

基于 ANSYS Workbench 的某弹药 储运方舱支撑件力学分析

王维^{1,2}, 宣兆龙¹, 段志强¹, 程泽³, 张晓艺¹, 黄钰明⁴

(1. 军械工程学院, 石家庄 050003; 2. 72478 部队, 济南 250310;

3. 68065 部队, 甘肃 武威 733200; 4. 73833 部队, 福州 350003)

摘要: 目的 研究某弹药储运方舱支撑件的力学特性。方法 采用 SolidWorks 软件建立三维模型, 利用 ANSYS Workbench 软件进行静力学和动力学的仿真分析。结果 仿真结果显示, 该支撑件在静力学中所受的最大应力值为 2633.7 Pa, 最大变形量为 5.6847×10^{-5} m, 动力学中振动形式有弯曲振动和扭曲振动, 前 6 阶的固有频率在 117.5 ~ 286.7 Hz 之间。结论 研究表明, 该支撑件满足结构的刚强度要求, 并为下一步进行瞬态动力学分析、随机振动分析奠定了基础。

关键词: 弹药储运方舱; ANSYS Workbench; 刚度分析; 强度分析; 模态分析; 支撑件

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2014.03.006

中图分类号: TJ208 文献标识码: A

文章编号: 1672-9242(2014)03-0025-05

Mechanics Analysis on the Support in an Ammunition Storage and Transportation Shelter Based on ANSYS Workbench

WANG Wei^{1,2}, XUAN Zhao-long¹, DUAN Zhi-qiang¹, CHENG Ze³, ZHANG Xiao-yi¹, HUANG Yu-ming⁴

(1. Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China; 2. No. 72478 Unit of PLA, Jinan 250310, China;

3. No. 68065 Unit of PLA, Wuwei 733200, China; 4. No. 73833 Unit of PLA, Fuzhou 350003, China)

ABSTRACT: Objective To study the mechanics characteristics of the support in an ammunition storage and transportation shelter. **Methods** This article adopted the SolidWorks software to establish the three-dimensional model, and simulative analyses of statics and dynamics were carried out using the ANSYS Workbench software. **Results** The result of simulation indicated that the biggest stress and deformation of the support subjected in statics were 2633.7 Pa and 5.6847×10^{-5} m, respectively; and the vibration modes in dynamics were bending vibration and twisted vibration. The preceding 6 ordered inherent frequencies were in the range of 117.5 ~ 286.7 Hz. **Conclusion** The research indicated that this support satisfied the rigid strength demand of the structure, and laid a foundation for the transient dynamics analysis and random vibration analysis.

KEY WORDS: ammunition storage and transportation shelter; ANSYS Workbench; rigidity analysis; strength analysis;

收稿日期: 2014-01-16; 修订日期: 2014-04-19

Received: 2014-01-16; Revised: 2014-04-19

作者简介: 王维(1987—),男,在读硕士,主要研究方向为弹药保障与安全技术。

Biography: WANG Wei(1987—), Male, Master graduate student, Research focus: ammunition support and security technology.

modality analysis; support

弹药储运方舱是针对我军弹药技术特点及作战运用实际设计的新型集装单元^[1],为了集装、固定药筒和引信,防止在装卸和运输过程中发生碰撞,同时为了存取方便,采用支撑件放置药筒和引信。由于药筒的筒壁较薄,只有 $0.7 \sim 2 \text{ mm}$ ^[2],受到压力后很容易变形,影响其作战效能,同样引信也不能受到压力,因此,支撑件不仅要限制药筒、引信的运动,还要支撑其重量,避免底层药筒、引信支撑上部药筒和引信的重量。由于其结构和受力情况较为复杂,用传统的力学分析方法或工程板梁理论来分析支撑件的受力状态较为困难^[3],所以需要应用有限元分析软件进行力学分析、验证支撑件的受力及变形情况,以判断该结构设计是否满足强度和刚度的要求。

