

研究简报

FY-3 卫星微波湿度计天线与接收机单元的谐响应分析

邹青¹, 呼咏¹, 王继新¹, 袁涛¹, 李靖², 张升伟², 任建华²

(1. 吉林大学机械科学与工程学院, 长春 130022; 2. 中国科学院空间科学与应用研究中心, 北京 100080)

摘要: 利用大型有限元分析软件 ANSYS 建立 FY-3 卫星微波湿度计天线与接收机单元的有限元模型, 通过在 x, y, z 3 个方向上分别施加基础正弦激励, 获得有限元模型在不同加载方式下的响应. 通过提取各监测点的位移响应, 得出了结构在正弦激励试验下是合格的结论.

关键词: 有限元; 卫星; 微波湿度计; 谐响应

中图分类号: TP391.77 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-5489(2005)04-0485-04

Harmonic Response Analysis on Antenna and Receiver Mechanism of Humidity Sounder of FY-3 Satellite

ZOU Qing¹, HU Yong¹, WANG Ji-xin¹, YUAN Tao¹, LI Jing², ZHANG Sheng-wei², REN Jian-hua²

(1. College of Machinery and Engineering, Jilin University, Changchun 130022, China;

2. Center for Space Science and Applied Research, CAS, Beijing 100080, China)

Abstract: The finite element analysis software ANSYS can be used to establish the finite element model of antenna and receiver mechanism of microwave humidity sounder of FY-3 satellite and to obtain the response characteristic of the finite element model which was stimulated by harmonic loads in x, y and z direction respectively. Judged by the displacement response data of each monitored point, the conclusion that the mechanism is eligible under the load case of harmonic loads is drawn.

Key words: finite element; satellite; humidity sounder; harmonic response

微波湿度计作为卫星载荷在发射过程中会受到周期激励的作用, 为了避免卫星载荷在飞行过程中发生失效, 在使用之前应该对卫星载荷的模型进行加载试验. 随着计算机技术的飞速发展以及有限元分析方法的逐渐成熟, 在计算机上利用有限元分析软件研究复杂卫星载荷动力学特性的技术已日趋成熟, 许多工作者在这方面做了大量工作. 在再入飞行器研究方面^[1~3], 利用有限元分析软件 MSC/NASTRAN 建立再入飞行器的有限元模型, 并进行了动力学响应分析. 在箱体结构分析研究方面^[4,5], 利用有限元分析软件 ANSYS 分析了箱体结构的动力学特性, 验证了所施加边界条件的合理性. 在仿真环境中对航天设备进行模拟分析, 设计部门可以根据仿真结果对模型进行改进, 以减小设计失败的可能性. 本文利用有限元分析软件 ANSYS 对某研究所开发的湿度仪进行谐响应分析, 预示结构对所要求施加载荷的动力学响应, 并为模型的设计改进提供参考.

1 建立有限元模型

FY-3 卫星微波湿度计天线与接收机单元在结构上可分为整机箱体、扫描驱动机构、天线系统、定标源结构、各电器盒子等部分. 对于这样一个复杂结构, 建立有限元模型时进行合理的简化, 划分了

收稿日期: 2004-10-13.

作者简介: 邹青(1962~), 女, 汉族, 教授, 从事先进制造技术及结构动力学分析的研究, E-mail: zouqing@mail.jlu.edu.cn.

基金项目: 中国科学院空间研究中心纵向课题(批准号: 吉林大学 2003 科技字 582).

12 575 个 shell 63 单元,2 621 个 beam 188 单元,3 个 mass 21 单元. 有限元模型如图 1 所示.

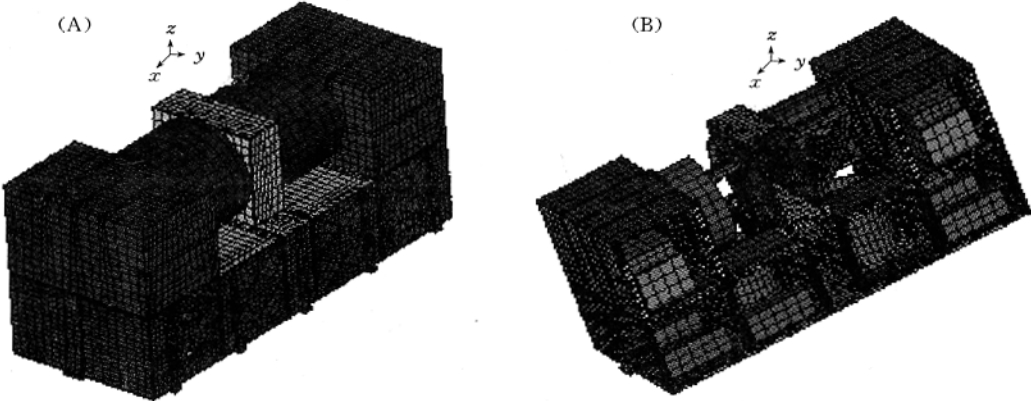


Fig.1 Meshed model

(A) Whole view of meshed model ;(B) inner view of meshed model.

