

凹槽结构对 PET 瓶轴向承载性能的影响

陈亚慧¹, 卢立新^{1,2}

(1. 江南大学, 无锡 214122; 2. 中国包装总公司 食品包装技术与安全重点实验室, 无锡 214122)

摘要:以一典型 PET 瓶为研究对象, 建立了其结构模型, 利用 ANSYS 加载垂直载荷时, 基于屈曲分析得到了 PET 瓶的理论轴向压溃载荷和临界点的变形。试验测定了该 PET 瓶的轴向压溃载荷, 进行了理论与试验比较。结果表明, 理论值与试验结果误差小, 验证了理论分析的有效性。利用 ANSYS 分析进一步研究了不同环状结构、不同尺寸和不同分布等对瓶轴向承载能力的影响, 并分析了其变形特点。

关键词: PET 瓶; 设计; 有限元分析; 轴向压溃载荷; 凹槽

中图分类号: TB482.2; TB487 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2012)23-0065-03

Influence of Groove Structure on Axial Load Performance of PET Bottle

CHEN Ya-hui¹, LU Li-xin^{1,2}

(1. Jiangnan University, Wuxi 214122, China; 2. Key Laboratory of Food Packaging Technology and Safety, Wuxi 214122, China)

Abstract: A kind of typical PET bottle was studied, and the corresponding structure model was built. When the vertical load was loaded using ANSYS, on the basis of buckling analysis, the PET bottle's theoretical axial crushing load and the deformation at critical point were obtained. The value of axial crushing load was measured by the experiment. The result of comparison between theoretical value and experimental value showed that the error is small and acceptable. The theoretical analysis was proved to be valid. By computing with ANSYS, the influences of different kinds of structure, sizes and locations of grooves on axial load bearing capacity were obtained.

Key words: PET bottles; design; finite element analysis; axial crushing load; groove

PET 作为包装材料, 其优越的力学性能, 使其成为一种理想的食品及饮料包装容器材料, 近些年来在饮料包装行业尤其起到了举足轻重的作用, 现在约 70% 的饮料包装用的是聚酯瓶^[1]。为了降低制作成本, 同时保证在运输贮存环节的堆码装载及销售过程中结构及性能不被损坏, 就要求聚酯瓶具有一定的承载能力。

在许多初步设计方案和提案阶段, 普遍认为, 重要的和必须的设计特点对容器的承受轴向载荷性能的影响可以利用有限元分析(FEM)进行评估分析。这在稍后进行的设计过程——选择设计构造中起作用, 可以使容器的发展进程最优化^[2]。文中以 PET 瓶为对象, 设计不同凹槽结构, 建立其有限元模型, 分析

研究不同环状结构、不同尺寸、不同分布等对瓶轴向承载能力的影响, 为该类容器的设计应用提供技术依据。

1 试验

1.1 材料和仪器

样品是在市场上购得的典型 PET 瓶。结构尺寸为: 瓶高 215 mm, 瓶身直径 64 mm, 质量 19.196 g。

仪器为 LRXPlus 电子材料试验机。

1.2 方法

对试样进行轴向加载试验, 压缩速度为 6 mm/min, 其中压溃载荷是由压缩度验测得。重复试验 3 次, 取平均值计算。

收稿日期: 2012-06-16

作者简介: 陈亚慧(1990-), 女, 山东济宁人, 江南大学硕士生, 主攻食品与药品包装。

通讯作者: 卢立新(1966-), 男, 江苏宜兴人, 博士, 江南大学教授、博士生导师, 主要从事食品药品包装、包装动力学与包装材料等的研究。

2 PET 瓶的有限元建模

2.1 建模步骤

分析输入的样品瓶尺寸以及获得的 PET 材料性能参数,然后建模进行分析。ANSYS 软件现已与 PRO-E 结合,因此首先在 PRO-E 中建模^[3],见图 1a,然后导进 ANSYS 软件中进行分析^[4]。

