

# 经常拆装钢紧固件区域腐蚀防护改进

孙祚东, 王小龙

(中国特种飞行器研究所, 湖北 荆门 448035)

**摘要:** 目的 提升经常拆装的钢紧固件区域的腐蚀防护水平。方法 通过盐雾试验考察经常拆装对钢紧固件区域腐蚀的影响。制定改进方案,并通过加速腐蚀试验进行验证。结果 经常拆装对紧固件区域防护层会产生明显破坏作用,通过更换紧固件表面处理方式、孔壁防护、装配密封和喷涂缓蚀剂等措施可明显提升腐蚀防护水平。结论 采用腐蚀防护改进方案可有效解决经常拆装的钢紧固件区域的腐蚀问题,可在飞机制造和使用维护中推广应用。

**关键词:** 紧固件; 加速腐蚀试验; 表面处理

**DOI:** 10.7643/issn.1672-9242.2015.06.019

**中图分类号:** TJ85; V250.2; TG174.42 **文献标识码:** A

**文章编号:** 1672-9242(2015)06-0109-05

## Corrosion Prevention Improvement on the Area of Frequently Dismounting Steel Fastener

SUN ZUO-dong, WANG Xiao-long

(Special Vehicle Research Institute of China, Jingmen 448035, China)

**ABSTRACT:** **Objective** To improve the corrosion prevention level of the frequently dismounting area of steel fastener. **Methods** The salt fog test was used to review the impact on the frequently dismounting steel fastener area. The improving scheme was established, which was validated by accelerated corrosion test. **Results** The frequently dismounting and assembly had significant breakage effect on the defense coatings of the fastener area. Corrosion prevention level was markedly improved by replacement of surface treatment approaches, fastener hole wall prevention, assembly seal and application of corrosion inhibitor. **Conclusion** Corrosion protection measures can effectively solve the corrosion problem in the frequently dismounting area of steel fastener, which could be popularized in aircraft manufacture and maintenance.

**KEY WORDS:** fastener; accelerated corrosion test; surface treatment

通过对海洋环境下服役的飞机腐蚀检查发现,紧固件及周围区域极易发生腐蚀<sup>[1-3]</sup>,尤其是经常拆装的钢制紧固件。具体腐蚀部位既包括紧固件本身,也包括紧固件孔壁、紧固件孔周围的机体结构。紧固件区

域的腐蚀不仅会导致紧固件拆装困难,而且会造成紧固件提前失效,影响到飞机的安全<sup>[4-5]</sup>。另外,紧固件区域的局部腐蚀往往会成为机体结构的腐蚀源,引起机体结构的大面积腐蚀。因此,需要对经常拆装的钢

收稿日期: 2015-06-08; 修订日期: 2015-07-19

Received: 2015-06-08; Revised: 2015-07-19

作者简介: 孙祚东(1971—),男,黑龙江东宁人,高级工程师,主要研究方向为腐蚀防护与控制。

Biography: SUN Zuo-dong(1971—), Male, from Dongning, Heilongjiang, Senior engineer, Research focus: corrosion prevention and control.

紧固件部位采取有针对性的防护措施。

## 1 拆装对紧固件区域腐蚀性能的影响试验

### 1.1 试验方法

采用某型飞机典型连接形式制作单剪对接试验件,紧固件为航标件,材料为30CrMnSiA,垫圈、螺栓采用镀锌钝化,螺母采用镀镉钝化。试验件板材为2A12铝合金,表面采用硫酸阳极化后喷涂环氧底漆和聚氨酯面漆。典型连接试验件如图1所示。

