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
出版 科学出版社

# 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

百种中国杰出学术期刊

# 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，李浛，张屹峰，董筠 (48)

GPS高精度校时在卫星控制系统中的应用 ..... 李浛，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”卫星地面应用系统设计与实现

胡莘，王新义，杨俊峰

西安测绘研究所，陕西 西安， 710054

**摘　要：**介绍了“天绘一号”卫星地面应用系统在中国航天测绘装备建设中的地位和作用，重点介绍了“天绘一号”卫星地面应用系统的功能、组成、工作流程和产品设计，以及系统的技术特点、实际运行情况以及测绘能力，展示了数据处理成果，为了解天绘卫星工程建设情况，提供基本参考。

**关键词：**卫星工程，地面应用系统，卫星影像产品，测绘产品

**中图分类号：**TP79　　**文献标志码：**A

**引用格式：**胡莘，王新义，杨俊峰. 2012.“天绘一号”卫星地面应用系统设计与实现. 遥感学报，16(增刊): 78–83
Hu X ,Wang X Y and Yang J F. 2012. Design and implementation of ground application system for Mapping Satellite-1. Journal of Remote Sensing, 16(增刊): 78–83

## 1　引　言

“天绘一号”卫星系统工程是“天绘一号”卫星研制、发射和运行的工程支撑，由卫星、运载火箭、发射场、测控和地面应用5大系统组成。地面应用系统是“天绘一号”卫星系统工程的重要组成部分，承担着卫星摄影任务规划、数据接收、数据管理、数据预处理、数据测绘处理、应急测绘保障等重任，是卫星应用效能发挥的主要环节，也是完成全球测绘任务的基础。

“天绘一号”卫星地面应用系统于2006年启动立项，经过4年的研制，在2010年8月投入使用，系统功能和性能达到了系统设计指标要求，目前，地面应用系统运行稳定正常，正在为国防建设和国民经济建设发挥着重大作用。

## 2　系统职能

### 2.1　系统功能

“天绘一号”卫星地面应用系统主要功能是：(1)完成卫星摄影任务规划和卫星有效载荷运行管理；(2)接收卫星下传数据；(3)对卫星下传数据进行预处理，生成卫星影像产品；(4)完成数据的存储、管理和分发；(5)进行卫星摄影系统主要参数检测和影像特性的标定；(6)进行应急测绘保障处理，生成应急测绘保障产品；(7)完成无地面控制条件下的地物精确3维定位；(8)测制1∶5万比例尺数字地形图、数字高程模型和正射影像地图；(9)修测1∶2.5万比例尺数字地形图。

### 2.2　系统组成

“天绘一号”卫星地面应用系统从技术上划分为任务规划、数据接收、数据预处理、数据管理服务、摄影参数与影像特性检测、控制定位与测图以及应急测绘保障7个系统。其中数据接收系统包括数据接收中心、北京地面接收站和中国华南、西北方向的两个地面接收站。由任务规划、数据预处理、数据管理服务、摄影参数与影像特性检测、控制定位与测图、应急测绘保障等系统，以及数据接收系统中的数据接收中心和北京地面接收站共同组成航天测绘遥感信息处理中心。如图1所示。

(1)任务规划系统

任务规划系统是整个地面应用系统的指挥中枢和核心。主要任务是监视卫星有效载荷，制定卫星任务

**收稿日期：**2012-08-16；**修订日期：**2012-11-14

**第一作者简介：**胡莘(1961—　)，男，研究员，博士生导师，主要从事测绘卫星工程论证和卫星摄影测量技术研究。E-mail: huxin327@163.com。

计划，监控和指挥调度地面应用系统中其他系统的设备和业务运行。

(2)数据接收系统

数据接收系统是卫星数据获取的关键环节。主要任务是在任务规划系统的指挥下，组织调度各接收站完成“天绘一号”卫星下传的各类数据的接收工作，对各接收站接收到的数据进行汇总和成像处理，并将其传输到数据管理服务系统和数据预处理系统。

