

遥感技术

在农业领域中的应用

刘 洋 陆忠军 张有智 著
付 斌 刘克宝 王连发 刘述彬



哈尔滨地图出版社

遥感技术在农业领域中的应用

YAOGAN JISHU ZAI NONGYE LINGYU ZONG DE YINGYONG

刘 洋 陆忠军 张有智 著
付 斌 刘克宝 王连发 刘述彬

哈尔滨地图出版社

· 哈尔滨 ·

图书在版编目(CIP)数据

遥感技术在农业领域中的应用 / 刘洋等著. — 哈尔滨 : 哈尔滨地图出版社, 2010. 8

ISBN 978 - 7 - 5465 - 0328 - 8

I. ①遥… II. ①刘… III. ①遥感技术 - 应用 - 农业
IV. ①S127

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 165887 号

哈尔滨地图出版社出版发行

(地址:哈尔滨市南岗区测绘路2号 邮政编码:150086)

哈尔滨太平洋彩印有限公司印刷

开本:787 mm × 1 092 mm 1/16 印张:12.625 字数:320 千字

ISBN 978 - 7 - 5465 - 0328 - 8

2010 年 8 月第 1 版 2010 年 8 月第 1 次印刷

印数:1 ~ 1 000 定价:32.00 元

前 言

本书根据笔者的多年实践工作总结而成,较为详细地总结了遥感技术在农业领域中的应用方法及经验,对农业遥感工作者具有一定的借鉴和参考作用。

全书共分六章:第一章主要介绍了遥感技术的基本原理、工作方法以及常用卫星数据源;第二章主要介绍了航天遥感数据的处理方法和处理过程;第三章着重介绍了农作物播种面积及产量的遥感监测方法;第四章主要介绍了农作物旱、涝情况及长势的跟踪监测方法;第五章主要介绍了自然灾害的监测方法,包括土壤沙化、土壤盐渍化、水土流失、森林火灾以及农作物病虫害等;第六章主要介绍了遥感技术在土地资源调查及土地利用动态监测领域中的应用理论和应用方法。

因写作时间较短,书中难免存在瑕疵和不足,敬请专家、学者批评指正!

编 者
2010 年 8 月

目 录

第1章 遥感概述	1
1.1 遥感技术的理论基础	1
1.2 遥感在农业领域中的应用及发展概况	6
1.3 航天遥感与卫星传感器	10
第2章 航天遥感图像处理	16
2.1 航天遥感图像数据概述	16
2.2 遥感图像预处理——校正	20
2.3 图像的几何精校正	24
2.4 图像变换	30
2.5 图像增强处理	32
第3章 农作物种植面积及产量监测	38
3.1 农作物种植面积遥感监测	38
3.2 作物产量的遥感估测	84
第4章 农作物旱情与长势监测	88
4.1 农作物旱情监测	88
4.2 农作物长势监测	102
第5章 自然灾害监测与评价	109
5.1 森林火灾监测	109
5.2 土地沙化、盐渍化监测与评价	111
5.3 水土流失监测与评价	120
5.4 农作物病虫害监测	125
第6章 遥感在土地资源调查与动态监测中的应用	127
6.1 概述	127
6.2 适用范围	128
6.3 常用技术指标	128
6.4 技术路线	129
6.5 工作流程	130
6.6 内业工作方法	131
6.7 外业调查	141
6.8 图件制作	144
6.9 提交成果	146
6.10 质量评定及精度分析	146
6.11 结果统计及分析	148
参考文献	194

第1章 遥感概述

现代遥感兴起于20世纪60年代并在短短几十年内迅速发展成为一门综合性的探测技术。它以航空摄影技术为基础,随着空间技术、电子计算机技术及航空航天技术等现代科技的迅速发展,以及地理学、生物学、人文科学、建筑学、农学等学科的发展需要,发展起来的一门新兴的综合技术学科。人类飞行技术的迅猛发展以及人造卫星、宇宙飞船和航天飞机等运载工具的出现,都为遥感技术提供了更为广阔的发展空间。遥感技术也从以航空遥感为主发展到以航天遥感为主的新时代。与航空遥感相比较,航天遥感使我们具备了立体观测地球的能力,大大地扩展了人类的观察视野和领域,使我们能够更清晰、全面地认识我们周围的环境。

近几年来全球粮食危机不断恶化,各国都十分关注本国的粮食安全问题,因此农业生产也越来越受到各国的重视。遥感以其自身的技术特点为农业生产提供了及时、准确的基础信息,对政府的决策起到了重要的影响。随着遥感技术的不断进步和遥感技术应用的不断深入,未来的农业科学必定进入到一个全新的数字化的时代。

1.1 遥感技术的理论基础

1.1.1 概念

遥感一词来源于英语“Remote Sensing”,最早是由美国海军科学研究部的布鲁依特(E·L·Pruitt)提出来的。直译成中文为“遥远的感知”。

从广义上理解遥感是泛指一切无接触,从远处探测、感知物体或事物的技术。

从狭义上理解即为不直接接触物体本身,从远处通过某些探测仪器(如传感器)来探测和接收目标物体发射或反射的特征信息,再经过信息的传输与处理分析,最终识别物体的属性及特征的技术。

1.1.2 理论依据

遥感技术是建立在物体电磁波辐射理论基础上的,人类通过大量的实践,发现地球上任何一个物体都在不停地吸收、发射和反射信息和能量,其中有一种人类已经认识到的形式——电磁波,并且发现不同物体的电磁波特性是不同的。遥感就是根据这个原理来探测物体对电磁波的反射和其发射的电磁波,从而提取这些物体的信息,完成远距离识别物体。

