维普资讯 http://www.cqvip.com

文章编号:1001-1609(2004)04-0264-03

关于接地工程中相关参数取值的探讨

李景禄[1], 郑瑞臣[2], 杨廷方[1], 李志强[3]

(1. 长沙理工大学电气与信息工程学院, 湖南 长沙 410077; 2. 河南省南阳市电业局, 河南 南阳 473000; 3. 广东韶关电力公司, 广东 韶关 512000)

Discussion on Defining the Values of Related Parameters about Grounding Project

LI Jing-lu[1], ZHENG Rui-chen[2], YANG Ting-fang[1], LI Zhi-qiang[3]

(1. Changsha University of Science and Technology, Changsha 410077, China; 2. Nanyang Electric Power Bureau, Nanyang 473000, China; 3. Shaoguan Electric Power Company, Shaoguan 512000, China)

摘要: 对目前在接地工程中相关参数取值存在的问题进行了分析和探讨,分析研究了目前在接地设计和改造中存在的误区,用技术经济分析的方法对接地装置采用的形式,主要参数的控制范围,以及对运行的影响进行了研究。

关键词: 接地装置; 接地电流; 接地电阻; 土壤电阻率; 跨步电压

中图分类号: TM862 **文献标识码**: B

Abstract: The existing problems about defining the values of related parameters about grounding project are discussed. The mistakes during the design and reconstruction of grounding project are highlighted. Using technical-economical analysis method, the mode of grounding installation and the range of related parameters as well as the influence on the operation are studied.

Key words: grounding installation; grounding current; grounding resistance; soil resistivity; step voltage

1 引言

在接地工程中对接地装置的相关参数如何取值、如何控制,以及采用什么样的设计方法和型式在相关标准中都有明确的规定,但在实际接地工程中,仍然有一些混乱和困惑, 以致于有些参数难以取值和控制。这里既有对标准的理解问题,又有对标准执行上的实际困难。对一些参数如过严地要求,则会加大不必要的投资, 过分放宽则会对以后的运行产生不利的影响,甚至留下事故隐患。因此应采用技术经济分析的方法,具体工程,具体对待,在保证设备和人身安全的前提下, 对接地装置的相关参数合理地进行取值和控制, 并采用科学合理设计方法实现预期的目的。

2 相关参数的取值与控制

2.1 接地电阻

对接地装置来说最主要的参数就是接地电阻,关于接地电阻,文[1]作了具体规定。

有效接地和低电阻接地系统中发电厂、变电所电气装置保护接地的接地电阻宜符合下列要求。

(1)一般情况下,接地装置的接地电阻:

$$R \leqslant \frac{2\,000}{I} \tag{1}$$

式中:R 为考虑到季节变化的最大接地电阻;I 为计算用地流经接地装置的入地短路电流。

(2)当接地装置的接地电阻不符合式(1)要求时,可通过技术经济比较增大接地电阻,但不得大于5 Ω,且应采取隔离、均压等措施。

同时,文[1]对不接地、消弧线圈接地和高阻接地系统接地装置的接地电阻也作了要求:$R \leqslant 120/I$,但不应大于4 Ω。

笔者认为,对有效接地系统,当文[1]的接地电阻不符合式(1)时,放的过宽,至少应该有电流或电压等级的界限。笔者建议:如以流过接地装置的电流为依据,不满足式(1)时,当 $I \leqslant 5\,000$ A 时,接地电阻不得大于1 Ω; 当 $I \geqslant 5\,000$ A 时, 接地电阻不得大于0.5 Ω;且符合文[1]的隔离和均压要求。或者以电压等级为依据,当发电厂、变电所的接地装置接地电阻不满足式(1)时,对 110 kV 及以下电压等级的接地装置,接地电阻不得大于1 Ω;110 kV 以上则不得大于0.5 Ω,并符合文[1]的隔离、均压等要求。这样适当地放宽,在技术上容易做得到,又能保证接地装置流过接地电流时,地电位升的不是太高,经济上也比较合理,现场也容易实现。若都要求不大于5 Ω,而不接地系统的发电厂、变电所的接地装置电阻又要求不应大于4 Ω,似乎有头重脚轻之嫌,也不利于接地工程的实际操作。