1 支撑件构成

文中以某储运方舱为例,支撑件固定在该弹药储运方舱的中间部位。舱体为“工”字型结构,有利于提高方舱舱体的强度^[4],其结构关系如图 1 所示。药筒和引信在支撑件中采用的是横装方式,分为 4 层,每层放置 3 个药筒、3 个引信,为了方便取放弹药,方舱设计成前后两侧开门,其中 6 个药筒、6 个引信从前侧取放,其余的从后侧取放。为了固定药筒和引信,在支撑件中设置药筒限位孔。由于支撑件的体积较大,为了减轻质量,在设计支撑件材料时,选择密度较小的硬质聚氨酯泡沫,而且硬

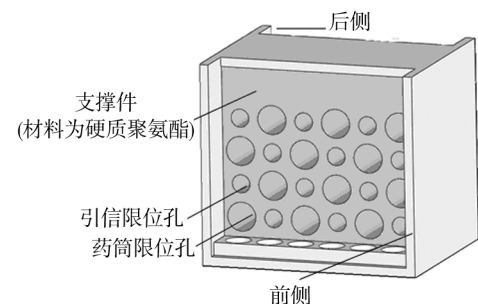


图 1 弹药储运方舱示意

Fig. 1 Sketch figure for the ammunition storage and transportation shelter

质聚氨酯泡沫还具有保温性能好、尺寸稳定性好、易注塑成形和一定的防火能力等特点^[5]。

2 有限元模型的建立

2.1 建立几何模型

有限元模型的建模精度对于分析结果的影响很大,模型的好坏甚至决定了分析结果的应用价值^[6]。可以采用 ANSYS Workbench 中的 Design-Modeler 工具直接建模,也可以采用从外部导入几何体的方式^[7],本文选择后一种建模方式。首先在软件 SolidWorks 设计三维模型,然后导入到 ANSYS Workbench 中,由于支撑件采用整体注塑成形,结构较为规则,不需要进行简化处理。

2.2 有限元网格划分

有限元网格数目过少,容易产生畸变,并影响计算精度。细划网格可以使结果更精确,但是会增加 CPU 计算时间和需要更大的存储空间^[8]。根据实体模型的大小及考虑网格规模,取单元大小为 20 mm 进行划分。

六面体网格可以减少单元数量,加快求解收敛,可以提高分析精度,减少数值错误^[9],对质量好的几何模型应首选六面体网格划分。本文采用六面体网络划分法划分网格后的有限元模型如图 2 所示。划分网格后生成 220 765 个节点,57 663 个单元。

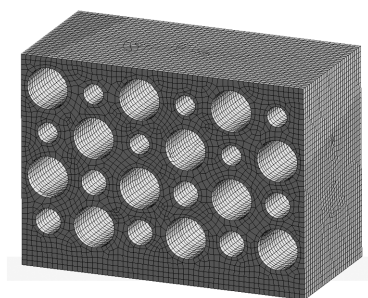


图 2 支撑件模型网格划分

Fig. 2 Meshing of the support model

2.3 材料参数

硬质聚氨酯的主要参数:密度为 40 kg/m^3 ;弹性模量为 10 MPa ;泊松比为 0.3 ;压缩强度极限为 0.4 MPa ;拉伸强度极限为 0.6 MPa ^[10]。

3 静刚度、强度分析

3.1 载荷及约束处理

采用横装交叉方式放置药筒和引信,作用在支撑件上的载荷主要由药筒、引信和支撑件的重力产生。药筒作用在支撑件上的载荷并不是均布载荷,重心靠近药筒底部,为了便于计算,简化为均布载荷作用于药筒限位孔内。由于药筒是圆柱形,加载时选用轴承载荷 (Bearing Load),软件中采用的计算方法是根据径向分量的投影面积来分布压力载荷的。根据强度设计准则,需要安全系数为 $1.7\sim 2.0$ ^[11],药筒重量 $G_1=m_1g=156.96\text{ N}$ 。为安全起见,取 2.0 作为安全系数,则加载在药筒限位孔的载荷 $F_1=2.0\times G_1=313.92\text{ N}$ 。引信重量 $G_2=m_2g=9.81\text{ N}$,同理加载在引信限位孔的载荷 $F_2=2.0\times G_2=19.62\text{ N}$ 。支撑件的重量 $G_3=m_3g=128.51\text{ N}$ 。支撑件加载重力时,选择施加竖直向下的重力加速度。

