



农业遥感数据处理 技术与应用

汪权方 王新生 陈志杰 编著



0101101011010101



0101101011010101

非
外
借



科学出版社

农业遥感数据处理技术与应用

汪权方 王新生 陈志杰 编著

科学出版社

版权所有,侵权必究

举报电话:010-64030229;010-64034315;13501151303

内 容 简 介

农业是遥感大数据应用的广阔天地,遥感大数据要在农业领域中得到深度应用,有赖于如何避免“大数据、小知识”的悖论现象。本书紧紧围绕“数据转化为知识”的总体思路,系统介绍农业遥感理论基础、遥感数据“天-地一体化”获取与预处理技术、遥感信息增强方法、遥感图像解译技术等内容,针对农情遥感应用实践重点探讨面向对象的最佳波段组合选择、农作物遥感监测最佳时相识别、农情遥感专题信息提取和农情遥感多尺度验证评价等方面的关键技术和实现方法。

本书可作为农业、地理、资源环境、遥感和地理信息系统等专业的本科生和研究生教材,也可供国土、规划、测绘科学、现代农林业和遥感大数据资源开发利用等空间地理信息应用领域的生产技术人员和科研工作者阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

农业遥感数据处理技术与应用/汪权方,王新生,陈志杰编著. —北京:科学出版社,2017.9

ISBN 978-7-03-054304-2

I. ①农… II. ①汪… ②王… ③陈… III. ①遥感技术—应用—农业—数据处理 IV. ①S127

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 213284 号

责任编辑:杨光华 / 责任校对:董艳辉

责任印制:彭 超 / 封面设计:苏 波

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>

武汉中科兴业印务有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

开本:787×1092 1/16

2017年9月第 一 版 印张:14 1/4 彩插:29

2017年9月第一次印刷 字数:412 800

定价:58.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

随着对地观测技术的持续深入发展,以及物联网、云计算等各种新技术的不断涌现和移动智能终端的快速普及应用等,人类对地球的综合观测能力达到空前水平,各种不同来源的遥感数据正以前所未有的速度在不断累积和增长,遥感数据呈现出明显的“大数据”特征。然而,与当前强大的遥感数据获取能力形成鲜明对比的是遥感信息处理能力十分低下、数据冗余现象越来越突出、现有的数据分析和处理技术越来越难以满足当前遥感大数据应用的要求。

农业是遥感大数据应用的广阔天地,农业信息化建设和智慧农业的发展都离不开各类遥感数据的支持。然而,长期以来,对遥感数据的处理仍然停留在从“数据到数据”的阶段,从而导致对农业遥感大数据的利用率较低,在遥感数据处理技术与地表(农情)信息获取能力之间出现严重的失衡,遥感技术在农业实践中未能得到充分的深入应用。要解决这一问题,关键就在于能否避免“大数据、小知识”的悖论现象,也即如何将不同来源的遥感大数据转化为有用的农业专题信息。为此,有必要编写一本以大量的案例来系统介绍农业遥感数据处理方法和详细展示遥感技术具体应用于农业生产实践的专业教材。

湖北大学拥有农业部遥感应用中心武汉分中心和湖北省农业遥感应用工程技术研究中心,这两大研究机构都以开展农业遥感应用领域内先进、关键和共性技术的开发和应用研究为工作重点。作者是上述机构研究队伍中的骨干,本书整合作者多年的科研实践成果以及在讲授“农业遥感技术”和“遥感图像处理与应用”等相关课程中累积的教学经验。全书紧紧围绕“数据转化为知识”的总体思路,系统介绍农业遥感数据处理中的关键技术与方法。

本书一大特色是以教授应用技能为主,按照遥感基础数据处理与农业专题实践应用并重的理念,用通俗易懂的方式展示农业遥感数据知识化过程中经常遇到的一些问题的解决方法。全书共6章。第1章,主要介绍农业遥感有关概念、主要数据来源以及农业遥感技术发展趋势和方向;第2章,包括遥感物理基础和典型地物波谱特性等内容,重点介绍水体、植被和建设用地三类地物的遥感信息理解与特征分析;第3章,主要介绍数据采集规范、地面数据的采集和卫星遥感数据的获取与预处理等内容;第4章,主要介绍图像的色彩增强处理、逐像元辐射增强、邻域法空间增强、多光谱增强、遥感数据融合和傅立叶频率域滤波增强等内容;第5章,主要介绍受到广泛应用的几种图像解译方法以及包括分类重编码和解译结果修正等后处理方法;第6章,包括面向对象的最佳波段组合选择、农作物遥感监测最佳时相识别、农情遥感专题信息提取和农情遥感多尺度验证评价等内容。

