

飞机胶接修理中的补板厚度优化

焦良

(空军第一航空学院,河南 信阳 464000)

摘要: 为了提高飞机机体损伤应急快速胶接修理的质量和效率,利用弹塑性有限元分析及试验方法探讨了胶接修补飞机蒙皮时补板厚度对胶接补强水平的影响。发现合理选取补板厚度可明显提高胶接修补的补强水平,进而提高修复结构的强度,一般情况下,取补板厚度小于蒙皮板厚度。这一新的胶接修补技术在不改变原有的修补工艺、材料、设备的前提下,可提高胶接修理的水平、机体结构的强度,减轻飞机结构质量,简化操作,降低成本。

关键词: 蒙皮;修理;胶接;优化;厚度

中图分类号: TQ 494 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001 - 5922(2005)03 - 0046 - 02

对飞机薄壁结构(如蒙皮、加筋壁板、梁腹板等)进行快速应急修理时,常常要采用胶接方法。对飞机蒙皮上的孔洞型损伤,其胶接修补工艺^[1]规定,补板应与待补损伤蒙皮材质相同、厚度相同或略厚一些,这样才能保证修复蒙皮结构的强度。然而本文经理论及试验分析可以证明,通过改变补板厚度,修复结构的强度还可以进一步提高。

1 问题分析

在飞机损伤结构的快速应急修理中,由于可达性的限制,修理人员一般只能从损伤蒙皮的外表面接近蒙皮,因此,修理部位的结构形式一般为单盖板式,如图1所示。补板对修复结构强度的贡献几乎没有。这是因为,如果胶层脱开致使补板的半边甚至整个补板离开蒙皮,补板即失去承力作用。若进一步提高胶接修复结构的强度,就要设法避免胶层提前破坏,这里有2个途径:

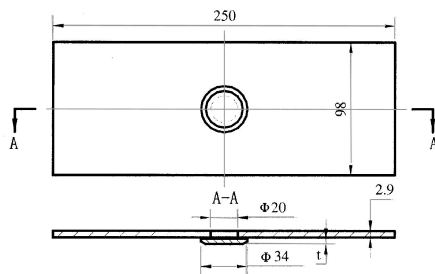


Fig. 1 Skin structure for bond-repairing

图1 胶接修补蒙皮结构

(1) 提高胶层承载能力。具体方法有:a) 选用强度更高的胶粘剂;b) 扩大胶层的面积;c) 优化胶接工艺参数,提高胶接强度。这3种方法在胶接修理工艺中已充分考虑过,并取

收稿日期:2004 - 07 - 05

作者简介:焦良(1947 -),男,硕士,空军第一航空学院飞机修理教研室教授。主要从事歼强飞机机体修理及飞机结构强度研究,发表论文30余篇。

得了一定的成效^[2]。

(2) 适当减小胶层剪切应力,即适当降低补板的刚度。具体方法有:

a) 改变补板的几何形态,从而改变其刚度,例如,把补板的中心区域模压成波纹状^[3];

b) 另选补板材料,其刚度应明显小于蒙皮材料,其强度应与损伤蒙皮材料相当;

c) 补板材料与蒙皮相同,适当减小补板厚度,从而减小补板的刚度。

第1种方法是很成功的,此处不再赘述。第2种方法通常难以实现,这是由于飞机薄壁结构材料大多为高强铝合金,其刚度本来就不算高。第3种方法是本文提出的方法,其中补板的厚度需进行优化。

2 优化过程

优化过程包括弹塑性有限元数值分析和试验方法2个方面。

2.1 弹塑性有限元分析

有限元模型中,蒙皮材料为LC4. CS, $S_b = 516.1$ MPa,厚度为2.9mm;补板材料也是LC4. CS,厚度在0.3~3.0mm变化。胶接修补蒙皮结构如图1所示。考虑到结构的对称性,有限元分析取结构的四分之一进行建模,如图2所示。分析结果见表1。

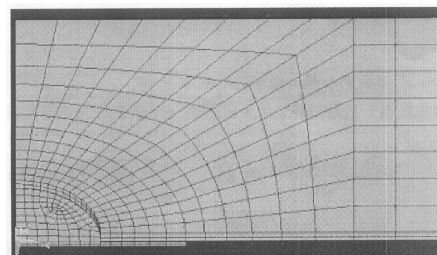


Fig. 2 Finite element mesh model of skin structure for bond-repairing

图2 胶接修补蒙皮结构的有限元网格模型

Tab. 1 Computed value of failure load and strengthening level for different thickness of patch plate

