

工业涂料与涂装技术丛书

航空涂料 与涂装技术

何 鼎 雷骏志 华信浩 编著



化学工业出版社

工业涂料与涂装技术丛书

航空涂料与涂装技术

何 鼎 雷骏志 华信浩 编著

化学工业出版社

·北 京·

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

航空涂料与涂装技术 / 何翔等编著. — 北京: 化学工业出版社, 2000.1

(工业涂料与涂装技术丛书)

ISBN 7-5025-2713-3

I. 航… II: 何… III. ①航空材料-涂料②航空器-制造-喷涂 IV. V255

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 50700 号

工业涂料与涂装技术丛书

航空涂料与涂装技术

何 翔 雷骏志 华信浩 编著

责任编辑: 顾南君

责任校对: 李 丽 郑 捷

封面设计: 郑小红

*

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京市昌平振南印刷厂印刷

三河市延风装订厂装订

开本 787×1092 毫米 1/32 印张 13 字数 270 千字

2000 年 1 月第 1 版 2000 年 1 月北京第 1 次印刷

印 数: 1—3500

ISBN 7-5025-2713-3/TQ·1190

定 价: 30.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

我国的航空工业是 1949 年建国后才发展起来的。为了配合航空工业的发展，相应发展了航空涂料工业，从 50 年代到 60 年代航空涂料的发展是以前苏联航空涂料的材料标准为依据的，由于前苏联的飞机活动区域主要是北方地区，适合前苏联气候条件下使用的飞机涂料，满足不了我国南方亚热带地区炎热海洋性气候条件下使用要求，从 70 年代开始我国飞机用涂料又按西方国家的标准进行发展，虽比西方国家的发展晚了 40 多年，但经过 20 余年的努力，我国飞机用涂料已基本上达到西方国家航空涂料的标准要求，赶上了国际现有水平。

本书以飞机蒙皮涂层系统为主要线索，叙述了我国航空涂料的发展过程，飞机对蒙皮涂层的要求，航空涂料的主要品种和涂层系统，表面处理以及飞机整机喷涂技术，飞机外表涂层的清洗和返修。

本书第一章至第四章、第七章、第八章由何肅撰写，第五章由成都飞机制造公司雷骏志和何肅合写，第六章由上海飞机制造公司华信浩撰写。全书由何肅综合补充定稿。

由于作者水平有限，请读者对本书错误和不足之处，多加指正。

谨向支持本书组稿、提供资料、撰写、审订和出版的有关同志：王树强、冯文清、赵蕊、杨和琤、江振经、张元宁等致以衷心谢意。

作 者

内 容 提 要

本书根据我国航空工业的状况,以飞机蒙皮涂层系统为主要线索,叙述了我国航空涂料的发展过程,飞机对蒙皮涂层的要求,航空涂料的主要品种和涂层系统,表面处理以及飞机整机喷涂技术、质量评定标准、涂膜病态和排除,飞机外表涂层的清洗和返修。

附录介绍了航空涂料标准、涂料性能检验方法标准、涂覆工艺标准、航空涂料入厂检验和定期检验(摘要)、涂料研磨细度测量计的换算、粘度换算对照表。

本书可供从事航空涂料以及铝材、镁合金基材、复合材料用涂料的科研、生产、涂装、检测 and 管理的工程技术人员阅读,也可供大专院校师生阅读参考。

目 录

第一章 航空涂料的作用	1
第一节 防护作用	1
一、概述	1
二、材料的腐蚀形式	4
三、材料的防护	9
四、涂料防腐蚀性能的评定方法	10
五、线状腐蚀试验	11
第二节 装饰作用	13
一、涂料的颜色	13
二、涂料的光泽	14
三、涂料的细度	14
四、漆膜平整性和耐久性	14
第三节 复合材料的防护作用	15
一、概述	15
二、复合材料的组成	17
三、复合材料的破坏	18
四、复合材料的防护	19
第四节 伪装作用	25
一、概述	25
二、伪装涂料的组成	29
三、飞机伪装涂料的性能	30
四、飞机迷彩伪装的图案	31
五、迷彩伪装图案的施工	32
六、伪装效果的检验	34
七、伪装涂料的发展	35

