



对地观测数据处理与分析丛书

# 高分辨率卫星遥感精确对地 目标定位理论与方法

袁修孝 曹金山 等著



科学出版社

对地观测数据处理与分析丛书

# 高分辨率卫星遥感精确对地目标定位 理论与方法

袁修孝 曹金山 等 著

科学出版社

北京

## 内 容 简 介

本书系统介绍了高空间分辨率卫星遥感精确对地目标定位的基本理论和方法。其主要内容包括高空间分辨率卫星遥感影像（线阵推扫式遥感影像和合成孔径雷达影像）的辐射校正方法、几何处理模型、对地目标定位理论和算法等；重点介绍国家 973 计划“遥感定位几何模型与精确求解方法”课题（2006CB701302）和国家自然科学基金“多传感器对地观测网络数据精确处理与空间信息智能服务”创新研究群体项目（41021061）的最新研究成果。全书共分 9 章，比较全面地介绍当今几种典型的高空间分辨率遥感卫星及其影像处理的相关技术研究进展，阐述线阵推扫式遥感影像辐射校正和几何检校方法，讨论单线阵推扫式光学卫星遥感影像和 SAR 遥感影像的严格几何处理模型与通用几何处理模型，叙述基于这些模型的高分辨率卫星遥感对地目标定位理论和算法，并分析和讨论将其用于当今高空间分辨率卫星遥感影像 SPOT-5 及 CBERS-02B 影像的处理结果。

本书可供遥感科学与技术、地理信息系统、地球空间信息科学、国土资源调查、卫星应用技术等学科领域的科技人员阅读参考，也可作为相关专业大学高年级学生和研究生的教学参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

高分辨率卫星遥感精确对地目标定位理论与方法/袁修孝,曹金山等著. —北京:科学出版社, 2012

(对地观测数据处理与分析丛书)

ISBN 978-7-03-033628-6

I. ①高… II. ①袁… III. ①高分辨率-卫星遥感-卫星定位 IV. ①TP72

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 034543 号

责任编辑: 韩 鹏 马云川 / 责任校对: 朱光兰

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>

双青印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2012年3月第一版 开本: 787×1092 1/16

2012年3月第一次印刷 印张: 14 1/2

字数: 323 000

定价: 58.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

## 丛书编委会

顾 问	李德仁	宁津生	张祖勋
	刘经南	刘先林	
主 编	龚健雅		
副主编	吴华意		
编 委	顾行发	李志林	周启鸣
	李 斌	施 闯	袁修孝
	张继贤	周成虎	李 琦
	方 涛		

## 本书作者名单

袁修孝 曹金山 汪韬阳 王 密  
余俊鹏 季顺平 吴颖丹 余 翔

# 丛 书 序

人类正面临着人口急剧增加、资源逐渐枯竭、环境日益恶化、灾害频繁发生、全球气候变暖等问题，严重制约了社会的可持续发展。要解决这些问题，需要实时、动态和精准的地理空间信息支持，而空、天对地观测技术乃是获取动态地球空间信息的最佳手段。

国家科技发展中长期规划已将高分辨率对地观测系统和新一代卫星导航定位系统列入国家重大专项，高分辨率测绘卫星计划正在实施，北斗卫星导航定位系统正在构建。从现在到 2020 年，国家计划投资数百亿元建设高分辨率对地观测系统和陆海卫星观测系统，届时将有上百颗对地观测卫星在轨运行，可以准实时、全天候、高精度地进行对地观测，逐步形成集高空间、高光谱、高时间分辨率和宽地面覆盖于一体的卫星（群）对地观测系统，以获取海量的对地观测数据。随之而来的是如何快速、有效地处理这些对地观测数据，自动提取空间信息，及时发现和挖掘出其中的地学知识，充分发挥对地观测系统的效用。这不仅是遥感科学技术领域亟待解决的重大理论问题，也是基于图像的空间认知科学问题，是提升我国综合国力的迫切需求。

对地观测数据获取与信息提取涉及地球科学、信息科学、空间科学和认知科学等多门学科，需要通过多学科交叉、聚集多个领域的专家，深入研究地表物体的波谱特性、大气传输特性、遥感成像机理、地球空间要素关系模型、地球空间信息统一时空基准、遥感影像自动定位、地物目标自动识别、空间数据挖掘与知识发现以及空间信息智能服务等一系列的理论与方法。