表 1 不同厚度补板时的破坏荷载计算值及补强水平

补板厚度 t / mm	破坏荷载计算值 P_R / kN	补强水平
0.3	127.7	0.553
0.5	129.2	0.595
0.8	129.1	0.592
1.2	127.6	0.550
1.8	125.2	0.483
2.5	122.3	0.402
3.0	120.5	0.352

令蒙皮结构损伤前的强度为 P_0 , 损伤后未经修补的强度 (即残余强度) 为 P_R , 修补后的强度为 P_F , 则

$$P_R = \frac{(W - D) \cdot t \cdot b}{K_f} = \frac{(98 - 20) \times 2.9 \times 51.61}{1.06} = 107.9 \text{ kN}$$

式中, W 为蒙皮板宽度, D 为损伤圆孔直径, t 为蒙皮厚度, K_f 为 LC4. CS 材料圆孔型损伤的强度缩减系数。损伤造成的蒙皮强度损失为:

$$L = P_0 - P_R$$

胶接修补产生的强度恢复量为:

$$R = P_F - P_R$$

胶接修补手段的补强水平则为:

$$= R/L = \frac{P_F - P_R}{P_0 - P_R}$$

一般是介于 0 和 1 之间的数, 少数情况下 (如装饰性修理), 也可能小于 0。表 1 中弹塑性有限元分析结果表明, 补板厚度较大时, 尤其是接近蒙皮板厚度时, 胶接修理的补强水平是很低的, 补板厚度为 0.6mm 时, 补强水平最高。进一步理论分析表明, 这个最佳补板厚度与比值 $= \frac{b_{adh}}{b_{skin}} \cdot \frac{b}{t}$ 有关。

值越大, 最佳补板厚度值越大, 最佳补强水平值也越高, 但最佳补板厚度不可能超过蒙皮板厚度。式中, b_{adh} 和 b_{skin} 分别为胶层和蒙皮板材料的剪切极限应力, b 为搭接宽度, t 为蒙皮板厚度。

Optimizing of thickness of patch plate in bond repairing aircrafts

JIAO Liang

(The First Aeronautical Institute of Air Force, Xinyang, Henan 464000)

Abstract: In order to enhance qualities and efficiency of rapid bond repairing of damaged aircraft body, this paper probed into the effect of thickness of patch plate on strengthening level of bonding in repairing damaged aircraft skin via plasto-elastic finite-element analysis and experiments, and discovered that rationally choosing the thickness of patch plate can remarkably increase the strengthening level of bonding and the strength of the repaired structure. Generally, the thickness of patch plate should be less than that of not damaged aircraft skin. This new bond-repairing technique created by the above analysis can increase the strengthening level of bond repairing and the strength of the repaired structures, predigest the operation and decrease the weight of the repaired structures and the cost of repairing on the condition of not changing formal technique, materials and apparatus.

Key words: skin; repairing; adhesive bonding; optimizing; thickness

2.2 实验室试验

制作试件所用的损伤板材料为 LC4. CS, 厚度为 2.9mm, 结构尺寸如图 1 所示; 补板材料也是 LC4. CS, 厚度为 1.9mm、2.9mm 2 种; 胶粘剂为 WD-1001 结构胶, 固化条件为 40 / 30min。试件分为 2 组, 每组 5 件。试验在 WAW- Y500 液压万能试验机上进行。试验结果及补强水平见表 2。

Tab. 2 Measured value of strength for different thickness of patch plate

表 2 不同补板厚度的强度测试值

补板厚度 / mm	破坏荷载平均值 / kN	补强水平
2.9	120.8	0.360
1.9	126.9	0.531

可以看出, 表 2 中的试验数据与表 1 中有限元分析结果基本相符。这样, 就得到了一种新的胶接修补技术, 在不改变胶接修补工艺、材料、设备等前提下, 适当减小补板厚度, 即可明显提高胶接的补强水平。

3 结束语

(1) 胶接修补飞机蒙皮穿透形损伤时, 合理选取补板厚度可明显提高胶接的补强水平, 提高修复结构的强度。一般情况下取补板厚度小于蒙皮板厚度, 而以往修补工艺认为补板厚度应与待补蒙皮板相同或略厚的意见不尽合理。

(2) 在不改变胶接修补工艺、材料、设备等前提下, 可提高胶接补强水平, 提高修复结构的强度, 减轻飞机质量, 简化修理操作, 降低成本。

参考文献

- [1] 张建华, 等. 飞机战伤抢修工程学 [M]. 北京: 航空工业出版社, 1999. 168.
- [2] 焦良, 等. 飞机单搭接接头胶接形式的优化 [J]. 粘接, 1997 (2): 46 - 47.
- [3] 焦良, 等. 飞机整体壁板战伤修理研究 [J]. 航空学报, 2000 (1): 64 - 66.