

科学出版社
出版
中国地理学会环境遥感分会
中国科学院遥感应用研究所
主办

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

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, 王戟翔, 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)
星传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..... 李焱, 谢守楹, 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”卫星星传感器精度分析..... 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网络的“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”卫星基于摄影任务的轨道维持策略

冯宁, 元朝鹏, 宫轶松, 黄显安, 邢坤

西安测绘研究所, 陕西 西安 710054

摘要: 针对靶标场等摄影任务受轨道维持影响大的现状, 提出基于摄影任务的轨道维持策略。分析了卫星轨道特性和轨道维持对重要摄影任务的影响, 提出利用邻轨搭接特性对摄影区域完成两次摄影的方法。通过某靶标场摄影试验, 比较分析得到最优摄影方案, 验证了本文方法的可行性。同时完善卫星轨道维持策略, 作为卫星实施轨道维持的重要参考依据。

关键词: 轨道维持策略, 摄影任务, 邻轨搭接特性

中图分类号: TP71 **文献标志码:** A

引用格式: 冯宁, 元朝鹏, 宫轶松, 黄显安, 邢坤. 2012. “天绘一号”卫星基于摄影任务的轨道维持策略. 遥感学报, 16(增刊): 108-111
 Feng N, Yuan Z P, Gong Y S, Huang X A and Xing K. 2012. Strategy of Mapping Satellite-1 orbit maintenance based on photographic mission. Journal of Remote Sensing, 16(增刊): 108-111

1 引言

“天绘一号”卫星属于低轨道卫星, 受空间环境因素的影响, 在轨运行期间轨道衰减与星下点漂移现象明显, 需要定期进行轨道维持, 以保证星下点相邻轨迹的无缝搭接(姬学军等, 1983)。卫星轨道衰减给摄影任务的轨道预报和摄影计划安排造成困难(湛颖等, 2006)。

本文分析了利用轨道维持保障重要摄影任务的必要性, 提出了利用邻轨搭接特性对摄影任务完成两次摄影的方法。通过某靶标场的摄影试验, 比较分析得到最优摄影方案, 验证了方法的可行性。该方法可完善卫星轨道维持策略, 作为卫星实施轨道维持的重要参考依据, 对于提高卫星数据快速获取能力和提升卫星使用效率具有一定的应用价值。

2 卫星运行轨道特性

“天绘一号”卫星运行轨道为太阳同步准回归轨道, 在一个回归周期内可以实现全球无缝均匀覆盖(钱增波等, 1992)。根据准回归轨道理论, 卫星设计轨道高度为 h , 轨道周期为 T , 设定卫星回归周期

m , 可以计算出邻轨周期 M , 即卫星访问其相邻轨道的时间间隔。

按照卫星设计轨道特性, “天绘一号”卫星邻轨周期 M 为9 d, 且在一个邻轨周期 M 后始终访问其东侧邻轨。星载相机摄影幅宽 L 约为60 km, 赤道上相邻轨道星下点间距 D 约为45 km, 重叠区域宽约为15 km, 旁向重叠率 Q_g 约为24%。卫星星下点间距随着纬度的增高而减小, 旁向重叠率也随之增大。设轨道倾角为 i , 则纬度为 φ 的任务区旁向重叠率 Q_φ 与赤道上旁向重叠率 Q_g 的关系式为:

$$Q_\varphi = 1 - (1 - Q_g) \sqrt{\sin^2 i - \sin^2 \varphi} \quad (1)$$

受高层大气阻力、地磁场、地球重力等空间环境因素的影响, 卫星在轨运行期间, 每天轨道衰减量大约10—40 m。如图1所示, 星下点轨迹按照抛物线的方向在标称轨迹左右漂移, 到后期漂移的速度明显加快。

为保持卫星的回归特性和保证星下点轨迹相邻两轨星下点幅宽的有效搭接, 需要定期对卫星进行轨道维持, 保证卫星运行轨迹在标称轨迹的正负7.5 km(赤道地区)范围之内。轨道维持的周期约为25

