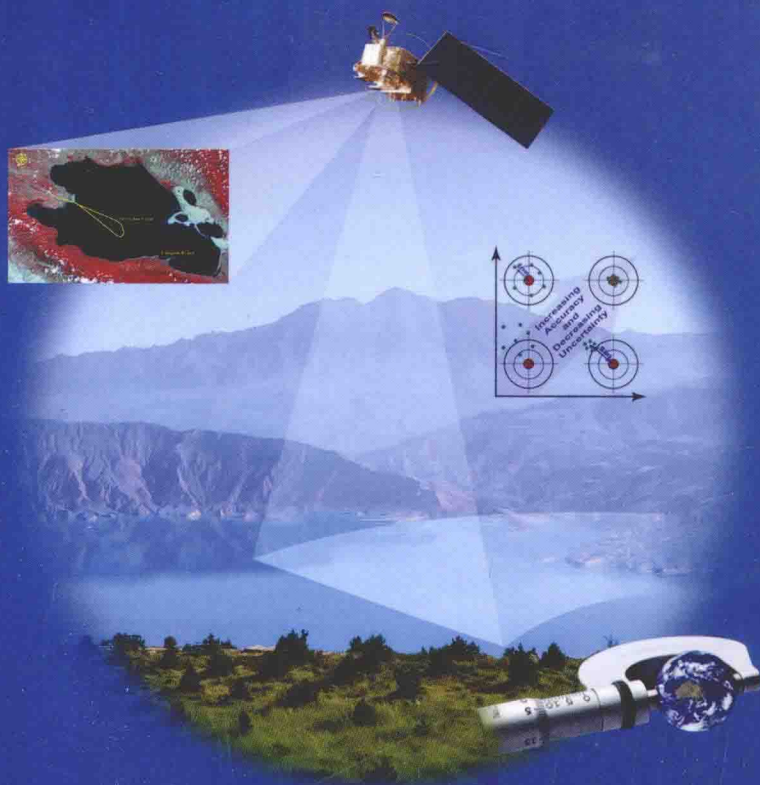


地球观测与导航技术丛书

卫星红外遥感器 辐射定标模型与方法

张 勇 祁广利 戎志国 著



科学出版社

地球观测与导航技术丛书

卫星红外遥感辐射定标模型与方法

张 勇 祁广利 戎志国 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是一部综合介绍卫星红外传感器辐射定标模型与方法的专著。内容既包括卫星红外传感器辐射定标的国内外主流方法和理论,又吸收作者近 10 年来在红外遥感辐射定标方面的最新研究成果,特别是星上黑体定标修正模型研究、基于高光谱红外传感器的在轨交叉辐射定标、基于大洋浮标和再分析场数据的定标模型与方法、基于自动化观测的卫星红外传感器场地辐射定标方法研究、红外波段高光谱发射率数据的测量与反演方法研究、红外传感器非线性定标模型融合研究,以及卫星红外传感器综合辐射定标方法研究等方面的最新成果和最新进展。本书注重取材新颖和学科发展的前沿,尤其注重其实用价值。

本书可作为地球科学相关专业高年级本科生和研究生,以及从事卫星遥感辐射定标的科技人员学习用书,也适合于载荷研制部门的相关人员,并可供从事红外遥感应用与研究的相关业务人员、工程技术人员和教学科研人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

卫星红外传感器辐射定标模型与方法/张勇,祁广利,戎志国著. —北京:科学出版社,2015.9

(地球观测与导航技术丛书)

ISBN 978-7-03-045192-7

I. ①卫… II. ①张…②祁…③戎… III. ①卫星遥感-红外遥感-研究 IV. ①TP72

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 158123 号

责任编辑:苗李莉 李 静 朱海燕 / 责任校对:张小霞

责任印制:张 倩 / 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

*

2015 年 9 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2015 年 9 月第一次印刷 印张:19 1/4

字数:460 000

定价:128.00 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 宁
景贵飞	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	闫国年	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		

《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、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 计划和 863 计划主题的丰硕成果,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 计划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信息而达到探测目的。因此,从本质上说,遥感是一个信息流的过程。来自地表的电磁波,经过遥感器的获取后,对数据进行处理和分析,成为人们所能利用的有效信息。遥感信息具有时空和波谱两重主要特性,这些特性在物体的相互作用、传输、记录、再现的过程中受到各方面的影响,产生着各种畸变,遥感信息定量化就是在遥感信息流的每一个环节中探求其变化原因,纠正各种畸变,恢复地表信息的真实特征。遥感信息的定量化是未来遥感科学和技术发展的重要方向和必然趋势,然而,遥感数据的辐射定标又是遥感信息定量化的前提和重要组成部分,同时,遥感信息的定量化需求又会促进卫星遥感器辐射定标技术的飞速发展。

