

# 疲劳寿命下连接件的优化设计

姜昊<sup>1</sup> 姜金辉<sup>2</sup> 沈雨晨<sup>3</sup>

(1. 中航通飞研究院 珠海 519040; 2. 南京航空航天大学振动工程研究所 南京 210016;

3. 南京航空航天大学航空宇航学院 南京 210016)

**摘要:** 连接件是飞机结构中常见的承载结构,但也是常见的疲劳源,连接件上紧固件钉传载荷和孔边旁路载荷直接影响疲劳寿命,采用 bush 元、beam 元和 rbar 模拟紧固件和板的连接关系,建立了连接件细节有限元模型。为降低端部孔的应力集中,使连接板的厚度呈台阶形状,计算紧固件载荷的分布,然后通过应力严重系数法,确定各个连接件结构的严重孔,最后对各个严重孔的疲劳寿命进行了对比,计算结果表明与理论相符,对结构的优化设计具有参考价值。

**关键词:** 连接件;疲劳寿命;bush;钉载分配

**中图分类号:** V214.1 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.1050

## Optimization design of joint under fatigue life

Jiang Hao<sup>1</sup> Jiang Jinhui<sup>2</sup> Shen Yuchen<sup>3</sup>

(1. China Aviation Industry General Aircraft Institute Co., Ltd, Zhuhai 519040, China;

2. Institute of Vibration Engineering Research, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China;

3. College of Aerospace Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

**Abstract:** The joint is the common bearing structure in the aircraft, but it's also a common source of fatigue. The pin load on the fasteners and the bypass load on the side of hole directly affect the fatigue life. The fasteners and plate connection relationship simulated by the bush element, beam element and rbar element in the article. Established the joint detail finite element model. thickness of connecting plate shape steps, Which can reduce the stress concentration of the end hole. And calculate the load distribution. Then determine the serious hole in the various joints, by Stress Severity Factor approach. Finally the fatigue life of various serious holes were compared, the calculation results show that accords with the theory, the optimization of structure design has reference value.

**Keywords:** joint; fatigue life; bush; pin-load distribution

## 1 引言

在飞机结构中,螺接和铆接是传递载荷的重要方式,用来连接和组装飞机的各重要受力结构,实现各部件之间的载荷传递和分配。由于钉孔的存在,这种连接方式容易引起应力集中,并导致构件破坏。正确分析这些连接件之间的载荷分布,是减小应力集中,提高疲劳寿命的基础和关键。

国内外学者针对连接件建模开展了大量的分析研究工作,由传统的弹簧元、梁元<sup>[1-4]</sup>到实体建模分析<sup>[5-6]</sup>,有限元的准确与否,关键在于紧固件与钉孔的相互挤压关系<sup>[7-9]</sup>,而 bush+beam+rbar 元为最新、考虑最全面、计算

精度高的建模方法。

通过研究最新的连接件建模方法,建立细节有限元模型,与经典工程计算方法进行对比,对比不同的连接板厚度下,连接件之间载荷的变化,以确定最佳的厚度分布,使孔边的应力集中最小,从而提高结构的疲劳寿命。

## 2 连接件建模方法

采用 bush+beam+rbar 建模方法。

### 2.1 理论原理

载荷作用下,由于板之间的相对滑动及板与紧固件之间的挤压,导致板与紧固件之间的平动轴向变形;由于连

发展起来的一种疲劳寿命估算方法。通过有限元细节分析,得到钉孔处的钉转载荷( $P_{dk}$ )和旁路载荷( $P_{pl}$ ),如图2所示,进而求出孔边的 SSF,将 SSF 作为理论应力集中系数  $K_t$ ,在利用简单缺口件的 S-N 曲线来估算结构连接件寿命。

- SSF 计算公式为:

图 2 有限元建模方法

$$\begin{aligned} C_{\text{bti}} &= C_{\text{btpi}} + C_{\text{btfi}} \\ C_{\text{bri}} &= C_{\text{brni}} + C_{\text{brfi}} \end{aligned} \quad (1)$$

#### 4 初步优化设计

以搭接件为例,通过改变搭接板的厚度,计算不同厚度下各个钉孔的载荷分布,并进行各个孔的应力严重系数对比,最后给出了连接板的疲劳寿命。

## 4.1 连接件结构

- 如图 3 所示一个简单的搭接结构,两连接板材料为 LY12,通过 5 个钢螺栓进行连接,螺栓直径  $d=5\text{ mm}$ ,上下板厚  $t=5\text{ mm}$ ,板件弹性模量  $E=70\ 000\text{ MPa}$ ,图中长度单位为  $\text{mm}$ 。

