

文章编号:1000-582X(2010)01-0073-05

接地网故障诊断中测量节点对选取方法分析

刘渝根¹, 孟 宪², 田金虎¹, 王 硕³

(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 400044;
2. 重庆电力科学试验研究院, 重庆 400015; 3. 北京市电力公司, 北京 100031)

摘要:针对实际变电站中地网接地引下线偏少导致接地网腐蚀诊断分析时的欠定方程数量有限而影响诊断精度的问题, 将特勒跟定理的接地网腐蚀诊断方法和灵敏度分析法相结合, 并计算分析接地网支路电阻值变化对小跨距、大跨距、地网边缘、地网中心、地网对称交叉线情况下的端口电阻值的影响, 提出了一种适用于工程实际的变电站接地网故障诊断中测量节点对选取方法。仿真分析和现场试验诊断结果表明:该方法有效提高了接地网腐蚀诊断的精度及腐蚀诊断过程中故障支路判断的速度。

关键词:灵敏度; 变电站; 故障支路; 接地网; 故障诊断

中图分类号: TM862

文献标志码: A

Analysis on the method of selecting nodes on the erosion diagnosis of grounding grid

LIU Yu-gen¹, MENG Xian², TIAN Jin-hu¹, WANG Shuo³

(1. State Key Laboratory of Power Transmission Equipment & System Security and New Technology, Chongqing University, Chongqing 400044, P. R. China; 2. Chongqing Electric Power Test and Research Institute, Chongqing 400015, P. R. China; 3. Beijing Elec. Power Corp., Beijing 100031, P. R. China)

Abstract: The number of underdetermined equation, which is limited by the grounding down lines, reduces the grounding grid corrosion diagnostic precision. Based on the grounding grid fault diagnosis method and sensitivity analysis, the value of slip resistance change on the impact of the port resistance in several cases, such as small span, large span and edge, center and symmetrical cross-line of the grounding grid, is analyzed. A new method which is used to select the node pairs to calculate the corrosion situation of grounding grid is presented. Based on this method, the simulation analysis and field test has been done. The experimental results show that this method could improve the accuracy and efficiency of grounding grid fault diagnosis.

Key words: sensitivity; substation; fault slip; grounding grid; fault diagnosis

接地网是确保电气设备和人身安全的重要设施^[1-3]。地网腐蚀是造成接地网缺陷的主要原因之一, 由此引发的事故很多^[4-5]。因此及时发现地网缺

陷并采取有效措施具有重要意义。国内外学者经过研究, 在接地网故障诊断领域已经取得了许多成果, 提出了一些不用通过停电、大面积开挖变电站来检

收稿日期: 2009-09-25

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方向的研究,
(E-mail)cd_yugen_liu@yahoo.com.cn。

测接地网腐蚀状况的方法。主要分为两大类,一类是基于电磁场理论的方法^[6-7],这种方法能够检测出接地网导体断裂的情况;另一类是基于电路理论的建立故障诊断方程^[8-12]。文献[13]结合优化方法及变电站地网实际情况,实现接地网腐蚀状况的优化诊断;文献[14]对地网故障的可测性做了分析。

文献[15]将腐蚀诊断方法应用到了实际工程中,但在变电站现场试验时,都会遇到一些相同的问题,已有的可及节点(变电站引下线)是否够用?对伪故障的判断是否准确?对于变电站大型地网是否可以诊断时间大幅提高?笔者结合灵敏度理论,提出一种有效的测量节点选择方法,解决了上述问题。

1 接地网支路灵敏度公式推导

假设接地网有 $n+1$ 个节点, b 条支路, m 条接地引下线,忽略土壤因素的影响,可以将接地网看成一个纯电阻网络,如图1所示,图中“○”表示节点编号;“×”表示接地引下线,“△”表示接地引下线编号;数字 $1, 2, \dots, b$ 表示支路。