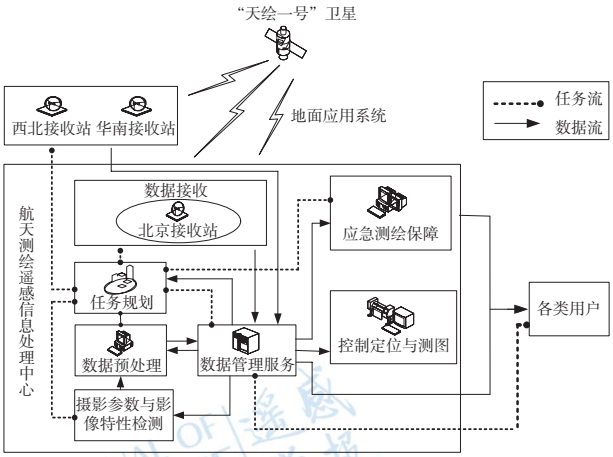


图1 “天绘一号”卫星地面应用系统体系结构图

(3)数据预处理系统

数据预处理系统是卫星影像产品生产的主要系统。主要任务是根据任务规划系统的指令，从数据接收系统取得原始影像数据，完成原始影像数据的去重拼接，成像处理、影像校正、质量评价与产品编目，生成各级卫星影像数据产品，并将生成的最终产品送交数据管理服务系统统一管理。

(4)数据管理服务系统

数据管理服务系统是整个地面应用系统的数据管理中心和对外服务窗口，对内为地面应用系统中各个功能系统提供所需数据服务，对外为各类用户提供卫星影像数据保障。主要任务是对来自数据接收系统的原始码流数据和数据预处理系统的卫星影像产品进行存储管理，为后续测绘处理、应急测绘保障和其他用户提供服务保障。

(5)摄影参数与影像特性检测系统

摄影参数与影像特性检测系统是地面应用系统的卫星摄影载荷标定中心，主要任务是收集卫星发射前初始摄影参数，检测卫星在轨期间的有效载荷摄影参数、影像分辨率、影像的绝对与相对辐射特性，为高精度控制定位和高精度影像产品生产提供精确的摄影测量参数和影像辐射特性参数。

(6)控制定位与测图系统

控制定位与测图系统是标准测绘产品生产的主要系统。主要任务是利用数据管理服务系统提供的卫星影像产品和辅助测量数据，实施控制加密，测制1∶5万比例尺数字地形图、数字影像地图和数字高程模型，修测1∶2.5万比例尺数字地形图。

(7)应急测绘保障系统

应急测绘保障系统是应急测绘产品生产的主要系统。主要任务是利用数据管理服务系统提供的卫星影像产品和辅助测量数据，实施地理环境变化监测和应急测绘保障产品生产。

## 2.3 工作流程

数据管理服务系统对用户提交的测绘生产任务、数据申请进行分析，并以此为依据向任务规划系统发送摄影任务申请；任务规划系统依据摄影任务申请，接收气象局提供的摄影区域气象预报数据，与测控系统进行测控计划协调，依据现有卫星和地面站可用资源，安排卫星系统任务计划和地面应用系统工作计划；数据接收中心组织各接收站接收卫星下传摄影数据，对接收到的数据经现场处理后传送数据预处理系统；数据预处理系统将生产的各级影像产品发送至数据管理服务进行存储，再由数据管理服务系统根据产品生产订单的要求交由控制定位与测图系统进一步处理后提供给用户使用。在应急情况下，数据接收中心对数据现场处理后立即传送到数据预处理系统生成1A级产品，经数据管理服务系统交由应急测绘保障系统生成应急保障产品。工作流程如图2所示。

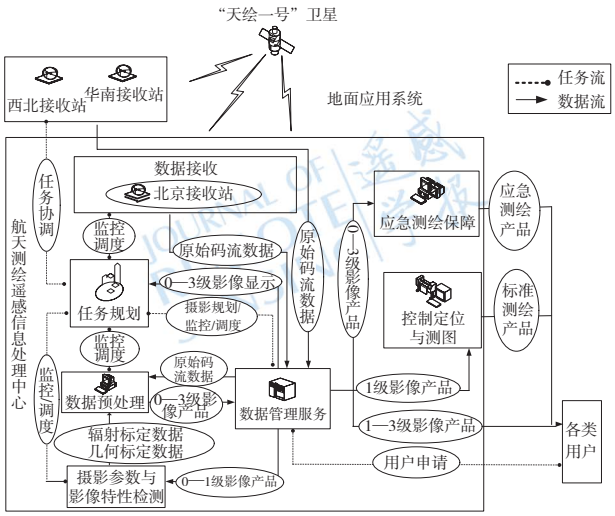


图2 “天绘一号”卫星地面应用系统工作流程图

### 2.4 产品设计

(1)卫星影像产品种类

“天绘一号”卫星影像产品包括5 m分辨率三线阵影像、2 m分辨率影像以及10 m分辨率4谱段多光谱影像，以及全轨道GPS数据、星敏感器数据、陀螺数据、摄影测量参数等辅助测量数据。

