



地球观测与导航技术丛书

环境一号卫星遥感 数据处理

余涛 王桥 魏斌 方莉 等著



科学出版社



国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

地球观测与导航技术丛书

环境一号卫星遥感数据处理

余 涛 王 桥 魏 斌 方 莉 等著

科学出版社

北 京



内 容 简 介

本书主要介绍了我国环境一号卫星及其特点,对环境一号卫星数据处理中的关键问题进行了研究、总结,并针对这些问题介绍了环境一号卫星遥感数据的预处理技术,主要包括高精度辐射校正与辐射定标技术、多尺度遥感数据自动配准技术、环境一号卫星 CCD 相机云检测与大气订正技术、面向环境遥感监测的环境一号卫星数据融合技术,并介绍了环境一号卫星遥感数据处理系统。

本书可供从事遥感技术和应用研究的科学工作者阅读,也可供高等院校遥感、地球信息科学等专业的师生参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

环境一号卫星遥感数据处理/余涛等著. —北京:科学出版社, 2013

(地球观测与导航技术丛书)

ISBN 978-7-03-037220-8

I. ①环… II. ①余… III. ①卫星遥感—环境遥感—数据处理 IV. ①X87

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 055267 号

责任编辑:彭胜潮 李秋艳/责任校对:张凤琴

责任印制:钱玉芬/封面设计:王 浩

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2013 年 3 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2013 年 3 月第一次印刷 印张: 12 3/4

字数: 300 000

定价: 68.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《地球观测与导航技术丛书》编委会

顾问专家

徐冠华 龚惠兴 童庆禧 刘经南
王家耀 李小文 叶嘉安

主 编

李德仁

副主编

郭华东 龚健雅 周成虎 周建华

编 委(按姓氏汉语拼音排序)

鲍虎军	陈 戈	陈晓玲	程鹏飞	房建成
龚建华	顾行发	江碧涛	江 凯	景贵飞
景 宁	李传荣	李加洪	李 京	李 明
李增元	李志林	梁顺林	廖小罕	林 琿
林 鹏	刘耀林	卢乃锰	孟 波	秦其明
单 杰	施 闯	史文中	吴一戎	徐祥德
许健民	尤 政	郁文贤	张继贤	张良培
周国清	周启鸣			

本书作者名单

(以姓氏笔画为序)

王 桥	方 莉	卞小林	田国良	田 维
许 华	刘其悦	李小英	李家国	邹同元
余 涛	邵 芸	李海涛	郝胜勇	高海亮
顾海燕	游代安	韩 杰	熊文成	薛晓娟
魏 斌				

《地球观测与导航技术丛书》出版说明

地球空间信息科学与生物科学和纳米技术三者被认为是当今世界上最重要、发展最快的三大领域。地球观测与导航技术是获得地球空间信息的重要手段,而与之相关的理论与技术是地球空间信息科学的基础。

随着遥感、地理信息、导航定位等空间技术的快速发展和航天、通信和信息科学的有力支撑,地球观测与导航技术相关领域的研究在国家科研中的地位不断提高。我国科技发展中长期规划将高分辨率对地观测系统与新一代卫星导航定位系统列入国家重大专项;国家有关部门高度重视这一领域的发展,国家发展和改革委员会设立产业化专项支持卫星导航产业的发展;工业和信息化部 and 科学技术部也启动了多个项目支持技术标准化和产业示范;国家高技术研究发展计划(863 计划)将早期的信息获取与处理技术(308、103)主题,首次设立为“地球观测与导航技术”领域。

目前,“十一五”计划正在积极向前推进,“地球观测与导航技术领域”作为 863 计划领域的第一个五年计划也将进入科研成果的收获期。在这种情况下,把地球观测与导航技术领域相关的创新成果编著成书,集中发布,以整体面貌推出,当具有重要意义。它既能展示 973 和 863 主题的丰硕成果,又能促进领域内相关成果传播和交流,并指导未来学科的发展,同时也对地球观测与导航技术领域在我国科学界中地位的提升具有重要的促进作用。

