

# 遥感导论——中文导读

柯樱海 甄贞 李小娟 宫辉力 编著



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn

# 遥感导论——中文导读

柯樱海 甄贞 李小娟 宫辉力 编著



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn

·北京·

## 内 容 提 要

本书是 Introduction to Remote Sensing (Fifth Edition) (The Guilford Press, 2011) 一书的中文导读。《Introduction to Remote Sensing (Fifth Edition)》一书由美国弗吉尼亚理工大学 James B. Campbell 教授和 Randolph H. Wynne 教授共同编著, 通过 4 篇共 21 章循序渐进地阐述了遥感的基本原理、方法和应用。第 1 篇 (第 1 章和第 2 章) 介绍了遥感的历史和范畴以及电磁辐射原理; 第 2 篇 (第 3~10 章) 从航空遥感、陆地观测卫星、主动微波遥感、激光雷达以及热红外遥感等几个方面介绍了遥感数据获取方法, 并详细解释了数字影像以及影像分辨率的概念; 第 3 篇 (第 11~16 章) 阐述了遥感数据处理与分析的方法, 包括遥感数据预处理、影像分类、精度评估、变化检测以及高光谱遥感数据分析等; 第 4 篇为应用部分, 介绍了遥感在植物科学、地球科学、水文学、土地利用土地覆盖、全球变化遥感等多个领域的应用方法、成果和前景。全书内容全面, 实用性强, 已作为美国高校遥感课程的首选教材之一。为了使读者能够了解英文原书所述内容, 进而提高学习速度和学习水平, 针对每章节内容编写了中文导读。本书可结合原书, 为我国高等院校遥感、测绘、地理、环境、生态等专业遥感课程提供双语教材, 也可作为从事遥感应用领域的专业技术人员及研究工作者的参考工具书。

### 图书在版编目 (C I P) 数据

遥感导论: 中文导读 / 柯樱海等编著. — 北京: 中国水利水电出版社, 2019. 1  
ISBN 978-7-5170-6109-0

I. ①遥… II. ①柯… III. ①遥感技术—理论 IV. ①TP701

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第029398号

书 名	遥感导论——中文导读
作 者	YAOGAN DAOLUN——ZHONGWEN DAODU 柯樱海 甄贞 李小娟 宫辉力 编著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京中献拓方科技发展有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 11.25印张 267千字
版 次	2019年1月第1版 2019年1月第1次印刷
定 价	49.00元

凡购买我社图书, 如有缺页、倒页、脱页的, 本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

# 前 言

近几十年来，遥感和地球空间信息科学正以难以置信的速度发展着。遥感数据的获取分析技术及其应用领域的多样性和广泛性正在经历日新月异的变化。这些发展对于该领域教科书的编写提出了巨大的挑战。不仅如此，由于该领域的有关资料已大量存在，互联网上提供的相关素材也非常全面，从而引发了人们对于大学教材的思考——专业内容可通过上述渠道对所有读者开放，是否还有必要编写大学教材？美国弗吉尼亚理工大学 James B. Campbell 教授和 Randolph H. Wynne 教授出于对该问题的思考，提出，尽管互联网可作为所有遥感专业学生的学习资源之一，但其相关内容纷繁芜杂，且随着遥感技术的迅速发展而瞬息万变，这反而使得导论类教材更加具有必要性及重要性。

因此，《Introduction to Remote Sensing (Fifth Edition)》一书问世了。该书通过遥感基础、影像获取、遥感数据分析和遥感应用 4 个部分共 21 章循序渐进地介绍遥感知识。其内容全面，实用性强，该书已经成为美国高校遥感课程的首选教材之一。

