

# 民用飞机结构 腐蚀控制设计手册



中国航空工业总公司  
民用飞机系统工程部

# 民用飞机结构 腐蚀控制设计手册

中国航空工业总公司 第605研究所 译  
第628研究所

中国航空工业总公司民用飞机系统工程部

1994

## 内容提要

本手册包括《民用飞机结构腐蚀控制设计》和《民用飞机整体油箱密封设计》两个部分及《讲稿提纲》附录,是国外民用飞机结构腐蚀控制设计经验的总结,涉及到结构设计中与腐蚀控制有关的选材、表面处理、细节设计、应力和变形控制、工艺选择、密封剂和缓蚀剂的应用、排水设计及可达性等各方面,内容丰富、实际而具体,是民用飞机结构腐蚀控制设计的很有价值的参考资料。

本手册主要提供民用飞机结构设计工程师参考使用。对于从事民用飞机科研、生产、使用、维修和教学的人员以及从事其它类型飞机同类工作的人员都有很大的实用和参考价值。

### 民用飞机结构腐蚀控制设计手册

---

中国航空工业总公司 第六〇五研究所 译  
第六二八研究所

中国航空工业总公司民用飞机系统工程部出版

第六〇五研究所电子印刷厂印刷

---

1994年10月第一次出版 1994年10月第一次印刷

开本:16开

印张:23

字数:60万

印数:600

出版号:[1994]鄂荆市图内字第28号

总 审      郑 作 棣    周 海 燕

总译审      曹 定 国    仇 仲 翼

分译审      (按姓氏笔划为序)

            龙 敦 浩    李 金 桂    周 北 斗  
            俞 树 奎    钟 定 逵

译 校      (按姓氏笔划为序)

            仇 仲 翼    王 武 红    刘 祖 铭  
            孙 玉 祥    吴 有 金    金    雷  
            罗 家 枢    曹    滨    曹 定 国

出版编辑      王 世 忠

# 前 言

腐蚀是飞机结构的主要损伤形式之一,对民用飞机更为严重。它影响飞机的使用出勤率和使用寿命,又大大增加飞机的使用维护成本,重则危及飞行安全,造成机毁人亡的空难事故。对飞机公司来说,使用期内的保险索赔就是一笔巨额开支。

现代民用飞机设计,将结构的腐蚀控制设计,与结构设计的其它要求,如疲劳、损伤容限和静强度等视为同样重要,是保证飞机使用寿命期内结构完整性的重要内容,是飞机长寿命、高可靠性、好维护性的重要保证,也是确定飞机使用寿命和经济寿命的重要依据。

世界各先进工业国家对飞机的腐蚀及腐蚀控制问题非常重视,除了对飞机材料腐蚀特性及各种表面处理技术不断研究改进之外,对飞机结构设计中与腐蚀控制相关的各方面技术都予以充分重视,并综合地反映在结构细节设计之中。结构腐蚀控制设计决定了飞机的固有腐蚀特性,结构设计人员对保证飞机具有良好的腐蚀特性负有重要的责任。

本手册是国外民用飞机结构腐蚀控制设计几十年丰富经验的最新总结,涉及到结构设计中与腐蚀控制有关的选材、表面处理、细节设计、应力和变形控制、工艺选择、密封剂和缓蚀剂的应用、排水设计及可达性等各方面,内容丰富,实际而具体,是民用飞机结构腐蚀控制设计难得的很有价值的参考资料。

本手册包括《飞机结构腐蚀控制设计》和《飞机整体油箱密封设计》两部分内容和一个附录。全是译自国外有关资料。第一部分全面地综合介绍了飞机结构的腐蚀控制设计,在第一部分第一章总论中有对其如何使用的详细说明;第二部分重点介绍飞机整体油箱的密封设计,它不仅涉及到油箱的防腐蚀设计,同时又关系到油箱的燃油防泄漏设计。附录是一个结构设计腐蚀控制研讨班的讲稿提纲,使广大结构人员了解腐蚀、认识腐蚀并主动地在设计中控制腐蚀,对保证飞机结构腐蚀控制的成功设计起着根本性作用。该讲稿可起到相应的参考作用。

全书从内容到编排,图文并茂、理论适中、工程性强、实用性高。特别适合于飞机结构设计人员使用。

本书翻译尽量忠实于原文,并保持原资料的编排和风格,有几点特别说明如下:

- 第一部分保留了ATA(美国航空运输协会)结构编号系统,这种编号便于航空公司、使用单位和工程单位都能使用。

- 对第一部分第二、四至七章保持了原页次编号,便于读者将内容相互参照,有些缺页是原文有意留为空白待今后补充之用。

· 书中出现的各种表面处理工艺规程代号(如 F-1. ××—F-50. ×××和 SRF-1. ××—SRF-14. ××)在本书中未将原文译出,已全部编译在《民用飞机腐蚀控制》一书中。(航空航天工业部第六二一研究所、第六四〇研究所编,航空工业出版社,1992)。请读者直接查阅。

