

主办 科学出版社  
中国地理学会环境遥感分会  
中国科学院遥感应用研究所

出版

# JOURNAL OF REMOTE SENSING

遥 感 学 报

2012年 Vol.16 第16卷 增刊

ISSN 1007-4619 CN11-3841 / TP CODEN YXAUAB

## “天绘一号”卫星专刊



多光谱影像



高分辨率影像



融合后的影像

# 遥感学报

Yaogan Xuebao

第 16 卷 增刊 2012 年

## 目 次

序言 .....	(1)
院士特邀	
“天绘一号”卫星工程建设与应用 .....	王任享，胡莘，王新义，杨俊峰 (2)
综述	
无地面控制点条件下卫星摄影测量的发展与现状 .....	尹明，李晓燕 (6)
“天绘一号”传输型摄影测量与遥感卫星 .....	李松明，李岩，李劲东 (10)
相机技术	
测绘用离轴三反光学系统技术 .....	郭疆，刘金国，王国良，朱磊，龚大鹏，齐洪宇 (17)
“天绘一号”卫星在轨辐射定标方法 .....	黄红莲，易维宁，乔延利，杜丽丽 (22)
多光谱相机基于灰阶靶标的在轨绝对辐射定标 .....	陈洪耀，李胜利，司孝龙，李晶，徐伟伟，王载翔，杨俊峰，张黎明，沈政国 (28)
“天绘一号”卫星测绘相机在轨几何定标 .....	李晶，王蓉，朱雷鸣，黄海乐 (35)
卫星技术	
“天绘一号”卫星在轨性能评估 .....	李岩，陶志刚，李松明，郭志胜，史简，高翠东 (40)
测绘卫星的姿态控制技术 .....	王新民，刘洁，李洽，张屹峰，董筠 (48)
GPS高精度校时在卫星控制系统中的应用 .....	李洽，程砾瑜，曹海宁，李鹤，董筠，李松明 (52)
星敏感器在轨测量误差分析 .....	霍德聪，黄琳，李岩，陶志刚，李松明 (57)
“天绘一号”卫星热控设计及飞行验证 .....	刘伟，杨沪宁 (61)
数传通道遥测数据处理方法研究 .....	李敬博，马楠，任光杰 (66)
“天绘一号”卫星镉镍蓄电池组及其在轨性能介绍 .....	李垚，谢守韫，乔学荣，郑智勇，杨德智 (70)
“天绘一号”卫星星务分系统研究与实现 .....	史简，宋智，李国军 (74)
地面处理技术	
“天绘一号”卫星地面应用系统设计与实现 .....	胡莘，王新义，杨俊峰 (78)
“天绘一号”卫星三线阵影像条带式区域网平差 .....	张永军，郑茂腾，王新义，黄心蕙 (84)
“天绘一号”卫星星敏感器精度分析 .....	王兴涛，李迎春，李晓燕 (90)
“天绘一号”01星立体影像定位精度检测 .....	付勇，邹松柏，刘会安 (94)
特征与错位拟合的CCD图像无缝拼接 .....	王昱，胡国军，龙辉，张廷涛 (98)
基于GeoSOT网格的“天绘一号”卫星影像数据组织 .....	李世忠，宋树华，程承旗，耿忠 (102)
“天绘一号”卫星基于摄影任务的轨道维持策略 .....	冯宁，元朝鹏，官轶松，黄显安，邢坤 (108)
“天绘一号”卫星无地面控制点EFP多功能光束法平差 .....	王建荣，王任享 (112)

# JOURNAL OF REMOTE SENSING

(Vol.16 Sup 2012)

## CONTENTS

### Academician's note

- The construction and application of Mapping Satellite-1 engineering ..... WANG Renxiang, HU Xin, WANG Xinyi, YANG Junfeng (5)

### Review

- Development and present situation of satellite photogrammetry without control points ..... YIN Ming, LI Xiaoyan (9)

- Mapping Satellite-1 transmission type photogrammetric and remote sensing satellite ..... LI Songming, LI Yan, LI Jindong (16)

### Technology of camera

- Technology of off-axis TMA aerospace mapping camera ..... GUO Jiang, LIU Jinguo, WANG Guoliang, ZHU Lei, GONG Dapeng, QI Hongyu (21)

- On orbit radiometric calibration for Mapping Satellite-1 sensor ..... HUANG Honglian, YI Weining, QIAO Yanli, DU Lili (27)

- Multispectral imager vicarious radiometric calibration based on gray-scale tarps ..... CHEN Hongyao, LI Shengli, SI Xiaolong, LI Jing, XU Weiwei, WANG Jixiang, YANG Junfeng, ZHANG Liming, SHEN Zhengguo (34)

- In-flight geometric calibration for Mapping Satellite-1 surveying and mapping camera ..... LI Jing, WANG Rong, ZHU Leiming, HUANG Haile (39)

### Technology of satellite

- Mapping Satellite-1 in-orbit performance evaluation ..... LI Yan, TAO Zhigang, LI Songming, GUO Zhisheng, SHI Jian, GAO Cuidong (47)

- Attitude control technology of mapping satellite ..... WANG Xinmin, LIU Jie, LI Han, ZHANG Yifeng, DONG Jun (51)

- Usage of high accuracy GPS time calibration in satellite onboard control system ..... LI Han, CHENG Liyu, CAO Haining, LI He, DONG Jun, LI Songming (56)

- An analytical method of star tracker measurement errors ..... HUO Decong, HUANG Lin, LI Yan, TAO Zhigang, LI Songming (60)

- Mapping Satellite-1 thermal design and flight validation ..... LIU Wei, YANG Huning (65)

- Processing on telemetry data of data transmission channel ..... LI Jingbo, MA Nan, REN Guangjie (69)

- The introduction of Ni-Cd battery of Mapping Satellite-1 and its on-orbit performance ..... LI Yao, XIE Shouyun, QIAO Xuerong, ZHENG Zhiyong, YANG Dezhi (73)

- Implementation of Mapping Satellite-1's house keeping system ..... SHI Jian, SONG Zhi, LI Guojun (77)

