

基于屈曲准则的两片罐力学性能分析

宋卫生, 胡晓波

(河南牧业经济学院, 郑州 450046)

摘要: **目的** 研究影响2片罐轴向承压能力和耐压强度的因素。**方法** 通过有限元屈曲分析方法, 首先分析相关部位的厚度变化对以上2指标的影响, 分析总结2片罐拱底半径、拱底高度以及侧壁的高度与这2项指标之间的关系。**结果** 圆柱部位侧壁厚度越大, 轴向承压能力越强; 罐底厚度对轴向承压能力在理论上没有影响, 但耐压强度会随着罐底厚度的增大而增强; 拱底直径的增大在一定范围内会使轴向承压能力增大, 但超过这个范围这个影响就没有了, 而耐压强度在保持拱底高度不变的前提下会随着拱底直径增大而减小; 拱底高度越大, 两片罐的耐压强度越强, 但是拱底高度对轴向承压能力没有影响; 圆柱部位侧壁高度变化对轴向承压能力和耐压强度都没有影响。**结论** 材料厚度和结构均对轴向承压能力和耐压强度有一定的影响, 可以通过结构的优化达到轻量化设计的目的。

关键词: 两片罐; 轴向承压能力; 耐压强度; 轻量化设计; 屈曲分析

中图分类号: TS206; TP391.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2014)13-0061-05

Analysis of Mechanical Properties of Two-piece Can Based on Buckling Criteria

SONG Wei-sheng, HU Xiao-bo

(Henan University of Animal Husbandry and Economy, Zhengzhou 450046, China)

ABSTRACT: Objective To study the influencing factors for the axial bearing capacity and the compressive strength of two-piece can. **Methods** Through the method of finite element buckling analysis, the influence of the thickness of relevant part on the above two properties was analyzed firstly and the relationship between the two properties and base radius, base height and cylinder height of the two-piece can was also analyzed. **Results** The thicker the cylinder wall, the stronger the axial bearing capacity. Base thickness did not influence the axial bearing capacity in theory, but the compressive strength became stronger with the increasing base thickness. Axial bearing capacity increased with the increasing base diameter within a certain range, but was not influenced beyond that range, the compressive strength became smaller with the increasing base diameter when the base height was unchanged. Compressive strength became stronger with the increasing base height, but the base height did not influence the axial bearing capacity. The height of cylinder wall did not influence both the axial bearing capacity and the compressive strength. **Conclusion** Material thickness and structure both influenced the axial bearing capacity and the compressive strength, light-weight design could be realized through the optimization of structure.

KEY WORDS: two-piece can; axial bearing capacity; compressive strength; light-weight design; buckling analysis

两片罐广泛用于可乐、啤酒的包装。按材质可以分为钢罐和铝罐。铝质两片罐使用铝合金薄板作为原材料, 在制造过程中使用了变薄拉伸工艺, 所以罐壁的厚度明显比罐底薄。通过铝板的拉伸变薄可以

收稿日期: 2014-01-15

作者简介: 宋卫生(1980—), 男, 硕士, 河南牧业经济学院讲师, 主要从事包装结构与仿真分析方面的教学与研究工作。

减轻两片罐的质量,从而可以降低包装成本^[1]。

盛装可乐一类的碳酸饮料时,两片罐在流通过程中不但要承受堆码带来的轴向压力,同时还要承受内部气体带来的内压力^[2],所以轴向承压力和耐压强度是两片罐2个重要的力学性能指标。在GB/T 9106.1—2009《包装容器-铝易开盖铝两片罐》中,明确规定罐体的轴向承压力大于1.00 kN,耐压强度大于610 kPa^[3]。

文中在从材质厚度的变化以及两片罐各部分结构尺寸变化等多个角度进行有限元屈曲分析的基础上,分析了这些因素对两片罐轴向承压力和耐压强度的影响。

1 罐体屈曲过程模拟及各参数的影响

文中的分析变数较多,给实际的实验带来了较大的困难。如果减少变数,则很难发现各种参数变化对罐体力学性能的影响规律。在有限元软件中,只需对罐体模型稍加修改,就能较为轻松地对不同参数的两片罐进行理想状态下的力学性能分析^[4]。

文中采用自下而上的建模方式得到两片罐有限元模型^[5],见图1。单元类型选用shell181,模型中铝合金材质的弹性模量为68 GPa,泊松比为0.35,两片罐结构见图2。



