

遥感系列卫星在轨微振动测量与分析

周东强, 曹瑞, 赵煜

(北京空间飞行器总体设计部, 北京 100094)

摘要: 在遥感系列卫星上装载了微振动环境测量系统并进行了在轨微振动环境测量。文章介绍了4颗遥感卫星的在轨微振动环境参数获取与分析。结果表明: 星上各活动部件中主要的扰振源为反作用轮和辐射计/散射计转动机构; 卫星稳定运行时的最大微振动量级约为57 mg, 传递到光学敏感设备衰减度约为15%。

关键词: 遥感卫星; 在轨测量; 微振动; 活动部件; 敏感设备; 传递特性

中图分类号: V417.7

文献标志码: A

文章编号: 1673-1379(2013)06-0627-04

DOI: 10.3969/j.issn.1673-1379.2013.06.012

0 引言

卫星入轨后随着各类活动部件开启以及不断进出阴影区, 星上出现微振动环境。在轨微振动环境是影响遥感卫星有效载荷敏感器指向稳定性能、成像质量的重要因素之一。遥感卫星在轨微振动源主要来自于星上高速转动部件和大型部件驱动机构, 如工作时的反作用轮、SADA、有效载荷驱动电机、推力器以及冷热交变时的大型柔性构件的颤振。

为了深入了解和认识卫星在轨微振动环境并实施有效的主动控制措施, 国内外开展了许多研究工作, 包括理论基础研究、地面微振动试验测试研究和建模仿真计算研究等。但是地面微振动试验中在轨微重力环境较难模拟, 卫星在轨微振动各项理论研究和数字仿真模型均缺乏测量数据进行修正, 研究与计算结果难以验证, 而卫星在轨微振动环境测量可以为相关研究及修正提供数据支持。NASA和德国航天局合作曾于1996年、1997年在ASTRO-SPAS小卫星上进行两次微振动环境测量。我国在遥感卫星上开展了在轨微振动环境研究, 即在4颗遥感卫星上装载力学环境测量系统, 以采集在轨微

振动环境数据。

本文主要介绍遥感系列卫星在轨微振动测量实施情况与测量结果, 分析该系列卫星在轨微振动特性, 为今后在轨微振动研究与减振/隔振实施奠定基础。

1 遥感系列卫星微振动测量情况

力学环境测量系统具备卫星在轨微振动力学环境参数采集、编码、存储功能, 并能够利用数传通道下传测量数据。该系统有18路测量通道; 携带6支三向高精度微振动测量传感器, 其测量频率范围为0.1~150 Hz, 量程为0.001 g~0.1 g; 系统测量精度优于±10%; 采用4倍频率采样、12位量化采集微振动数据。

1.1 测点选择

为了方便地测量星上微振动源位置处及光学敏感设备处的微振动, 对星上测点进行了系统规划与布置, 其基本思路是: 选择在微振动源、光学敏感设备安装位置以及传递路径上布置测点。共布置了21个微振动测点, 各测点布置情况见表1。

表1 遥感系列卫星微振动环境测点布置

Table 1 Micro-vibration environment measuring points in remote sensing satellites

卫星编号	反作用轮	辐射计/散射计转动机构	天线驱动机构	太阳能电池阵驱动机构	主结构	光学敏感设备
1#卫星	1	1	—	—	1	1
2#卫星	1	—	1	1	1	2
3#卫星	1	—	1	1	1	2
4#卫星	1	—	1	1	—	2

收稿日期: 2013-08-19; 修回日期: 2013-11-15

作者简介: 周东强(1985—), 男, 硕士学位, 研究方向为航天器总体设计。E-mail: zhoudq2004@163.com。

1.2 测量情况

先后进行了 10 次在轨微振动测量：1#卫星测量 2 次，分别为反作用轮启动时和在轨稳定运行时；2#卫星在轨稳定运行后测量 1 次；3#卫星在轨稳定运行后测量 3 次；4#卫星测量 4 次，分别在反作用轮工作、天线展开、成像时进行测量。

2 测量结果分析

2.1 微振动源的测量结果

图 1(a)所示为 4#卫星反作用轮正常工作(转速约为 1500 r/min)时的微振动加速度,图 1(b)为其局部放大图。在反作用轮处出现有规律的节拍现象,其原因有待进一步讨论与研究。

