

★ 军事地质信息丛书 ★

# 军事地质体 遥感智能解译技术

李显巨 吴春明 陈伟涛 王力哲 编著



科学出版社

军事地质信息丛书

# 军事地质体遥感智能解译技术

李显巨 吴春明 陈伟涛 王力哲 编著

科学出版社

北京

## 内 容 简 介

开展军事地质体遥感智能解译技术研究,对保障打赢未来信息化战争、军民融合发展及军事遥感地质学相关学科发展和人才培养等具有重要意义,也是现代军事学和地质遥感学研究的国际前沿和热点。本书系统阐述军事地质体遥感智能解译的基本概念、模型方法和应用技术。首先叙述军事地质体的概念和内涵,相关遥感数据获取进展,军事地质体遥感智能解译的研究现状、发展趋势及难点和挑战,军事地质体遥感智能解译需求分析;然后介绍军事地质体影像块数据集构建方法和过程及军事地质体遥感智能解译所采用的特征提取、传统机器学习、深度学习和结果评价等模型方法;最后从人工设计特征、中层视觉特征和深度特征三个层次给出若干应用实例。

本书可作为军事地质、地质环境遥感、图像处理、机器学习和模式识别等相关专业、领域的研究生和高年级本科生的教材,也可为相关专业教师提供参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

军事地质体遥感智能解译技术/李显巨等编著. —北京:科学出版社,2019.11  
(军事地质信息丛书)

ISBN 978-7-03-060111-7

I. ①军… II. ①李… III. ①地质遥感—应用—军事 IV. ①E919

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 288189 号

责任编辑:杨光华 李建峰/责任校对:刘畅

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>

武汉市首壹印务有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

开本:787×1092 1/16

2019 年 11 月第 一 版 印张:8 1/2

2019 年 11 月第一次印刷 字数:192 000

定价:68.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

# “军事地质信息丛书”

## 编 委 会

主 编 王力哲 秦绪文

副主编 吴冲龙 胡祥云 牟 林

编 委（按姓氏拼音排序）

陈 刚	陈伟涛	董玉森	何珍文
姜 三	李显巨	刘 刚	王明威
吴春明	左博新		

## “军事地质信息丛书”序

进入 21 世纪,高新技术的迅猛发展和广泛应用,推动了武器装备的发展和作战方式的演变。战场环境信息的采集、存储、挖掘和分析能力,是打赢现代化战争的基本保障。近年来,随着全球军事大数据信息技术和应用的兴起,数据已经成为军事信息化的重要资源,以“数据”为核心的信息系统是赢得战争主动权的基础设施能力之一。随着世界各国的军队信息化建设的进行,信息保障工作逐渐贯穿了现代战争的全业务流程,“信息赋能”也日益成为军队信息化的重大标志之一。

自古以来,军事地质信息在战争中的重要地位已经得到国内外的高度认同。从第一次世界大战开始,地质学家就在地表水和地下水的管控与利用、军事作战计划制定等方面发挥着非常重要的作用。到第二次世界大战时,随着各种探测手段的提高,军事地质信息的作用更加受到重视。德国、美国和日本相继建立了自己的军事地质信息保障部队。海湾战争期间,军事地质信息在打赢现代化战争中的作用更加显著。美军借助可见光和红外卫星遥感感知平台,获取大量有关敌情的地质态势信息,利用信息基础设施加以传输、存储和处理。

与军事地理信息一样,军事地质信息是战场环境、战争态势存在和动态变化的重要场景。随着新型传感器和高分辨率遥感技术和地球物理探测技术的飞速发展,针对典型军事地质信息,从不同探测维度开展军事地质信息探测、管理与分析研究,对提升战场环境地质态势感知能力,推动现代战争信息化发展,具有非常重要的作用。目前,国内外尚没有一套专门研究军事地质信息的丛书。因此,为了让国内从事军事科学研究和地球科学研究的本科生和研究生及相关工作者系统了解军事地质信息探测现状与能力,受科学出版社委托,我们组织了地质大学(武汉)从事军事地质信息领域研究的人员,在系统梳理军事地质信息需求的基础上,开展了军事地质信息探测与分析研究,并编著了“军事地质信息丛书”。

