

DOI: 10.19416/j.cnki.1674-9804.2018.04.018

波音 737NG 飞机水平安定面疲劳 裂纹处理方法分析

Method Analysis of Boeing 737NG Aircraft Horizontal Stabilizer Fatigue Crack Damage

张 健 / ZHANG JIAN

(山东太古飞机工程有限公司, 山东 250107)

(Taikoo (Shandong) Aircraft Engineering Company Limited, Shandong 250107, China)

摘 要:

根据波音 737NG 飞机的维护数据, 该文分析波音 737NG 飞机水平安定面主要结构的受力特性; 同时, 定性分析了水平安定面肋下缘条及连接的蒙皮等部位的典型疲劳裂纹。分析波音公司针对该问题对现有机队的预防性改进措施, 借鉴大修厂的实际维护经验以及一系列数据和现场照片, 最终给出针对该疲劳裂纹的建议措施, 以供民机设计制造单位及波音 737NG 营运人参考借鉴。

关键词: 波音; 水平安定面; 裂纹; 修理; 改装

中图分类号: V267+.23

文献标识码: A

OSID:



[**Abstract**] According to Boeing 737NG maintenance data statistics, stress analysis of B737NG horizontal stabilizer main structure was done. Underlying rib and adjacent skin were analyzed qualitatively, and the cause of fatigue crack was found out. Based on Boeing preventive solutions for existing fleet to deal with this damage, and the MRO (Maintenance, Repair & Operations) site maintenance experience with a series of practical data and actual photo, the fatigue crack measures were finally given for civil aircraft design. The results can provide some reference to manufacturing units and Boeing 737NG operator.

[**Keywords**] Boeing; horizontal stabilizer; crack; repair; modification

0 引言

安定面的作用是使飞机具有适当的静稳定性。当飞机在空中作近似匀速直线飞行时, 常常会受到各种上升气流或者侧风的影响, 此时飞机的航行姿态就会发生改变, 飞机会围绕质心左右(偏航)、上下(俯仰)以及滚转。如果飞机是静不稳定的, 就无法自动恢复到原来的飞行姿态, 譬如飞机受到风的扰动而抬头, 那么飞机就会持续抬头, 而且当这股扰动气流消失以后, 飞机依然会保持抬头姿态, 而无法恢复到原来的姿态。安定面分水平安定面和垂直安定面两种, 本文研究水平安定面缘条的疲劳裂纹。

1 水平安定面功能性说明

飞机的水平安定面能够使飞机在俯仰方向上(即飞机抬头或低头)具有静稳定性。水平安定面是水平尾翼中的固定翼面部分。当飞机水平飞行时, 水平安定面不会对飞机产生额外的力矩; 而当飞机受到扰动抬头时, 此时作用在水平安定面上的气动力就会产生一个使飞机低头的力矩, 使飞机恢复到水平飞行姿态; 同样, 如果飞机低头, 则水平安定面产生的力矩就会使飞机抬头, 直至恢复水平飞行为止。

2 水平安定面的传载分析

波音 737NG 飞机水平安定面采用前后双梁式

布局,由前缘、翼尖及盒段组成。前缘和翼尖通常可拆,为蒙皮隔板结构,主要考虑防冰、除冰系统在安定面上的设置以及防鸟撞等问题。梁式结构安定面翼盒的受力特点主要为翼梁承剪、上下蒙皮承弯,波音737NG飞机的水平安定面采用安装角可调式安装,抗扭刚度高,抗颤振品质较好。

3 水平安定面下蒙皮疲劳裂纹处理

水平安定面下缘条的临近结构为安定面下蒙皮,下蒙皮在飞行过程中承受压应力峰值较大,在长期交变应力作用下,肋下缘条部位产生疲劳裂纹。波音采集的数据表明,截至2013年4月30日,269架次波音737NG飞机在均值22 528飞行小时和13 016飞行循环左右,在上述所指位置产生了555处疲劳裂纹(原始数据:4 149飞行小时到42 135飞行小时;2 373飞行循环到24 858飞行循环)。波音针对生产线号1~3 623之间的飞机,已制定了纠正措施,发布了SB737-55-1096服务通告(Service Bulletin)和SRP 737NG-SRP-55-0038服务关联问题(Service Related Problem),更换水平安定面内侧起第4~14框的加厚蒙皮(0.112 in厚,1 in \approx 0.025 m)。同时发布了737NG-FTD-55-06001提醒营运人,要求在执行大检时进行相应检查。针对预防性改装,波音一并提供工具图纸ST1000-A-8252用以指导加长顶铁的制作。