令人欣喜的是，科学技术部于 2005 年批准立项，开展国家重点基础研究发展计划（973 计划）项目“对地观测数据-空间信息-地学知识的转化机理”研究，拟解决对地观测系统的时空基准与遥感几何处理模型、地理空间要素关系模型与空间信息表达、海量空间数据库中地学知识发现及其转化机理等关键科学问题，从而揭示对地观测数据到地学知识的转化机理。项目首席科学家龚健雅院士及其带领的团队代表了我国在该研究领域中年轻一代的中坚力量，经过 5 年的潜心研究和协作攻关，取得了一批具有创新性的研究成果，在 2010 年科学技术部的项目结题验收中被评为“优秀”。其标志性成果“对地观测卫星精密定轨定姿与遥感影像高精度自动定位方法”建立了高分辨率卫星遥感影像高精度定位的理论与方法体系，大幅度提高了国产卫星遥感影像自动处理的精度和效率，该方法已在国产遥感卫星地面处理系统中业务化运行，解决了国家的重大需求。该项研究成果作为内参专报国务院，受到相关领导的高度重视。

呈现在大家面前的《对地观测数据处理与分析丛书》是该项目中相关课题研究成果的结晶，每个研究课题单独成册，深入而翔实地向读者展现各个课题的主要研究成果。

21 世纪是航天的世纪。随着我国航天技术的发展，中国必将从航天大国发展为航天强国。“坐地日行八万里，巡天遥看一千河。”相信通过我国科学家的集体攻关，一定

会形成我国独立自主的对地观测数据获取、信息处理与知识发现的理论和方法体系，为实现空间数据获取的空、天、地一体化，空间数据处理的定量化、自动化和实时化，空间信息分发与应用的网络化，空间信息服务的大众化与智能化提供理论支撑，促进我国航天技术的发展，更好地为国家安全、经济建设及创建和谐社会服务。



2011年12月于武昌珞珈山

# 前 言

随着航天技术、计算机技术、通信技术、信息处理技术的进步，现代空间遥感技术得到了空前的发展。20 世纪地球科学进步的一个突出标志是人类能够脱离地球而从太空观测地球 (Earth Observation from Space)，对地观测技术已成为国际上太空竞争的重要热点之一。现有的高空间、高光谱、多时相、全天候的遥感对地观测手段，已使人类第一次能从外层空间对自己赖以生存的地球作为一个整体来观测和研究，为地球科学的研究和人类社会的可持续发展作出了巨大贡献！

高分辨率卫星遥感对地观测技术已经成为人类获取地球空间信息的最重要手段之一，在国民经济和国防建设各个领域正发挥着越来越重要的作用。由于卫星技术、传感器技术和电子技术等的飞速发展，卫星遥感影像的空间分辨率已达到亚米级，由此影像数据生产的一系列产品已被广泛应用于地形测绘、国土资源调查、环境监测与保护、地质勘探、智能交通、城市管理等众多领域。*Nature* 曾刊文指出，美国劳动部已将地球空间信息技术与纳米技术、生物技术并列为当今最有前途和最具发展潜力的三大高新技术。毋庸置疑，高分辨率卫星遥感对地观测技术作为地球空间信息产业的核心技术，正在成为我国国民经济新的增长点之一。

为了实现高空间分辨率卫星遥感影像的精确处理，更好、更快地服务于国防和国民经济建设，由武汉大学龚健雅院士作为首席科学家主持了国家重点基础研究发展计划 (973 计划) 项目“对地观测数据-空间信息-地学知识的转化机理”(2006CB701300)，该项目共分为 6 个课题，其中笔者主持了第 2 课题“遥感定位几何模型与精确求解方法”(2006CB701302) 并参与了国家自然科学基金创新研究群体项目“多传感器对地观测网络数据精确处理与空间信息智能服务”(41021061) 的研究工作，重点研究了高空间分辨率卫星遥感影像的辐射校正、几何检校以及对地目标空间定位的理论与方法，并将其用于国产高分辨率卫星遥感影像 CBERS-02B 的几何处理，为建立具有自主知识产权的国产高分辨卫星遥感影像处理系统奠定了理论基础。本书正是第 2 课题近 5 年来最新研究成果的汇聚，同时也吸收了张过博士、明洋博士、李然博士、刘欣硕士、林先勇硕士、许华燕硕士、赵丹硕士、沈彩莲硕士等在其学位论文研究中的部分成果。本书的出版既是对第 2 课题组全体参研人员以及笔者所指导的部分研究生所取得研究成果的凝练和升华，更是对他们多年来孜孜不倦地潜心研究的最好总结和汇报！

