

基于SolidWorks的中空塑料包装容器耐内压强度有限元分析

苗红涛

(河南牧业经济学院, 郑州 450046)

摘要: **目的** 研究在不同壁厚、不同直径条件下, 中空塑料包装容器承载内压强度的能力。 **方法** 主要通过SolidWorks软件设计出了不同壁厚、不同直径和不同结构的包装容器3D模型, 然后进行了有限元分析。 **结果** 通过多次试验和数据处理, 得出了塑料包装容器承载内压强的能力与包装瓶壁厚、直径之间的关系公式。 **结论** 经过测试发现在碳酸饮料灌装压力0.5 MPa的条件下, 包装容器壁厚至少要大于1.5 mm, 瓶体才不会破裂, 测试结果也为今后中空塑料包装容器的设计提供了一定的参考。

关键词: SolidWorks; 中空塑料包装容器; 耐内压强度; 仿真设计

中图分类号: TB484.3; TB487 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2016)01-0074-04

Finite Element Analysis of Compressive Strength of Hollow Plastic Packaging Containers Based on SolidWorks

MIAO Hong-tao

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

ABSTRACT: The aim of this work was to study the compressive strength of hollow plastic packaging container under conditions of different wall thickness and diameter. SolidWorks software was used to design the 3D model of the packaging container with different wall thickness, different diameter, and different structure, and then finite element analysis was carried out. Through many experiments and data processing, the relationship formula of the plastic container's compressive strength and the wall thickness and diameter of the packaging bottle was obtained. After testing it was found that under a carbonated beverage filling pressure of 0.5 MPa, the packaging container was not broken only when its wall thickness was at least greater than 1.5 mm. This test result also provides some help for future design of hollow plastic packaging containers.

KEY WORDS: SolidWorks; hollow plastic packaging containers; compressive strength; simulation design

中空塑料包装容器, 尤其是碳酸饮料包装瓶, 是食品工业重要的包装产品, 在设计时, 首先要满足工艺要求(如压力、温度、介质等), 尤其是包装容器的内压强度, 直接影响到饮料生产、运输、使用等环节的安全性, 但现阶段的检测只有在产品生产出来之后, 运用实际包装容器进行相关测试, 整个过程比较繁琐, 并存在危险性。运用SolidWorks可以方便地三维造型, 进行有限元分析, 动态模拟容器加载后的应力、应变、位移情况, 从中提取数据, 为包装容器设计提供了

一个优化设计的途径。

1 SolidWorks有限元分析

SolidWorks软件是全球最有影响力的三维软件之一, 有着比较方便的三维设计功能, 很容易对包装容器进行建模, 其自带的Simulation插件在有限元分析时, 可以自动生成网格, 进行静应力、跌落试验、密封试验等分析。

收稿日期: 2015-04-30

作者简介: 苗红涛(1979—), 男, 河南人, 硕士, 河南牧业经济学院讲师, 主要研究方向为包装工艺。

对于中空塑料包装容器,尤其是碳酸饮料包装瓶,其内部有一定的灌装压力,瓶体是否能承受此压力一直是关注的对象之一。在SolidWorks中,模拟测试的方法主要是先对瓶体建模。建模时要注意瓶体模型最好不是闭合瓶体,因为要施加内部载荷,需要选取瓶体剖面模型单元作为研究对象,然后在Simulation插件中添加静应力分析算例进行线性分析。算例中可以指定材料和载荷。为了模拟真实情况,可设定材料为PET,载荷设置为碳酸饮料灌装的压力,再由系统自动生成网格进行有限元分析。完成之后,系统能够输出多种数据。为了解瓶体是否能够承受一定的载荷和瓶体变形情况,可以使软件输出安全系数表和变形图解。在安全系数表中,重点关注不同载荷下某种瓶体的最小安全系数。若最小安全系数小于1,则表示该瓶体不能承受此大小的载荷。

2 设计方法

2.1 中空塑料包装容器建模

在SolidWorks中进行包装容器耐内压强度模拟测试,首先要进行瓶体建模,建模为压力测试的基础。下面来建立一个包装瓶体模型^[1-2]。

SolidWorks中草图设计包装容器步骤通常按以下顺序进行:绘制草图→定义草图各线条之间几何约束关系→添加智能尺寸→基体旋转^[3]。在草图绘制过程中,要使用约束关系,否则线条之间的关系会出现错误。结构尽可能清晰明了,以免给后续操作增添麻烦。