遥感传感器精确的辐射定标和几何定标是遥感信息定量化的先决条件,其中,绝对辐射定标是将遥感器所记录的计数值与特定的物理量之间建立相关关系,是遥感定量反演地表参数和建立遥感模型的基础。本书以我国现有和未来发展的卫星红外遥感器为切入点,在深入细致的分析红外通道发射前实验室定标结果的基础上,开展星上黑体定标修正模型研究、在轨场地绝对辐射定标数据分析和交叉辐射定标。研究和开发利用大洋浮标和 NCEP 大气再分析场数据进行高频次替代辐射定标的算法。根据不同定标方法获取的辐射定标数据,进行辐射定标模型融合研究;并应用数理统计、比较分析的研究方法,对获得的定标数据进行同化,实现对目标遥感器的综合辐射定标。结合遥感器在轨状态监测结果,对综合辐射定标结果进行检验和精度评价。内容既包括了卫星红外遥感器辐射定标的国内外主流方法和理论,又吸收了作者近 10 年来在红外遥感辐射定标方面的最新研究成果。本书紧扣遥感学科的主要发展方向,着眼于目前制约定量遥感发展的关键问题——辐射定标;不仅可以为气象卫星辐射定标提供高精度、高频次的解决方案,并且相关研究成果也为国内外相似通道设置的其他遥感器在轨辐射定标提供重要的理论铺垫和方法借鉴。可以有效的提高在轨卫星红外遥感器辐射定标精度,并应用于历史数据的再定标处理,使相关载荷的红外遥感数据能够实现统一的辐射定标基准,从而服务于气候变化、防灾减灾、天气预报、环境监测、农牧业遥感等国民经济的方方面面。

全书分 8 章。第 1 章为绪论,第 2 章为星上黑体定标修正模型研究,第 3 章为基于高光谱红外遥感器的交叉辐射定标,第 4 章为基于大洋浮标和再分析场数据的定标模型与方法,第 5 章为基于自动化观测的卫星红外遥感器场地辐射定标方法研究,第 6 章为红外遥感器非线性定标模型融合研究,第 7 章为红外遥感器综合辐射定标方法研究,第 8 章为讨论与展望。

本书得到了国家自然科学基金项目[红外遥感传感器辐射定标的模型融合与综合方法研究(40701118)和自旋稳定静止气象卫星星上黑体定标修正模型研究(41171275)]、公益性行业(气象)科研专项[辐射校正场与真实性检验外场仪器设备与技术研发(GY-

HY200906036)]、留学回国人员科技活动择优资助项目、中国气象局小型基建项目(敦煌辐射校正场红外辐射特性研究及其业务系统建设和敦煌辐射校正场地表和大气参数观测自动化改造)、国家科技支撑计划项目(2008BAC40)、国家高技术研究发展计划项目(2007AA12Z145)、遥感科学国家重点实验室开放研究基金(地球静止轨道卫星热红外遥感器绝对辐射定标方法研究)、国家留学基金项目等的资助,特此致谢。

本书由张勇总策划并组织撰写,提出和审定全书大纲。本书主要撰写人员为张勇、祁广利和戎志国。感谢李小文院士对本书的撰写工作给予了细致的指导,李先生还欣然答应为本书作序使我们深感荣幸。感谢中国科学院遥感与数字地球研究所的顾行发研究员,他非常关注和支持本书的出版,尤其是在本书撰写过程中提出了宝贵意见和建议。感谢南京师范大学的汤国安教授对本书出版的关心和帮助。本书在撰写过程中得到了《地球观测与导航技术丛书》编委会的指导和大力帮助。感谢国家卫星气象中心许健民院士和董超华研究员的关心和帮助,感谢中国气象局国家“千人计划”专家、国家卫星气象中心首席科学家、美国威斯康星大学空间科学与工程中心资深科学家李俊博士的指导和帮助。感谢国家卫星气象中心主任杨军研究员、风云三号气象卫星地面应用系统总指挥张鹏研究员和总工程师杨忠东研究员、风云二号/风云四号气象卫星地面应用系统总指挥魏彩英研究员和总工程师张志清研究员、国家卫星气象中心总工程师卢乃锰研究员对本书出版的热诚帮助与大力支持,感谢国家卫星气象中心卫星气象研究所的各位同事,特别是所长唐世浩研究员,卫星定标研究室的同仁胡秀清研究员、孙凌研究员、李元副研究员、徐娜副研究员、陈林副研究员、漆成莉副研究员、徐寒列助理研究员、王玲助理研究员,以及大气探测研究室的闵敏副研究员、胡菊昉助理研究员和国家卫星气象中心业务科技处的张立军高级工程师的关心和帮助,在此一并致谢!

