李 欢 主编



GUOCHAN GAOFEN WEIXING YAOGAN SHUJU
ZAI ZIRANZIYUAN DIAOCHA ZHONG DE YINGYONG SHIJIAN
——YIGANSU、NINGXIA WEI LI

国产高分卫星遥感数据在自然资源调查中的应用实践——以甘肃、宁夏为例



黄河出版传媒集团
宁夏人民教育出版社

编委会

编 委 主 任：吴加敏

编委副主任：张永庭　姚建华　吕红军

主　　编：李　欢

顾　　问：孙　灏　陶　红　艾　宁　王志有

编 写 人 员：李　欢　闫亭廷　武　丹　杨　勇　关　红

工 作 人 员：雪彦虎　刘自增　王　娟　唐谊娟　吴　娟　孙婕文

王　惠　张永康　赵　新　杨　政　吴宁山　杨　静

海青虎

GUOCHAN GAOFEN WEIXING YAOGAN SHUJU
ZAI ZIRANZIYUAN DIAOCHA ZHONG DE YINGYONG SHIJIAN
——YIGANSU、 NINGXIA WEI LI

国产高分卫星遥感数据在自然资源调查中的应用实践——以甘肃、宁夏为例

李　欢　主编

黄河出版传媒集团
宁夏人民教育出版社

图书在版编目（CIP）数据

国产高分卫星遥感数据在自然资源调查中的应用实践：以甘肃、宁夏为例 / 李欢主编 . -- 银川：宁夏人民教育出版社，2019.1

ISBN 978-7-5544-2699-9

Ⅰ . ①国… Ⅱ . ①李… Ⅲ . ①卫星遥感—遥感数据—应用—自然资源—资源调查—中国 Ⅳ . ① P966.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2018）第 271996 号

国产高分卫星遥感数据在自然资源调查中的应用实践
——以甘肃、宁夏为例　　李欢　主编

责任编辑　吴　阳　马晓鹿
责任校对　钱蓦兮
封面设计　木　叶
责任印制　殷　戈

黄河出版传媒集团 宁夏人民教育出版社　出版发行

地　　址　宁夏银川市北京东路 139 号出版大厦（750001）
网　　址　http://www.yrpubm.com
网上书店　http://www.hh-book.com
电子信箱　jiaoyushe@yrpubm.com
邮购电话　0951-5014284
经　　销　全国新华书店
印刷装订　宁夏凤鸣彩印广告有限公司
印刷委托书号　（宁）0010529

开　　本　787 mm × 1092 mm　1/16
印　　张　12.5　　字数　167 千字
版　　次　2019 年 1 月第 1 版
印　　次　2019 年 1 月第 1 次印刷
书　　号　ISBN 978-7-5544-2699-9
审 图 号　宁 S［2018］第 008 号
定　　价　40.00 元

版权所有　侵权必究

序言一

本书是作者开展“甘肃—宁夏地区全境自然资源遥感综合调查”项目工作的重要成果之一。甘肃—宁夏地区全境自然资源遥感综合调查工作，以国产高分辨率遥感卫星为主要调查手段，以高分卫星遥感数据为重要依据，利用 SuperMap、ArcGIS 等地理信息软件为平台，结合野外实地调查，对甘肃、宁夏两省区的自然资源和生态环境进行了综合调查，特别是选择甘宁两省区的易发高发地质灾害区、宁夏宁东能源化工基地和宁夏中卫市人类活动频繁区为调查重点，开展了相关专业遥感调查，取得了许多重要调查成果，并从自然资源和生态环境视角开展了综合分析。这是国产高分卫星及其遥感数据在宁夏自然资源和生态环境调查中首次具有开创性与规模性的应用及实践，具有重要示范意义。