### Ground processing technology

- Design and implementation of ground application system for Mapping Satellite-1 ..... HU Xin, WANG Xinyi, Yang Junfeng (83)

- Strip-based bundle adjustment of Mapping Satellite-1 three-line array imagery ..... ZHANG Yongjun, ZHENG Maoteng, WANG Xinyi, HUANG Xinhui (89)

- Mapping Satellite-1 star sensor accuracy analysis ..... WANG Xingtao, LI Yingchun, LI Xiaoyan (93)

- Evaluation of the location accuracy of the Mapping Satellite-1 stereo image ..... FU Yong, ZOU Songbai, LIU Hui'an (97)

- CCD image seamless mosaic on characteristic and dislocation fitting ..... WANG Yu, HU Guojun, LONG Hui, ZHANG Tingtao (101)

- Mapping Satellite-1 remote sensing data organization based on GeoSOT ..... LI Shizhong, SONG Shuhua, CHENG Chengqi, GENG Zhong (107)

- Strategy of Mapping Satellite-1 orbit maintenance based on photographic mission ..... FENG Ning, YUAN Zhaopeng, GONG Yisong, HUANG Xian'an, XING Kun (111)

- EFP multi-functional bundle adjustment of Mapping Satellite-1 without ground control points ..... WANG Jianrong, WANG Renxiang (115)

# “天绘一号”卫星在轨性能评估

李岩, 陶志刚, 李松明, 郭志胜, 史简, 高翠东

航天东方红卫星有限公司, 北京 100094

**摘要:** “天绘一号”卫星是中国新一代传输型摄影测量卫星, 由航天东方红卫星有限公司基于CAST2000小卫星平台研制。01星于2010年8月发射成功, 02星于2012年5月发射成功。经过在轨测试, 两颗卫星性能指标均达到设计要求。本文介绍了“天绘一号”卫星在轨性能测试的结果, 为该卫星后续业务化应用提供宝贵数据。

**关键词:** “天绘一号”卫星, 测绘相机, 高分辨率相机, 在轨性能评估

**中图分类号:** P236      **文献标志码:** A

引用格式: 李岩, 陶志刚, 李松明, 郭志胜, 史简, 高翠东. 2012. “天绘一号”卫星在轨性能评估. 遥感学报, 16(增刊): 40-47  
 Li Y, Tao Z G, Li S M, Guo Z S, Shi J and Gao C D. 2012. Mapping Satellite-1 in-orbit performance evaluation. Journal of Remote Sensing, 16(增刊): 40-47

## 1 引言

“天绘一号”卫星是中国新一代传输型摄影测量卫星, 卫星采用降交点地方时为1:30 pm的太阳同步轨道, 轨道高度500 km。采用CAST2000小卫星平台。“天绘一号”卫星配置3台CCD测绘相机、1台四波段多光谱CCD相机, 可提供全色3维立体地物影像, 多光谱地物影像; 正视相机中装配4台小面阵相机, 用于测绘处理平差, 提高目标定位精度; 配置1台全色TDI-CCD相机用于快速、准确的目标判读, 提高地图信息的完整性(王任享 等, 2004a, 2004b, 2004c)。多种图像数据经压缩后可实时下传、记录或回放到地面站。卫星在轨工作寿命为3年。

“天绘一号”01星于2010年8月发射, 经过在轨测试, 同年交付用户使用, 目前已在轨稳定运行近2年。“天绘一号”02星也已于2012年5月成功发射, 目前在轨测试已结束。

经过在轨测试和业务运行, “天绘一号”两颗卫星的姿态、电源、温度、测控、星务管理、数据处理与传输、各类相机成像能力均得到了有效的测试和评定, 卫星功能、性能满足设计要求。

## 2 卫星入轨参数

根据西安卫星测控中心提供的卫星入轨数据, “天绘一号”两颗卫星的主要轨道参数如表1和表2所示。

表1 “天绘一号”01星入轨参数(平根、惯性系)

参数名称	实际轨道	设计轨道	偏差
历元时刻	2010-08-24 15:21:23.227(北京时间)		
半长轴/m	6870752	6870713	39
偏心率	0.0009	—	—
轨道倾角/(°)	97.339	97.333	0.006

表2 “天绘一号”02星入轨参数(平根、惯性系)

参数名称	实际轨道	设计轨道	偏差
历元时刻	2012-05-06 15:21:31.723(北京时间)		
半长轴/m	6873364	6870638	2726
偏心率	0.0009	—	—
轨道倾角/(° )	97.299	97.358	-0.059

可以看出, “天绘一号”两颗卫星的入轨参数均满足入轨精度要求, 卫星均进入预定轨道。

### 3 太阳翼展开情况

按照预定的飞行程序，星箭分离后太阳翼展开，通过对遥测数据的分析，01星和02星两翼太阳翼展开时间满足要求，两颗卫星太阳翼均正常解锁、展开并锁定，保证卫星能源充足，在轨太阳翼展开情况见表3。

表3 “天绘一号”卫星太阳翼展开时间 /s

参数名称	01星在轨展开时间	02星在轨展开时间	01/02星展开时间设计值
+Y太阳翼	5	5	3—6
-Y太阳翼	5	6	3—6

### 4 卫星性能评估

#### 4.1 卫星姿态

卫星入轨后，控制分系统按预定的飞行程序完成了消初偏模式、对地粗定向模式和动量轮启动模式后，整星进入正常轨道运行模式，建立了对地3轴稳定的卫星姿态。之后3台星敏感器加电，引入闭环控制，并采用GPS秒脉冲信号作为星敏感器同步信号，控制系统进入星敏感器定姿正常轨道运行模式，满足载荷开机成像的要求。“天绘一号”两颗卫星姿态控制指标实现情况见表4。