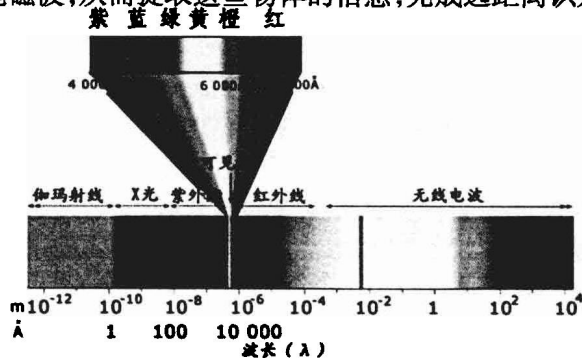


图1-1 电磁波谱图

电磁波的种类很多,由于波长和频率的不同,它们的特性也有很大的差异。遥感所使用的电磁波主要集中在紫外线、可见光、红外线和微波几个光谱段。各波段的波长范围如表 1-1 所示。

表 1-1 遥感使用电磁波波长范围

名称		波长范围
紫外线		100 ~ 0.39 μm
可见光		0.39 ~ 0.78 μm
红 外 线	近红外	0.78 ~ 3.0 μm
	中红外	3 ~ 6 μm
	远红外	6 ~ 15 μm
	超远红外	15 ~ 1 mm
微 波	毫米波	1 mm ~ 1 cm
	厘米波	1 ~ 10 cm
	分米波	10 cm ~ 1 m

紫	0.39 ~ 0.43 μm
蓝	0.43 ~ 0.47 μm
青	0.47 ~ 0.50 μm
绿	0.50 ~ 0.56 μm
黄	0.56 ~ 0.59 μm
橙	0.59 ~ 0.62 μm
红	0.62 ~ 0.78 μm

遥感使用的各波段电磁波特点如下:

紫外线特点:紫外线波长范围为 0.01 ~ 0.4 μm ,属于太阳辐射的范畴,太阳辐射在通过大气时,波长小于 0.3 μm 的紫外线几乎都被臭氧层所吸收,只有波长在 0.3 ~ 0.4 μm 范围内的紫外线能够穿过大气层,到达地面。遥感主要应用这部分紫外线来探测碳酸盐岩分布以及水面油污染的监测。

可见光特点:可见光是电磁波谱中人眼可以感知的部分,波长在 0.39 ~ 0.78 μm 之间,由红、橙、黄、绿、青、蓝、紫七种单色光组成。人眼不仅可以直接感知全色可见光,而且对单色光也有感知能力。因为可见光在太阳辐射能中所占比例较高,所以它是鉴别物质特征的主要波段。遥感技术经常使用光学摄像的方式来接收和记录目标地物对可见光的反射特征,也可以将可见光拆分成多个单色光同时对目标地物进行探测,从而获得不同波段的单色光像片。到目前为止,可见光是遥感技术中最常用的波段,在地面植被覆盖监测以及农作物长势监测中起到了重要作用。

红外线特点:红外线波长范围为 0.78 μm ~ 1 mm,是太阳光线中众多不可见光线中的一种,由英国科学家霍胥尔于 1800 年发现,又称为红外热辐射。可分为近红外、中红外、远红外和超远红外。近红外又称短波红外,波长 0.78 ~ 3.0 μm ,主要是地表反射太阳的红外辐射,在遥感技术中主要采用摄像和扫描的方式接收和记录目标地物反射的近红外。近红外波段主要用于植被、生物量、作物长势测定以及水域判读。

中红外、远红外和超远红外又称为热红外。自然界中的一切物体只要温度高于绝对温度 (-273.15 $^{\circ}\text{C}$) 时,都会向外辐射红外线,而且物体的温度越高,辐射的红外线就越多。红外遥感就是根据物体的这种特性,采用热感的方式探测目标地物的辐射。因其不受自然光线的影响,所以能进行全天时探测。在遥感技术中主要应用波长在 3 ~ 15 μm 之间的红外线来探测植物的含水量、雪和云层的类型、植物热强度和制作温度图。

微波特点:微波的波长范围为 1 mm ~ 1 m,频率在 300 MHz 至 300 kHz 兆赫之间。微波也具有热辐射性质,同时微波的波长要比可见光和红外线长,这使得微波具有更好的穿透能力,能够穿透云、雾等,受天气影响较小,所以微波能做到全天时、全天候的遥感探测。微波通常是作为信息传递而用于雷达、通讯技术中。

遥感所利用的电磁波还很有限,仅是其中的几个波段范围。在电磁波谱中,尚有许多谱段的资源有待进一步开发。此外,已经被利用的电磁波谱段对许多地物的某些特征还不能准确

反映,还需要发展高光谱遥感以及结合遥感以外的其他技术手段,特别是地面调查和验证不可缺少。随着遥感技术的进一步发展,所能利用的电磁波谱段将愈来愈多。

不同的电磁波使用的波长单位也不同,无线电波长单位为千米(km)或米(m),微波波长单位为厘米(cm)或毫米(mm),红外线、可见光和紫外线波长单位为微米(μm)或纳米(nm)。各单位的换算如下:

$$1\text{ m} = 10^3\text{ mm} = 10^6\text{ }\mu\text{m} = 10^9\text{ nm} = 1\text{ 010 (埃)}$$