限于作者水平,书中不妥之处在所难免,敬请读者批评指正。

作 者

2014 年 11 月

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 引言	1
1.2 卫星传感器辐射定标技术发展	18
1.3 卫星红外遥感器的国内外定标发展现状	29
1.4 国内主流卫星红外传感器辐射定标存在问题	44
参考文献	46
第 2 章 星上黑体定标修正模型研究	50
2.1 引言	50
2.2 多通道扫描辐射计介绍	52
2.3 星上全光路黑体定标修正模型建立	61
2.4 星上黑体修正模型的误差分析与精度评价	73
2.5 小结	80
参考文献	80
第 3 章 基于高光谱红外遥感器的交叉辐射定标	82
3.1 引言	82
3.2 高光谱基准仪器及全球天基交叉定标系统	86
3.3 基于高光谱仪器的交叉定标方法	96
3.4 LEO 与 GEO 卫星间的交叉定标	103
3.5 LEO 与 LEO 卫星间的交叉定标	123
参考文献	133
第 4 章 基于大洋浮标和再分析场数据的定标模型与方法	137
4.1 引言	137
4.2 大洋浮标与再分析场观测资料	138
4.3 FY-2 卫星红外通道的辐射定标	143
4.4 FY-3 卫星红外通道大洋浮标监测方法研究	150
4.5 风云卫星大洋浮标替代定标和检验软件平台	154
参考文献	162
第 5 章 基于自动化观测的卫星红外传感器场地辐射定标方法研究	164
5.1 中国遥感卫星辐射校正场介绍	164
5.2 青海湖浮标观测系统及在轨定标	181
5.3 敦煌戈壁地温自动测量系统及其定标研究	192

5.4 中国遥感卫星辐射校正场自动化观测能力建设	213
参考文献	217
第6章 红外遥感器非线性定标模型融合研究	219
6.1 引言	219
6.2 红外探测器探测原理	220
6.3 红外遥感器辐射定标模型	223
6.4 非线性定标模型检验与分析	235
6.5 小结	238
参考文献	238
第7章 红外遥感器综合辐射定标方法研究	240
7.1 引言	240
7.2 现有红外波段辐射定标方法	241
7.3 综合辐射定标	262
7.4 不同定标方法的误差分析与比较	266
7.5 定标系数的真实性检验与精度分析	269
7.6 定标系数的应用潜力评价	272
7.7 小结	281
参考文献	282
第8章 讨论与展望	285
8.1 国际卫星红外遥感器辐射定标发展趋势分析	285
8.2 我国卫星红外遥感器辐射定标展望	286
8.3 未来卫星红外遥感器发展趋势	289
参考文献	293
索引	294

第1章 绪 论

1.1 引 言

1.1.1 中国地理空间信息概况

中国地理空间信息技术起步于20世纪70年代末,国家非常重视地理空间信息技术的发展。30多年来,连续六个“五年计划”都把发展遥感技术列为国家重点科技攻关项目,把遥感技术作为国民经济建设35项关键技术之一。我国遥感事业在党和国家领导人的关怀下,坚持为国民经济建设服务的方针,沿着不断进取、不断改革、不断创新的道路,取得一个又一个重要成果。从技术角度,我国已具有研制与生产各种对地观测卫星、各类遥感仪器与空间信息处理设备的能力,许多设备已处于国际先进水平;多层次遥感数据获取、数据分析与处理、遥感数据综合应用的能力已基本形成;地理信息系统已进入新的发展阶段,初步形成一种包括硬件研制、软件开发、数据采集、应用分析和咨询服务的新兴信息产业。尤其经过“八五”“九五”“十五”“十一五”和“十二五”的攻关研究,我国整体空间信息应用技术正在全面形成。

在应用方面,遥感、地理信息系统和全球定位系统技术已在国民经济建设中,尤其在重大自然灾害监测与评估、宏观资源环境调查与国土资源保护等方面,为国家和各级政府提供了大量科学的宏观辅助决策信息,产生了巨大的社会效益。越来越多的部门,已经或正在将这些技术纳入部门产业化的应用日程,成为主管部门执法或制定产业政策、行业规范及行业技术改造的主要技术之一。

通过地理空间信息技术的广泛应用,在产业化发展方面亦取得了可喜的开端。在应用与技术研究推出的部分通用产品,如地理信息系统软件、各类空间信息采集平台与数据处理和分析设施,已获得可喜的经济效益,并形成一定的产业规模。部分行业已形成遥感高技术产业,直接为国民经济建设服务,为国家提供信息保障,受到党和国家领导人的重视和好评,部分技术成果达到世界先进水平,备受国人和世界瞩目。

30多年来我国遥感事业为了更好地为国民经济建设服务,本着独立自主原则抓紧进行国家遥感对地观测体系建设。风云系列卫星(FY)均为我国自主研制和发射,1988年9月我国发射了第一颗极轨气象卫星“风云一号”FY-1A,1997年6月发射了第一颗静止气象卫星“风云二号”FY-2A,开启我国对地观测遥感体系快速发展的新时代。近年来,我国的气象卫星事业发展迅速。极轨气象卫星实现了更新换代、上下午星组网观测,静止气象卫星实现了双星观测、在轨备份的业务模式,卫星遥感应用服务取得了令人瞩目的成就。截至2014年年底,我国已成功发射了14颗风云系列气象卫星,包括七颗极轨气

象卫星和七颗静止气象卫星。目前风云三号 A/B/C 星和风云二号 D/E/F/G 星在轨稳定运行。我国的气象卫星已实现了业务化、系列化的发展,实现了从试验应用型向业务服务型转变的目标,我国已成为国际上同时拥有静止气象卫星和极轨气象卫星的少数国家和地区之一。世界气象组织已将风云二号和风云三号气象卫星纳入全球业务应用气象卫星序列,使我国风云气象卫星成为全球综合地球观测系统的重要成员。