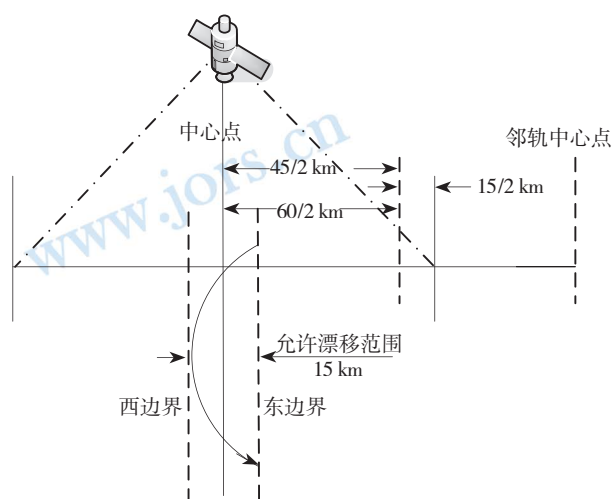


图1 幅宽搭接示意图

天, 小于卫星回归周期 m , 大于邻轨周期 M 。

3 轨道维持对摄影任务的影响

按照轨道设计原理, 在一个回归周期内, 卫星能够实现全球无缝覆盖。受轨道衰减的影响, 实际相邻轨道重叠区域并不均匀, 甚至会出现漏缝的现象。由于轨道维持的周期远小于回归周期, 对摄影任务无法做出长时间的准确预报。轨道维持工作通常占用一天时间, 该时间段内有效载荷无法实施摄影工作, 因此在实施轨道维持时, 必须考虑对摄影任务带来的影响。

按照“天绘一号”卫星的应用目标, 既有针对全球范围的常规摄影任务, 也有靶标试验场、定位精度检测场等特殊摄影任务。

靶标试验场用于检测相机的摄影参数和影像辐射特性, 每年均要安排实施。其中靶标铺设工作需要投入大量的人力、物力, 通常要在摄影日期前十天左右开始准备。为增加摄影成功几率, 设置两个靶标场。第一次摄影结束后, 靶标要立即从一号靶标场搬迁转场至相邻轨道的1号靶标场, 准备9天后卫星进行第2次过顶拍摄。

考虑到不同纬度的相邻轨道间距不同, 摄影幅宽重叠区域不同, 如果目标恰好位于相邻轨道摄影的重叠区域内, 则能够在较短的时间内实施两次摄影。对于靶标场铺设而言, 可以省去靶标搬迁转场与维护工作, 大大降低工作量, 节约作业成本。

4 针对摄影任务的轨道维持方法

鉴于对卫星定期实施轨道维持的必要性, 利用9天后相邻轨道摄影幅宽搭接的特性, 以某次靶标试验场的摄影试验为例, 分析通过调整轨道维持时机对摄影任务进行两次摄影的可行性。

4.1 分析任务区域与标称轨迹的位置关系

靶标试验场地理位置为 $(L1, B1)$, 根据式(1)计算得知, 在北纬 $B1$ 时两条标称轨迹的间距为 $D1$, 试验场位于两条标称轨迹的中间靠右位置, 与左右标称轨迹的距离分别为 $D2$ 、 $D3$, 如图2所示。按照摄影幅宽为60 km计算, 试验场处在两次摄影条带的重叠区域中, 说明卫星按照正常标称轨迹运行, 可以完成对试验场的两次摄影。

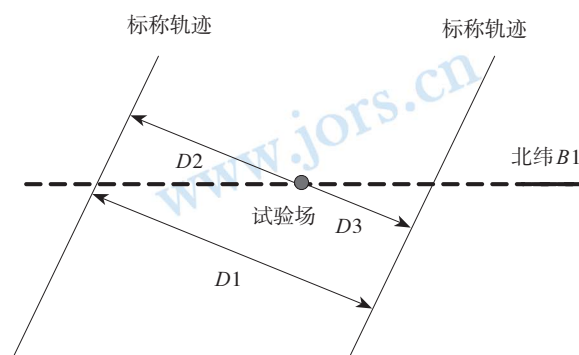
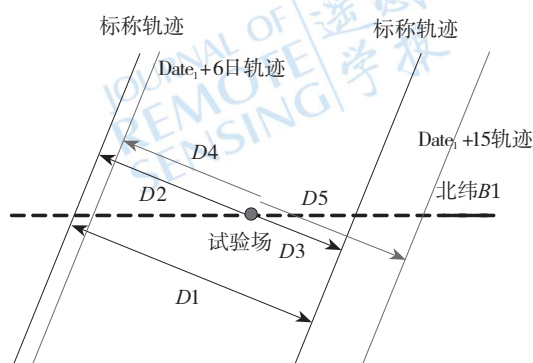


图2 试验场与标称轨迹位置图

4.2 预报卫星过境的时间

根据选择任意一天 $Date_1$ 日卫星轨道根数计算得知, 卫星分别在 $Date_1+6$ 日、 $Date_1+15$ 日两次经过试验场上空, 且处在两次摄影条带的重叠区域中, 与标称轨道的位置关系基本一致, 如图3所示。

