

3S技术及其在水利工程 施工与管理中的应用

主 编：张成才 杨 东
副主编：常 静 靳记平 郑 涛
赵永昌 陈晓年



3S技术及其在水利工程 施工与管理中的应用

主 编：张成才 杨 东
副主编：常 静 靳记平 郑 涛
赵永昌 陈晓年

TV512-39

2010



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

3S 技术及其在水利工程施工与管理中的应用/张成才,杨东主编.
—武汉:武汉大学出版社,2014.7

ISBN 978-7-307-13339-6

I. 3… II. ①张… ②杨… III. ①遥感技术—应用—水利工程—
施工管理 ②地理信息系统—应用—水利工程—施工管理 ③全球定
位系统—应用—水利工程—施工管理 IV. TV512-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 092441 号

责任编辑:胡 艳 责任校对:鄢春梅 版式设计:马 佳

出版发行: **武汉大学出版社** (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件: cbs22@whu.edu.cn 网址: www.wdp.com.cn)

印刷: 武汉中远印务有限公司

开本: 720 × 1000 1/16 印张: 16.75 字数: 240 千字 插页: 1

版次: 2014 年 7 月第 1 版 2014 年 7 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-307-13339-6 定价: 39.00 元

版权所有, 不得翻印; 凡购我社的图书, 如有质量问题, 请与当地图书销售部门联系调换。

前 言

随着 RS、GPS、GIS 技术的研究应用逐步深度化、广度化发展，它们已由传统的独立各自发展走向相互结合、相互渗透的综合化发展，形成了 3S 集成技术，为科学研究、工程应用、社会生产提供了新一代的观测手段、描述语言和思维工具。3S 技术的集成，取长补短，RS 主要是负责信息的采集，它从空中获取地面信息，为 GIS 提供数据，是重要的数据源；GPS 主要是对遥感影像中提取的信息进行精确定位并赋予坐标，从而定位由 RS 获取的图形信息，然后将定位后的数据提供给 GIS 进行数据处理和分析；GIS 是信息的“大管家”，在获取由 RS、GPS 提供的数据后，通过 GIS 空间数据存储、处理、分析和显示等功能，建立空间数据库，完成数据的存储、分析和处理。3S 技术集成实现了高度化、实时化、智能化的对地观测，完成了对数据的自动、实时采集、更新和处理，为用户做出预测和决策提供了科学依据。

现代水利工程一般工程规模大、技术高、工期长，水利工程施工与管理过程中所涉及的数据量非常巨大，既有实时数据，又有环境数据、历史数据；既有栅格数据（如遥感数据），又有矢量数据、属性数据，获取、组织、存储和管理这些不同性质的数据是一件非常复杂的事情。3S 技术凭借其快速、准确、实时、集成的特点，为水利工程施工与管理提供了强有力的技术支撑，解决了水利工程中的众多业务管理问题。

相对于传统的信息获取手段，RS 技术具有宏观、快速、动态、经济等特点，是水利工程信息采集的重要手段；水利工程信息中 70% 以上数据与空间地理位置有关，GIS 技术不仅可以用于存储和管理各类海量水利工程信息，还可以用于水利工程信息的可视化查

与网上发布,是水利工程信息存储、管理和分析的强有力工具;随着水利工程勘探深度不断加大、勘探分辨率要求不断提高,许多传统的测绘方法和技术已无法满足现代工程建设的需要, GPS 技术凭借其全能性、全球性、全天候、连续性和实时性的精密三维导航与定位功能,以及良好的抗干扰性和保密性等高效性能,成为了获取水利信息空间位置的必不可少的手段。

作者近几年在国家自然科学基金、河南省创新人才计划、河南省基础研究项目以及河南省水利第一工程局科研项目的支持下开展了大量有关水利工程信息化技术方面的研究工作,本书许多内容都是这些项目的研究成果。本书出版得到河南省基础研究计划项目(132300410031)、郑州市科技局科研计划项目(121PPTG360-6)、河南省高校科技创新团队支持计划(13IRTSTHN030)、郑州大学教学研究与改革项目的支持。研究生张昴和程帅在编写过程中做了大量工作,在此表示感谢。

