

# 飞机机身结构的腐蚀及防护方法

## Structure Corrosion and Protective Measures for Aircraft Fuselage

郭小波 / 中航工业沈飞民用飞机有限责任公司

**摘要:** 飞机机身结构腐蚀不可避免, 本文通过分析腐蚀产生的原因, 提出了如何预防和延缓腐蚀发生的措施及补救方法。

**Abstract:** Structure corrosion of aircraft fuselage is inevitable. This paper analyzes the causes of corrosion, and put out the measures and remedies how to prevent and delay the occurrence of corrosion.

**关键词:** 机身机构; 腐蚀; 防护

**Keywords:** fuselage structure; corrosion; protection

### 0 引言

由于飞机在寿命期内暴露在多种不同的环境中, 腐蚀可能会一直伴随着飞机。这些环境可能有低温、高湿度、酷热、雨水、盐雾、冰、紫外线辐射、大气氧和污染等。外场使用经验表明, 飞机结构的故障主要有两个原因: 疲劳和腐蚀。疲劳又往往与腐蚀有关。所以, 腐蚀是造成结构损坏的重要原因, 对飞机安全、寿命、使用费用的影响很大。结构防护性要求已成为现代飞机结构设计的一项重要内容。

### 1 腐蚀环境

造成飞机机身结构腐蚀的环境主要有:

1) 当地面气温高、湿度大时, 机内空气在地面处于水饱和状态。飞机起飞后, 气温下降, 潮气凝结成水, 留存在客机的隔离层和蒙皮之间, 构成严重的腐蚀环境。通常, 中、短程飞机比远程飞机腐蚀更严重, 其原因是中、短程飞机因起落频繁, 在机内存在更多出现凝水的机会;

2) 乘客呼吸排出水汽, 也会凝结成水;

3) 民机卫生间、厨房中的水及其他液体泄漏流到结构上;

4) 运送货物、行李通常也会污染地板、舱门等部位;

5) 机内燃油箱舱内常含有大量的潮气, 温度降低后会凝结成水分, 有些霉菌在水与燃油界面处繁殖起来, 成为黏性物质并沉淀, 对结构构成腐蚀;

6) 在飞机使用维护中可能发生泼溅, 例如电瓶充填时可能泼溅出强碱溶液;

7) 非金属材料挥发出来的气体, 如油漆、塑料等。

### 2 腐蚀类型

#### 2.1 表面腐蚀

表面腐蚀是一种表面的均匀腐蚀, 不仅影响美观, 也预示了防护层的破损, 因此表面腐蚀应仔细检查, 以防止发生更严重的腐蚀。明亮表面发暗或褪色就是典型的表面腐蚀。

#### 2.2 应力腐蚀开裂

应力腐蚀开裂是典型可锻合金在受到拉应力和腐蚀环境条件同时作用时, 以脆性方式失效的一个过程——如

果单独作用, 任何一个条件都不会引起主要的结构损伤, 而受到交变应力的部位就会产生所谓腐蚀疲劳。在铝合金中, 被认为对应力腐蚀开裂有影响的因素有: 晶界沉淀自由区; 老化的微观结构; 晶界沉淀物分散; 在边界溶质浓度差; 晶界处氢脆; 裂纹尖端原子种类的化学吸附作用。

#### 2.3 电偶腐蚀

在有水(电解液)参与的情况下, 两种不同的伽伐尼电位的金属接触就会发生电偶腐蚀。在接触部位附近, 由于腐蚀形成的物质的积聚而引起更多的阳极金属腐蚀。电偶腐蚀的发生还取决于除了电位以外的其他因素。杂质元素和合金元素也可能会引起铝合金的电偶腐蚀问题。在高或低合金元素集中的局部区域容易形成高或低耐蚀性局部区域, 这就导致耐蚀力最差的区域发生点腐蚀。

