

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)

测绘用离轴三反光学系统技术

郭疆¹, 刘金国¹, 王国良¹, 朱磊¹, 龚大鹏^{1,2}, 齐洪宇^{1,2}

1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033;

2. 中国科学院大学, 北京 100049

摘要: 离轴三反光学系统可以同时兼顾长焦距与大视场, 可以优化为零畸变、低场曲的光学系统, 很好地满足了测绘对光学系统的要求, 被公认为航天遥感测绘相机的发展方向。本文阐述了航天测绘相机的现状和发展趋势, 对离轴三反光学系统应用于测绘的相机内方位元素定义、焦距计算公式的修正、调焦方式对主点位置精度的影响、系统畸变标定以及系统稳定性等问题进行讨论为中国自主获取高分辨率、高精度的测绘数据提供了技术参考。

关键词: 长焦距, 离轴三反, 光学系统, 测绘相机

中图分类号: TP73/V447.3 **文献标志码:** A

引用格式: 郭疆, 刘金国, 王国良, 朱磊, 龚大鹏, 齐洪宇. 2012. 测绘用离轴三反光学系统技术. 遥感学报, 16(增刊): 17-21
Guo J, Liu J G, Wang G L, Zhu L, Gong D P and Qi H Y. 2012. Technology of off-axis TMA aerospace mapping camera. Journal of Remote Sensing, 16(增刊): 17-21

1 引言

随着地理信息系统软件技术的不断完善和成熟, 制约中国地球空间信息产业发展的瓶颈是基础地理数据获取问题。中国数据产业的生产和需求之间存在着较大矛盾, 加之国民经济和社会发展迅速, 交通和城市建设等地理要素变化很快, 加大了测绘对地理信息更新速度的要求, 而数据资源获取速度太慢, 制约了地理信息的更新速度。为满足地理信息技术快速发展的需求, 迫切需要高分辨率的航天遥感测绘相机去获取大比例尺地图。同时宽视场有利于减少图像的整合处理量, 提高测绘精度, 缩短重访周期, 增强卫星的实时性, 也成为航天测绘相机的需求之一。

离轴三反光学系统易于设计成长焦距兼大视场, 较同轴光学系统有更多的可优化变量, 可以很好的解决镜头畸变和场曲等问题, 很好地满足了测绘相机对光学系统的要求, 是航天遥感测绘相机的发展方向 and 趋势(姜会林, 1982; Juraneck 等, 1998; Korsch, 1987; 潘君骅, 1988)。例如, 美国的Quickbird-2、印度的CARTOSAT-I相机和日本的ALOS-PRISM相机

均为离轴三反光学系统。日本计划在2015年发射的ALOS3, 地面像元分辨率为0.8 m, 幅宽为50 km, 也采用离轴三反光学系统。从以上信息可以看出高分辨率、宽幅、低畸变和平视场是大比例尺航天遥感测绘相机的需求(张科科 等, 2008), 而采用离轴三反光学系统遥感测绘相机是未来发展趋势。目前, 中国离轴三反测绘相机还是空白, 而离轴三反测绘相机又有别于同轴系统(常军和姜会林, 2003; 伍和云和王培纲, 2006), 需要对离轴三反光学系统应用于测绘的相关理论和模型进行研究, 为中国遥感测绘的快速发展打下基础。

2 离轴三反测绘相机需注意的问题

经典测绘数学模型(王任享, 2006; 王之卓, 2007)中, 相机模型均按同轴系统进行处理, 而离轴三反光学系统由于视场的偏置, 其像面不在光轴上, 如图1所示, 因此航天测绘在采用离轴三反光学系统时, 需对测绘模型和公式进行相应的修正, 以保证测绘应用的要求。

收稿日期: 2012-08-01; 修订日期: 2012-11-20

基金项目: 国家自然科学基金(No.60507003)