· 原资料中出现的一些常用缩写词(如 ATA、BAC、BMS、BMT…)亦予以保留,其含义在本书中第一次出现时予以一次说明。

· 译文技术术语尽量与有关标准一致,或采用结构、腐蚀专业人员习惯用语。由于水平有限,错误在所难免,请各位专家和读者见谅,并恳请多提宝贵意见。

参加本书译校审工作的有仇仲翼、王武红、刘祖铭、孙玉祥、吴有金、金雷、罗家枢、曹滨、曹定国、龙敦浩、李金桂、周北斗、俞树奎、钟定逵、由曹定国和仇仲翼作为总译审。

本书从开始立项到出版,一直在航空工业总公司民机系统工程部的大力支持和指导下进行的,郑作棣同志和周海燕同志对全书作了总审核,在此表示深切谢意。

六〇五研究所李洪畴同志对本书的出版也给予了大力的支持,在此一并表示感谢。

## 第一部分

# 飞机结构腐蚀控制设计

# 总 目 录

	页 次
第一部分 飞机结构腐蚀控制设计 ...	1
第一章 总 论 .....	1
第二章 起落架 ATA32 .....	17
第三章 结构—通则 ATA51 .....	27
第四章 机 身 ATA53 .....	53
第五章 短舱和挂架 ATA54 .....	153
第六章 尾 翼 ATA55 .....	165
第七章 机 翼 ATA57 .....	185
附录 A 737/757 表面处理要求 .....	235
附录 B 747/767 表面处理要求 .....	265
第二部分 飞机整体油箱密封设计...	297
附 录 腐蚀控制及表面处理 —腐蚀控制研讨班讲稿提纲 ...	319

# 第一章 总论

## 目 录

	标 题	页 次
1	引 言 .....	2
2	使用说明 .....	4
3	腐蚀类型和原因 .....	4
4	防腐蚀设计理论 .....	13
5	对使用者的要求 .....	14

## 1 引言

本手册是作为一本飞机结构腐蚀控制的综合性设计指南而编写的。腐蚀控制设计与其他结构要求,诸如疲劳、损伤容限和静强度要求同样重要。

腐蚀是一种严重的、高费用的问题。航空公司花费大量的,而且日益增加的时间和经费用于腐蚀修理。有些工业界估计,结构修理费用的95%与腐蚀有关。一个更重要的问题是要在整个飞机设计寿命期内保证飞机结构的完整性。对飞机公司来说,使用期内的保险索赔也是一笔巨额开支。

环境和不合理的维护结合,使飞机材料极易遭受腐蚀(图1-1)。业已知道,漏检的腐蚀与其他未预料到的问题(如胶接结构的脱胶问题)掺混在一起会使问题十分严重,如图1-2、图1-3所示。漏检的腐蚀可能引起结构和系统的损伤,最坏的情况下,还可能引起飞机失事。1971年10月,Vickers公司的先锋型(Vanguard)飞机坠毁,机上有63人。这次事故是由于厕所溢出的污水促使后增压隔框接头腐蚀引起的。1981年8月,一架远东航空公司的737-200飞机坠毁。严重的、未经修理的硬壳式机身的腐蚀导致了结构损坏,同时前货舱迅速降压。这些事故应该引起设计人员的注意,设计人员应该承担与防腐蚀设计有关的重大责任。设计人员的责任,首先要认识到选材、排水系统、表面处理和密封对结构耐久性的重要性,然后是良好的可达性,使航空公司有可能经济地进行检查和维护结构。

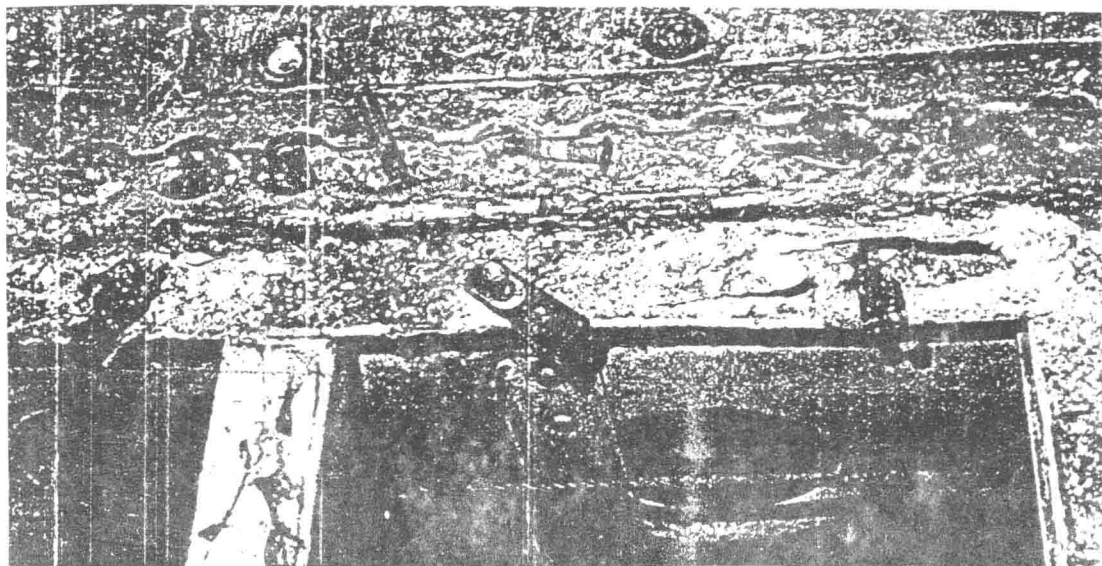


图 1-1 密封渗漏和积水引起座椅轨道的腐蚀

本手册包括不宜采用的和可接受的防腐蚀设计方案。不宜采用意指虽然所示的构型可能在现有的飞机型号中找到,但它不会再用于新型号或主要的改型中。可接受意指所示的构型是一种经过验证的设计,并将用于新型号或主要的改型。然而,如果有其他改进的方案可用,新设计不一定限制采用所示的构型。书中也列出了新设计构思,这表示所示的构型在新设计中应该加以考虑。注意:所有设计都可能由于买主和飞机型号“细节规范”而有所变化。本手册不应用作“烹调手册”,而应作为在新设计和改进设计中的指南。

