

正方形蜂窝纸板面内压缩力学性能仿真分析

虞俊杰,范志庚

(浙江科技学院 轻工学院,杭州 310023)

摘 要: 采用 SolidWorks 软件仿真分析结构性能的功能,研究了正方形蜂窝结构面内压缩力学性能。结果表明,当蜂窝厚度一定时,蜂窝边长越大,屈服强度迅速下降;当蜂窝边长一定时,随着蜂窝厚度增加,屈服强度逐渐增加。通过有限元分析方法能有效地降低实际测试费用。

关键词: SolidWorks; 正方形蜂窝结构; 面内压缩; 屈服强度

中图分类号: TB485.3; TB487

文献标志码: A

文章编号: 1671-8798(2013)05-0340-05

Simulation analysis of in-plane compressive mechanical properties of square honeycomb paperboard

YU Junjie, FAN Zhigeng

(School of Light Industry, Zhejiang University of Science and Technology, Hangzhou 310023, China)

Abstract: In-plane compressive mechanical properties of the square honeycomb structure are researched by using SolidWorks to simulate and analyze the performance of the structure. The results show that when the thickness keeps constant, the yield strength decreases rapidly with the increase of edge length; when the edge length keeps constant, the yield strength increases with the increase of honeycomb thickness. And by the finite element analysis method, the actual cost of testing can be reduced effectively.

Key words: SolidWorks; square honeycomb structure; in-plane compression; yield strength

蜂窝纸板是在蜂窝状结构的芯纸的夹层上、下表面通过胶粘复合面材而形成的板材。芯纸呈蜂窝状,生产和实际应用以正六边形居多。蜂窝纸板的夹芯不仅提高了板材的刚度和稳定性,而且改善了板材整体的力学性能^[1]。

辛成龙等^[2]进行了静态压缩试验,阐明了组合的蜂窝纸板的静态压缩过程,研究了面积不同的蜂窝纸板叠置组合的缓冲性能。实验表明了蜂窝纸板以组合的方式能改善其缓冲性能。同时还对不同面积

收稿日期: 2013-06-07

作者简介: 虞俊杰(1991—),男,浙江省浦江人,2009 级包装工程专业本科生。

通信作者: 范志庚,讲师,博士研究生,主要从事包装动力学和运输包装的教学与研究。

纸板的组合情况进行了对比分析,得出了板面积变化对整体缓冲性能的影响。郭彦峰等^[3]研究了蜂窝纸板结构的实体建模、单元属性、网格划分等有限元建模方法,并基于该有限元模型分析了蜂窝纸板结构的平压性能。Xue等^[4]研究了正方形金属蜂窝芯的动态性能,分离并量化了3种不同的动态效应(惯性阻力、蜂窝胞壁的惯性稳定性及材料的应变率效应)对蜂窝芯动态压溃强度的贡献。在正方形蜂窝研究领域中,黄颖为等^[5]研究了在共面压缩载荷下正方形金属蜂窝的变形形态,并分析了正方形金属蜂窝铝芯的共面力学性能与其结构参数和速度之间的关系,得出当结构参数固定时,其峰应力与速度的平方成线性关系,而当速度固定时,峰应力和壁厚边长比成幂指数关系。

正方形蜂窝结构纸板虽然目前没有什么实际生产应用,但是有其一定的研究价值。在实际生产制造中,正方形蜂窝结构的制作工艺肯定要比正六边形蜂窝结构的制作工艺简单很多,可以节省生产成本。因此在一些小型包装件中,可以用正方形蜂窝结构纸板代替正六边形蜂窝结构纸板,可以制作小型包装结构件,达到良好的抗振作用。另一方面,正方形蜂窝结构纸板的研究数据可以与目前已经广泛研究得到的正六边形蜂窝结构的研究数据进行对比分析。此外,现在研究的主要是蜂窝的结构面外的力学性能情况,其实在实际堆码工况下,蜂窝纸板箱受到的往往是面内承载力的作用,因此进行正方形蜂窝纸板面内力学性能分析具有十分重要的意义。

