

DJB-823 保护剂对典型航空电连接器 腐蚀行为的影响

战贵盼, 谭晓明, 张丹峰, 曾柯鸿

(海军航空大学青岛校区, 山东 青岛 266041)

摘要: **目的** 分析 DJB-823 保护剂对典型铝合金电连接器的影响。**方法** 在实验室条件下针对未喷涂和喷涂 DJB-823 保护剂的典型铝合金电连接器开展对比酸性盐雾试验, 以孔蚀率、腐蚀速率和接触电阻为指标参数, 表征腐蚀行为规律。**结果** 保护剂对电连接器有明显的腐蚀防护作用, 保护剂使得电连接器孔蚀率降低了 24%~37%。保护剂能有效保证电连接器腐蚀前后接触电阻变化不大, 未喷涂保护剂的电连接器盐雾腐蚀 336 h 后, 接触电阻增大到 2.5 mΩ, 达到临界失效状态。**结论** 保护剂对酸性盐雾条件下的 AF24-10 型铝合金电连接器腐蚀防护作用明显。

关键词: 电连接器; DJB-823 保护剂; 酸性盐雾试验; 腐蚀机理; 孔蚀率; 接触电阻

中图分类号: TG174.42; V243

文献标识码: A

文章编号: 1672-9242(2021)02-0078-05

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2021.02.014

Influence of DJB-823 Protective Agents on Corrosion Behavior of Typical Electrical Connectors

ZHAN Gui-pan, TAN Xiao-ming, ZHANG Dan-feng, ZENG Ke-hong

(Qingdao Campus of Naval Aviation University, Qingdao 266041, China)

ABSTRACT: This paper aims to analyze the influence of DJB-823 protective agent on typical aluminum alloy electrical connectors. Under laboratory conditions, an acid salt spray test was carried out on the typical aluminum alloy electrical connectors with or without DJB-823 protective agent sprayed. The corrosion behavior was characterized by taking pitting factor, corrosion rate and contact resistance as index parameters. The results show that the protective agent has an obvious protective effect on electrical connectors, which reduces the pitting factor of electrical connectors by about 24%-37%; and the protective agent can effectively ensure that the contact resistance of the electrical connectors does not change much before and after the corrosion, but the contact resistance of the electrical connectors without the protective agent sprayed increases to 2.5 mΩ after 336 h of the salt spray corrosion, reaching the critical failure state. Therefore, it can be concluded that the protective agent has obvious protective effect on the AF24-10 aluminum alloy electrical connectors under the condition of acid salt spray.

KEY WORDS: electrical connectors; DJB-823 protective agent; acid salt spray test; corrosion mechanism; pitting factor; con-

收稿日期: 2020-10-19; 修订日期: 2020-11-26

Received: 2020-10-19; Revised: 2020-11-26

作者简介: 战贵盼 (1995—), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为飞机电子设备腐蚀与防护控制。

Biography: ZHAN Gui-pan (1995—), Male, Master, Research focus: corrosion protection and control of aircraft electronic equipment.

通讯作者: 谭晓明 (1975—), 男, 博士, 副教授, 主要研究方向为飞机结构腐蚀防护与控制、腐蚀疲劳及寿命可靠性。

Corresponding author: TAN Xiao-ming (1975—), Male, Ph. D., Associate professor, Research focus: corrosion protection and control of aircraft structures, corrosion fatigue and life reliability.

引文格式: 战贵盼, 谭晓明, 张丹峰, 等. DJB-823 保护剂对典型航空电连接器腐蚀行为的影响[J]. 装备环境工程, 2021, 18(2): 078-082.

