

电热水器缓冲包装的有限元分析 及其结构改进设计

杨小俊, 兰青山, 陈 胜

(湖北工业大学 机械工程学院, 湖北 武汉 430068)

摘 要: 分析了某热水器包装产品的缓冲包装原结构存在的问题。对其进行了有限元建模, 并通过仿真分析找出其跌落受损的主要原因。在此基础上, 提出了静态与动态两种优化设计方案, 并对它们进行了对比, 最终得出了该优化结构的模型。

关键词: 缓冲包装; 优化设计; LS-DYNA; 衬垫

中图分类号: TB485.1

文献标志码: A

文章编号: 1674-7100(2011)03-0040-05

The Finite Element Analysis and Improved Structure Design of Cushion Packaging for Electric Water Heater

Yang Xiaojun, Lan Qingshan, Chen Sheng

(Mechanical Engineering College, Hubei University of Technology, Wuhan 430068, China)

Abstract: The problems on the original cushion structure of packaging product for some water heater were analysed. Then the element model has been built, and the main reason of falling damage was found by the simulation analysis. Based on this, the static & dynamic optimized design scheme of the product was put forward. Finally the optimal model of structure is obtained by comparing the results of them.

Key words: cushion packaging; optimization design; LS-DYNA; pad

1 缓冲包装原结构及存在的问题

某品牌电热水器主要由搪瓷内胆、不锈钢外壳、加热管、进出水管及其电气部分组成。其缓冲材料采用可发性聚苯乙烯 (polystyrene, EPS), 原始缓冲衬垫的结构如图 1 所示。

笔者经调查发现, 该热水器在运输过程中的损坏主要是热水器上下盖的焊接处出现油漆脱落和两端局部变形, 总破损率达 8%, 因此造成生产厂家的年损失达百万元。针对这一问题, 笔者拟对其缓冲

包装结构进行优化设计。

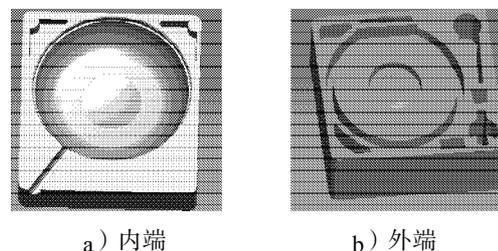


图 1 热水器 EPS 缓冲衬垫原始结构

Fig. 1 Primitive structure of EPS cushioning pad

收稿日期: 2011-04-23

作者简介: 杨小俊 (1970-), 女, 湖北武汉人, 湖北工业大学副教授, 主要从事缓冲包装材料及结构设计等方面的研究,

E-mail: lqs20101118@yahoo.com

2 有限元模型的建立

2.1 实体建模

缓冲衬垫模型：根据原始缓冲衬垫的模型进行测量，在 Pro/E 里进行三维实体模型的建立。热水器模型：在 Pro/E 中建立曲面模型，导入 ANSYS 中建立的 Shell 模型。热水器外壳与两端的盖子分别建模，并且进行装配，以形成热水器模型。

整个产品的包装组装模型如图 2 所示，其所有材料的性能参数列于表 1 中。

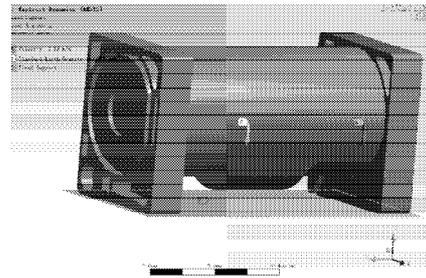


图 2 组装模型

Fig. 2 Assembly model

表 1 材料性能参数

Table 1 Material performance parameters

材料名称	密度 / $(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$	杨氏模量 /Pa	泊松比	屈服强度 /Pa	切变模量 /Pa	压缩极限强度 /Pa
EPS 缓冲衬垫	20	7.23e+006	0.10	—	—	—
热水器材料	7 750	1.93e+011	0.31	2.10e+008	1.8e+009	—
塑胶壳	1 710	1.72e+007	0.35	2.28e+005	5.0e+006	—
地板	2 300	3.00e+010	0.18	—	—	4.1e+007

2.2 单元选取

单元选取按照 ANSYS 软件提供的单元库，结合热水器结构的特点，力求准确反映原结构力学特性。由于热水器内胆及外壳结构主要是由不锈钢薄板焊接而成，故选用 LS-DYNA 单元库中实体模型的 shell163 单元。EPS 缓冲衬垫选用 Solid164 单元。另外，接触定义选用 Contact172 接触单元和 target169 目标单元。电热水器的网格划分结果如图 3 所示。

