

腐蚀防护设计思路研究

李耀

中航西安飞机工业集团股份有限公司 陕西 西安 710089

【摘要】：本文由飞机设计制造技术的发展历程引入腐蚀防护设计概念，通过飞机结构典型腐蚀分类确定飞机部件发生腐蚀根本原因，从而引出腐蚀防护设计中的结构选材要求、结构设计方法、表面处理技术要求、使用维护周期确定方法等；同时根据工程实践经验，给出飞机环境分类、结构分区思路，并指明腐蚀防护能力试验的验证原则。

【关键词】：典型腐蚀；结构选材；腐蚀防护设计；环境评估

1.引言

飞机设计中，腐蚀防护设计初始不被重视，随着飞机使用时间的增长，由腐蚀引起的飞行事故越来越多，逐渐引起了相关从业者的关注。现代飞机设计之初就根据使用要求，编制腐蚀防护与控制大纲，充分考虑结构防腐性能，以满足飞机使用需求。如何根据使用要求进行结构选材、防腐设计、表面处理，如何确定使用维护周期，如何进行环境评估是飞机设计者越来越需要掌握的技术。

2.技术背景

据计算，二战期间飞机平均使用寿命约为300小时左右，多数飞机服役后很快被击落或失去维修价值被报废，这段时期飞机设计者更重视的是飞机机动性和生存力。二战结束后，随着设计制造技术的发展进步，军用飞机变的越来越复杂精密；随着国际、洲际航班的不断开通，民用飞机变的越来越追求经济性、维护性及使用寿命；随之而来的是飞机平均使用寿命大大延长。为了延长飞机的使用寿命，用户对飞机腐蚀防护能力提出了越来越高的要求。针对性调查表明，腐蚀未得到有效处理是造成飞行事故的一大原因。随着时代的发展，腐蚀防护设计技术已成为飞机设计的重要技术之一。

3.结构典型腐蚀类别

结构腐蚀破坏有多种形式，某部位腐蚀具体属于哪种形式，取决于材料的成分和组织、连接形式以及外部的环境条件等影响因素。一般来说飞机典型腐蚀形式有如下几种：

（1）均匀腐蚀：均匀腐蚀是材料表面可见的均匀腐蚀，一般由化学侵蚀作用引起，会使金属材料变薄，直至破坏。

（2）应力腐蚀：应力腐蚀是金属和合金在腐蚀介质和机械拉应力的共同作用下产生所致的开裂以致破坏，是一种晶间腐蚀。

（3）剥蚀：剥蚀是晶间腐蚀与内应力协同作用下所发

生的一种腐蚀形态。

（4）小孔腐蚀：小孔腐蚀是金属的大部分表面不发生腐蚀或者腐蚀很轻微，但在局部出现腐蚀小孔并向纵深发展的一种隐蔽的局部腐蚀。

（5）磨蚀：受重载荷表面相互接触，彼此作相对振动和滑动时可产生磨蚀。

（6）缝隙腐蚀：缝隙腐蚀一般发生在两个金属表面或一个金属和另一个非金属表面之间的缝隙内。

（7）电偶腐蚀：在腐蚀介质中金属与电位更正的另一种金属或非金属导体相互接触而引起的加速腐蚀称为电偶腐蚀。

此外还有微生物腐蚀、丝状腐蚀、冲蚀等腐蚀形式，在此不再赘述。

4.防腐蚀设计方法

在飞机设计流程中，应当根据飞机结构发生腐蚀的一般类型统计结果，经过多方面权衡，采取如下方法进行防腐蚀设计：

4.1 材料选择

飞机的腐蚀实际上是飞机结构使用的材料的腐蚀。材料的选择必须考虑材料的耐蚀性，因此飞机结构选材原则一般是：

（1）结构钢：优先选用磷、硫杂质含量少的低合金高强度结构钢作为飞机结构主要受力构件，减少碳素结构钢和中等强度合金结构钢的选用，在强度满足要求的前提下选用裂纹扩展速率小和氢脆敏感性小的材料。

（2）不锈钢：优先选用奥氏体不锈钢；需选用马氏体不锈钢时，应尽量选用含碳量低的马氏体不锈钢；强度要求高的构件选用沉淀硬化型不锈钢。除特殊要求外，不锈钢均

应进行钝化处理。

(3) 铝合金: 优先选用高纯度、高强度、高韧性和高耐蚀性的铝合金。薄板零件和薄截面挤压件, 强度许可时优先选用防锈铝; 厚板、锻件和厚截面的挤压件需重点考虑铝合金的抗应力腐蚀性能; 薄板和薄截面的挤压件重点考虑抗剥落腐蚀性能。

(4) 镁合金: 镁合金的耐腐蚀性最差, 飞机选材中一般不应选取。

(5) 钛合金: 选用钛合金材料时应保证钛合金之间或与其它金属之间部产生磨蚀, 以免降低钛合金的疲劳寿命(钛合金对微动磨损有较高的敏感性)。裸露的钛合金不能用于滑动接触部位, 需根据不同情况采用轴承、衬套和涂层等方法进行保护。

(6) 复合材料: 对于复合材料机翼前缘、雷达罩等部位必须采用防雨蚀和防静电涂料进行表面保护; 与碳纤维复合材料构件连接的结构件或连接件, 尽量采用钛合金或不锈钢; 复合材料切割边应进行封边处理。

