

复合材料层合板的干涉单面螺纹抽钉 干涉配合连接分析

Analysis of Composite Laminate Interference-Fit Linked With Interference Blind Bolt

西北工业大学中法联合虚拟设计与制造研究室 赵海超 陶 华
北京航空制造工程研究所 刘风雷

[摘要] 运用 ANSYS11.0 对干涉单面螺纹抽钉紧固系统装配过程进行动态三维有限元分析。通过连接接头特性分析,简化组合结构,采取“压装配”方法,建立模拟干涉单面螺纹抽钉紧固系统的动态干涉配合的有限元模型。按照实际压装过程在适当位置施加位移载荷、边界条件,动态模拟整个装配过程。由此得到其在连接过程中以及连接完成后紧固系统各组件尤其是复合材料层合板的应力分布情况。

关键词: 复合材料 干涉配合 动态三维有限元分析

[ABSTRACT] The dynamic three-dimensional finite element analysis on the assembly process of the interference blind bolt fastening system is simulated by ANSYS 11.0 software. The dynamic finite element model is developed by analyzing the characteristics of the joint, simplifying the construction of model, adopting “pressure assembly” method. According to the actual assembly process, the whole assembly process is simulated dynamically by imposing the displacement loads and boundary conditions. The stress plot of interference fit is acquired by running the program.

Keywords: Composite Interference-fit joint
Dynamic three-dimensional FEA

复合材料具有比强度和比刚度高等优点,已在航空航天等领域得到广泛应用。然而复合材料层间强度低,抗冲击能力差,尤其和金属结构相比,连接是复合材料结构的薄弱环节,结构破坏的60%~80%发生在连接处^[1]。干涉配合安装过程以及在该过程中产生的应力对连接的可靠性和疲劳寿命有直接影响。因此,研究干涉配合安装过程中各个连接件尤其是复合材料板的应力应变,对复合材料干涉配合强化机理研究具有重要意义。国内外已有关于复合材料干涉配合研究的文章发表,但很少涉及其机械连接过程中紧固系

统各构件上的应力应变。

本文以有限元分析软件 ANSYS 11.0 作为分析工具,对干涉单面螺纹抽钉作为连接件的复合材料板干涉配合连接过程进行动态三维有限元分析,观测干涉配合安装过程中复合材料板和连接件干涉单面螺纹抽钉的应力情况。

1 材料与有限元模型

1.1 材料性能

复合材料板为 QY8911/T300,铺层参数 $[0^\circ/90^\circ/+45^\circ/-45^\circ]_{ks}$ 。力学性能:准各向同性, X 、 Y 向杨氏模量 $E_x=E_y$ 为 45.239 9GPa,面内剪切模量 G_{xy} 为 17.306 8GPa。

紧固件为带衬套(GH2132)的干涉单面螺纹抽钉,抽钉材料为 TC4 钛合金。抽钉弹性模量 $E_1=210$ GPa,泊松比为 $\mu_1=0.34$;衬套弹性模量 $E_2=190$ GPa,泊松比为 $\mu_2=0.30$;钉套弹性模量 $E_3=200$ GPa,泊松比为 $\mu_3=0.30$ 。

1.2 建模与单元划分

干涉单面螺纹抽钉紧固系统是一种干涉配合连接紧固系统,图 1 为干涉单面螺纹抽钉连接副示意图,安装前整个系统包括复合材料板、钉体、衬套、芯杆、钉套、驱动螺母 6 个部件;安装完成后,驱动螺母随着芯杆被拉断而脱落,故只有复合材料板、钉体、衬

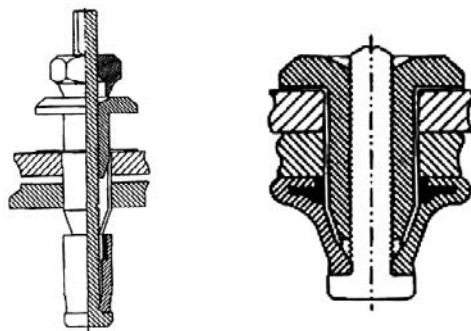


图 1 干涉单面螺纹抽钉紧固系统

Fig.1 Fastening system of interference blind bolt

套、芯杆、钉套 5 个部件。

试件采用单剪连接形式,见图 2。其中,抽钉 $\phi=4.62\text{mm}$, 试件干涉量为 1.354 52% (干涉由衬套完成),复合材料板孔径 $D=5.04\text{mm}$,板宽 $W=30\text{mm}$,端距 $e=30\text{mm}$,搭接长度 $L=60\text{mm}$,板厚 $t=4\text{mm}$ 。