#### 2.4 缝隙腐蚀

缝隙腐蚀是在金属表面因电解液离子浓度局部不同所发生的腐蚀。在结构的裂缝或间隙处, 电解液失去氧, 于是在缝隙内发生氧化反应。缝隙腐蚀经常发生在铆钉和金属连接处。缝隙腐蚀

是钛合金的主要腐蚀问题。

### 2.5 点腐蚀

点腐蚀是俗称“麻坑”的一种腐蚀形式,即在金属表面形成较小的蚀坑。由于金属内发生化学变化,或由于缝隙腐蚀影响到先前的斑点,即点腐蚀就会发生。例如,水滴进入防护层时,在防护层下的金属发生氧化。

### 2.6 剥落腐蚀

剥落腐蚀发生在高强度铝合金中。腐蚀过程中,晶粒被拉长和变平。剥落腐蚀发生在长晶粒边界,沿着平行表面扩展。腐蚀产物比发生腐蚀金属的体积更大,迫使表面层金属脱层。

## 3 防护措施

### 3.1 结构选材

除其他要求外,结构零件选材应尽量选用抗腐蚀性能好的材料。

1) 铝合金结构件要选择对晶间腐蚀、剥蚀、缝隙腐蚀、点腐蚀、接触腐蚀、应力腐蚀和腐蚀疲劳不敏感的材料和热处理状态,对铝合金承力构件尤其要选用对应力腐蚀和腐蚀疲劳不敏感材料和热处理制度。

2) 结构钢构件,尤其是对低合金结构钢构件应选用对点腐蚀、晶间腐蚀、氢脆和应力腐蚀和腐蚀疲劳不敏感的材料和热处理状态。并注意加工过程对腐蚀性能含氢脆、隔脆的影响。

3) 钛合金耐腐蚀性能好,尽可能选用,但注意钛合金耐磨性能较差。

4) 不锈钢一般含铬10.5%以上,一般不会发生局部腐蚀,但是应注意马氏体不锈钢经焊接或热处理后有产生晶间腐蚀倾向一般要做淬火,回火、退火处理。

5) 所有机体外部和内部环境中工作的铝合金面板除化学铣切和胶接零件外,均应采用两面包铝板材制造。

6) 组成结构的零件应尽量选用相

同材料。不可避免采用不同材料时,应选腐蚀电位相近的材料做到接触材料相容或基本相容;否则必须采取隔离措施。

### 3.2 结构的合理构型

1) 避免使用闭剖面零件。封闭剖面不便于防护处理,还可能存水产生腐蚀。

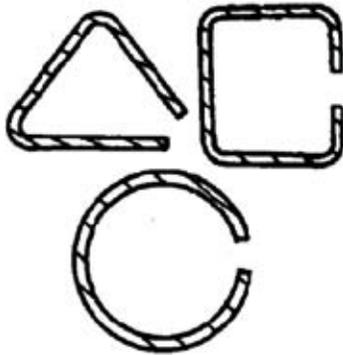


图1 避免使用封闭剖面

2) 零件形状应便于表面防护。零件上尽量避免带有尖锐内角或圆角半径很小的内角。沟槽和台阶,因在这些部位不易形成保护层。

3) 零件表面外形应尽量平整,表面光滑致密,不易积聚灰尘、杂物和潮气等腐蚀介质,并便于表面涂(镀)覆保护。

4) 内部零件的形状应尽可能设计成平直的或向上凸的,避免使用向下凹形零件,以免污染物和腐蚀介质的集聚。

5) 在损伤容限特性和成本许可的前提下,应尽可能设计成整体件,以减少连接对表面防护层破坏和造成渗漏腐蚀介质机会。

6) 零件应避免出现死角,应开排水孔或用腻子填平。

### 3.3 结构装配与密封

1) 零件的接合面应形状简单平直,但应良好贴合,以免强迫装配或产生装配缝隙。

2) 不用紧固件连接的独立零件之间必须有足够的间隙,在考虑制造误差和受力变形后,零件间的间隙不应小于4mm,以免出现相互摩擦、碰撞,损坏零

件表面的防护层。

3) 结构件装配中,一般不应锉修,以免破坏零件表面防护层,否则应在锉修部位补涂底漆或润滑脂装配。

4) 选用紧固件要注意与被连接材料电化学性相容,连接件的电位应稍高于被连接材料的电位。镀铝的紧固件不允许与钛合金相连接,镀铝和镀铝的紧固件不能与碳纤维复合材料相连。