本书紧紧围绕高分辨率卫星遥感影像精确对地目标定位的整个过程，全面而系统地介绍了相关的理论和方法，并通过试验证实了所阐述理论和方法的正确性与可行性。全书一共分为 9 章，第 1 章由袁修孝教授编写，简要介绍了当今几种典型的高空间分辨率遥感卫星的概况，着重总结了高分辨率卫星遥感影像辐射校正、几何检校、自动匹配、几何处理模型和影像对地目标定位等影像精处理技术的研究进展；第 2 章由王密教授编写，主要针对线阵推扫式卫星遥感影像相对辐射校正和去模糊问题，重点讲述了实验室



积分球数据的处理和基于实验室积分球数据的均一化相对辐射校正方法以及高分辨率卫星遥感影像调制传递函数补偿 (MTFC) 处理方法; 第 3 章由余翔博士编写, 简要分析了高分辨率遥感卫星成像的系统误差来源, 着重阐述了系统误差几何检校的一般方法, 特别讨论了 CBERS-02B 影像的几何检校问题和效果; 第 4 章由季顺平博士编写, 主要论述了多源、多时相高分辨率遥感影像自动匹配的理论和方法, 为高分辨率卫星遥感影像的自动量测、地面控制点的自动识别、影像定向和精确目标定位奠定基础; 第 5 章由余俊鹏、曹金山和汪韬阳三位博士联合编写, 详细介绍了 CCD 线阵推扫式光学卫星遥感影像严格几何处理模型的建立、遥感直接对地目标定位的基本原理和具体解算过程以及严格几何处理模型应用中的若干关键技术; 第 6 章由吴颖丹博士编写, 着重介绍了星载 SAR 影像基于距离-多普勒方程 (R-D 方程) 的直接对地目标定位的基本理论和各种解算方法、成像几何参数误差对目标定位精度的影响以及利用少量地面控制点对 R-D 方程的局部参数进行精化的基本原理; 第 7 章由曹金山博士编写, 在简要介绍一般多项式和直接线性变换模型的基础上, 重点阐述了有理函数模型 (RFM) 的建立、特点、RPC 参数精确求解和优选方法以及利用 RFM 进行影像直接对地目标定位的具体算法; 第 8 章由余俊鹏博士编写, 主要介绍了卫星轨道参数拟合与建模、传感器姿态角精化、扫描侧视角修正以及影像姿态角常差补偿等影像定向参数的外推算法, 分析了利用外推出的影像几何参数实施卫星遥感影像对地目标定位的效果; 第 9 章由汪韬阳和吴颖丹博士共同编写, 简要介绍了多重覆盖高分辨率卫星遥感影像区域网平差的基本数学模型和解算方法, 着重分析了各种区域网平差模型的特点, 并讨论了高分辨率卫星遥感影像区域网平差的精度。全书由曹金山博士汇总, 袁修孝教授统稿和定稿。

在本书即将付梓之际, 特别要感谢国家 973 计划和国家自然科学基金的大力资助, 为本书的完成奠定了殷实的物质基础; 特别感谢项目顾问、专家组成员多年来的悉心指导, 为本书的构思打下了坚实的理论基础; 衷心地感谢项目首席科学家龚健雅院士的精准把握, 为本书的布局谋篇定下了总体框架; 由衷地感谢项目其他课题组的相关成员, 为本书的写作所进行的真诚交流与相互协作; 诚挚地感谢武汉大学及其相关职能部门和科学出版社的亲切关怀, 为本书的出版提供了便利条件; 最后要感谢 2006CB701302 课题组的全体参研人员, 是大家的同心同德才促成了本书的顺利出版! 本书的成果是在参考了国内外公开发表的现有成果之后开展独立研究所取得的。在此, 对书中所引用的相关文献的作者一并表示衷心的感谢。

受成书时间仓促和作者水平所限, 书中难免存在疏漏和不妥之处, 恳请读者不吝赐教!

