

输电导线的腐蚀动力学规律研究

辛志东^{1,2}, 杨晓华¹, 张泰峰¹, 刘学君^{1,2}

(1. 海军航空工程学院 青岛校区, 山东 青岛 266041; 2. 南昌航空大学, 南昌 330063)

摘要: 基于宁波地区加速腐蚀试验环境谱, 对输电导线铝单丝进行加速腐蚀试验, 统计分析了腐蚀质量损失和腐蚀深度, 得到了宁波地区输电导线的腐蚀动力学规律。试验结果表明, 年腐蚀质量损失速率在第3年达到最大, 而年腐蚀深度速率在第5年达到最大, 说明第3年后铝丝的腐蚀主要向深度方向发展。

关键词: 铝单丝; 腐蚀动力学; 腐蚀速率; 腐蚀深度

中图分类号: TG174.3 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2012)06-0040-04

Study of Corrosion Dynamic Law of Aluminum Transmission Line

XIN Zhi-dong^{1,2}, YANG Xiao-hua¹, ZHANG Tai-feng¹, LIU Xue-jun^{1,2}

(1. Qingdao Branch of Navy Aeronautic Engineering Academy, Qingdao 266041, China;

2. Nanchang Hangkong University, Nanchang 330063, China)

Abstract: Based on accelerated corrosion test environmental spectra in Ningbo region, accelerated corrosion test was carried out on aluminum monofilament transmission wires. Corrosion weight loss and corrosion depth was analyzed with statistical method and the corrosion dynamic law of aluminum transmission line in Ningbo region was obtained. The results showed that weight loss based annual corrosion rate achieves maximum in the first three years; depth based annual corrosion rate achieves maximum in the first five years. It was concluded that corrosion development of aluminum wire is mainly in depth direction after three years.

Key words: aluminum monofilament; corrosion dynamic law; annual corrosion rate; corrosion depth

腐蚀是铝合金结构的主要损伤形式之一, 它对铝合金结构的危害性相当大, 严重影响着结构完整性、使用安全性和经济性。结构腐蚀会导致材料结构中的应力明显变化, 降低材料的韧性、强度与延展性, 使裂纹(或缺陷)扩展速率增加^[1-2]。腐蚀是导致材料失效、酿成重大恶性事故、造成巨大经济损失和

资源浪费的重要原因。因此, 开展材料腐蚀试验, 掌握材料腐蚀规律, 具有十分重要的意义。

以输电导线铝单丝为研究对象, 使用基于腐蚀损伤等效原则编制的环境谱及加速试验环境谱, 在实验室条件下进行当量加速腐蚀试验, 通过分析得到了输电导线铝单丝的腐蚀动力学规律。

收稿日期: 2012-08-27

作者简介: 辛志东(1986—), 男, 甘肃天水人, 硕士研究生, 主要研究方向为飞机结构寿命评定。

1 试验方法

1.1 试验件

试验件为46根直径4 mm,长度300 mm的钢芯铝绞线(LGJ-240/30,GB 1179—83)铝单丝。

1.2 试验方法

真实模拟使用环境进行长期的环境试验在当前是不现实的,也会因试验周期过长而使试验失去意义^[3]。为了缩短试验时间,需要进行加速腐蚀试验。宁波地区为东南沿海工业发达地区,高温、潮湿、盐雾和工业污染为该地区的主要环境特征。

加速试验环境谱如下^[4]:

1) $w(\text{NaCl})=5\%$ 的溶液,加入少量稀硫酸,使 $\text{pH}=4 \pm 0.2$,溶液温度 $\theta=(40 \pm 2)^\circ\text{C}$,相对湿度 $\text{RH}=95\% \pm 5\%$;

