

纤维柱增强泡沫夹芯板的压陷行为研究

王世勋 季宝峰 王群

(北京宇航系统工程研究所,北京 100076)

文 摘 为了研究纤维柱增强复合材料夹芯结构静态压陷力学行为,通过李兹方法与叠加原理相结合,建立全新的纤维柱增强复合材料夹芯结构的压陷力学模型,该模型回避了计算结构应变能的困难。通过理论计算可以得出,与传统泡沫夹芯结构相比,纤维柱增强复合材料夹芯结构很大程度上限制了压陷区的扩展,降低了结构的压陷损伤,有效提高了结构的剩余强度。

关键词 局部压陷,纤维柱增强泡沫夹芯结构,叠加模型

中图分类号:TB332

DOI:10.3969/j.issn.1007-2330.2016.01.009

Indentation Study of Foam Sandwich Structures Reinforced by Fiber Columns

WANG Shixun JI Baofeng WANG Qun

(Beijing Institute of Astronautical Systems Engineering, Beijing 100076)

Abstract Static indentation responses of foam sandwich structures reinforced by fiber columns (FSSRFC) are investigated theoretically. Based on the superposition principle, a new model is established for predicting the indentation response of sandwich structures. It should be pointed out that this model does not need to calculate the strain energy stored in the structure which is usually difficult to be determined. By theoretically calculation, FSSRFC can reduce the indent deflection under the indenter for the same indentation force compared with traditional foam sandwich structures. This is very valuable to investigate the dynamic problem for this structure due to indentation response of FSSRFC is the foundation of their dynamic features.

Key words Indentation, FSSRFC, Superposition model

0 引言

复合材料夹芯结构凭借高的比刚度,目前已被广泛应用在航空、航天等领域。由于夹芯结构在遭受某些冲击载荷后的破坏现象是难以察觉的,所以研究复合材料夹芯结构在冲击载荷下的力学响应及破坏问题是近年来夹芯结构研究的热点。Olsson^[1]指出将结构的冲击分为低速和高速是不恰当的,而以冲击物与结构有效质量的比值进行分类才是更为合适的提法。他同时指出,当比值 $M_{\text{冲击}}/m_{\text{有效}} \geq 4$ (大质量比) 的时候结构响应与准静态响应相同。工具的坠落、飞机跑道的碎片、冰雹等工程中常见的冲击现象都可归结为“大质量比”的冲击过程。

Olsson^[2-3]预报了“大质量比”的压陷力与压陷位移的响应。Wen 等^[4]研究了夹芯板在半圆形压头作用下的准静态和动态响应。Hoo Fatt^[5-6]对于夹芯结

构的冲击响应建立了准静态和动态的力学模型,并研究了不同边界条件下的冲击响应(图1)。

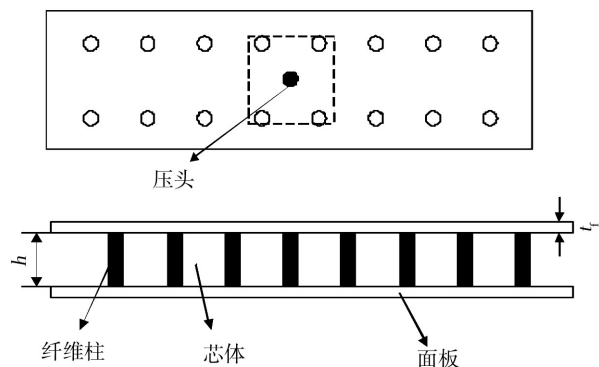


图1 纤维柱增强夹芯结构

Fig.1 Foam sandwich structures reinforced by fiber columns
Soden^[7]建立了夹芯梁压陷行为的力学模型。至今,对于纤维柱增强泡沫夹芯结构压陷行为的研究

收稿日期:2015-10-19

基金项目:国防基础科研项目(A0320131001)

作者简介:王世勋,1982年出生,博士,高级工程师,主要从事壳体及特殊功能结构设计工作。E-mail:shixun100@163.com

$$\text{令 } A = \left\{ \left[\begin{array}{c} 1 - \frac{(x_0 - R)^2}{(\xi - R)^2} \\ 1 - \frac{(y_0 - R)^2}{(\xi - R)^2} \end{array} \right]^2 \right\}^2$$

$$B = \left[\begin{array}{c} 1 - \frac{(y_0 - R)^2}{(\xi - R)^2} \\ 1 - \frac{(x_0 - R)^2}{(\xi - R)^2} \end{array} \right]^4 \left[\begin{array}{c} 3 \frac{(x_0 - R)^2}{(\xi - R)^2} - 1 \\ -1 \end{array} \right]^2 + \left[\begin{array}{c} 1 - \frac{(x_0 - R)^2}{(\xi - R)^2} \\ 1 - \frac{(y_0 - R)^2}{(\xi - R)^2} \end{array} \right]^4 \left[\begin{array}{c} 3 \frac{(y_0 - R)^2}{(\xi - R)^2} - 1 \\ -1 \end{array} \right]^2$$

关于 δ 对(16)式变分可得

$$p = \frac{2D_1}{(R - \xi)^2} \delta + \pi q R^2 + \frac{256q}{255} (R - \xi)^2 + \frac{4E\pi r^2 \delta}{h} A + 64h\delta EI_z B \quad (16)$$

