

基于有限元方法的瓦楞纸筒非线性屈曲分析

王小燕

(武汉职业技术学院, 武汉 430074)

摘要: 由于瓦楞纸的屈曲机理非常复杂,难以准确预测屈曲强度,利用非线性有限元的方法对某瓦楞纸筒进行了非线性屈曲分析,计算出了其极限承载能力,分析了影响其承载性能的主要因素。结果表明,采用非线性有限元方法对瓦楞纸包装结构进行屈曲分析是可行的,分析结果对瓦楞纸包装设计具有较好的参考价值。

关键词: 瓦楞纸; 非线性有限元; 屈曲分析

中图分类号: TB484.1; TB487 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2011)21-0051-03

Nonlinear Buckling Analysis of Corrugated Column Based on Finite Element Method

WANG Xiao-yan

(Wuhan Polytechnic, Wuhan 430074, China)

Abstract: It is difficult to precisely predict the ultimate buckling strength for the complex buckling mechanism of corrugated board. Nonlinear buckling analysis of corrugated board column was carried out by using nonlinear finite element method, the ultimate carrying capacity was calculated, and the main factors influencing carrying capacity of the corrugated board column was analyzed. The results showed that it is feasible and valuable to carried out buckling analysis of corrugated board structure using nonlinear finite element method; the result can be reference for structure design of corrugated paper package.

Key words: corrugated paper; nonlinear finite element method; buckling analysis

瓦楞纸^[1-2]包装容器不仅具有较好的抗冲击保护性能和较高的耐压强度,而且价格低廉,制作工艺简易,无污染、可再生,因此半个世纪以来,逐渐取代了木箱等运输包装容器,成为应用最广的包装制品,用量一直是各种包装制品之首。目前相当数量的瓦楞纸包装结构在运输时仍存在破损问题,有些则过分包装而存在浪费,这对企业的经济效益造成了一定损失,因此只有对瓦楞纸包装结构的承载性能进行准确的分析,才能为包装结构设计提供依据。

随着计算机技术的发展,应用计算机模拟技术对瓦楞纸包装结构的承载性能进行研究已成为当今包装技术研究的热点^[3-5]。借助有限元计算的非线性技术,通过特征值屈曲和非线性屈曲相结合的方法,对某瓦楞纸包装圆筒的屈曲失稳破坏形式及其影响因素进行了详细的分析,建立了瓦楞纸包装结构极限承载性能预测的新方法,为其设计提供了可靠的依

据。

1 结构稳定性分析方法

采用有限元软件 ANSYS 对屈曲失稳进行计算,目的是确定圆筒包装结构从稳定的平衡状态变为不稳定的平衡状态时的临界荷载。目前,结构屈曲分析普遍采用的 2 种分析方法是理想结构的特征值屈曲分析和缺陷结构的非线性全过程屈曲分析^[6-8]。

1.1 特征值屈曲分析

特征值分析属于结构的线性分析,得到的是理论解,与教科书中的弹性屈曲分析对应。实际上由于结构本身会存在一定的缺陷和非线性等因素,因此会导致载荷没有达到理论弹性屈曲载荷时,就会发生失稳。特征值屈曲分析得到的结果是非保守的,一般不能直接应用于实际工程,但是特征值屈曲分析可以初

收稿日期: 2011-06-26

作者简介: 王小燕(1979—),女,河南人,硕士,武汉职业技术学院讲师,主要从事印刷包装工程的教学与研究。

步预测结构的稳定承载力,并可以得到结构的屈曲模态,为非线性稳定分析施加荷载和初始缺陷提供参考,因此是非线性稳定性分析中不可缺少的一步。

1.2 非线性屈曲分析

瓦楞纸圆筒包装结构在制造过程中,本身会产生凹凸等缺陷,这些缺陷的存在会降低包装结构的承载能力,因此在圆筒结构设计时,就需要综合考虑制造缺陷的影响,以免造成包装结构使用时被损坏。要考虑这些缺陷的影响,就要采用非线性有限元的方法对其进行非线性屈曲分析,通过弧长法实现对结构“荷载-位移”全过程跟踪,通过该曲线可以准确地得到结构的极限承载力,从而实现对包装结构的准确分析。瓦楞纸圆筒的结构非线性屈曲分析流程见图 1。