为保持弹药储运方舱内支撑件的位置固定,需要将两侧面及底面与蒙皮相连接。为了简化约束条件,假设与蒙皮相连接的部分固定,则约束条件为加载两侧面及底面固定约束 (Fixed Support)。

3.2 有限元分析结果

在设计树中加入所要求的结果,要求应力 (Stress) 云图和形变 (Deformation) 云图,应用 ANSYS Workbench 进行仿真计算。

3.2.1 应力分析

支撑件的应力分析结果如图 3 所示,最大应力发生在底侧药筒支撑部分,最大应力值为 2633.7 Pa ,远远小于材料强度极限,满足材料的强度极限。

3.2.2 变形分析

变形分析结果如图 4 所示,最大变形发生在最上侧中间部分,最大变形量为 $5.6847\times 10^{-5}\text{ m}$ 。在设计时为了便于药筒、引信放置,圆孔直径比药筒、引

信直径大 2 mm ,所以最大变形远远小于 2 mm ,满足强度要求。

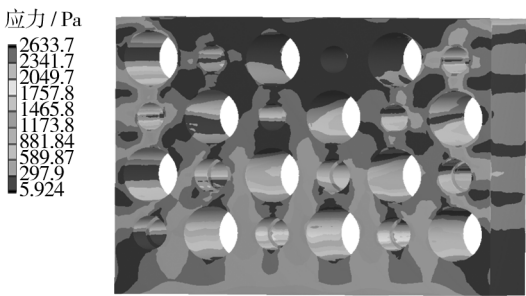


图 3 支撑件应力
Fig. 3 Stress nephogram of the support

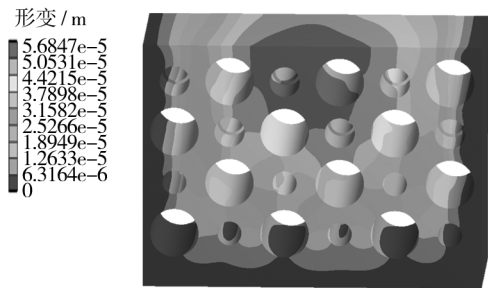


图 4 支撑件形变
Fig. 4 Deformation nephogram of the support

4 模态分析

模态是机械结构的固有振动特性,每一个模态具有特定的固有频率、阻尼比和模态振型^[12]。模态分析主要用于确定结构或机器部件的振动特性 (即固有频率和振型),固有频率和振型是承受动载荷机构设计中的重要参数^[13]。通过仿真可以得到支撑件固有的振动特性即固有频率和振型^[14],在此基础上,可以进一步分析支撑件在各种动态激励下的响应。在结构的动态分析中,各阶模态所具有的权因子大小与该模态频率的倒数成反比,即频率越低,权重越大,就是说低阶模态特性基本决定了产品的动态性能^[15]。

该支撑件涉及到的动力学主要是在运输及装卸过程中,所以需要分析在放置药筒、引信情况下支撑件的模态,需要计算时加载预应力及约束条件。文中计算了前 6 阶固有模态,前 6 阶模态振型如图 5 所示,在预应力作用下的固有频率和振型见表 1。

表 1 支撑件前 6 阶模态频率振型表

Table 1 The preceding 6 ordered inherent frequencies and vibration modes

模态阶数	频率/Hz	振型说明
1	117.5	弯曲振动(支撑件顶侧中部振幅较大)
2	196.48	扭转振动(支撑件顶侧中部到第一层(从上至下计数)中部振幅较大)
3	202.58	扭转振动(支撑件第一层左右两侧中部振幅较大)
4	232.54	弯曲振动(支撑件第三层中部振幅较大)
5	261.49	扭转振动(支撑件第三层中部振幅较大)
6	286.7	弯曲振动(支撑件第二层中部到第三层中部振幅较大)

