

光学遥感图像 仿真及应用

GUANGXUE YAOGAN TUXIANG FANGZHEN JI YINGYONG

■ 顾有林 方胜良 编著 ■



国防工业出版社

National Defense Industry Press

国家自然科学基金项目

中国科学院通用光学定标与表征技术重点实验室开放研究基金资助

光学遥感图像仿真及应用

顾有林 方胜良 编著



国防工业出版社

内 容 简 介

近年来随着遥感技术和计算机技术的飞速发展,光学遥感图像仿真及应用成了遥感技术应用的一个重要组成部分。本书从基本概念和技术入手,系统地介绍了光学遥感图像仿真及应用,内容涉及光学遥感图像仿真技术、方法及应用的各主要环节,其中重点阐述了光学遥感图像仿真技术及方法,另外详细阐述了光学遥感图像仿真平台在伪装评估中的应用。

本书内容涉及遥感、大气、空间工程、数据处理等多个学科,适合空间工程、遥感技术及应用、地球科学等领域的科技工作者与工程技术人员阅读,也可以作为相关专业的研究生专业课教材与高年级本科生专业选修课教材。

图书在版编目(CIP)数据

光学遥感图像仿真及应用/顾有林,方胜良编著. —北京:国防工业出版社,2014.9
ISBN 978-7-118-09727-6

I. ①光... II. ①顾... ②方... III. ①光学遥感-遥感图象-研究 IV. ①TP75

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 200226 号

※

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

北京嘉恒彩色印刷有限责任公司

新华书店经售

*

开本 710 × 1000 1/16 印张 10½ 字数 203 千字

2014 年 9 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2000 册 定价 45.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

前 言

光学遥感图像仿真技术是一门涵盖了多个学科的综合技术,涉及辐射度学、大气、光学遥感、数据处理等学科和技术。

本书从基本概念和技术入手,系统地介绍了光学遥感图像仿真及应用,内容涉及光学遥感图像仿真技术、方法及应用的各主要环节,其中重点阐述了光学遥感图像仿真技术及方法,另外详细阐述了光学遥感图像仿真平台在伪装评估中的应用。

本书共分 8 章,第 1 章介绍了遥感过程,简要阐述了几种常见的遥感器及遥感图像仿真概念。第 2 章介绍遥感图像仿真过程中将要用到的遥感物理学基础,主要包括电磁学与电磁波谱、辐射物理量、辐射测量基本定律以及遥感器端总辐射能量等。第 3 章介绍地物电磁波谱特性,介绍光谱测量仪器、光谱测量流程以及地物电磁波谱特性等。第 4 章主要阐述辐射传输原理及仿真方法,首先介绍辐射传输方程,然后回顾几种常见的大气辐射传输算法,最后给出遥感图像仿真中用到的大气辐射传输组件的设计与实现方法。第 5 章主要论述遥感图像仿真过程中所涉及的遥感成像场景的仿真,首先从理论上分析遥感图像分类归类方法,接着介绍几种主要的遥感图像分类方法,最后以迭代自组织数据分析算法(Iterative Selforganizing Data Analysis Techniques Algorithm, ISODATA)为例给出其分类实例。第 6 章主要阐述反射率反演模型,主要介绍基于图像数据本身的反演方法、已知地物光谱反射率的反演方法以及基于大气传输理论的辐射传输模型。第 7 章给出遥感图像仿真的技术及具体方法,首先回顾国内外遥感图像仿真技术进展,接着设计光学遥感图像模拟软件总体结构及功能,在此基础上设计并实现基于 COM 组件的光学遥感图像模拟软件(Optical Remote Sensing Imaging Simulation, ORSIS),最后给出软件系统的操作界面及仿真结果。第 8 章针对光学遥感图像仿真平台给出一个具体的应用实例,首先分析国内外伪装评估现状,接着设计基于光学遥感图像仿真平台的伪装评估软件并仿真得到的相关结果,利用一定的伪装效果评估算法进行分析得到伪装

效果。

本书的编写和出版是在合肥电子工程学院和中国科学院通用光学定标与表征技术重点实验室的支持和帮助下完成的。合肥电子工程学院的胡以华、尹成友、樊祥、雷武虎等教授在本书撰写过程中给予了很多指导,在此表示诚挚的谢意。中国科学院安徽光学精密机械研究所和中国科学院通用光学定标与表征技术重点实验室的乔延利、易维宁、郑小兵、方勇华等领导老师在本书编写过程中给予了大力支持,在此表示衷心感谢。书中内容,除来自作者的研究成果之外,还引用和归纳了国内外同行专家、学者的研究成果,特向各位同行致谢。若参考文献有疏漏,敬请海涵。