图1 两片罐的有限元模型

Fig. 1 Finite-element-model of two-piece can

1.1 厚度对两片罐轴向承压能力与耐压强度的影响

一种厚度情况下两片罐轴向受压的一阶屈曲模态见图3,由于不同厚度情况下的屈曲模态基本相近,所以文中不再一一列出^[6]。从图3可以看出,在两片罐轴向受压过程中,发生屈曲变形的部位在圆柱侧壁

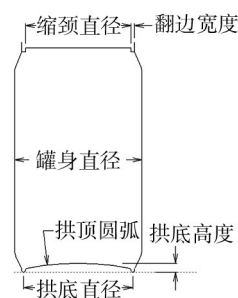


图2 两片罐的剖面结构

Fig. 2 Cross section of two-piece can

上,所以侧壁厚度对两片罐轴向承压能力的影响比较大,而底部和顶部厚度对轴向承压能力的影响比较小。由此主要分析圆柱侧壁厚度对两片罐轴向承压能力的影响,同时分析罐底的厚度与两片罐轴向承压能力之间的关系。

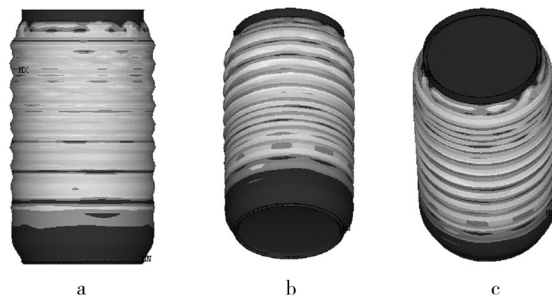


图3 两片罐轴向受压一阶屈曲模态

Fig. 3 First buckling mode of two-piece can pressed along the axial direction

1.1.1 侧壁厚度变化与轴向承压能力的关系

模拟分析时,约束罐体模型最底部各节点的自由度,然后从顶部的每个节点上向下施加总量为1 N的预加载荷,首先进行预应力分析,之后进行屈曲分析^[7]。因为一般情况下铝制两片罐侧壁厚度为0.11 mm,所以文中在0.11 mm附近从0.08 mm到0.16 mm,每隔0.1 mm为一个等级,分为9个点,对铝制两片罐侧壁在不同厚度的情况下进行屈曲分析。通过屈曲分析得到的圆柱面侧壁厚度与轴向承压能力的关系曲线见图4。

图4中的曲线走势反映了罐体轴向承压能力随侧壁厚度变大而逐渐变大的关系。在进行轻量化设计时,要充分考虑罐体变薄对其轴向承压能力的影响。

1.1.2 罐底厚度与轴向承压能力的关系

罐底厚度和两片罐轴向承压能力的关系见图5。

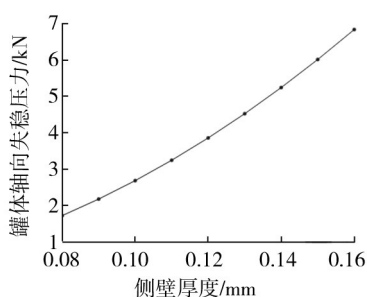


图4 侧壁厚度对轴向承压能力的影响

Fig. 4 Influence of thickness of side wall on the axial bearing capacity

由图5可知,随着罐底厚度的增大,罐体轴向失稳压力没有发生变化,一直维持在3250 N左右,具体情况见表1。

表1 罐底厚度对应的轴向承压能力

Tab.1 Corresponding axial bearing capacity of different base thickness

罐底厚度/mm	失稳压力/N	罐底厚度/mm	失稳压力/N
0.17	3249.1	0.22	3250.1
0.18	3249.4	0.23	3250.2
0.19	3249.6	0.24	3250.3
0.20	3249.8	0.25	3250.4
0.21	3250.0		

从图3b可以看出,两片罐在经受轴向压力发生失稳时,罐底没有变形。综合分析图5和表1可知,罐底厚度对两片罐轴向承压能力没有任何影响。

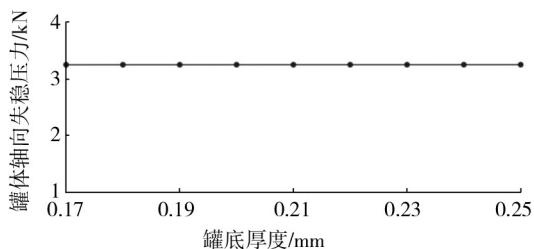


图5 罐底厚度对轴向承压能力的影响

Fig. 5 Influence of base thickness on the axial bearing capacity

1.1.3 罐底厚度与耐压强度的关系

在进行耐压强度模拟分析时,约束罐体模型最底部各节点的自由度,然后从罐体内部施加均布载荷,首先进行预应力分析,之后进行屈曲分析。受压后的屈曲模态见图6。从图6可以看出,在受内压作用时发生屈曲变形的部位是罐底。