打开SolidWorks软件,新建一个3D零件,选择一个前视图进行草图绘制。绘制一个瓶口高度为20 mm,瓶身120 mm,瓶底半径为40 mm的包装瓶体轮廓,见图1。

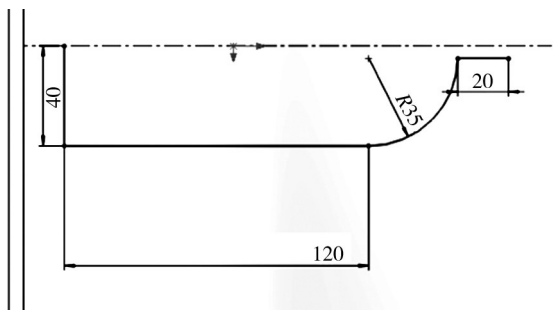


图1 包装容器草图

Fig.1 Sketch of packaging container

接着,选择“等距实体”按钮,软件弹出等距实体对话框,设定为“3 mm”,指的是瓶体壁厚3 mm(分别

设定0.5,1.0,2.0 mm间距,可设计出不同壁厚的包装容器)。

将草图修整为闭合曲线,点击“插入”→“凸台”→“旋转”,在弹出的对话框中选择旋转角度为60°。生成的三维效果见图2。



图2 包装容器3D文件

Fig.2 Three-dimensional diagram of the packaging container

2.2 内压力测试有限元分析^[4]

点击软件中的“工具”→“插件”→“simulation”,软件菜单栏会出现simulation菜单,然后点击“simulation”菜单,弹出工具栏,见图3。在工具栏中点击算例新建一个“静应力分析”算例。并按照图3从左至右所示顺序进行操作。



图3 “算例”工具栏

Fig.3 "Example" toolbar

1) 点击“应用材料”,选择“塑料”→“PET”,软件中自带多种塑料材料^[5],选择“PET”后,系统弹出所选材料的力学性能参数:PET材料的弹性模量为2960 MN/m²,泊松比为0.37,密度为1420 kg/m³,张力强度为57.3 MN/m²,压缩强度为92.9 MN/m²。也可以自定义弹性模量或泊松比或张力强度来设置新材料。确定后包装瓶将会被赋予相应材料的特性。

2) 选择“夹具”,对于内压力测试要设定瓶体截面,内边线为固定的^[6-7],见图4。

3) 点击“外部载荷顾问”下方小三角,选择“压强”^[8]。选择“垂直于所选面”的内压力类型,并设定瓶体内表面为压力载荷施加面,并设定所需压强。这里依据实际情况设定为0.4 MN/m²,约合0.4 MPa,为均布载荷,完成压力定义,见图5。

4) 生成网格。运用系统的“网格”功能,使用系统默认的网格参数^[9-10]。由于系统具备对局部几何形状

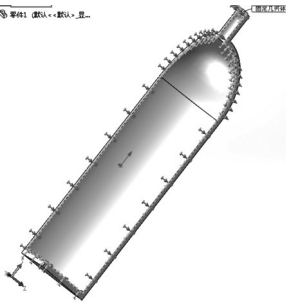


图4 添加“夹具”
Fig.4 Add "clamp"

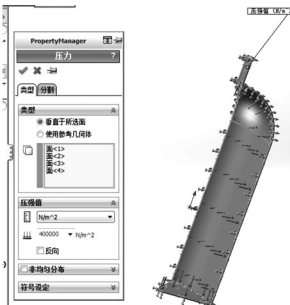


图5 添加“外部载荷”
Fig.5 Add "external load"

变化较大的地方进行网格细化(即加密)的功能,考虑到包装容器较小及形状简单,故采用系统自动加密网格化参数,认为可满足设计要求。

5) 运行“运行”命令后,只需很短的时间(文章中的模型运行分析需要约10 s),系统将应力、应变、位移、变形等图解和参数列于模型树中,双击文件夹下的“图解”,即可浏览相应的变形图和参数^[11]。测试结束后,可检查其位移变形图解(见图6)和安全系数图解(见图7)。若最小安全系数大于1,则表示此包装容器符合要求,否则不能满足要求。

