

阐述了腐蚀对飞机结构的损害,涉及到飞机结构腐蚀的主要形成原理,飞机结构腐蚀易发生部位与原因。介绍了控制腐蚀的原理与方法,以及用于飞机结构防腐的几种最新材料。

# 关于飞机结构腐蚀的几个问题

## Discussion on Airplane Structure Corrosion and Its Prevention

◎ 阎桂麟 / 南航河南公司飞机维修厂

随着国内民航机队的不断扩大,早期引进的波音飞机将逐步进入老龄阶段。飞机在经历较长时间的使用后,其结构的完整性往往受到极大的影响。飞机的结构完整性一般受三种因素的影响:一是应力损伤,即结构承受的载荷所引起的损伤,除了极少发生的超过结构静强度而造成的以外,最主要的是疲劳;二是环境损伤,是由使用环境对结构的作用而引起的,主要是腐蚀问题;三是意外损伤,例如鸟击、雷击及地面人为的撞击等。在疲劳、腐蚀和意外这三个因素中,结构腐蚀的危害越来越突出,其对飞机结构的影响和飞行安全的威胁也愈来愈严重。

由于腐蚀与设计、制造、使用环境、维护都有密切关系,加之腐蚀本身所具有的复杂性和隐蔽性,如何使腐蚀得到有效控制,包括对腐蚀的预防、探测与排除等问题越来越受到人们的重视。

腐蚀属环境损伤与飞机使用的客观环境有着密切的联系。潮湿、盐雾、工业污染、货物破损泄漏物等都决定了结构腐蚀的“不可预测性”,就腐蚀本身而言,其成因与现象都比较复杂。

飞机结构上发生的腐蚀,常见的一般有7种,包括应力腐蚀、电化腐蚀、均匀腐蚀、晶界腐蚀、片状(剥离)腐蚀、点状腐蚀与丝状腐蚀。飞机上同一部位有可能出现几种不同类型的腐蚀。腐蚀的发生往往破坏了飞机结构安全所赖以存

在的基础——破坏安全设计和损伤容限设计。例如,飞机在产生疲劳裂纹后出现的腐蚀会改变裂纹扩展的规律,往往是在飞机其他故障发生后就会发生腐蚀,如金属结构粘合而开胶后出现的均匀腐蚀,飞机蒙皮、肋梁发生疲劳裂纹后出现的应力腐蚀。飞机有些部位腐蚀的隐蔽性,加重了对飞机结构安全的危害。腐蚀不仅给飞机安全带来严重威胁,而且也会给航空公司造成巨大的经济损失。据资料介绍,国际民航飞机用于腐蚀的预防、控制与修理的费用要占到飞机总维修费用的一半以上。

### 飞机结构腐蚀的主要机理

飞机结构的腐蚀是由于与环境作用而引起的破坏与变质。由于飞机结构件大多是由铝合金与镁合金制成,所以在飞机制造过程中,采用的防腐蚀工艺主要是阳极氧化、涂漆、喷涂防腐剂等。这种工艺主要是使基体金属与环境介质隔离,以达防腐目的。

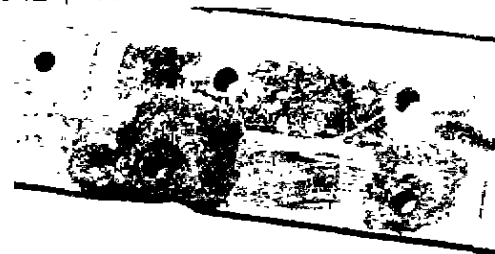
当大气中的相对湿度大于65%时,物体表面会附着一层 $0.001\mu\text{m}$ ~ $0.01\mu\text{m}$ 厚的水膜,相对湿度越高,则水膜越厚,当相对湿度为100%时,物体表面会产生冷凝水。水是腐蚀介质的主要来源,更为严重的是如果飞机的某