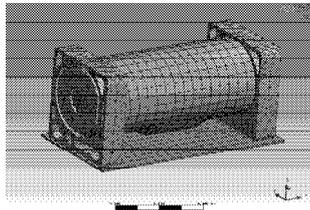


图 3 网格划分模型

Fig. 3 Mesh model

根据 ANSYS 仿真分析结果可知，在电热水器横放时，包装缓冲衬垫是安全的，但是其存在一定的变形，且在缓冲衬垫的线缆管道与地面的接触端的应力、应变相对较大。

3.2 动态仿真

根据电热水器实际运输条件和装卸过程，采用有限元模拟产品跌落过程，考察运输过程中可能跌落的情况，查阅相关文献^[1-12]确定模拟 2 个面跌落（水平，垂直），1 个棱跌落和 1 个角跌落。根据包装测试国家标准^[1]，跌落高度设为 500 mm。对于棱跌落、角跌落都必须使模型的重心过接触点。采用等效的方法，根据跌落高度计算出接触地板前的等效速度，即根据 $v = \sqrt{2gh}$ ，算出 $v = 3.13 \text{ m/s}$ 。

3.2.1 水平跌落

根据跌落高度为 500 mm，等效跌落速度为 3.13 m/s，考虑重力加速度 $g = 9.8066 \text{ m/s}^2$ ，沿 X 方向水平垂直跌落。模型加载的应力云图以及应力 - 时间图如图 5 和图 6 所示。

3 原模型的仿真分析

3.1 静态仿真

用 ANSYS 对缓冲衬垫进行静态分析，其应力云图如图 4 所示。

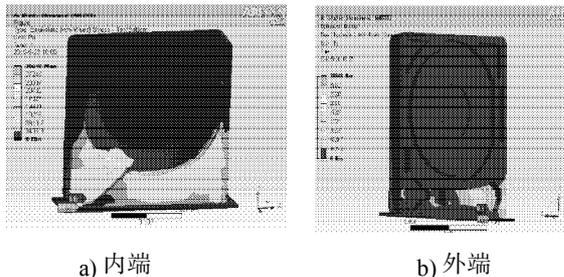


图 4 等效应力

Fig. 4 Von mises

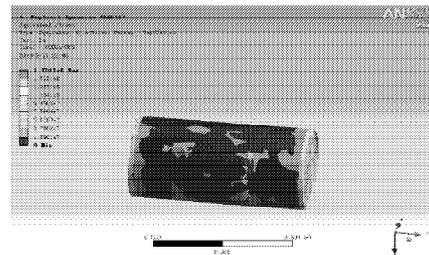


图 5 水平跌落的应力云图

Fig. 5 Stress cloud of X-falling

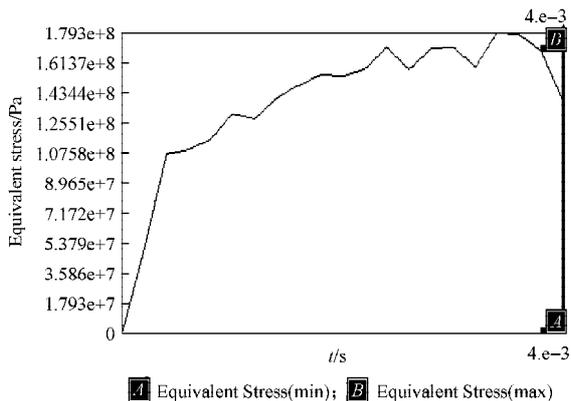


图6 热水器应力-时间

Fig. 6 Stress-time of water heater

根据 ANSYS 仿真分析结果可知, 水平跌落衬垫的应变大, 面积较小, 吸收的能量较少, 故缓冲性能不好。

3.2.2 垂直跌落、棱跌落、角跌落

采用同样的方法进行垂直、棱、角跌落仿真试验。其中, 垂直跌落为 Y 方向, 棱跌落为与 XOY 平面成 27.8° 夹角的方向, 角跌落方向为地面法向。

综合以上产品各向跌落试验, 根据产品跌落过程的 3 种不同状态的模拟, 所得热水器受到的最大应力、应变等参数如表 2 所示。

表 2 热水器包装件各种跌落状态对比

Table 2 State contrast of various dropping for water heater package

跌落方式	考察项目			
	最大应变	最大应力 /Pa	安全系数	焊接处安全系数
水平跌落	8.00E-02	1.40E-01	1.68E+00	1.17E+00
垂直跌落	1.40E-01	1.99E+08	1.51	1.06
棱跌落	3.94E-02	1.10E+08	2.73	1.91
角跌落	0.1	1.22E+08	2.46	1.72