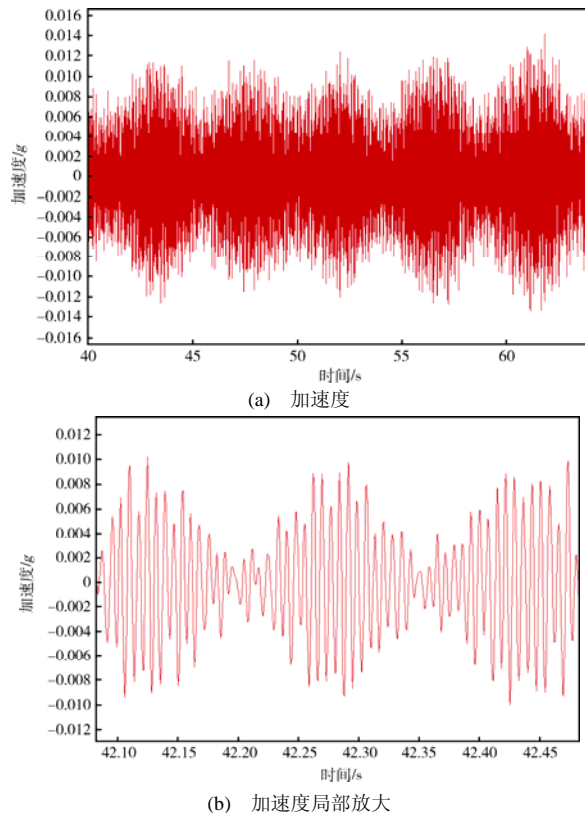


图 1 4#卫星反作用轮的微振动加速度

Fig. 1 Micro-vibration acceleration measurement of reaction momentum wheel on 4# sensing satellite

表 2 列出了 4 颗卫星在轨稳定运行时主要活动部件的微振动加速度。

测量结果表明：辐射计/散射计天线转动机构的微振动加速度最大，其次是反作用轮。下面对测量结果逐一进行讨论与说明：

1) 反作用轮

4 颗卫星反作用轮的转速均为 1500 r/min。测

量结果显示，4 颗卫星反作用轮的微振动加速度值相当，最大值为 23.5 mg。由于 4#卫星的反作用轮工作数量约为其他 3 颗卫星的一半，所以加速度值略小，为 14.2 mg。

2) 辐射计/散射计转动机构

1#卫星辐射计/散射计天线转动机构工作时加速度达到 57.5 mg，与其他活动部件相比，对卫星在轨微振动环境影响较大。

3) 天线驱动机构

卫星入轨后，天线相继解锁展开并锁定，展开过程中由天线驱动机构微振动引起的加速度达到 100 mg；天线锁定后且卫星稳定运行时的加速度小于 3.4 mg。相比反作用轮，天线驱动机构锁定后的振动量级非常小。

4) 太阳电池阵驱动机构

3 颗星进行了太阳电池阵驱动机构的微振动测量。测量结果表明，太阳电池阵驱动机构振动加速度量级较小，均小于 2.1 mg。但是，由于太阳电池阵属大型柔性部件，其微振动频率成分较为丰富。

表 2 遥感系列卫星主要活动部件的最大微振动加速度值

Table 2 The maximum amplitude of the micro-vibration acceleration of the main active parts

卫星编号	1#卫星	2#卫星	3#卫星	4#卫星
反作用轮/mg	23.5	21.3	21.9	14.2
辐射计/散射计转动机构/mg	57.5	—	—	—
锁定后的天线驱动机构/mg	—	2.3	2.6	3.4
太阳电池阵驱动机构/mg	—	2.1	<1.0	2.1

2.2 敏感设备处微振动测量结果

遥感系列卫星的敏感设备主要有星敏感器、激光通信设备、相机等。测量系统测量了各敏感设备位置的微振动环境，分别为：1#卫星的激光通信设备；2#、3#卫星的星敏感器；2#、3#和 4#卫星的相机。

1) 激光通信设备

在辐射计/散射计天线转动机构和反作用轮同时作用下，测得激光通信设备位置处微振动环境约为 10 mg。

2) 星敏感器

卫星稳定运行时星上工作的活动部件主要有反

作用轮、太阳能电池阵驱动机构以及其他含电机工作的组件。受结构传递衰减的影响,活动部件的微振动加速度传递至星敏感器位置处其量级衰减非常明显,星敏感器位置处微振动加速度约为 1.9 mg。