表4 “天绘一号”卫星控制分系统主要指标实现情况

序号	项目	指标	01星	02星
1	滚动控制精度( $^{\circ}$ , $3\sigma$ )	$\leq 0.1$	< 0.1	< 0.1
2	俯仰控制精度( $^{\circ}$ , $3\sigma$ )	$\leq 0.1$	< 0.1	< 0.1
3	偏航控制精度( $^{\circ}$ , $3\sigma$ )	$\leq 0.1$	< 0.1	< 0.1
4	滚动姿态稳定度( $^{\circ}/s$ , $3\sigma$ )	$\leq 0.001$	< 0.001	< 0.001
5	俯仰姿态稳定度( $^{\circ}/s$ , $3\sigma$ )	$\leq 0.001$	< 0.001	< 0.001
6	偏航姿态稳定度( $^{\circ}/s$ , $3\sigma$ )	$\leq 0.001$	< 0.001	< 0.001
7	帆板指向精度( $^{\circ}$ )	10	$\leq 2$	$\leq 2.2$

02星增加了滚动姿态机动的功能，在轨测试期间进行了 $\pm 10^{\circ}$ 滚动姿态机动功能的测试，滚动姿态机动及偏置飞行期间各项指标实现情况如表5。

表5 “天绘一号”02星滚动姿态机动功能测试结果

序号	项目	指标要求	-10°侧摆	+10°侧摆
1	滚动角( $^{\circ}$ , $3\sigma$ )	$< 0.1$	< 0.1	< 0.1
2	俯仰角( $^{\circ}$ , $3\sigma$ )	$< 0.1$	< 0.1	< 0.1

续表

序号	项目	指标要求	-10°侧摆	+10°侧摆
3	偏航角( $^{\circ}$ , $3\sigma$ )	$< 0.1$	< 0.1	< 0.1
4	滚动角速度( $^{\circ}/s$ , $3\sigma$ )	$< 0.001$	< 0.001	< 0.001
5	俯仰角速度( $^{\circ}/s$ , $3\sigma$ )	$< 0.001$	< 0.001	< 0.001
6	偏航角速度( $^{\circ}/s$ , $3\sigma$ )	$< 0.001$	< 0.001	< 0.001
7	稳定时间/s	$< 180$	105	103

星上遥测数据显示，卫星姿态性能满足指标要求。

#### 4.2 卫星电源

卫星在发射前拔下脱落插头，开始由蓄电池供电，经过约13 min的主动段及入轨段太阳翼展开，太阳电池阵开始发电，之后开始正常的阳照区太阳翼供电，阴影区蓄电池供电的能源供应模式。卫星在轨初期主要电源参数见表6。

表6 “天绘一号”卫星电源在轨主要参数

序号	项目	01星	02星
1	母线输出电压/V	28.7—29.3	28.8—29.3
2	太阳电池阵初期一次电源母线上输出功率/W	1197	1245
3	蓄电池实际放电深度/%	18.60	20.96

星上遥测数据显示，卫星电源满足指标要求。有效载荷在实传、记录和回放等典型工作模式下，电源系统可以实现当圈能量平衡(表7)。

表7 “天绘一号”卫星在轨实传模式、记录模式、回放模式时的电流变化及相应功耗

遥测参数	01星			02星		
	实传模式	记录模式	回放模式	实传模式	记录模式	回放模式
负载电流/A	27	20.6	20.6	26.43	21.2	19.79
负载总功耗/W	793	604	593	776	622	570

#### 4.3 卫星温度环境

卫星在轨运行1—3 d之后，星上设备达到在轨温度平衡，平台电子设备温度大部分在0—15℃，载荷舱电子设备温度基本在0—10℃。各设备温度环境较为合适，并有足够余量。01星温度范围与02星温度范围基本一致。整星温度范围及温度指标要求如表8所示。

表8 “天绘一号”卫星整星温度范围 /℃

序号	仪器名称	01星数据		02星数据		温度指标
		阴影	光照	阴影	光照	
1	数传控制单元1	10.8	10.8	9.2	9.5	-10—45
2	数传控制单元2	8.3	8.6	6.4	7.0	-10—45
3	压缩编码器1	6.4	8.3	4.5	6.4	-10—45
4	数据处理器1	7.0	8.6	4.8	6.7	-10—45
5	固存1	9.2	9.2	7.3	7.3	-10—45
6	压缩编码器2	0.8	2.3	-1.9	0.0	-10—45
7	压缩编码器3	4.2	5.2	0.4	1.6	-10—45
8	数据处理器2	7.3	8.0	4.5	5.4	-10—45
9	固存2	7.7	7.7	6.4	6.7	-10—45
10	调制发射机	7.7	7.3	6.4	6.4	-10—45
11	数传微波开关	5.5	4.8	4.2	3.2	-10—45
12	电气机箱1	2.3	4.8	-1.0	2.2	-10—45
13	电气机箱2	2.7	5.5	-0.3	2.9	-10—45
14	相机热控单元	2.3	5.2	-0.6	2.6	-10—45
15	大气密度探测器	-2.8	0.4	-3.6	0.4	-10—35
16	电源控制器	3.0	6.1	2.3	6.1	-10—45
17	蓄电池A	6.2	5.1	6.0	5.3	-5—20
18		6.9	5.8	5.9	5.2	-5—20
19	蓄电池B	5.9	4.8	6.1	4.3	-5—20
20		6.2	4.8	5.4	4.4	-5—20
21	S频段扩频应答机1	11.1	10.5	11.5	10.8	-10—45
22	S频段扩频应答机2	10.5	10.2	9.2	8.6	-10—45
23	GPS接收机1	10.5	11.8	9.9	11.5	-5—45
24	GPS接收机2	9.6	10.8	8.3	9.5	-5—45
25	中继测控终端	—	—	-0.6	1.0	-10—45
26	配电器	9.2	10.8	8.0	9.9	-5—45
27	红外地球敏感器1	19.0	19.9	20.5	23.3	0—45
28		19.5	19.9	20.6	22.9	
29	红外地球敏感器2	19.0	19.5	20.4	22.8	0—45
30		19.1	19.5	20.9	22.9	
31	陀螺组合件1测温1	26.7	27.1	29.6	30.2	—
32	陀螺组合件1测温2	26.7	27.1	29.6	30.2	—
33	陀螺组合件1安装面	13.1	15.4	13.7	13.8	-5—40
34	陀螺组合件2测温1	24.7	25.1	26.3	26.8	—
35	陀螺组合件2测温2	24.7	25.1	25.1	25.6	—
36	陀螺组合件2安装面	15.4	15.4	14.7	14.7	-5—40
37	陀螺线路组件	12.4	13.4	9.9	11.1	-10—45
38	数字式太阳敏感器	2.6	4.8	0.4	1.6	-30—50
39	星敏感器线路盒1	7.0	10.8	5.2	13.4	-40—50
40	星敏感器线路盒2	2.6	11.1	-0.2	10.5	-40—50
41	星敏感器线路盒3	3.6	8.6	0.8	11.5	-40—50
42	动量轮X	14.4	14.4	12.4	12.8	-10—45
43	动量轮Y	9.2	8.9	8.3	8.0	-10—45
44	动量轮Z	10.5	12.1	8.9	10.8	-10—45
45	动量轮S	8.3	9.2	6.3	7.2	-10—45

