

复合材料结构用干涉单面螺纹抽钉紧固系统连接技术

Joining Technology of Interference Blind Fastener System for Composites Structure

北京航空制造工程研究所 刘风雷 刘 丹

[摘要] 论述了干涉单面螺纹抽钉紧固系统结构及安装过程,并对接头性能进行了分析。使用该紧固系统可使连接结构获得较高的疲劳寿命指标和较好的钉载分配能力,从而实现提高结构整体寿命的要求。

关键词: 复合材料 干涉单面螺纹抽钉紧固系统 连接技术

[ABSTRACT] The structure and installation sequence of the interference blind fastener system, and the analysis of joint property are discussed. The structural fatigue life and pin load distribution are improved, and the lifetime of overall structures are progressed by using the interference blind fastener system.

Keywords: Composites Interference blind fastener system Joining technology

先进树脂基复合材料具有很多优点,已开始大量用于飞机主承力结构中,如机翼、机身、平尾、垂尾等结构,但开孔后会在孔周产生严重的应力集中现象,再加上复合材料的层间剪切强度较低、抗冲击能力差等特点,使得复合材料结构机械连接后存在着连接效率低、钉载分配不均匀等问题。

为了提高复合材料机械连接接头效率,提高接头的疲劳寿命,改善钉载分配问题,本课题介绍一种用于复合材料干涉连接的紧固系统——干涉单面螺纹抽钉紧固系统的连接技术以及连接后的效果,以满足飞机连接接头的长寿命、高可靠性连接要求。

1 复合材料结构用干涉单面螺纹抽钉紧固系统结构及安装工艺

由于复合材料几乎属于脆性材料,国内设计师在很长一段时期内都认为复合材料结构无法进行干涉连接,因此设计手册上都采用间隙机械连接。近年来,国内设计师逐渐认识到复合材料可以进行干涉连接,而且如果采用合适的干涉连接紧固系统并适当控制干涉量,可以提高结构寿命。

目前,已开发的三大类复合材料结构用干涉连接紧固系统包括钛环槽干涉连接紧固系统^[1]、干涉钛单面螺

纹抽钉紧固系统和旋入式钛高锁螺栓紧固系统,如图1所示。



图1 复合材料结构用干涉连接紧固系统

Fig.1 Interference fastener system for composites structures

金属结构靠直杆挤压实现孔的干涉连接,使孔壁产生压应力层,提高结构寿命。复材料干涉连接紧固系统主要依靠钉杆外的薄壁衬套,在安装过程中钉杆使衬套膨胀,而膨胀的衬套又使孔壁膨胀,使孔壁产生毛刷状分层,从而实现干涉连接。旋入式紧固系统的杆部具有特殊螺纹,拧到复合材料孔后,使孔壁材料发生变形,从而实现干涉连接,这两者都能很好地控制干涉量,又不

像直杆螺栓直接干涉复合材料孔而使孔壁产生较大的轴向力而造成的复合材料分层。

图2是干涉单面螺纹抽钉紧固系统结构图,是由复合材料单面螺纹抽钉发展而来的,结构由6部分组成,分别为A286衬套、TC4钉体、A286芯杆、不锈钢钉套、尼龙环圈、驱动螺母,在安装过程中钉体对衬套的挤压膨胀实现了结构孔的干涉连接。

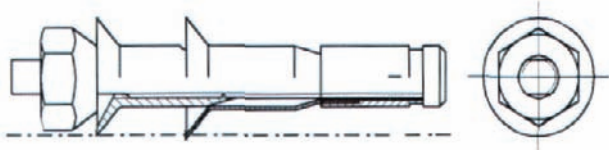


图2 干涉单面螺纹抽钉紧固系统结构
Fig.2 Structure of interference blind fastener system

复合材料结构用间隙型单面螺纹抽钉是专门为复合材料单面连接设计的^[2],具有与复合材料结构电偶相容性、安装后形成大底脚满足安装需要、可进行7°斜面安装、安装方便等特点,还具有在干涉量为0.025~0.15mm的范围内大幅度提高结构的疲劳寿命、改善钉载分配、提高抗雷击等能力。

复合材料结构用钛合金干涉单面螺纹抽钉紧固系统安装过程主要由3个阶段组成,如图3所示,分别为钉体挤入阶段、大底脚成形阶段和断颈槽断裂阶段,断颈槽断裂之后即完成该紧固系统的安装。

