0254-6124/2012/32(2)-284–05 *Chin. J. Space Sci.* 空间科学学报

Yang Xuan, Yang Hua, Qiao Zhihong, Ren Weijia. Simulation to exploring boom of TC-2 satellite in technical state improving design. *Chin. J. Space Sci.*, 2012, **32**(2): 284-288

TC-2 卫星探测伸杆在技术状态更改设计中的仿真分析

杨 萱[1] 杨 华[2] 乔志宏[3] 任维佳[3]

1(中国科学院空间科学与应用研究中心 北京 100190)

2(内蒙古电子信息职业技术学院 呼和浩特 010011)

3(中国科学院光电研究院 北京 100080)

摘 要 讨论了 TC-2 卫星探测伸杆在技术状态更改中的结构和力学问题, 并对 TC-2 卫星探测伸杆锁紧支座进行了模态分析、结构静强度计算和解锁机构展开的仿真分析. 结果表明, 伸杆锁紧支座在更换火工切割器后, 支座频率变化不大, 不会对整星的基频产生影响, 改进后的锁紧支座结构能够承受动载荷, 最大应力和应变均在材料的许用范围之内, 锁紧支座在打开过程中不会与任何零件发生干涉, 满足卫星对伸杆部件的要求.

关键词 TC-2 卫星, 火工切割器, 仿真分析

中图法分类号 P3

Simulation to Exploring Boom of TC-2 Satellite in Technical State Improving Design

YANG Xuan[1] YANG Hua[2] QIAO Zhihong[3] REN Weijia[3]

1(*Center for Space Science and Applied Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100190)

2(*Inner Mongolia Electronic Information Technical College, Hohhot* 010011)

3(*Academy of Opto-Electronics, Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100080)

Abstract A highly reliable two-segment deployable boom has been developed and manufactured for the Double Star Program. Two spacecrafts, one for equatorial, the other for polar orbit are equipped each with two mechanisms. One boom deploys two flux-gate magnetometers, the other a search coil magnetometer. The paper discusses the structure and mechanical problems of TC-2 satellite's exploring booms in technical state improving design, and analyzes the mode, structure static strength as well as the clamp expanding process of exploring boom in TC-2 satellite. Results show that the boom clamp's frequency only had small change after altering the pyrotechnical rod cutter and it would not have influence on the satellite's frequency. The improved clamp can bear dynamic load, and its maximal stress and strain are all within the allowed range of material. Moreover, the clamps

2010-08-21 收到原稿, 2010-11-01 收到修定稿

E-mail: yangxuan@nssc.ac.cn

do not intervene with other parts when they are deployed, which can meet the satellite's request.

Key words　TC-2 satellite, Pyrotechnical rod cutter, Simulation analysis

0　引言

双星探测计划主要科学目标是探测近地赤道区及近地极区两个磁层活动区电磁场和能量粒子的时空变化规律. TC-2 卫星部分有效载荷探测仪器在轨工作时, 要求其探头伸出卫星本体一定的距离以避免卫星剩磁和交流磁场的影响. 因此, 使用重量轻、可靠性高、满足剩磁要求的伸杆展开机构, 将有效载荷的探头安放在离卫星表面一定距离的位置上, 是双星探测计划进行空间探测的关键技术之一.

按照设计及卫星总体的试验要求, 探测伸杆在交付卫星前已完成设计、制造、装配以及部件级环境模拟试验. 交付卫星后, 伸杆还要经历星上安装及安装精度检测、展开试验、遥测信号检测、火工品安装和起爆试验以及随整星进行的一系列环境模拟试验.

在进行 TC-2 卫星伸杆的火工切割器起爆试验时, 火工品出现问题, 因此, TC-2 卫星没有继续使用原有的火工切割器. 经过卫星总体和有效载荷方面的多次论证, TC-2 卫星伸杆改用中国生产的火工切割器.

对这一方案进行了初步设计、模样加工及试装、详细设计、正样零件加工、伸杆正样件星上零件局部修改加工、伸杆正样件零部件装配及调试, 并对更改后的结构部位进行了结构模态分析、解锁机构仿真分析、结构静强度分析、力学试验、火工切割器起爆试验和伸杆展开试验等一系列设计分析及试验验证工作. 验证结果表明, 更改后的解锁机构在技术、功能、加工、装配方面是可行的, 其各方面性能指标均可满足卫星对伸杆部件的要求. TC-2 卫星探测伸杆在轨的成功展开及正常工作进一步验证了伸杆火工品技术改进方案的正确性. 本文对 TC-2 卫星伸杆在技术改进中的结构力学问题进行了仿真分析.

1　伸杆展开系统组成及改进方案

1.1　伸杆展开系统的组成

伸杆展开系统主要由磁强计伸杆机构组件、波探测器伸杆机构组件、两个磁强计探头、一个波探测器探头等组成. 磁强计伸杆机构组件的组成如图 1 所示.