在我国，随着高等教育国际化进程的全面推进，越来越多的高校开始使用国外原版教材。而对于刚踏入专业领域的大学生，由于对专业内容、专业词汇的陌生，全英文教材往往显得晦涩难懂。编者在多年的双语教学实践过程中发现，如果对原版教材中的专业词汇、术语进行中文注释，并在每章开头增加中文概要，则有利于学生对专业内容的理解。为此，编写了《Introduction to Remote Sensing (Fifth Edition)》一书的中文导读。针对原书的每一章节，本书提供了相应的中文概览，介绍了该章节重要的知识点，并在书后提供了专业术语的中英文对照。本书可为读者学习原著提供专业知识层面的向导。高校师生可将本书与原著结合，作为遥感课程的双语教材。对于将要从事遥感行业的学生来说，本书不仅是一本遥感学科的导论，还为学生今后针对遥感学科某一专门领域进行深入学习提供一个框架。本书也为其他专业的学生提供了一个综述和导论，帮助他们理解遥感在不同学科的应用及其

重要性。学生可依据自己的专业特点针对本书中的相关章节进行重点学习。

由于作者水平有限，书中的缺点和不足在所难免，殷切希望广大读者批评指正。

作者

2017年10月

# 目 录

## 前言

<b>第 1 章 遥感发展史及其范畴</b> .....	1
1.1 引言 .....	1
1.2 遥感定义 .....	1
1.3 遥感史上的里程碑 .....	1
1.4 遥感流程综述 .....	2
1.5 遥感的几个关键概念 .....	2
1.6 就业准备和职业发展 .....	2
1.7 教学和学习资源 .....	3
<b>第 2 章 电磁辐射理论</b> .....	4
2.1 引言 .....	4
2.2 电磁波 .....	4
2.3 电磁波谱段划分 .....	4
2.4 辐射定律 .....	5
2.5 电磁能量与大气的相互作用 .....	5
2.6 电磁能量与地表的相互作用 .....	6
2.7 小结：遥感的三种模型 .....	6
2.8 教学和学习资源 .....	6
<b>第 3 章 制图摄影机</b> .....	7
3.1 引言 .....	7
3.2 航空摄影基础 .....	7
3.3 竖直航空像片的几何特性 .....	7
3.4 数字航空摄影机 .....	8
3.5 胶片像片的数字化扫描 .....	8
3.6 数字影像和模拟影像的比较 .....	8
3.7 光谱敏感性 .....	9
3.8 光学影像的波段合成 .....	9
3.9 多像片覆盖 .....	10



3.10	摄影测量学 .....	10
3.11	航空像片的来源 .....	10
3.12	小结 .....	11
3.13	教学和学习资源 .....	11
<b>第 4 章</b>	<b>数字影像</b> .....	<b>12</b>
4.1	引言 .....	12
4.2	数字图像 .....	12
4.3	光谱敏感性 .....	13
4.4	数字数据 .....	13
4.5	数据格式 .....	13
4.6	多光谱影像的波段合成 .....	14
4.7	图像增强 .....	14
4.8	图像显示 .....	15
4.9	遥感图像处理软件 .....	15
4.10	小结 .....	15
4.11	教学和学习资源 .....	15
<b>第 5 章</b>	<b>影像解译</b> .....	<b>16</b>
5.1	引言 .....	16
5.2	影像解译背景 .....	16
5.3	影像解译任务 .....	17
5.4	影像解译要素 .....	17
5.5	辅助信息 .....	18
5.6	影像可解译度等级量表 .....	18
5.7	影像解译指南 .....	18
5.8	多图层解译 .....	19
5.9	背景的意义 .....	19
5.10	立体视觉 .....	19
5.11	数据传输 .....	20
5.12	数字影像解译 .....	20
5.13	影像比例尺计算 .....	20
5.14	小结 .....	21
5.15	教学和学习资源 .....	21
<b>第 6 章</b>	<b>陆地观测卫星</b> .....	<b>22</b>
6.1	卫星遥感 .....	22
6.2	陆地卫星起源 .....	22
6.3	卫星轨道 .....	23
6.4	Landsat 系统 .....	23

