

[接地网]

大型接地网安全性及接地阻抗测量案例分析

文/昆明电器科学研究所 薛雯娟

全国每年雷击事故造成停电、火灾、人身伤亡或财产损失不计其数，而接地网在电力系统发生接地故障时能快速泄放故障电流，保障了电力系统的安全可靠运行及人员安全。由于接地网常年处于地下，受到土壤酸碱性和湿度的影响，并随着运行年限增加，接地网的金属导体会出现不同程度的腐蚀甚至断裂，不仅给运行人员的安全带来威胁，还会严重影响电力系统的安全和稳定运行，所以定期对大型接地网的安全性评估至关重要。

雷击是一种强大的自然力爆发，由于具有电流大、电压高、冲击性强及破坏力大等特点，全国每年雷击事故造成停电、火灾、人身伤亡或财产损失不计其数。变电站是电力系统的重要环节，由于其设置在露天，所以更容易遭受雷击，而变电站的接地网在电力系统发生接地故障时能快速泄放故障电流，保障了电力系统的安全可靠运行及人员安全。近年来，随着我国经济发展，电网规模不断扩大，接地网可靠性和安全性变得尤为重要。

大型接地网及其安全性

接地网是具有泄流和均压作用的较大型水平网状接地装置，接地网埋深不宜小于0.6 m，接地网边缘应为沥青路面或地下设有接地均压带。防雷接地需要在避雷针附近埋设集中的垂直接地体，按规程要求与变电站的水平主接地网连接。大型接地网是指110 kV及以上电压等级变电站的接地网，以及装机容量达200 MW以上的火电厂或者等效面积在5 000 m²以上的接地网。由于接地网常年处于地下，受到土壤酸碱性和湿度的影响，并随着运行年限增加，接地网的金属导体会出现不同程度的腐蚀甚至断裂，不仅给运行人员的安全带来威胁，还会

严重影响电力系统的安全和稳定运行。每年我国电网运行事故中由于接地网的缺陷或不良引起的事故占比在30%以上。由于电力系统事故造成停电带来的经济损失巨大，因此，定期对大型接地网的安全性进行评估至关重要。

大型接地网的安全性指标

大型接地网的安全性和可靠性直接关系到电网、设备及人身安全，大型接地网的安全性评估的指标主要包括接地阻抗、接地网电位升高、接地网电位差、跨步电压或跨步电位差、接地网的电气完整性、接地网导体热稳定性和接地网导体腐蚀性等，它们是衡量接地网安全性能好坏的主要指标，其中接地阻抗是衡量接地网性能最基本的特性指标。

大型接地网的安全性评估内容及流程

大型接地网属于隐蔽性工程，在投入运行后，除定期开挖检查金属导体腐蚀情况外，基本是免维护的。加之缺乏技术手段对其性能进行考核，后期带来的运行管理及安全性问题更加突出。依据标准DL/T 1680—2016《大型接地网状态评估技术导则》和DL/T 475—2017《接地装置特性参数测量

导则》要求,接地网状态评估周期应根据接地网的运行年限、运行情况确定,220 kV及以上变电站和200 MW以上电厂的大型接地网评估周期不宜超过10年。当出现接地网遭到局部破坏、接地网导体腐蚀严重等情况时应缩短评估周期。评估内容包括站址视在土壤电阻率、接地网特性参数(包括接地阻抗、地线分流、跨步电位差等)、电气完整性、接地网导热稳定、接地网及接地引下线导体腐蚀检查等。大型接地网状态评估流程如图1所示。

