

复合材料维修用紧固件及紧固系统

Fastener and Fastenin System for Composite Structure Repair

中航工业北京航空制造工程研究所 刘风雷 刘 丹 刘健光



刘风雷

现任北京航空制造工程研究所研究员,主要从事先进复合材料连接及制孔技术、飞机长寿命连接技术、先进高性能紧固件制造技术研究,负责总装预研、型号攻关及军用技术推广等多个专项,在先进机械连接技术领域享有较高知名度。

复合材料具有比强度高、可设计性好、抗疲劳能力强等综合性能,被广泛应用于飞机主承力结构(如机翼、机身、垂尾、平尾等结构)中。复合材料与高强铝合金、钛合金并称为飞机机体三大主体材料,在先进军机上的使用量已超过了 25%,而在先进民机(如波音 787、A380 飞机)上,复合材料使用量占有更大比例。先进飞机使用的复合材料结构大都实现了整体成形技术,以保证结构具有较好的受力条件,

复合材料由于其层剪强度低、抗冲击能力差、塑性差等原因,在制孔、连接、使用过程中,容易产生孔增大、分层、损伤等质量问题,对于这些缺陷的处理,需采用加大紧固件、衬套紧固件和带衬套的紧固系统,并保证相应的安装制孔要求,以满足飞机复合材料结构维修需要。

使机械连接工作量大大减少,紧固件的使用量比金属结构降低了一半以上,但复合材料使用的紧固件需要解决电位腐蚀、安装“卡死”、安装损伤、拉脱强度低等问题^[1],目前国内在复合材料结构上使用的紧固件均已解决了上述问题,如采用钛合金等电位匹配好的材料、采用润滑和防粘连材料、采用压铆和抽铆工艺、采用较大的钉头和成形钉头等方法满足连接安装要求,使复合材料的连接得到了有效的保障。但由于复合材料是层状结构,层剪强度低、抗冲击能力差、塑性差,在使用中也存在相应的问题,在制孔中容易使孔超差,尤其是在与钛合金的层板结构的制孔中,由于这两种材料性能相差悬殊,在制孔中需采用不同的参数,因而更容易使复合材料制孔超差。另外,在使用中,由于复合材料制孔后的孔周应力集中系数较高^[2],在使用中容易在孔壁产生分层而使孔的承载能力下降,加之冲击作用使结构产生损伤,孔超差和结构损伤均需

要采用胶接和机械连接的方法对结构进行补强并使得缺陷不再得到扩展。本文主要阐述了 3 种用于复合材料修补的紧固件及紧固系统形式及其作用和安装要求。

修理用紧固件及紧固系统

复合材料结构连接主要采用螺栓类和特种连接类紧固件进行连接,较少采用铆接,主要是因为铆接使安装力矩难以达到一致性,故复合材料结构所用紧固件大都为可控力矩的紧固件和紧固系统。对于孔失效,主要采用加大孔和加大紧固件处理,而对于损伤,则需要采用胶接复合材料或胶接复合材料与紧固件配合加强等方式,其中紧固件一般选用螺栓和单面紧固件。本文主要解决制孔超差和使用中孔变形问题,论述了以下 3 种处理方法:(1)采用加大紧固件;(2)采用衬套紧固件;(3)采用带衬套的紧固系统,3 种方法均有其不同的设计考虑。

1 加大紧固件

对于超差孔,有些设计采用使用加大紧固件的方法进行处理,加大紧固件主要包括加大螺栓、加大高锁螺栓、加大环槽钉等,如 Hi-shear 公司生产的各种头型抗拉、抗剪型高锁螺栓均有加大杆径的紧固件标准。国内外采用的加大紧固件尺寸是不同的,国外加大紧固件一般一级加大为 0.38mm,二级加大为 0.76mm,而国产紧固件采用的一级加大为 0.50mm,



图1 普通高锁螺栓与加大高锁螺栓

二级加大为 1.0mm,图 1 所示为普通高锁螺栓与加大高锁螺栓。

2 衬套紧固件

采用衬套紧固件解决超差孔的连接也是一种常用方法,这种方法是采用普通紧固件外加一个具有一定强度和电位相容的衬套(如图 2 所示)与结构相连,该方法对解决个别孔超差比较有效。安装过程如图 3 所示,首先将衬套坐入加大孔中,其次将螺栓坐入衬套中,最后进行螺母的安装。在安装完成之后,衬套直壁部分应与紧固件杆部有较好的配合,以保证能够对载荷有较好的传递作用。