本研究主要对正方形蜂窝结构面内力学性能进行有限元分析。先运用 SolidWorks 软件对正方形蜂窝进行三维建模,并运用其自带的 SolidWorks Simulation 功能对正方形蜂窝进行变形形态分析和峰应力分析,得出相关数据,并据此进行分析研究,从而得到正方形蜂窝结构面内的相关力学性能。

1 有限元建模

1.1 SolidWorks 软件简介

SolidWorks 软件是美国 SolidWorks 公司开发的世界上第一个基于 Windows 的三维 CAD 系统,其创新技术符合 CAD 技术发展潮流的趋势。SolidWorks Simulation 是一款基于有限元技术的分析软件,是一个与 SolidWorks 完全集成的设计分析系统。作为一个强有力的工程分析工具,它提供了单一屏幕解决方案来进行应力分析、扭曲分析、频率分析、热力分析、优化分析,并帮助解决了从简单到复杂的各种问题;它减少了搜索最优设计所需要的时间和精力,可大大降低产品进入市场的时间。

SolidWorks 的功能强大、易学易用和技术创新是其三大特点,可以十分方便地对物体进行三维实体特征造型、装配及工程图生成、产品受力强度分析,所以它在包装结构设计中有广泛的应用前景^[6]。

SolidWorks SimulationXpress 为 SolidWorks 用户提供了一个便于使用的初步应力分析工具。SimulationXpress 通过在计算机上测试设计而取代昂贵并费时的实地测试,可以降低成本,缩短上市的时间。

1.2 SolidWorks 建模

本研究采用的是 SolidWorks 2009 版本,纸板厚度为 0.27 mm,规格设置为:长 100 mm、宽 100 mm、厚 20 mm,利用 SolidWorks 建立正方形结构蜂窝模型。在建模前先对模型的材料参数进行定义。由于实验设备所限,材料物理参数参照文献^[7],见表 1,模型见图 1。

表 1 纸板材料力学性能参数

Table 1 Mechanical parameters of paperboard material

属性名称	数值	数值类型
弹性模量/MPa	7 600	恒定
泊松比	0.34	恒定
定量/(g·m ⁻²)	200	恒定
质量密度/(kg·m ⁻³)	743.49	恒定

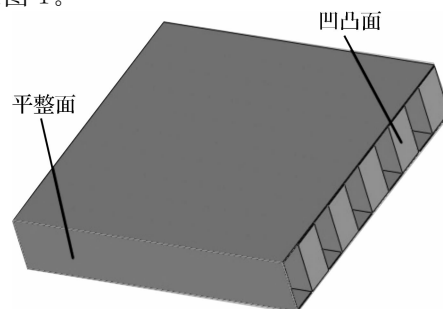


图 1 正方形蜂窝结构实体模型

Fig. 1 Solid model of square honeycomb structure

1.3 网格化实体模型

网格一直是有限元分析的主角,它能让工程分析的数字更为可靠。程序将几何模型划分为许多具有简单形状的小单元,这些单元都通过公共的节点连接,这个过程就称为网格划分。有限元分析程序将模型视为一个网状物,在分析中,网格划分是一个重要的步骤,网格划分得越细,质量就越高,分析结果就越准。在本试验中,设置为网格整体大小 1.5 mm,公差 0.075 mm,设置完毕后运行解算器进行分析。网格划分后图形如图 2 所示。