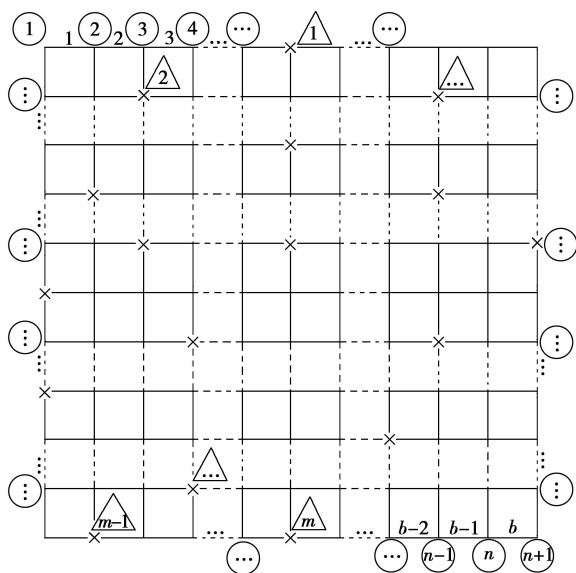


图1 接地网模型①

由网络理论可得

$$Y_n \cdot V_n = I_n, \quad (1)$$

$$Y_n = A \cdot Y_b \cdot A^T, \quad (2)$$

$$V_n = Y_n^{-1} \cdot I_n. \quad (3)$$

式中: A 为选定参考节点后网络的关联矩阵; Y_b 为支路导纳矩阵; Y_n 为节点导纳矩阵; I_n 为节点的电流列向量; V_n 为节点电压列向量。

通过将式(1)、(2)、(3)变换可得灵敏度矩阵

$$\lim \frac{\Delta V_n}{\Delta R_j} = \frac{\partial V_n}{\partial R_j} = \frac{\partial Y_n^{-1}}{\partial R_j} \cdot I_n, \quad (4)$$

式中: R_j 为支路电阻; ΔV_n 为节点电压变化量; ΔR_j 为支路电阻变化量。

$$\frac{\partial Y_n^{-1} \cdot Y_n}{\partial R_j} = 0, \quad (5)$$

$$\frac{\partial Y_n^{-1}}{\partial R_j} = -Y_n^{-1} \frac{\partial Y_n}{\partial R_j} Y_n^{-1}, \quad (6)$$

$$\frac{\partial V_n}{\partial R_j} = -Y_n^{-1} \cdot A \frac{\partial Y_b}{\partial R_j} A^T \cdot V_n, \quad (7)$$

式中:

$$\frac{\partial Y_b}{\partial R_j} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \cdot & \cdot & 0 \\ \cdot & 0 & 0 & \cdot & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{1}{R_j^2} & 0 & \cdot \\ \cdot & \cdot & 0 & \cdot & \cdot \\ 0 & \cdot & \cdot & \cdot & 0 \end{bmatrix}. \quad (8)$$