(2)卫星影像产品分级

“天绘一号”卫星影像产品分为0—3级，详见表1。

**表1 卫星影像产品分级定义表**

| 级别 | | 定义 |
|---|---|---|
| 0 | | 经成像处理后形成的原始影像数据、元数据、辅助测量数据 |
| 1 | 1A | 进行了辐射校正，并提供辅助测量数据的影像产品 |
| | 1B | 进行了辐射校正，并提供立体测图定向数据的影像产品 |
| 2 | | 经辐射校正，并沿地图正北方向按规定的地图投影做系统几何校正的影像产品，定位精度优于500 m |
| 3 | 3A | 经辐射校正，并沿地图正北方向按规定的地图投影，使用地面控制点做几何精校正的影像产品，定位精度优于50 m |
| | 3B | 由三线阵1B级卫星影像产品经过摄影测量处理形成的正射影像产品和参考DEM产品，包括3B级影像数据、浏览图、拇指图、元数据；参考DEM数据、元数据 |
| 备注 | | 辅助测量数据主要包括卫星平台的定位、定姿数据及摄影系统参数等<br>立体测图定向数据主要包括摄影时刻影像的内、外方位元素等 |

(3)卫星影像产品应用

各级卫星影像产品应用方向为：0级产品主要提供给测绘科研单位，用于三线阵摄影测量理论、方法、技术的开发和研究。1级产品主要提供给测绘生产和科研等单位和部门，用于地理信息产品的生产与制作。2、3级产品主要提供给国防建设和国民经济建设应用。

## 3 系统实现

### 3.1 系统特点

(1)新技术的密集运用。在系统研制中，集成运用了多层分布式应用系统框架技术、规范化和标准化的组件模型设计技术、多站接收的集中调度和监控技术、海量遥感数据的经济高效存储管理技术、大数据量的快速共享与交换技术、基于网络的高效无缝测图技术、基于EFP光束法的摄影测量参数检测与高精度控制定位技术等大量新技术和新方法，突显了整体系统的先进性。

(2)系统的稳定运行。系统采用整体松耦合、功能系统能力强化的设计理念，以任务规划系统作为任务流中心，以数据管理服务系统作为数据流中心，联系各功能系统完成任务调度和数据的管理，各功能系统则独立进行本系统的任务处理和系统维护，相互间耦合关联程度较低，使得整个系统功能拓展能力、维护能力、稳定运行能力大大增强。

(3)影像的高精度定位。基于线阵与面阵混合配置(LMCCD)影像等效框幅式(EFP)光束法平差新理论，开发了摄影测量系统参数高精度在轨检测软件，解决了摄影系统参数在空间环境下变化所引起的不确定性问题；研制了无地面控制条件下的高精度控制定位软件，解决了线阵影像模型扭曲变形改正问题，实现了无地面控制条件下卫星三线阵影像的精确定位。

(4)产品的多样化生产。系统具备对2 m、5 m、10 m分辨率影像进行0—3级影像产品生产能力；具备数字地形图、数字影像图、数字高程模型等测绘产品生产能力；具备突发事件地区的区域图、区域影像图、区域地形图、区域方位图等应急测绘产品生产能力。产品种类非常齐全，满足了各类用户的使用要求。

(5)数据的可视化服务。基于3维地球的遥感影像展示平台，可对“天绘一号”卫星影像产品与缩略图数据、矢量、DEM、标绘符号等信息叠加显示，用户通过显示环境与系统进行交互，交互结果在显示环境中实时展现。同时可以利用“天绘一号”卫星运行姿态参数与轨道参数，进行卫星运行状态快速模拟展示，增强了“天绘一号”卫星数据的服务保障能力。

### 3.2 系统运行

“天绘一号”卫星01星于2010年8月24日发射入轨，地面应用系统在完成在轨测试、业务化运行试生产工作后，已具备了规模化生产的能力。目前已获取全球约4亿$km^2$影像，约覆盖全球陆地40%，中国陆地有效覆盖90%以上。生产了多类卫星影像产品和地理信息产品，已先后为多家单位提供了约5000万$km^2$影像产品保障。“天绘一号”卫星02星于2012年5月6日发射入轨，目前已经完成在轨测试工作。“天绘一号”01和02星将按照两星组网模式运行，隔天依次通过摄影区域上空，彼此摄影带可拼接，总覆盖宽度不小于100 $km^2$，有效提高摄影效率和测绘能力。

