

飞机继电器腐蚀防护与控制要求

王希彬¹, 郁大照¹, 王琳¹, 杨飞²

(1. 海军航空大学 航空基础学院, 山东 烟台 264001; 2. 解放军 91213 部队, 山东 烟台 264001)

摘要: 为解决飞机继电器因腐蚀而导致性能退化甚至失效的问题, 从飞机继电器的设计、制造、检查和修理等方面提出腐蚀防护与控制要求。首先, 针对继电器的使用环境、腐蚀特点, 在继电器常见腐蚀失效模式基础上, 提出了继电器腐蚀防护与控制的一般要求; 其次, 从材料选择、表面防护、密封设计、零件加工和装配工艺等方面提出腐蚀防护设计和制造要求; 再次, 按照检查准备、检查程序、检查标准、电气性能检查、腐蚀修理等步骤, 研究制定了飞机继电器腐蚀检查与修理要求; 最后, 结合飞机日益严峻的腐蚀损伤现状, 对继电器在使用过程中的腐蚀预防与控制方法进行了探索研究。

关键词: 继电器; 腐蚀防护; 腐蚀控制; 腐蚀检查; 腐蚀修理

中图分类号: V242

文献标识码: A

文章编号: 1672-9242(2021)10-0033-06

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2021.10.006

Corrosion Protection and Control Requirements of Aircraft Relay

WANG Xi-bin¹, YU Da-zhao¹, WANG Lin¹, YANG Fei²

(1. Aviation Foundation College of Naval Aviation University, Yantai 264001, China;

2. Unit 91213 of PLA, Yantai 264001, China)

ABSTRACT: In order to solve the problem of aircraft relay performance degradation and even failure caused by corrosion, corrosion protection and control requirements are proposed from the design, manufacture, inspection and repair of aircraft relay. Firstly, according to the use environment and corrosion characteristics of relay, the general requirements of corrosion protection and control of relay are proposed on the basis of common corrosion failure modes of relay; secondly, corrosion protection design and manufacturing requirements are proposed from material selection, surface protection, sealing design, parts processing and assembly process; thirdly, according to inspection preparation, inspection procedures and inspection standards, electrical performance inspection, corrosion repair and other steps, the requirements of aircraft relay corrosion inspection and repair are studied. Finally, combined with the increasingly severe aircraft corrosion damage status, the corrosion prevention and control methods in the use process of relay are explored.

KEY WORDS: relay; corrosion prevention; corrosion control; corrosion inspection; corrosion repair

收稿日期: 2021-05-31; 修订日期: 2021-06-21

Received: 2021-05-31; Revised: 2021-06-21

基金项目: 工信部民用飞机专项 (MJ-2018-J-75)

Fund: Supported by the Civil Aircraft Special Project of MIIT (MJ-2018-J-75)

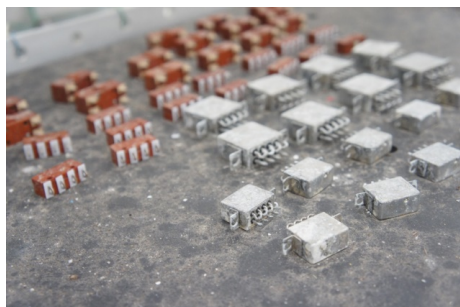
作者简介: 王希彬 (1985—), 男, 博士, 讲师, 主要研究方向为机载设备腐蚀防护与控制。

Biography: WANG Xi-bin (1985—), Male, Doctor, Lecturer, Research focus: corrosion prevention and control of airborne equipments.

引文格式: 王希彬, 郁大照, 王琳, 等. 飞机继电器腐蚀防护与控制要求[J]. 装备环境工程, 2021, 18(10): 033-038.

WANG Xi-bin, YU Da-zhao, WANG Lin, et al. Corrosion protection and control requirements of aircraft relay[J]. Equipment environmental engineering, 2021, 18(10): 033-038.