4.2 结构设计

采用合理的结构设计方法, 及时排出或清理机体内部的腐蚀介质是防腐蚀设计中重要原则。总体布局时, 应综合考虑排水通道、排水装置和排水孔的布置, 避免积水在机体内跨区域流动; 飞机上部结构应形状简单、光滑, 避免沟槽、尖角和缝隙, 避免腐蚀介质的聚集、形成积水的死角, 并采取密封装配; 飞机下部结构应采用挡板、填平剂、排水管、排水沟和滤网等使水流畅通, 应设置足够的排水孔, 并保证排水孔通畅, 使腐蚀介质能顺利排出机体之外, 排水孔周围结构应密封铆接; 飞机舱门应在打开时能将水排放到机体之外, 并应预防液体冻结而阻碍舱门的使用; 避免使用吸湿性材料, 注意防止设备、隔热材料和隔音材料被浸湿。

4.3 表面处理

除慎重选材及精心设计结构外, 还应选择恰当的表面防护措施。选用的表面处理不应给零件材料带来不良的影响(如疲劳、氢脆和残余应力等); 电镀、化学镀、阳极化、化学氧化、磷化等表面处理应在零件完成所有热处理、机加工、焊接、成形和冲孔工序之后进行; 飞机外蒙皮涂层系统, 应具有优异的耐海洋环境性能、装饰性、耐温度交变能力及机械性能, 应至少能在一个大修周期内保持完好; 舱内涂层系统应具有较好的机械性能、装饰性、防污能力和耐湿热性, 不易燃、燃烧时烟雾浓度及毒性应对人体无严重危害; 在结构有缝隙部位、环境恶劣的部位可以选用缓蚀剂保护。适宜

使用缓蚀剂的部位有: 机翼和尾翼的内部区域、机身外部和机翼尾翼外部非活动结构连接的小缝隙、起落架舱、机身地板以下、厕所地板以下等。

4.4 使用维护

在使用维护过程中应当依据手册规定时间间隔对飞机进行清洗, 保持机体干净; 定期对易产生腐蚀的部位进行腐蚀损伤和腐蚀开裂检查; 根据腐蚀损伤程度按手册修理; 并将使用过程中因腐蚀造成的事故完整客观的反馈给设计和制造部门。

5. 环境评估

飞机具体部件究竟承受怎样的腐蚀环境, 需要根据飞机具体部位、飞机任务环境、长期驻扎环境、具体飞行包线等因素综合评估。根据环境评估结果, 针对性设计部件的腐蚀防护能力。

5.1 环境分类

一般按照结构区域、不同位置、不同舱段等, 将飞机结构划分为不同的典型结构区域。如气密区、高温区、暴露区、半暴露区。气密区是指局部温度、湿度、压力等环境因素可控制的区域(驾驶舱、气密设备舱); 高温区是指飞机飞行过程中受局部高温环境影响的区域(发动机热影响区、环控诱发高温区等); 完全暴露区是直接暴露在严酷大气环境中, 受全天候雨雪、阳光、湿热、盐雾等环境作用的区域(飞机外表面、襟副翼滑轨、舵面支架外侧等); 半暴露区是飞机飞行阶段处于封闭状态, 停放阶段处于敞开状态, 受到湿气、盐雾、大气污染物等的作用, 但不受雨雪、阳光直接作用的区域(部分维护口盖内表面、舱门内表面及起落架舱其他结构)。

5.2 结构分区

参照 GJB/Z594A-2000, 根据结构区域的局部环境特点, 综合考虑飞机的任务使用模式, 将机体局部使用环境划分为内部封闭区、半封闭区、外露区。内部封闭区相对湿度一般不大于 80%, 通常不直接暴露在大气中, 但偶尔受少量湿气、盐雾和大气污染物作用; 半封闭区相对湿度不大于 95%, 不直接暴露在大气中, 但受其密封性的影响, 受到一般湿气、盐雾、大气污染物等作用; 外露区相对湿度大于 95%, 直接暴露在恶劣大气中, 长期遭受高湿热、高盐雾和含燃料废气腐蚀大气直接作用。

5.3 环境试验方法

若要评估结构对环境的耐受性, 则应当进行环境评估,

一般做法是筛选腐蚀防护能力相对薄弱的部位制造试验件进行环境试验。军用装备环境试验方法应当按照 GJB150-2009 内相关内容要求执行

6. 结语

在飞机结构设计中需要按照任务需要、寿命要求等设计

输入确定飞机腐蚀防护能力,结合结构选材、防排水通风设计、表面防护处理、调整维护时间等措施满足结构使用寿命要求;在环境评估中,既要保证腐蚀防护能力满足要求,又要保证结构重量最优。

总之,在设计阶段就应当充分考虑腐蚀防护设计,使飞机在全寿命周期内不发生影响机体结构安全的腐蚀性故障。

参考文献:

- [1] 汪定江、潘庆军等.《军用飞机的腐蚀与防护》,2006,航空工业出版社
- [2] 李耀,《飞机腐蚀机理分析研究及防护能力提升思路》,中国科技信息,2020.11.1,P33-34