

# 某系统贮存环境中微量盐雾监测

马长李<sup>1</sup>, 刘聪<sup>2</sup>, 马瑞萍<sup>1</sup>

(1.海军研究院, 北京 100161; 2.西南技术工程研究所, 重庆 400039)

**摘要:** **目的** 对某系统贮存环境中微量盐雾进行系统监测, 掌握其盐雾污染水平。**方法** 针对盐雾浓度和盐雾沉积速率两项指标, 对目前的各种监测与分析方法进行总结和比较, 根据某系统贮存环境特点制定监测方案并进行现场监测。**结果** 某系统贮存环境C区域盐雾量值高于A区域和B区域。**结论** 某系统贮存环境实测盐雾浓度较要求低1~2个数量级, 盐雾污染属于最低的S0级。

**关键词:** 盐雾浓度; 沉积速率; 监测方法

**DOI:** 10.7643/issn.1672-9242.2017.10.0015

**中图分类号:** TJ07; TG174

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1672-9242(2017)10-0078-04

## Monitoring of Micro Salt Fog in Storage Environment of a System

MA Chang-li<sup>1</sup>, LIU Cong<sup>2</sup>, MA Rui-ping<sup>1</sup>

(1. Naval Academy, Beijing 100161, China;

2. Southwest Technology and Engineering Research Institute, Chongqing 400039, China)

**ABSTRACT:** **Objective** To monitor the micro salt fog in a system's storage environment and determine its salt fog pollution level. **Methods** According to the two indexes of salt fog concentration and salt fog deposition rate, the current monitoring and analysis methods were summarized and compared. According to the characteristics of a system's storage environment, monitoring plans were formulated and field monitoring was carried out. **Results** The salt fog value of area C in a system was higher than that in areas A and B. **Conclusion** The measured salt fog concentration in the storage environment of the system is 1-2 orders of magnitude lower than that required. The salt fog pollution is the lowest S0 level.

**KEY WORDS:** salt fog concentration; deposition rate; monitoring method

盐雾是一种重要的腐蚀介质, 在潮湿环境下, 表面沉积少量盐分即可使碳钢大气腐蚀速率提高一到两个数量级<sup>[1-2]</sup>。除了加速金属腐蚀, 盐雾还会造成产品表面保护膜破坏、电子设备损坏、绝缘表面导电性增加等危害<sup>[3]</sup>。在近海地区, 较高的盐雾严重影响了各类产品的贮存和使用性能。如某型产品在东南沿海长期贮存过程中, 在盐雾较高的环境下发生了锈蚀、电解等破坏, 造成机械强度下降、电气性能劣化。因此, 对于重要产品, 有必要监测掌握其贮存环境中的盐雾水平, 为腐蚀预测和防护提供参考。如美军早在20世纪50—60年代就对巴拿马谢尔曼堡、尼日尼

亚拉各斯等全球沿海美军基地户外以及棚库环境下的盐雾进行了监测普查<sup>[4]</sup>, 为其装备研制与全球部署提供了数据支撑。

某系统长期贮存于我国南方沿海库房内, 可能经受盐雾和湿热的综合作用。因该系统价值昂贵、可靠性要求高, 研制单位及使用部门对其服役环境条件特别是盐雾水平及危害程度极为关注。文中以某系统贮存环境为对象, 根据盐雾监测技术现状及产品环境特点, 结合环保领域先进分析技术, 制定盐雾监测方法和方案, 对其重点区域的盐雾进行了为期2年的系统监测。