2 试验条件

正弦振动试验包括各频段下的定位移激励试验与定加速度激励试验. 对于定位移激励试验,直接施加位移激励,通过谐响应分析进行模拟. 对于定加速度激励试验,先将加速度幅值在不同频率点转换成位移幅值,同上利用位移激励算法实现.

在定加速度激励的正弦振动试验工况下,加速度幅值与位移幅值的关系^[6]为位移 $D = D_0 \sin \omega t$,加速度 $A_c = \omega^2 D_0 \sin \omega t$, $\omega = 2\pi f$. 经计算得加速度幅值为 $A_m = 4\pi^2 f^2 D_0 \text{ m/s}^2$. 若 A_m 的单位用 g 表示,则 $A_m = 4\pi^2 f^2 D_0 / (1000 \times 9.8)$,由此得到 $D_0 \approx 250 A_m / f^2$,这就是加速度幅值与位移幅值的关系. 由研究单位给定的正弦振动试验条件如图 2 所示.

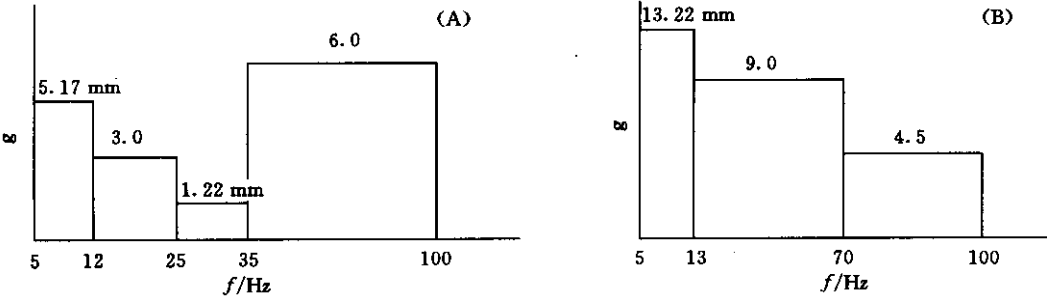


Fig.2 Harmonic stimulation load

(A) Harmonic stimulation load in x orientation ;(B) harmonic stimulation load in y and z orientation.

3 计算结果

以天线抛面中心监测点(见图 3)为例,其在 x 方向 5 ~ 12 Hz,5.17 mm 定位移激励条件下的响应曲线见图 4.

图 4(A)所示为位移响应曲线,曲线 a 在 12 Hz 处取最大值,其位移响应范围为 5.19 ~ 5.23 mm,则其位移响应超差为 0.04 mm;同理,曲线 b 在 12 Hz 处取最大值,其位移响应范围为 5.15 ~ 5.18 mm,则其位移响应超差为 0.03 mm.

图 4(B)所示为应力响应曲线,曲线 b 在 5 Hz 处应力取最大值 0.6 MPa;同理,曲线 c 在 5 Hz 处应力取最大值 0.4 MPa.

采用上述方法,针对每种试验条件(激励方式及频段),提取了各监测点在各激励方向的位移、应力,各试验工况下最大位移响应及应力响应见表 1.