本书的研究工作得到了国家自然科学基金项目(40601003、41071062)、湖北省重点(培育)学科地理学建设项目、湖北大学专业学位研究生案例库建设项目(面向农业遥感专题应用的多源层次案例库)的资助。书中使用的数据资料大多来源于农业部遥感应用中心武汉分中心的工作积累。农业部遥感应用中心武汉分中心是 11 个国家农业遥感分中心之一,主要负责湖北省的冬小麦、油菜、水稻、棉花等大宗农作物的遥感监测及地面样方调查任务,同时还开展适于长江中游地区资源环境和作物生产管理的农业遥感监测技术研发。

本书在编写过程中得到了多位研究生同学的大力支持,其中,研究生孙佩同学负责完成了第 2 章第 5 节的撰写、研究生汪倩倩同学负责完成了第 6 章第 1 节的撰写,在此一并表示感谢。全书由汪权方负责统稿。

本书在写作过程中,参考了国内外相关科研成果以及一些优秀著作,包括但不限于《农业遥感》(白淑英等著,科学出版社,2013)、《遥感应用分析原理与方法》(赵英时著,科学出版社,2003)和《ERDAS IMAGINE 遥感图像处理教程》(党安荣等著,清华大学出版社,2010)等,特此感谢。

由于作者水平有限,书中难免存在疏漏之处,敬请读者批评指正!

编 者

2017 年 7 月

目 录

- 第 1 章 绪论..... 1
 - 1.1 基本概念 1
 - 1.1.1 遥感 1
 - 1.1.2 传感器 1
 - 1.1.3 农业遥感 2
 - 1.2 农业遥感主要数据源 2
 - 1.2.1 卫星遥感系统 2
 - 1.2.2 无人机遥感系统 13
 - 1.2.3 地面调查系统 14
 - 1.3 农业遥感技术发展及应用展望..... 18
 - 1.3.1 农业遥感技术发展趋势 18
 - 1.3.2 农业遥感技术发展动向 19
 - 参考文献 22
- 第 2 章 农业遥感理论基础 23
 - 2.1 遥感物理基础..... 23
 - 2.1.1 电磁辐射 23
 - 2.1.2 大气窗口 24
 - 2.2 典型地物波谱特性..... 25
 - 2.2.1 水体光谱特性 26
 - 2.2.2 植物光谱特性 26
 - 2.2.3 土壤光谱特性 28
 - 2.2.4 岩石光谱特性 29
 - 2.3 水体遥感数据理解与分析..... 29
 - 2.3.1 水体影像特征分析 30

2.3.2	水体遥感信息增强	30
2.3.3	水体遥感提取方法	31
2.4	植被遥感数据理解与分析	32
2.4.1	植被影像特征分析	32
2.4.2	植被遥感信息增强	35
2.4.3	植被遥感提取方法	39
2.5	建设用地遥感数据理解与分析	40
2.5.1	建设用地影像特征分析	40
2.5.2	建设用地遥感信息增强	41
2.5.3	建设用地遥感识别方法	44
	参考文献	45
第3章	遥感数据基础处理	47
3.1	基础数据的准备	47
3.1.1	基础地理空间数据	47
3.1.2	统计数据及图书文献	47
3.1.3	地面实地调查数据	47
3.1.4	遥感影像数据	48
3.2	数据采集规范	48
3.2.1	数据标准化	48
3.2.2	空间数据存储格式	48
3.2.3	空间参考选择	50
3.3	地面数据的采集和预处理	50
3.3.1	地面样方调查	50
3.3.2	地面样方数据采集	51
3.3.3	地面样方数据后处理	59
3.3.4	湖北省大宗农作物地面样方调查	65
3.4	卫星遥感数据的预处理	65
3.4.1	辐射定标	66
3.4.2	辐射校正	67
3.4.3	几何校正	73
3.4.4	投影转换	79
3.4.5	影像裁剪与镶嵌	81
	参考文献	87
第4章	遥感影像增强处理	88
4.1	色彩增强处理	88
4.1.1	密度分割	88

4.1.2 彩色合成显示	94
4.1.3 色彩模式转换	96
4.2 逐像元辐射增强	102
4.2.1 反差拉伸法	102
4.2.2 直方图增强法	111
4.3 邻域法空间增强	114
4.3.1 卷积滤波原理与方法	114
4.3.2 图像空间域滤波增强与实现	117
4.4 多光谱增强处理	125
4.4.1 主成分变换	126
4.4.2 穗帽变换	128
4.4.3 去相关拉伸	131
4.4.4 图像运算	132
4.5 其他增强方法	134
4.5.1 遥感数据融合	134
4.5.2 傅里叶频率域滤波增强	135
参考文献	138
第5章 遥感影像解译	139
5.1 影像解译常用方法	139
5.1.1 目视解译法	139
5.1.2 监督分类法	144
5.1.3 非监督分类法	152
5.1.4 决策树分类法	155
5.1.5 面向对象分类法	159
5.2 解译结果后处理	175
5.2.1 分类重编码	175
5.2.2 聚类统计	177
5.2.3 过滤分析	177
5.2.4 去除分析	178
5.2.5 解译结果的人工修正	178
参考文献	180
第6章 农情遥感关键技术实现	181
6.1 面向对象的最佳波段组合选择	181
6.1.1 遥感影像最佳波段组合的基本原理	181
6.1.2 水体遥感识别的最佳波段选择	183
6.1.3 农作物遥感识别的最佳波段组合分析	183