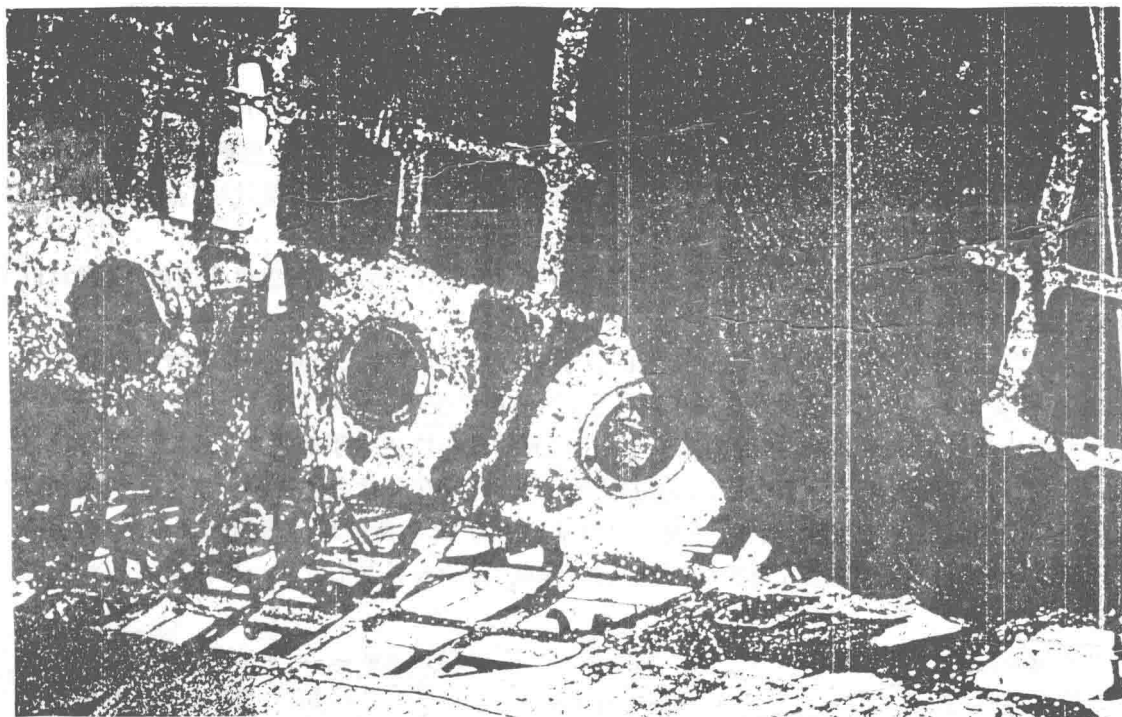


图 1-2 机身底部蒙皮格状加强件脱胶和腐蚀

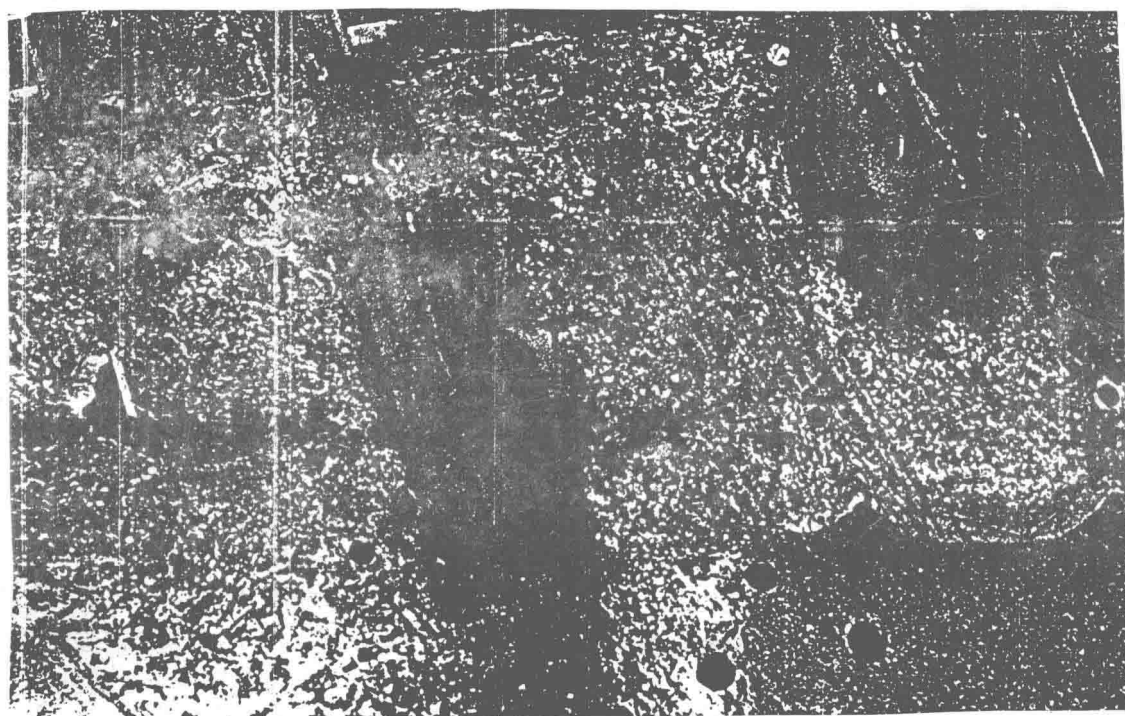


图 1-3 由于脱胶与排水差、维护差、质量控制差  
以及无缓蚀剂所综合引起的机身底部蒙皮腐蚀

## 2 使用说明

本手册包括三部分:引言,包括一般防腐蚀准则;ATA(航空运输协会)各章的细节设计资料(对于在 ATA51 中的新设计,包括表面处理图纸要求。);及两个附录,包括现行的 737/757 和 747/767 的表面处理要求。另外,在 ATA 各章中,以可接受(对于新设计)与不宜采用的设计方案的实例形式给出了表面处理、密封剂、排水系统和缓蚀剂的资料。

