

凹槽结构对矿泉水瓶力学性能的影响

宋卫生

(河南牧业经济学院, 郑州 450046)

摘要:目的 研究矿泉水瓶上凹槽结构对瓶体轴压性能和侧压性能的影响。方法 以常见的市售矿泉水瓶子为研究对象,在Ansys经典中对不同凹槽个数、不同凹槽高度、不同凹槽深度的研究试样和设备模型分开建模,利用有限元显示算法在给定的压力载荷进行轴压和侧压的过程模拟与分析。并通过实际的试验与有限元模拟结果进行了对比。结果 随着凹槽数量的增加、凹槽高度的增加以及凹槽深度的增加,瓶体的轴压性能都会受到损失,但是随着凹槽数量和高度的增加,瓶体的侧压性能会显著提高,不过,凹槽深度的增加则会使瓶体的侧压性能受到损失。结论 在进行凹槽结构设计时,尽量减少凹槽的数量,并减小凹槽的深度,可以较为灵活地设计凹槽的高度。一方面考虑侧压性能要满足消费者抓握时的强度需求,同时也要考虑轴压性能必须满足国标要求,以免对瓶体的堆码性能造成影响。

关键词: 凹槽结构; 矿泉水瓶; 轴压; 侧压; 有限元

中图分类号: TS206.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2016)05-0068-05

Effect of Groove Structure on Mechanical Properties of Mineral Water Bottle

SONG Wei-sheng

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

ABSTRACT: This work was aimed to study the influence of the groove structure of mineral water bottle on the axial compression and lateral compression performance of the bottle. The common market mineral water bottle was selected as the research object, the test specimens and equipment models with different groove numbers, different groove heights and different groove depths were separately modeled in Ansys, and the processes of axial and lateral compression under given loads were simulated and analyzed via finite element explicit algorithm. The result from actual test was compared with that from the finite element simulation. The axis compression properties of the bottle decreased with the increase of the number, height and depth of the grooves. But the lateral compression properties of the bottle increased with the increase of the number, height of the grooves, and decreased with the increase of the depth of the grooves. When we design the groove structure for the bottle, we should reduce the number and depth of the groove as far as possible, and we can design the height relatively more flexibly. In brief, we should consider the needs of lateral compression properties to meet the strength for consumer's need of grasping, and also should consider the axial compression performance to meet the requirement of the national standard in order to reduce the influence on the stacking performance of the bottle.

KEY WORDS: groove structure; mineral water bottle; axial compression; lateral compression; finite element

轻量化设计是实施绿色包装的一个有效手段。类似矿泉水瓶这样的塑料包装容器也要进行轻量化设计^[1]。在轻量化的同时,也要确保其使用性能要满足国家标准中的相应要求。在瓶体上设计加强筋或

凹槽则是从结构设计的角度上改善瓶体力学性能的一种有效措施^[2],也是瓶体轻量化设计的一种重要设计手法。目前,凹槽是矿泉水瓶设计中最为常见的结构。陈亚慧、卢立新基于屈曲原则分析了凹槽结构对

收稿日期: 2015-07-23

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

饮料瓶轴压性能的影响,从整体来看凹槽结构对饮料瓶的轴压性能的影响是负面的^[3]。文中基于显示算法从侧压和轴压两方面。

分析了凹槽结构在矿泉水瓶设计中的正面作用、负面影响和其影响规律,为瓶体中凹槽结构的设计提供思路和依据。

1 试验设计

文中使用有限元显示算法分析凹槽数量、凹槽高度以及凹槽深度3个因素对瓶体侧压性能和轴压性能的影响。则首先需要建立相应参数的有限元模型。

1.1 不同凹槽数量

在分析凹槽数量变化的影响时,选取了具有4种不同凹槽数量的瓶体进行分析。这4种瓶体在瓶体高度方向10~160 mm的高度范围内分别包含了0,4,8,11个相同参数的凹槽。凹槽的外高度为3 mm,内高度为2 mm,深度为2 mm。