2.2 接地电流

因为流经接地装置的入地短路电流直接关系到接地电阻、接地线的热稳定计算,设备接触电压和跨步电压的计算,所以正确计算流经发电厂、变电所接地装置的电流非常重要。文[1]规定,计算流经接地

收稿日期:2004-02-08; 修回日期:2004-04-04
基金项目:湖南省教育厅资助项目(02C063)

维普资讯 http://www.cqvip.com

装置的入地短路电流，采用在接地装置内、外短路时，经接地装置流入地中的最大短路电流对称分量的最大值，该电流应按 5～10 年发展后的系统最大运行方式确定，并考虑系统各中性点的短路电流分配，以及避雷线的分流。计算时首先应按系统最大运行方式时的短路阻抗算出单相接地短路电流值，然后根据厂、所内外短路计算流过接地装置的电流：

$I=(I_{max}-I_N)(1-k_{e1})$；$I=I_m(1-k_{e2})$

式中：I 为流经接地装置的入地电流；I_{max} 为接地短路时的最大接地短路电流；I_N 为发生最大接地短路时，流经发电厂、变电所接地中性点的最大接地短路电流；k_{e1}，k_{e2} 为厂或所内外短路时，避雷线的工频分流系数。

对于 5～10 年的发展，可根据规划在计算最大运行方式时考虑，也可在当前最大方式下计算后，乘以放大系数 K，K 根据电网的发展可取 1.2～1.4。对于避雷线的分流，只有避雷线无绝缘装置时才考虑，有绝缘装置时则不考虑。k_{e1} 和 k_{e2} 可通过计算求得，也可取 $k_{e1}=0.55$，$k_{e2}=0.18$ 进行估算。

对于接地线热稳定校核时，应采用最大的接地短路电流，不应考虑避雷线的分流，而地网干线因有多条回路并联散流，所以地网干线的截面可取的比设备接地引下线小。在实际的接地工程中还存在有这样的困惑和争论，就是对发电厂、变电所的有效接地系统，可直接采用最大的单相接地短路电流进行校核，这没有什么问题；但对于同一个发电厂或变电所 6～35 kV 侧的非有效接地系统，有人提出应考虑到异相异地接地短路的情况，主张用相间短路电流值进行接地线热稳定的校核。这么一来，由于非有效接地系统的相间短路电流值往往大于同一发电厂或变电所有效接地系统的单相接地短路电流值，这样，非有效接地系统接地线的截面将远远大于有效接地系统接地线的截面，显得极不协调。笔者认为这样是不合理的，因为异相、异地接地短路的几率小。即使发生异相、异地接地短路，那么由于保护动作的时间短，短路电流持续的时间也远小于有效接地系统（发电厂除外），此时为了整体上的一致性，建议对同一发电厂、变电所的接地线统一按有效接地系统的最大接地短路电流进行校核即可。

2.3 土壤电阻率

土壤电阻率是接地设计和计算的重要参数。在接地装置设计之前应认真进行勘测，因大多数情况下土壤都是不均匀土壤，即土壤的电阻率沿水平和垂直方向不均匀分布，这时就需要在水平方向上多测一些点以测出沿水平方向上的不同分布，同时还要测出不同深度的土壤电阻率。如采用“四极测量法”，改变不同的测试距离 d，即可算出不同深度的土壤电阻率，因为测试结果基本上保持着 $0.75d$ 深层土壤电阻率的关系[2]。对于新建发电厂和变电所，在发电厂、变电所接地装置布置地点进行测量；对于老站改造，可在旁边类似的土质地方测试，因为如在接地装置上方测量，则因下方有接地体而使结果偏小。测试一定要到现场实测，不要凭资料介绍的土质进行估算，因为同样土质在南方和北方相差甚远，如不现场实测，则由于取值和实际值相差较大而达不到设计目的。

