某型机襟翼舱下壁板蒙皮腐蚀原因分析与修理措施研究

陈勇，陆斌荣，黎泽金
（成都飞机工业（集团）有限责任公司 技术中心，成都 610092）

摘要：目的 研究某型机襟翼舱下壁板蒙皮产生腐蚀损伤的原因，分析腐蚀危害性，制定腐蚀修补方案，提出后续腐蚀防护与控制的建议措施。**方法** 首先现场仔细检查结构的腐蚀状况，然后分别从结构设计与选材、服役环境分析、腐蚀产物分析 3 个方面研究结构腐蚀产生的成因，并且针对性地制定腐蚀部位的补强修理方案。**结果** 在襟翼舱局部高温湿热环境下形成的内部冷凝水，夹杂大气环境中的 Cl^-污染侵袭，导致壁板蒙皮材料 LY12 铝合金产生了晶间剥落腐蚀。**结论** 老龄飞机机体结构腐蚀成因复杂多样，准确界定腐蚀原因是制定腐蚀防护与控制措施的关键。

关键词：襟翼舱结构；腐蚀；服役环境；补强修理
DOI：10.7643/ issn.1672-9242.2017.11.010
中图分类号：TJ07；TG174　　**文献标识码：**A
文章编号：1672-9242(2017)11-0048-04

Corrosion Causes Analysis and Repair Measurement Research of a Certain Aircraft Flap Cabin Lower Wainscot Skin

CHEN Yong, *LU Bin-rong*, *LI Ze-jin*
(Technology Center of Chengdu Aircraft Industrial (Group) Co., Ltd, Chengdu 610092, China)

ABSTRACT: Objective To research causes for corrosion damage of lower wainscot skin of a certain aircraft flap cabin, analyze corrosion hazards, set down repair scheme, and put forward advices and measures of future corrosion protection and control. **Methods** Firstly, the structure's corrosion state at the scene was checked carefully; then the structure corrosion causes were studied from several aspects such as structure design and material selection, service environment analysis, corrosion product analysis. Targeted reinforcement repair scheme for corrosion position was made. **Results** Interior condensate water generated in the flap cabin local at the high temperature wet-hot environment, with the invading of Cl ion pollution floating in the air, resulted in crystal flake corrosion of wainscot skin material LY12 aluminum alloy. Conclusion **Corrosion** causes of aged aircraft structure are complex and diversified. Accurate definition of corrosion causes is the key to develop corrosion protection and control measures.

KEY WORDS: flap cabin structure; corrosion; service environment; reinforcement repair

飞机结构腐蚀，尤其是老龄飞机的结构腐蚀已成为影响和制约飞机安全飞行、使用维护与经济修理的共性问题，是导致飞机紧急停飞、提前大修乃至报废使用的重要原因[1-2]。据不完全统计，结构腐蚀已成为机体结构损伤失效的主要故障形式。在飞机维修过程中，约有 80%的结构修理工作是专门针对机体结构腐蚀进行的，而且用于腐蚀检查和修理的费用也已占到了飞机总维护与修理费用的 1/4[3-4]。同时，结构腐

收稿日期：2017-06-14；**修订日期：**2017-07-31
作者简介：陈勇（1990—），男，重庆合川人，硕士，助理工程师，主要研究方向为飞机结构疲劳延寿。

蚀研究表明，腐蚀破坏了结构的整体性[5]，导致飞机结构静强度和疲劳寿命的大幅降低，缩短了飞机服役周期，影响部队正常的战备训练与战力保持[6]。因此，做好飞机结构的防腐控制和腐蚀修理工作，对于降低飞机服役期内的维护费用以及支援国防建设具有重要意义。

某型飞机交付部队后服役时间已长达 20 多年，机群老龄化暴露出的结构腐蚀问题已普遍存在。文中对该型飞机襟翼舱下壁板蒙皮产生腐蚀的成因作了系统的深入分析，根据不同的腐蚀程度制定补强修理方案，并提出后续的防护措施与建议，为今后类似的老龄飞机机体结构腐蚀修理与防腐控制提供了一定的参考借鉴价值。

