



“十三五”国家重点出版物出版规划项目

中国生态环境演变与评估

矿产资源开发区生态系统 遥感动态监测与评估



何国金 张兆明 程 博 等 著

 科学出版社



“十三五”国家重点出版物出版规划项目

中国生态环境演变与评估

矿产资源开发区生态系统 遥感动态监测与评估

何国金 张兆明 程 博 等 著

科学出版社
北京

内 容 简 介

本书在总结分析矿产开发区生态环境遥感监测与评价的研究现状与发展趋势的基础上,以中国金属、非金属矿产资源和能源资源开发的典型区域为研究对象,基于多源多分辨率卫星遥感数据,并结合其他基础数据,调查矿产开发区 2000~2010 年 10 年的生态破坏与生态恢复状况,研究典型区域矿产开发对周边生态环境的影响,分析矿产开发区存在的生态环境问题与风险等。

本书注重遥感监测与评估方法的系统性和实用性,可作为矿产资源和生态环境管理部门相关专业技术人员的参考用书,亦可作为资源环境、遥感和 GIS 应用等领域的研究、教学和学习的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

矿产资源开发区生态系统遥感动态监测与评估 / 何国金等著. —北京:科学出版社, 2017. 1

(中国生态环境演变与评估)

“十三五”国家重点出版物出版规划项目

ISBN 978-7-03-050411-1

I. ①矿… II. ①何… III. ①矿产资源开发-区域生态环境-环境遥感-环境监测-研究-中国 IV. ①F426.1②X87

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 262746 号

责任编辑:李 敏 张 菊 李晓娟 / 责任校对:钟 洋

责任印制:肖 兴 / 封面设计:黄华斌

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

*

2017 年 1 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2017 年 1 月第一次印刷 印张: 17 3/4

字数: 450 000

定价: 160.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《中国生态环境演变与评估》编委会

主 编 欧阳志云 王 桥

成 员 (按汉语拼音排序)

邓红兵 董家华 傅伯杰 戈 峰

何国金 焦伟利 李 远 李伟峰

李叙勇 欧阳芳 欧阳志云 王 桥

王 维 王文杰 卫 伟 吴炳方

肖荣波 谢高地 严 岩 杨大勇

张全发 郑 华 周伟奇

《矿产资源开发区生态系统遥感动态监测与评估》编委会

主 笔 何国金

成 员 (按汉语拼音排序)

白雅卿 程 博 胡燕华 江 威

焦伟利 李 婷 刘慧婵 龙腾飞

彭 燕 宋小璐 王 铎 王桂周

王 萌 王猛猛 王 威 王志华

项 波 袁益琴 张晓美 张兆明

总 序

我国国土辽阔，地形复杂，生物多样性丰富，拥有森林、草地、湿地、荒漠、海洋、农田和城市等各类生态系统，为中华民族繁衍、华夏文明昌盛与传承提供了支撑。但长期的开发历史、巨大的人口压力和脆弱的生态环境条件，导致我国生态系统退化严重，生态服务功能下降，生态安全受到严重威胁。尤其 2000 年以来，我国经济与城镇化快速的发展、高强度的资源开发、严重的自然灾害等给生态环境带来前所未有的冲击：2010 年提前 10 年实现 GDP 比 2000 年翻两番的目标；实施了三峡工程、青藏铁路、南水北调等一大批大型建设工程；发生了南方冰雪冻害、汶川大地震、西南大旱、玉树地震、南方洪涝、松花江洪水、舟曲特大山洪泥石流等一系列重大自然灾害事件，对我国生态系统造成巨大的影响。同时，2000 年以来，我国生态保护与建设力度加大，规模巨大，先后启动了天然林保护、退耕还林还草、退田还湖等一系列生态保护与建设工程。进入 21 世纪以来，我国生态环境状况与趋势如何以及生态安全面临怎样的挑战，是建设生态文明与经济社会发展所迫切需要明确的重要科学问题。经国务院批准，环境保护部、中国科学院于 2012 年 1 月联合启动了“全国生态环境十年变化（2000—2010 年）调查评估”工作，旨在全面认识我国生态环境状况，揭示我国生态系统格局、生态系统质量、生态系统服务功能、生态环境问题及其变化趋势和原因，研究提出新时期我国生态环境保护的对策，为我国生态文明建设与生态保护工作提供系统、可靠的科学依据。简言之，就是“摸清家底，发现问题，找出原因，提出对策”。

