

一种确定土壤电阻率设计值的新方法

苏鹤声

(成都升洲科技有限公司, 四川 成都 610021)

摘要:在对变电站接地工程设计中存在的如何确定土壤电阻率设计值的问题进行分析的基础上,提出了一种新的确定土壤电阻率设计值的方法。应用这种方法,对实际变电站接地工程进行了相关的计算分析,表明了这种方法的实用性和有效性。

关键词:土壤电阻率;设计值;方法

Abstract: Based on analyzing how to confirm the design value of soil resistivity in the design of substation grounding project, a new method to confirm the design value of soil resistivity is put forward. The relative calculations and analyses are carried out in the actual substation grounding project by using this method, and it proves the practicability and validity of the method.

Key words: soil resistivity; design value; method

中图分类号: TM85 **文献标识码:** B **文章编号:** 1003-6954(2008)01-0043-03

随着电网的扩大,装机容量的不断增加,将新建更多的高压或超高压的变电站。为保护有限的土地资源,新建变电站的选址大都会利用土壤条件较差的山丘或坡地,其地下的土壤无论在横向或纵向,一般都由多层具有不同土壤电阻率和不同厚度的土壤层构成,且土壤电阻率较高。在这样复杂的地层结构上,如何正确地设计出变电站的接地网,其中需要解决的一个重要问题是,如何正确地确定出变电站土壤电阻率的设计值。针对这个问题,根据多年在实际工程中取得的经验,发表如下看法。

土壤电阻率,通常以这个平均土壤电阻率作为在设计计算时所使用的变电站土壤等值电阻率来确定为设计值。

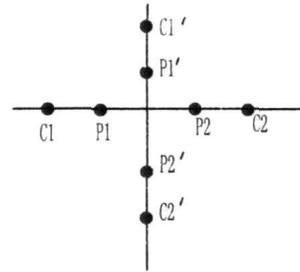


图1 基线测量布置图

1 当前存在的问题分析

在接地设计技术规范《水力发电厂接地设计技术导则》(以下简称《导则》)中对如何确定变电站土壤电阻率设计值的问题有以下规定:首先,用四极法测量出变电站所在区域的土壤电阻率。其测量方法是,在被测场地中心设置两条相互垂直的基线,将四个测量电极沿基线布置,如图1所示。改变极距 a 可测得视电阻率 ρ_s 与极距 a 的关系曲线 $\rho_s = f(a)$ 。

当被测场地较大时,应在被测场地上按网格设置测点,如图2所示。同样按上述方法测出各点的视电阻率关系曲线。

利用以上测量结果,作出各不同深度土壤层的土壤电阻率等值曲线或各剖面的土壤电阻率等值曲线,然后,再采用加权平均法求出整个接地网区域的平均

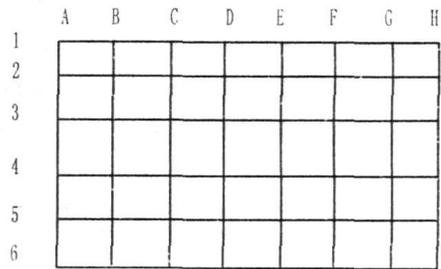


图2 场地电阻率测量的网形系统

按照《导则》规定的方法,需要进行大量的实地测量与计算分析工作,这不仅要花费大量的时间、人力和物力,而且,往往在实际工程条件下也难以做到。例如,当变电站位于崎岖不平的山丘或坡地时,不可能先对被测场地进行平整并划分为规则的网格后再作测量。同时,在《导则》中对测量时所改变的极距的

大小也无明确规定。因此,在设计收资阶段,相关工作人员往往很难按照《导则》规定的方法进行测量、计算并确定出变电站土壤电阻率的设计值。通常情况下,相关工作人员都是依据在变电站地质勘察报告中所表明的在被测场地范围内,选定一个或多个接近或超过接地网等值半径的深孔,以地勘得到的各地质层的土壤电阻率作为视电阻率,再进行加权平均后得出平均土壤电阻率作为设计值。或者,在现场按照图1用四极法取极距等于10 m和15 m时测量土壤的电阻率,然后再进行加权平均以得出变电站土壤电阻率的设计值。

在这里存在两个问题,一是按照《变电站岩土工程勘测技术规程》要求:在可行性研究、初步设计、施工图设计各阶段,当地层不是太复杂时,其钻孔勘测的控制性勘测点的孔深为20 m,一般性勘测点的孔深为8~15 m。而大地对接地导体的有效影响范围,在垂直方向的深度为 $h=2\sim 4r$,在水平方向的宽度为 $L=1\sim 3r$ 。式中, $r=\sqrt{(S/\pi)}$,为接地网的等值半径, S 为变电站接地网的面积。按照变电站接地网通常的使用面积计算,对于110 kV变电站, $S=2\ 000\text{ m}^2$, $r=25.2\text{ m}$;对于220 kV变电站, $S=6\ 000\text{ m}^2$, $r=43.7\text{ m}$ 。由于在变电站地质勘测时,其钻孔的孔深一般不超过20 m,显然,取低于接地网等值半径 r 的地勘测孔深度所对应的土壤电阻率值是不合适的。二是即使在地质勘察中,所钻的孔深超过了接地网等值半径,但当遇到地质情况复杂,各地质层的厚度相差较大,甚至在水平方向上的地质情况也有较大差异时,仅用有限的几个钻孔确定土壤的电阻率并据此确定出变电站土壤电阻率的设计值也不恰当。实际上,在变电站接地网竣工时对接地电阻进行测量得出的实测值与设计值相比,其结果相差较大是常有的事。

2 确定土壤电阻率设计值的新方法

怎样才能更加实用、方便和较为准确地确定出变电站土壤电阻率的设计值呢?在此提出如下一种新的方法。

2.1 采用新的测量方式和四极法测量被测场地的土壤视电阻率

(1) 以被测场地中心O为原点,过原点与变电站长边平行作一直线定为基线,如图3所示。通常情况下,最大极距 a 应取 $1.5\sim 3r$;当测量时如操作太困

难,也不能小于 r , r 为接地网的等值半径。

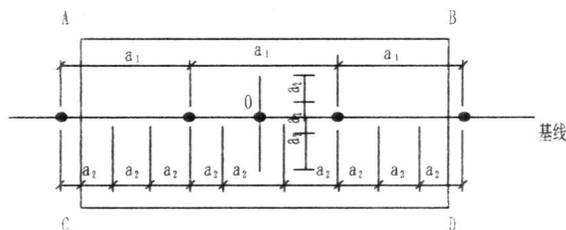


图3 新的土壤电阻率测试法图

沿基线方向分别取极距: $a_1=r=\sqrt{(S/\pi)}$, $a_2=(1/3)a_1$, $a_3=(1/2)a_2$,分别到与基线垂直的变电站的另外两个短边AC和BD附近,从而测出 $a=h$ 的不同深度土壤的视电阻率。再过原点O,沿与基线垂直方向按 a_2 、 a_3 的极距测量土壤的视电阻率。如所测结果与沿基线方向的极距 a_2 、 a_3 所测出的结果大致相同,则可认为在被测区域内其地质结构在水平方向上接近均匀分布。如测量结果相差较大,则在被测区域内其地质结构可能存在垂直分层,这时,应在过O点两边的基线上选点再作与基线垂直方向的等距测量,得到一组与基线垂直方向的土壤视电阻率的数据。

(2) 沿变电站的两个长边AB和CD方向,再取极距: $a_4=(1/3)AB$, $a_5=(1/3)CD$,分别测量变电站的两个长边及变电站的四个边角A、B、C、D附近区域对应深度土壤的视电阻率。

当变电站站址选在需挖填土方的坡地时,就以被测场地的等高线作为基线测量;设AB边位于坡地高侧,需要挖土方,CD边位于坡地低侧,需要填土方,则测AB边的土壤视电阻率时其极距取为: $a_4=1/3(AB+AB边对等高线的高差)$;而测CD边的土壤视电阻率时其极距取为: $a_5=1/3(CD-CD边对等高线的高差)$ 。

(3) 根据表层的土壤情况,取极距 $a_6=1\sim 3\text{ m}$,选测多点的土壤电阻率,得到一组表层土壤视电阻率的数据。

2.2 根据测量数据计算土壤等值电阻率

把测得的同一深度地层的土壤视电阻率数据进行分组,取加权平均值(如 a_1 与 a_4 、 a_5 的数值相近,则可取为同一深度),再换算成各地层的土壤电阻率。最后按公式: $\rho_d=(h_1+h_2+h_3\cdots)/(h_1/\rho_1+h_2/\rho_2+h_3/\rho_3+\cdots)$ 计算出被测场地的土壤等值电阻率。需

要指出的是,用四极法测出的视电阻率 ρ 是 $a=h$ 深度及至以上地面的土壤等值电阻率,与式中 ρ_1 、 ρ_2 为某地层的土壤电阻率是不相同的。

如发现地质情况出现垂直分层,需首先确定被测场地因土壤垂直分层造成的具有不同土壤电阻率 ρ_1 、 ρ_2 所对应的土地面积 S_1 、 S_2 , 再按公式: $\rho_d = (\rho_1 \rho_2 \sqrt{S} / (\rho_1 \sqrt{S_2} + \rho_2 \sqrt{S_1}))$, 计算出被测场地土壤的等值电阻率。这个土壤等值电阻率就是在设计计算时所使用的变电站土壤电阻率的设计值。

3 土壤等值电阻率与接地网等值半径的关系分析

确定变电站的土壤等值电阻率 ρ , 要取接地网等值半径 r 的几倍才比较符合工程实际呢? 在这里,以浙江的 220 kV 香山变电站与四川的 110 kV 联邦变电站为例来进行实际工程计算分析,其结果如表 1 所示。

表 1 中,浙江 220 kV 雁苍变电站和四川 110 kV 联邦变电站的 ρ_1 、 ρ_2 及分别对应的 H 值,都是根据该变电站的地质勘察报告,通过使用被测场地中的三个较深的勘探孔所取得的土壤电阻率数据经分析计算后得出的。其上层为土壤电阻率 ρ_1 , 下层为土壤电阻率 ρ_2 。可见,这两层土壤电阻率的数值相差较大。其中,浙江 220 kV 雁苍变电站是 $\rho_1 < \rho_2$, 而四川

110 kV 联邦变电站是 $\rho_1 > \rho_2$ 。这种上下两层不同的地质结构和土壤电阻率的不同分布,在确定土壤等值电阻率所要求的接地网等值半径 r 的取值时,将有较大的差别。

从表 1 得出:

① 在确定土壤的平均电阻率时,通常测量的地层深度 h 要取接地网等值半径 r 的 1.5 倍以上 ($h \geq 1.5r$), 其设计计算结果才能满足工程实际需要。② 当地层结构为 $\rho_1 > \rho_2$ 时, h 值应当取大一些,一般应取 $h \geq 1.5r$; 而当 $\rho_1 < \rho_2$, 且上层土壤较厚时, h 值可取小一些,可取 $h = 1 \sim 1.5r$; 如上层土壤较薄时,则应取 $h \geq 2r$ 。事实上,土壤电阻率 ρ_1 、 ρ_2 的差值大小,上下层土壤的不同厚薄,以及水平接地网的不同面积等都要在不同程度上影响到竣工时变电站接地网的接地电阻实测结果,因此,在设计收资和设计计算阶段应对这些不同的影响因素给予充分考虑。通常情况下,变电站会呈现出土壤电阻率 $\rho_1 < \rho_2$, 但上层土壤厚度却较薄的地质情况。这时,如要较正确地确定土壤的等值电阻率 ρ , 则以取 $h \geq 2r$ 为宜。下面,对一个土壤总厚度 $H=100$ m, 其上层土壤电阻率 $\rho_1=100 \Omega \cdot m$, 土壤厚度为 H_1 , 下层土壤电阻率 $\rho_2=1000 \Omega \cdot m$, 土壤厚度为 H_2 ($H_2=H-H_1$) 的变电站,分别取上、下两层土壤以具有不同的土壤厚度为条件,对该变电站的土壤等值电阻率 ρ 进行计算,结果如表 2 所示。

表 1 变电站不同地层深度土壤电阻率对接地电阻的影响

站名	对应不同地层深度 H 时的不同 ρ 值	对应不同 r 值时的设计接地地阻 R 值	接地网竣工时的实测接地电阻 R_S 值
浙江 220 kV 雁苍变电站	$\rho_1=137.52 \Omega \cdot m$ ($H \leq 22$ m)	$h=r$ 时 $R=1.55 \Omega$ $h=1.5r$ 时 $R=2.14 \Omega$	$R_S=1.8 \Omega$
	$\rho_2=2867 \Omega \cdot m$ ($H > 22$ m)	$h=2r$ 时 $R=2.66 \Omega$	
四川 110 kV 联邦变电站	$\rho_1=517.32 \Omega \cdot m$ ($H \leq 23$ m)	$h=r$ 时 $R=1.74 \Omega$ $h=1.5r$ 时 $R=1.45 \Omega$	$R_S=1.3 \Omega$
	$\rho_2=99.1 \Omega \cdot m$ ($H > 23$ m)	$h=2r$ 时 $R=1.26 \Omega$	

表 2 土壤平均电阻率

名称	不同土壤厚度的土壤电阻率							
	H_1 (m)	2	5	10	20	30	40	80
H_2 (m)	98	95	90	80	70	60	20	
$\rho(\Omega \cdot m)$	847.46	689.66	526.32	357.14	270.27	217.19	121.95	

(下转第 90 页)

3.2.3 排烟温度

排烟温度是锅炉运行中可控的一个综合性指标,它主要决定于锅炉燃烧状况以及各段受热面的换热状况,保持各段受热面的清洁和换热效果,是防止排烟温度异常、保证锅炉经济运行的根本措施。排烟温度升高 5°C ,影响锅炉效率降低 0.2% (百分点)左右,影响煤耗升高 $0.6\text{ g/kW}\cdot\text{h}$ 。具体的措施是:保证人孔门和保温层的严密性,减少漏风;合理控制氧量,流化床的标准是 3.5% ;定期进行吹灰。

3.2.4 灰渣含碳量

灰渣含碳量表示从尾部烟道排出的飞灰或者是从冷渣器中排出的干渣中含有的未燃尽碳的量占飞灰量或者是渣量的百分比,主要与燃煤特性、煤粒大小、炉膛温度、物料循环程度等有关。在运行过程中,煤粒的大小是影响灰渣含碳量的主要原因。针对所燃用的煤种,合理调节分离器的分离效率,尽可能保证循环燃烧,提高燃尽程度。运行中的具体措施是:合理一、二次风配比,在保证流化前提下,尽量减少一次风增加二次风;在流化良好,排渣正常的情况下,可适当提高炉床差压;加强煤炭破碎设备的维护;提高

旋风分离器的分离效率;适当提高床温,控制在 900°C 左右。在河南某循环流化床锅炉,其灰渣的可燃物小于 2% 。

4 结束语

值得注意的是,在电站建设安装中,管道保温质量的好坏也是影响热效率的重要因素,而这个指标通常不被重视,而且在竣工后要进行整改是非常困难的,这要求安装单位必须要有长远的质量意识,所有高温管道、容器等设备上都应有良好的保温,减少不必要的热能损耗。当环境温度在 25°C 时,保温层的表面温度一般不超过 50°C 。

当然在电厂的节能降耗工作中,搞好生产管理是关键,努力提高设备健康运行水平,对机组能否稳定、安全、经济运行及节能降耗都起着决定性的因素。要充分体现流化床锅炉的安全性和经济性,这里仅仅是重点说明了最基本的要求,难免会有所疏漏,权当是抛砖引玉,共同提高电厂节能降耗的水平。

(收稿日期:2007-10-29)

(上接第45页) 可见,上、下两层不同的土壤厚度对确定土壤的等值电阻率有着重要的影响。

4 结语

这种确定变电站土壤电阻率的方法,是一种更为方便、实用和准确的方法,但仍然存在一定的不足。衷心希望在这一领域工作的同行们给予帮助和指导。相信通过大家的共同努力,一定会使这方面的工作得到进一步的创新和发展。

最后需要指出的是:变电站接地网敷设的质量,不仅直接影响着变电站竣工时对接地电阻实测的结果,而且,更关系到变电站接地网长期运行的质量和电气设备的运行安全与电气工作人员的人身安全,因此应当高度重视。特别是,在高土壤电阻率地层上敷设水平接地网时,其接地导体的周围应用土壤电阻率 $\rho < 100\ \Omega\cdot\text{m}$ 的细土裹埋回填,并层层喷水夯实,不得夹杂石块及建筑垃圾,更不容许有腐蚀性的工业废渣,使接地导体通过细土与四周的原土紧密融合在一起,进而降低接地电阻,减小冲击电阻。当遇到原土低于接地导体敷设区域的低洼地面时,在低洼地面上

应尽量使用具有较低土壤电阻率的开挖土壤回填,一定要清除掉较大的石块或建筑垃圾,不能在回填区域存在由石块和建筑垃圾堆积造成的高土壤电阻率“黑洞”区。对于具有较好土壤条件的变电站,在敷设水平接地网前,应尽量在敷设水平接地网的土层下 1 m 左右的区域,全部使用低土壤电阻率的泥土回填并夯实,以保证水平接地网具有更优的接地散流和均压效果。

参考文献

- [1] DL/T 5091-1999. 水力发电厂接地设计技术导则[S].
- [2] DL/T 5170-2002. 变电所岩土工程勘测技术规程[S].
- [3] GB/T 17949.1-2000. 接地系统的土壤电阻率、接地阻抗和地面电位测量导则 第1部分:常规测量[S].
- [4] 陈先禄, 刘渝根, 等. 接地[M]. 重庆大学出版社, 2002.
- [5] 何金良, 曾嵘. 电力系统接地技术[M]. 科学技术出版社, 2007.
- [6] 李景禄. 接地装置的运行与改造[M]. 中国水利水电出版社, 2005.
- [7] 程志平. 电法勘探教程[M]. 冶金工业出版社, 2007.

(收稿日期:2007-11-19)