手册中描述的主题是液体的排放、耐蚀材料的选择、零件表面处理、组件表面处理、密封以及装配后缓蚀剂的应用。

为了从书中获得最大收益,鼓励读者阅读引言。然而,设计人员最感兴趣的资料是在按 ATA 编号安排的各章中,这样编排便于航空公司、使用单位和工程单位都能使用。

大部分章以目录表开始,接着为图形索引页(有的章),图形索引页说明 ATA 的部件项目(如,机翼),并详细列出了该章中所包括的零组件的页次。ATA 章中的资料分析了一般的和详细的两层次的腐蚀控制经验。例如,一页中可以描述机身 48 段所要求的表面处理系统,而另一页说明了与后增压隔框排水孔有关的特殊问题。因此,目录表和图形索引可以用来查找相应的资料。

每位设计者都应考虑某一设计细节是否会影响飞机的其他区域,这是非常重要的。尤其对于系统和客货舱区的设计人员来说,这是特别重要的,因为这些系统和区域的液体溢出或排水系统堵塞都可能明显影响其他组设计的结构。鼓励设计人员熟悉 ATA 各章的内容,以便与其同事既有分工又共同合作地进行设计。

## 3 腐蚀类型和原因

### 3.1 腐蚀机理

金属腐蚀是金属对环境的反应,它导致金属性能的逐渐降低。产生这种反应的原因是当金属氧化时,金属获得热动力平衡。在被浸蚀的钢上出现铁锈(氢氧化铁)就是这种行为的形象的说明。产生腐蚀要有三个必要条件,如图 3.1-1 所示:

- (1)阳极和阴极之间的电位差(E)。这种电位差能由不同金属电池或浓差电池产生。
- (2)电解液(通常为水)的存在,盐和/或气体溶解于电解液产生传导电流的离子。
- (3)阳极和阴极之间传导电流的金属导体。

在一种实际的、可用的、经济的飞机设计中,这三个条件都不可能完全避免。电传导是不能避免的,因为飞机结构要用导电的金属紧固件,以保持电性能连续性,例如,为了防雷击和避免产生干扰无线电通讯的 P—静电电流。

由于重量、费用和功能等原因,不同金属间的连接不总是能避免的,但是可以通过涂漆、接合面密封、电镀和阳极化等措施将其减至最低程度。水是不能避免的,但可以通过设计排水通道、排水孔、对零件和组件采用镀涂层、密封连接件和使用水置换型缓蚀剂,将水进行控制和排除。因此,“水通道”(或水路)通常是被切断的,以防止腐蚀。

### 3.2 腐蚀类型

民用喷气运输机中发现的一般腐蚀类型有:

#### 3.2.1 不同金属/双金属腐蚀

这种腐蚀是当两种不同金属在电解液中接触形成原电池时发生的活性阳极腐蚀。图 3.2-1 表示了不同金属的典型腐蚀情况,其中铝耳片(阳极)因与铝-镍-青铜衬套(阴极)接触而产生腐蚀。在这种情况下,铝合金的腐蚀比不与铝-镍-青铜衬套接触的要快。