“全国生态环境十年变化（2000—2010 年）调查评估”工作历时 3 年，经过 139 个单位、3000 余名专业科技人员的共同努力，取得了丰硕成果：建立了“天地一体化”生态系统调查技术体系，获取了高精度的全国生态系统类型数据；建立了基于遥感数据的生态系统分类体系，为全国和区域生态系统评估奠定了基础；构建了生态系统“格局-质量-功能-问题-胁迫”评估框架与技术体系，推动了我国区域生态系统评估工作；揭示了全国生态环境十年变化时空特征，为我国生态保护与建设提供了科学支撑。项目成果已应用于国家与地方生态文明建设规划、全国生态功能区划修编、重点生态功能区调整、国家生态保护红线框架规划，以及国家与地方生态保护、城市与区域发展规划和生态保护政策的制定，并为国家与各地区社会经济发展“十三五”规划、京津冀交通一体化发展生态保护

规划、京津冀协同发展生态环境保护规划等重要区域发展规划提供了重要技术支撑。此外，项目建立的多尺度大规模生态环境遥感调查技术体系等成果，直接推动了国家级和省级自然保护区人类活动监管、生物多样性保护优先区监管、全国生态资产核算、矿产资源开发监管、海岸带变化遥感监测等十余项新型遥感监测业务的发展，显著提升了我国生态环境保护管理决策的能力和水平。

《中国生态环境演变与评估》丛书系统地展示了“全国生态环境十年变化（2000—2010年）调查评估”的主要成果，包括：全国生态系统格局、生态系统服务功能、生态环境问题特征及其变化，以及长江、黄河、海河、辽河、珠江等重点流域，国家生态屏障区，典型城市群，五大经济区等主要区域的生态环境现状及变化评估。丛书的出版，将为全面认识国家和典型区域的生态环境现状及其变化趋势、推动我国生态文明建设提供科学支撑。

因丛书覆盖面广、涉及学科领域多，加上作者水平有限等原因，丛书中可能存在许多不足和谬误，敬请读者批评指正。

《中国生态环境演变与评估》丛书编委会

2016年9月

前 言

矿产资源是不可或缺的重要生产资料，随着我国经济、社会的持续快速发展，对各类矿产资源的需求也日益增长。然而，矿产资源开发和利用在产生巨大经济和社会效益的同时，也对所在地区的生态环境造成重大影响。长期以来，由于种种原因，我国的资源开发存在利用方式粗放、生产效率低下、资源浪费严重等现象，这不仅造成了资源的巨大浪费，而且引发了一系列严重的生态环境问题，制约我国资源与环境的可持续发展。矿山生态环境问题主要有：采矿活动占用了大量的土地资源，破坏了耕地和植被，影响水环境；矿山开采带来的“三废”排放，造成大气、水和土壤污染；采矿活动破坏了自然地貌景观，影响整个区域环境的完整性，并可能诱发各种地质灾害，如泥石流、山体滑坡、地面塌陷等。

国家对矿产资源开发状况的掌握长期以来一直采用逐级统计上报的模式，缺乏实时、客观的数据，难以对矿产资源的开发利用实行更有效的管理。随着卫星遥感技术的不断发展，商业化的资源卫星数据的空间分辨率和光谱分辨率越来越高，特别是国产卫星（环境卫星和高分卫星）的陆续升空，信息处理技术的不断进步，GIS 技术的不断普及与应用，利用空间信息技术对因矿产开发引发的生态环境问题进行长期、动态监测已成为现实。