本书共分为六章,第一章介绍了 RS、GPS、GIS 技术和 3S 集成技术;第二章详细介绍了 3S 技术在水利工程测量中的应用;第三章详细阐述了 3S 技术在水利工程设计与施工中的应用;第四章具体分析了 3S 技术在水利工程建设与管理中的应用;第五章讲述了 3S 技术在大坝安全监测中的应用;第六章详细阐述了 3S 技术在灌区信息化中的应用,主要是作者近几年将 3S 技术应用在灌区信息化中所取得的一些成果;第七章介绍了 GPS 系统在南水北调中线河南郑州段施工中的应用。

本书由张成才确定整体结构,编写人员有杨东、常静、靳记平、郑涛、赵永昌、陈晓年。各章编写分工为:第一章至第三章由张成才和常静编写;第三章和第四章由常静和陈晓年编写;第五章由郑涛编写;第六章由张成才和杨东编写;第七章由杨东、靳记平和赵永昌编写。全书由张成才统稿和定稿。

由于各方面的原因,书中定有不妥或错误之处,欢迎读者批评指正。

作 者

2014 年 3 月

目 录

第一章 3S 技术基础理论	1
第一节 遥感基础理论	1
第二节 全球导航定位系统基础理论	12
第三节 地理信息系统基础理论	24
第四节 3S 集成技术	34
第二章 3S 技术在水利工程测量中的应用	41
第一节 GPS 在水利工程测量中的应用	41
第二节 3S 技术在水利工程测量中的应用	57
第三章 3S 技术在水利工程设计与施工中的应用	67
第一节 水利工程设计概述	67
第二节 RS 和 GPS 集成在水利工程设计与施工中的 应用	72
第三节 GIS 在水利工程设计与施工中的应用	75
第四节 3S 集成在水利工程设计与施工中的应用	107
第四章 3S 技术在水利工程管理中的应用	113
第一节 3S 技术在水利工程管理中的应用	113
第二节 3S 技术在水利工程物流管理中的应用	137
第三节 3S 技术在水利工程普查中的应用	145
第五章 3S 技术在大坝安全监测中的应用	148
第一节 大坝安全监测	148

第二节	GPS 在大坝变形监测中的应用	153
第三节	GIS 在大坝安全监测中的应用	166
第六章	3S 技术在灌区信息化中的应用	172
第一节	灌区信息化研究现状	172
第二节	应用实例 1: 河南省白沙灌区地理信息系统	177
第三节	应用实例 2: 基于 RS 和 GIS 的河南省赵口灌区信息管理系统	187
第七章	GPS 在南水北调中线河南郑州段施工中的应用	236
第一节	RTK 野外作业	237
第二节	平面控制网测设	248
	参考文献	257

第一章 3S 技术基础理论

第一节 遥感基础理论

一、遥感概述

遥感技术是 20 世纪 60 年代蓬勃发展起来的，伴随着现代物理学、空间技术、电子技术、计算机技术、信息科学、环境科学等的发展，遥感技术目前已经成为一种影像遥感和数字遥感相结合的先进、实用的综合性探测手段，广泛应用于农业、林业、地理、水文、海洋、气象、环境监测、地球资源勘探以及军事侦察等各个领域。

遥感 (Remote Sensing, RS) 是通过遥感器这类对电磁波敏感的仪器，在远离目标和非接触目标物体条件下探测目标地物，获取其反射、辐射或散射的电磁波信息 (如电场、磁场、电磁波、地震波等信息)，并进行提取、判定、加工处理、分析与应用的一门科学和技术。

按所利用的电磁波的光谱段分类，可将遥感分为可见光/反射红外遥感、热红外遥感、微波遥感三种类型。

(1) 可见光/反射红外遥感。该类型是指利用可见光 ($0.4 \sim 0.7\mu\text{m}$) 和近红外 ($0.7 \sim 2.5\mu\text{m}$) 波段的遥感技术统称，前者是人眼可见的波段，后者是反射红外波段，人眼虽不能直接看见，但其信息能被特殊遥感器所接收。两者共同的特点是，辐射源都是太阳，在这两个波段上只反映地物对太阳辐射的反射，根据地物反射率的差异，就可以获得有关目标物的信息，它们都可以用摄影方式