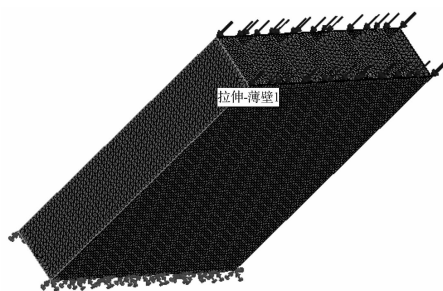


图 2 网格划分后的实体模型

Fig. 2 Solid model of corrugated box after meshed

2 静态分析

蜂窝纸板在作为包装材料保护产品时,在流通过程中由于堆放、装卸、搬运等作业会受到各种压力,从而使包装件受到损坏。本研究针对正方形结构蜂窝纸板进行一次静态模拟^[6]。由于正方形蜂窝的两个侧面的形状不一致,因此要对其进行两个方向的静态分析试验,以下分别称之为平整面和凹凸面(见图 1)。Simulation 拥有独有的 FFE 解算器,与同类软件相比速度有很大提高。本研究建立一个静态算例进行试验。

2.1 平整面的静态分析

首先进行平整面的应力分析,现在研究较多的都是蜂窝的结构面外的应力情况,对结构面内的应力研究很少,但是在实际应用中,蜂窝纸板并不仅仅是结构面外受力,结构面内在堆积、运输过程中也常常受力,因此对结构面内的受力进行了分析。由于结构面内两个方向受力不一致,所以进行了两次的受力分析。

模型如果没有合适的约束,那就会失去平衡面而做自由的平移或旋转运动。因此首先约束一面,固定几何体,这样,该物体就只能在受力的方向上做变形移动。然后在另一面设置外部载荷,载荷就是施加在受测物体上的力或其他形态的动能,在本次试验中,载荷类型设置为压力。假想的是一种理想化的平压。先对平整面进行平压试验,约束一面,对另一面设置载荷。表 2 是最大和最小应力结果,图 3~5 分别是正方形蜂窝平压后的应力分布云图、应力曲线变化图及其模型化结果。

表 2 应力结果 1

Table 2 Results of stress (1)

名称	应力/Pa	节
最小应力	0.089	315 193
最大应力	0.507×10^6	301 233

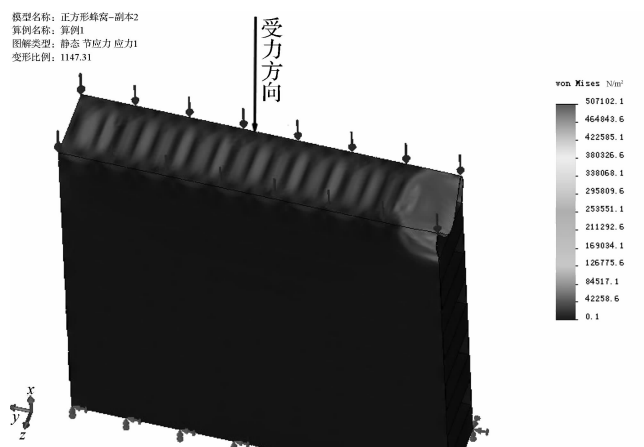


图 3 应力云图 1

Fig. 3 Stress distribution(1)

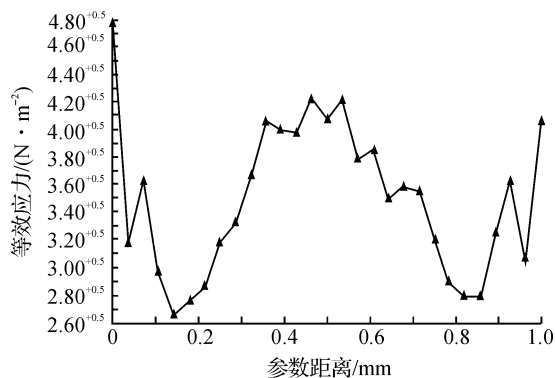


图4 应力曲线图 1

Fig. 4 Curve of stress (1)

