

文章编号: 1674-8190(2022)05-116-07

蜂窝夹层结构弯曲性能测试方法的离散度分析

李云鹏, 郭祥

(航空工业第一飞机设计研究院 结构设计研究所, 西安 710089)

摘要: 在对蜂窝夹层结构弯曲性能的测试中, 由于测试方法的不同, 存在数据离散度较大, 造成可信度降低的情形, 不利于对结构真实性能的评估。应用弯曲测定方法(ASTM方法)、弯曲性能均值法和侧压法对蜂窝夹层结构进行弯曲性能研究, 对比数据的离散性差异, 评定三种测试方法的有效性; 通过对试验件的测试和分析, 获得蜂窝夹层板的弯曲性能数据。结果表明: 按ASTM方法测定的弯曲性能数据, 离散系数大于0.1, 无法体现测试结果的真实性; 按弯曲性能均值法将蜂窝芯剪切模量代入关系式求解夹层结构的弯曲性能, 离散系数小于0.09, 结果可信; 按GB/T 1454—2005侧压法测定夹层结构的侧压模量, 其结果低于弯曲方法测定值, 考虑面板自身的刚度影响, 侧压方法的结果真实性更高, 离散系数小于0.07, 可信度进一步提高。

关键词: 蜂窝夹层结构; 弯曲性能; 侧压法; 离散性; 真实性

中图分类号: V214.6

文献标识码: A

DOI: 10.16615/j.cnki.1674-8190.2022.05.12

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Dispersion Analysis of the Testing Method for the Flexural Performance of Honeycomb Sandwich Structure

0 引言

蜂窝夹层结构是一种轻质高承载复合材料结构形式,在飞行器上有着广泛的应用。蜂窝夹层结构一般由面板、蜂窝芯和胶黏剂构成,具有优良的可设计性,较高的比强度和比刚度,良好的吸振、隔声等功能^[1]。随着材料应用多样化的发展,目前以纸质蜂窝结构为主要应用形式。

蜂窝夹层结构的弯曲性能是表征其承载能力的一个重要指标,测定方法主要有美国材料标准 ASTM D7250/D7250M-20^[2](本文简称 D7250)和我国国家标准 GB/T 1456—2005^[3],根据这两种测试方法获得的数据,在反映材料特性上存在一定程度的差异。

目前,国内外已对夹层结构开展了多方面的研究,包括结构形式、试验方法、加载方式和数据分析等。

对于夹层结构形式,研究内容包括面板及夹芯增强形式对结构承载能力的影响。杨宇^[4]、张富宾等^[5]分析了面板厚度增大对结构承载能力提升的变化趋势;龚小辉^[6]对比了缝合及加强筋增强方式下泡沫夹层复合材料弯曲性能的差异;C. Caglayan 等^[7]研究了碳纳米管增强聚氨酯泡沫对复合材料夹层结构压缩性能的影响;P. Sharafi 等^[8]研究了带有铆钉的面板对泡沫夹芯层分层强度的影响;H. A. Atar 等^[9]、A. Hamzah 等^[10]研究了夹心结构单元形状对其力学特性的影响。

对于试验方法,研究内容包括了三点或四点弯曲下夹层结构的力学性能。张利猛^[11]对 ASTM C393 与 D7250 中所忽略的面板对夹层板整体剪切刚度的影响进行了分析;马子广等^[12]应用 Patran 建立四点弯曲的有限元模型,研究了复合材料夹层结构的力学特征;Wei X Y 等^[13]研究了三点弯曲模式下蜂窝夹层结构的失效形态。

对于加载方式,研究内容包括了侧压强度的差异及影响因素。周祝林^[14]采用侧压方式研究了面板波纹度对夹层结构力学性能的影响;曹阳丽等^[15]利用 ABAQUS 建立了蜂窝夹层结构侧压计算模型;郑康^[16]通过试验研究了热塑性蜂窝夹层

