

## 地理腐蚀因子的建立及其应用

罗浩<sup>1,3</sup>, 陈跃良<sup>2</sup>, 徐丽<sup>1,3</sup>, 衣林<sup>1</sup>

(1. 海军航空工程学院, 山东 烟台, 264001;

2. 海军航空工程学院 青岛分院, 山东 青岛, 266041; 3. 海军飞行学院, 辽宁 葫芦岛, 125001)

**摘要:** 依据铝合金在海洋大气中的腐蚀机理,对沿海地区空气中气溶胶的产生、转移、沉积进行了研究,并对影响因素进行了分析。通过研究各影响参数之间的函数关系,建立了由具有直接物理意义的参数(如风速、风向、湿度、地理环境等)联合表示的地理腐蚀因子。将地理腐蚀因子与不同试验点实验试件的腐蚀质量损失进行对比研究,良好的对应关系证明了用地理腐蚀因子预测大气腐蚀的可行性。

**关键词:** 大气腐蚀;海洋气溶胶;地理腐蚀因子

**中图分类号:** TG171;V252      **文献标识码:** A

**文章编号:** 1672-9242(2011)04-0090-04

### Establishment of Geographic Corrosivity Index and Its Application

LUO Hao<sup>1,3</sup>, CHEN Yue-liang<sup>2</sup>, XU Li<sup>1,3</sup>, YI Lin<sup>1</sup>

(1. Naval Aeronautical Engineering Academy, Yantai 264001, China; 2. Qingdao Branch of Naval Aeronautical Engineering Academy, Qingdao 266041, China; 3. Naval flying Academy, Huludao 125001, China)

**Abstract:** According to the aluminum alloy corrosion mechanism in marine atmosphere, the production, transportation, depositing of marine aerosol in the air of coastal area were studied, and the influencing factors were analyzed. Resulting from the functional relation between parameters, the Geographic Corrosivity Index was modeled using geographic information and various average climate data. The relationship between the GCI and weight loss data of testing pieces proved that application of GCI in predicting atmospheric corrosion is feasibility.

**Key words:** atmospheric corrosion; marine aerosol; GCI

铝合金材料暴露于海洋大气中,其表面会形成一层液膜,空气中氯离子溶于液膜中引起金属的腐蚀。不同海域的气象因素及氯离子浓度不同,作用于铝合金材料上的大气腐蚀强度和时间就不同,从

而导致在不同海洋大气中的腐蚀率不一样。凝露、降雨会提高空气中的湿度,使金属表面液膜增厚;气温高、日照强等因素又会降低液膜厚度;降尘通过吸潮作用使得液膜增厚;另外,金属腐蚀后的锈层对金

收稿日期: 2011-02-26

基金项目: 国家自然科学基金(51075394)

作者简介: 罗浩(1985—),男,湖北武汉人,硕士研究生,主要研究方向为海洋环境与飞行器性能研究。

属也有加速腐蚀的作用,其机理与降尘类似。可见,影响铝合金材料的大气腐蚀的因素多、条件复杂。考虑到气象因素及氯离子浓度等都与海域地理位置环境等因素有关,因此,在此基础上提出地理腐蚀因子用以研究腐蚀与地理环境的参数关系,并将其应用于腐蚀预测当中。

## 1 海洋气溶胶

### 1.1 气溶胶的产生

海洋气溶胶的产生分为2类:通过海浪飞溅产生的大粒子和在海水蒸发、成核、核心凝聚生长等一系列过程中产生的小粒子。大粒子沉积速度较快、转移距离较短,小粒子转移距离较长、沉积速度较慢<sup>[1]</sup>,如图1所示。

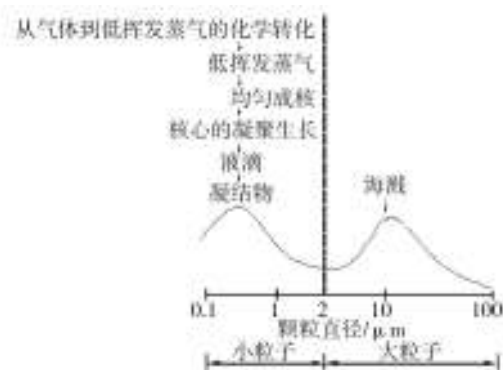


图1 典型大气气溶胶粒子分布

Fig. 1 Typical size distribution of atmospheric aerosols

风速对海洋气溶胶的产生数量存在较大影响。风速上升将导致海洋气溶胶数量呈一定比例增长,进而导致海洋大气中氯离子浓度的增加,当风速达到某个临界值时,这种影响的效果将更加显著。因此,风速是影响海洋气溶胶产生及浓度变化的重要因素<sup>[2]</sup>,如图2所示。

气溶胶的数量与海湾形貌有关。研究发现在海湾范围较窄的地区,未测量到明显海洋气溶胶大粒子;在海湾范围较宽的地区,测量到明显数量的海洋气溶胶大粒子<sup>[2]</sup>。因此,可以推断海湾形貌对气溶胶产生的数量存在一定程度的影响。