1.2 不同凹槽高度

在分析凹槽高度变化的影响时,文中选取了具有3种不同凹槽高度的瓶体进行分析。这3种瓶体在瓶体高度方向都包含了8个凹槽,而且3种瓶体的凹槽间距都为10 mm。这3种瓶体的内高度分别为2,3,4 mm,外高度分别为3,4,5 mm。

1.3 不同凹槽深度

在分析凹槽深度变化的影响时,文中选取了具有4种不同凹槽深度的瓶体进行分析。这4种瓶体在瓶体高度方向都包含了8个凹槽,而且4种瓶体的凹槽间距都为10 mm,凹槽内高度为2 mm,外高度为3 mm。这4中瓶体的凹槽深度分别为1,1.5,2,3 mm。

2 有限元建模与模拟

试验设计好后,需要建立相应参数的试样模型和试验台模型。由于文中牵涉到的试验变数较多,而所使用的试验台和参数都相同,因此,为了节省建模时间,文中采取的办法是把试样有限元模型和试验台有限元模型分开建模^[4]。一个试样模型既可以用到侧压试验中,又可以用到轴压试验中。

2.1 试样的建模

文中所用试样模型为壳模型,单元类型为Shell163。由于实际瓶体的轴向厚度分布是不均匀的^[5],所以为了更加接近现实,设置了4个不同的实常数来表示瓶口、瓶身、瓶底外环以及瓶底中心的厚度。这4个厚度值分别为1,0.2,0.6,0.8 mm^[6]。文中采用双线性材料模型来设置瓶体的材料属性。密度为 $0.85 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3$,泊松比为0.44,弹性模量为1.4 GPa,屈服应力为0.2 GPa,切线模量为50 MPa^[7]。最后在Ansys经典中采用自下而上方法的建立几何模型并划分网格得到有限元模型^[8]。图1a和b分别是不带凹槽和带有11个凹槽的瓶体有限元模型,由于牵涉到的变数较多,所有要用到的有限元模型不再一一列出。

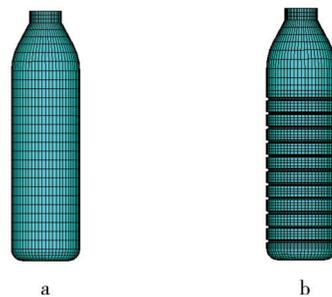


图1 试样的有限元模型

Fig.1 Finite element model of the test samples

2.2 试验台的建模

文中要从侧压和轴压两方面分析瓶体的力学性能,所以要建立横压和轴压两个试验台。使用两根相向移动的圆柱来表示侧压试验台,使用下静上动的两块方板代表轴压试验台。具体情况见图2a和b。在侧压试验台中圆柱的直径为40 mm,长度为100 mm。在轴压试验台中方板的边长为100 mm,厚度均为10 mm。使用实体模型建立圆柱和方板模型。单元类型为Solid 164^[9]。为了忽略实验过程中试验台本身的变形,材料模型选用刚性材料模型。弹性模量设为1 TPa,泊松比为0.3^[10]。为了尽量减小试验台本身惯性对实验数据的影响,将材料密度设置为 1 kg/m^3 ^[11]。对于圆柱的材料模型要约束除了横向位移之外的所有位移和旋转自由度。而对于方板来说,下侧支撑方板要约束所有位移和旋转自由度,上侧压板要约束除了轴向位移之外的所有自由度^[12]。建好有限元模型后,要定义时间-载荷曲线。侧压载荷是给2个压轴施加在0.01 s内从0线性变化到30 N的相向的力,轴压

载荷则是给上压板施加在 0.01 s 内从 0 线性变化到 200 N 的向下的力。接下来设置求解控制条件,这样可以节省掉每次试验的参数设置时间。最后写出 cdb 格式的有限元模型文件以备后用^[13]。