续表

序号	仪器名称	01星数据		02星数据		温度指标
		阴影	光照	阴影	光照	
46	帆板驱动线路盒1	9.6	9.5	8.6	8.6	-10—45
47	帆板驱动线路盒2	10.2	10.2	9.2	9.5	-10—45
48	帆板驱动机构1测温1	13.7	14.1	14.4	14.7	-20—50
49	帆板驱动机构1测温2	14.7	21.3	15.7	23.2	-20—50
50	帆板驱动机构2测温1	2.6	3.3	2.6	3.2	-20—50
51	帆板驱动机构2测温2	-4.8	-3.8	-4.1	-2.9	-20—50
52	中心控制单元	12.1	11.5	10.2	9.5	-10—45

测绘光学平台的温度水平如表9所示。温度曲线见图1。

表9 “天绘一号”卫星测绘光学平台温度范围 /℃

序号	名称	01星	02星	温度指标
1	光学平台+Y面+X面	16.4	16.8—17.1	15—21
2	光学平台-Y面+X面	16.4—16.8	16.8—17.1	15—21
3	光学平台-Z面正视安装处	16.4—16.8	16.8—17.1	15—21
4	光学平台+Z面正视安装处	16.1—16.8	16.8—17.1	15—21

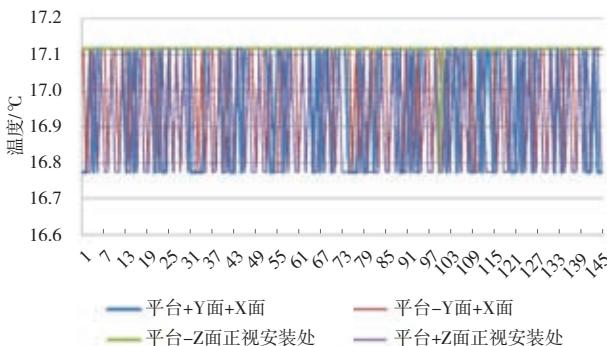


图1 “天绘一号”卫星光学平台温度

可以看出测绘光学平台温度非常稳定，01星和02星温度较为一致。整个测绘光学平台温度稳定在16.1—17.1℃以内。

测绘光学平台星敏感器安装面、星敏感器CCD焦面组件的温度水平如表10所示。温度曲线见图2—图5。01星光学平台星敏感器安装面控温目标温度为16℃，3个星敏感器CCD焦面组件可长期稳定在5℃左右。02星针对光学平台星敏感器安装面热控进行了改进，增设了一个散热面，热控多层外表面由聚酰亚胺膜改为F46膜，并且为了等温化使用了碳基复合材料，在轨实际结果表明02星光学平台星敏安装面控温目标温度为18℃，3个星敏感器CCD焦面组件温度可

长期稳定在0℃左右(黎明 等, 2010)。

表10 “天绘一号”卫星星敏感器温度范围 /℃

序号	名称	01星	02星	温度指标
1	星敏感器1 安装面	15.8—16.1	17.8—18.2	01星13—19 02星15—21
2	星敏感器2 安装面	15.8—16.8	17.8—18.2	01星13—19 02星15—21
3	星敏感器3 安装面	16.8—18.2	17.8—18.5	01星13—19 02星15—21
4	星敏1CCD	4.3—5.6	-0.62—0.73	01星目标5 02星目标0
5	星敏2CCD	4.5—5.9	-0.47—0.89	01星目标5 02星目标0
6	星敏3CCD	4.6—5.9	-0.65—1.12	01星目标5 02星目标0