### 1.2 气溶胶的转移

研究发现<sup>[3]</sup>:距海岸线距离不同,大气中的海盐

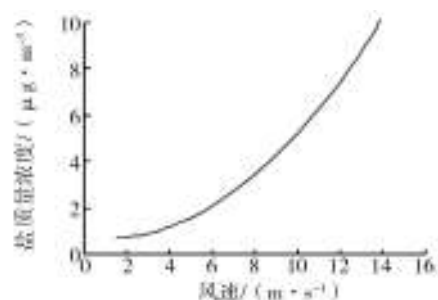


图2 风速与盐质量浓度的关系

Fig. 2 Relationship between wind speed and salinity of marine aerosols

粒子浓度不同,氯离子的质量浓度也不同。图3表示大气中氯离子质量浓度与海岸线距离之间的关系,能够看到:距离海岸线越近,氯离子质量浓度越高。因为氯离子半径小,穿透力强,当氯离子吸附在金属表面上时,会从钝化膜的薄弱部位进入钝化膜,使钝化膜局部破坏,对基体产生腐蚀,使铝合金产生强烈的点蚀。从试验结果中可以看到大气中含量越高,腐蚀速度越快。

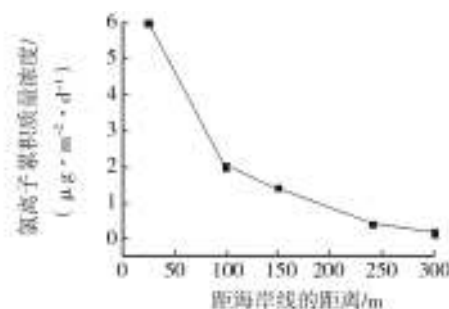


图3 大气中氯离子累积质量浓度与距海岸线距离的关系

Fig. 3 Relationship between chloride deposition and distance to coastline

### 1.3 湿润时间

气溶胶沉积在金属表面之后具有吸湿作用,当相对湿度达到一定临界值时,某些相就达到吸湿点,意味着将快速地吸附水,直到形成饱和溶液。

所谓湿润时间即为温度高于0℃而相对湿度达到或超过80%的时间,被认为是促进腐蚀的液膜在表面存在的时间。表面润湿测量在大气腐蚀中极其重要,可以通过相应的设备监测表面湿润的时间。湿润时间可以很容易地由相对湿度和温度数据估算<sup>[4]</sup>,它与室外腐蚀速率有良好的一致性。

## 2 地理腐蚀因子的建立

由于地理位置、气候条件等因素的差异将导致直接作用于结构上的腐蚀介质的浓度、数量等不同,最终导致腐蚀程度不同。地理腐蚀因子就是通过研究各影响参数之间的函数关系,建立的具有直接物理意义的参数(如风速、风向、湿度、地理环境等)联合表示的模型。

地理腐蚀因子包含的参数有测量点及其距海岸线的距离,海岸的形貌,平均风速和湿润时间。由于在一定的数值范围内,参数对海洋气溶胶的浓度影响相近,为了计算更简便,将参数进行分级,见表1。

表1 参数分级

Table 1 Parameters classification

等级	距离/km	等级	风速/(m·s <sup>-1</sup> )	等级	地理情况
1	>60	1	>2~4.5	1	离海岸线 60 km 以上的内陆,以 100 km 为半径海岸开放角度范围小于 40°
2	>10~60	2	>4.5~7	2	礁区:100 km 范围内有大量离岸礁
3	>3~10	3	>7~9.5	3	海湾地区:以 100 km 为半径,海岸开放角度范围 40° ~ 120°
4	>1~3	4	>9.5~12	4	开阔海域:以 100 km 为半径,海岸开放角度大于 120°
5	<1	5	>12	6	岛:四面环海

示参数。

## 3 大气暴露实验

选取某型飞机某部位模拟件进行大气暴露试验,试验件的外形尺寸如图4所示,材料为LY12CZ铝合金。试样暴露前经过丙酮除油、蒸馏水冲洗、无水乙醇脱水,干燥后用分析天平称量,分析天平感量为0.1 mg。试样投放在沿海地区8个具有不同地理位置特点的试验站,如图5所示。1 a后回收试样,观察表面和截面的腐蚀形貌如图6所示。用50 mL H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>+20 g CrO<sub>3</sub>+1 L H<sub>2</sub>O配成的混合溶液去除腐蚀产物(80 °C, 5 min),用质量损失法评定腐蚀情况,见表2。