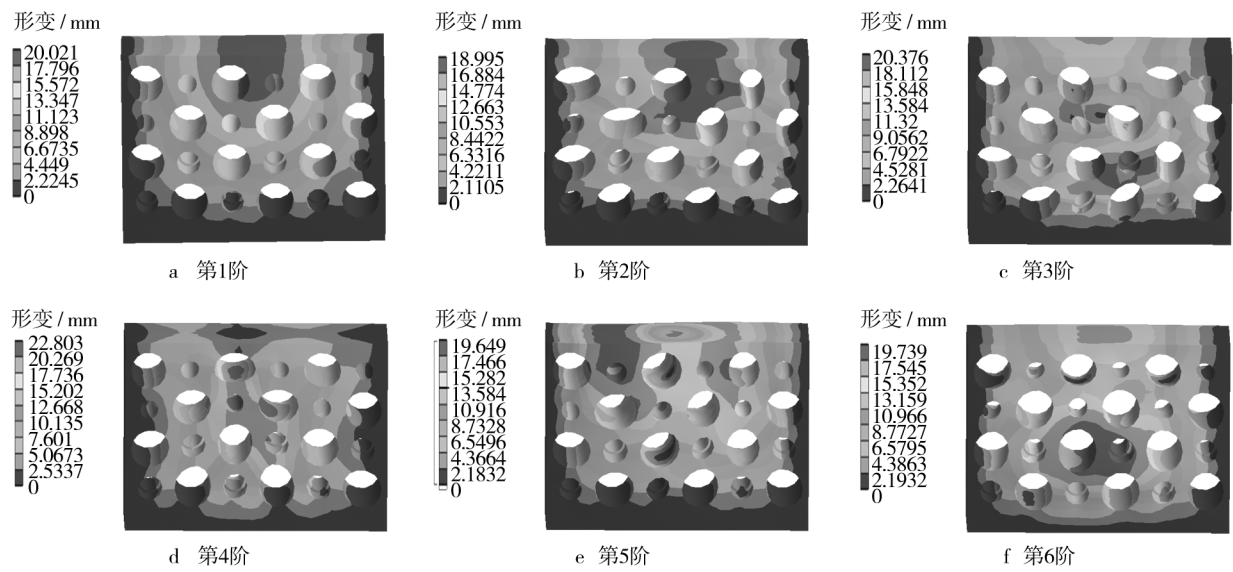


图 5 模态振型

Fig. 5 Order modal vibration modes

5 结论

文中应用有限元软件 ANSYS Workbench 分析建立了支撑件的有限元模型,分别进行了静态刚度、强度分析和动态的模态分析。结果表明,在最大载荷工况下,支撑件的最大应力值远小于材料强度极限,最大变形不超过 2 mm,满足结构的刚强度要求。振动形式有弯曲振动和扭曲振动,振幅较大区域集中于顶侧中部及第 1、第 2、第 3 层中部区域;振动的前 6 阶频率集中在 117.5 ~ 286.7 Hz 之间,为下一步进行瞬态动力学分析、随机振动分析奠定了基础。

参考文献:

[1] 宣兆龙,赵瑾,刘亚超. 钢丝绳隔振器及其在弹药方舱中的应用[J]. 装备环境工程,2012,9(4):79—81.
XUAN Zhao-long,ZHAO Jin,LIU Ya-chao. Application of Wire-rope Vibration Isolator in Ammunition Shelter[J]. Equipment Environmental Engineering,2012,9(4):79—81.

[2] 赵晓利,王军波. 弹药学[M]. 北京:解放军出版社,1998.
ZHAO Xiao-li,WANG Jun-bo. Ammunition[M]. Beijing: Publishing House of PLA,1998.

[3] 刘亚超. 弹药方舱结构与力学性能分析[D]. 石家庄:军械工程学院,2012.
LIU Ya-chao. The Structural Design and Mechanical Properties Analysis of Ammunition Shelter[D]. Shijiazhuang:

- Ordnance Engineering College, 2012.
- [4] 刘亚超, 宣兆龙, 乐惠宁, 等. 弹药集装单元储存静力学有限元分析[J]. 军械工程学院学报, 2011, 23(6): 39—42.
- LIU Ya-chao, XUAN Zhao-long, YUE Hui-ning, et al. Finite Element Analysis of Statics for Ammunition Packaging Unit[J]. Journal of Ordnance Engineering College, 2011, 23(6): 39—42.
- [5] 王康, 黄红军, 万国顺, 等. 聚氨酯泡沫材料的粘接性能研究[J]. 装备环境工程, 2012, 9(5): 122—125.
- WANG Kang, HUANG Hong-jun, WAN Guo-shun, et al. Study of Bonding Performance of Polyurethane Foam[J]. Equipment Environmental Engineering, 2012, 9(5): 122—125.
- [6] 刘加凯, 齐杏林, 崔静, 等. 基于 ANSYS 仿真的引信振动强化试验夹具设计[J]. 装备环境工程, 2010, 7(2): 95—98.
- LIU Jia-kai, QI Xing-lin, CUI Jing, et al. Design of Fuse Fixture Used in Vibration Enhancement Test Based on ANSYS Simulation[J]. Equipment Environmental Engineering, 2010, 7(2): 95—98.
- [7] 姚道壮, 杨建国, 吕志军. 基于 ANSYS Workbench 的货架立柱截面优化设计[J]. 东华大学学报, 2001, 7(4): 438—441.
- YAO Dao-zhuang, YANG Jian-guo, LYU Zhi-jun. Optimization of Steel Storage Rack Column Cross-sections Based on ANSYS Workbench[J]. Journal of Donghua University, 2001, 7(4): 438—441.
- [8] 浦广益. ANSYS Workbench 12 基础教程与实例详解[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2010.
- PU Guang-yi. The Basis Course and Example Explanation of ANSYS Workbench 12[M]. Beijing: China Waterpower Press, 2010.
- [9] 许京荆. ANSYS 13.0 Workbench 数值模拟技术[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2012.
- XU Jing-jing. The Numerical Simulation Technique of ANSYS 13.0 Workbench[M]. Beijing: China Waterpower Press, 2012.
- [10] TAN Suqin, ABRAHAM Tim, FERENCE Don, et al. Rigid Polyurethane Foams from a Soybean Oil-based Polyol[J]. Polymer, 2011, 52(13): 2840—2846.
- [11] 任文敏, 陈艳秋, 范钦珊. 材料力学[M]. 清华大学出版社, 2004.
- REN Wen-min, CHEN Yan-qiu, FAN Qin-shan. Material Mechanics[M]. Tsinghua University Press, 2004.
- [12] 张国成, 樊放要. 层合大板方舱车舱体的模态分析方法对比研究[J]. 机械制造与自动化, 2007: 80—82.
- ZHANG Guo-cheng, FAN Qi-yao. Comparison Research on Modal Analysis Methods of Laminated Plate Van[J]. Machine Building & Automation, 2007: 80—82.
- [13] 王良模, 吴长风, 王辰至. 特种车辆结构有限元模态分析[J]. 南京理工大学学报, 2008(11): 94—95.
- WANG Liang-mo, WU Chang-feng, WANG Chen-zhi. Finite Element Analysis of Special Vehicle Shelter Structure[J]. Journal of Nanjing University of Science and Technology, 2008(11): 94—95.
- [14] 陈勇武. 基于 ANSYS Workbench 的喷涂机器人的模态分析[J]. 现代机械, 2012(2): 44—46.
- CHEN Yong-wu. Model Analysis of a 6-DOF Painting Robot Based on ANSYS Workbench[J]. Modern Machinery, 2012(2): 44—46.
- [15] 池振坤, 杨俊智, 周强, 等. 基于 ANSYS Workbench 的大板式方舱模态分析[J]. 汽车工程学报, 2011, 1(3): 226—229.
- CHI Zhen-kun, YANG Jun-zhi, ZHOU Qiang, et al. Analysis of Modal Characteristics of the Square Cabin Based on ANSYS Workbench[J]. Chinese Journal of Automotive Engineering, 2011, 1(3): 226—229.

(上接第 24 页)

- SHEN Ze-ji, SU Gui-jiao. The Electrochemical Corrosion Mechanism of Iron[J]. Modern Cast Iron, 2002(1): 13—16.
- [15] 师素粉, 夏兰廷, 李宏战. 铸铁材料在水环境中的腐蚀研究现状[J]. 铸造设备研究, 2008(2): 43—47.
- SHI Su-fen, XIA Lan-ting, LI Hong-zhan. Research Status of Cast Iron Corrosion in Aqueous Environments[J]. Casting Equipment Research, 2008(2): 43—47.
- [16] 郝石坚. 现代球墨铸铁[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1989.
- HAO Shi-jian. Modern Ductile Iron [M]. Beijing: Coal Industry Press, 1989.