我国与巴西合作的“资源一号”(China-Brazil earth resources satellite,CBERS-01)卫星,于 1999 年 10 月成功发射。中巴地球资源卫星(CBERS-01)上拥有两种遥感器:5 波段电荷耦合元件(charge-coupled device,CCD)相机和红外多波段扫描仪(Infrared multi-channel scanning sensor, IRMSS),在一颗卫星上同时安装 CCD 相机和 IRMSS,这在同期世界上是少有的,这样做既可使卫星全天候工作,又大大增加了信息量,它的发射结束了我国没有自己的较高分辨率传输型资源卫星和完全依赖国外卫星数据的历史。我国第一颗海洋卫星于 2002 年 5 月发射,“海洋一号”卫星是中国第一颗用于海洋资源开发利用的试验型应用卫星,卫星质量 368kg,星体近似正方体,卫星轨道高度 698km,装载的遥感仪器包括一台分辨率为 1.1km 的十波段水色扫描仪和一台分辨率为 0.25km 的四波段 CCD 相机,星体分隔成平台和载荷舱两部分,设计寿命为两年。海洋卫星(HY-1)主要用于海洋水色要素探测,为海洋环境监测与资源开发服务,海洋环境监测与资源开发包括海洋生物资源开发利用、海洋污染监测与防治、海岸带资源开发和海洋科学研究等领域。此外,2000 年 6 月 28 日由清华大学和英国萨里卫星技术公司合作研制的清华一号小卫星在俄罗斯(普列谢茨克航天发射场)发射成功。清华一号上携带一台三波段相机,空间分辨率为 39m。2002 年发射的神舟三号宇宙飞船上装载了中分辨率成像光谱仪,这是继美国之后第二个中分辨率成像光谱仪上天。建立长期稳定运行的卫星对地观测体系,是我国空间遥感的发展目标。我国将建立以气象卫星系列、资源卫星系列、海洋卫星系列、环境与灾害监测小卫星星座和高分系列卫星组成的长期稳定运行的卫星对地观测体系,实现对中国和周边地区以及全球的陆地、大气、海洋的立体动态监测。

目前,我国气象卫星已构建起以北京、广州、乌鲁木齐、佳木斯四个国家级地面接收站和瑞典基律纳站组成的卫星数据接收网络,形成了以国家级数据处理和服务中心为主体,以 31 个省级卫星遥感应用中心和 2500 多个卫星资料接收利用站组成的全国卫星遥感应用体系,除接收风云系列气象卫星外,还接收利用美国、日本、欧洲国家等和组织的多颗卫星资料。采用卫星数字视频广播(DVB-S)技术建成的风云气象卫星数据广播分发系统 CMACast,是全球地球观测组织(GEO)的全球卫星数据广播分发体系的三个核心成员之一。目前,CMACast 用户接收站已超过 200 多套,极大地提升了中国风云气象卫星的国际影响力。由国家卫星气象中心建设的我国气象卫星地面应用系统,承担着极轨气象卫星与静止气象卫星资料的接收、处理、应用和存档服务任务。自 1987 年建成以来,已连续稳定运行 28 年,为我国天气预报、气候预测、生态环境,以及自然灾害监测作出了出色的贡献。“风云一号/三号”系列极轨气象卫星地面应用系统是已成功实现我国七颗、两个系列极轨气象卫星资料的接收、传输、处理、分发和应用的系统。系统具有同时管理三颗极轨气象卫星,接收处理五颗极轨气象卫星的能力。“风云二号”系列静止气象卫星地面应用系统是由指令和数据接收站、资料处理中心、运行控制中心、测距站(北

京主站,广州、乌鲁木齐、澳大利亚墨尔本三个副站),覆盖全国的 300 多个中小规模利用站以及众多数据收集平台等组成。该系统已成功完成我国七颗静止气象卫星资料的接收、处理任务。系统具有同时管理三颗静止卫星,接收处理四颗静止卫星的能力。我国气象卫星地面应用系统,在规模、能力、时效、业务化与自动化程度等方面均已达到国际先进水平。

中国遥感卫星地面站是根据邓小平同志 1979 年访美期间所签订的中美科技合作备忘录建立的,于 1986 年建成并投入正式运行。经过 20 余年的不断发展,地面站已形成了完整的卫星数据接收、传输、存档、处理、分发体系,即以北京总部的运行管理与数据处理中心、密云站、喀什站、三亚站为数据接收网的运行格局。数据接收系统、数据传输系统、数据处理系统、数据管理系统、数据检索与技术服务系统协同运行,成为了我国对地观测领域的核心基础设施之一。向全国用户提供高质量的国际陆地观测卫星数据产品,地面站相继建成了具有世界先进水平的 Landsat、SPOT、Radarsat、Envisat、Resourcesat、Theos 等卫星的数据处理和产品生产系统,并通过一系列重要的设备改造和自主创新项目,使卫星数据的接收、处理、存储、检索等系统能力有了显著的提升,设备的运行水平迈上了新的台阶。实现了一站多星、全天候、全天时、多种卫星相辅相成的准实时服务功能,是国际上接收与处理卫星数量最多的地面站之一,数据分发服务量居于世界前列。目前,存有 1986 年以来的各类卫星的历史数据资料,在类型上覆盖中高分辨率的光学遥感数据与微波、雷达遥感数据,为国家积累保存了极其珍贵的空间历史数据资料,是我国最大的对地观测卫星数据历史档案库之一。