为了适应中国地球观测与导航技术领域的发展,科学出版社依托有关的知名专家支持,凭借科学出版社在学术出版界的品牌启动了。地球观测与导航技术丛书。

丛书中每一本书的选择标准要求作者具有深厚的科学研究功底、实践经验,主持或参加 863 计划地球观测与导航技术领域的项目、973 相关项目以及其他国家重大相关项目,或者所著图书为其在已有科研或教学成果的基础上高水平的原创性总结,或者是相关领域国外经典专著的翻译。

我们相信,通过丛书编委会和全国地球观测与导航技术领域专家、科学出版社的通力合作,将会有一大批反映我国地球观测与导航技术领域最新研究成果和实践水平的著作面世,成为我国地球空间信息科学中的一个亮点,以推动我国地球空间信息科学的健康和快速发展!

李德仁

2009 年 10 月

前 言

遥感作为一种对地观测手段，为人类提供了从多方位和宏观角度认识地球乃至宇宙的新方法，在探索自然的多个领域中发挥了日益重要的作用。随着经济的发展，具有全球性影响的环境问题日益突出，环境遥感逐渐成为遥感技术应用的新领域、新方向。2008 年我国研制并发射的环境与灾害监测预报小卫星星座(简称“环境一号卫星”)是我国继气象卫星、海洋卫星、国土资源卫星之后的又一个新型民用卫星。首发的环境一号卫星 A、B 星携带了 CCD 相机、IRS 红外相机、HIS 超光谱成像仪 3 种有效载荷，其中两颗星上的 CCD 相机经过组网后可实现全国范围 2 天覆盖。通过构建多颗小卫星组成的星座，支撑了先进的环境与灾害监测预警体系的建立，有效地提高了我国环境监测和综合减灾能力，促进了大范围、全天候、全天时、动态的环境和灾害监测的实现。

环境一号卫星的成功发射并业务化运行，为我国生态破坏、环境污染和灾害监测以及遥感相关研究工作提供了更为丰富、宝贵的遥感影像资源。为了充分发挥这些资源的作用，首要解决的是遥感数据的预处理问题，它是遥感应用分析中十分重要的部分。在遥感数据获取过程中，由于遥感系统空间、波谱、时间、辐射分辨率以及多角度的限制，再加上复杂的大气、陆地、水体形态，在数据获取的过程中不可避免地要产生一些偏差，并丢失一部分信息，这将会极大地降低遥感数据的质量，从而影响随后的人工或计算机辅助影像分析的精度。因此，在实际进行遥感图像处理分析之前，有必要先对遥感原始数据进行一定的预处理，确保遥感影像数据对地面目标几何、光谱与辐射信息的真实反映。遥感图像预处理涉及的内容很宽，包括许多较复杂的数学模型、算法和软件，如何促进遥感数据处理分析方法和手段的发展，减小数据误差、提高遥感的时效性和精度，是目前遥感图像处理的一个热点、难点问题。

本书提出的遥感数据处理关键技术涉及预处理中有关几何与辐射订正部分，主要包括以下几个方面：①多源环境遥感数据的高精度辐射校正和交叉辐射定标技术。研究多种光学传感器的交叉辐射定标技术、不同传感器观测时间以及波段响应函数不一致的归一化方法、多源雷达遥感数据交叉辐射定标技术以及长时间序列多源遥感图像时间滤波技术。②多尺度环境遥感数据自动配准技术。建立多尺度的地面特征点数据库，研究基于自动影像匹配的遥感图像的定位和几何精校正技术，解决遥感数据时空分辨率不一致的问题。③面向环境遥感的城市环境及水体目标的大气订正技术。建立针对气溶胶类型和含量、大气水汽含量和垂直分布、考虑城市下垫面二向反射特性的大气订正先验知识库。④面向环境遥感监测的环境一号等国产卫星数据融合技术。通过多源数据辐射传输模拟确定遥感数据之间的互补性，扩展系统目标探测的时空覆盖范围，提高系统的空间分辨率、全天候工作能力以及抗干扰能力。