图3 $Date_1$ 日轨道预报结果

4.3 分析轨道衰减对摄影任务的影响

截止到Date₁日, 根据已有轨道预报数据反算平均每天轨道衰减量为10.18 m。卫星星下点轨迹与标称轨迹的位置关系如图4和表1所示, (其中起始时刻为Date₁-25日):

表1 卫星星下点轨迹与标称轨迹的位置关系

时间(北京)	与标称轨迹距离(km, 西负东正)	属性
Date ₁	-6.67	预报时间
Date ₁ -2	-6.91	到达西边界
Date ₁ +16	7.5	到达东边界

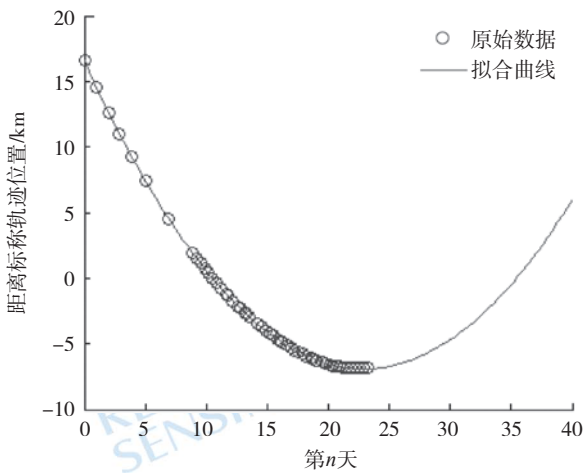


图4 卫星星下点轨迹与标称轨迹的位置关系

根据表1、图3, 卫星轨迹在Date₁-2日漂移至西边界, 在Date₁+8日漂移至标称轨迹, 在Date₁+16日迅速漂移至标称轨迹东边界7.5 km处。根据既定轨道维持策略, 卫星轨迹漂移至东边界的时刻, 确定为卫星轨道维持时间。因此可以确定Date₁+15日可以实施轨道维持。

4.4 提出方案, 对轨道维持的时机进行风险评估

由于Date₁+15日与试验场第2次摄影时间冲突, 且此时卫星轨迹漂移速度加快, 邻轨间距增大。因此需要根据最新的预报结果进行优化决策:

方案一: 卫星轨迹正常漂移, 且不会漂移至计划摄影范围之外, 则推迟轨道维持, 按计划安排试验场第2次摄影, 摄影结束后再进行轨道维持。此方案省时省力, 保持卫星正常运行即可。存在的不足是邻轨间距变大, 赤道地区的摄影可能会出现漏缝, 不能实现邻轨覆盖的设计要求。存在的风险是轨道衰减速度加快, 导致星下点轨迹偏出试验场,

无法完成摄影任务。

方案二: 卫星轨迹漂移速度加快, 邻轨间距增大, 且轨迹将漂移出计划摄影范围之外, 则提前进行轨道维持, 使轨迹回归到标称轨道上, 确保试验场第2次摄影完成。此方案的风险主要是轨道维持过程中测控误差导致的轨迹偏移, 经测算, 轨迹最大偏移量低于4 km, 不会影响到试验场的第2次摄影。

实际操作过程中, 通常还要考虑气象、地面保障设备等因素的影响。

4.5 确定最终实施方案, 检查实施效果

根据Date₁+8日最终预报结果, Date₁+15日卫星轨迹与试验场位置关系见图5, 二者之间距离为D₆。为保险起见, 决定采用第2种方案, 于Date₁+10日对卫星进行轨道维持。

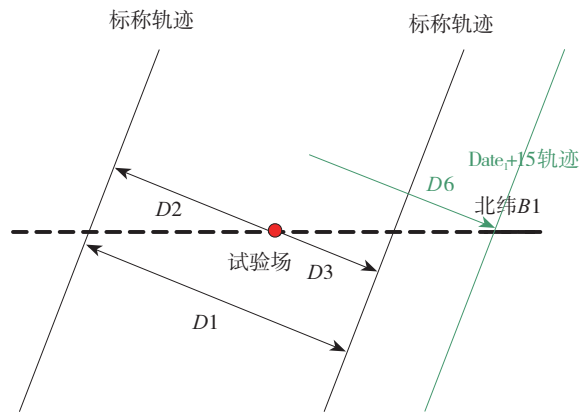


图5 Date₁+8日预报Date₁+15日卫星运行轨迹图

轨控后Date₁+15日轨迹运行结果见图6, 星下点轨迹漂移距离监测图见图7。由图6可见, 通过实施轨道维持, 试验场距离星下点轨迹D₇, 实现了两次摄影的预期, 较好地完成了任务。