6.2 农作物遥感监测最佳时相识别	187
6.2.1 湖北省冬小麦和冬油菜的遥感监测最佳时相分析	187
6.2.2 湖北省早稻的遥感监测最佳时相分析	191
6.2.3 湖北省中稻等夏季农作物的遥感监测最佳时相分析	192
6.3 农情遥感专题信息提取	193
6.3.1 农作物长势遥感监测	193
6.3.2 农作物种植面积遥感监测	199
6.3.3 农作物遥感估产	203
6.4 农情遥感多尺度验证评价	209
6.4.1 点尺度验证与评价	209
6.4.2 样方尺度验证与评价	213
6.4.3 区域尺度验证与评价	214
参考文献	218
彩图	220

第 1 章 绪 论

1.1 基 本 概 念

1.1.1 遥 感

1957 年 10 月 4 日苏联发射了人类第一颗人造卫星“伴侣号”(Sputnik),1972 年美国发射了第一颗与太阳同步的陆地卫星(Landsat-1),由此正式开启了航天遥感时代。经过几十年的迅速发展,遥感已成为一门实用、先进的空间探测技术,在农业、地理、地质、水文、海洋、气象、环境、军事和城市规划等诸多领域都得到了广泛应用。

遥感(remote sensing,RS)的字面含义是“遥远的感知”,实质上是一种非接触的、远距离的探测技术(梅安新 等,2001),其定义通常有广义和狭义之分。广义的遥感泛指一切无接触的远距离探测,包括对电磁场、力场、机械波(声波和地震波)等的探测。据此定义,自然界中的蝙蝠、响尾蛇、人眼、人耳等都具有遥感的功能。狭义的遥感是指采用不与探测目标相接触的方式,从远处如高空以至外层空间的平台上,运用专门的传感器(如可见光、红外线或微波等探测仪器),通过摄影或扫描、信息感应、传输和处理等一系列过程来获取目标物的电磁辐射特性,据此可识别目标物的有关性质和运动状态及其时空变化(赵英时,2003;梅安新 等,2001)。本书所采用的正是遥感的狭义定义,也就是指电磁波遥感的范畴。

根据遥感系统中传感器所在平台的不同,可以把遥感分为塔台遥感、车载遥感、航空遥感和卫星遥感等不同类型。

1.1.2 传 感 器

遥感是一种综合性的技术系统,传感器(transducer/sensor)是该系统的核心组成部分。所谓传感器,实际上是一种能够收集、探测、记录地物电磁波辐射信息的工具,可直接用于测量被探测对象的电磁反射、发射或散射等电磁辐射特性(赵英时,2003)。传感器基本上都由收集器、探测器、处理器、输出器四个部分组成(李良序 等,2003)。收集器是收集来自地物的辐射能量,常用作收集器的器件有透镜组、反射镜组、天线等。探测器是将收集的辐射能转变为化学能或光能,常用器件有摄影感光胶片、光电二极管、光敏探测元件和热敏探测元件等。处理器是对探测后的化学能或电能等信号进行处理,如胶片的显影及定影,以及信号的放大、变换、校正和编码等,其类型有摄影处理装置、电子处理装置等。输出器是将所获取的数据向外输出,用作输出器的有扫描晒像仪、阴极射线管、电视显像管、磁带记录仪、彩色喷墨记录仪等。

传感器的种类很多,常见的分类方式(李良序 等,2003;梅安新 等,2001)有以下三种。

(1) 按电磁波辐射来源的不同可分为主动式传感器和被动式传感器。主动式传感器本身向目标物发射电磁波,然后收集从目标物反射回来的电磁波信息,如合成孔径侧视雷达等;被动式传感器收集的是地面目标物反射来自太阳光的能量或目标本身辐射的电磁波能量,如摄影相机和多光谱扫描仪等。

(2) 按照传感器的成像原理和所获取图像性质的不同可分为摄影机、扫描仪和雷达。摄影机又可以分为框幅式、缝隙式、全景式三种;扫描仪分为光机扫描仪和推帚式扫描仪;雷达按其天线形式分为真实孔径雷达和合成孔径雷达。

