

# 河北沧州接地网土壤腐蚀性因素研究\*

章钢娅<sup>1</sup> 刘顺民<sup>1,2</sup> 陈春鹰<sup>3</sup> 谢 达<sup>3</sup> 孙慧珍<sup>1</sup>

(1 中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)

(2 中国科学院研究生院, 北京 100039)

(3 沧州电业局, 河北沧州 061001)

**摘 要** 接地网土壤防腐研究对保证电网安全运行具有重要意义。以沧州 21 个变电站接地网土壤为研究对象, 通过现场及实验室测试土壤腐蚀性因素指标, 运用主成分分析方法进行了统计分析。主成分分析研究结果表明, 沧州接地网土壤中关键腐蚀性因素为氯化物、全盐含量和电阻率。根据土壤中的盐分与氯离子含量指标, 接地网土壤主要分为滨海中度-重度盐化土壤、轻盐化潮土和潮土三种类型。以关键腐蚀性因素和土壤类型为评价指标, 沧州地区接地网土壤腐蚀性划分为强腐蚀性、较强腐蚀性和中等腐蚀三个等级。近海的港城等 4 个变电站处于强腐蚀性土壤中, 李刘堡等 9 个变电站土壤的腐蚀性较强, 韩村等 8 个变电站的土壤属于中等腐蚀。

**关键词** 接地网; 土壤因素; 腐蚀; 主成分分析

中图分类号 S153.2 文献标识码 A

金属接地网是变电站和电厂等场所中确保工作接地、防雷接地、保护接地的必要设施<sup>[1]</sup>。随着变电站容量的不断扩大, 对接地网安全运行的要求越来越严格, 对接地体热稳定性的要求也越高。由于接地装置长期处于地下环境中, 土壤的化学与电学腐蚀不可避免, 同时还要承受地网散流与杂散电流的腐蚀。若接地网遭受严重腐蚀, 运行中满足不了热稳定要求, 容易发生短路造成地网烧断、地电位升高、高压窜入二次回路等事故<sup>[2]</sup>。因此, 确保接地网免受土壤腐蚀是保证电网稳定安全运行的必要措施。美国曾经发生的由于电网腐蚀造成大面积停电事故, 已引起世界各国政府和电力企业对电网防腐保护的高度重视。

目前接地网大多采用扁钢、角钢等金属材料, 而金属材料在土壤中的腐蚀状况与土壤性质有明显的关系<sup>[3]</sup>。研究表明<sup>[4-6]</sup>, 影响接地网在土壤中腐蚀的因素很多, 有土壤类型、含水量、pH、各种阴阳离子、总盐量、总空隙度、空气容量、氧化还原电位、电阻率、有机质含量和微生物细菌活动等构成原电池腐蚀, 以及地下的交、直流杂散电流等造成的电解电池腐蚀。这些影响因素既相互联系又共同作用, 加

速了埋地钢质接地网的腐蚀。涉及接地网的土壤腐蚀因素众多, 关系错综复杂, 且各种因素的影响大小也不相同, 有必要运用主成分分析法选取土壤腐蚀性关键因素, 进行针对性的防腐研究。

主成分分析是将一些具有错综复杂关系的因子通过降维技术归结为少数几个主成分的多元统计方法, 主成分提取原则为特征值大于 1, 累计方差为 75% 以上<sup>[7]</sup>。这种方法在简化分析指标体系, 突出反映事物主要矛盾等方面具有重要的作用。在土壤腐蚀性研究及土壤环境评价等领域中, 李双林等<sup>[8]</sup>利用因子分析法进行土壤腐蚀性研究, 翁永基等<sup>[9]</sup>则采用主分量分析法预测了长输管道沿线土壤腐蚀等级, 还有学者应用主因子得分进行相应的分类评价<sup>[10-12]</sup>。众多资料表明, 在涉及土壤腐蚀性研究及土壤环境评价中, 主成分分析是一种广泛使用且行之有效的方法。

地网属隐蔽工程, 埋于地下后不易检查、修复, 从设计的角度来说应该加大对地网土壤腐蚀的研究, 以便有利于系统的安全运行。而沧州在之前变电所的设计研究中, 很少或根本就没有考虑接地网的腐蚀状况问题。因此, 进行该地区接地网腐蚀的

\* 国家自然科学基金重大项目(50499333)资助

作者简介: 章钢娅(1955~), 女, 博士, 研究员, 主要从事土壤化学、环境化学研究 E-mail: gyzhang@issas.ac.cn

收稿日期: 2006-08-30; 收到修改稿日期: 2006-11-12

土壤因素研究,对接地网的防腐维护和改造、保证电力生产的安全经济运行具有重要意义。

本文以沧州电业局所辖 21 个变电所接地网的土壤样品为研究对象,通过现场及实验室测定其土壤腐蚀性指标,运用主成分分析方法来确定影响接地网钢材腐蚀的主要土壤因素,并根据分析结果,对各个变电所的土壤类型进行分类,划分出各个采样点的土壤腐蚀等级,从而为沧州地区接地网的防腐设计提供一定的参考基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 采样点选择

共选取了 21 个变电站作为采样点,依次为:1. 港城,2. 中捷化工,3. 南排河,4. 李刘堡,5. 周青庄,6. 吕桥,7. 海兴,8. 韩村,9. 坑西,10. 黄骅,11. 于庄,12. 桑园,13. 章西,14. 河间,15. 交河,16. 东郊,17. 陈屯,18. 季屯,19. 赵店,20. 景和,21. 献县。

1~10 号点代表了沧州东部及沿海地区,11 号及 16~18 号点处于沧州近郊,其余各采样点均分布在沧州的西部及南部。从采样点的分布位置得知,所选各点能比较全面地代表沧州地区的土壤情况。

### 1.2 采样时间

分别在春季和秋季进行采样,采取了地网埋深 80 cm 处的土样,共采集土壤样品 42 个。秋季除采集地网埋深处土壤样品计 21 个外,还进行了土壤性质的现场测定。

### 1.3 样品测定项目及测定方法

土壤现场测定如下项目:土壤电阻率、电位梯度、氧化还原电位、容重、总孔隙度、含气率等<sup>[13]</sup>。

现场采集的样品运回实验室后,土样按标准方法<sup>[14]</sup>测定以下的规定项目:Cl<sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>、Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、K<sup>+</sup>、Na<sup>+</sup>、全盐、含水量、pH、有机质以及浸出液电导率等。

## 2 结果与讨论

### 2.1 土壤腐蚀性关键因素选取

以变电所接地网土壤在秋季的相关因素测试指标为研究对象,利用主成分分析确定土壤中关键的腐蚀性因素。相关性分析表明,土壤腐蚀性因素之间具有较强的相关性(表 1);且 Bartlett 球度检验相伴概率 0.000,小于显著性水平 0.005,因此本研究

中的土壤腐蚀性因素适合于作因子分析。

以土壤中的腐蚀性因素为变量进行方差极大正交旋转后提取了 4 个最重要的主成分因子 F1、F2、F3 和 F4,主成分因子的特征值、方差贡献率和累计贡献率见表 2,主成分因子的组成及在各变量上的载荷分布见表 3。

F1、F2、F3 和 F4 四个因子的累计方差贡献率达到了 83.4%。也就是说通过主成分分析计算,沧州地区土壤中因素对接地网腐蚀的影响,可由这四个主成分反映 83.4%,即对前四个因子的信息分析已经能够反映土壤因素腐蚀性的大部分信息。

其中,F1 因子的方差贡献占总方差贡献的 40.9%,远高于其他因子,因而该因子对土壤中关键的腐蚀性因素组成具有决定性的意义。该因子主要包括 Cl<sup>-</sup>、电导率、Na<sup>+</sup>、全盐、K<sup>+</sup> 和电阻率等因素,因子在变量 Cl<sup>-</sup>、电导率、Na<sup>+</sup>、全盐、K<sup>+</sup> 的浓度上有较高的正载荷,在电阻率上表现出较高的负载荷,且这几个因素之间高度相关(表 1)。

研究表明,土壤中 Cl<sup>-</sup> 浓度增加,能明显加速钢的腐蚀作用<sup>[15]</sup>;Cl<sup>-</sup> 存在时,能促进 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 对钢铁的点腐蚀,而且浓度越大,腐蚀程度越重。一般而言,含盐量越大,土壤的电导率就越大,其腐蚀性也越强<sup>[16]</sup>。土壤含盐量一方面对土壤腐蚀介质导电过程起作用,另一方面参与钢铁的电化学反应,主要表现在阴离子的促进作用上,如 Cl<sup>-</sup> 破坏金属表面的钝化膜,促进阳极过程,SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 促进钢的腐蚀等。在中性、碱性土壤中,土壤含盐量过大导致土壤电解质的浓度很大,影响氧的溶解和扩散而引起金属腐蚀速度的增大<sup>[17]</sup>。土壤电阻率是表征土壤导电性的指标,在防腐工程中,它是判断土壤腐蚀性的基本参数。在一定条件下,土壤电阻率越低,腐蚀性越强<sup>[5]</sup>。由于土壤的电导率与土壤溶液中的可溶性离子浓度成正比,因而这几个变量的组合形式主要为氯化物、全盐含量和电阻率,即为沧州地区接地网土壤中关键腐蚀性因素组成。

F2 因子主要包括土壤的总空隙度、含气率和容重等,该因子表现为土壤通风状况的影响;F3 因子表现为碳酸根和碳酸氢根的影响;F4 表现为土壤水分及土壤酸碱度的影响。

主成分分析表明,沧州地区接地网土壤中主要的腐蚀性因素为氯化物、全盐含量和电阻率。这一结果与前人的研究<sup>[18]</sup>较一致,即在北方苏打盐土和滨海盐土中,金属的腐蚀程度主要与土壤的电阻率、含盐量有关。

表 1 土壤因素间的 Pearson 相关系数  
Table 1 Pearson correlation coefficient between soil factors

项目 Item	含水量 Water content	有机质 O. M.	pH (H <sub>2</sub> O)	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	全盐 Total salt	容重 Bulk density	总孔隙度 Total porosity	含气率 Gas content	Eh <sub>h</sub>	电阻率 Resistivity	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	电导率 Electric conductivity		
含水量 Water content	1																			
有机质 O. M.	0.433 *	1																		
pH	-0.519 *		1																	
Cl <sup>-</sup>				1																
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>					1															
全盐 Total salt				0.944 **	0.575 **	1														
容重 Bulk density							1													
总孔隙度 Total porosity					0.443 *			1												
含气率 Gas content									1											
Eh <sub>h</sub>										1										
电阻率 Resistivity											1									
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>												1								
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>													1							
K <sup>+</sup>														1						
Na <sup>+</sup>															1					
Ca <sup>2+</sup>																1				
Mg <sup>2+</sup>																	1			
电导率 Electric conductivity																		1		

注: \* 和 \*\* 分别表示显著性水平为 0.05 和 0.01 时显著相关 Note: \* and \*\* denote significant correlation at 0.05 and 0.01 levels, respectively

表 2 主成分分析结果

Table 2 Results of principal component analysis

主成分 Principal component	特征值 Eigenvalue	方差贡献率 Variance contribution rate (%)	累计方差贡献率 Cumulative variance contribution rate (%)
F1	6.949	40.9	40.9
F2	4.454	26.2	67.1
F3	1.529	9.0	76.1
F4	1.234	7.3	83.4

表 3 主成分因子在土壤因素上的载荷分布

Table 3 Load distribution of principal components on soil factors

项目 Item	F1 Principal component 1	F2 Principal component 2	F3 Principal component 3	F4 Principal component 4
Cl <sup>-</sup>	0.930			
电导率 Electric conductivity	0.929			
Na <sup>+</sup>	0.922			
全盐 Total salt	0.906			
K <sup>+</sup>	0.880			
E <sub>b7</sub>				
总孔隙度 Total porosity		0.929		
容重 Bulk density		-0.917		
含气率 Gas content		0.806		
Ca <sup>2+</sup>				
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>				
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>			0.886	
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>			0.718	
电阻率 Resistivity	-0.793			
含水量 Water content				0.805
pH				-0.719
Mg <sup>2+</sup>				

## 2.2 土壤类型划分

土壤腐蚀接地网的性能强弱不仅与土壤电阻率、土壤盐分含量特别是腐蚀性极强的氯离子含量、土壤通气状况即含水量、含气率有关,而且也取决于土壤类型等。

沧州地处华北平原东部,东濒大海,地形平坦,坡降很小,境内河流众多,有相当多的湖淀洼地。地面主要为第三纪渤海凹陷上沉积的各类河流冲积物所覆盖,由于该地区的河流数千年来经常改道,各类地面沉积物的分布及沉积层次非常复杂,这对土壤的形成及土层中盐分的运行均有着重要的影响。作为成土母质的各类沉积物在其土壤形成过程中均不

同程度地受到地面水与地下水的影响,因此这一地区发育的土壤从大的类型上讲均属于潮土,但由于这一地区土壤中往往含有一定量的盐分,当盐分含量超过 0.1% 时,普通潮土就演化成盐化潮土,在含盐量特别高的沿海地区,甚至还会出现盐土。在沧州地区东部,除了河流沉积物外,还有浅海沉积物分布,特别是海兴、黄骅县城以东沿海地区,基本上都是海相沉积物,其沉积母质中盐分含量高,且氯离子占有很大比例。

同时,该地区气候受东南季风影响,干湿季节明显,降水量偏少,蒸发量很大,加上沉积物中盐分没有得到充分淋洗,因此相当一部分地区地下水矿化

度很高。在干旱季节,高矿化度的地下水随蒸发而向上运动,并在土层中积聚,从而导致土壤盐化;雨季时盐分虽能向下淋洗,但由于地形平坦,排水不畅,增加了洗盐的困难;干湿季节的明显变化引起土壤盐分的季节性动态变化,往往春季积盐,夏季脱盐,秋季回升,冬季则较为稳定。所有这些都导致了

该地区分布有相当面积的盐化土壤,且一年之中积盐时间长达5~6个月,脱盐时间仅为3个月左右,这对金属地网的腐蚀有很大的促进作用。

为了更好地进行比较,表4列出了各变电站的盐分与氯离子含量指标,并根据这些数据,参照有关的分类标准,将各变电站的土壤进行了大致的分类。

表4 各变电站土壤主要性质与土壤类型

Table 4 Soil properties and soil types of soils at the transformer substations

变电站 Transform substati on	春季 Cl <sup>-</sup> Cl <sup>-</sup> in spring (%)	秋季 Cl <sup>-</sup> Cl <sup>-</sup> in autumn (%)	春季全盐 Total salt in spring (%)	秋季全盐 Total salt in autumn (%)	土壤类型 Soil type
港城 Gangcheng	0.293	0.159	0.653	0.397	滨海中度 重度 盐化土壤 <sup>①</sup>
中捷化工 Zhongjie chemical plant	0.118	0.021	0.248	0.124	滨海中度 重度 盐化土壤 <sup>①</sup>
南排河 Nanpaibe	0.046	0.088	0.228	0.246	滨海中度 重度 盐化土壤 <sup>①</sup>
吕桥 Luqiao	0.056	0.027	0.209	0.170	滨海中度 重度 盐化土壤 <sup>①</sup>
李刘堡 Liliubao	0.020	0.001	0.114	0.047	轻盐化潮土 <sup>②</sup>
周青庄 Zhouqing village	0.038	0.037	0.155	0.177	轻盐化潮土 <sup>②</sup>
海兴 Haixin	0.031	0.002	0.136	0.042	轻盐化潮土 <sup>②</sup>
坑西 Kengxi	0.013	0.009	0.079	0.108	轻盐化潮土 <sup>②</sup>
黄骅 Huanghua	0.034	0.002	0.106	0.073	轻盐化潮土 <sup>②</sup>
桑园 Sangyuan	0.007	0.008	0.124	0.113	轻盐化潮土 <sup>②</sup>
东郊 Dongjiao	0.006	0.012	0.065	0.117	轻盐化潮土 <sup>②</sup>
陈屯 Chentun	0.068	0.019	0.312	0.108	轻盐化潮土 <sup>②</sup>
季屯 Jitun	0.035	0.022	0.156	0.192	轻盐化潮土 <sup>②</sup>
韩村 Hancun	0.003	0.002	0.083	0.084	潮土 <sup>③</sup>
于庄 Yuzhuang	0.004	0.001	0.070	0.056	潮土 <sup>③</sup>
章西 Zhangxi	0.001	0.016	0.037	0.123	潮土 <sup>③</sup>
河间 Hejian	0.003	0.001	0.051	0.048	潮土 <sup>③</sup>
交河 Jiaohe	0.004	0.002	0.077	0.076	潮土 <sup>③</sup>
赵店 Zhaodian	0.008	0.001	0.078	0.030	潮土 <sup>③</sup>
景和 Jinghe	0.004	0.001	0.045	0.037	潮土 <sup>③</sup>
献县 Xianxian	0.006	0.005	0.057	0.094	潮土 <sup>③</sup>

①Coastal moderate/ severely salinized soil; ②Slightly salinized Fluvo aquic soil; ③Fluvo aquic soil

### 2.3 各变电站土壤的自然腐蚀性划分

由于土壤腐蚀性评价目前还没有国家标准,一般防腐设计实际使用中都是参照原石油部、邮电部等行业标准及国外(主要是德国)的标准来进行评价。本文主要根据原石油部五级评价制来分等级,即将我国土壤的腐蚀性分成特强腐蚀、强腐蚀、较强腐蚀、中等腐蚀及弱腐蚀五个等级。结合沧州地区

地网腐蚀的实际情况,以主成分分析得到的土壤中主要腐蚀性因素氯离子含量、盐分含量、电阻率高低以及土壤类型作为主要指标来划分土壤腐蚀性等级。沧州地区21个变电站所处土壤的自然腐蚀性分级结果见表5。从表5的评价可以看出,9个变电站土壤的腐蚀性较强,8个变电站的土壤属于中等腐蚀,只有近海的4个变电站处于强腐蚀性土壤中。

表 5 各变电站土壤腐蚀性分类  
Table 5 Classification of corrosiveness of the soils in transformer substations

腐蚀等级 Corrosion grade	土壤类型 Soil type	全盐 Total salt (%)	Cl <sup>-</sup> (%)	电阻率 Resistivity ( $\Omega \cdot m$ )	变电站 Transform substation
强腐蚀 Very strong corrosive soil	滨海中度 重度盐化土壤 Coastal moderat severely salinized soil	0.2~ 0.6	> 0.05	< 5	港城、中捷 化工、南排 河、吕桥
较强腐蚀 Strong corrosive soil	轻盐化潮土 Slightly salinized Fluvor aquic soil	0.1~ 0.2	0.01~ 0.05	5~ 20	李刘堡、周青庄、海兴、 坑西、黄骅、桑园、东郊、 陈屯、季屯
中等腐蚀 Moderate corrosive soil	潮土 Fluvor aquic soil	< 0.1	< 0.01	20~ 40	韩村、于庄、章西、河间、 交河、赵店、景和、献县

### 3 结 论

沧州地区土壤中影响变电站接地网腐蚀的主要因素为氯化物、全盐和电阻率等; 以各变电站土壤的盐分与氯离子含量为指标, 接地网土壤大体分为滨海中度-重度盐化土壤、轻盐化潮土和潮土三种类型; 21 个变电站中, 近海的港城等 4 个变电站处于强腐蚀性土壤中, 李刘堡等 9 个变电站土壤的腐蚀性较强, 韩村等 8 个变电站的土壤属于中等腐蚀。

### 参 考 文 献

- [ 1 ] 杨道武, 李景禄. 发电厂变电所接地装置腐蚀及防腐措施. 电瓷避雷器, 2004(2): 43~ 45. Yang D W, Li J L. Analysis on corrosion and anti corrosion measures of substation grounding device (In Chinese). Insulators and Surge Arresters, 2004(2): 43~ 45
- [ 2 ] 杨道武, 朱志平. 电化学与电力设备的腐蚀与防护. 北京: 中国电力出版社, 2004. Yang D W, Zhu Z P. Corrosion and Protection of Electrochemistry and Electric Power (In Chinese). Beijing: China Electric Power Press, 2004
- [ 3 ] 孙慧珍, 朱荫涓, 许晓峰. 土壤 pH 和 Eh 对金属材料腐蚀的影响. 土壤学报, 1997, 34(1): 107~ 112. Sun H Z, Zhu Y M, Xu X F. Effect of soil pH and Eh on corrosion of metal materials (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 1997, 34(1): 107~ 112
- [ 4 ] 李素芳, 陈宗璋, 彭敏放, 等. 接地网的腐蚀分析与防腐技术. 内蒙古电力技术, 2003, 21(2): 9~ 12. Li S F, Chen Z Z, Peng M F, et al. Corrosion analysis and anti corrosion technology to earthing network system (In Chinese). Inner Mongolia Electric Power, 2003, 21(2): 9~ 12
- [ 5 ] 冯世功, 朱未. 石油微生物学. 北京: 石油工业出版社, 1991. Feng S G, Zhu M. Petroleum Microbiology (In Chinese). Beijing: Petroleum Industry Press, 1991
- [ 6 ] 邵建人, 乐晏廷. 交流系统接地网的腐蚀与防护研究. 电力设备, 2006, 7(4): 70~ 72. Shao J R, Le Y T. Study on corrosion and

protection of AC system grounding net (In Chinese). Electrical Equipment, 2006, 7(4): 70~ 72

- [ 7 ] 余建英, 何旭宏. 数据统计分析与 SPSS 应用. 北京: 人民邮电出版社, 2003. 291~ 310. Yu J Y, He X H. Statistical Analysis and Application of SPSS (In Chinese). Beijing: Posts and Telecommunications Press, 2003. 291~ 310
- [ 8 ] 李双林, 杨志勇, 曲良山, 等. 因子分析法在土壤腐蚀性研究中的应用. 腐蚀科学与防护技术, 1995, 7(3): 263~ 265. Li S L, Yang Z Y, Qu L S, et al. Application of principal component analysis on soil causticity (In Chinese). Corrosion Science and Protection Technology, 1995, 7(3): 263~ 265
- [ 9 ] 翁永基, 李相怡. 主分量分析-长输管道沿线土壤腐蚀等级的预测. 石油学报, 1993, 14(1): 117~ 123. Weng Y J, Li X Y. Application of principal component analysis for forecasting soil corrosion grade in pipelines (In Chinese). Acta Petroli Sinica, 1993, 14(1): 117~ 123
- [ 10 ] 王学仁. 地质数据的多变量统计分析. 北京: 科学出版社, 1982. Wang X R. Multivariate Statistics Analysis of Geologic Data (In Chinese). Beijing: Science Press, 1982
- [ 11 ] 刘多森. 土壤和环境研究中的数学方法与建模. 北京: 农业出版社, 1987. Liu D S. Mathematics Methods and Modeling in Research of Soil and Environment (In Chinese). Beijing: Agriculture Press, 1987
- [ 12 ] 张超. 计量地理学. 上海: 华东出版社, 1984. Zhang C. Measurement Geography (In Chinese). Shanghai: East China Press, 1984
- [ 13 ] 大庆油田有限责任公司油田建设设计研究院编. 埋地钢质管道及储罐防腐设计规范 SJY-87. 北京: 石油工业出版社, 1987. Research Institute of Oil Field Construction and Design, Daqing Oil Field Co. Ltd. Design Criterion of Anti corrosion for Buried Pipelines and Tanks SJY 87 (In Chinese). Beijing: Petroleum Industry Press, 1987
- [ 14 ] 鲁如坤主编. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 2000. Lu R K, ed. Analytical Methods of Soil and Agronomy (In Chinese). Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2000
- [ 15 ] 银耀德, 高英, 张淑泉, 等. 土壤中阴离子对 20# 钢腐蚀的研

- 究. 腐蚀科学与防护技术, 1990, 2(2): 22~ 24. Yin Y D, Gao Y, Zhang S Q, *et al.* Corrosion of anions in soil to 20# steel (In Chinese). Corrosion Science and Protection Technology, 1990, 2(2): 22~ 24
- [16] 吴向东. 500 kV 输电线接地网腐蚀分析及防护措施. 腐蚀与防护, 2002, 23(12): 545~ 547. Wu X D. Corrosion analysis and countermeasures for grounding net of 500 kV transmission lines (In Chinese). Corrosion and Protection, 2002, 23(12): 545~ 547
- [17] 金名惠, 黄辉桃. 金属材料在土壤中的腐蚀速度与土壤电阻率. 华中科技大学学报, 2001, 29(5): 103~ 106. Jin M H, Huang H T. Relationship between corrosion rate of metal and resistivity in soil (In Chinese). Journal of Huazhong University of Science and Technology, 2001, 29(5): 103~ 106
- [18] 孙慧珍, 张道明, 吴 . 地下金属管道在我国几类土壤中的腐蚀状况及其与土壤性质的关系. 土壤学报, 1992, 29(3): 265~ 271. Sun H Z, Zhang D M, Wu J. Relationship of soil characters with corrosion status of underground steel pipes in soils of China (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 1992, 29(3): 265~ 271

## SOIL FACTORS AFFECTING CORROSION OF GROUNDING GRIDS IN CANGZHOU, HEBEI PROVINCE

Zhang Gangya<sup>1</sup> Liu Shumin<sup>1,2</sup> Chen Chunying<sup>3</sup> Xie Da<sup>3</sup> Sun Huizhen<sup>1</sup>

(1 Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

(2 Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

(3 Cangzhou Electrical Industries Bureau, Cangzhou, Hebei 061001, China)

**Abstract** The study on protection of grounding grids from corrosion in soil is of great significance to safe operation of power networks. Soil samples were collected from the grounding grid sites of 21 transformer substations in Cangzhou region as research objects. Corrosive factors in the soil samples were determined and measured on the spots and in the lab, and the data were analyzed using the principal component analysis method for statistics. Results show that chloride, total salinity and electrical resistivity were the key corrosive factors in grounding-grid soils. Based on the indexes of chloride content and total salinity in the soil, the soil samples were sorted into three groups: coastal moderate/severely salinized soil, slightly salinized fluvo-aquic soil and fluvo-aquic soil. When key corrosive factors and soil types were cited as evaluation indexes, corrosiveness of the soil samples was divided into three grades, that is, very strong, strong and moderate. The Gangcheng Transformer Station and 3 others in the coastal region stand in soils, very strong in corrosiveness, the Liliubao station and 9 others in soils, strong in corrosiveness, and the Hancun station and 8 others in soils, moderate in corrosiveness.

**Key words** Grounding grid; Soil factors; Corrosion; Principal component analysis