

空间碎片充气展开防护结构的模态分析

苗常青^{1,2}, 王华吉¹, 谭惠丰¹, 盛京²

(1. 哈尔滨工业大学 复合材料与结构研究所, 哈尔滨 150080, miaocq@hit.edu.cn; 2. 天津大学 材料学院, 天津 300072)

摘要:为解决目前机械式展开防护屏存在的固有问题,提出了一种新型可充气展开防护结构,并研究了该充气展开防护结构的动力学特性.对充气展开防护结构频率的影响因素进行了理论分析,通过有限元软件 ANSYS 进行了防护结构的模态分析,并研究了支撑管结构参数对防护结构动态特性的影响,得到了充气管直径以及充气管壁厚度等尺寸参数对充气结构模态的影响规律.分析结果表明,理论分析与模拟结果相一致,并且充气支撑管的直径和厚度对防护结构的模态有着重要影响.

关键词: 充气展开防护结构;模态分析;有限元;动力学

中图分类号: TB122

文献标志码: A

文章编号: 0367-6234(2010)02-0239-03

Modal analysis of inflatable shield for space debris

MIAO Chang-qing^{1,2}, WANG Hua-ji¹, TAN Hui-feng¹, SHENG Jing²

(1. Research Institute of Center of Composite Materials and Structure, Harbin Institute of Technology, Harbin 150080, China, miaocq@hit.edu.cn; 2. Material School, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: According to the essential characteristic of mechanical shields, a new inflatable shield was developed to settle the disadvantage of the existed shields, and its dynamic character was studied. The modal analysis of the inflatable shield was carried out by ANSYS. Factors affecting the inflatable structures were analyzed according to the theory of structural dynamics, and the principle of effects of structural dimension parameters on the modes of the configuration was obtained. It is found that the theoretical analysis agrees well with simulated results, and thickness and diameter of the inflatable pipe are main factors affecting the modes of the configuration of inflatable shield.

Key words: nflatable shield; modal analysis; finite element; dynamics

空间碎片对航天器危害日益严重,须利用防护结构提高其抗空间碎片撞击防护能力.目前防护结构主要是单层防护屏、双层防护屏、多层防护屏等^[1-8]非展开式或机械式展开结构,存在发射体积大、展开后体积小、防护效果差等问题,限制了其防护效果.可刚化充气展开防护结构是一种以充气展开支撑管作为基本支撑结构单元而构建的空间碎片防护结构^[9-10],可以为航天器提供空间碎片防护,具有结构简单、折叠体积小、重量轻、发射费用低等优点,可为航天器提供有效的抗空间碎片撞击防护.

1 有限元分析模型

所设计的空间碎片充气展开防护结构如图1所示.在对充气展开防护屏进行模态分析时,忽略了端盖部分的电加热线路、充气管路、端盖连接方式等的影响,并假定材料为线弹性.选用有限元软件 ANSYS 中的四边形壳单元 shell63,其有限元模型如图1(b)所示.

防护屏各结构尺寸以及材料常数分别见表1~表3.

2 防护屏模态分析

采用 Block Lanczos 方法,利用 ANSYS 软件进行了充气展开防护结构模态分析,得到了结构的固有频率和振型,如图2和图3所示,前3阶固有频率分别为0.672785,1.541,2.739.

收稿日期: 2009-03-02.

作者简介: 苗常青(1972—),男,博士,副教授;

谭惠丰(1969—),男,教授,博士生导师.

