

介绍了用短玻璃纤维增强环氧树脂修理复合材料损伤的方法。从短玻璃纤维用量、长度、设计排气孔和工艺角度讨论了短玻璃纤维增强 E-44 复合材料强度的影响。

# 短玻璃纤维增强环氧树脂复合材料修理技术

## Study on Repair Technologies of Glass Fiber/Epoxy Composite Reinforced by Short GF

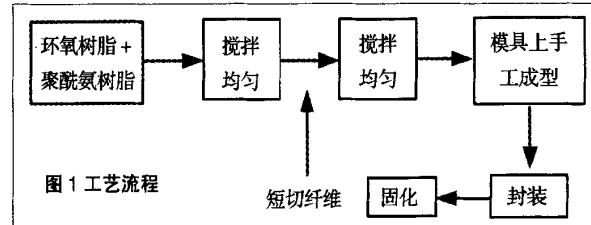
◎王在俊 / 中国民航飞行学院飞机修理厂

机结构中越来越多地使用纤维增强复合材料材质的零部件。在飞机的服役过程中,纤维增强复合材料构件易形成脱胶、分层、凹坑、裂纹、孔洞等损伤。为保证飞机飞行安全,需要及时对损伤构件进行修理。目前,常用的修理方法是在损伤部位外表面胶接复合材料补片的修理方法。该方法对补片直径、厚度、铺排方式等要求严格,对修理条件和操作技能要求高,这些因素都会影响其修理效果。以下是经过多年的修理实践,总结出用短玻璃纤维增强环氧树脂修理复合材料损伤的方法。

### 实验部分

我们对这种方法进行了实验。实验采用的主要原材料有:E-44(二酚基丙烷型环氧树脂),EC13—1200 玻璃纤维长丝,低分子 650 聚酰胺树脂。

主要测试方法是通过单向拉伸试验和三点弯曲试验来研究短玻璃纤维用量、长度对短玻璃纤维增强 E-44 复合材料强度的影响。并通过设计排气孔的方法测定不同制作方法对短玻璃纤维增强 E-44 复合材料强度的影响。



通过研究选择适用于玻璃纤维增强 E-44 复合材料的修理技术。

目前,我国尚无适用于短玻璃纤维增强环氧树脂复合材料力学性能的试验标准,试样制作参照 FCG8-196B 标准,其他试验参照国内的有关试验标准(方法)进行。

该实验采用工艺流程如图 1 所示。

空件及芳族聚酸胺纤维(AFRP)航空件的损伤进行修理。但是,碳纤维增强塑料(CFRP)航空件的损伤修理不能用玻璃纤维材料来进行修理,只能用碳纤维材料对其进行修理。因为无论是其强度、硬度还是碳纤维本身具有的导电性能,都是玻璃纤维材料无法

取代的。以上的修理必须在厂家维护手册 SRM、AMM 允许损伤范围内进行修理。

### 3. 胶膜的使用

胶膜主要用在复合材料结构件的修理中,一般是需要抽真空加热固化修理,才能恢复复合材料结构件原来

的性能。例如,波音 737-300 飞机后缘襟翼的分层修理、扰流板的蜂窝损伤修理等等,在其修理过程中,都要用到胶膜。在使用胶膜修理的过程中,要注意胶膜所能承受的最大温度,并结合厂家维护手册 SRM,找出其最理想的修理温度。□