ZHAN Gui-pan, TAN Xiao-ming, ZHANG Dan-feng, et al. Influence of DJB-823 protective agents on corrosion behavior of typical electrical connectors [J]. Equipment environmental engineering, 2021, 18(2): 078-082.

tact resistance

海军飞机(尤其是舰载机)要经常遭受盐雾、高温高湿、海浪飞溅、海洋季风雨和 SO_2 气体等严酷服役环境的侵蚀作用^[1-3]。电连接器壳体腐蚀、插针断针、电气性能下降和断路等腐蚀故障多发频发^[4-5], 导致维修负担明显增加, 战备完好性劣化, 任务成功率降低, 甚至导致灾难性事故^[6]。由此, 电连接器的腐蚀问题应当引起足够重视。

使用缓蚀剂是飞机腐蚀防护的重要手段^[7-10]。DJB-823 保护剂是一种适用于电子电气产品的缓蚀剂, 是以润滑剂和金属缓蚀剂相结合的一种人工合成有机新材料^[11-12], 具有优良的防护性能, 可有效提高金属的抗腐蚀能力。彭孝权^[11]和党喜龙^[13]认为, DJB-823 保护剂可以大量应用于电子产品, 对电气性能影响很小, 可以有效提高电子产品抗腐蚀能力, 延长使用寿命。郑秋麟等^[14]通过对喷涂 DJB-823 保护剂的铝合金导电性能进行的分析研究表明, DJB-823 保护剂能有效提高铝合金耐蚀性能。但是, 以上研究均没有深入分析 DJB-823 保护剂对电连接器的缓蚀机理和定量表征 DJB-823 保护剂的缓蚀程度。

文中以海军飞机典型电连接器为研究对象, 在实验室条件下开展喷涂和未喷涂 DJB-823 保护剂的对比酸性盐雾试验, 通过扫描电镜微观分析揭示微观机理, 以孔蚀率、腐蚀速率和接触电阻为指标参数, 定量表征电连接器的腐蚀行为, 分析 DJB-823 保护剂对典型航空电连接器腐蚀行为的影响, 为现役飞机腐蚀维修提供技术支持。

1 试验研究

1.1 试验件制备

试验对象为典型铝合金电连接器, 型号为 AF24-10, 如图 1 所示。制备过程如下: 用剥线钳截取相同长度的耐高温绝缘航空导线, 并且在两端准备好适当长度的线头; 在靠近一端处套上打印好标记的热缩管, 并进行热缩处理; 在工作台上用电烙铁将导线另一端与插针插孔的接线端进行焊接处理, 完成试验件的制备工作; 试验件完成导线焊接后进行分解, 将电连接器零部件和焊接好导线的插针插孔放入无水乙



图 1 制备的 AF24-10 电连接器试验件

Fig.1 Test piece of AF24-10 electrical connector prepared

醇中进行超声清洗 15 min, 自然风干后重新装配, 以备腐蚀试验。

1.2 试验方法

为了研究 DJB-823 保护剂对电连接器的缓蚀作用, 开展对比酸性盐雾试验, 其中喷涂和未喷涂 DJB-823 保护剂的电连接器各 5 件。喷涂保护剂时, 首先将电连接器清洗干净, 喷涂前摇晃瓶身数次, 喷涂的保护剂膜应当薄且均匀, 喷涂后自然风干。

1.2.1 酸性盐雾试验

试验条件: 温度为 $40\text{ }^{\circ}\text{C}$, $5\%\text{NaCl}$ 溶液, pH 为 4.0 ± 0.2 , 盐雾沉降量为 $(1\sim 2)\text{ mL}/(\text{h}\cdot 80\text{cm}^2)$ ^[15], 每个试验周期喷雾时间为 48 h。试验过程中每隔 24 h 检测溶液 pH 值各一次, 确保溶液 pH 值符合试验标准要求。