## 4 数值计算

通过对实验数据进行分析,将环境、气候因素转换为相应参数数值,将数据代入式(2),并与质量损失数据进行线性拟合,使线性相关性最大(必须通过

由 Cole<sup>[2]</sup>等的研究可知,海洋气溶胶的浓度随着风速的增加而增加,对应于风速 3, 6, 8, 10, 15 m/s 时,其浓度对应的比率是 1:3:7:13:19,同时将风速小于 2 m/s 时产生的气溶胶数量忽略不计。因此总风等级:

$$WA=WR1+3 \times WR2+7 \times WR3+13 \times WR4+19 \times WR5 \tag{1}$$

式中:WA 表示总风速等级;WR1, WR2, WR3, WR4, WR5 分别代表风速等级 1, 2, 3, 4, 5。

地理腐蚀因子 GCI 表示为:

$$GCI=DR \times GR \times WA^m \times t_{row} \tag{2}$$

式中:DR 表示距离等级;GR 表示地理等级;WA 表示总风速等级;t<sub>row</sub> 表示年平均湿润时间;n 表

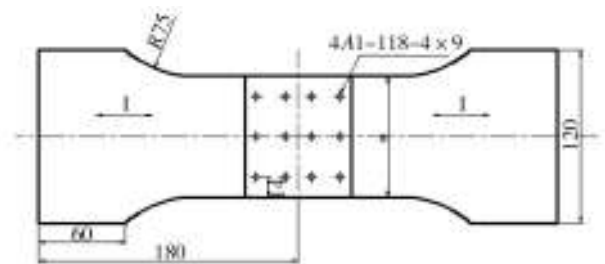


图4 试验件尺寸

Fig. 4 Test piece shape and dimensions



图5 暴露试验

Fig. 5 Exposure test

坐标原点),从而可得到系数值 m=0.31, n=0.36, 计算结果见表2。

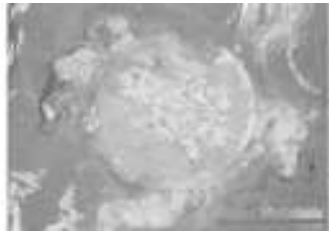


图6 暴露试验件显微图像

Fig. 6 Microscopic images of corrosion test pieces

表2 LY12CZ铝合金各试验点质量损失及地理腐蚀因子

Table 2 Weight loss of LY12C in test sites and GCI

试验点	1	2	3	4	5	6	7	8
质量损失/(g·m <sup>-2</sup> )	4.9	2.5	5.3	2.5	6.1	10.0	8.1	9.1
地理腐蚀因子	12	10	18	9	31	50.6	34	50

此结果表明地理腐蚀因子与腐蚀质量损失之间具有对应关系,地理腐蚀因子越大腐蚀质量损失越大。且幂系数  $m, n$  均大于0,从而证明了此方法的可行性。同时由于测量的参数获取方法简单,不需要对复杂的腐蚀过程进行参数化描述,具有简单易用的特点。

## 5 结语

通过对海洋大气环境下铝合金腐蚀起主要作用的气溶胶的产生、转移、沉降进行分析,研究了该过程中的影响因素,及各影响参数之间的函数关系,建立了具有直接物理意义的参数联合表示的

理腐蚀因子。将地理腐蚀因子与不同试验点实验试件的腐蚀情况进行对比研究,良好的对应关系证明了用地理腐蚀因子表示大气腐蚀性的可行性。由于测试数据有限,地理腐蚀因子与腐蚀质量损失的具体函数关系没有进行明确表示,还有待进一步研究。

## 参考文献:

[1] 莱格拉芙C,格雷德尔T. 大气腐蚀[M].北京:化学工业出版社,2005:48—50.

[2] COLE I S, PATERSON D A, GANTHER W D. Holistic Model for Atmospheric Corrosion Part 1—Theoretical Framework for Production, Transportation and Deposition of Marine Salts[J]. Corrosion Engineering Science and Technology, 2003, 38(2): 129—134.

[3] 朱红嫒,郑奔非,谢水生. 万宁地区铝及铝合金不同距海点的大气腐蚀研究[J]. 稀有金属, 2002, 26(6): 456—459.

[4] TIDBLAD J, MIKHAILOV A A, KUCERA V. Model for the Prediction of the Time of Wetness from Average Annual Data on Relative Air Humidity and Air Temperature[J]. Protection of Metals, 2000, 36(6): 533—540.

(上接第62页)

## 参考文献:

[1] GJB 4239—2001, 装备环境工程通用要求[S].

[2] 穆志韬,邢耀国. 固体发动机密封技术的研究现状与发展[J]. 机床与液压, 2004(5): 6—8.

[3] 刘奎芳,陈洁. 橡胶在湿热和亚湿热气候大气暴露与人工加速试验相关性初步探讨[J]. 环境技术, 2001(4): 8.

[4] 肖琰,魏伯荣,杜茂平. 橡胶加速老化试验及贮存期推算方法[J]. 合成材料老化与应用, 2007, 36(1): 40.

[5] CELINA M, GILLEN K T. Accelerated Aging and Lifetime Prediction: Review of Non-Arrhenius Behaviour due to Two Competing Processes[D]. United States: Polymer Degradation and Stability, 2005.

[6] 宋义虎,刘江,魏伯荣. 硅橡胶的低温性能[J]. 特种橡胶制品, 1999(3): 10—15.

[7] 吴勋,孟涛. 地地导弹环境适应性分析[J]. 装备环境工程, 2006, 3(1): 30—33.

[8] 陈舜娥. 橡胶的大气老化[J]. 合成材料老化与应用, 2003(1): 34.