3 结果与分析

3.1 试样理论与试验结果对比

ANSYS 中模型变形结果与实验变形结果比较见图 1b 和 c。

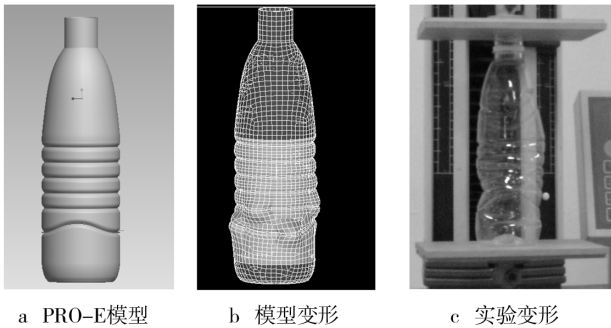


图 1 1 号瓶理论变形与实验变形对比
Fig. 1 Comparison between theoretical and experimental deformation of No. 1 bottle

由图 1 可以看到,试验中得到的变形与模型中模拟得到的变形位置及特点基本吻合,都发生在瓶身偏下部位。同时根据分析及计算的结果可以得到理论压溃载荷为 116.59 N,试验得到的压溃载荷为 110.86 N,误差率为 5.17%,理论值与实验值吻合度高,表明该方法有效。

3.2 相关结构参数对 PET 瓶承载能力的影响

将不同的 PRO-E 模型导入 ANSYS 软件中进行分析,根据得到的结果绘出不同参数对瓶子轴向承载能力的影响。

3.2.1 凹槽数量的影响

以样品瓶(凹槽间距为 12.5 mm)为例,凹槽均布在瓶身中间部位,凹槽数量分别是 1,3,5,7。凹槽分布以及分析结果见图 2,可以看到,凹槽间距固定时,采用第一个凹槽,瓶子的轴向承受负载能力大大降低。此后,凹槽数量的增加相比于第一个凹槽,并不

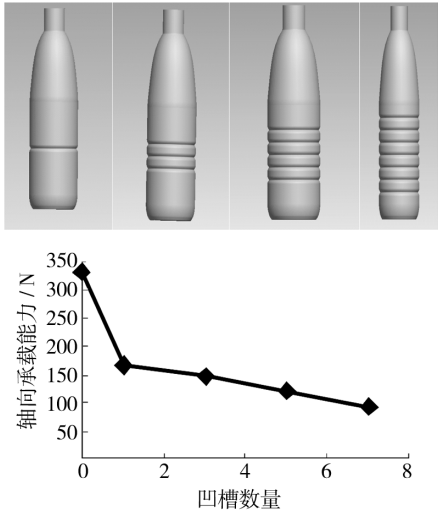


图 2 不同凹槽数量的 Pro-E 模型
以及其对瓶子轴向承载能力的影响
Fig. 2 Pro-E model of different groove number bottles and its influence on axial loading ability

会导致容器的轴向承载能力显著减少。凹槽数量固定时,随着凹槽间距的增加,其轴向负载能力变小。

3.2.2 凹槽间距的影响

以样品瓶(凹槽数量为 3 个)为例,保持瓶的高度、直径和厚度,分别取凹槽间距 10,12.5,15,20,25 mm 进行分析,其他结构及尺寸均一致。凹槽分布以及分析结果见图 3,由图 3 可知,凹槽间距在 10 ~ 15

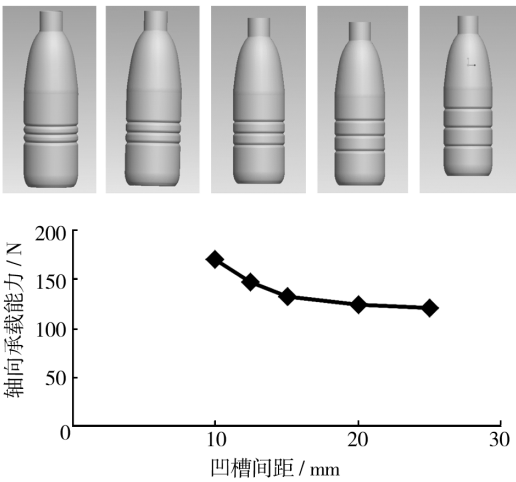


图 3 不同凹槽间距的 Pro-E 模型
以及其对瓶子轴向承载能力的影响
Fig. 3 Pro-E models of different groove space bottles and its influence on axial loading ability

mm 之间减小比较明显,在大于 20 mm 以后变形趋势相对来说较不明显。

3.2.3 凹槽深度的影响

由于矩形凹槽在深度变化时不会引起其他尺寸的变化,因此以矩形凹槽为例,凹槽圆角为 0.5 mm,凹槽宽度为 3 mm,凹槽拔模角度为 5°。取不同凹槽深度,其它结构尺寸不变,分析结果见图 4。由图 4 可

