

复合材料越多 所需培训量越大

More composites, More Training

◎约翰·克罗夫特

随着民用飞机上复合材料部件数量的增加,对于机械师相关的技能要求也会增加,未来可能会出现与焊接工种类似的复合材料维修资格证书。

波音公司高级副总裁迈克·拜尔称,波音 7E7 的飞机结构将大量采用复合材料,其中包括货舱门,因而波音 7E7 飞机所需维修费用比传统的金属蒙皮飞机低很多。

如果波音 7E7 项目取得成功,它将成为复合材料应用的领先者。波音 7E7 有 50% 的飞机结构(按重量计算)采用复合材料,而波音 777 只有 10%。据称,除了机身(包括桁条、隔框和蒙皮)由复合材料制造外,波音 7E7 机翼的桁条、翼梁和蒙皮也采用复合材料,甚至翼肋也要采用复合材料。

相对而言,空中客车公司在 A380 项目上则采取了较保守的方法,根据过去 4000 万小时运营经验,仍采用预制构件的方法制造大型结构件。1972 年,空中客车公司首次在 A300 上采用复合材料。其雷达罩和垂直尾翼的前后缘均采用玻璃纤维增强聚合物(GFRP)。1980 年,空中客车公司开始采用碳纤维增强的聚合物(CFRP)用于机身的运动表面(扰流板、减速板、方向舵和襟翼),以及各型空客飞机的主结构件垂直尾翼上。2002 年,空中客车公司继续扩展复合材料的运用,A340-600 和 A318 的油箱、后压力隔框和龙骨梁均采用复合材料。A380 的中央翼盒和后机身采用复合材料,A380 复合材料的

用量占飞机总重的 25%。

复合材料重量轻且坚固,不易腐蚀,承载能力高且不易变形,如果没有可视的损坏就无需进行修理(前提是假设飞机的载荷没有超过取证应力)。如果机械师需要修理有小裂纹或者有洞的零部件,采用的方法与金属材料完全不同。对于金属零部件,虽然重量较大,易腐蚀和容易凹陷,但用传统的方法进行修理也较为容易。

制造商在复合材料的生产过程中可以采用超声波检查和其他一些方式来进行检验。在航线维护时常用的是敲击法。机械师用一个一盎司的硬币像啄木鸟一样敲打结构件,通过不同的声音来判断某个区域的复合材料结构是否有变化或发生损坏。

波音公司最近对一种复合材料校准锤进行了验证。这一装置通过记录锤子打击表面及其反弹的时间,与其他相类似的区域相比,如果所记录的数据有超过 10% 的误差,表明这一区域受损伤。这是一种复合材料的快速损伤探测装置(RD DD),根据锤头的灵敏度不同,价格在 1395~1495 美元之间。如果某个结构承受了比设计值

要高的载荷,则需要采用更为复杂的无损检测方法做检测。

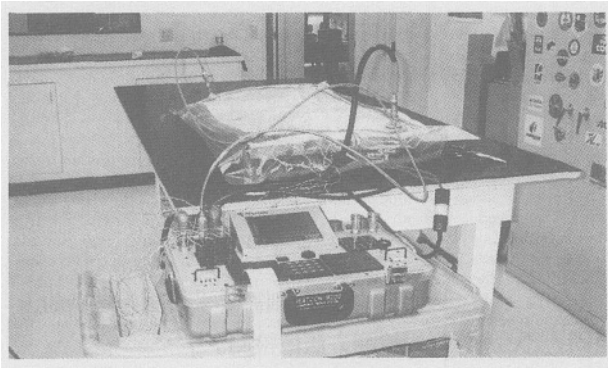
探明损伤部位后,就可以开始修补。复合材料的修补可以采用打补钉的方法,或者将损伤部位打磨掉,再用纤维铺层的方法进行修补。较为理想的做法是逐层铺设,确保修补时的载荷与结构件的原始载荷相同。

对于尺寸较小的孔、刻痕和裂纹,通常用树脂和湿法铺层并套上真空袋,用加热灯加热至 200°F(93°C)。如果损伤的区域超过 10 英寸,视机型的不同将采用更复杂的热粘接技术,固化温度超过 250°F 比较适宜。

热粘接时,将切割成适当大小的预浸的复合材料扣在打磨后的损伤处,然



学员正在进行复合材料的打磨实习



复合材料套上真空袋后进行高温处理

后覆盖上能吸收多余的树脂的材料,罩上交错铺设耐热铬合金导线的硅橡胶加热毯。加热装置使预浸材料与要修补的结构件粘接在一起。为了获得适宜的加热温度,在加热毯下采用热电偶,形成闭环的加热电路。