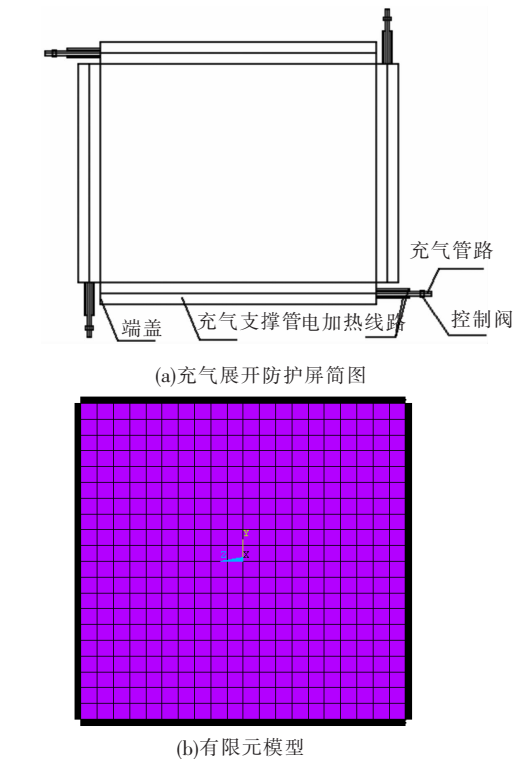


图 1 充气展开防护屏简图及有限元模型

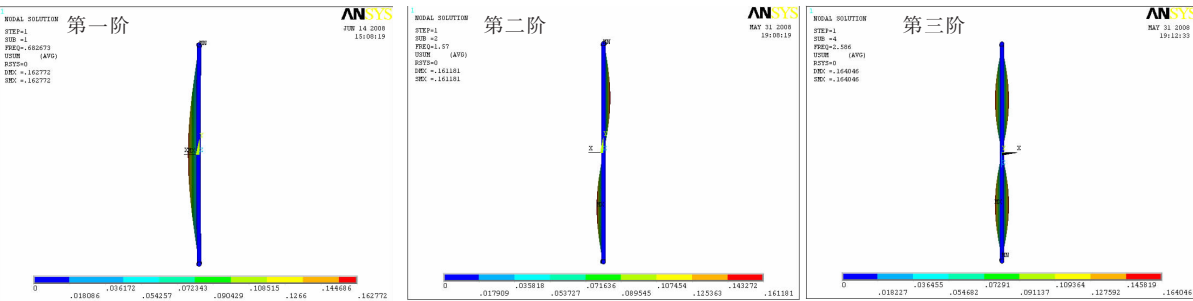


图 2 防护结构前三阶振型(侧视图)

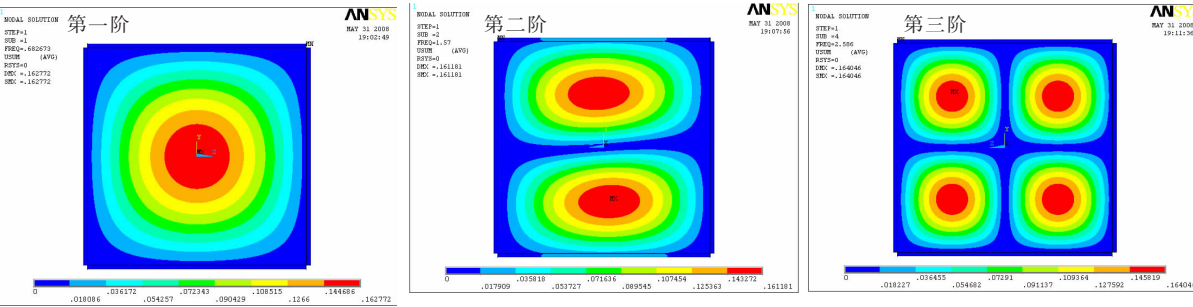


图 3 防护结构前三阶振型(正视图)

设:防护屏和充气管的刚度分别为 K_p 和 K_g , 在 1 方向上受到应力 σ 时的变形分别为 ε_1 和 ε_2 (如图 4(a)、图 4(b)),则整体防护结构的等效刚度 K 为

$$\sigma = K_p \varepsilon_1 = K_g \varepsilon_2 = K(2\varepsilon_2 + \varepsilon_1). \quad (2)$$

对于充气管,其刚度为

$$K_g = \frac{E I^3}{L^3} = \frac{E \pi^3 ((d + 2h)^4 - d^4)^3}{32 \, 768 L^3}. \quad (3)$$

防护结构的整体质量为

表 1 充气管尺寸及材料常数

L/m	d/cm	h/mm	$\rho/(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$	E/GPa	μ
5	10	0.5	2 000	57	0.35

表 2 端盖尺寸及材料常数

d/cm	h/mm	$\rho/(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$	E/GPa	μ
10	3	2 700	70	0.35

表 3 防护屏尺寸及材料常数

L/m	d/cm	h/mm	$\rho/(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$	E/GPa	μ
5	5	3	2 000	57	0.35

3 防护结构尺寸对其动态特性影响

3.1 防护结构动态特性影响因素分析

空间碎片充气展开防护结构固有频率为

$$\omega = \sqrt{\frac{K}{M}}. \quad (1)$$

式中: K 为防护结构的刚度, M 为防护结构的质量.

根据式(1),提高防护屏和支撑管的刚度和降低其质量是提高结构固有频率的重要手段.

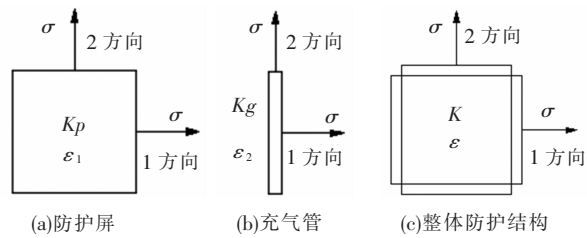


图4 防护结构等效刚度计算

3.2 支撑管厚度的影响

壁厚 h 取分别 0.1 ~ 2.0 mm 进行模态分析,研究在此范围内支撑管壁厚对结构模态参数的影响.取前 10 阶频率,分析结果如图 5 所示.可以看出:当支撑管壁厚 h 增加时,防护结构的前 10 阶频率都有所增加,说明在这个厚度和频率范围内,厚度的增加引起的结构刚度的增加起了主导作用.