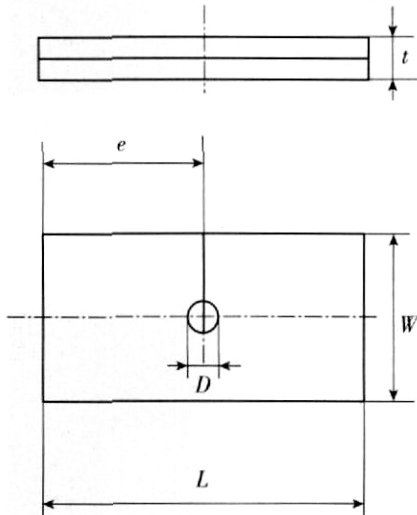


图 2 单剪干涉单面螺纹抽钉连接

Fig.2 Single-shear interference blind bolt joint

在动态分析中,只考虑与动态分析相关的复合材料板、钉体、衬套以及钉套,忽略复合材料板外的单面螺纹抽钉紧固系统的其余的部件,并且将芯杆和钉体合并成一个实体,即钉体是实心。图 3 是简化后的干涉单面螺纹抽钉紧固系统的在 ANSYS 中的有限元模型。

选择 8 节点实体铺层单元 SOLID46 单元划分复合材料,选择 8 节点实体单元 SOLID45 单元划分干

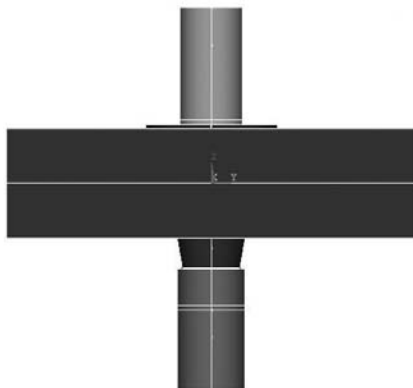


图 3 整体有限元模型

Fig.3 Integrated FEA model

涉单面螺纹抽钉和衬套,8 节点粘塑性的实体单元 VISCO107 划分钉套。单元划分采用映射法,并对紧固件与复合材料板孔边接触部位进行局部单元细化。图 4 是网格划分后的复合材料板、衬套、钉体以及钉套。

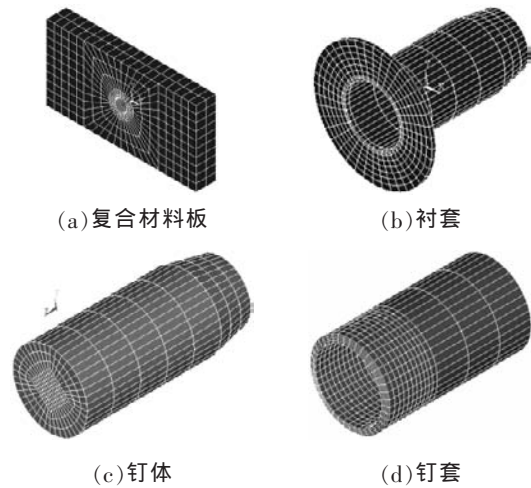


图 4 单元划分后的模型

Fig.4 Unit model after divided

2 干涉配合过程有限元分析

本课题所采用的干涉单面螺纹抽钉紧固系统是一种典型的干涉配合紧固件。在实际生产中,干涉装配一般有压力压装和温差组装 2 种组装方法。压力压装是用外力(包括压力和拉力)将轴压入孔中,本课题紧固系统即采用该装配方法。

利用 ANSYS 软件对干涉配合问题进行分析,针对压力压装可采用动态接触计算方法来仿真组装过程。动态接触计算方法即按照实际压装过程在适当位置施加位移或载荷边界条件,动态模拟整个装配过程。

根据实际力学模型的不同,有限元中接触分为刚性体对柔性体的接触(刚-柔接触)和柔性体对柔性体的接触(柔-柔接触)。在有限元模拟中大量采用刚-柔来定义弹性模量相差较大的物体间的接触,这种有限元模型由于没有考虑物体间的弹性形变,因而造成求解精度下降。本课题采用柔-柔接触来模拟衬套与复合材料板、钉体与衬套、衬套与钉套、钉套与复合材料板之间的接触,综合考虑了变形、摩擦对复合材料板、衬套、钉体、钉套的影响。在 2 块复合材料板之间,由于难以区分接触面和目标面,所以各定义了一对对称的柔-柔接触。图 5 是设置好的各个接触对。