本书是光学遥感图像仿真方面的入门参考书,既可作为光学工程专业的研究生教材,又可作为相关专业科研人员和工程技术人员的参考书。

由于作者的技术水平和知识面有限,加之光学遥感图像仿真技术在飞速发展,书中难免存在缺点和错误,欢迎读者批评指正。

作者

2014年6月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 遥感过程	1
1.2 遥感器简述	2
1.2.1 陆地卫星系统	2
1.2.2 QuickBird 卫星系统	6
1.2.3 IKONOS 卫星系统	7
1.2.4 SPOT-5 卫星系统	7
1.2.5 CBERS	8
1.3 遥感图像仿真简介	10
1.3.1 遥感	10
1.3.2 遥感图像	11
1.3.3 遥感图像仿真	13
1.4 小结	15
参考文献	15
第 2 章 遥感物理学基础	16
2.1 电磁波与电磁波谱	16
2.1.1 电磁波	16
2.1.2 电磁波谱	19
2.2 辐射物理量	21
2.2.1 立体角	21
2.2.2 辐射能	22
2.2.3 辐射通量	22

2.2.4	辐射强度	22
2.2.5	辐射出射度	22
2.2.6	辐射照度	23
2.2.7	辐射亮度	24
2.3	辐射测量基本定律	25
2.3.1	普朗克定律	25
2.3.2	维恩位移定律	26
2.3.3	瑞利—琼斯定律	26
2.3.4	斯特藩—玻耳兹曼定律	26
2.3.5	基尔霍夫定律	27
2.4	辐射源	27
2.4.1	太阳辐射	27
2.4.2	地球辐射	29
2.5	遥感器端总辐射能量	30
2.5.1	可见光到近红外波段辐射	30
2.5.2	热红外波段辐射	32
2.6	小结	33
	参考文献	34
第3章	地物电磁波谱特性	35
3.1	光谱测量仪器	35
3.1.1	地面非成像光谱仪	35
3.1.2	成像光谱仪	41
3.2	光谱测量流程	48
3.2.1	地物反射率	48
3.2.2	地物发射率	53
3.3	地物电磁波谱特性	60
3.3.1	地物反射波谱特性	60
3.3.2	地物发射波谱特性	62
3.4	小结	63

参考文献	64
第4章 辐射传输原理及仿真方法	65
4.1 辐射传输方程	65
4.1.1 通用辐射传输方程	65
4.1.2 平面平行大气的辐射传输方程	66
4.1.3 热红外辐射传输方程	68
4.1.4 三维不均匀介质中的辐射传输方程	71
4.2 大气辐射传输算法	72
4.2.1 LOWTRAN 软件	72
4.2.2 MODTRAN 软件	72
4.2.3 FASCODE 软件	73
4.2.4 6S 软件	73
4.2.5 DISORT 算法	73
4.2.6 SHARC 软件	74
4.2.7 SAMM 软件	74
4.2.8 CART 软件	74
4.3 大气辐射传输组件设计与实现	75
4.3.1 组件技术简介	75
4.3.2 大气辐射传输组件设计与实现	77
4.3.3 大气辐射传输组件测试	82
4.3.4 结论	84
4.4 小结	85
参考文献	85
第5章 光学遥感图像分类模型	87
5.1 光学遥感图像分类归类方法	87
5.1.1 监督分类和非监督分类	87
5.1.2 参数分类和非参数分类	88
5.1.3 硬分类和软分类	88