Seat Track Corrosion

图1 客舱座椅安装轨道腐蚀

些部位渗入水分,而又不能及时排出;或者飞机金属基体与某些饱含水分的物质长期接触(如飞机机身及地板下构件与受潮的隔热棉的接触),这些水分就会对飞机结构产生严重的腐蚀作用。因为这些水分大多数是不纯净的,其中或多或少含有各种导电离子,如氯离子、碳酸根离子、硫酸根离子等,这些导电的水溶液便是引起结构腐蚀的最主要的、最普遍的环境介质。飞机在使用过程中,随着日期的延长,金属表面的保护层逐渐遭到破坏。



Floor Beam Corrosion

图2 地板梁腐蚀

## 航空维修 AVIATION MAINTENANCE

首先是漆膜的破坏。油漆是高分子物,在日光、大气、雨水等长期作用下,会老化变质,表现为失光、起泡、开裂、粉化、剥落、吐锈等,失去防腐功能。所有的漆膜都不可能使飞机构件与环境绝对隔离,而且对水、水汽、氧气或腐蚀性离子都有一定的渗透性,漆膜不仅能渗透水分,还能吸收水分而致膨胀、软化,使附着力下降、起泡、脱落。另外,在涂漆时的施工缺陷,漆膜干燥时产生内应力而造成的拐角、边棱处的裸露、使用时的机械损伤都会大大降低其保护作用。油漆层一旦产生缺口,便成为腐蚀的发源地。

其次是阳极化膜的破坏。铝合金经阳极化后,耐腐蚀性比原来提高2~4倍,但是有一定的限度。作为漆膜的底层,阳极化膜的厚度一般仅为 $3\mu\text{m}$ ~ $12\mu\text{m}$ ,膜很薄且又是多孔的,孔隙率均为35%左右,还会有不完整处,因为合金中夹杂一些不能生成氧化膜的其他金属。此外,在机械加工及钻孔、铆接装配等部位,阳极化膜也会受到损害,而水溶液中的氯离子则会破坏阳极化而直接危及基体金属;在油漆氧化膜的缺损处,电解液与基体金属直接接触,就会发生电化腐蚀。这是在常温下,飞机结构件最常见、最普遍的腐蚀形式,是一种自动发生的过程,随着时间的推移不断发展,而且不可逆转。电化腐蚀的破坏形式可以是点蚀、晶间腐蚀、电偶腐蚀、缝隙腐蚀等。

