

DOI: 10.19416/j.cnki.1674-9804.2018.03.012

在平板不同位置开孔的剪切稳定性分析及应力集中影响

The Influence on the Shear Stability and Stress Concentration of Flat Plane with Different Hole Position

周松官 / ZHOU Songguan

(上海飞机设计研究院, 上海 201210)

(Shanghai Aircraft Design and Research Institute, Shanghai 201210, China)

摘 要:

为满足管线通过、减重、维修等需求,通常需要在结构上开孔。基于 Patran 和 Nastran 软件,针对剪切载荷下的四边简支开孔矩形平板,对其在不同开孔位置下的稳定性及口边应力集中情况进行仿真分析,并整理仿真分析结果,得到不同开孔位置对矩形平板剪切稳定性和口边应力集中的影响,供结构开孔设计使用。

关键词: 开孔; 剪切; 稳定性; 应力集中

中图分类号: V215.6

文献标识码: A

OSID:



[Abstract] To satisfy the need of pipeline passing through, weight reduction, maintenance etc., we usually have to add holes to the structure. Based on Patran and Nastran, this article makes an analysis on the shear stability and hole-edge stress concentration of four-edge simplified rectangular flat plane with different hole position under shear load. The analysis result shows that the different hole position made different influence on the shear stability and hole-edge stress concentration of rectangular flat panel, which could be used for structural hole design.

[Keywords] hole; shear; stability; stress concentration

0 引言

为满足各类结构设计需求,经常需要在结构上开孔^[1],例如为安装系统管线而开的管路过孔^[2]、因减重需要而开的减重孔、方便维修人员通过而开的维修孔^[3]等。而开孔将会导致结构承载能力降低^[4],同时,不同的开孔位置对结构承载能力的影响也不同。为了尽可能减弱开孔引发的影响,需要对不同开孔位置下的结构承载能力进行分析。

本文针对承受剪切载荷的四边简支矩形平

板,研究不同开孔位置对其稳定性和口边应力集中系数的影响,为工程中的结构开孔设计提供参考。

1 计算模型

1.1 建立基本模型

本文选取 13 种不同开孔位置下的平板进行分析,开孔位置分布和编号见图 1。开孔板尺寸为 200 mm × 100 mm × 2 mm,开孔直径 12 mm。应用 Patran 软件进行模拟,开孔板使用 shell 单元建立,典型开孔板模型见图 2。

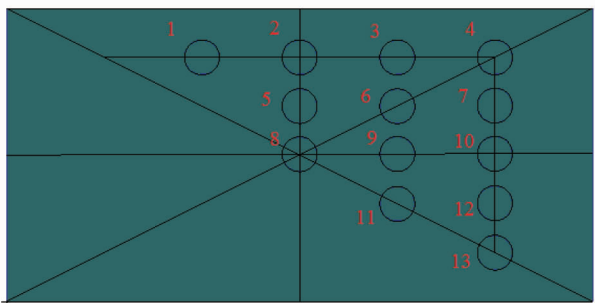


图 1 开孔位置分布和编号示意图

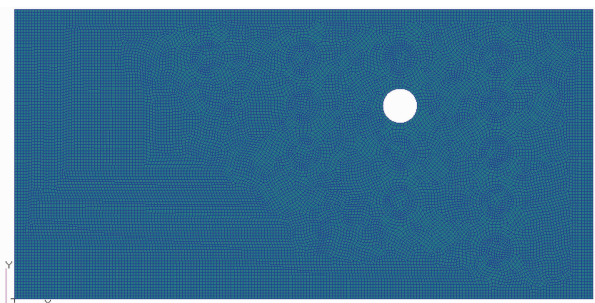


图 2 典型开孔板模型

1.2 材料属性

板材料拉伸和压缩弹性模量取 71 000 MPa,泊松比为 0.33,拉伸屈服应力为 455 MPa,压缩屈服应力为 441 MPa,拉伸破坏应力为 524 MPa,剪切破坏应力为 310 MPa。

1.3 位移约束和载荷

以图 2 为例,限制开孔板四边节点的面外位移(即 Z 方向位移),并固定左下角节点(即限制节点 3 个平动自由度),同时,限制右下角节点的 Y 方向位移。在开孔板四边施加剪切载荷,其值为 200 N/mm(即板承受的剪应力为 100 MPa)。开孔板位移约束和载荷情况见图 3 和图 4。