计,弯曲试件简图及加载方向如图 1 所示。通过该测试方法可以测定夹层结构的弯曲性能。

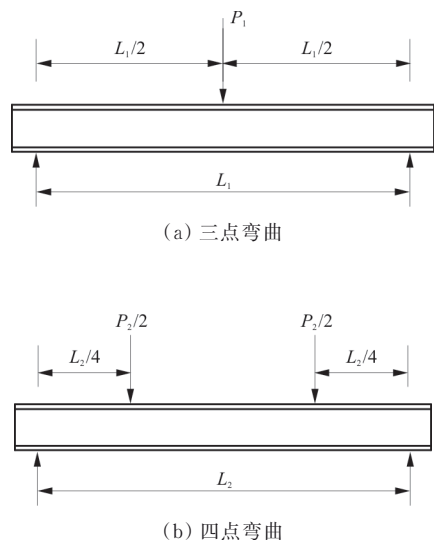


图 1 加载类型(1/4加载)^[2]

Fig. 1 Loading configurations (quarter point loading)^[2]

组装完成后的弯曲试验实物夹持如图 2 所示。三点弯曲试验时,去掉上加载夹具即可。

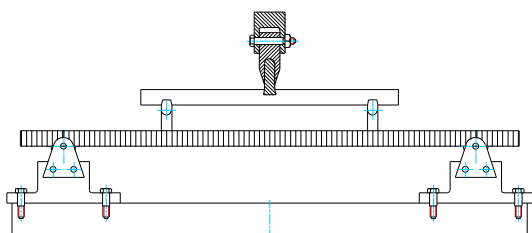


图 2 弯曲夹持示意图

Fig. 2 Diagram of flexural test

通过夹层结构长梁试件的三点弯曲和四点弯曲试件,采用激光位移传感器测试试件中点的挠度,而后根据 D7250 标准公式计算得到夹层结构的弯曲刚度、面板的弹性模量和蜂窝芯的剪切模量。本文所用到的符号释义如下:

b —蜂窝夹层板宽度,单位 mm;

h —蜂窝夹层板厚度,单位 mm;

h_c —蜂窝芯的厚度,单位 mm;

Δ_1 —三点弯曲测试时,试件中点在载荷 P_1 作用下试件中点的位移,单位 mm;

表2 D7250弯曲刚度
Table 2 Flexural stiffness according to D7250

类别	弯曲刚度/(10 ⁹ N·mm ²)					离散度	平均值/ (10 ⁹ N·mm ²)
	试件1	试件2	试件3	试件4	试件5		
A	1.530	1.100	2.550	2.020	1.630	0.310	1.766
B	1.470	1.440	1.470	2.100	2.140	0.210	1.724
C	1.130	1.470	1.650	1.190	1.620	0.171	1.412
D	0.867	0.684	1.160	0.696	0.746	0.238	0.831

表3 D7250面板弯曲模量
Table 3 Facing flexural module according to D7250

类别	弯曲模量/GPa					离散度	平均值/ GPa
	试件1	试件2	试件3	试件4	试件5		
A	47.02	45.69	32.92	59.45	48.22	0.202	46.660
B							

表6 均值法弯曲模量
Table 6 Facing flexural module according to
mean algorithm

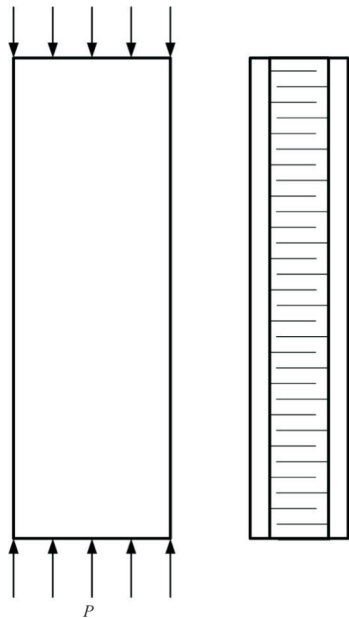
类 别	弯曲模量/GPa					离散度	平均值/ GPa
	试件 1	试件 2	试件 3	试件 4	试件 5		
A	63.48	65.95	55.29	59.7	69.39	0.087	62.762
B	63.53	64.22	64.83	60.02	55.8	0.061	61.680
C	64.72	58.35	59.78	62.38	68.27	0.063	62.700
D	50.22	49.11	53.66	59.45	54.40	0.076	53.368

