

# 浅析航空电子设备腐蚀因素

张莹颖, 何卫平

(结构腐蚀防护与控制航空科技重点实验室, 湖北 荆门 448035)

**摘要:** 对航空电子设备腐蚀因素进行了分析, 为腐蚀防护设计提供了依据和基础。根据航空电子设备的腐蚀失效问题、原防护体系类型及服役环境特点, 从多个角度来分析腐蚀因素, 如外部介质侵入、内部液体泄漏、设备结构上的薄弱环节等, 详细描述了各个因素对航空电子设备的腐蚀影响。由于使用环境恶劣等原因, 腐蚀介质会从多个途径侵入到航空电子设备的内部并严重影响其性能。为改善新设计或服役中航空电子设备的可靠性和可维修性, 必须从根源上隔断腐蚀源头, 无论是减轻环境的影响, 还是加强结构设计的完整性。

**关键词:** 航空电子设备; 腐蚀; 服役环境

**DOI:** 10.7643/issn.1672-9242.2016.05.029

**中图分类号:** TJ85; TG172

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1672-9242(2016)05-0176-04

## Brief Analysis of Avionics Corrosion Factors

ZHANG Ying-ying, HE Wei-ping

(Structural Corrosion Prevention and Control, Key Laboratory of Aerospace Technology, Jingmen 448035, China)

**ABSTRACT:** To analyze the corrosion factors of avionics and provide basis and foundation for corrosion protection design. According to corrosion failures, original protecting system type and service environmental features of avionics, corrosion factors were analyzed from many ways such as attacks of external airframe medium, leakage of interior airframe fluids or vulnerabilities of equipment structure. And then the influence of the above corrosion factors on avionics were described in details. Due to the bad operation environment and other reasons, corrosion fluids would attack the avionics from many ways and seriously affect its performance. To improve reliability and maintainability of new design and in-service avionics, root of corrosion must be isolated, either to reduce the environmental impact or to strengthen the integrity of the structure design.

**KEY WORDS:** avionics; corrosion; service environment

航空电子设备在其生产制造、贮存、使用的全寿命期内都会经受各种环境因素的作用, 各种恶劣环境对其性能有严重影响, 而其性能直接关系到飞机的使用性能、安全性和可靠性。因此, 航空电子设备都必须保证环境适应性, 都要在一定环境条件下满足其性能、可靠性、维修性、生存性、电磁兼容性、安全性和保障性等要求<sup>[1-4]</sup>。航空电子设备

的腐蚀防护与控制是环境适应性设计的主要内容和实施的重要保证措施。

## 1 腐蚀因素分析

以上案例说明, 液体的侵入是一个重要的腐蚀因素, 可以说是根源性问题。液体的侵入包括外部

收稿日期: 2016-05-29; 修订日期: 2016-06-08

Received: 2016-05-29; Revised: 2016-06-08

作者简介: 张莹颖(1984—), 女, 湖北麻城人, 工程师, 主要研究方向为腐蚀防护与控制工程。

Biography: ZHANG Ying-ying(1984—), Female, from Macheng, Hubei, Engineer, Research focus: corrosion protection and control engineering.

腐蚀环境引起的盐雾、湿气侵入,也包括内部燃油、润滑油等液体介质的泄漏等。液体侵入的途径也是必须考虑的重要腐蚀因素,许多设计缺陷直接导致液体的侵入,如口盖的密封失效、通风口的换气操作、空调系统的冷热调节、设备吸潮材料的影响、各位置的积水等<sup>[5-13]</sup>。文中将从这几个方面对航空电子设备腐蚀因素进行分析。

## 2 外部腐蚀环境的影响

严酷的腐蚀环境并不只是作用在机体表面或结构部位,同样,盐雾和湿气会进入到机体内部的航空电子设备区,并因其特殊位置,很难检查出已经导入设备内部的这些液体介质。以下列举了一些典型的腐蚀环境。

航母甲板上的维护作业,口盖、雷达、舱门和设备区的频繁打开,海水气氛直接影响到了航空电子设备的核心部位,且不易排出;飞机或航母排放的二氧化硫在空气中形成硫酸,渗入设备中,加速了腐蚀。开启口盖时使得顶部的凝露、雨水落到口盖控制杆、控制面板、控制台上,腐蚀航空电子设备内部异种金属连接部位,紧固件连接区。维护作业过程中,人为造成的恶劣环境也会对航空电子设备产生影响。附件的操作(焊接、喷涂和溶剂清洗)产生的烟和蒸气均可能引发腐蚀。工作站的空调系统会持续地提供低温,在工作站中,如果不控制湿度,湿气冷却后将会产生冷凝液。

