

文章编号:1000-582X(2008)04-0417-04

大中型接地网腐蚀优化诊断实用化分析

刘渝根¹, 吴立香¹, 王 硕²

(1. 重庆大学 输配电装备及系统安全与新技术国家重点实验室, 重庆 400030; 2. 北京电力公司, 北京 100031)

摘要:为实现大中型变电站接地网腐蚀优化诊断方法实用化,用拟牛顿法求解故障方程,ATPDraw软件对接地网的各种腐蚀情况进行真实模拟,C++与MATLAB结合编写了接地网腐蚀诊断应用程序。求解方程速度提高,总结出大中型变电站最优化的诊断方案,解决了地网诊断问题。在220、500 kV变电站分别进行了现场试验,用腐蚀诊断软件对接地网进行了诊断;对诊断为严重腐蚀的接地网导体进行了开挖,开挖结果与诊断结果几乎吻合,表明该诊断方法具有工程实用性。

关键词:接地网;腐蚀;优化诊断;模拟

中图分类号:TM862

文献标志码:A

Practicality analysis for optimized erosion diagnosis of large and grid medium-scale grounding grid

LIU Yu-gen¹, WU Li-xiang¹, WANG Shuo²

(1. State Key Laboratory of Transmission & Distribution Equipment and Power System Safety and New Technology, Chongqing University, Chongqing 400030, P. R. China; 2. Beijing Electric. Power Corpany, Beijing 100031, P. R. China)

Abstract: To implement the practicality for optimized corrosion diagnosis methods of large and medium-scale grounding grids, a failure equation was solved with the quasi-Newton method, various corrosion situations were simulated using ATP-Draw software, and a corrosion diagnosis application procedure was compiled with C++ and MATLAB. This method increased equation solution speed and generated optimized schemes for grounding grid diagnosis problems. Field tests were carried out at 220 kV and 500 kV electrical substations using the corrosion diagnosis software. The conductors diagnosed as severely corroded were excavated. The results were identical to the diagnosis results, indicating that this diagnosis method has engineering practicality.

Key words: grounding grid; corrosion; optimized diagnosis; simulation

变电站的安全运行是电力系统安全可靠运行的重要保障,但由于接地网导体埋在地下,常因土壤多年的腐蚀而使性能变差,威胁着电力系统的安全运行和变电站内工作人员与电气设备的安全。若发现接地网电阻不合格或发生接地事故后,再对接地网进行大面积开挖,工作量极大,且具有盲目性,并影

响电力系统的正常运行^[1-6]。

目前的诊断方法只是对诊断原理、数学模型进行研究,在一定程度上能诊断出接地网的故障,但不具有工程实用性。本文的优化诊断方法,是在不对变电站接地网进行开挖的情况下,依据可及节点间的电阻变化对大中型变电站接地网的腐蚀、断裂情况进行诊

收稿日期:2007-11-15

基金项目:国家自然科学基金资助项目(59677016)

作者简介:刘渝根(1963-),男,重庆大学副教授,主要从事电力系统过电压及接地技术研究,(Tel)023-65103183;
(E-mail)cd_yugen_liu@yahoo.com.cn。

断。诊断的正确率在95%以上,具有工程实用性。

1 腐蚀诊断的基本原理

由于地网一般是采用扁钢材料,其电阻值比较小,可以忽略土壤、温度、湿度等因素的影响把接地网视为纯电阻网络。地网竣工时各段导体的长度、截面积和电阻率已确定,可知其原始电阻值;运行多年后某些导体出现腐蚀或者断裂,该支路电阻比原始值大,这样就得到2个拓扑结构相同、支路电阻不同的电阻网络。2个网络施加相同的恒定直流电流源时,得到对应的2组电压值,进而求出端口的电阻值。用适当的数学方法可推出接地网支路的电阻变化值,从而判断地网腐蚀及断点情况^[1-2](如图1)。

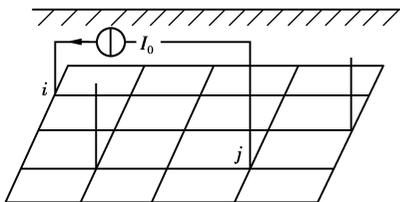


图1 接地网模型图

数学模型的建立:

定义一个具有 N 个节点、 B 条支路的接地网。根据电路理论,其节点电导方程为^[7]

$$\mathbf{G}_N = (\mathbf{A}^T)^{-1} \mathbf{R} \mathbf{A}^{-1}, \quad (1)$$

式中: \mathbf{G}_N 为节点电导($N-1$ 行, $N-1$ 列); \mathbf{R} 为支路电阻矩阵; \mathbf{A} 为节点对支路的关联矩阵($N-1$ 行, B 列)。

$$\mathbf{U}_N = \mathbf{R} \mathbf{A} \mathbf{I}_s, \quad (2)$$

式中: \mathbf{U}_N 为节点电压向量($N-1$ 行,1列); \mathbf{I}_s 为独立电流源向量(B 行,1列)。

$$\mathbf{R}_{ij} = \mathbf{U}_{B+1} / \mathbf{I}_0, \quad (3)$$

式中: \mathbf{R}_{ij} 为两节点(节点 i 和节点 j) 之间的端口电阻; \mathbf{I}_0 为流过支路 $B+1$ 的电流。

腐蚀后的接地网电阻发生了变化,变化量为 ΔR_b ,通过式(4)可以计算出 $\hat{\mathbf{I}}_{bm}^T$ 为接地网腐蚀后电流源为 \mathbf{I}_0 时流过支路 b 上的电流; $\hat{\mathbf{I}}_p^T$ 为腐蚀后电流源的电流值; $\hat{\mathbf{I}}_{bm}$ 为接地网腐蚀前电流源为 \mathbf{I}_0 时流过支路 b 上的电流值; $\Delta \mathbf{I}_{bm}$ 为故障前后支路 b 上电流的变化值; ΔR_{pm} 为节点 i 和节点 j 之间端口的电阻值。

$$\begin{cases} \Delta R_{p1} = \Delta R_b \hat{\mathbf{I}}_{b1}^T (\mathbf{I}_{b1} + \Delta \mathbf{I}_{b1}) / \hat{\mathbf{I}}_p^T \mathbf{I}_0, \\ \Delta R_{p2} = \Delta R_b \hat{\mathbf{I}}_{b2}^T (\mathbf{I}_{b2} + \Delta \mathbf{I}_{b2}) / \hat{\mathbf{I}}_p^T \mathbf{I}_0, \\ \Delta R_{p3} = \Delta R_b \hat{\mathbf{I}}_{b3}^T (\mathbf{I}_{b3} + \Delta \mathbf{I}_{b3}) / \hat{\mathbf{I}}_p^T \mathbf{I}_0, \\ \vdots \\ \Delta R_{pm} = \Delta R_b \hat{\mathbf{I}}_{bm}^T (\mathbf{I}_{bm} + \Delta \mathbf{I}_{bm}) / \hat{\mathbf{I}}_p^T \mathbf{I}_0. \end{cases} \quad (4)$$

为求出非线性方程组(4) ΔR_b 的解,利用拟牛顿法求解^[8-9],步骤为:

1) 测量端口电阻 $\Delta R'_{ij(s)}$,计算端口电阻变化 $\Delta R_{ps} = R'_{ij(s)} - R_{ij(s)}$, $s=1 \sim m$;

2) 令 $\Delta \mathbf{I}_{bs} = 0$;

3) 用诊断方程计算出 $H^{(k)}$,并令 $p^{(k)} = -H^{(k)} \nabla f(X_k)$,在 $P(k)$ 方向上进行一维搜索,其最佳步长

$$\lambda_k = \min f(X_k + \lambda p^{(k)}) = f(X_k + \lambda_k P^{(k)}),$$

然后计算下一个近似点 $R_k^{(t)} = R_k^{(t-1)} + \Delta R_k^{(t)}$ ($k=1 \sim B$);