本套丛书涵盖了从可见光高空间分辨率遥感、雷达遥感、激光雷达遥感、无人机遥感到地球物理勘察技术等不同的探测手段及数据管理技术,内容全面、条理清晰、针对性强、实例丰富,是国内第一套系统总结军事地质信息的专业丛书。本套丛书可作为开展地质信息、遥感信息工程、军事地质等研究的工程技术人员的参考书和指导书,也可作为地质信息、空间信息与数字技术、军事地质、遥感信息工程等专业本科生、研究生的教材和参考书。

军事地质信息是一门年轻的学科,其发展是无止境的。我们期待广大读者对本套丛书进行批评与指正,协力为我国军事信息现代化发展贡献一份力量。

王力哲 秦绪文

2019年7月1日于南望山麓

# 前 言

随着现代军事学的发展、现代战争模式的衍变和战争空间的立体化,对区域军事地质信息获取的自动化、智能化有了更高的要求,也促进了军事地质学的发展。尤其是遥感和人工智能技术的发展,使军事地质信息的大尺度、自动、快速、实时和智能提取成为可能。在此背景下,本书开展军事地质体遥感智能解译的模型方法和应用技术研究,对战场环境信息化建设及现代军事地质学、国防科学的发展具有重要的理论和现实意义。

本书瞄准军事地质体,阐述基于遥感技术的智能解译基础理论,形成一系列成果:总结军事地质体遥感智能解译的难点和挑战,并分析相关的军事需求;提出一种基于多尺度的军事地质体影像块数据集构建、评价和优化方法,并构建岩体影像块数据集和不良地质体影像块数据集各一套;总结军事地质体遥感智能解译方法体系,包括基于传统机器学习方法逐步开展特征提取、特征映射和结果评价,以及基于深度学习端对端的特征提取与映射和结果评价;基于人工设计特征、中层视觉特征和深度特征,开展岩体和不良地质体智能分类及花岗岩和滑坡智能识别。

本书第1章由李显巨、陈伟涛、吴春明执笔,李晓、唐壮和童伟协助整理,其中1.5节部分资料由李德营提供;第2章由李显巨、陈伟涛、王力哲执笔,李晓、唐壮和童伟协助整理;第3章由李显巨、陈伟涛、王力哲执笔,李世行、高鑫彧、唐壮、童伟协助整理;第4章由李显巨、王力哲、陈伟涛执笔;第5章由李显巨、王力哲、吴春明执笔。实验部分由李显巨、陈伟涛、王力哲设计,高鑫彧、童伟协助完成。全书统稿工作由李显巨、王力哲主持完成,孙松、李晓、唐壮、高鑫彧等协助排版和校对。

由于军事地质工作刚刚起步,加之作者水平和知识范围有限,书中难免会出现疏漏之处,恳请专家和读者指正。

作 者

2019年7月

# 目 录

第 1 章 绪论 .....	1
1.1 相关概念与术语 .....	3
1.1.1 军事地质学 .....	3
1.1.2 军事地质要素系统 .....	3
1.1.3 地质体与军事地质体 .....	4
1.1.4 军事地质遥感解译与遥感智能解译 .....	4
1.2 军事地质体智能解译遥感数据获取进展 .....	5
1.2.1 高空间分辨率光学遥感数据 .....	5
1.2.2 高光谱分辨率遥感数据 .....	9
1.2.3 SAR 遥感数据 .....	11
1.2.4 地形数据 .....	12
1.3 军事地质体遥感智能解译研究进展及发展趋势 .....	14
1.3.1 遥感影像解译理论与方法研究进展 .....	14
1.3.2 军事地质体遥感智能解译研究进展 .....	15
1.3.3 军事地质体遥感智能解译发展趋势 .....	19
1.4 军事地质体遥感智能解译的难点和挑战 .....	19
1.4.1 军事地质体遥感智能解译的难点 .....	19
1.4.2 军事地质体遥感智能解译的挑战 .....	21
1.5 军事地质体遥感智能解译需求分析 .....	22
1.5.1 地下探测 .....	22
1.5.2 工事构筑评价 .....	22
1.5.3 岩体抗爆打击评价 .....	23
1.5.4 越野机动通行评价 .....	24
1.5.5 野战给水保障评价 .....	25
第 2 章 军事地质体影像块数据集构建 .....	27
2.1 遥感影像块数据集概述 .....	29
2.2 军事地质体影像块数据集构建方法 .....	30
2.2.1 军事地质体遥感解译标志 .....	31
2.2.2 数据集构建过程 .....	59