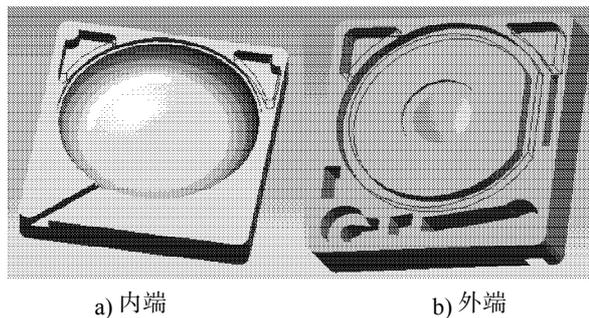
由表 2 可知, 水平跌落和垂直跌落时, 热水器包装件的安全系数较低, 这是引起产品损坏的主要原因, 产品在此类冲击过程中出现应力过大的可能性更大。

4 改进设计

4.1 静态优化设计方案

笔者通过对原模型进行反复地改进、测试、分析、比较, 最终提出了相对较优的改进方案。改进部分为: 1) 在图 7 中的图 a) 上角两端面, 4 个近似三角形凹孔均向内挖 10 mm; 2) 衬垫厚度由 107 mm 减小至 100 mm; 3) 如图 7 中图 b) 外端面放置管线的凹孔深度由 34 mm 减小至 26 mm。静态优化方案的目标是使静态下材料的使用量减少到最低值, 该方案

使衬垫的材料减少了 23%。



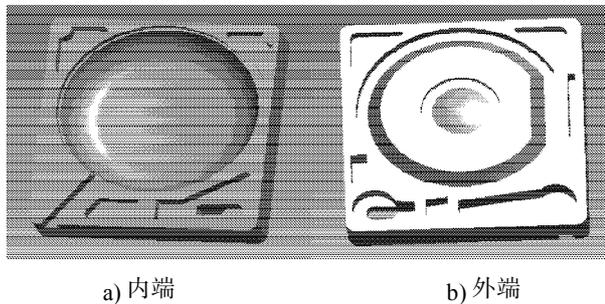
a) 内端 b) 外端

图 7 静态优化模型

Fig. 7 Static optimization model

4.2 动态优化设计方案

根据表 2 的数据, 动态优化主要考虑水平跌落和垂直跌落的情况。根据应力云图发现, 水平跌落衬垫受力面积较小, 且应变较大, 吸收的能量少, 缓冲性能不好。这主要是由于产品与 EPS 衬垫接触面积较小的缘故, 垂直跌落冲击时, 热水器焊接处出现应力集中, 且外端面圆形部分应力小的现象。综合分析, 可以在内端面去掉一些材料, 但是为了保证水平跌落不致衬垫损坏, 在中间加上肋板; 考虑垂直跌落冲击, 把矩形沟槽改为梯形沟槽。根据优化后缓冲衬垫的模型设计, 在 Pro/E 里建立如图 8 所示的三维实体模型。

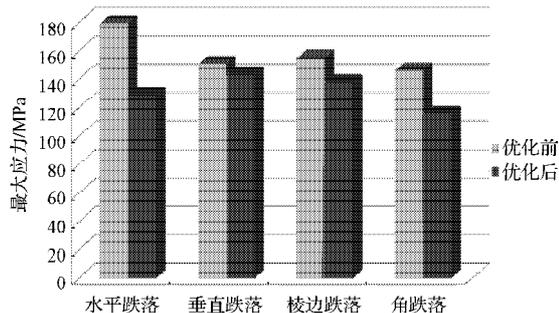


a) 内端 b) 外端

图 8 动态优化模型图

Fig. 8 Dynamic optimization model

对改进后的结构模型进行同样的水平跌落、垂直跌落、棱跌落和角跌落试验分析, 其优化前后热水器所受最大应力对比如图 9 中的图 a) 所示。最大加速度对比如图 9 中图 b) 所示。