和扫描方式成像。

(2) 热红外遥感。该类型是指通过红外敏感元件, 探测物体的热辐射能量, 显示目标的辐射湿度或热场图像的遥感技术的统称。遥感中, 地物在常温(约 300K)下热辐射的绝大部分能量位于 $8 \sim 14\mu\text{m}$ 波段范围, 在此波段地物的热辐射能量大于太阳的反射能量。热红外遥感具有昼夜工作的能力。

(3) 微波遥感。该类型是指利用波长 $1 \sim 1000\text{mm}$ 电磁波遥感技术的统称。通过接收地面物体发射的微波辐射能量, 或接收遥感仪器本身发出的电磁波束的回波信号, 对物体进行探测、识别和分析。微波遥感的特点是对云层、地表植被、松散沙层和干燥冰雪具有一定的穿透能力, 且能夜以继日的全天候工作。

按遥感平台的高度分类大体上可分为航天遥感、航空遥感和地面遥感。

(1) 航天遥感。称为太空遥感 (Space Remote Sensing), 泛指利用各种太空飞行器为平台的遥感技术系统, 以地球人造卫星为主体, 包括载人飞船、航天飞机和太空站, 有时也把各种行星探测器包括在内。卫星遥感是航天遥感的组成部分, 以人造地球卫星作为遥感平台, 主要利用卫星对地球和低层大气进行光学和电子观测。

(2) 航空遥感。泛指从飞机、飞艇、气球等空中平台对地观测的遥感技术系统。

(3) 地面遥感。主要指以高塔、车、船为平台的遥感技术系统, 地物波谱仪或传感器安装在这些地面平台上, 可进行各种地物波谱测量。

遥感作为一门对地观测综合性技术, 它的出现和发展是人们认识和探索自然界的客观需要, 更有其他技术手段无法比拟的如下特点:

(1) 大面积同步观测。遥感探测能在较短的时间内, 从空中乃至宇宙空间对大范围地区进行对地观测, 并从中获取有价值的遥感数据。例如, 一张陆地卫星图像, 其覆盖面积可达 3 万多平方千米。这种展示宏观景象的图像, 对地球资源和环境分析极为重要。

(2) 时效性强。获取信息的速度快、周期短。由于卫星围绕

地球运转，从而能及时获取所经地区的各种自然现象的最新资料，以便更新原有资料，或根据新旧资料变化进行动态监测，这是人工实地测量和航空摄影测量无法比拟的。例如，陆地卫星 4、5，每 16 天可覆盖地球一遍；NOAA 气象卫星每天能收到两次图像；Meteosat 每 30 分钟获得同一地区的图像。

(3) 数据的综合性与可比性。遥感探测所获取的是同一时段、覆盖大范围地区的遥感数据，这些数据综合展现了地球上许多自然与人文现象，宏观地反映了地球上各种事物的形态与分布，真实地体现了地质、地貌、土壤、植被、水文、人工构筑物等地物的特征，全面揭示了地理事物之间的关联性，并且这些数据在时间上具有相同的现势性。同时，遥感探测获取信息的手段多、信息量大。根据不同的任务，遥感技术可选用不同波段和遥感仪器来获取信息。例如，可采用可见光探测物体，也可采用紫外线、红外线和微波探测物体。利用不同波段对物体不同的穿透性，还可获取地物内部信息，如地面深层、水的下层、冰层下的水体、沙漠下面的地物特性等，微波波段还可以全天候地工作。

(4) 较高的经济与社会效益。遥感探测获取信息受条件限制少。在地球上有很多地方，自然条件极为恶劣，人类难以到达，如沙漠、沼泽、高山峻岭等。遥感技术由于不受地面条件的限制，可方便及时地获取各种宝贵资料。

二、遥感信息的提取方式

遥感信息提取的方式主要有三种：目视判读提取、基于分类的遥感信息提取和基于知识发现的遥感专题信息提取。

1. 目视判读提取

目视判读提取是早期从遥感影像中提取信息的主要方法。目视判读能综合利用地物的色调或色彩、形状、大小、阴影、纹理、图案、位置和布局等影响特征知识，以及有关地物的专家知识，并结合其他非遥感数据资料，进行综合分析和逻辑推理，因此可以提取较高精度的专题信息。与非遥感的传统方法相比，该方法具有明显的优势。