3) 相机组件

卫星成像工作时,活动部件有反作用轮、太阳能电池阵驱动机构等。由于相机质量及安装位置的特殊性,活动部件的微振动加速度传递至相机处衰减明显,最大值约为 5 mg。

3 传递情况分析

卫星在轨微振动传递特性非常复杂,与星上结构布局和传递路径等因素直接相关。遥感系列卫星光学敏感设备与大功率活动部件之间有多层舱板相隔,增加了传递路径的距离与复杂性。测量结果表明:活动部件位置处的微振动加速度经过复杂结构的反射与传递,到光学敏感设备处时衰减较大,衰减度约为 15%。

从 4# 卫星反作用轮至相机的微振动信号传递图(见图 2)可以看出,受传递路径和结构局部频率的影响,微振动信号的节拍特征或现象完全消失,相机微振动环境表现为随机信号扰动。从 4# 卫星反作用轮至相机的频率传递图(见图 3)可以看出:低频信号(<120 Hz)基本上是完全传递的,频率和频率带能量衰减不明显;高频信号(>120 Hz)受结构局部刚度影响较大,频率衰减非常明显,反作用轮处在 137.5 Hz 频率带上的能量峰值传递到相机处几乎完全消失,相应地在相机处被激发了新的频率能量峰值。

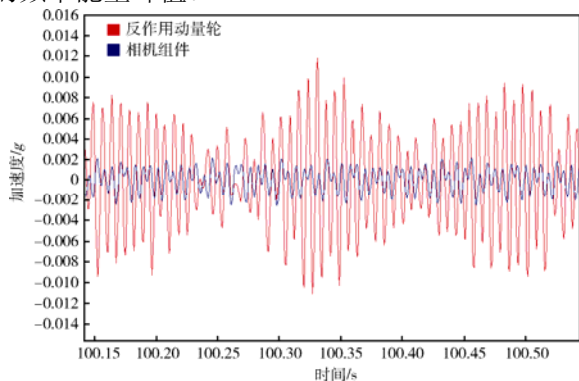


图 2 4# 卫星反作用轮至相机组件微振动信号传递图
Fig. 2 Micro-vibration signal transition from reaction momentum wheel to the camera components on 4# sensing satellite

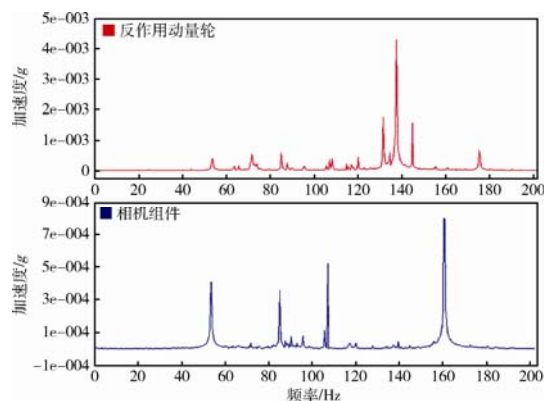


图 3 4# 卫星反作用轮至相机组件微振动频率传递图
Fig. 3 Frequency-transition from reaction momentum wheel to the camera components on 4# sensing satellite

4 结束语

本文分析了遥感系列卫星主要活动部件和敏感器件在轨运行时微振动环境测量结果以及微振动频率传递和能量衰减情况。这些测量结果可为今后星上微振动研究和地面测试、模拟仿真研究提供有效的数据支持。

参考文献 (References)

