

# 变电站周围大气腐蚀环境检测分析

王 平 宋国升 孙心利 周慧波

(河北省电力公司电力科学研究院, 河北 石家庄 050021)

**摘 要:** 分析大气腐蚀的特点及污染物的来源后认为, 开展大气环境检测是进行变电站设备腐蚀原因分析的重要内容。通过对某变电站周围大气环境的检测和分析, 提出了导致变电站金属材料腐蚀的主要原因在于周围污水、化工厂、养鸡场等生产场所产生的 $H_2S$ 、 $NH_3$ 等气体成分过高所致, 同时提出了应加强环境检测、开展环境评价等预防和处理措施建议。

**关键词:** 变电站 腐蚀 大气环境

中图分类号: TG172.3

文献标识码: A

文章编号: 1008-7818(2013)03-0045-05

## Detection and Analysis of Atmospheric Corrosion Environment Around Substation

WANG Ping, SONG Guo-sheng, SUN Xin-li, ZHOU Hui-bo

(Hebei Electric Power Research Institute, Shijiazhuang 050021, China)

**Abstract:** This paper analyzed the characteristics of atmospheric corrosion and the sources of pollutants and it was concluded that atmospheric environment detection was an important part in substation equipment corrosion analysis. Through detection and analysis of atmospheric environment around substation, the substation metal material corrosion was mainly due to the high gas composition of  $H_2S$ ,  $NH_3$  generated by the production sites around substation, such as sewage, chemical plants, chicken farms. This paper also proposed the prevention and treatment measures, such as strengthening environmental detection, conducting environmental assessment, etc.

**Key words:** substation; corrosion; atmospheric environment

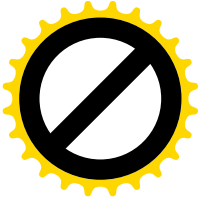
### 0 前言

随着工农业生产的快速发展, 环境的大气和水体污染越来越重, 电网建设点与面的扩大也使一些设备临近污染源的机会增大, 污染源释放的一些腐蚀性气体对金属材料造成腐蚀危害将会严重危及电网的安全运行。由于许多环境污染对金属的腐蚀是在大气环境中完成, 而电网的特殊技术要求对目前常用的金属防腐工艺无法使用, 因此, 一旦电网线路或变电站遭受环境问题引起的腐蚀, 其处理成本将十分昂贵。以某变电站为例, 由于污水导致的大气污染对变电站的金属材料造成大面积腐蚀, 特别

是对于开关的腐蚀, 由于导电性能的要求, 一般的防腐工艺无法实施, 经过多年的试验研究, 最终结论是只有在铜开关上镀金才能满足导电和防腐的双重要求, 同时为了达到良好的防腐工艺, 镀金层的厚度不能小于 $10\mu m$ , 按此工艺计算其成本是十分可观的。

目前, 由于大气环境问题导致的变电站金属材料腐蚀问题在国内相当一部分地区存在。虽然不同地区变电站设备腐蚀机理可能不同, 造成腐蚀的气体成分和来源也不定一样, 造成腐蚀危害的原因也不尽一样, 但这些腐蚀确确实实给电网的安全可靠

**作者简介:** 王平 (1974—), 男, 陕西凤翔人, 高级工程师, 主要从事电力系统腐蚀与防护研究及技术管理工作。



供电带来了威胁、隐患，甚至是事故。所以，开展大气环境对变电站设备腐蚀影响分析和大气环境监测评价，并有针对性的提出防护措施十分必要。

## 1 大气腐蚀的特点及污染物的来源

### 1.1 大气腐蚀的特点

材料及其制品在大气环境中因环境因素的作用而引起材料变质或破坏称为大气腐蚀。金属材料的大气腐蚀主要是指材料受大气中所含的水分、氧气和腐蚀性介质（包括雨水中的杂质、烟尘、表面沉积物等）的联合作用而引起的破坏。按腐蚀反应可分为化学腐蚀和电化学腐蚀两种。除在干燥无水分的大气环境中发生表面氧化、硫化造成失去光泽和变色等是属于化学腐蚀外，在大多数的情况下均属于电化学腐蚀。但它又不同于全浸在电解液中的电化学腐蚀，而是在电解液薄膜下的电化学腐蚀。空气中的氧是电化学腐蚀阴极过程中的去极化剂，金属材料表面水膜的厚度、干湿交变频率和氧的扩散速度等直接影响大气腐蚀过程的速率。大气腐蚀可分为干的大气腐蚀、湿的大气腐蚀和潮的大气腐蚀三类。

