

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

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” 01星立体影像定位精度检测

付勇¹, 邹松柏², 刘会安¹

1. 武汉大学遥感信息工程国家重点实验室, 武汉 430074;

2. 武汉大学遥感信息工程学院, 武汉 430074

摘要: 利用多个测区的样本数据和大量的野外实测GPS控制点, 进行“天绘一号” 01星立体影像无控制点、不同控制条件下的定位精度检测, 结果表明在无控制点定位时平面精度优于10 m, 高程精度优于6 m, 控制点定向时的检查点平面精度优于9 m, 高程精度优于3 m, 完全满足1:50000比例尺成图精度要求。

关键词: “天绘一号”, 精度检测, 有理函数模型, 区域网平差

中图分类号: P237 **文献标志码:** A

引用格式: 付勇, 邹松柏, 刘会安. 2012. “天绘一号” 01星立体影像定位精度检测. 遥感学报, 16(增刊): 94-97

Fu Y, Zou S B and Liu H A. 2012. Evaluation of the location accuracy of the Mapping Satellite-1 stereo image. Journal of Remote Sensing, 16(增刊): 94-97

1 引言

为验证“天绘一号”卫星平台和影像数据的测绘精度, 本文随机选取了中国西北、西南、东南、东北和中部5个长条带三线阵样本数据, 并全野外布测了114个GPS点(57个点组)进行立体影像无控制点和带控制点定位的检测与评估, 检测结果表明, “天绘一号”具有很好的定位精度, 无控制点定位精度平面优于10 m, 高程优于6 m, 有控制条件定向时的检查点平面精度优于9 m, 高程精度优于3 m。

2 检测方法

“天绘一号”标准景1B级卫星影像, 与商业卫星一样, 数据附带了有理函数模型(RFM)系数。其1B级卫星影像的RFM模型是在无地面控制的条件下, 利用姿轨数据经过EFP多功能光束法平差后得到的, 已经具备了很高的定位精度。利用给定的RPC系数, 采用基于有理函数的系数RPC直接前方交会和RFM区域网平差定向两种方法进行精度检测的。

2.1 RFM模型

在RFM模型中, 影像像元坐标和其地面3维坐标之间的关系用有理多项式来表达, 其中所有的坐标都进行归一化处理。为描述方便, 现假设 x_n 和 y_n 为归一化影像像元坐标, $(\varphi_n, \lambda_n, h_n)$ 为归一化地理坐标(经度、纬度和椭球高), RFM模型的数学表达式为:

$$\begin{aligned} x_n &= RPC_x(\varphi, \lambda, h) = \frac{f_1(\varphi_n, \lambda_n, h_n)}{f_2(\varphi_n, \lambda_n, h_n)} \\ y_n &= RPC_y(\varphi, \lambda, h) = \frac{f_3(\varphi_n, \lambda_n, h_n)}{f_4(\varphi_n, \lambda_n, h_n)} \end{aligned} \quad (1)$$

式中, $f_t(\varphi_n, \lambda_n, h_n)$ ($t=1, 2, 3, 4$)为一般多项式, 且多项式中每个坐标分量 $\varphi_n, \lambda_n, h_n$ 的幂最大不超过3, 每一坐标分量幂的总和也不超过3。

研究表明, 基于RFM成像模型的影像区域网平差既可以在像方空间, 也可以在物方空间进行(pial和brodecki, 2002; 张过, 2005; 张过等, 2006; 张力等, 2009; 张永生等, 2004; 张永生和刘军, 2004)。采用像方空间的定向方法可描述如下:

$$\begin{aligned} x_k + a_{i,0} + a_{i,1}x_k + a_{i,2}y_k &= RPC_x^i(\varphi_k, \lambda_k, h_k) \\ y_k + b_{i,0} + b_{i,1}x_k + b_{i,2}y_k &= RPC_y^i(\varphi_k, \lambda_k, h_k) \end{aligned} \quad (2)$$