由上式可知,在接地网中,每条支路电阻值的变化都会对一定的端口电阻有影响,其表现就是上式,网络端口的支路灵敏度矩阵。

2 变电站接地网中支路电阻对端口电阻的影响规律探讨

本小节参考工程中实际地网,结合 ATP、Matlab 软件对其中支路电阻对端口电阻的影响规律进行了探讨,其地网图形如图2所示,该地网共有260个节点。

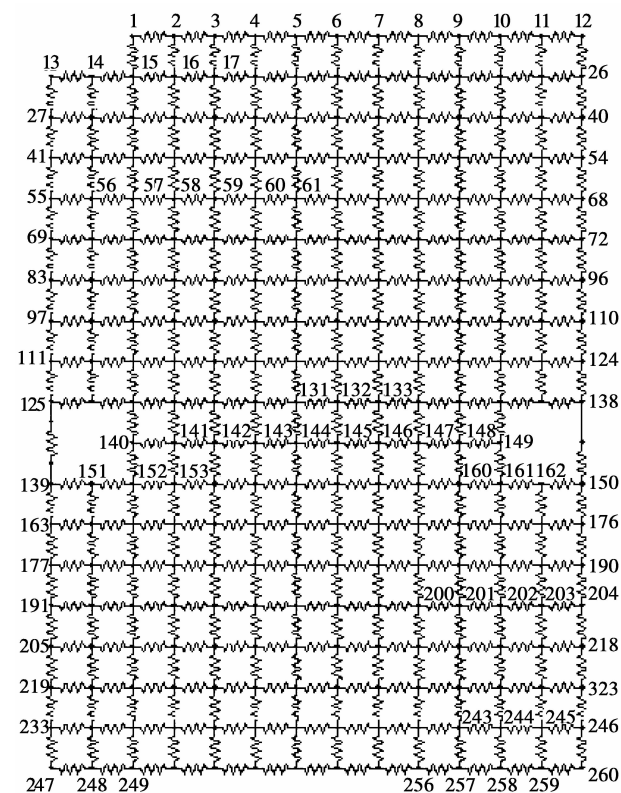


图2 接地网模型②

在本节的规律讨论计算中,特将地网中每条支路以圆点的形式按照实际布置图 2 所示描绘于坐标平面 xOy 上, z 轴表示灵敏度 S 。圆点为实际地网中每条支路的几何中心。由此一来,对于影响不同端口电阻的支路变化情况便能一目了然。如图 3 所示。在端口电阻测量的选取中,特考虑对跨距较小端口、跨度较大端口、地网边缘端口、地网中心端口、地网对称交叉线上端口这几类的支路影响规律做探讨,做到完备无缺。