a) 最大应力对比

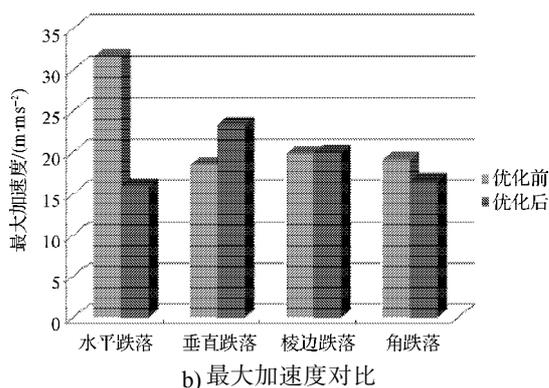
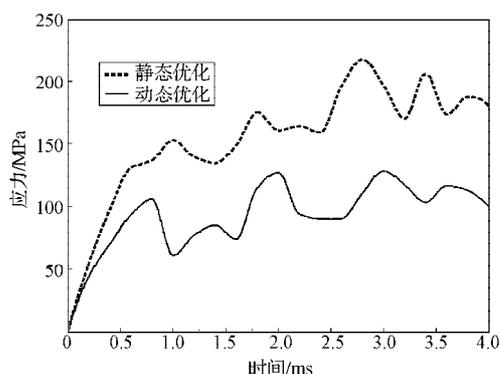


图9 衬垫优化前后各向跌落对比

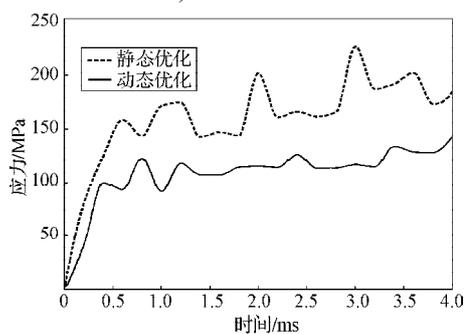
Fig. 9 Various dropping comparison of the pad

4.3 静态优化与动态优化对比

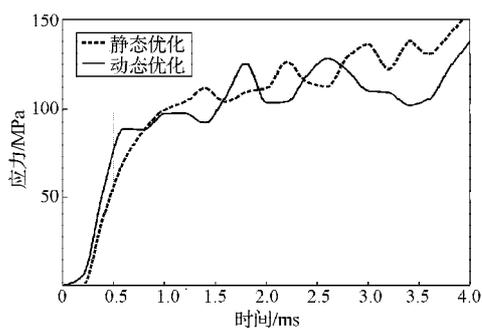
从ANSYS中提取优化前后应力时间历程数据,用MATLAB进行编程绘制优化前后水平、垂直跌落、棱跌落、角跌落对比图,其中垂直跌落应力比较如图10所示。



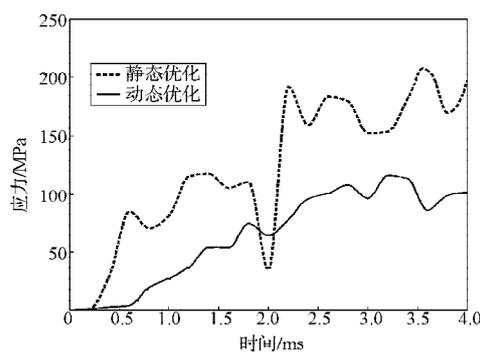
a) 水平跌落



b) 垂直跌落



c) 棱跌落



d) 角跌落

图10 不同跌落方式的静、动态优化热水器应力比较

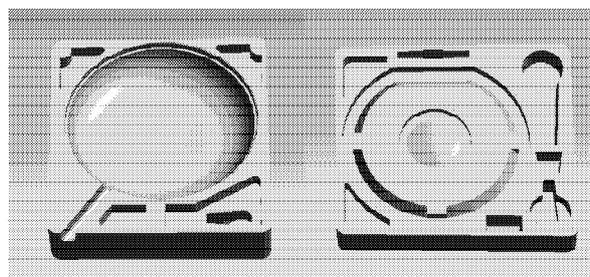
Fig. 10 Four dropping comparison of water heater stress by static & dynamic optimization

对各向跌落仿真所获得的水热水器等效应力变化曲线历程进行动态响应分析,发现静态和动态优化的最大应力均出现在垂直跌落情况下,静态优化下的最大应力为226.9 MPa,动态优化下的最大应力为142.84 MPa,显然动态优化后的效果更好。

5 结语

本次改进设计中,用有限元软件LS-DYNA对热水器运输包装件进行跌落仿真分析,并得到运输包装结构的应力随时间变化曲线。结果表明,运用有限元软件对运输包装件进行跌落仿真分析并对运输包装结构进行评估是可行的,而且还减少了不必要的物理样箱的制作,降低了生产成本。最终优化模型的质量减少了7.2%,最大应力从179.30 MPa减至142.84 MPa,最大加速度从31.64 m/ms²降至23.32 m/ms²。

