

结构 MSG-3 分析方法介绍

Introduction of the Structure MSG-3 Analysis Method

丛 昊 / Cong Hao

(上海飞机设计研究院,上海 201210)

(Shanghai Aircraft Design and Research Institute, Shanghai 201210, China)

摘 要:

对于民用飞机来说,在满足适航要求的前提下,如何形成一套简洁高效的维修大纲,是所有航空公司和飞机生产制造商都要面对的问题。采用目前广泛使用的 MSG-3 分析方法,以机体结构维护性分析为样例,对结构 MSG-3 分析的目的、流程、分析方法和结果等方面的讲解,使读者可以初步了解 MSG-3 分析方法的应用情况,并能够在日常设计工作中,逐步学习了解民用飞机维修性分析方法,明确维护性要求,深入研究,以期在工作中带来更大的经济效益和社会效益。

关键词:结构设计;维护性;MSG-3 分析

[Abstract] It is difficult to form a set of aircraft maintenance outline meeting the requirement of airworthiness for every aircraft manufacture. This article uses the widely applied method, MSG-3, to depict the objective, process, analysis method and result of the structure MSG-3 analysis, followed with the airframe maintenance as an example. This article gives the readers a rough idea about the application of MSG-3 and the method of analysis and requirement of civil aircraft maintenance. The readers are also expected to learn maintenance analysis method gradually in their daily works and yield more economic and social benefits in their further works.

[Key words] Structure Design; Maintenance; MSG-3 Analysis

0 引言

对于民用飞机来说,检查维护是保障飞机在其使用寿命中安全运营的一个关键且必要的手段。特别是对于机体结构来说,要保证损伤容限等设计方法的有效,就需要在设计中了解贯彻相应的检查维护要求。对于民用飞机,形成一套完整的维修大纲是一项重要的适航项目,而在满足适航要求的前提下,如何形成一套简洁高效的维修大纲,是所有航空公司和飞机生产制造商都要面对的问题。目前运营中和研制中的民用飞机均采用了 MSG-3 分析方法,对飞机维护性进行设计分析和界定,以此来形成相应的维修大纲。

MSG-3 分析是一种确定预定维修要求的分析方法。这里所说的预定维修主要包括维修工作和维修间隔的要求。维修工作主要分为润滑/勤务(LU/SV)、使用/目视检查(OP/VC)、检查/功能检查(IN/FC)、恢复(RS)和报废(DS)几大类。维修

间隔为两次维修工作之间的时间间隔,如:字母检(A 检、多重 A 检、C 检、多重 C 检)或者参数检(日历时间、飞行小时、飞行循环等)。

维修间隔也包括初始间隔,如结构检查门槛值。

1 结构 MSG-3 分析概述

MSG-3 分析方法涵盖了系统/动力装置分析程序、结构分析程序、区域分析程序和闪电/高强度辐射场分析程序。

本文将着重介绍结构分析程序的相关方法和内容。

1.1 结构 MSG-3 分析的目的

制订有效的结构检查大纲,在飞机使用寿命内,以探测和预防由疲劳、环境损伤、偶然损伤引起的结构恶化。

1.2 结构 MSG-3 分析项目的分类

(1)重要结构项目:即 SSI 项目——故障后将影响结构的完整性或危及飞机飞行安全的结构项目。

(2) 其他结构项目:即除 SSI 外的所有结构项目。

1.3 结构损伤分类和门槛值

通常发生在飞机结构的损伤按其产生原因可分为偶然损伤、环境损伤和疲劳损伤。而针对每一种损伤,由于其产生原因不同,所以对于 SSI 进行维修检查的首次时间间隔也不同,其分析方法也略有不同。

(1) 偶然损伤:对于偶然损伤,由于一般发生的概率是随机的,所以认为其门槛值与重复检查间隔相等。

(2) 环境损伤:一般根据首次检查时间、使用单位和 FAI 对类似结构的使用经验以及保守的工龄探索方法来确定。

(3) 疲劳损伤:与出现初始可检裂纹的时期有关。

1.4 结构 MSG-3 分析的目的

结构 MSG-3 分析的最终结果将体现为检查任务和检查间隔(见图 1),并以结构分析报告的形式服务于维修大纲,作为飞机维修大纲的重要组成部分。

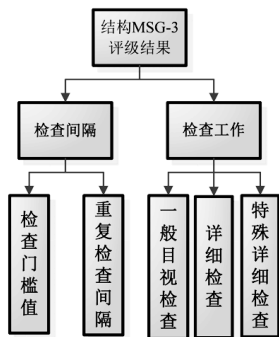


图 1 结构 MSG-3 分析目的

2 结构 MSG-3 分析流程

结构 MSG-3 分析流程如下:

- (1) 对飞机结构按照 ATA2200 进行划分;
- (2) 对飞机结构项目进行区域划分;
- (3) 确定 SSI;
- (4) 确定其他结构项目维修工作和间隔;
- (5) 对 SSI 进行分类;
- (6) 损伤容限项目进行疲劳分析;
- (7) SSI 进行 AD(偶然损伤)、ED(环境损伤)分析;
- (8) ED 与 CPCP 工作兼容性分析;
- (9) SSI 中的属于一般目视检查的工作项目进行转移;

行转移;

(10) SSI 的工作汇总。

具体流程如图 2 所示。

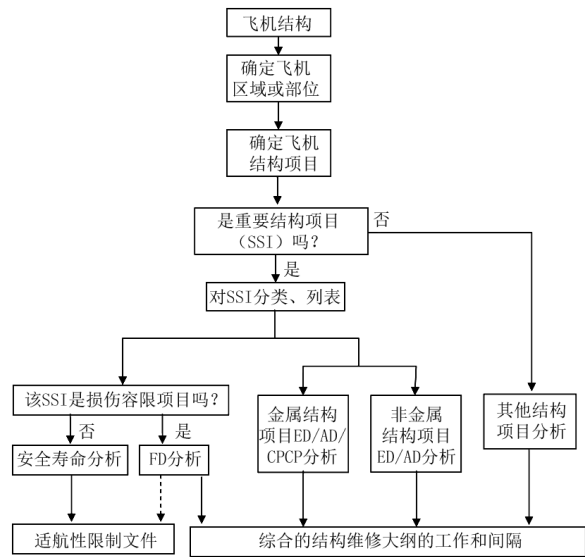


图 2 结构 MSG-3 分析流程

2.1 疲劳损伤(FD)分析程序(仅适用于金属结构)

疲劳损伤分析需考虑以下几个因素:

- (1) 不同检查级别的可检裂纹尺寸;
- (2) 不同级别可检裂纹尺寸的门槛值;
- (3) 临界裂纹长度;
- (4) 裂纹增长评估;
- (5) 机队规模和使用情况评估。

结构 MSG-3 疲劳损伤分析流程如图 3 所示。

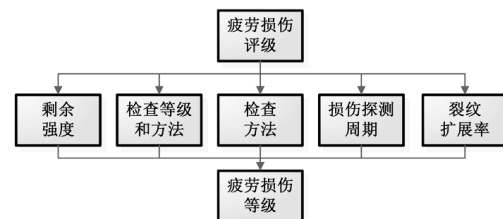


图 3 结构 MSG-3 疲劳损伤分析

疲劳损伤分析步骤如下:

- (1) 计算平均疲劳寿命 TC 及从可检裂纹尺寸扩展到临界裂纹尺寸的裂纹扩展寿命 RC;
- (2) 确定最低的检查等级的可检裂纹长度,可检裂纹长度对 GVI、DET 和 SDI 的不同;
- (3) 建立从初始裂纹长度扩展到临界裂纹长度的裂纹扩展寿命曲线;
- (4) 根据裂纹扩展曲线和给定检查等级的可检裂纹长度,确定检查门槛值 T_t 和重复检查间隔 T_i 。一般来说,检查门槛值 $T_t < T_c / K_t$, 重复检查间隔 $T_i <$

Rc/Ki。其中 Kt 和 Ki 是合适的分散因子；

(5)若该等级的结果不能接受,则必须选择高一级的检查等级,并重复步骤 3 到 5 的工作,直到产生可接受的检查工作。

2.2 环境损伤(ED)分析程序(见图 4)

2.2.1 环境损伤考虑因素

环境损伤包括腐蚀/应力腐蚀,一般由日历时间确定,考虑以下几个因素:SSI 的可见性、对环境损伤的敏感性、环境保护以及暴露于不利环境的影响。一般 ED 等级等于上述指标之和。

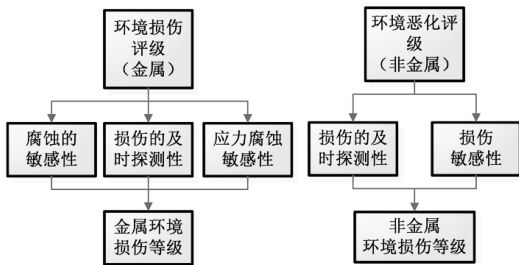


图 4 结构 MSG-3 环境损伤分析

2.2.2 指标说明

(1) SSI 的可见性(VR),包括以下指标:口盖大小(分大、中、小)、眼睛与 SSI 的距离(分远、中、近)及稠密度等级(高、中、低),可见性等级等于以上三个指标的平均数。