1　腐蚀情况简介

据外场反映，其在使用维护过程中发现多架次某型飞机机翼后缘襟翼舱底部存在蒙皮腐蚀问题。现场检查发现腐蚀点主要集中在襟翼舱 2 肋至 4 肋间的机翼下壁板蒙皮上，对应位置的上部分布有电缆液压导管和安装口盖。腐蚀部位的蒙皮内表面出现鼓包、剥离、金属纤维分层脱落等现象，腐蚀产物呈灰白色条状粉末块，如图 1 所示。

图 1　襟翼舱下壁板蒙皮腐蚀剥落、粉化

2　腐蚀成因分析

飞机在服役使用过程中，由于受到各种环境状况和外力载荷的作用，其结构可能会发生各种形式的损伤与破坏，其中最为常见的飞机结构损伤包括静强度破坏、疲劳断裂以及结构腐蚀等[7-9]。金属结构特别是铝合金结构在盐雾、水汽、霉菌以及工业废气等不利的大气环境侵袭下，极易发生结构的腐蚀损伤[10-12]。研究表明，金属结构件的腐蚀大多数属于电化学腐蚀[8]。电化学腐蚀指的是构件在不利的使用环境下，结构发生了随时间延伸而逐步累积的化学或电化学损伤[13]。对于用作蒙皮壁板的铝合金结构，其腐蚀特征一般表现为点蚀和漆层脱落[14]。当结构发生腐蚀时，若不及时清除处理，在飞行载荷与腐蚀环境的耦合作用下，结构的腐蚀损伤会迅速扩展，给飞行带来严重的安全隐患。

针对襟翼舱下壁板蒙皮结构的腐蚀成因，文中从结构设计与选材、服役环境分析、腐蚀产物分析等方面展开了深入分析。

2.1　结构设计与选材

现场检查发现，襟翼舱发生腐蚀损伤的部位主要集中在 2 肋至 4 肋下壁板内表面，见图 1。进一步观察，发现这个区域内部设计有较多的液压导管（见图 2），液压导管集中工作时会造成该局部区域温度较高。当存在内外温差时，很容易凝集水汽，从而导致襟翼舱内底部聚积冷凝水。另外在查询飞机相关工艺文件时，发现襟翼舱在制造以及大修时，上、下壁板表面均进行了铬酸阳极化氧化处理，但内表面并未喷涂任何防腐底漆。如果该表面积水，则有可能导致结构出现腐蚀问题。

另一方面，该机属于二代机，在设计结构选材时大量采用铝合金。LY12 铝合金由于具有较高的强度和塑性、良好的工艺性、较好的疲劳性能和较低的裂纹扩展速率，在飞机结构上得到了大量应用，襟翼舱蒙皮壁板即为其中之一。LY12 铝合金也有明显的缺陷性，其耐腐蚀性能较差，且具有剥落腐蚀倾向，对 Cl^- 有较强的吸附作用，遇水分解极易产生剥落腐蚀。在襟翼舱内部极易聚集冷凝水的情况下，此处成为了结构产生腐蚀损伤的薄弱部位。

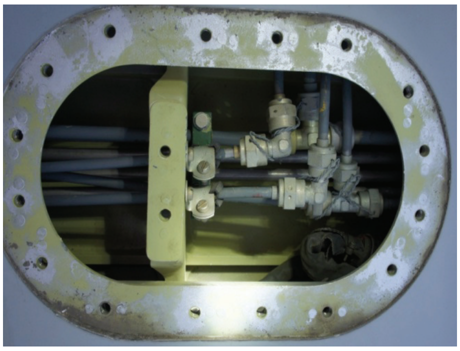


图 2　襟翼舱 2 肋—4 肋口盖

2.2　服役环境分析

飞机服役环境，特别是机场附近的气候条件，对飞机机体结构的腐蚀具有重要的影响[15]。根据调查，该部队驻地属亚热带季风湿润气候，年平均湿度为 80%，夏季平均气温在 20 ℃以上，年平均雾天（酸雾）长达 104 d，而且飞机长期露天停放，极易在机体内高温小环境下凝集水汽形成冷凝水，从而造成舱内底部积水。同时，该地也是我国酸雨发生、污染最严重的地区之一。酸雨中存在氯离子污染，表 1 的