1.1.3 遥感的特点

1.1.3.1 能够获取大范围、多用途同步数据

在我们居住的地球上,进行资源和环境调查时,大面积同步观测所取得的数据是最宝贵的。依靠传统的地面调查,来实施大面积同步观测工作量很大,非常困难。而遥感观测则可以为此提供最佳的获取信息的方式,并且不受地形阻隔等条件的限制。利用航天遥感观测地面目标物平台高,视角范围广,观察地面范围大,大中地貌类型、山脉走向、水系类型、植被分布和大地构造均能清晰地表现出来,具有很强的宏观性,很容易发现目标地物空间分布的宏观规律。如果依靠地面调查,必须用大量的人力、物力、财力经常期大面积调查才能发现。遥感图像可以用于多用途同步观测。一幅遥感图像可以服务于多种调查目的,农业专家可以用来解释资源分布、土地利用状况、农作物长势和农作物产量;林业专家可以解释出森林的类型、分布、造林立地类型以及森林的蓄积量等;地理专家可以通过影像解释,找出地质、地貌或岩层地理分布特点,从而了解地质构造,寻找矿物宝藏;海洋学家通过卫星图像可以了解海水中的泥沙、悬浮物含量和海水污染情况等。

从一幅遥感图像上可以获得多种信息,如一幅陆地卫星(Landsat)图像覆盖面积 $185\text{ km} \times 185\text{ km}$,等于 $34\,225\text{ km}^2$,在 $5\sim 6\text{ min}$ 内即可扫描完成,实现对地的大面积同步观测。一帧地球同步气象卫星图像可覆盖 $1/3$ 的地球表面,实现了更宏观的同步观测。

1.1.3.2 获取信息时效快、精度高

由于卫星围绕地球运转,所以遥感探测,尤其是空间遥感探测,就可以在短时间内获取全球变化信息,并且在短时间内对同一地区进行重复探测,随时掌握地球上多种事物的动态变化,这对于研究地球不同周期的动态变化非常重要。如地球同步轨道卫星,每半个小时对地面同一地区就可以重复观测一次,如风云2号(FY-2,气象卫星)、太阳同步轨道卫星(FY-1,气象卫星、NOAA气象卫星)每天两次对地面同一地区进行观测。这两种卫星可以探测地球表面及大气在一天或几小时内的短期变化。地球资源卫星如美国的 Landsat,每隔 16 天对地面同一地区重复观测一次,法国的 SPOT 和中巴合作的 CBERS,每 26 天对地面同一地区重复观测一次,以获得某些事物在一个重复周期内所发生的动态变化数据。这些都是用传统的调查方法难以达到的。

随着遥感技术的不断发展,卫星传感器的空间分辨率也愈来愈高,如美国的 Landsat 1,2,3 号星的地面分辨率为 $80 \times 80\text{ m}$,到 Landsat 4,5 号星时提高到 $30 \times 30\text{ m}$,Landsat 7 号星的空间分辨率更是达到了 $15 \times 15\text{ m}$ 。法国的 SPOT 卫星的地面分辨率也由原来的 $20 \times 20\text{ m}$,提高到 $10 \times 10\text{ m}$,随着 SPOT-5 卫星的发射成功,其地面分辨率最高可达 $2.5 \times 2.5\text{ m}$ 。美国 1999 年 9 月发射的 IKONOS 高分辨率陆地卫星,其地面分辨率彩色波段为 $4 \times 4\text{ m}$,全色波段为 $1 \times 1\text{ m}$;2001 年 10 月发射的快鸟-2(QuickBird-2)卫星,是全球首颗提供 1 m 以下分辨率的商用光学卫星,它可以从 450 km 外的太空拍摄地球表面的地物、地貌等空间信息。其多光谱波段地面分辨率为 $2.44 \times 2.44\text{ m}$,全色波段为 $0.61 \times 0.61\text{ m}$,可以和航空像片媲美。由于空间

分辨率的不断提高,使得遥感应用的精度大大提高。这样就大大开阔了遥感的应用空间和领域。

1.1.3.3 获取信息手段多

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。遥感获得的地物电磁波特性数据综合地反映地质、地貌、土壤、植被、水文等自然、人文特征;利用不同波段电磁波对物体不同的穿透性,还可获取地物内部信息。红外遥感昼夜均可探测,微波遥感可全天候探测,人们可以从中有选择地提取所需的信息。由于遥感的探测波段、成像方式、成像时间、数据记录等均可按要求设计,使其获得的数据具有同一性或相似性。同时其新的传感器和信息记录方式都可向下兼容,所以,遥感数据具有很高的可比性。与传统地面调查和考察比较,遥感数据可以较大程度地排除人为干扰。

1.1.3.4 获取信息受限制条件少

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。如果采用传统的测量方法需要耗费大量的时间、人力和物力。而采用遥感技术特别是航天遥感,可不受这些地面条件的限制,能够方便及时地获取各种宝贵信息。

1.1.3.5 具有可观的经济效益

遥感技术作为一门新兴的技术,能为人类带来巨大的经济效益,从而产生巨大的社会效益。遥感技术的投入产出比要比传统的技术方法高很多,可以大大地节省人力、物力、财力和时间,具有很高的经济效益和社会效益。例如,美国发射陆地卫星和设置地面接收设备,平均每年需要支付2 000万~5 000万美元,而从陆地卫星资料的应用中所获得的经济效益,每年大约14亿美元,其中农业方面应用收益最多,超过9亿美元。在区域土地利用调查中,遥感调查与常规地面调查相比,时间仅为1/8,资金投入为1/3~1/10,人力仅为1/16;如用航空遥感制作1/10万土地利用图,资金投入为常规方法的1/10,时间为1/24,人力仅为1/36。如果改用航天遥感调查,无论是资金投入,还是时间和人力投入都会更节省。利用遥感技术进行土壤调查,其速度可比常规方法提高3~5倍,判读界线误差一般只有5%~8%,小于常规土壤制图的3~4倍。