收稿日期: 2017-08-30; 修订日期: 2017-09-10

作者简介: 马长李(1982—), 男, 吉林长春人, 工程师, 主要研究方向为海军装备试验研究。

## 1 盐雾监测技术现状分析

### 1.1 表征方式

在环境工程领域，用来表征盐雾的指标主要有“盐雾浓度”和“盐雾沉积速率”。盐雾浓度又称盐雾含量或大气含盐量，是指单位体积空气中所含的海盐质量，单位为  $\text{mg}/\text{m}^3$ 。该指标常用于环境要求与环境条件控制。如 GJB 1060.2 规定“舰船舱室设备在  $2 \text{ mg}/\text{m}^3$  含盐大气下可正常工作。外部设备在  $5 \text{ mg}/\text{m}^3$  含盐大气下可正常工作”。盐雾沉积速率是指单位时间内单位面积上沉积的海盐质量，单位为  $\text{mg}/(100 \text{ cm}^2 \cdot \text{d})$  或  $\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 。因为盐雾是沉积于产品表面后发生破坏作用，表面沉积量是其对材料或产品危害大小的控制性条件之一，环境工程上更多地使用沉积速率来评价其污染程度，ISO 9223 采用环境因素法评估大气腐蚀性时以氯离子沉积速率为评价指标之一<sup>[5]</sup>。GJB 150 实验室盐雾试验以盐雾沉降率作为重要控制参数。

### 1.2 采样方法

#### 1.2.1 盐雾浓度

针对盐雾浓度，目前普遍采用溶液富集法采样，用注射器或大气采样器采集一定体积空气，用纯水作吸收液，充分吸收这部分空气中的盐分，然后测定吸收液中氯离子浓度，并根据氯离子浓度计算盐雾浓度（以海盐或氯化钠中氯离子质量分数换算）。如 GB/T 10593.2—2012 根据下列公式计算盐雾浓度。

$$Sc = 1.8065C = 1.8065[\text{Cl}^-] \cdot V / (Q \cdot t) \quad (1)$$

式中： $Sc$  为盐雾质量浓度， $\text{mg}/\text{m}^3$ ； $C$  为氯离子质量浓度， $\text{mg}/\text{m}^3$ ； $[\text{Cl}^-]$  为样品溶液中氯离子质量浓度， $\text{mg}/\text{L}$ ； $V$  为样品溶液总体积， $\text{mL}$ ； $Q$  为大气采样气体流速， $\text{L}/\text{min}$ ； $t$  为大气采样时间， $\text{min}$ 。

#### 1.2.2 盐雾沉积速率

针对盐雾沉积速率，目前主要存在纱布挂片法和湿烛法两种采样方式。我国国防科技工业自然环境试验站网普遍采用 WJ 2360—1995 规定的纱布挂片法（又称干片法），该方法也为《全国大气腐蚀网站操作规程》推荐使用。纱布挂片采样装置如图 1 所示，是利用固定在方框内的双层纱布暴露于遮雨条件下采集空气中的盐雾，对纱布进行浸泡、清洗，对洗出溶液中氯离子进行测定分析，计算盐含量，最后根据采样时间计算盐雾沉积速率。国外也有部分标准方法利用干片法采集盐雾，如日本 JIS Z 2382 标准<sup>[6]</sup>所制订的“纱布法”就与我国的干片法大体一致。

ISO 9225 标准推荐的湿烛法采样装置如图 2 所示。将一根直径为 25 mm 左右的烛芯插入瓶内，芯上紧紧缠有两层纱布，纱布的自由端接触至瓶底，瓶内装有甘油水溶液。烛芯长期暴露于空气中，利用缠