### 3.4 典型结构的防腐蚀设计

蒙皮搭接应密封铆接。蒙皮应按顺气流方向,由前搭后、由上搭下,在搭接宽度的贴合面间涂有高黏结力密封胶进行密封铆接;然后在蒙皮边角处进行填角密封及铆钉墩头涂稀的密封胶密封防护,见图2。

### 3.5 防接触腐蚀方法

结构中可能产生的接触腐蚀的部位有不同材料零件相互接触部位,结构零件与紧固件的接触部位,铝合金零件与钢、不锈钢、钛合金零件的接触部位,普通结构钢零件与不锈钢零件的接触部位,铝合金零件与钢制紧固件的接触部位,钢、铝组合结构与钢制紧固件的接触部位,铝、钛组合结构与钛制紧固件的接触部位,以及钢、铝组合结构与铝制紧固件接触部位。

#### 1) 合理选用材料

结构中不同金属构件相接触时应尽量选用电位差相近(不大于0.25V)的材料制造结构件。应当指出,在不同的介质中,金属的电位是不同的。通常,按海水中(或35%NaCl溶液中)的电位选择。

#### 2) 金属镀覆层的应用

按电化学性质分类,金属镀覆层除不能测量电位的覆盖层以外,可分为阳极性镀覆层和阴极性镀覆层。在一定的介质中,镀层金属的电极电位低于基体金属时为阳极镀层,高于基体金属时为阴极镀层。阳极镀层完整性破坏后,可借助

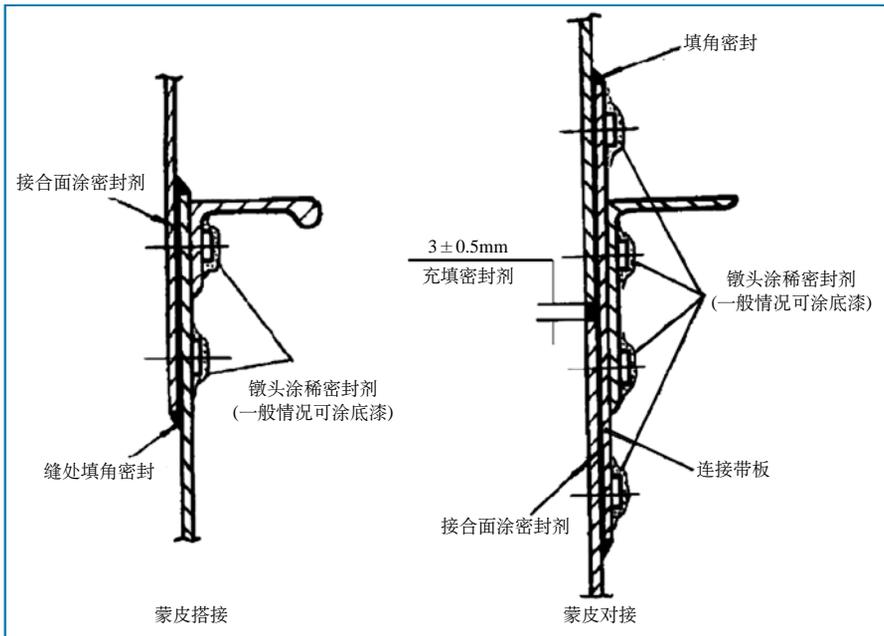


图2 蒙皮的典型连接

电化学作用保护基体金属,其防护性能主要取决于镀层厚度;阴极镀层只能机械地保护基体金属,镀层完整性被破坏后,将加速基体金属的腐蚀,其防护性能取决于孔隙率和厚度。各类金属及合金常用镀层的选择可参见有关设计手册。