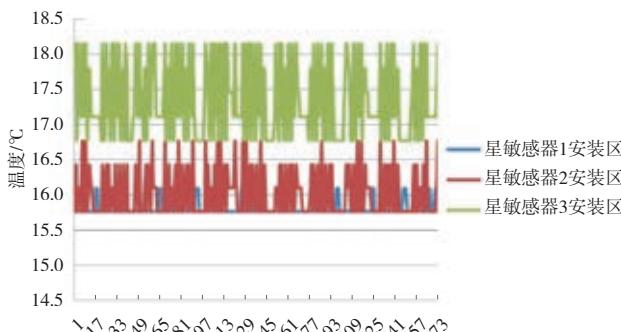


图2 “天绘一号”01星星敏感器安装面温度

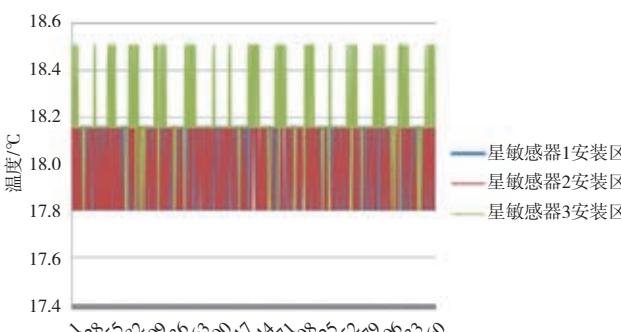


图3 “天绘一号”02星星敏感器安装面温度

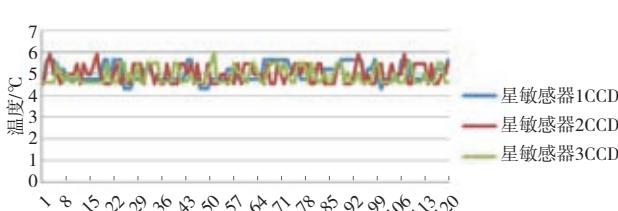


图4 “天绘一号”01星星敏感器CCD焦面组件温度

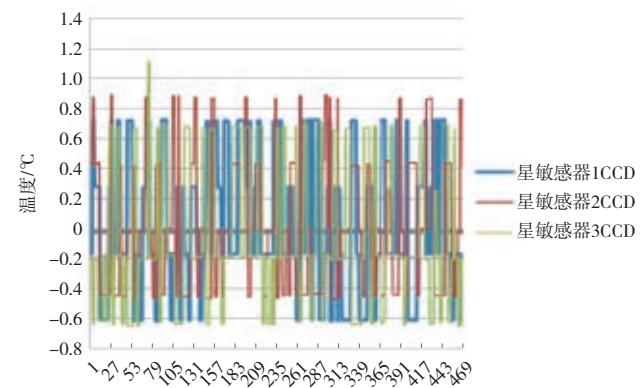


图5 “天绘一号”02星星敏感器CCD焦面组件温度

可以看出测绘光学平台星敏感器安装面温度非常稳定，01星的星敏感器1、2安装面温度稳定在目标温度-0.2—0.8℃以内；星敏感器3安装面温度稳定在目标温度0.4—2.2℃以内，由于其进光口离太阳较近，外热流较星敏感器1、2大，导致其安装面温度略高于控温目标温度。02星的星敏感器1、2安装面温度稳定在目标温度±0.2℃以内；星敏感器3安装面温度稳定在目标温度附近-0.2—0.3℃以内。

在轨测试表明，01星3个星敏感器的CCD焦面组件可制冷工作在0℃；02星3个星敏感器的CCD焦面组件可制冷工作在-5℃。均为寿命末期CCD器件性能衰退留有5℃余量。

上述数据结果还表明02星测绘光学平台星敏安装面热控设计改进是成功的。

测绘前视、正视和后视相机的光学镜头由安装区、前镜组、后镜组3部分组成。各相机镜头和CCD焦面组件温度范围如表11所示。温度曲线见图6—图12。

表11 “天绘一号”卫星测绘相机温度范围 /℃

序号	名称	01星	02星	温度指标
1	正视前镜组	17.8—18.2	17.8—18.2	18±1.5
2	正视安装区	17.8—18.3	17.9—18.2	18±1.5
3	正视后镜组	17.8—18.2	17.8—18.2	18±1.5
4	正视CCD焦面组件	16.1—24	16.4—22.9	15—30
5	前视前镜组	17.7—18.2	17.9—18.4	18±1.5
6	前视安装区	17.8—18.2	17.7—18.2	18±1.5
7	前视后镜组	17.7—18.1	17.8—18.2	18±1.5
8	前视CCD焦面组件	16.4—26	16.8—28.1	15—30
9	后视前镜组	17.8—18.2	17.7—18.2	18±1.5
10	后视安装区	17.7—18.1	17.8—18.2	18±1.5
11	后视后镜组	17.9—18.3	17.8—18.2	18±1.5
12	后视CCD焦面组件	16.8—27.2	16.8—27.2	15—30
13	基座多光谱安装面	10.2—11.5	10.8—11.8	-5—30
14	多光谱主镜	17.8—18.2	18.2—18.5	15—21
15	多光谱次镜	17.4—18.5	17.8—18.2	15—21

续表

序号	名称	01星	02星	温度指标
16	多光谱三镜	17.8	18.2—18.5	15—21
17	多光谱CCD焦面组件	15.8—21	15.4—22.5	15—30

可以看出测绘前视、正视和后视相机的光学镜头温度非常稳定，01星和02星温度较为一致。其中正视相机光学镜头温度稳定在目标温度 $\pm 0.2$ ℃以内；前视相机光学镜头温度稳定在目标温度-0.3—0.4℃以内；后视相机光学镜头温度稳定在目标温度 $\pm 0.3$ ℃以内；多光谱相机光学镜头温度稳定在目标温度-0.6—0.5℃以内。