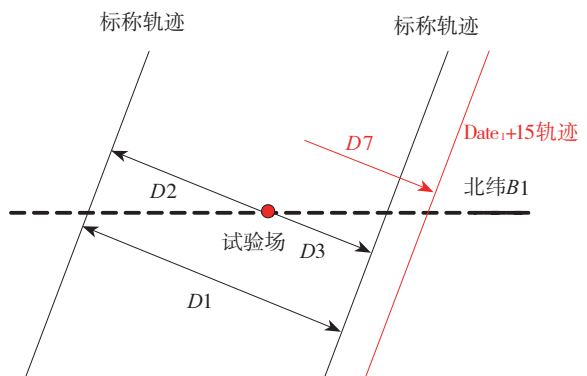


图6 Date₁+15日卫星运行轨迹图

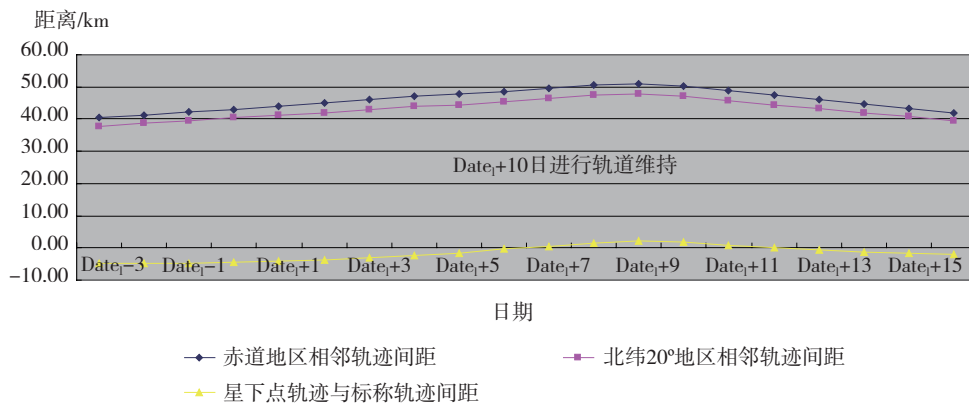


图7 卫星星下点轨迹漂移距离监测图

5 卫星轨道维持策略

结合靶标场等重要摄影任务，完善卫星轨道维持策略。

首先，要定期监测卫星轨道衰减情况和星下点轨迹漂移情况，预报星下点轨迹漂移至标称轨迹东边界的日期；

其次，要预报东边界前后重要摄影任务过顶情况；

第三，采用上述试验方法分析是否需要调整轨道维持日期；

最后，制定最终轨道维持方案和摄影方案。

6 结论

通过分析卫星星下点轨迹与靶标试验场位置变

化关系，准确预报了卫星轨道维持的时机，分析得到最优摄影方案，保证了靶标试验场任务的完成。试验表明，该方法切实可行，在后续的工作中可以为类似靶标试验场等重要摄影任务的计划安排提供参考依据。

同时，在现有轨道维持策略的基础上，增加对摄影任务的分析，作为卫星实施轨道维持的重要参考依据。该策略对于提高卫星数据快速获取能力和提升卫星使用效率具有重要的应用价值。

参考文献(References)

- 姬学军. 1983. 太阳同步兼回归轨道控制方法. 宇航学报, 4: 1-12
 谌颖. 2006. 长期在轨运行卫星的轨道维持技术. 航天测控, 3: 35-38
 钱增波, 刘静宇, 肖国超. 1992. 航天摄影测量. 北京: 解放军出版社: 36-45

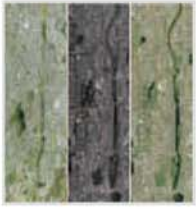
Strategy of Mapping Satellite-1 orbit maintenance based on photographic mission

FENG Ning, YUAN Zhaopeng, GONG Yisong, HUANG Xian'an, XING Kun

Xi'an Research Institute of Surveying and Mapping, Xi'an, 710054, China

Abstract: This paper presents the strategy of Mapping Satellite-1 orbit maintenance based on photographic mission, for the status of the considerable impact of orbit maintenance upon photographic mission. This paper analyzes the orbit characteristics and the impact of orbit maintenance upon photographic mission, and presents one method of getting the photographic mission twice by overlap characteristics of the adjacent tracks. An example application is given, and the result confirms the feasibility of this method. In addition, this paper improves the strategy of orbit maintenance by analyzing photographic mission.

Key words: strategy of orbit maintenance, photographic mission, overlap characteristics of the adjacent tracks



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.

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