1.1.4 遥感系统的组成

遥感系统主要由:信息源→信息获取→信息传输→信息处理→信息应用五部分组成。

根据地物发射、反射和吸收电磁波的性质,确定目标物,这是遥感的信息源;选择传感器接收、记录目标物电磁波特性的过程称为遥感的信息获取;把传感器所接收的目标物的电磁波信息记录在数字磁介质或胶片上,再传送到接收站,这一过程成为遥感信息的记录和传输;接收站对接收到的数字信息或记录在磁介质(如高密度磁带HDDT,或光盘CD等)上的信息进行一系列处理,如信息恢复、辐射校正、卫星姿态校正、投影变换等,再转换为用户可使用的数据格式或转换成模拟信号(记录在胶片上),供用户使用,这一过程称信息处理;遥感获取的信息,由各专业人员按不同的应用目的,对大量的遥感信息进行处理和分析,如不同遥感信息的融合,遥感信息与非遥感信息的复合等,称为信息应用,见图1-2所示。

1.1.5 遥感的分类

根据不同的分类标准,遥感的分类有很多种。

1.1.5.1 运载传感器的工具称为遥感工作平台,根据遥感工作平台的不同可分为:

地面遥感:也称近地遥感,主要指以高塔、车、船等为平台的遥感技术系统,高度在0~50 m范围内。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。

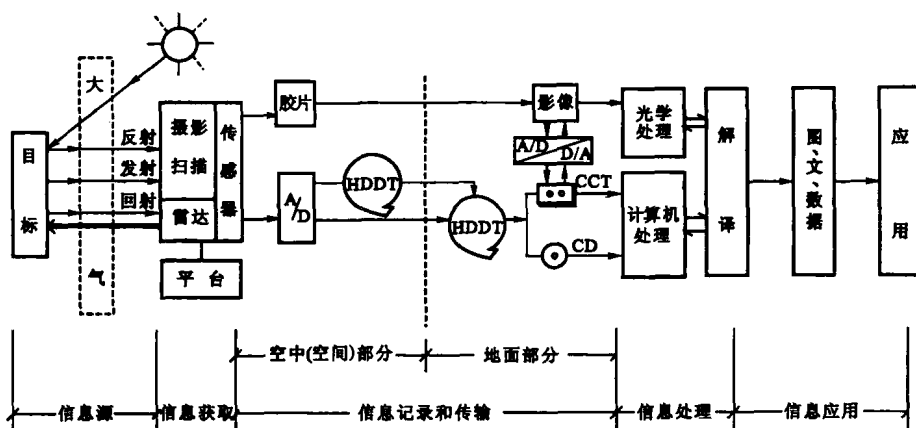


图 1-2 遥感系统的组成

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。高度在百米至数十余千米不等。

航天遥感:又称太空遥感,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。其平台高度在 150 km 以上,其中最高的静止卫星,位于赤道上空 36 000 km 高度上。

卫星遥感: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。

1.1.5.2 按传感器的探测波段分为:

紫外线遥感:波段范围在 $0.05 \sim 0.38 \mu\text{m}$ 之间;

可见光遥感:波段范围在 $0.38 \sim 0.76 \mu\text{m}$ 之间;

红外线遥感:波段范围在 $0.76 \sim 1\,000 \mu\text{m}$ 之间;

微波遥感:波段范围在 $1 \text{ mm} \sim 10 \text{ m}$ 之间;

多波段遥感:探测波段在可见光波段和红外波段范围内,再分成若干窄波段来探测目标。

1.1.5.3 按研究对象分类可分为:

资源遥感:以地球资源作为调查研究的对象的遥感方法和实践,调查自然资源状况和监测再生资源的动态变化,是遥感技术应用的主要领域之一。

环境遥感:利用各种遥感技术,对自然与社会环境的动态变化进行监测、评价和预报的统称。

1.1.5.4 按工作方式分为:

主动式遥感:由传感器主动地向被探测的目标物发射一定波长的电磁波,然后接受并记录从目标物反射回来的电磁波,见表 1-2 所示。

被动式遥感:传感器不向被探测的目标物发射电磁波,而是直接接受并记录目标物反射太阳辐射或目标物自身发射的电磁波,见表 1-2 所示。

1.1.5.5 按遥感资料的记录方式和传感器工作方式分为:

成像遥感:传感器接收的目标物电磁辐射信号能够转换成数字或模拟图像。

非成像遥感:传感器接收的目标物电磁辐射信号不能形成数字或模拟图像(如气象卫星)。

1.1.5.6 按遥感应用的空间尺度分类可分为:

全球遥感:全面系统地研究全球性资源与环境问题的遥感的统称。

区域遥感:以区域资源开发和环境保护为目的的遥感信息工程,它通常按行政区划(国家、省区等)和自然区划(如流域)或经济区进行。

表 1-2 遥感(按工作方式)分类

被动遥感	地面遥感	光学摄影	宽波段摄影
			窄波段摄影
			多光谱摄影
	航空遥感	电学摄像	宽波段摄像
			窄波段摄像
			多光谱摄像
		光机扫描	宽波段扫描
			窄波段扫描
			多光谱扫描
主动遥感	航天遥感	固体自扫描	宽波段电荷耦合摄像
			窄波段电荷耦合摄像
			多光谱电荷耦合摄像
	激光雷达		
	微波雷达		