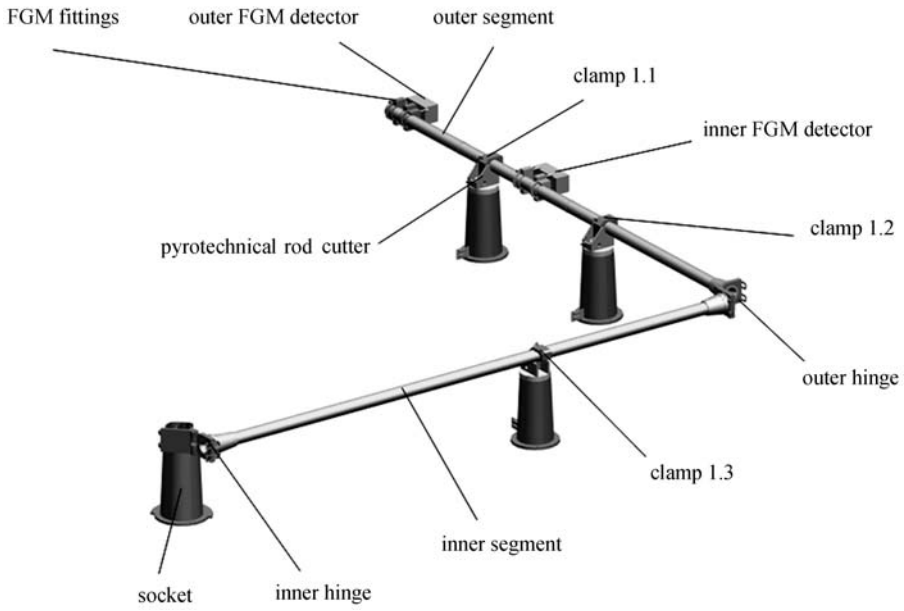


图 1　磁强计伸杆机构组件

Fig. 1　FGM boom structure component

pyrotechnical rod

1.2 伸杆结构改进方案

根据锁紧支座结构尺寸及改用的火工切割器的几何参数, 进行了多种方案设计和可行性论证, 最后确定将火工切割器放在锁紧支座中下部固定的方式, 其后对这一方案进行了一系列设计分析及试验验证工作.

在对伸杆部件进行技术更改时, 设计更改的准则包含有, 伸杆与整星的机械接口不变、电接口不变, 伸杆锁紧支座主体结构不变, 伸杆解锁及展开功能不变. 更改部位新增零件的材料及连接的标准件全部符合航天设计标准, 并且遵循结构设计的最小重量原则, 在满足零件功能和强度的前提下, 尽量减轻零件的重量.

2 力学及仿真分析

对伸杆更改的结构部位进行模态分析、结构静强度分析及解锁机构展开的仿真分析. 模态分析主要验证基频对整星频率的影响, 结构静强度分析主要验证更改部位强度和刚度是否满足整星对伸杆部件设计的要求, 解锁机构仿真分析主要检查火工切割器位置移动后, 伸杆锁紧支座压盖在转动过程中是否与其他零件发生干涉, 压盖能否正常打开.

2.1 模态分析

采用 MSC.Patran/MSC.Nastran 结构分析软件建立伸杆火工品更改前和更改后锁紧支座的有限元模型, 并进行了伸杆锁紧支座的模态分析和结构静强度分析.

由于伸杆部件在主动段或飞行段的受力变形主要是线弹性变形, 因此, 对于伸杆部件的静、动力学分析, 采用有限元数值方法进行结构分析计算. 考虑到伸杆锁紧支座主要由承力锥筒、支架、杆件等部件组成, 根据其结构和受力的特点, 采用板壳单元 (锥筒、支架)、梁单元 (分离螺杆、轴)、体单元 (火工切割器) 建立了锁紧支座结构的有限元力学模型, 并利用此模型进行模态和受力分析.

进行模态分析的主要目的是检查锁紧支座结构变化所引起的结构频率变化, 方法是对改进前和改进后的锁紧支座结构分别进行模态分析, 表 1 为两种锁紧支座结构的前 3 阶频率. 由表 1 可看出, 两种锁紧支座结构的刚度都很好, 其前 3 阶频率均在 400 Hz 以上, 而卫星的前 3 阶频率均在 100 Hz 以下, 因此, 锁紧支座结构变化不会对整星的频率产生影响. 图 2 为改进前后的有限元模型, 图 3~5 分别为改进后锁紧支座前 3 阶频率的振型.