2.2.3	岩体影像块数据集	60
2.2.4	不良地质体影像块数据集	60
<b>第3章 军事地质体遥感智能解译方法</b>		<b>63</b>
3.1	特征提取方法	65
3.1.1	人工设计特征	65
3.1.2	中层视觉特征	66
3.1.3	无监督学习特征	67
3.1.4	深度特征	67
3.2	传统机器学习算法	68
3.2.1	参数学习算法	68
3.2.2	非参数学习算法	69
3.2.3	集成学习算法	70
3.2.4	不平衡学习算法	72
3.3	深度学习方法	75
3.3.1	深度前馈神经网络	75
3.3.2	深度置信网络	75
3.3.3	深度自编码网络	77
3.3.4	深度卷积神经网络	79
3.3.5	迁移学习	83
3.3.6	深度神经网络融合方法	84
3.4	智能解译结果评价	84
3.4.1	通用精度评价指标	84
3.4.2	类不平衡精度评价指标	85
3.4.3	统计检验	86
<b>第4章 岩体遥感智能解译实验</b>		<b>89</b>
4.1	基于人工设计特征的岩体遥感智能解译	91
4.1.1	基于 SVM 算法的结果分析	91
4.1.2	基于 ANN 算法的结果分析	92
4.1.3	统计检验	94
4.2	基于中层视觉特征的岩体遥感智能解译	95
4.2.1	基于 SVM 算法的结果分析	95
4.2.2	基于 ANN 算法的结果分析	96
4.2.3	统计检验	98

---

4.3 基于深度特征的岩体遥感智能解译 .....	99
4.3.1 结果分析 .....	99
4.3.2 统计检验 .....	101
4.4 分类结果对比 .....	101
4.5 花岗岩识别结果对比 .....	102
<b>第5章 不良地质体遥感智能解译实验 .....</b>	<b>105</b>
5.1 基于人工设计特征的不良地质体遥感智能解译 .....	107
5.1.1 基于 SVM 算法的结果分析 .....	107
5.1.2 基于 ANN 算法的结果分析 .....	108
5.1.3 统计检验 .....	111
5.2 基于中层视觉特征的不良地质体遥感智能解译 .....	111
5.2.1 基于 ANN 算法的结果分析 .....	111
5.2.2 统计检验 .....	113
5.3 基于深度特征的不良地质体遥感智能解译 .....	114
5.3.1 结果分析 .....	114
5.3.2 统计检验 .....	116
5.4 分类结果对比 .....	116
5.5 滑坡识别结果对比 .....	117
<b>参考文献 .....</b>	<b>119</b>

## 第 1 章

---

# 绪 论



## 1.1 相关概念与术语

### 1.1.1 军事地质学

军事地质学由来已久,是地质学与军事学的交叉学科(刘晓煌等,2018)。军事地质学是以军事和国防建设及地质理论为基础,研究岩石圈中一定范围内的物质成分、内部构造、物化性质、地质作用及地貌形态对战场环境及作战活动影响的一门学科(刘晓煌等,2017)。军事地质学主要研究地质环境对军事行动的影响,即研究并利用地质环境发展、演变规律,为国防建设、作战计划制定及行动准备与实施所需的地质保障提供科学依据(刘晓煌等,2018)。

军事地质学应包含军事地质的理论、应用和技术方法(刘晓煌等,2018)。其中,理论军事地质学主要研究地壳的物质组成及其物化性质和地球物理场、地质作用及已形成的地貌形态对军事行动的制约和影响等,包括军事岩石地质学、军事土壤地质学、军事构造运动地质学、军事地貌地质学、军事水文地质学和军事地球物理地质学等。应用军事地质学主要包括与军事密切相关的工程设施、战略资源、灾害武器、战争对地质环境的危害评估及地质环境保障等方面的应用研究;可分为军事工程地质学、军事地质资源学、军事地质环境学、军事地质武器学、军事地质数据库和制图学。技术军事地质学研究获取军事地质数据的方法手段及数据的挖掘分析技术等;主要包括军事遥感地质调查学、军事地球物理调查学、军事地质调查学、军事工程地质调查学、军事水文地质调查学、军事灾害地质调查学、大数据技术、探测技术、传感器技术等(刘晓煌等,2018)。