本书的目的是为我国环境一号卫星的应用提供技术支撑。以国内环境监测相关遥感数据为基准，集成已有的研究成果，研究出更高精度的数据处理技术与评价方法，并研发了一套

较为完善的环境一号卫星遥感数据处理应用软件加以实践, 为环境一号卫星等国产卫星遥感数据处理关键技术研究提供一定的基础研究和参考。

全书共 6 章。第 1 章为绪论, 对我国环境一号卫星载荷、轨道参数、环境一号卫星数据特点做了基本介绍, 并提出环境一号卫星数据处理中的关键问题。第 2 章为多源环境遥感数据的高精度辐射校正和交叉辐射定标, 对环境一号卫星高精度可见光、近红外场地辐射定标与交叉辐射定标, 红外相机辐射定标, 高光谱成像仪辐射定标研究, 高精度 SAR 场地辐射定标与交叉辐射定标, 传感器 MTF 校正和光学传感器多源数据归一化进行介绍。第 3 章为多尺度环境遥感数据自动配准, 在对主流的配准算法进行了介绍和对比分析基础上, 研究了同一传感器不同波段之间图像配准技术, 环境一号卫星星座不同卫星平台传感器的自动配准模型技术, 同类、异类传感器的图像配准技术, 基于自动影像配准的遥感图像定位和几何精校正技术及遥感数据空间分辨率转换方法。第 4 章为环境一号卫星 CCD 相机云检测与大气订正, 对云特性分析、云检测方法介绍和基于环境一号卫星数据的云检测原理进行介绍, 对环境一号卫星 CCD 相机水环境遥感高精度大气校正方法, 环境一号卫星 CCD 相机城市环境遥感高精度大气校正方法进行了研究。第 5 章为面向环境遥感监测的环境一号卫星遥感影像融合, 介绍了环境一号卫星 CCD 相机与红外相机、CCD 相机与 SAR 遥感影像的融合, 高光谱相机与 CCD 相机遥感影像的融合, 以及多时相 CCD 相机影像融合、高空间分辨率影像与 CCD 影像融合的方法。第 6 章为环境一号卫星遥感数据处理系统, 主要讲述环境一号卫星遥感数据处理系统的设计与开发, 主要内容包括环境一号卫星遥感数据处理系统总体指标、方案设计、信息处理流程分析与设计、标准规范、核心算法集成等。

本书由余涛、王桥完成全书的总体设计, 并由余涛、田国良完成全书的修改与定稿, 由方莉、刘其悦完成全书的组稿与统稿。各章主要编写人员如下: 第 1 章, 方莉、刘其悦、薛晓娟; 第 2 章, 邵芸、李小英、田维、李家国、高海亮、卞小林; 第 3 章, 郝胜勇、邹同元; 第 4 章, 许华、方莉、刘其悦; 第 5 章, 魏斌、熊文成、游代安; 第 6 章, 李海涛、顾海燕。

本书所介绍的成果是在环境保护部、国家科技支撑计划项目“基于环境一号等国产卫星的环境遥感监测关键技术与软件研究”第二课题“环境一号卫星遥感数据处理关键技术及软件研发研究”(课题号: 2008BAC34B02) 资助下完成的。在此, 对环境保护部领导的高度重视和各相关部门的支持表示衷心感谢! 对参加本项目研究的中国科学院遥感应用研究所、中国测绘科学研究院、环境保护部卫星环境应用中心、航天恒星科技有限公司的技术人员表示衷心感谢! 本书的编写还参考了大量国内外专家学者的研究成果, 对此也表示衷心的感谢!