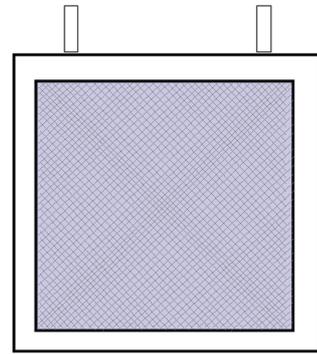


图 1 纱布干片法采样装置

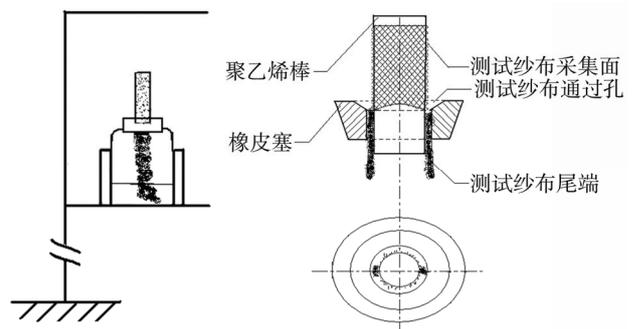


图 2 湿烛法装置

绕其上的纱布采集盐雾。

两种采样方法存在以下几点区别：湿烛法采样没有方向性，干片法方向性明显；湿烛法纱布长期保持湿润，干片法纱布湿润程度取决于空气湿度；湿烛法纱布不具备透风性，而干片法纱布具有透风性；相比湿烛法，干片法更易饱和<sup>[7]</sup>。在采样效果上，ISO 9223 标准根据多个地区的户外实测数据，给出了与两种方法测量结果的换算关系，湿烛法测量结果为干片法 2.4 倍。这一数学关系并不适用于所有地区，如海南万宁地区离海距离达到 8 km 时，湿烛法的测试结果与挂片法的测试结果非常接近<sup>[8]</sup>。

#### 1.2.3 盐雾样品溶液中氯离子分析技术

现行盐雾测量标准采用汞液滴定法和硫氰酸汞分光光度法测定样品溶液中的氯离子。这两种方法均基于卤族元素的特征化学反应，对一样品的测试结果无明显差异，检出效果相当。离子色谱法则是根据氯离子的电导特征峰对其浓度进行精确测定，主要有两点优势。

1) 检出限低，HJ 549 规定离子色谱法对氯离子检出限为  $0.2 \mu\text{g}/10 \text{ mL}$ ，比分光光度法的  $1.8 \mu\text{g}/10 \text{ mL}$  低一个数量级。室内及内陆空气盐雾含量一般不超过  $0.1 \text{ mg}/\text{m}^3$ ，经推算，以 20 mL 吸收液按  $0.5 \text{ L}/\text{min}$  流量采集 60 min，样品溶液中氯离子的质量浓度不超过  $1.5 \mu\text{g}/10 \text{ mL}$ 。对这一浓度水平的样品，分光光度法难以满足准确检测的要求，须延长采样时间或换用离子色谱法分析。

2) 抗干扰强, 相比分光光度法等, 离子色谱法可以排除  $F^-$ ,  $Br^-$ ,  $I^-$  等其他卤素离子对测试结果的干扰。

## 2 某系统贮存环境盐雾测量方案

### 2.1 监测点及监测项目

某系统贮存于近海库房, 主要分为 A, B, C 三个互相隔离的区域。各区域大小相近, 通风口离海距离在均 300~500 m 之间。其中 A, B 两个区域长期封闭, 由通风系统换气, C 区域库房大门不定期开闭。三个区域监测位置位于中部空气流通处, 实际测量时各区域库房门均保持关闭。

### 2.2 监测时间

考虑季节性差异, 在 2 年 8 个季度每季度测量一个周期。实际测量时间分别为: 2014 年 8 月、2014 年 11 月、2015 年 3 月、2015 年 5 月、2015 年 8 月、2015 年 11 月、2016 年 4 月、2016 年 7 月。

### 2.3 监测方法

#### 2.3.1 盐雾浓度

某系统贮存环境为盐雾含量较低的室内环境。样本采集参照 GB/T 10593.2 溶液富集法, 以 0.5 L/min 流量采样 60 min, 获盐雾浓度样本。样本分析采用检出限较低的离子色谱法(参照 HJ 549), 按式(1)计算盐雾浓度。采样为双通道平行采样, 以两组数据均值作为测试结果。盐雾浓度每个周期连续测量 3 天, 每天 9:00—10:00, 16:00—17:00 各采样一次。

