

# 电阻抗扫描成像技术在变电站接地网故障诊断中的应用研究

陈建伟<sup>1</sup>, 钱洲亥<sup>2</sup>, 胡家元<sup>2</sup>

(1. 中电华创电力技术研究有限公司, 上海 200081;

2. 国网浙江省电力公司电力科学研究院, 杭州 310014)

**摘要:** 采用电阻抗扫描成像技术对某 220 kV 变电站接地网的腐蚀和断裂情况进行检测与诊断, 检测结果表明: 接地网整体阻抗值为 43 mΩ, 各区域支路阻抗值都在允许范围内, 接地网整体接地状况良好。发现 I 区域的 8 号引下线接地电阻大于 50 Ω, 经过开挖证明此引下线存在严重腐蚀, 已与主接地网断开, 建议及时修复并采取保护措施。电阻抗扫描成像技术能够对运行多年变电站的接地网腐蚀及断裂状况进行快速有效诊断, 减少接地网腐蚀诊断的盲目性和工作量, 提高了电力系统运行的安全可靠。

**关键词:** 电阻抗扫描成像; 变电站; 接地网; 故障诊断

## Study on Application of Electrical Impedance Scanning in Fault Diagnosis of Grounding Networks in Substation

CHEN Jianwei<sup>1</sup>, QIAN Zhouhai<sup>2</sup>, HU Jiayuan<sup>2</sup>

(1. China Power Hua Chuang Electricity Technology Research Co., Ltd., Shanghai 200081 China;

2. State Grid Zhejiang Electric Power Research Institute, Hangzhou 310014, China)

**Abstract:** Electrical impedance scanning is used to detect and diagnose grounding grid corrosion and fracture in a 220 kV substation. The detection result shows that the overall grounding resistance value is 43 mΩ, the branch impedance values are within allowable range, which means that the overall grounding grid is in good condition. It is found that the value of grounding resistance of No.8 deflector is larger than 50 Ω. After excavation, it is found that the deflector gets seriously corroded and disconnected with the main grounding grid. Timely repair and protective measures are suggested. Electrical impedance scanning can be used to detect and diagnose corrosion or fracture of grounding grid of old substations rapidly and effectively. It can reduce blindness and workload of grounding grid corrosion detection and improve safety and reliability of power system operation.

**Key words:** electrical impedance scanning; substation; grounding grid; fault diagnosis

## 0 引言

变电站接地网是重要的输变电设备之一, 具有将电力系统与大地相连、提供故障电流及雷电流的泄放通道、稳定电位、提供零电位参考点等功能, 是电力系统设备及人身安全的重要保障<sup>[1-2]</sup>。构成接地网的均压导体埋在地下, 常因施工时

焊接不良、漏焊、土壤腐蚀、接地短路电流电力作用等原因, 导致地网导体及接地引线腐蚀, 甚至断裂, 使地网均压导体之间或接地引线与均压导体之间存在电气连接不良的故障点。若遇电力系统发生接地短路故障, 将造成地网本身局部电位差和地网电位异常升高。过去一般是在发现接地电阻不合格或出现事故后, 通过开挖地面来查找接地网的电气连接故障点或腐蚀段, 但这种方法具有盲目性、工作量大、速度慢, 还会影响电力系统安全运行。因此, 在不停电和不进行大面积开挖状态下, 对变电站接地网故障诊断理论

与实用化方法的研究值得关注<sup>[3]</sup>。

## 1 实验原理

接地网一般采用导电性良好的金属材料，忽略土壤、湿度、温度等外界环境的影响，其分布电感和分布电容也可忽略，则接地网就可以等效为纯电阻网络。采用一定的测量手段和计算方法，能够求出实际中接地网导体中各支路的电阻值或其变化量，根据求出的各支路电阻值与设计时相应支路电阻值相比较，进而判断导体腐蚀和断裂情况。变电站中电力设备需要接地，而从接地网中引出了一些下引线，称之为接地网可及节点，选择一个节点作为参考点，通过向接地网可及节点注入激励电流源，就可以测得其他任意点与参考点间的电压<sup>[4-6]</sup>。为此，在腐蚀诊断理论研究成果的基础上完善了接地网腐蚀诊断实用化方法，提出了接地网故障诊断新技术——EIS(电阻抗扫描成像技术)，采用正则化技术快速求解基于灵敏度矩阵的故障诊断方程，通过单点有序轮换激发多点接受测试，计算机数值计算的数学模型，实现接地网电阻抗检测，并研制了接地网故障诊断装置。该装置采用16电极循环测量法，主要功能就是要完成对变电站接地网可及节点间电压差的测量。