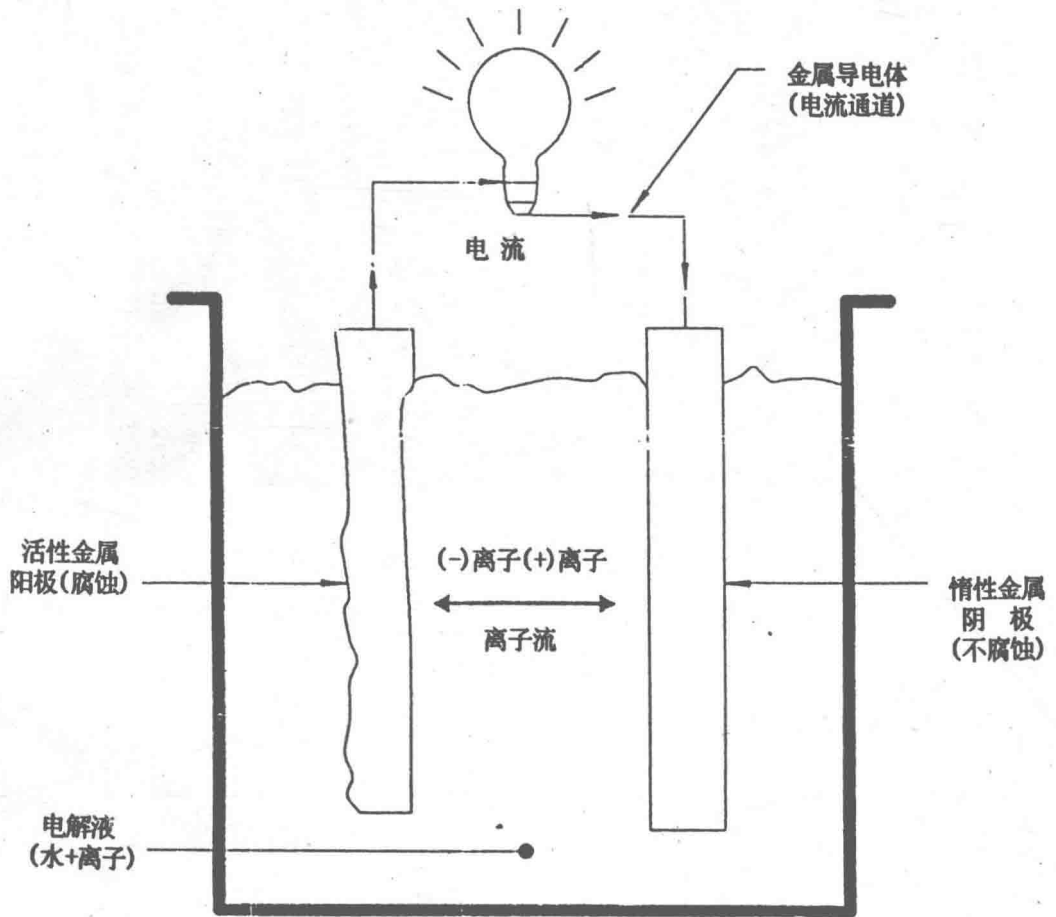


图 3.1-1 电化腐蚀电池

### 3.2.2 浓差电池(缝隙)腐蚀

浓差电池腐蚀是由于某一金属表面环境不同而产生的。一种常见的形式为氧差电池腐蚀，其中缝隙或接触面间所吸入湿气的氧成份比敞开表面的氧成份低。

另外，当连接内存在湿气和盐时，氯离子( $\text{Cl}^-$ )移到连接内的缺氧区(阳极)，产生酸度较大和腐蚀性的条件，见图 3.2-2。浓差电池腐蚀是最常见的飞机腐蚀形式，并且可能是非常有害的，见图 3.2-3，图 1-1 和图 1-2。