继电器,尤其是电磁继电器,作为飞机上各系统的重要元件,用于实现电信号的传递、电路的转换和电机的启停等,其可靠性直接影响到各系统能否稳定地工作以及飞机的飞行安全。影响继电器故障的一个重要因素是腐蚀,如图1所示。我国湿热海洋环境最大的特点就是高温、高湿、高盐雾,继电器长期处于



这种恶劣大气环境中,如果防护措施不到位,温度、湿度和盐分沉积率等因素都将对元器件耐腐蚀性产生较大的影响^[1],造成内部元器件的快速污染、腐蚀,直接影响了继电器的接触电阻、绝缘电阻和吸合/释放电压等电参量的改变,进而使其品质快速下降,大大缩短使用寿命,严重威胁到电气设备的安全运行^[2-5]。



图1 某型飞机继电器腐蚀
Fig.1 Corrosion of relay in an aircraft

目前,飞机继电器所用的设计和制造工艺,对严酷的腐蚀环境考虑不足。在热带海洋气候环境下,面临夏季等炎热潮湿的气候环境,使用维护人员对继电器的腐蚀检查和修理无章可循,缺少继电器的腐蚀检查维修手册和操作规程等技术指导文件。

国内在飞机结构腐蚀方面的研究相对比较成熟^[6-10],而在机载继电器等电气元件的腐蚀失效机理与防护控制研究方面,还处于起步阶段,技术基础较薄弱。目前国内外对于继电器腐蚀行为的研究尚采用传统的大气腐蚀研究方法和思维模式^[11-13],未考虑电应力对于继电器腐蚀的影响。在继电器等电气元件的腐蚀防护方面缺少技术指导,在使用控制方面缺少必要的三防漆、缓蚀剂和清洗剂等防腐用品,严重制约了行业发展和质量提升,极大地影响了飞行安全。

1 飞机继电器腐蚀防护与控制一般要求

海军飞机电磁继电器常见的腐蚀失效模式包括触点腐蚀、线圈腐蚀、引出端腐蚀、壳体腐蚀等^[14]。应对电磁继电器采取腐蚀防护措施,以保证飞机继电器满足耐久性要求,使腐蚀、脱层、磨损及由腐蚀导致的其他损伤减至最低限度。另外,应结合制造和使用维护中的腐蚀控制措施,保证飞机继电器在正常使用环境下,不出现危及飞行安全的腐蚀损伤。

1.1 腐蚀防护

腐蚀防护一般应满足如下要求^[15]:采用合理的结构设计,防止腐蚀介质的进入和积留;根据不同的结构型式和使用环境条件,设计有效的结构防腐密封形式;在综合考虑材料力学性能、耐腐蚀性能、经济性以及施加保护层的可行性等的基础上,合理选用材

料;从继电器外部结构表面到内部原件的选型,都应尽可能选用耐腐蚀性能好的防护体系。

1.2 腐蚀控制

腐蚀控制一般应满足如下要求^[15]:采取适当的工艺制造方法,有针对性地防止或减缓腐蚀;在考虑防护层经济性以及防护层与被防护零件材料之间的相容性或限制使用要求的基础上,合理选择防护层;采用缓蚀剂或隔离保护膜等改善局部腐蚀环境条件的措施,在表面防护和装配完成后,宜使用缓蚀剂进行防护处理;避免装配过程中不同材料接触而产生电偶腐蚀。

2 腐蚀防护设计要求

2.1 材料选择

材料选择应满足如下要求^[15-18]:

1) 根据继电器不同的类型、使用部位、使用条件、使用环境及结构,综合考虑材料的耐腐蚀性、工艺性和经济性等。

2) 针对可能出现的腐蚀类型选择相应的防腐蚀材料,尤其在易产生腐蚀和不容易维护的部位,应尽量选择耐腐蚀性能好的材料,同时所选用的材料应具有相容性。

3) 选用的金属应耐腐蚀,也可经过电镀或加工处理达到耐腐蚀要求。如磁钢,可采用镀镍、阳极氧化或喷漆等防腐蚀技术。

4) 当不同的金属相互直接接触使用时,应具有防止电解和腐蚀的措施,能导致活性电解腐蚀(特别是黄铜、紫铜或钢与铝或铝合金的接触使用)的不同金属不允许接触使用。

5) 触点簧片应采用耐腐蚀材料(如镀铜)或应

经过适当的电镀（如镀银或镀金处理）达到耐腐蚀要求。

6) 外用标准件（螺母、平垫圈、弹簧垫圈等）应尽量选择不锈钢等耐腐蚀材料。

7) 金属外壳应按规定配有接地装置，接地装置应尽量选择耐腐蚀材料。

8) 禁止使用汞或汞化合物。除触点外，禁止使用镁或镁合金。

9) 非金属材料，包括保护性表面材料应满足耐潮湿和防霉菌要求，焊接密封式外罩内的材料不作要求。

10) 尽量避免选择对腐蚀敏感的热处理状态。

2.2 表面防护

表面防护应满足如下要求^[16,18]：

1) 为了达到耐腐蚀要求，金属要求经过镀覆或加以处理。在焊接密封式产品的内部零部件上，不应采用锌、镉或非熔化纯锡镀层，以防止金属发生表面腐蚀。

2) 外用标准件（螺母、平垫圈、弹簧垫圈等）应镀镉，并钝化表面处理。

3) 为防止外部腐蚀，产品裸露在外部的引出端应采取镀镍等表面处理工艺。如焊接引出端应镀锡，插入式引出端应镀金。

4) 所有外露的陶瓷表面应做上釉处理，防止霉菌腐蚀。

2.3 密封设计

对于密封式电磁继电器，防腐蚀密封设计应满足如下要求^[16]：

1) 为达到防腐蚀要求，应将电磁机构部分装在外罩内，采用玻璃或陶瓷与金属封接或采用金属与金属熔焊的方法将外罩完全密封。

2) 气密封继电器应经过干燥、排气，再充入保护气体，并按 GJB 1461A—2017 规定的要求进行熔焊密封。

3) 为达到防腐蚀密封要求，环境密封封装应采用气密封封装之外的任何结构，以达到规定的密封等级。环境密封继电器应在清除所有空气后，再填充合适特性气体。

4) 为保证密封性，继电器中应充满适当的惰性气体，所充气体的露点应至少低于产品最低温度 5℃。

3 腐蚀控制要求

3.1 制造过程中的腐蚀控制

3.1.1 零件加工

零件加工过程中的腐蚀控制应满足如下要求：

1) 零件制造过程是防腐蚀控制的重要一环，应

制定合理的制造工艺，确保零件的抗腐蚀能力不会下降。

2) 为满足防腐蚀要求，工序间应进行清洗，清洗后的所有零件表面应无任何腐蚀产物、油污和其他外来物，并按 HB/Z 68—1981 进行防锈处理^[19]。

3) 在保证产品和结构寿命的前提下，应提出合理的热处理方法及工艺规程，以保证材料在特定环境中具有最佳抗腐蚀能力。

4) 不锈钢零件在制造过程中应避免在敏化温度范围内长时间停留或缓慢冷却，因为停留过长易产生晶间腐蚀。

5) 为达到防腐蚀要求，金属宜在退火状态下进行弯曲、加工和成形，且每一道工序都应使残余应力水平最低。金属（特别是含碳和氮的金属）变形冷加工产生的缺陷，容易造成局部腐蚀和增加腐蚀速率，应进行消除应力热处理。

6) 为避免产生缺陷而加快腐蚀，某些零件表面要通过加工硬化（如在表面采用喷丸强化、磨光、抛光等）来增加残余压应力。零件在淬火、机械加工硬化或电镀后，应用有机涂料涂覆其表面，改善应力腐蚀开裂性能。