式中, $a_{i,0}$, $a_{i,1}$, $a_{i,2}$ 和 $b_{i,0}$, $b_{i,1}$, $b_{i,2}$ 是针对影像 i 的6个定向参数; (x_k, y_k) 和 $(\varphi_k, \lambda_k, h_k)$ 是标号为 k 的点的影像与地面坐标。其中平差参数 $b_{i,0}$ 将吸收所有星载传感器在飞行方向上位置和姿态误差所引起的影像行方向上的误差, 平差参数 $a_{i,0}$ 将吸收所有星载传感器扫描方向上位置和姿态误差所引起的影像列方向上的误差。

2.2 检测方法

为综合检测和评估“天绘一号”卫星影像的定位精度, 对“天绘一号”立体影像进行了无控制点和有控制点区域网平差的精度检测, 具体检测方法如下:

2.2.1 无控制点定位精度检测

无控制点精度检测采取初始RPC模型直接前方交会和自由网区域网平差后再前方交会两种方法进行。直接前方交会法先是在三线阵影像分别量测检查点的像点坐标, 然后利用像点坐标和初始RPC参数进行前方交会计算其地面点坐标; 自由网区域网平差法先按条带影像建立测区, 在无野外控制点的情况下, 在模型中量测分布均匀的一定数量连接点, 采用基于RFM模型的卫星影像定向进行自由网平差解算, 消除立体模型的上下视差; 然后在立体观测模式下进行检查点的量测, 得到其内业观测结果。通过与野外实测结果分别进行比较, 分析其无控制点条件下定位精度。

2.2.2 有控制点定位精度检测

在无控制点区域网平差法精度检测试验的基础上, 首先按常规4角地面控制点方案进行试验, 然后根据尽可能控制最大影像覆盖范围的布点要求逐步增加控制点, 按4—12个控制点方案进行试验, 剩余点作检查点进行精度统计, 得到有控制条件下定向点精度和检查点精度。

3 实验结果

3.1 试验数据

3.1.1 影像数据

立体影像无控点和控制点定位精度检测数据为5个长轨道三线阵1B级卫星影像及相应的RPC参数文件, 每个长轨道包含6—8个左右标准景立体影像, 相邻标准影像间重叠约25%, 立体影像标准景幅面大小为 12000×12000 , 分辨率为5 m, 覆盖范围为 $60 \text{ km} \times 60 \text{ km}$ 。

3.1.2 控制点成果

每个区域内按 5×3 均匀布设15个控制点组(GPS D级网, 地面量测精度优于40 cm), 点组间纵向距离约70—95 km。控制点均附有WGS 84的坐标和大地高成果。

3.2 检测结果

3.2.1 无控制点精度检测

图1、图2分别为北京检测场采用区域网平差方法得到15个检查点组的平面与高程误差分布图, 高程误差分布图中 \uparrow 为正, \downarrow 为负。表1为北京检测场检查点残差精度统计结果, 表2为所有5个试验场所有114个检查点残差中误差统计结果。