4) 如果 $t \geq 1$ 且 $|\Delta R_k^{(t)} - \Delta R_k^{(t-1)}| < \epsilon$, ϵ 为设定的常数,那么停止迭代计算,认为 $R_k^{(t)}$ 为最后结果,否则继续下一步;

5) 用 $R_k^{(t)}$ 计算 $I_k^{(t+1)}$,重复第4步。

根据以上步骤,利用 C++ 和 MATLAB 结合编写接地网腐蚀诊断程序。

2 接地网诊断方法

2.1 接地网规模划分

变电站接地网导体常用 $6 \text{ mm} \times 60 \text{ mm}$ 、 $6 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$ 、 $5 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$ 、 $4 \text{ mm} \times 40 \text{ mm}$ 的扁钢或直径为 20 mm 的圆钢水平铺设,排列成长孔或方孔形,埋入地下 $0.6 \sim 0.8 \text{ m}$,其面积大体与发电厂和变电厂的面积相同,两水平接地地带的间距为 $3 \sim 25 \text{ m}$ 。

现实中发电站、变电站的面积很大。根据大量试验,为了研究方便,规定:凡是接地网拓扑结构图中节点数在 $40 \sim 120$ 个,称其为中型接地网,其对应的接地网占地面积约为 $3\,500 \sim 12\,000 \text{ m}^2$,一般为 110 kV 及其以下等级变电站接地网;节点总数在 120 个以上,称其为大型接地网,其对应的接地网占地面积一般大于 $12\,000 \text{ m}^2$,为 220 kV 及其以上等级的接地网。

2.2 诊断优化方案

以重庆某大型 220 kV 变电站为例,使用 ATP 软件中的 ATPDraw 程序绘图功能,按照变电站接地网竣工图绘制,其拓扑结构截图如图2,其中每一条支路都视为一个电阻。

根据电阻计算公式 $R = \rho \cdot l / s$ 计算每条支路的电阻。其中 ρ 取 $2.3 \times 10^{-6} \Omega \cdot \text{m}$ (现场实测获得), l 可根据竣工图并参照比例尺计算得出, s 为导体截面积,变电站接地网采用的是横截面为 $6 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$ 的镀锌扁钢。最后将每条支路电阻计算值输入程序中接地网对应支路,改变拓扑结构的节点编号就得

到了一个与实际接地网拓扑结构完全一致,支路电阻与未发生腐蚀前的实际支路电阻完全相等的模拟接地网。

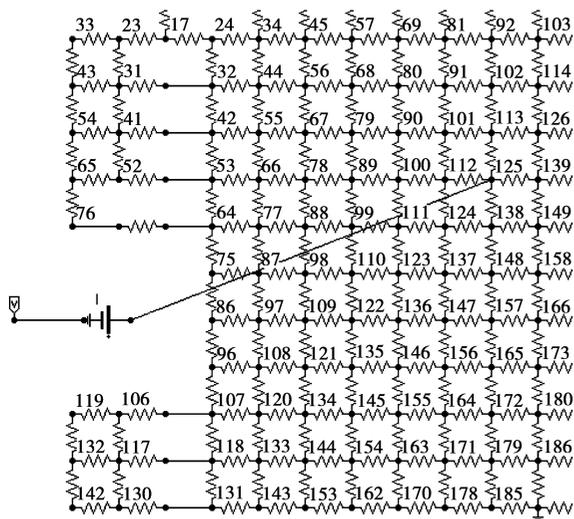


图 2 地网截图

准确的模拟试验平台搭建起来后,可以模拟不同规模、不同形状接地网腐蚀情况,利用接地网腐蚀诊断软件对故障进行诊断。设计与现实相似的不同的测量方案,比较其实际情况,总结出大中型变电站最优化的诊断方案:

1) 分步诊断。在初步诊断阶段,先进行初步测量,取得测量数据后,再进行诊断,确定故障的大体位置;采用逼近法,在故障的附近增加测量数据,最终确定故障的准确位置^[10]。