7) 经电镀的零件，公差应预制合理，避免强迫装配产生损失而导致腐蚀。

8) 选择保证焊缝质量完好的焊接工艺，减少焊接缺陷，提高抗腐蚀能力。

3.1.2 装配工艺

装配工艺的腐蚀控制应满足如下要求^[15]：高强度材料零（部）件在加工、组装和装配时，应使其残余拉伸应力减至最小，以防止由于应力腐蚀开裂而导致的提前破坏；重要结构装配时，可采用工艺垫片减少装配应力，以防止应力腐蚀；不可拆卸去装（定期检查和使用寿命通常不拆卸）的紧固件，要采用缓蚀剂等进行湿装配。

3.2 腐蚀检查要求

继电器腐蚀检查和修理的一般流程如图 2 所示。

检查准备：一般在外场进行检查和修理时，应将继电器及安装用的标准件从飞机上拆下；检查时，应注意检查到产品外表面和外部标准件的所有腐蚀情况；用清洁抹布擦拭产品外表面，去除灰尘或污染物。

检查程序：对产品进行目视检查；当外壳或引出端发生腐蚀时，必须拆开产品，用放大镜检查内部腐蚀情况；如有腐蚀，确定腐蚀类型和损伤程度，如腐蚀严重，更换产品，轻微腐蚀按照 3.3 节要求进行腐蚀修理；按 HJB 609—2015 规定登记相关腐蚀信息^[20]。

检查标准：外壳和引出端应无污垢、变形、锈蚀或电镀层脱落，型号字迹应无污垢、清晰可辨；非密封产品拆开后，产品内部应无化学侵蚀、腐蚀、锈斑、

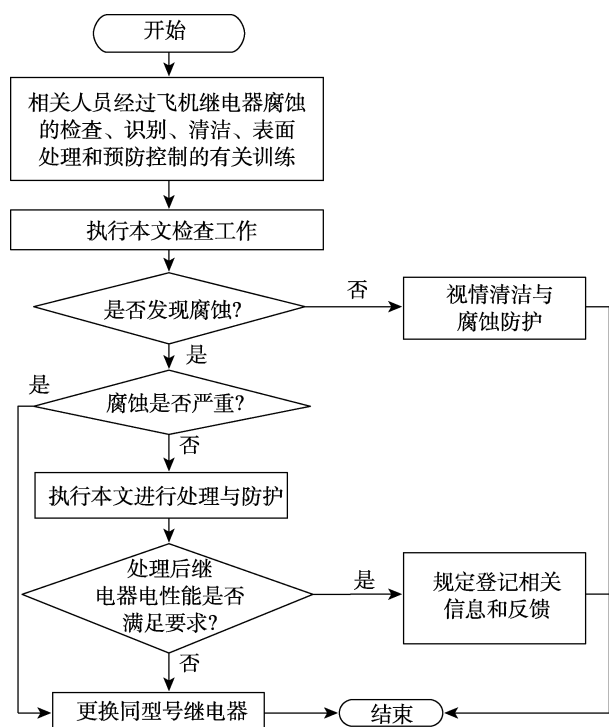


图2 继电器腐蚀检查和修理一般流程

Fig.2 General flowchart of relay corrosion inspection and repair

裂缝、内部结晶和磨损；触点应无积碳、露铜、发黑、锈蚀、镀层脱落等缺陷，周围应无金属粉末；触点弹簧片和连接片应无明显腐蚀，触点连接线应无烧焦的痕迹，触点引线片周围应无裂纹、鼓泡、烧焦等现象；线圈漆包线应无明显腐蚀；衔铁组合体、铁心、导磁壳体等部分，应无锈蚀和污物；螺母、平垫圈、弹簧垫圈等外部标准件应无腐蚀、磨损；胶木座应无龟裂、明显掉块、气泡等缺陷。