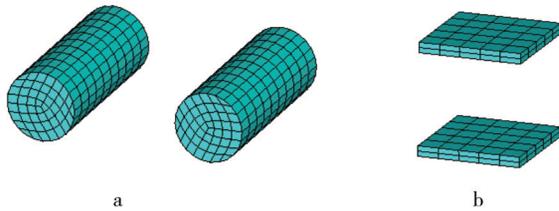


图2 试验台的有限元模型

Fig.2 Finite element model of the test tables

2.3 有限元模拟

由于前面已经把相关模型都建立好了,相关的求解参数也都设置好了,所以在做某个试验时,只需先打开试样模型文件;然后读入 cdb 格式的试验台有限元模型文件,导入后的效果见图 3a 和 b;之后设置接触关系,均采用 ASSC 的接触模式;接下来施加已经定义好的载荷;为了能够更加细致地模拟细节的变化,在模拟时打开了自适应网格功能^[14],设置完毕就可以进行求解了。

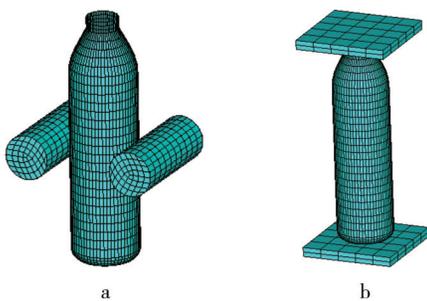


图3 试验台与试样组合的有限元模型

Fig.3 Finite element model of the combination of test tables and test samples

3 结果与分析

3.1 有限元分析结果与试验结果的对比

首先采用没有凹槽的瓶体进行轴向压缩的模拟,按照表 2 中的数据施加载荷,在 0.0071 s 结束计算时可以看到,瓶体根部发生了明显的屈曲,而颈部也开始发生变形。这和使用同尺寸的试样模型在 INSTRON5567 万能电子试验机上所得到的结果是一

致的,见图 4a 和 b。这个现象在一定程度上也说明了有限元方法在瓶体设计与性能测试方面的可行性。

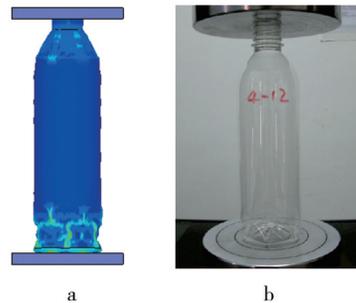


图4 有限元模拟与试验得到的屈曲模式

Fig.4 Buckling mode from finite element simulation and actual test

3.2 凹槽数量对瓶体轴压和侧压性能的影响

3.2.1 凹槽数量对轴压性能的影响

4 种不同的瓶体在表 2 所示载荷条件下上压板所产生的时间-位移曲线见图 5。从图 5 可以看出,在瓶体周向设计凹槽结构对瓶体的轴向承压性能有很大的影响,而且随着凹槽数量的增加,瓶体的轴向承压性能会进一步降低,但这种下降趋势随着凹槽数量的增加而趋于平缓。

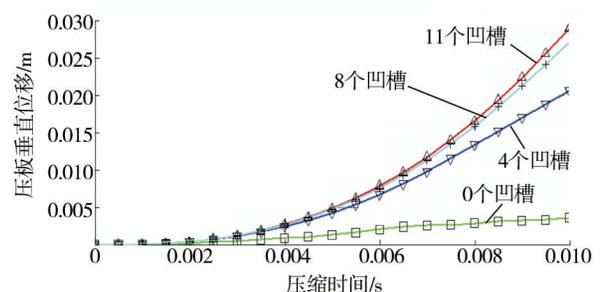


图5 不同凹槽数量试样经过轴压得到的时间-位移曲线

Fig.5 The time-displacement curves of the samples with different numbers of grooves in the axial compression