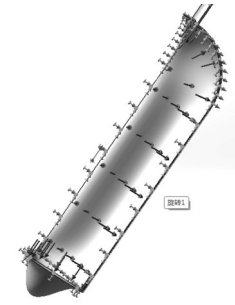


图6 变形图解
Fig.6 The deformation diagram

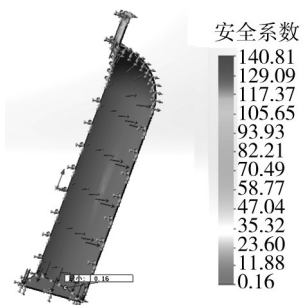


图7 安全系数图解
Fig.7 Safety factor diagram

3 实验

3.1 半径相同壁厚不同的包装容器耐内压强度测试

为分析所设计包装容器耐内压强度,设计了半径为40 mm的5个包装瓶,其壁厚分别为0.5,1.0,1.5,2.0,3.0 mm。建立5个算例对内壁分别施加一定压力,并记录其最小安全系数,结果见表1。最小安全系数小于1,包装瓶将会发生破裂,不再进行更大强度测试。

从表1可以看出,包装瓶壁厚度与包装瓶耐内压强度成正比。由于碳酸饮料内部二氧化碳气体产生的强度就会达到0.5 MN/m²(约合0.5 MPa),所以要求

表1 安全系数
Tab.1 Safety factor

压力/ (N·m ⁻²)	壁厚/mm				
	0.5	1	1.5	2	3
0.4	0.16	0.62	1.22	1.63	2.5
0.5			0.98	1.30	2
0.6				1.1	1.67
0.7				0.93	1.43
0.8					1.2
0.9					1.1
1.0					1.0

所使用包装瓶瓶壁厚度必须大于1.5 mm才能承受此强度。

3.2 壁厚相同半径不同包装容器耐内压强度测试

为分析包装瓶直径对包装瓶耐内压强度的影响,设计了壁厚为2 mm的5个包装瓶,其直径分别为40,50,60,70,80 mm。建立5个算例对内壁分别施加0.5 MPa的压强,得到其最小安全系数分别为0.31,0.17,0.12,0.09。

可以看出:随着直径的增加,在同样压强下其安全系数逐渐降低,且都小于安全系数1,也就是说瓶底直径与瓶子耐内压强度成反比;同样厚度、同样压强,对于瓶身安全系数大于1,而对于瓶底安全系数小于1,设计瓶子时应增加其瓶底厚度或对瓶底作凹陷处理。

4 数据处理与优化设计

4.1 数据处理

通过大量的半径相同壁厚不同的包装瓶耐内压强度模拟测试,和壁厚相同半径不同包装瓶耐内压强度模拟测试,得出以下经验公式:

$$P_{\max} = \frac{2\delta}{r} [\sigma_b] \quad (1)$$

式中: $P_{\max}$ 为瓶子每平方米所能承载最大内部压力(N/m²); δ 为瓶壁厚度(mm); $[\sigma_b]$ 为塑料材料张力强度(扯断强度)(N/m²); r 为瓶体半径(mm)。

4.2 优化设计

通过增加瓶底厚度和设计内凹瓶底进行结构方面的优化。将2 mm壁厚包装瓶底部厚度改为4 mm,并作凹陷处理,重新建模,进行500 kN/m²压强处理,对

比其位移变化,结果见8。从图8中能明显看出,做了凹陷处理的包装瓶底部形变位移明显减小。软件位移数据显示,位移变化可忽略不计。

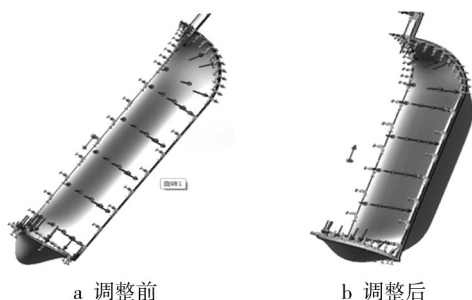


图8 调整前后包装瓶底部的形变位移

Fig.8 Deformation displacement of the packaging bottle bottom before and after adjustment