(3) 按传感器是否获取图像可分为成像方式传感器和非成像方式传感器。成像方式传感器输出结果是目标物的图像;非成像方式传感器的输出结果是目标的特征数据。

1.1.3 农业遥感

农业是以土地资源为生产对象,通过培育动植物产品从而得到生产食品及工业原料的产业。农业属于第一产业,是提供支撑国民经济建设与发展的基础产业,是国民经济中一个重要产业部门。根据生产对象的不同,农业有广义和狭义之分。广义的农业包括种植业、林业、畜牧业、渔业、副业五种产业形式。狭义的农业则专指种植业,包括粮食作物、经济作物、饲料作物和绿肥等农作物的生产活动。

通常所讲的农业遥感主要指遥感技术在种植业生产活动中的应用,具体来说综合运用了遥感(RS)、地理信息系统(geographic information system, GIS)和全球定位系统(globe position system, GPS)所构成的“3S”技术及计算机物联网等高新技术,对农业生产(尤其是种植业)过程中的各个环节进行数据的获取、存储、处理、分析及表达与应用的一种综合性技术(白淑英等,2013)。从20世纪70年代出现Landsat-1等民用资源卫星后,农业便成为遥感技术最先投入应用和收益显著的领域,目前遥感技术已在农业资源调查、土地利用现状分析、自然灾害预测预报、农业病虫害监测、农作物长势和产量估算、土壤墒情和养分监测等诸多领域得到了广泛应用(韩秀梅等,2006)。近年来,随着高空间、高光谱和高时间分辨率遥感数据的出现,农业遥感研究在农田辐射传输机理及农作物参量遥感反演、农作物遥感分类与识别、农田养分遥感与变量施肥决策、农作物产量与品质预测、农情遥感监测与预报、农业遥感监测空间决策支持系统等关键技术研发及应用方面取得了大量成果(史舟等,2015;赵春江,2014)。

1.2 农业遥感主要数据源

农业遥感数据源是农业遥感应用的基础。目前,农业遥感数据源多种多样,从获取方式来看,大致可以分为卫星遥感数据源、无人机航拍数据源、地面调查数据源。

1.2.1 卫星遥感系统

通过在轨运行的卫星平台所携带的传感器而获取的影像数据,往往覆盖范围广,具有周期性和实效性,有利于目标地物的动态监测。另外,目前无论是国内还是国外,越来越多的遥感卫星平台提供免费的卫星影像数据源,使其具有成本低、经济效益好的特点。

1. 主要国产卫星

目前,我国已拥有包括遥感卫星、导航卫星、通信卫星、空间探测卫星和技术试验卫星等多种类型的卫星,形成了海洋卫星系列、气象卫星系列、陆地卫星系列、环境卫星系列、北斗导航定位卫星系列、通信广播卫星系列等卫星系列和实践科学探测与技术试验卫星系列,基本构成了全方位的应用卫星体系,为卫星应用的发展奠定了坚实的基础。下面主要介绍在农业遥感中常用的一些卫星。

1) 高分专项系列卫星

高分辨率对地观测系统(代号为 GF)是中国着手研发的新一代高分辨率对地观测系统。2006 年,中国高分辨率对地观测系统重大专项(简称“高分专项”)列入《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020 年)》,2010 年 5 月“高分专项”全面启动,计划到 2020 年建成我国自主的陆地、大气和海洋观测系统。“高分专项”是一个非常庞大的遥感技术项目,目前已知的高分系列卫星共有 10 颗,其中成功发射的分别是高分一号、高分二号、高分三号、高分四号、高分八号和高分九号,计划在 2020 年前完成发射一系列卫星,覆盖了从全色、多光谱到高光谱,从光学到雷达,从太阳同步轨道到地球同步轨道等多种类型,将构成一个具有高空间分辨率、高时间分辨率和高光谱分辨率的对地观测系统。

高分一号(GF-1)卫星为光学遥感卫星,发射于 2013 年 4 月,上面搭载了两台高分辨率相机(2 m 分辨率全色和 8 m 分辨率多光谱)和四台 16 m 分辨率宽幅多光谱相机(表 1.1)。该卫星工程突破了高空间分辨率、多光谱与高时间分辨率结合的光学遥感技术,多载荷图像拼接融合技术,高精度高稳定度姿态控制技术,5~8 年寿命的高可靠卫星技术,高分辨率数据处理与应用等关键技术,对推动我国卫星工程水平的提升和高分辨率卫星数据的自给率提高等具有重大战略意义。

表 1.1 GF-1 卫星有效载荷技术指标

有效载荷	波段	工作谱段/ μm	空间分辨率/m	幅宽/km	重访时间/天
全色/多光谱相机	1	0.45~0.90(全色)	2	60(两台相机组合)	4
	2	0.45~0.52	8		
	3	0.52~0.59			
	4	0.63~0.69			
	5	0.77~0.89			
宽幅多光谱相机	6	0.45~0.52	16	800(四台相机组合)	2
	7	0.52~0.59			
	8	0.63~0.69			
	9	0.77~0.89			