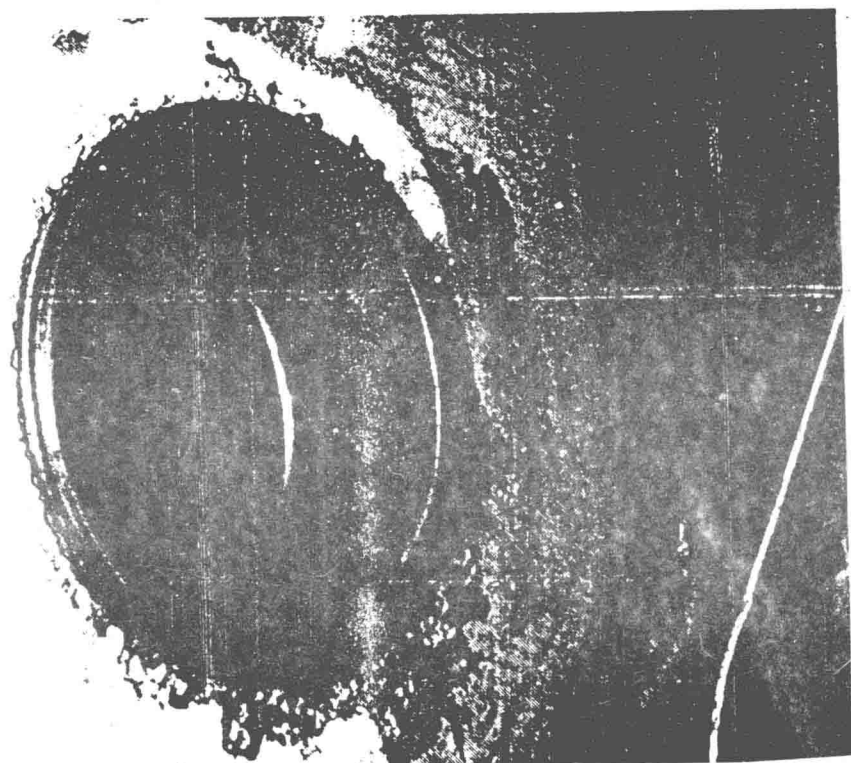


图 3.2-1 铝耳片(阳极)中铝-镍-青铜衬套(阴极)造成的原电池腐蚀

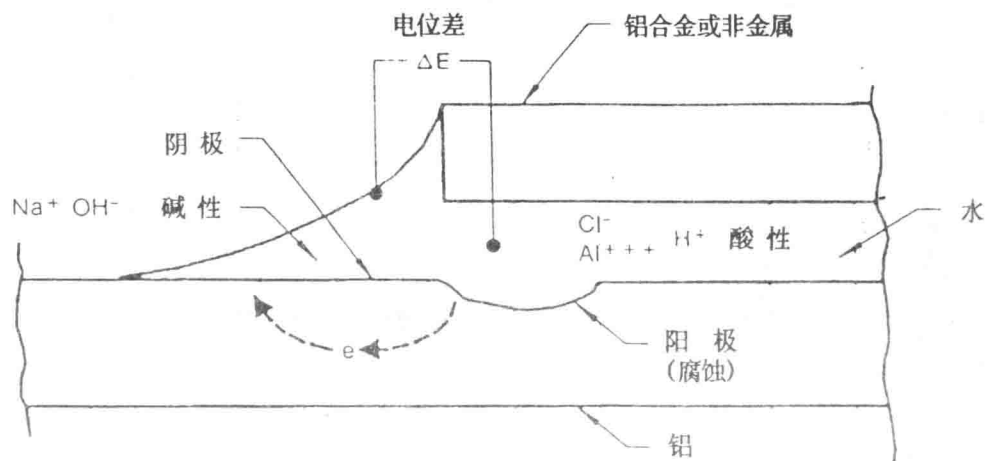


图 3.2-2 有盐 NaCl 情况下典型浓差电池(缝隙)腐蚀示意图

### 3.2.3 剥蚀

剥蚀为晶间腐蚀的一种形式,它沿着在辊压、挤压和锻造过程中产生的顺长晶粒的方向进行的。

这种腐蚀引起剥落或剥离效应,并且能由于局部腐蚀强度导致材料迅速损失,见图 3.2-4 和图 3.2-5。

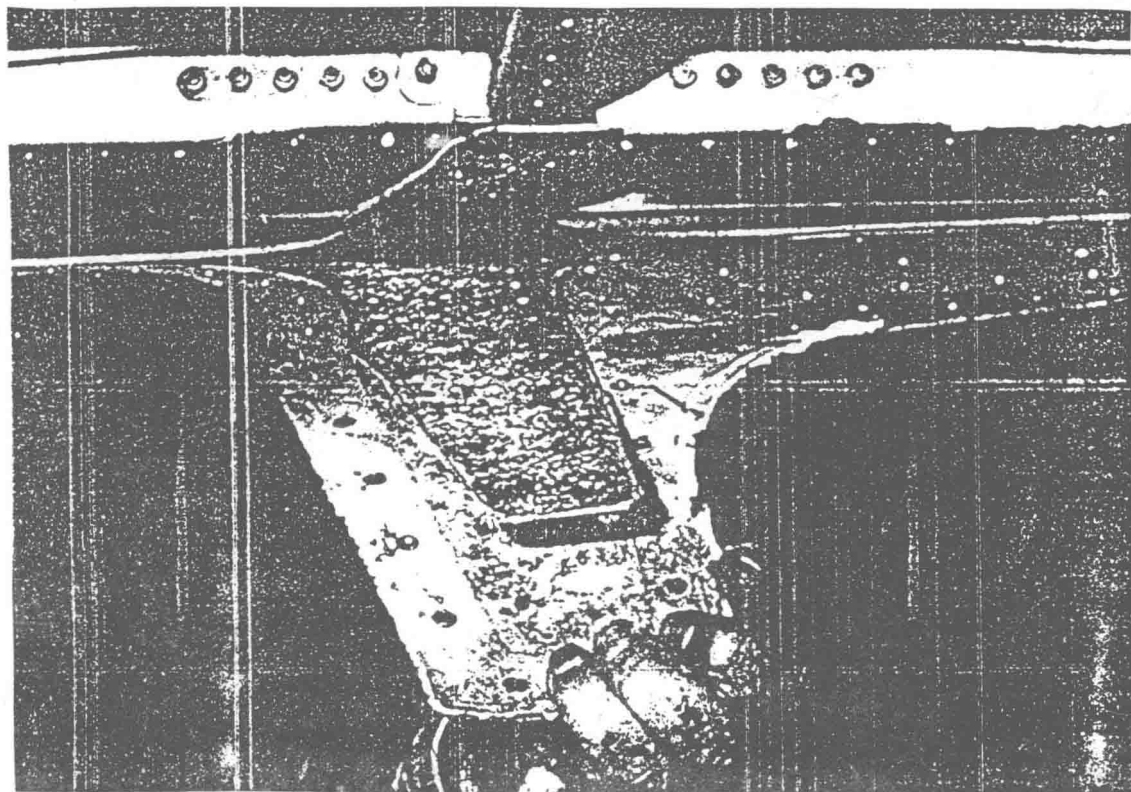


图 3.2-3 机身剪切板条脱胶层中浓差电池腐蚀的结果

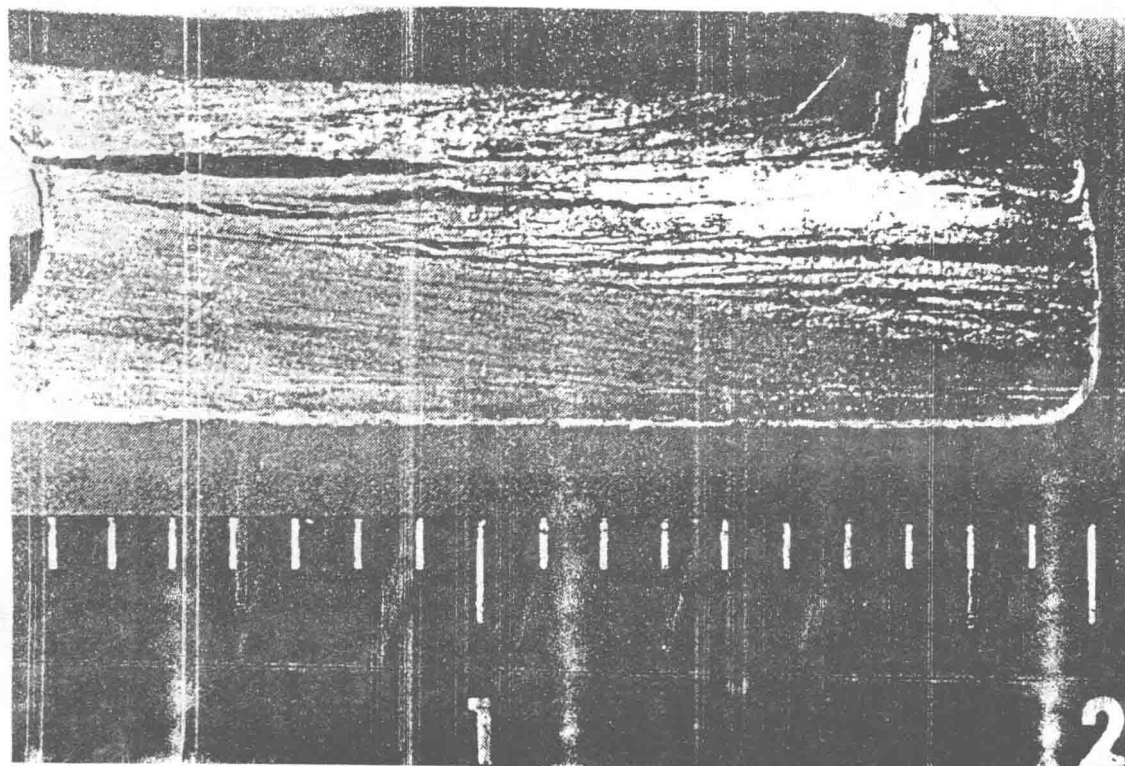