第一作者简介: 郭疆(1976—), 男, 副研究员, 主要从事空间遥感成像技术的研究。E-mail: guojiang001@yahoo.com.cn。

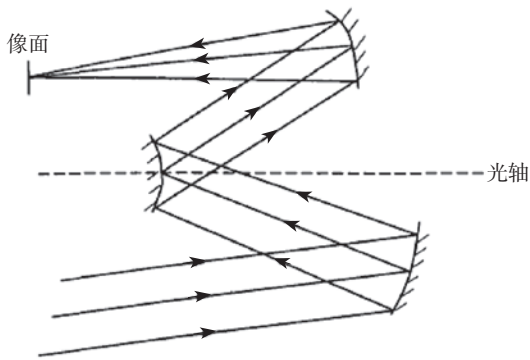


图1 离轴三反光学系统示意图

2.1 内方位元素定义

经典测绘模型中的相机的内方位元素包括相机的主距和主点坐标，其中主点定义为CCD线阵所在直线与垂直于该直线且过投影中心的直线的交点，主距定义为镜头投影中心到主点之间的距离。而离轴三反光学系统由于视场偏置，主点无法在像面上找到。根据测绘基本原理和测绘实际应用的需求对离轴三反光学系统的主点主距进行定义，有利于明确相机研制时相机的标定项目和标定内容，也有利于从系统的角度，分解各个环节的研究内容和精度指标，从而保证测绘精度。

中国科学院长春光学精密机械与物理研究所吴国栋研究员将离轴三反相机主点定义为过投影中心的直线与TDICCD方向垂直交点，主距定义为镜头投影中心到主点之间的距离。对于单个相机中的两行CCD作为两台相互独立且有着固定几何关系的相机来进行标定，这样每行TDICCD都有自己的主点和主距(吴国栋, 2008, 2012)。相机的主点主距如图2所示。

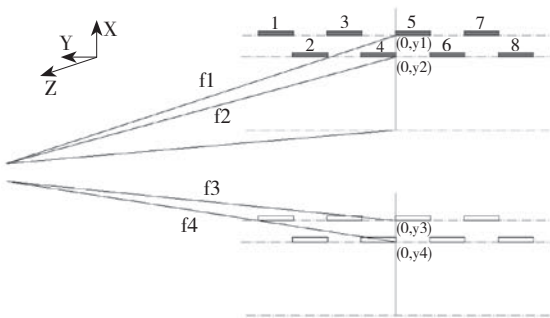


图2 相机的主点主距示意图

2.2 焦距计算公式的修正

在航天遥感测绘中三镜头三线阵测绘相机原理图如图3所示，正视相机垂直于地面摄影成像，前后视相机分别与正视相机成一定的交会角(韩旭等, 2009; 张影, 2006; 田铁印等, 2009; 王智等, 2010)，3个相机镜头的CCD线阵方向与飞行方向垂直。飞行期间，各CCD线阵依据推扫原理，以同步扫描周期对地面进行推扫成像，得到同一地面不同透视中心的3个重叠航线影像，其中任意两组影像都可以构成具有航向重叠的空中立体像对(王任享, 2006)。

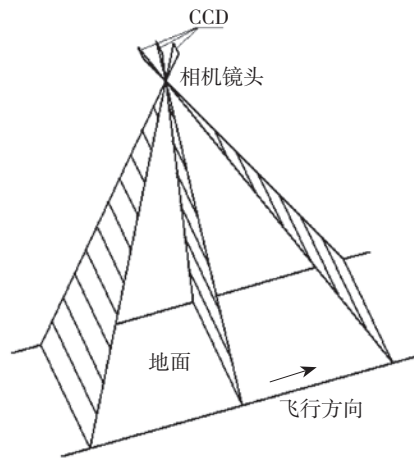


图3 三镜头三线阵摄影测绘模型简图

按照经典摄影测量的数学模型(王任享, 2006; 王之卓, 2007)，相机各镜头的焦距按下列公式计算：

$$\text{正视相机: } f = a \cdot H / GSD \quad (1)$$

$$\text{斜视相机: } f' = f / \cos \alpha = a \cdot H / (GSD \cdot \cos \alpha) \quad (2)$$

式中， a 为CCD的像元尺寸， H 为轨道高度， GSD 为地面像元分辨率， α 为相机交会角。

在采用离轴三反相机进行航天遥感测绘的应用时，需对测绘模型和公式进行必要的修正，以保证测绘的精度。离轴三反两线阵测绘相机的成像的简化模型如图4所示，图中 α 为相机交会角， β 为正视相机离轴角， γ 为斜视相机离轴角， H 为轨道高度。正视相机与斜视相机CCD像元尺寸为 a ，地面像元分辨率为 GSD 。正视相机焦距与斜视相机焦距分别为 f_1 、 f_2 。定义 f'_1 、 f'_2 为正视相机视距和斜视相机视距， f_1 、 f_2 为前后视相机的焦距；定义 u_1 、 u_2 为正视相机物距和斜视相机物距， R 为地球曲率半径。