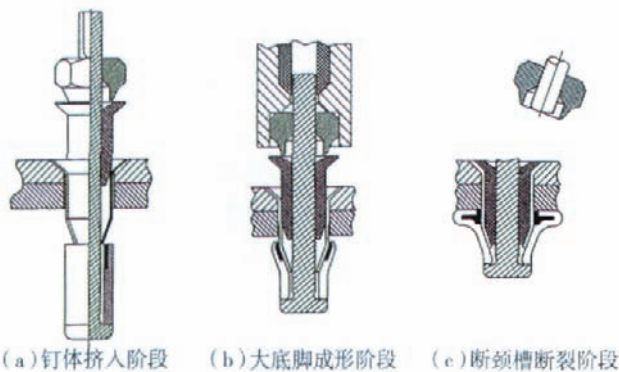


图3 安装成形过程
Fig.3 Installation sequence

(1)钉体挤入阶段。用安装工具固定驱动螺母,并旋转芯杆,通过旋转带动并在驱动螺母的顶压下将钉体沿轴向挤入薄壁衬套内。由于钉体外径大于衬套内径,因而在挤入的过程中钉体挤压衬套内壁,同时衬套外壁向外扩张挤压孔壁,获得预定的干涉量。

(2)大底脚成形阶段。钉体挤入衬套过程中,钉体与衬套内壁摩擦力逐渐增加,使得钉套与衬套接触面的接触压力增加。当接触压力达到一定数值时,紧固系统底部的钉套及环圈便沿衬套下锥度向上成形,在此过程

中钉体的挤入动作及钉套的成形过程同时进行。随着钉体挤入到衬套内,钉套接触到工件板,在芯杆旋转的带动下,芯杆继续向上提升,钉套在工件板的顶压下变形,并形成大底脚。

(3)断颈槽断裂阶段。在大底脚成形过程中,由于阻力的增加,芯杆旋转扭矩增加,当旋转扭矩超过断颈槽所能承受的力值时,即发生断裂,从而完成该紧固系统的安装。

2 干涉单面螺纹抽钉紧固系统接头试验效果

为检验干涉紧固系统对复合材料接头良好的安装效果,采用双搭接接头进行不同干涉量对疲劳寿命的影响试验研究^[3],采用四排单钉双搭接接头进行钉载分配研究^[4]。

疲劳试验采用的复合材料板为QY8911/T300碳纤维增强复合材料,铺层方向及铺层数量为[0/90/+45/-45]_{4s},分别采用了 $\phi 5\text{mm}$ 、 $\phi 6\text{mm}$ 、 $\phi 8\text{mm}$ 3种规格的100°沉头干涉单面螺纹抽钉紧固系统,分别选择4种干涉量进行试验,试验结果如图4所示。

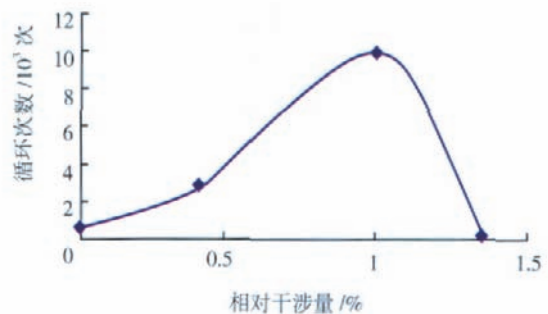


图4 $\phi 8\text{mm}$ 规格紧固系统不同干涉量下接头疲劳寿命拟合曲线
Fig.4 Fitted curve of fatigue life in different interference by using $\phi 8\text{mm}$ fastener system

通过已进行的3种规格干涉单面螺纹抽钉紧固系统不同干涉量下的接头疲劳寿命拟合曲线表明,接头疲劳寿命随着干涉量的增加而增加,当干涉量到达某一特定值时,接头疲劳寿命到达最大值。在一定干涉量范围(约0.5%~1.3%)内,可使干涉连接接头疲劳寿命达到间隙连接接头2倍以上的疲劳寿命;当干涉量继续增加后,接头疲劳寿命开始下降,当干涉量过大时,接头疲劳寿命甚至低于间隙连接接头的疲劳寿命,可以看出此时复合材料已经发生了彻底分层,因而导致了接头寿命的剧烈下降。可见,对于复合材料连接接头,控制干涉量对接头疲劳寿命至关重要。

钉载分配采用的复合材料板为QY8911/T300碳纤维增强复合材料,铺层方向及铺层数量为[0/90/+45/-45]_{4s},采用了四排双搭接结构,试验件用 $\phi 6\text{mm}$ 规格