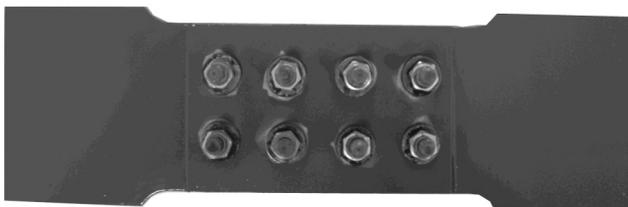


图1 试验件  
Fig.1 Test specimens

预先对紧固件进行拆装,次数分别为1,5,10,20次,然后进行90 h中性盐雾试验。

### 1.2 试验结果

在进行了90 h中性盐雾试验后(NaCl的质量分数为5%),对紧固件区域腐蚀情况进行观察。

未拆装紧固件垫圈基本完好,螺母安装受力磨损处和螺栓外露部分变黑,失去光泽,紧固件孔壁保持金属光泽。拆装1次的螺栓在盐雾试验后,外露部位即出现少量红锈,非外露部位失去光泽,红锈面积随着拆装次数的增多而增加。垫片在拆装10次后镀层明显损伤,出现白色腐蚀产物;拆装20次后镀层基本消失,表面出现红锈。经拆装后的螺母镀层均失去光泽,但尚未腐蚀。经拆装后的紧固件孔壁均失去光泽,表面均出现灰白色腐蚀产物斑块。拆装1次和20次的紧固件的腐蚀情况如图2所示。

试验表明,紧固件拆装后,腐蚀产物可渗入到紧固件孔中,引起孔壁及紧固件发生腐蚀。紧固件表面镀层损伤程度与拆装次数成正比。镀锌螺栓、垫片损伤较为严重,镀镉螺母基本完好。

### 1.3 腐蚀原因分析

经常拆装的钢紧固件区域极易发生腐蚀,经过分析,主要有以下几个原因。

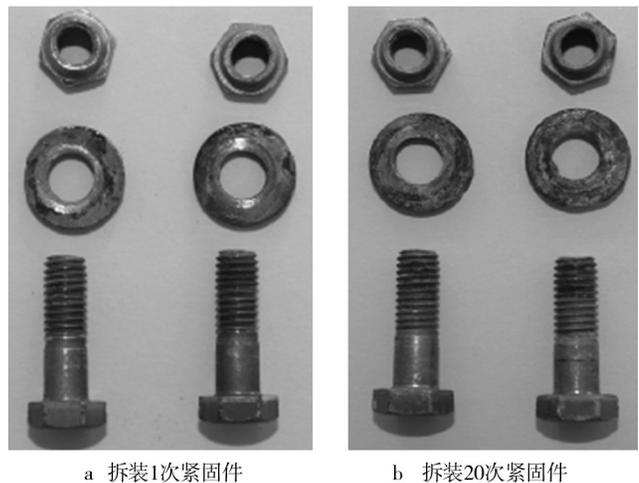


图2 拆装后紧固件腐蚀情况

Fig.2 Corrosion state after dismounting and assembly

1) 紧固件表面处理层耐蚀性差。经检查发现,发生腐蚀的主要是直径为8 mm或以下的钢紧固件。该部分紧固件螺栓、垫片在国内主要采用镀锌进行表面处理,镀锌层在海洋环境下不仅耐蚀性能较差<sup>[6]</sup>,而且经过拆装后容易脱落。

2) 紧固件孔壁未进行防护。在飞机制造时,紧固件孔壁如果不进行专门的表面防护,腐蚀介质浸入后,将直接引起基体的腐蚀。

3) 表面漆层失效。紧固连接结构拆卸后,紧固件孔处、接合面处涂层发生断裂,如果再次安装时未采取有效的补充防护措施,腐蚀介质可直接渗入到紧固件孔中和接合面内,导致紧固件及孔壁发生腐蚀,并从紧固件孔处向机体结构扩展。

由此,对于经常拆装的钢紧固件连接区域的腐蚀防护,应从紧固件表面处理的改进、紧固件孔壁防护、改进装配工艺等三个方面开展工作。

## 2 腐蚀防护改进方案

根据对经常拆装的钢紧固件区域腐蚀原因分析,并参考国内外飞机腐蚀防护设计、修理经验,制定了腐蚀防护改进方案。

1) 改进紧固件表面处理工艺。根据试验结果,在海洋环境下镀镉的耐腐蚀性能明显优于镀锌工艺,因此原采用镀锌钝化工艺的垫圈、螺栓,均改为镀镉钝化工艺进行表面处理。

2) 紧固件孔壁表面防护。对于未进行表面处理的铝合金结构紧固件孔壁,采用阿洛丁进行表面处理,然后涂一层防腐蚀底漆;对于未进行表面处理的

钢结构紧固件孔壁,涂一层磷化底漆。

3) 紧固件湿装配。紧固件孔壁底漆固化后,采用润滑脂对紧固件进行湿装配。采用润滑脂装配不仅可起到密封作用,防止介质渗入到缝隙中去,而且紧固件拆卸方便,便于外场施工。