分别对 ξ 进行变分,使得式(16)中仅保留变量 ξ ,由于最后得到的形式比较复杂,通过算例进行数值计算。

2 算例与讨论

在圆柱形压头作用下,纤维柱增强复合材料夹芯结构面板的材料参数分别为: $E_{11} = 144.8 \text{ GPa}$ 、 $E_{22} = 9.7 \text{ GPa}$ 、 $G_{12} = 7.1 \text{ GPa}$ 、单层厚度 $h_k = 0.0635 \text{ mm}$ 、 $\nu_{12} = 0.3$ 、铺层方向 $[0/90]$;芯体材料参数分别为芯体高度 $H = 12.7 \text{ mm}$ 、强度 $q = 3.83 \text{ MPa}$ 、纤维柱间距为 7 mm ;压头半径 $R = 2.54 \text{ mm}$ 。

将各参数代入上述推导的公式中,经数值计算得到图2、图3的结果。

压陷力和压陷位移 δ 进一步增加使得纤维柱达到破坏极限时,纤维柱将丧失承载能力,从而使压陷区域进一步扩展,直到达到下一组纤维柱。从图3中明显看出,在压陷区没有到达纤维柱所在位置时,两者的响应完全相同,一旦纤维柱进入压陷区,纤维柱增强夹芯结构的压陷区迅速被限制,而传统泡沫夹芯结构的压陷区继续扩展,这证明了纤维柱增强夹芯结构在限制压陷区扩展上是具有很大优势的。因此,纤维柱的存在使得在同等能量的冲击后(对于大质量比冲击,结构的响应与准静态相同),纤维柱增强泡沫夹芯板与传统泡沫的夹芯结构相比,压陷区的范围明显减小,剩余强度增加。

3 结论

通过对纤维柱增强泡沫夹芯结构压陷行为的研究,并与传统泡沫夹芯结构进行比较,表明纤维柱增强泡沫夹芯结构对压陷区有着极大的限制作用。而压陷区域的大小是衡量冲击后压缩(CAI)性能的一个主要标准。因此,纤维柱增强泡沫夹芯结构较传统泡沫的夹芯结构提高了面板的抗剥离性能,同时也进一步提高结构冲击后的剩余强度。

参考文献

- [1] OLSSON R. Mass criterion for wave controlled impact response of composite plates[J]. Composites: Part A 31, 2000: 879-887.
- [2] OLSSON R. Engineering method for prediction of impact response and damage in sandwich panels [J]. Sandwich Struct. Mater., 2002,4(January):679-687.
- [3] OLSSON R. Methodology for predicting the residual strength of impacted sandwich panels [C]. FFA TN 1999-08, The Aeronautical Research Institute of Sweden, 1999.
- [4] WEN H M, REDDY T Y, REID S R, et al. Indentation penetration and perforation of composite laminates and sandwich panels under quasi-static and projectile loading [J]. Key Eng. Mater., 1998,141-143:501-552.
- [5] HOO FATT M S, PARK K S. Dynamic models for low-velocity impact damage of composite sandwich panels-Part A: deformation[J]. Compos. Struct., 2001,52:335-351.
- [6] HOO FATT M S, Park K S. Dynamic models for low-velocity impact damage of composite sandwich panels-Part B: damage initiation[J]. Compos. Struct., 2001,52:353-364.
- [7] SODEN P D. Indentation of composite sandwich beams [J]. Strain Anal,1996,31(5):353-360.

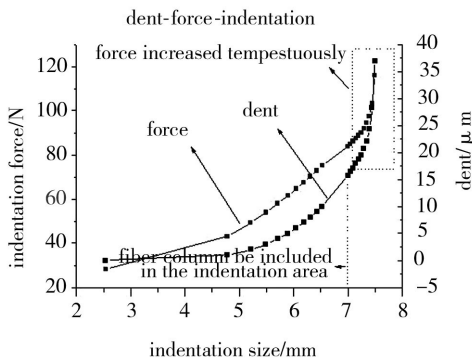


图2 纤维柱增强泡沫夹芯结构压陷响应

Fig.2 Static indentation responses of foam sandwich structures reinforced by fiber columns

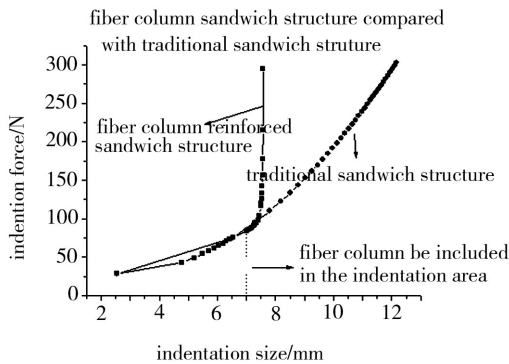


图3 纤维柱增强泡沫夹芯结构与传统泡沫夹芯结构的比较
Fig.3 Indentation responses comparison between foam sandwich structures reinforced by fiber columns and traditional foam sandwich structures

从图2中可以看到:压陷力在压陷区域到达7 mm(7 mm处正好是压陷区域到达纤维柱的值。)后迅速增加,但同时压陷区域本身并不进一步扩展,当宇航材料工艺 <http://www.yhclgy.com> 2016年 第1期