城市遥感:以城市环境、生态作为主要调查研究对象的遥感工程。

1.1.5.7 根据具体应用领域可分为:资源遥感、环境遥感、农业遥感、林业遥感、渔业遥感、地质遥感、气象遥感、水文遥感、工程遥感、灾害遥感、军事遥感等。

1.2 遥感在农业领域中的应用及发展概况

1.2.1 遥感在农业领域中的应用

1.2.1.1 土地资源调查

航空像片由于其直观性和几何精度较好,且影像的光学纠正与精绘技术较成熟,已成为土地资源调查的常规手段。但是,航空遥感成本高,像片处理、应用技术复杂等缺点制约了其在农业领域的发展和应用。20世纪70年代以后,随着美国陆地卫星的发射成功,卫星遥感开始运用于中小比例尺的土地资源调查与清查中。因其价格便宜,取得影像较易,数字化程度高而为不少发展中国家应用于土壤、地形、植被、表层、气候、水文和地下水等各种农业自然要素的调查中。例如,利用砂质土和黏质土对可见光光谱的反射,前者较强,后者较弱,以及二者因不同的水分状况、有机质含量、盐分含量和表面粗糙度而产生不同的光谱反射等特性,通过对单一波段上不同灰阶的影像灰度和图形特征进行专业解译,就可勾绘出不同的专业图件,如土壤解译图、水资源解译图、森林解译图、草原类型解译图等。随着科技的不断进步以及新型传感器的研发与应用,卫星遥感的制图比例尺已经从原来的1:500 000逐渐扩大到现在的1:50 000至1:10 000。

卫星遥感在我国土地资源调查方面取得了许多相应的成果。例如,1980年6月至1983年12月,在全国农业区划委员会办公室的组织下,会同国家测绘局、林业部、农牧渔业部及有关的46个单位298名科技人员,“利用MSS卫片进行全国土地资源概查”。第一次利用美国陆地卫星MSS数据进行了全国范围15个地类的土地利用现状调查,并按1:50万比例尺成图,宏观地反映了我国土地资源的基本状况,填补了我国土地资源不清的空白;80年代中期,主要利用美国陆地卫星资料进行了土壤侵蚀分区、分类、分级制图。各区制图比例尺不小于1:50万,全国拼图后缩成1:100万、1:200万、1:250万成果图,并制成1:400万土壤侵蚀区划图;1989~1993年,在国家航天办的资助下,全国农业区划办公室组织有关单位,利用遥感

技术建立了我国北方草原草畜动态平衡监测业务化运行系统。该项目主要利用陆地卫星资料和 NOAA 气象卫星资料估测草地生物量,1995 年获部科技进步一等奖,1997 年获国家科技进步二等奖,是我国农业遥感技术进入业务化、产业化运行的突破口;1993 ~ 1996 年期间,全国农业资源区划办公室组织有关技术单位,利用美国陆地卫星图像连续四年开展了全国耕地变化遥感监测工作,其结果引起了中央有关部门的高度重视,为合理利用每寸土地,保护农业耕地提供了辅助决策依据。另外,从遥感技术应用方法上来说,一方面可以建立起全国耕地变化动态监测的常规运行系统;另一方面,为今后开展类似问题的研究找到了一条可行的技术路线和工作方法;2007 ~ 2009 年进行的全国土地资源第二次详查运用 SPOT5 卫星数据进行全国范围的土地利用现状调查,最终成图比例尺达到 1:1 万,准确地反映出改革开放 30 年来我国土地资源的变化状况。

1.2.1.2 农作物估产

农作物遥感估产具有快速、宏观、经济、客观等特点,并可对农作物生长过程进行动态监测,排除人为干扰的局限性,具有非常好的发展前景。它可为国家和各级政府进行粮食生产、计划等宏观决策,为制定正确的粮食分配、供应、储运与国内外贸易政策等方面提供科学依据。

农作物的产量取决于农作物面积和单位面积的产量。使用遥感技术能测出农作物的种植面积,也能够在大面积范围内对农作物叶子的光谱反射进行观测。因此,如果掌握了农作物的光谱反射特性与农作物生长状况的规律,就可以判读不同地区的农作物的生长状态如密度、病虫害、成熟程度等决定产量指标的因素,再结合各地决定农作物生长的基本条件如气候、土壤、地形、水利、等等,就可以建立起农作物估产模型对作物的产量进行估测。从“六五”开始,我国就试用卫星遥感进行农作物产量预报的研究,并在局部地区开展估产试验。“七五”期间,国家气象局于 1987 年开展了北方 11 省市小麦气象卫星综合测产,探索运用低分辨率卫星进行农作物估产的新方法。到 1989 年,此项目为中央和地方提供了 165 次不同时空尺度的产量预报,为国家减少粮食损失达 33 万吨以上,累计经济效益达 20 亿元。“八五”期间,国家将遥感估产列为攻关课题,由中国科学院主持,联合农业部等 40 个单位,开展了对小麦、玉米和水稻大面积遥感估产试验研究,建成了大面积“遥感估产试验运行系统”,并完成了全国范围遥感估产的部分基础工作。在 1993 ~ 1996 年期间,分别对四省两市(河北、山东、河南、安徽北部和北京市、天津市)的小麦;湖北、江苏和上海市的水稻;吉林省的玉米种植面积、长势和产量进行监测和预报,在指导农业生产及农业决策中发挥了重要作用。特别是解决了一些关键技术问题,为进一步开展全国性的卫星遥感估产提供了重要保证。从 1995 年开始,中国科学院、气象局、多家高等院校、研究所都致力于遥感估产技术的研究,并在浙江、江西、江苏各省及华北、东北、江汉平原等地区对冬小麦、玉米、水稻、糜子、大豆等作物进行遥感估产,在遥感信息源选取、作物识别、面积提取、模型构建、系统集成等各个环节都有了大幅的进步。

