

文章编号: 1673-1522 (2008) 02-0221-03

# 飞机结构腐蚀损伤尺寸的关联性分析与探讨

陈定海<sup>1</sup>, 郭兵<sup>2</sup>, 朱做涛<sup>1</sup>

(1. 海军航空工程学院 研究生管理大队, 山东 烟台 264001; 2. 海军装备部, 北京 100841)

**摘要:** 基于某型水上飞机结构材料铝合金的外场腐蚀普查数据, 建立了腐蚀深度与腐蚀面积的相关性计算模型, 经研究发现, 这两者有着较好的关联关系。所以, 在外场腐蚀普查过程中可以通过测量腐蚀损伤表面积, 预测腐蚀深度的大小, 因而本文可以为获得飞机结构腐蚀深度提供一种简单而可行的预测方法。

**关键词:** 腐蚀面积; 腐蚀深度; 日历年限; 回归分析

**中图分类号:** TG172.9; V214

**文献标志码:** A

## 0 引言

飞机结构在实际使用中除受到交变载荷作用外, 还要受到环境因素的侵蚀。相关研究表明, 对飞机结构主体材料铝合金腐蚀损伤研究必须考虑环境因素<sup>[1, 2]</sup>。海军飞机分布在沿海各机场, 服役环境恶劣, 飞机结构就可能产生比较严重的腐蚀。腐蚀损伤的存在, 一方面, 使飞机的结构件功能下降或失效, 大大降低飞机结构疲劳寿命, 严重影响着飞机的使用安全; 另一方面, 腐蚀的产生增加飞机结构修理费用, 大大降低了飞机的使用经济性。在外场飞机腐蚀的例行检查中, 若能准确测量到构件的腐蚀深度, 则可根据此数据估算出构件的剩余强度, 就能决定构件是修理补强还是更换, 从而节省飞机结构修理费用和提高飞机使用安全度。

## 1 飞机结构腐蚀损伤数据的测量与要求

由于各种因素的影响, 腐蚀损伤的几何形状非常复杂, 很难用某一规则的形状进行描述, 以往研究一般取腐蚀深度作为腐蚀损伤的度量来对其进行研究<sup>[3, 4]</sup>。在实际的服役环境条件下, 腐蚀坑在长、宽、深三个方向均发生变化, 且随着腐蚀损伤的加重, 腐蚀面积逐渐变大, 腐蚀深度也逐渐变深, 腐蚀严重时疲劳寿命大大降低。因此, 在不同的服役年限下腐蚀面积与腐蚀深度存在一定的相关性。图1和图2是某型飞机结构件腐蚀照片。

一般研究分析飞机腐蚀损伤数据, 需要是同一

架飞机结构件在不同日历年限测得的腐蚀损伤数据。但是, 在外场飞机检查中, 一旦发现腐蚀损伤部位, 马上按技术要求进行防腐蚀处理, 很难在同架飞机上得到同一部位腐蚀坑的连续发展数据。因此, 要求测量的飞机结构件腐蚀损伤数据取自同一个服役机场的不同飞机, 且腐蚀构件的材料、加工工艺、防护体系相同, 则可以把这些测量到的腐蚀损伤数据作为一个母体来考虑, 这样即可得到在飞机服役不同日历年限时腐蚀损伤坑的连续发展数据。表1给出了某型水上飞机在不同日历服役年限时测量得到的腐蚀损伤数据。

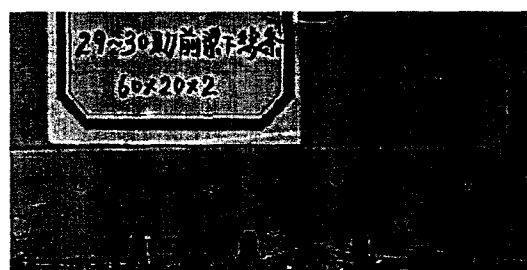


图1 某型飞机 29~30 肋的腐蚀损伤



图2 某型飞机 3~4 肋的腐蚀损伤

收稿日期: 2007-09-24

作者简介: 陈定海 (1977-), 男, 工程师, 硕士生。

表1 某型水上飞机翼梁缘条不同日历年限时的腐蚀损伤外场测量数据(共115个腐蚀部位)