自然资源和生态环境是人类赖以生存的物质与环境基础。开展自然资源和生态环境调查，是人们认识自然、利用自然和发展自我的基础性工作。自从有了人类，人们认识自然资源和生态环境的行为一刻也不曾有过停歇。1972 年，美国发射了人类第一颗陆地资源卫星，从此人类可以从更遥远的太空观察地球资源，认识地球环境。利用卫星遥感技术，可以极大地降低人们开展自然资源和生态环境调查的人财物及时间投资，大大提高工作效率。早在 20 世纪 80 年代初，由于中国没有自己的遥感资源卫星，我们只能依靠国外卫星开展国土资源调查工作。如今，随着我国国力的增强和科技的进步，我们已经拥有一系列数量众多的国产卫星，中国的科技工作者，可以利用国产卫星，开展多领域、多方面的卫星遥感调查

研究工作。

本书是作者在利用国产高分辨率遥感卫星及其数据，在甘宁两省区开展自然资源和生态环境调查工作的一次重要尝试。本书的出版，对利用国产高分辨率遥感卫星及其数据从事自然资源和生态环境调查的科技工作者有一定参考价值，也可对想要了解卫星遥感数据应用的相关人员具有科普意义。



2018 年 9 月

序言二

甘肃和宁夏地处我国西北内陆，位于黄土高原、蒙古高原和青藏高原的交汇地带，大陆性气候特征明显，生态环境脆弱。在这一地区开展自然资源与生态地质环境综合调查，可为该地区的自然资源和生态地质环境管护提供科学依据，也可为相关研究和治理工作提供基础数据。

本书是国产高分卫星遥感技术在甘肃和宁夏自然资源综合调查中的一项应用成果。在技术方法上，探索了人机结合的半自动化提取方法，建立了一套连续性的野外数据信息采集方法，实现了实地照片与遥感影像的吻合对应，有效提高了遥感内业解译的工作效率和正确率。在实践区域上，选择了甘肃省及宁夏回族自治区全境，甘肃及宁夏地质灾害高易发地区、宁夏宁东能源化工基地和宁夏中卫人类活动频繁区四个工作区域，具有一定的代表性和典型性。

通过以上综合调查，夯实了甘肃、宁夏两省区自然资源与生态地质环境的数据基础，形成了一套汇集林、草、地表水、湿地等自然资源和地质灾害等基础调查数据，可为甘肃、宁夏两省区有关规划的编制、自然资源的管理与生态保护，以及地质灾害防治工作等提供很有价值的科学成果资料，在今后的国产高分遥感数据在自然资源调查中的应用具有示范意义。

2018 年 9 月

前言

我国社会经济的良性发展离不开对自然资源的合理开发、利用与管理，而有效的自然资源管理必须以获知自然资源的空间位置以及属性信息为前提。因此自中华人民共和国成立以来，我国先后开展了以土地、森林、水资源、矿产资源、地表覆盖和生态环境等因子为主的详查及普查工作，获得了一定量的真实、客观、科学、可靠的基础数据，在相当长的时间内，为我国相关领域资源保护与合理利用工作提供了重要的支撑。

新时代下，自然资源的调查手段发生了巨大变化。遥感是一种利用搭载在卫星或航空飞机平台上的传感器，以探测地表反射或发射的电磁波信息为手段，观测地表空间位置、形态及属性的技术方法。在调查地球自然资源时，它具备综合性、宏观性、实时性、空间连续观测等优点，较之常规自然资源调查手段，大大降低了人力、物力和时间成本，俨然成为自然资源调查的必要手段。随着 1972 年美国第一颗陆地资源卫星发射成功，我国在 1980 年前后开展了卫星遥感在自然资源调查中的应用。然而，当时的遥感调查工作几乎完全依赖于国外的遥感数据。比如，1980 年 6 月至 1983 年 12 月，为适应农业区划的需要，我国利用了 500 多幅美国陆地资源卫星多光谱扫描图像，完成了全国土地资源利用现状遥感调查，编制了 700 多幅 1:250000 土地利用现状图。如今，将近 40 年过去，我国已拥有中巴地球资源系列卫星、环境减灾小卫星星座、测绘系列卫星、国家高分辨率对地观测系统等自主卫星数据产品。预计

