

飞机结构的腐蚀与维护

江苏盐城民航机场机务科 刘 标

[摘要]飞机的服役期一般都在20年以上,飞机结构腐蚀始终分布在飞机结构中,随着飞机服役期的增加,腐蚀会不断扩散并加重,其损伤程度大小,都会影响飞机寿命和机群的出勤率。本文首先简要介绍了腐蚀的一些概况,分析了腐蚀形成的各种原因,最后提出了一系列防腐和维护的原则及措施。

[关键词]腐蚀 维护 防护

1. 引言

飞机的结构腐蚀问题比疲劳问题更为严重,航空界因腐蚀问题造成的飞行事故频频发生,不仅直接影响飞行安全,还给航空机务工程工作带来了沉重的负担,并造成维修费用的提高和飞机寿命的降低。飞机使用过程中,其机构在周围环境因素的作用下,构件的材料发生了变质或损坏,使构件无法满足原有的设计要求。一旦发生破坏性腐蚀,将会对航空器的安全性能造成很大的影响,从而造成严重的飞行事故。2002年5月25日,台湾“华航”CI-611号航班的波音747-200型客机空中解体坠机,导致飞机解体的原因可能是金属因表面损伤而蔓延成金属疲劳,令结构破裂。本文详细分析了飞机腐蚀的种类,根据腐蚀的特点及表现形式,介绍了相应的检查方法及去除方法,最后有针对性地提出了各种防护措施。

2. 腐蚀的有关概念

2.1 电化学腐蚀

金属材料(或元素)与电解质溶液接触时,在界面上发生有自由电子参加的广义氧化和还原反应,使金属材料以及晶格之间的排列顺序发生改变,从而改变了原有金属的物理、化学、机械等性能。

2.2 应力腐蚀

结构件在拉应力及腐蚀介质的共同作用下而产生的腐蚀现象,一般出现在高应力区域,这类腐蚀的危害性最大,而压应力可以抑制应力腐蚀。通常,应力腐蚀呈树枝状,裂纹常被腐蚀物覆盖,因此,很难被发现。

2.3 剥蚀

剥蚀是晶间腐蚀的一种,发生在金属晶粒边界,多出现于合金材料制成的挤压型材。

2.4 丝状腐蚀

丝状腐蚀是表面喷有漆层的铝合金表面腐蚀,腐蚀产物将漆膜拱起,外观像丝状或网状,是特殊形式的缝隙腐蚀。通常是紧固件头部的漆层老化开裂后形成缝隙,雨水和潮湿气体进入后形成缝隙腐蚀。出现丝状腐蚀的主要部位是机身后部的下蒙皮。

2.5 缝隙腐蚀

发生在相似金属交接的地方,如果有水分进入,缝隙口的含氧量和缝隙内的含氧量不同,形成电位差,含氧量高的缝隙处金属被腐蚀。一般出现在登机门门槛和货舱门槛处。

2.6 点状腐蚀

金属表面产生的针状、点状、小孔状的一种极为局部的腐蚀状态,或称为孔腐蚀,俗称“麻坑”。点腐蚀通常产生在金属表面的保护膜不完整或破损处,当保护膜损伤后,这种腐蚀最容易产生在晶粒边界、夹杂物或缺陷处。常见于结构螺栓杆上,极易成为疲劳源,使螺栓迅速疲劳断裂。

2.7 微生物腐蚀

霉菌繁殖所产生的分泌物对构件的腐蚀称为微生物腐蚀。飞机采用机翼结构整体油箱设计后,微生物腐蚀成为飞机整体油箱最为严重且最为普遍的问题之一,严重威胁飞行的安全。1972年,在波音737飞机整体油箱的内部发现有大量微生物繁殖现象;1996年,我国某机场数十台发动机相继因燃油泵堵塞,造成发动机燃油系统不供油或供油不足,更换发动机。影响油箱微生物繁殖的主要因素是:霉菌孢子、燃油、水和湿度。霉菌在燃油和水的交界面上繁殖,呈长丝状,相互交织在一起形成网状物或球状物,看上去很黏,呈褐色或黑色。这种霉菌分泌物能破坏或穿透油箱铝合金结构保护层和密封胶,从而腐蚀铝合金结构。

2.8 摩擦腐蚀

两个相连接结构件,由于振动造成的相对运动使结构件磨损,新的磨损表面暴露在环境中,摩擦所产生的微粒反过来又加速磨损和腐蚀。常见于承受高频振动的地方,如起落架的轮轴和操纵系统活动面的连接轴上。