第五节 其他作用	36
一、表面温度调节作用	36
二、阻尼作用	36
三、示温作用	36
四、吸收电磁波作用	37
第二章 航空涂料的发展与要求	39
第一节 硝基蒙皮涂料	39
第二节 醇酸树脂蒙皮涂料	43
一、铝蒙皮用的醇酸涂料	43
二、铝蒙皮用的醇酸清漆	45
第三节 丙烯酸涂料	46
第四节 环氧树脂涂料	51
第五节 聚氨酯涂料	58
一、聚氨酯涂料的特性	58
二、聚氨酯涂料的组成	59
三、我国飞机用的聚氨酯涂料与存在问题	60
四、飞机蒙皮用聚氨酯涂料的技术要求	66
五、我国新一代聚氨酯蒙皮涂料的发展	83
第六节 新飞机蒙皮涂层系统的发展	110
一、清漆层的发展与应用	110
二、双层涂层系统的发展	118
三、含氟涂料的发展	122
第七节 航空涂料的主要品种	142
一、航空涂料新品种开发程序	142
二、现用航空涂料的主要品种	144
第八节 聚氨酯涂料的毒性	168
一、漆雾对人体健康的影响	168
二、聚氨酯涂料的毒性	170
三、涂料施工中应重视对毒性的预防	173
第三章 飞机蒙皮表面处理和涂层系统的选择	174

第一节 金属表面预处理	176
一、电化学氧化法(阳极化法)	176
二、化学氧化法	187
三、磷化底漆(或称洗涤底漆)法	197
第二节 涂层系统的选择	201
一、涂层系统的重要性及其发展	201
二、飞机铝蒙皮表面处理方法的选择	203
三、底面漆与涂层系统的选择	206
四、涂层系统喷涂工艺的选择	212
五、复合材料涂层系统的选择	217
六、飞机雷达天线罩涂层系统的选择	220
七、伪装涂层系统的选择	221
第四章 小型飞机的整机涂装	223
第一节 航空涂料的入厂检验和漆料准备	223
一、航空涂料的入厂检验和定期检验	223
二、航空涂料化学组分检验方法的新发展——红外光 谱法	223
三、航空涂料的施工准备	227
第二节 小型飞机整机喷涂工艺	234
一、引用标准	234
二、歼击机蒙皮外表面涂层系统	235
三、涂料准备	236
四、设备的准备	241
五、涂装环境要求	242
六、整机喷漆工序的划分	242
七、飞机表面的清洗和保护	243
八、底漆喷涂工艺	246
九、聚氨酯面漆喷涂工艺	247
十、迷彩伪装磁漆喷涂工艺	248
十一、标志漆喷涂工艺	249

十二、飞机复合材料外蒙皮的涂装技术	251
十三、玻璃钢零件的涂装技术	253
十四、飞机其他部位的涂装技术	255
十五、整机喷涂涂层质量控制	257
第三节 涂膜病态和排除	260
一、涂料变厚或变稠	260
二、变色	260
三、沉淀	261
四、发胀	262
五、结皮	263
六、流挂	263
七、咬底	264
八、渗色	265
九、漆膜表面粗糙(颗粒)	265
十、慢干和返粘	266
十一、发花	267
十二、发白	267
十三、起霜(或起雾)	269
十四、色泽不匀及喷涂印痕	270
十五、发笑	270
十六、发汗	271
十七、橘皮	271
十八、皱纹	272
十九、针孔	273
二十、漆膜变黄	275
二十一、起泡	276
二十二、漆膜发粘	277
第五章 大型飞机的整机喷漆	278
第一节 引用标准	279
第二节 材料准备	280

第三节 喷漆厂房设施和设备	284
一、喷漆厂房及设施	284
二、喷涂工具	285
三、检测设备	287
第四节 喷涂方法与涂装技术	291
一、空气喷枪的操作工艺	291
二、喷涂工具的清洗	295
第五节 高压无空气喷涂系统和操作工艺	297
一、高压无空气喷涂系统的结构	297
二、高压无空气热喷涂系统的操作程序	300
三、操作安全注意事项	301
四、喷涂系统的故障和排除	301
五、高压无空气喷涂系统的清洗	303
第六节 内部结构件及其他喷涂工艺	304
一、内部结构件喷涂工艺	304
二、飞机蒙皮在成形加工时保护涂层的应用	306
三、飞机蒙皮在零件状态时保护涂层的应用	307
四、飞机整体油箱用涂层的喷涂工艺	307
第七节 整机喷涂工艺	311
一、保护涂层的除去	311
二、表面处理	313
三、喷涂底漆	315
四、喷涂聚氨酯面漆	318
五、整机喷漆工艺的质量保证	321
第六章 飞机内部零件和设备的涂装	323
第一节 飞机内部铝合金零、部件的涂装	324
一、飞机内部通用铝合金零、部件的涂装	324
二、飞机整体油箱铝合金件的涂装	327
第二节 发动机零件的涂装	330
一、金属的高温腐蚀	330