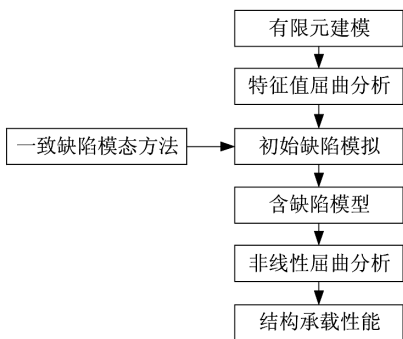


图 1 屈曲分析的流程

Fig. 1 Flow chart of buckling analysis

2 瓦楞纸包装圆筒极限承载性能分析

在实际的包装产品应用中,其包装的结构形式是多种多样的,且每种的实际应用都比较复杂,但基本的分析理论及步骤是一致的。以某厂生产的圆柱形包装结构为例,进行该类结构的非线性屈曲分析,求得其可以承受的最大面压力。圆筒的尺寸为内径0.2 m,厚度 0.008 m,长度 0.4 m,结构形式见图 2。

2.1 有限元模型的建立

根据圆筒的受力状态,在圆柱面施加均布载荷,材料参数取为^[4]弹性模量 $E_x = 7\ 600\ \text{MPa}$, $E_y = 4\ 020\ \text{MPa}$,泊松比 $\nu = 0.34$ 。根据瓦楞纸板的材料特性、边界条件以及外部载荷情况,建立的有限元模型见图 3,其中包含单元 880 个,节点 6 380 个。

2.2 特征值屈曲分析

首先采用线弹性特征值计算其临界压力,计算时取其表面压力为 1 Pa,则计算得到的特征值即为其临

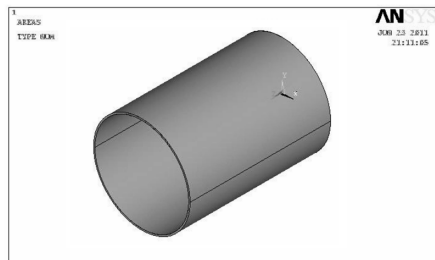


图 2 圆筒的结构

Fig. 2 structure of cylinder

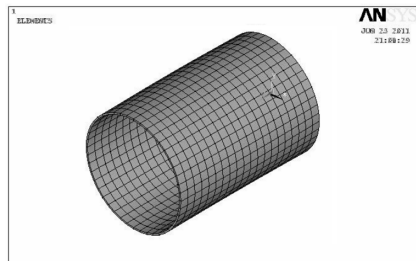


图 3 圆筒结构网格模型

Fig. 3 Mesh model of the structure

界屈曲压力。计算得到的第 1 阶临界压力为 0.205 66 MPa,得到的模态见图 4—5。

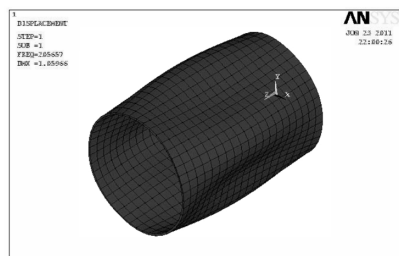


图 4 模态等角视图

Fig. 4 Isometric view of modal

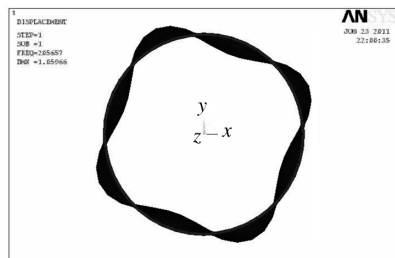


图 5 模态侧视图

Fig. 5 Front view of modal

2.3 非线性屈曲分析

根据特征值屈曲分析的结果,设定非线性屈曲分

析施加的面载荷为 0.205 66 MPa,假定制造偏差为 1 mm,根据特征值屈曲分析得到的第 1 阶特征向量按照比例施加到模型上,进行模型更新,得到含缺陷的计算模型,分析采用弧长法,模型中部 795 号节点的载荷-位移曲线见图 6。