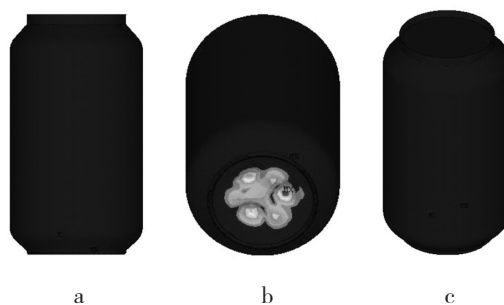


图6 两片罐受内压的一阶屈曲模态

Fig. 6 First buckling mode of two-piece can under internal pressure

罐底厚度变化与耐压强度的关系见图7,从图7可以看出罐底厚度越大,其抗失稳能力越强,反之亦然。通过减小厚度来进行减量化设计时,一定要考虑罐底厚度对罐体耐压强度的影响。

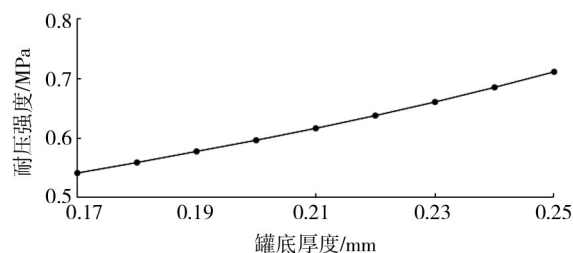


图7 罐底厚度对耐压强度的影响

Fig. 7 Influence of base thickness on the compressive strength

1.2 两片罐结构尺寸变化对轴向承压能力与耐压强度的影响

两片罐结构中尺寸的变数较多,文中只从两片罐拱底直径、拱底高度以及圆柱部位侧壁的高度等3个角度进行分析。

1.2.1 拱底直径与轴向承压能力和耐压强度的关系

拱底直径和两片罐轴向承压能力的关系见图8。分析时,固定两片罐的罐身直径为70 mm、罐身总高度为125 mm,上下圆台部分的高度为10 mm,只改变缩颈直径和拱底直径^[8],直径变化范围为54~70 mm,每隔2 mm为一个等级,分为9个点对铝制两片罐进行屈曲分析。从图8可以看出,当拱底直径小于60 mm时,罐体轴向失稳压力随着拱底直径增大而增大;当拱底直径超过60 mm,直到70 mm时,罐体轴向失稳压力在3250 N附近浮动,此时拱底直径对罐体轴向失稳压力的影响非常小^[9]。

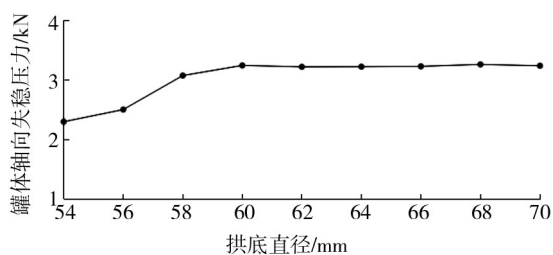


图8 拱底直径对轴向承压能力的影响

Fig. 8 Influence of base diameter on the axial bearing capacity

在拱底直径对耐压强度的分析中,固定拱底高度为5 mm,拱底直径在40~56 mm之间变化。拱底直径变化与耐压强度的关系见图9,可以看出拱底直径越大,其抗失稳能力越弱^[10]。

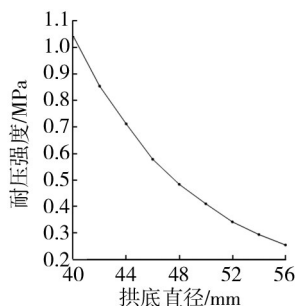


图9 拱底直径对耐压强度的影响

Fig. 9 Influence of base diameter on the compressive strength

1.2.2 拱底高度与轴向承压力和耐压强度的关系

拱底高度和两片罐轴向承压力的关系见图10。由图10可知,随着拱底高度的不断增大,罐体轴向失稳压力并没有发生变化^[11],一直维持在3250 N左右。具体情况和罐底厚度对两片罐轴向承压力的影响情况基本一致,在此不再赘述。

