

# 某飞机机翼 I 大梁腹板战伤修理研究

缑百勇, 李寿安, 李曙林

(空军工程大学 工程学院 飞机发动机工程系, 陕西 西安 710038)



**摘要:**某架大型轰炸机的机翼 I 大梁腹板被弹片损伤,使飞机不能执行任务。本文从机翼 I 大梁腹板的受力情况出发,通过对损伤处的应力集中情况进行分析,采用止裂加强法对弹片损伤进行修理,使损伤处的最大集中应力由 657.6 MPa 降低到 339.4 MPa,在腹板的许可强度范围以内,从而修理后的飞机完全满足任务执行的载荷要求。

**关键词:**弹片损伤; 战伤修理; 加强

中图分类号: V267.45

文献标识码:A

文章编号:1671-654X(2004)03-0090-03

## 引言

某架大型轰炸机在执行一次战斗任务时被导弹击中,严重影响任务的执行。飞机迫降后,除飞机表面有大量损伤外,经检查还发现其内部的机翼 I 大梁腹板第七肋与第八肋之间有一弹片损伤,其具体位置及几何尺寸见图 1、2(图 2 中的矩形是图 1 中的两支柱之间的腹板)。为尽快使飞机能够恢复作战能力,执行战斗任务,必须对飞机进行战伤修理。本文从机翼 I 大梁腹板的受力情况出发,用 ANSYS 有限元软件计算腹板损伤处的应力,从而对腹板弹片损伤的修理作出分析与研究。

进行修理。

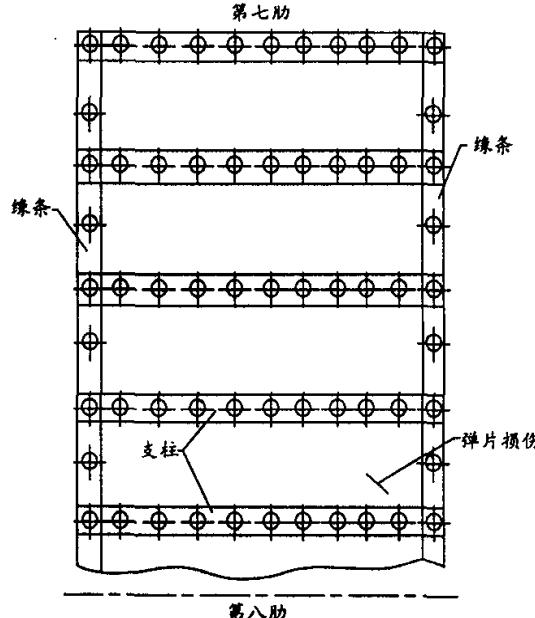


图 1 弹伤位置示意图

## 1 损伤处强度分析

对机翼 I 大梁腹板弹片损伤是否进行战伤修理,如何修理,首先必须对损伤处进行强度分析,包括静强度分析和疲劳强度分析两部分<sup>[1]</sup>。

### 1.1 静强度分析

按飞机设计载荷计算,作用在腹板上的最大飞机设计载荷为  $q = 543.9 \text{ N/mm}$ 。此时腹板上最大正应力和最大剪应力均为  $181.3 \text{ MPa}$ , 小于  $\sigma_s$  和  $\tau_s$ 。当腹板被弹片损伤时,此时腹板损伤处出现应力集中,用传统的方法难于计算损伤处的应力,本文采用有限元分析软件计算损伤处的应力。当最大飞机设计载荷作用在腹板上时,其计算模型与计算结果如图 3,其最大应力为:

$$\sigma_{\max} = 657.6 \text{ MPa} > \sigma_s \quad (1)$$

静强度已经超出了材料的强度极限,必须对飞机

### 1.2 疲劳强度分析

疲劳强度分析是指分析损伤结构是否能承受下次任务飞行的疲劳载荷,或还能承受多少次飞行任务的疲劳载荷。因为静强度条件已经没有满足,所以对疲劳强度的分析也不必进行,飞机必须进行修理。

由强度分析得到,飞机 I 大梁腹板弹片损伤必须进行抢修,而且是有强度修理。

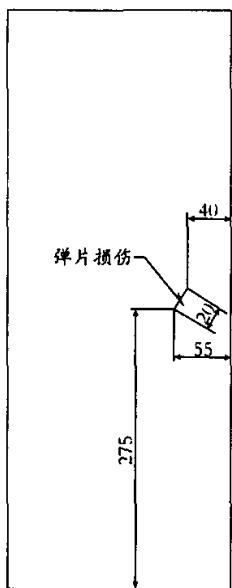


图2 弹伤具体图

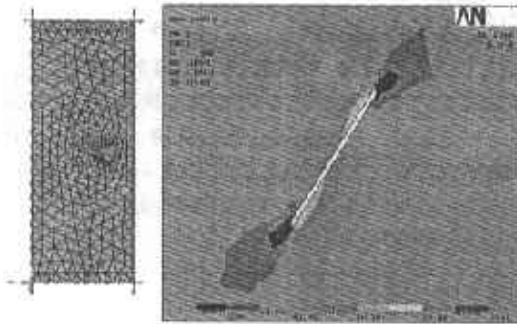


图3 计算模型与计算结果

## 2 抢修方案的制定

对该弹伤的修理采用止裂加强法。也就是说,由于该弹伤是狭长的裂纹,一方面,在裂纹前端钻止裂孔,防止弹伤的扩展;另一方面,由于弹伤处应力集中过于严重,必须在损伤处铆接一块加强片。

