

# 老龄飞机蒙皮裂纹扩展有限元分析

赵晋芳,王旭,王旋

(沈阳航空航天大学 民用航空学院,辽宁 沈阳 110136)

**摘要:**文章针对无边界多孔边裂纹模型开展研究,分析影响疲劳裂纹扩展寿命的因素。首先通过 FRANC2D 计算无边界单孔边裂纹模型的应力强度因子,再比较三孔与单孔的疲劳裂纹扩展寿命以研究孔的数量是否会对其产生影响,最后通过不同孔距模型研究孔距对疲劳裂纹扩展寿命的影响。所得结论为延长飞机蒙皮使用寿命提供一定理论依据。

**关键词:**裂纹扩展寿命;有限元分析;FRANC2D;应力强度因子

**[DOI]10.12231/j.issn.1000-8772.2021.11.316**

## 1 研究背景及意义

老龄飞机的可靠性会随着服役时长的增加大大降低,从而影响到飞机的安全运行。尤其蒙皮,因其与空气接触面积最广,时间最长,会在铆钉、钉孔的周围产生裂纹,这是飞机蒙皮寿命降低的重要原因<sup>[1-2]</sup>。采用 FRANC2D 软件对蒙皮裂纹扩展开展有限元分析,计算裂纹尖端的应力强度因子(Stress Intensity Factor,SIF)及疲劳裂纹扩展寿命,具有一定工程应用价值<sup>[3-4]</sup>。

## 2 无边界模型裂纹扩展寿命的影响因素

### 2.1 无边界单孔模型裂纹扩展分析

采用三孔无边界模型,孔距设置为 6R,R 为孔的半径。将三孔模型的中间孔与单孔作对比,将所受载荷依旧设置为 206Psi,方向为 Y 方向,厚度为 0.04inch,材料为 2024-T3。对比中间孔,首先进行划分网格,划分网格后设置边界条件以及约束后,对裂纹尖端通过 J 积分针对三孔模型的中间孔进行应力强度因子计算。图 1 对单孔和三孔应力强度因子进行对比,可以看出在裂纹扩展前期,多孔相对于单孔来说,差别并不大,但对于同长度裂纹,三孔应力强度因子总是略高于单孔应力强度因子,而在后期多孔模型由于彼此之间开裂,应力场互相影响,开裂长度越长,多孔的应力强度因子在越大,多孔模型应力强度因子图像的斜率越大,导致两者疲劳扩展寿命的不同。

### 2.2 无边界三孔模型裂纹扩展分析

针对中间孔分析三孔不同孔距对于疲劳裂纹扩展寿命的影响,外界载荷为 206Psi,材料 2024-T3 铝合金,初始裂纹 0.1inch,孔距分别设定为  $d=6R$ , $d=8R$ , $d=10R$ , $d=12R$ ,各个孔距开裂前后如图 2 所示,将进行结果对比。开裂后计算应力强度因子,初始裂纹 0.1inch,每次裂纹扩展量 0.05inch。

进行疲劳扩展寿命对比,FRANC2D 上进行疲劳扩展寿命预测一般采用 Paris 公式,在界面上的 FATIGUE PLTS 上输入材料常数

$c, m$ ,可计算裂纹的疲劳扩展寿命。计算疲劳裂纹扩展寿命可知,在开裂的前期孔间距对于应力强度因子的数值的计算结果差距并不大,开裂到一定程度后开始产生区别,扩展同样距离,孔间距越小应力强度因子增加越快,距离越近,孔与孔之间影响越严重。而对于疲劳裂纹扩展寿命的结果来看,无论是孔距是多少,随着裂痕长度的增加,应力循环次数都会趋于一个稳定数值,当孔距  $d$  超过  $8R$  时,整个模型的疲劳裂纹扩展寿命变化不会发生很大变化,但也会随着孔距的增加不断增加,因此可以得出结论,当裂纹孔距大于一定程度上时,孔距对裂纹扩展寿命影响会逐渐变小,但孔距的增加在一定程度上可以提升疲劳裂纹扩展寿命。

## 3 结束语

(1)孔的数量对于疲劳裂纹扩展寿命会产生一定的影响,一定范围内,孔的数量越多,孔与孔之间的影响会越来越大,孔与孔之间的应力场会越来越复杂,裂纹扩展到一定程度,孔的影响降低,裂纹疲劳扩展寿命将会趋于一个稳定的数值。

(2)孔的间距对于疲劳裂纹扩展寿命也会产生影响,当孔的间距大于一定程度时,孔距对于疲劳裂纹扩展寿命的影响较小,孔距增大导致孔与孔之间的应力场相互减弱,影响较小,但孔距较小时,孔距之间的影响可能会被放大。所以提升孔距,降低孔的数量都可以有效地增大裂纹扩展寿命。

## 参考文献

- [1]殷之平.结构疲劳与断裂[M].西北工业大学出版社,2012.
- [2]陈磊.飞机系统老龄化评估研究[D].中国民航大学,2009.
- [3]黄伟辰,龙江.基于 FRANC3D 的飞机蒙皮谱载疲劳裂纹扩展分析[J].西安航空学院报,2020,38(01):32-38.
- [4]王冲.飞机蒙皮裂纹扩展有限元分析[D].上海交通大学,2012.

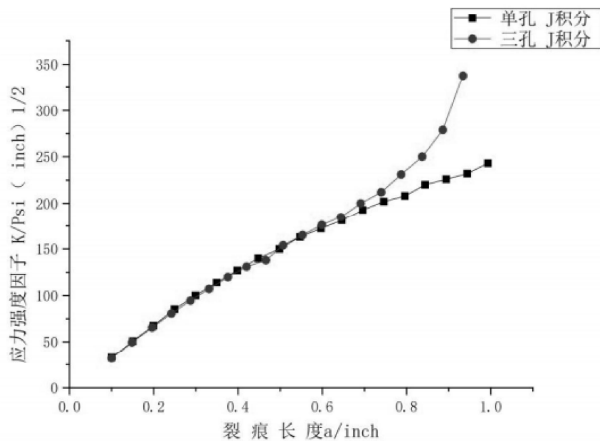
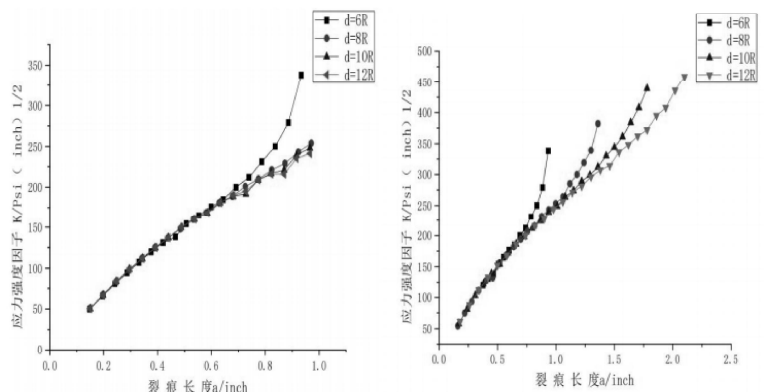


图 1 单孔与三孔应力强度因子值对比



(a)孔裂纹开裂到 1.0inch 应力强度因子对比

(b)孔均开裂到最大扩展次数应力强度因子对比

图 2 各个孔距应力强度因子对比