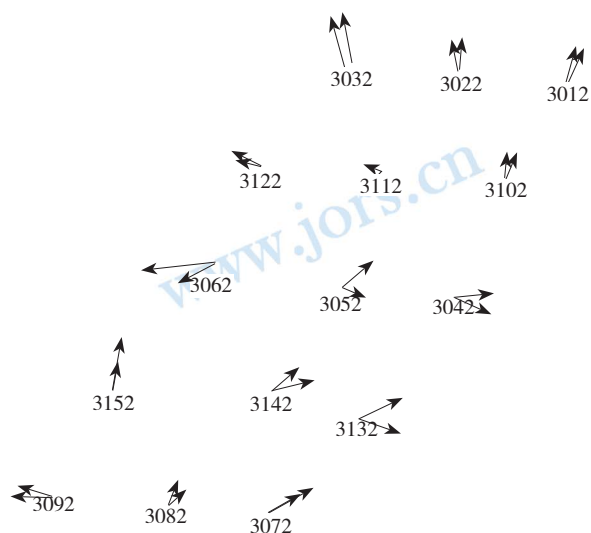


图1 北京检测场无控制点定位平面误差分布图

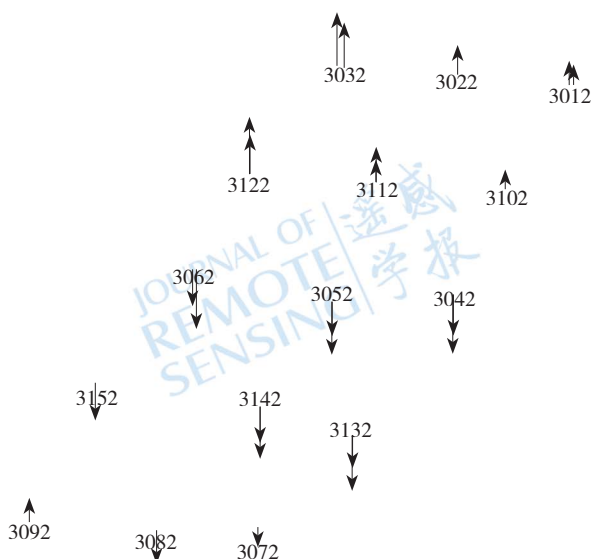


图2 北京检测场无控制点定位高程误差分布图

表1 北京检测场无控制点定位精度 /m

	X方向	Y方向	平面	高程
最大残差	8.9	12.9	13.8	14.3
	8.6	13.1	13.6	14.7
最小残差	0.9	0.3	1.9	0.3
	0.7	0.2	2.3	0.1
中误差	5.9	6.9	8.9	7.2
	4.9	6.8	8.3	7.3

注：其中白体为直接前方交会结果，黑体为经过自由网平差结果，平面= $\sqrt{X^2+Y^2}$

表2 所有试验场无控制点定位精度 /m

试验场名	点数	中误差/m			
		X方向	Y方向	平面	高程
黑龙江检测场	30	7.7	7.4	10.7	4.5
		6.1	7.4	9.6	4.1
新疆检测场	30	6.7	8.9	11.1	4.0
		4.6	9.0	10.1	3.7
北京检测场	30	5.9	6.9	8.9	7.2
		4.9	6.8	8.3	7.3
安徽检测场	12	7.2	8.8	11.4	5.4
		8.2	9.2	12.3	5.7
吉林检测场	12	5.9	7.2	9.3	7.4
		8.8	4.9	10.1	8.6
5个区所有点	114	6.8	7.8	10.3	5.7
		6.1	7.7	9.8	5.8

注：其中白体为直接前方交会结果，黑体为经过自由网平差结果，平面= $\sqrt{X^2+Y^2}$

3.2.2 带控制定位精度检测

表3列出了所有5个测区在不同控制条件下定向点和检查点的中误差，图3、图4根据表3结果描述出了不同控制条件下的定向点与检查点的平面和高程精度变化趋势。

表3 不同控制条件的定位精度 /m

点数	控制点中误差				点数	检测点中误差			
	X方向	Y方向	平面	高程		X方向	Y方向	平面	高程
0	—	—	—	—	30	7.8	8.0	11.2	9.1
4	6.9	2.5	7.3	2.7	26	7.6	6.1	9.7	8.2
5	6.1	2.6	6.6	2.2	25	7.4	5.4	9.2	5.9
6	6.3	3	7	2.1	24	7.2	5	8.8	5.4
7	5.2	2.5	5.8	2	23	7.7	5.1	9.2	4
8	5.3	2.7	5.9	2	22	7.6	4.8	9	3.4
9	5.1	2.8	5.8	2	21	7.6	4.9	9	3.5
10	6	3	6.7	2.2	20	6.5	4.9	8.2	3.1
12	5.9	3	6.6	2.2	18	6.7	4.8	8.3	3.1
30	4.1	3	5.1	1.9	0	—	—	—	—

