

电力工程勘察中土壤电阻率的影响因素分析

胡荣泽*, 朱金军, 吕西辉

(中国电建集团青海省电力设计院有限公司, 青海 西宁 810008)

摘要:土壤电阻率是变电站等电力设施接地的主要应用参数之一,使用对称四极电测深法,以多个工程实例为基础,得到野外实测土壤电阻率,再使用控制变量法分析了同一地层在不同密实度、含水量、温度以及不同土质和不同填充物等状态下对土壤电阻率的影响,得到这几种因素对土壤电阻率的影响规律,密实度、含水量、温度在一定范围内的增大会使土壤电阻率变小,且不同土质及填充物也会对其产生影响,混合土电阻率更偏向主层数值。通过本次研究可以提高土壤电阻率的准确性和可分析性,更好地为电力工程提供可靠土壤电阻率值,保护电力系统的正常工作。

关键词:土壤电阻率;对称四极电测深法;影响因素;工程勘察

中图分类号:P64 **文献标识码:**B **文章编号:**1004-5716(2024)11-0062-04

电力工程中接地工作是一项极其重要的内容,其能很好地保护电力设施不受到损害,是变电站等电力系统安全运行的基本保证,电气设备接地分为工作接地、保护接地与建筑物的防雷使用接地。土壤电阻率是防雷设计接地电阻的一个重要参数^[1],在野外测量时其会受到诸多因素的影响,且土壤电阻率的测量对使用的装置也有相应的要求,一般可选择直流电或电磁波法装置^[2]。就目前来说,土壤电阻率的测试方法众多,但测量浅部地层土壤电阻率以对称四极电测深法为主,该测试方法野外工作简单,测试数据与实际数值吻合度较高,解译结果全面,应用效果良好。

1 土壤电阻率测试工作方法及原理

本文采用对称四极电测深法,通过将直流电送入地下建立稳定的人工电场,在测点处利用改变电极距离、即改变探测深度的办法来找出不同深度时地层视在电阻率的变化关系(图1),绘成实测曲线与已知理论曲线比较,分析得出各地层电阻率的大小和地层深度^[3]。

确定地层电特性的方法,就是研究确定介质表面距电源某点的电位或电场强度,根据理论推导在两层

介质对称四极装置中,电测深视在电阻率 ρ_s 的函数表达式为:

$$\rho_s/\rho_1=f[AB/(2h_1),\rho_2/\rho_1]$$

式中: ρ_1 、 ρ_2 ——表层和下伏层电阻率, $\Omega\cdot m$;

h_1 ——表层岩层深度,m;

AB ——供电电极极距,m。

所以理论曲线是以 $AB/2h_1$ 和 ρ_2/ρ_1 为参变量来绘制的。

实测视电阻率 ρ_s 的计算值,可从均匀导电的半空间表面某点的电位求得:

$$\rho_s=(\Delta U/I)K$$

式中 K 为装置系数,与供电和测量电极间距有关,实测时 ΔU 及 I 可由仪器读出,由此可算得不同极距时的视在电阻率。

该方法测量装置采用四极形式,使用三种不同极距。 $AMNB$ 布置在一条直线上,测量电极 MN 布置在 AB 中间,测量时 MN 不动对称地增大 AB 或 AB 和 MN 按一定比值同时增大,每移动一次 AB 和 MN 测得一次 ρ_s 值。

在对测得的测深曲线完成定性分析后再进行电阻率值的反演解译,得出真实土壤电阻率值供工程参考^[3]。

2 影响因素分析

通过控制变量法,同一地层在不同密实度、含水量、温度、相同地层不同填充物的情况下,保证其中一种因素变化其他因素不变,从而分析观察该因素对土

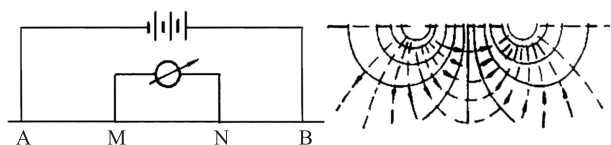


图1 对称四极电测深法工作原理示意图

* 收稿日期:2023-04-10 修回日期:2023-04-11

第一作者简介:胡荣泽(1998-),男(汉族),青海民和人,助理工程师,现从事电力工程勘察工作。

壤电阻率的影响。

(1)土壤密实度对土壤电阻率的影响。以某750kV和330kV变电站场地为例,在保持粉土及粉细砂层在含水量、温度不变的情况下,通过夯实地层,并结合标贯试验击数确定密实度,进而分析其土壤电阻率的变化,如表1所示。

表1 不同密实度下的土壤电阻率值表

地层	密实度	土壤电阻率 $\rho(\Omega\cdot m)$			
		测点1	测点2	测点3	测点4
粉土	稍密	169	133	117	264
	中密	112	89	53	117
	密实	59	67	49	81
粉细砂	稍密	822	696	835	406
	中密	559	534	703	309
	密实	422	434	653	248

根据实测数据显示,当把研究地层的密实度逐渐由稍密增大至密实时,土壤电阻率值也相应变小,其中地层中密和密实时土壤电阻率变化不大,并逐渐稳定。因此表明土壤密实度对土壤电阻率会产生一定的影响,土壤密实度越小,电阻率越大,反之越小,最终趋于稳定,如图2、图3所示。因此在接地的时候可以将

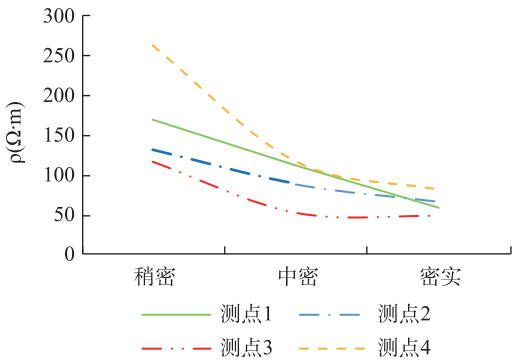


图2 不同密实度下粉土电阻率变化曲线

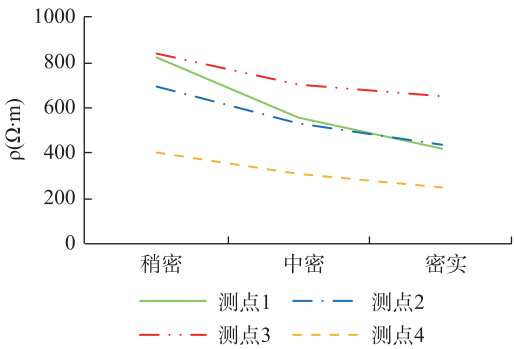


图3 不同密实度下电阻率变化曲线

接地周围土层夯实,以达到减小土壤电阻率改善接地条件的效果。

(2)含水量对土壤电阻率的影响。以某330kV输电线路工程为例,相同地层在密实度、温度统一相同的情况下,通过含水量的不同分析细砂层及粉土层的土壤电阻率的变化,如表2所示。

表2 不同密实度下的土壤电阻率值表

地层	密实度	含水量 ω	土壤电阻率 $\rho(\Omega\cdot m)$			
			测点1	测点2	测点3	测点4
细砂	中密	稍湿	574	1009	694	601
		饱和	173	162	135	147
		稍湿	122	97	166	56
粉土	中密	湿	24	28	31	26
		饱和	14	19	17	14
		饱和	14	19	17	14

由实测数据可以看出,当地层含水量变大时,土壤电阻率值减小,且地层在湿和饱和时土壤电阻率变化不大并逐渐稳定。由此可知土壤电阻率跟含水量成反比的关系,比例系数无规律,但总体上,在一定范围内,含水量越大,土壤导电性越好,电阻率越小,如图4、图5所示。反之越大,最终趋于稳定,如图5所示。除此之外,土壤中的导电离子越多,电阻率越小^[4],因此在野外电阻率测量的时候可以在电极处倒适量盐水增强导电

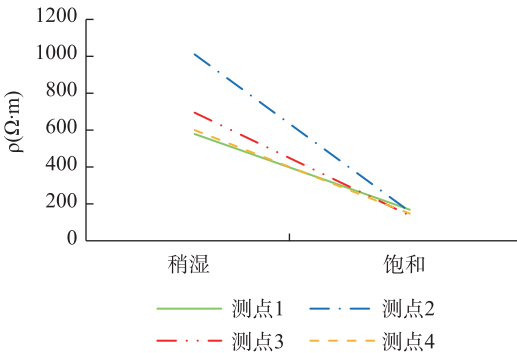


图4 不同湿度下细砂电阻率变化曲线

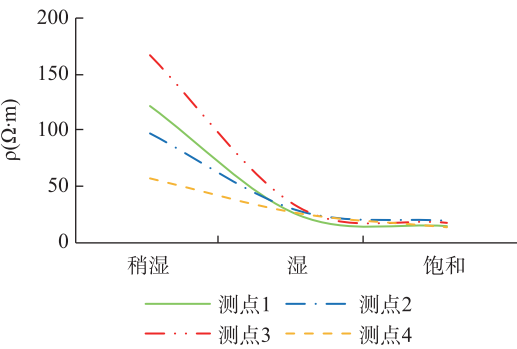


图5 不同湿度下粉土电阻率变化曲线

性,并且接地地层阻值较高时可以采用增加含水量的方法进行降阻。

(3)温度对土壤电阻率的影响。温度对土壤电阻率的影响,以不同季节下的高原冻土区最明显,结合某330kV输电线路工程个别塔基及110kV 升压站工程为例,在2月份和8月份分别对工程相同测点进行比对测量,得出冻前(>0℃)及冻后(<0℃)的粉土层及圆砾层的土壤电阻率值,如表3所示。

表3 不同温度下的土壤电阻率值表

地层	温度(℃)	土壤电阻率 $\rho(\Omega\cdot\text{m})$			
		测点1	测点2	测点3	测点4
粉土	<0	1731	2544	443	665
	0~1	102	66	94	107
	>1	99	64	115	102
圆砾	<0	1154	960	901	813
	0~1	700	865	493	691
	>1	795	832	488	621

根据数据显示,土壤在冻结前后的土壤电阻率会有很大的区别,土壤电阻率随着温度的上升而下降^[5],温度大于0℃时,土壤电阻率变化不大^[6],同等情况下温度对粉土的影响比对碎石土的影响大得多,如图6、图7所示。由于冻结状态会很大程度地减少土壤中导电粒子的数量,因此,对于冻前土壤来说,在其温度不影响其他条件(比如含水量)的情况下,温度对土壤影响较小。所以在接地的时候可以将接地接入冻土区外或防冻措施,以达到减小土壤电阻率从而改善接地条件的效果。

(4)不同土质及填充物对土壤电阻率的影响。结合某330kV 线路工程及110kV 升压站工程为例,研究不同土质及同一土质下不同填充物对土壤电阻率的影响,如表4所示。

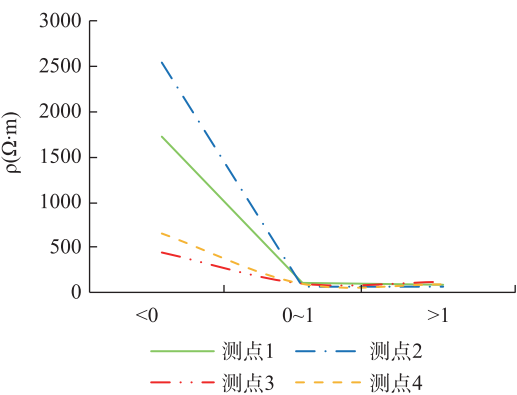


图6 不同温度下粉土电阻率变化曲线

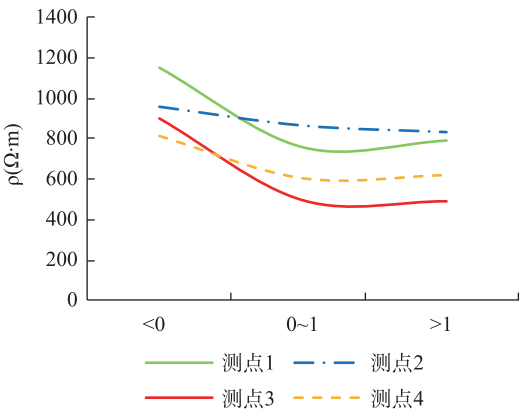


图7 不同温度下圆砾电阻率变化曲线

表4 不同土质及同一土质不同填充物的土壤电阻率值表

地层	土壤电阻率 $\rho(\Omega\cdot\text{m})$		
	无填充物	填充物类型	
粉土	102	角砾	碎石
		299	251
粉质粘土(可塑)	66	角砾	碎石
		189	217
角砾	567	粉土	粉质粘土
		372	414
碎石	701	粉土	粉质粘土
		335	328

根据实测数据显示,不同土质的土壤电阻率不同,并且相同土层在不同填充物情况下的土壤电阻率值也各不相同,由于导电性的不同,电场在地层中以阻值较小地层进行探测,且均衡其中阻值较大土壤,因此阻值较小地层中填充阻值较大的土壤,土壤电阻率相对变大,反之亦然。

(5)减小土壤电阻率的方法。

土壤换填:使用低阻土壤将高阻地层进行换填,且换填土壤需与原地层紧密接触,换填材质应避免腐蚀性。

深埋接地极:接地区域深度如果存在低阻地层,可选择深埋。

外引接地:通过金属引线将接地体埋设在附近土壤电阻率较低的地点。

化学处理:可以在土壤中加入食盐或其他专业降阻化学剂,降低土壤电阻率。

地层湿润:可使用保土等方法使接地区域长期湿润。

冻土处理:通过在接地区域土壤中加入泥炭等防

止其冻结使阻值变大。

3 结论

(1)土壤密实度对土壤电阻率会产生一定的影响,土壤密实度越小,电阻率越大,反之越小,最终趋于稳定。

(2)土壤电阻率跟含水量成反比的关系,比例系数无规律,但总体上,在一定范围内,含水量越大,土壤导电性越好,电阻率越小,反之越大,最终趋于稳定。除此之外,土壤中的导电离子越多,电阻率越小,因此在野外电阻率测量时可以在电极处倒适量盐水增强导电性。

(3)冻前冻后对土壤电阻率会产生很大的影响,同等情况下温度对粉土的影响比对碎石土的影响大,但对于冻前土壤来说,在其温度不影响其他条件(比如含水量)的情况下,温度对土壤电阻率影响较小。

(4)不同土质有不同的土壤电阻率值,并且相同土

质中不同填充物也会影响其电阻率值。

参考文献:

[1] 李志江,等.防雷设计中土壤电阻率及其测量[J].辽宁气象,2001(4):36-38.

[2] 王雅君,通瑞生,薛维俊.对称四极电测深法在测量场地浅部地层土壤电阻率中的应用[J].内蒙古电力技术,2020,38(3):62-66.

[3] 张秉来,等.四极电测深法在电力工程勘察中的应用[J].西部探矿工程,2012(12),92-93.

[4] 娄国伟.土壤电阻率的影响因素及测量方法研究[J].黑龙江气象,2011,28(4):37-38.

[5] 曹晓斌,等.温度对土壤电阻率影响的研究[J].电工技术学报,2007(9).

[6] 潘林娜,等.冻土电阻率与其温度的关系研究[J].大连民族大学学报,2016,18(5):501-504.

(上接第61页)

[2] Busch K W, et al. Studies of a Water Treatment Device That Uses Magnetic Fields[J].Corrosion,1986(42):211-221.

[3] Ronald Gehr, Zipi A Z, James A F, et al. Reduction of Soluble Mineral Concentrations in CaSO4 Saturated Water Using a Magnetic Field[J].Wat Res.,1995,29(3):933-940.

[4] 罗漫,陆柱.磁化水的研究现状及发展[J].水处理技术,1999,25(6):339-343.

[5] 郑德明,姜益娟,柳维扬,等.膜下滴灌磁化水对棉田土壤的脱抑盐效果研究[J].土壤通报,2008(3):494-497.

[6] 卜东升,奉文贵,蔡利华,等.磁化水膜下滴灌对新疆棉田土壤脱盐效果的影响[J].农业工程学报,2010(S2):163-166.

[7] 蒋裕平.磁化水除尘的研究[J].科学技术与工程,2004,4(6):494-498.

[8] 秦敬爱.浅论磁化水混凝土技术的开发和应用[J].铁道技术,2009(9):118-121.

[9] 许国风,舒福昌,周双君,等.磁化水处理技术的研究现状及防垢机理[J].内蒙古石油化工,2008(9):5-9.

[10] 王贵和,李洵.磁化水—膨润土浆液流变特性的实验研究[J].现代地质,1996(4):562-565.