

缓冲罐包装材料厚度的设计与可靠性验证

戴革林, 周弘扬, 王为奎
(空军勤务学院, 徐州 221000)

摘要: **目的** 研究空空导弹一体化气源设备中,缓冲罐的材料选型以及包装材料厚度的设计,对其可靠性进行验证并作为指标评估整个设备。**方法** 首先理论计算了缓冲罐可能受到的应力情况,然后用SolidWorks建模并定义了材料类型。由于设备要工作在极寒、高温环境下,运用Ansys材料热分析确定了温度对包装材料的影响,最后选择包装罐体1/4曲面进行了应力位移有限元分析,得出了其位移变化图,并将其数值结果与罐体总厚度相对比,分析了其可靠性。**结果** 选定的钢性材料导热良好,不会产生热差。包装曲面上的最大应力载荷产生的位移与厚度之比为2.1%,可靠性良好。**结论** 缓冲罐材料Q235-B包装成的曲面可靠性良好,可以进行加工生产,此分析流程为设备其他部件可靠性分析提供了参考。

关键词: 空空导弹气源设备;缓冲罐包装厚度;SolidWorks建模;有限元分析;可靠性

中图分类号: TB485.3; TB487 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2016)01-0065-04

Design of the Thickness of Material on Knock-out Drum and Reliability Demonstration

DAI Ge-lin, ZHOU Hong-yang, WANG Wei-kui
(Air Force Logistics College, Xuzhou 221000, China)

ABSTRACT: The aim of this work was to study the material selection and packaging thickness design of the knock-out drum in gas support equipment for air to air missile, to verify the reliability and use it as an evaluation index for the equipment. At first, the possible press on the knock-out drum was theoretically calculated and then Solidworks was used to build a model and definite the material type. Because this equipment is operated in extremely cold or high-temperature environment, the effect of temperature on the packaging material was analyzed by Ansys material thermal analysis. At last, 1/4 surface of the packaging drum was selected for finite element analysis of stress and displacement, and its displacement variation diagram was obtained. The numerical result was contrasted with the overall thickness of the knock-out drum to analyze its reliability. The steel material selected had good thermal conductivity and did not lead to thermal difference. The displacement resulted from the maximum stress load on the packaging surface was 2.1% of the thickness. The reliability was good. In conclusion, the knock-out drum surface packaged by Q235-B had good reliability, and can be manufactured. This analysis process could provide reference for the reliability analysis for other units of the equipment.

KEY WORDS: gas support equipment for air to air missile; the thickness of knock-out drum; modeling by SolidWorks; finite element analysis; reliability

空空导弹气源设备目前存在型号多、功能单一且重复、配套器材多、维修保障困难,严重影响机动转场与快速敏捷保障的问题,而且军械系统自身不具备现

场制氮能力,不能满足在野战条件以及各种复杂环境下的气源保障需要。为此专门研究设计了空空导弹一体化气源保障设备,其内部框架见图1。

收稿日期: 2015-06-13

作者简介: 戴革林(1966—),男,江苏人,博士,空军勤务学院教授,主要研究方向为材料运用工程。

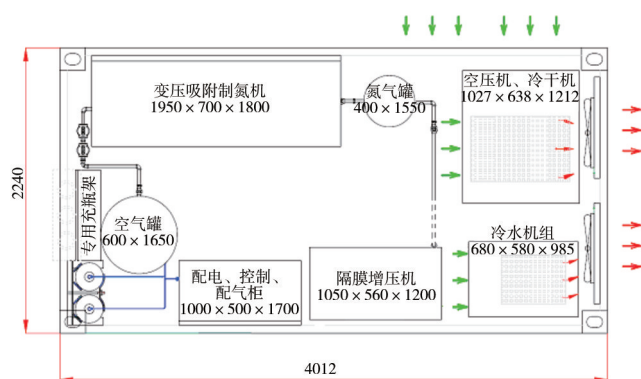


图1 空空导弹一体化气源保障设备内部框架

Fig.1 The internal frame of gas support equipment for air to air missile

由图1可知,作为气源制造、输出设备,内部主要由大量的罐体结构组成,在运转时,存在疲劳损伤、耐久性不确定的问题,对总体可靠度有一定的影响^[1]。选取缓冲罐(氮气罐)作为研究对象,在理论设计与仿真实验中对可能出现的外载荷进行静态分析,预测实际可能出现的包装厚度方向上的应变位移,评估罐体可靠性,在设备总体可靠度评估中具有一定的典型性。