本书依托“全国生态环境十年变化（2000~2010 年）遥感调查与评估”专项课题“矿产资源开发典型区域生态环境十年变化调查与评估”的研究成果，在总结分析矿产资源开发区生态环境遥感监测与评价的研究现状与发展趋势的基础上，以我国金属、非金属矿产资源和能源资源开发的典型区域为研究对象，基于多源多分辨率卫星遥感数据，并结合其他基础数据，调查矿产开发区 2000~2010 年 10 年的生态破坏与生态恢复状况，研究典型区域矿产开发对周边生态环境的影响，分析矿产资源开发区存在的生态环境问题与风险，为全国矿产资源开发生态环境综合评估提供信息支持。

本书以遥感技术方法为前提，动态监测为目标，生态环境问题为核心，编撰的基本原则是注重遥感监测与评估方法的系统性和实用性。通过客观真实的遥感数据翔实地反映出各典型矿产资源开发区 10 年的变化以及矿山开采活动对生态环境的影响。全书图、表、文、实例兼顾并举。

全书正文共分为 9 章。何国金全面负责书稿的设计、统编工作。其他编写的主要分工如下：第 1 章由何国金、张兆明和彭燕编写；第 2 章由何国金、张兆明和张晓美编写；第 3 章由彭燕编写；第 4 章由张兆明编写；第 5 章由张晓美编写；第 6 章由王桂周编写；第 7 章由程博编写；第 8 章由何国金编写；第 9 章由宋小璐、何国金和张兆明编写。

本书在编写过程中，得到了中国科学院生态环境研究中心欧阳志云研究员的指导和帮助，中国科学院遥感与数字地球研究所卫星数据深加工部的其他科研人员和研究生也付出了辛勤的劳动，在此一并表示感谢。

矿产资源开发活动引发的生态环境监测与评估涉及多学科的交叉，囿于写作时间、资料掌握和编撰水平，书中或存在表述不充分、不准确或不恰当之处，敬请同仁和读者不吝赐教。

作 者

2016 年 6 月

目 录

总序

前言

第1章 矿产资源开发区生态环境遥感监测与评估的研究现状和发展趋势	1
1.1 国内外主要遥感卫星数据源	1
1.2 遥感技术在矿产资源开发区环境监测中的研究现状	19
1.3 矿区环境遥感监测技术发展趋势	26
1.4 基于遥感技术的生态环境质量评价技术	29
第2章 研究对象与方法	32
2.1 研究区范围	32
2.2 数据源	33
2.3 数据处理与信息提取	34
2.4 评估方法	54
第3章 江西赣南稀土矿开发区生态环境遥感监测与评估	61
3.1 江西赣南稀土矿开发区概况	61
3.2 生态系统现状及动态	64
3.3 赣南稀土矿开发区分布及时空变化分析	87
3.4 赣南稀土矿开发对周边环境的影响	93
3.5 生态系统质量十年变化	102
3.6 赣南稀土矿开发区存在的生态环境问题与风险	111
第4章 福建罗源石材矿开发区生态环境遥感监测与评估	114
4.1 罗源石材矿开发区概况	114
4.2 生态系统现状及动态	115
4.3 罗源石材矿开发区分布及时空变化分析	130
4.4 石材矿开发对周边环境的影响	131
4.5 生态系统质量十年变化	135
4.6 罗源石材矿开发区存在的生态环境问题与风险	140