如图1所示，在数据采集过程中，通过ARM(微处理器)控制16路通道接线座，采集2个节点间的电压差值信号，数据多次采集并求均值。为了方便测量，在测量时可以以电流流出节点为电位参考点，测量其他节点的电位。当接地网发生故障时，在同等的注入电流条件下，故障区域对应地表电位会发生变化，而没有故障的区域地表电位变化不大，因此可以根据地表电位是否变化来判断接地网是否发生故障。该装置能够在不停电和不进行大面积开挖的情况下，仅仅依靠接地网接地引下线间电阻，就能对接地网的腐蚀和断点情况进行快速准确的检测<sup>[7-10]</sup>。

## 2 实验方案

实验采用接地网电阻抗扫描成像仪对某220 kV变电站进行接地网状态评价及故障诊断。

### 2.1 支路阻抗测量方案

支路阻抗测量主要是通过测量接地引下线阻

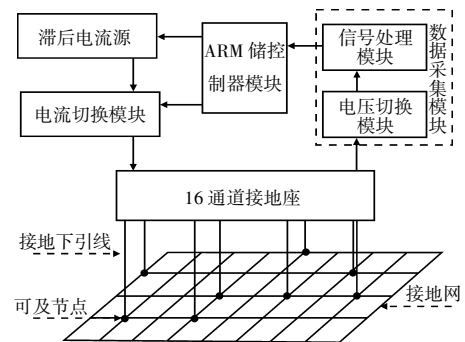


图1 数据采集装置示意

抗来实现的。所以根据变电站等级分别采用全站测量法与分区测量法。全站测量法测试内容少，工作量比较低，适用于110 kV及以下的变电站。分区测量法是根据接地引下线实际位置将变电站分成几个区块分别测量，工作内容多，测得的数据精度较高，适用于110 kV以上的变电站<sup>[11]</sup>。本次试验为了测试整个接地网支路阻抗，采取分区测量法。

(1)区域划分。将变电站分为10个区域依次编号为A-J。

(2)引下线选取。在每一区域分别选取16个接地网引下线并编号，例如在A区选取16个引下线依次编号为A1, A2, …, A16, 以此类推。

(3)数据采集。将接地网检测装置1-16号导线依次接入各个区域中引下线对应位置，利用检测装置分别对每个区域进行数据采集。

(4)判断标准。根据测量结果得到的每个支路的电阻相对基准值0.5 mΩ的增大倍数。按照表1的判断标准，得出接地网各支路导体的腐蚀程度<sup>[11]</sup>。根据接地网扫描成像仪内置软件算法及长期测量经验值，110 kV及以下变电站支路阻抗值增大倍数大于20，220 kV及以上变电站支路阻抗值增大倍数大于30，则接地网存在支路故障。

表1 接地网导体腐蚀程度的划分<sup>[11]</sup>

腐蚀程度	轻度腐蚀	中度腐蚀	严重腐蚀
接地网支路阻抗增大倍数	0~1	2~9	>9

### 2.2 整体阻抗测量方案

由于接地网阻值较小，为减小测量误差，本次试验采用四电极法测量接地网整体阻抗，而Fluke接地电阻测试仪是基于四电极法的高精度

接地电阻测试仪器,因此试验中利用该仪器来测量接地电阻。测量步骤如下:

- (1)将 Fluke 仪按图 4 连接地网引下线。
- (2)Fluke 仪调至测电阻档。
- (3)直接读取电阻值。

### 2.3 引下线导通测试方案

为测试所选取接地网引下线导通性,利用 Fluke 仪分别将每根引下线按图 2 连接,分别测量每根引下线接地电阻,最后根据《电力设备预防性试验规程》中“接地装置”的相关方法确定所选接地网引下线是否导通<sup>[12-13]</sup>。具体标准如下:

- (1)测试结果在 50 mΩ 以下,表示接地状况良好。
- (2)测试结果在 50~200 mΩ,表示接地状况尚可。
- (3)测试结果在 200 mΩ~1 Ω,表示接地状况不佳。
- (4)测试结果在 1 Ω 以上,表示设备没有有效接地。