1 罐体包装参数设计

缓冲罐是用于平衡气体间的压力和流量的存储部件,使气体可以稳定进入管道中,减轻管道、阀门的压力。这种钢制材料包装的压力容器形状主要分为球体和圆筒形^[2]。球体主要应用于大型化工气体的露天储存场合,而圆筒形缓冲罐拆卸、安装方便,多用于小型化设备中。

实验装置考虑到缓冲罐作为缓冲装置,工作压力设定为1.0 MPa,有效容积0.1 m³,选用Q235-B型碳素钢板作为包装材料。根据JB 4732—1995钢制压力容器—分析设计标准可知,Q235-B容器压力设定为 $P_{Q235-B} \leq 1.6$ MPa,温度范围为0~350 ℃,内部喷砂处理,外表面磷化处理,两侧平型封头^[3]。

氮气缓冲罐体的厚度计算公式为:

$$\delta_m = \delta_d + \sum_{i=1}^2 C_i + \Delta = \delta_{dh} + C_1 + C_2 + \Delta \quad (1)$$

式中: δ_{dh} 为计算厚度(mm); δ_d 为设计厚度(mm); C_1 为钢板或钢管厚度偏差(mm); C_2 为腐蚀余量(mm); Δ 为数据修正向上圆整值。

$$\delta_{dh} = \frac{PD}{2[\delta]\varphi} \quad (2)$$

式中: P 为工作压力(MPa); D 为罐体外型内径(400 mm); $[\delta]$ 为压力容器用碳素钢许可应力,屈服

极限与安全系数的比值,取值为0.850查表Q235-B在200 ℃以下,安全系数为1.5, $[\delta]$ 可取116 MPa。

$$\delta_{dh} = \frac{PD}{2[\delta]\varphi} = 2.03 \text{ mm}$$

查表得 $C_1=1.8$, $C_2=1.5$,则:

$$\delta_m = \delta_{dh} + C_1 + C_2 + \Delta = 6 \text{ mm}$$

综合考虑各种因素,缓冲罐设计的参数:高度 $H=1550$ mm,内径 $D_2=400$ mm,厚度 $\delta_1=6$ mm,质量 $m=60$ kg,设计压力 $p_2=1$ MPa。其SolidWorks简化模型见图2。

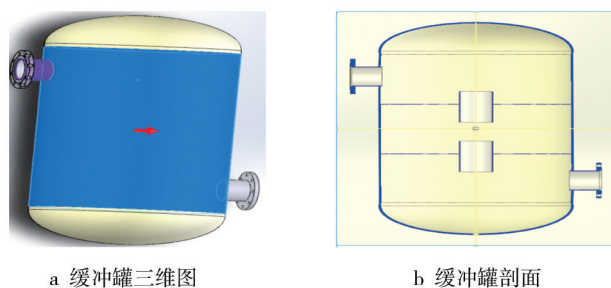


图2 缓冲罐SolidWorks简化模型

Fig.2 The simplified model of Knock-out Drum by SolidWorks

2 包装材料可靠度分析

2.1 缓冲罐包装材料受力分析

作为气源制造、输出设备,内部含有大量的罐体,内径要远大于其壁厚,属于圆筒性结构。相比于缓冲罐,吸附塔内存在固体,结构复杂,不具有代表性^[4],因此选取缓冲罐(氮气罐)作为研究对象。

针对氮气缓冲罐,为方便应力理论计算,进行以下假设:不考虑加工锻造工艺的误差,整个筒体厚度均匀一致;依据第四强度校核规律设定,筒体主要受到正应力与剪应力的作用。

轴对称图形,方便受力分析,将罐体一端顶盖去除并取其剖视图。经过简化,整个缓冲罐局部受力见图3。

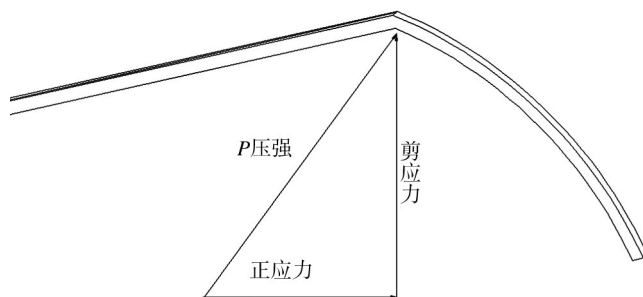


图3 缓冲罐局部应力分布

Fig.3 The stress distribution in part regions of the Knock-out Drum

因为罐体平均压强 $\lim_{\Delta S \rightarrow 0} (\Delta P / \Delta S) = 1 \text{ MPa}$, 受力 F 为:

$$F = P_0 \times \pi D_0^2 / 4 \quad (3)$$

其中, D_0 为筒体平均直径。

罐体的截面积 $S = \pi D_0 \delta_1$, 所以剪应力为:

$$\tau_1 = \frac{F}{S} = \frac{P_0 D_0}{2 \delta_1} = 8.458 \text{ MPa}$$

依据第四强度校核可知, 正应力: $\sigma_1 = \tau_1 \times 2 = 16.916 \text{ MPa}$ 。

2.2 缓冲罐应变位移分析

2.2.1 模型材料设定

本设计缓冲罐材料为 Q235-B 钢材, 因此在 SolidWorks "FeatureManager" 材料配置里根据 Q235-B 材料特性进行设定如下: X 弹性模量 = 206 000 N/mm², XY 泊松比为 0.3, XY 抗剪模量为 79 000 N/mm², 密度为 7800 kg/m³, X 张力强度为 399.83 N/mm², 屈服强度为 235 N/mm², X 热膨胀系数为 $1.2 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$, X 热导率为 43 W/(m·K)。

2.2.2 材料热分析

因为该设备要能够机动转场, 要满足多种作战需求, 环境适应能力要强, 要能够在极寒、高温下正常运转, 因此首先对材料进行温度热分析^[5]。

在 Anasys 中, 根据 Q235B 材料特性定义材料为 "Thermal solid Quad 4 mode 55", 导热率为 43 W/(m·K)。将极寒、高温与设备内部温度综合考虑, 温度范围设定在 -40 ~ 80 ℃。选取罐体表面局部长 60 mm, 宽 10 mm 的长方形块, 采用 "free meshing" 划分网格, 因为其规则矩形, 网格划分时采用单元大小为 3 mm × 2 mm 的四边形单元, 一次性划分所有面, 共 20 × 5 个矩形网格, 见图 4a。其分析所得温度场等值线见图 4b。

同理, 将材料置于 "FLOTTRAN CFD" 中, 左边为 -40 ℃, 右边为 80 ℃, 令 $\nu_x = \nu_y = 0$, 对平板上热流进行分析, 得到温度流线解见图 4c, 温度场内热流速度矢量见图 4d。

根据图 4a 和 b 可知, 整个材料导热性在 -40 ~ 80 ℃ 之间良好, 分布均匀, 没有产生色差混合现象。根据图 4c 和 d 可知, 最大温差下, 材料受热后迅速形成热场, 热流向外扩散, 对材料内部分子结构未产生明显的温度热载荷形变^[6-8], 在分析应力变化时可以忽略温度给零件结构带来的影响。