2.3 GB/T 1454—2005

为了进一步准确测试面板的弹性模量,针对每一组弯曲试板,进行侧压试验,直接测量面板的侧压弹性模量。

2.3.1 测试方法

侧压试验夹具和试验装置参照 GB/T 1454—2005 设计,组装完成后的试验夹具装备图和测试系统布置如图 5 所示。在试件正反面沿纵向各贴一个应变片,两个应变片沿试件中心线对称分布,分别测量试件两侧的应变值。



有关。

4 结 论

(1) 按 ASTM D7250 提供的公式计算得到的面板弹性模量和弯曲刚度,离散系数大于 0.1,掩盖了真实情况,结果可信度低。

(2) 按弯曲性能均值法,将蜂窝芯剪切模量代入关系式求解出夹层结构的弯曲性能,离散系数小于 0.09,结果可信。

(3) 按侧压法,测定芯子的侧压模量,低于弯曲方法测定的弹性模量,离散系数小于 0.07,考虑面板自身的刚度影响,侧压方法的结果真实性更高。

参 考 文 献

- [1] CMH. 17 协调委员会. 复合材料手册(6): 复合材料夹层结构[M]. 汪海, 沈真, 译. 上海: 上海交通大学出版社, 2016: 13.
CMH. 17 Coordination Committee. Composite material handbook (6): structural sandwich composites[M]. Translated by WANG Hai, SHEN Zhen. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University Press, 2016: 13. (in Chinese)
- [2] ASTM. Standard practice for determining sandwich beam flexural and shear stiffness: D7250/D7250M-20[S]. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2020.
- [3] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 夹层结构弯曲性能试验方法: GB/T 1456—2005[S]. 北京: 中国标准出版社, 2005.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Test method for flexural properties of sandwich construction: GB/T 1456—2005[S]. Beijing: China Standard Publishing House, 2005. (in Chinese)
- [4] 杨宇. 金属蜂窝夹层结构弯曲性能分析[J]. 科技视界, 2015(26): 104-105.
YANG Yu. Bending property analysis of metal honeycomb sandwich structure[J]. Science & Technology Vision, 2015 (26): 104-105. (in Chinese)
- [5] 张富宾, 刘伟庆, 齐玉军, 等. 面板厚度对复合材料夹层梁整体及局部弯曲力学性能影响[J]. 玻璃钢/复合材料, 2015(5): 21-26.
ZHANG Fubin, LIU Weiqing, QI Yujun, et al

- University of Technology, 2019. (in Chinese)
- [17] 殷广强, 李斌. 夹层结构弯曲性能测试的不确定度评定[J]. 科学技术与工程, 2011, 11(22): 275-280.
YIN Guangqiang, LI Bin. Evaluation of the uncertainty of flexural property test for sandwich constructions[J]. Science Technology and Engineering, 2011, 11(22): 275-280. (in Chinese)
- [18] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 测量不确定度评定与表示: JJF1059—1999[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Evaluation and expression of uncertainty in measurement JJF1059—1999 [S]. Beijing: China Standard Publishing House, 2012. (in Chinese)
- [19] ASTM. Standard test method for core shear properties of sandwich constructions by beam flexure: C393/C393M-11 [S]. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2020.
- [20] 殷广强, 赵桂平. 国内外两种夹层结构弯曲模量测试方法不确定度评定[J]. 应用力学学报, 2017(5): 975-980.
YIN Guangqiang, ZHAO Guiping. Evaluation of the uncertainty of two testing methods for flexural moduli of sandwich structures[J]. Chinese Journal of Applied Mechanics, 2017 (5): 975-980. (in Chinese)
- [21] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 夹层结构侧压性能试验方法: GB/T 1454—2005[S]. 北京: 中国标准出版社, 2005.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Test method for edgewise comprehensive properties of sandwich construction: GB/T 1454—2005[S]. Beijing: China Standard Publishing House, 2005. (in Chinese)
- [22] ASTM. Standard test method for shear properties of sandwich core materials: C273/C273M-20 [S]. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2020.

作者简介:

李云鹏(1977—),男,硕士,高级工程师。主要研究方向:飞行器设计。

郭祥(1976—),男,硕士,高级工程师。主要研究方向:飞行器设计。

(编辑:马文静)

(上接第 115 页)

- MENG Junhui, ZHANG Yi,