随着卫星与雷达遥感、地理信息系统、大数据、云计算等技术的发展,军事地质学的研究领域不断拓展。因而,现代军事地质学被定义为:以地球系统科学理论为指导,采用地质学、态势感知、大数据、高性能计算、模拟仿真、可视化技术等的工作方法,为信息化时代战场环境建设提供科技和数据支撑的一门高度交叉的学科。其中,与战场环境建设、军事地质模型构建、军事越野运动和军事工程构筑等息息相关的地质体调查、解译和探测是现代军事地质学的主要任务之一(陈伟涛等,2017)。

### 1.1.2 军事地质要素系统

军事地质要素系统是由军事和地质两类要素系统组成的,是开展军事地质研究及基本理论研究的基础。其中,地质工作通过地质和军事要素的联系来影响和作用于军事行动,而军事行动通过军事和地质要素的联系来指导地质工作(刘晓煌等,2018)。

具体地,地质要素子系统主要包括地壳的物质组成、物理性质、水理性质、力学性质、地球物理场、构造运动、矿产资源、地质环境和地貌9类(刘晓煌等,2018)。具体地,地壳物质组成可分为矿物、岩石和松散堆积物三个层次;其中,元素形成矿物,而岩石由矿物组成且其风化后形成松散堆积物。岩石物理性质是指岩石本身由于固、液、气三相的

性质、比例和排列的不同所表现出来的自然性质,如颜色、重量、孔隙和吸水性等。岩石、松散堆积物中的水溶液在量和质上的变化,所引起的岩石性质变化即为其水理性质,主要包括透水性、软化性、抗冻性、可溶性、膨胀性及崩解性等。力学性质包括岩石和松散堆积物的变形和强度等。地球物理场要素主要包括岩石的声学、放射、热学、磁和电学性质等,岩石同时还会受到各种环境场强的影响。构造运动是内外力引起地壳乃至岩石圈变形、变位的作用,可分为水平和垂直运动。矿产资源是自然界产出的有用资源,主要包括金属、非金属和能源矿产,是人类社会赖以生存和发展的重要生产资料。地质环境是由地质作用长期形成的人类赖以生存的活动场所,地质环境中能够影响人且危害大的是短期的、突发性的灾害,以及长期作用且会产生危害的某些特定地质环境的改变,主要是地质灾害。地球表面是起伏不平的,因而可被分成多个规模不等、起伏各异、高低有别的地貌形态单元;其中,最大规模的地貌形态单元为大陆与海洋的分异。大陆地貌单元主要包括山地、平原、丘陵和高原等;海洋包含大洋盆地、大洋中脊、海沟和岛弧等地貌单元。

### 1.1.3 地质体与军事地质体

地质体是地质工作中经常使用的含义不严格的一个术语,通常是指地壳内占有一定的空间和有其固有成分并可以与周围物质相区别的地质作用的产物(刘晓煌等,2018)。军事地质体是指依据对军事行动要素的影响程度、规避和改造利用方法手段的不同,将预设战场或作战环境划分成的不同区域、块体(刘晓煌等,2018)。通过有针对性地改造和利用地质体,可以趋利避害地构筑对己方有利的作战环境,以实现对战局局势的把控。军事地质体主要关注对象为土地、岩体、构造和地质灾害等(陈伟涛等,2017)。

人们主要关注的军事地质体,即研究对象为岩体和不良地质体。岩体中主要关注花岗岩,其属于酸性( $\text{SiO}_2 > 66\%$ )岩浆岩中的侵入岩,多为浅肉红色、浅灰色、灰白色等;中粗粒、细粒结构,块状构造;也有一些为斑杂构造、球状构造、似片麻状构造等。花岗岩是军事工程构筑的理想地质体,尤其是军事地下工程大多构筑在厚层花岗岩体下。因此,开展花岗岩调查、解译和探测能为军事地下探测提供靶向数据。不良地质体指的是一类不利于工程施工的、对工程体的建设与建造人员的人身安全造成威胁的地质体。主要包括断层及其破碎带、节理密集发育破碎岩体、岩溶、软岩层、煤层、在采及废弃矿巷和保水全风化及暴露后极易风化软化岩脉等(何发亮等,2011);其中,滑坡是人们重点关注的对象。不良地质体的调查、解译和探测能为军事工程选址、军事行动风险规避和军事地质打击等提供科技和数据支撑。

### 1.1.4 军事地质遥感解译与遥感智能解译

遥感地质学是基于各种地质体的电磁波谱特征和遥感影像纹理特征,分析研究地球表面及地表一定深度下的各种地质信息的一门学科(陈伟涛等,2017;慧文华,2011)。李远华等(2012)总结了不同军事活动所需的遥感地质方法,如军事侦察所需的遥感技