2. 基于分类方法的遥感信息提取

该方法是遥感信息提取中最常使用的方法之一，其技术核心是对遥感图像的分割，分为非监督分类和监督分类。对非监督分类而言，其所分的结果需要专家进行判读和类别的归并，并最终确定其所需的类型。对监督分类而言，需要选取大量的训练样区，而训练样区的选取不仅费工而且还很费时，训练样区选择的好坏也直接影响分类的结果。由于分类是建立在数理统计的基础之上，没有建立在对遥感信息机理分析和知识挖掘的基础上，这样就使得它难以实现遥感图像专题信息提取的全自动化。为此，基于知识发现的遥感专题信息提取将成为另一个相当有发展前途的方向。

3. 基于知识发现的遥感专题信息提取

基于知识发现的遥感专题信息提取是遥感信息提取的发展趋势。其基本内容包括知识的发现，应用知识建立提取模型，利用遥感数据和模型提取遥感专题信息。在知识发现方面，包括从单期遥感图像上发现有关地物的光谱特征知识、空间结构与形态知识、地物之间的空间关系知识。其中，空间结构与形态知识包括地物的空间纹理知识、形状知识以及地物边缘形状特征知识。从多期遥感图像中，除了可以发现以上知识外，还可以进一步发现地物的动态变化过程知识；从 GIS 数据库中可以发现各种相关知识。在利用知识建立模型方面，主要是利用所发现的某种知识、某些知识或所有知识建立相应的遥感专题信息提取模型。基于知识发现的遥感专题信息提取主要包括了基于光谱信息知识的遥感专题信息提取、基于地物纹理知识的专题信息提取和基于地物形状知识的专题信息提取。

三、遥感图像处理

遥感图像处理是指对遥感图像进行一系列的操作，以求达到预期目的的技术。遥感图像处理可分为两类：一是利用光学、照相和电子学方法对遥感模拟图像（照片、底片）进行处理，简称为光学处理；二是利用计算机对遥感数字图像进行一系列操作，从而获得某种预期结果的技术，称为遥感数字图像处理。遥感数字图像处

理,根据抽象程度不同,可分为三个层次:狭义的图像处理、图像分析和图像解译。狭义的图像处理着重强调在图像之间进行变换。图像分析主要是对图像中感兴趣的目标进行检测和量测,从而建立对图像的描述。图像解译是进一步研究图像中各目标物的性质、特征和它们之间的相互关系,并得出对图像内容的理解以及对原来地面客观地物、场景的解译,从而为生产、科研提供真实、全面的客观世界方面的信息。

1. 遥感图像校正

遥感图像校正是指从具有畸变的图像中消除畸变的处理过程,其中包括辐射校正和几何校正。

1) 辐射校正

利用遥感器观测目标物辐射或反射的电磁能量时,从遥感器得到的测量值与目标物的光谱反射率或光谱辐射亮度等物理量是不一致的,这是因为测量值中包含太阳位置及角度条件、薄雾等大气条件所引起的失真。辐射校正的目的就是为了消除这些辐射量失真。引起辐射畸变的因素有遥感器的灵敏度特性、太阳高度及地形、大气等。

由遥感器的灵敏度特性引起的畸变校正又可分为由光学系统的特性引起的畸变校正和由光电变换系统的特性引起的畸变校正。前者可以利用理想的光学系统中某点的光量与光轴到摄像面边缘的视场角的余弦几乎成正比这一性质进行校正,后者可以通过定期在地面测定光电变换系统的灵敏度特性进行校正。数据采用波段间的比值进行校正等。

由太阳高度及地形等引起的畸变校正又分为由于视场角和太阳角的关系引起的亮度变化的校正和由于地形倾斜的影响校正。前者可以通过推算阴影曲面的方法进行校正,后者可以采取用地表的法线矢量和太阳光入射矢量的夹角进行校正,以及对消除了光路辐射成分的图像数据采用波段间的比值进行校正。

由大气影响引起的畸变校正方法主要有直方图最小值去除法和回归分析法。

2) 几何校正

当遥感图像在几何位置上发生了变化,产生诸如行列不均匀、像元大小与地面大小对应不准确、地物形状不规则变化等畸变时,即说明遥感影像发生了几何畸变。引起遥感影像变形的原因主要有遥感器的内部畸变、遥感平台位置和运动状态变化的影响、地形起伏的影响、地球表面曲率的影响、大气折射的影响、地球自转的影响等。