由于美国联邦航空管理局未发布适航指令强制执行该预防性改装,部分波音737NG营运人并未选择执行该预防性改装。如果下蒙皮发现疲劳裂纹损伤,可以执行波音结构修理手册(Structure Repair Manual,简称SRM)中的维修方案,波音在2011年3月将修理方案加入SRM55-10-01 REPAIR 11中,批准为B类修理,检查门槛值为56 000飞行循环。但是结构修理手册中的修理方法有明确的使用限制:针对生产线号1~3 623之间的飞机,如果已经参考结构修理手册SRM55-10-01 REPAIR 7或者REPAIR 8执行过开孔修理,要求下蒙皮修理加强片的总面积不能超过500 in²;如未执行过开孔修理,加强片面积上限为下蒙皮2 000 in²或者上蒙皮300 in²。针对线号1~3 623之间已经执行过SB737-55-1096的飞机或者线号3 264之后的飞机,修理面积上限仅为100 in²。

与此同时,针对所有波音737NG飞机的下蒙皮

疲劳裂纹,波音已经在维护计划文件(Maintenance Planning Document,简称MPD)中为波音737NG营运人指定了如下检查计划:

MPD55-824-01 外部区域一般目视检查-4000FC/18M的检查门槛值一并4000FC/18M的重复检查。

MPD55-100-01 内部一般目视检查-12Y/36000FC的检查门槛值一并8Y/24000FC的重复检查。波音在737NG-FTD-55-06001中要求波音737NG营运人反馈检查结果用以改进其设计。

4 水平安定面肋缘条疲劳裂纹处理

根据波音的通告信息及MRO(Maintenance Repair Operation,简称MRO)的维护经验,多架飞机水平安定面在站位STAB STA92.7以及STAB STA129.5处的肋缘条垂直翻边及肋缘条腹板处产生过疲劳裂纹,典型疲劳裂纹位置如图1所示。

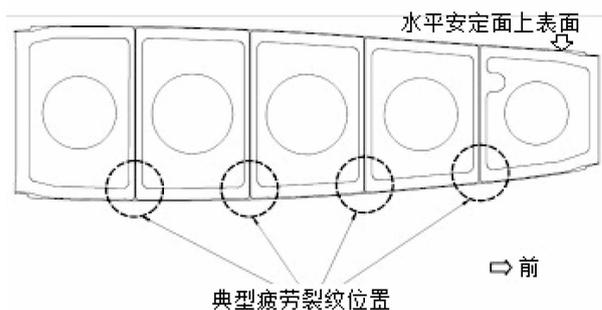


图1 水平安定面肋缘条疲劳裂纹位置

4.1 肋缘条疲劳裂纹的检查方法

水平安定面肋缘条的检查接近最为便捷的方法通过拆除前缘的方式进行,拆除水平安定面的前缘后,通过前梁腹板的圆形接近孔便可以检查对应位置的裂纹。检查方式通常采用目视或高频涡流表面检查。详细过程如图2所示。

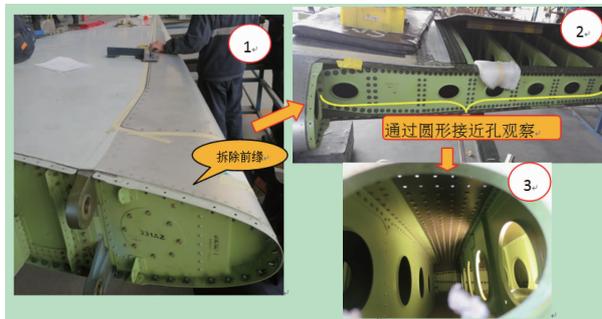


图2 肋缘条疲劳裂纹检查方法

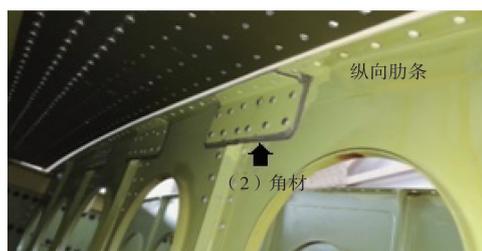
4.2 肋缘条疲劳裂纹的修理方法

波音 737NG 飞机水平安定面肋缘条的疲劳裂纹可以依据结构修理手册 SRM55-10-09 REPAIR4 进行修理,修理方法是将疲劳裂纹去除后,在损伤区域安装“T”型材和“L”型角材,通过双侧加强肋缘条的方式恢复其结构强度性能。修理方案以及施工图如图 3 和图 4 所示。

