

文章编号: 1000-6893(2000)01-0064-03

飞机整体壁板战伤修理研究

焦良, 张建华

(空军第一航空学院 航空修理工程系, 河南 信阳 464000)

RESEARCH ON RAPID REPAIR OF BATTLE-DAMAGED INTEGRAL PANEL OF AIRCRAFT

JIAO Liang, ZHANG Jian-hua

(First Aeronautical College of PLA Air Force, Xinyang 464000, China)

摘要: 为飞机整体壁板战伤应急胶接修理提出了波纹板补强方案, 该方案改善了补片与其周围壁板间的刚度匹配, 使被修复壁板承载能力得以提高, 且无须改变原有的胶接修理工艺及胶粘剂。

关键词: 飞机修理; 整体壁板; 战斗损伤; 胶接

中图分类号: V267.45; V214.35 **文献标识码:** A

Abstract: Integral panel is widely used on modern aircraft that tends to be damaged in wartime. It is necessary to make rapid emergency repair so as to restore the battle-damaged aircraft to required mission capability within limited time. In this paper, a corrugated-patch-reinforced scheme is developed for bond repair on holes of battle-damaged integral panel of an aircraft, which makes both the rigidity matching between patch and panel around the patch well improved and the bearing capacity of repaired integral-panel-structure maximally enhanced. This scheme is designed to reach the best rigidity matching through the optimization of amplitude of corrugated patch. Compared to plate-patch scheme as well as rivet scheme, the scheme herein is effective and simple. The original bond-repair technology and the used adhesive need not be changed over, thus expedient repair of damaged integral panel during wartime can be fulfilled on site of combat. The methodology has been tested in the repair of J-X fighter and proved to be a success.

Key words: aircraft repair; integral panel; battle damage; bond join

飞机普通蒙皮战伤快速应急胶接修理所采用的补片为平板型补片^[1], 其材料、厚度均与原蒙皮相同。理论分析及大量试验结果说明, 经胶接修复后的壁板强度高于铆接修复后的强度。然而, 胶层依然是被修复结构受力的最严重部位, 这样, 胶层强度就成为制约修理强度进一步提高的瓶颈所在。整体壁板以其重量轻、刚性好、气动性能优越而为现代飞机尤其是军用歼强机所广泛采用。与普通蒙皮相比, 整体壁板参与机翼传力的作用更大, 因而, 在强度及可靠性方面有更高的要求, 为此, 本文提出一套适于飞机整体壁板战伤胶接抢修的波纹板补强方案。

1 问题分析

在胶层强度一定的前提下, 经胶接修复后, 使整体壁板承载能力进一步提高的关键在于设法使补片与损伤附近壁板在刚度上达到某种匹配, 从而使胶层受力的严重程度不致过分突出。实现这

种匹配的方案之一是寻找新的补片替代材料, 其强度应接近或高于原补片材料, 承载方向的弹性模量应比原补片低, 胶接性能应不次于原补片材料。通过查阅有关资料, 未能找到满意的补片材料。方案之二是改变补片的结构形式, 具体设想是把原来平补片中心(与损伤破孔重叠)部分由平板变为波纹板, 即在不改变补片材料的情况下改变补片承载方向的刚度。不难看出, 波纹补片刚度的大小可通过改变波纹补片的结构参数(如波纹周期、波幅)得到控制, 这不仅改善了补片与壁板间刚度的匹配, 而且可以使这种匹配达到优化。另外, 由于补片材料未变, 原有的胶粘剂及胶接修理工艺也无需改变。

2 补片刚度优化

用波纹补片胶接修理整体壁板的方案与平补片基本相同, 如图1所示, 为考查用波纹补片修复后的强度性能, 须对修复结构进行应力分析, 本文拟采用二维有限元法分析, 进而确定旨在发挥壁板最大承载能力的波纹补片的最佳周期与波幅。

