不同截面形式柱状薄壁结构的缓冲性能比较

储 火，张绍云，杜启祥
（浙江大学，杭州 310027）

摘要：不同截面形式的柱状薄壁结构，其缓冲性能存在一定差异。基于 ABAQUS/Explicit 程序，对不同截面形式的柱状薄壁结构动态变形过程进行了有限元仿真，并在结构材料用量相同的条件下，简单比较了各种截面形式对动能吸收能力的差异。研究方法对缓冲包装设计等具有一定的参考价值。

关键词：能量吸收；动态变形；缓冲包装
中图分类号：TB487；TB485.1 **文献标识码**：A **文章编号**：1001-3563(2012)15-0048-02

Comparison of Cushioning Performance of Columnar Thin Walled Structure with Different Cross Sectional Shape

CHU Huo, *ZHANG Shao-yun*, *DU Qi-xiang*
(Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: Columnar thin walled structure with different cross sectional shape has different cushioning performance. Finite element simulation of dynamic deformation process of columnar thin walled structure with different cross sectional shape was carried out using ABAQUS/Explicit program. The energy absorption capability of columnar thin walled structure with different cross sectional shape under the same material consumption was compared. The purpose was to provide reference for design of cushioning package.

Key words: energy absorption; dynamic deformation; cushioning packaging

缓冲所用的泡沫[1-3]、蜂窝结构[4]及瓦楞结构[5]，由于具有规则的结构，因此便于从静态、动态实验数据中得到本构关系。对于柱状薄壁结构，截面形式的差异对结构性能具有一定影响，鉴于此，笔者利用 ABAQUS/Explicit 程序研究不同截面形式柱状薄壁结构的动态压缩行为，为缓冲包装设计提供有限元方法的指导。

1 模型描述

柱状薄壁结构由于截面形式的不同，其缓冲性能存在一定差异。分别选取正四边形、正六边形和圆形截面形式，在结构材料用量相等的条件下，研究 3 种薄壁结构对动能吸收能力的差异性。

为保证不同结构材料用量相同，各结构均具有相同的壁厚 0.001 m 和高度 0.4 m，正四边形、正六边形和圆形截面周长相同，实际模拟中截面边长或半径分别设置为 0.157，0.105，0.100 m。

结构上端自由，下端固定在一个质量为 500 kg 的刚性平板上。在上部自由端另一质量为 500 kg 的刚性平板分别以 1 m/s 和 5 m/s 的恒定竖直速度挤压薄壁结构，在挤压过程中，结构会将大量初始动能转换为塑性变形而耗散。

2 数值仿真

由于结构壁厚相对于其他平面尺寸是一个很小的量，因此分析过程中总是采用壳单元进行模拟。上下端刚性平板均采用单一单元的离散刚体，并在相应参考点施加点质量 500 kg。

分析过程中，利用 ABAQUS 自接触功能模拟柱体外表面相互作用，下端刚性平板与柱体使用 Tie 约束连接，上端刚性平板与柱体之间采用无摩擦面面接触方法进行模拟。

收稿日期：2012-05-08

作者简介：储火(1988－)，男，安徽人，浙江大学硕士生，主攻机械动力学及复合材料力学。

3　分析结果

结构下端刚性平板参考点支反力和上端刚性平板竖直位移之间的载荷位移曲线能够很好地反应结构的缓冲性能，3 种不同结构形式在竖直速度为 5 m/s 和 1 m/s 时，相应的载荷-位移曲线见图 1。