6.5	多光谱扫描子系统 (MSS)	24
6.6	Landsat 专题制图仪 (TM)	25
6.7	Landsat 计划	25
6.8	现有卫星系统	26
6.9	数据存档和影像研究	28
6.10	小结	28
6.11	教学和学习资源	28
<b>第 7 章</b>	<b>主动微波</b>	<b>29</b>
7.1	引言	29
7.2	主动微波	29
7.3	雷达影像几何特征	30
7.4	波长	30
7.5	雷达信号的穿透能力	30
7.6	极化	31
7.7	观测方向和视角	31
7.8	真实孔径系统	31
7.9	合成孔径系统	32
7.10	亮度值解译	32
7.11	卫星成像雷达	33
7.12	雷达干涉	35
7.13	小结	36
7.14	教学和学习资源	36
<b>第 8 章</b>	<b>激光雷达</b>	<b>37</b>
8.1	引言	37
8.2	剖面激光	37
8.3	成像激光雷达	37
8.4	激光雷达影像	38
8.5	成像激光雷达类型	38
8.6	激光雷达图像数据处理	38
8.7	小结	39
8.8	教学和学习资源	39
<b>第 9 章</b>	<b>热红外影像</b>	<b>40</b>
9.1	引言	40
9.2	热探测器	40
9.3	热辐射测定	41
9.4	微波辐射计	41
9.5	热辐射扫描仪	42



9.6	物体的热性能	42
9.7	热图像的几何特征	43
9.8	热图像及其解译	43
9.9	热容制图任务	44
9.10	Landsat 多光谱扫描仪和专题制图仪中的热红外数据	45
9.11	小结	45
9.12	教学和学习资源	45
<b>第 10 章</b>	<b>影像分辨率</b>	<b>46</b>
10.1	引言和定义	46
10.2	目标变量	46
10.3	系统变量	47
10.4	运行状态	47
10.5	分辨率的度量	47
10.6	混合像元	48
10.7	空间和辐射分辨率: 简单案例	48
10.8	与景观的交互	48
10.9	小结	49
<b>第 11 章</b>	<b>预处理</b>	<b>50</b>
11.1	引言	50
11.2	辐射预处理	50
11.3	大气校正工具	50
11.4	由 DN 值计算辐射亮度	51
11.5	表观反射率估算	51
11.6	去条带及相关问题	52
11.7	图像特征识别	52
11.8	图像裁剪	53
11.9	重采样几何校正	53
11.10	数据融合	54
11.11	图像数据处理标准	54
11.12	小结	55
<b>第 12 章</b>	<b>图像分类</b>	<b>56</b>
12.1	引言	56
12.2	信息类别和光谱类别	56
12.3	非监督分类	57
12.4	监督分类	58
12.5	辅助数据	60
12.6	模糊分类	60

12.7	人工神经网络 .....	61
12.8	上下文图像分类 .....	61
12.9	面向对象图像分类 .....	61
12.10	迭代式光谱类别剔除方法 .....	62
12.11	小结 .....	62
12.12	教学和学习资源 .....	62
<b>第 13 章</b>	<b>地面实测数据 .....</b>	<b>63</b>
13.1	引言 .....	63
13.2	地面实测数据类型 .....	63
13.3	类型数据 .....	64
13.4	类型数据的记录 .....	64
13.5	生物物理数据 .....	64
13.6	地面辐射的测定 .....	65
13.7	无人机 .....	65
13.8	位置信息 .....	66
13.9	位置信息的利用 .....	67
13.10	地面摄影 .....	67
13.11	地理抽样 .....	67
13.12	小结 .....	68
13.13	教学和学习资源 .....	68
<b>第 14 章</b>	<b>精度评价 .....</b>	<b>69</b>
14.1	定义及意义 .....	69
14.2	分类误差的来源 .....	69
14.3	误差特性 .....	70
14.4	地图精度测量 .....	70
14.5	误差矩阵解译 .....	71
14.6	小结 .....	72
<b>第 15 章</b>	<b>高光谱遥感 .....</b>	<b>73</b>
15.1	引言 .....	73
15.2	光谱学 .....	73
15.3	高光谱遥感 .....	73
15.4	机载可见光/红外成像光谱仪 .....	74
15.5	图像立方体 .....	74
15.6	光谱库 .....	74
15.7	光谱匹配 .....	75
15.8	光谱混合分析 .....	75
15.9	光谱角制图 .....	75