水平安定面肋缘条疲劳裂纹的修理方案本身并不复杂,但是由于受水平安定面安装结构的限制,损伤接近是个比较棘手的问题。如果和水平安定面下蒙皮的更换改装同时进行,则该问题不存在,如果未执行该改装则需另寻接近途径。波音在 737NG SRM55-10-09 REPAIR 4 中给出了指导方案,如果执行肋缘条疲劳裂纹修理,需要一并执行 SRM55-10-01

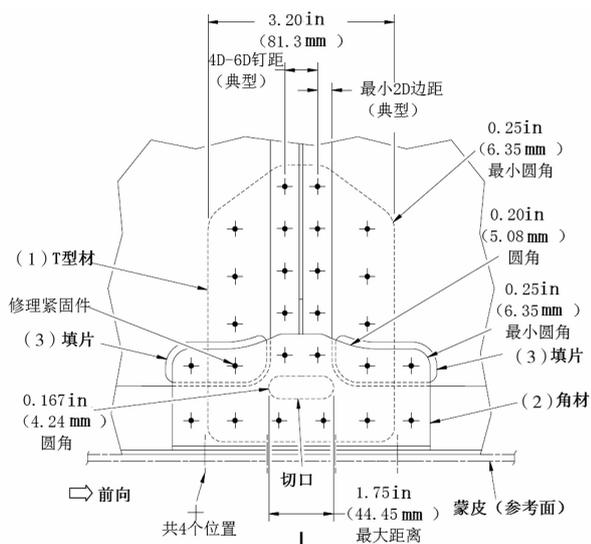


(a) T 型材

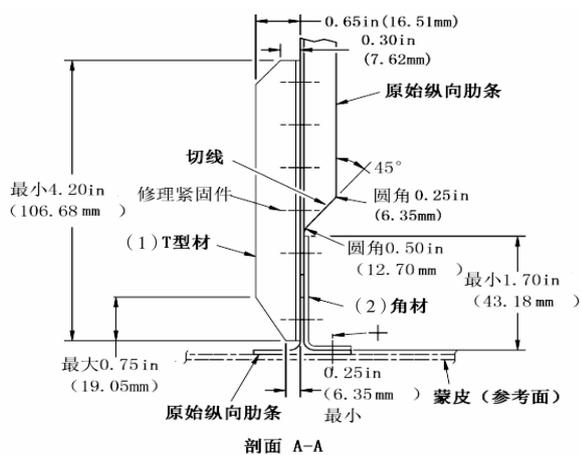


(b) 角材

图 4 纵向疲劳裂纹施工图



(a) 正视图



(b) 剖视图

图 3 肋缘条疲劳裂纹的修理方案

REPAIR 7 或者 SRM55-10-01 REPAIR 8。REPAIR 7 和 REPAIR 8 提供了接近肋缘条及恢复方案,均需在水平安定面下蒙皮挖圆形接近门。两种方案的区别之处在于新挖接近门周围蒙皮的恢复方案,REPAIR 7 采用了安装单个加强片的方式,而 REPAIR 8 设计为安装双加强片恢复蒙皮强度,该方案可以解决部分空间距离不足的问题。需要注意的是,两种挖接近门的方案具有同样的使用限制:飞机每侧水平安定面最多只能允许一处接近门修理存在。接近及蒙皮恢复方案 REPAIR 7 和 REPAIR 8 分别见图 5 和图 6。