高分二号(GF-2)卫星也是光学遥感卫星,是我国自主研制的首颗空间分辨率优于 1 m 的民用光学遥感卫星,其全色和多光谱分辨率都分别较 GF-1 卫星提高了一倍。搭载有两台高分辨率相机:1 m 全色和 4 m 多光谱相机(表 1.2)。GF-2 卫星于 2014 年 8 月 19 日成功发射,同年 8 月 21 日首次开机成像并下传数据。它的星下点空间分辨率可达 0.8 m,标志着我国遥感卫星进入了亚米级“高分时代”。

表 1.2 GF-2 卫星有效载荷技术指标

波段	工作谱段/ μm	空间分辨率/m	幅宽/km	侧摆能力	重访时间/天
1	0.45~0.90	1	45(两台相机组合)	$\pm 35^\circ$	5
2	0.45~0.52	4			
3	0.52~0.59				
4	0.63~0.69				
5	0.77~0.89				

高分三号(GF-3)卫星为1 m分辨率的雷达遥感卫星,于2016年8月10日6时55分发射升空。这是中国首颗分辨率达到1 m的C频段多极化合成孔径雷达成像卫星。GF-3卫星是世界上成像模式最多的合成孔径雷达卫星,具有12种成像模式。它不仅涵盖了传统的条带、扫描成像模式,而且可在聚束、条带、扫描、波浪、全球观测、高低入射角等多种成像模式下实现自由切换,既可以探地又可以观海,能达到“一星多用”的效果。GF-3卫星可全天候、全天时监视监测全球海洋和陆地资源,通过左右姿态机动扩大观测范围、提升快速响应能力,可为国家海洋局、民政部、水利部、气象局等用户部门提供高质量和高精度的稳定观测数据,有力支撑海洋权益维护、灾害风险预警预报、水资源评价与管理、灾害天气和气候变化预测预报等应用,有效改变我国高分辨率雷达图像依赖进口的现状,对海洋强国、“一带一路”建设具有重大意义。

高分四号(GF-4)卫星为静止轨道光学遥感卫星,于2015年12月29日在西昌卫星发射中心成功发射,是我国第一颗地球同步轨道遥感卫星,设计寿命8年。GF-4卫星上搭载了一台可见光近红外50 m和中波红外400 m分辨率、大于400 km幅宽的凝视相机(表1.3),采用面阵凝视方式成像,具备可见光、多光谱和红外成像能力,能通过指向控制来实现对中国及周边地区的观测。GF-4卫星是地球同步轨道卫星,在时间上非常有优势,在气象、应急救援等方面都有很高的应用价值,在环保领域也能真正实现“实时”监测的目标,可为减灾、林业、地震、气象等应用提供快速、可靠、稳定的光学遥感数据,为灾害风险预警预报、林火灾害监测、地震构造信息提取、气象天气监测等业务补充全新的技术手段,开辟了我国地球同步轨道高分辨率对地观测的新领域。同时,GF-4卫星在海洋、农业、水利等行业以及区域应用方面也具有巨大潜力和广阔空间。

表 1.3 GF-4 卫星有效载荷技术指标

波段名称	波段	工作谱段/ μm	空间分辨率/m	幅宽/km	重访时间/天
可见光近红外(VNIR)	1	0.45~0.90	50	400	20
	2	0.45~0.52			
	3	0.52~0.60			
	4	0.63~0.69			
	5	0.76~0.90			
中波红外(MWIR)	6	3.50~4.10	400		

高分五号(GF-5)、高分六号(GF-6)和高分七号(GF-7)三颗卫星目前还未发射。GF-5卫星不仅装有高光谱相机,而且拥有多部大气环境和成分探测设备,如装有可以间接测定PM2.5的气溶胶探测器。GF-6卫星的载荷性能与GF-1卫星相似,主要服务于农业、统计、测绘;GF-7卫星则属于高分辨率空间立体测绘卫星,将在高分辨率立体测绘图像数据获取、高分辨率立体测图、城乡建设高精度卫星遥感和遥感统计调查等领域取得突破。

高分八号(GF-8)卫星也是高分专项安排发射的一颗光学遥感卫星,2015年6月26日发射成功,主要应用于国土普查、城市规划、土地确权、路网设计、农作物估产和防灾减灾等领域,可为“一带一路”建设等提供信息保障。

高分九号(GF-9)是2015年9月14日发射成功的一颗光学卫星,和高分一号、高分二号的功能雷同,但其地面像元分辨率最高可达亚米级。

高分十号(GF-10)卫星是发射失败的一颗地球同步轨道卫星,其轨道高度为 35 786 km,该卫星于 2016 年 9 月 1 日发射,但因未入轨而重返大气层烧毁。