### 3) 应用有机涂层系统

有机涂层系统在结构设计中已被广泛应用,是结构件简单、经济、有效的防护措施。在实际应用力与无机镀层组合使用,更能提高耐蚀性较差的金属导体

(如俄合金钢、铝合金等)的防护效果。特别是机体外表零部件能经受风沙、雨雪雾、工业废气等侵袭,在这种较为恶劣环境中,有机涂层系统以其良好的屏蔽、缓蚀和电化学作用,实现了防腐蚀保护。

### 3.6 防应力腐蚀

应力腐蚀是某些合金在恒定拉应力与腐蚀介质共同作用下,导致材料或构件发生的脆性断裂。这里应当强调:只有合金才能产生应力腐蚀,必须拉应力和特定介质的联合作用,二者缺一不可。

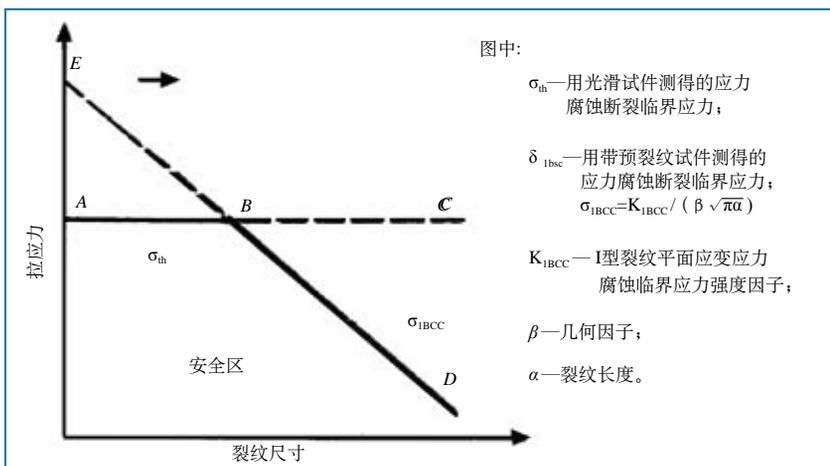


图3 应力腐蚀安全区

### 1) 控制承力零件的应力水平

a. 承力部件的最大工作应力应控制在应力腐蚀安全区内,见图3。

b. 锻压零件应规定材料的纤维方向与主要受力方向相一致,而且各个方向上的应力均应小于应力腐蚀断裂临界应力。

c. 模锻件应合理选择分模面。尽可能将分模面放在最后被加工掉的面上,并切忌在分模面上压入有过盈量的衬套、轴承等零件。

### 2) 避免应力集中

a. 零件形状力求简单,尽量不设计成多支叉形的复杂零件,零件横截面面积应避免突然变化,力求均匀过渡。

b. 零件的高应力区不允许钻孔、攻制螺纹;不用铆钉连接其他传力构件,避免在承受高应力的同时又承受其他应力。

c. 高强度钢制件如在最后热处理后需进行磨削加工,应规定磨削加工后必须进行回火消除磨削应力。

d. 两个机械加工零件尽量避免使用套合装配,因加工公差不可能完全贴合,在螺接时必须引起很大的内应力。如难以避免,必须在配合面间加经表面防护的垫片消除间隙来减小内应力。

f. 焊接件的所有加强焊缝表面必须全部进行机械加工。

AST

### 参考文献

[1] 张泽强, 徐吉辉, 张艳波, 李薇. 飞机铝合金结构腐蚀与防护分析[R]. 航空维修与工程, 2009, (06):56-57.

[2] 梁定平, 刘钧贤, 郭龙. 浅谈飞机腐蚀的原因与防护措施. 科技信息. 2010, (11):120-121.

### 作者简介

郭小波, 高级工程师, 从事飞机基础工艺、科研试飞工作。