2.4 跨步电压和设备接触电压

接地装置的地面跨步电压 U_k 和设备接触电压 U_j 是接地装置的主要参数，它直接关系到人身和设备安全，特别是在采用外延接地时，必须保证外延部分的跨步电压 U_k 在安全值以下，只有这样才能保证在接地装置流过大的接地短路电流时不会构成人身安全事故，因而在接地设计时应认真计算校核这两个参数，在工程完工后还要进行试验验证。但是在工程实际中发现，有的设计人员只是按下式进行计算：

$$U_j=\frac{174+0.17\rho_f}{\sqrt{t}}；\ U_k=\frac{174+0.7\rho_f}{\sqrt{t}} \qquad (2)$$

式中：U_j 为接触电位差；U_k 为跨步电位差；ρ_f 为地表土壤电阻率；t 为接地短路故障电流持续时间。

但式(2)只是目标值，即在接地装置流过接地短路电流时，设备接触电压和地面跨步电压的上限，而不是实际的电压值。实际的设备接触电压和跨步电压应先算出接地装置的电位：$U_g=IR$。式中：U_g 为接地装置的电位；I 为计算用入地短路电流；R 为接地装置的接地电阻。则地网最大跨步电压为：$U_{kmax}=K_{kmax}U_g$。式中：K_{kmax} 为最大跨步电位差系数，其值可根据文[1]的 B8 和 B10 式进行计算。同理地网最大接触电压为：$U_{jmax}=K_{jmax}U_g$。式中：K_{jmax} 为最大接触电位差系数，其值可根据文[1]的 B5 和 B9 式进行计算。

对于跨步电压、接触电压，在接地装置施工完毕后还要进行现场试验验证，看是否达到设计要求，否则需要采取相应的补救措施。

3 关于接地装置的形式

3.1 降低工频接地电阻的措施

文[1]对高土壤电阻率地区降低接地电阻的措施作了相当明确的规定，但在实际接地工程中却仍有一些不科学的作法，特别是一些电力部门不愿意与周围的农民发生关系，一味追求在发电厂、变电所围墙内采取降阻措施。如一味推行深井降阻法，也不管地下较深处有无土壤电阻率低的地质结构，结果投入了大量的资金却收不到好的降阻效果。如浙江某电业局在做 110 kV 变电所的接地时，打了 4 口 50 m 深的井式接地极，由于地下 30 m 以下为岩石土壤，电阻率远远高于表层土壤的电阻率，结果降阻效果非常有限。还有广东某单位在做一 110 kV 变电所接地降阻改造时，在变电所内打深井式接地极，在变电所外做外延接地，结果深井式接地极的效果全被外

维普资讯 http://www.cqvip.com

延地网所屏蔽。还有在输电线路杆塔接地上，一些部门也采用深井式接地极，虽能把工频接地电阻降下一些，但杆塔接地主要目的是防雷，应以有效降低冲击接地电阻为主。雷电流是高频电流，有很强的趋肤性，一般沿地表散流，深层土壤散流作用很差，所以深井式接地极对以防雷为主的杆塔效果不大。另外，在降阻剂的使用上也存在一些问题。一些施工单位为了追求暂时降阻效果，使用一些有问题的化学降阻剂，过一段时间后随着降阻剂的流失，接地电阻迅速反弹，还对接地体造成了很大的腐蚀。所以对降低接地装置接地电阻的措施，一定要根据具体的情况，具体分析，经认真的技术经济分析后，采用科学合理的方法进行降阻。

3.2 小型化变电所避雷针接地与主地网的关系

随着技术的发展，紧凑型、小型化设备的大量采用，变电所的占地越来越少，这对节约土地资源是件好事，但是随之带来的就是避雷针接地与变电所主地网的关系问题。文[3]规定，独立避雷针的接地装置与发电厂或变电所接地网间的地中距离应符合 $d \geqslant 0.3 R_c$。式中：d 为地中距离；R_c 为避雷针的冲击接地电阻。对小型化变电所，由于占地少，要把避雷针的接地与变电所地网保持上式的距离，一般都做不到。笔者建议，此时应把独立避雷针作构架避雷针看待，把独立避雷针的接地与变电所主地网可靠地连接在一起，并在避雷针处用垂直式水平接地体加强其集中接地，并要有地网电位均衡的措施，防止避雷针引雷时，造成危险的局部电位升高或反击。