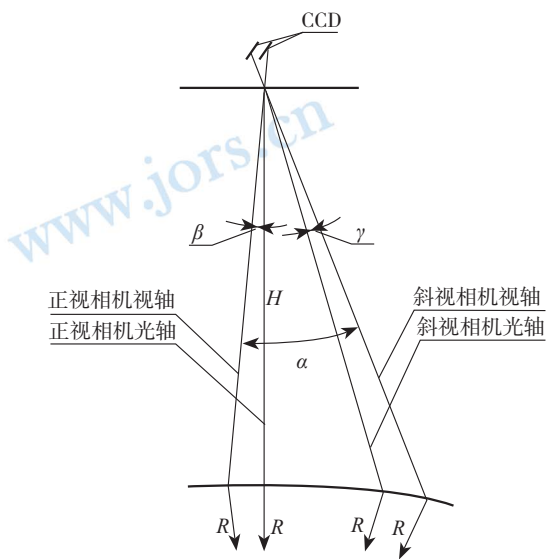


图4 考虑地球曲率的两线阵摄影测绘模型简图

通过推导, 可得正视相机焦距计算公式:

$$f_1 = a \cdot \cos \beta \cdot ((R+H) \cos \beta - \sqrt{(H+R)^2 \cos^2 \beta - H(H+2R)}) / GSD \quad (3)$$

斜视相机焦距计算公式为:

$$f_2 = a \cdot \cos \gamma \cdot ((R+H) \cos(\alpha - \beta) - \sqrt{(H+R)^2 \cos^2(\alpha - \beta) - H(H+2R)}) / GSD \quad (4)$$

当不考虑地球曲率时, 所计算出的斜视相机焦距与考虑地球曲率时的计算值有一定的偏差, 并且轨道高度越高偏差越大。在700 km轨道高度、 5° 离轴角时斜视相机焦距计算相对偏差达到0.8%, 从而对测绘的精度产生一定的影响。不考虑地球曲率时正视相机的焦距计算值与考虑地球曲率时的计算值偏差很小, 因此正视相机的焦距计算依然可以采用经典计算公式。

2.3 调焦对主点位置精度的影响

一般情况下, 在离轴光学系统中加入一个平面反射镜, 一方面折转光路, 缩短光学系统长度, 另一方面通过该平面反射镜的前后移动, 可以调整像平面在焦平面的成像位置, 达到调焦的目的, 这个平面反射镜通常被称作调焦镜。

由于离轴三反光学系统有离轴角, 在调焦镜前后运动时主光线会在像面上沿子午面移动, 即会导致主点位置的变化。离轴三反光学系统调焦镜调焦的原理图如图5所示。

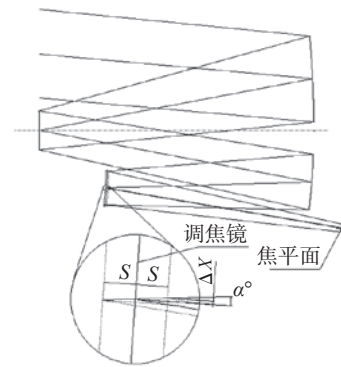


图5 调焦镜调焦的原理图

图5中主点位置的变化量 $\Delta X = 2S \tan(\alpha)$, S 为调焦距, α 为倾斜角。调焦镜的倾斜角约为 5° , 一次调焦距一般为 $1/4$ 半焦深, 即 $S = F^2 \lambda$ 。相机相对孔径为 $1:9$, CCD像元尺寸为 $7 \mu\text{m}$, 由此计算出一次调焦距主点位移 $\Delta X = 8.84 \mu\text{m}$ 。在一次调焦后, 主点位移量为1.26个像元, 远大于测绘相机主点几何标定精度0.2像元。

因此, 在离轴三反测绘相机的设计过程中应充分考虑调焦机构位置对相机主点的影响(郭疆, 2011)。另外, 调焦机构导轨在运动时, 机构的直线运动误差也会导致主点位置的偏差, 与调焦镜调焦引起的主点位置变化相比, 调焦机构的直线度误差对相机主点位置的影响较小, 是可以接受的。