15.10	分析	76
15.11	高光谱图像小波分析	76
15.12	小结	76
<b>第 16 章</b>	<b>变化检测</b>	<b>77</b>
16.1	引言	77
16.2	双时相光谱变化检测技术	77
16.3	多时相光谱变化检测	79
16.4	小结	80
<b>第 17 章</b>	<b>植物科学</b>	<b>81</b>
17.1	引言	81
17.2	叶片结构	82
17.3	活叶光谱行为	82
17.4	林业	82
17.5	农业	83
17.6	植被指数	84
17.7	植被指数应用	84
17.8	物候学	84
17.9	高级甚高分辨率辐射仪	85
17.10	水土保持耕作	85
17.11	陆面物候学	86
17.12	植被/土壤反射率区分	86
17.13	缨帽变换	86
17.14	叶面化学	87
17.15	激光雷达在森林调查中的应用	87
17.16	精准农业	87
17.17	植物病理遥感	88
17.18	小结	89
17.19	教学和学习资源	89
<b>第 18 章</b>	<b>地球科学</b>	<b>90</b>
18.1	引言	90
18.2	摄影地质学	90
18.3	水系格局	90
18.4	线性构造	91
18.5	植物地理学	91
18.6	岩石及矿物的多光谱观测	92
18.7	光倾斜测量	92
18.8	波段比值	93

18.9	土壤和景观制图 .....	93
18.10	综合地形单元 .....	93
18.11	湿地清查 .....	93
18.12	雷达影像应用 .....	94
18.13	小结 .....	94
18.14	教学和学习资源 .....	94
<b>第 19 章</b>	<b>水圈科学 .....</b>	<b>95</b>
19.1	引言 .....	95
19.2	水体光谱特征 .....	95
19.3	水深与光谱变化 .....	96
19.4	水体位置与范围 .....	96
19.5	水体表面粗糙度 .....	96
19.6	水深测量 .....	97
19.7	Landsat 色度图 .....	97
19.8	流域水文 .....	97
19.9	蒸散发 .....	98
19.10	水体目视解译 .....	98
19.11	海面温度 .....	98
19.12	激光雷达在水圈科学的应用 .....	99
19.13	小结 .....	99
19.14	教学和学习资源 .....	99
<b>第 20 章</b>	<b>土地利用和土地覆盖 .....</b>	<b>100</b>
20.1	引言 .....	100
20.2	航空影像获取土地利用 .....	100
20.3	土地利用分类 .....	100
20.4	土地利用/土地覆盖的目视解译 .....	101
20.5	土地利用变化目视解译 .....	101
20.6	面向环境分析的历史土地覆盖解译 .....	101
20.7	其他土地利用分类体系 .....	102
20.8	基于影像分类的土地覆盖制图 .....	102
20.9	大尺度土地覆盖研究 .....	102
20.10	土地利用数据产品 .....	103
20.11	小结 .....	103
20.12	教学和学习资源 .....	103
<b>第 21 章</b>	<b>全球遥感 .....</b>	<b>104</b>
21.1	引言 .....	104
21.2	生物地球化学循环 .....	104

21.3	AVHRR .....	105
21.4	地球观测系统 (EOS) .....	105
21.5	EOS 传感器 .....	106
21.6	EOS 客车 .....	107
21.7	EOS 数据和信息系统 (EOSDIS) .....	107
21.8	长期环境研究站点 .....	107
21.9	Earth Explorer .....	107
21.10	全球环境与安全监测 (GMES) .....	108
21.11	全球网格化人口数据 .....	108
21.12	小结 .....	109
21.13	教学和学习资源 .....	109
<b>结语</b>	<b>遥感领域展望 .....</b>	<b>110</b>
<b>索引</b>	<b>.....</b>	<b>111</b>