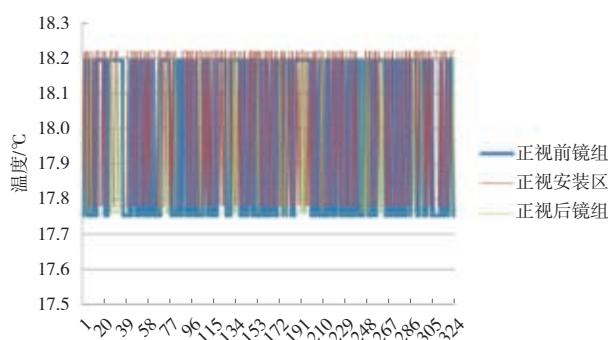


图6 “天绘一号”卫星正视相机镜头温度

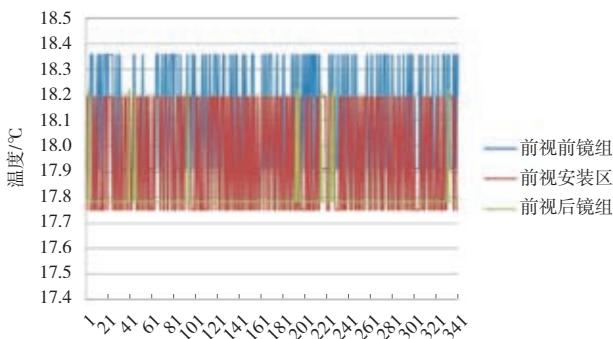


图7 “天绘一号”卫星前视相机镜头温度

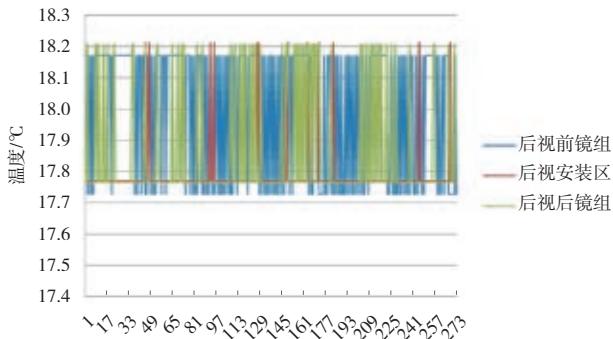


图8 “天绘一号”卫星后视相机镜头温度

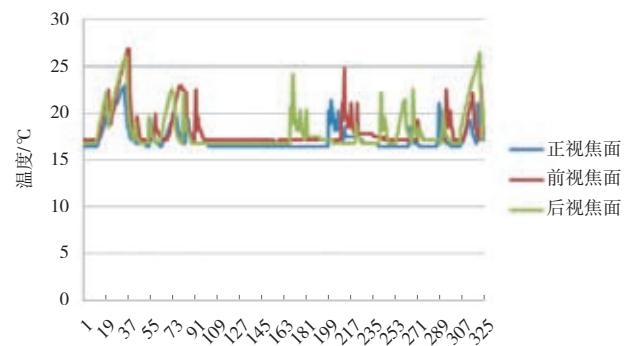
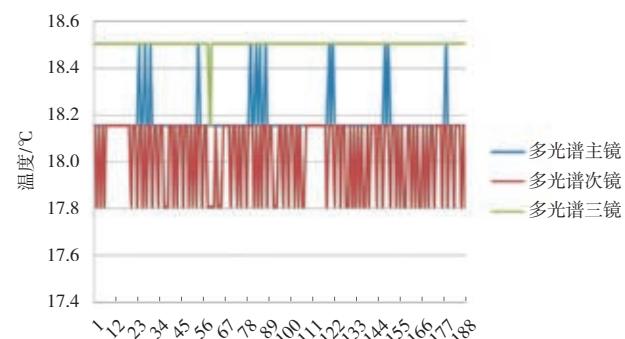
图9 “天绘一号”卫星前视、正视和后视相机  
CCD焦面组件温度

图10 “天绘一号”卫星多光谱相机镜头温度

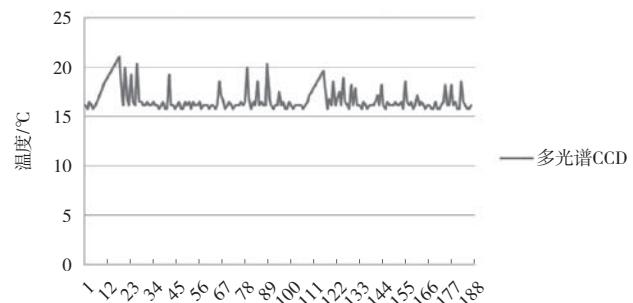


图11 “天绘一号”卫星多光谱相机CCD焦面组件温度

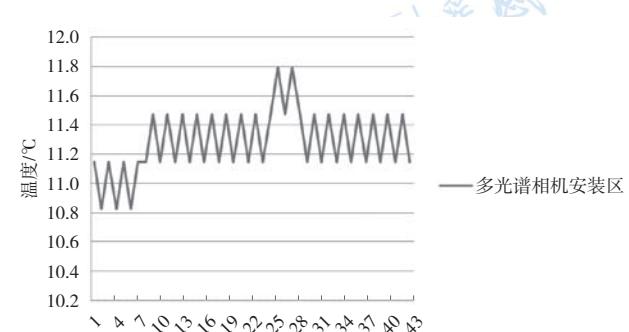


图12 “天绘一号”卫星多光谱相机安装区温度

还可以看出多光谱相机安装面的温度，及其主、次、3镜温度非常稳定，01星和02星温度较为一致。其中安装面温度稳定在10.2—11.5℃；主、次、三镜温度稳定在目标温度-0.6—0.5℃以内。

前视、正视和后视相机，多光谱相机CCD焦面组件温度与相机工况相关，15 min连续摄影后前视、正视和后视相机CCD焦面组件温升在12℃以内，多光谱相机CCD焦面组件温升5.2—7.1℃，满足其温度指标要求。

高分辨率相机安装区，主、次、三镜、调焦镜和CCD焦面组件温度范围如表12所示。温度曲线见图13—图15。

表12 “天绘一号”卫星高分辨率相机温度范围 /℃

序号	名称	01星	02星	温度指标
1	高分+Z安装点	17.5—17.8	17.1—17.8	-5—30
2	高分-Y、-Z安装点	17.5—17.8	17.5—17.8	-5—30
3	高分+Y、-Z安装点	18.2—18.5	17.8—18.2	-5—30
4	高分CCD焦面组件	15.1—18.5	15.1—17.8	15—30
5	高分主镜	16.4—18.2	18.5—18.9	15—21
6	高分次镜	16.4—18.2	16.4—18.2	15—21
7	高分三镜	17.5—17.8	18.2	15—21
8	高分调焦镜	16.8—18.2	17.1—17.5	15—21