第5章 湖北大冶多金属矿开发区生态环境遥感监测与评估	142
5.1 湖北大冶多金属矿开发区概况	142
5.2 生态系统现状及动态	143
5.3 湖北大冶多金属矿开发区分布及时空变化分析	155
5.4 多金属矿开发对周边环境的影响	158
5.5 生态系统质量十年变化	162
5.6 大冶多金属矿开发区存在的生态环境问题与风险	173
第6章 辽宁鞍山铁矿开发区生态环境遥感监测与评估	176
6.1 辽宁鞍山铁矿开发区概况	176
6.2 生态系统现状及动态	178
6.3 鞍山铁矿开发区分布及时空变化分析	191
6.4 鞍山铁矿开采对周边环境的影响	197
6.5 生态系统质量十年变化	199
6.6 鞍山铁矿开发区存在的生态环境问题与风险	208
第7章 山西平朔煤矿开发区生态环境遥感监测与评估	210
7.1 平朔煤矿开发区概况	210
7.2 生态系统现状及动态	210
7.3 平朔煤矿开发区分布及时空变化分析	226
7.4 平朔煤矿开发对周边环境的影响	230
7.5 生态系统质量十年变化	235
7.6 平朔煤矿开发区存在的生态环境问题与风险	245
第8章 不同矿产开发遥感监测与评估对比分析	248
8.1 五种典型矿产资源开发区的卫星影像特征	248
8.2 不同矿产开发对生态环境的影响存在较大差异	249
8.3 五种典型矿产开发区存在的生态环境问题及建议	251
第9章 展望：人类视觉注意模型在高分辨率矿山遥感监测中的应用	254
9.1 大数据时代的遥感信息提取	254
9.2 人类视觉感知	255
9.3 视觉注意模型及其在遥感影像矿山提取中的应用	256
9.4 高分遥感图像矿区目标认知技术路线框架	262
参考文献	264
索引	270

第 1 章 | 矿产资源开发区生态环境遥感监测与评估的研究现状和发展趋势

传统的矿山环境监测一般采取国土资源动态巡查的方式来发现问题，矿区占地面积较大，对矿区开发及其所产生的生态环境问题进行全面调查，传统方法时效性差、周期长、效率低，显得力不从心。随着卫星对地观测技术的发展，尤其是高分辨率卫星遥感数据的不断出现，遥感技术已成为研究地表资源环境有效的手段之一。

目前，遥感技术已经广泛应用于陆地水资源调查、土地资源调查、植被资源调查、地质、能源调查等学科与领域，发挥了独特的作用。同时，越来越多的卫星遥感数据应用于矿区生态环境调查与评价中，遥感技术成为矿区生态环境监测与评估的重要手段，与传统方法相比，其优势体现在：

(1) 各种常规技术手段只能够获取点源信息，而遥感技术可以从高空进行大面积同步观测，获取研究区面域信息，能够帮助人们克服视野的限制和交通的阻隔，获取地面调查死角和禁区的数据，这不仅提高了研究成果的效率和精度，而且从根本上改变了人们长久以来从点到线、从线到面的推演模式。利用 GIS 工具还可以解决传统的环境分析评价方法很难完成的空间模拟问题，如大气污染的扩散、开采沉陷规律的空间模拟等。

(2) 利用遥感技术可以客观地获取矿区地表覆盖数据，数据可比性和综合性强。遥感技术结合 GIS 的空间分析功能，对所获取数据进行分析，能够有效地发现矿产资源开发引起的土地覆盖类型变化，还可分析研究矿产资源开采对周围地区的影响。

(3) 采用卫星遥感技术可进行周期性观测，数据更新快、信息量大，有助于对矿产资源开发区进行周期性的动态监测。实现对矿产资源开发区生态环境数据的快速、动态更新。

1.1 国内外主要遥感卫星数据源

随着人类对开展对地观测需求的日益增长，对地观测研究已由单一领域调查逐渐转向服务于人类社会发展的多学科、多空间层次、长时间序列的综合研究。空间遥感信息的获取技术正日趋完善，一个立体、多角度、全方位、全天候的对地观测网络正在形成。根据国际卫星对地观测委员会（CEOS）的全球卫星任务 2012 年统计数据，1962 年至今全球共发射 320 余颗对地观测卫星，涵盖大气、海洋以及陆地等地球系统的全面观测。针对露天矿区的生态环境监测，通常采用光学陆地观测卫星。因此，本节重点介绍国内外常用的比