#### 1.1.1 干的大气腐蚀

干的大气腐蚀是指金属表面完全没有水分膜层的大气腐蚀。在干的大气腐蚀情况下，金属表面的破坏过程按照处于气相的反应剂（例如空气中的氧、硫化氢等）同被氧化的金属表面腐蚀纯粹化学作用的历程进行，在金属表面形成一层腐蚀反应产物的薄膜。这层膜在几秒钟内就能生成，在2~3小时后，膜就停止增厚。金属材料在相当干的大气中腐蚀速率是非常小的，所以，金属材料的大气腐蚀破坏主要并非由于干的大气腐蚀过程。

#### 1.1.2 湿的大气腐蚀

湿的大气腐蚀是指肉眼可见水膜时的大气腐蚀。在湿的大气腐蚀情况下，金属腐蚀过程在可见的水膜下，也就是在电解液膜下进行。腐蚀的历程与沉浸在电解液中的电化学腐蚀相同，而且还有局部微电池腐蚀。这种情况下的腐蚀速率高于干的大气中的腐蚀速率几个数量级。

### 1.1.3 潮的大气腐蚀

潮的大气腐蚀是指在相对湿度小于100%时肉眼看不见的薄水膜下进行的大气腐蚀。在潮的大气腐蚀情况下，由于氧更容易透过液膜到达金属和液膜的界面，腐蚀速率更快。所以，金属材料大气腐蚀的实质是薄液膜下的电化学腐蚀。液膜存在的时间长短及液膜的厚薄，以及液膜的化学成分等因素对金属腐蚀的影响至关重要。前者主要是由大气气象环境造成的，后者主要与大气污染成分有关。

### 1.2 大气腐蚀的影响因素

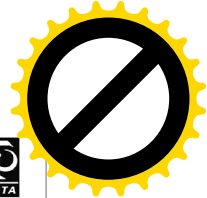
大气腐蚀的影响因素包括大气的相对湿度、金属表面湿度的滞留时间、日照时间、气温、风向风速、降水、降尘等。大气中的成分分固体和气体两部分，全球范围内的大气主要成分几乎是不变的，但在不同环境中含有不同的杂质，大气中的主要污染物组成见表1<sup>[1]</sup>。

表1 大气污染物的主要组成

气 体	固 体
含硫化合物: $\text{SO}_2$ 、 $\text{SO}_3$ 、 $\text{H}_2\text{S}$	灰尘
氯和含氯化物: $\text{Cl}_2$ 、 $\text{HCl}$	$\text{NaCl}$ 、 $\text{CaCO}_3$
含氮化合物: $\text{NO}$ 、 $\text{NO}_2$ 、 $\text{NH}_3$ 、 $\text{HNO}_3$	$\text{ZnO}$ 金属粉
含碳化合物: $\text{CO}$ 、 $\text{CO}_2$	氧化物粉煤灰
其它: 有机化合物	

在这些污染物中，硫化物在材料表面与水分作用，产生硫酸、亚硫酸等酸性物质，降低薄液膜的pH值，从而加速材料的腐蚀；氯化物在表面薄液膜中形成的氯离子对材料的钝化膜有很强的破坏作用；氮化物会形成硝酸、亚硝酸等腐蚀性很强的成分；甚至碳酸在材料的薄液膜中也会降低pH值而加速腐蚀过程。固体成分在材料表面覆盖，会增加表面吸附水分的能力，也会在与材料相接触的部位产生缝隙腐蚀，加速材料的腐蚀过程。

目前，大气腐蚀环境因素的研究主要就是对上述条件和物质进行分析研究。在这些因素中，日照时间、气温、风向风速、降水是自然条件，我们无法改变，所以，只能通过对变电站是否通过遮盖设计加以解决；固体物质来源于粉尘，金属表面湿度取决于周边环境，气体性污染物来源于人的生产和



生活活动。所以,做好大气污染物的监测是开展腐蚀污染物来源分析和腐蚀原因分析的基础。

## 2 变电站周围大气环境检测分析

通过对变电站设备腐蚀情况的调研,发现导致变电站金属腐蚀的原因十分复杂,但大部分是由于大气中腐蚀性介质含量过高所致,这些腐蚀气体的主要来源有:造纸、制革、养殖、垃圾渗液及城市和农村废水排放生化反应引起的污染,养殖场动物粪便生化反应引起的大气污染,水泥、钢铁冶炼企业配料、矿物筛选、装卸储运过程中引起的粉尘污染,塑料等加工企业生产过程中引起的污染,化工、化肥生产企业生产过程中废气泄漏引起的污染,以及汽车运输过程中扬起的粉尘和尾气排放带来的污染等等。本次监测主要选择了具有代表性的某220kV变电站周围环境进行了测定。该变电站的主要污染源有污水河、养鸡厂、垃圾站等。