2.2.3 缓冲罐应力位移分析

缓冲罐属于轴对称模型, 当内部有氮气流过时, 对罐体产生的压强使罐体形成应力, 由理论计算公

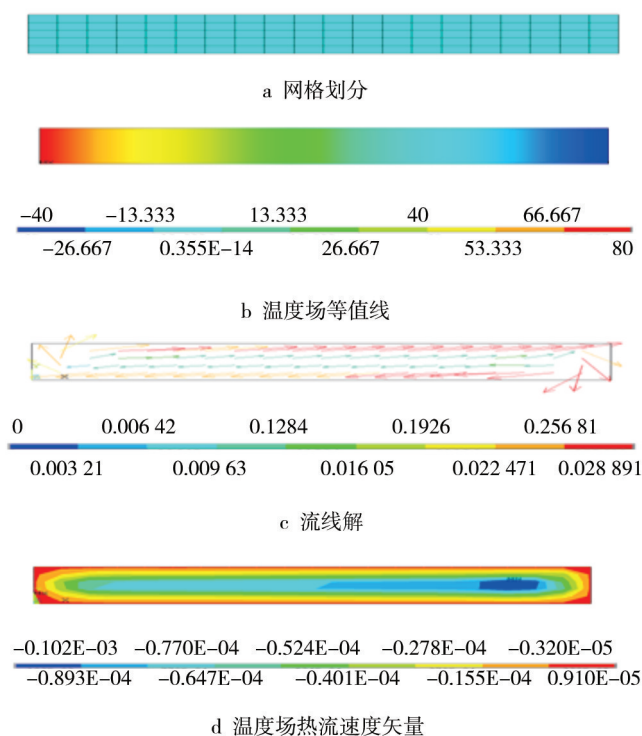


图4 材料热分析

Fig.4 The thermoanalysis of material

式可知, $F = 32\,365.47 \text{ N}$, 罐体长度 $L = 1400 \text{ mm}$, $D = 400 \text{ mm}$, 厚度 = 6 mm。当作用力作用在罐体表面, 会产生一定的微小形变^[9-11], 对罐体的可靠度有一定的影响。为此, 可以运用 Ansys 建模仿真, 分析载荷与罐体体表面节点位移的关系, 验证其理论设计中材料选择、尺寸确定是否符合强度要求, 既可以探究罐体的工况, 也因为整个过程在计算机平台实现, 节约了成本^[12-15]。

整个罐体去掉封头部分模型见图 5a, 选取其 1/4 曲面分析。材料定义为 "Shell Elastic 4node 63"。

网格划分质量直接影响模型的计算精度, 为了提高网格质量, 需要在网格划分阶段进行严格控制, 因模型为轴对称图形, 弹性模量为 206 GPa, 泊松比为 0.3, 长为 0.7 m, 宽为 0.2 m, 厚度为 0.006 m, 相对规则, 所以采用矩形面划分。网格如图 5b 所示, 20 × 14 个节点, 每个矩形面为 3.5 mm × 1.4 mm, 其余区域自动补足。

将曲面微元划分, 在每个细小单元点受到的力 $F_d = \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{\Delta F}{\Delta S} = 32\,365.47 \text{ N}$, 因此在曲面平均受力为 8091.39 N。

条件约束: 在柱坐标系统中, 将曲面下边界、左边界的点固定, 位移变量为 0。选择载荷施加点在曲面的右边界中心位置, 观察在 y 轴上曲面点的位移形

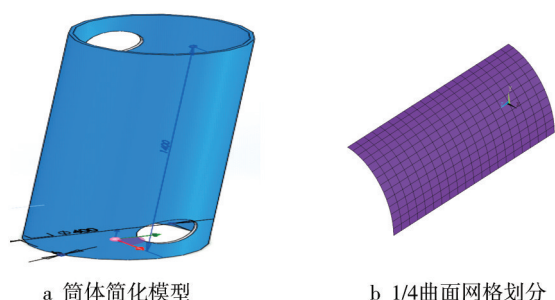


图5 氮气缓冲罐有限元分析预处理

Fig.5 The finite element preprocessing of the nitrogen knock-out Drum

变。其曲面形变图和y方向的位移等值线见图6。

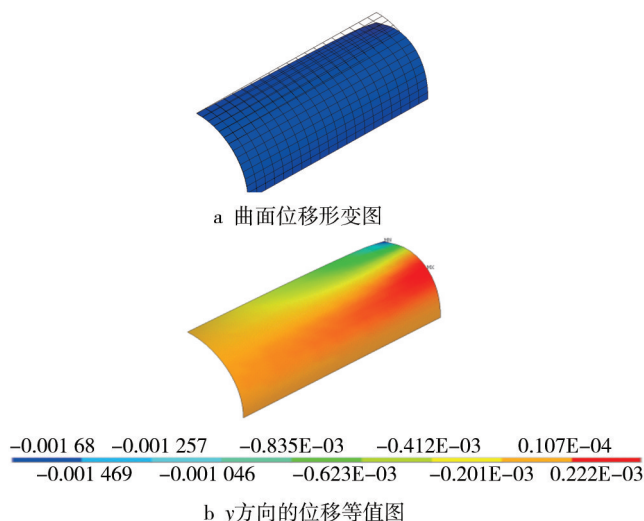


图6 罐体曲面y轴受力位移

Fig.6 The y axis force displacement of the drum surface

根据图6可知,轴向和径向的位移为静态环境下的小位移变量,为进一步定量分析,将运动建立在直角坐标系中观察。纵坐标为施加载荷量,横坐标为位移变化量,位移和载荷变化关系曲线见图7。