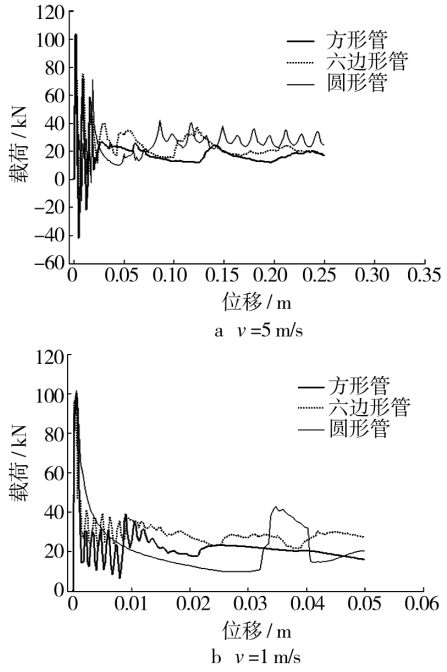

图 1　结构载荷-位移曲线

Fig. 1 Force-displacement curve of the structures

从图 1a 可以看出，当速度 $v=5$ m/s 时，方形截面结构初始震荡峰值远大于圆形截面，在后续挤压过程中，支座反力在总体上也明显低于圆形截面，这表明圆形截面结构对动能的吸收能力优于方形截面，这一结论可以更加清晰地从不同结构塑性耗散曲线中观察得到。在速度 $v=5$ m/s 时结构塑性耗散随时间的变化曲线见图 2。从图 2 可以看出，随着挤压过程的进行，圆形截面结构塑性耗散能量增加速度明显大于方形截面。

但图 1b 表现出与 a 图不同的趋势，圆形截面震荡峰值并不低于其他截面，且在后续挤压过程中反力总体上低于方形截面，这表明柱状薄壁结构缓冲性能对挤压速度具有一定的敏感性，在实际缓冲包装等工业应用中，应当针对具体问题进行分析以获得最可靠的参考信息。

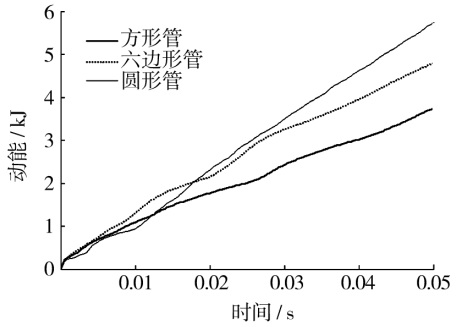

图 2　结构的动能变化曲线

Fig. 2 Kinetic energy variation curve of the structures

4　结论

利用 ABAQUS/Explicit 程序，研究了不同截面薄壁结构的动态力学行为，得到了薄壁结构的载荷-位移曲线，分析比较了不同截面形式对动能吸收能力的差异性，为柱状薄壁结构应用于缓冲包装奠定了基础。

参考文献：

[1] GAO De, WANG Yu, LU Fu-de. Cushioning Packaging Design of Article Based on Polyethylene Foam Constitutive Model[C]. Proceedings of the 13th National Conference on Packaging Engineering. Wuhan: Scientific Research Publishing(SRP), Inc., 2010: 51－55.

[2] 高德，卢富德. 聚乙烯缓冲材料多自由度跌落包装系统优化设计[J]. 振动与冲击，2012，31(3)：69－72.
GAO De, LU Fu-de. Optimization Design of MDOF Package Cushioning System Made of Polyethylene[J]. Journal of Vibration and Shock, 2012, 31(3): 69－72.

[3] 卢富德，张绍云，杜启祥. 发泡聚乙烯隔振性能研究[J]. 包装工程，2011，32(11)：1－4.
LU Fu-de, ZHANG Shao-yun, DU Qi-xiang. Study of Vibration Isolation Performance of EPE[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(11): 1－4.

[4] 卢富德，高德. 考虑蜂窝纸板箱缓冲作用的产品包装系统跌落冲击研究[J]. 振动工程学报，2012，25(3)：335－341.
LU Fu-de, GAO De. Study on Drop Impact of Cushion Packaging System Considering the Action of Honeycomb Paperboard Box[J]. Journal of Vibration Engineering, 2012, 25(3): 335－341.

[5] 卢富德，高德. C 楞瓦楞纸板动态缓冲模型及应用[J]. 功能材料，2012，43(1)：39－41.
LU Fu-de, GAO De. Cushion Model and Its Application of C-flute Corrugated Paperboard[J]. Journal of Functional Materials, 2012, 43(1): 39－41.