#### 2.3.2 盐雾沉积速率

采样方法参照 WJ 2360 标准挂片法, 平行挂样 3 片, 每个周期采样一次, 每次连续采集 30 天。样品同样采用离子色谱法分析。参考式(1)中海盐和氯离子的换算系数计算盐雾沉积速率。

在第 7、第 8 个周期设置湿蚀法采样, 研究两种采样方式的测量结果差异。

### 2.4 监测仪器

- 1) TH-110 大气采样器, 流量不确定度 2.0%;
- 2) 戴安 ICS-900 离子色谱仪;
- 3) 纱布挂片装置, 纱布每 10 cm 经纱 110 根 $\pm$ 6, 纬纱 100 根 $\pm$ 5。

### 2.5 测量方法的不确定度

按 JJF 1059.1 对测量方法的不确定度进行评估, 对采样、分析、量具、标准物质各环节的不确定度进行合成计算。盐雾浓度测量结果的相对扩展不确定度  $U=33.8%$  ( $k=2$ ), 盐雾沉积速率测量结果的相对扩

展不确定度  $U=7.0%$  ( $k=2$ )。

## 3 结果与分析

### 3.1 盐雾浓度监测结果

某系统贮存库房三个区域各周期盐雾浓度测量均值如图 3 所示。A 区域和 B 区域测量结果非常接近, 总体均值分别为 0.0676, 0.0648  $mg/m^3$ 。对 A, B 两个区域各周期测量均值采用配对比较符号秩和检验,  $n=8$ ,  $T=12$ , 查配对比较符号秩和检验概率表, 得  $P=0.4609$ , 两个区域测量值没有显著差异。C 区域测量结果波动较大, 总体均值为 0.0977  $mg/m^3$ , 约为其他两个区域 1.5 倍, 部分周期量结果达到其他两个区域 2 倍, 这与 C 区域库房门不定期开闭有关。

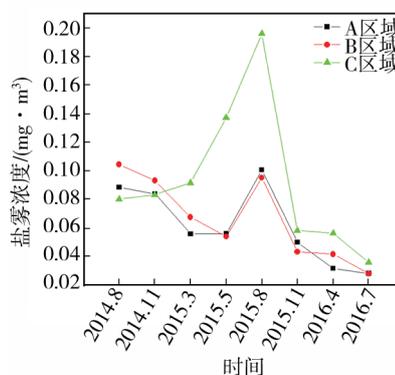


图3 各周期盐雾浓度测量均值

对测量值的周期变化进行分析, 在 A, B 两个区域, 均表现为每年 8 月份测量值最高, 11 月份次之, 3 月份、4 月份测量值较低。C 区域测量值的季节性变化并不规律, 与其库房门的不定期开闭有关, 季节性差异被库房通风状态差异所掩盖。实际测量过程中, 2015 年 3 月、5 月、8 月, 在测量前 2 天内, C 区域库房门均有开启记录, 测量结果也显示, 这三个周期该区域的盐雾浓度明显偏高。

某系统贮存环境要求与舰船户外设备相同, 即“在 5  $mg/m^3$  含盐大气下可正常工作”。实测盐雾浓度较 5  $mg/m^3$  低 1~2 个数量级, 考虑测量方法的不确定度后依然满足要求。

### 3.2 盐雾沉积速率监测结果

三个区域各周期盐雾沉积速率测量均值如图 4 所示。A 区域和 B 区域测量结果接近, 总体均值分别为 0.1078, 0.0986  $mg/(m^2 \cdot d)$ 。C 区域测量结果波动较大, 总体均值为 0.1682  $mg/m^3$ , 约为其他两个区域 1.6~1.7 倍。