### 2.1 加强片材料的选取

通常,加强片的材料与待加强的腹板的材料相同,如果没有相同材料,可以选择代用材料<sup>[1]</sup>。如可以选择不锈钢或钛合金板材代替。

### 2.2 加强片的形状与尺寸

加强片的厚度应该与腹板的厚度相同,但加强片的长宽与弹伤的几何尺寸、铆钉数目等因素有关。对弹片损伤进行加强板加强时,弹片损伤每侧的铆钉数n为<sup>[1]</sup>:

$$n = \frac{a\delta\tau_{\text{设}} + b\delta\sqrt{\tau_{\text{设}}^2 + \sigma_{\text{设}}^2}}{q_{\text{破}}} \quad (2)$$

其中:  
a——平行于缘条方向损伤投影长度, m;

b——垂直于缘条方向损伤投影长度, m;

$\delta$ ——腹板厚度, m;

$\tau_{\text{设}}$ ——腹板损伤处的设计剪应力, Pa;

$\sigma_{\text{设}}$ ——腹板损伤处的设计正应力, Pa;

$q_{\text{破}}$ ——单个铆钉的破坏剪力, N。

根据上面的公式,经过各种型号铆钉的比较,最后本文选择了材料为ML20MnA、直径为3mm的铆钉作为加强用的连接件。经过计算,n=4。

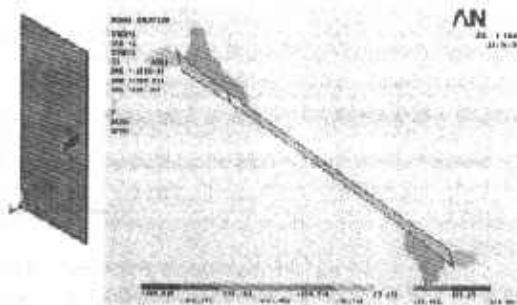


图4 加强后腹板损伤处应力分布

考虑铆钉的直径、铆钉之间的间距以及弹伤的几何形状这些因素,本文选择了一块40×25×3的薄板作为加强片,它与腹板铆接的具体位置及形状如图4。

## 3 修理后的强度校核

经过战伤修理后,机翼I大梁腹板损伤处强度得到提高。修理后腹板能否执行下次飞行任务,或承受多少次飞行任务的载荷,对此必须对修理后的腹板进行强度校核。

### 3.1 静强度校核

仍用有限元软件ANSYS对修理后的损伤处进行应力分析,修理后的有限元模型和腹板损伤处的计算结果如图4。从有限元分析中得到结果,损伤处的最大应力为:

$$\sigma_{\text{max}} = 339.4 \text{ MPa} < \sigma_b = 457 \text{ MPa} \quad (3)$$

所以经过修理后的腹板静强度满足飞机设计载荷要求。

### 3.2 疲劳强度校核

疲劳强度校核是飞机损伤经过战伤修理后,是否能执行下次任务,或能够执行多少次飞行任务。从资料<sup>[3]</sup>可以查得:表1是每1000次飞行该型飞机的重心载荷谱,表2是飞机没有受到损伤时的机翼I大梁腹板应力谱,分为突风或机动应力谱、起飞与着陆滑行应力谱及着陆撞击应力谱三部分,突风或机动时平均应力 $S_m = 38.67 \text{ N/mm}^2$ ,起飞与着陆滑行时平均应力

$S_m = 14.39 \text{ N/mm}^2$ , 着陆撞击时平均应力  $S_m = 38.67 \text{ N/mm}^2$ , 其具体情况如表2。

表1 某型飞机重心载荷谱

单位:次

$\Delta g$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
$n$ (突风)	40400	10040	2570	689	197	65	22.65	8.7	1.61	1.67
$n$ (机动)	5650.15	1345.11	349.48	96.76	32.59	11.5	4.13	1.48	0.55	
$n$ (起飞与着陆滑行)	271000	21200	1620	166	21.6	1.15	0.42			
$n$ (着陆撞击)	6000	3100	1500	880	495.4	220.5	120.7	60.5	29.4	12.7

表2 未开孔时机翼I大梁腹板应力谱

单位: $\text{N/mm}^2$ 

$\Delta g$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
$S_{\max}$ (机动或突风)	42.54	46.40	50.27	54.14	58.01	61.87	65.74	69.61	73.47	77.34
$S_{\max}$ (起飞与着陆滑行)	15.83	17.26	18.71	20.15	21.59	23.02	24.46	25.90	27.34	28.78
$S_{\max}$ (着陆撞击)	40.11	41.55	42.99	44.43	45.87	47.30	48.74	50.18	51.62	53.06

