

民用飞机

腐蚀的防护与控制

主 编 黄传奇
副主编 昂海松 刘德铸
陈振华 杨景佐



中国民航出版社

民 用 飞 机 腐蚀的防护与控制

主 编	黄传奇	
副主编	昂海松	刘德铸
	陈振华	杨景佐
主 审	乔 新	
副主审	李 薇	刘占广
	陆金桂	宗蕤
	刘 伟	

中国民航出版社

图书在版编目(CIP)数据

民用飞机腐蚀的防护和控制/黄传奇主编。

—北京:中国民航出版社,1996.10

ISBN 7-80110-131-6

I. 民… II. 黄… III. ①民用飞机—金属表面保护②民用飞机—防腐 IV. V261.93

中国版本图书馆 CIP 数据核字(96)第 18687 号

民用飞机腐蚀的防护和控制

主 编 黄传奇

副主编 昂海松 刘德铸 陈振华 杨景佐

主 审 乔 新

副主审 李 微 刘占广 陆金桂 谢宗蕤 刘 伟

*

中国民航出版社出版发行

(北京市朝阳区光熙门北里甲 31 号楼)

— 邮政编码 100028—

南京航空航天大学印刷厂印装

*

开本:850×1168 1/32 印张:6 字数:150 千字

1996 年 11 月第 1 版 1996 年 11 月第 1 次印刷 印数 1-1000 册

ISBN 7-80110-131-6/V·070 定价:40.00 元

前 言

腐蚀是工程构件材料常见的“慢性病”，如果没有良好的防护措施，发展下去就会成“致命性破坏”。对于民用飞机来说，腐蚀是结构日常受损的主要形式之一，它不但影响飞机的使用寿命，而且危及飞行安全。

针对民用飞机的管理、维护和修理的需要，我们在参阅国外民航型号飞机腐蚀防护的大量材料基础上，对民用飞机腐蚀的各种类型、起因和影响因素作了较全面的阐述，并对腐蚀的预防性维护和修理方法作了比较具体的介绍。

本书编汇了飞机构件腐蚀及防护的大量图片实例和图表，内容丰富，工程实用性强。

书后还附有腐蚀原理、金属极性和名词术语索引等，便于查阅。

本书主要用作民航飞机维护和管理人员的培训教材，也可供从事民用飞机设计、生产、维护、教学和科研人员参考。

目 录

第一章 概述	(1)
1.1 基本概念	(1)
1.2 飞机腐蚀的环境因素	(2)
1.3 飞机腐蚀问题的背景	(6)
1.4 腐蚀发生的原因	(7)
1.5 腐蚀的机理	(8)
第二章 腐蚀的类型	(13)
2.1 普通表面腐蚀	(13)
2.2 双金属腐蚀(电化腐蚀)	(14)
2.3 镀层牺牲腐蚀	(21)
2.4 缝隙腐蚀	(22)
2.5 点腐蚀	(25)
2.6 丝状腐蚀	(26)
2.7 剥离腐蚀	(29)
2.8 应力腐蚀	(34)
2.9 微生物腐蚀	(36)
2.10 微动腐蚀	(41)
2.11 磨损腐蚀	(42)
2.12 汞腐蚀	(42)
2.13 化学腐蚀	(47)
2.14 腐蚀疲劳	(48)
第三章 腐蚀的症状	(50)
第四章 腐蚀的检测	(57)
4.1 总则	(57)

4.2	例行检查	(57)
4.3	特种检查	(60)
4.4	检测方法和设备	(60)
第五章	修理	(76)
5.1	总则	(76)
5.2	用机械方法清除腐蚀	(81)
5.3	特殊的整修方法	(92)
5.4	用化学方法清除腐蚀	(96)
5.5	清除腐蚀的确认	(98)
第六章	预防腐蚀的维护	(103)
6.1	维护概念	(103)
6.2	防护涂层系统	(105)
6.3	特别条目	(117)
6.4	腐蚀问题举例	(131)
6.5	防腐蚀资料	(141)
第七章	特殊考虑	(158)
7.1	特殊因素	(158)
7.2	总结	(159)
附录 1:	腐蚀基础知识	(163)
附录 2:	腐蚀基本原理	(168)
附录 3:	腐蚀术语(中英文对照)	(176)
附录 4:	腐蚀有关杂志和会议	(186)
附录 5:	腐蚀研究中常用的物理方法	(188)
附录 6:	在各种类型的大气中双金属腐蚀的危险	(190)