图 3.2-4 7075-T6 铝合金后缘边梁的剥蚀  
注意:应力腐蚀开裂从剥落区到孔

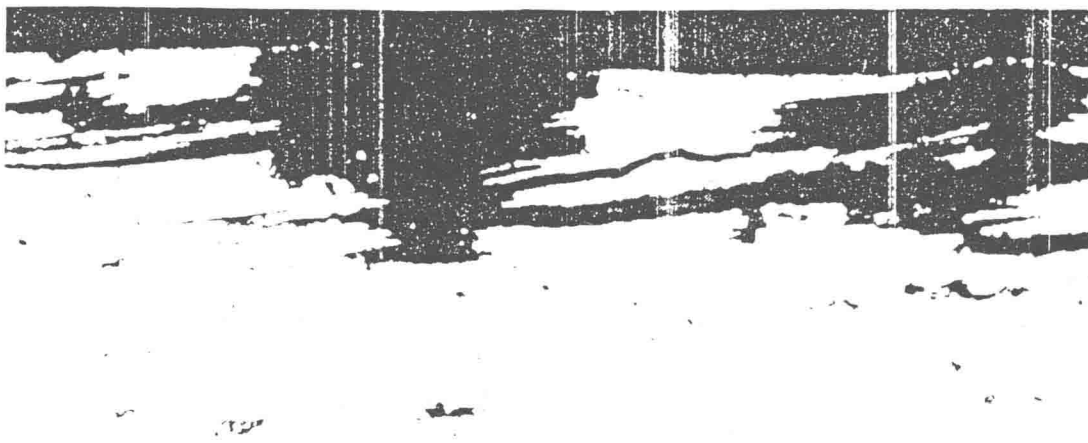


图 3.2-5 剥蚀的表面剥离或分层作用的横截面显微照片

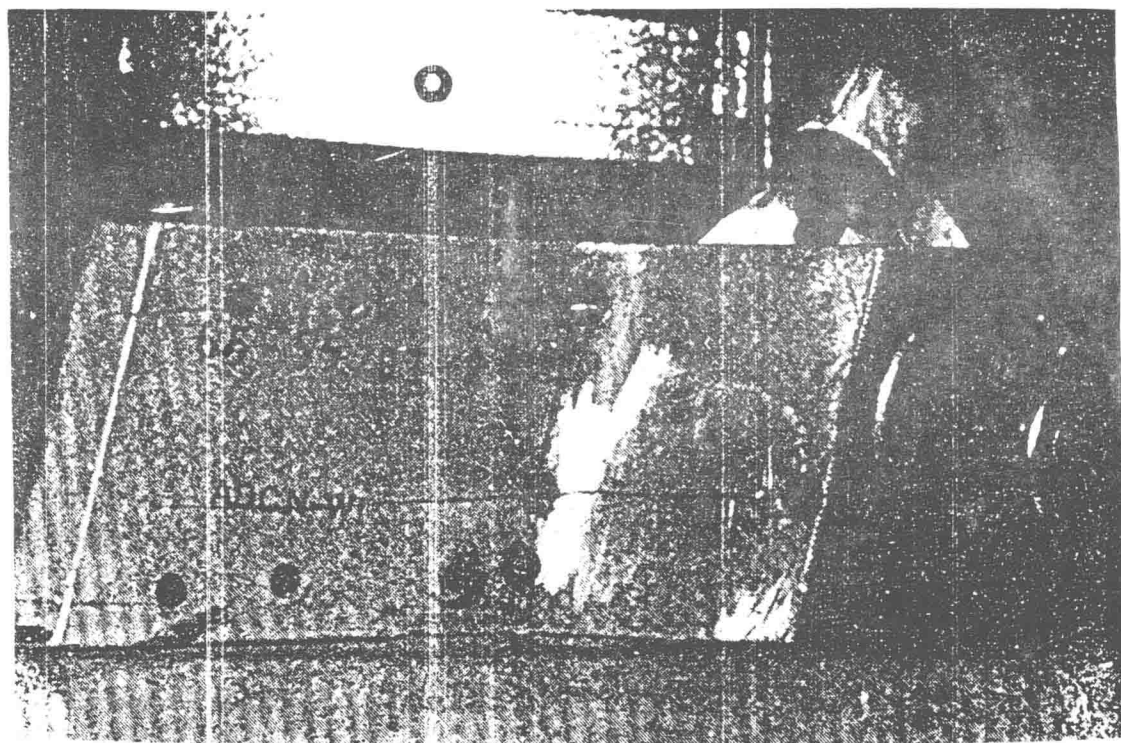


图 3.2-6 7079-T6 运输机货舱门止动装置应力腐蚀开裂

#### 3.2.4 应力腐蚀开裂

应力腐蚀是晶间腐蚀的一种形式，一般沿着铝合金晶粒结构的单一平面进行。在环境和应

力(工作应力或残余应力)都存在的情况下,一般产生裂纹快速扩展,见图 3-2-6。对应力腐蚀开裂敏感的材料有 T6 状态下的 7000 系铝合金和高强度合金钢(拉伸强度 200 千磅/英寸<sup>2</sup>)。