袁修孝

2011 年 12 月于武昌珞珈山

# 目 录

丛书序

前言

<b>第 1 章 绪论</b> .....	1
1.1 高分辨率卫星遥感影像源 .....	1
1.1.1 概述 .....	1
1.1.2 IKONOS 卫星系统.....	4
1.1.3 QuickBird 卫星系统 .....	7
1.1.4 SPOT-5 卫星系统 .....	10
1.1.5 CBERS-02B 卫星系统 .....	13
1.1.6 其他遥感卫星系统 .....	15
1.2 高分辨率卫星遥感影像处理的研究进展.....	16
1.2.1 卫星遥感影像辐射校正 .....	16
1.2.2 卫星遥感影像几何检校 .....	17
1.2.3 卫星遥感影像自动匹配 .....	19
1.2.4 卫星遥感影像几何处理模型 .....	21
1.2.5 卫星遥感影像对地目标定位 .....	27
1.3 本书主要研究内容.....	29
参考文献 .....	31
<b>第 2 章 卫星遥感影像的辐射校正</b> .....	39
2.1 概述.....	39
2.2 遥感影像的相对辐射校正.....	40
2.2.1 实验室积分球数据的获取.....	40
2.2.2 积分球均一化相对辐射校正模型的建立 .....	40
2.2.3 积分球均一化相对辐射校正系数的求解 .....	41
2.3 卫星遥感影像的调制传递函数补偿.....	44
2.3.1 光学遥感影像的调制传递函数 .....	44
2.3.2 高分辨率遥感影像的 MTF <sub>C</sub> 处理 .....	47
2.4 小结.....	54
参考文献 .....	54
<b>第 3 章 卫星遥感影像的几何检校</b> .....	56
3.1 概述.....	56
3.2 卫星遥感成像的系统误差源.....	56
3.2.1 地球曲率改正 .....	57

3.2.2	大气折光改正 .....	59
3.2.3	地球自转改正 .....	60
3.2.4	CCD 制造误差改正 .....	60
3.3	卫星遥感影像试验场几何检校 .....	62
3.3.1	一般几何检校模型 .....	62
3.3.2	CBERS-02B 影像的系统误差检校模型 .....	63
3.3.3	CBERS-02B 影像的系统误差检校试验 .....	65
3.4	小结 .....	71
	参考文献 .....	71
<b>第 4 章</b>	<b>卫星遥感影像的自动匹配 .....</b>	<b>72</b>
4.1	概述 .....	72
4.2	线阵推扫式卫星遥感影像的近似核线 .....	73
4.2.1	核线的基本概念 .....	73
4.2.2	基于 RFM 的核线精度分析 .....	74
4.3	同源遥感影像的自动匹配 .....	76
4.3.1	基于近似核线的影像匹配算法 .....	76
4.3.2	基于 SIFT 特征的影像匹配算法 .....	76
4.3.3	试验及其结果分析 .....	80
4.4	多源遥感影像的自动匹配 .....	85
4.4.1	基于航摄影像的控制点库建立 .....	85
4.4.2	影像匹配预处理 .....	87
4.4.3	影像匹配流程 .....	88
4.4.4	基于控制点影像库的多源遥感影像匹配试验 .....	89
4.5	小结 .....	91
	参考文献 .....	92
<b>第 5 章</b>	<b>光学遥感影像严格几何处理模型 .....</b>	<b>93</b>
5.1	概述 .....	93
5.2	坐标系统 .....	94
5.2.1	影像坐标系 .....	94
5.2.2	瞬时影像坐标系 .....	94
5.2.3	传感器坐标系 .....	94
5.2.4	卫星本体坐标系 .....	95
5.2.5	卫星轨道坐标系 .....	95
5.2.6	地心直角坐标系 .....	96
5.3	卫星遥感影像直接对地目标定位 .....	96
5.3.1	线阵推扫式遥感影像的共线方程 .....	96
5.3.2	直接对地目标定位计算过程 .....	97
5.3.3	直接对地目标定位精度分析 .....	98
5.3.4	卫星遥感影像姿态角常差检校 .....	110