每个试验周期结束后对试验件进行清洗, 去除腐蚀产物, 利用扫描电镜分析得到腐蚀微观形貌, 采用毫欧计测量接触电阻。

1.2.2 孔蚀率

腐蚀坑是金属腐蚀最常见的腐蚀形貌, 通过对腐蚀坑数目及面积的测量, 可以得到金属的腐蚀程度。采用文献[16]提出的图像处理技术, 运用 Matlab 软件对试件腐蚀图像进行中值滤波、灰度值变换、模糊增强等处理, 提取出腐蚀信息, 对金属的腐蚀程度进行量化处理得到其孔蚀率。表示孔蚀率的计算公式见式(1)。

$$p = \frac{n}{N} \quad (1)$$

式中: n 为腐蚀图像中蚀坑的像素点数目; N 为腐蚀图像的总像素点数目。

另为表征保护剂对电连接器的防护作用, 计算喷涂保护剂后试件孔蚀率降低率 X , 由式(2)表示, 进而更直观地观察保护剂对电连接器的影响。

$$X = \frac{p_n - p_m}{p_n} \times 100\% \quad (2)$$

式中: p_n 和 p_m 分别表示无保护剂和有保护剂试件孔蚀率, 取均值计算。

1.2.3 腐蚀速率

为了进一步表征保护剂对电连接器腐蚀防护作用, 定义腐蚀速率参数, 如式(3)所示:

$$K = \frac{\Delta p}{\Delta T} \quad (3)$$

式中: Δp 表示孔蚀率的变化量; ΔT 表示试验周期的时间变化量。根据腐蚀试验的实测数据, 按照式(3)分别计算未喷涂与喷涂保护剂的电连接器插针

头部、插针中部以及插孔头部的腐蚀速率。

2 结果与讨论

2.1 微观腐蚀形貌

采用扫描电子显微镜对电连接器插针进行微观腐蚀形貌分析。初始时电连接器插针微观形貌如图2a所示, 腐蚀48 h后, 未喷涂和喷涂保护剂电连接

器插针的腐蚀微观形貌如图2b、c所示。

当酸性盐雾腐蚀48 h, 对于未喷涂缓蚀剂的电连接器, 插针表面粗糙不平, 出现明显的蚀孔和鼓泡现象, 如图2b所示; 而对于喷涂保护剂的电连接器, 插针表面只有少量的起泡以及灰白色颗粒状腐蚀产物, 并未发现明显的孔蚀现象, 如图2c所示。所以, 通过电连接器插针的微观形貌分析可知, 保护剂对电连接器腐蚀有明显的抑制作用。

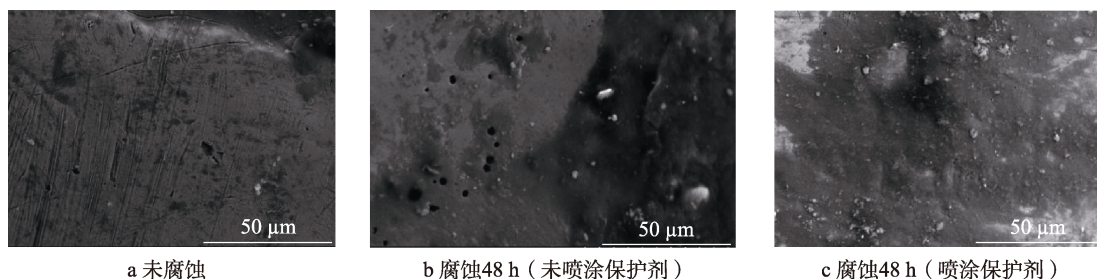


图2 电连接器插针微观形貌

Fig.2 Micromorphology of electrical connector pins: a) No corrosion; b) Corrosion for 48 h (without the protective agent); c) Corrosion for 48 h (with the protective agent)