### 点蚀

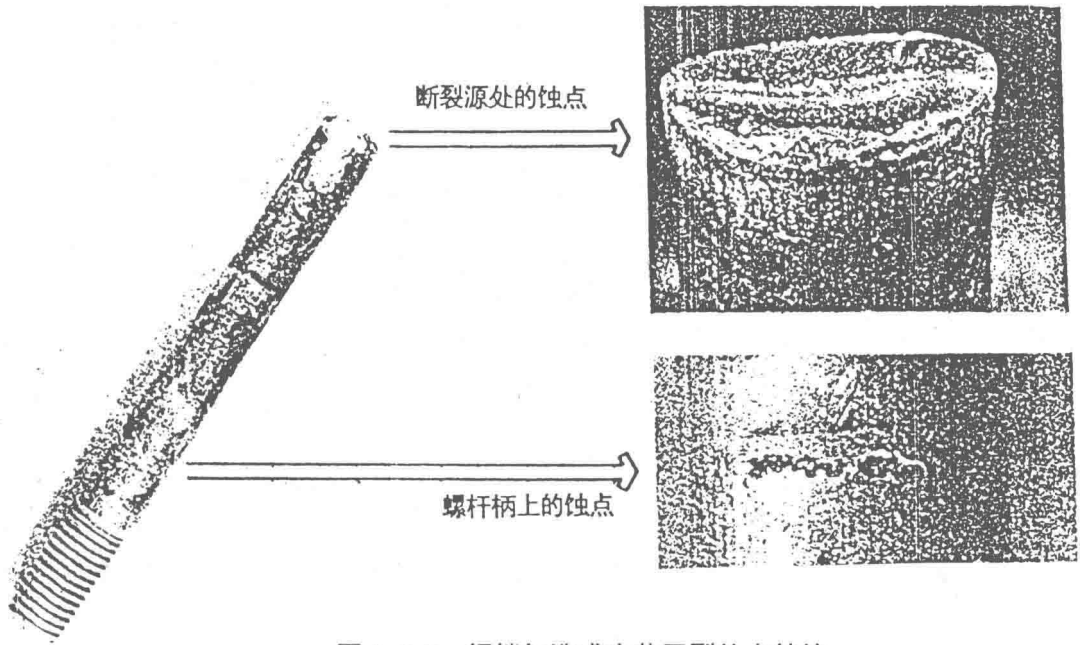


图 3.2-7 钢销钉造成疲劳开裂的点蚀坑

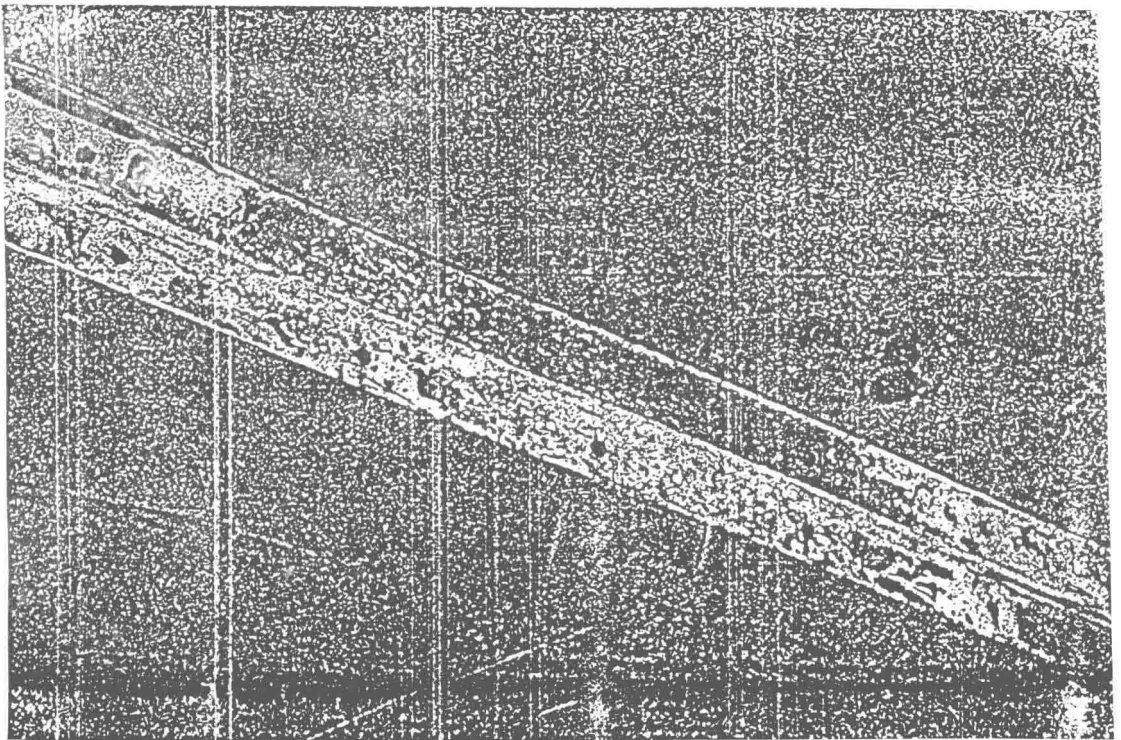


图 3.2-8 缘条角材一般表面腐蚀