飞机低空掠海飞行时处于高浓度盐雾环境下,湿气会渗入飞机中,极易导致电缆、电连接器、天线、雷达、控制开关、焊接线和电搭接处等零件或部位产生腐蚀问题。直升机海上低空悬停时,旋翼扬起的水汽形成酸性盐雾包裹着机身,大量的盐雾甚至海水被卷入到发动机进气口中或机身缝隙中,超过机身自排水能力。直升机在执行海上救援任务时,人员、设备、货物附着的海水也会进入机舱内,这些腐蚀性极强的海水在飞机内部流动,最后积聚在机身底部,渗入机身底部天线系统或其他电子设备中。还有飞机停放阶段的腐蚀环境,以及航空电子设备存储运输的腐蚀环境都是必须考虑的问题。

## 3 内部腐蚀液体介质的影响

内部液体介质包括燃油、液压油、润滑油、电

子设备冷却液、除冰液、各类内部水污染等。这些油脂类介质大多会对橡胶产生影响,许多操作性液体还会腐蚀操作设备的密封,

1) 发动机燃油。国内常用的发动机燃油(如 3 号喷气燃油)是一种石油蒸馏产物,主要添加了防止结冰、杀菌剂以及用于改良润滑的剂料,燃油具有较低的溶解力,会使某些橡胶膨胀变软,以致失效。

2) 液压油。该液压油是一种从合成烃中提取的防火合成液体介质,它的存在会降低涂层的粘附性,这类流体介质的泄露可能会在电连接器的接触偶间产生绝缘层,影响电器导通。

3) 润滑油。合成航空润滑油(如国产长城一坪生产的 4106 号润滑油)是一种既可用在燃气轮机(喷气发动机),又可用在传动装置上的酯类油。这种全合成的油脂对合成橡胶和天然橡胶都有危害。

4) 电子设备冷却液。常用的电子设备冷却液是一种硅酸盐酯类液体,用于冷却高功率电子设备。只有异常稳定的密封剂,如碳氟化合物密封剂、氟橡胶或聚硫橡胶才可以抵抗该冷却液。在未完全排除湿气的电子设备上使用该冷却液会造成水污染,最终会使冷却液患上“黑死病”,这种黑色泡沫状产物会降低冷却液的冷却效果。

5) 除冰液。属于异丙醇(MH/T 6001—1995《民用航空飞机除冰/防冰液标准》)通常用于飞机的除冰系统中。这种材料基本上对所有的密封材料和机体结构都是安全的,但会影响到电子专用清漆,这类清漆广泛地使用在各类电子设备上。异丙醇具有很高的挥发速率,因此在局部冷却中促进了冷凝水的产生。

6) 水污染。多种类型的潮气(水)会进入机体或设备,通过如下途径:雨水、行李架清洁的残余液体,行驶中进行冲洗操作溅出的水,以及乘客无意洒出的咖啡、饮料、茶水等;盥洗室内溅出的尿液,尿液可能通过外部管道进入波导、舱底天线或其他设备;在潮湿的海洋环境下,温度降低造成的水气凝结,非气密部件中通常会因为这个现象而产生冷凝水;除湿泵内的干燥剂失效,干燥剂吸收空气中的湿气直至饱和,温度上升时会使干燥剂中的水分散出,导致设备内部湿气的产生。所有侵入的水分会在低点形成水洼,腐蚀无保护的异种金属连接,影响电连接器的绝缘。

## 4 结构设计的腐蚀薄弱环节

1) 口盖与衬垫间的缝隙。一架固定翼飞机有超过 200 个可拆卸的面板,为了密封,在口盖和机身间一般配有固定的衬垫。测试中完好的密封效果却不能保证随着使用过程一直有效。这些都是潮气或液体侵入的有效途径。

2) 机身挠性变形区。飞行高度的大范围变化会造成飞行载荷、气压和温度的循环变化,引起密封退化问题。现代飞机为满足高性能,作用在机身的大载荷会引起挠性变形。不论高速固定翼飞机或是高载荷直升机,挠性变形都会使得口盖、面板、接缝和蒙皮搭接处的密封变差甚至失效。不仅是飞行载荷有可能使密封失效,甚至牵引或是短距离滑行都有可能造成口盖渗水。

3) 通风口、管道和机身压力传感器。机身蒙皮上有多种功能孔,用于通风或安装设备。机身压力传感器需要将外界大气引入内部设备进行测量,空气进入机体时会引入相当比例的水分和潮气,需要进行分离或浓缩。通风口和管道在非操作周期都是打开的,这样外部的水分就会凝结在内,流入机体。