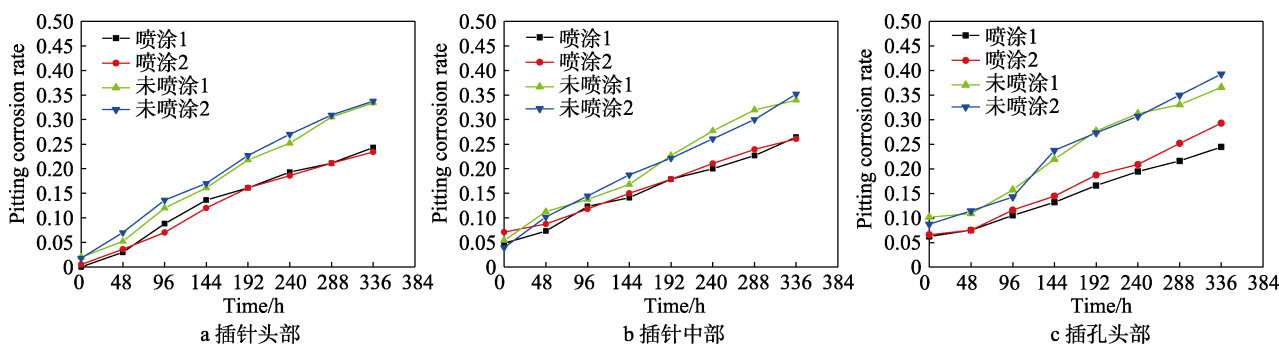


图3 电连接器孔蚀率变化规律

Fig.3 Change rules of the pitting factor of electrical connector: a) Pin head; b) Middle of pin; c) Jack head

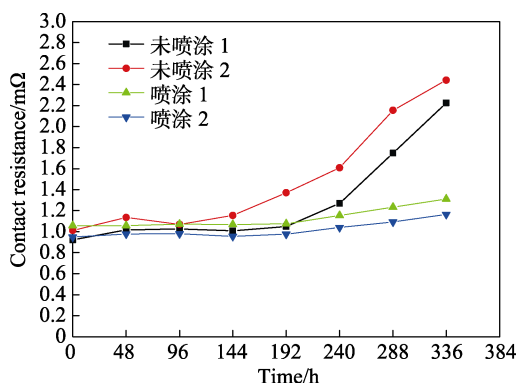


图4 接触电阻

Fig.4 Contact resistance

2.2 孔蚀率

有无823保护剂的电连接器插针头部、插针中部以及插孔头部的孔蚀率变化情况如图3所示。从图3可以看出, 电连接器腐蚀的孔蚀率与酸性盐雾腐蚀时间基本呈线性关系。在腐蚀初期, 未喷涂和喷涂保护

剂电连接器孔蚀率差别不大, 前者略大于后者。在腐蚀中后期, 两者差别越来越大, 前者明显大于后者。经分析可知, 保护剂使得电连接器接触件腐蚀程度降低了大约24%~37%, 其中对插针和插孔头部腐蚀防护作用尤为明显, 对插针中部的腐蚀防护作用次之。

2.3 腐蚀速率

未喷涂保护剂腐蚀速率:

$$K_a=0.000\ 94, K_b=0.000\ 91, K_c=0.000\ 85$$

喷涂保护剂腐蚀速率:

$$K_{aa}=0.000\ 669, K_{bb}=0.000\ 59, K_{cc}=0.000\ 61$$

式中: K_a 、 K_b 、 K_c 分别表示未喷涂保护剂的插针头部、插针中部以及插孔头部的腐蚀速率, K_{aa} 、 K_{bb} 、 K_{cc} 表示喷涂保护剂的插针头部、插针中部以及插孔头部的腐蚀速率, 代表孔蚀率变化的平均值。

通过对比分析可知, 保护剂使得电连接器插针头部、插针中部以及插孔头部的腐蚀速率分别降低了26.6%、35.2%和28.2%。

2.4 接触电阻

接触电阻增加是电连接器失效的主要表现^[17-18]。接触电阻的测量一般采用接触电阻-毫伏法。在测量时,要保证导线平直,每次测量3组数据,取平均值。未喷涂和喷涂保护剂电连接器的接触电阻变化规律如图4所示。

从图4可知,未发生腐蚀时,喷涂保护剂的电连接器接触电阻略大于未喷涂保护剂的电连接器。喷涂保护剂的电连接器接触电阻值上下波动较小,试验前后相差大约0.25 mΩ,腐蚀试验时间为336 h,接触电阻仅为1.31 mΩ。未喷涂保护剂的电连接器接触电阻值腐蚀试验前后变化较大,差值约为1.4 mΩ,而且随着腐蚀时间的增长,接触电阻增长速率越来越大。试验336 h,接触电阻达到2.5 mΩ左右,基本达到失效的状态^[19-20],可见保护剂的腐蚀防护作用明显。