5.2	光学遥感图像分类方法	89
5.2.1	ISODATA 分类法	89
5.2.2	最大似然分类法	93
5.2.3	人工神经网络分类法	97
5.3	ISODATA 聚类法分类实例	102
5.4	小结	105
	参考文献	105
第 6 章	反射率反演模型	106
6.1	基于图像数据本身的反演方法	106
6.1.1	内部平均法	106
6.1.2	平场域法	107
6.1.3	对数残差法	107
6.2	已知地物光谱反射率的反演方法	108
6.2.1	经验线性法	108
6.2.2	混合光谱方法	109
6.3	基于大气传输理论的辐射传输模型	109
6.3.1	6S 模型	110
6.3.2	MODTRAN 模型	110
6.4	小结	112
	参考文献	112
第 7 章	光学遥感图像仿真技术及方法	113
7.1	国内外遥感图像仿真技术进展	113
7.1.1	Vega 仿真模块	114
7.1.2	高光谱遥感系统软件仿真器 SENSOR ^[4]	116
7.1.3	遥感成像仿真软件 DIRSIG	119
7.1.4	专业遥感成像仿真软件 RSIS	121
7.1.5	航天光学遥感器系统仿真软件	123
7.2	光学遥感图像模拟软件 ORSIS 总体结构及功能设计	125

7.2.1	光学遥感图像模拟软件 ORSIS 总体结构	125
7.2.2	地物景象光学特性仿真	126
7.2.3	大气光学辐射传输仿真	126
7.2.4	传感器仿真	127
7.3	基于 COM 组件的光学遥感图像模拟软件 ORSIS 设计与实现	128
7.3.1	光学遥感图像模拟软件仿真流程	128
7.3.2	基于 COM 组件的光学遥感图像模拟软件设计	130
7.3.3	图像处理组件 ImageProcCOM 的设计与实现	131
7.4	光学遥感图像模拟软件操作界面及仿真结果	132
7.5	小结	136
	参考文献	136
第 8 章	光学遥感图像仿真应用	138
8.1	国内外伪装评估现状	138
8.1.1	便携式运动士兵伪装评估系统 MACE	139
8.1.2	单兵伪装仿真与有效性评估	139
8.1.3	基于物理宽波段场景仿真的伪装评估 工具 CAMEO - SIM	140
8.1.4	伪装评估软件 CAMEVA	141
8.1.5	军事目标伪装的计算机仿真和效果检验系统	142
8.2	基于光学遥感图像仿真平台的伪装评估设计	142
8.2.1	生成地面反射率图像	144
8.2.2	正演光学遥感器图像仿真	146
8.2.3	仿真结果分析	150
8.3	小结	156
	参考文献	156

第1章 绪 论

遥感作为一门综合技术,是美国学者 E. L. Pruitt 在 1960 年提出来的。为了比较全面地描述这种技术和方法,E. L. Pruitt 把遥感定义为“以摄影方式或非摄影方式获得被探测目标的图像或数据的技术”。从现实意义上看,一般称遥感是通过某种传感器装置,在不与研究对象直接接触的情况下,获取其特征信息,并对这些信息进行提取、加工、表达和应用的一门技术^[1]。

遥感首先起步于航空摄影测量,随着空间技术、信息技术、电子计算机技术等现代高新技术的迅速发展,遥感逐步发展成为一门新兴交叉科学技术。随着对遥感基础理论研究的深入,遥感器也得到了极大的发展(表现为空间、光谱、时间及辐射分辨能力的提高),遥感信息已成为资源、环境、气象、海洋、测绘、探月、空间科学及军事应用不可或缺的数据源。

1.1 遥感过程

遥感过程是指遥感信息的获取、传输、处理及其判读分析和应用的全过程。利用遥感器进行目标电磁波辐射能量采集的过程如图 1.1 所示。

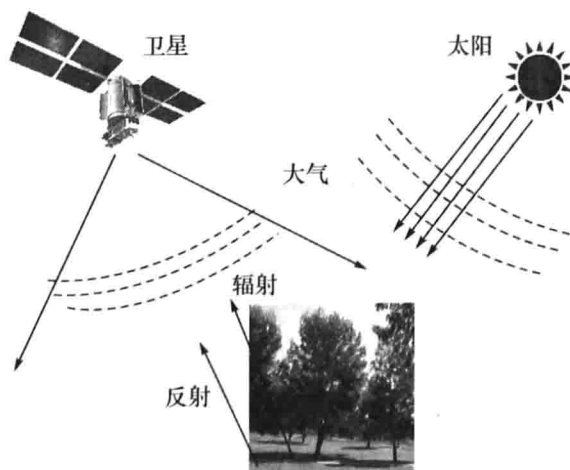


图 1.1 遥感过程示意图

由图 1.1 可知,遥感过程经历了辐射源—大气层—地球表面—大气层—探测器的过程。电磁波辐射能量来源于太阳辐射、目标自身热辐射和遥感器的电磁波发射,目标性质不同,在不同波段的电磁波反射和发射特性也不相同。目标电磁波反射或发射的能量经过大气层到达遥感器被收集、探测和记录,此过程会受到诸多因素的影响,比如太阳位置、大气状态、地表状态、遥感器性能和位置等,进而在遥感数据采集时会产生辐射误差和几何误差。遥感数据在应用时需要消除相关辐射误差和几何误差,根据应用目的不同进行相应的信息提取和分析工作,因此典型的遥感系统如图 1.2 所示。