较经典的光学陆地遥感卫星的发展现状。

1.1.1 国内光学陆地遥感卫星

1.1.1.1 中巴地球资源卫星

中巴地球资源卫星（CBERS）是由中国和巴西两国共同投资、联合研制的卫星，投入运行后由两国共同使用。CBERS-01 卫星于 1999 年 10 月 14 日发射成功，是中国第一代传输型地球资源卫星，在轨运行 3 年 10 个月。CBERS-02 卫星是 CBERS-01 卫星的接替星，于 2003 年 10 月 21 日发射成功。CBERS-02 卫星的功能、组成、平台、有效载荷和性能指标的标称参数等与 CBERS-01 卫星相同（表 1-1）。CBERS-02B 卫星于 2007 年 9 月 19 日成功发射，其卫星传感器参数见表 1-2。CBERS-02B 卫星具有高、中、低 3 种空间分辨率，改变了国外高分辨率卫星数据在国内市场长期垄断的局面，该卫星在国土资源、城市规划、环境监测、减灾防灾等领域发挥重要作用。

表 1-1 CBERS-01/02 卫星传感器参数

传感器类型	波段号	波长范围/ μm	分辨率/ m	幅宽/ km	高度/ km	重访周期/ 天
CCD 相机	B1	0.45 ~ 0.52	20	113	778	26
	B2	0.52 ~ 0.59	20			
	B3	0.63 ~ 0.69	20			
	B4	0.77 ~ 0.89	20			
	B5	0.51 ~ 0.73	20			
红外多光谱扫描仪 (IRMSS)	B6	0.50 ~ 0.90	78	119.5		
	B7	1.55 ~ 1.75	78			
	B8	2.08 ~ 2.35	78			
	B9	10.04 ~ 12.5	156			
宽视场成像仪 (WFI)	B10	0.63 ~ 0.69	258	890		
	B11	0.77 ~ 0.89	258			

表 1-2 CBERS-02B 卫星传感器参数

传感器类型	波段号	波长范围/ μm	分辨率/ m	幅宽/ km	高度/ km	重访周期/ 天
全色多光谱相机	B1	0.45 ~ 0.52	20	113	778	26
	B2	0.52 ~ 0.59	20			
	B3	0.63 ~ 0.69	20			
	B4	0.77 ~ 0.89	20			
	B5	0.51 ~ 0.73	20			
高分辨率相机	B6	0.5 ~ 0.8	2.36	119.5		104
宽覆盖相机	B10	0.63 ~ 0.69	258	890		5
	B11	0.77 ~ 0.89	258			

1.1.1.2 天绘卫星

天绘卫星由中国航天科技集团公司所属航天东方红卫星有限公司研制，是中国第一代传输型立体测绘卫星，2010 年 8 月 24 日在酒泉卫星发射中心发射天绘一号 01 星（Mapping Satellite-1），2012 年 5 月 6 日发射了天绘一号 02 星（Mapping Satellite-2）。天绘卫星搭载了自主创新的线面混合三线阵 CCD 相机、多光谱相机和 2m 分辨率全色相机。天绘卫星的传感器参数见表 1-3。

表 1-3 天绘卫星传感器参数

项目	具体参数
发射时间	2010 年 8 月 24 日
运载火箭	长征二号丁
卫星质量	约 1000kg
搭载相机	线面混合三线阵 CCD 相机
	多光谱相机
	2m 分辨率全色相机
轨道	太阳同步近圆轨道
	重复周期为 58 天
	高度为 500km
	倾角为 97°
	覆盖范围为南北纬不小于 80°之间
空间分辨率	多光谱 10m
	全色 2m
	三线阵 5m
多光谱波谱范围（四波段）	蓝为 430 ~ 520nm
	绿为 520 ~ 610nm
	红为 610 ~ 690nm
	近红外为 760 ~ 960nm

1.1.1.3 资源一号 02C 和资源三号卫星

资源一号 02C 卫星（ZY-1 02C）于 2011 年 12 月 22 日成功发射，搭载 10m 分辨率 P/MS 多光谱相机和两台 2.36m 分辨率 HR 相机，设计寿命为 3 年，其卫星传感器的基本参数见表 1-4。资源三号卫星（ZY-3）于 2012 年 1 月 9 日发射成功，搭载了 1 台多光谱相机以及前视、后视、正视相机，是中国首颗民用高分辨率光学传输型立体测绘卫星，并集测绘和资源调查功能于一体。该卫星影像的控制定位精度优于 1 个像素，可满足 1 : 5 万比例尺立体测图需求，填补了中国立体测图这一领域的空白，具有里程碑意义。ZY-3 卫