由于作者水平有限, 书中不足之处在所难免, 恳请读者批评指正。

目 录

《地球观测与导航技术丛书》出版说明

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 环境卫星介绍	1
1.2 环境卫星数据特点	2
1.3 环境卫星数据处理中的关键问题	3
第 2 章 多源环境遥感数据的高精度辐射校正和交叉辐射定标	4
2.1 高精度可见光近红外场地辐射定标与交叉辐射定标	4
2.1.1 光学辐射定标开展相关方法研究及实验	4
2.1.2 CCD 相机高精度辐射定标研究	15
2.2 高光谱成像仪辐射定标研究	22
2.2.1 高光谱成像仪定标方法	22
2.2.2 高光谱成像仪定标结果	24
2.2.3 传感器探元响应不均一性校正	27
2.3 红外相机辐射定标研究	28
2.3.1 红外相机定标方法	28
2.3.2 红外相机时间序列定标与验证	31
2.4 高精度 SAR 场地辐射定标与交叉辐射定标	33
2.4.1 S 波段 SAR 辐射定标数理模型	33
2.4.2 S 波段 SAR 天线方向图校正	36
2.4.3 S 波段 SAR 辐射定标技术	38
2.4.4 S 波段 SAR 辐射定标误差及不确定性因素分析	41
2.4.5 基于替代数据源的 S 波段 SAR 辐射定标软件系统	41
2.5 传感器 MTF 校正	46
2.5.1 曹妃甸在轨 MTF 测量实验	46
2.5.2 HJ-1 卫星 CCD 相机在轨 MTF 测量方法	49
2.5.3 HJ-1 卫星 CCD 相机在轨 MTF 测量结果	50
2.5.4 HJ-1B 卫星 CCD 相机 MTF 补偿算法	53
2.5.5 MTFC 结果	57
2.5.6 MTFC 算法评价	59

2.6 光学传感器多源数据归一化	61
2.6.1 光谱归一化处理方法	61
2.6.2 BRDF 角度归一化处理方法	61
2.7 本章小结	63
参考文献	63
第3章 多尺度环境遥感数据自动配准	65
3.1 主流配准算法的比较	65
3.1.1 基于灰度区域的图像配准方法	65
3.1.2 基于特征的图像配准方法	70
3.1.3 基于物理模型的图像配准	83
3.1.4 结论	84
3.2 同一传感器不同波段之间的配准	84
3.2.1 配准特点	84
3.2.2 配准方法	85
3.2.3 实验结果	86
3.3 环境一号星座不同卫星平台传感器的自动配准模型	90
3.3.1 HJ-1A/B/C 星传感器特点	90
3.3.2 配准模型	91
3.3.3 模型特点	93
3.4 同类传感器间的图像配准	96
3.4.1 配准特点	96
3.4.2 配准方法	97
3.4.3 实验结果	97
3.5 异类传感器间的图像配准	99
3.5.1 配准特点	99
3.5.2 配准方法	101
3.5.3 实验结果	102
3.6 基于自动影像配准的遥感图像定位和几何精校正技术	111
3.7 面向数据配准的遥感数据空间分辨率转换方法	111
3.7.1 从低空间分辨率到高空间分辨率的尺度变换算法	111
3.7.2 从高空间分辨率到低空间分辨率的尺度变换算法	114
3.7.3 实验结果	116
3.8 本章小结	117
参考文献	118
第4章 环境一号卫星 CCD 相机云检测与大气订正	120
4.1 云检测方法	120
4.1.1 云特性分析	120