5.3.5	试验及其结果分析	112
5.4	卫星遥感影像仿射变换几何处理模型	115
5.4.1	平行光投影几何处理模型	116
5.4.2	仿射变换几何处理模型	117
5.4.3	顾及扫描侧视角变化的仿射变换几何处理模型	118
5.4.4	试验及其结果分析	121
5.5	卫星遥感影像严格几何处理中的若干问题	123
5.5.1	基于扩展共线方程的单像空间后方交会	123
5.5.2	基于定向片模型的单像空间后方交会	125
5.5.3	影像定向参数初始值的确定	126
5.5.4	影像定向参数间相关性的克服	127
5.6	小结	131
	参考文献	131
<b>第6章</b>	<b>SAR 遥感影像严格几何处理模型</b>	<b>133</b>
6.1	概述	133
6.2	常用坐标系	134
6.2.1	影像坐标系	134
6.2.2	成像坐标系	134
6.2.3	地心惯性坐标系	134
6.2.4	地心旋转坐标系	135
6.3	SAR 卫星遥感影像直接对地目标定位	135
6.3.1	距离-多普勒模型 (R-D 方程)	135
6.3.2	基于 R-D 方程的直接对地目标定位原理	137
6.3.3	基于 R-D 方程的直接对地目标定位算法	138
6.3.4	基于 R-D 方程的间接目标定位算法	143
6.3.5	试验及其结果分析	144
6.4	SAR 影像直接对地目标定位的误差分析	146
6.4.1	影响 SAR 影像目标定位的主要误差源	146
6.4.2	仿真试验	147
6.5	SAR 影像严格几何处理模型参数的精化	151
6.5.1	精化 R-D 方程参数的基本原理	151
6.5.2	试验及其结果分析	153
6.6	小结	155
	参考文献	156
<b>第7章</b>	<b>卫星遥感影像通用几何处理模型</b>	<b>157</b>
7.1	概述	157
7.2	一般多项式模型	158
7.3	直接线性变换模型	158
7.4	有理函数模型	159

7.4.1	有理函数模型的建立	159
7.4.2	有理函数模型的形式	161
7.4.3	有理函数模型的特点	162
7.4.4	有理多项式系数的求解方法	163
7.4.5	有理多项式系数的求解策略	167
7.4.6	有理多项式系数的求解试验	169
7.4.7	有理多项式系数的选择	174
7.5	基于有理函数模型的卫星遥感影像直接对地目标定位	179
7.5.1	有理函数模型的系统误差补偿	180
7.5.2	基于有理函数模型的立体影像空间前方交会	182
7.6	小结	184
	参考文献	184
<b>第8章</b>	<b>卫星遥感影像外推对地目标定位</b>	<b>186</b>
8.1	概述	186
8.2	基于卫星轨道动力学模型的外推目标定位	187
8.2.1	卫星轨道参数外推模型	187
8.2.2	传感器姿态角精化模型	190
8.2.3	扫描侧视角修正模型	191
8.2.4	试验及其结果分析	191
8.3	基于影像姿态角常差补偿的外推目标定位	194
8.3.1	姿态角常差补偿	194
8.3.2	试验及其结果分析	194
8.4	小结	196
	参考文献	196
<b>第9章</b>	<b>卫星遥感影像的区域网平差</b>	<b>198</b>
9.1	概述	198
9.2	光学卫星遥感影像区域网平差	199
9.2.1	基于扩展共线方程的区域网平差	199
9.2.2	基于定向片模型的区域网平差	200
9.2.3	基于有理函数模型的区域网平差	201
9.2.4	试验及其结果分析	202
9.3	SAR卫星遥感影像区域网平差	209
9.3.1	Envisat ASAR 影像的误差方程	210
9.3.2	Radarsat-1 SAR 影像的误差方程	210
9.3.3	试验及其结果分析	213
9.4	小结	217
	参考文献	217

# 第 1 章 绪 论

遥感对地观测技术已成为人类获取地球空间信息的重要手段之一,在国民经济和国防建设中发挥着极其重要的作用。随着卫星技术、传感器技术和电子计算机技术等的发展,卫星遥感影像的空间分辨率已达到亚米级。为了更快地实现高空间分辨率卫星遥感影像的产品化、更好地服务于社会可持续发展的需要、更多地创造社会和经济效益,研究高空间分辨率卫星遥感影像的精确处理理论和方法已是当务之急。本章在简要介绍几种典型的高空间分辨率遥感卫星的基本状况之后,着重总结和分析高分辨率卫星遥感影像辐射校正、几何检校、自动匹配、几何处理模型和影像对地目标定位的研究进展。