能谱分析结果也证实了腐蚀产物中存在 Cl^-。这进一步加剧了襟翼舱内部发生结构腐蚀的倾向。

表 1　腐蚀产物中各元素质量分数

元素	O	Mg	Al	Cl	Cu
质量分数/%	61.11	0.67	36.97	0.51	0.75

2.3　腐蚀产物分析

从腐蚀故障飞机的襟翼舱壁板上提取了一段试样，观察腐蚀产物为灰色，并均匀分布有白色物质，将其放在扫描电镜下观察，腐蚀形貌为泥纹状花样，如图 3 所示。对腐蚀产物进行能谱分析，其成分主要为氧化物和氯化物，各元素的质量分数见表 1。

沿试样截面制备金相试样，在抛光状态下可见试样表面的阳极化层和腐蚀形貌，腐蚀部位呈现为层状剥落，如图 4 所示。用混合酸腐蚀，试样腐蚀后的金相组织（如图 5 所示）正常，无过烧现象，其腐蚀形貌为沿拉长晶粒边界的择优腐蚀，具有明显的方向性，属于典型的剥落腐蚀形貌。

由上述理化分析可知，腐蚀试样金相组织正常，无过烧现象。由于 LY12 铝合金材料本身具有比较明显的剥落腐蚀倾向，加之该合金具有层状晶粒结构，且晶界取向与表面趋向平行，在 Cl^-腐蚀介质下，满足剥落腐蚀条件。至此可以确认，襟翼舱壁板蒙皮是在内部高温湿热小环境，耦合外部大气 Cl^-共同作用下产生的剥落腐蚀，属于一种特殊的晶间腐蚀形态。

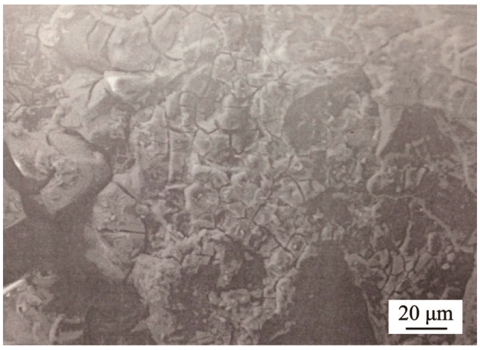


图 3　腐蚀产物微观形貌

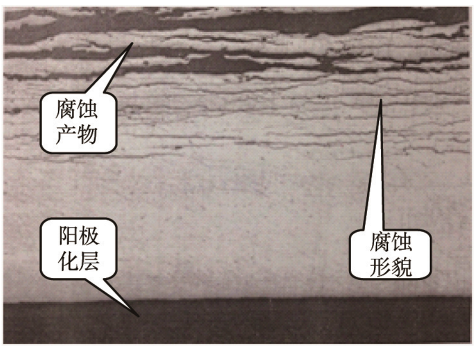
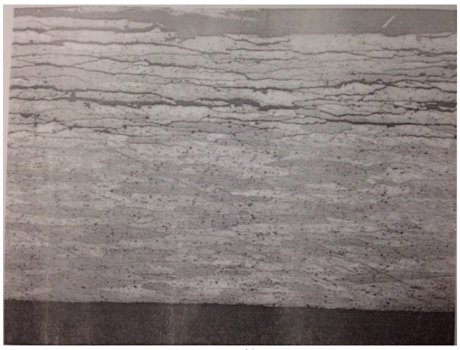
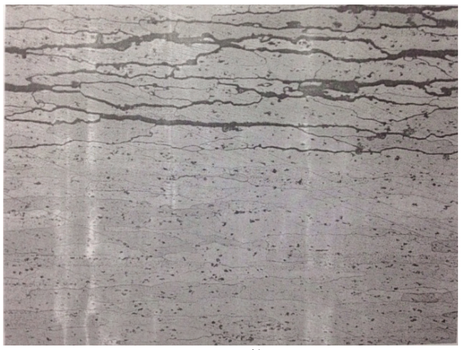