术包括军事目标、土地覆被、地形地貌、基础地理信息、工程地质岩组、岩体、地质灾害、矿产和资源等。此外,他们还总结了当前军事地质遥感学的主要研究内容:远程战区环境研究,战场环境选址,军事工程选址,作战路线规划,特殊地区给水保障和对外方前沿阵地侦测。

而军事地质遥感解译是从遥感影像中发现军事地质体类别和分布的过程,它是解译专家与遥感影像相互作用的复杂过程,涉及目视解译者的知识认知和生理心理等许多环节(陈伟涛等,2017)。目标地物的识别特征包括色调、颜色、阴影、形状、纹理、大小、位置、图型和相关布局等,这些知识是解译者进行遥感影像解译的知识库(张敏,2012)。

军事地质遥感智能解译可以归为图像理解系统在复杂自然场景下的自动图像解释。典型的遥感影像理解系统包括三个部分:一是如何统计图像中的空间关系;二是面向目标的知识表达及其分布式解决方法;三是基于知识的图像分类、图像的相似性检索、图像目标的检测与识别等(方涛等,2016)。

## 1.2 军事地质体智能解译遥感数据获取进展

随着空间技术和传感器技术的发展,遥感卫星携带的传感器工作波段范围大大扩充,已经覆盖了从可见光、红外到微波的全波段范围。如今已经形成了高空间分辨率光学卫星遥感、高光谱分辨率卫星遥感,以及新型的高分辨率星载合成孔径雷达(synthetic aperture radar, SAR)传感器对地观测的多体制、多分辨率的格局,能够提供覆盖全球的不同种类的高分辨率卫星遥感影像数据。随着新型卫星传感器重访周期大大缩短甚至达到1天左右,人们可以更快地获取高时间分辨率的卫星遥感影像数据。

### 1.2.1 高空间分辨率光学遥感数据

进入21世纪以来,高空间分辨率遥感卫星成为商业遥感卫星的主要类型,也为高分辨率遥感影像提供了大量数据。除了QuickBird与IKONOS卫星,早期的高分辨率遥感卫星还有:法国SPOT公司于2002年5月3日发射的SPOT-5遥感卫星,可提供2.5 m分辨率的影像数据;美国轨道成像公司于2003年6月27日发射的OrbView-3,能够提供1 m分辨率的全色影像和4 m分辨率的多光谱影像。2004年5月21日成功发射的2 m分辨率的中国台湾福卫2号卫星;印度2005年5月5日发射的2.5 m分辨率的遥感制图卫星IRS-P5;日本2006年1月24日发射的先进对地观测卫星ALOS,携带了多种卫星传感器,其中PRISM传感器可以提供星下点空间分辨率为2.5 m的立体影像数据,主要用于建立高精度数字高程模型(digital elevation model, DEM);以色列成像卫星国际公司2006年4月25日发射的0.7 m分辨率的EROS-BI卫星;俄罗斯2006年6月15日发射的可提供分辨率为0.9 m全色、1.5 m多光谱影像的地球观测卫星Resurs-DKI;韩国2006年7月28日发射的1 m分辨率的Kompsat-2卫星;印度2007年1月10日发射的Cartosat-2卫

星,全色影像分辨率达 0.8 m 等。

我国近几年相继发射了多颗高分辨率卫星,资源三号卫星于 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,是中国第一颗自主研发的民用高分辨率立体测绘卫星,通过立体观测,可以测制 1:5 万比例尺地形图,为国土资源、农业、林业等领域提供服务,资源三号卫星将填补中国立体测图这一领域的空白。2013 年 4 月 26 日发射的高分一号卫星,能够提供 2 m 分辨率的全色影像和 8 m 分辨率多光谱影像;2014 年 8 月 19 日发射的高分二号卫星,能够提供 1 m 分辨率的全色影像和 4 m 分辨率多光谱影像。2017 年 11 月,吉林一号视频 04、05、06 星顺利发射,空间分辨率为 1 m。2018 年我国有多颗遥感卫星接连升空:1 月,高景一号 03 和 04 星、吉林一号视频 07 和 08 星;3 月,高分一号 02、03 和 04 星;4 月,珠海一号 02 组共 5 颗星;5~8 月,高分五号、六号和十一号及巴基斯坦遥感卫星一号(巴遥一号)。其中,高景一号是中国航天科技集团公司自主研制的商业高分辨率遥感卫星,是未来商业遥感卫星系统首发星,由两颗 0.5 m 分辨率的光学卫星组成,具有专业级的图像质量、高敏捷的机动性能、丰富的成像模式和高集成的电子系统等技术特点;高分六号是一颗低轨光学遥感卫星,也是中国首颗精准农业观测的高分卫星,设计寿命为 8 年;巴遥一号是一颗空间分辨率为 1 m 的太阳同步轨道对地观测卫星,设计寿命 7 年,搭载两台分辨率为全色 1 m、多光谱 4 m 的光学相机,组合幅宽优于 60 km。该星获取的空间信息可以广泛应用于巴基斯坦的农业、国土、城市建设、环境保护、防灾减灾、基础设施规划等领域,有利于巴基斯坦经济可持续发展和改善民生,也将为中巴经济走廊建设提供空间遥感信息服务。