中国陆地观测卫星地面应用系统,由四个地面接收站组成:密云接收站、喀什接收站、三亚接收站、牡丹江接收站和数据处理中心组成。陆地观测卫星数据标准化处理系统包括公共平台、数据处理、存档、分发及服务设施等几个部分。按照功能、性能优化组合和实际工作的需要,划分为一个平台、七个分系统及一套标准规范。分别是公共平台、数据处理分系统、数据归档与信息管理分系统、任务与有效载荷管理分系统、数据分发分系统、数据模拟与评价分系统、应用示范与培训分系统、定标场分系统以及标准规范。可提供 CBERS-01/02、CBERS-02B、HJ-1A/B、资源一号 02C、资源三号和高分一号等多系列、多颗陆地观测卫星的数据,覆盖我国陆地、邻国和周边国家部分地区的可见、近红外和红外波段四个级别的遥感产品。

国家卫星海洋应用中心从海洋一号卫星地面应用系统建设开始,逐步建立具备接收国内外海洋卫星和其他遥感卫星数据,能够进行数据接收、处理、产品制作、存档和产品分发能力的业务化运行系统。目前,海洋系列卫星地面应用系统由接收分系统(包括北京站和三亚站)、资料处理分系统、产品存档与分发分系统、资料应用示范分系统、遥感器辐射校正和真实性检验分系统、通信分系统和运行控制分系统七个分系统组成。该系统主要功能是接收、处理、存储和分发海洋系列卫星过境时实时发送的海洋水色扫描仪和 CCD 成像仪资料;并按照业务需要进行数据处理,制作各级产品,完成资料存档与分发,开展资料及产品服务;开展针对海洋系列卫星遥感器的海上试验工作,结合陆地遥感辐射校正场,进行遥感器数据和产品定标与真实性检验;同时,利用海洋系列卫星数据结合其他遥感数据,建立海洋应用示范系统。

此外,各应用部门结合应用分别建立了许多 NOAA-AVHRR(advanced very high resolution radiometer,先进甚高分辨率辐射计,是 NOAA 系列气象卫星的主要探测仪器)和 MODIS(moderate resolution imaging spectroradiometer,中分辨率成像光谱仪,是美国地球观测系统 EOS,Earth observation system 系列卫星 TERRA 和 AQUA 的基本仪器)数据地面接收站。我国自行研制的 MODIS 数据接收系统是对 EOS-TERRA 遥感卫星 X 频段传输的遥感数据进行跟踪接收、信号解调、数据记录、图像实时显示,为地面应用系统提供可靠的原始数据资料。MODIS 处理系统由三个分系统组成,即 MODIS 资料实时预处理分系统、特征参数提取分系统和应用技术研究分系统。MODIS 在 $0.4\sim 14\mu\text{m}$ 光谱区间的 36 个通道,提供了对云、气溶胶、辐射收支平衡,以及对通过能量、二氧化碳、水循环反映的地-气相互作用的探测能力。

虽然我国在遥感信息和地理空间信息获取方面取得了一定成绩,但仍然存在一些问题:

(1) 数据格式都是按不同的需求与标准处理存档,相互交换要编制相关接口软件,在数据读取时造成不必要的时间浪费。

(2) 没有明显的数据共享责任,不同地面站间缺乏交流。各站接收不少资料,但没有较好的快速检索和服务系统,总体上资料利用率不够高。

(3) 大部分没有系统备份,只强调了一站多用,而没有考虑热备份接收。

(4) 对国外众多的遥感卫星资料如何接收没有统一规划。

1.1.2 遥感技术及其发展

遥感是指非接触的,远距离的探测技术。对地遥感就是远离地球表面,运用传感器/遥感器对地物的电磁波辐射、反射特性的探测,并根据其特性对物体的性质、特征和状态进行分析,借助于电磁波来收集、获取地表的地学、生物学、资源环境等过程和现象的科学技术。从本质讲,遥感信息是指以电磁波为载体,经介质传输而由搭载在航空和航天遥感平台上的传感器所收集到的信息,是电磁波辐射与地表物质相互作用的产物,是地圈、生物圈、大气圈等基础科学的反映,并同时也是信息载体在其传输路径上受各种介质影响的结果,遥感信息具有空间、波谱和强度三种特性。