### 2.1 污水河周边大气环境检测

#### 2.1.1 沿污水河周边大气环境检测

选取的城市周边的污水河的河水受到城市生活污水排放等污染,所有生活污水均排入河内,表面河水呈黑褐色,表面有大量气泡溢出,对污水河桥上直接溢出物浓度及附近浓度扩散情况进行了检测,检测主要情况如下:

监测条件:风向:无明显风向,风速:0.2m/s;  
相对湿度:68%;温度:27℃。

首先在污水河边对河水溢出气泡的污染物进行定性检测,同时对河水进行了温度测试,为21℃。主要污染物为甲烷(收集后可点燃)、 $\text{H}_2\text{S}$ 、 $\text{NH}_3$ ,收集后测试 $\text{H}_2\text{S}$ 、 $\text{NH}_3$ 浓度最大可达百万分之几十。在河岸进行测试时,因浓度扩散及吸收,污染物浓度降低。沿河岸进行沿岸测试,因不同排污口中污染物种类差别,以及河水厌氧条件不同,浓度存在一定差别, $\text{NH}_3$ 浓度在 $1\sim 8\times 10^{-6}$ 之间,大都在 $2\sim 4\times 10^{-6}$ 。 $\text{H}_2\text{S}$ 浓度在 $0.5\sim 4\times 10^{-6}$ 之间,大多在 $1\sim 3\times 10^{-6}$ 。沿污水河岸边典型污染物浓度检测结果见表2,分布情况见图1。

表2 沿污水河岸边典型污染物浓度检测结果

距离(m)	$\text{NH}_3(1\times 10^{-6})$	$\text{H}_2\text{S}(1\times 10^{-6})$	$\text{Cl}_2(1\times 10^{-6})$
-------	--------------------------------	---------------------------------------	--------------------------------

监测点1	50	1	0.5	<0.1
监测点2	100	2	2	<0.1
监测点3	150	3	2	<0.1
监测点4	200	2	1	<0.1
监测点5	250	3	3	<0.1
监测点6	300	2	3	<0.1
监测点7	350	2	1	<0.1
监测点8	400	4	3	<0.1
监测点9 (污水口)	500	8	4	<0.1
监测点10	600	3	2	<0.1
监测点11	700	2	1	<0.1
监测点12	800	2	2	<0.1
监测点13	900	3	2	<0.1
监测点14	1000	3	3	<0.1
监测点15	1500	2	1	<0.1
监测点16 (稻田)	2000	6	4	<0.1
监测点17	2500	3	3	<0.1
监测点18	3000	3	2	<0.1
监测点19	3500	4	3	<0.1
监测点20	4000	3	2	<0.1

(注:此次测试采用一定时间内平均值方式。测点1以市区污水接纳口开始,向南延伸。其中测点9离城中村污水排污口较近,测点16附近为稻田。)

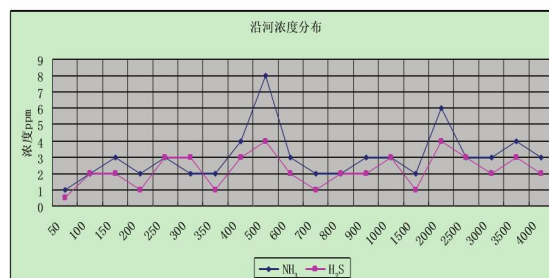
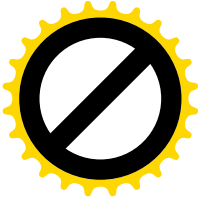


图1 沿污水河岸边典型污染物浓度分布图

#### 2.1.2 垂直污水河方向大气环境检测

受污水河两侧种植农作物影响,不易在其两侧开展周边扩散测试,故选择在机动车较少时的垂直道路进行测试。测试结果发现, $\text{NH}_3$ 浓度在500~1000米范围内无风条件下均较易检出,浓度在 $1\sim 2\times 10^{-6}$ , $\text{H}_2\text{S}$ 在500~2000米范围内均可检出,浓度约在 $1\sim 2\times 10^{-6}$ 。垂直污水河典型污染物浓度检测