图 3 连接件模型


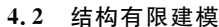


图 4 有限元模型

图 1 有限元建模方法

### 4.3 结构厚度优化

通过改变连接板的厚度,使连接板厚度呈台阶状,这样有利于降低两端的应力集中。应用应力严重系数法来

对比连接件的疲劳寿命,不同的厚度可通过设置壳元的偏置来模拟,连接件厚度变化示意如图5所示,厚度优化方案如表1所示。

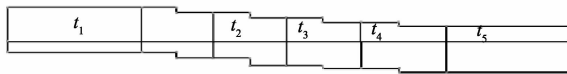


图5 连接板厚度变化示意

表1 厚度优化方案

厚度	$t_1$	$t_2$	$t_3$	$t_4$	$t_5$
方案1	5	5	5	5	5
方案2	5	4.6	4.2	3.8	3.4
方案3	5	4.2	3.4	2.6	1.8

#### 4.4 连接件载荷分布

在 Patran 中提取各个螺栓处节点的钉传载荷,计算应力和位移云图如图6所示,计算结果如表2和图7所示。从结果上可以看出,钉载的分配规律与工程分析方法<sup>[9]</sup>结果相吻合,即两端大、中间小的盆地状分布,且误差不超过2%。

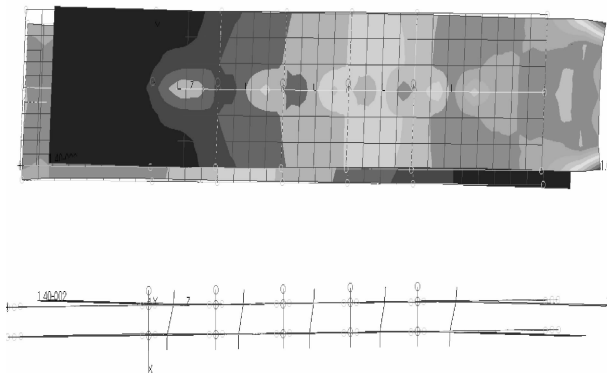


图6 应力、位移云图和螺栓变形

表2 螺栓钉传比

钉号	1	2	3	4	5
方案1	23.54%	18.18%	16.54%	18.18%	23.54%
方案2	22.31%	18.87%	17.81%	18.82%	22.18%
方案3	20.24%	20.05%	19.89%	19.88%	19.94%



图7 不同方案钉传比

#### 4.5 疲劳寿命对比

根据各个孔的应力严重系数和参考/名义应力,确定各个方案的严重孔,假定连接件结构承受  $S_{\max} = 120 \text{ MPa}$ ,  $R = 0.6$  的交变载荷,计算连接件的疲劳寿命,计算结果如表3所示。

表3 各方案疲劳寿命对比

方案	严重孔		
	孔位置	SSF	寿命(N)
方案1	厚板首钉孔	5.246 6	21 207
方案2	厚板首钉孔	5.042 2	22 732
方案3	厚板首钉孔	4.837 8	24 599

#### 5 结论

通过对比不同厚度之间的钉载分布规律,与经典的工程分析方法进行了对比,验证了建模分析的正确性,最后给出了不同厚度下的疲劳寿命。

1) 有限元模型较全面的考虑了机械连接中钉和板之间的相互作用,包括相对挤压和相对旋转,通过计算结果对比,与理论上给出的钉载分布相吻合,很好地验证了该方法适用于连接板的建模分析。

2) 通过改变连接板厚度,可降低两端紧固件载荷,从而降低严重孔的应力集中系数,并且可以达到各个钉孔载荷分配趋于均匀。

3) 根据应力严重系数法,确定严重孔,最后给出了不同厚度连接件的疲劳寿命,计算结果显示当钉载分布趋于均匀时,疲劳寿命最高,由于实际上偏心的存在,对疲劳寿命会有一定的影响。

4) 此种建模方法方便快捷,适用范围广,在某型号中已得到应用。通过此例为复杂连接件结构优化奠定了基础,具有一定的参考价值。

#### 参考文献

- [1] 姜昊,姜金辉.航空结构连接件细节内力分析方法研究[J].国外电子测量技术,2013,32(9):22-24.
- [2] EKH J, SCHON J. Finite element modeling and optimization of load transfer in multi-fastener joints using structural element[J]. Composite Structures, 2008, 82(2):245-256.
- [3] 朱闯锋.基于有限元方法计算飞机结构连接的细节载荷[J].中国科技信息,2013(16):49-50,54.
- [4] 高扬,孙秦.多排钉金属连接接头有限元分析方法研究[J].航空工程进展,2012,3(1):60-63,70.
- [5] 郁大照.螺栓搭接件的载荷传递特性试验及三维有限元分析[J].中国机械工程,2010,21(19):2273-2278.
- [6] 王旭,王生楠.机翼下壁板螺栓连接件疲劳寿命分析[J].航空计算技术,2011,41(1):70-73.

(下转第68页)