2) 一个加速谱周期为44 min,其中浸泡29 min、烘烤15 min,当量腐蚀1 a循环222次加速谱。

1.3 试验设备

周期浸润腐蚀试验箱,电子天平,科士达三维视频显微系统。

2 试验结果及分析

2.1 年腐蚀速率的变化规律

取46根单丝铝线进行试验,每次腐蚀前进行质量称量,将腐蚀后数据与腐蚀前相比,再取均值(异常数据分析时略去)可以得到平均腐蚀质量损失随腐蚀年限的变化,如图1所示。

腐蚀的萌生有一定的孕育期,腐蚀扩展程度随时间而加强,腐蚀损伤也是一种随时间而加重的累积性损伤。由图1可知,输电导线腐蚀质量损失随腐蚀年限的增加,在前2 a缓慢地成线性增加,在2~5 a时腐蚀质量损失迅速增加,以后基本保持一定值。

材料腐蚀速率可以由样品在腐蚀前后质量的变化进行评定,根据质量的减少来测定、描述腐蚀速率。

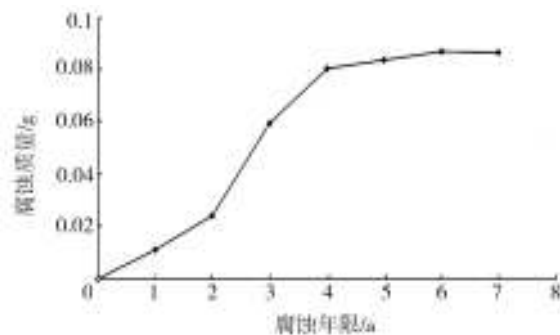


图1 腐蚀质量损失随腐蚀年限的变化规律

Fig. 1 The changing law of corrosion weight loss by years

$$v = \frac{m_0 - m_1}{S \cdot t} \quad (1)$$

式中: v 为腐蚀速率, $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$; m_0 为样品腐蚀前的质量, g ; m_1 为样品腐蚀后的质量, g ; S 为样品表面积, m^2 ; t 为腐蚀时间, h 。

第 i 年的腐蚀速率可以从式(2)得到。

$$v_{\text{co}}^i = m_i^i / m^{i-1} \quad (2)$$

式中: v_{co}^i 为年腐蚀速率; m_i^i 为第 i 年的累积腐蚀质量损失。

铝基材料的腐蚀绝大多数由电化学反应引起。铝基材料在野外服役,表面凝露和潮气形成的水膜不可避免地存在于表面,并且各种杂质溶于其中,因而形成了金属电化学腐蚀的必要条件——电解质液膜。

年腐蚀速率的变化规律如图2所示。可以看出,前2 a由于铝单丝在空气中被氧化,没有形成腐蚀原电池,腐蚀速率比较慢;后来随着金属Al直接暴露,形成了腐蚀微电池,腐蚀速率很快;之后由于极化现象和钝化膜的作用,腐蚀速率变慢,直到变为0。

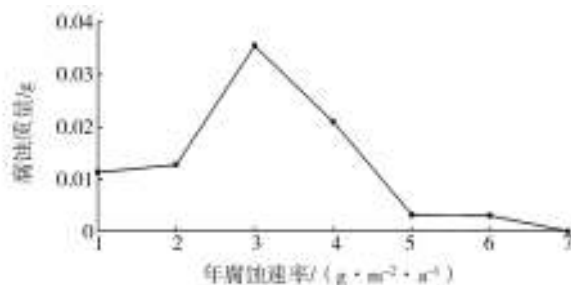


图2 年腐蚀速率的变化规律

Fig. 2 The changing law of annual corrosion rate

2.2 腐蚀深度的变化规律

2.2.1 腐蚀形貌

图3为当量腐蚀1,3,5,6 a后的腐蚀坑形貌(放大倍数:300倍)。可见,当量腐蚀3 a以后的腐蚀坑在表面和纵深都有所发展,但主要在深度方向发展。

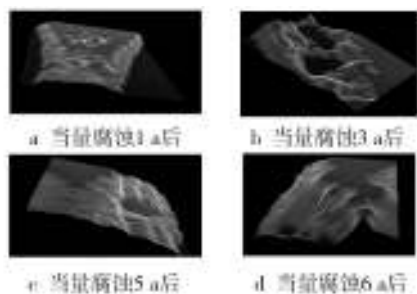


图3 当量腐蚀后的形貌

Fig. 3 The morphology after equivalent corrosion

腐蚀的初期,试件表面产生单个独立的蚀孔,呈圆锥型凹坑,宽度较窄,如图4a所示;随着腐蚀时间的增长,多个蚀孔相互连接成为一个大孔,孔底起伏不平,宽度较大,如图4b所示;随着腐蚀的进一步发展,蚀孔底部变平,宽度更大,呈沟槽型,如图4c所示。