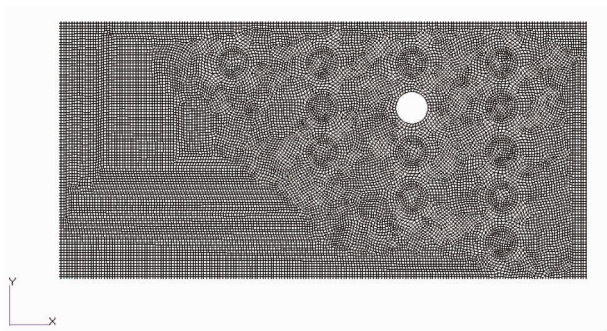


图 3 位移约束情况示意图

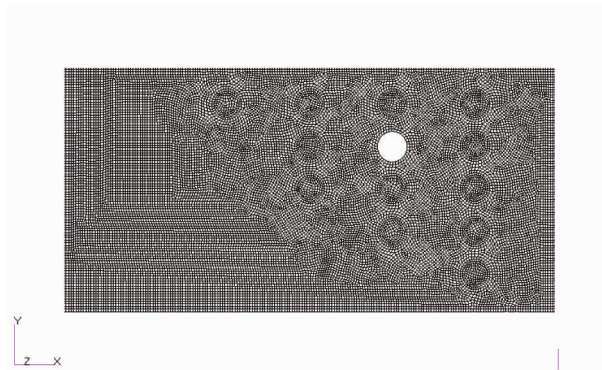
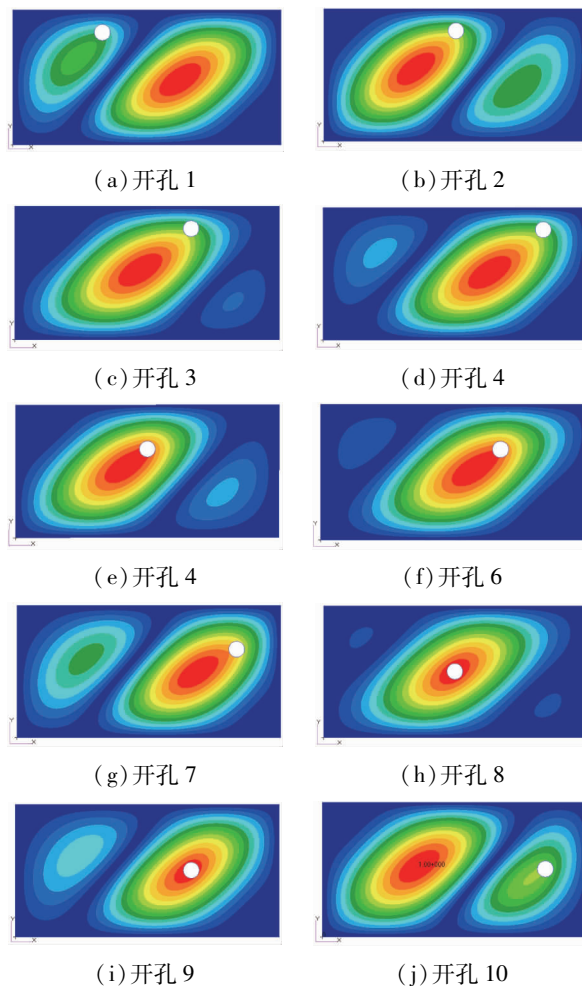


图 4 载荷施加情况示意图

2 计算结果和分析

通过 Nastran 有限元软件计算得到未开孔及 13 种不同开孔位置下的板一阶线性屈曲模态见图 5,开孔板单元最大主应力云图见图 6,同时整理有限元仿真数据得到板剪切失稳和开孔应力集中数据对比结果见表 2。