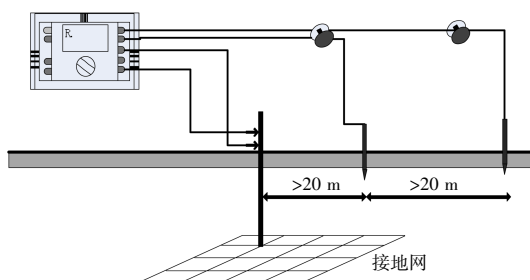


图 2 四级法测量接地电极的电阻

## 3 测量数据与计算结果

### 3.1 整体阻抗

经测量接地网整体阻抗值为 43 mΩ,表明接地状况良好。

### 3.2 支路阻抗计算结果

图 3 所示为部分区域的支路阻抗相对基准值的测量诊断结果,从图中可以看到,A 区与 C 区测量接地网区域支路阻抗最大增大倍数分别为 8 倍和 7 倍,属于中度腐蚀程度。其余分区接地网各个支路阻抗最大增大 20 倍以下,各支路阻值都在允许范围内,接地状况良好。

### 3.3 引下线导通测试结果

在试验数据采集过程中,发现位于 I 区域

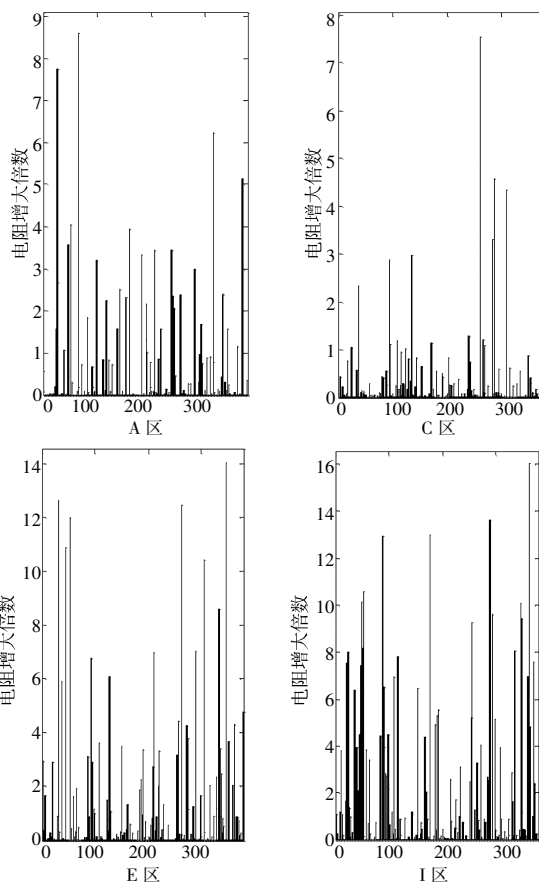


图 3 接地网支路阻抗计算结果

110 kV A 相副母线避雷器与 1 号主变压器 110 kV 副母线闸刀之间的 8 号引下线接地电阻数据出现异常。通过采取多次测量及包围测量方式,测量数据如表 2 所示,发现 8 号引下线接地电阻阻值均大于 50 Ω,其余各引下线均小于 0.05 Ω。

表 2 8 号引下线及周围引下线接地电阻

引下线所在位置	接地电阻阻值/Ω		
8 号引下线	52.4	55.5	53.2
110 kV A 相副母线避雷器	0.041		
1 主变 110 kV 正母闸刀支柱	0.032		
110 kV A 相副母线避雷器	0.045		

表 2 数据表明 8 号引下线接地电阻过大,其阻值是正常情况下 1 000 倍左右。为验证 8 号引下线异常原因,选取包括 8 号引下线在内的 16 个引下线并编号,然后测量各节点电压变化,测得结果如图 4 所示。