5 结语

开发新塑料应用于中空包装容器时,只需测量其材料强度,运用式(1)进行计算,可快速得知新材料在强度上是否可用作碳酸饮料包装容器。在结构设计方面,应加强瓶底的处理,采取增加瓶底厚度或使用特殊瓶底结构来增加瓶底耐内压强度。

通过基于SolidWorks的中空塑料包装容器耐内压强度的有限元分析,不仅得到了包装容器壁厚、直径与容器耐内压能力之间的关系,为设计碳酸饮料包装瓶提供了数据上的支持,而且此测试的方法还可以应用到优化中空塑料包装容器结构、衡量包装容器所用材料的合理性、容器耐垂直载荷能力等方面的测试,与传统的测试方法相比,更加方便、快捷,从而极大地节省了成本,在一定程度上提高了生产效率。

参考文献:

- [1] 蔡云红,孙诚,黄利强. 基于Solid Works的瓶盖结构参数化设计的研究[J]. 包装工程,2012,33(21):100—104.
CAI Yun-hong, SUN Cheng, HUANG Li-qiang. Research on Parametric Design of Bottle Cap Structure Based on Solid-Works[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(21): 100—104.
- [2] 孙诚. 包装结构设计[M]. 第3版. 北京:中国轻工业出版社,

2010.

SUN Cheng. Package Structure Design[M]. The 3rd Edition. Beijing: China Light Industry Press, 2010.

- [3] 田文涛,贺小华. 基于VB技术的Solid Works二次开发与应用[J]. 计算机工程与科学,2009,31(7):65—76.
TIAN Wen-tao, HE Xiao-hua. The Secondary Development and Application of Solid Works Based on the VB Technology [J]. Computer Engineering and Science, 2009, 31(7): 65—76.
- [4] 马卫静,陈满儒,李强. 利乐包塑木托盘的有限元分析[J]. 包装工程,2011,32(1):76—79.
MA Wei-jing, CHEN Man-ru, LI Qiang. Tetra Pak Plastic Wood Tray Packaging Engineering Finite Element Analysis[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(1): 76—79.
- [5] 程珮珮,程梦子,雷磊,等. 基于SolidWorks的产品跌落仿真应用[J]. 包装工程,2014,13(1):45—48.
CHENG Pei-pei, CHENG Meng-zi, LEI Lei, et al. Products Drop Simulation Application Based on SolidWorks[J]. Packaging Engineering, 2014, 13(1): 45—48.
- [6] 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 Pro/Engineer in Design of Rigid Plastic Packaging[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(23): 73—76.
- [7] 余坚勇,郝利民,钱平,等. 基于有限元分析的浅盘食品包装容器设计[J]. 食品与机械,2011,27(2):94—97.
YU Jian-yong, HAO Li-min, QIAN Ping, et al. Design of Tray Ration Containers Based on Finite Element Analysis[J]. Food and Machinery, 2011, 27(2): 94—97.
- [8] 成凤文. 基于Solid Works的压力容器三维建模及应力分析[J]. 工程图学学报,2006(4):35—38.
CHENG Feng-wen. The Stress of Pressure Vessel 3D Modeling of Analysis Based on Solid Works[J]. Journal of Engineering Graphics, 2006(4): 35—38.
- [9] ABAQUS Inc. ABAQUS Analysis User & Manual[M]. USA: ABAQUS Inc, 2004.
- [10] ABAQUS Inc. ABAQUS Example Problems Manual[M]. USA: ABAQUS Inc, 2004.
- [11] 李杨,李光. 基于SolidWorks的托盘结构有限元分析及优化设计[J]. 包装工程,2011,32(19):53—58.
LI Yang, LI Guang. Finite Element Analysis and Optimization of the Structure of the Tray Based on SolidWorks[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(19): 53—58.

(上接第64页)

- [20] 陈鸣,陈安军. 非线性包装系统跌落冲击响应分析的HFAF法[J]. 包装工程,2014,35(15):40—43.
CHEN Ming, CHEN An-jun. He's Frequency: Amplitude Formulation Method for Analyzing Dropping Shock Response of

Cubic Nonlinear Packaging System[J]. Packaging Technology and Science, 2014, 35(15): 40—43.

- [21] REN Z F, HE J H. A Simple Approach to Nonlinear Oscillators [J]. Physics Letters A, 2009, 373: 3749—3752.