3 带衬套的紧固系统

国外专门就复合材料结构维修开发了一些类似于衬套类紧固件的紧固系统,该紧固系统是将衬套与紧固件组合在一起的组合件,可用于间隙安装也可用于干涉安装,在安装干涉安装状态下,可以提高接头的疲劳寿命和承载能力,并且在一定干涉量范围内可将接头疲劳寿命提高 1 倍以上,如干涉环槽紧固系统、干涉单

面螺纹抽钉紧固系统等,其包含的衬套就可用于维修加大孔的安装,前者可用于开敞部位,后者可用于不开敞部位。图 4 为干涉单面螺纹抽钉紧固系统及其安装过程,该紧固系统是为复合材料结构干涉连接而专门设计的,具有提高结构寿命、改善钉载分配能力等作用。

安装要求

对于复合材料结构修理安装,首先是要解决制孔问题,无论是加大杆类、衬套类还是衬套紧固系统类,同种规格紧固件其制孔尺寸是一致的,按公英制习惯,其孔尺寸如表 1 所示,使用紧固件加大类修理方式的结构制孔精度为 H9 级,而使用衬套紧固件类和紧固系统类修理方式的结构其制孔精度根据国内外设计可达到 H10 级。

结束语

复合材料由于其层剪强度低、抗

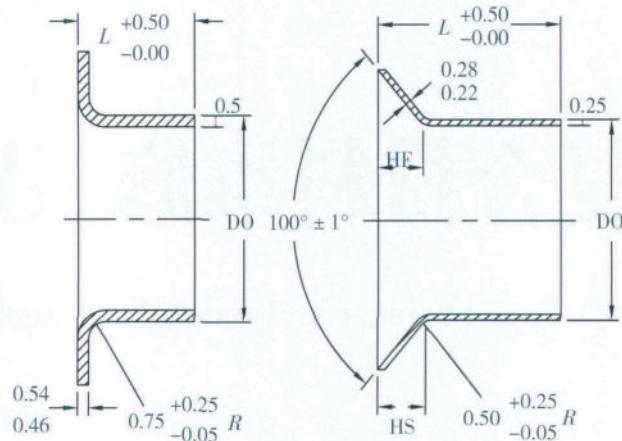


图2 高强衬套结构尺寸

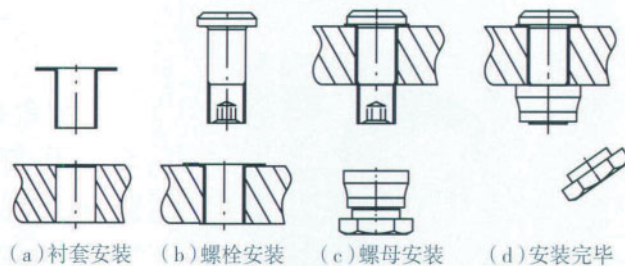


图3 衬套的安装过程

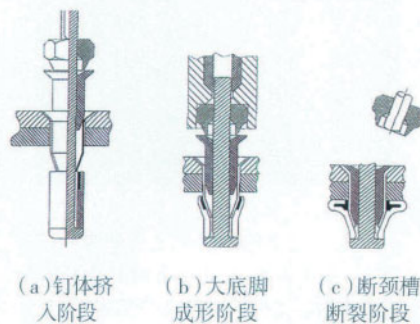


图4 干涉单面螺纹抽钉安装过程

表1 超差孔的制孔尺寸

紧固件制式	一级加大	二级加大
公制紧固件及紧固系统	$d^{+0.50}$	$d^{+1.0}$
英制紧固件及紧固系统	$d^{+0.38}$	$d^{+0.76}$

注:(1) d 为公称紧固件杆径;(2) 公制二级加大紧固件大多时变为大一规格公制尺寸。

冲击能力差、塑性差等原因,在制孔、连接、使用过程中,容易产生孔增大、分层、损伤等质量问题,对于这些缺陷的处理,需采用加大紧固件、衬套紧固件和带衬套的紧固系统,并保证相应的安装制孔要求,以满足飞机复合材料结构维修需要。同时可为设

计选用提供很好的参考。

参考文献

- [1] 张全纯,汪裕炳,翟履和. 先进飞机机械连接技术. 北京: 兵器工业出版社, 2000.
- [2] 航空工业部飞机机械连接系统工程国外复合材料机械连接课题组. 复合材料机械连接技术译文集, 1986.

(责编 小城)