2) 分块测量。把接地网分成合适的几块,在块内固定导线一端,另一端移动,缩短了移动导线的距离和时间,也减少了工作量。

3 腐蚀优化诊断实例

接地网腐蚀诊断软件是专门针对变电站、发电厂大中型接地网的腐蚀、断裂等情况进行诊断。通过诊断表明:该软件由于用拟牛顿法编写,比用其它数学方法编写的诊断软件,诊断速度快,诊断需要的数据少,只需要较少的接地网节点之间的端口电阻测量值即可对大中型接地网的腐蚀情况进行诊断。

3.1 220 kV 变电站接地网诊断

贵州某 220 kV 变电站,有 411 个节点,776 条支路,根据本文的优化诊断方法在变电站内共测得 75 组节点对数据,用接地网腐蚀诊断软件可诊断出该变电站接地网的腐蚀情况,诊断结果如图 3 所示。

图 3 中,“·★·”代表严重腐蚀,甚至断裂;“·⊙·”代表中度腐蚀;“—”代表几乎没有腐蚀。

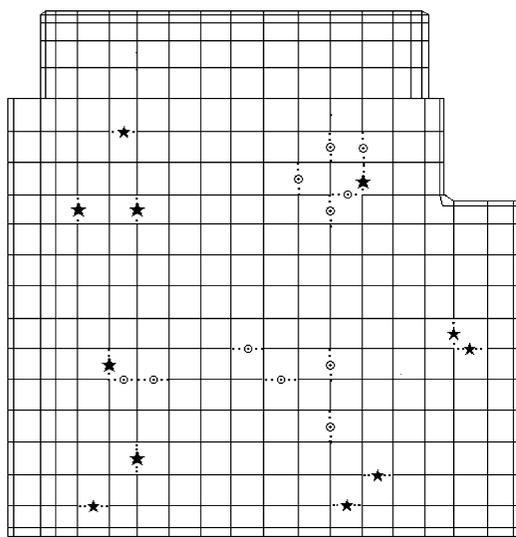


图 3 220 kV 接地网诊断结果图

其 75 组测量节点对的接地引下线间的电阻值分别为 25、18、23、20、17、19、31、19、17、12、15、16、16、19、17、16、17、18、14、14、19、22、21、20、21、15、19、23、22、18、23、17、13、18、17、15、17、18、25、17、20、27、20、23、24、29、23、24、24、25、27、25、26、26、26、25、26、26、23、26、10、23、19、13、13、16、11、16、15、12、11、12、15、14、12 mΩ。

3.2 500 kV 变电站接地网诊断

贵州的某 500 kV 变电站,有 368 个节点,689 条支路。同样用本文的优化诊断方法,在该变电站内测得 78 组节点对数据,同样用接地网腐蚀诊断软件可诊断出该变电站接地网的腐蚀情况,诊断结果如图 4 所示,图中“· * ·”代表轻度腐蚀,其他符号含义同图 3。

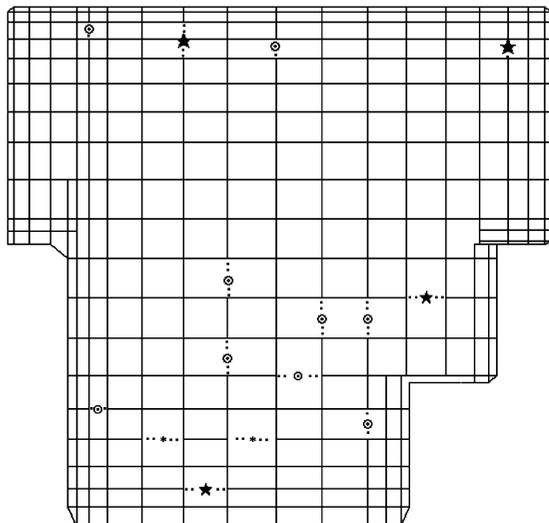


图 4 500 kV 接地网诊断结果图

其78组测量节点对的接地引下线间的电阻值分别5、7、5、5、5、6、6、7、7、7、8、7、7、8、6、7、7、7、7、7、8、9、9、9、9、9、9、8、9、7、6、5、5、6、6、5、6、7、8、8、7、7、9、7、7、8、8、8、8、9、8、9、9、7、9、8、8、9、8、6、8、7、8、6、8、8、8、10、11、11、11、13、10、11、10、10、10、10 m Ω 。