4) 雷达天线罩。由于铰链和门闩之间的距离非常长,因此要保持机鼻处巨大的雷达天线罩的密封非常困难,维护时需要多次开合雷达罩也会对密封造成损害,雷达天线舱段内的湿气会随着温度变化而形成冷凝液,加上密封困难造成的水气侵入,大部分飞行器在每次雷达罩开启后都需要额外的维护。特别是暴露于高盐分环境下,设备表面上会附着大量的盐雾<sup>[14]</sup>。

5) 开启的舷窗或舱门。不管是在飞行还是在停放时,都经常需要开启直升机的舷窗或舱门,因而直升机的舱段特别容易受液体侵入。在执行任务过程中,比如搜救任务,为保证工作人员的良好视线,通常会开启舷窗或舱门,而含盐的水会流入舱底和底部的天线及设备。直升机夜间飞行时驾驶员通常将侧窗打开以得知是否在侧滑,由于活动的(非密封)舷窗频繁打开或关闭的时候有漏洞,因此窗边的任何设备都有可能遭受水气侵入。日常维护中,机舱用淡水冲洗也导致了水分的侵入。有份工程调查报告说明有些直升机舱底积聚约 30 cm 深的水,这一类型的直升机明显没有在舱底设置排水口的设计。

6) 镁合金雷达部件。出于减重的需要,可能

在飞机上使用镁制部件。据记录,海军飞机使用镁在不同部件上的应用已有多十年。一般来说,这种设计是有缺陷的,因为镁的性质在海洋环境下非常活泼(不耐腐蚀)。

## 5 设备设计的薄弱环节

侵入机体的液体不会立即从附近排水孔排出而脱离飞机,反而,这些液体会顺着线束、液压管道、操纵钢索和波导管流动。除了重力会使水流动之外,飞行时的机动、弹射和刹车会使液体顺着各种管道运动。在某些情况,液体甚至可以因为毛细作用往上走。多种侵入方式的组合,还有液体会随着温度气压等的变化蒸发、冷凝,使得水或其他液体存在于多个系统及部件中。

机箱紧固件区域,液体会积聚在设备的顶部或是水平表面,上盖板紧固件周围的埋头孔或凹陷都可导致湿气侵入。一般来说,设备顶部的紧固件孔都有可能成为液体的侵入点。紧固件孔是在表面阳极化或化学转化膜处理后再加工,孔周围极易遭受腐蚀,最终将会导致紧固件区域的渗漏。

树脂垫圈用于常拆装的部件的维护,定期维护时的人为损害,因尺寸变化和各种液体、高温、臭氧等因素侵害造成的退化,共同作用降低了垫圈的密封性能。气压和温度的变化,使得垫圈产生呼吸效应,潮气和液体借机侵入机箱内部。紧固件间距以及配套部件的硬度都会影响垫圈的密封效果。

现场成形的密封存在多种潜在的问题。普遍的问题是在成形时,密封太薄而弹性不足;或垫圈有空腔;或局部附着力太差而造成密封性不足。对于人工制作的密封,质量的稳定性是一个固有问题。设计现场成形密封时要考虑方便可达性要求和作尺寸。

以下讨论三种典型电连接器的薄弱环节:多孔、同轴和电路板安装的电连接器。电连接器失效是航空电子设备故障的主要根源之一<sup>[15]</sup>。

1) 多孔连接器。首先,接触偶换位,更换电连接器内的插针容易造成后壳的密封不良。另外,尾部线束易挤压损伤。出于空间限制和减重要求,线束都比较短,并且在尾部附件上捆扎的弯曲半径小,这样不仅导致维修困难,且很小的弯曲半径使得线束对尾部附件产生挤压力,在振动和飞行载荷情况下,破坏了电连接器的尾部衬垫或密封。同时,

挤压和小弯曲半径的共同作用下,使得线束绝缘破坏(破裂、分层、外层剥离等)。大多数飞机的线束问题都发生在进电连接器前的一小段,由于余量太小导致很难维修。

2) 同轴连接器。相对多孔连接器,同轴连接器在海洋环境下并不需要经常维护。一般同轴连接器用于连接刀型天线,刀型天线一般安装在机腹,其90%的更换原因是因为腐蚀引起的信号衰减,水容易在天线部位聚集造成天线同轴连接器腐蚀。通常,舱底天线安装部位不便维护,因此必须在天线和机身结合面做好密封预防,但完全做好内部密封也是极困难的。

3) 印制板边缘连接器。印制板水平安装容易堆积灰尘、残渣等,垂直安装能极大地降低此类问题(同时允许更好冷却)。潮气和吸潮的碎屑会在印制板顶部和底部边缘聚集,其边缘连接器会很大程度上受到腐蚀的影响。有很多案例表明,因为机架排水不畅,印制板底部边缘和边缘连接器会浸在水里。