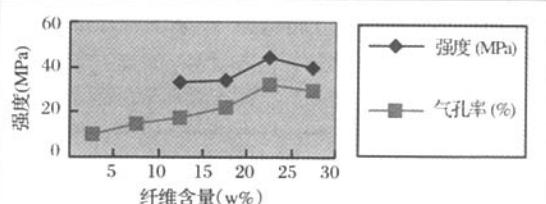


图 2 纤维量对 E-44/纤维复合材料强度和气孔率的影响

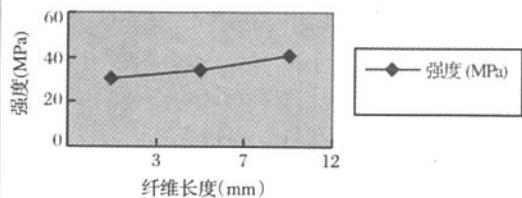


图 3 纤维长度对 E-44/纤维复合材料强度的影响

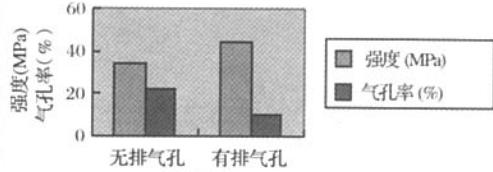


图 4 制作方式对 E-44/纤维复合材料强度气孔率的影响

## 结果与讨论

### (1) 纤维用量对复合材料强度的影响

本实验通过在 E-44 环氧树脂中添加 7mm 长的纤维制得 E-44/纤维复合材料。图 2 显示了纤维用量对 E-44/纤维复合材料强度和气孔率的影响。由图 2 可看出：当纤维质量分数小于 25% 时，随着纤维用量的增加，试样的拉伸强度得到明显的提高，气孔率略有提高；而继续增加含量，气孔率明显提高，拉伸强度开始下降。因此，最佳的纤维质量分数为 25%。

由于作用在树脂上的应力通过纤维与树脂的界面传递到纤维上，因此纤维是应力的主要承受者。纤维对树脂的增强效果直接取决于纤维的用量和纤维与树脂的界面黏结情况。随着纤维用量的增加，复合材料中承受应力的纤维单丝数量增加，因此强度明显提高；但

分别添加到 E-44 树脂中制得 E-44/纤维 (20%) 复合材料试样。图 3 显示了纤维长度对 E-44/纤维复合材料强度的影响。

可以看出，随着纤维长度的增加，复合材料的强度提高不明显。

纤维增强树脂基复合材料的破坏主要是界面脱粘，即纤维从树脂中拔出。理论上，纤维越长，界面黏结力就越大，纤维拔出就越困难，复合材料的强度就越高，但在本试验试样的制备过程中发现，纤维越长，纤维单丝间的缠绕就越强，致使纤维分散不均匀，有一些还成束存在，这样就大大降低了纤维增强的效果。

### (3) 不同制作方式对 E-44/纤维复合材料强度的影响

在修理过程中，一个使人困扰的问题是复合材料中的气体不能有效地

排除，而气泡会影响试件的强度。采用排气孔的方式，可以获得较明显的效果。用有排气孔和无排气孔方式制作纤维含量为 20% 的试样进行对比实验，结果见图 4。

从图 4 可以看出，有排气孔方式制得的试样比无排气孔方式制得的试样气孔率少，强度高。气体的排除减少了纤维与 E-44 树脂的界面出现空隙和缺陷的几率，增加了纤维和树脂的黏结，从而增强了试样的强度。

### (4) 短纤维增强 E-44 复合材料修理方法在工艺上的优点

短纤维增强修理方法可以调节修理层厚度。对于薄壁复合材料构件用胶接补片修理不容易保证修补区的厚度。同时，由于修补区薄，补片的铺层设计也不能满足工艺的要求。

修理时，胶接补片法修理复合材料后件的补片边缘都会有一圈比原构件表面高的胶接加强环。这层环的存在影响了构件表面的气动性。对于薄壁和损伤程度不大的复合材料构件的修理采用短纤维增强修理法可以有效解决胶接补片法存在的以上问题。

## 结论

(1) 随着纤维含量的增加，E-44/纤维复合材料的强度明显提高，但当超过一定值时，强度又降低。推荐使用纤维含量为 20%~25% 的材料进行修理。

(2) 随着纤维长度的增加，E-44/纤维复合材料的强度增加不明显。

(3) 条件容许的情况下，采用设置排气孔的修理方式。

(4) 从工艺上考虑，对薄壁和损伤程度不大的复合材料构件的修理可选择采用短纤维增强 E-44 复合材料修理方法。 □