对于节点 1~4,跨距较小测量节点端口,其支路电阻变化影响程度如图 3 所示。

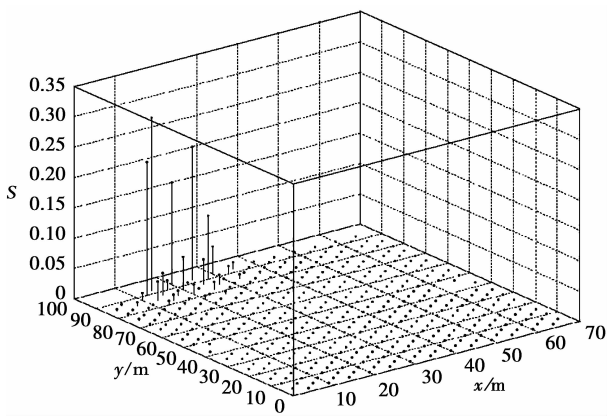


图 3 支路灵敏度①

对于节点 1~12,地网边缘测量节点端口,其支路电阻变化影响程度如图 4 所示。

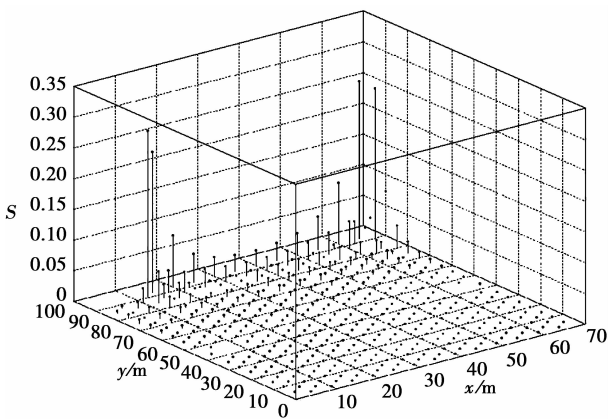


图 4 支路灵敏度②

对于节点 14~132,地网中心测量节点端口,其支路电阻变化影响程度如图 5 所示。

对于节点 14~245,跨距较大测量节点端口,其支路电阻变化影响程度如图 6 所示。

对于节点 58~202,地网对称交叉线上测量节点端口,其支路电阻变化影响程度如图 7 所示。

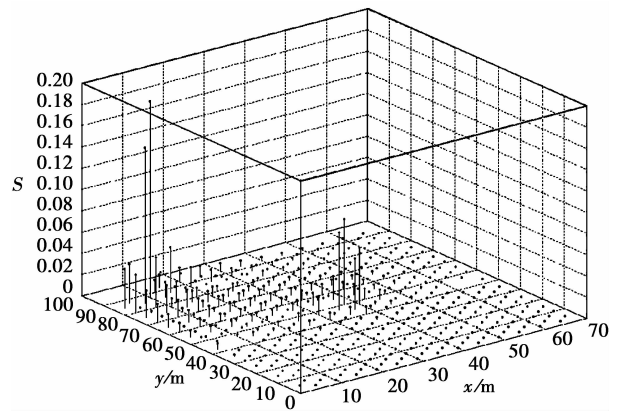


图 5 支路灵敏度③

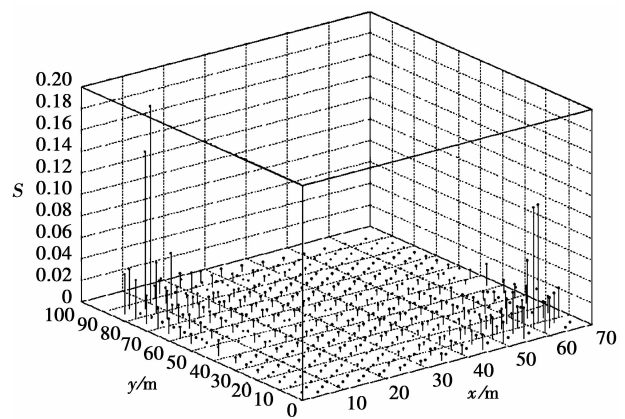


图 6 支路灵敏度④

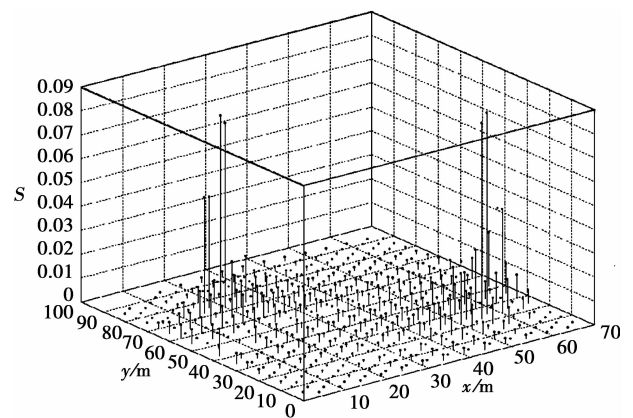


图 7 支路灵敏度⑤

3 测量节点对选取规律总结

从以上仿真中,对影响不同端口的支路灵敏度变化中可以得到以下规律。

- 1)对于地网中一定的网络端口,其各支路由于位置的不同,对于端口电阻的影响情况相差较大,其离端口距离越近支路,影响程度越大,反之越小。

2)对于中大型地网,由于其占地面积较大,支路数目较多,其影响规律除去以上一条外,还可以总结如下:

①跨距较小的测量端口与跨距较大的测量端口比较,其包含的支路变化信息有限,支路变化信息随着测量端口距离的增加而数量增多;

②位于地网边缘的测量节点对所包含的支路变化信息明显少于地网中心的测量节点;

③地网几何对称线上的测量节点与其他测量节点对在跨距相同的情况下,其地网几何对称线上的测量节点对包含的支路变化信息最多;

④对端口电阻(测量节点电阻),影响最显著的支路,都位于测量端口的旁边,随着距离的增大而显著减小。

由此可见,在实际的接地网腐蚀诊断测量中,测量节点对的选取是有规律可循的。结合以上支路灵敏度变化对端口测量电阻的规律,可总结出如下的地网测量节点对选取办法:

1)对于实际地网,为完成整个地网诊断,可以按照一个节点包含周围 3 条支路信息的方式,选取总测量节点对数目为支路数目的 16.7%。测量选取规则按照测量节点对包含每条支路信息的方式选取。

2)对于中大型地网,应尽量按照影响规律,初次测量时应多采用大跨距测量,特别是在测量节点对涵盖支路信息的前提下,尽量靠近地网中心。在二次诊断中,多采用跨距较小测量节点对。

4 现场试验

2008 年对贵州某 220 kV 变电站进行了腐蚀诊断现场测量试验,并进行了现场开挖。图 8 为变电站接地网图,图中粗线表示第 95 号支路和第 140 号支路。