4.1.2 CCD相机云检测	122
4.2 CCD相机水环境遥感高精度大气校正方法	126
4.2.1 国内外研究现状及存在问题	126
4.2.2 水体大气校正方程及处理流程	129
4.2.3 查找表构建	130
4.2.4 算法结果与验证	130
4.3 CCD相机城市环境遥感高精度大气校正方法	132
4.3.1 国内外研究现状及存在问题	132
4.3.2 基于“谱像合一”的环境一号卫星城市气下垫面气溶胶反演研究	135
4.3.3 基于辐射传输模型的大气校正方法	139
4.4 本章小结	146
参考文献	146
第5章 面向环境遥感监测的环境一号卫星数据融合	148
5.1 图像融合研究进展	148
5.1.1 融合的概念	148
5.1.2 图像融合常用方法	149
5.1.3 融合效果评价	153
5.2 面向环境遥感监测的环境一号卫星图像融合技术	155
5.2.1 基于环境一号卫星B星的CCD与红外数据融合	156
5.2.2 基于环境一号卫星A星的超光谱成像仪与CCD数据融合	158
5.3 基于环境一号卫星CCD与SAR数据融合	161
5.4 基于环境一号卫星多时相CCD数据融合	162
5.5 本章小结	162
参考文献	162
第6章 环境一号卫星遥感数据处理系统	164
6.1 数据处理系统总体指标	164
6.1.1 功能指标	164
6.1.2 性能指标	164
6.2 数据处理系统方案设计	164
6.2.1 架构设计方案	164
6.2.2 功能设计方案	165
6.2.3 接口设计方案	167
6.3 数据处理系统信息处理流程设计分析	168
6.3.1 数据处理一般流程	168
6.3.2 光学影像辐射定标	168
6.3.3 雷达影像辐射定标	170
6.3.4 多尺度环境遥感数据自动配准	171

6.3.5 面向环境遥感监测的城市大气订正	171
6.3.6 面向环境遥感监测的水体大气订正	172
6.3.7 面向环境遥感监测的数据融合	172
6.4 数据处理系统标准规范	173
6.4.1 开发技术规范要求	173
6.4.2 软件开发过程规范	175
6.5 多传感器数据预处理核心算法集成	177
6.5.1 集成思路	177
6.5.2 功能集成	179
6.6 环境一号卫星遥感数据处理系统运行实例	185
6.6.1 系统介绍	185
6.6.2 系统结构	185
6.6.3 系统运行	186
6.7 本章小结	187

彩图

第 1 章 绪 论

1.1 环境卫星介绍

1998 年原国家环境保护局与国家减灾委员会共同提出“环境与灾害监测预报小卫星星座系统”建设方案，2002 年原国防科工委正式将“环境与灾害监测预报小卫星星座”命名为“环境一号卫星”（代号 HJ-1），并列人民用航天“十五”计划和《中国航天白皮书》民用卫星发展重点。环境一号卫星系统建设的主要任务是利用我国自主小卫星星座，提高我国生态环境与灾害遥感监测的能力，为我国环境保护与防灾减灾提供信息与技术支撑，全面提高我国环境和灾害信息的获取、处理和应用水平。考虑到我国现有的技术基础、技术发展趋势和财政支撑能力，该星座采用分步实施战略进行建设，即先期发射两颗光学小卫星和一颗合成孔径小卫星(HJ-1A、HJ-1B、HJ-1C)，组成“2+1”星座，初步形成我国的环境与灾害遥感监测体系。2008 年 9 月 6 日，环境一号卫星“2+1”星座中的两颗光学小卫星(HJ-1A 和 HJ-1B)“一箭双星”发射成功，完成在轨测试后于 2009 年 3 月 30 日正式交付使用。

“环境一号卫星 A、B 星”(HJ-1A、HJ-1B 星)是我国专用于环境与灾害监测预报的卫星，它的成功运行将对我国生态破坏、环境污染和灾害进行大范围、全天候、全天时动态监测，即时反映生态环境和灾害发生、发展的过程，对生态环境和灾害发展变化趋势进行预测，对灾情进行快速评估，并结合其他手段，为紧急救援、灾后救助和重建工作提供科学依据，标志着我国的航天遥感事业又迈入了一个新的阶段。

HJ-1A、HJ-1B 是我国继气象卫星、海洋资源卫星之后的一个全新民用卫星系统，具有光学、红外、超光谱多种探测手段，是目前国内民用卫星中技术较复杂、指标较先进的对地观测系统之一。HJ-1A 卫星和 HJ-1B 卫星的轨道设计完全相同，相位相差 180°。两台 CCD 相机组网后重访周期仅为 2 天。其轨道参数如表 1.1 所示。