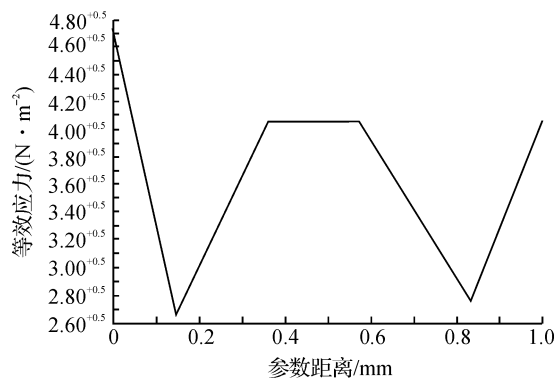


图5 应力曲线模型化 1

Fig. 5 Modeling curve of stress (1)

从图中可以看出,蜂窝受到的应力先变小后,当压缩至大约 20%时,再迅速上升至平台阶段;当压缩至大约 60%时,应力又迅速下降;当压缩至大约 80%时,纸板进入密实化阶段,应力迅速上升,应力-应变图像呈“W”形状。由表 2 可得最大应力可达到 0.507 MPa。

2.2 凹凸面的静态分析

由于建立模型的蜂窝纸板的四侧并不对称,因此,在近似工况下,需要选择凹凸面进行另一次静态模拟。表 3 是最大和最小应力结果,图 6~8 分别是正方形蜂窝平压后的应力分布云图、应力曲线变化图及其模型化结果。

表 3 应力结果 2

Table 3 Results of stress (2)

名称	应力/Pa	节
最小应力	0.121	300 410
最大应力	0.229×10^6	319 480

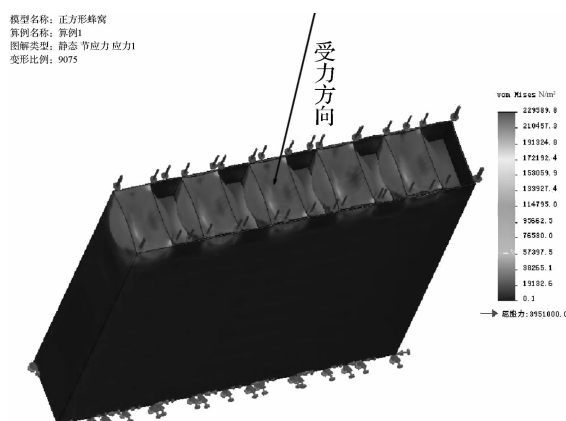


图6 应力云图 2

Fig. 6 Stress distribution 2

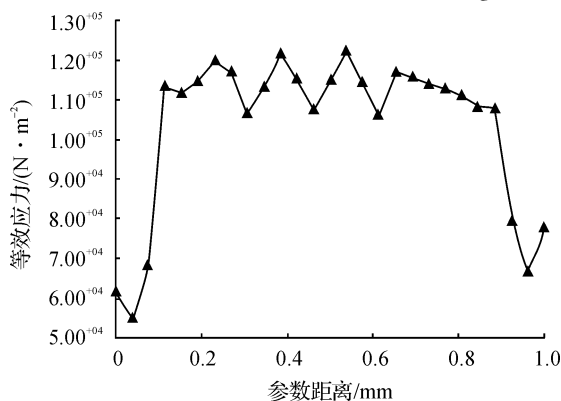


图7 应力曲线图 2

Fig. 7 Curve of stress (2)

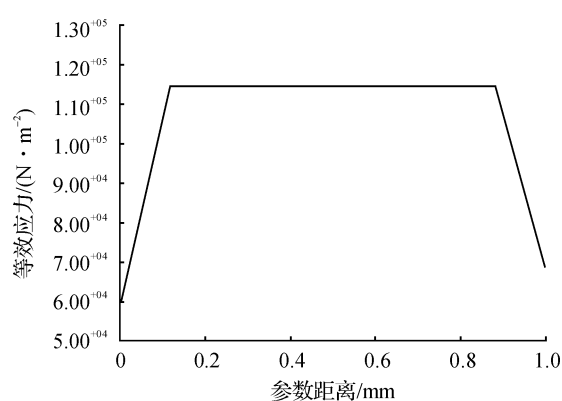


图8 应力曲线模型 2

Fig. 8 Modeling curve of stress (2)