### 3.3 测绘能力

经地面应用系统的摄影参数检测和控制定位数据处理之后，“天绘一号”卫星三线阵CCD影像在无地面控制条件下的目标定位精度满足工程指标要求，可以生产1∶5万比例尺地形图，修测1∶2.5万比例尺地形图；生产2 m、5 m和10 m分辨率的正射影像图以及彩色融合影像产品；生产20 m格网的DEM；可以生产各类专题图产品。生产试验表明，精度满足摄影测量成图规范要求。

## 4 成果展示

### 4.1 影像产品

(1)5 m分辨率三线阵影像(图3)。

(2)2 m分辨率影像如图4所示。

(a) 长春前视影像

(b) 长春正视影像

(c) 长春后视影像

图3 长春三线阵CCD影像

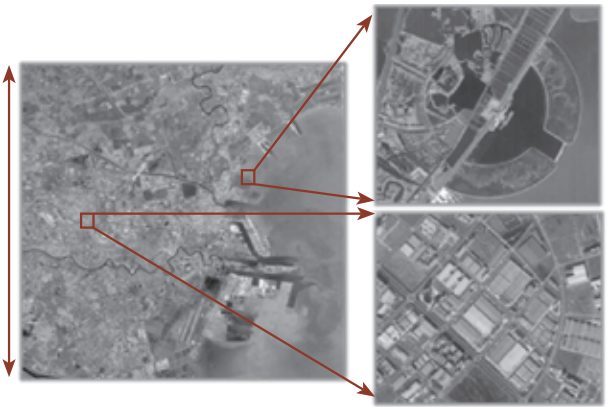

图4 天津2 m分辨率影像

(3)10 m分辨率多光谱影像如图5所示。

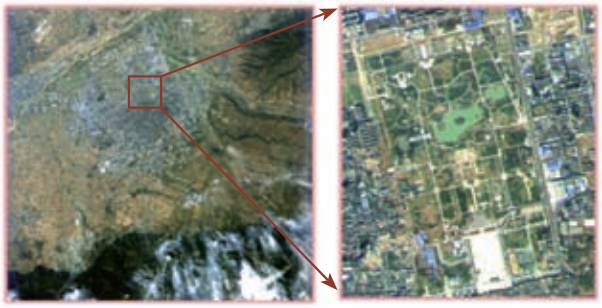

图5 西安多光谱影像

(4)2 m分辨率影像与10 m分辨率多光谱影像融合如图6所示。

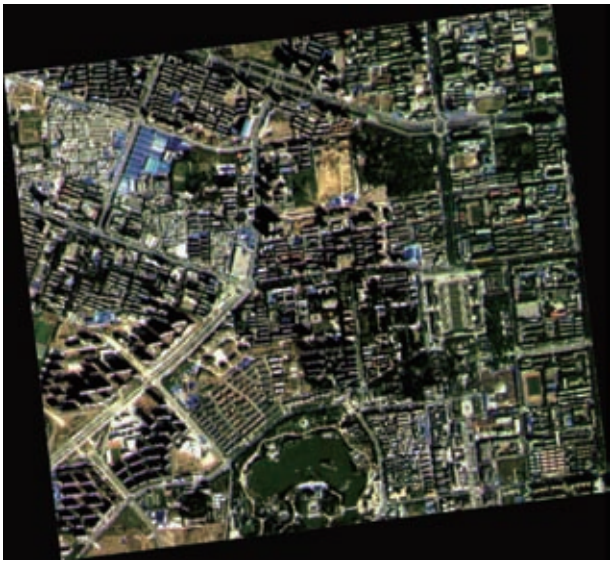

图6 西安2 m分辨率影像与多光谱影像融合影像

### 4.2 测绘产品

(1)1：5万比例尺数字地形图如图7所示。

(2)1：5万比例尺数字影像图如图8所示。

图7 数字地形图

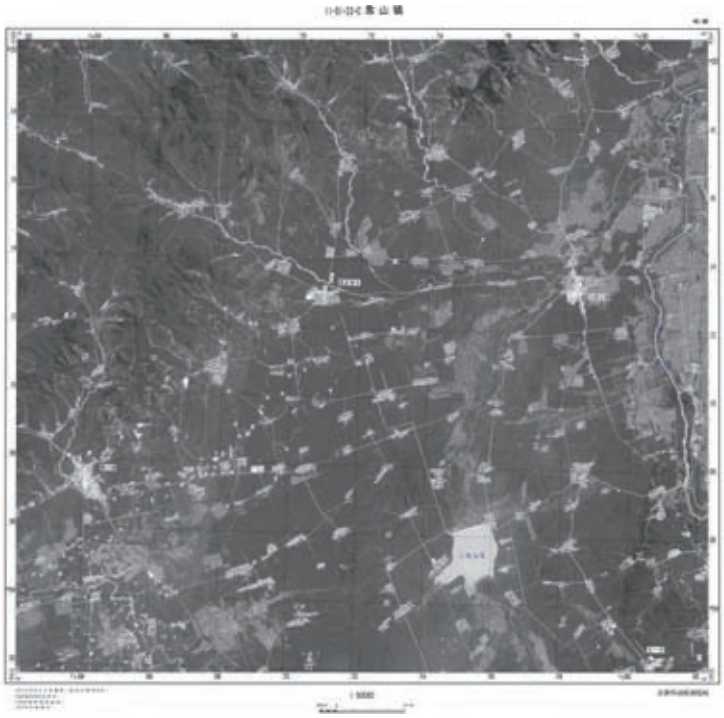

图8 正射影像图

(3)1：5万比例尺数字高程模型如图9所示

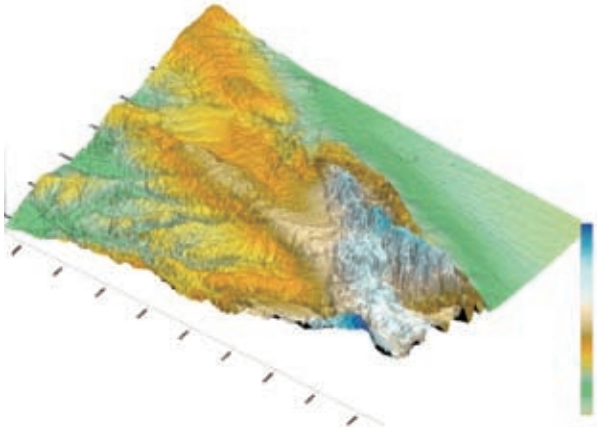

图9 数字高程模型分层设色图

## 参考文献 (References)


李建松. 地理信息系统原理. 2006. 武汉: 武汉大学出版社

姜景山, 王文魁, 都亨. 2001. 空间科学与应用. 北京: 科学出版社

王仁礼, 李世忠, 张占睦, 蔡建平. 2005. 航天遥感地面系统. 北京: 解放军出版社

王任享. 2006. 三线阵CCD影像卫星摄影测量原理. 北京: 测绘出版社

王兆耀, 张育林, 张珩等. 2008. 军事航天技术(学科分册). 北京: 中国大百科全书出版社

张学庆, 马万权, 高朝晖, 徐小刚. 2006. 卫星管理控制体系结构研究. 无线电工程, 36(5): 36–38


# Design and implementation of ground application system for Mapping Satellite-1


**HU Xin, WANG Xinyi, Yang Junfeng**

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