我国遥感在起步时就把研究电磁波与地表物质相互作用的具体体现——地物波谱特性作为应用基础重点,先后研制了地物波谱测量仪器,建立了太阳模拟实验室和遥感实验场,开展了中国地物波谱测试和分析工作,编辑出版了各种地物波谱志,建立了地物波谱数据库(童庆禧,1990;易维宁等,1998;田庆久和宫鹏,2002;苏理宏等,2002,2003;屈永华等,2004;王锦地等,2008;中国遥感卫星辐射校正场和中国气象局中国遥感卫星辐射测量和定标重点实验室,2008;蓝绍敏,2009)。这些工作为理解遥感成像机理、遥感影像解译、信息提取及遥感探测仪器波段选择提供了重要基础。

随着国家重大遥感基金项目“地表遥感信息传输及其成像机理研究”“九五”国家“攀登项目——地球表面能量交换的遥感定量研究”“九五”国家重点基础研究发展规划项目“地球表面时空多变要素的定量遥感理论及应用”等的实施,使我国的遥感应用基础研究上了一个新的台阶,推动了我国遥感应用深度和广度,提高了遥感定量化水平。这些研

究,针对定量遥感的需求,研究了电磁波在大气、土壤、植被、岩石及水体中的传输规律,建立了一系列遥感信息模型,如在我国大气条件下气溶胶光学厚度及大气中水汽含量关系模型,土壤岩石热惯量模型,辐射热交换的双层模型,用于岩石和矿物的光谱吸收指数模型,高光谱遥感信息的导数光谱模型及角度相似性匹配理论,电磁波散射场信息中地物的几何和物理特征分离模型,森林和植被后向散射、裸露岩石散射模型,雷达信息多波段、多极化模型以及多维遥感信息复合模型等。最有代表性的是以我国科学家李小文院士名字命名的地物二向反射分布的几何光学模型,被美国光学工程学会收入里程碑系列论文,使我国在该领域处于国际领先水平。在双向反射分布函数(bidirectional reflectance distribution function, BRDF)模型的基础上,我国科学家针对热红外遥感中非同温混合像元的发射率概念模型,向经典物理光学发起了挑战,发展了热红外辐射方向特性模型。并建立了遥感信息定量反演模型,发展了基于先验知识的遥感定量反演方法,可以根据 BRDF 模型定量计算地表反射率、反演地物参数,特别是植被结构参数;通过热红外辐射方向性模型,精确反演地表温度和发射率。目前,遥感信息的尺度效应和模型方面的研究正在如火如荼的进行。为进一步推动定量遥感,国家 863 计划启动了“我国典型地物标准波谱数据库”项目,通过典型地物标准波谱数据库的建立,发展地物光谱应用模型,解决地物波谱数据和遥感图像的定量关系,为定量遥感提供实用化的模型和方法。全球变化研究离不开遥感数据,如何应用遥感开展全球变化研究,也是遥感应用基础研究的内容之一。我国在全球变化研究中,从初级生产力的计算到植被区域分布的变异规律,从二氧化碳的增加对生态环境的影响分析到全球碳循环的遥感估算等方面都开展了理论和方法研究。这些研究为推动遥感在全球尺度的应用和地学的基础研究提供了理论和方法。随着遥感应用基础研究的不断深入,国家经费投入不够、研究比较分散、从事遥感基础研究的队伍较少、缺乏稳定的经费支持等问题日益凸显。

遥感是一个应用性和实验性很强的科学和技术,基础研究和试验模型的建立及验证也离不开大量的实验。为此,国内先后组织了芜湖地物波谱野外测试实验、长春静月潭遥感综合实验、以热红外方向特性为研究目标的禹城遥感实验、以定量化遥感为目标的北京顺义遥感实验、以卫星在轨辐射定标为目标的中国遥感卫星辐射校正场年度外场实验等,获取了丰富的第一手资料,推动了遥感信息科学理论的建立,遥感器在轨辐射定标的发展,遥感信息模型的构建,促进了定量遥感和实验遥感的发展和应用。

根据遥感探测所采用的遥感平台不同可以分为三类:地面平台包括三脚架、遥感塔、遥感车(船)、建筑物的顶部等,主要用于在近距离测量地物波谱和获取供试验研究用的地物细节影像;航空平台包括在大气层内飞行的各类飞机、飞艇、气球等,其中,飞机是最常用的航空遥感平台;航天平台包括大气层外的飞行器,如人造卫星、宇宙飞船、空间实验室等。在环境与资源遥感应用中,所用的航天遥感资料主要来自于人造卫星。在不同高度的遥感平台上,可以获得不同地表覆盖面积,不同时间、空间、光谱分辨率的遥感图像数据,在遥感应用中,这三类平台可以互为补充、相互配合使用。

根据航天平台的服务内容,可将其分为气象卫星、陆地卫星、海洋卫星、环境减灾卫星等不同系列。不同系列的卫星,由于轨道特性及所搭载传感器特性不同等原因,在光谱分辨率、辐射分辨率、空间分辨率、时间分辨率和资料获取时效等方面会有很大差别,