3.2.2 凹槽数量对侧压性能的影响

4 种不同的瓶体在表 1 所示载荷条件下两侧施压圆柱所产生的时间-位移曲线见图 6。从图 6 可以看出在瓶体周向设计凹槽结构对瓶体的侧压性能有很大的影响。随着凹槽数量的增加,瓶体的侧向承压性能会逐渐增强。图 7a 为不带凹槽结构的瓶体侧压效果,图 7b 为带 11 个凹槽结构的瓶体侧压效果,从效果图可以看出不带凹槽结构的瓶体在受横向压力时,比如瓶体在被手握住时,瓶体内应力主要集中在接触点,并向上下扩展。而带有凹槽的瓶体在受横向挤压力时,瓶体的部分内应力则会分散到附近的凹槽上,

这样就增强了瓶体的横向承压能力和抓握性能。

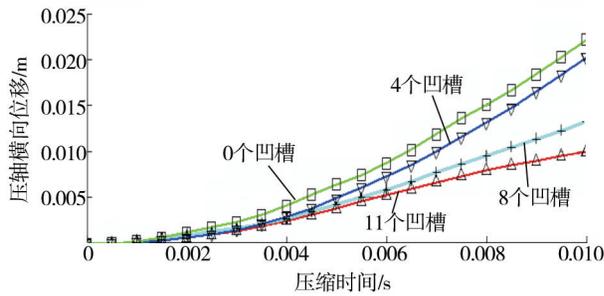


图6 不同凹槽数量试样经过侧压得到的时间-位移曲线
 Fig.6 The time-displacement curves of the samples with different numbers of grooves in the lateral compression

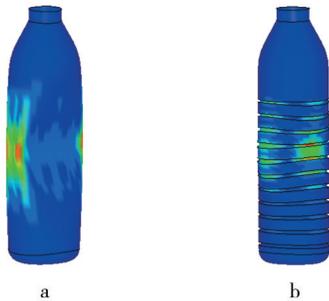


图7 不同凹槽数量试样经过轴压得到应力云图
 Fig.7 The stress clouds of the samples with different numbers of grooves in the lateral compression

3.3 凹槽高度对瓶体轴压和侧压性能的影响

改变凹槽高度进行轴压和侧压所得到时间-位移曲线见图8—9,可以看出,随着凹槽高度的增加,瓶体的轴压性能在下降,侧压性能在提高。

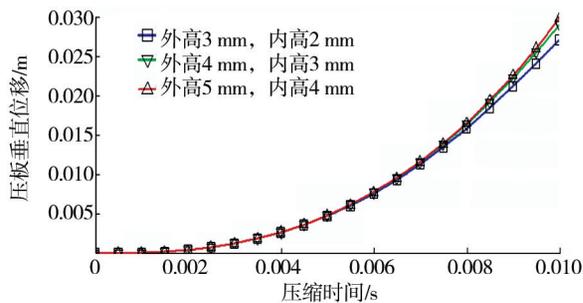


图8 不同凹槽高度的试样经过轴压得到的时间-位移曲线
 Fig.8 The time-displacement curves of the samples with different heights of grooves in the axial compression

3.4 凹槽深度对瓶体轴压和侧压性能的影响

改变凹槽深度进行轴压和侧压所得到时间-位移曲线见图10—11,可以看出,随着凹槽深度的增加,瓶

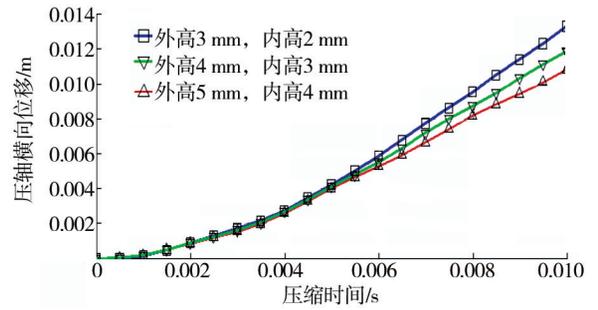


图9 不同凹槽高度的试样经过侧压得到的时间-位移曲线
 Fig.9 The time-displacement curves of the samples with different heights of grooves in the lateral compression