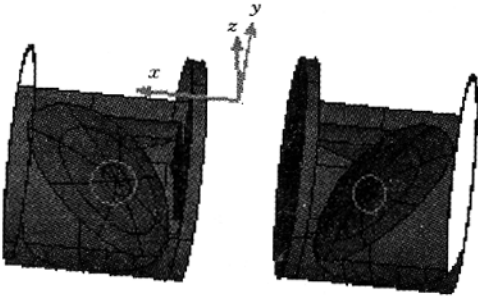


Fig.3 Monitored points at the centers of left and right antenna paraboloid

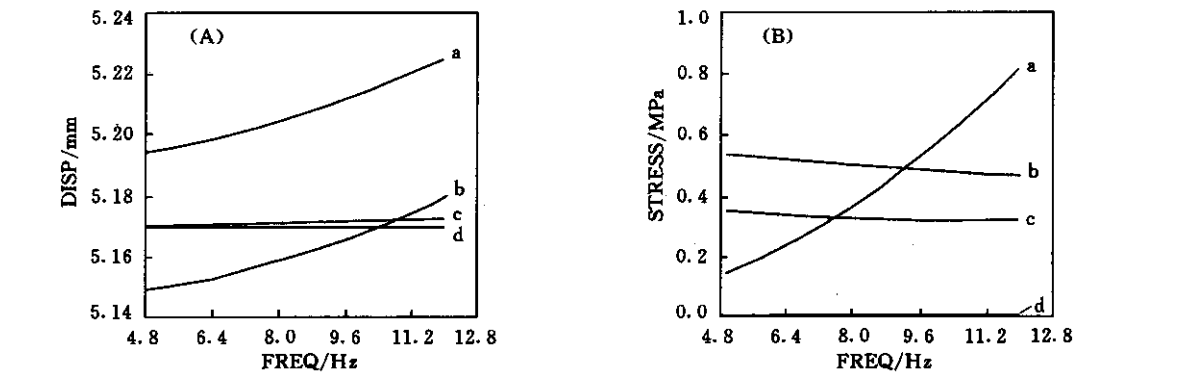


Fig. 4 Displacement and stress response curves of monitored points at the centers of left and right antenna paraboloid
(A) Displacement response curves ;(B) stress response curves.

Table 1 The largest responses of whole mechanism on respective conditions *

| Test condition | | | The largest difference of displacement/mm and acceleration/g of monitored points | Location | The largest stress of whole mechanism/MPa | Location |
|--------------------|-------------|--------------------|--|------------------------------|---|----------------------------|
| Frequency range/Hz | Orientation | Vibration quantity | | | | |
| 5 ~ 12 | x | 5. 17 mm | 0. 055 | Antenna | 9 | Antenna |
| 12 ~ 25 | x | 3g | 0. 11 | Antenna | 12 | Antenna of encoder bracket |
| 25 ~ 35 | x | 1. 22 mm | 0. 104 | Antenna | 40 | Encoder bracket |
| 35 ~ 100 | x | 6g | 5. 4 | Antenna | 78 | Antenna |
| 5 ~ 13 | y | 13. 22 mm | 0. 037 | Box of measuring temperature | 50 | Antenna |
| 13 ~ 70 | y | 9g | 3. 2 | Antenna | 49 | Antenna |
| 70 ~ 100 | y | 4. 5g | 5. 3 | Antenna | 29 | Antenna |
| 5 ~ 13 | z | 13. 22 mm | 0. 14 | Antenna | 80 | Antenna of encoder bracket |
| 13 ~ 70 | z | 9g | 3 | Antenna | 80 | Antenna |
| 70 ~ 100 | z | 4. 5g | 5. 9 | Antenna | 24 | Antenna |

* Regardless of electromotor bracket and flange hole of encoder bracket when calculating the largest difference of displacement and the largest stress. According to the different types of stimulation on respective conditions , the differences of displacement and acceleration are obtained from the stimulations of displacement and acceleration respectively.

最大位移(或加速度)差的计算是将各部分的位移响应减掉基础的位移(加速度)响应,然后取差的最大值得到的. 最大应力的提取考虑了监测点的位移(或加速度)响应及应力响应,在应力及位移(或加速度)响应的极值频率点查看整机模型的应力响应.

从各试验工况的模拟结果可以看到,位移激励试验工况下,所有监测点的位移响应均很小. 在加速度激励试验工况下,天线抛物面中心监测点的加速度响应较大,特别是在 100 Hz 处,加速度响应幅值是加速度激励幅值的 2 倍左右. 而整机最大应力只有 80 MPa,因此,从应力的角度考虑,正弦振动试验后结构不会破坏.

综上,本文建立了合理简化的有限元模型,为系统研究结构的动力学响应特性打下了基础;对有限元模型进行了谐响应分析,较好地预示了结构的谐响应特性;通过分析结果认为,在各试验工况下,结构不会发生强度破坏.

参 考 文 献

[1] CHENG Xu-duo. Couple Dynamics of Solar Wings and the Central Rigid Body on Spacecraft with Flexible Shaft [J]. *Journal of Jilin University (Science Edition)* , 2003 , 41(3) : 342—346. (程绪铎. 带挠性轴太阳帆板与航天器中心刚体耦合动力学研究 [J]. 吉林大学学报(理学版) , 2003 , 41(3) : 342—346.)