结果见表3，分布情况见图2。

表3 垂直污水河典型污染物浓度检测结果

	距离(m)	$\text{NH}_3(1 \times 10^{-6})$	$\text{H}_2\text{S}(1 \times 10^{-6})$	$\text{Cl}_2(1 \times 10^{-6})$
监测点1	50	4	3	<0.1
监测点2	100	3	2	<0.1
监测点3	200	3	2	<0.1
监测点4	300	2	2	<0.1
监测点5	400	2	3	<0.1
监测点6	500	3	2	<0.1
监测点7	600	2	2	<0.1
监测点8	700	2	2	<0.1
监测点9	800	3	2	<0.1
监测点10	900	3	2	<0.1
监测点11	1000	2	2	<0.1
监测点12	1500	1	2	<0.1
监测点13	2000	1	1	<0.1
监测点14	3000	1	0.5	<0.1

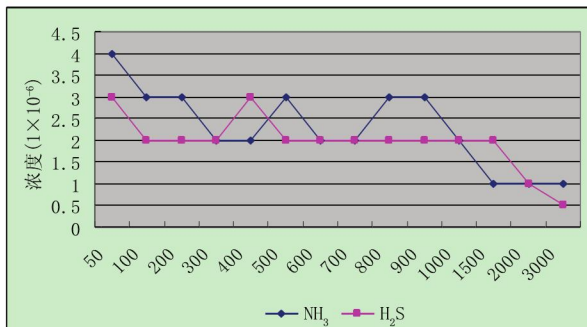


图2 垂直污水河典型污染物浓度分布图

### 2.1.3 污水河排入污水口大气环境检测

由于现场检测发现污水排入口附近污染物浓度较高，故针对排污口附近进行了专门检测，发现污染物浓度较高， $\text{H}_2\text{S}$ 、 $\text{NH}_3$ 均超过了检测仪器低量程（ $\text{H}_2\text{S}$ 为 $20 \times 10^{-6}$ ， $\text{NH}_3$ 为 $50 \times 10^{-6}$ ），更换高浓度 $\text{NH}_3$ 传感器（ $500 \times 10^{-6}$ ）后，检测出 $\text{NH}_3$ 浓度可达 $87 \times 10^{-6}$ 。更换高浓度 $\text{H}_2\text{S}$ 传感器后测出其浓度可达 $65 \times 10^{-6}$ 。分析其原因，可能因排污口为城中村生活污水排污，经一定时间反应后，在下水管道或中间收集池内富集，所以其污染物浓度较高，另外，其温度较河水温度高也可能是重要因素之一（现场测试其温度可达 $43^\circ\text{C}$ ）。

## 2.2 养鸡厂、垃圾站附近大气环境检测

通过定性检测，养鸡厂、垃圾站等周边主要污染物均为 $\text{H}_2\text{S}$ 、 $\text{NH}_3$ ，与污水河产生的污染物基本一致，故归并为一类。因一般养鸡厂及垃圾站规模较小，未对其进行扩散检测，只对其周边进行了类别及浓度范围检测，养鸡厂附近 $\text{H}_2\text{S}$ 浓度（距离50~600米左右）在 $1 \sim 3 \times 10^{-6}$ ， $\text{NH}_3$ 浓度约为 $1 \sim 4 \times 10^{-6}$ 。垃圾站中（距离约为5~200米） $\text{H}_2\text{S}$ 浓度约为 $1 \sim 2 \times 10^{-6}$ ， $\text{NH}_3$ 浓度约为 $2 \sim 5 \times 10^{-6}$ ，氯气为 $0.1 \sim 0.5 \times 10^{-6}$ 左右。

## 3 变电站周围大气环境评价

### 3.1 大气腐蚀环境分类

材料在不同大气环境中的腐蚀破坏程度差异很大，例如，距海20多米处的钢腐蚀速度为距海250多米处的大约12倍。试验表明，若以Q235钢板在我国拉萨市大气腐蚀速率为1，则青海察尔汉盐湖大气腐蚀速率为4.3，广州城市为23.9，湛江海边为29.4，相差近30倍。因此，在防腐蚀工程设计和制定产品环境适应性指标时，均需按大气腐蚀环境分类进行。