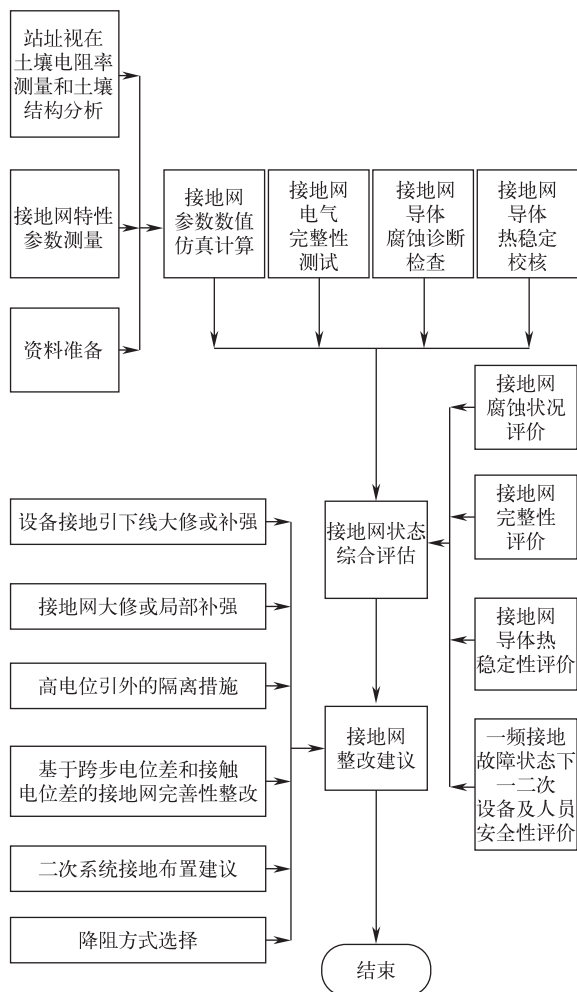


图1 大型接地网状态评估流程

大型接地网接地阻抗测量案例分析

在大型接地网的安全性指标中,接地阻抗是衡量接地网性能最基本的特性指标。在一个安全可靠的接地系统中应具备一条尽可能低的阻抗通道,将故障电流安全的泄放到大地上。对于同一个接地网,接地阻抗值是唯一的、客观存在的,只要布线和测

量方法合理,测量结果都是一致的。接地阻抗测量方法包括电位降法、补偿法和远离夹角法。由于受到土壤不均匀性影响,采用远离夹角法测量接地阻抗是最佳选择。

案例:某变电站依山而建,周围地貌较为复杂,为克服土壤不均匀性影响,故采用远离夹角法测量接地阻抗。其中,等效接地网对角线 $D \approx 400$ m,夹角约为 46° 。本次电流注入点为1417隔离开关C相侧龙门架往正北向正南墙角电缆支架下方接地引下线处,电流极、电压极均采用人工布线。电流极距 d_{GC} 约为1 300 m,电压极距 d_{GP} 约为1 300 m,均大于主网3倍。远离夹角法测试阻抗示意图如图2所示,接地阻抗测量结果详见表1。

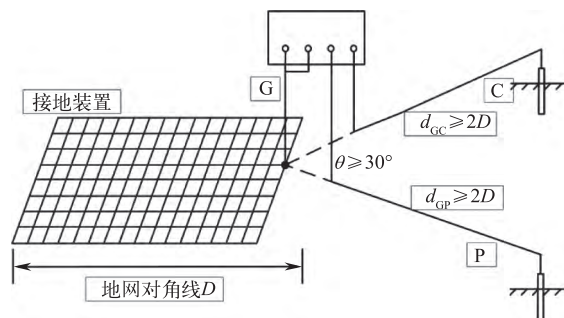


图2 远离夹角法测试阻抗示意图

表1 某变电站大型接地网接地阻抗测量结果(远离夹角法)

注入电流 /A	频率 /Hz	测量电压 /V	测量电阻值 /Ω	工频接地阻抗 /Ω
5	45	1.790	0.358	0.46
5	55	1.795	0.359	

经测试,变电站大型接地网接地阻抗测试结果为 $Z' = 0.359 \Omega$,接地阻抗经下列公式修正

$$Z = \frac{Z'}{1 - \frac{D}{2} \left(\frac{1}{d_{GP}} + \frac{1}{d_{GC}} - \frac{1}{\sqrt{d_{GP}^2 + d_{GC}^2 - 2d_{GP}d_{GC} \cos \theta}} \right)}$$

修正结果为 $Z = 0.46 \Omega$,符合标准和规程小于 0.5Ω 的要求。

为了保证数据的准确性,对比远离夹角法,还进行了直线法接地阻抗测试。直线法测试阻抗示意图如图3所示, d_{GP} 通常为 d_{GC} 的50%~60%,电位极P应在被测接地装置G与电流极C连线方向移动3次,移动距离约为 $5\%d_{GC}$,标准要求3次测量结果的误差在5%以内,测量结果详见表2。