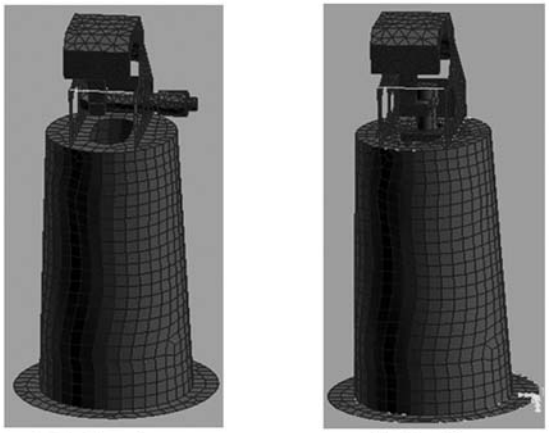
2.2 静强度分析

由于卫星在飞行过程中其星上结构会产生静力载荷 (包括纵横向加速度和压力载荷), 动力载荷 (包

表 1 锁紧支座结构模态分析结果

Table 1 Results of boom clamp modal analysis

阶数	频率/Hz		振型
	更改前	更改后	
1	461.23	401.18	整体绕 Y 轴弯曲
2	532.47	454.55	整体绕 X 轴弯曲
3	1210.6	885.78	整体绕 Z 轴扭转



(a) before change (b) after change

图 2 更改前后锁紧支座有限元模型

Fig. 2 Finite element model before and after change

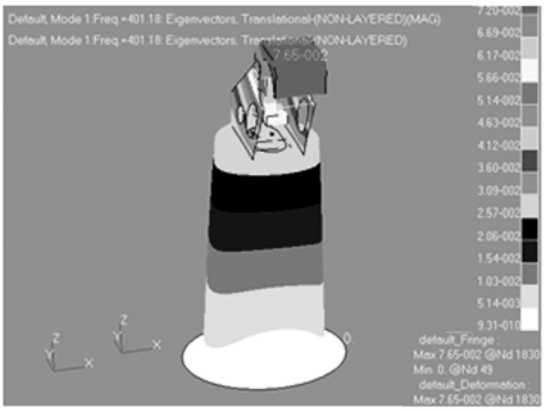


图 3 更改后第一阶振型

Fig. 3 First frequency after change

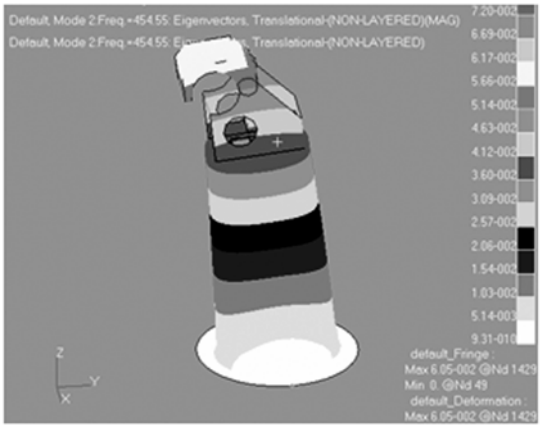


图 4　更改后第二阶振型

Fig. 4　Second frequency after change

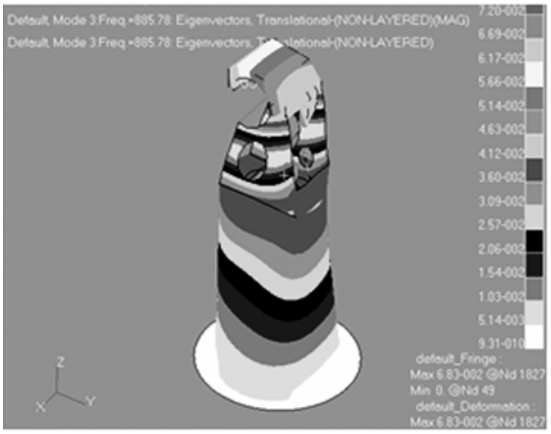


图 5　更改后第三阶振型

Fig. 5　Third frequency after change

括纵横向振动、声振和冲击载荷), 热载荷 (包括轨道上的温度及其交变载荷等) 以及空间粒子辐照和微流星撞击等. 因此, 伸杆部件在结构设计中, 必须考虑能够经受这些载荷合成的作用. 通常以准静态载荷来表示静动载荷的耦合.

已知星上设备的设计载荷为, 纵向 11.5g、横向 (X 轴或 Y 轴) 3g. 此时, 锁紧支座上杆件和探头的惯性载荷按静力等效原则转化为作用于相关节点上的等效集中载荷. 静强度计算结果如图 6 所示, 其中, 支座顶部变形最大, 其变形值为 0.004 59 mm, 火工切割器连接处的变形约为 0.002 14 mm. 图 7 为支座整体结构的应力云图, 图 8 为支座局部结构的应力云图. 由图 7 和图 8 可见, 锁紧支座火工切割器支架立板连接处的应力值最大, 为 0.808 MPa.