2020年前将基本完成国产自然资源调查监测卫星网络和应用体系构建，建成以空天关键技术为支撑的现代化自然资源监管体系。

在此背景下，广泛开展国产卫星遥感数据在自然资源调查中的应用实践，对于我国建设现代化自然资源调查监测体系具有重要意义。为满足新时期自然资源管理与生态保护的重大需求，宁夏回族自治区地质调查院开展了甘肃、宁夏地区全境自然资源遥感综合调查，并根据相关原则，对地质灾害高易发区、宁东能源化工基地，以及宁夏人类活动频繁区进行了重点调查监测，形成了该地区自然资源与生态地质环境本底数据和年度动态变化数据。本书详细总结了此次国产高分遥感数据在自然资源调查中的应用实践，期望能为国家或地区社会发展、经济建设以及政府决策等提供参考资料和科学依据。

本书得到宋新华、艾宁的友情帮助，得到吴加敏、张永庭的大力支持，感谢孙灏、陶红对本书提出的修改意见，感谢参与本项目的全体人员所付出的辛勤劳动，一并致谢！

编　者

2018年9月

目　录

第一章　国产高分卫星遥感数据概况 / 1

第一节　高分专项系列卫星 / 1

第二节　资源系列卫星 / 4

第三节　天绘系列卫星 / 8

第四节　实践九号卫星 / 9

第二章　基于国产高分遥感数据的自然资源综合调查方法 / 10

第一节　调查区范围及概况 / 10

第二节　技术路线及方法 / 16

第三节　质量管理与评价 / 44

第三章　甘肃、宁夏地区全境遥感调查成果 / 46

第一节　自然资源调查成果及分布特征 / 46

第二节　生态地质环境调查成果及分布特征 / 79

第四章　甘肃、宁夏地质灾害高易发区遥感调查成果 / 106

第一节　地质灾害概况 / 106

第二节　甘肃省地质灾害高易发区遥感调查 / 110

第三节　宁夏地质灾害高易发区遥感调查 / 112

目　录

第五章　宁夏宁东能源化工基地遥感调查成果 / 115

第一节　工作区概况 / 115

第二节　自然资源调查成果及分布特征 / 116

第三节　生态地质环境调查成果及分布特征 / 120

第四节　遥感调查成果小结 / 123

第六章　宁夏中卫人类活动频繁区遥感调查成果 / 124

第一节　宁夏中卫人类活动频繁区概况 / 124

第二节　遥感调查指标 / 125

第三节　遥感调查成果 / 126

第四节　遥感调查成果小结 / 132

第七章　甘肃、宁夏自然资源及生态地质环境综合分析 / 135

第一节　自然资源综合分析 / 135

第二节　生态地质环境综合分析 / 162

第三节　典型区域综合分析 / 177

第八章　结　语 / 182

第一节　成果汇总 / 182

第二节　问题及建议 / 185

第一章　国产高分卫星遥感数据概况

第一节　高分专项系列卫星

中国高分辨率对地观测系统(简称“高分专项”),是我国中长期科学和技术发展规划纲要(2006 年至 2020 年)的 16 个重大科技专项之一。该系统将统筹建设基于卫星、平流层飞艇和飞机的高分辨率对地观测系统,完善地面资源,并与其他观测手段结合,形成全天候、全天时、全球覆盖的对地观测能力,由天基观测系统、临近空间观测系统、航空观测系统、地面系统、应用系统等组成,于 2010 年经过国务院批准启动实施。国防科技工业局作为该专项的牵头组织单位,在发改委、科技部、财政部等十余家专项领导小组成员单位的支持下,共同负责该专项工程的组织和管理。