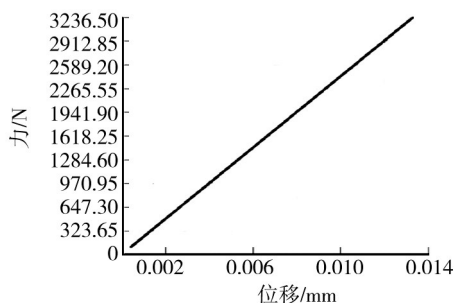


图7 曲面顶点位移和力的变化关系曲线

Fig.7 The relationship between displacement of the top point of the surface and force

当施加载荷在罐体材料应力承受范围内时,图像

近似拟合为一条直线,表明在小应力下,因内部结构未发生形变,其变化斜率即为弹性模量值。当应力超过临界点后,变化关系会因材料内部结构变化而紊乱,形成不规则曲线。

通过对罐体可能受到的压强分析,施加的载荷极限为32 365 N时,图像如图7所示,位移变化接近0.13 mm。位移形变占厚度的比例为:

$$\Delta S = \frac{S_{\text{piancha}}}{\delta} = 2.1\%$$

经过检验,最大偏移与厚度比值仅为2.1%,相对于总长度、内径更是微小形变量,因此包装的尺寸、包装材料满足压力要求,有一定的可靠度。

3 结语

通过设计实践表明,先理论设计空空导弹气源设备中缓冲罐的罐体包装厚度,然后利用有限元分析软件对理论方案进行可靠性验证,检验可能出现的形变情况的设计流程,不仅可以有效地分析出设备部件的可靠度,并在此基础上改进完善薄弱点,而且还减少了后期实物包装耗损检测的经费。该设计流程为设备其他组件设计成型提供了参考。

参考文献:

- [1] SHI Yi-ping, ZHOU Yu-rong. Detailed Examples of the Finite Element Analysis Based on ABAQUS[M]. Beijing: China Machine Press, 2006.
- [2] 吴斌方,熊华,张静,等. 基于有限元分析的瓦楞机支撑侧板结构优化设计[J]. 包装工程, 2014, 35(5): 62—66.
WU Bin-fang, XIONG Hua, ZHAGN Jing, et al. Structural Optimization of Supporting Panel for Corrugators Based on Finite Element Analysis[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(3): 62—66.
- [3] 张朝晖. Ansys热分析教程与实例解析[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2007.
ZHANG Chao-hui. ANSYS Thermal Analysis Course and Example Analysis[M]. Beijing: China Railway Press, 2007.
- [4] 康柳,刘婧,张佳娟,等. 基于SolidWorks的卡扣快装箱有限元分析[J]. 包装工程, 2015, 36(3): 65—69.
KANG Liu, LIU Jing, ZHANG Jia-juan, et al. Finite Element Analysis of Quickly Assembled Box with Buckles Via SolidWorks[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(3): 65—69.
- [5] ZHU Jian-ping. On the Design Methods of Packaging Machinery[J]. Packaging Engineering, 2007, 28(7): 97—99.
- [6] 程珮珮,程梦子,雷磊,等. 基于SolidWorks的产品跌落仿

(下转第82页)