# 第 1 章 遥感发展史及其范畴

## 1.1 引言

图片可以清晰地传递关于物体位置、大小及物体之间的相互关系等信息。由于人类的大脑具有解译复杂图像的能力，因此人类能够轻易地识别图片中所描述的事物及其涵盖的各种信息，因此可以说“千言未如一图”。本节从图片的意义出发，引出本书介绍的“遥感”的目的，即致力于分析一种特殊的图像类型，它们通过高空观测的方法获取，其中许多遥感影像还记录了人类肉眼无法感知到的信息。这些图像为研究地球表面提供了独特的优势，可以从这些影像中发现地物的规律及其相互联系，而不是孤立的点和独立的特征。由于遥感影像在展示、尺度和分辨率以及电磁波谱区域等的特殊性，必须拥有一定的专业知识和技能，才能充分理解遥感图像的价值。因此第 1 章将为读者简要描述遥感的内容、起源以及作用范畴，是后续章节的基础。

## 1.2 遥感定义

本节首先列举了“遥感”的多种定义，这些定义都有一个共同的内涵，即“远距离信息的收集”。随后，作者依据本书所涵盖的内容给出了遥感的定义，即“利用高空观测的手段，在一个或数个波段上获取地球表面反射或发射电磁辐射的影像，并从中提取陆地及水体信息的过程”。该定义清晰地说明了本书所涵盖的范畴。尽管它省略了一些广义遥感的内容，比如气象遥感或大气圈外的遥感，但本书所介绍的原理部分足以帮助读者展开这些领域的学习。

## 1.3 遥感史上的里程碑

19 世纪初，科学家们第一次尝试通过照相的方式来获得图像。1858 年，法国的 Gaspard - Felix Tournachon 从热气球上获得了世界第一张航空照片，成为早期符合现代遥感定义的第一次尝试。随着飞机的发明，搭载在飞机上的相机成像逐渐成为人们获取地表信息的有效手段。航空像片在第一次世界大战、第二次世界大战以及冷战时期发挥了重大作用。然而，直到 1960 年，随着彩色红外胶片的问世，“遥感”这个名词才被正式启用。几十年来，遥感技术经历了从航空相机成像到卫星传感器成像的演进，经历了从可见光成像到近红外、到多光谱，再到高光谱成像的发展。遥感应用的尺度也由区域尺度发展到全球尺度，由专业人员使用发展到公众使用（比如谷歌地球）。本节从遥感的起源开始，详细介绍了遥感的历史、发展以及现状。

## 1.4 遥感流程综述

本节通过一系列图示展现了遥感的主要流程。简单地说，遥感流程包括传感器获取地物实体的信息，记录为传感器数据；随后，从传感器数据中提取有用的信息，经过建模，再应用于土地利用、地质、水文、植被、土壤等各领域。该节分别介绍了各个环节的基本概念以及涉及的学科知识。

## 1.5 遥感的几个关键概念

本节介绍了一些基本的但是非常重要的概念，包括光谱差异、辐射差异、空间差异、时间尺度、几何变换、遥感传感器等，作为一个密不可分的整体，以及大气条件在遥感领域中产生的作用，这些概念会在书中反复出现，并在后续章节作更为详细的介绍。

光谱差异可以近似理解为地物“颜色”的差异，然而遥感往往会涉及不可见波段上“颜色”（即光谱）的差异。“光谱特征”则是指地物的光谱响应特征，是多光谱遥感中非常重要的概念。辐射差异可以理解为地物在影像上显示的亮度差异，人们利用遥感影像来提取地物信息本质上依赖于亮度差异。因此，传感器对地物亮度差异的敏感度，即其能够识别的最小亮度差异是评价传感器性能的重要指标之一。空间差异则对应于影像表达地物的精细程度。由于传感器可以记录的最小地物的尺寸是有限的，因此影像的“像元”，即影像的基本单元对应地面的实际大小代表了传感器在空间位置上的分辨能力。人们常利用传感器在某一时间获取的影像来提取地物信息，然而传感器在同一区域不同时间段获取的影像也同样重要，这就涉及影像的时间维度。