“高分专项”是一个非常庞大的遥感技术项目,包含至少 9 颗卫星和其他观测平台,分别编号为“高分一号”到“高分九号”,于 2013 年开始陆续研制发射新型卫星并投入使用,至 2020 年前后建成全系统。“高分一号”为光学成像遥感卫星;“高分二号”也是光学遥感卫星,但全色和多光谱分辨率都提高一倍,分别达到了 1 m 全色和 4 m 多光谱;“高分三号”为 1 m 分辨率;“高分四号”为地球同步轨道上的光学卫星,全色分辨率为 50 m;“高分五号”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,如可以间接测定 PM2.5 的气溶胶探测仪;“高分六号”的载荷性能与“高分一号”相似;“高分七号”则属于高分辨率空间立体测绘卫星。

高分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,构成了一个具有高空间分辨率、高时间分辨率和高光谱分辨率能力的对地观测系统。

一、高分一号卫星

高分一号卫星(简称“高分一号”)是中国高分辨率对地观测系统的第一颗卫星,由中国航天科技集团公司所属空间技术研究院研制。于 2013 年 4 月 26 日由长征二号丁运载火箭成功发射,开启了中国对地观测的新时代(表 1-1)。

“高分一号”是我国高分辨率对地观测卫星系统重大专项(简称“高分专项”)的第一颗卫星。“高分专项”于 2010 年 5 月全面启动,计划到 2020 年建成我国自主的陆地、大气和海洋观测系统。尽管“高分专项”主要是民用卫星,但部分专家认为,由于分辨率较高,也具备相当价值的军事用途,识别飞机、坦克已经不成问题(表 1-2)。

“高分一号”的全色分辨率是 2 m,多光谱分辨率为 8 m。它的特点是增加了高分辨率多光谱相机,该

相机的性能在国内投入运行的对地观测卫星中最强。此外,“高分一号”的宽幅多光谱相机幅宽达到了800 km,而法国发射的 SPOT6 卫星幅宽仅有 60 km。“高分一号”在具有类似空间分辨率的同时,可以在更短的时间内对一个地区重复拍照,其重复周期只有 4 天,而世界上同类卫星的重复周期大多为 10 余天。可以说,“高分一号”实现了高空间分辨率和高时间分辨率的完美结合(表 1-3)。

高分一号卫星能够为国土资源部门、农业部门、环境保护部门提供高精度、宽范围的空间观测服务,在地理测绘、海洋和气候气象观测、水利和林业资源监测、城市和交通精细化管理,疫情评估与公共卫生应急、地球系统科学研究等领域发挥重要作用。

表 1-1 “高分一号”卫星参数

卫星类型	对地观测	所属国家	中国
分辨率	2m	卫星建造商	中国航天科技集团公司所属空间技术研究院
运载火箭	长征二号丁	运载火箭制造商	上海航天技术研究院
发射地点	中国	发射基地	酒泉卫星发射中心
设计寿命	96 个月	现状	在轨

表 1-2 “高分一号”光学传感器参数

	普段号	普段范围（μm）	空间分辨率（m）	幅宽（km）	侧摆能力	重访时间（天）
全色多光谱相机	1	0.45 ~ 0.90	2	60（2 台相机组合）	±35	4
	2	0.45 ~ 0.52	8			
	3	0.52 ~ 0.59				
	4	0.63 ~ 0.69				
	5	0.77 ~ 0.89				
多光谱相机	6	0.45 ~ 0.52	16	800（4 台相机组合）		2
	7	0.52 ~ 0.59				
	8	0.63 ~ 0.69				
	9	0.77 ~ 0.89				

表 1-3 “高分一号”运行参数

采集能力	\	运行周期	\
最快重访周期	>72 小时	轨道类型	太阳同步轨道
星载存储器	\	轨道高度	645km
倾角	98.0506°		

二、高分二号卫星

高分二号卫星是我国自主研制的首颗空间分辨优于 1 m 的民用光学遥感卫星，搭载有两台高分率 1 m全色、4 m 多光谱相机，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，达到国际先进水平（表 1-4）。