1.2.1.3 旱涝灾情监测与预报

传统的旱涝监测手段主要采取土钻取土称重法、中子仪法,或者用分布不多的气象站、水文站数据对区域旱涝进行监测评估,不仅费时、费力、周期长,而且在代表性上也因测点过少失去大范围动态监测的真实性。而卫星遥感监测范围广、周期短,可以进行大范围旱涝实时或准时监测,而且监测精度高,是遥感在农业领域研究应用的热点与前沿。

对某些地区的暴雨和可能造成的灾情,最好结合应用陆地卫星与气象卫星所获得的资料进行预报。利用当时的卫星影像与常年卫星影像进行对比,可获得有关洪水泛滥成灾面积和灾情程度的较准确的结果。对旱灾的面积和危害程度的监测预报更易通过卫星资料来进行。

在旱灾监测方面主要有光学遥感和微波遥感两种方法。光学遥感中,热惯量法和作物缺水指数法可较好地实现农业旱情监测。微波遥感被认为是当前土壤水分监测中最有效的方法。主动微波遥感空间分辨率较高,但对土壤粗糙度和植被敏感;被动微波遥感空间分辨率低,重访周期短,对大尺度农业旱灾监测具有较大潜力。为提高农业旱灾监测中土壤水分遥感反演的精度和效率,采用光学遥感和微波遥感的结合的方法是将来的研究方向。

其他如土壤的侵蚀、沙化,草原的退化以及由某些工程引起的环境恶化等,一般也均可通过卫星和航空遥感来进行监测。

1.2.1.4 作物病虫害监测与预报

农作物和树木等绿色植物受病虫害后,叶片中叶绿素都会受到不同程度的破坏,其光谱反射就会受到明显影响并与健康植物具有十分明显的差异。遥感技术就是根据作物反射光谱的变化来确定其受灾害的程度。研究作物受病虫害危害后的光谱变化,寻找病虫害危害程度与原始光谱、植被指数、导数光谱等变化之间的关系,确定不同作物和病虫害监测的敏感波段和敏感时期,是目前遥感用于农作物病虫害监测的研究热点和关键。

目前利用遥感技术监测农作物病虫害的主要方法有两种:

植被指数法:农作物发生病虫害时常表现为作物外部形态和内部生理结构的变化。外部形态变化主要表现为作物卷叶、叶片脱落等症状;作物叶片内部生理结构的变化是叶绿素减少,光合作用、养分水分吸收等机能衰退等。这些变化也导致了各种植被指数的变化,因此通过分析农作物植被指数的变化,就能够监测到病虫害的发生与发展。

红边参数法:主要采用红边斜率和红边位置来描述红边的特性。红边斜率主要与植被覆盖度或叶面积指数有关,覆盖度越高越大,红边斜率就越大。红边位置是指光谱反射率增长率最大处所对应的波长,由曲线拐点波长确定。当农作物遭受病虫害时,叶绿素含量下降,导致红边陡升段斜率的降低,出现红边位置蓝移,因此利用红边参数可较好地监测农作物病虫害情况。

1.2.2 农业遥感发展概况

由于世界各国土地所有制、使用制的不同具体情况和历史传统的不同,各国的发展情况不尽相同,发达资本主义国家和地区的农业现代化体制大多形成较早、发育完善、体系成熟,有很多值得我们借鉴的地方。

1.2.2.1 美国

美国的农业遥感随着 Landsat 系列陆地遥感卫星和 NOAA(国家海洋大气局)系列气象卫星的发射而发展得十分迅速,处于世界领先地位。美国自 20 世纪 70 年代中期开始进行“大面积农作物估产计划”即 LACIE 计划(Large Area Crop Inventory and Experiment, 1974 ~ 1977)。该项目分 3 个阶段进行:第一阶段对美国大平原 9 个小麦生产州的小麦种植面积、单产和产量进行估算;第二阶段,对包括美国本土、加拿大和前苏联部分地区小麦种植面积、单产和产量进行估算;第三阶段是对世界其他地区小麦种植面积、总产量进行估算。1980 ~ 1986 年,执行 LACIE 计划的几个部门又同内政部合作开展了“利用空间遥感技术进行农业和资源调查计划”(AGRISTARS, Agriculture? and Resources Inventory Survey through Aerospace Remote Sensing),主要内容是通过空间遥感进行农业资源清查,利用遥感获得农作物的信息,包括世界多种农作物长势评估和产量预报。美国除了使用美国自己的 NOAA/AVHRR 和 Landsat MSS, TM 数据外,还使用 SPOT, METEOSAT 和印度发射的 IRS 卫星数据。NOAA/AVHRR 的 1 km 分辨率图像用于大面积种植作物评估,30 m 分辨率的 TM 图像用于确定农作物类型和生长阶段的情况,但两种图像往往结合使用。每年使用的卫星影像多达 8 000 多幅。美国进行的农作物状况评估是全球性的,

目前主要针对美国、墨西哥、巴西、巴拉圭、阿根廷、独联体、巴基斯坦、印度、孟加拉、中国、澳大利亚、中东、北非和南非等国。其中对中国的农作物估产已经进行了 20 多年。