图 4　抛光下腐蚀形貌（50×）



a 50 倍



b 100 倍

图 5　腐蚀后金相组织

3　补强修理

飞机机体结构材料受到腐蚀侵蚀后，影响了飞机结构的完整性，其危害主要表现如下：可能削弱结构的几何尺寸，导致结构局部应力增加；可能影响传力路线，导致结构关键部位转移。针对不同的腐蚀损伤程度，采取结构修理、结构换新或者结构报废的不同处理方案。查阅襟翼舱下壁板在设计载荷工况下的应力分布情况，结果表明，该部位的整体应力普遍较低，远小于结构材料破坏水平。相较于整个机翼襟翼舱，发生腐蚀的部位只是很小的局部区域，不会对机翼结构原有的传力路线造成明显影响，同时剩余结构也能承载此处原来的载荷，不会发生结构的强度安全问题。因此，针对襟翼舱壁板蒙皮的腐蚀损伤故障，可以采取适当的修理措施解决。在研究具体的修理措施时，提出根据不同区域的腐蚀深度，制定不同的补强修理方案。

1）对于腐蚀深度不超过材料厚度 15%（0.3 mm）的区域，彻底打磨除尽腐蚀后，用阿洛丁溶液氧化，先涂 SF-9 防腐底漆，再涂 H06-2 锌黄底漆。

2）对于腐蚀程度大于 0.3 mm、小于 1 mm 的区域，彻底打磨除尽腐蚀后，用阿洛丁溶液氧化，先涂 SF-9 防腐底漆，再涂 H06-2 锌黄底漆，最后外表面贴补加强。加强材料为 LY12CZ-δ（具体厚度选择根据该处腐蚀情况及铣切壁板厚度），加强板制 45°倒角。

3）对于严重腐蚀穿孔的区域，先彻底切除腐蚀

部位，如图 6 所示，然后外表面贴补加强，覆盖在下壁板内表面 3 肋集中腐蚀的区域。加强材料为 LY12CZδ2.5，采用进口 φ4 mm 的钢抽钉 CR3522-5-04 或 φ5 mm 的铝抽钉进行铆装。

图 6　腐蚀切除

4）对 1—6 肋襟翼舱下壁板内表面进行清洁，先涂 SF-9 防腐底漆，再涂 H06-2 锌黄底漆。

5）对 1—6 肋襟翼舱内的螺钉进行除锈蚀处理，然后涂 H06-2 锌黄底漆。

6）对 3 肋口盖区域的导管接头进行除锈处理，然后涂油保护。

襟翼舱下壁板蒙皮腐蚀部位的补强修理结果如图 7 所示。

图 7　加强修补

4　建议与措施

为了避免飞机在后续使用过程中的重新腐蚀，建议考虑采取以下预防措施。

1）建议部队每 100 飞行小时进行一次襟翼舱 1—6 肋下壁板内表面的检查，如发现腐蚀，则按大修厂的修理方案进行修理并涂漆、涂油保护。

2）建议在飞机大修时，注意检查飞机内外表面的腐蚀情况，出现腐蚀应及时修理。对飞机外表面及飞机内表面的可达部位进行清洗干燥，补涂防腐蚀底漆 TB06-9，尤其注意襟翼舱 1—6 肋下壁板内表面的检查和涂漆保护，并在 2—4 肋口盖区域下壁板上的 6 个窗形槽内，按图 8 所示距窗形槽边缘约 15 mm 处各钻一个 φ4 mm 的漏水孔，以防此处积聚冷凝水。