盐雾沉积速率与盐雾浓度的周期性变化并不一致, 规律性不明显。如 A, B 两个区域 2015 年各周

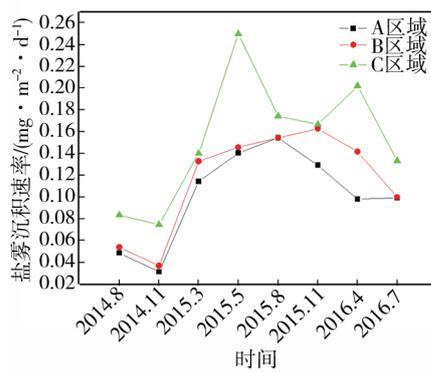


图4 各周期盐雾沉积速率测量均值

期测量值均处于较高水平,其中2015年8月、11月盐雾沉积速率较2014年同期高3~5倍,但盐雾浓度相近。这说明,除了盐雾浓度,湿度、通风等其他因素对盐雾沉积速率影响较大。

2016年4月、2016年7月,在三个区域均设置了湿蚀法与干片法的对比采样,结果显示,湿蚀法测量值略高于干片法,前者约为后者的1.2~1.5倍。根据干片法和湿蚀法实测的盐雾沉积速率,按GB/T 19292.1,某系统贮存环境均属于盐雾污染最低的S0级,盐雾沉积速率采样方法对评价结论无影响。

### 3.3 测量结果代表性分析

由于条件限制,某系统在每个季度选取一个月进行监测。为了解测量结果的代表性,可参考万宁、广州和青岛等典型沿海地区大气氯离子观测站点全年变化规律<sup>[9]</sup>。万宁户外大气氯离子浓度在10月、11月最高,监测值约为较低月份的2~3倍;氯离子沉积速率在11月、12月最高,监测值比较低月份高1个数量级。广州、青岛的氯离子沉积速率月际波动均较海南万宁小,较高月份监测值约为较低月份监测值的2~3倍(广州冬季较高,青岛秋季较高)。某系统贮存环境监测时机覆盖了典型沿海地区的盐雾较高月份或季节,同一区域不同周期监测高值达低值的3~5倍,监测时机及测量结果具有一定的代表性。

## 4 结论

1) 某系统贮存库房属于盐雾含量较低的室内环境,利用溶液富集法采集盐雾浓度样本时,在采样时间受限的情况下,宜采用离子色谱法对低浓度的盐雾样本进行分析。

2) 某系统贮存库房A, B, C三个区域盐雾浓度测量均值分别为0.0676, 0.0648, 0.0977 mg/m<sup>3</sup>;盐雾沉积速率测量均值(干片法)分别为0.1078, 0.0986, 0.1682 mg/(m<sup>2</sup>·d),湿蚀法测量值约为干片法测量值的1.2~1.5倍。

3) 某系统贮存环境实测盐雾浓度较要求低1~2个数量级,盐雾污染属于最低的S0级。

### 参考文献:

- [1] 翁永基,李相怡,周长江,等. 埕岛海域大气腐蚀性及其影响因素研究[J]. 石油大学学报(自然科学版), 2001, 25(4): 77-80.
- [2] 张琳,王振尧,赵春莹,等. 碳钢和耐候钢在盐雾环境下的腐蚀行为研究[J]. 装备环境工程, 2014, 11(1): 1-3.
- [3] 汪学华. 自然环境试验技术[M]. 北京: 航空工业出版社, 2003: 67.
- [4] DEF STAN 00-35 (Issue 4), Environmental Handbook for Defence Materiel[S].
- [5] ISO 9223:1992(E), Corrosion of Metals and Alloys—Corrosively of Atmosphere—Classification[S].
- [6] JIS Z2382, 环境因子测定方法[S].
- [7] 陈建琼,唐其环,郭赞洪,等. 海洋大气氯离子监测方法——湿蚀法与干片法对比研究[J]. 装备环境工程, 2017, 14(4): 77-83.
- [8] 文静,唐其环,陈建琼,等. 干片采样法在海滩大气氯离子监测中的饱和现象浅析[J]. 装备环境工程, 2017, 14(1): 51-56.
- [9] 陈孝渝,杨德模,凌勇,等. 大亚湾核电站地区大气腐蚀性污染物检测与分析[J]. 核科学与工程, 2005, 25(3): 193-200.