遥感在美国农业上的应用始终得到重视和普及,农业部建立了完善的全球农业遥感监测和评估系统,国家航空航天局也组织了一些农业遥感项目。多年来,农业遥感对美国的农业生产、粮食安全、进出口调整、农业政策及计划制度以及保护国家利益等方面都起到了巨大的作用。

1.2.2.2 欧盟

欧盟的农业遥感应用始于一个大型的十年研究计划(MARS 计划)。1986~1996 年,为了加强遥感技术在农业统计领域的应用,欧盟实施了一个大型的农业遥感研究计划(Monitor Agriculture with Remote Sensing),在利用遥感进行大面积的农作物面积、产量监测的基础上,MARS 项目采用分层抽样的方法,在欧盟国家抽取 60 个作物面积遥感监测样区,实现了对 17 种作物的面积监测。目前,该计划已建成运行系统,监测欧盟的作物长势并估产。该计划分为六个部分:

第一部分:区域面积清查;

第二部分:应用高分辨率卫星图像进行农作物面积提取与监测;

第三部分:应用农业气象资料制作单产模型,应用低分辨率卫星资料进行长势动态监测与单产估算,并结合面积进行产量预测;

第四部分:全欧洲农作物的面积、单产、总产的外推估测;

第五部分:制作信息监控系统。对农民上报的数据与系统估测数据进行监控,并进行抽样调查,对农作物灾害进行监测;

第六部分:新技术的长期研究与开发。

经过 20 多年的不断发展和完善,欧盟已经建立了完整的用于农业的遥感应用系统,将相互关联、相互补充的各部分有机地结合在一起,不仅能对欧盟各成员国的农作物进行监测,还能对欧盟以外的国家和地区进行农作物估产。对农作物估产可精确到地块和作物类别。

1.2.2.3 其他国家

有许多国家在农业遥感应用方面都取得了不小的成就。如埃及农业资源监控系统(ALIS)为埃及政府提供实时的主要作物种植面积变化情况,城市扩展占用耕地情况以及分析发展新的耕地的可能性。俄罗斯建立的粮食作物“天气-产量”模式,可估算一年四季作物各营养器官和生殖器官的生物量及土壤水分的变化。加拿大利用 NOAA 气象卫星并结合其他资料进行大面积作物水分测量、灾害预警、产量预测和作物识别,识别马铃薯与牧草、玉米及耕地与森林的界限,估产可靠率为 90%。印度用 Landsat MSS 和航空扫描图像,对印度主要水稻产区进行了解译水稻种植面积试验。泰国在 DIPIX 图像分析系统上利用 Landsat MSS 数据,编制了水稻面积分布等级图。

1.2.2.4 我国

我国农业遥感应用工作起步还是比较早的。从 20 世纪 70 年代末开始,当时根据土壤普查和农业区划工作的要求,在国家计委、国家科委和农业部的支持下,联合国粮农组织(FAO)、计划开发署(UNDP)提供了资助,农业部门成立了专门的技术研究机构,开展了遥感应用的技术和设备引进以及人才培训工作。20 世纪 80 年代初,在吸收国外空间采样框架布设经验基础上,采用分层抽样方法,监测大尺度国土资源、农作物面积和农田土壤养分等的区域变化。在国土资源方面,先后开展了草原草畜动态平衡监测、耕地变化遥感监测等研究。如 1992~1995 年“国家资源环境遥感宏观调查与动态研究”,1993~1996 年“全国耕地变化遥感

监测工作”,1997~1998年“我国北方四省十年土地开发综合评价”等。经过20多年的技术攻关、实验研究和生产服务,目前农业遥感技术应用已经形成了一支分属于13个工作单位、拥有技术人员200多名的专业队伍,能够承担和完成农业资源调查和监测、主要农作物估产、农业自然灾害监测和评估等任务。

农业部开展遥感技术应用30多年来,取得了一大批重要成果。一是在农业资源调查和监测方面,开展了全国耕地变化监测。我国北方4省区10年(1987~1997年)土地开发利用综合评价、全国土地利用现状概查、松嫩平原土地利用遥感调查、内蒙古草原资源调查和监测等;二是在作物估产方面进行了北方7省冬小麦遥感估产、黑龙江省大豆及春小麦估产、南方稻区水稻估产、棉花面积监测等项研究;三是在生态环境变迁方面,进行了全国水土流失调查制图、北方地区土地沙漠化监测等;四是在自然灾害监测方面,开展了北方草原火灾监测、北方冬小麦旱情监测等。

目前,我国农业部已经建立了直接为农业和农村经济宏观决策和农业生产服务的,覆盖全国、体系健全、遥感与地面结合、能长期稳定运行的农业生产与资源动态监测系统。重点建设了主要农作物遥感监测系统、国家农业资源监测系统、数字农业和精确农业示范系统3个系统。这3个系统除了提供农作物生产估测信息外,还可以为农业部建立农产品预警系统、农业结构战略性调整、农业资源区域优势分析和优势农产品区域布局规划等重点工作提供基础性和支持性信息。

1.3 航天遥感与卫星传感器

1957年10月4日前苏联发射了人类历史上第一颗人造地球卫星,标志着遥感进入了航天时代。20世纪60年代初,人类第一次实现了从太空观察地球的梦想,并第一次拍摄了地球的卫星影像,使我们能够从一个全新的角度观察我们所赖以生存的星球。如今,人们正通过围绕地球的成千上万颗人造卫星,来获取地球上的各种信息,为人类进一步认识和研究地球,合理开发地球资源,保护地球环境,提供强有力的技术手段。