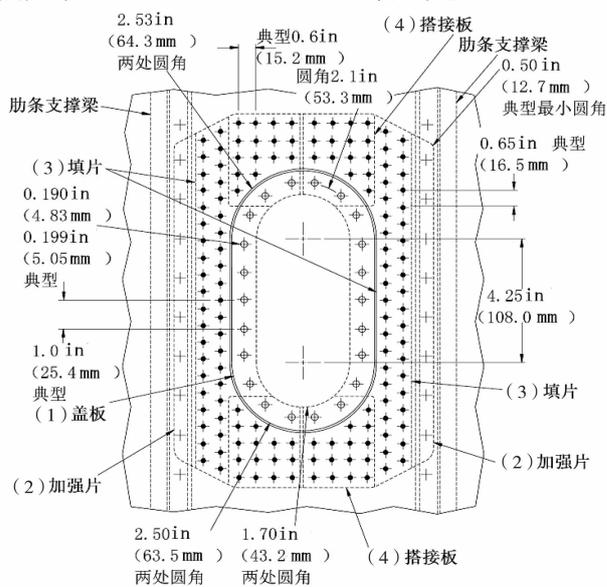


图 5 接近门蒙皮恢复方案 REPAIR 7

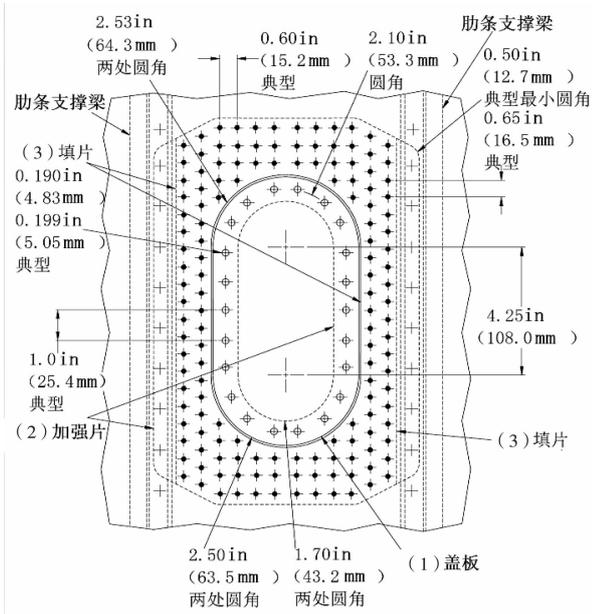


图6 接近门蒙皮恢复方案 REPAIR 8

4.3 肋缘条疲劳裂纹的数据统计

目前,波音没有公布采集到的肋缘条裂纹数据,在波音737NG飞机的MPD中也未给出相应的检查要求。波音的相关维护文件中,仅在下蒙皮改装的服务通告中提及一并检查该部件。近年来大修厂在执行波音737NG飞机下蒙皮改装过程中,肋缘条疲劳裂纹发现的次数逐渐增加,且裂纹的部位有逐渐分散的趋势,表1为大修厂的历史统计数据,汇总飞机肋缘条的典型疲劳裂纹。

表1 飞机肋缘条疲劳裂纹数据

飞机序号	飞行小时 飞行循环	疲劳裂纹 位置	竖直翻边 裂纹长度/in	腹板 裂纹长度/in
1	11 281	左安定面站位	0.45	0.55
	9 077	STA 92.7		0.85
2	11 582	右安定面站位	0.45	0.65
	9 339	STA 92.7		
3	14 364	右安定面站位	0.45	0.75
	11 658	STA 92.7		0.70
4	14 364	左安定面站位	0.45	0.95
	11 658	STA 92.7		0.65
5	15 339	右安定面站位	0.45	0.80
	12 415	STA 92.7		
		STA129.5	0.45	0.90

5 结论及建议

水平安定面在飞行控制中起着重要的作用,肋缘条的疲劳裂纹会对飞行安全造成潜在的危害。鉴于成本因素,部分波音737NG飞机营运人并未实施水平安定面下蒙皮预防性改装,导致该区域肋缘条的裂纹也无法被及时检查和发现。

鉴于此,强烈建议营运人评估机队中生产线号1~3 623之间波音737NG飞机的实际状况,在成本和安全方面做出统筹评定。理想状况下,直接依据波音服务通告SB 737-55-1096执行下蒙皮的预防性改装,同时排除肋缘条裂纹带来的安全隐患;如果营运人选择暂不执行预防性改装,则建议营运人按照MPD例行检查水平安定面前缘结构时,参照文4.1中给出的接近方法增加肋缘条的疲劳裂纹检查。需要特别注意的是检查后的恢复事项,如果检查发现裂纹损伤,可以执行结构修理手册中适用的修理方案,但是如果蒙皮修理面积超限或者肋缘条数量连续超过三处,此种情况下只能被动的选择执行水平安定面下蒙皮的预防性改装,因此改装航材的保障对于营运人来说非常重要,强烈建议拥有波音737NG机队的营运人储备水平安定面下蒙皮预防性改装的航材包,以备不时之需。

参考文献:

- [1] 酆正能. 飞行器结构学[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2010.
- [2] 波音服务通告;SB737-55-1096 REV.0[Z]. 2016.
- [3] 波音结构修理手册 SRM;D634A210[Z]. 2013.
- [4] 波音工具图纸;ST1000-A-8252[Z]. 2013.
- [5] 波音服务关联问题;SRP 737NG-SRP-55-0038[Z]. 2013.
- [6] 波音737NG飞机维护计划文件(MPD) [Z]. 2018.

作者简介

张健 男,本科。主要研究方向:飞机维修技术支持、结构与强度设计。E-mail:tszhangjian@staeco.com