因此, 在离轴三反测绘相机设计时不应采用调焦镜调焦, 调焦机构的运动方向应和主光线方向一致, 调焦机构的运动直线度要足够高, 否则在相机调焦和相机标定时会引入较大的主点位置精度误差。

2.4 系统畸变标定

测绘相机的关键几何参数是内方位元素和畸变, 其标定精度影响相机的测绘精度, 故相机使用前必须对内方位元素和畸变进行精密标定(杨秉新, 1998; 刘金国, 1994)。目前精密测角法是测绘相机内方位元素实验室标定采用的一种经典方法, 然而, 由于经典的标定理论模型是建立在同轴光学系统上的, 而离轴三反光学系统视场偏置, 像面不在轴上, 需要对内方位元素的定义、标定理论模型做相应的改动, 从而实现离轴三反TDICCD相机内方位元素和畸变的标定。

吴国栋(2008, 2012)明确了离轴三反时间延迟积分CCD相机内方位元素和畸变的含义, 提出了一种

内方位元素和畸变的标定方法, 利用提出的方法标定了相机的内方位元素和畸变, 并对标定误差进行了分析, 建立了畸变的数学模型, 应用最小二乘回归法, 求得镜头的成像像面方向的畸变, 并利用高精度单轴转台和长焦距平行光管标定系统完成了离轴三反镜头像面畸变的标定。该方法对主点的标定精度可达 $1.0\ \mu\text{m}$, 对主距的标定精度可达 $10\ \mu\text{m}$, 对像面绝对畸变的标定精度 $<2\ \mu\text{m}(1\sigma)$, 相对测量精度 $<1 \times 10^{-4}(1\sigma)$, 结果显示提出的标定方法快捷且有效, 可以满足离轴三反镜头高精度畸变标定要求, 具有实际应用价值。

2.5 系统稳定性问题

作为卫星的有效载荷, 航天相机在运输、发射以及进入工作状态等各个阶段会经受声、振动、冲击和加速度等各种形式的动力学环境。为了保证航天相机在可能遇到的动力学环境中能够正常工作, 在发射运载过程中不受破坏, 不产生残余变形, 并保持相机良好的光学性能, 要求相机具有足够高的强度和刚度(郭疆, 2012)。但作为测绘用航天相机, 仅满足光学性能的要求是不够的, 因为测绘相机对内方位元素的稳定性要求分解在各个光学元件的位置公差要比保证成像性能的光学系统稳定性公差严格的多。为保证测绘相机的稳定性公差要求, 须充分考虑重力和温度对测绘相机内方位元素的影响, 采取有效措施予以规避。

针对离轴三反测绘相机对系统稳定性的要求, 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所采用温度自补偿设计方法, 设计了一台离轴三反相机, 使其在工作环境温度下的最佳焦平面位置保持不变。通过对该相机的热光学试验, 检验了不同温度下的相机MTF及最佳焦平面位置, 热光学试验结果如表1所示。

表1 热成像试验结果统计

温度($^{\circ}\text{C}$)	14.3	15.0	16.1	17.1	17.5	18.3	19.2	20.0
调制传递函数	0.24	0.26	0.27	0.26	0.26	0.27	0.28	0.26
最佳焦面位置	7822	7822	7822	7822	7822	7822	7822	7822

从表1可以看出, 热成像试验中该离轴三反相机在 $14.3\ ^{\circ}\text{C}$ — $21.0\ ^{\circ}\text{C}$ 范围内调制传递函数优于0.2, 满足技术指标要求, 在该温度范围内相机的最佳焦面位置稳定, 其编码器码值均为7822, 表明温度自补偿设计

方法措施有效。

3 技术发展现状

欧美国家将离轴三反光学系统制造技术列为核心技术, 于20世纪90年代末取得了突破性进展, 并研制出在轨性能优良的光学遥感卫星。鉴于该技术在国防、国民经济领域具有重要的意义, 欧美国家采取了严格的保密措施。

根据离轴三反遥感相机的应用需求, 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所突破了离轴三反光学设计、大口径离轴非球面数控加工、离轴三反高精度装调以及计算机全息离轴高精度非球面检测等技术, 使中国成为继美国、法国之后第3个独立、系统掌握天基大口径离轴三反系统及其核心光学元件制造技术的国家, 为中国空间光学遥感器的跨越式发展打下了坚实的基础, 也使离轴三反应用于航天测绘成为可能。但真正的工程应用还需要对离轴三反测绘相机的理论公式、数学模型、研制能力和保障条件等做深入和系统的研究。