2.9 化学腐蚀

电瓶液、维护液、货舱中的酸性或碱性化学剂、液压油、除雪剂、厕所泄露、灭火剂等。

2.10 均匀腐蚀

金属表面上发生的程度比较均匀的,大面积的腐蚀称为均匀腐蚀,是最常见的腐蚀类型。当表面没有保护的金属暴露在含有腐蚀介质的大气中时,将会发生均匀腐蚀。这种腐蚀首先使表面失去光泽,如果腐蚀继续下去,金属表面就变得粗糙不平。

2.11 晶间腐蚀

沿晶粒边界发生的选择性腐蚀,称为晶间腐蚀。金属发生晶间腐蚀后,其外观可能没有明显变化,但原有的物理、机械性能几乎完全丧失,甚至一击即碎。由于晶间腐蚀不易检查,常常造成结构件突然破坏。另外,晶间腐蚀有时会诱发应力腐蚀,所以危害性很大。

2.12 焊缝腐蚀

离焊缝一定距离的条带处,焊接温度曾处于敏化区,易于产生晶间腐蚀,称为焊缝腐蚀,是晶间腐蚀的又一种特殊形式。

2.13 冲刷腐蚀

高速的带腐蚀的流体直接不断地冲刷金属表面造成的腐蚀称为冲刷腐蚀。机体的迎风面,如整流罩、发动机进气道、排气口区、起落架舱附近都有可能发生冲刷腐蚀。

2.14 湍流腐蚀

流动的介质在结构的某些特定部位形成湍流而引起的摩擦腐蚀叫湍流腐蚀。受湍流腐蚀的金属表面常呈凹槽和深谷状的波纹,腐蚀表面光滑,无腐蚀产物堆积。当介质中有悬浮颗粒时,腐蚀加剧。

2.15 气氛腐蚀

金属及其镀层在特殊的气氛环境中,特别是在微量的有机酸或无机酸的加速作用下产生的腐蚀称为气氛腐蚀。机载设备、仪表内元件的腐蚀多为气氛腐蚀。

2.16 区域腐蚀

蒙皮或腹板的腐蚀不超过一个框、长桁、一根缘条或一根加强肋上;或超过一个框、一根缘条、一根长桁或一根加强肋上的腐蚀,但是在腐蚀部件每侧的两个相邻部件上没有腐蚀。

2.17 广布腐蚀(大面积腐蚀)

腐蚀发生在隔框、长桁或加强肋所围成的相邻两个或多个区域的蒙皮或腹板上;或两个或多个相邻的框、缘条、长桁或加强肋发生腐蚀;或一个框、缘条、长桁及加强肋与相邻蒙皮、腹板区的腐蚀。

2.18 接近允许的极限

所发现的腐蚀已很严重,需要对受损的结构件进行更换、加强或拼接,并且可以预见下次重复检查时此处的腐蚀损伤将超过允许的极限。

2.19 腐蚀预防与控制大纲

是指用来预防与控制飞机结构腐蚀的一系列措施和方案,以防止腐蚀危及飞机持续适航性。

3. 腐蚀等级

飞机的起落次数、飞行小时数和日历寿命构成了飞机结构的三大寿命指标,但迄今仍然没有完整、科学的确定飞机结构日历寿命的方法。飞机结构日历寿命的确定与腐蚀环境对飞机结构寿命的影响紧密相连,材料抗疲劳性能随日历年限的变化规律和腐蚀环境作用后的疲劳累积损伤理论是科学地确定飞机结构日历寿命的基础。根据飞机的起落次数、飞行小时数和日历寿命的不同以及检查中发现的不同腐蚀情况,腐蚀的严重程度分为三个等级。

I级腐蚀:腐蚀发生在两次相邻的检查间隔期间,仅是区域腐蚀,腐蚀去除后,损伤状况在制造厂文件,如结构修理手册(SRM)、服务通告(SB)等规定的允许极限内;或腐蚀损伤超出允许的极限,但这种损伤是由于某种偶然的因素造成的(如汞、酸液倒翻),对同一机队的其他飞机不具有典型性;或航空公司在多次执行腐蚀预防与控制工作任务后的检查结构表明,每次定期的检查在相关部位只发现有轻度的腐蚀,但最近一次的检查发现,历次腐蚀清除后的累计损伤超过了允许的极限,

需修理或更换部分重要结构构件。

II级腐蚀:腐蚀发生在两次相邻的检查间隔之间,腐蚀去除后,损伤超出制造厂文件规定的允许极限,需修理、加强或更换全部或部分重要结构部件;或发生在连续检查之间的腐蚀损伤是广布性腐蚀,清除腐蚀后损伤接近允许的切削量极限。