3 结论

通过对未喷涂和喷涂 DJB-823 保护剂的 AF24-10 型铝合金电连接器开展酸性盐雾对比试验,得到如下结论:

1) 在酸性盐雾环境下,电连接器孔蚀率随时间呈线性增长规律,保护剂使得电连接器孔蚀率降低了24%~37%。

2) 保护剂使得电连接器插针头部、插针中部以及插孔头部的腐蚀速率分别降低了26.6%、35.2%和28.2%。

3) 保护剂能有效保证电连接器腐蚀试验前后接触电阻变化不大,增幅仅为0.25 mΩ,未喷涂保护剂的电连接器盐雾腐蚀336 h,接触电阻增大到2.5 mΩ,达到失效临界状态。因此,DJB-823 保护剂对酸性盐雾条件下 AF24-10 型铝合金电连接器的腐蚀防护作用明显。

对于现役飞机电连接器腐蚀防护措施建议如下:电连接器要尽量采取适当的密封措施,避免直接暴露在大气环境中,隔离电连接器与盐分等腐蚀介质的接触;定时清洗、去除电连接器表面(尤其是插针和插孔处)含盐介质;定期喷涂 DJB-823 保护剂。

参考文献:

- [1] 谭晓明,张丹峰,卞贵学,等.腐蚀对新型高强度铝合金疲劳裂纹萌生机理及扩展行为的作用[J].机械工程学,2014,50(22):76-83.
TAN Xiao-ming, ZHANG Dan-feng, BIAN Gui-xue, et al. The effect of corrosion on the mechanism of fatigue crack initiation and propagation behavior of new high strength aluminum alloy[J]. Journal of mechanical engineering, 2014, 50 (22): 76-83.
- [2] 穆山,李军念,王玲.海洋大气环境电子设备腐蚀控制

技术[J].装备环境工程,2012,9(4):59-63.

- MU Shan, LI Jun-nian, WANG Ling. Corrosion control technology of electronic equipment in marine atmospheric environment[J]. Equipment environmental engineering, 2012, 9(4): 59-63.
- [3] 史为民,李明,常海娟.舰载机环境分析及环境试验技术探讨[J].航空标准化与质量,2014(2):29-32.
SHI Wei-min, LI Ming, CHANG Hai-juan. Discussion on environmental analysis and environmental test technology of shipboard aircraft [J]. Aviation standardization and quality, 2014(2): 29-32.
- [4] 王玲,杨万均,张世艳,等.热带海洋大气环境下电连接器环境适应性分析[J].装备环境工程,2012,9(6):5-9.
WANG Ling, YANG Wan-jun, ZHANG Shi-yan, et al. environmental adaptability analysis of electrical connector in tropical marine atmospheric environment[J]. Equipment environmental engineering, 2012, 9(6): 5-9.
- [5] 刘向禹.电连接器失效形式分析[J].机电元件,2017,37(1):53-54.
LIU Xiang-yu. Failure mode analysis of electrical connector[J]. Electromechanical components, 2017, 37 (1): 53-54.
- [6] 林思达,潘骏,陈文华,等.电连接器可靠性研究述评[J].机电元件,2009,29(4):52-55.
LIN Si-da, PAN Jun, CHEN Wen-hua, et al. Review on reliability research of electrical connectors[J]. Electro-mechanical components, 2009, 29 (4): 52-55.
- [7] 易智全.当前航空电子设备腐蚀现状与控制[J].科技资讯,2010(17):45.
YI Zhi-quan. Current corrosion status and control of avionics equipment[J]. Science and technology information, 2010 (17): 45.
- [8] 谢义水.舰载电子设备的三防设计[J].机械工程学,2007,43(1):83-84.
XIE Yi-shui. Three defense design of shipborne electronic equipment[J]. Journal of mechanical engineering, 2007, 43(1): 83-84.
- [9] 石志想,何卫平.飞机用缓蚀剂性能分析[J].装备环境工程,2015,12(3):92-96.
SHI Zhi-xiang, HE Wei-ping. Performance analysis of corrosion inhibitor for aircraft[J]. Equipment environmental engineering, 2015, 12 (3): 92-96.
- [10] 陈群志,鞠明,余文波,等.严酷环境下飞机外场腐蚀防护对策与措施[J].装备环境工程,2017,14(3):1-7.
CHEN Qun-zhi, JU Ming, YU Wen-bo, et al. Counter-measures and measures for aircraft field corrosion protection in severe environment[J]. Equipment environmental engineering, 2017, 14 (3): 1-7.
- [11] 彭孝权.DJB-823 固体薄膜保护剂的作用原理及在电子产品上的应用[J].中国电子商情,2002(Z1):46-47.
PENG Xiao-quan. The action principle of DJB-823 solid film protector and its application in electronic prod-