[2] XU Xiao-cheng , WANG Cheng-hua , HAN Zeng-yao. Study on Random Vibration Response Analysis of Reentry Vehicle Complex Structure [J]. *Structure and Environment Engineering* , 2002 , 29(3) : 1—4. (徐孝诚 , 王成华 , 韩增尧. 再入飞行器复杂结构随机振动响应分析研究 [J]. 强度与环境 , 2002 , 29(3) : 1—4.)

[3] YIN Li-zhong , XU Xiao-cheng. Response Analysis and Experimental Verification for Reentry Vehicle Subjected to Aerodynamic Noise [J]. *Missiles and Space Vehicles* , 2002 , (3) : 9—11. (尹立中 , 徐孝诚. 再入飞行器的气动噪声响应分析和试验验证 [J]. 导弹与航天运载技术 , 2002 , (3) : 9—11.)

[4] LUO Jian , XIAO Yu-zhi , CHEN Jian , *et al.* Applications of Dynamics in the Design Area of Spacecraft [J]. *Journal of Vibration and Shock* , 2002 , 21(4) : 53—58. (骆 剑 , 肖余之 , 陈 健 , 等. 动力学在航天器中的若干应用 [J]. 振动与冲击 , 2002 , 21(4) : 53—58.)

[5] ZHANG Yi-min. Mechanics of Mechanical Vibrations [M]. Changchun : Jilin Science & Technology Press , 2000. (张义民. 机械振动力学 [M]. 长春 : 吉林科学技术出版社 , 2000.)

[6] HU Zhi-qiang , FA Qing-yan , HONG Bao-lin , *et al.* Application Technology of Stochastic Vibration Experiments [M]. Beijing : Measurement Press of China , 1996. (胡志强 , 法庆衍 , 洪宝林 , 等. 随机振动试验应用技术 [M]. 北京 : 中国计量出版社 , 1996.)

(责任编辑 : 田红志)

2003 年综合类期刊影响因子排序表 *

| 期刊名称 | 影响因子 | 排序 | 期刊名称 | 影响因子 | 排序 |
|-----------|--------|----|---------------|--------|----|
| 科学通报 | 0. 891 | 1 | 中国科学基金 | 0. 329 | 12 |
| 东北师大学报 | 0. 560 | 2 | 北京大学学报自然科学版 | 0. 320 | 13 |
| 实验技术与管理 | 0. 527 | 3 | 浙江大学学报理学版 | 0. 320 | 13 |
| 武汉大学学报 | 0. 462 | 4 | 北京师范大学学报自然科学版 | 0. 309 | 15 |
| 中国科学 E | 0. 439 | 5 | 厦门大学学报 | 0. 299 | 16 |
| 南京大学学报 | 0. 436 | 6 | 广西师范大学学报 | 0. 287 | 17 |
| 自然科学进展 | 0. 410 | 7 | 云南大学学报 | 0. 274 | 18 |
| 陕西师范大学学报 | 0. 385 | 8 | 华东师范大学学报 | 0. 268 | 19 |
| 四川师范大学学报 | 0. 376 | 9 | 四川大学学报 | 0. 268 | 19 |
| 实验室研究与探索 | 0. 358 | 10 | 世界科技研究与发展 | 0. 264 | 21 |
| 吉林大学学报理学报 | 0. 330 | 11 | 高技术通讯 | 0. 263 | 22 |

* 源于中国科学技术信息研究所编辑的《中国科技期刊引证报告》, 2004 : 85—86.

如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深, 让许多工程师望而却步, 然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上, 我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识, 借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训(www.edatop.com)专注于微波射频和天线设计人才的培养, 推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程, 化繁为简, 直观易学, 可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛, 让天线设计不再难...



HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书, 课程从基础讲起, 内容由浅入深, 理论介绍和实际操作讲解相结合, 全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程, 可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计, 让天线设计不再难...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程, 由经验丰富的专家授课, 旨在帮助您从零开始, 全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程, 边操作边讲解, 直观易学; 购买套装同时赠送 3 个月在线答疑, 帮您解答学习中遇到的问题, 让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>



13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程, 培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合, 全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作, 同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习, 可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试...

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



关于易迪拓培训:

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立,一直致力和专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养;后于 2006 年整合合并微波 EDA 网(www.mweda.com),现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地,成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 ADS、HFSS 等专业软件使用培训课程,广受客户好评;并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书,帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司,以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年, 10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养,更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果,又能免除您舟车劳顿的辛苦,学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲,结合实际工程案例,直观、实用、易学

联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>