高分二号卫星于 2014 年 8 月 19 日成功发射，8 月 21 日首次开机成像并下传数据。这是我国目前分辨率最高的民用陆地观测卫星，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”。主要用户为国土资源部、住房和城乡建设部、交通运输部和国家林业局等部门，同时还将为其他用户部门和有关区域提供示范应用服务（表 1-5）。

表 1-4　高分二号卫星轨道和姿态控制参数

参　数	指　标
轨道类型	太阳同步回归轨道
轨道高度	631 km（标称值）
倾角	97.9080°
降交点地方时	10:30 AM
侧摆能力（滚动）	±35°，机动 35°的时间≦180 s

表 1-5　高分二号卫星有效载荷技术指标

参数	1 m 分辨率全色/4 m 分辨率多光谱相机	
光谱范围	全色	0.45～0.90 μm
	多光谱	0.45～0.52 μm
		0.52～0.59 μm
		0.63～0.69 μm
		0.77～0.89 μm
空间分辨率	全色	1 m
	多光谱	4 m
幅宽	45 km（2 台相机组合）	
重访周期（侧摆时）	5 天	
覆盖周期（不侧摆）	69 天	

第二节　资源系列卫星

目前,我国资源卫星有三个系列,分别为:“资源一号”、“资源二号”、以及“资源三号”。其中,资源一号卫星是中国和巴西共同研制的地球资源卫星(代号 CBERS),又称“中巴地球资源卫星一号”,包含中巴地球资源卫星 01 星、02 星、02B 星(均已退役)、02C 星和 04 星五颗卫星组成。

1990 年中国和巴西达成政府间协议,共同研制一种地球资源卫星,以填补两国在有关领域的空白。第一颗资源一号卫星 01 星于 1999 年 10 月 14 日由长征 4B 运载火箭从太原卫星发射中心发射升空。卫星发射成功后为中巴两国获取了大量的有关地区的地球数据和卫星图片,在农林、海洋、环保、国土资源、城市规划等方面发挥了重要作用。

资源一号(CBERS-01/02)卫星主要搭载了 3 台遥感仪器用于对地观测:20 m 分辨率的 5 谱段 CCD 相机、80 m 和 160 m 分辨率的 4 谱段红外扫描仪、256 m 分辨率的 2 谱段宽视场成像仪(表 1-6)。资源一号卫星有 11 个谱段,具有 20 m、80 m、160 m 和 260 m,4 种不同的分辨率,其有效载荷包括一台蓝、绿、红光和近红外、全色 5 谱段,分辨率 20 m,扫描幅宽 113 km 的 CCD 线阵推扫式相机,一台可见光、短波和红外谱段分辨率为 80 m,热红外谱段分辨率为 160 m,扫描宽度为 120 km 的四谱段双向摆动红外多光谱扫描仪,一台分辨率为 260 m,扫描宽度为 900 km 的二谱段宽视场 CCD 成像仪,对整个地球的重复观测周期为3~5 天(表 1-7)。

表 1-6　CBERS-01/02 星轨道参数

参数	指标
轨道类型	太阳同步回归轨道
轨道高度	778 km
轨道倾角	98.5°
降交点地方时	10:30 AM
回归周期	26 天

资源一号 02B 星于 2007 年 9 月在太原卫星发射中心发射成功,02B 星具有高中低三种空间分辨率的对地观测卫星,其 CCD 相机和宽视场成像仪与 CBERS-01/02 星一致,除此之外 CBERS-02B 搭载了一台高分辨率相机,光谱范围 0.50~0.80 μm,空间分辨率为 2.36 m,幅宽 27 km,侧摆能力±25°,重访时间为 3 天。