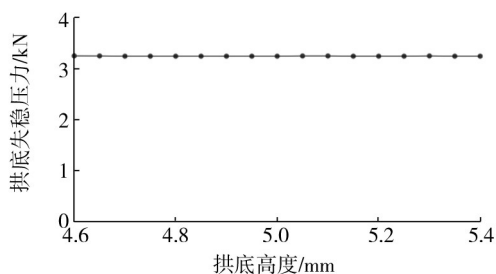


图10 拱底高度对轴向承压力的影响

Fig. 10 Influence of base height on the axial Bearing capacity

在拱底高度对耐压强度的分析中,固定拱底直径为56 mm,罐底直径在4.6~5.4 mm之间进行变化。

拱底高度变化与耐压强度的关系见图11,可以看出拱底高度越大,其抗失稳能力越强^[12]。

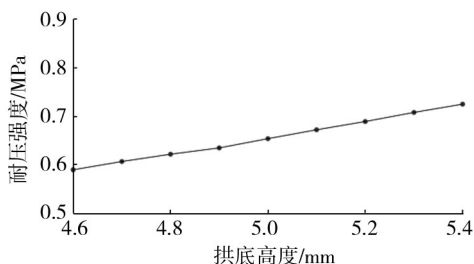


图11 拱底高度对耐压强度的影响

Fig. 11 Influence of base height on the compressive strength

1.2.3 圆柱侧壁高度变化与轴向承压力的关系

圆柱侧壁高度和两片罐轴向承压力的关系见图12。由图12可知,随着圆柱侧壁高度的不断增大,罐体轴向失稳压力并没有发生变化^[13],一直维持在3250 N左右。圆柱侧壁高度和两片罐耐压强度的关系见图13。同样,随着圆柱侧壁高度的不断增大,罐体的耐压强度也没有发生变化,一直维持在0.217 92 MPa左右。

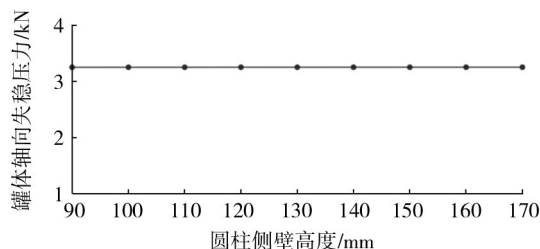


图12 圆柱侧壁高度对轴向承压力的影响

Fig. 12 Influence of cylinder height on the axial Bearing capacity

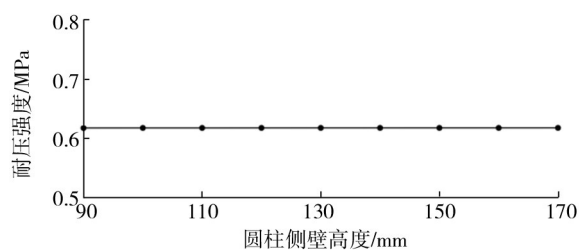


图13 圆柱侧壁高度对耐压强度的影响

Fig. 13 Influence of cylinder height on the compressive strength

由此可见,通过改变圆柱部分高度来改变易拉罐容积时,对罐体的轴向承压能力和耐压强度不造成影响^[14]。

3 结语

文中通过有限元特征值屈曲分析的方法,分析了罐体侧壁厚度和罐底厚度分别对两片罐轴向承压能力和耐压强度的影响;同时又分析了拱底直径、拱底高度以及圆柱侧壁高度与两片罐轴向承压能力和耐压强度的关系。圆柱部位侧壁厚度越大,罐体轴向承压力也越大。罐底厚度对轴向承压力在理论上没有影响,但是随着罐底厚度的增大,两片罐的耐压强度会逐渐增强。当拱底直径小于60 mm时,轴向承压能力随着拱底直径增大而增大;当拱底直径超过60 mm,直到70 mm时,轴向承压能力一直都在3250 N附近浮动,此时拱底直径对轴向承压能力基本没有影响。同时分析表明两片罐的耐压强度在保持拱底高度不变的前提下,会随拱底直径增大而减小。拱底高度越大,两片罐的耐压强度越强,但是分析表明拱底高度对两片罐的轴向承压能力没有影响。两片罐圆柱部位的侧壁高度变化对轴向承压能力和耐压强度都没有影响。

通过以上研究,发现材料厚度和结构均对轴向承压能力和耐压强度有一定的影响,由此,可以通过结构尺寸的优化达到轻量化设计的目的^[15]。

参考文献:

- [1] 杨小俊,李小飞,陈将军. 金属两片罐罐底结构对其承压能力的影响[J]. 包装工程, 2007, 28(11): 1—2.
YANG Xiao-jun, LI Xiao-fei, CHEN Jiang-jun. Effect of Bottom Configuration on the Compressive Strength of Metal Two-piece Can[J]. Packaging Engineering, 2007, 28(11): 1—2.
- [2] 杜传军. 两片罐的拱底形状对于拱底耐压性能影响的研究[J]. 锻压技术, 2006(5): 23—25.
DU Chuan-jun. Study of the Influence of Dome Profile on the Dome Reverse Pressure of Two-piece Can[J]. Forging & Stamping Technology, 2006(5): 23—25.
- [3] GB/T 9106. 1—2009, 包装容器—铝易开盖铝两片罐[S].
GB/T 9106. 1—2009, Packaging Container—aluminum Easy Open End and Aluminum Two-piece Can[S].
- [4] 黄晶,倪俊义. CAD/CAE 技术在金属饮料罐设计中的应用[J]. 包装学报, 2011, 3(4): 12—14.
HUANG Jing, NI Jun-yi. The Application of CAD/CAE in Design of Metal Beverage Cans[J]. Packaging Journal, 2011, 3(4): 12—14.
- [5] 郭晓娟. 基于 ANSYS 保温包装球壳模型的建立[J]. 包装工程, 2011, 32(6): 43—48.
- GUO Xiao-jun. Spherical Shell Models for Insulating Packages Based on ANSYS[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(6): 43—48.
- [6] 滑广军,罗定提,吴若梅. 基于屈曲准则的瓦楞纸板强度仿真分析[J]. 包装学报, 2010, 2(1): 18—20.
HUA Guang-jun, LUO Ding-ti, WU Ruo-mei. The Simulation Analysis of Corrugated Board Strength Based on Buckling Criteria[J]. Packaging Journal, 2010, 2(1): 18—20.
- [7] 余军昌,徐超,张峰,等. 基于 ANSYS 的外压圆柱壳的屈曲分析[J]. 轻工机械, 2013, 31(2): 29—31, 35.
YU Jun-chang, XU Chao, ZHANG Feng, et al. Buckling Analysis of External Pressure Cylindrical Shell Based on ANSYS[J]. Light Industry Machinery, 2013, 31(2): 29—31, 35.
- [8] 田维. 易拉罐形状和尺寸的最优设计模型[J]. 保山师专学报, 2009, 28(2): 47—50.
TIAN Wei. Optimized Can Model[J]. Journal of Baoshan Teachers' College, 2009, 28(2): 47—50.
- [9] MUDDASAR K, CESAR L, HAMEED A, et al. An Analysis of Dome Reversal in Metal Beverage Container Based on Finite Element Methods[J]. Structural Durability & Health Monitoring, 2010, 6(2): 53—68.
- [10] HAN Jing, KOETSU Y, TAKASHI H, et al. Numerical Simulations of Forming Aluminum Beverage Can End Shells[C]// The 8th International Conference and Workshop on Numerical Simulation of 3d Sheet Metal Forming Processes (Numisheet 2011), 2011: 871—878.
- [11] HAN Jing, NISHIYAMA S, KOETSU Y, et al. Ergonomic Design of Beverage Can Lift Tabs Based on Numerical Evaluations of Fingertip Discomfort[J]. Applied Ergonomics, 2008, 39(2): 150—157.
- [12] KOETSU Y, RYOUTI I, MASATO W, et al. Applications of Structural Optimization Techniques in Light Weighting of Aluminum Beverage Can Ends[J]. Journal of Food Engineering, 2007, 81(2): 341—346.
- [13] KOETSU Y, CHIHARA T, RYOUTI I, et al. Evaluation Method of Drinking Ease for Aluminum Beverage Bottles[C]// 2007 Proceedings of the ASME International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference, 2007: 405—411.
- [14] REID J D, BIELENBERG R W, COON B A. Indenting, Buckling and Piercing of Aluminum Beverage Cans[J]. Finite Elements in Analysis and Design, 2001, 37(2): 131—144.
- [15] HAN Jing, KOETSU Y, RYOUTI I, et al. Multiobjective Optimization of a Two-piece Aluminum Beverage Bottle Considering Tactile Sensation of Heat and Embossing Formability[J]. Struct Multidisc Optim, 2006, 32: 141—151.