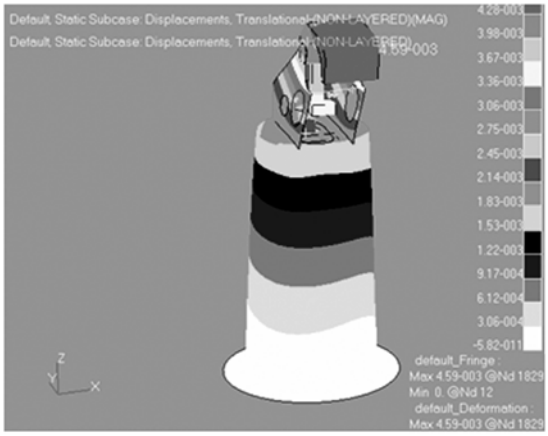


图 6　纵向和横向共同作用下结构的变形云图

Fig. 6　Structure deformation plot under longitudinal and transverse force action

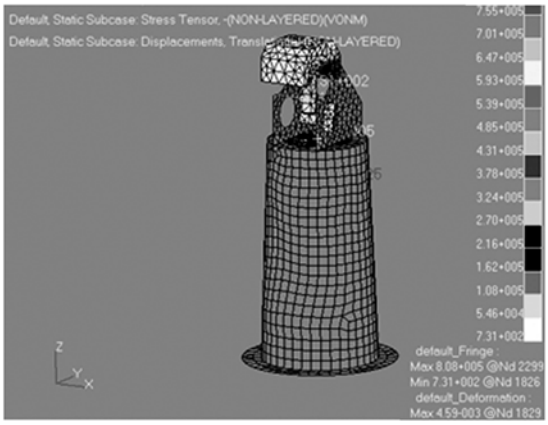


图 7　纵向和横向共同作用下支座整体结构的应力云图

Fig. 7　Structure stress plot under longitudinal and transverse force (whole)

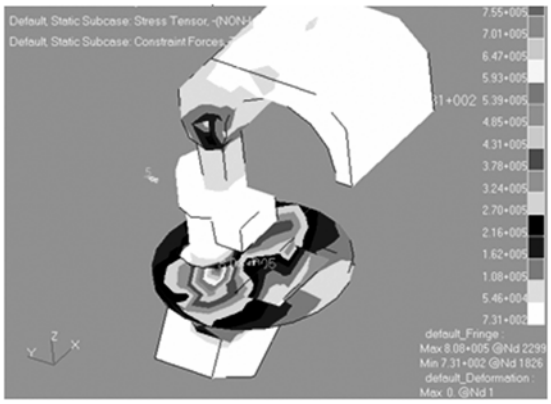


图 8　纵向和横向共同作用下支座局部结构的应力云图

Fig. 8　Structure stress plot under longitudinal and transverse force (local)



图 9 锁紧支座压盖打开过程

Fig. 9 Opening course of the clamp

静强度计算结果表明, 改进后的伸杆锁紧支座结构在轴向和横向过载联合作用下, 结构变形很小, 结构所承受的应力水平也很低. 铝合金的许用应力 (弹性变形范围之内) 为 255~275 MPa, 可见, 结构的刚度是足够的, 结构的强度储备也相当大, 能够满足整星对伸杆部件设计的要求.

2.3 机构运动仿真分析

用 UG 建立伸杆锁紧支座模型, 转入机构分析软件进行运动分析. 主要模拟分离螺杆切断后, 锁紧支座压盖在弹簧拉力作用下沿压盖轴旋转的轨迹, 并在旋转过程中, 验证压盖能否正常打开.

图 9 为压盖打开过程中的不同瞬间位置, 从切断分离螺杆开始至压盖旋转到止推杆为止. 可以看出, 分离螺杆在旋转过程中不与任何零件发生干涉.

3 结论

(1) 结构模态分析表明, 伸杆锁紧支座更换火工切割器后, 支座频率变化不大, 不会对整星的基频产生影响.

(2) 通过结构动力学模型分析, 验证了改进后的锁紧支座的结构能够承受动载荷, 最大应力和应变均在材料的许用范围之内.

(3) 通过机构运动仿真分析, 验证了锁紧支座在打开过程中不会与任何零件发生干涉.

参考文献

[1] The Macneal-Schwendler Corporation. MSC/NASTRAN Basic Dynamic Analysis User's Guide [M]. Los Angeles: MSC, 1997

[2] Leuridan J. A perspective on integration [J]. *Modal Analysis*, 1992, **7**(2):65-73

[3] Nalitolela N G. A mass or stiffness addition technique for structural parameter updating [J]. *Modal Analysis*, 1997, **7**(3):157-168

[4] Salvini P, Sestieri A. Predicting the frequency response function of a structure when adding constraints [J]. *Modal Analysis*, 1993, **8**(1):55-62