## 1.1 高分辨率卫星遥感影像源

### 1.1.1 概 述

传统的地形测绘主要依靠测量人员背负测量仪器到野外逐点进行测量,不仅劳动强度非常大,而且作业效率很低。特别是对于那些人员无法通达的区域,地形图的测绘变得十分困难,有时根本是不可能的。随着航空摄影测量技术的广泛应用,人们可以在室内通过对航摄影像的量测和解译而取代野外测量工作。这不但减轻了测量的劳动强度,而且大大提高了地形测图的生产效率,并且可以更加精确而逼真地描绘地形。毫不夸张地说,从平板仪测图走向航空摄影测量是测绘学科的一次重大革命。

1957年10月,随着第一颗人造地球卫星的发射升空,地形测绘又有了新的技术手段。但直到1962年,遥感技术才初见端倪。在随后的近半个世纪里,卫星遥感技术迅速发展,并被广泛应用于测绘、国土资源调查、气象、环境和灾害监测、地质勘探、考古和旅游资源开发等领域。以卫星为运载平台的遥感成像系统不受区域和国界的限制,可以长时间、周期性地对地球表面进行观测,使人类获取地球空间信息的技术手段又一次发生了革命性的变化。

世界上第一颗真正的地球观测卫星是美国的陆地资源卫星(Landsat-1),其于1972年成功发射并运行,其多光谱扫描仪(Multi-Spectral Scanner, MSS)的空间分辨率为79 m,所获取的影像在城市建设、资源普查以及农业生产等方面发挥了重要作用。然而,Landsat-1卫星影像存在两个缺陷:①空间分辨率较低,地面上小于79 m×79 m的地物不能在影像上准确判读或者测绘;②由其提供的近似正射影像只适用于平面测图系统,不能用于地形测绘。

20世纪70年代,苏联主要依靠胶片回收式遥感卫星进行对地观测,1978年“礼炮6号”上MKF-6摄影机系统拍摄的像片的地面分辨率约为15 m×15 m,每张像片的覆盖面积达

114 km(沿轨迹方向)×168 km(垂直于轨迹方向)。由于当时是模拟摄影测量的鼎盛时期, MKF-6拍摄的像片幅面远远大于模拟摄影测量测图仪的承片盘尺寸,不得不将像片进行缩小处理,以适应摄影测量仪器的规格,只得按照变换光束测图原理进行 1 : 100 000 比例尺的地形图测绘和地图修测。

1983 年,德国研制了以电荷耦合光敏元器件(Charge Coupled Device, CCD)为探测器的 MOMS-01(Modular Optoelectronic Multispectral Scanner, MOMS),通过航天飞机平台首次应用于空间对地观测并取得成功(王之卓,1986)。1986 年,法国 SPOT-1 卫星发射运行,所携带的 CCD 线阵推扫式传感器 HRV(High Resolution Visible)可获取 20 m 地面分辨率的多光谱影像和 10 m 分辨率的全色影像。更为重要的是,SPOT-1 卫星通过侧视观测可以在相邻轨道间形成异轨立体影像对,其良好的基高比可以用于制作精准的正射影像和测绘地形图,对地形测图极为有利。在 1991 年的海湾战争中,以美国为首的多国部队采用了 SPOT 影像,不仅修测了大量的军用地形图,而且还为多国部队空袭目标的定位和打击效果评估作出了贡献,推动了遥感技术的发展。

1999 年,美国空间成像(Space Imaging)公司成功发射了 IKONOS-2 卫星,标志着高分辨率卫星遥感时代的到来,其星下点的地面分辨率在全色波段最高可达 0.82 m,平均地面分辨率约为 1 m,可以部分代替航空摄影影像,被广泛应用于城市、港口、土地、森林、环境、灾害调查和军事目标的动态监测以及国家级、省级、市县基础地理信息数据库的建设与更新中。利用 IKONOS 立体影像对,可以更加精确地对拍摄地区进行地物测绘,可以更加方便和快捷地生成数字高程模型(Digital Elevation Model, DEM)和数字正射影像图(Digital Orthoimage Maps, DOM)。