美国的商业高分辨率卫星遥感技术一直处于领先地位。数字地球公司 2007 年 9 月 18 日发射的高分辨率商用卫星 Worldview-1,分辨率可以达到 0.5 m;2009 年 10 月 8 日发射的 Worldview-2 卫星,可提供分辨率 0.46 m 的全色影像和 1.84 m 的多光谱影像。2014 年 8 月 13 日发射的 Worldview-3 卫星,可提供分辨率 0.31 m 的全色影像和 1.24 m 的多光谱影像。GeoEye 公司 2008 年 9 月 6 日发射的 OrbView-5 卫星,现重新命名为 GeoEye-1,可提供分辨率 0.41 m 的全色影像和 1.65 m 的多光谱影像。在军用成像侦察方面,美国目前在轨侦察卫星的最高空间分辨率可达到 0.1 m。国内外主要高分遥感数据见表 1.1 (陈伟涛等,2017;方涛等,2016)。

表 1.1 国内外主要高分遥感数据

数据源	分辨率	国家/地区	传感器	
			波段	波长/nm
QuickBird	全色 0.61 m/多光谱 2.44 m	美国	蓝	450~520
			绿	520~600
			红	630~690
			近红外	760~900
			全色	445~900

续表

数据源	分辨率	国家/地区	传感器	
			波段	波长/nm
IKONOS	全色 1 m/多光谱 4 m	美国	蓝	450~530
			绿	520~610
			红	640~720
			近红外	770~880
			全色	450~900
SPOT-5	全色 2.5 m/多光谱 10 m/短波红外 20 m	法国	全色	480~710
			绿	500~590
			红	610~680
			近红外	780~890
			短波红外	1 580~1 750
福卫 2 号	2.5 m	中国台湾	蓝	450~520
			绿	520~600
			红	630~690
			近红外	760~900
IRS-P5	2.5 m	印度	全色	500~850
ALOS	全色 2.5 m/多光谱 10 m	日本	蓝	420~500
			绿	520~600
			红	610~690
			近红外	760~890
			全色	520~770
EROS-BI	0.7 m	以色列	全色	500~900
Resurs-DK1	全色 0.9 m/多光谱 1.5 m	俄罗斯	绿	500~600
			红	600~700
			近红外	700~800
			全色	580~800
Komsat-2	全色 1 m/多光谱 4 m	韩国	蓝	450~520
			绿	520~600
			红	630~690
			近红外	760~900
			全色	500~900

续表

数据源	分辨率	国家/地区	传感器	
			波段	波长/nm
高分一号	全色 2 m/多光谱 8 m	中国	蓝	450~520
			绿	520~600
			红	630~690
			近红外	770~890
			全色	450~900
高分二号	全色 1 m/多光谱 4 m	中国	蓝	450~520
			绿	520~600
			红	630~690
			近红外	770~890
			全色	450~900
高分六号	全色 2 m/多光谱 8 m	中国	蓝	450~520
			绿	520~600
			红	430~690
			近红外	760~900
			全色	450~900
Worldview-1	0.5 m	美国	全色	400~900
			蓝	450~510
Worldview-2	全色 0.46 m/多光谱 1.84 m	美国	绿	510~580
			红	630~690
			黄	585~625
			近红外	770~895
			海岸带	400~450
			红边	705~745
			近红外 2	860~1 040
Worldview-3	全色 0.31 m/多光谱 1.24 m	美国	全色	450~800
			蓝	450~510
			绿	510~580
			红	630~690
			黄	585~625
			近红外	770~895
			海岸带	400~450