(2)对环境损伤的敏感性(SC),应按照金属和非金属材料分别考虑。

对于金属结构,包括应力腐蚀敏感性和暴露腐蚀敏感性两种,每种等级分为高、中、低 3 个等级,其总等级等于两个等级的平均数。

对于非金属结构,主要与 SSI 受到环境如紫外线辐射、液体、湿气、温度和异常情况的影响有关。分为高、中、低三等。其总等级等于适用指标等级之和/适用等级总数。

(3)环境保护(PR,金属/非金属相同),主要从以下几个方面考虑:保护类别、密封分界面、填充密封、CIC 的应用和紧固件湿安装情况等,在分析中直接根据工程经验给出一个等级评价。

(4)不利环境的影响(EV),对于金属结构,需要考虑电解反应和灰尘积聚的概率、湿气的出现、溢出的概率以及其他异常情况;对于非金属结构,则与紫外线影响、湿气出现、液体影响、温度影响以及其他异常情况有关。

2.2.3 环境损伤系统分析步骤

(1)选择要分析的飞机区域,该区域包含的所有 SSI 都要进行分析;

(2)填写指标等级工作单;

(3)计算每项 SSI 的环境损伤等级;

(4)根据环境损伤等级确定环境损伤检查工作和间隔。

金属结构环境损伤分析示例如表 1 所示,非金属结构环境损伤分析示例如表 2 所示。

2.3 偶然损伤(AD)分析程序

2.3.1 偶然损伤考虑因素

针对在飞机使用期间一些偶然物体的接触或碰撞,以及由于使用或维修中的不当活动引起的损伤进行分析。显然,损伤源分为制造缺陷和使用/维修过程引起的偶然损伤,如图 5 所示。

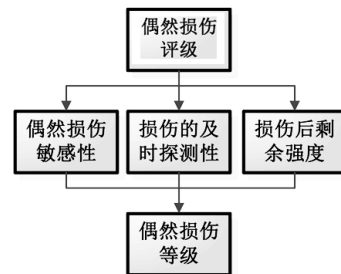


图 5 结构 MSG-3 偶然损伤分析

表 1 金属结构环境损伤分析示例

Form S-4A		ED Analysis for Metal SSI					ATA;55				Zone;322			内部		
No. SSI	Title	VR			SC		PR	EV				VR	SC	PR	EV	EDR
		VR1	VR2	VR3	SC1	SC2	PR1	EV1	EV2	EV3	EV4					
55-30-03	垂直安定面主承力翼盒与平尾的连接															
	后梁与平尾中央盒段的连接	2	2	1	2	1	2	2	2	2	2	1.67	1.5	2	2	7.17
	8 号肋与平尾操纵螺杆的连接	1	2	1	2	1	2	2	2	1	2	1.33	1.5	2	1.75	6.58
Remark:											Applicability:					

表 2 非金属结构环境损伤分析示例

Form S-4B		ED Analysis for Non-Metal SSI										ATA:55		Zone: 324	内部					
No. SSI	Title	(VR)			(SC)					(PR)	(EV)					VR	SC	PR	EV	EDR
		VR1	VR2	VR3	SC3	SC4	SC5	SC6	SC7	PR1	EV6	EV2	EV7	EV5	EV4					
55-40-01	方向舵梁	1	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1.33	1.8	2	2	7.13
Remark:															Applicability:					

2.3.2 指标说明

(1) 可见性 (VR) 偶然损伤的可见性指标区分与环境损伤相同, 包括以下指标: 口盖大小 (分大、中、小)、眼睛与 SSI 的距离 (分远、中、近) 及稠密度等级 (高、中、低), 可见性等级等于以上三个指标的平均数。

(2) 对损伤的敏感性 (SD), 按照金属和非金属材料分别考虑。

对于金属结构, 应力水平反映工作载荷产生的名义工作应力强度, 断裂强度是金属材料承受裂纹和应力的能力;

对于非金属结构, 应力水平反映工作载荷产生的名义工作应力强度, 对损伤扩展的敏感性则表明了非金属材料损伤扩展的速度。

(3) 剩余强度 (RS, 金属/非金属相同), 主要考虑结构当前受载情况下的剩余强度, 用于评估结构受偶然损伤后的承载能力。

(4) 受损伤的概率 (LK), 主要考虑地面操作设备、货运设备、人为失误损伤、雨水、冰雹、跑道碎片、残骸、雷击、液体浸泡和其它因素 (如鸟撞等) 等造成的影响。

2.3.3 偶然损伤中需要注意的分析原则

对 SSI 受到不同偶然损伤的敏感性进行评估, 还需要对于偶然损伤是否被另外一个 SSI 覆盖进行评估。对预期的损伤类型、位置和尺寸进行评估, 并考虑环境损伤和疲劳损伤带来的影响, 对非金属材料还要考虑与环境损伤相关的非化学作用造成的损伤增长, 如交替出现的冰融化引起脱胶或分层的损伤增长等。