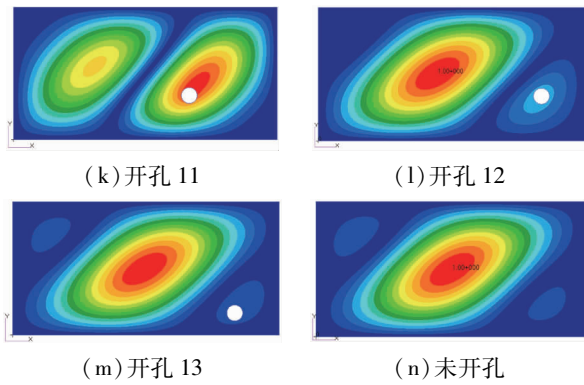


图 5 一阶线性屈曲模态

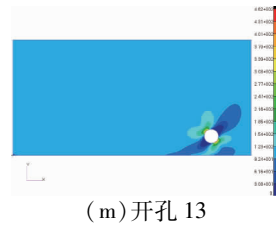
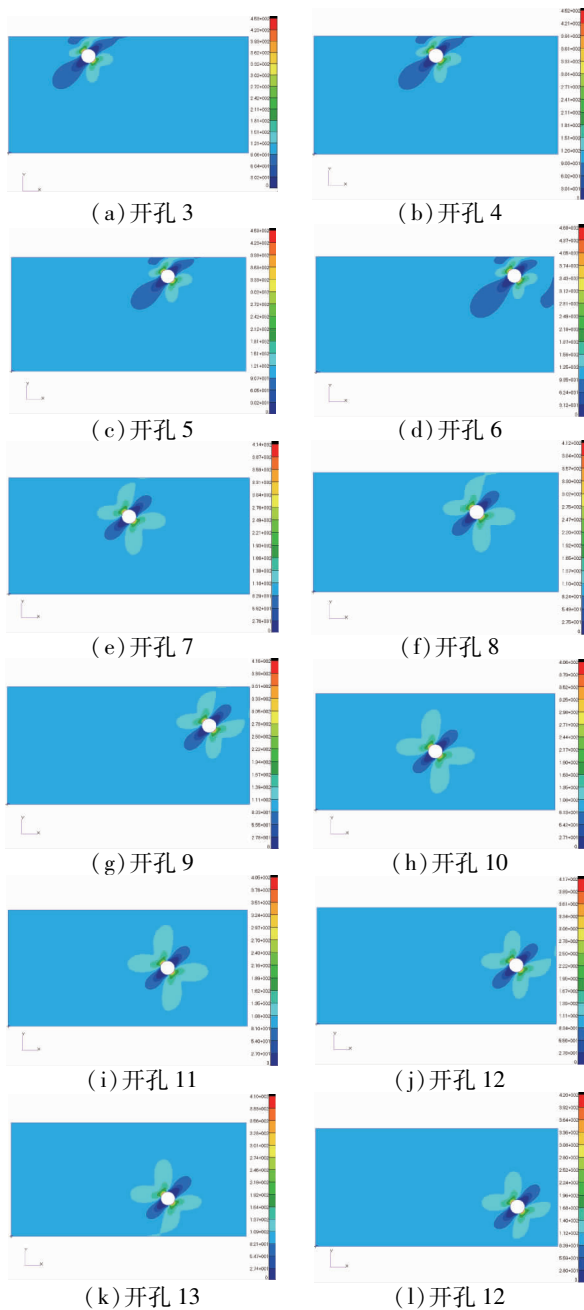


图 6 开孔板单元最大主应力云图

表 2 板剪切失稳和开孔应力集中数据汇总

开孔类型	一阶模态特征值	剪切失稳缩减系数	口边最大主应力/MPa	应力集中系数
未开孔	1.699 6	1.000	100	1.00
开孔 1	1.673 3	0.985	453	4.53
开孔 2	1.608 6	0.946	452	4.52
开孔 3	1.593 4	0.938	453	4.53
开孔 4	1.606 9	0.945	468	4.68
开孔 5	1.583 2	0.932	414	4.14
开孔 6	1.583 4	0.932	412	4.12
开孔 7	1.619	0.953	416	4.16
开孔 8	1.579 5	0.929	406	4.06
开孔 9	1.592 1	0.937	405	4.05
开孔 10	1.659 4	0.976	417	4.17
开孔 11	1.630 4	0.959	410	4.10
开孔 12	1.683 6	0.991	420	4.20
开孔 13	1.703 6	1.002	462	4.62

表 2 中的数据表明,开孔 8 对应的平板剪切稳定性下降最多,即中心开孔对板剪切稳定性的削弱最严重,而开孔 1、12 和 13 对应的平板剪切稳定性受开孔影响很小,即在靠近板受压对角区域开孔对板剪切稳定性影响较小;开孔 5、6、8、9 和 11 对应的平板口边应力集中系数相对较小,即在板中心区域开孔有利于降低口边应力集中,而开孔 4 和 13 对应的应力集中系数相对严重,说明在矩形板边角区域开孔会使口边应力集中较为严重,容易引发口边因应力水平过高而产生裂纹的问题。

3 结论

本文通过有限元软件 Patran 和 Nastran 分析了不同开孔位置下四边简支矩形平板的剪切稳定性和口边应力集中情况,得到以下结论(本文是纯理论研究,结论供参考,具体问题需结合实

际具体分析):

(1)为了最大程度地减弱开孔对板剪切稳定性影响,应选择在靠近板受压对角区域开孔;

(2)为了尽可能降低板开孔边的应力集中,应选择在板中心区域开孔。

参考文献:

[1] 高维成,李小乐,刘伟,刘婷. 剪切载荷下含椭圆形大开口层合板的试验研究[J]. 复合材料学报,2012,29(6): 243-248.

[2] 袁伟,王志瑾. 受剪复合材料层合板开口应力应变分析研究[J]. 飞机设计,2010,30(3):11-17.

[3] 牛春匀. 实用飞机结构应力分析及尺寸设计[M]. 北京:航空工业出版社,2009.

[4] 查煜峰. 开孔平板的剪切稳定性试验[J]. 实验力学, 1989,4(4):406-410.

作者简介

周松官 男,硕士,工程师。主要研究方向:飞机结构强度设计。E-mail: zhousongguan@comac.cc