在进行有关专题的研究时,常常根据各类卫星资料的特点,选择多种平台资料。

气象卫星属于短重访周期、低空间分辨率卫星系列。主要用于对快速变化目标的宏观监测,如台风、天气系统、城市气象、气候、热场等的动态监测分析。近年来,在大气遥感、天气预报和城市遥感中应用较普遍的气象卫星资料主要有美国的极轨和静止系列卫星、欧洲的极轨和静止系列卫星、日本的静止系列卫星和我国的“风云”系列气象卫星。陆地卫星与气象卫星相比,成像周期较长,而空间分辨率较高,可以用于环境质量、绿化生态、道路交通、土地利用、环境地质、城市热岛、人口估算和城市地理信息系统等几乎所有的陆表遥感领域。近年来,在陆表遥感中应用较普遍的陆地卫星遥感资料主要来自美国的 Landsat 系列、中巴地球资源卫星、高分系列卫星等。海洋卫星遥感技术主要是利用可见近红外成像仪器进行海洋水色遥感;利用卫星高度计资料进行潮波分析、海洋风浪场、重力场、海洋大地水准面、全球气候变化等研究;应用合成孔径雷达(synthetic aperture radar, SAR)信息进行海底地形、海洋内波和海浪方向谱等方面的研究;以光学和微波遥感信息融合为主,通过多源信息复合技术建立海流、海面风场分析方法和模型。近年来,应用于海洋遥感的卫星资料主要包括美国的 SeaWiFS 卫星和我国的海洋系列卫星。

以获取地表温度为主要目标的热红外遥感经过了近 50 多年的发展历程,目前热红外遥感已经形成了航空航天等多平台的具有多体系的对地观测系统。利用星载热红外传感器对地观测主要是通过红外敏感元件,探测地球表面物体的热辐射能量,显示目标的辐射温度或热场分布。地物在常温(约 300K)下热辐射的绝大部分能量位于此波段,在此波段地物的热辐射能量大于太阳的反射能量。对地热红外遥感具有昼夜工作的能力,可以应用于环境质量监测、城市热岛研究、农业干旱监测、气象气候热场监测等诸多方面。

1.1.3 红外热成像及其仪器

1. 热红外系统发展

人类的发展可分为三个阶段:第一阶段是人类通过制造工具,扩展体力活动的能力;第二阶段通过提高判断能力,寻求更清晰和更广泛的理解与判断事物的标准;而人类近年来智力的增强获得输入信息的能力,扩大感觉范围或增添新的感官,使我们的大脑能接受更多的信息,正是人类发展的第三阶段。在这个阶段中,包括红外技术在内的计量、探测技术的发展已经把人类的感官由五种增加到六种。在 20 世纪 90 年代的海湾战争中,高科技武器等先进技术的展示,成为世界科技发展的风向标,也成为世界各国竞相研究和开发的方向和重点。这些高新技术也因此成为新的产业和投资热点,创造了亿万财富和无法预计的社会效益。在这些新科技中,以卫星定位(global positioning system, GPS)和红外热成像(thermal imaging scanner, TIS)两项技术最为突出。卫星定位系统已经非常广泛地应用于各行各业,成为从军事到民用都有较大发展前途的行业,其应用的发展速度,远远超过人们的预想,如广泛使用的汽车防盗定位系统等。

红外热成像技术是一个有非常广阔前途的高科技探测技术,其大量的应用将会引起许多行业变革性的改变。那么,什么是红外热成像?大家知道比 $0.78\mu\text{m}$ 长的电磁波位于可见光谱红色以外,称为红外线。红外线又称红外辐射,是指波长为 $0.78\sim 1000\mu\text{m}$ 的电磁波。其中,波长为 $0.78\sim 2.0\mu\text{m}$ 的部分称为近红外,波长为 $2.0\sim 1000\mu\text{m}$ 的部分称为热红外。自然界中,一切物体都可以辐射红外线,因此利用探测仪测定目标的本身和背景之间的红外辐射可以得到不同的红外图像。目标的热图像和目标的可见光图像不同,它不是人眼所能看到的目标可见光图像,而是目标表面温度分布图像,换句话说,红外热成像使人眼不能直接看到的目标表面热辐射分布,变成人眼可以看到的代表目标表面热辐射分布的热图像。

红外热成像的特点是什么?我们周围的物体只有当它们的温度高达 1000°C 以上时,才能够发出可见光。相比之下,我们周围所有温度在绝对零度(-273°C)以上的物体,都会不停地发出热红外辐射。例如,根据人体体温,我们可以计算出一个正常的人所发出的热红外线能量。所以,热红外线(或称热辐射)是自然界中存在最为广泛的辐射。热辐射除存在普遍性之外,还有另外两个重要的特性。大气、烟云等吸收可见光和近红外线,但是对 $3\sim 5\mu\text{m}$ 和 $8\sim 14\mu\text{m}$ 的热红外线却是透明的。因此,这两个波段被称为热红外线的“大气窗口”。利用这两个窗口,可以使人们在完全无光的夜晚,或是在烟云密布的战场,清晰地观察到前方的情况。正是由于这个特点,热红外成像技术在军事上提供了先进的夜视装备并为飞机、舰艇和坦克装上了全天候前视系统。物体的热辐射能量的大小,直接和物体表面的温度相关。热辐射的这个特点使人们可以利用它来对物体进行无接触温度测量和热状态分析,从而为工业生产、节约能源、保护环境等方面提供重要的检测手段和诊断工具。