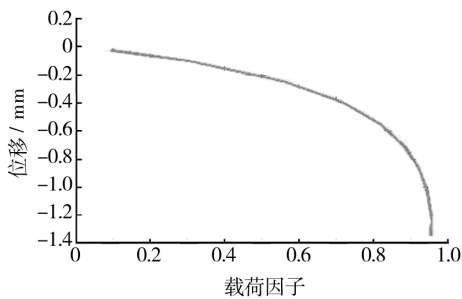


图 6 结构中部 795 节点载荷-位移曲线

Fig. 6 Load-displacement curve of 795 nodes of the structure

从图 6 中曲线可以看到,随着位移的增加,节点载荷不再继续增加,达到最大值,这时结构处于失稳状态,由图可见此时载荷因子为 0.954,计算得到屈曲载荷为 0.196 2 MPa,相对于特征值屈曲载荷降低了 4.6%。失稳时结构的整体变形见图 7。

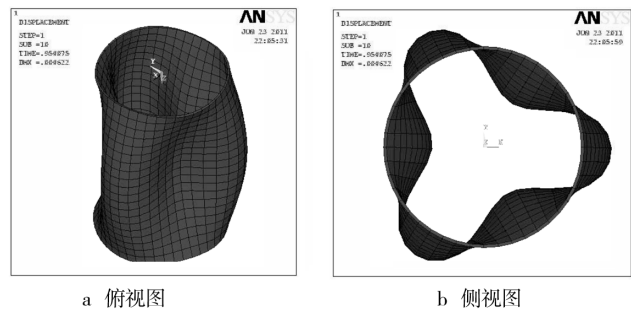


图 7 失稳时的结构变形

Fig. 7 Front view of the structural deformation in unstable state

2.4 初始缺陷影响分析

从上面的计算可见,初始缺陷的存在会影响结构的承载能力,为进一步分析初始缺陷的影响,分别取初始缺陷为 1.5、2.0、3.0 mm,对 3 种情况下的非线性屈曲进行了分析,得到不同缺陷情况下的圆筒的承载能力,见表 1。

表 1 非线性屈曲分析结果

Tab.1 The result of nonlinear buckling analysis

缺陷值/mm	1.0	1.5	2.0	3.0
临界载荷/MPa	0.196	0.174	0.156	0.125

可见随着缺陷的增大,结构的承载能力降低,缺陷为 3 mm 时,承载能力降低达 39%,因此在包装结构制造时,必须降低制造误差,以免承载能力大幅降低。

3 结语

通过应用 ANSYS 有限元分析软件,对瓦楞纸圆筒结构进行了特征值屈曲分析与非线性屈曲分析。结果表明,特征值屈曲分析所得的结果比非线性屈曲分析所得的载荷要大,由于非线性屈曲模拟综合考虑了制造误差,因此结果更加符合实际情况。将非线性有限元的方法用于瓦楞纸包装结构承载性能的分析中,可以很快地建立起包装结构的有限元模型并研究分析其性能,可以极大地提高包装结构设计分析的效率,对提高包装结构设计的质量有积极意义。

参考文献:

[1] 黄宁选,张光华. 纸张纤维类绿色包装材料的现状与发展[J]. 包装工程,2006,27(6):368—370.

[2] 谢琪. 纸盒包装设计[M]. 北京:印刷工业出版社,2008.

[3] 张学中. 国内外瓦楞纸箱的发展和未来趋势[J]. 湖北造纸,2006(4):42—44.

[4] 滑广军,谢勇. 蜂窝纸板与瓦楞纸板边压强度有限元分析[J]. 包装工程,2009,30(5):1—2.

[5] 吕原君,陈琼. 多夹层蜂窝纸板压溃性能分析[J]. 中国印刷与包装研究,2010,2(2):61—64.

[6] 滑广军,向红,冯伟. 瓦楞纸箱的有限元建模及屈曲分析[J]. 包装工程,2009,30(3):34—35.

[7] 曾广胜,江太君,刘跃军,等. 垂直载荷作用下蜂窝纸板的非线性屈曲分析[J]. 包装学报,2010,2(1):24—27.

[8] 邢静忠,王永岗,陈晓霞. ANSYS7.0 分析实例与工程应用[M]. 北京:机械工业出版社,2004.