星传感器参数见表 1-5。ZY-1 02C 和 ZY-3 卫星数据能够广泛应用于国土资源调查与管理、测绘、农林水利、生态环境、城市规划以及国家重大工程等领域。

表 1-4 ZY-1 02C 卫星传感器参数

传感器类型	波段号	波长范围/ μm	分辨率/m	幅宽/km	高度/km	重访周期/天
P/MS 相机	B1 (全色)	0.51 ~ 0.85	5	60	778	26
	B2	0.52 ~ 0.59	10			
	B3	0.63 ~ 0.69	10			
	B4	0.77 ~ 0.89	10			
HR 相机	—	0.50 ~ 0.80	2.36	60	780	3 ~ 5

表 1-5 ZY-3 卫星传感器参数

传感器类型	波段号	波长范围/ μm	分辨率/m	幅宽/km	高度/km	重访周期/天
前视相机	—	0.50 ~ 0.80	3.5	52	505.984	3 ~ 5
后视相机	—	0.50 ~ 0.80	3.5	52		3 ~ 5
正视相机	—	0.50 ~ 0.80	2.1	51		3 ~ 5
多光谱相机	B1	0.45 ~ 0.52	6	51		5
	B2	0.52 ~ 0.59				
	B3	0.63 ~ 0.69				
	B4	0.77 ~ 0.89				

1.1.1.4 环境减灾卫星

中国环境与灾害监测预报小卫星星座，简称环境减灾卫星，由 HJ-1A 卫星、HJ-1B 卫星、HJ-1C 卫星组成，其中 HJ-1A 卫星和 HJ-1B 卫星是光学卫星，HJ-1C 卫星是 S 波段合成孔径雷达小卫星。HJ-1A 和 HJ-1B 卫星于 2008 年 9 月 6 日以一箭双星的方式成功发射，HJ-1A 卫星搭载了 CCD 相机和超光谱成像仪 (HSI)，其卫星传感器参数如表 1-6 所示。HJ-1B 卫星搭载了 CCD 相机和红外相机 (IRS)，其卫星传感器参数见表 1-7。HJ-1A 和 HJ-1B 卫星发射后，国家减灾中心和环境保护卫星应用中心将环境减灾卫星应用于西藏雪灾监测、汶川地震灾区生态恢复监测、火灾监测、北京城市热岛监测等领域。

表 1-6 HJ-1A 卫星传感器参数

传感器类型	波段号	波长范围/ μm	分辨率/m	幅宽/km	高度/km	重访周期/天
CCD 相机	B1	0.43 ~ 0.52	30	360 (单台) 700 (两台)	649.093	4
	B2	0.52 ~ 0.60	30			
	B3	0.63 ~ 0.69	30			
	B4	0.76 ~ 0.90	30			
HSI	—	0.45 ~ 0.95 (110 ~ 128 个谱段)	100	50	649.093	4

表 1-7 HJ-1B 卫星传感器参数

传感器类型	波段号	波长范围/ μm	分辨率/m	幅宽/km	高度/km	重访周期/天
CCD 相机	B1	0.43 ~ 0.52	30	360 (单台) 700 (两台)	649.093	4
	B2	0.52 ~ 0.60	30			
	B3	0.63 ~ 0.69	30			
	B4	0.76 ~ 0.90	30			
IRS	B5	0.75 ~ 1.10	150 (近红外)	720	649.093	4
	B6	1.55 ~ 1.75				
	B7	3.50 ~ 3.90				
	B8	10.5 ~ 12.5	300			