从资料[2]中可以查询到疲劳寿命  $S-N$  曲线。采用名义应力法可以计算得到该型飞机机翼I大梁腹板没有损伤时的安全系数为4时的疲劳寿命为37180次飞行起落。

当飞机机翼I大梁腹板有弹片损伤时,损伤处发生应力集中,应力集中系数  $k$  为:

$$k = \sigma_{\max}/\sigma_{\text{名义}} = 339.4/181.3 = 1.9 \quad (4)$$

在资料[3]中计算了  $k = 2$  时飞机机翼I大梁腹板的疲劳寿命,本文中得到的应力集中系数  $k = 1.9$ ,可以近似为2,因此,在这里本文选取  $k = 2$  时飞机机翼I大梁腹板的疲劳寿命作为大梁腹板弹片损伤经过修理后的疲劳寿命,即31989次飞行起落,这也偏保守一点。

查阅飞行日记,飞机在战伤前已经飞行了4173个飞行起落,假设飞机在修理后能飞行  $m$  次起落,则  $m$  可以由下面方程式计算得到。

$$\frac{4173}{37180} + \frac{m}{37180} = 1 \quad (5)$$

经过计算,可以得到  $m$  为28398次飞行起落。而平均每次飞行起落为46分钟,所以机翼I大梁腹板还可以有21772个飞行小时的寿命。远远大于该型飞机的疲劳寿命6000个飞行小时。

因此,经过战伤修理,大梁腹板是符合强度要求的,非常安全的。

#### 4 结论

在战斗中飞机遭受战斗损伤是难免的,但只要根据战伤的具体情况,对战伤进行合理的修理,飞机仍能完全投入战斗使用。本文对飞机机翼I大梁腹板的弹片损伤采用止裂加强法进行修理,使损伤处的最大集中应力由657.6MPa降低到339.4MPa,在腹板的许可强度范围以内,从而修理后的飞机完全满足飞机任务执行的载荷要求。

#### 参考文献:

- [1] 张建华.飞机战伤抢修工程学[M].北京:航空工业出版社,1999.6.
- [2] 吴学仁.飞机结构金属材料力学性能手册(第1卷 疲劳/耐久性)[R].北京:航空工业出版社,1996.
- [3] 杨少华.某型飞机加冀面压力加油系统结构改革设计[D].西安:空军工程大学硕士研究生学位论文,2001.3.
- [4] 中国航空科学技术研究院编.飞机结构抗疲劳断裂强化设计手册[R].北京:航空工业出版社,1993.
- [5] 王国强.实用工程数值模拟技术及其在ANSYS上的实践[M].西安:西北工业大学出版社,2000.
- [6] 姜晋庆、张锋.结构弹塑性有限元分析法[M].北京:宇航出版社,1990.

应用并没有严格的界限,只有通过对产品特性的分析、归纳,转变思想和合理的调整组织机构,提高人员素质,加强技术、管理和人力资源的集成和有效利用,必将能够适应小批量多品种的市场需求和提高市场竞争能力。

#### 参考文献:

- [1] 毕承恩. 数控技术[M]. 北京:机械工业出版社,2002.
- [2] 李 勇. 美国21世纪制造技术发展战略[J]. 国防科  
技,2002(8):10~12.
- [3] 徐志磊. 国内外制造业发展趋势[J]. 航空制造技术,  
2003(10):17~19.
- [4] 刘云华. 基于生产准备管理的产品配置研究[J]. 计算  
机辅助工程,2004(13):16~18.
- [5] Daniel t. Jones, Lean Logistics [J]. International Journal of  
Physical Distribution & Logistics Management, 1997: 151,  
Vol. 27, No. 3/4.

## The Organizational Management of the Airborne Products under Multi – categories and Smalllot Mode of Production

YUAN Yu

(China Aeronautical Computer Technique Research Institute, Xi'an 710068, China)

**Abstract:** The production type, characteristic and the management emphasis of the airborne products which manufactured under the multi – categories, smalllot mode of production is being analyzed in this paper. At the same time the modern production organizational management idea which be the same with the multi – categories, smalllot mode of production—Group technology, Flexible manufacturing, Lean manufacturing and management is been introduced.

**Key words:** mode of production; group technology; flexible manufacturing; lean manufacturing

(上接第92页)

## Battle Damage Repair Research to the Venter Board of I Beam on a Airplane

GOU Bai-yong, LI Shou-an, LI Shu-lin

(Dept. of Aircraft and Engine Engineering of the Engineering Institute, AFEU, Xi'an 710038, China)

**Abstract:** The venter board of I beam on a bomber was damaged by a shrapnel, it made the bomber not carry out missions. The paper analyzes the stress concentration of damage region according to the forces that the venter board of I beam bears, and presents a method of preventing damage from expanding and strengthening the board to repair the battle damage. The max concentrating stress is decreased from 657.6 MPa to 339.4 MPa that is in the limit of permissive stress. The bomber can satisfy completely the load requirement of task.

**Key words:** shrapnel damage; battle damage repair; strengthen