在边界条件的处理上,固定复合材料板左右端面

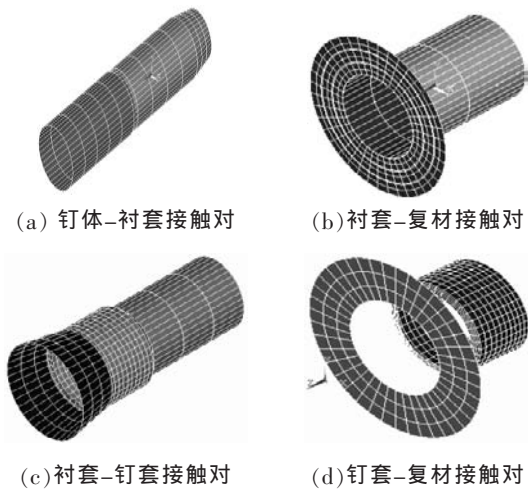


图5 接触设置
Fig.5 Contact setting

上所有节点的自由度,固定了衬套两端面上所有节点的Z向自由度,在钉体下端面施加8.6mm的向下的位移载荷,在钉套下端面施加5.0mm向上的位移载荷,如图6所示。

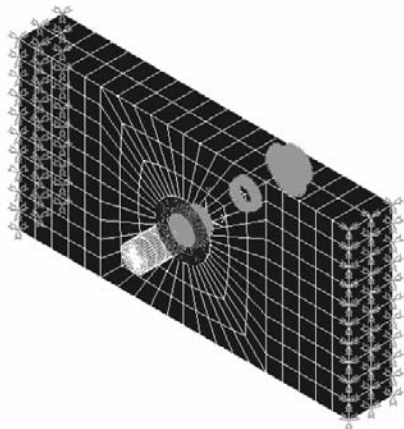


图6 边界条件与载荷
Fig.6 Boundary conditions and loads

3 结果及分析

图7和图8是干涉单面螺纹抽钉紧固系统动态干涉配合的等效应力云图,通过该图可看出在干涉配合装配过程中,衬套及其附近受到较强应力;图9和图10是动态干涉配合的复合材料板的应力云图,通过这些图可看出在过盈装配过程中,复合材料板在衬套附近受到较强应力。通过控制时间步的操作或动画更能直观显示整个模型在装配过程中的变化。

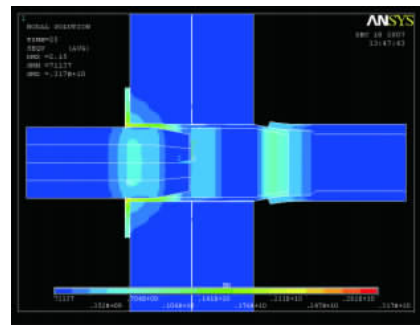


图7 安装过程紧固系统等效应力
Fig.7 Equivalent stress of fastening system during installation

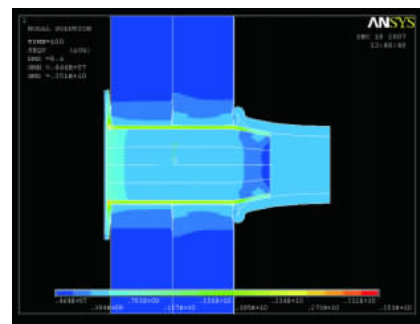


图8 安装完成时紧固系统等效应力
Fig.8 Equivalent stress of fastening system after installation

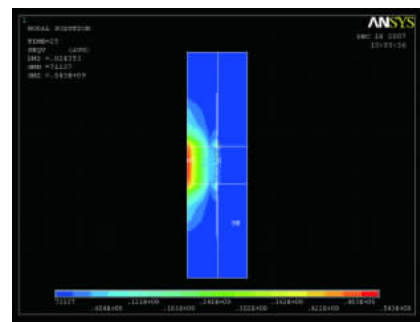


图9 安装过程复合材料板等效应力
Fig.9 Equivalent stress of composite plate during installation

4 结论

本课题利用有限元软件 ANSYS, 对干涉单面螺纹抽钉连接复合材料板进行了动态三维有限元分析。在分析过程中解决了复合材料单元选择、实体离散 (下转第 77 页)