几何畸变校正是指从具有几何畸变的图像中消除畸变的过程,即定量地确定图像上的像元坐标(图像坐标)与目标物的地理坐标(地图坐标等)的对应关系(坐标变换式)。几何校正又分为几何粗校正和几何精校正。几何粗校正是对引起畸变的原因而进行的校正。几何精校正则是利用控制点进行的几何校正,它是用一种数学模型来近似描述遥感图像的几何畸变过程,并利用畸变的遥感图像与标准地图之间的一些对应点求得这个几何畸变模型,然后利用此模型进行几何畸变的校正,这种校正不考虑引起畸变的原因,它是常用的几何畸变校正方法。

2. 遥感图像增强

数字图像通常存在目视效果较差、对比度不够、图像模糊、边缘部分或线状地物不够突出、数据冗余等问题,因此需要对遥感图像进行图像增强处理,改变图像的灰度等级,提高图像的对比度,消除边缘和噪声,平滑图像,突出边缘或线状地物,锐化图像,压缩图像数据量,突出主要信息,合成彩色图像。图像增强的方法从增强的作用域出发,可分为空间域增强和频率域增强。空间域增强是通过改变单个像元及相邻像元的灰度值来增强图像;频率域增强是对图像经傅立叶变换后的频谱成分进行处理,然后逆傅立叶变换获得所需的图像。

1) 辐射增强

这是指辐射增强时,通过直接改变图像中像元的亮度值来改变图像的对比度,从而改善图像质量的图像处理方法,主要手段有灰度变换、直方图修正法。

2) 图像平滑

任何一幅原始图像在其获取和传输的过程中会受到各种噪声的

干扰从而导致图像恶化、质量下降、图像模糊、特征淹没，不利于图像的分析，因此，需要对图像进行图像平滑处理。图像的平滑处理是指为了抑制噪声，改善图像质量所进行的处理，它可以在空间和频率域中进行。

3) 图像锐化

在图像的识别中，经常需要突出边缘、轮廓、线状目标信息。图像锐化就是补偿图像的轮廓、增强图像的边缘及灰度跳变的部分，使图像变得清晰。图像平滑通过积分过程使得图像边缘模糊，而图像锐化则是通过微分过程使得图像边缘突出、清晰。

4) 彩色增强

彩色增强技术是利用人眼的视觉特性将灰度图像编成彩色图像或者改变彩色图像已有彩色的分布，从而改善图像的可分辨性。彩色增强方法又可分为伪彩色增强和假彩色增强。

5) 多光谱增强

多光谱增强技术是通过通过对多光谱图像进行线性变化，减少各波段信息之间的冗余，达到保留主要信息，压缩数据量，增强和提取更有目视解译效果的新波段数据的目的。

3. 图像融合

遥感图像融合是指将不同类型传感器获取的同一地区影像数据进行空间配准，然后采用一定的算法，将各影像数据中所含的信息优势有机综合，并产生新影像数据的技术。新数据比直接从众多信息源得到的信息更加简洁、更小冗余，具有描述所研究对象更为优化的信息表征。图像融合的优点在于提高影像的空间分辨率和清晰度，提高平面测图精度、分类的精度和可靠性，增强解译和动态监测能力，减少模糊度，有效地提高遥感影像数据的利用率。图像融合的方法主要有主成分分析法（PCA）、乘法、Brovey 变换法、HIS 变换法、高通滤波变换法。

四、遥感图像解译

遥感图像解译是指从遥感图像上获取目标地物信息的过程，包括了目视解译和计算机解译。

1. 目视解译

目视解译是指专业人员通过直接观察或借助判读仪器在遥感图像上获取特定目标地物信息的过程。目视解译是遥感成像的逆过程。遥感影像目视解译的标志包括色调、形状、大小、阴影、图型、纹理、位置、布局,其中,色调是最重要、最直观的解译标志。遥感图像目视解译的一般顺序是从已知到未知、先易后难、先山区后平原、先地表后深部、先整体后局部、先宏观后微观、先图形后线形。

2. 计算机解译

计算机解译又称为遥感图像理解,它以计算机系统为支撑,利用模式识别技术与人工智能技术相结合,利用遥感图像中目标地物的各种影像特征(颜色、形状、纹理与空间位置),结合专家知识库中目标地物的解译经验和成像规律等知识进行分析和推理,实现对遥感图像的理解,完成对遥感图像的解译。