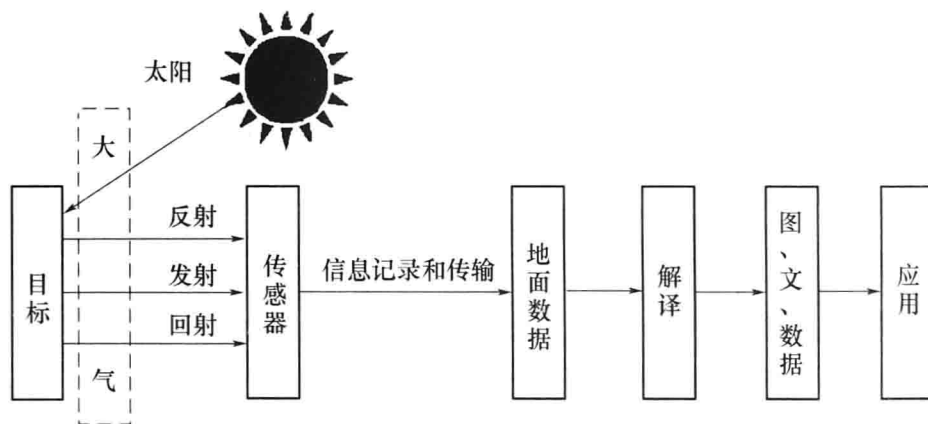


图 1.2 遥感系统组成

1.2 遥感器简述

由于卫星遥感获取资料迅速,成本相对较低,且不受地域限制,可以自由地获取境外目标的信息,因此经过五十余年的发展,遥感卫星在空间探测、资源调查、通信、导航、气象、海洋、测绘、探月和军事侦察等领域获得了广泛的应用。遥感器是研究遥感图像仿真的一个重要的组成部分,因此了解和认识国内外主要的遥感器及其基本参数显得十分必要。限于篇幅,下面简要介绍几种国内外常见的成像遥感器。

1.2.1 陆地卫星系统

美国宇航局 1972 年 7 月 23 日发射第一颗陆地卫星 Landsat - 1,然后陆续发射了 Landsat - 2 ~ Landsat - 8 卫星,以 Landsat - 1 ~ Landsat - 8 组成的陆地卫

星系统一直是全世界遥感的主力遥感卫星系统。该卫星系统主要面向陆地资源进行观测,由 8 颗系列卫星组成,经历了四代发展:第一代为 Landsat - 1、Landsat - 2、Landsat - 3,空间分辨率为 79m,只有 4 个波段;第二代为 Landsat - 4、Landsat - 5、Landsat - 6,其中 Landsat - 4、Landsat - 5 有 7 个波段,空间分辨率为 120m 和 30m,Landsat - 6 有 8 个波段,空间分辨率为 120m、30m 和 15m;第三代为 Landsat - 7, Landsat - 7 有 8 个波段,空间分辨率为 60m、30m 和 15m,第四代为 Landsat - 8,有 11 个波段,空间分辨率为 100m、30m 和 15m。8 颗陆地卫星的基本参数见表 1.1。

表 1.1 Landsat - 1 ~ Landsat - 8 的基本参数

陆地卫星名称	轨道高度/km	地表分辨率/m	波段数	发射时间	传感器	轨道倾角 /($^{\circ}$)
Landsat - 1 (ERTS ^① - 1)	915	79	4	1972 - 07	MSS	99.125
Landsat - 2 (ERTS - 2)	915	79	4	1975 - 01	MSS	99.125
Landsat - 3	915	79	4	1978 - 03	MSS	99.125
Landsat - 4 (D)	705	30、120	7	1982 - 07	MSS、TM	98.22
Landsat - 5	705	30、120	7	1984 - 03	MSS、TM	98.22
Landsat - 6	发射失败	15、30、120	8	1993 - 10	ETM	98.22
Landsat - 7	705	15、30、60	8	1999 - 04	ETM +	98.22
Landsat - 8	705	15、30、100	11	2013 - 02	OLI、TIRS	98.22