4) 喷涂缓蚀剂。紧固件完成装配后,紧固连接区域表面喷涂1层软膜水置换型缓蚀剂<sup>[7-9]</sup>。缓蚀剂是腐蚀预防与控制的重要手段,具有良好的渗透性和水置换性,能迅速渗透到飞机结构缝隙内部,将缝隙内及金属表面的水分置换到外部,使金属与水分隔离。同时在金属表面沉积上一层保护膜,有效延缓金属材料的腐蚀发生<sup>[10-13]</sup>。

### 3 加速验证试验

#### 3.1 试验内容

针对经常拆装的钢紧固件区域,分别采用腐蚀防护改进方案和原设计方案制作典型连接件,通过加速腐蚀试验的方法对改进方案进行验证。

#### 3.2 试验件制备

试验件采用飞机典型单剪螺接结构,试验件板材为飞机结构常用材料2A12铝合金,紧固件采用直径为4 mm的螺栓及其配套垫片、螺母。表面处理技术采用镀镉钝化工艺,并选用镀锌紧固件进行对比验证。紧固件孔壁刷涂一层TB06-9底漆。装配时紧固件孔及紧固件表面涂3号复合磷酸钙基脂,装配后结构连接缝隙处喷涂软膜水置换型缓蚀剂。

#### 3.3 试验方法

采用加速试验环境谱进行评定试验可以明显缩短研究历程<sup>[14-17]</sup>。在环境谱编制过程中,参照海洋环境下飞机结构加速试验环境谱<sup>[18-20]</sup>,编制了某型飞机典型件加速试验环境谱,包括湿热暴露和盐雾试验两个环境模块。加速试验环境谱如图3所示。

为模拟腐蚀环境下拆装对紧固件防护性能的影响,在试验前紧固件需预先拆装20次,每个周期湿热试验、盐雾试验后分别拆装1次。改进防护方案试验件,重新装配后需喷涂软膜水置换型缓蚀剂。