- ucts[J]. China electronic business information, 2002 (Z1): 46-47.
- [12] 刑文源. DJB-823 固体薄膜保护剂的性能与应用[J]. 航天工艺, 1996 (4): 33-34.
XING Wen-yuan. Performance and application of DJB-823 solid film protector[J]. Aerospace technology, 1996(4): 33-34
- [13] 党喜龙, 薛云智. 浅谈DJB-823保护剂在电连接器中的应用[J]. 机电元件, 2007, 27(3): 25-26.
DANG Xi-long, XUE Yun-zhi. Discussion on the application of DJB-823 protector in electrical connector[J]. Electromechanical components, 2007, 27(3): 25-26.
- [14] 郑秋麟, 佟向鹏, 谢欢. 保护剂对铝合金化学导电氧化性能的影响[C]// 第六届中国航空学会青年科技论坛文集 (下册). 沈阳: 中国航空学会, 2014.
ZHENG Qiu-lin, TONG Xiang-peng, XIE Huan. The effect of protectors on the chemical conductivity and oxidation properties of aluminum alloy[C]// The 6th China aviation society youth science and technology forum (volume II). Shenyang: Chinese Society of Aeronautics and Astronautics, 2014.
- [15] 谭晓明, 王鹏, 王德, 等. 基于电化学阻抗的航空有机涂层加速老化动力学规律研究[J]. 装备环境工程, 2017, 14(1): 5-8.
TAN Xiao-ming, WANG Peng, WANG De, et al. Study on accelerated aging kinetics of aviation organic coatings based on electrochemical impedance[J]. Equipment environmental engineering, 2017, 14(1): 5-8.
- [16] 朱做涛, 穆志韬, 苏维国, 等. 基于图像处理技术的铝合金腐蚀等级评定方法[J]. 南京航空航天大学学报, 2010, 42(3): 383-386.
ZHU Zuo-tao, MU Zhi-tao, SU Wei-guo, et al. Evaluation method of corrosion grade of aluminum alloy based on image processing technology [J]. Journal of Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2010, 42 (3): 383-386.
- [17] 赵桂平. 电连接器接触特性的试验研究[J]. 机电元件, 2013, 33(1): 31-34.
ZHAO Gui-ping. Experimental study on contact characteristics of electrical connectors[J]. Electromechanical components, 2013, 33(1): 31-34.
- [18] 章文婕. 军用电子设备电连接器的防护[J]. 电子工艺技术, 2009, 26(5): 292-293.
ZHANG Wen-jie. Protection of electrical connectors for military electronic equipment[J]. Electronic technology, 2009, 26(5): 292-293.
- [19] 周珺, 李博. 飞机电连接器应用设计指南[M]. 西安: 西北工业出版社, 2018.
ZHOU Jun, LI Bo. Application design guide for aircraft electrical connector[M]. Xi'an: Northwest Industrial Press, 2018.
- [20] GJB 2905A—2004, 耐环境推、拉式快速分离圆形电连接器总规范[S].
GJB 2905A—2004, General specification for environment resistant push-pull quick separation circular electrical connector[S].