2) 环境卫星系列

环境卫星系列是中国专门用于环境和灾害监测的对地观测系统,该系统由 2 颗光学卫星(代号分别为 HJ-1A 卫星和 HJ-1B 卫星)和一颗雷达卫星(代号为 HJ-1C 卫星)组成,拥有光学、红外、超光谱等不同探测方法,具有大范围、全天候、全天时、动态的环境和灾害监测能力。

HJ-1A 卫星搭载了 CCD(charge coupled device)相机和超光谱成像仪(hyperspectral imager,HSI),HJ-1B 卫星搭载了 CCD 相机和红外相机(infrared scanner,IRS)。在 HJ-1A 卫星和 HJ-1B 卫星上均装载的两台 CCD 相机设计原理完全相同,以星下点对称放置,平分视场、并行观测,联合完成对地刈幅宽 700 km、地面像元分辨率 30 m,4 个谱段的推扫成像。此外,在 HJ-1A 卫星装载有一台 HSI,能够完成对地刈幅宽 50 km、地面像元分辨率 100 m,110~128 个光谱谱段的推扫成像,具有±30°侧视能力和星上定标功能。在 HJ-1B 卫星上还装载有一台 IRS,能够完成对地刈幅宽 720 km、地面像元分辨率 150 m 和 300 m、近短中长 4 个光谱谱段的成像。HJ-1A 卫星和 HJ-1B 卫星的轨道完全相同,相位相差 180°。两台 CCD 相机组网后重访周期仅为 2 天(表 1.4)。

表 1.4 HJ-1A、HJ-1B 卫星主要载荷技术指标

平台	有效载荷	波段	工作谱段/ μm	空间分辨率/m	幅宽/km	重访时间/天
HJ-1A 卫星	CCD 相机	1	0.43~0.52	30	360(单台), 700(两台)	4
		2	0.52~0.60			
		3	0.63~0.69			
		4	0.76~0.90			
	高光谱成像仪	—	0.45~0.95	100	50	4
HJ-1B 卫星	CCD 相机	1	0.43~0.52	30	360(单台), 700(两台)	4
		2	0.52~0.60			
		3	0.63~0.69			
		4	0.76~0.90			
	红外多光谱相机	5	0.75~1.10	150	720	4
		6	1.55~1.75			
		7	3.50~3.90			
		8	10.5~12.5	300		

3) 资源三号卫星

资源三号卫星(ZY3)是中国第一颗民用高分辨率光学传输型测绘卫星,集测绘和资源调查功能于一体,于 2012 年 1 月 9 日成功发射。该卫星的主要任务是长期、连续、稳定、快速地获取覆盖全国的高分辨率立体影像和多光谱影像,为国土资源调查与监测、防灾减灾、农林水利、生态环境、城市规划与建设、交通、国家重大工程等领域提供服务。ZY3 卫星上搭载的前视相机、后视相机、正视相机可以获取同一地区三个不同观测角度立体像对,能够提供丰富的三维几何信息,填补了我国立体测图这一领域的空白,具有里程碑意义(表 1.5)。

表 1.5 ZY3 卫星有效载荷技术指标

有效载荷	波段	工作谱段/ μm	空间分辨率/m	幅宽/km	侧摆能力	重访时间/天
前视相机	—	0.50~0.80	3.5	52	$\pm 32^\circ$	5
后视相机	—	0.50~0.80	3.5	52	$\pm 32^\circ$	
正视相机	—	0.50~0.80	2.1	51	$\pm 32^\circ$	
多光谱相机	1	0.45~0.52	6.0	51	$\pm 32^\circ$	5
	2	0.52~0.59				
	3	0.63~0.69				
	4	0.77~0.89				

资源三号 02(ZY3-02)星于 2016 年 5 月 30 日 11 时 17 分,在太原卫星发射中心用长征四号乙运载火箭成功发射升空。这是我国首次实现自主民用立体测绘双星组网运行,形成业务观测星座,缩短重访周期和覆盖周期,充分发挥双星效能,长期、连续、稳定、快速地获取覆盖全国乃至全球高分辨率立体影像和多光谱影像。ZY3-02 星前后视立体影像分辨率由资源三号 01 星的 3.5 m 提升到 2.5 m,实现了 2 m 分辨率级别的三线阵立体影像高精度获取能力(表 1.6),为 1:5 万、1:2.5 万比例尺立体测图提供了坚实的基础。双星组网运行后,将进一步加强国产卫星影像在国土测绘、资源调查与监测、防灾减灾、农林水利、生态环境、城市规划与建设、交通等领域的服务保障能力。