4 展望

离轴三反光学系统在国外的测绘卫星中已有大量的运用, 中国在此领域还有一定的差距。但在离轴三反单元技术领域的关键技术已得到了突破, 为离轴三反应用于航天测绘建立了必要的技术基础。通过系统对测绘经典理论进行研究和拓展, 建立完善的离轴三反测绘系统数学模型, 突破离轴三反测绘相机的结构、标定和检测关键技术, 必定可以解决离轴三反光学系统在测绘相机应用的难题, 为中国自主获取高分辨、高精度的测绘数据提供技术储备。

参考文献(References)

- 常军, 姜会林. 2003. 大视场、长焦距空间光学系统的设计. 兵工学报, 24(1): 42-44
- 郭疆. 2011. 离轴三反航天测绘相机研究. 长春: 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所
- 郭疆, 邵明东, 王国良, 孙继明. 2012. 空间遥感相机碳纤维机身结构设计. 光学精密工程, 20(3): 571-578
- 韩旭, 马军, 居波, 韩旭, 吴清文. 2009. 三线阵测绘相机光学试验交会测试系统. 光学精密工程, 17(12): 2960-2964
- Juranek H J, Sand R, Schweizer J, Harnisch B, Kunkel B P, Schmidt

- E, Litzelmann A, Schillke F, Dempewolf G. 1998. SPIE, 3439: 104-115
- 姜会林. 1982. 关于二级光谱问题的探讨. 光学学报, (3): 225-232
- Korsch D C. 1987. Reflective optics, SPIE, 751: 230-235
- 刘金国. 1994. 大视场光电测量系统的精密几何标定和畸变校正的研究. 光学精密工程, 2(4): 109-110
- 潘君骅. 1988. 具有三个二次曲面反射镜的光学系统研究. 光学学报, (8): 717-721
- 田铁印, 王红, 谷凤安, 吴国栋, 于淑琴, 张立平. 2009. 三线阵立体测绘相机光学系统设计. 光学精密工程, 17(11): 2693-2697
- 王智, 张立平, 姚惠. 2010. 三线阵立体测绘相机光学镜头的设计. 光子学报, 39(2): 227-232
- 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
- 王之卓. 2007. 摄影测量原理. 武汉: 武汉大学出版社
- 吴国栋. 2008. 离轴三反光学镜头像面畸变的标定方法. 光学精密工程, 16(11): 2127-2131
- 吴国栋. 2012. 离轴三反时间延迟积分CCD相机内方位元素和畸变的标定. 光学精密工程, 20(3): 462-467
- 伍和云, 王培纲. 2006. 离轴反射式光学系统设计. 光电工程, 33(1): 34-37
- 杨秉新. 1998. 国外航天侦察相机和测绘相机发展概况. 航天返回与遥感, 19(2): 16-24
- 张科科, 阮宁娟, 付丹鹰. 2008. 国外空间用三反离轴相机发展分析与思考. 航天返回与遥感, 29(3): 63-70
- 张影. 2006. 三线阵CCD立体测绘相机总体技术研究. 长春: 长春理工大学

Technology of off-axis TMA aerospace mapping camera

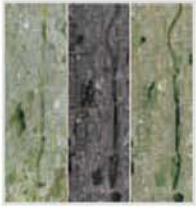
GUO Jiang¹, LIU Jinguo¹, WANG Guoliang¹, ZHU Lei¹, GONG Dapeng^{1,2}, QI Hongyu^{1,2}

1. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: Off-axis TMA optical system, both long focal length and wide-field, can be optimized for optical system of zero distortion, low-field curvature. Off-axis TMA optical system well meet the requirements for optical system of surveying and mapping, therefore recognized for development of aerospace remote mapping camera. This paper gives the present status and development trend of foreign aerospace mapping camera, and discusses the problems of off-axis TMA optical system used in mapping, such as the definition of camera inner orientation elements, correction of focal length calculation formula, focusing mode effect of camera principal point position accuracy, system distortion calibration, system stability, and other discussions.

Key words: long focal length, off-axis TMA, optical system, mapping camera



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