2.3.4 偶然损伤分析步骤

(1) 选择要分析的飞机区域, 该区域包含的所有 SSI 都要进行分析;

(2) 填写指标等级工作单;

(3) 计算每项 SSI 的偶然损伤等级;

(4) 根据环境损伤等级确定环境损伤检查工作和间隔。

金属结构偶然损伤分析示例如表 3 所示, 非金属结构偶然损伤分析示例如表 4 所示。

2.4 SSI 的工作汇总

经过上述 MSG-3 分析工作, 根据分析的评级结果, 对照相应机型的 PPH (即维修大纲制订政策和程序手册) 要求进行汇总, 得出相应结构检查任务。总等级对应检查间隔表如表 5 所示, 结构检查任务示例如表 6 所示。

表 3 金属结构偶然损伤分析示例

Form S-5A		AD Analysis for Metal SSI										ATA:55		Zone: 322	内部						
No. SSI	Title	VR			SD		RS	LK								VR	SD	RS	LK	ADR	
		VR1	VR2	VR3	SD1	SD2	RS1	LK1	LK2	LK3	LK4	LK5	LK6	LK7	LK8						
55-30-03	垂直安定面主承力翼盒与平尾的连接																				
	后梁与平尾中央盒段的连接	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1.67	1	1	2	5.67
	8 号肋与平尾操纵螺杆的连接	1	2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1.33	1	1	2	5.33
Remark:															Applicability:						

表 4 非金属结构偶然损伤分析示例

Form S-5B		AD Analysis for Non-Metal SSI													ATA:55		Zone: 324		内部	
No. SSI	Title	(VR)			(SD)		(RS)	(LK)								VR	SD	RS	LK	ADR
		VR1	VR2	VR3	SD1	SD3	RS1	LK1	LK2	LK3	LK4	LK5	LK6	LK7	LK8					
55-40-01	方向舵梁	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1	2	2	2	1	1.33	2	2	1	6.33
Remark:															Applicability:					

表 5 总等级对应检查间隔表

总等级	检查间隔	
	外部	内部
1	500FC 或 3 个月	1 000FC 或 6 个月
2	1 000FC 或 6 个月	2 000FC 或 12 个月
3	2 000FC 或 12 个月	4 000FC 或 24 个月
4	4 000FC 或 24 个月	8 000FC 或 48 个月
5/6/7	8 000FC 或 48 个月	16 000FC 或 96 个月
8	8 000FC 及以上或 48 个月及以上	16 000FC 及以上或 96 个月及以上

注:鉴于不同区域可能会出现不同的间隔对应关系,本表格可能根据需要进行调整.

表 6 结构检查任务示例

Form S-7		MSG-3 Analysis Summaries for Structural Items				ATA:55		
No. MSG-3Tasks	No. SSI	Description	Task Description		Candidate of Zone			
			Internal	External	Y	N	Accept?	
55-30-03-01-01	55-30-03	后梁与平尾中央盒段的连接	DET	16 000FC 或 96 个月			√	
55-30-03-02-01	55-30-03	8 号肋与平尾操纵螺杆的连接	DET	16 000FC 或 96 个月			√	
Evaluation of Suppliers:								
Remark: 接近方式;拆卸翼尖整流罩/拆卸壁板上部的口盖								

3 总结

MSG-3 分析方法作为目前民用飞机采用最多的维修检查分析方法,有着相当的规范性和适用性。在民用航空领域竞争日益激烈的今天,研制生产出运营寿命更长的飞机可以有效地提高市场竞争力,而使用正确有效的维护检查手段来保证飞机的运营寿命,同时在保证安全运营的前提下尽量简化运营商的工作,是民用飞机研制必须面对的一项重要工作。因此使用当前最行之有效的 MSG-3 分析方法进行维修性的分析,创建维修大纲,将产生巨大的直接效益。

本文由于篇幅所限,仅对一般情况下结构 MSG-3 分析进行了介绍,在实际的应用中,由于结构的

多样性和特殊性,还会出现各种复杂情况,因此在进行 MSG-3 分析时,还需要有经验的航空公司代表提供相应的技术支持,来完善分析结果,通过学习相应的分析方法知识,深入研究,在设计中将可靠性维护性要求贯彻下去。

参考文献:

- [1] CCAR25-R3,中国民用航空规章第 25 部——运输类飞机适航标准[S]. 中国民用航空局,2001,5.
- [2] 林斐. 浅谈维修大纲与维修方案[J]. 江苏航空,2005,1: 32-33.
- [3] 万蓉,吴世德. 简述 MSG-3 分析法在民用飞机维修工作中的应用[J]. 民用飞机设计与研究,2005,4:33-38.