表 1.1 HJ-1A、B 卫星轨道参数

项 目	参 数
轨道类型	准太阳同步圆轨道
轨道高度/km	649.1
半长轴/km	7020.1
轨道倾角/(°)	97.94
轨道周期/min	97.6
每天运行圈数	14+23/31
重访周期/天	CCD 相机：2 天；超光谱成像仪或红外相机：4 天
回归(重复)周期/天	31

续表

项 目	参 数
回归(重复)总圈数	457
降交点地方时	10:30AM±30min
轨道速度/(km/s)	7.5
星下点速度/(km/s)	6.8

HJ-1A、B 卫星采用的轨道类型为准太阳同步圆轨道, 轨道高度为 649.1 km, 每天绕地球飞行 14+23/31 圈, 回归周期为 31 天。轨道倾角为 97.9°, 轨道周期为 97.6 min。

1.2 环境卫星数据特点

HJ-1A、HJ-1B 星上搭载了设计原理完全相同的 CCD 相机。CCD 相机包括两台 (CCD 相机 1 和 CCD 相机 2), 两台相机以星下点对称放置, 平分视场、并行观测, 用于获取地面的可见光图像。CCD 相机空间分辨率均为 30 m, 幅宽为 700 km, 且两颗星上的 CCD 相机经过组网后可实现 2 天重访周期。此外, HJ-1A 星上搭载了空间分辨率为 100 m、具有 110~128 个光谱波段的 HSI(超光谱成像仪), 幅宽为 50 km; HJ-1B 星上搭载了一台空间分辨率为 150/300 m 的红外相机, 具有 4 个波段(表 1.2)。

表 1.2 HJ-1A、HJ-1B 卫星数据特点及主要载荷参数

平台	有效载荷	波段号	光谱范围/ μm	空间分辨率/m	幅宽/km	侧摆能力	重访时间/天	数传数据率/Mbps
HJ-1A 星	CCD 相机	1	0.43~0.52	30	36(单台), 700(两台)	—	4	120
		2	0.52~0.60	30				
		3	0.63~0.69	30				
		4	0.76~0.90	30				
	高光谱 成像仪	—	0.45~0.95(110~128 个谱段)	100	50	± 30	4	
HJ-1B 星	CCD 相机	1	0.43~0.52	30	36(单台), 700(两台)	—	4	60
		2	0.52~0.60	30				
		3	0.63~0.69	30				
		4	0.76~0.90	30				
	红外多光谱 相机	5	0.75~1.10	150(近红外)	720	—	4	
		6	1.55~1.75					
		7	3.50~3.90					
		8	10.5~12.5	300 (10.5~12.5 μm)				

HJ-1A、HJ-1B 卫星的标准产品根据地面处理系统的辐射校正和几何校正的程度分为 0~5 级, 包括 CCD 数据标准产品、高光谱数据标准产品、红外数据标准产品(见中国资源卫星应用中心网站)见表 1.3。

表 1.3 HJ-1A、B 影像数据产品级别

产品分级	产品名称	产品说明
0 级	原始数据产品	分景后的卫星下传遥感数据
1 级	辐射校正产品	经辐射校正, 未经几何校正的产品数据
2 级	系统几何校正产品	经辐射校正和系统几何校正, 并将校正后的图像映射到指定的地图坐标下的产品数据
3 级	几何精校正产品	经过辐射校正和几何校正, 同时采用地面控制点改进产品的几何精度的产品数据
4 级	高程校正产品	经过辐射校正、几何校正和几何精校正, 同时采用数据高程模型 (DEM) 纠正了地势起伏造成的视差的产品数据
5 级	标准镶嵌图像产品	无缝镶嵌图像产品