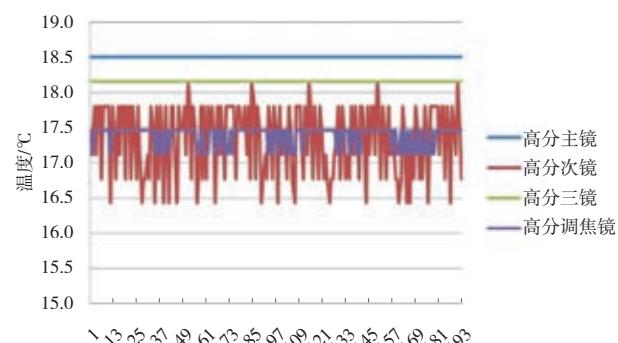


图13 “天绘一号”卫星高分辨相机镜头温度

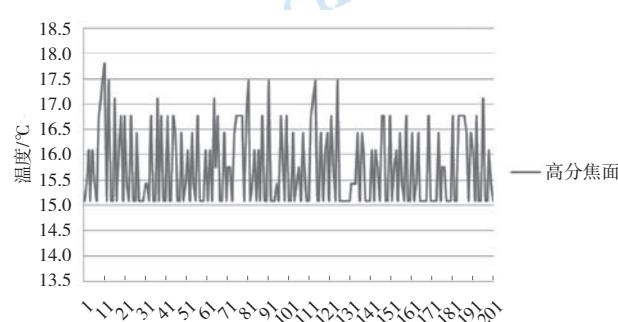


图14 “天绘一号”卫星高分辨率相机CCD焦面组件温度

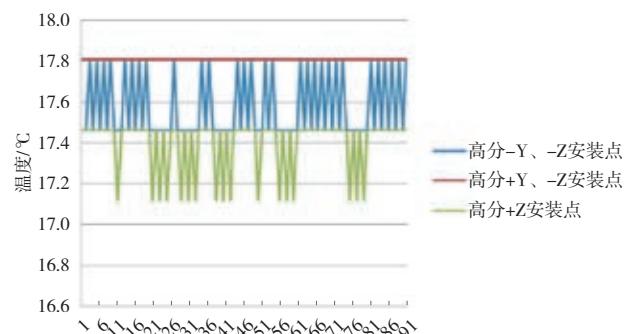


图15 “天绘一号”卫星高分辨率相机安装点温度

可以看出高分辨率相机3个安装面的温度，及其主、次、三镜、调焦镜温度非常稳定，01星和02星温度较为一致。其中安装面温度稳定在 $18 \pm 0.5$ ℃以内；主、次、三镜、调焦镜温度稳定在目标温度在-1.6—0.9℃以内。

高分相机CCD焦面组件温度与相机工况相关，15 min连续摄影后温升约为3℃，满足其温度指标要求。

#### 4.4 测控信道

测控信道工作状态为：两台扩频应答机的接收机始终工作，发射机1开，发射机2关；02星增加了中继测控功能，中继测控终端接收机入轨后开机，测试之后中继接收机处于常开机状态。

两台应答机接收上行载波信号强度处于中、强信号的工作条件。应答机在完成星地双捕后，其上行载波接收AGC遥测稳定，应答机1的发射功率遥测在卫星入轨和在轨测试时与地面测试值一致。卫星遥测数据和外测数据，都可以确定卫星在每次进入可测控弧段后，除了换站外均没有失锁过，保持测距信号和遥控信号锁定状态。

02星入轨后通过程控指令将中继发射机开机，地面发送中继上行遥控指令，执行均正常。

#### 4.5 轨道定位

GPS接收机1机入轨后开机，开机稳定工作，接收、观测、锁定GPS卫星数稳定在8—12颗，观测余度较好。GPS接收机定轨结果与外测定轨结果基本一致，定轨数据正确。

GPS接收机定位后，秒脉冲和高精度时间开始输

出, 控制分系统和相机分系统接收使用GPS秒脉冲和高精度时间正常。

#### 4.6 星务管理

##### 4.6.1 遥测数据

各分系统所用的各遥测包格式、计数、采集周期、顺序及控制方法均正确, 整星所有遥测定义和处理方法与设计要求一致。

主动段遥测数据延时压缩比为16:1, 入轨后调整为64:1, 之后完整地提供卫星在轨飞行过程中的延时压缩(64:1)遥测数据, 延时遥测压缩数据正确。

##### 4.6.2 指令管理

通过对指令发送计数和应答计数的比较分析, 发送及应答指令条数相等, 表明所有上行指令均正确执行。卫星指令管理功能正常。

##### 4.6.3 总线管理

平台不断电设备均保持射前加电时的总线状态。平台在轨测试期间不断电设备没有异常通信无效计数增加, 总线广播状态与设计相符。星务总线管理功能正常(李孝同, 2001)。

##### 4.6.4 平台时间管理

“天绘一号”卫星平台时间系统用于平台各分系统, 时间基准为UTC时。卫星入轨后, 使用时钟单元提供的外时钟。

入轨后星务进行了均匀校时、地面授时、GPS授时和星务引入GPS校时, 星务中心计算机时间与GPS时间同步, 目前平台时间系统同步精度优于1 ms, 满足优于5 ms的指标要求。

经过统计, 星务恒温晶振时钟准确度01星为 $1.43 \times 10^{-7}$ , 02星为 $6.36 \times 10^{-8}$ , 满足优于 $5 \times 10^{-7}$ 的指标要求。

##### 4.6.5 星务数据存储模块检查

入轨后星务数据存储模块主份加电并开始存储数据, 经统计平均存储1 M字节数据用时1396 s, 与入轨前测试数据一致。在卫星实传模式中进行了首次数据顺序发送, 在360 s内共下传约29 M数据, 有效码速率约为660 kbps, 与地面测试数据一致。

#### 4.7 数据处理与传输

在轨测试期间, 进行了实传模式、顺序回放模

式、随机回放模式、顺序记录模式和随机记录模式的测试, 覆盖了卫星的主要工作模式。在各种工作模式下, 数据处理与传输分系统工作正常, 通过对图像数据的分析, 表明数据传输信道畅通, 卫星数据格式与设计约定一致, 卫星数据传输性能满足要求。

#### 4.8 载荷性能评估

入轨后进行测绘相机下位机主机和高分辨率相机下位机主机的开机检查, 开机后对测绘相机分系统和高分辨率相机分系统的遥测进行观察和监测, 遥测表明测绘相机下位机主机和高分辨率相机下位机主机工作正常。

入轨后第5天, 测绘相机分系统和高分辨率相机分系统进行首次摄影, 摄取到地物图像清晰、层次好。测绘相机和高分辨率摄影期间电源遥测均在正常范围内。

通过对图像辅助数据分析, 测绘相机、多光谱相机、小面阵使用的行周期均正常, 高分辨率相机行周期进行实时调整, 最大、最小行周期均在正常调整范围内。

通过对遥测数据分析, 前视、正视、后视相机和多光谱相机的焦面组件位置, 高分辨率相机调焦镜位置与发射前最多相差2个码值, 说明焦面位置经过发射段的冲击后基本没变, 均在正常范围内。