第一章 概 述

1.1 基本概念

什么是“腐蚀”？腐蚀就是指物质(通常是金属)与环境介质相互作用所导致的变质或破坏。

腐蚀是工业和日常生活中所发生的极其普遍的现象。现在已知的八十种金属,都会在一定条件下受到不同程度的腐蚀。能够引起物质腐蚀的环境介质也非常广泛,例如:大气、水(淡水、雨水、海水)、土壤、灰尘、化学原料以及不同种类的金属等等。金属材料的腐蚀主要是与上述环境介质发生化学或电化学反应而带来的。这种作用往往还不是单一的化学作用,常常同时存在着物理、机械、电流、生物和射线等其他方面的影响。

腐蚀给各种工程构件和产品所带来的危害是惊人的,所造成的经济损失是巨大的。据统计,由腐蚀所造成的直接经济损失在有的国家高达国民生产总值的百分之四。如美国,每年因腐蚀和防腐蚀所花费的价值就有 100~150 亿美元。产品的腐蚀,其危害性还远远大于原材料的腐蚀损失。腐蚀引起飞机结构损害的现象大量存在,甚至酿成机毁人亡的事故。如 1971 年一架 Vanguard 型飞机,由于厕所污水所引起的接头腐蚀损坏,造成载有 63 人的飞机坠毁恶性事故。又如 1981 年一架波音 737-200 飞机,由于机身腐蚀引起结构破坏,而导致飞机坠毁。图 1.1 给出了飞机地板结构腐

蚀的典型例子。

腐蚀的另一特点是,其发生的因素涉及到产品的设计、原材料、生产加工、装配、包装、运输、使用、维护、修理的全过程,它包括对设计、维修材料的选择(材料的特性与相容性),制造加工和修理的过程,装配方法,防护层的处理,腐蚀环境的防止和减少,运载方式和受力情况,以及日常服务性工作的质量。

因此腐蚀的防护与产品的设计人员、制造人员、管理人员、使用操作人员和维护人员对腐蚀问题的了解和处理对待都有直接的关系。

鉴于腐蚀问题的严重性,越来越多的国家对腐蚀科学及其防护技术引起高度重视。腐蚀的防护也列入民用飞机的基本维护的重要内容。当然,民航飞机部门的所有人员都应了解和重视腐蚀问题。

1.2 飞机腐蚀的环境因素

飞机腐蚀主要受到大气条件和运行环境的影响,它涉及到温度、湿度、氧化、有害气体、化学物质等多种因素。这些环境因素对飞机遭受腐蚀侵犯的易感性起着主要作用,而且,往往是多种因素的组合作用。图 1.2 给出了一些腐蚀严重程度不同的区域。

1.2.1 大气和气候

飞机是大面积暴露于大气环境中的交通工具,而飞机运行的大气环境变化也很大:季节变化,寒、温、热气候地区变化,天气变化(云、雾、雨、雪),高度变化(温度、辐射、臭氧),大气紊流变化等。典型的影响因素有以下几种:

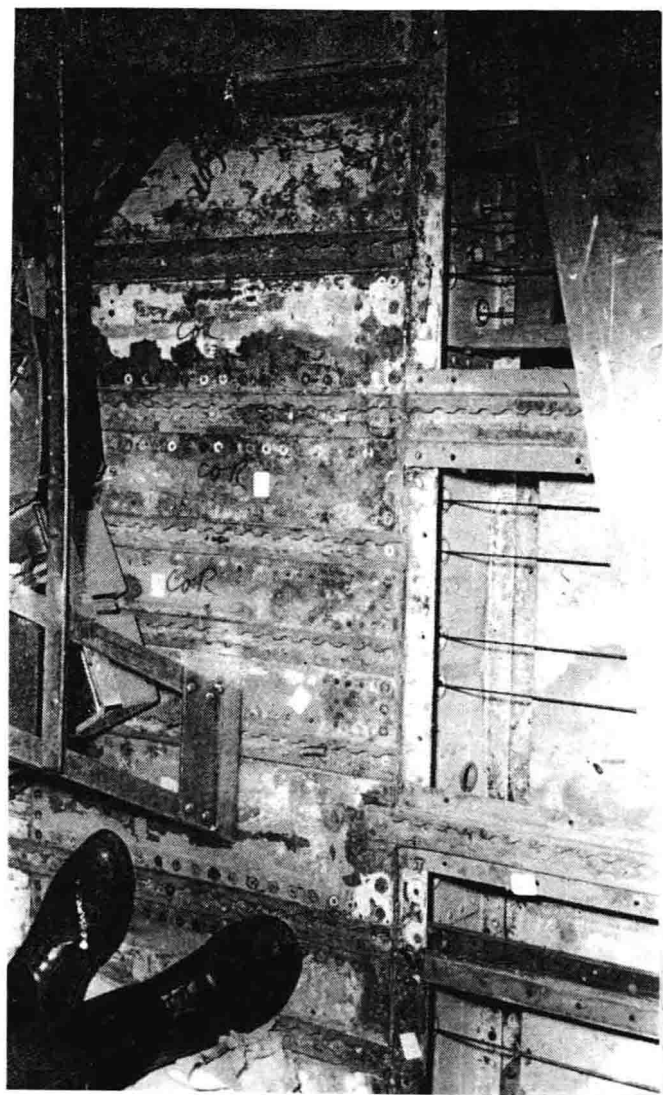


图 1.1 飞机地板结构的腐蚀

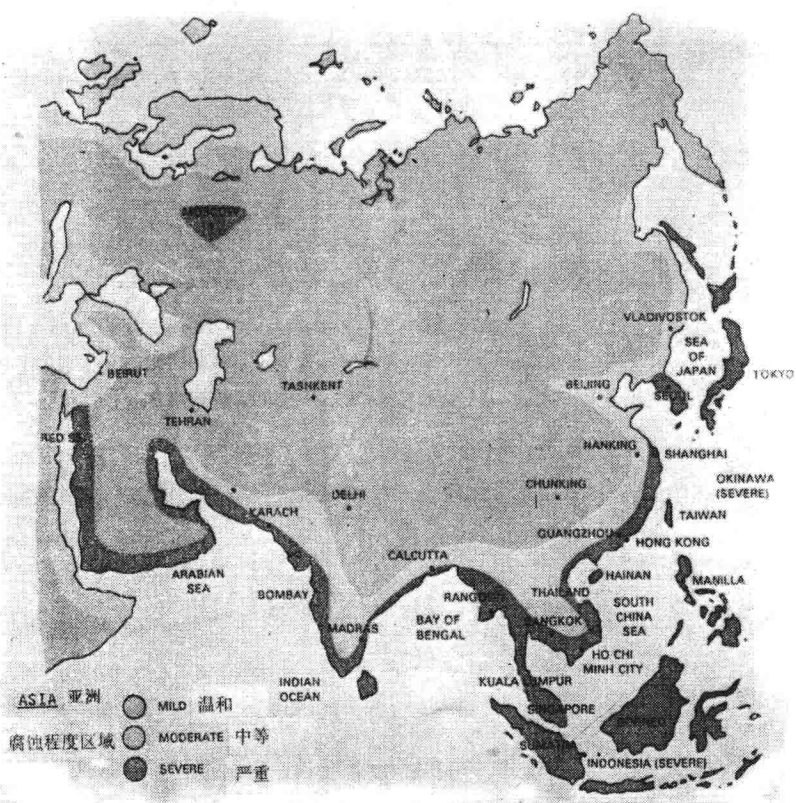


图 1.2 亚洲地区腐蚀严重程度分类

(1) 海洋性气候

大气中含有高浓度的盐粒或盐雾,影响因素还涉及到距海面的高度、风速、雨量、温度以及鸟粪等。

(2) 大气污染

指工业排气污染(如二氧化硫)、火山爆发的灰尘、沙层、珊瑚尘等。

(3) 雨天

雨水与氧气或其他化学成分对金属面接触产生化学作用。

(4) 湿度大

相对湿度大的空气会产生吸附在金属表面的水膜。

(5) 高温地区

一方面热空气的腐蚀速度比冷空气大;另一方面热冷变化使金属表面产生水汽凝结,高温高湿则影响更大。

1.2.2 运行环境

由于飞机运行航程远、跨距大、装载频繁,遭受腐蚀影响的环
境介质因素较多。最主要的运行环境影响因素有如下几方面:

(1) 跑道构造

路面铺设的材料选择,砂砾灰尘的多少,路面是否含有污物或玻璃等有害杂质等。

(2) 跑道污染

指用某些化学物质的方法来清除跑道的积雪或冰残留下的有害污染物质。

(3) 运行高度

飞机处于低高度环境时间的百分比。低空环境下飞机遭受地面工业污染或海洋性环境侵蚀较严重。此外,飞机遭受大气紊流量的不同影响。

(4) 站间行程

飞机起降站间的行程大小,将影响到油箱中燃料凝集的时间和状况,从而影响到微生物的生长情况。

(5) 运载货物的类型

活的动物、海洋性食物和许多化学物品会对飞机造成直接污染和腐蚀。

1.3 飞机腐蚀问题的背景

由于金属材料大量地被飞机结构所采用,腐蚀就成为一种普遍问题,并且会给民航工业和公司带来很多麻烦。随着喷气时代的到来,飞机面临着一系列新的和严重的腐蚀问题。这些问题由以下很多因素引起:

- 民航飞机的高运行使用率;
- 严重恶劣气候环境的飞行目的地的不断增加;
- 由于飞机结构采用了一系列高强度的新材料和新的生产过程,以至于为了追求高性能而带来日益增多的损坏;
- 用户希望飞机有更长的运行服务寿命(现在,通常使用寿命提高到 20 年);
- 装载各种易腐蚀飞机的货物(如牲畜,海洋食品等)。目前,由于航空运输工业的不规则发展导致了相对低的燃料价格,以及其他经济因素,使得不少航空公司继续使用那些老式耗油飞机。这些飞机的服务时间已超过了飞机原始设计的目标。

此外,产生了一些新的环境问题,如:

- 工业污染引人注目地增加;
- 近些年火山爆发活动的增加。

据国际航空运输协会 1983 年的报告计算,由于腐蚀问题所引起的损失是每飞行小时约 10~24 美元,这些情况还不包括那些停机时间腐蚀造成的损失。

由于飞机服务使用经验和新的发展,近来大量防腐蚀技术的改进已结合到生产中,以至于目前生产和将生产的飞机结构要比早先型号的飞机耐腐蚀性好得多。

越来越多的经验教训使人们认识到,预防性的维护和防腐蚀的重要性。由于不少公司及时采取了预防腐蚀的措施,已经使民航公司获得了丰厚的经济效益,并且还将帮助他们全面地降低费用。

然而,至今仍然有不少民航部门还维持老的传统观念,只是到腐蚀已造成严重损害或出现故障时,才认识到腐蚀预防的重要,这是很危险的。

1.4 腐蚀发生的原因

当金属从原始矿物由熔炉冶炼出来时,它就由矿物中的稳定态变为金属态,这些金属态物质在绝大多数实际条件下是不稳定的,因而绝大多数暴露于大气中的金属,都隐含着一种趋于“回归”成稳定化合物的内在动力。包括那些由原材料重新提炼加工而成的飞机制造所需要的各种型材,都处于含有高能量的不稳定状态。腐蚀发生的潜在原因是金属材料具有趋于更稳定和低能量状态的特性,这一过程包含材料中氧化物的重新形成。

一旦这些金属处于某种特殊环境而发生物理化学作用,就会使金属材料性能恶化,以至造成破坏。

影响腐蚀的因素很多,如形成产品前材料的热处理历史状态、表面状态、加工后的应力状态、含有杂质的情况等,这些都对耐蚀性有很大影响。而许多环境条件都会引起和加速金属材料构件的

腐蚀过程,如温度、电位差的产生、磨损、辐照、氧差、浓差、生物,甚至时间也会增加金属的腐蚀程度。

从材料的内在特性方面来说,腐蚀的发生取决于结构金属材料对环境腐蚀侵袭的易感程度。而从总的影响方面来说,腐蚀的发生及其程度是金属材料内在特性、环境条件和提供的防护措施等诸因素的函数。即使是一些贵重、耐蚀的金属材料,如果它们处于腐蚀环境而又缺乏保护措施,也会发生性能恶化乃至迅速崩溃破坏的情况。

目前,飞机制造过程中已采取一些有效步骤来防止或延缓腐蚀过程的发生,如防护性涂层技术的应用。而飞机使用过程中仍然发生严重的腐蚀,其直接的原因是飞机结构处于腐蚀侵袭环境中或出现某些裂纹时,缺乏适当的防护措施和及时的修补办法。

表 1.1 给出了飞机从设计到维护各阶段可能产生腐蚀的各种外部原因。

1.5 腐蚀的机理

腐蚀的类型尽管有多种多样,就本质上来说,就是金属与环境介质发生了某种化学反应或电化学反应。

不同金属的化学活泼性不相同,飞机结构所采用的铝、镁、钢都属于活泼金属。实际铝材其活泼性变小的原因是在铝的表面通常生成了一层氧化铝“保护膜”。

单纯的化学腐蚀,就是金属与介质发生某化学反应过程,如:介质分子在金属表面吸附和分解;金属原子与介质原子化合;化学反应的产物或者挥发掉,或者附在金属表面发生反应后又剥落。

电化学腐蚀过程比化学腐蚀更复杂一些,也更普遍。这种腐蚀的反应发生,必定存在某种电解质,且有阳极和阴极存在,在两极

之间存在电位差,并形成电路通,于是便发生金属的阳极溶解反应和电解质氧化剂的还原反应,从而造成大多数阳极性金属局部腐蚀。由于腐蚀产物多数呈粉末状,又迅速吸收水份,促进新的电化学过程,所以腐蚀将迅速扩展。图 1.3 显示了腐蚀电池的原理图。