### 飞机结构上常见易发生腐蚀的部位

(1) 客舱座椅安装轨道(见图1)。该部位的腐蚀往往是由于固定螺帽与安装轨

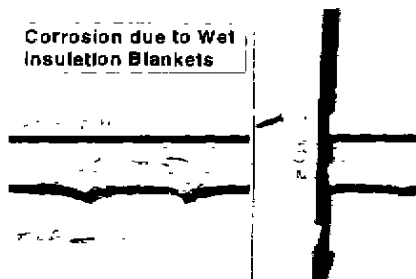


图3 蒙皮内侧及桁条与隔热棉接触处的腐蚀

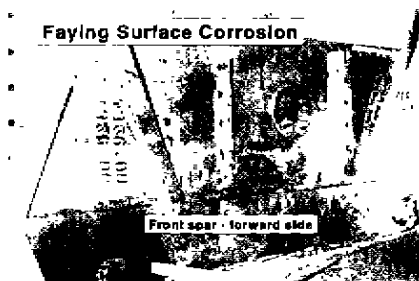


图4 机翼大梁的前结合面侧腐蚀

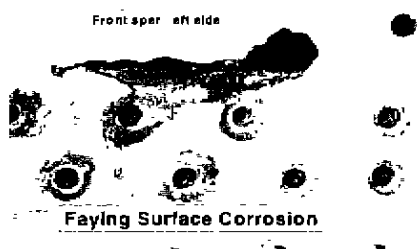


图5 机翼大梁的前结合面后侧腐蚀

道表面摩擦,破坏铝合金的表面保护层,而导致腐蚀。

(2) 地板梁腐蚀(见图2),常易发生在靠近厨房、厕所附近。由于厨房与厕所的湿气及其他污染物而导致腐蚀。

(3) 机身框架与蒙皮内侧及桁条与隔热棉接触处的腐蚀(见图3)。

(4) 机翼大梁的前后结合面腐蚀(见图4、图5),机翼大梁的腹板结合面、机身蒙皮与桁条结合面发生的腐蚀,往往是隐蔽性腐蚀,从构件表面看不出腐蚀迹象,只有利用NDT无损探伤的方法,才能发现这些危害较大而又不易被发现的隐蔽性腐蚀。

### 控制腐蚀的原则与方法

(1) 防止水分、潮气和其他腐蚀性介质与飞机结构件长期接触,保证飞机结

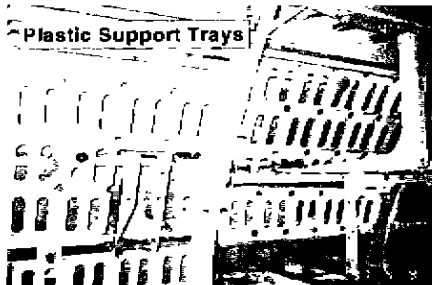


图6 使用塑料垫板将隔热棉与框架隔离

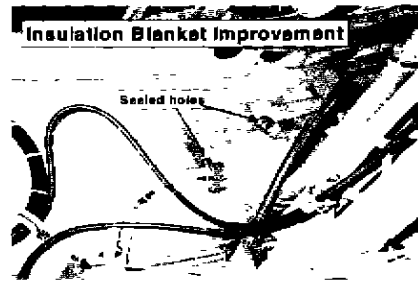


图7 在隔热棉上开小孔

构上的排泄孔和漏水口的畅通,对易积水及吸附潮气部位应勤检查,早发现,尽量避免与减缓腐蚀的发生与发展。必要时,可采取某些结构上的改进措施,如图6示,使用塑料垫板将隔热棉与框架隔离,减少接触。如图7所示,在隔热棉上开小孔及时排除水分,当导线、导管穿越隔热棉后,要将其小孔进行密封,避免与减少潮气的聚集。

(2) 对飞机结构表面的防腐涂层要多检查,勤维护,保证其完整有效。对局部破坏处,早作处理,将腐蚀消灭在萌芽状态。按维护手册及相关技术文件,认真执行防腐维护措施。

(3) 一旦发现腐蚀,要找到导致腐蚀发生的原因,消除导致腐蚀因素,采取正确的处理措施,施加有效的抗腐涂层。目前最常用的防腐涂层是阿洛丁。据波音公司最新资料介绍,在常规的防腐涂层之上可以再涂刷一种附加的防腐涂层,其防腐作用十分有效。

这种附加的防腐涂层是一种新型抗腐化合物,即CIC BMS3-23、BMS3-26、BMS3-29(Corrosion Inhibiting Compounds),BMS3-23适用于缝隙及不易接近区域的防腐。这种防腐化合物渗透性较强,可驱赶潮气,形成连续的保护膜,膜厚为 $0.5\mu\text{m}$ ~ $1.5\mu\text{m}$ 。BMS3-26适用于较为开敞的区域,它能在原有涂层上使用,也可以在BMS3-23涂层之上再涂一层,形成双层保护膜,厚度可达 $4\mu\text{m}$ ~ $6\mu\text{m}$ ,所以其抗腐作用较强且持久耐用。BMS3-29的性质则介于上述两者之间,它既可用于缝隙又可用于开敞区域,具备BMS3-23的渗透性和BMS3-26的耐久性,膜层厚度可达 $3\mu\text{m}$ ~ $5\mu\text{m}$ 。 □