为确定继电器腐蚀是否影响了其电气性能，一般应做如下电气性能检查。

1) 检查触点压降。将继电器触点闭合，并通以额定电流，测量在触点两端产生的电压降。

2) 检查接触电阻。将继电器触点闭合，测量触点两端的电阻。

3) 检查线圈电阻。对部分有线圈电阻要求的继电器，用直流毫欧表检查继电器线圈两端的电阻。

4) 检查吸合电压。刚能使继电器吸合时，测量加在继电器线圈两端的电压。

5) 检查释放电压。处在吸合状态的继电器刚释放时，测量加在继电器线圈两端的电压。

6) 检查继电器吸合电压和释放电压时，允许只在冷状态下进行。

3.3 腐蚀修理要求

3.3.1 人员

腐蚀修理人员应满足如下要求：经过飞机继电器

的腐蚀识别、检查处理、腐蚀防护和适当的文件报告等相关培训；掌握继电器的材料性质、检查技术要求、腐蚀处理和防护方法；掌握所使用清洗剂、防护用品及耗材的性能、用途、适用范围及使用方法；能正确使用检查、清洁、修理及防护工具；掌握型号飞机技术文件中有关腐蚀防护与控制和安全等方面的要求。

3.3.2 工具和耗材

为检查和修理继电器腐蚀，通常用到以下工具及耗材，使用中应符合洁净、完好、安全、可靠的要求：继电器拆装配套工具、万用表、直流毫欧表、毛刷、烘箱、整形挫、金相砂纸、砂纸、无水乙醇、6101环氧树脂、洗涤剂、缓蚀剂、绸布、麂皮。

3.3.3 缓蚀剂

在腐蚀处理完毕后，应采用缓蚀剂减缓腐蚀，缓蚀剂^[21-26]应满足如下要求：缓蚀剂应适用于继电器的腐蚀处理与防护；应按说明书要求使用缓蚀剂，不得使用超过有效期的缓蚀剂，使用闪点低于 60℃ 缓蚀剂时，不应使用易产生静电的材料制成的抹布进行擦拭；缓蚀剂应远离火源及易产生电弧光处，不同种类的缓蚀剂不得混合使用，以防止产生爆炸。

3.3.4 修理后防护

修理后要做好防护工作。防护处理方法：修理步骤完成后，检查受污染区域是否有残留物、表面薄膜或水，如果受污染区域仍然不干净，重复进行清理操作；使用电气设备专用缓蚀剂，按使用说明对已清洗干净的部位进行防护，喷涂后用电吹风热风吹干或自然风干；使用聚氨酯胶带对壳体、引出端等进行密封包扎^[27]。

3.3.5 保存

防腐蚀保存方法：对不能及时清理完成的产品，应按规定进行正确的封盖和存放，防止其二次污染和腐蚀；对仅包含触点、线圈等小型元件，使用塑料袋进行短期贮存，长期贮存时，使用泡沫塑料包装材料和干燥剂，以防潮湿和碰撞产生腐蚀或损伤。

3.3.6 腐蚀处理信息的收集和管理

建立完善的飞机继电器腐蚀数据库，以便对继电器腐蚀信息的统计分析和信息反馈工作。

4 结语

随着飞机在海洋环境下的大量使用，在飞机进厂大修以及日常维护中，发现了大量的继电器腐蚀现象，特别是在沿海地区服役的飞机继电器腐蚀情况日趋严重。为减少腐蚀故障和降低腐蚀维修成本，从飞机继电器的腐蚀设计、制造、检查和修理等方面提出要求，对保障飞行安全具有重要意义。另外，应加强人员的腐蚀防护意识教育与技能培训，增加腐蚀防护

手段建设,提高海洋气候环境下的腐蚀防护能力。

参考文献:

- [1] 孙旭朋, 白桦, 阳辉, 等. 连接器和继电器自然暴露和盐雾试验腐蚀效应分析[J]. 环境技术, 2019, 37(3): 20-25.
SUN Xu-peng, BAI Hua, YANG Hui, et al. Anaysis of corrosion effect of natural exposure and salt spray test on connectors and relays[J]. Environmental technology, 2019, 37(3): 20-25.
- [2] 卓惠荣. 电器产品的防霉、防锈技术[J]. 机床电器, 1995, 22(6): 13-15.
ZHUO Hui-rong. Mould proof and antirust technology of electrical products[J]. Machine tool electric apparatas, 1995, 22(6): 13-15.
- [3] 陆锦铭. 电气防腐[J]. 井矿盐技术, 1980, 11(2): 34.
LU Jin-ming. Electrical corrosion protection [J]. China well mineral salt, 1980, 11(2): 34.
- [4] 邱志斌, 阮江军, 黄道春, 等. 高压隔离开关机械故障分析及诊断技术综述[J]. 高压电器, 2015, 51(8): 171-179.
QIU Zhi-bin, RUAN Jiang-jun, HUANG Dao-chun, et al. Mechanical faults analysis of high voltage disconnectors and review of diagnosis technology[J]. High voltage apparatus, 2015, 51(8): 171-179.
- [5] 吴学明. 户内外防腐蚀电工产品防护技术综述[J]. 环境技术, 1992(1): 40-44.
WU Xue-ming. Summary of indoor and outdoor anti-corrosion electrical products protection technology[J]. Environmental technology, 1992(1): 40-44.
- [6] 孙志华, 汤智慧, 李斌. 海洋环境服役飞机的全面腐蚀控制[J]. 装备环境工程, 2014, 11(6): 35-39.
SUN Zhi-hua, TANG Zhi-hui, LI Bin. Comprehensive corrosion control of naval aircraft[J]. Equipment environmental engineering, 2014, 11(6): 35-39.
- [7] 李东帆. 飞机结构的腐蚀与防护[J]. 装备环境工程, 2016, 13(1): 57-61.
LI Dong-fan. Corrosion and protection of aircraft structure[J]. Equipment environmental engineering, 2016, 13(1): 57-61.
- [8] 骆晨, 李明, 孙志华, 等. 海洋大气环境中飞机的环境损伤和环境适应性[J]. 航空材料学报, 2016, 36(3): 101-107.
LUO Chen, LI Ming, SUN Zhi-hua, et al. Environmental damage and environmental adaptability of the aircraft in marine atmosphere[J]. Journal of aeronautical materials, 2016, 36(3): 101-107.
- [9] 曾凡阳, 刘元海, 丁玉洁. 海洋环境下军用飞机腐蚀及其系统控制工程[J]. 装备环境工程, 2013, 10(6): 77-81.
ZENG Fan-yang, LIU Yuan-hai, DING Yu-jie. Research on corrosion and system engineering control technology of military aircraft in marine environment[J]. Equipment environmental engineering, 2013, 10(6): 77-81.
- [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, JYU Ming, YU Wen-bo, et al. Counter-measures for aircraft field corrosion protection under the severe environment condition[J]. Equipment environmental engineering, 2017, 14(3): 1-7.
- [11] 梁彩凤, 侯文泰. 大气腐蚀与环境[J]. 装备环境工程, 2004, 1(2): 49-52.
LIANG Cai-feng, HOU Wen-tai. Atmospheric corrosion and environment[J]. Equipment environmental engineering, 2004, 1(2): 49-52.
- [12] 杨大宁, 汪川, 王振尧, 等. 变电站常用金属的大气腐蚀行为及其防护[J]. 装备环境工程, 2016, 13(1): 126-129.
YANG Da-ning, WANG Chuan, WANG Zhen-yao, et al. Atmospheric corrosion of common metals used in transformer substation and protection measures[J]. Equipment environmental engineering, 2016, 13(1): 126-129.
- [13] YI Pan, XIAO Kui, DING Kang-kang, et al. *In situ* investigation of atmospheric corrosion behavior of PCB-ENIG under adsorbed thin electrolyte layer[J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2016(4): 1146-1154.
- [14] 恩云飞. 电子元器件失效分析技术[M]. 北京: 电子工业出版社, 2015.
EN Yun-fei. Failure analysis technology of electronic components[M]. Beijing: Electronic Industry Press, 2015.
- [15] GB/T 30215—2013, 飞机电磁继电器和接触器通用要求[S].
GB/T 30215—2013, General requirements for electromagnetic relays and contactors of aircraft[S].
- [16] GJB 1461A—2017, 大功率电磁继电器通用规范[S].
GJB 1461A—2017, General specification for high power electromagnetic relay[S].
- [17] GJB 1042A—2002, 电磁继电器通用规范[S].
GJB 1042A—2002, General specification for electromagnetic relay[S].
- [18] GJB 2635A—2008, 军用飞机腐蚀防护设计与控制要求[S].
GJB 2635A—2008, Corrosion protection design and control requirements for military aircraft[S].
- [19] HB/Z 68—1981, 工序间防锈[S].
HB/Z 68—1981, Inter process rust prevention[S].
- [20] HJB 609—2015, 海军飞机腐蚀防护与控制管理指南[S].
HJB 609—2015, Management guide for corrosion protection and control of naval aircraft[S].
- [21] 张晓云, 李斌, 汤智慧. 清洗剂 and 缓蚀剂在飞机维护中的应用[J]. 化学清洗, 1999, 15(3): 27-29.
ZHANG Xiao-yun, LI Bin, TANG Zhi-hui. Application of cleaning agent and inhibitor in aircraft maintenance[J]. Chemical cleaning, 1999, 15(3): 27-29.
- [22] 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): 90-93.
ZHU Chen, QIU Shi. Corrosion inhibitors and their ap-