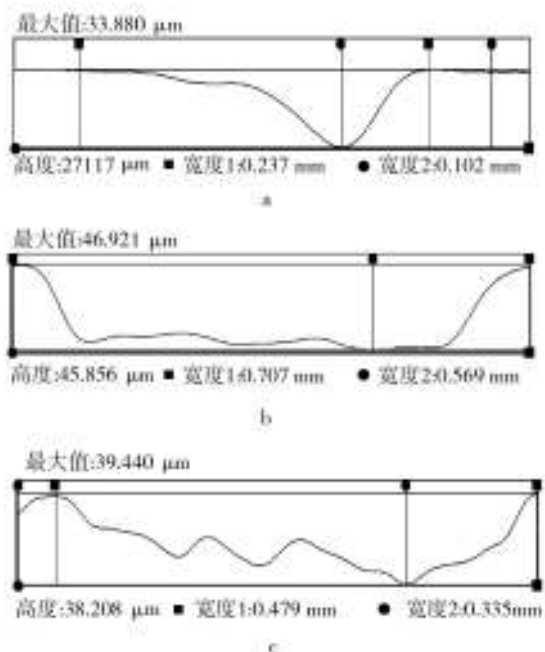


图4 蚀孔形态演化规律

Fig. 4 The evolution law of etching hole's form

2.2.2 腐蚀深度

表1为腐蚀深度随腐蚀年限的变化,从中可以得到腐蚀深度随腐蚀年限的变化规律曲线,如图5所示;年腐蚀速率随腐蚀年限的变化如图6所示。

表1 腐蚀深度随腐蚀年限的变化

Table 1 The variation of corrosion depth by years

μm					
腐蚀1 a	腐蚀2 a	腐蚀3 a	腐蚀4 a	腐蚀5 a	腐蚀6 a
6.144	12.026	16.508	31.934	32.201	32.65
3.961	11.957	17.689	22.405	29.448	54.976
3.613	16.231	18.374	36.588	35.201	51.549
9.802	10.309	23.507	28.162	35.648	33.101
10.699	10.025	30.56	19.362	45.226	35.218
9.926	11.511	18.07	29.941	47.58	46.801
3.813	22.442	18.997	24.85	40.512	53.906

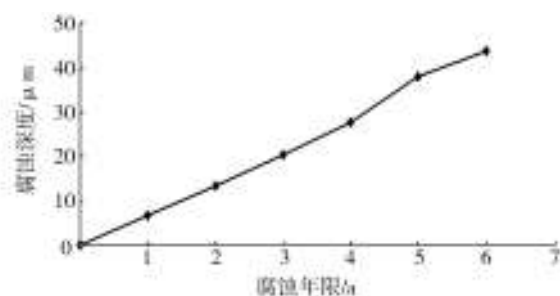


图5 腐蚀深度随腐蚀年限的变化

Fig. 5 The change of corrosion depth by years

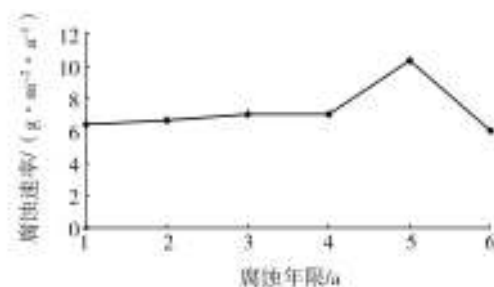


图6 腐蚀深度的年腐蚀速率随腐蚀年限的变化

Fig. 6 The change of corrosion depth based annual corrosion rate by years

文献[6]指出,腐蚀深度 D 随腐蚀时间 t 的变化规律可用如下幂函数式描述。

$$D=At^n \quad (3)$$

将式(3)两边取对数,由6种加速腐蚀时间的(D_{50}, t)的数据进行线性回归,可得 $A=6.104$, $n=0.9736$ 。

$$D=6.104t^{0.9736} \quad (4)$$

由于蚀孔的出现,导致大面积阴极和小面积阳极(孔底)的盐酸腐蚀(蚀孔附近的外表面因发生阴极氧还原反应,使它不受腐蚀,甚至可能钝化),使孔底腐蚀愈来愈严重,形成自催化过程。从而有图5中铝单丝腐蚀深度随腐蚀年限逐年增加的现象。