3）建议加强对服役于其他部队的飞机，尤其是对服役于地处湿热、海洋性气候环境下飞机的腐蚀状况普查以及日常监控。

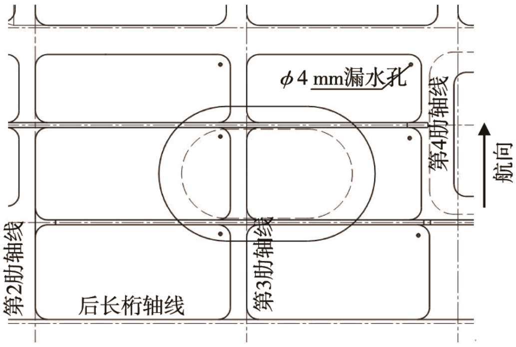


图 8　漏水孔位置

5　结语

飞机结构腐蚀问题给飞行带来了极大的安全隐患，如何准确地界定造成结构腐蚀损伤的原因成为制定防腐预防措施的关键。针对某型机面临机群大量老龄化、结构腐蚀普遍化的现状，文中提出的结构腐蚀成因分析方法与防腐修理手段，对类似的老龄飞机结构腐蚀故障处理具有一定的参考价值，也对老龄飞机后续的结构延寿工作具有重要借鉴意义。

参考文献：

[1] 陈群志, 杨蕊琴, 张蕾, 等. 典型飞机结构腐蚀损伤模拟件修理前后疲劳寿命研究[J]. 中国表面工程, 2011, 24(4): 76-79.

[2] 陈群志, 房振乾, 康献海. 军用飞机外场腐蚀防护方法研究[J]. 装备环境工程, 2011, 8(2): 72-77.

[3] 李东帆. 飞机结构的腐蚀与防护[J]. 装备环境工程, 2016, 13(1): 57-61.

[4] 廖灵洪. 老龄飞机腐蚀预防和控制[J]. 全面腐蚀控制, 2005, 19(1): 20-23.

[5] 张勇, 孙强, 卞贵学, 等.飞机结构的腐蚀防护与腐蚀疲劳研究的发展趋势[J]. 新技术新工艺, 2014(5): 128-131.

[6] 陈群志, 杨蕊琴, 李国元, 等.腐蚀对 $30CrMnSiNi_2A$ 钢结构疲劳寿命的影响[J]. 装备环境工程, 2007, 4(5): 7-9.

[7] 秦文峰. 表面技术在飞机结构修理中的应用[J]. 航空制造技术, 2011 (18): 36-41.

[8] 刘琦. 飞机结构常规修理方法及分析[J]. 航空维修与工程, 2003(6): 19-22.

[9] 田秀云, 杜洪增, 邢晓莹. 构件打磨深度对疲劳寿命的影响[J]. 中国民航学院学报, 2004, 22(6): 26-29.

[10] 王彬, 苏艳. 铝合金大气腐蚀行为及其防腐措施研究进展[J]. 装备环境工程, 2012, 9(2): 64-68.

[11] 谭晓明, 金平, 蔡增杰, 等. 腐蚀损伤对典型铝合金结构疲劳寿命的影响研究[J]. 装备环境工程, 2013, 10(6): 9-13.

[12] 张丹峰, 戚佳睿, 李艳丽, 等. 2B06 及 7B04 腐蚀损伤规律研究[J]. 环境技术, 2015, 33(2): 23-24.

[13] 张璋. 波音 737 飞机铝合金钣弯件的腐蚀失效研究[D]. 天津: 中国民航大学, 2012.

[14] 王遵, 张移山, 薛军, 等. 复合材料胶接修理对含腐蚀损伤铝板力学性能的影响[J]. 装备环境工程, 2014 (6): 59-64.

[15] 彭志军, 王学强, 叶彬. 某型飞机腐蚀防护及设计改进[J]. 装备环境工程, 2014, 11(6): 84-89.