线阵推扫式传感器的广泛使用给测绘制图和遥感应用行业带来了机遇和挑战,无论是测绘科技工作者还是摄影测量与遥感专家,都需要学习新的知识,以适应新的空间技术条件下卫星遥感数据的处理和应用。以线阵推扫式卫星遥感影像为代表的高分辨率影像数据源与以往的中低分辨率遥感影像数据源相比,其不断提高的空间分辨率可以获得更加精确的地理空间信息,使遥感的定量反演成为可能。现今,影像获取便捷、成本低廉、分辨率高、姿轨参数精确、立体成像和信息丰富等已成为卫星遥感时代的典型数据源特征。

此外,合成孔径雷达(Synthetic Aperture Radar, SAR)在最近的十几年里也得到了迅速的发展。1978 年美国发射了装载有 SAR 传感器的海洋卫星 Seasat-A,首次成功地实施了 SAR 的对地观测。此后,美国分别于 1981 年 11 月、1984 年 10 月和 1994 年 4 月相继发射了 SIR-A、SIR-B 和 SIR-C/X-SAR 三部成像雷达。1988 年 12 月又用亚特兰蒂斯号航天飞机发射了军用的 Lacrosse SAR 卫星,其空间分辨率为 1 m,可用于全天候的全球监测。1991 年 3 月,美国利用大力神火箭从范登堡发射场发射了 Lacrosse-II SAR 卫星,这是早期分辨率最高的星载 SAR 卫星。2002 年 2 月 11 日又发射了地形测绘航天飞机 SRTM,并在 SRTM 上装载了基线长达 60 m 的双干涉天线,在 11 天的飞行中采集到了覆盖全球近 80%面积的可用于干涉测量的 SAR 数据,以提取全球高分辨率、高精度的 DEM,最大限度地开发了 SAR 的军事应用潜能。

欧洲空间局(the European Space Agency, ESA)分别于 1991 年 7 月和 1995 年 4 月发射了地球遥感卫星 ERS-1 和 ERS-2,其中的 SAR 系统采用了 C 波段、VV 极化成像模

式,并有全球系统校准能力,大大提高了 SAR 影像的质量。随后,于 2002 年成功发射的 Envisat 卫星采用了先进的合成孔径雷达,具有多极化、多模式功能,并且采用了分布式 T/R 组件及相控阵技术,成像性能更好。

加拿大于 1995 年 11 月成功发射了 Radarsat-1 SAR 卫星。它具有 7 种模式、25 种波束,不同的入射角,因而具有多种分辨率,不同幅宽和多种信息特征,适合于监测全球环境和土地利用、自然资源等。同时,它首次采用了可变视角的 ScanSAR 工作模式,以 500 km 的足迹每天覆盖北极地区一次,几乎包含了整个加拿大;每隔 3 天覆盖美国和北半球其他地区一次,全球覆盖一次不超过 5 天。2007 年 12 月 14 日,在哈萨克斯坦的拜科努尔航天发射基地又成功发射了 Radarsat-2 卫星。Radarsat-2 卫星除延续了 Radarsat-1 的拍摄能力和成像模式外,还增加了 3 m 分辨率超精细模式和 8 m 分辨率全极化模式,并且可以根据指令在左视和右视之间切换,不仅缩短了卫星的重访周期,而且增强了立体成像能力。更值得一提的是,Radarsat-2 可以提供 11 种波束模式及大容量的固定记录仪等,并将用户提交编程的时限缩短到了 4~12 h,使得 Radarsat-2 的成像更加灵活和便捷。

苏联第一颗 SAR 卫星是莫斯科动力学院特别设计局研制的 Polyns,于 1983 年 6 月发射,用于金星探测。1984 年 1 月 7 日发射了第二颗用于金星探测的 SAR 卫星 Venus-16。在随后的金星计划中,于 1987 年 7 月发射了第一颗钻石卫星(ALMAZ,即宇宙 1870),在轨工作两年,采集了大量不同国家和地区的 SAR 遥感数据。1990 年又发射了第二颗钻石卫星。苏联和东欧国家合作的“自然”计划,采用了横强-I 号 SAR 传感器,搭载在和平号轨道站上。此外,1992 年发射的资源-F 卫星也装载了与横强-I 相似的横强-II 号 SAR 传感器。