体的轴压性能在下降,侧压性能也在下降。说明在设计凹槽结构时在不影响造型情况下,尽量要减小凹槽深度。

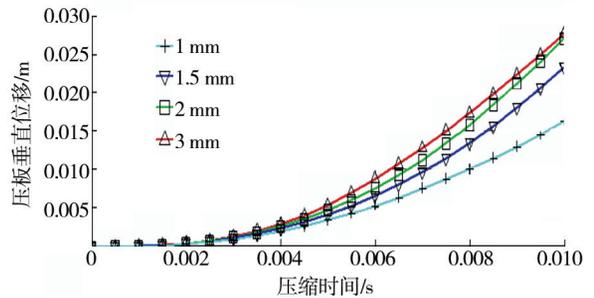


图10 不同凹槽深度的试样经过轴压得到的时间-位移曲线
 Fig.10 The time-displacement curves of the samples with different depths of grooves in the axial compression

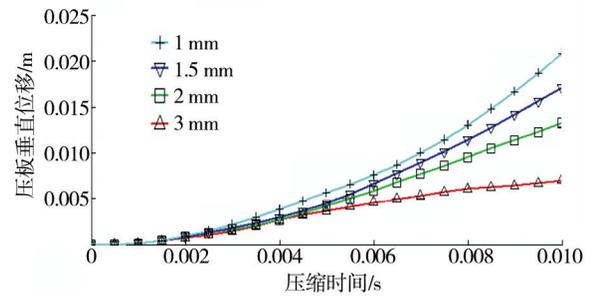


图11 不同凹槽深度的试样经过侧压得到的时间-位移曲线
 Fig.11 The time-displacement curves of the samples with different depths of grooves in the lateral compression

4 结语

经研究发现凹槽的参数对于轴压和侧压能力均有明显的影响,从另一侧面证实了随着凹槽数量、凹槽高度以及凹槽深度的增加,瓶体的轴压性能都会受到损失。在相同试验条件下,凹槽数量的影响最大,

带有11个凹槽的瓶体的压缩位移达到了不带凹槽瓶体轴向压缩位移的7.9倍;其次是凹槽深度,3 mm凹槽深度的压缩位移是1 mm凹槽深度的轴向压缩位移的1.7倍;凹槽高度对轴压性能的影响最小,凹槽高度从内高2 mm、外高3 mm变化到内高4 mm、外高5 mm,轴向压缩位移仅提高了10%。

在侧压性能方面,随着凹槽数量和高度的增加,瓶体的侧压性能会显著提高,在相同试验条件下,凹槽数量对侧压性能的影响也是最大的,不带凹槽的瓶体横向压缩量是带11个凹槽瓶体横向压缩量的2.2倍。凹槽高度从内高2 mm、外高3 mm变化到内高4 mm、外高5 mm,横向压缩位移仅提高了20%。不过,凹槽深度的增加则会使瓶体的侧压性能受到损失,3 mm凹槽深度的压缩位移是1 mm凹槽深度的横向压缩位移的3.4倍。

基于以上分析可以看出凹槽数量对侧压和轴压的影响都是最大的,但相对来讲,凹槽数量对轴压性能的影响更大,所以在达到侧压性能要求的前提下,尽量减少凹槽的数量。凹槽高度对于轴压和侧压性能的影响都是最小的,因此,可以根据整体设计效果的需要,灵活把握凹槽高度。凹槽深度的增加均会对侧压性能和轴压性能造成损失,所以在满足设计效果的前提下,尽量减小凹槽的深度。总而言之,在进行凹槽结构设计时,一方面要考虑侧压性能以满足消费者抓握时的强度需求,另一方面也要考虑轴压性能要满足国标要求,以免对瓶体的堆码性能造成影响^[15]。

参考文献:

- [1] KARAC A, IVANKOVIC A. Modeling the drop impact behavior of Fluid-Filled Polyethylene Containers[A]. 3rd Conference on Fracture of Polymers, Composites and Adhesives, Fracture of Polymers, Composites and Adhesives II, 2003, 32(32):253—264.
- [2] 张媛,刘玉德,刘斌. 基于FEM的聚酯碳酸饮料包装瓶强度和结构分析[J]. 包装工程, 2010, 31(1):42—44.
ZHANG Yuan, LIU Yu-de, LIU Bin. FEM Analysis of Strength and Structure of PET Aerated Water Bottle[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(1):42—44.
- [3] 陈亚惠,卢立新. 凹槽结构对PET瓶轴向承载性能的影响[J]. 包装工程, 2012, 33(23):65—67.
CHEN Ya-hui, LU Li-xin. Influence of Groove Structure on Axial Load Performance of PET Bottle[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(23):65—67.
- [4] KARALEKAS D, KAKOUDAKIS J. Predictive Mechanical Performance Evaluation of Consumer Food Cans Using Stereo lithography Models[J]. Packaging Technology and Science, 2003, 16(1):37—45.
- [5] 郭太松. PET饮料瓶轻量化设计研究及应用[D]. 杭州:浙江大学, 2012.
GUO Tai-song. Research and Application on PET Beverage Bottle Lightweight Design[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2012.
- [6] Livermore Software Technology Corporation. LS-DYNA Keyword User's Manual Volume1 (Version 971)[M]. California: LSTC, 2007.
- [7] REED P E, BREEDVELD G, LIM B C. Simulation of the Drop Impact Test for Molded Thermoplastic Containers[J]. International Journal of Impact Engineering, 2000, 24(2):133—153.
- [8] 刘斌,吴雪. Pro/E行为建模技术在包装容器设计中的应用[J]. 包装工程, 2009, 30(4):52—54.
LIU Bin, WU Xue. Application of Pro/E Behavioral in Packaging Containers Design[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(4):52—54.
- [9] 王勖成,邵敏. 有限单元法基本原理与数值方法[M]. 北京:清华大学出版社, 1988.
WANG Mao-cheng, SHAO Min. Finite Element Principle and Numerical Method[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1988.
- [10] 郑仁德. PET瓶在热灌装饮料中的应用[J]. 包装工程, 2007, 28(3):51—54.
ZHENG Ren-de. Application of PET Bottles in Hot-filled Drinks[J]. Packaging Engineering, 2007, 28(3):51—54.
- [11] 扈静晗. PET瓶在碳酸饮料中的应用[J]. 饮料工业, 2006, 9(9):29—32.
HU Jing-han. Application of PET Bottle in Carbonated Drinks[J]. Beverage Industry, 2006, 9(9):29—32.
- [12] 袁玮,许文才. PET啤酒瓶有限元分析及其结构参数的确定[J]. 包装工程, 2010, 31(12):24—26.
YUAN Wei, XU Wen-cai. Finite Element Analysis of PET Beer Bottle and Determination of Structural Parameters[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(12):24—26.
- [13] 李炎辉,胡青春. PET瓶基于ABAQUS的轴压分析[J]. 包装工程, 2009, 30(10):18—20.
LI Yan-hui, HU Qing-chun. Analysis of Axial Pressure of PET Bottle Based on ABAQUS[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(10):18—20.
- [14] 王峥,史智斌. Pro/Engineer在刚性塑料包装容器设计中的应用[J]. 包装工程, 2010, 31(23):73—76.
WANG Zheng, SHI Zhi-bin. Application of Pro/Engineer in Design of Rigid Plastic Package Container[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(23):73—76.
- [15] KARALEKAS D, RAPTID D, PAKALITAKIS G. Numerical and Experimental Investigation of the Deformational Behavior of Plastic Containers[J]. Packaging Technology and Science, 2001, 14(5):185—191.