**Abstract:** This paper introduces the status and effect of the ground application system for Mapping Satellite-1 in China space surveying and mapping equipment firstly. Then the function, constituent, workflow, product design, technical characteristic, actually operation and surveying and mapping capability of ground application system for Mapping Satellite-1 are emphasized. Lastly, the data processing products are displayed in this paper.



**Key words:** satellite engineering, ground application system, satellite image product, surveying and mapping product

遥感学报 启功先生创刊题名

## 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<br>中国地理学会环境遥感分会 | Sponsored by | Institute of Remote Sensing Applications, CAS.<br>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<br>北京市安外大屯路中国科学院遥感应用研究所<br>邮编：100101 电话：86-10-64806643<br>http://www.jors.cn<br>E-mail:jrs@irsa.ac.cn | Edited by | Editorial Board of Journal of Remote Sensing<br>Add: P.O.Box 9718, Beijing 100101, China<br>Tel: 86-10-64806643<br>http://www.jors.cn<br>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<br>北京东黄城根北街16号<br>邮政编码：100717<br>电话：86-10-64017032<br>E-mail:sales_journal@mail.sciencep.com | Distributed by | Science Press<br>Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China<br>Tel: 86-10-64017032<br>E-mail: sales_journal@mail.sciencep.com |
| 国外发行 | 中国国际图书贸易总公司<br>北京399信箱 邮政编码：100044 | Overseas distributed by | China International Book Trading Corporation<br>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