3 结论

1) 在宁波地区的加速腐蚀环境下,年腐蚀质量损失速率在前5年的变化比较剧烈,前3年腐蚀速率有增加的趋势,3年后开始降低,5年后趋于稳定,特别是在7年后腐蚀达到饱和,铝丝不再腐蚀。

2) 腐蚀深度随着腐蚀年限的增加而增加,可以判定该铝单丝的腐蚀模式为典型的点蚀。年腐蚀深度速率在前4年变化比较缓慢,但在第5年增加很快,第6年又趋于缓慢。

比较结论1)和2),年腐蚀质量损失速率在第3年达到最大,而年腐蚀深度速率在第5年达到最大,说明3年后铝丝的腐蚀主要向深度方向发展。这种发展的后果将较大地影响材料的抗疲劳性能;综合1)与2),腐蚀质量损失和腐蚀深度二者有一定的相关性,但规律不尽一致。

综上所述,在为宁波地区选用输电铝导线时,应该基于当地腐蚀试验环境谱和输电导线腐蚀动力学

规律,选用抗腐蚀性能好的铝导线。如文献[7]所述的超耐腐蚀导线,在福建平潭岛上就取得了很好的效果。也可以根据输电导线腐蚀动力学规律,及时检修并更换腐蚀失效的输电导线。

参考文献:

- [1] HATCH J E. Aluminum Properties and Physical Metallurgy [M]. Ohio: Metals Park, 1984.
- [2] 刘文琰,李玉海. 飞机结构日历寿命体系评定技术[M]. 北京:航空工业出版社,2004.
- [3] 杨晓华,姚卫星,陈跃良. 加速疲劳寿命试验在飞机结构日历寿命研究中的应用[J]. 腐蚀科学与防护技术,2002, 14(3):172—174.
- [4] 杨晓华,张珂. 宁波地区当量加速环境谱的编制[J]. 装备环境工程,2010,7(4):76—80.
- [5] 蒋祖国. 飞机结构腐蚀疲劳[M]. 北京:航空工业出版社, 1992.
- [6] 吴大方,刘文琰. 耐久性分析中疲劳断口 CCD 图像处理技术的研究[J]. 航空学报,1998,19(4):410—413.
- [7] 黄豪士,江建华. 超耐腐蚀型导线及其在平潭岛输电线路上的应用[J]. 电线电缆,2012(2):1—4.

(上接第39页)

- 物理与失效分析技术,2008,26(6):25—27.
- [4] 肖诗满,彭泽亚. 声扫检测中易误判的塑封器件的验证方法[J]. 可靠性物理与失效分析技术,2010,28(6):46—48.
 - [5] 古关华. 用扫描声学显微镜进行塑封器件的封装分层分析[J]. 可靠性物理与失效分析技术,2004(2):14—16.
 - [6] 刘慧丛,邢阳,李卫平. 湿热环境下湿度对塑封器件贮存可靠性的影响[J]. 北京航空航天大学学报,2010,36(9):

1089—1093.

- [7] GJB 4027A—2006,军用电子元器件破坏性物理分析方法[S].
- [8] 李树桢,晓阳,同敏. 基于温度循环的ALT技术在电子产品中的应用[J]. 装备环境工程,2009,6(6):73—77.
- [9] 赵树峰,庞兴收,姚晋钟. 塑封胶吸湿对器件分层影响的研究[J]. 电子工业专用设备,2008(7):4—9.
- [10] 张鹏,陈亿裕,刘建. 热膨胀系数不匹配导致的塑封器件失效[J]. 电子与封装,2007,7(4):37—39.