3.3 支撑管直径的影响

对支撑管直径 5 ~ 20 cm 进行模态分析,研究在此范围内支撑管直径对结构模态参数的影响.取前 10 阶频率,具体结果如图 6 所示.

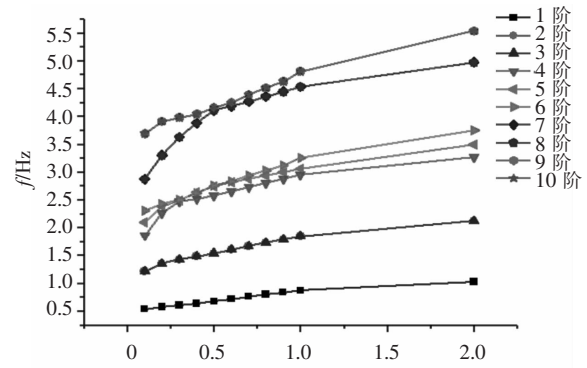


图5 支撑管壁厚对频率的影响

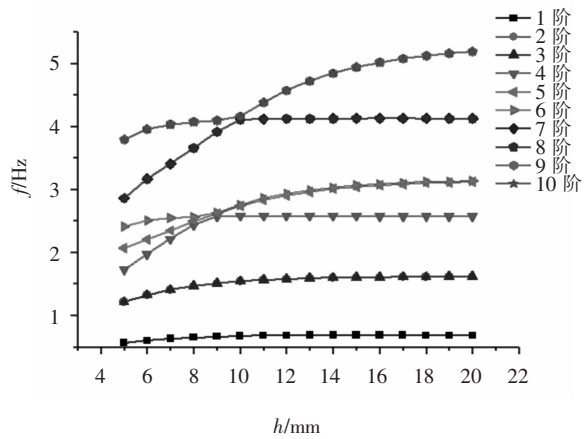


图6 支撑管直径对频率的影响

由图6可以看出,当支撑管直径 d 增加时,防护结构的 1、4、7、8 阶频率先增加后减小,其余各阶频率都呈逐渐增加的趋势.说明在这个支撑管直径和频率范围内,支撑管直径的增加引起的结构刚度的增加起了主导作用.

4 结 论

- 1) 本文采用的数值分析方法与理论分析方法结果一致,说明分析结果是正确的.
- 2) 支撑管厚度 h 和直径 d 增加,其刚度提高,固有频率也相应提高;同时 d 和 h 的增加也增加了支撑管得质量,因而又降低其固有频率.在本文分析的取值范围内,支撑管壁增加时,防护结构的固有频率有所增加;支撑管直径增加时,防护结构的固有频率呈增加的趋势.

参考文献:

[1] DESTEFANIS R, SCHAFFER F, LAMBERT M, *et al.* Selecting enhanced space debris shields for manned spacecraft [J]. International Journal of Impact Engineering, 2006, 33(1/12): 219 – 230.

[2] 管公顺. 航天器空间碎片防护结构超高速撞击特性研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2006.

[3] DESTEFANIS R, SCHAFFER F. Enhanced space debris shields for manned spacecraft [J]. International Journal of Impact Engineering, 2003, 29(1/10): 215 – 226.

[4] 韩增尧. 空间碎片被动防护技术研究的最新动向[J]. 航天器工程, 2005, 14(2): 8 – 14.

[5] IOILEV A G, BASHUROV V V, BELOV G V, *et al.* Multi-layered shielding against hypervelocity space debris: conceptual study of implementation of a high – porous material layer [J]. International Journal of Impact Engineering, 2003, 29(1/10): 357 – 367.

[6] TANAKA M, MORITAKA Y, AKAHOSHI Y, *et al.* Development of a lightweight space debris shield using high strength fibers [J]. International Journal of Impact Engineering, 2001, 26(1/10): 761 – 772.

[7] CHRISTIANSEN E L, KERR J H, FUENTE de la H M, *et al.* Flexible and deployable meteoroid/debris shielding for spacecraft [J]. International Journal of Impact Engineering, 1999, 23(1): 125 – 136.

[8] AKAHOSHI Y, NAKAMURA R, TANAKA M. Development of bumper shield using low density materials [J]. International Journal of Impact Engineering, 2001, 26(1/10): 13 – 19.

[9] 苗常青, 万志敏, 杜星文. 可刚化充气展开的平面框架支撑结构: 中国, ZL2005 1 0010368. 7 [P]. 2008 – 01 – 16.

[10] 苗常青, 谢志民, 刘宇艳, 等. 桁架式可刚化充气展开的太阳能电池阵: 中国, ZL200510010455. 2 [P]. 2008 – 01 – 16.