1.1.1.5 高分辨率对地观测专项卫星

高分辨率对地观测系统重大专项是《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006—2020 年）》确定的 16 个重大专项之一，计划“十二五”期间发射 5 ~ 6 颗观测卫星，建成高空间分辨率、高时间分辨率、高光谱分辨率的对地观测系统，于 2010 年 5 月全面启动。该专项工程全面提升了中国自主获取高分辨率观测数据能力，推动卫星及应用技术的跨越发展，保障现代农业、防灾减灾、资源环境以及国家安全的重大战略需求，广泛应用于水利和林业资源监测、国土调查与应用、城市和交通精细化管理以及海洋和气候气象观测等重点领域。专项至少包含 7 颗卫星和其他观测平台，编号为“高分一号”至“高分七号”，它们都将在 2020 年前发射并投入使用，具体见表 1-8。至今，已发射了高分一号（GF-1）、高分二号（GF-2）、高分四号（GF-4）共 3 颗卫星。GF-1 卫星是国家高分辨率对地观测专项的首发星，于 2013 年 4 月 26 日成功发射。GF-1 卫星搭载了两台 2m 分辨率全色和 8m 分辨率多光谱相机，4 台 16m 分辨率多光谱相机。该卫星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以及高精度高稳定度姿态控制等技术，其卫星传感器参数见表 1-9。GF-2 卫星于 2014 年 8 月 19 日成功发射，是由中国自主研制的首颗空间分辨率优于 1m 的民用光学遥感卫星，搭载两台 1m 全色、4m 多光谱相机，星下点空间分辨率可达 0.8m，具有亚米级空间分辨率、高定位精度和快速姿态机动能力等特点，有效地提升了卫星综合观测效能，达到了国际先进水平，其卫星传感器参数见表 1-10。GF-4 卫星于 2015 年 12 月 29 日成功发射，是中国首颗地球同步轨道高分辨率遥感卫星。GF-4 卫星在距地面约 36 000km 的地球同步轨道运行，分辨率在 50m 以内，观测面积大并且能长期对某一地区持续观测，搭载 1 台可见光 50m、中波红外 400m 分辨率的面阵相机，设计使用寿命为 8 年。GF-4 卫星利用长期驻留固定区域上空的优势，能高时效地实现地球静止轨道 50m 分辨率可见光、400m 分辨率中波红外遥感数据获取，这是中国国内地球静止轨道遥感卫星最高水平，在国际上也处于先进行列。GF-4 卫星在监测森林火灾、洪涝灾害等方面发挥重要作用。

表 1-8 高分辨率专项卫星列表

卫星名	传感器
GF-1	2m 全色, 8m 多光谱, 16m 宽幅多光谱
GF-2	1m 全色, 4m 多光谱
GF-3	1m C-SAR 合成孔径雷达
GF-4	50m 地球同步轨道凝视相机
GF-5	可见短波红外高光谱相机
	全谱段光谱成像仪
	大气气溶胶多角度偏振探测仪
	大气痕量气体差分吸收光谱仪
	大气主要温室气体监测仪
	大气环境红外甚高分辨率探测仪
GF-6	2m 全色, 8m 多光谱, 16m 宽幅多光谱
GF-7	高空间立体测绘

表 1-9 GF-1 卫星传感器参数

传感器类型	波段号	波长范围/μm	分辨率/m	幅宽/km	高度/km	重访周期/天
全色相机	PAN	0.45 ~ 0.90	2	60 (两台相机 组合)	645	4
8m 多光谱相机	B1	0.45 ~ 0.52	4			
	B2	0.52 ~ 0.59				
	B3	0.63 ~ 0.69				
	B4	0.77 ~ 0.89				
16m 多光谱相机	B1	0.45 ~ 0.52	16	800		2
	B2	0.52 ~ 0.59				
	B3	0.63 ~ 0.69				
	B4	0.77 ~ 0.89				

表 1-10 GF-2 卫星传感器参数

传感器类型	波段号	波长范围/ μm	分辨率/m	幅宽/km	高度/km	重访周期/天
全色相机	PAN	0.45 ~ 0.90	1	45 (两台相机 组合)	631	5
多光谱相机	B1	0.45 ~ 0.52	4			
	B2	0.52 ~ 0.59				
	B3	0.63 ~ 0.69				
	B4	0.77 ~ 0.89				