1.3 环境卫星数据处理中的关键问题

本书面向环境遥感监测的环境一号等国产卫星数据处理关键技术, 研究解决环境一号卫星宽覆盖 CCD 相机、高光谱成像仪、红外相机、S 波段 SAR 等新型传感器遥感数据处理中几何与辐射订正问题, 涉及环境一号卫星多源遥感数据的高精度辐射校正、几何标校以及多空间分辨率图像配准关键技术, 适用于污染水体以及城市下垫面的大气校正技术, 环境一号等国产卫星的多源遥感数据融合关键技术。通过研发环境一号卫星遥感数据处理应用软件加以试验分析。从研究对象上, 重点针对环境一号卫星遥感数据, 同时也考虑其他卫星遥感数据; 从研究内容上, 重点针对从 1 级卫星遥感数据与处理到环境遥感信息提取应用之间需要解决的数据处理关键技术问题; 从研究目的上, 希望为环境一号卫星信息应用以及其他环境遥感信息应用(尤其是定量、高频次、大范围环境信息提取), 提供技术支持。主要涉及的研究内容包括以下 5 个方面:

- (1) 多源环境遥感数据的高精度辐射校正和交叉辐射定标技术。
- (2) 多尺度环境遥感数据自动配准技术。
- (3) 面向环境遥感监测的大气订正技术。
- (4) 面向环境遥感监测的环境一号等国产卫星数据融合技术。
- (5) 环境一号卫星遥感数据处理系统。

上述环境一号卫星遥感数据处理及其关键技术的研究具有重要的实际意义, 主要体现在以下两个方面:

(1) 为环境一号卫星应用提供有力的技术支撑, 从而促进大范围、全天候、全天时、动态的环境监测能力的提高, 支持先进的环境监测预警体系建立, 加强环境决策和环境管理的科学性。

(2) 促进了我国环境遥感科技技术创新能力的提升, 填补了我国环境一号等国产卫星遥感数据处理的多项关键技术预研的空白, 支持我国环境遥感技术和环境监测的技术发展。

第 2 章 多源环境遥感数据的高精度辐射校正和交叉辐射定标

遥感对地球表面目标进行探测，是利用装载在遥感平台上的遥感器接收来自目标的反射或辐射。对遥感信号进行辐射定标，是给出遥感信息在电磁波不同波段内的地表物质的定量物理量，例如，在可见光—近红外—短波红外波段内地表的反射比，热红外波段内地表的辐射温度和真实温度，在微波波段内地表物体的亮度温度和发射率及物体的后向散射系统等等的定量数值(顾行发等，2005)。要得到这些物理量必须进行传感器辐射定标，也只有在这些定量物理量的基础上，才能通过实验的或物理的模型将遥感信息与地学参量联系起来，定量地反演或推算某些地学或生物学的参量。

另一方面，随着遥感定量化应用的深入和多传感器之间对比研究的增强，实时评价传感器本身的辐射光学以及 SAR 特性，及时发现并正确纠正传感器辐射响应变化对遥感定量化应用与发展是必不可少的。传感器在轨绝对辐射定标、探元的不均一校正、传感 MTF 校正与多个传感器数据的归一化研究是促进遥感定量化应用的关键。

2.1 高精度可见光近红外场地辐射定标与交叉辐射定标

目前，传感器的在轨绝对辐射定标主要分为在轨星上定标、在轨场地定标和在轨交叉定标。在轨星上定标主要依赖星上定标设备实现对传感器的实时监测，但由于一些卫星缺乏完善的星上定标设备，使得该方法具有局限性。高精度的场地辐射定标和交叉辐射定标是绝大多数遥感卫星可见光近红外通道采用的定标方法。场地辐射定标是在卫星成像同时、同步测量地面的辐射特性及其大气参数，实现传感器的辐射定标。交叉辐射定标是用定标精度较高的参考传感器对定标精度较低的目标传感器进行定标的方法，该方法不需要精确地测量大气参数等，可以在较少人力和物力的情况下开展，并获得相对较高的定标精度。场地定标是卫星在轨运行过程中经常采用的方法之一，而且定标较其他方法准确。场地定标需要在卫星过境时进行野外同步测量和实验。