如图 4 所示,8 号引下线的电压电位明显大于电压注入节点的电压电位,8 号引下线电压拾

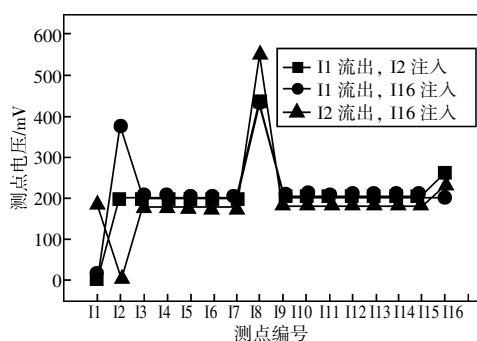


图4 测量节点电压变化趋势

升明显,为241~380 mV,接地电阻为53.7  $\Omega$ ,流过的泄漏电流为4.5~7.1 mA。8号引下线泄漏电流在mA级别,从而证明此引下线存在严重腐蚀甚至已出现与接地网断接的情况,导致其电位抬升明显。同时从图4中也可以发现1号、2号、6号引下线电位也出现一定抬升,说明这3处引下线也出现了不同程度的腐蚀,导致接地电阻增大。

### 3.4 现场开挖检查

现场对位于110 kV A相副母线避雷器与1号主变压器110 kV副母线闸刀之间的8号引下线进行开挖,以便进一步验证上述诊断结果。

现场发现:8号引下线已经断开,表面腐蚀较严重,出现红棕色铁锈。经分析,由于施工安装不规范,土壤沉降,土壤腐蚀等因素综合作用,导致8号引下线腐蚀断裂。建议更换接地网引下线,保证接地网电阻值合格,同时完善接地网腐蚀保护措施,施行阴极保护策略,包括牺牲阳极法以及外加电流阴极保护等。

## 4 结语

电阻抗扫描成像技术能够实现变电站接地网故障高效快速的检测,可以根据支路阻抗大小测出腐蚀严重区域,对接地网腐蚀断点检测尤其有效。它为变电站接地网腐蚀情况提供了准确实用的优化诊断方法,能够在变电站运行状态下进行,并且有效避免大面积开挖,从而大大减少了接地网腐蚀诊断的盲目性和工作量,一定程度上提高了电力系统运行的安全可靠。该方法不但

能够对运行多年变电站的接地网腐蚀程度及断裂状况进行快速准确诊断,对新铺设地网的质量验收也有着实际意义。

### 参考文献:

- [1] 沈晓明,钱洲亥,祝邴伟,等.浙江地区变电站土壤腐蚀性调查研究[J].浙江电力,2017,36(2):53-57.
- [2] 魏敏,吴芳芳,田浩.变电站铁塔基础接地网土壤腐蚀性研究[J].浙江电力,2010,29(10):24-27.
- [3] ZENG RONG, HE JINLIANG. The theory and implementation of corrosion diagnosis for grounding system[C]. Industry Applications Conference Record of the 37th IAS Annual Meeting, Oct. 2002.
- [4] 徐华,李思南.利用CDEGS软件诊断接地网连通状态[J].浙江电力,2008,27(6):33-36.
- [5] IEEE guide for diagnostics and failure investigation of power circuit breakers[S]. IEEE Std C3710-1995, 23 Sep 1996.
- [6] 杨晓龙,杨帆,何为,等.16通道接地网阻抗循环测量方法[J].云南电力技术,2013,41(5):15-17.
- [7] 孟宪.接地网腐蚀诊断技术实用化研究[D].重庆:重庆大学,2009.
- [8] 刘渝根,孟宪,田金虎,等.接地网故障诊断中测量节点对选取方法分析[J].高压技术,2007,33(5):139-142.
- [9] 刘健,王树奇,李志忠,等.基于网络拓扑分层约简的接地网腐蚀故障诊断[J].中国电机工程学报,2008,28(16):122-128.
- [10] LI JINGLU. The Study of Erosion and Anti-erosion Measures to Grounding Equipment in power System[C]. The 4th International Conference on Power Transmission & Distribution technology. Changsha, 2003.
- [11] DL/T 1532-2016 接地网腐蚀诊断技术导则[S].北京:中国电力出版社,2016.
- [12] DL/T 393-2010 输变电设备状态检修试验规程[S].北京:中国电力出版社,2010.
- [13] 曹俊平,刘浩军,董雪松.1000 kV安吉变电站接地网接地特性参数的试验[J].浙江电力,2015,34(1):17-19.

收稿日期:2017-09-15

作者简介:陈建伟(1984),男,工程师,从事电站设备腐蚀与防护技术研究工作。

(本文编辑:徐 晗)

发展电力 科技先行