热粘接需要将补钉挤压进需要修补的零部件中,用加热毯加热至 450°F (232°C) 进行固化。用特氟隆塑料密封条填充在结构的边缘,采用真空泵将袋中的空气抽出,压力为 144psi。WichiTech 公司销售两种型号的热粘接系统,HB-1 的价格为 5500 美元、HB-2 的价格为 14700 美元。后者采用与 HB-1 相同的控制装置,但有内置式打印机、真空泵,可以同时驱动两个加热毯。迄今为止,该公司已售出 664 台 HB-1、383 台 HB-2,军民用各占 50%。

在复合材料维修过程中常见的问题有:表面不清洁(如果存在污物会影响粘接效果)、蜂窝件进水和加热温度不均匀等。

如果技术人员怀疑蜂窝件受潮,在修补之前需要进行 6 小时的抽真空处理,然后再进行 30~90 分钟的热粘接固化。否则,当浸入复合材料的水变成水蒸气后,可能会导致复合材料蒙皮从结构件上脱落。

复合材料进水还会导致温度不均

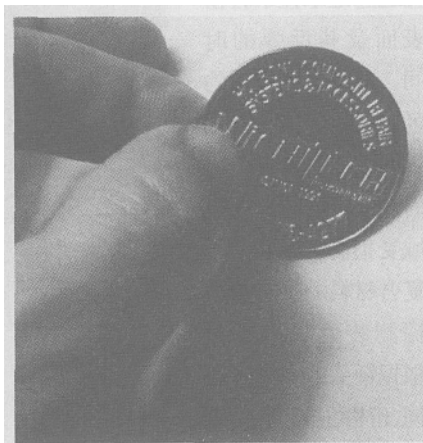
匀等问题。水会像结构件一样吸收热量,使得预浸材料无法与打磨好的复合材料很好地粘接。即便是在加热毯上每间隔 0.25 英寸(很小的距离)铺设镍铬加热丝,温差也可能达到 60°F,而理想状况下温差应

不超过 5°F。

波音公司推荐每 18×18 平方英寸面积上采用 10 个热电偶,使总的平均温度达到适宜的值。波音和美国军方曾采用一些非传统的介质,如蜂蜡和油料,以更好地进行热传导,但最终都不成功。

另一个与维修相关的问题是各个飞机制造商之间缺乏相同的复合材料规范,修理不同厂家的飞机时,即便是同样的修补过程,所用的碳纤维预浸材料都不同,如在空客的飞机上不能用波音飞机的预浸材料。由此会导致较高的成本。

对于维修企业来说,复合材料维修的劳动力成本可能是 1500 美元,而购买原材料的成本可能是 9000 美元,这种成本结构在维修企业来说是罕见的。这么高的成本要么由维修企业自己消化,要



硬币敲击是航线维修中常用的复合材料检测方法

么由客户承担。比如 C-17 军用运输机的某个部件,制造成本是 2000 美元,而购买原材料的成本至少是 48000 美元。

民用飞机复合材料修理委员会(CACRC)打算通过采用标准化的修理材料来维修各类飞机以解决此问题。由航空公司、适航当局、飞机制造商和复合材料供应商等相关部门每年在欧美召开两次相关的会议。除了实现维修材料的标准化,该委员会还要对修理技术、质量保证、检查、修理设计等一系列问题进行评估。

CACRC 还将探讨是否要为复合材料的维修人员颁发资格证书。目前,缺乏训练有素的维修人员主要是因为业内缺乏相应的培训标准。仅仅依靠飞机机械师(A&P)的培训是无法满足飞机关键的结构件的修理要求的。而维修人员的相关知识与技能多数来自于专门的课程和在职培训。但随着时间的推移,业界可能会达成共识,需要有资质的复合材料维修人员。复合材料修理证书可能由相关的协会颁发,类似于焊接人员由美国焊接协会颁发资格证书。但航空公司担心,有复合材料证书的机械师会要求有更高的薪酬。

也有一些航空公司人员不同意这种颁发证书的管理方法,认为如果是一名专业的机械师,经过专门的培训,就应当能够进行复合材料的修理。达美航空公司有自己的一套复合材料资格培训课程,为机械师和检验员进行两周的课程和在职培训。

现在,波音公司的工程师们在努力找出复合材料的诀窍,开发出简单的波音 7E7 的复合材料修补工具,可以不经专门培训,就可用较短时间完成 7E7 的一些修理工作。

(成磊,编译自 O&M, Oct. 2004) □