3.3 开挖结果

根据腐蚀诊断结论,对变电站接地网腐蚀严重的支路进行了开挖。结果证明诊断结论与变电站接地网实际情况几乎吻合,图(5)(6)(7)就是对变电站接地网严重腐蚀支路的开挖情况。



图5 电流互感器旁开挖情况



图6 隔离开关旁开挖情况



图7 避雷器旁开挖情况

现场开挖发现:诊断为严重腐蚀的一段导体,实际情况是局部导体严重腐蚀。图5中局部导体腐蚀得几乎洞穿;图6中局部导体小孔洞穿,最厚部分只有2 mm(原始值为5 mm);图7中局部导体已经完全洞穿、断裂,3个图中导体其余部分均表现为中度腐蚀。

4 结 语

通过对接地网进行开挖,证明诊断结论与实际情况几乎吻合,表明接地网腐蚀优化诊断方法具有工程实用性。总结的大中型接地网腐蚀优化诊断方案、开发的腐蚀诊断软件,使接地网腐蚀诊断变得简单、可靠,也降低了腐蚀诊断成本。

参考文献:

- [1] 肖新华,刘华,陈先禄,等.接地网腐蚀和断点的诊断理论分析[J].重庆大学学报:自然科学版,2001,24(3):72-75.
XIAO XIN-HUA, LIU HUA, CHEN XIAN-LU, et al. Analysis of theory and method about the corrosion as well as the broken point of the grounding grid [J]. Journal of Chongqing University: Natural Science Edition, 2001; 24(3):72-75.
- [2] 刘渝根,腾永禧,陈先禄,等.接地网腐蚀诊断方法研究[J].高电压技术,2004,30(6):19-21.
LIU YU-GEN, TENG YONG-XI, CHEN XIAN-LU, et al. A method for corrosion diagnosis of grounding grid [J]. High Voltage Technology, 2004, 30 (6):19-21.
- [3] AUGUSTO J S, ALMEIDA C F B. Circuit equations for fast fault simulation and diagnosis of linear circuits[EB/OL]. Beijing, Text: National Science Library, Chinese Academy of Science, 1998 [2007-10-20]. <http://ieeexplore.ieee.org/ie15/6599/17620/00813285.pdf>.
- [4] CHAKRABARTI S, CHATTERJEE A. Fault modeling and fault sampling for isolating faults in analog and mixed-signal circuits[EB/OL]. Beijing, Text: National Science Library, Chinese Academy of Science, 1999 [2007-10-21]. <http://ieeexplore.ieee.org/ie15/6311/16893/00780761.pdf>.
- [5] 周文俊,刘大建.通讯系统防雷接地技术[J].电力系统通讯,2005,149(26):1-5.
ZHOU WEN-JUN, LIU DA-JIAN. Lighting protection of communication system [J]. Telecommunication for Electric Power System, 2005, 149(26):1-5.
- [6] HU JUN, ZHANG RONG, HE JIN-LIANG, et al. Novel method of corrosion diagnosis for grounding grid[EB/OL]. Beijing, Text: National Science Library, Chinese Academy of Science, 2000 [2007-10-21]. <http://ieeexplore.ieee.org/ie15/7205/19429/00898168.pdf>.
- [7] 吴宁.电网络分析与综合[M].北京:科学出版社,2003.
- [8] 胡运权.运筹学教程[M].北京:清华大学出版社,2003.
- [9] 张韵华,奚梅成,陈效群.数值计算方法与算法[M].2版.北京:科学出版社,2006.
- [10] 王硕,刘渝根,游建川,等.大型接地网腐蚀优化诊断[J].重庆大学学报:自然科学版,2006,29(8):33-35.
WANG SHUO, LIU YU-GEN, YOU JIAN-CHUAN, et al. Erosion optimized diagnosis of brand grounding grid[J]. Journal of Chongqing University: Natural Science Edition, 2006, 29(8):33-35.

(编辑 张 苹)