100° 沉头干涉单面螺纹抽钉紧固系统进行安装。在钉孔附近安装应变片,采用多通过记录仪记录试验结果,试验机如图 5 所示。



图5 钉载分配加载试验
Fig.5 Test of pin load distribution

经过数据计算处理,四排钉的钉载分配如图 6 所示,同时进行了间隙连接钉载试验结果比较。由图 6 可以看出,复合材料在间隙连接时,外排钉与内排钉存在着极大的分配不均现象,而通过干涉连接可将这种不均匀减少到 8% 以内,可极大地提高复合材料的应变使用能力,满足先进飞机高寿命要求。

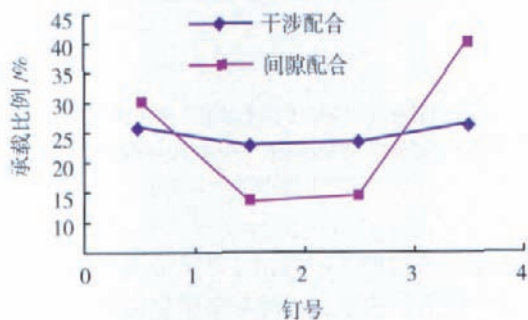


图6 干涉与无干涉接头钉载分配结果
Fig.6 Pin load distribution of interference fit and clearance fit

3 结束语

复合材料已开始大量应用于国内多种机型中,采用复合材料的间隙连接仅能满足较低寿命要求,而采用可靠的复合材料干涉连接紧固系统进行干涉连接后,可使复合材料连接效率提高到一个新的台阶。在一定干涉量范围内,可将接头寿命较间隙连接提高到 2 倍以上,而钉载分配能力得到了较大改善,并可提高复合材料结构应变许用能力,满足设计对复合材料结构的高寿命要求。

参考文献

- [1] 牛春匀. 飞机复合材料结构设计与制造. 西安: 西北工业大学出版社, 1995.
- [2] 张全纯, 汪裕炳, 瞿履和. 先进飞机机械连接技术. 北京: 兵器工业出版社, 2000.
- [3] 王武, 陶华, 刘风雷, 等. 干涉对复合材料疲劳寿命影响的研究. 绝缘材料, 2006, 39(4):45-47.
- [4] 王武, 陶华, 刘风雷, 等. 复合材料多排螺栓连接钉载分配的研究. 绝缘材料, 2006, 39(1):28-32.

(责编 良辰)

(上接第 75 页)

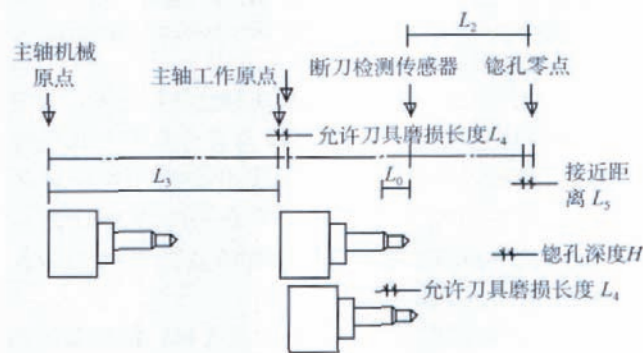


图4 刀具长度自动测量、断刀检测
Fig.4 Automatic measurement of tool length and testing of tool break

通过伺服电机配套的旋转编码器来实现主轴转速检测。

机器人钻孔姿态修正系统姿态传感系统,由激光传感器组成。该激光传感器不依赖机器人的运动,能在短时间内将当前位置的方向倾斜角度,反馈给机器人控制系统,使机器人对钻孔姿态进行修正。该传感器还能测量已加工的镗孔深度,若镗孔深度超过允许值时,发出警告并暂停加工,等待操作人员确认。该传感器自带视频系统,便于操作者在远处监测加工过程(根据用户需求确定是否需要此功能)。

5 结束语

柔性装配技术是飞机装配的前沿技术,通过在壁板类结构上的有益探索,将柔性装配技术和装配自动化技术进行有机结合,使飞机装配在自动化基础上实现柔性,在柔性的实现过程中提高自动化装配程度,从而形成一套完整的自动化柔性装配系统。该系统的应用将大大提高我国航空工业在先进装配技术应用上的自主创新能力。

(责编 良辰)