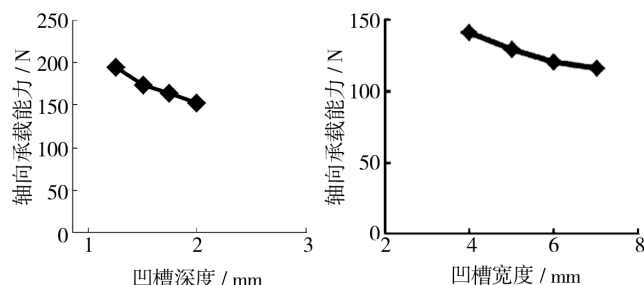


图 4 凹槽深度和凹槽宽度对瓶子轴向承载能力的影响

Fig. 4 Influence of groove depth and width on axial loading ability of bottle

知,随着凹槽深度的增加,瓶子模型的轴向负载能力减小,但减小趋势也在变小。

3.2.4 凹槽宽度的影响

同样以矩形凹槽(凹槽数量 3 个)为例,凹槽圆角为 0.5 mm,凹槽深度为 2 mm,凹槽拔模角度为 5°。取不同凹槽深度进行分析,其它凹槽结构尺寸保持不变。分析结果见图 4。由图 4 可知,随着凹槽宽度的增加,瓶子模型的轴向负载能力减小。

3.2.5 凹槽形状的影响

以凹槽数量 3 个为例,保持瓶的高度、直径和厚度,对三角形凹槽、圆形凹槽和矩形凹槽 3 种不同形状进行分析。其中矩形凹槽的拔模斜度为 5°,凹槽圆角半径、凹槽深度及凹槽宽度均不变。结果见图 5。

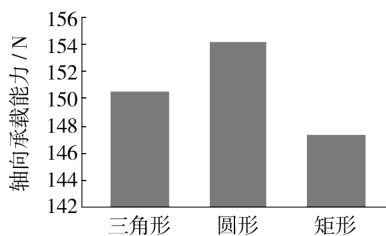


图 5 凹槽形状对瓶子轴向承载能力的影响

Fig. 5 Influence of groove shape on axial loading ability of bottle

在凹槽圆角半径、凹槽深度及凹槽宽度均相同的情况下,圆形凹槽由于其过渡相对来说比较平缓,承载轴向能力最好,矩形凹槽轴向承载能力最差,但其值都相差不大。

对波浪凹槽分析可知,在凹槽数量、凹槽深度和宽度及圆角相同的情况下,含有波浪凹槽的原始模型中其承载能力为 116.59 N,而在全部为普通凹槽的模型中为 107.25 N。由此可知波浪凹槽要比普通凹槽的轴向承载能力要好。

4 结论

从本研究中可以得到凹槽间距固定时,采用第一个凹槽,瓶子的轴向承载能力大大降低,此后,凹槽数量的增加相比于第一个凹槽,并不会导致容器的轴向承载能力显著减少。凹槽数量固定时,随着凹槽间距的增加,其轴向负载能力变小。

凹槽数量、凹槽圆角和凹槽宽度固定时,随着凹槽深度的增加,瓶子模型的轴向负载能力减小。凹槽深度固定时,随凹槽宽度的增加其轴向负载能力减小。在凹槽圆角半径、凹槽深度及凹槽宽度均相同的情况下,圆形凹槽承载轴向能力最好,矩形凹槽轴向承载能力最差,但其值都相差不大。波浪凹槽要比普通凹槽的轴向承载能力要好。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] KARALEKAS D, KAKOUDAKIS J. Predictive Mechanical Performance Evaluation of Consumer Food Cans Using Stereolithography Models [J]. Packaging Technology and Science, 2003, 16: 37-45.
- [3] 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.
- [4] 李黎明. ANSYS 有限元分析教程[M]. 北京:清华大学出版社,2005.
- [5] MASOOD S H, KESHAVAMURTHY V. Development of Collapsible PET Water Fountain Bottles [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2005. (余不详)
- [6] COOK R D, MALKUS D, PLESHA M E, et al. Concepts and Applications of Finite Element Analysis [M]. New York, 2007. (余不详)