#### 3.4 试验结果及分析

加速腐蚀试验10个周期后,原设计方案紧固件孔壁均出现白色腐蚀产物,紧固件表面全部被红锈覆

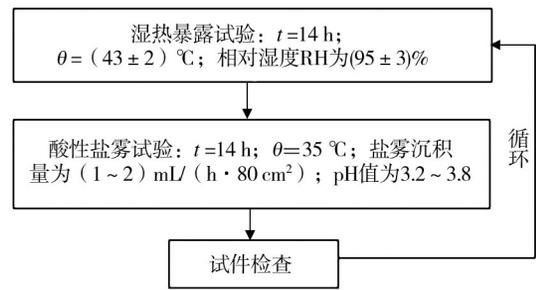


图3 加速试验环境谱

Fig.3 The environment spectrum of accelerated test

盖,如图4所示。改进方案试验件共进行了12个周期加速腐蚀试验,紧固件孔壁以及紧固件表面均未发生腐蚀现象,如图5所示。

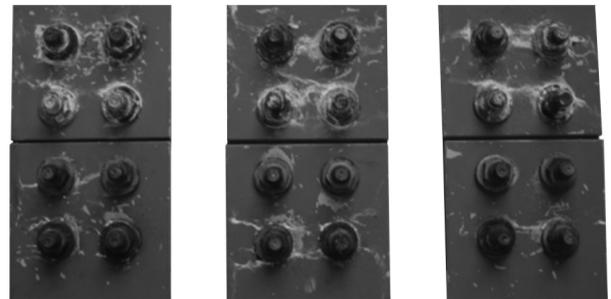


图4 原方案试验件10周期后状况

Fig.4 The original specimens after ten cycles of test

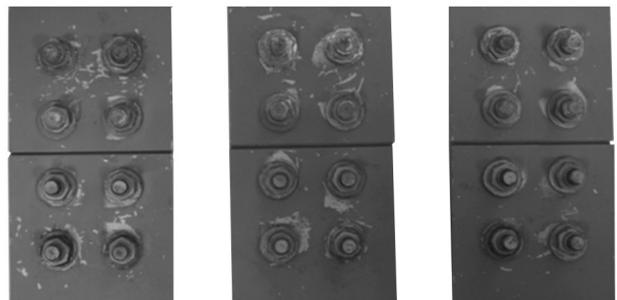


图5 改进方案试验件12周期后状况

Fig.5 The status of specimens by improved scheme after twelve cycles of test

## 4 在某型飞机典型结构部位应用

结合某型军用飞机大修任务,对可拆卸口盖防护措施进行了改进。该飞机大修后已经服役5年,整改部位经过多次拆装,未发生腐蚀现象。

## 5 结论

1) 通过对表面防护、装配密封两个方面采取综合防护措施,能够有效解决经常拆装的钢紧固连接区域腐蚀问题,可在飞机制造和使用维护中推广应用。

2) 紧固件孔壁涂漆、装配后补充喷涂缓蚀剂等防护措施,可在其他连接结构腐蚀防护设计和修理中参考应用。

### 参考文献:

- [1] 王绍明,陈立庄,赵勇. TA2钛合金与5083铝合金电偶腐蚀行为和连接工艺的研究[J]. 江苏科技大学学报, 2012, 26(2): 352—354.  
WANG Shao-ming, CHEN li-zhuang, ZHAO Yong. Study on Galvanic Corrosion Behaviors of TA2 Titanium Alloy & 5083 Aluminum Alloys and Connection Technology[J]. Journal of Jiangsu University of Science and Technolog, 2012, 26(2): 352—354.
- [2] 赵旭,孔焕平,刘昌奎,等. 飞机水平安定面后梁中段裂纹原因分析[J]. 失效分析与预防, 2013, 8(4): 236—240.  
ZHAO Xu, KONG Huan-ping, LIU Chang-kui, et al. Analysis of Crack in the Middle of Rear Beam of Horizontal Stabilizer of Airplane[J]. Failure Analysis and Prevention, 2013, 8(4): 236—240.
- [3] 彭志军,王学强,叶彬. 某型飞机腐蚀防护及设计改进[J]. 装备环境工程, 2014, 11(6): 84—89.  
PENG Zhi-jun, WANG Xue-qiang, YE Bin. Corrosion Protection and Design Improvement of an Aircraft[J]. Equipment Environmental Engineering, 2014, 11(6): 84—89.
- [4] 张琳,王振尧,赵春英,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—6.  
ZHANG Lin, WANG Zhen-yao, ZHAO Chun-ying, et al. Study on Corrosion Behavior of Carbon Steel and Weathering Steel in Salt Spray Test[J]. Equipment Environmental Engineering, 2014, 11(1): 1—6.
- [5] 李星,周人歌,陈津虎,等. 钢和硬铝的加速腐蚀试验研究[J]. 装备环境工程, 2013, 10(6): 5—8.  
LI Xing, ZHOU Ren-ge, CHEN Jin-hu, et al. Study on Accelerated Corrosion Testing of Steel and Duralumin[J]. Equipment Environmental Engineering, 2013, 10(6): 5—8.
- [6] 曹宏涛,李雪亭. 基于海洋环境的紧固件腐蚀防护要求及技术措施[J]. 表面技术, 2013, 42(1): 105—108.  
CAO Hong-tao, LI Xue-ting. Corrosion Protection Requirements and Technical Measures of Fasteners Based on the Marine Environment[J]. Surface Technology, 2013, 42(1): 105—108.
- [7] 黄昌龙. 飞机腐蚀与防腐剂的使用[J]. 航空工程与维修, 2001, (1): 35—36.  
HUANG Chang-long. Aircraft Corrosion and Its Corrosion Inhibitor[J]. Aviation Engineering & Maintenance, 2001, (1): 35—36.
- [8] 朱辰 邱实. 缓蚀剂及其在飞机上的应用[J]. 装备环境工程, 2013, 10(5): 334—337.  
ZHU Chen, QIU Shi. Corrosion Inhibitors and Their Application in Aircraft[J]. Equipment Environmental Engineering, 2013, 10(5): 334—337.
- [9] 陈群志,房振乾,康献海. 军用飞机外场腐蚀防护方法研究[J]. 装备环境工程, 2011, 8(2): 72—76.  