III级腐蚀:当第一次或随后的检查发现的腐蚀已严重影响到飞机的适航性,并需要立即对同型号的机队采取紧急措施,航空器制造厂需要参加对III级腐蚀的评定。

4. 腐蚀发生的原因

4.1 设计和制造原因

从飞机设计和制造来看,飞机设计师尽量采用重量轻、强度大的高效材料,如高强度铝合金、钛合金、复合材料、超高强度合金钢等材料。其中,高强度铝合金本身由多种金属熔炼而成,不同金属元素之间存在较高的电位差,如遇到电解质溶液,极易发生电化学腐蚀。不同的金属相接时,造成不同金属之间的电位差和导电通路。而各个部件组装在一起时,缝隙会存水和赃物形成电解质。有些结构处于高应力状态形成应力腐蚀的根源。在制造过程中,由于生产工艺不当,操作失误等原因,保护性涂层质量不高,缺乏腐蚀控制措施等原因,都可能造成腐蚀。另外,飞机的各个零部件组装在一起时,由于没有密封或密封失效,结构缝隙中会残留水和污垢而形成电解质溶液,容易产生电化学腐蚀;高拉应力构件容易形成应力腐蚀。

4.2 环境原因

在飞机使用过程中,由于环境恶劣,如雨、雪、雾、沙尘天气较多,空气潮湿、盐雾、工业大气等原因,容易造成飞机表面涂层损坏,进而发生化学、电化学腐蚀、应力腐蚀。

当大气中的相对湿度大于65%时,物体表面会附着一层0.001微米厚的水膜,相对湿度较大,水膜越厚。当相对湿度为100%时,物体表面会产生冷凝水。这些导电的水溶液便是引起结构件腐蚀的最主要、最普遍的环境介质。

(1) 湿空气与地理环境的关系

暖季节时比世界上同纬度的国家和地区的温度高,相对湿度和降雨量大,是造成飞机结构腐蚀的重要因素之一。

(2) 海洋大气腐蚀环境分析

海洋大气的特点一是湿度高;二是含盐量高。

(3) 工业大气腐蚀环境分析

工业大气中含有大量的腐蚀性气体,如二氧化硫、三氧化硫、硫化氢、氯气、二氧化碳、一氧化碳、二氧化氮等,对金属腐蚀最大的是二氧化硫气体。如果大气中含有超过1%的二氧化硫时,腐蚀会急剧加快。

(4) 机上腐蚀环境分析

A、地面气温高、湿度大时,机内空气在地面处于水饱和状态。另外,乘员的呼吸和出汗也会排出水分。随飞行高度上升,机舱内温度逐渐下降,潮气就凝结成水分,停留在隔音层和蒙皮之间。飞机铝合金结构中广泛存在的坑蚀、剥蚀及腐蚀疲劳损伤,随着腐蚀温度的升高及腐蚀时间的延长,腐蚀坑深度和腐蚀坑表面积都逐渐加大,相邻腐蚀坑相互交错形成更大更深的腐蚀坑,而且伴随着试件表面剥蚀损伤的产生。经过预腐蚀后的铝合金试件在进行疲劳加载时,裂纹均起始于腐蚀坑,大多数试件的断裂是由一条主裂纹扩展而导致的,只有部分试件观测到多条裂纹的扩展。

B、运输活牲畜、活海鲜可能会导致飞机的严重腐蚀。一是牲畜的粪便具有较强的腐蚀性;二是牲畜比人产生的热量多,湿度增大;三是运输活海鲜时,容易引起海水的泄露,腐蚀性极强。

C、厕所地板密封不严,污水会流到飞机结构上;厨房中食品和饮料发生意外泼溅,也可能会流到飞机结构上;前、后登机门和服务门区域,经常受到雨水和污垢的影响,地板梁也容易受到腐蚀。

D、飞机做短程飞行时,油箱内燃油量较少,含有大量的潮湿空气,容易产生微生物腐蚀。

E、非金属材料挥发出来的有害气体,有可能使一些金属以及镀锌、镀锡层产生腐蚀。

F、飞机在沙石或草坪跑道上起降,会使飞机蒙皮,特别是起落架舱蒙皮光洁度降低,积存腐蚀介质,引起腐蚀。

4.3 装载原因

野蛮装卸会造成货舱地板、侧壁板、顶板的损伤,由于渗漏或冷凝水,加上结构缝隙中残留的污垢,容易形成腐蚀液或电解质溶液而产生腐蚀。

4.4 维护原因

由于维护不当,没有实施正确的腐蚀防护,也会造成腐蚀。

常见腐蚀部位:客舱座椅安装轨道;靠近厨房、厕所附近的地板梁及货舱地板梁的腐蚀;活体动物、鸟类货物的饲料及排泄物的污染等;机翼大梁的前后结合面。机翼大梁与腹板结合面,机身蒙皮与桁条结合面发生的腐蚀,一般是隐蔽性腐蚀。