- plication in aircraft[J]. Equipment environmental engineering, 2013, 10(5): 90-93.
- [23] 谭胜, 陈学军, 李玉秋. 软膜薄层防锈油的研制[J]. 河北化工, 2004, 27(3): 36-38.
- TAN Sheng, CHEN Xue-jun, LI Yu-qiu. Development of soft film rust preventive oil[J]. Hebei chemical engineering and industry, 2004, 27(3): 36-38.
- [24] 阚伟海, 陈莉荣, 姜庆宏, 等. 复合缓蚀剂对碳钢腐蚀率的影响研究[J]. 表面技术, 2015, 44(4): 127-131.
- KAN Wei-hai, CHEN Li-rong, JIANG Qing-hong, et al. Study on effects of composite corrosion inhibitor on the corrosion rate of carbon steel[J]. Surface technology, 2015, 44(4): 127-131.
- [25] 姜国杰, 杨勇进, 孙志华, 等. RJ-1 溶剂型飞机清洗剂应用研究[J]. 装备环境工程, 2015, 12(4): 142-145, 153.
- JIANG Guo-jie, YANG Yong-jin, SUN Zhi-hua, et al. Application research on RJ-1 non-aqueous aircraft cleaner[J]. Equipment environmental engineering, 2015, 12(4): 142-145, 153.
- [26] 姜国杰, 杨勇进, 王强, 等. YTF-3 飞机硬膜缓蚀剂应用研究[J]. 装备环境工程, 2016, 13(1): 19-23, 32.
- JIANG Guo-jie, YANG Yong-jin, WANG Qiang, et al. Application research on YTF-3 aircraft corrosion inhibitor with hard film[J]. Equipment environmental engineering, 2016, 13(1): 19-23, 32.
- [27] HJB 854.3—2018, 海军飞机电气线路互联系统物理检查通用技术要求 第2部分 电连接器[S].
- HJB 854.3—2018, General technical requirements for physical inspection of naval aircraft electrical circuit interconnection system Part 2 Electrical connector[S].