- [5] 陈熙,刘诚,花军,等. 多层压机热压板温度场数值模拟研究[J]. 林业机械与木工设备, 2012(12):19—23.
CHEN Xi, LIU Cheng, HUA Jun. Numerical Simulation Study On Multilayer Press Hot Pressing Plat Temperature Field[J]. Forestry Machinery & Woodworking Equipment, 2012(12): 19—23.
- [6] 张素梅. 热压板孔道结构及其传热仿真分析[J]. 福建林学院学报, 2013(4):367—370.
ZHANG Su-mei. The Channel Structure of Hot-press Platen and Its Simulation Analysis of Heat Transfer[J]. Journal of Fujian College of Forestry, 2013(4):367—370.
- [7] 周海滨,张璧光,张双保. 不同钻孔方向对热压板传热和能耗的影响[J]. 林产工业, 2001(1):25—26.
ZHOU Hai-bin, ZHANG Bi-guang, ZHANG Shuang-bao. Effects of Different Directions of Drill Holes in Hot-Press Platens on Heat Transfer and Energy Consume[J]. Forest Products Industry, 2001(1):25—26.
- [8] 王野平,张斌,刘莹,等. 基于 Fluent 的热压板温度场分析及优化[J]. 制造技术与机床, 2013(7):82—85.
WANG Ye-ping, ZHANG Bin, LIU Ying, et al. Analysis and Optimization of Hot Platen's Temperature Field Based on Fluent[J]. Manufacturing Technology & Machine, 2013(7): 82—85.
- [9] 章熙民,仁泽霁,梅飞鸣. 传热学[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 2007.
ZHANG Xu-min, REN Ze-pei, MEI Fei-ming. Heat Transfer [M]. Beijing: China Building Industry Press, 2007.
- [10] 梁昆淼. 数学物理方法[M]. 北京:人民教育出版社, 1978.
LIANG Kun-miao. Methods of Mathematical Physics[M]. Beijing: People's Education Press, 1978.
- [11] INCROPERA FRANK P, DAVID P DEWITT. Fundamentals of Heat Transfer[M]. 5th ed. New York: John Wiley & Sons, 2002.
- [12] HOLMAN J P. Heat Transfer[M]. 9th ed. New York: McGraw-Hill, 2002.
- [13] 孔祥谦. 有限单元法在传热学中的应用[M]. 北京:科学出版社, 1986.
KONG Xiang-qian. The Application of Finite Element Method in Heat Transfer[M]. Beijing: Science Press, 1986.
- [14] 刘光启,马连湘,刘杰. 化学化工物性数据手册[K]. 北京:化学工业出版社, 2002.
LIU Guang-qi, MA Lian-xiang, LIU Jie. Handbook of Chemistry and Chemical Property Data[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2002.

(上接第 68 页)

- 真应用[J]. 包装工程, 2014, 35(13):51—55.
CHEN Pei-pei, CHEN Meng-zi, LEI Lei, et al. Application of Drop Simulation Based on SolidWorks[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(13):51—55.
- [7] 于洋. 基于层叠式压电作动器的薄壁结构的形状控制技术研究[D]. 西安:西安交通大学, 2008.
YU Yang. A Study of Shape Control for Thin Walled Structure Based on Laminated Piezoelectric Actuators[D]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University, 2008.
- [8] FERNANDES, ANTONIO A L, BARREIRA J C, et al. Effects of Gamma Irradiation on the chemical Composition and Antioxidant Activity of Cactarius Deliciosus Wild Edible Mushroom [J]. Food and Bioprocess Technology, 2013, 6(10):2895—2903.
- [9] 宋卫生,胡晓波. 基于屈曲准则的两片罐力学性能分析[J]. 包装工程, 2014, 35(13):61—65.
SONG Wei-sheng, HU Xiao-bo. Analysis of Mechanical Properties of Two-piece Can Based on Buckling Criteria[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(13):61—65.
- [10] 杨效军,何仁,冯益. 增自励式缓速器瞬态温度场数值分析[J]. 机械设计, 2013, 30(7):6—9.
YANG Xiao-jun, HE Ren, FENG Yi. Numerical Analysis on Transient Temperature Field of Self-excited Retarder[J]. Journal of Machine Design, 2013, 30(7):6—9
- [11] 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-juan. Spherical Shell Models for Insulating Packages Based on Ansys[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(6): 43—48.
- [12] NOBUO T. Analysis and Experiment on the Vibration Transmission in a Single Stage Gearbox[J]. JSME Inter Conf on Motion and Power Trails, 1991(10):104—109.
- [13] SCHNEIDER L C R, SINKA I C, COCKS A C F. Characterisation of the Flow Behaviour of Pharmaceutical Powders Using a Model Die-shoe Filling System[J]. Powder Technology, 2007, 173(1):59—71.
- [14] OZTURK U E, ANLAS G. Multiple Compressive Loading and Unloading Behavior of Polymeric Foams[J]. Journal of Applied Polymer Engineering Science, 2007, 27(8):607—619.
- [15] 谢最伟,吴新跃,万强. 有限元中体壳单元的耦合问题研究[J]. 机械设计, 2011, 28(3):91—92.
XIE Zui-wei, WU Xin-yue, WAN Qiang. Coupling Problem Study Element and Shell Element in finite element[J]. Journal of Machine Design, 2011, 28(3):91—92.