日历年限/a	6	7	8.5	10	12.5
腐蚀尺寸 (长×宽×深)/mm	90.0×26.0×1.7	55.0×20.0×0.8	66.0×21.0×0.9	150.0×20.0×1.8	106.0×21.0×1.1
	41.0×21.0×0.6	95.0×25.0×1.2	96.0×33.0×1.9	120.0×20.0×1.7	56.0×28.0×0.8
	30.0×10.0×0.3	55.0×16.0×0.7	110.0×34.0×2.1	120.0×20.0×1.5	134.0×26.0×2.0
	...	...	...	...	...
	90.0×12.0×0.8	80.0×30.0×1.5	83.0×33.0×1.8	122.0×26.0×2.0	90.0×33.0×1.7
	41.0×21.0×0.7	60.0×35.0×1.5	89.0×30.0×1.9	60.0×18.0×0.8	120.0×33.0×2.2
	56.0×27.0×1.1	85.0×24.0×1.2	44.0×36.0×1.0	155.0×25.0×2.4	230.0×33.0×3.5

## 2 腐蚀损伤规律函数的建立

以往的研究表明飞机结构的腐蚀损伤深度分布符合形式有正态分布<sup>[4]</sup>、Gumbel 第一极值分布<sup>[5]</sup>、威布尔分布<sup>[3]</sup>等,腐蚀面积服从正态分布规律<sup>[4]</sup>。这里认为腐蚀深度、腐蚀面积均服从正态分布。

### 2.1 腐蚀面积与腐蚀深度关联模型的建立

以往大量的文献对腐蚀深度与飞机服役日历年限之间关系研究比较多,对腐蚀面积与腐蚀深度之间关系研究得比较少。本文结合某型飞机大修测得的铝合金材料腐蚀损伤数据(见表1),运用回归分析方法将表1的数据拟合,建立了腐蚀深度与腐蚀面积之间的关联函数,拟合的结果见表2。

表2 不同日历年限下腐蚀面积与腐蚀深度的拟合结果

日历年限/a	腐蚀面积与腐蚀深度关系 (S/mm <sup>2</sup> , D/mm)	R	R <sub>c</sub> (α=0.05)
6	D=0.000 665S+0.09	0.965 5	0.274 2
7	D=0.000 614S+0.17	0.978 3	0.295 5
8.5	D=0.000 571S+0.28	0.958 9	0.358 4
10	D=0.000 589S+0.30	0.958 0	0.305 4
12.5	D=0.000 662S-0.16	0.978 5	0.310 8

其中临界相关系数<sup>[3]</sup>是指在显著性水平α下满足假设分布的线性相关系数,即

$$R_c = \frac{t_\alpha(n-2)}{\sqrt{(n-2)+t_\alpha^2(n-2)}}, \quad (1)$$

式中:n为样本总体;t<sub>α</sub>为在显著性水平α下t分布分位数。

图3至图7是对不同日历年限数据点的拟合。从拟合的结果来看具有较好的线性相关性,且它们之间的相关系数R远大于它们的临界相关系数R<sub>c</sub>,而对回归系数置信估计(显著性水平α=0.05)几乎数据点都在区间内,因此认为腐蚀深度与腐蚀面积成线性关系。

同时采用表1中数据,运用二元回归分析方法对结构件腐蚀面积、日历使用年限与腐蚀深度之间

的关联关系,进行拟合研究,得到的关联性模型函数如下:

$$D=0.000594S+0.019Y, \quad (2)$$

式中:D为腐蚀深度;S为腐蚀面积;Y为日历年限。

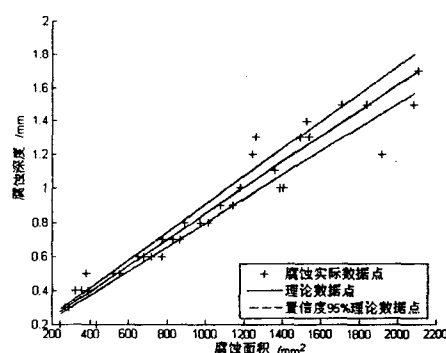


图3 6a 腐蚀面积与腐蚀深度的关系

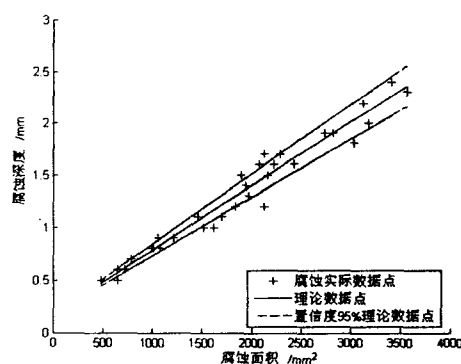


图4 7a 腐蚀面积与腐蚀深度的关系

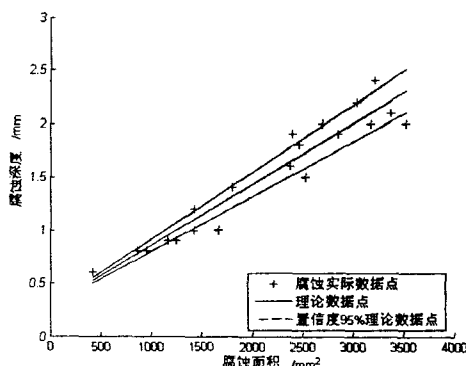


图5 8.5a 腐蚀面积与腐蚀深度的关系

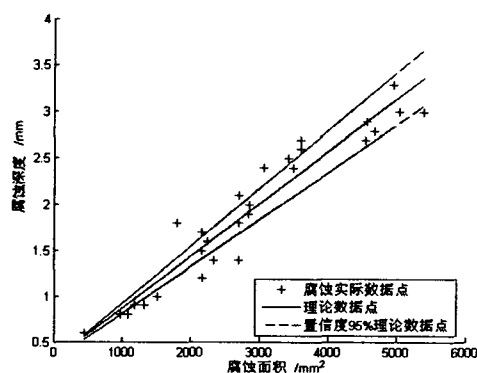


图6 10a 腐蚀面积与腐蚀深度的关系

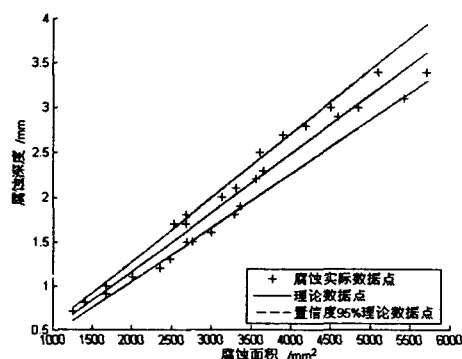


图7 12.5a 腐蚀面积与腐蚀深度的关系

## 2.2 算例验证

依据本文建立的两个关联函数模型,采用不同腐蚀年限时检测到的腐蚀坑数据进行验证计算,计算结果见表3。从表3看到两种方法的误差都在10%以内,即是说产生的误差都小于一个数量级。因此,工程中可采用此方法,以测量不同服役年限时构件腐蚀的表面积,来预测腐蚀深度及腐蚀发展的动力学规律。

## 3 结束语

通过对飞机结构材料(高强度铝合金)腐蚀损伤数据的拟合计算分析,得到了腐蚀深度与腐蚀面积呈线性关系,同时还得到腐蚀损伤深度与日历使用年限、腐蚀面积的三者之间的关联函数。运用这两种关联模型函数在外场飞机腐蚀检查中不用专用测量器或打磨就能估算出构件腐蚀坑深度,并能预测出腐蚀损伤进一步发展的动力学规律,从而可计算出发生腐蚀的飞机结构件是否符合安全要求。飞机腐蚀构件就能进行及时、有效、经济的维修或更换,对提高飞机外场使用中的安全性和经济性有着重要的意义。