二、高温涂层的要求	332
三、高温涂层的种类	333
四、发动机用的有机涂层	341
第三节 镁合金零件的涂装	343
一、镁合金零件的表面处理	343
二、镁合金零件的封闭处理	346
三、镁合金零件的涂层系统与涂装技术	349
第四节 机载设备的涂装	352
一、机载设备涂层的三防试验	352
二、机载设备涂层系统与涂装技术	356
第五节 飞机内部钢铁零、部件的涂装	359
一、一般钢铁零、部件的涂装技术	359
二、飞机起落架支柱内腔和冷气瓶内腔的憎水处理工艺	363
第七章 飞机蒙皮涂层的清洗和除漆	366
第一节 飞机蒙皮涂层的表面清洗和清洗剂	366
第二节 飞机蒙皮表面涂层的返修	371
一、脱漆剂的种类及组成	371
二、飞机用脱漆剂的分类	375
三、飞机用脱漆剂的质量检验和标准	378
四、飞机蒙皮旧涂层的脱除和重涂	384
五、脱漆剂和脱漆工作的发展	388
参考文献	389
附录	390
附录一 航空涂料标准	390
附录二 涂料性能检验方法标准	391
附录三 涂覆工艺标准	393
附录四 航空涂料的人厂检验和定期检验(摘要)	393
附录五 涂料研磨细度测量计的换算对照表	397
附录六 涂料常用有机溶剂常数表	398
附录七 涂料粘度换算对照表	402

第一章 航空涂料的作用

在首都机场我们可以看到许多大型客机，飞机外表面绝大部分喷涂的是白色涂料，涂层上面喷涂有各种彩色条纹和各航空公司特有的标志和机号，这些涂料都具有很好的装饰性，使整个飞机的外表十分美观，给人一种赏心悦目的感觉。涂料已成为飞机制造中一项不可缺少的材料。把飞机外表打扮很漂亮，是飞机涂漆的重要作用之一，但更重要的作用是防护飞机结构材料不被腐蚀，保证飞机安全飞行，这比飞机外观好看重要得多。

第一节 防护作用

一、概述

制造飞机的材料有各种金属和非金属材料。金属材料与它所处的环境介质之间发生的化学或电化学反应所引起的质变和破坏称之为金属腐蚀。非金属材料与它所处的环境介质也会产生某些作用而引起质变和破坏，一般称之为老化。制造飞机的主要结构材料是铝合金、镁合金、钛合金和合金钢；也有非金属的复合材料，如碳纤维复合材料作为飞机结构受力部件的应用范围越来越广，防止金属材料的腐蚀和延缓复合材料的老化是保证飞机安全飞行和延长飞机寿命的根本性措施。

国际航空运输协会的报告指出，由于腐蚀导致民用飞机的定期维修和部件更换的直接经费每飞行小时为 5~12 美元，其成员单位每年用于腐蚀修理费用达 2 亿美元。据一些工业发达

的国家统计，每年由于腐蚀造成的经济损失约国民经济生产总值的 1% ~ 4%，1992 年统计数字表明美国空军机队的维修费用估计超过 7.18 亿美元，腐蚀不仅在经济上引起严重损失，而且还会带来安全性问题，如由于关键受力部件发生腐蚀突然出现断裂而引起飞机失事，会严重危及人身安全，这对飞机来说是灾难性的事故，各航空公司都是尽全力加以防范的，也是从事航空业的人员密切关注防腐蚀问题的根本原因。

另一个重要问题是适航性对腐蚀防护要求愈来愈严，主要是飞机老龄化造成的。西方许多国家经济的不景气已迫使许多航空公司延长飞机的原定使用寿命。根据 1988 年的估计，全世界民航机的平均寿命大约是 11 年，而 1989 年公布的数字是 2440 架喷气运输机的使用寿命已超过 20 年，1995 年这一数字估计将在 4000 架机左右。随着老龄化飞机的出现，疲劳及腐蚀问题引起的事故不断增加。

老龄飞机部件的腐蚀问题已成为决定飞机结构完整性和寿命的一个主要因素，特别是在使用寿命超过原有设计寿命时。人们发现，对某些飞机来讲飞机的寿命是由腐蚀决定的，而不是由疲劳决定的。腐蚀对飞机结构的完整性有恶化作用，因为它可使疲劳裂纹萌生与长大，从而降低部件的剩余强度，像点蚀、间隙腐蚀、剥离腐蚀在飞机铝合金中是经常出现的腐蚀形式，问题是关于这些形式的腐蚀对腐蚀裂纹的萌生及扩散的动力学还知之甚少，有待更深入的研究。