(下转第86页)

表3 部署方案的风险识别及应用措施

序号	风险识别	应对措施
1	本次进站工作涉及范围较宽,涉及设备较多,存在工作范围的风险	1)明确工作范围,防止走错屏柜和间隔,防止误操作设备 2)明确工作内容,防止错误操作
2	主机需要布置安全探针并配置参数等,可能需要重启主机等操作	操作前做好备份,对有冗余的主机,先操作其中一台,确保测试完毕无异常后,再操作另外一台
3	站控层交换机升级程序或者更换交换机,修改配置并重启等操作,并且现场站控层通信网络为单网,故会造成主机、网关机和保护、测控等装置短时间的通信中断	需要提前联系调度,做好主站通道数据封锁等防范
4	出站纵向加密涉及修改配置并重启等操作,故可能造成主站通信短时间中断	需要提前联系调度,做好主站通道数据封锁等防范

4. 网络安全监测装置测试方案

(1) 厂站端测试

1) 厂站端监测装置调试完毕,完成资产添加后,在确保测试环境安全的前提下,检查是否可以收到站内被监视对象上传的本地告警。

2) 进行主机、交换机、防火墙及隔离装置的接

入测试,模拟各类安全事件进行告警触发测试,验证各项采集功能运行是否正常。

3) 通过监测装置本地告警监视功能,消除站内告警信息,完善白名单配置。站内告警消除后,再接入主站管理平台。

4) 本地采集信息测试完毕后,联系主站管理平台运维人员进行联调及测试。

(2) 主站端测试

厂站端测试完成后,在确保测试环境安全的前提下,厂站端模拟各类安全事件进行告警触发上传测试,主站端验证各项采集信息是否完整、准确。

主站管理平台针对采集信息测试通过,并无告警信息,可确认监测装置接入工作完成。

(3) 日志测试表(略)

结束语

本文通过对光伏电站监控系统布置网络安全装置,大大加强了系统网络安全应用和管理手段,确保电站和电网的运行安全。EA

(收稿日期:2021-10-27)

(上接第82页)

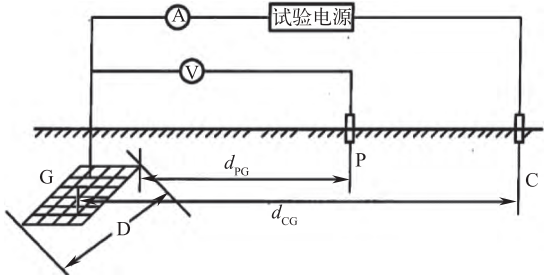


图3 直线法测试阻抗示意图

表2 某变电站大型接地网接地阻抗测量结果(直线法)

测试点	电压极位置/m	注入电流/A	测量电压/V	测量电阻值/ Ω
1	1 000	5	1.790	0.358
2	900	5	1.705	0.341
3	800	5	1.340	0.268
4	700	5	1.315	0.263
5	600	5	1.135	0.227

结果分析:通过测试,接地网接地阻抗远离夹角法测试值为 $0.46\ \Omega$,直线法测试值为 $0.263\ \Omega$,均满足标准及规程小于 $0.5\ \Omega$ 的要求。但是,考虑到变电站的地理位置及根据地质环境判断,远离夹角

法测试值更接近于阻抗真实值(其中,影响远离夹角法的因素有夹角 θ 和接地网对角线 D ,由于是采用GPS定位测量,因此可保证数据的准确性)。

结束语

大型接地网对于电力系统的安全及稳定运行有着极为重要的作用,接地网的性能好坏直接关系到电网、设备及人身安全。我国每年电网运行事故中由于接地网的缺陷或不良引起的事故占比在30%以上。由于电力系统事故造成停电带来的经济损失巨大,因此,定期对大型接地网的安全性进行评估至关重要。大型接地网的安全性指标中,接地阻抗是衡量接地网性能最基本的特性指标,但不是唯一指标。随着电网和计算机技术的发展,对接地网的安全性状态进行评估是接地网全周期管理的重要手段,通过实测和数值分析相结合,可利用接地分析软件(如CDEGS软件),对接地网的安全性状态进行全面分析评估。EA

(收稿日期:2021-10-09)