## 6 结论

腐蚀及其环境条件是对航空电子设备造成负面影响的一种自然现象,为了有效地针对腐蚀进行防护和控制,使其降到可控的程序,必须从各方面去了解腐蚀的来源,设备失效的机理,如此才能选取正确的设计方法以及维护程序。综上所述,设计必须基于以下假定:液体将会存在于任何无涂层的金属表面;电解液将会存在任何异种金属电偶对之间;水会积聚在所有低点区域;液体将会通过一些管道如电线束,波导管、控制杆或液压管路到达设备内部;非气密机箱将会出现呼吸效应;电路板、连接器等元器件周围易积聚水雾、灰尘、杂质等。

### 参考文献:

- [1] 刘元海. 舰载机载成附件环境适应性设计与维护[J]. 装备环境工程, 2015, 12(2): 73—78.  
LIU Yuan-hai. Design and Management of Environmental Adaptability for the Shipborne Productions and Accessories[J]. Equipment Environmental Engineering, 2015, 12(2): 73—78.
- [2] 鲁远曙, 左卫, 王玉龙, 等. 海洋性气候电子设备铝合金结构腐蚀防护研究[J]. 装备环境工程, 2008, 5(6): 71—75.  
LU Yuan-shu, ZUO Wei, WANG Yu-long, et al. Study on Corrosion Protection for Aluminum Alloy Structure of Electronic Equipments in Marine Climate[J]. Equipment Environmental Engineering, 2008, 5(6): 71—75.
- [3] 高延达, 李健, 李宗原, 等. 浅析直升机的外场腐蚀防护[J]. 装备环境工程, 2014, 11(6): 135—139.  
GAO Yan-da, LI Jian, LI Zong-yuan, et al. Brief Analysis of Helicopter Field Corrosion Prevention[J]. Equipment Environmental Engineering, 2014, 11(6): 135—139.
- [4] 刘文廷, 李玉海. 飞机结构日历寿命体系评定技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.  
LIU Wen-ting, LI Yu-hai. Precision Measurement Methods for the Calendar Life of Aircraft Structure System[M]. Beijing: China Machine Press, 2004.
- [5] 陈振林. 浅谈电子设备中金属结构件的防腐蚀设计[J]. 机械与电子, 2011(7): 86.  
CHEN Zhen-lin. Anti-corrosion Design of Metal Structure of Electronic Equipment[J]. Mechanical and Electronics, 2011(7): 86.
- [6] GJB 4239—2001, 装备环境工程通用要求[S].  
GJB 4239—2001, General Requirements for Military Equipment Environmental Engineering[S].
- [7] RTCA/DO-160F, 机载设备环境试验条件和试验程序[S].  
RTCA/DO-160F, Environmental Conditions and Test Procedures for Airborne Equipment[S].
- [8] HB 6167—1989, 民用飞机机载设备环境条件和试验方法[S].  
HB 6167—1989, Environmental Conditions and Test Methods for Airline Equipment[S].
- [9] GJB 150—2009, 军用装备实验室环境试验方法[S].  
GJB 150—2009, Laboratory Environmental Test Methods for Military Equipment[S].
- [10] GJB 4—1983, 舰船电子设备环境试验[S].  
GJB 4—1983, Environmental Tests for Ship Electronic Equipment[S].
- [11] GB/T 4769, 电子电工产品环境条件分类[S].  
GB/T 4769, Classification of Environmental Conditions of Electric and Electronic Products[S].
- [12] GJB 10593.3, 电工电子产品环境参数测量方法——振动数据处理与归纳[S].  
GJB 10593.3, Methods of Measuring Environmental Parameters for Electrical and Electronic Products, Treatment and Induction for Vibration Data[S].
- [13] 宣卫芳, 胥泽奇, 肖敏, 等. 装备与自然环境试验[M]. 北京: 航空工业出版社, 2009.  
XUAN Wei-fang, XU Ze-qi, XIAO Min, et al. Equipment and the Natural Environment Test[M]. Beijing: Aviation Industry Press, 2009.
- [14] 沈阳, 李修和, 李勇. 雷达装备复杂电磁环境适应性评价研究[J]. 装备环境工程, 2014, 11(3): 1—5.  
SHEN Yang, LI Xiu-he, LI Yong. Research on Complex Electromagnetic Environmental Worthiness Evaluation of Radar Equipment[J]. Equipment Environmental Engineering, 2014, 11(3): 1—5.
- [15] 靳哲峰. 环境综合应力作用下航天电连接器可靠性分析和建模[D]. 杭州: 浙江大学, 2003.  
JIN Zhe-feng. Failure Analysis and Reliability Modeling for Electrical Connector under Action of Combined Environmental Stresses[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2003.