表 1.6 ZY3-02 星有效载荷技术指标

有效载荷	波段	工作谱段/ μm	空间分辨率/m	幅宽/km	侧摆能力	重访时间/天
前视相机	—	0.50~0.80	3.5	52	$\pm 32^\circ$	3~5
后视相机	—	0.50~0.80	3.5	52	$\pm 32^\circ$	
正视相机	—	0.50~0.80	2.1	51	$\pm 32^\circ$	
多光谱相机	1	0.45~0.52	5.8	51	$\pm 32^\circ$	3
	2	0.52~0.59				
	3	0.63~0.69				
	4	0.77~0.89				

4) 中巴地球资源卫星

中巴地球资源 01 星又称资源一号(CBERS)卫星,是我国第一代传输型地球资源卫星。目前中巴地球资源卫星包含 01 星(已退役)、02 星(已退役)、02B 星(已退役)、02C 星和 04 星五颗卫星。中巴卫星的成功发射与运行开创了中国与巴西两国合作研制遥感卫星、应用资源卫星数据的领域,结束了中巴两国长期单纯依赖国外对地观测卫星数据的历史,被誉为“南南高科技合作的典范”。目前中国资源卫星应用中心负责资源卫星数据的接收、处理、归档、查询、分发和应用等业务。

5) 福卫二号卫星

福卫二号(Formosat-2)卫星由中国台湾“太空中心”与合约商法国阿斯特里姆(Astrium)公司共同研发。Astrium 公司负责卫星制造,中国台湾负责卫星的组装、整体测试等工作。该卫星呈六棱柱形,直径 2.0 m,高 2.4 m,重约 750 kg,将部署在高 891 km,倾角 99.10° 的太阳同步轨道。卫星设计寿命 5 年,总耗资 47 亿新台币。福卫二号卫星是一颗高分辨率遥感卫星,

卫星载有两种有效载荷,即对地观测相机与高空大气闪电影像仪(Imager of Sprite: Upper Atmosphere Lightning, ISUAL)。该对地观测相机由 Astrium 公司负责研制,具有全色 2 m、彩色 8 m 的分辨率,最小 24 km、最大 62 km 的成像带宽和 45°侧摆角的成像能力,每日绕地球飞行 14 圈,每天经过台湾上空两次,第一次为上午 10 点,可对地拍摄 8 分钟;第二次为晚上 10 点,可以下载资料。在天气许可的情况下,一次经过可拍摄四个紧邻的影像条,以涵盖台湾全岛,得到相当完整的台湾全岛影像。卫星还可以通过改变前后仰角,进行立体摄影,近似实时地获得台湾陆地及附近海域的卫星资料。

2. 国外卫星系列

目前,国外卫星数量众多,尤其是美国,其卫星数量远远超过其他国家,比较常见的就有高空间分辨率的 QuickBird、IKONOS、GeoEye、WorldView 卫星,以及中高空间分辨率的 Landsat 卫星和低空间分辨率的 EOS(MODIS)卫星等。其他国家比较常见的卫星有 SPOT、ALOS、RapidEye、IRS-P5/P6 等。

1) QuickBird 卫星

2001 年 10 月 18 日由美国数字地球(DigitalGlobe)公司在美国范登堡空军基地发射的 QuickBird 卫星,是目前世界上最先提供亚米级分辨率的商业卫星,卫星影像分辨率为 0.61 m。该卫星具有引领行业的地理定位精度,海量星上存储,单景影像比同时期其他商业高分辨率卫星高出 2~10 倍。QuickBird 卫星系统每年能采集 7 500 万 km² 的卫星影像数据,存档数据以很高的速度递增。在中国境内每天至少有 2~3 个过境轨道,有存档数据约 500 万 km²。QuickBird 卫星运用全球航空成像系统 2000(BGIS 2000),此系统拥有居于全球第四高的地球成像分辨率。

2) IKONOS 卫星

1999 年 9 月 24 日由 Spacing Imaging 公司发射成功,是世界上第一颗提供高分辨率卫星影像的商业遥感卫星。IKONOS 卫星的成功发射不仅实现了提供高清晰度且分辨率达 1 m 的卫星影像,而且开拓了一个新的更快捷、更经济获得最新基础地理信息的途径,更是创立了崭新的商业化卫星影像标准。IKONOS 卫星是可采集 1 m 分辨率全色和 4 m 分辨率多光谱影像的商业卫星,同时全色和多光谱影像可融合成 1 m 分辨率的彩色影像。时至今日 IKONOS 卫星已采集超过 2.5 亿 km²,涉及每个大洲的影像,许多影像被广泛用于国家防御、军队制图、海空运输等领域。在 681 km 高度的轨道上,IKONOS 卫星的重访周期为 3 天,并且可从卫星直接向全球 12 个地面站传输数据。