#### 4.9 高精度时间系统

“天绘一号”卫星高精度时间系统, 用于和测绘任务相关的各有效载荷设备, 包括GPS接收机、星敏感器、陀螺、测绘相机和高分辨率相机等, 时间基准为GPS时。

卫星入轨后控制分系统引入GPS高精度校时, 校时后姿控时与GPS时间差在0—60 μs范围内, 结果表明控制系统与GPS时间差满足小于0.1 ms的指标要求。

在轨测试结果表明, 插入各相机图像中的辅助数据的高精度时标格式、精度均满足设计要求。

### 5 结论与展望

“天绘一号”卫星两颗星经过在轨阶段功能和性能的测试, 卫星各分系统、各硬件及软件产品工作状

态良好，在此期间进行的卫星功能和性能测试正常，性能指标满足用户要求和设计要求。

01星已交付用户使用，02星在轨测试已完成，即将交付用户使用。“天绘一号”卫星已获取了大量的高分辨率影像、3线阵立体影像和多光谱影像信息，两颗星组网运行后，必将获取更多的图像数据，为中国全球基础地理信息系统的建设、维护和更新提供测绘信息保障，为国家安全、国民经济建设、“数字中国”建设等做出贡献。

## 参考文献(References)

- 王任享, 胡莘, 杨俊峰, 王新义. 2004a. 卫星摄影测量LMCCD相机的建议. 测绘学报, 33(2): 116–120  
王任享, 胡莘. 2004b. 无地面控制点卫星摄影测量的技术难点. 测绘科学, 29(3): 3–5  
王任享, 王建荣, 王新义, 杨俊峰. 2004c. LMCCD相机卫星摄影测量的特性. 测绘科学, 29(4): 10–12  
黎明, 吴清文, 江帆, 黄涛. 2010. 三线阵立体测绘相机热控系统的设计. 光学精密工程, 18(6): 1367–1373  
李孝同. 2001. 小卫星星务管理技术. 中国空间科学技术, 21(1): 29–36

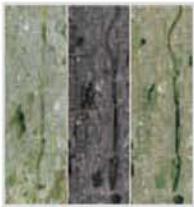
# Mapping Satellite-1 in-orbit performance evaluation

LI Yan, TAO Zhigang, LI Songming, GUO Zhisheng, SHI Jian, GAO Cuidong

DFH Satellite CO., LTD, Beijing 100094, China

**Abstract:** Mapping Satellites-1 is the first new-generation stereo mapping satellite of China. It is designed by DFH Satellite Co.LTD. and based on CAST2000 small satellite-platform. Mapping Satellite-01 has been launched successfully in August, 2010. Mapping Satellite-02 has been launched successfully in May, 2012. All of the performances are satisfactory in-orbit test. The paper gives an evaluation of the in-orbit performance, which is very useful for follow-on application work.

**Key words:** Mapping Satellite-1, mapping camera, high-resolution camera, in-orbit performance evaluation



## 封面说明

About the Cover

“天绘一号”卫星获取的吉林省长春市影像数据

The image acquired by Mapping Satellite-1 for the city of Changchun, Jilin

“天绘一号”卫星是中国第一颗传输型立体测绘卫星。封面图片为“天绘一号”卫星获取的吉林省长春市影像数据，左图为红、绿、蓝、近红外4个波段的10 m分辨率多光谱影像，中间为2 m分辨率全色影像，右图为生成的融合影像。“天绘一号”卫星既能进行高精度地形地貌立体测绘，又能进行地物判绘、资源调查和遥感定量分析，可广泛应用于国土测绘、城市规划、农林普查、土地利用详查、水利电力、交通运输、灾害监测和矿产资源分析等领域。

The Mapping Satellite-1 is the first stereo mapping satellite of China. The cover shows the data captured by this Satellite for the city of Changchun, Jilin province, northern China. The left side is a multispectral image that consists of red, green, blue, and near infrared bands at 10 m resolution. The middle is panchromatic image with 2 m resolution, and the right shows the fusion image. These data are important for three dimensional topography and landform surveying and high precision mapping, object interpretation and editing, resources investigation and remote sensing quantitative analysis. They are also expected to play a significant role in national land surveying and mapping, city planning, agriculture and forests survey, land usage investigation, water reservation and electric power, transportation, disaster forecast and mineral resources analysis.

# 遥感学报

JOURNAL OF REMOTE SENSING

YAOGAN XUEBAO (双月刊 1997年创刊)

第16卷 增刊 2012年12月26日

(Bimonthly, Started in 1997)

Vol.16 Sup December 26, 2012

主 管	中国科学院	Superintended by	Chinese Academy of Sciences
主 办	中国科学院遥感应用研究所 中国地理学会环境遥感分会	Sponsored by	Institute of Remote Sensing Applications, CAS. The Associate on Environment Remote Sensing of China
主 编	顾行发	Editor-in-Chief	GU Xing-fa
编 辑	《遥感学报》编委会 北京市安外大屯路中国科学院遥感应用研究所 邮编：100101 电话：86-10-64806643 http://www.jors.cn E-mail:jrs@irsa.ac.cn	Edited by	Editorial Board of Journal of Remote Sensing Add: P.O.Box 9718, Beijing 100101, China Tel: 86-10-64806643 http://www.jors.cn E-mail: jrs@irsa.ac.cn
出 版	科学出版社	Published by	Science Press
印 刷 装 订	北京科信印刷有限公司	Printed by	Beijing Kexin Printing Co. Ltd.
总 发 行	科学出版社 北京东黄城根北街16号 邮政编码：100717 电话：86-10-64017032 E-mail:sales_journal@mail.sciencep.com	Distributed by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: 86-10-64017032 E-mail: sales_journal@mail.sciencep.com
国 外 发 行	中国国际图书贸易总公司 北京399信箱 邮政编码：100044	Overseas distributed by	China International Book Trading Corporation Add: P.O.Box 399, Beijing 100044, China

中国标准连续出版物号：ISSN 1007-4619  
CN 11-3841/TP  
CODEN YXAUAB

国内邮发代号：82-324  
国外发行代号：BM 1002

定价：70.00元

ISSN 1007-4619

国内外公开发行