浓差电池腐蚀也是一种电化学腐蚀形式。当同一金属的不同部位,将与浓度不同的电解质液体接触时,便产生不同的电极电位,从而构成宏电池。例如飞机结构缝隙中的水汽,其表面与内部的含氧成份不同,而形成氧差电池,其中与含氧低的电解质接触的面为阳极,将发生阳极化学反应而被腐蚀。图 1.4 显示了几个浓差电池的例子。

晶间腐蚀是另一种形式的电化学腐蚀。它通常沿金属加工的晶粒边缘处发生。这是由于金属晶粒边界处的物质比界内晶粒本体的溶解速率大得多,于是在晶粒边界与晶粒本体之间产生电化学差异(如极化边界为阳极性,而本体呈阴极性。),从而产生晶间腐蚀。这些晶粒边界主要是在各种机械加工制造过程中形成的。

表 1.1 腐蚀的起因

领域	原始设计	制造及工艺过程	运行环境	涂层	机内环境	意外污染	维护
起因	不相容的金属	缺乏培训的工艺程序	海岸	碎屑	冷凝	水银溢溅	疏忽
	裂隙	不正确的工艺程序	高湿气候	划伤	动物运输	化学溢出	不适当的修理
	高应力水平	不适当的光方法	工业污染	紧固件裂纹	海洋食品运输	厨房废物	粗劣的清洁操作
	不适当的防护	不适当的装配	有砂砾跑道	磨损	微生物生长	洗手间溢漏物	低劣的训练
	缺乏润滑装置	缺乏质量控制	除冰雪剂	沉积		灭火剂残留在火物	不适当的材料选择不符合腐蚀性去执行
	排污系统低劣可接近性差			侵蚀			
	不适当的选择材料			老化			
	不适当的工艺选择						

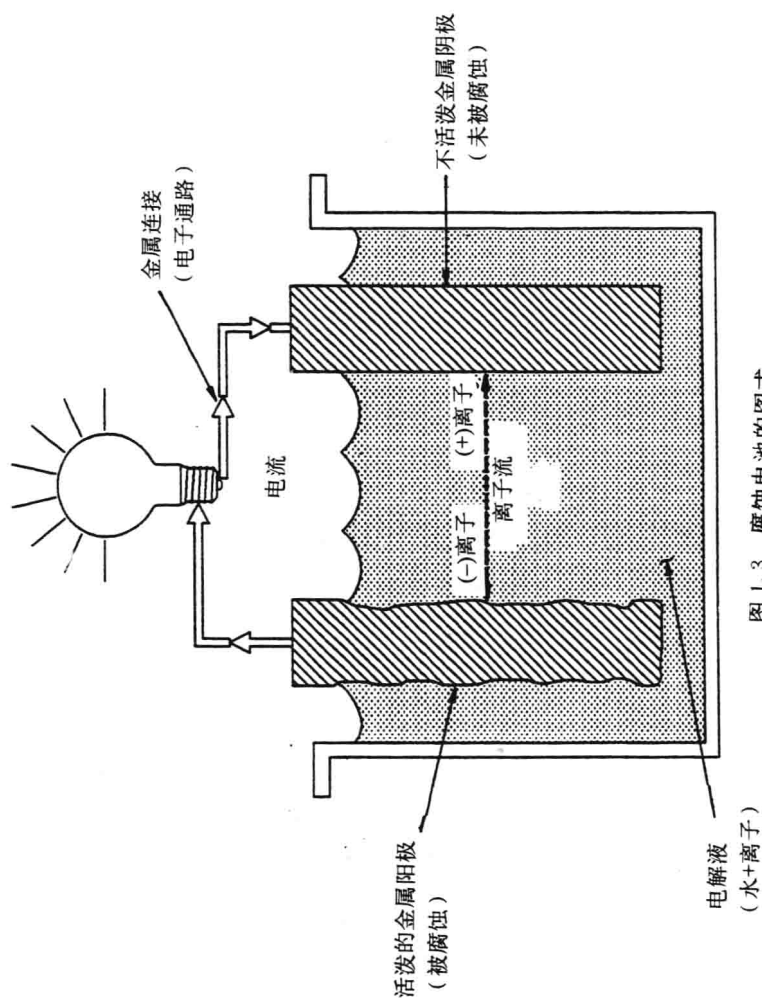


图 1.3 腐蚀电池的图示