CHEN Qun-zhi, FANG Zhen-qian, KANG Xian-hai. Methods for Military Aircraft Field Corrosion Prevention and Control[J]. Equipment Environmental Engineering, 2011, 8(2): 72—76.
- [10] 张勇,卞贵学,陈跃良,等. 缓蚀剂对LY12铝合金搭接件疲劳寿命的影响[J]. 腐蚀与防护, 2013, 34(8): 679—682.  
ZHANG Yong, BIAN Gui-xue, CHEN Yue-liang, et al. Influence of Corrosion Inhibitors on Fatigue Life of LY12 Aluminum Alloy Lap Joints[J]. Corrosion & Protection, 2013, 34(8): 679—682.
- [11] MIL PRF-81309F, Corrosion Preventive Compounds, Water Displacing Ultra-Thin Film[S].
- [12] BMS3-35, Heavy Duty Corrosion Inhibiting Compounds[S].
- [13] 孙祚东,李云仲. 缓蚀剂在军用飞机维护中的应用研究[J]. 装备环境工程, 2014, 11(6): 100—104.  
SUN ZUO-dong, LI Yun-zhong. I Study on the Applications of Corrosion Inhibitor in Military Aircraft Maintenance[J]. Equipment Environmental Engineering, 2014, 11(6): 100—104.
- [14] 陈群志,孙祚东,韩恩厚,等. 典型飞机结构加速腐蚀试验方法研究[J]. 装备环境工程, 2004, 1(2): 13—17.  
CHEN Qun-zhi, SUN Zuo-dong, HAN En-hou, et al. Study on Accelerated Corrosion Test Methods of Typical Aircraft Structure[J]. Equipment Environmental Engineering, 2004, 1(2): 13—17.
- [15] 王艳艳,舒畅,李超. 自然环境谱转化为加速试验环境谱的方法[J]. 装备环境工程, 2014, 11(1): 34—38.  
WANG Yan-yan, SHU Chang, LI Chao. Method for Conversion of Natural Environmental Spectra to Accelerated Test Environmental Spectra[J]. Equipment Environmental Engineering, 2014, 11(1): 34—38.
- [16] 苏景新,白云,关庆丰,等. 飞机蒙皮结构表面涂层失效的电化学阻抗分析[J]. 中国腐蚀与防护学报, 2013, 33(3): 251—256.  
SU Jing-xin, BAI Yun, GUAN Qing-feng, et al. Electro-chemical Impedance Spectroscopy Analysis of Failure of Aircraft

- Surface Coating[J]. Journal of Chinese Society For Corrosion and Protection, 2013, 33(3): 251—256.
- [17] 郭军科, 于金山, 彭翔, 等. 加速腐蚀实验研究碳钢的大气腐蚀行为[J]. 表面技术, 2014, 43(4): 68—73.  
GUO Jun-ke, YU Jin-shan, PENG Xiang, et al. Study on the Atmospheric Corrosion Behavior of Carbon Steel Using Accelerated Corrosion Test[J]. Surface Technology, 2014, 43(4): 68—73.
- [18] 陈群志, 程宗辉, 席慧智, 等. 飞机铝合金结构连接部位的腐蚀行为[J]. 中国腐蚀与防护学报, 2007, 27(6): 90—93.  
CHEN Qun-zhi, CHENG Zong-hui, XI Hui-zhi, et al. Corrosion Behavior on Joint Section of Aircraft Aluminium Alloy Structure[J]. Journal of Chinese Society for Corrosion and Protection, 2007, 27(6): 90—93.
- [19] 刘文斑, 李玉海, 陈群志, 等. 飞机结构腐蚀部位涂层加速试验环境谱研究[J]. 北京航空航天大学学报, 2002, 28(1): 109—112.  
LIU Wen-ting, LI Yu-hai, CHEN Qun-zhi, et al. Accelerated Corrosion Environmental Spectrums for Testing Surface Coatings of Critical Areas of Flight Aircraft Structures[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2002, 28(1): 109—112.
- [20] 崔常京. 军用飞机地面腐蚀环境谱的研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2005.  
CUI Chang-jing. Study on the Ground Corrosion Environment Spectrum of warcraft[D]. Harbin: Harbin Engineering University, 2005.