五、“资源三号”卫星系统

1. 概述

长期以来,我国获取各种地理空间信息影像主要是依靠航空摄影和采购卫星遥感影像等手段,但由于航空摄影受天气、航空管制等诸多因素影响,目前我国航空摄影的成像能力远远满足不了国民经济发展的需求,因而对高分辨率卫星遥感影像的需求异常迫切。国家每年需花费大量的经费购买国外卫星遥感影像,用于基础地理信息产品的生产与更新,但由于国外遥感卫星不是专门针对我国测绘需求设计的,因而在测区范围、覆盖周期等方面受到严重的制约,无法实时有效地获取地面原始影像。高分辨率卫星遥感影像贫乏,已经成为制约我国地理信息产业发展的瓶颈问题。“资源三号”卫星系统就是为解决这一瓶颈问题而开发的。

“资源三号”卫星系统是由中国航天科技集团所属中国空间技术研究院研制生产的,是中国第一颗自主的民用高分辨率立体测绘卫星,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。该卫星通过立体观测,可以测绘

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”将填补我国立体测图这一领域的空白。“资源三号”卫星系统可对地球南北纬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,设计工作寿命为4年。

2. “资源三号”卫星系统的组成

“资源三号”卫星系统由卫星系统、运载火箭系统、发射场系统、测控系统、地面系统、应用系统六大系统组成。

(1) 卫星系统。卫星由有效载荷和服务平台两部分组成,由中国航天科技集团公司第五研究院研制生产。

(2) 运载火箭系统。“资源三号”卫星将采用由中国航天科技集团公司第八研究院研制生产的长征四号乙(CZ-4B)运载火箭发射。

(3) 发射场系统。太原卫星发射中心负责“资源三号”卫星发射。

(4) 测控系统。西安卫星测控中心负责卫星测控任务。

(5) 地面系统。地面系统负责接收“资源三号”卫星数据,并及时传送给应用系统。地面系统将在现有陆地观测卫星数据全国接收站网的基础上,由分布在北京、喀什、三亚的三个地面接收站接收并传输。

(6) 应用系统。作为卫星主用户,国家测绘地理信息局负责“资源三号”卫星应用系统的建设。将建设一个业务化运行的卫星应用系统,长期、稳定、高效地将高分辨率卫星影像转化为高质量的基础地理信息产品,形成基于“资源三号”卫星的基础地理信息生产与更新的技术应用体系,充分发挥“资源三号”卫星工程效益。

3. “资源三号”卫星相关技术介绍

1) “资源三号”测绘卫星平台和载荷的基本参数

根据我国航天卫星平台的发展和应用经验,“资源三号”测绘卫星采用我国资源卫星系列使用的大卫星平台,卫星平台的主要参数如表1-1所示。

表 1-1 “资源三号” 卫星平台参数

平台指标	指标参数
卫星重量 (kg)	2650
星上固存容量 (TB)	1
平均轨道高度 (km)	505.984
轨道倾角 (°)	97.421
降交点地方时	10 点 30 分
轨道周期 (min)	97.716
回归周期 (d)	59
设计寿命 (a)	5

“资源三号” 测绘卫星上搭载 4 台光学相机，其中 3 台全色相机按照前视 22°、正视和后视 22°设计安装，构成了三线阵立体测图相机；另一台多光谱相机包含红、绿、蓝和红外 4 个谱段，用于与正视全色影像融合和地物判读与解译。为了保证卫星影像的辐射质量，4 台光学相机的影像都是按照 10bit 进行辐射量化，“资源三号” 测绘卫星 4 个相机的主要参数见表 1-2。

表 1-2 “资源三号” 卫星载荷主要参数

载荷参数	三线阵相机	多光谱相机
光谱范围 (μm)	0.5 ~ 0.8	蓝: 0.45 ~ 0.52 绿: 0.52 ~ 0.59 红: 0.63 ~ 0.69 近红外: 0.77 ~ 0.89
地面像元分辨率 (m)	下视 2.1 前后视 3.5	5.8
焦距 (mm)	1700	1750
量化比特数 (bit)	10	10
像元尺寸	下视 24387 (8129 × 3) × 7 μm 前后视 16384 (4096 × 4) × 10 μm	9216 (3072 × 3) × 20 μm