在飞机所用各种金属材料按其电位顺序排列如下：

镁合金 > 锌 > 铝合金 (LC-9) > 纯铝 > 铝合金 (LY12) > 镉 > 铝合金 (LC-9CS) > 铝合金 (LY 12 CZ) > 钢 > 铅 > 锡 > 铜 > 不锈钢 > 银 > 镍 > 铬 > 金

按顺序越靠前面的金属越易腐蚀。如镁合金是最容易受腐

蚀的金属。飞机上使用的几种铝合金都处于在顺序的前部，都是易受腐蚀的材料。这个电位顺序是反映有关电极体系的氧化还原能力的相对大小，在实际使用中由于离子活度与所存在介质条件影响较大，所以顺序的应用受到很大限制。只能表示不同金属的相对腐蚀倾向。

腐蚀介质的性质和作用能力与气候条件有密切关系，如温度和湿度的不同。在实际使用中，经阳极化处理并涂有一层醇酸清漆保护的铝合金飞机蒙皮，在我国南方如海南岛地区飞行半年后涂层开始破坏，一年后铝合金开始腐蚀，五年后整个铝合金蒙皮全被腐蚀，表面成灰白色失去金属光泽，个别部位腐蚀穿孔，腐蚀现象很严重。而在北方地区飞行两年后，涂层开始破坏，五年后只有局部蒙皮有腐蚀现象，腐蚀速度比南方要慢得多。铝合金成分中除纯铝外还含有锌、铜和镁等金属元素，在介质影响下这些不同元素间所产生的电化学腐蚀作用，使铝合金比纯铝更容易受到腐蚀。

腐蚀不只限于金属，飞机上所用的各种聚合物都会受到化学品和机上各种液体介质的破坏作用，如溶解、机械变形和化学反应，这些都导致聚合物分子链断裂，造成聚合物表面裂纹，使聚合物制品由于表面裂纹而降低强度，从而失去使用价值。

应力开裂是聚合物在应力作用下（因某些化学品如强酸或溶剂的作用），表面产生裂纹。在波兰 LOT 航空公司寿命只有 1.5 年的飞机上所有座舱玻璃在 3 个月内全部有裂纹。鉴于聚合物特别是复合材料在飞机上的使用愈来愈多。这种对聚合物的老化破坏引起了广泛关注。当前由于臭氧层的减薄加速了紫外光对聚合物和涂层的降解破坏。据报道，座舱玻璃开裂的速率比前几年加快了 3 倍，外表涂层也产生同样结果。

二、材料的腐蚀形式

金属材料的腐蚀破坏现象主要有以下十二种形式。

1. 浓差电池腐蚀或缝隙腐蚀 在飞机中所采用的铆接、螺栓连接、螺钉等联接结构，这些结构都不可避免地存在缝隙，当这些具有一定宽度缝隙的金属结构暴露在腐蚀性介质中时，在缝隙的局部范围内常会发生严重的腐蚀，这种腐蚀叫做缝隙腐蚀。

它既能使溶液进入，又能使溶液滞留在内而引起腐蚀。

缝隙腐蚀产生的主要原因是浓差电池作用。许多环境介质都能引起缝隙腐蚀，通常在含氯化物的溶液中最容易发生，溶液中氯离子的含量愈高，发生缝隙腐蚀的可能性愈大。溶液中的含氧量对缝隙腐蚀有影响，一般溶液中溶解氧小于 0.5mg/L 时，有可能不引起缝隙腐蚀。环境温度愈高愈容易引起缝隙腐蚀。

2. 微动腐蚀 在有腐蚀介质存在的条件下，沿着两个受压而又紧密接触的金属面上存在轻微振动或往返运动，接触面上出现小坑或细槽，此现象叫做微动腐蚀。在飞机蒙皮的铆钉头部位，由于受力而产生轻微振动，当表面涂层受振动而破裂，腐蚀介质如氧气、潮气进入接触面，在受压的表面突起部位发生了冷焊（突出部位经摩擦后出现咬死现象），随着接触面的相对运动，使冷焊区局部断裂，形成微小的金属碎片，摩擦热又氧化了这些碎片。上述三个过程循环进行，在铆钉头周围形成小坑或细槽，并出现黑色的腐蚀产物。