从图中可以看出,凹凸面的应力变化过程和平整面不大相同,蜂窝受到的应力先变大,当压缩至大约 20% 时,到达平台阶段;当压缩至大约 85% 时,应力又迅速下降,蜂窝压溃。应力-应变图像呈倒“U”形状。由表 3 可得最大应力可达到 0.229 MPa。

3 不同结构参数的纸板准静态应力分析

为了更好地研究正方形蜂窝纸板结构的面内力学性能,选择不同结构的蜂窝纸板来分析纸板应力应变特征,将对比模拟实验分为 2 组。一组保持蜂窝厚度不变,取厚度 $T=20$ mm,改变蜂窝的边长 a ,分别为 4、6、8、10 mm(表 4);另一组保持蜂窝边长 a 不变,取 $a=10$ mm,改变蜂窝结构的厚度 T ,分别为 5、10、15、20 mm(表 5)。

表 4 不同边长蜂窝结构屈服强度

Table 4 Yield strength of honeycomb paperboard with different edge lengths

边长/mm	屈服应力/MPa	
	平整面	凹凸面
4	3.268	1.531
6	1.508	0.736
8	0.903	0.458
10	0.507	0.229

注: $T=20$ mm

表 5 不同厚度蜂窝结构屈服强度

Table 5 Yield strength of honeycomb paperboard with different thicknesses

厚度/mm	屈服应力/MPa	
	平整面	凹凸面
5	0.083	0.035
10	0.184	0.096
15	0.308	0.158
20	0.507	0.229

注: $a=10$ mm

结果显示,当蜂窝厚度一定时,蜂窝边长越大,屈服强度迅速下降;当蜂窝边长一定时,随着蜂窝厚度增加,屈服强度逐渐增加。

4 结 语

通过 Solidworks 建立正方形蜂窝纸板三维模型,分别对不同结构蜂窝纸板进行静态仿真分析,利用 SolidWorks 有限元法来模拟分析产品的受压情况,可以节省很多成本,避免了不必要的损失,得到的各种信息可为其结构设计提供依据。从静态分析可以看出,正方形蜂窝结构凹凸面比平整面受力更为均匀,并且平整面受到的最大应力值是凹凸面的 2 倍多,因此,在选择正方形蜂窝纸板作为包装材料时,可以让平整面作为主要受力方向。在这里需要指出的是,蜂窝纸板的各种物理参数不稳定,参数要在很严格的环境下获取,但由于现实环境或设备技术所限,忽略了一些可能影响结果的参数,所获得的参数会略有偏差,导致论文数据可能有所误差。

参考文献:

- [1] 张改梅. 蜂窝纸板缓冲性能的研究[J]. 包装工程, 2001, 22(5): 7-9.
- [2] 辛成龙, 郭彦峰. 蜂窝纸板静态缓冲特性的实验研究与分析[J]. 包装工程, 2008, 29(1): 56-58.
- [3] 郭彦峰, 辛成龙, 许文才, 等. 蜂窝纸板结构平压性能有限元分析[J]. 包装工程, 2009, 30(1): 34-35, 40.
- [4] Xue Z Y, Hutchinson J W. Crush dynamics of square honeycomb sandwich cores[J]. International Journal for Numerical Methods in Engineering, 2006, 65(13): 2221-2245.
- [5] 黄颖为, 冯俊华, 孙德强, 等. 正方形金属蜂窝材料共面力学性能的仿真分析[J]. 包装工程, 2009, 30(4): 18-20, 36.
- [6] 魏峥, 赵功, 宋晓明, 等. SolidWorks 设计与应用教程[M]. 北京: 清华大学出版社, 2009: 1-3.
- [7] 刘跃军, 江太君, 曾广胜, 等. 不同蜂窝纸板结构对蜂窝纸板力学性能的影响[J]. 包装学报, 2010, 2(1): 21-23.