5. 腐蚀的一般性修理原则

在飞机结构修理和日常维护工作中,根据手册、常规理论及经验,一般有以下几种腐蚀的修理原则。

(1) 因去除腐蚀而加工过的铝合金表面,首先确认腐蚀已经被完全去除掉,并且加工表面光滑、清洁,不允许有金属屑、油污等污染物滞留在修理区域内;恢复其原有的表面涂层,必要时再增加一层面漆,然后根据手册要求喷涂防腐抑制剂。

(2) 安装修理件的配合表面均应涂密封胶隔绝,必要时紧固件也应涂密封胶湿安装,所有止裂孔要涂底漆并用软铆钉或密封胶堵住。

(3) 修理件、孔壁、埋头窝等处,均应做表面防护处理,并喷涂底漆。

(4) 修理件材料尽量选取与相邻结构相容的材料,尽可能电位相当;复合材料与合金材料之间也要相容,碳纤维树脂板与铝合金材料不能直接接触,必要时可共固化一层玻璃纤维—环氧树脂绝缘层;碳纤维树脂板与钛合金直接接触时,不需要进行特别防护处理。

(5) 在腐蚀环境下,被连接件与紧固件之间尽量相容。如果不相容,则应该使用绝缘套筒、垫圈、涂刷密封胶等方法绝缘,而且,绝缘层要有足够的厚度和覆盖面。

(6) 修理用加强板尽可能选取带包铝层材料。

(7) 安装钢、钛合金的零件,其配合表面应涂密封胶湿安装。

(8) 钢修理件一般应局部镀铬或恢复原涂层;或涂两道底漆。

6. 腐蚀的防护

(1) 加强对维护人员的防腐教育和培训,高度重视并自觉做好防腐工作。

(2) 经常性、定期疏通漏排水孔和漏排水通道;客舱、货舱、厕所等区域,要经常通风,以排除水蒸气。

(3) 定期清洁容易污染的区域,并重新喷涂防腐抑制剂;在每个短停时,先清扫货舱地板,擦干水分后再装货。

(4) 经常性检查易腐蚀环境结构件,彻底清除腐蚀产物、恢复防腐涂层和进行规范的结构修理。

(5) 确保厨房、厕所及货舱地板接缝处的密封。

(6) 建议在货舱地板梁和插片螺母之间用聚乙烯胶带隔离/绝缘;安装螺钉时,建议沾密封胶湿安装。

(7) 加强对运输活牲畜、活海鲜、果菜的管理,防止腐蚀性污物的泄露。

(8) 加强对货物装卸过程的管理,杜绝因野蛮装卸造成的飞机货舱地板、侧壁板损坏,避免腐蚀介质渗入到构件中。

(9) 在雨季、高温、潮湿季节中,缩短检查周期,加强防腐措施。

(10) 汞、强酸、强碱泼溅后,要按照有关手册规定彻底清除干净。

(1) 除确保油箱排水畅通外,还应在飞机油箱内加入生物杀虫剂,以减少细菌的生长。

(2) 严格执行防腐大纲和结构修理中的防腐工艺,最大限度地提高防腐工作质量。

(3) 深入研究腐蚀起因,制定措施并在实施中不断完善和提高。

7. 结束语

腐蚀带来了昂贵的维护问题,并将产生严重后果。随着飞机的老龄化,以及运行环境的变化,腐蚀问题将成为飞机维护的重要问题。腐蚀是一个自然现象,最好的办法是采取完善的腐蚀防护与控制措施,将腐蚀破坏的速率降低到最小,使飞机实际寿命达到或超过设计寿命,确保飞机安全与经济运行。

参考文献

- [1] 苏云洪,刘秀娟,胡铁玉.飞机结构腐蚀检查方法与预防对策研究[J].《工程与试验》,2009,(02):44-46.
- [2] 宋慧志.飞机腐蚀与防护[J].《飞机设计》,2006,(01):24-26.
- [3] 陈磊,周惠文,冯振宇.飞机整体油箱的微生物腐蚀及维护[J].《航空维修与工程》,2009,(03):39-41.
- [4] 杨晓华.腐蚀累积损伤理论研究与飞机结构日历寿命分析[J].《飞行器设计》,2003,(03):56-58.
- [5] 李鹏.飞机铝合金结构件的腐蚀机理与控制[J].《全面腐蚀控制》,2006,(02):28-30.
- [6] 张有宏.飞机结构的腐蚀损伤及其对寿命的影响[D].西北工业大学,2007.