日本于 1992 年发射了地球资源卫星 JERS-1,用于地质和资源勘察。2006 年 1 月发射了 ALOS 对地观测卫星,采用了更加先进的陆地观测技术,具有更加灵活、更高分辨率的对地观测能力。在 ALOS 上搭载有三个传感器:全色遥感立体测绘仪(PRISM),主要用于数字地形测绘;先进可见光与近红外辐射计-2(AVNIR-2),用于精确陆地观测;相控阵型 L 波段合成孔径雷达(PALSAR),用于全天时、全天候陆地观测,具有高分辨率、扫描式合成孔径雷达、极化三种观测模式,使之能够获取比普通 SAR 更大地面幅宽的影像。

德国于 2007 年 6 月从俄罗斯拜科努尔发射场发射了第一颗军民两用卫星 TerraSAR-X,此为德国在建的 TerraSAR-X 波段卫星星座中的第一颗卫星,其分辨率高达 1 m,是目前在轨的星载 SAR 中分辨率最高的。它具有多种成像模式,能进行聚束式、条带式以及扫描式成像,并且三种成像方式均可有多种极化方式。

意大利于 2007 年 6 月使用美国“Delta-II”火箭成功发射了 Cosmo-Skymed 1 卫星。该卫星由泰勒斯阿莱尼亚航天公司建造,是意大利国防部和航天局合作项目的首颗卫星。该项目被称为 Cosmo-Skymed 星座,由 4 颗 X 波段合成孔径雷达卫星组成,是一个军民两用的对地观测系统。Cosmo-Skymed 雷达卫星的分辨率为 1 m,扫描带宽为 10 km,具备 3 种工作模式共 5 种不同分辨率的成像方式,是当今最先进的高分辨率 SAR 遥感卫星。



## 1.1.2 IKONOS 卫星系统

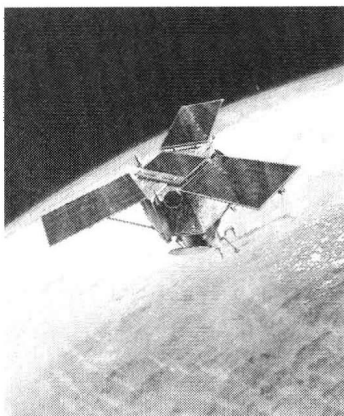


图 1.1 IKONOS 卫星系统<sup>①</sup>

IKONOS 卫星(图 1.1)由美国 Space Imaging 公司于 1999 年 9 月 24 日发射升空,是世界上第一颗地面采样间隔(Ground Sample Distance, GSD)达 1 m 的高空间分辨率商业遥感卫星。IKONOS 卫星的成功运行不仅提供了高清晰度的卫星遥感影像,而且开辟了一种新的、快捷而又经济的地球空间信息获取途径,更为重要的是创立了崭新的商业化卫星遥感影像标准。

### 1. IKONOS 卫星基本参数

IKONOS 卫星数据的广泛应用有力地推动了遥感应用的发展,在“数字地球”(Digital Earth)建设中作出了巨大贡献。其基本参数如表 1.1 所示。

表 1.1 IKONOS 卫星基本参数

项目	参数
发射日期	1999 年 9 月 24 日
发射平台	雅典娜 II
发射地点	美国加利福尼亚范登堡空军基地
轨道高度/km	681
轨道倾角/(°)	98.1
轨道周期/min	98.3
轨道类型	太阳同步轨道
重访周期/天	获取 1 m 分辨率影像时:2.9 获取 1.5 m 分辨率影像时:1.5
降交点时间	10:30 AM
星上存储器容量/GB	64
成像方式	CCD 单线阵推扫式
星下点 GSD/m	全色:0.82;多光谱:3.28
影像 GSD/m	全色:1;多光谱:4
成像幅宽/km <sup>2</sup>	11×11
成像波段/ $\mu\text{m}$	全色波段:0.45~0.90 多光谱波段 1 (蓝色):0.45~0.53 多光谱波段 2 (绿色):0.52~0.61 多光谱波段 3 (红色):0.64~0.72 多光谱波段 4 (近红外):0.77~0.88

<sup>①</sup> Space Imaging. 2011. <http://www.spaceimaging.com>. [2011-10-08]