本文在对热水器跌落仿真的同时对其EPS缓冲衬垫的结构进行了优化,提出了更合理的衬垫设计方案。根据优化结果选择动态优化模型,恢复一些倒角和小特征,最终优化模型如图11所示。



a) 内端 b) 外端

图11 EPS衬垫最终优化模型

Fig. 11 The eventual optimization model of EPS pad

参考文献:

- [1] 中国国家标准化管理委员会. GB/T 4857.5—1992 运输包装件跌落测试方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 1992: 1-3.
Standardization Administration of the People's Republic of China. GB/T 4857.5—1992 Transport Packages-Rolling Test Method[S]. Beijing: Standards Press of China, 1992: 1-3.
- [2] 中国国家标准化管理委员会. GB/T 4857.18—1992 运输包装件编制性能试验大纲的定量数据[S]. 北京: 中国标准出版社, 1992: 1-16.
Standardization Administration of the People's Republic of China. GB/T 4857.18—1992 Transport Packages-Quantitative Data for the Compilation of Performance Test Schedules[S]. Beijing: Standards Press of China, 1992: 1-16.
- [3] 中国国家标准化管理委员会. GB/T 8166—1987 缓冲包装设计方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 1987: 1-22.
Standardization Administration of the People's Republic of China. GB/T 8166—1987 Package Cushioning Design Method[S]. Beijing: Standards Press of China, 1987: 1-22.
- [4] 张业鹏. 纸浆模塑包装结构的缓冲性能及其可靠性研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2007.
Zhang Yepeng. Research on Cushion Performance and Reliability about Paper-Pulp Packaging Structure[D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2007.
- [5] 杨 婕. 现场发泡材料缓冲性能分析及包装结构优化设计[D]. 济南: 山东大学, 2008.
Yang Jie. Analysis of Cushioning Property of Foam-in-Place Material and Optimum Design of Packaging Structure [D]. Jinan: Shandong University, 2008.
- [6] 陈满儒, 张波涛. 基于 ANSYS 的产品缓冲包装的分析与设计[J]. 包装工程, 2006, 27(6): 206-208.
Chen Manru · Zhang Botao. Analysis and Design of Product Cushion Packaging System Via ANSYS[J]. Packaging Engineering, 2006, 27(6): 206-208.
- [7] 陈满儒, 白小兰, 童 晟. 浅析 ANSYS 在包装结构优化设计中的应用[J]. 包装与食品机械, 2007(4): 30-33.
Chen Manru, Bai Xiaolan, Tong Sheng. An Analysis of ANSYS in the Packing Structure Optimization Design[J]. Packaging and Food Machinery, 2007(4): 30-33.
- [8] 高 德, 程志胜, 魏天路. 物品包装结构动力学分析及优化设计[J]. 农业机械学报, 2000(3): 96-98.
Gao De, Cheng Zhisheng, Wei Tianlu. Dynamic Analyses and Optimal Design of Product Package Structure[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery, 2000(3): 96-98.
- [9] 张云波, 彭国勋. 26寸液晶显示器缓冲包装优化设计[J]. 包装工程, 2008, 29(6): 11-13, 115.
Zhang Yunbo, Peng Guoxun. Optimum Design of Cushion Packaging for Twenty-Six Inches LCD[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(6): 11-13, 115.
- [10] 丁 毅, 杨 鹏. 运用 Pro/MECHANICA 进行 EPE 缓冲衬垫的静态和动态压缩分析[J]. 包装工程, 2009, 30(6): 36-37.
Ding Yi, Yang Peng. Analysis of Static and Dynamic Compression of EPE Cushion with Pro/MECHANICA[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(6): 36-37.
- [11] 吴彦颖, 郑全成. 运输包装件跌落冲击响应仿真分析[J]. 中国包装工业, 2007(5): 79-81.
Wu Yanying, Zheng Quancheng. Transport Package Dropping Impact Response Simulation Analysis[J]. China Packaging Industry, 2007(5): 79-81.
- [12] 胡 强, 童忠钊. 泡沫衬垫缓冲性能模型参数混合优化方法[J]. 包装工程, 1991, 12(1): 21-25.
Hu Qiang, Tong Zhongfang. A Mixed Optimization Method for Identifying the Model Parameters of the Cushioning Performance of Foamed Plastic Cushion[J]. Packaging Engineering, 1991, 12(1): 21-25.

(责任编辑: 廖友媛)