3) GeoEye-1 卫星

2008 年 9 月 6 日 GeoEye-1 卫星成功发射,卫星设计寿命为 7 年。该卫星是一颗高分辨率遥感卫星,由著名的地理空间信息供应商和世界上规模最大的商业卫星遥感公司——美国地球眼(GeoEye)公司开发。GeoEye-1 卫星具有分辨率最高、测图能力极强、重访周期极短的特点,已为全球广大用户所关注。GeoEye-1 卫星高分辨率影像的应用前景广阔,在实现大面积成图项目、细微地物的解译与判读等方面优势突出。

GeoEye-1 卫星具有以下特点。

(1) 真正的半米卫星,全色影像分辨率 0.41 m,多光谱影像分辨率 1.65 m,对地面目标的定位精度 3 m,这就意味着用户可以不需要地面控制点以 3 m 定位精度对自然和人工地物进行制图。

(2) 大规模测图能力:每天采集近 70 万 km² 的全色影像数据或近 3510 万 km² 的全色融

合影像数据。

(3) 重访周期短:3天(或更短)时间内重访地球任一点进行观测。

(4) 制图精度高:GeoEye系列影像星下点最高分辨率为0.41 m,最大成图比例可达1:2000。

(5) GeoEye-1卫星可以在轨旋转,在一次通过时拍摄更多影像。

(6) GeoEye-1的光学望远镜、探测器、焦平面组件和高速数字处理电子元件每秒能处理7亿个像素。

(7) GeoEye-1卫星的敏捷相机允许侧向延长相机15.2 km的扫描带宽,或在一次通过时对同一目标多次成像,建立立体图像。相机和电子部件电源效率提高5倍,成本效益提高3倍。

(8) GeoEye-1卫星的影像数据产品用途广泛:国防、空运和海运、石油和天然气、采矿、制图和基于位置的服务、国家和地方政府、保险与风险管理、农业、自然资源和环境监测。

GeoEye公司因为提供可靠的服务以及极高质量的图像产品和解决方案而被业界公认为可以信赖的照片专家。GeoEye公司运营着一系列地球成像卫星和绘图飞机。为了开发创新的地理空间产品和解决方案,该公司还拥有国际性的地面站网络、强大的照片档案库和先进的照片处理能力。

4) WorldView 卫星

WorldView卫星是DigitalGlobe公司的下一代商业成像卫星系统。它由两颗卫星(WorldView-I和WorldView-II)组成,其中WorldView-I卫星已于2007年发射,WorldView-II卫星在2009年10月6日发射升空。WorldView-I卫星发射后在很长一段时间内被认为是全球分辨率最高、响应最敏捷的商业成像卫星。该卫星运行在高度450 km,倾角98°,周期93.4 min的太阳同步轨道上,平均重访周期为1.7天,星载大容量全色成像系统每天能够拍摄多达50万km²的0.5 m分辨率图像。该卫星还具备现代化的地理定位精度能力和极佳的响应能力,能够快速瞄准要拍摄的目标和有效地进行同轨立体成像。WorldView-II卫星运行在770 km高的太阳同步轨道上,能够提供0.5 m全色图像和1.8 m分辨率的多光谱图像。WorldView-II卫星使DigitalGlobe公司能够为世界各地的商业用户提供满足其需要的高性能图像产品,其星载多光谱传感器不仅具有4个业内标准谱段(红、绿、蓝、近红外),还包括四个额外波段(海岸、黄、红边和近红外2)。海岸波段(400~450 nm)支持植物鉴定和分析,也支持基于叶绿素和渗水的规格参数表的深海探测研究,但由于该波段经常受到大气散射的影响,在利用该波段数据前需应用大气层纠正技术;黄色波段(585~625 nm)常被视作yellow-ness特征指标,是重要的植物应用波段,该波段被用作辅助纠正真色度的波段以符合人类视觉的欣赏习惯;红色边缘波段(705~745 nm,红边波段)可辅助分析植物的生长情况,可以直接反映出植物健康状况等有关信息;近红外2波段(860~1 040 nm)的波长范围与近红外(near infrared, NIR)波段有部分重叠,但它较少受到大气层的影响,该波段支持植物分析和单位面积内生物数量的研究。WorldView-II卫星多样性的谱段能为用户提供精确变化检测和制图的数据。另外,WorldView-II卫星对指令的响应速度更快,因此图像的周转时间(从下达成像指令到接收到图像所需的时间)仅为几个小时而不是几天。

5) 陆地卫星

1972年7月23日以来,美国国家航空航天局(NASA)的陆地卫星(Landsat)计划已发射8颗(第6颗发射失败)。目前Landsat 1~5号和7号均相继失效(表1.7),不过Landsat 5自1984年3月1日发射以后一直运行至2013年6月5日。Landsat 5的设计寿命只有3年,但却超期在轨运行29年,是在轨运行时间最长的光学遥感卫星,现已成为全球应用最为广泛、成效最为显著的地球资源卫星遥感信息源。