\*\*\*\*\*

(上接第79页)

- [10] 高玉龙, 易建政, 王海丹. 弹药储存环境对弹药质量的影响[J]. 装备环境工程, 2010, 7(5): 77—78.  
GAO Yu-long, YI Jian-zheng, WANG Hai-dan. Influence of Storage Environment on Ammunition Quality[J]. Equipment Environmental Engineering, 2010, 7(5): 77—78.
- [11] 章熙民, 任泽霏, 梅飞鸣, 等. 传热学[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1985.  
ZHANG Xi-min, REN Ze-pei, MEI Fei-ming, et al. Heat Transfer Theory[M]. Beijing: Chinese Building Industry Press, 1985.
- [12] 刘子如. 含能材料热分析[M]. 北京: 国防工业出版社, 2008.  
LIU Zi-ru. Thermal Analyses for Energetic Materials[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2008.
- [13] 徐朝芬, 傅培舫, 陈刚, 等. 差示扫描量热法测定煤比热容的实验[J]. 实验技术与管理, 2010, 27(2): 24—26.  
XU Chao-fen, FU Pei-fang, CHEN Gang, et al. Experimental Study on DSC Measurement of the Special Heat Capacity of Coal[J]. Experimental Technology and Management, 2010, 27(2): 24—26.
- [14] 陈珣, 付培舫, 周怀春, 等. 煤焦比热容的模型与DSC实验研究[J]. 工程热物理学报, 2010, 31(1): 169—172.  
CHEN Xun, FU Pei-fang, ZHOU Huai-chun, et al. Study of Specific Heat Models of Coal-chars by Applying DSC[J]. Journal of Engineering Thermophysics, 2010, 31(1): 169—172.
- [15] 高才. 线性多元醇水溶液低温下的热现象研究[D]. 上海: 上海理工大学, 2004.  
GAO Cai. Thermal Phenomena Study of Linear Polyalcohols Aqueous Solutions at low Temperature[D]. Shanghai: University of Shanghai for Science and Technology, 2004.
- [16] 徐抗震, 赵凤起, 杨冉, 等. GNTO的热分解动力学和比热容及绝热至爆时间研究[J]. 固体火箭技术, 2009, 32(1): 74—78.  
XU Kang-zhen, ZHAO Feng-qi, YANG Ran, et al. Non-isothermal Decomposition Kinetics, Specific Heat Capacity and Adiabatic Time-to-Explosion of GNTO[J]. Journal of Solid Rocket Technology, 2009, 32(1): 74—78.
- [17] 徐抗震, 常春然, 宋纪蓉, 等. RDX的比热容、热力学性质及绝热至爆时间[J]. 火炸药学报, 2008, 31(4): 35—38.  
XU Kang-zhen, CHANG Chun-ran, SONG Ji-rong, et al. Specific Heat Capacity, Thermodynamic Properties and Adiabatic Time-to-Explosion of RDX[J]. Chinese Journal of Explosives & Propellants, 2008, 31(4): 35—38.
- [18] 乔小晶, 郝志坚, 樊帆, 等. 高氯酸碳酰肼类配合物的比热容研究[J]. 含能材料, 2009, 17(1): 103—106.  
QIAO Xiao-jing, HAO Zhi-jian, FAN Fan, et al. Special Heat Capacities of Carbohydrazide Perchloric Acid Coordination Compounds[J]. Chinese Journal of Energetic Materials, 2009, 17(1): 103—106.
- [19] 奚同庚. 无机材料热物性学[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1981.  
XI Tong-geng. Thermophysical Properties of Inorganic Materials[M]. Shanghai: Shanghai Science Technology Press, 1981.