表 1-7　CBERS-01/02 星有效载荷参数

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）
CCD 相机	1	0.45~0.52	20	113	±32 °	3
	2	0.52~0.59	20			
	3	0.63~0.69	20			
	4	0.77~0.89	20			
	5	0.51~0.73	20			
宽视场成像仪	6	0.63~0.69	58	890	—	3
	7	0.77~0.89				
红外多光谱扫描仪	8	0.50~0.90	78	119.5	—	26
	9	1.55~1.75				
	10	2.08~2.35				
	11	10.4~12.5	156			

资源一号 02C 星于 2011 年 12 月发射成功，02C 搭载有全色多光谱相机和全色高分辨率相机，主要任务是获取全色和多光谱图像数据。02C 星具有两个显著特点：一是配置有 10 m 分辨率 P/MS 多光谱相机，二是配置两台 2.36 m 分辨率 HR 相机，使数据的幅宽达到 54 km，使重访周期大大缩短（表 1-8）。

表 1-8　资源一号 02C 星有效载荷参数

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）
P/MS 相机	1	0.51~0.85	5	60	±32 °	3
	2	0.52~0.59	10			
	3	0.63~0.69	10			
	4	0.77~0.89	10			
HR 相机	—	0.50~0.80	2.36	两台 54	±25 °	3

资源一号卫星 04 星于 2014 年 12 月发射成功，04 星共搭载 4 台相机，其中 5 m/10 m 空间分辨率的全色多光谱相机（PAN）和 40 m/80 m 空间分辨率的红外多光谱扫描仪（IRS）由中方研制。20 m 空间分辨率的多光谱相机（MUX）和 73 m 空间分辨率的宽视场成像仪（WFI）由巴方研制（表 1-9）。

表 1-9　资源一号 04 星有效载荷参数

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）
全色多光谱相机	1	0.51~0.85	5	60	±32 °	3
	2	0.52~0.59	10			
	3	0.63~0.69	10			
	4	0.77~0.89	10			
多光谱相机	5	0.45~0.52	20	120	—	26
	6	0.52~0.59				
	7	0.63~0.69				
	8	0.77~0.89				
红外多光谱相机	9	0.50~0.90	40	120	—	26
	10	1.55~1.75				
	11	2.08~2.35				
	12	10.4~12.5	80			
宽视场成像仪	13	0.45~0.52	73	866	—	3
	14	0.52~0.59				
	15	0.63~0.69				
	16	0.77~0.89				

目前已知“资源二号”卫星有 3 颗卫星（即“资源二号”01 星、02 星和 03 星）分别于 2000 年 9 月 1 日、2002 年 10 月 27 日、2004 年 11 月 6 日发射升空，属我国自行研制的传输型遥感卫星。

资源三号卫星，是中国第一颗自主的民用高分辨率立体测绘卫星。资源三号卫星已于 2012 年 1 月 9 日 11 时 17 分在太原卫星发射中心由长征四号乙运载火箭成功发射，同时搭载有一颗卢森堡小卫星，此次“一箭双星”发射，是中国 2012 年首次航天发射，也是长征系列运载火箭的第 156 次发射。卫星可对地球南北纬 84 度以内地区实现无缝影像覆盖，回归周期为 59 天，重访周期为 5 天。卫星的设计工作寿命为 4 年。卫星采用经适应性改进的资源二号卫星平台，配置四台相机：(1)1 台地面分辨率优于 2.1 m 的正视全色 TDI CCD 相机；(2)2 台地面分辨率优于 3.5 m 的前视、后视全色 TDI CCD 相机；(3)1 台地面分辨率优于 5.8 m 的正视多光谱相机。卫星轨道形式：太阳同步圆轨道，高度：505.984 km，倾角 97.421°，回归周期 59 天，重访周期 5 天，降交点地方时 10：30AM，卫星重量约 2650 kg，卫星在轨工作寿命 5 年。地面像元分辨率，前视、后视相机均为 3.5 m，正视相机为 2.1 m，多光谱相机为 5.8 m。覆盖宽度，前视、后视相机均为 52 km，正视相机为 50 km，多光谱相机为 52 km。