 张占龙,许晓,刘成,等.一种多频扫描式杆塔接地电阻的测量方法[J].中国电机工程学报,2015,(35)19: