

天津市变电站土壤腐蚀性分析

张万友, 隋兴东

(东北电力大学化学工程学院, 吉林 吉林 132012)

摘要: 为研究天津市变电站土壤腐蚀性问题, 对天津市 35 个变电站土壤样品进行理化性质分析, 依据单项指标法与 Baeckman 法对天津市 35 个变电站土壤腐蚀性能评价, 结果表明 4 号、5 号、11 号变电站土壤腐蚀等级为弱腐蚀; 7 号、13 号、14 号、15 号、17 号、18 号、23 号、27 号、29 号、31 号、34 号、35 号变电站土壤腐蚀等级为强腐蚀; 其余变电站土壤腐蚀等级为中等腐蚀, 并绘制天津市变电站土壤腐蚀等级分布图。该结果可为其他地区变电站土壤腐蚀等级判别提供技术参考。

关键词: 天津市; 变电站; 土壤腐蚀; 腐蚀等级

中图分类号: TG172.4

文献标识码: A

接地网是保证变电站及电力系统可靠运行, 同时保证工作人员与电力设备能够安全工作的重要关键装置, 不仅要有均压和泄流的作用, 还要在服役工作期间内具有承受接地电流的热稳定性与在复杂土壤环境中耐蚀性的特点^[1~4]。接地网严重腐蚀是目前天津市接地网最为突出的问题, 由于接地网长期处于复杂土壤环境之中, 不可避免发生腐蚀破坏, 腐蚀时间一般在投运后 5 年~20 年, 严重的投运后 3 年即腐蚀。所以变电站接地网土壤腐蚀性评价是变电站接地网防腐蚀设计与接地选材重要参考之一^[5]。本研究通过对天津市变电站土壤样品理化性质指标进行测定, 对天津市土壤腐蚀性能进行分析并划分腐蚀等级。

1 实验部分

1.1 采样点选择

选取比例 1:20, 参考各区变电站分布密度。共选定 35 个变电站中作为采样点, 依次为: 静湖站(变电站 1), 大康庄站(变电站 2), 武清站(变电站 3), 东马圈站(变电站 4), 华夏园站(变电站 5), 向阳站(变电站 6), 下仓站(变电站 7), 渔阳站(变电站 8), 马申桥站(变电站 9), 罗庄子站(变电站 10), 金碧站(变电站 11), 东施古站(变电站 12), 五里铺站(变电站 13), 周良庄站(变电站 14), 莱芽庄站(变电站 15), 双王寺站(变电站 16), 北郊站(变电站 17), 国联站(变电站 18), 迎丰站(变电站 19), 团泊站(变电站 20), 梁头站(变电站 21), 惠丰站(变电站 22), 青静河站(变电站 23), 大学道站(变电站 24), 吴庄站(变电站 25), 屈店站(变电站 26), 卫国道站(变电站 27), 东丽站(变电站 28), 上刘庄站(变电站 29), 盛唐路站(变电站 30), 海门站(变电站 31), 孟港后站(变电站 32), 南环站(变电站 33), 芦台站(变电站 34), 板桥站(变电站 35)。

收稿日期: 2018-12-05

基金项目: 国家电网公司科技项目(KJ15-1-22); 国网天津公司科技项目(SGTYHT/14-JS-188)

第一作者: 张万友(1957-), 男, 硕士, 教授, 主要研究方向: 金属腐蚀与防护

通讯作者: 隋兴东(1991-), 男, 在读硕士研究生, 主要研究方向: 金属腐蚀与防护

电子邮箱: 164103664@qq.com(张万友), suixingdong@126.com(隋兴东)

1.2 土壤理化指标测定

现场进行土壤电阻率、土壤氧化还原电位的测定,记录采样点周围环境及坐标;实验室分析土壤理化性质,检测指标包括:含水量、含盐量、pH值、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、酸碱度、硫化物^[6]。

1.3 测定结果

采取35个样品都属于自然土壤,土质均匀且采取点中均无出现地下水情况。其中土壤样品硫化物含量测定结果为零。变电站2、变电站7、变电站9、变电站10、变电站13、变电站14、变电站15、变电站17、变电站18、变电站19、变电站20、变电站21、变电站22、变电站23、变电站24、变电站25、变电站26、变电站31、变电站33、变电站34、变电站35土壤土质为粘土;变电站5、变电站6、变电站8、变电站12、变电站16、变电站27、变电站28、变电站29、变电站30、变电站32土壤土质为含沙粘土;变电站1、变电站3、变电站4、变电站11土壤土质为沙土。土壤土质相对单一均未出现煤粉或焦碳等,只有部分土壤含有少量沙石。35个土壤样品理化指标测定结果,如表1所示。

表1 天津市35个变电站土壤样品理化指标

NO.	Eh mv	$\rho\Omega \cdot m$	pH	$\text{H}_2\text{O} \%$	$\text{Cl}^- \text{mg/kg}$	$\text{SO}_4^{2-} \text{mg/kg}$	含盐量%	总酸度 mg/kg	总碱度 mg/kg
1	321.98	9.27	6.63	9.00	1554	1806	0.5984	0.25	250
2	375.29	56.28	7.25	20.59	388	1057	0.3152	0.17	340
3	345.01	10.16	7.01	17.44	233	346	0.1744	0.00	160
4	344.48	32.02	6.85	14.70	233	154	0.1200	0.28	230
5	335.96	25.07	7.00	12.91	583	845	0.3680	0.00	310
6	342.48	16.27	7.04	9.99	369	423	0.2176	0.02	230
7	292.22	6.68	7.17	16.75	175	615	0.1632	0.14	180
8	344.48	21.11	7.37	16.93	175	542	0.1856	0.21	190
9	333.12	11.59	7.26	15.32	78	480	0.1376	0.17	60
10	309.15	29.96	7.31	8.49	78	580	0.1504	0.19	250
11	352.58	16.31	7.77	7.49	155	288	0.1136	0.27	210
12	352.58	6.845	7.35	15.22	194	250	0.0880	0.20	230
13	355.63	11.43	7.67	20.94	175	269	0.1792	0.26	180
14	367.61	1.55	8.10	13.19	252	922	0.2560	0.31	460
15	342.80	6.45	7.51	18.89	1666	2036	0.9200	0.23	390
16	368.35	3.08	7.85	9.07	175	384	0.2320	0.28	290
17	363.30	5.88	7.73	13.37	233	665	0.2384	0.27	330
18	324.08	6.77	7.70	15.11	175	679	0.1952	0.26	180
19	294.64	36.72	7.73	12.14	175	500	0.1328	0.27	230
20	316.40	18.97	7.80	13.48	136	442	0.2320	0.28	340
21	319.66	12.42	7.71	16.84	214	557	0.2176	0.27	230
22	322.19	4.11	7.90	24.23	388	877	0.2640	0.29	130
23	346.27	1.42	7.56	16.00	737	999	0.3952	0.24	180
24	318.09	9.16	7.60	16.81	451	480	0.2336	0.25	240
25	346.79	5.49	8.79	19.22	524	423	0.2912	0.36	370
26	363.30	13.43	9.04	14.77	291	391	0.1552	0.37	300
27	356.15	4.40	8.52	21.42	1243	1329	0.4752	0.34	120
28	359.73	8.50	8.33	19.36	1709	1768	0.6368	0.33	530
29	332.07	2.18	8.10	21.99	1165	1829	0.7456	0.31	260
30	335.33	3.30	8.91	17.04	3107	615	0.8880	0.37	170
31	336.38	6.70	9.40	18.20	668	580	0.2560	0.39	510
32	337.22	16.48	8.56	13.97	311	503	0.2880	0.35	260
33	342.59	11.03	8.33	18.80	1126	980	0.4272	0.33	170
34	329.23	15.31	8.20	23.54	117	538	0.2176	0.32	70
35	320.82	2.85	8.02	19.82	388	865	0.3088	0.30	280

2 土壤腐蚀等级评价分析

2.1 单项指标法评价

2.1.1 土壤电阻率

土壤电阻率是反映土壤导电能力综合指标,一般电阻率越小,土壤腐蚀性越强。国内油气行业等常根据土壤电阻率评价土壤腐蚀性等级,认为土壤电阻率大于 $50 \Omega \cdot m$ 时土壤腐蚀性为低腐蚀;土壤电

阻率介于 $20 \Omega \cdot \text{m} \sim 50 \Omega \cdot \text{m}$ 之间时,土壤腐蚀等级为中等腐蚀;土壤电阻率小于 $20 \Omega \cdot \text{m}$ 时,土壤腐蚀等级为强腐蚀等级.将 35 个变电站土壤按电阻率划分等级,如图 1 所示.

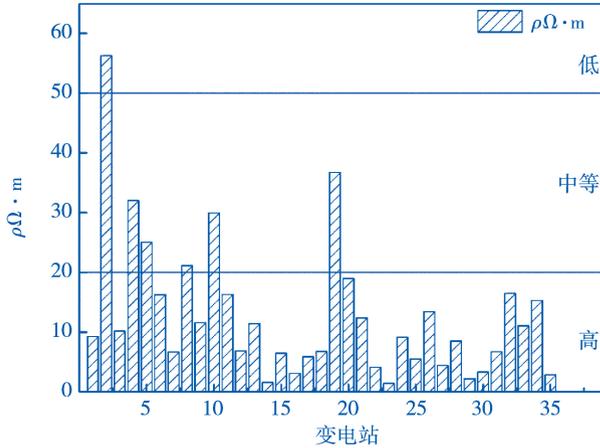


图1 天津市 35 个变电站土壤电阻率划分土壤腐蚀等级

由图 1 可知,35 个变电站中的土壤电阻率有 83% 的土壤为低电阻率土壤,其中 14 号、16 号、22 号、23 号、27 号、29 号、30 号、35 号变电站土壤电阻率均小于 $5 \Omega \cdot \text{m}$,属于极低电阻率.根据电阻率评价 35 个变电站土壤腐蚀等级,土壤电阻率大于 $50 \Omega \cdot \text{m}$ 以上只有 2 号变电站,其土壤腐蚀性为低腐蚀等级;土壤电阻率介于 $20 \Omega \cdot \text{m} \sim 50 \Omega \cdot \text{m}$ 之间变电站有 4 号、5 号、8 号、10 号、19 号,其土壤腐蚀性为中等腐蚀;其余为高等腐蚀性.

2.1.2 含水量

土壤中含水量对土壤腐蚀性影响较复杂,与土壤中的含氧量有着密切关系.含水量高到一定值时,会减小土壤中通气性进而减少土壤的含氧量,使土壤氧化性降低;含水量降低时,土壤通气性升高含氧量增大,而土壤中空气含量升高会导致土壤的氧化性和导电性降低.含水量小于 3%,土壤腐蚀性为极低;含水量在 3% ~ 7% 或者大于 40%,土壤腐蚀等级为低;含水量在 7% ~ 10% 或者 30% ~ 40% 之间,土壤腐蚀等级为中等;含水量在 10% ~ 12% 或者 25% ~ 30% 之间,土壤腐蚀等级为高;含水量在 12% ~ 25% 之间,土壤腐蚀等级为极高^[7].天津市 35 个变电站土壤腐蚀性与含水量关系,如图 2 所示.

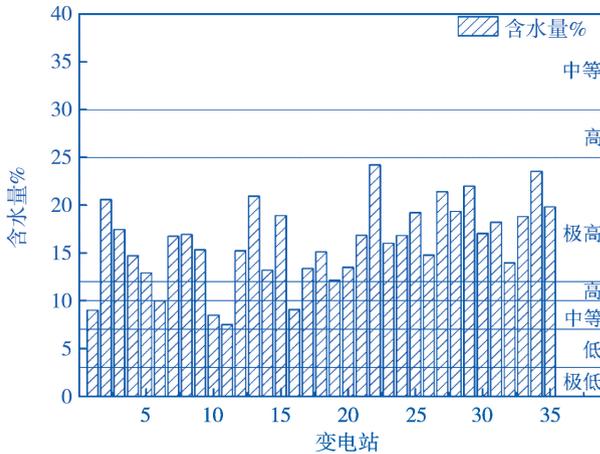


图2 天津市 35 个变电站土壤含水量划分土壤腐蚀等级

由图 2 可知,1 号、6 号、10 号、11 号、16 号变电站土壤含水量介于 7% ~ 10% 之间,故其土壤腐蚀性为中等腐蚀;其余变电站土壤含水量均在 12% ~ 25% 之间,故其土壤腐蚀性为极高腐蚀性,其中土壤含水量介于 20% ~ 25% 之间有 2 号、13 号、22 号、27 号、29 号、34 号变电站,含水量高很容易使土壤达到饱和水分的条件,饱和水分是土壤腐蚀性最强的充分条件.由图 2 可知天津市土壤含水量相对较高,分

析其主要原因天津市地下水位比较高,河渠分布广泛且周围养鱼业较多,故土壤水分相对较大.

2.1.3 pH 值

土壤 pH 值在酸性土壤中通过氢的去极化过程对土壤中金属电极电位有着直接的影响,金属在不同 pH 值土壤中产生的腐蚀产物不同,从而影响其阴极极化过程,因此 pH 值是确定金属材质在土壤中发生腐蚀成度的重要指标.当 pH 值大于 8.5 时,土壤腐蚀等级为极低;pH 值 7.0 ~ 8.5 之间,土壤腐蚀等级为低;pH 值 5.5 ~ 7 之间,土壤腐蚀等级为中等;pH 值 4.5 ~ 5.5 之间,土壤腐蚀等级为高;pH 值小于 4.5,土壤腐蚀等级为极高^[8].土壤腐蚀性 with pH 值关系,如图 3 所示.

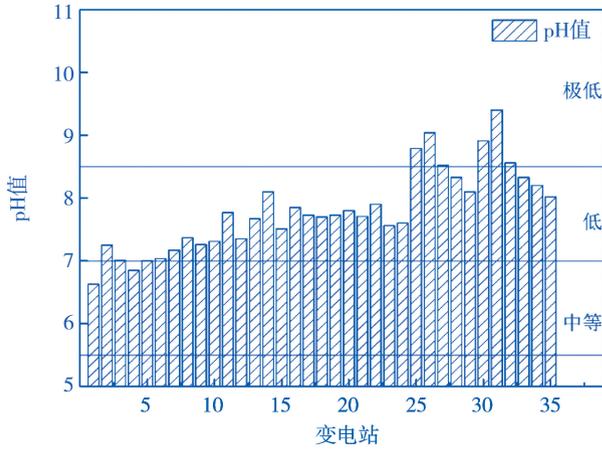


图 3 天津市 35 个变电站土壤 pH 值划分土壤腐蚀等级

由图 3 可知,天津市变电站土壤 pH 值均在 6 以上,属于弱碱性土壤,与天津市靠近渤海土壤类型为盐碱土相吻合;土壤 pH 值大于 8 的变电站占有 34%,其中 25 号、26 号、27 号、30 号、31 号、32 号变电站土壤 pH 值均在 8.5 以上且变电站均在滨海新区,该区土壤盐碱特性更加显著,故其土壤腐蚀性评价为极低;1 号、4 号变电站土壤 pH 值均小于 7,故其土壤腐蚀性为中等腐蚀;其余变电站土壤 pH 值介于 7 ~ 8.5 之间,土壤腐蚀性为低腐蚀.

2.1.4 含盐量

土壤中含盐种类较多,其含量增大时会使土壤导电能力加强,进而导致土壤电阻率减小、土壤腐蚀性增大;土壤中部分盐类会参与土壤中的电化学反应过程,进而影响金属材料在土壤中的电极电位,在金属腐蚀过程中起到加速作用.文献[9]总结当含盐量小于 0.05% 时,土壤腐蚀等级为低;含盐量 0.05% ~ 0.2% 之间,土壤腐蚀等级为中等;含盐量 0.2% ~ 0.5% 之间,土壤腐蚀等级为稍高;含盐量 0.5% ~ 1.2% 之间,土壤腐蚀等级为高;含盐量大于 1.2%,土壤腐蚀等级为极高.土壤腐蚀性 with 含盐量关系,如图 4 所示.

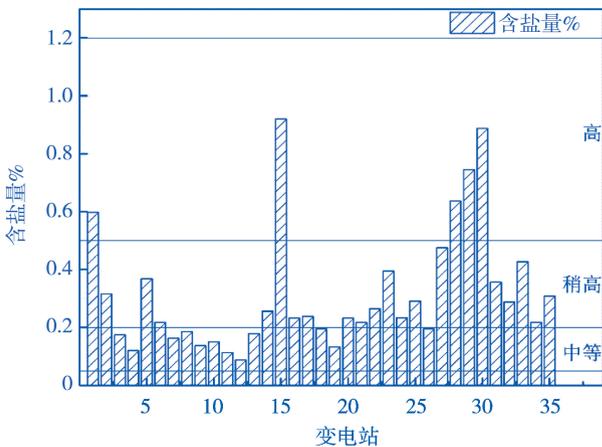


图 4 天津市 35 个变电站土壤含盐量划分土壤腐蚀等级

由图 4 可知,1 号、15 号、28 号、29 号、30 号变电站的土壤含盐量均在 0.5% 以上,故其土壤腐蚀性为高腐蚀性;3 号、4 号、7 号、8 号、9 号、10 号、11 号、12 号、13 号、14 号、18 号、19 号、26 号变电站的土壤含盐量介于 0.05% ~ 0.2% 之间,故其土壤腐蚀性为中等腐蚀;其余变电站土壤含盐量介于 0.2% ~ 0.5% 之间,土壤腐蚀性为稍高。

单项指标评价结果中电阻率与含水量指标对大部分变电站土壤腐蚀性评价为高、极高,而 pH 值指标对土壤腐蚀性评价多为低腐蚀性,含盐量指标对变电站土壤评价大部分为中等、稍高腐蚀性。对比分析可见,单项指标法在评价天津市土壤腐蚀性工作中虽然有部分指标评价结果相近,但多数评价结果之间存在差异,导致单项指标在天津市变电站土壤腐蚀等级评价工作中适用度变小。为更加全面准确的评价天津地区变电站土壤腐蚀性,本研究采用参考多项土壤理化性质的多项指标法即 Baeckman 评价标准对其评价分析。

2.2 Baeckman 法评价

Baeckman 评价方法通过实验测定土壤各项指标并进行界限分级打分,将各项分数求和对应其所在界限范围来确定土壤腐蚀等级^[10~11]。研究以 1 号变电站为例:土质为沙土,评分 2;土壤状况无地下水,评分 -1,自然土壤,评分 0;土壤电阻率 $9.28 \Omega \cdot m$,评分 -4;含水量 9%,评分 -1;pH 值为 6.63,评分为 -2;总酸度 0.25 mg/kg ,评分为 0;氧化还原电位 321.98 mv,评分为 0;总碱度 250 mg/kg ,评分为 1;硫化物含量 0,评分为 0;无煤粉或焦炭粒出现,评分为 0,氯离子含量 1554 mg/kg ,评分为 -1;硫酸盐含量 1806 mg/kg ,评分为 -3;总分为 -8,土壤腐蚀等级为中等,依此将天津市 35 个变电站土壤腐蚀等级评价分析。评价标准及对 35 个变电站土壤腐蚀性分析结果,如表 2 所示。

表 2 Baeckman 评价标准及结果

评价指数	> 0	0 ~ -4	-5 ~ -10	< -10
腐蚀等级	不腐蚀	弱	中等	强
变电站	—	4、5、11	其余	7、13、14、15、17、18、23、27、29、31、34、35

根据 Baeckman 法评价,变电站 4、变电站 5、变电站 11 土壤腐蚀性为弱腐蚀;变电站 7、变电站 13、变电站 14、变电站 15、变电站 17、变电站 18、变电站 23、变电站 27、变电站 29、变电站 31、变电站 34、变电站 35 土壤腐蚀性为强腐蚀;其余变电站土壤腐蚀性为中等腐蚀。虽然 Baeckman 法土壤腐蚀等级做出了综合性评价,但该法考虑的因素过多,在实际应用中数据收集难度较大,有的腐蚀因素测量不方便,此时需要考虑一定程度上能够反映土壤综合理化性质的单项土壤指标,对土壤腐蚀等级快速判定。

将单项指标与多项指标评价结果对比分析可见,含水量界限划分区域较多,而现实中土壤含水量变化范围较大,会对于这种细致划分对应关系造成较大影响,若以 7% ~ 25% 为强腐蚀等级分界时,其与 Baeckman 法的评价结果达到 91% 的相近程度;若含盐量以 0.05% ~ 1.2% 为中等腐蚀等级分界时,其与 Baeckman 法的评价结果达到 60% 的相近程度;若 pH 值以 5.5 ~ 8.5 为中等腐蚀等级分界时,其与 Baeckman 法的评价结果达到 54% 的相近程度;电阻率与 Baeckman 法的评价结果达到 43% 的相近程度。

2.3 天津市土壤腐蚀等级分布图

根据 Baeckman 法标准对天津市 35 个变电站土壤腐蚀性评价结果,绘制天津市变电站土壤腐蚀等级分布图,如图 5 所示。

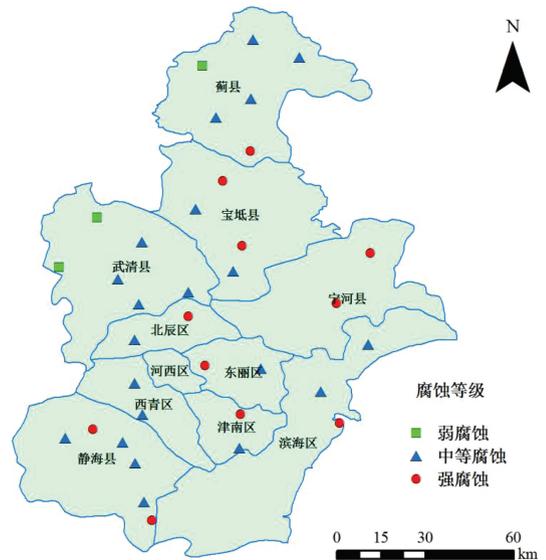


图 5 天津市 35 个变电站土壤腐蚀等级分布

由图1分析,天津市35个变电站的土壤腐蚀性大部分为中等腐蚀和强腐蚀。天津市西部地区包括武清县、静海县大部分地区、市中心北辰西部、西青地区变电站的土壤腐蚀性为弱腐蚀和中等腐蚀;而蓟县南部、宝坻县东部、宁河县、北辰西部、东丽与津南部分地区以及滨海部分地区变电站的土壤腐蚀性为强腐蚀。

3 结 论

(1)根据 Baeckman 法评价,变电站4、变电站5、变电站11土壤腐蚀性为弱腐蚀;变电站7、变电站13、变电站14、变电站15、变电站17、变电站18、变电站23、变电站27、变电站29、变电站31、变电站34、变电站35土壤腐蚀性为强腐蚀;其余变电站土壤腐蚀性为中等腐蚀。

(2)天津市土壤腐蚀性评价过程中,单项指标法的评价结果彼此之间存在较大的差异,当合并各单项指标限定分界后,含水量与 Baeckman 法的评价结果达到91%的相近程度;含盐量与 Baeckman 法的评价结果达到60%的相近程度;pH值与 Baeckman 法的评价结果达到54%的相近程度;电阻率与 Baeckman 法的评价结果达到43%的相近程度。

(3)根据 Baeckman 法对天津市变电站土壤进行评价结果,绘制天津市35个变电站土壤腐蚀等级分布图,结果显示天津市土壤腐蚀等级由东南向西北分布大体呈现由强到弱的趋势。

参 考 文 献

- [1] 张万友,郭博闻,高作学,等. 电力系统接地网的腐蚀现状及对策[J]. 材料保护,2014,47(11):56-58.
- [2] 魏巍,吴欣强,柯伟,等. 接地网材料腐蚀与防护研究进展[J]. 腐蚀科学与防护技术,2015,27(3):273-277.
- [3] 耿进锋,时洪飞. 变电站接地网腐蚀与防护技术进展[J]. 腐蚀与防护,2009,30(8):523-525.
- [4] 张兰河,张雪峰,张万友,等. 吉林市船营区土壤中变电站接地网的腐蚀性研究[J]. 腐蚀科学与防护技术,2013,25(2):127-132.
- [5] 郭安祥,闫爱军,姜丹,等. 变电站接地网土壤腐蚀性评价方法研究[J]. 陕西电力,2010,38(12):28-30.
- [6] 国家科学技术委员会. 材料土壤腐蚀试验方法[M]. 北京:科学技术出版社,1990.
- [7] 宋光铃,曹楚南,林海潮,等. 土壤腐蚀性评价方法综述[J]. 腐蚀科学与防护技术,1993,5(4):268-277.
- [8] 尹桂勤,张莉华,常守文,等. 土壤腐蚀研究方法概述[J]. 腐蚀科学与防护技术,2004,16(6):367-370.
- [9] 杨耀辉,徐忠苹,李凤,等. 冀东南堡油田土壤环境腐蚀性研究[J]. 全面腐蚀控制,2012,5(11):26-29.
- [10] 黄青松,吕瑞典,张健. 宝浪油田区域土壤腐蚀性分析[J]. 腐蚀与防护,2010,31(5):387-389.
- [11] 朱志平,马骁,荆玲玲,等. 变电站土壤腐蚀性评价及接地网金属腐蚀特性分析[J]. 电瓷避雷器,2009,4(5):18-22.

Analysis of Tianjin Substation Soil Corrosion

Zhan Wanyou, Sui Xingdong

(School of Chemical Engineering, Northeast Electric Power University, Jilin Jilin 132012)

Abstract: In order to study the problems of soil corrosion in Tianjin substations, the physicochemical properties of soil samples from 35 substations in Tianjin were analyzed, and the soil corrosion performance of 35 substations in Tianjin was evaluated according to the single index method and Baeckman method. The results showed that the soil corrosion grades of 4, 5 and 11th substations were weak corrosion; 7, 13, 14, 15, 17, 18, 23, 27, 29, 31, 34, 35th substation soil corrosion grades were strong corrosion; the remaining substation soil corrosion grade was moderate corrosion. The soil corrosion grade distribution map of Tianjin substation was plotted. The results can provide technical reference for the discrimination of soil corrosion grades in substations in other regions.

Key words: Tianjin; Substation; Soil corrosion; Corrosion grade