2.1.1 光学辐射定标开展相关方法研究及实验

光学辐射定标包括反射率基法、辐亮度法和辐照度法。

反射率基法：它要求精确地测量地面目标的反射率、光谱消光光学厚度和其他气象参数。大气的散射和吸收用 6S 辐射传递模式或 MODTRAN 模式来计算。模式的输出值是给定地面反射率的 TOA 辐亮度。将这个辐亮度值和被测地面区域的卫星遥感平均计数值比较就可以得出定标系数，单位是计数值/辐亮度。

辐亮度基法：用一台标定好的辐射计在一定的高度来测量地面目标的辐亮度。辐射计可以通过直升机或轻型飞机放置在大约 3 km 的高度或更高高度的飞行器上，例如在 20 km 的 ER-2 上。这个辐亮度值通过对辐射计高度以上大气的散射和吸收订正得到 TOA 辐亮度。

辐照度基法(改进的反射率基法)：它除了需要和反射率基法相同的测量数据外，还要测量在地面的漫射总辐照度之比。这个测量可以减小在散射计算中由于气溶胶模式假设而带来的不确定性。

场地辐射定标的精度取决于地面反射目标的均一性、地面测量的精确性、大气参数的准确度及辐射传输方程的精度。S. F. Biggar 对场地辐射定标中三种方法的不确定性作了详细的分析。场地辐射定标中，虽然辐亮度法在三种方法中最精确，但由于耗费大且辐射计在飞行中的困难问题使它应用不广。辐照度方法与反射率方法类似，但利用测量下行太阳辐射和天空辐照度来进一步控制辐射传输的结果，由于投入的劳力较大，也没有被广泛使用。目前，应用最广的是反射率基法。

场地定标法是一种有效且应用很广的辐射定标法，但是它的缺点也是非常突出的。场地定标法需要大量的同步测量数据，每次测量所需的人力、仪器及资金的投入都很高，因此它所能提供的定标数据非常有限。场地定标中各种测量中的误差直接影响到辐射定标，使其定标精度并不高。另外这种方法只能是现实数据的定标，不能为历史数据提供辐射定标系数。因此，只依赖于该方法很难满足于遥感数据的定量化需要。

为了顺利完成 HJ 卫星的定标与在轨 MTF 测量研究内容，开展了多次卫星同步实验。实验主要包括 2008~2010 年间在内蒙古开展的辐射定标同步实验和敦煌、青海湖开展的辐射定标同步实验，通过测量的地表反射率和大气数据，分析场地均匀性、稳定性以及反射率特性等，从而为开展高精度的场地辐射定标和交叉辐射定标打下基础。

1. 内蒙古场辐射定标同步实验

分别于 2008 年、2009 年与 2010 年在内蒙古开展了辐射定标的同步实验。

1) 2008 年的同步实验

中国科学院遥感应应用研究所/国家航天局航天遥感论证中心定标与真实性检验实验室(简称“定标室”)，根据卫星的轨道运行参数和实验场地的气候条件，选择了在 2008 年 9 月至 10 月卫星过境时期(过境时卫星天顶角度在 20° 以内)，在内蒙古自治区赤峰市克什克腾旗达里诺尔进行场地定标实验(表 2.1)。定标内容包括 CCD 相机定标、高光谱定标和热红外定标，以期对环境减灾卫星的定标做出贡献，推动环境减灾卫星数据在我国的早日使用。

表 2.1 卫星过境时间及轨道参数

日期(年-月-日)	卫星	过境时间	卫星观测角	测量内容
2008-09-28	CCD-A	03:22:06.16	$10^\circ \sim 20^\circ$	草地
2008-09-29	CCD-B	03:14:55.94	10° 以内	草地
2008-10-01	CCD-A	03:04:04.76	$10^\circ \sim 20^\circ$	有少量云，进行部分测量
2008-10-02	CCD-A	03:30:16.21	$20^\circ \sim 30^\circ$	有云，只进行达里湖水温测量
2008-10-03	CCD-B	03:18:03.59	10° 以内	草地、达里湖、岗更湖