注：平面= $\sqrt{X^2+Y^2}$

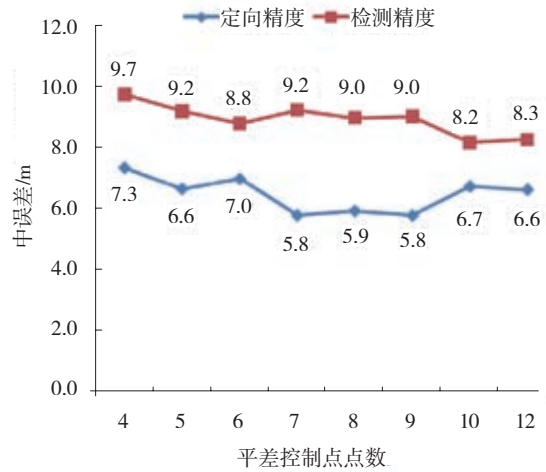


图3 不同控制条件下区域网平差精度(平面)

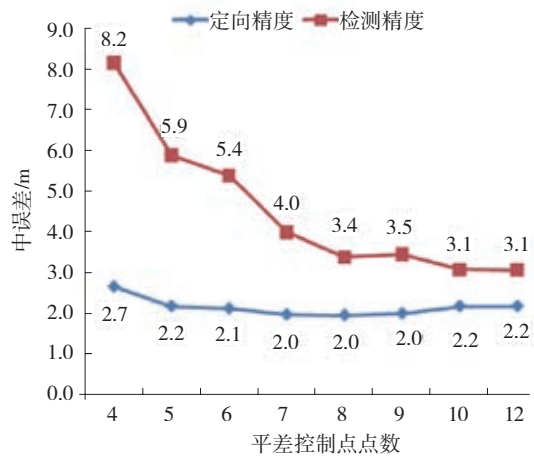


图4 不同控制条件下区域网平差精度(高程)

4 结论

综上所述，可以得出以下结论：

(1) “天绘一号”卫星影像无控制定位精度平面优于10 m，高程优于6 m，能够满足1：50000测图精度要求。

(2)利用7个以上地面控制点(周边6个+中心点，点组间距离不大于200 km)可以明显提高“天绘一号”三线阵立体影像对地目标定位的精度，且当超过7个点时目标定位精度几乎不变。实验表明，在像控点组的地面间隔不大于200 km时地面控制点的平面精度优于9 m，高程精度优于3 m，完全满足1：50000的成图精度要求。

参考文献(References)

Dial G, Grodecki J. 2002.Block Adjustment With Rational Polynomial

- Camera Models[A]. Proceedings of ACSM-ASPRS Annual Conference. Washington D C
- 张过. 2005. 缺少控制点的高分辨率卫星遥感影像几何纠正. 武汉: 武汉大学
- 张过, 李德仁, 袁修孝, 张春玲. 2006. 卫星遥感影像的区域网平差成图精度, 23(4)239-241
- 张力, 张继贤, 陈向阳, 安宏. 2009. 基于有理多项式模型RFM的稀少控制SPOT25卫星影像区域网平差. 测绘学报, 38(4)302-310
- 张永生, 龚丹超, 刘军. 2004. 高分辨率遥感卫星影像应用成像模型、处理算法及应用技术. 北京: 科学出版社
- 张永生, 刘军. 2004. 高分辨率遥感卫星立体影像RPC模型定位的算法及其优化. 测绘工程, 13(1): 1-4

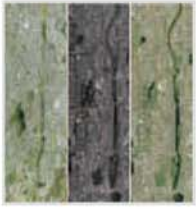
Evaluation of the location accuracy of the Mapping Satellite-1 stereo image

FU Yong¹, ZOU Songbai², LIU Hui'an¹

1. State Key Laboratory of Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University, Wuhan 430074, China;
2. School of Remote Sense and Information Engineering, Wuhan University, Wuhan 430074, China

Abstract: This paper did an evaluation of the location accuracy of the Mapping Satellite-1 Three-Line-Array(TLA) image with and without control points. The experiment data involves several test blocks and a lot of field surveyed GPS control points. The result showed that the horizontal accuracy of TLA image can reach 12 m and the height accuracy can reach 10 m without GCPs. When using GCPs, the accuracy can reach eight meters and three meters respectively which can satisfy the accuracy requirement of 1 : 50000 mapping.

Key words: Mapping Satellite-1, accuracy evaluation, RFM, block adjust



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



9 771007 461125