表3 测量腐蚀数据验证

日历 年限/年	测量数据/mm			一元回归方程模型/mm	绝对 误差/mm	相对 误差/%	二元回归方程模型/mm $D=0.000\ 59S+0.019Y$	绝对 误差/mm	相对 误差/%
	长	宽	深						
6	89	26	1.5	$D=0.000\ 665S+0.09$ , $D=1.628$	0.128	8.5	1.479	0.021	1.4
7	160	19	1.9	$D=0.000\ 614S+0.17$ , $D=2.036$	0.136	7.1	1.938	0.038	2.5
8.5	140	28	2.4	$D=0.000\ 571S+0.28$ , $D=2.518$	0.118	4.9	2.489	0.089	3.7
10	173	22	2.5	$D=0.000\ 589S+0.30$ , $D=2.542$	0.051	2.0	2.451	0.049	2.0
12.5	155	30	2.8	$D=0.000\ 662S-0.16$ , $D=2.918$	0.118	4.2	2.999	0.199	4.2

## 参考文献:

- [1] 陈跃良, 杨晓华. LY12CZ 铝合金力学性能随日历腐蚀环境变化的研究[J]. 海军航空工程学院学报, 2002, 17(4):477-479.
- [2] 穆志韬, 柳文林, 于战樵. 飞机服役环境当量加速腐蚀折算方法研究[J]. 海军航空工程学院学报, 2007, 22(3):301-304.
- [3] 陈跃良, 杨晓华, 秦海勤. 飞机结构腐蚀损伤分布规律研究[J]. 材料科学与工程, 2002, 20(3):378-380.
- [4] 穆志韬, 熊玉平. 高强度铝合金的腐蚀损伤分布规律研究[J]. 机械工程材料, 2002, 26(4):14-16.
- [5] 胡艳玲, 李获, 郭宝兰. LY12CZ 铝合金型材的腐蚀动力学统计规律研究及日历寿命预测方法探讨[J]. 航空学报, 2000, 21(增刊):S53-S57.

(下转第230页)

#### 4 结束语

《全数字化战车目标自动跟踪系统》的这种设计方法,使得战车全数字化目标自动跟踪系统在坦克武器系统的有效射程和可视范围内,能同时实时、准确地实现对两个机动目标的跟踪;能高精度地控制瞄准线,使之始终对准跟踪的主目标;既满足军用条件下的技术要求,并具有通用化、标准化、系

列化和模块化等设计特点。如果再对某些技术和性能做些改进,一定会有其应用和移植推广的价值。

#### 参考文献:

- [1] 周启煌, 单东升. 坦克火力控制系统[M]. 北京: 国防工业出版社, 1996.
- [2] 周启煌. 数字式坦克火控系统基本原理[M]. 北京: 兵器工业出版社, 1991.

## All-Digital Target Automatic Tracking System of Combat Vehicle

LIU Chun-yan, GE Yin-mao, HAN Zhao-fu, OUYANG huan

(Qingdao Branch of NAAU, Qingdao Shandong 266041, China)

**Abstract:** The all-digital target automatic tracking system of Combat Vehicle can automatically track and collect dimension information and deal with high speed target information immediately. On the bases of analyzing the system, the design of hardware and software was introduced and the important role was pointed out.

**Key words:** Combat Vehicle; all-digital; target automatic tracking

=====

(上接第 223 页)

## Analysis and Discussion on Relevance of the Size of Corrosion Damage in the Aircraft Structure Corrosion

CHEN Ding-hai<sup>1</sup>, GUO Bing<sup>2</sup>, ZHU Zuo-tao<sup>1</sup>

(1. Graduate Students' Brigade of NAAU, Yantai Shandong 264001, China;

2. Naval Equipment Department, Beijing 100841, China)

**Abstract:** Based on the outfield corrosion census data of a type of seaplane, a mode used to calculate the correlation of corrosion area and corrosion depth was established, and it was revealed that corrosion area and corrosion depth were closely related through research. So, it is feasible to use corrosion area to forecast corrosion depth and we can apply a simple and useful forecasting method for getting corrosion depth of hydroplane structure.

**Key words:** corrosion area; corrosion depth; calendar limit year; regression analysis