3.3 接地网的布局和水平垂直接地体的使用

在实际接地工程中发现，以前设计施工的接地网，甚至很大的变电所地网还有采用长孔地网的，且地网均压网格很疏，均压带相距达 30 多米。这样的地网均压就存在问题，在大接地短路电流流过地网时，很容易造成地网局部地电位升高，对微机保护和综合自动化系统造成地电位干扰，或者使地面产生危险的跨步电压和设备接触电压，对人身安全构成威胁。因此对发电厂、变电所地网，以方孔地网为宜，且网格间距不宜过大[3]。因大型地网的屏蔽作用，在地网内垂直接地体的降阻效果很小，所以对大型地网，垂直接地体应主要用于地网四周和内部构架避雷针、避雷器等需加强集中接地的地方。

4 结语

对接地工程中相关参数的控制应以有利于电气设备的安全运行为目的，对相关参数的控制上宽严适度，对接地装置的型式、降低接地电阻的方法要根据现场实际做认真的技术经济分析，采用合理的型式和降阻措施，不能片面地追求某一方面的指标，要综合考虑问题，既要保证安全运行，又要节省工程投资，把接地工程做好。

参考文献：

[1] DL/T621-1997. 交流电气装置的接地[S].
[2] 李景禄. 实用电力接地技术 [M]. 北京：中国电力出版社，2002.
[3] DL/T620-1997. 交流电气装置的过电压保护和绝缘配合[S].

作者简介：李景禄(1955-)，男，河南确山人，副教授。

(上接第 263 页)

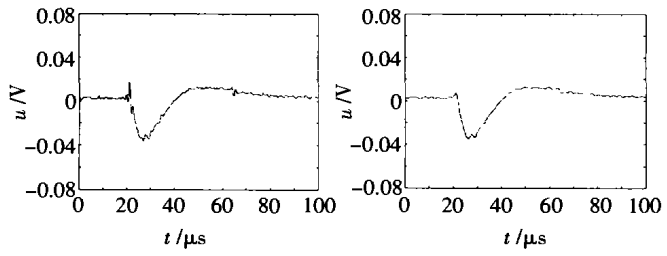

图 6 db8 小波单支重构信号

换法去干扰和消噪的优点，比较适合于笔者研究的附近雷击时建筑物金属构架上感应电流的测量分析。

4 结语

在附近雷击时建筑物金属构架上的感应电流测量中，由于干扰强烈，必须对 Rogowski 线圈采取有效的屏蔽措施，如外包锡箔，双屏蔽信号电缆等。针对构架远端支路上感应电流过小、信号湮没在干扰中的情况，采用了 3 种数字滤波方法进行分析比较，其中 FFT 阈值法和 FIR 等纹波滤波法具有简单、通用的特点，但都有其局限性，即必须事先知道被测信号的有效频段，才能设定阈值和通带。而小波变换法对未知信号具有多尺度分解，自动剥离干扰信号，体现实际信号的特点，无需预知被测信号的频带，因而比较适合于这种情况下的测量。

参考文献：

[1] 揭秉信. 大电流测量[M]. 北京：机械工业出版社，1987.
[2] 李海燕，余存仪，蒋国雄. 纳秒级罗可夫斯基线圈的研制[J]. 西安交通大学学报，1991(8)：41-46.
[3] 楼顺天，李博菡. 基于 MATLAB 的系统分析与设计——信号处理[M]. 西安：西安电子科技大学出版社，1998.
[4] 邹 鲲，袁俊泉，龚享铱. MATLAB 6.x 信号处理[M]. 北京：清华大学出版社，2003.
[5] 胡昌华，张军波，夏 军，等. 基于 MATLAB 的系统分析与设计——小波分析 [M]. 西安：西安电子科技大学出版社，1999.
[6] 罗仕乾. 雷电波的频谱及能量分布 [J]. 高电压技术，1995(1)：85-86.

作者简介：徐 霖(1974-)，男，博士研究生，主要从事高电压试验测量技术和电磁兼容方面的研究。