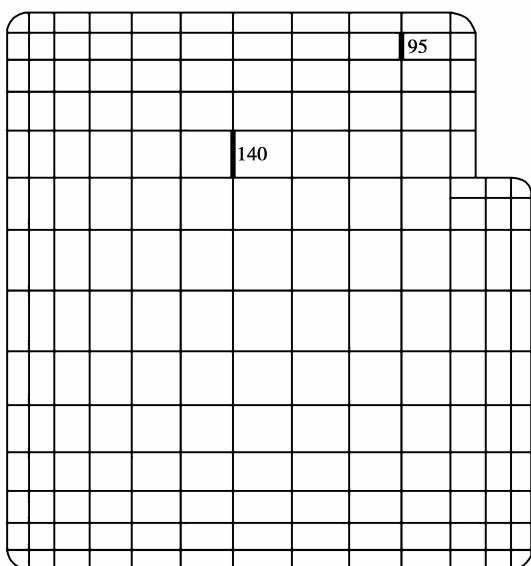


图 8 贵州某 220 kV 变电站地网图

根据测量节点对选取规律,结合分块原理^[13]对南郊变电站接地网图测量的节点之间的电阻值数据如表 1 所示。

表 1 贵州某 220 kV 变电站测量的节点对电阻值

节点对	R/mΩ	节点对	R/mΩ	节点对	R/mΩ
97-175	17.37	97-134	13.82	121-84	7.46
97-162	16.41	136-134	10.67	121-69	10.47
97-149	15.00	136-69	5.79	121-38	8.88
97-151	34.44	136-82	14.52	121-82	12.71
97-136	11.62	136-95	8.16	121-177	12.80
97-137	12.66	136-108	7.95	121-164	11.04
97-125	11.88	136-121	8.97	121-149	11.49
97-124	12.19	136-72	6.12	121-125	9.74
97-123	10.89	136-71	7.18	121-123	8.27
97-98	28.87	136-84	7.77	121-98	28.35
97-99	21.10	136-86	7.31	121-72	6.79

依据测量结果编程诊断,结果显示 95 支路、140 支路严重腐蚀(图 8 中粗线所示)。根据诊断结果,对故障段进行了现场开挖,结果显示故障段与诊断出的结果一致。图 9 为 140 支路接地引下线未连接主网的情况,图 10 为 95 支路接地网缺少导体。



图 9 开挖结果图①

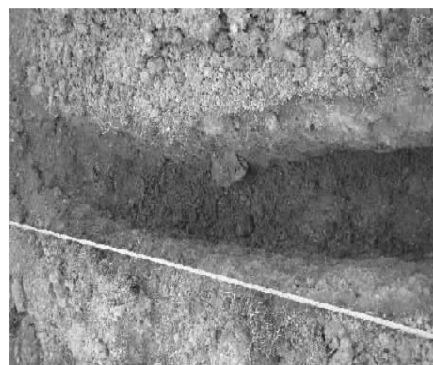


图 10 开挖结果图②

由诊断开挖结果可以看出引起该变电站接地网导体严重故障的主要原因是接地网施工不达标,包括引下线漏焊(见图9)和导体施工偷工减料(见图10)。可见,接地网腐蚀诊断方法的应用,改变了接地网工程属于隐蔽工程,一旦敷设后只有通过测量接地电阻的检查方式。同时,接地网腐蚀诊断方法的实用化,不但能够及时检测接地网导体腐蚀状况,而且可以对新建变电站接地网进行验收检查。

5 结 语

通过仿真及现场试验发现,将测量节点对选取规律应用于实际地网腐蚀诊断中,解决由于接地网引下线较少情况下测量节点对选取盲目诊断结果伪支路的判定以及故障诊断速度提高的问题。大大提升了腐蚀诊断理论的实际利用价值。

地网测量节点对选取办法总结如下:

1)对于小型地网,为完成整个地网诊断,可以按照一个节点包含周围3条支路信息的方式,选取总测量节点对数目为支路数目的16.7%。测量选取规则按照测量节点对包含每条支路信息的方式选取。

2)对于中大型地网,应尽量按照影响规律,初次测量时应多采用大跨距测量,特别是在测量节点对涵盖支路信息的前提下,尽量靠近地网中心。在二次诊断中,多采用跨距较小测量节点对。

参考文献:

- [1] 陈先禄,刘渝根,黄勇. 接地[M]. 重庆:重庆大学出版社,2002.
- [2] NAHMAN J, PAUNOVIC I. Effects of the local soil non-uniformity upon performances of ground grids[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2007, 22(4): 2180-2184.
- [3] COLOMINAS I, NAVARRINA F, CASTELEIRO M. Numerical simulation of transferred potentials in earthing grids considering layered soil models [J]. IEEE Transaction on Power Delivery, 2007, 22(3): 1514-1522
- [4] 蔡崇积. 电力交流接地网损坏原因调研与分析[J]. 电力设备, 2005, 6(4): 20-22.
CAI CHONG-JI. Investigation and analysis on damage reasons of AC electric power grounding network [J]. Electrical Equipment, 2005, 6(4): 20-22.
- [5] ZHOU M, WANG J G, LIU Y, et al. Causes, forms and remedies of substation grounding grid corrosion[C]// 2008 International Conference on High Voltage Engineering and Application, November 9-13, 2008, Chongqing, China. [S. l.]: IEEE, 2008: 186-189.
- [6] 刘洋,崔翔,赵志斌,等. 基于电磁感应原理的变电站接地网腐蚀诊断方法[J]. 中国电机工程学报, 2009, 29(4): 97-103.

- LIU YANG, CUI XIANG, ZHAO ZHI-BIN, et al. Method of corrosion diagnosis of substations' grounding grids based on electromagnetic induction theory [J]. Proceedings of the CSEE, 2009, 29(4): 97-103.
- [7] ZHANG B, ZHAO Z B, CUI X, et al. Diagnosis of breaks in substation's grounding grid by using the electromagnetic method [J]. IEEE Transactions on Magnetics, 2002, 38(2): 473-476.
- [8] 刘渝根,滕永禧,陈先禄. 接地网腐蚀的诊断方法研究[J]. 高电压技术, 2004, 30(6): 19-21.
LIU YU-GEN, TENG YONG-XI, CHEN XIAN-LU. A method for corrosion diagnosis of grounding grid[J]. High Voltage Engineering, 2004, 30(6): 19-21.
- [9] 刘利强,罗先觉,王森,等. 接地网腐蚀分块诊断的混合优化算法[J]. 中国电机工程学报, 2009, 29(7): 33-38.
LIU LI-QIANG, LUO XIAN-JUE, WANG SEN, et al. Hybrid optimal algorithm for corrosion diagnosis for grounding grids [J]. Proceedings of the CSEE, 2009, 29(7): 33-38.
- [10] LIU J, WANG J X, WANG S. A corrosion diagnosis approach for grounding grids based on tabu search algorithm[C]// Proceedings of the Fifth International Conference on Machine Learning and Cybernetics, August 13-16, 2006, Dalian, China. [S. l.]: IEEE, 2006: 1088-1091.
- [11] QIU Q R, WANG P. A new optimization algorithm for grounding grid fault diagnosis[C]// 2008 International Workshop on Modeling, Simulation and Optimization, December 27-28, 2008, Hongkong, China. [S. l.]: IEEE, 2008: 294-297.
- [12] ZENG R, HE J L, HU J, et al. The theory and implementation of corrosion diagnosis for grounding system[C]// Conference Record of the IEEE 37th IAS Annual Meeting-Industry Applications Conference, Oct. 11-16, 2002, University of Michigan, Michigan, USA. [S. l.]: IEEE, 2002: 1120-1126.
- [13] 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.
- [14] LIU J, WANG S Q, NI Y F, et al. A new approach of testability evaluation for grounding grid corrosion diagnosis [C] // Third International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies, April 6-9, 2008, Nanjing, China. [S. l.]: IEEE, 2008: 804-808.
- [15] 刘渝根,吴立香,王硕,等. 大中型接地网腐蚀优化诊断实用化分析[J]. 重庆大学学报:自然科学版, 2008, 31(4): 417-420.
LIU YU-GEN, WU LI-XIANG, WANG SHUO, et al. Practicality analysis for optimized erosion diagnosis of large and grid medium-scale grounding grid [J]. Journal of Chongqing University: Natural Science Edition, 2008, 31(4): 417-420.

(编辑 王维朗)