根据物体能够发射红外线的特点,各国竞相开发出各种红外热成像仪器。美国得克萨斯仪器公司(Texas Instruments, TI)在 1964 年首次研制成功第一代的热红外成像装置——红外前视系统。这类装置利用光学元件机械运动,对目标的热辐射进行图像分解扫描,然后应用光电探测器进行光、电转换,最后形成视频图像信号,并在荧屏上显示,红外前视系统至今仍是军用飞机、舰船和坦克上的重要装置。20 世纪 60 年代中后期,在红外前视装置的基础上,开发了具有温度测量功能的热红外成像装置。这种第二代红外成像装置,通常称为热像仪。70 年代研制出不需制冷的红外热电视产品。90 年代出现制冷型和非制冷型的焦平面红外热成像产品,这是最新一代的红外电视产品,可以进行大规模的工业化生产,把红外热成像的应用提高到一个新的阶段。第一代热像仪主要由带有扫描装置的光学仪器和电子放大线路、显示器等部件组成,已经成功应用于装备部队,在夜间的地面观察、空中侦察、水面保障等方面作出重要的贡献。第二代热成像仪主要采用焦平面阵列技术,集成数万个乃至数十万个信号放大器,将芯片置于光学系统的焦平面上,取得目标的全景图像,无需光、机扫描系统,大大提高了灵敏度和热分辨率,可以进一步提高目标的探测距离和识别能力。第三代热成像仪的特征是使用 HgCdTe 薄膜材料、长线列或可达到与高清晰度电视图像像素相当的凝视 FPA、有复杂的信号处理功能的超大规模集成的读出电路、简单的光机扫描机构或无扫描机构、大规模或超大规模集成电路构成的电子学、很复杂的信号处理,使热图像的画质达到高清晰度电视图像的

水平。在与第二代热像仪大致相同的条件下,作用距离和空间分辨率比第二代有明显的提高。目前,第四代热成像仪已经推出。

20 世纪 70 年代我国有关单位已经开始对红外热成像技术进行研究,80 年代初,我国在长波红外元件的研制和生产技术上有了一定进展。到了 80 年代末和 90 年代初,我国已经研制成功了实时红外成像样机,其灵敏度、温度分辨率都达到很高的水平。进入 90 年代,我国在红外成像设备上使用低噪声宽频带前置放大器、微型制冷器等关键技术方面有了发展,并且从实验走向应用,主要用途是用于部队,如便携式野战热像仪、反坦克飞弹、防空雷达,以及坦克、军舰火炮等。中国在红外热成像技术方面,已经投入了大量的人力、物力,形成了相当规模的研发力量。进入 21 世纪以来,先进的红外热成像仪其温度灵敏的可达 0.03°C 。无论白天、黑夜均可持红外热像仪来探测丛林中的敌人,其距离可达百米之遥,作为边防缉私等的重要工具。通过热像仪不仅可实时对目标进行观测,更可以通过其行踪轨迹的“热痕迹”进行动态分析,因为一般物体的热发散有一定的时间性,有些物体的热发散需要很长时间。例如,部队点燃的炊烟,曾经发动过的车辆等都可以留下“热痕迹”。

2. 热红外探测平台

对地热红外遥感,指通过红外敏感元件,探测地球表面物体的热辐射能量,显示目标的辐射温度或热场图像对地遥感技术的统称。遥感中指 $8\sim 14\mu\text{m}$ 的波段范围。地物在常温(约 300K)下热辐射的绝大部分能量位于此波段,在此波段地物的热辐射能量大于太阳的反射能量。对地热红外遥感具有昼夜工作的能力(田国良等,2006)。

根据遥感探测所采用的遥感平台不同可以分为以下三类:热红外地表、近地表遥感观测系统;热红外航空与飞艇观测系统;热红外航天观测系统。

1) 热红外地表、近地表遥感观测系统

近地表平台可细分为地面平台和超低空微型遥感平台两种,对于近地面光谱数据采集等可以利用各种地面平台,对于研究范围小、观测频率高的情况可以采用超低空微型遥感平台。

地面平台:包括高架车、观测塔等离地面 $0\sim 50\text{m}$ 高度范围内的平台。它主要用于近地面光谱数据采集和样本数据采集(图 1-1)。

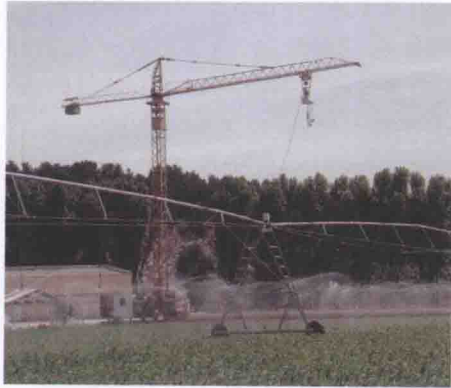


图 1-1 地面遥感平台——工业吊车