## 1.6 就业准备和职业发展

本节为读者介绍了在遥感领域就业所需要掌握的一些基础知识以及必要的技能。同时指出，准备在遥感领域就业的学生不应只单纯学习遥感技术或某些相关软件；除了具备遥感技术的专业知识和技能以外，学生还应根据自己感兴趣的行业在相关地学领域掌握必要的基础知识，如地质、水文、地貌学、土壤、城市规划、交通、城市地理、林业、生态学等。另外，还需要掌握数理统计、计算机科学以及物理科学等理论知识基础。纵观相关行业的招聘岗位需求，用人单位一般希望应聘者具备以下 5 个方面的能力：①至少具备一门传统学科的良好背景；②可靠，不需要过于细致的监管即可以完成任务；③具备良好的写作、交流能力；④良好的团队合作能力；⑤熟悉相关领域的业务流程。学生应避免只专注于过于狭窄的遥感方法和技术的学习；相反，应该从多方面培养综合能力，争取做到成为跨学科通才。相比较“记住”了多少知识而言，更重要的是具备知道“如何学习”的能力。作者还建议学生参加一些专业学会，以获得最新的行业动态及培养国际视野，并列出了一些诸如美国摄影测量与遥感协会等比较有影响力的国际学会。一些在遥感行业有影响力的期刊也在本书作者的重点推荐列表里。



## 1.7 教学和学习资源

本节列举了一些有助于本章学习的一些教学辅导内容和学习资源。比如 AmericaView 网站、Geospatial Revolution Project 网站、美国摄影测量与遥感协会、英国 BBC 网站上的“俯瞰英国”短片以及加拿大遥感中心网站。文中并列出了短片、视频的网址，方便读者浏览。

## 第2章 电磁辐射理论

### 2.1 引言

任何高于绝对零度的物体都会发射电磁辐射，不仅如此，物体通常还会反射其他物体发射的电磁辐射。遥感正是通过记录地物反射或发射的电磁辐射，再通过对辐射与大气、地物交互过程的解译，来了解地物（如植被、土壤、水体、延时）的特性。因此，对遥感影像的解译需要了解电磁辐射在大气传输的过程以及与地物的交互过程。本章所介绍的电磁辐射理论是遥感领域其他主题的重要基础。可见光是人们最为熟悉的电磁辐射，但它只占电磁波谱中很小的一部分波段。大部分波段的电磁波谱是肉眼无法识别的，这对于遥感的初学者会比较难以理解。

### 2.2 电磁波

本节介绍了电磁波的基本性质。电磁波也称为电磁辐射，包括电场（ $E$ ）和磁场（ $H$ ），它们相互正交。两个场的振动方向与电磁波的传播方向垂直。电磁波可以用波长、频率、振幅、相位来描述。电磁波在空间上以光速（ $299792\text{km/s}$ ）传播。电磁波频率与波长互为反比，因此电磁波的特性既可以用波长描述也可以用频率描述。在遥感领域一般使用波长描述。

### 2.3 电磁波谱段划分

按照电磁波在真空中传播的波长或频率，以递增或递减的次序排列，就形成电磁波谱。为方便研究及应用，人为将电磁波谱划分为不同区间，实际上，这些区间并没有严格的阈值。本节介绍了遥感常用的几个波段。

(1) 紫外线。紫外线波段位于 X 射线和可见光之间的短波辐射区，紫外线可以激发某些物质发出荧光，可以用于监测水环境、叶绿素等。

(2) 可见光。尽管可见光是光谱中很小的一部分，但它是遥感观测中的重要部分。可见光的界限是根据人类感光系统的敏感性决定的。可见光的光学特征最早是由牛顿发现的，利用棱镜可以将可见光分为蓝、绿、红三色。今天我们知道这三部分是颜色加法的三原色，它是形成各种其他颜色的基础。

(3) 红外线。红外线的波长比红光稍长，它有两个非常重要的分类，第一类是近红外和中红外。近红外波段在性质上与可见光非常相似。第二类为远红外波段，它的波长远远长于可见光，几乎到达了微波波长的下界。远红外波段辐射特性与可见光和近红外有根本