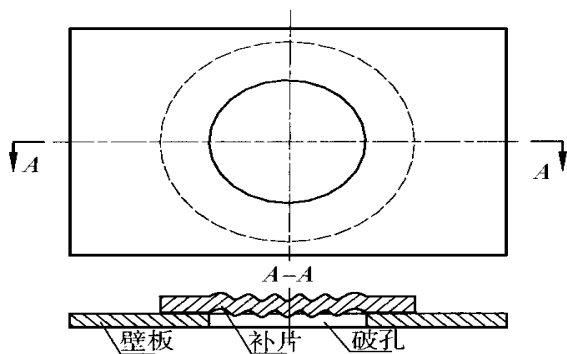


图1 用波纹补片修复整体壁板

直接对该结构建立二维有限元模型有2个困难:¹ 结构中既有铝合金板,又有胶层,两者材料参数不同,位置上相互重叠,胶层变形及内部应力不属于平面问题;² 波纹板为三维结构,模型中难以用二维单元模拟。为解决这2个困难,刚度优化工作拟分两步进行:第1步,分析对象为修复后的壁板结构,但模型中补片仍采用平板型补片,然后,以补片中心板材弹性模量 E_{cen} 为优化对象,结构承载能力为优化目标,求解 E_{cen} 的最佳值 E^* ;第2步,分析对象为一矩形波纹板,以波纹板承载方向当量弹性模量 $E_{eq} = E^*$ 为目标,求解符合要求的波纹周期及波幅。

(1) 求解补片承载方向当量弹性模量 在实际胶接结构中,胶层很薄,约为0.1mm,从单搭接胶接接头P-D试验数据看出,由胶层剪切变形引起的接头伸长量很小,不到铆接情况下接头伸长量的1/3,这样,就可以在模型中把胶层厚度作零处理,其结果对整个结构的刚度分布影响不大,从强度上看是偏于安全的,这样,第1个困难得以解决;胶层强度对结构的作用可看作为一种限制作用,它要求补片中心部分的应力不能超过某个界限,超过此界限,胶层就可能破坏而脱开。通过试验及理论计算,该界限值应取为180~200MPa。前面已提及,模型中补片仍采用平补片,这样,第2个困难就不存在了。

模型建立以后,给定补片中心部分弹性模量 E_{cen} 以不同的值,可解得相应的结构承载能力 P , P 的最大值所对应的 E_{cen} 即为要求解的 E^* 。有限元分析结果见表1,可以看出,当 E_{cen} 等于补片材料弹性模量72 000MPa时,承载能力较低,适当降低 E_{cen} 的值,有利于改善补片与壁板间的刚度匹配,使 P 增大。当 $E_{cen} = 35 000\text{MPa}$ 时, P 取得最大值 $P^* = 193.0\text{kN}$,可见,最佳弹性模量 $E^* = 35 000\text{MPa}$ 。

表1 补片弹性模量有限元分析结果

E_{cen}/MPa	R_0/MPa	R_{ring}/MPa	R_{cen}/MPa	P/kN
72 000	36.0	34.0	40.0	135.0
50 000	38.0	46.0	35.0	154.3
45 000	38.5	48.0	32.0	168.8
40 000	38.5	50.0	30.0	180.0
35 000	39.0	52.0	28.0	193.0
32 000	39.5	54.0	27.0	186.7
30 000	40.0	55.0	28.0	183.3
25 000	40.0	58.0	23.0	173.8
20 000	41.0	60.0	21.0	168.0
10 000	42.0	65.0	18.0	155.1

表中: R_0 为损伤附近壁板上的最大主应力; R_{ring} 为补片环形区的最大主应力; R_{cen} 为补片中心区域最大主应力; P 为模型结构的承载能力。

(2) 求解波纹板最佳周期与波幅 补片材料与厚度确定之后影响波纹补片刚度的主要参数为波纹周期与波幅。波纹补片的制作离不开专用模具,对于已加工好的成型模具,波纹周期难以改变,而波幅却可以通过控制冲压模头行程在一定范围内随意改变。考虑到补片空气动力等性能要求,波纹周期取为 $T = 8.6\text{mm}$ 。关键性工作是确定波纹补片最佳波幅 A^* ,使 $E_{eq} = E^* = 35 000\text{MPa}$ 。 E_{eq} 的求解仍采用二维有限元法,分析对象为一矩形波纹板,材料为厚1.5mm的LY12CZ板,波纹形状取为正弦曲线,表2中数据为计算结果。可以看出,波纹板波幅 A 取值不同, E_{eq} 也不同, A 越大, E_{eq} 越小。 $A = 0.78\text{mm}$ 时, $E_{eq} = 34 920\text{MPa} \approx 35 000\text{MPa}$ 。由差值得得, $A^* = 0.7787\text{mm} \approx 0.78\text{mm}$ 。

表2 波纹补片波幅计算结果

A/mm	L/mm	$\$L/\text{mm}$	P/kN	E_{eq}/MPa
2.00	30.29	11.99	6	9140
1.50	30.29	7.42	6	15 180
1.00	30.29	4.24	6	25 860
0.80	30.29	3.23	6	33 900
0.78	30.29	3.14	6	34 920
0.76	30.29	3.03	6	36 160