- [1] 赵伟. 航天器微振动环境分析与测量技术发展[J]. 航天器环境工程, 2006, 23(4): 210-214
Zhao Wei. Analysis on micro-vibration environment of spacecraft and measurement technology[J]. Spacecraft Environment Engineering, 2006, 23(4): 210-214
- [2] 张振华, 杨雷, 庞世伟. 高精度航天器微振动力学环境分析[J]. 航天器环境工程, 2009, 26(6): 528-534
Zhang Zhenhua, Yang Lei, Pang Shiwei. Jitter environment analysis for micro-precision spacecraft[J]. Spacecraft Environment Engineering, 2009, 26(6): 528-534
- [3] 庞世伟, 杨雷, 曲广吉. 高精度航天器微振动建模与评估技术最近进展[J]. 强度与环境, 2007, 34(6): 1-9
Pang Shiwei, Yang Lei, Qu Guangji. New development of micro-vibration integrated modeling and assessment technology for high performance spacecraft[J]. Structure & Environment Engineering, 2007, 34(6): 1-9
- [4] 方丹, 傅雨田. 大惯量转动体在稳定位置附近微振动的检测[J]. 振动与冲击, 2006, 25(5): 168-170
Fang Dan, Fu Yutian. Study on detecting tiny vibration of super inertia rotor in stabilization position[J]. Journal of Vibration and Shock, 2006, 25(5): 168-170
- [5] 蒋国伟, 周徐斌, 申军烽, 等. 某卫星微振动建模与仿真[J]. 航天器环境工程, 2011, 28(1): 36-40
Jiang Guowei, Zhou Xubin, Shen Junfeng, et al. Modeling and simulation of micro-vibration for a satellite[J]. Spacecraft Environment Engineering, 2011, 28(1): 36-40

[6] 邓峰岩, 和兴锁, 张娟, 等. 微振动对空间实验室微重力环境的影响研究[J]. 振动与冲击, 2005, 24(3): 103-107
 Deng Fengyan, He Xingsuo, Zhang Juan, et al. Research on the effects of microgravity vibration environment in the spacelab[J]. Journal of Vibration and Shock, 2005,

24(3): 103-107
 [7] 李宁, 韩晓健, 李俊慧. 航天器微振动信号的地面测试方法[J]. 航天器环境工程, 2011, 28(1): 67-71
 Li Ning, Han Xiaojian, Li Junhui. Ground testing method for spacecraft micro-vibration signals[J]. Spacecraft Environment Engineering, 2011, 28(1): 67-71

Micro-vibration measurement and analysis of a series of remote sensing satellites in-orbit

Zhou Dongqiang, Cao Rui, Zhao Yu
 (Beijing Institute of Spacecraft System Engineering, Beijing 100094, China)

Abstract: A micro-vibration environment measurement system is built on a series of remote sensing satellites to measure the micro-vibration environment in-orbit. Some micro-vibration environment parameters of the remote sensing satellites in-orbit are obtained and analyzed. The measurement results indicate that the reaction wheels and the rotary mechanism of radiometer/scatterometer are the main sources of the micro-vibration, and the largest micro-vibration acceleration is about 57 mg with the attenuation of approximately 15% when it is transferred to the optical sensitive device location.

Key words: remote sensing satellites; in-orbit measurement; micro-vibration; movement component; sensitive device; transfer characteristics

(编辑: 许京媛)

航天快讯

NASA 激光通信从月球传输数据破纪录 下载速率达 622 Mbit/s

据物理学家组织网近日报道, 美国国家航空航天局 (NASA) 月球激光通信演示 (LLCD) 创造了历史, 使用脉冲激光束在月球和地球之间 239 000 英里 (约合 384 551 km) 的距离传输数据, 下载速率破纪录地达到 622 Mbit/s。

LLCD 是 NASA 使用激光替代无线电波的第一个双向通信系统。同时, 它也演示了从新墨西哥州主地面站向目前绕月球轨道航天飞行器无差错上传数据 20 Mbit/s 的速率。

NASA 最初进军太空时依赖于无线电频率 (RF) 通信。然而, 随着数据容量需求的持续增加, RF 将要达到极限。激光通信的开发和部署将使 NASA 扩展其通信功能, 如提高图像分辨率和来自深度空间的 3D 视频传输。

LLCD 搭乘 NASA 月球大气和粉尘环境探测器 (LADEE), 于 2013 年 9 月发射升空。LADEE 是由加利福尼亚州艾姆斯研究中心操作的一个 100 天的机器人任务。其使命是提供数据, 将帮助 NASA 确定灰尘是否造成了“阿波罗”任务期间航天员所观察到的月球地平线处神秘光辉。它也将探索月球的大气层。艾姆斯研究中心负责设计、开发、制造、集成和测试 LADEE, 并管理飞船的整体业务。

(摘自 2013-10-28 《科技日报》)