国家标准GB/T 15957-1995《大气环境腐蚀性分类》对我国大气环境的腐蚀性进行了分类<sup>[2]</sup>。该标准系以裸露的碳钢（以A3钢为基准）在不同大气环境下腐蚀等级划分和防护涂料及其类似防护材料品种选择为重要依据，主要根据碳钢在不同大气环境下暴露第一年的腐蚀速率（mm/a），将腐蚀环境类型分为：无腐蚀、弱腐蚀、轻腐蚀、中腐蚀、较强腐蚀、强腐蚀六大类，并给出不同腐蚀环境下的腐蚀速率等，见表4。该标准还按照影响钢铁腐蚀的气体成分与含量，将腐蚀性气体分为A、B、C、D四类，见表5。

### 3.2 变电站周围大气腐蚀环境评价

由国家标准《大气环境腐蚀性分类》的分类要求可以看出，对于大气腐蚀类别判断影响较大的腐蚀性气体主要有二氧化硫、氟化氢、硫化氢、氮的氧化物、氯和氯化氢等。某变电站周围大气环境的检测结果表明，在风速 $0.2\text{m/s}$ 、相对湿度68%和温度： $27^\circ\text{C}$ 的条件下，该变电站周围的环境中 $\text{NH}_3$ 浓度最高已达到 $87 \times 10^{-6}$ 。 $\text{H}_2\text{S}$ 浓度最高已达到 $65 \times 10^{-6}$ ，



表4 大气腐蚀环境类型的技术指标

腐蚀类型		腐蚀速率 (mm/a)	腐蚀环境		
等级	名称		环境气体类型	相对湿度 (年平均,%)	大气环境
I	无腐蚀	<0.001	A	<60	乡村大气
II	弱腐蚀	0.001~0.025	A B	60~75 <60	乡村大气 城市大气
III	轻腐蚀	0.025~0.050	A B C	>75 60~75 <60	乡村大气 城市大气和 工业大气
IV	中腐蚀	0.050~0.20	B C D	>75 60~75 <60	乡村大气 工业大气和 海洋大气
V	较强腐蚀	0.20~1.00	C D	>75 60~75	工业大气
VI	强腐蚀	1~5	D	>75	工业大气

表5 环境气体分类

气体类别	腐蚀性物质名称	腐蚀性物质含量(g/m <sup>3</sup> )	气体类别	腐蚀性物质	腐蚀性物质含量(g/m <sup>3</sup> )
A	二氧化硫	<0.5	C	氯化氢	0.05~5
	氟化氢	<0.05		二氧化硫	10~200
	硫化氢	<0.01		氟化氢	5~10
	氮的氧化物	<0.01		硫化氢	5~100
	氯	<0.01		氮的氧化物	5~25
	氯化氢	<0.05		氯	1~5
B	二氧化碳	>2000	D	氯化氢	5~10
	二氧化硫	0.5~10		二氧化硫	200~1000
	氟化氢	0.05~5		氟化氢	10~100
	硫化氢	0.01~5		硫化氢	>100
	氮的氧化物	0.1~5		氮的氧化物	25~100
	氯	0.1~1		氯	5~10

注：当大气中同时含有多种腐蚀性气体，则腐蚀级别取最高的一种或几种为基准

表明环境条件中的腐蚀性气体物质含量已达到C类标准，工业大气环境已达中腐蚀的类别，说明在此环境中的材料设备可能会遭受到较为严重的腐蚀威胁。

## 4 结论与建议

(1) 造成某变电站金属材料大气腐蚀的污染物主要来源是污水河、养鸡场、化工厂和垃圾站等，其主要污染物成分为H<sub>2</sub>S和NH<sub>3</sub>，该站周围的大气环境已达中腐蚀的类别。

(2) 建议变电站在设计和验收的环境影响评价中不仅要考虑工频电场、工频磁场和无线电干扰、生态环境影响、噪声环境影响等变电站自身对环境

的影响评价，同时也应充分重视周围大气环境对变电站生产运行，特别是金属材料腐蚀环境的检测和影响评价。

(3) 腐蚀是不可避免的，但腐蚀是可以控制和预防的。因此，对于有设备腐蚀倾向的变电站应及早开展大气环境检测和分析，以便有针对性的开展工作，指导计划检修和状态评价，确保设备安全稳定可靠运行。

### 参考文献

- [1] 李宾. 几种常见大气污染物的来源及危害[J]. 内蒙古科技与经济, 2010, (10): 55-56.
- [2] 刘佩敏. GB/T 15957-1995. 大气环境腐蚀性分类[S]. 北京: 化学工业出版社, 1995.