表中: A 为波纹板波幅; L 为波纹板计算长度; $\$L$ 为外载荷作用下波纹板伸长量; P 为波纹板外载荷; E_{eq} 为波纹板承载方向当量弹性模量。

3 试验结果

上面分析说明,波纹补片能够改善补片与其周围壁板间的刚度匹配,提高修复结构的承载能力。为验证波纹板修理方案的优越性,制备了3组试件,进行拉伸破坏试验,其中第1组为波纹补片

胶接试件;第2组为平补片胶接试件;第3组为平补片铆接试件。3组试件的材料、尺寸完全相同,试验结果如表3所示。

表3 3种修理手段强度比较

试件	破坏载荷均值 /kN	破坏形式	强度比/%
平补片胶接件	28.2	胶层脱开	100
平补片铆接件	10.8	铆钉剪断	39
波纹补片胶接件	33.6	胶层脱开	119

从表3看出,对于飞机整体壁板战伤破坏的快速应急修理,胶接修补强度比铆接修补有明显优势,采用波纹补片修理比采用平板形补片则更胜一畴,更有利于提高修理质量,满足战伤抢修要求。该补强方案在某型号歼击机机翼壁板上进行

了试验,结果是成功的。

参 考 文 献

- [1] 焦良. 飞机蒙皮修理中胶接接头形式优化研究. 航空维修, 1996, (11): 47~48.

作者简介:



焦良 1947年4月1日生,副教授,主要研究飞机加筋结构强度分析、歼强飞机结构与飞机液压附件修理,发表论文20余篇,编著、参编著作3部,获军队科技进步二等奖、三等奖3项。Tel: 0376-6221170-3683



张建华 1963年10月15日生,讲师,主要研究飞机战伤抢修,发表论文10余篇,编著、参编著作3部。Tel: 0376-6221171-3918

《航空学报》开始试行对每篇文章设立文章网址

为利用网络出版科技增强《航空学报》的出版能力,进一步促进科技成果的传播和利用,从2000年第1期起,《航空学报》中英文版开始对每篇文章设立一个文章网址,网址的排印位置为该文首页左下角的脚注位置。

利用万维网的出版多种电子数据的能力、动态维护扩展的能力,和超级链接的能力,文章网址具体将在下述几方面增进《航空学报》的出版能力:

(1) 彩色插图 《航空学报》印刷版插图仍继续黑白印刷,而文章网址上可出版彩色插图。

(2) 程序代码 作者可提供与文章有关的演示程序、源代码文件、算例的输入数据文件等在文章网址上发布,供读者下载试算运行。

(3) 更多图文 作者可提供与文章有关的更多图文内容,如详细的公式推导,更多的算例结果、作者的详细介绍等在文章网址上出版。

(4) 双语出版 对《航空学报》(中文版)文章,作者可提供英文译文在文章网址上发表;《航空学报》(英文版)文章的中文副本,也将在文章网址上发表。

(5) 修订更正 文章网址将用于刊登作者或编辑部对该文的修订和更正信息。

(6) 被引情况 《航空学报》作为“中国科学引文数据库”的源期刊,每年将收到该数据库通报的《航空学报》论文的被引用情况数据,这样我们将可以在各文章网址上逐步增添相应的被引情况。

(7) 超级链接 例如链接到作者自行维护的个人主页,这样作者可以在个人主页上介绍自己研究工作的最新进展,而读者则能够通过印刷版文章- > 文章网址- > 作者个人主页的途径访问到;文章网址也可以附设一个在线论坛,来收集读者对文章的反馈和评论意见。

文章网址的网络出版,是对《航空学报》印刷版出版的补充和拓展,文章网址的内容是相应文章内容的组成部分。在版权方面,和印刷版出版类似,文章网址上由作者提供的内容其原版权属原作者所有,而编辑版权和网站的整体作品版权属《航空学报》杂志社所有。

《航空学报》文章目前已经通过“ChinaInfo 数字化期刊”和“中国期刊网”全文上网,所以文章网址中将提供相应的链接,但不再重复出版印刷版文章全文。

目前文章网址的运作,主要由作者自愿提供希望上网发布的数据文件。我们也将逐步对《航空学报》过刊的文章补设文章网址,所以过刊的文章作者也可以申请通过《航空学报》网站发布电子数据。有关要求及电子文件请发Email至 wxy@hkxb.net.cn 联系。

(吴小勇)