1. MSS

多光谱扫描仪 (Multi Spectral Scanner, MSS),属于光机扫描成像仪,其扫描方式为物空间摆动扫描,但仅在正扫描间获取图像。它把来自地面的电磁波辐射(反射或发射)分成 4 个波段(band)进行记录,各波段的名称和波段范围如表 1.2 所示。

表 1.2 MSS 传感器各波段参数

波段	波长范围/nm	分辨率/m
Band - 1	500 ~ 600	79
Band - 2	600 ~ 700	79
Band - 3	700 ~ 800	79
Band - 4	800 ~ 1100	79

① ERTS,英文全称为 earth resources technology satellites,即地球资源技术卫星。

2. TM

TM 是一种高级的多波段扫描型的地球资源敏感仪器,属空间分辨率、光谱分离度、几何保真度及辐射精度较高的新型遥感器系统,设有 7 个光谱波段,其主要参数如表 1.3 所示。

表 1.3 TM 传感器各波段参数

波段	类型	波长范围/nm	分辨率/m
Band - 1	蓝绿	450 ~ 520	30
Band - 2	绿色	520 ~ 600	30
Band - 3	红色	630 ~ 690	30
Band - 4	近红外	760 ~ 900	30
Band - 5	中红外	1550 ~ 1750	30
Band - 6	热红外	10400 ~ 12500	120
Band - 7	中红外	2080 ~ 2350	30

3. ETM

相对于 TM,增强型专题制图仪(Enhanced Thematic Mapper, ETM)作了一些变化和改进,ETM 增加了一个 15m 分辨率的全色通道。ETM 传感器的主要参数见表 1.4。

表 1.4 ETM 传感器各波段参数

波段	类型	波长范围/nm	分辨率/m
Band - 1	蓝绿	450 ~ 520	30
Band - 2	绿色	520 ~ 600	30
Band - 3	红色	630 ~ 690	30
Band - 4	近红外	760 ~ 900	30
Band - 5	中红外	1 550 ~ 1 750	30
Band - 6	热红外	10400 ~ 12500	120
Band - 7	中红外	2080 ~ 2350	30
Band - 8	全色	500 ~ 900	15

4. ETM +

ETM + 传感器,是在 TM 和 ETM 的基础上发展而来的,将热红外通道的分辨率提高到 60m。ETM + 传感器的主要参数见表 1.5。

表 1.5 ETM + 传感器各波段参数

波段	类型	波长范围/nm	分辨率/m
Band - 1	蓝绿	450 ~ 520	30
Band - 2	绿色	520 ~ 600	30
Band - 3	红色	630 ~ 690	30
Band - 4	近红外	760 ~ 900	30
Band - 5	中红外	1550 ~ 1750	30
Band - 6	热红外	10400 ~ 12500	60
Band - 7	中红外	2080 ~ 2350	30
Band - 8	全色	500 ~ 900	15

5. OLI

OLI 陆地成像仪包括 9 个波段,空间分辨率为 30m,其中包括一个 15m 的全色波段,成像宽幅为 185 × 185km。

OLI 包括了 ETM + 传感器所有的波段,为了避免大气吸收特征,OLI 对波段进行了重新调整,比较大的调整是 OLI Band5 (0. 845 ~ 0. 885 μm),排除了 0. 825 μm 处水汽吸收特征;OLI 全色波段 Band8 波段范围较窄,这种方式可以在全色图像上更好区分植被和无植被特征。

此外,还有两个新增的波段:蓝色波段 (band 1:0. 433 ~ 0. 453 μm) 主要应用海岸带观测,短波红外波段 (band9:1. 360 ~ 1. 390 μm) 包括水汽强吸收特征可用于云检测;近红外 band5 和短波红外 band9 与 MODIS 对应的波段接近。

OLI 传感器的主要参数见表 1.6。

表 1.6 OLI 传感器各波段参数

波段	类型	波长范围/nm	分辨率/m
Band - 1	蓝色	433 ~ 453	30
Band - 2	蓝绿	450 ~ 515	30
Band - 3	绿色	525 ~ 600	30
Band - 4	红色	630 ~ 680	30
Band - 5	近红外	845 ~ 885	30
Band - 6	中红外	1560 ~ 1660	30
Band - 7	中红外	2100 ~ 2300	30
Band - 8	全色波段	500 ~ 680	15
Band - 9	短波红外	1360 ~ 1390	30