微动腐蚀必须在接触面受到压力，沿接触面有微小相对运动，又有氧气存在的三个条件才会发生。

3. 电偶电池腐蚀 当具有不同电位的两种金属，互相接触并有电介质溶液存在时，阳极性金属被腐蚀，阴极性金属受

到保护，这种腐蚀现象叫做电偶腐蚀，或叫异金属接触腐蚀。当合金的不同成分暴露在表面，并有电介质溶液存在时也会产生电偶腐蚀。产生电偶腐蚀的动力是两种不同金属接触后产生的电位差。

电偶腐蚀在很大程度上与所接触的环境介质的腐蚀性有关。在大气中也能发生电偶腐蚀，腐蚀程度与大气中的湿度有关。腐蚀性电介质的导电率对电偶腐蚀有很大影响。

4. 晶间腐蚀 绝大多数金属材料是以合金形式由多晶体组成，金属材料在腐蚀性介质中沿晶间发生的局部腐蚀叫做晶间腐蚀。产生晶间腐蚀后，表面仍有金属光泽，几乎看不到腐蚀产物，而晶间由于腐蚀的发展，降低了晶粒间的结合力，失去了原有机械强度，严重时掉在地上即成为碎块。由于晶间腐蚀在外观上不易发现，因而危害性很大。铝合金在熔炼、焊接和热处理过程中，其杂质会在晶间析出或偏聚，在晶间附近会出现成分的不均匀性，因而形成腐蚀电池，产生晶间腐蚀。

5. 点蚀 金属在环境介质中，经过一段时间，大部分表面未被腐蚀或只轻微腐蚀，而在表面上个别的点或微小区域出现蚀孔或麻点，随着时间推移，蚀孔不断地向深处发展，蚀孔的深度要比其直径大得多，这种腐蚀现象叫做点腐蚀。这是一种隐蔽性强、破坏性大的局部腐蚀，虽然因点腐蚀而损失的金属量很小，但由于其连续发展能导致腐蚀穿孔，危害性是很大的。

铝合金有较高的点腐蚀敏感性，如飞机的铝合金蒙皮，在南方沿海地区含盐雾的潮湿空气作用下，表面点腐蚀或麻坑现象在0.5~1年时间就会出现，严重时在1~2年时间就会出现腐蚀穿孔现象。

6. 焊区腐蚀 这是晶界腐蚀的一种形式，在金属焊接时

在焊区附近都有一个受热区，在受热区的金属相界产生不同程度的裂纹或断裂，在适当的环境介质存在条件下，这部分被腐蚀，这叫焊区腐蚀。

7. 表面腐蚀或均匀腐蚀 是一种全部表面上的腐蚀，腐蚀反应是一致或均匀的，无点蚀或局部腐蚀现象。主要是由于金属与环境介质中的氧化合生成金属氧化物，腐蚀产物生成在金属表面与介质相接触的表面，腐蚀介质通过腐蚀产物层继续与金属作用，腐蚀深入进行。有些金属氧化物如铝的腐蚀产物 Al_2O_3 ，形成一个薄层能阻止腐蚀介质的通过，因而起到一定的保护作用。但这种保护作用是有限的。因为腐蚀介质是多样的，腐蚀过程是很复杂的，铝的腐蚀产物 Al_2O_3 层虽有一些保护性，但远不能防止铝被外界介质腐蚀。

8. 线状腐蚀 在漆膜破裂处开始沿漆膜下面向四周呈纤维状的腐蚀叫做线状腐蚀。空气中相对湿度对线状腐蚀有很大影响，相对湿度低于 65% 时，基本上不产生线状腐蚀；相对湿度大于 95% 时，则线状腐蚀相当严重，初期呈纤维状腐蚀，发展下去可以成为汽泡。

线状腐蚀是铝合金表面腐蚀的一种主要形式。当飞机蒙皮铝合金表面漆膜破裂，这在蒙皮铆钉头部位是很容易产生的，包铝层划伤，腐蚀介质特别是潮气穿过包铝层到达合金表面，在腐蚀介质的作用下形成浓差电池，线状腐蚀头部成酸性区，溶液的 pH 值接近于 1；在其后部成为 pH 值接近于 8 的碱性区，铝被腐蚀（见图 1-1），腐蚀产物为 Al_2O_3 ，体积增大，漆膜被突起，腐蚀区域成线状向前发展。

线状腐蚀是环境腐蚀介质的综合因素作用下产生的，这些因素是：

①相对湿度大，一般超过 85%；