6. TIRS

TIRS 将收集地球两个热区地带的热量流失,目标是了解所观测地带水分消耗,特别是美国西部干旱地区,见表 1.7。

表 1.7 TIRS 传感器各波段参数

波段	类型	波长范围/nm	分辨率/m
Band - 10	热红外	10600 ~ 11200	100
Band - 11	热红外	11500 ~ 12500	100

1.2.2 QuickBird 卫星系统

QuickBird 卫星(“快鸟”卫星)由 Ball 航天技术公司、柯达公司和 Fokker 空间公司联合研制,由数字地球公司运营,是目前世界上空间分辨率最高的商用卫星。地球观测公司于 2000 年 11 月 20 日发射了 QuickBird - 1 卫星,采用俄罗斯的运载火箭发射,但卫星未入轨而失败;2001 年 10 月 18 日采用美国波音公司运载火箭发射 QuickBird - 2 卫星获得成功,成为目前世界上分辨率最高、性能最优秀的一颗商用卫星。现在我们所称的 QuickBird 卫星即指 QuickBird - 2 卫星。该卫星全色波段(Panchromatic Band, Pan 波段)的地面分辨率为 0.61m (Pan 波段,星下点)至 2.44m(多光谱,星下点),地面覆盖宽度为 16.5 km,含大部分可见光和近红外波段信息,因此,非常适合用作遥感成像场景仿真的输入源。其基本参数见表 1.8。

表 1.8 QuickBird 卫星基本参数

发射地	加利福尼亚范登堡空军基地		发射工具	波音 Delta II 运载火箭
成像方式	推扫式成像		立体成像	沿轨/横轨迹方向
传感器	全波段	多光谱	星下点成像	沿轨/横轨迹方向(+/-25°)
分辨率/m	0.61(星下点)	2.44(星下点)	辐照宽度	以星下点轨迹为中心, 左右各 272 km
波长/nm	450 ~ 900	蓝:450 ~ 520	成像模式 /(km × km)	单景 16.5 × 16.5
		绿:520 ~ 600		条带 16.5 × 165
		红:630 ~ 690	轨道高度/km	98(太阳同步)
		近红外:760 ~ 900	重访周期/d	98(太阳同步)
量化值	11 位		质量/kg	1018
轨道倾角/(°)	97.2		飞行速度/(km · s)	7.1

1.2.3 IKONOS 卫星系统

IKONOS 卫星是美国空间成像公司为了满足高解析度和高精度空间信息获取而设计制造的,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 1m 的卫星影像,而且开拓了一个新的更快捷、更经济获取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-1 于 1999 年 4 月 27 日发射失败。1999 年 9 月 24 日,IKONOS-2 发射成功。

该卫星传感器系统由美国伊斯曼-柯达公司研制,全色波段的地面分辨率为 1m,多光谱波段的地面分辨率为 4m,可用作遥感成像场景仿真的输入源。其基本参数见表 1.9。

表 1.9 IKONOS 卫星基本参数

发射地	加利福尼亚范登堡空军基地		发射工具	Athena II 运载火箭
传感器	全波段	多光谱	扫描宽度/km	11
分辨率/m	1	4	轨道倾角	98.1
波长/nm	450 ~ 900	蓝:450 ~ 520	飞行速度/(km · s)	6.5 ~ 11.2
		绿:520 ~ 600	轨道周期/min	98
		红:600 ~ 690	轨道高度/km	681
		近红外:760 ~ 900	重访周期/d	2.9(1m 分辨率); 1.5(1.5m 分辨率)
量化值	11 位		质量/kg	817

1.2.4 SPOT-5 卫星系统

为了合理地管理地球资源和环境,开展空间测图研究,1978 年 2 月法国政府批准了一项“地球观测实验卫星”(SPOT)计划。它是法国空间中心为主设计制造的,由法国国家地理学院负责图像处理工作。法国于 1986 年—2002 年陆续发射了 5 颗 SPOT 卫星,具体发射时间见表 1.10,其中 SPOT-3 卫星运行 4 年后在 1997 年 11 月 14 日由于事故停止运行。