通常,在自然环境评估、土地资源普查等工作中,经常使用的信息源主要有美国的 Landsat TM 数据和法国的 SPOT 卫星数据。而在一个相对较小的空间范围内,如市、县级土地利用数据库遥感更新以及土地利用现状动态监测等工作中,使用的信息源主要为 SPOT5 号卫星数据。在不久的将来,随着用户对遥感数据精度要求的日益提高,具有更高地面分辨率的快鸟(QuickBird-2)卫星数据将会占据主导地位,其在国土资源普查等领域中将会发挥巨大作用。

下面,主要介绍农业生产工作中常用的几种卫星。

1.3.1 陆地系列卫星

美国在1972年7月23日发射了第一颗地球资源探测卫星,简称 ERTS。两年后将其名称改为陆地卫星(Landsat)。从1975年起,美国又相继发射了陆地卫星2号、陆地卫星3号直至陆地卫星7号等共6颗卫星。目前该系列卫星中的5号和7号卫星正在运行,6号卫星因发射失败而丢失。该系列卫星的数据不仅在美国国内使用,在世界上许多其他国家和地区也得到广泛应用。

1.3.1.1 陆地系列卫星的基本参数

卫星轨道:近极地环形太阳同步轨道

轨道高度:705 km

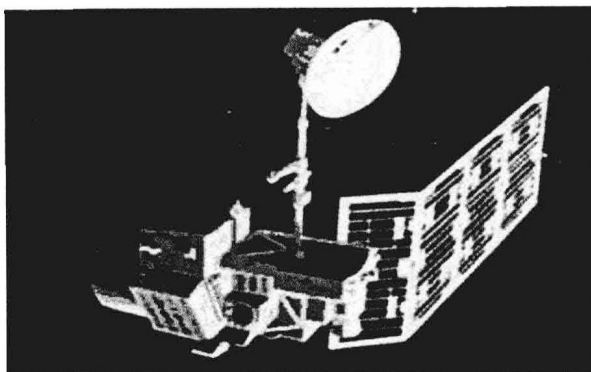


图 1-3 Landsat-5 卫星

km 轨道倾角: 98.22°

运行周期: 98.9 min

24 h 绕地球圈数: 15 圈

穿越赤道时间: 地方平均时上午 10 点

扫描仪扫描带宽度: 185 km

重访周期: 17 d

在陆地卫星 1-3 号星上搭载的传感器为多光谱扫描仪 (Multi Spectral Scanner), 简称为 MSS; 在陆地卫星 4, 5 号星上搭载的传感器为专题制图仪 (Thematic Mapper), 简称为 TM; 陆地卫星 7 号星上搭载的传感器为增强型专题制图仪 (Enhanced Thematic Mapper Plus), 简称为 ETM+。MSS 能够把来自地面上物体的电磁波辐射分成 4 个不同的光谱波段。各波段划分及用途如表 1-3 所示。

表 1-3 MSS 各波段及主要用途

波段号	光谱范围	图像分辨率	主要用途
1	$0.5 \sim 0.6 \mu\text{m}$	80 m	对水体具有透射能力, 对于地层岩性以及植被具有明显的反映, 主要用于水体污染监测
2	$0.6 \sim 0.7 \mu\text{m}$	80 m	对水体的浑浊程度、泥沙流、悬移质有明显的反映
3	$0.7 \sim 0.8 \mu\text{m}$	80 m	对水体和湿地反映明显, 对植物生长状况反映明显
4	$0.8 \sim 1.1 \mu\text{m}$	80 m	与 3 波段相似, 但更具有红外图像特点, 水陆分界线更明显

TM 传感器具有 7 个波段, 为左右扫描式光学成像仪器, 成像宽度为 185 km, 标准景数据的覆盖范围为 $185 \times 185 \text{ km}$, 其主要技术指标及各波段用途如表 1-4 所示。

表 1-4 TM 各波段及主要用途

波段号	波段	光谱范围	图像分辨率	主要用途
1	Blue	$0.45 \sim 0.52 \mu\text{m}$	30 m	用于区分土壤与植被, 落叶林与针叶林, 近海水域制图
2	Green	$0.52 \sim 0.60 \mu\text{m}$	30 m	对无病害植物叶绿素反射敏感, 用于植物病虫害监测
3	Red	$0.63 \sim 0.69 \mu\text{m}$	30 m	对叶绿素吸收敏感, 用于区分植物种类
4	NearIR	$0.76 \sim 0.90 \mu\text{m}$	30 m	对无病害植物近红外反射敏感, 用于生物量测定及水域判别
5	SWIR	$1.55 \sim 1.75 \mu\text{m}$	30 m	对植物含水量和云的不同反射敏感, 可判断含水量和雪、云
6	LWIR	$10.4 \sim 12.5 \mu\text{m}$	120 m	制作温度图, 植物热强度测量
7	SWIR	$2.08 \sim 2.35 \mu\text{m}$	30 m	在探测森林火灾、岩矿蚀变带、土壤黏土矿物类型等方面有特殊用途

和 TM 相比, ETM+ 的优点是增加了分辨率为 15 m 的全色波段, 同时波段 6 的分辨率由

120 m 提高到了 60 m。

1.3.1.2 陆地卫星影像的编号

一幅标准分幅的卫星影像称为一景,每一景影像都有唯一的编号,这种编号采用 Path 和 Row 组合的方法:Path 在前,Row 在后,中间用反斜杠“/”分隔。Path 和 Row 是陆地卫星影像定位网格模式的表示方法。Path 指的是卫星飞行的地面轨迹,Path 由东向西,编号从 001 到 233 共 233 个,是陆地卫星绕地球飞行一个周期(16 d)的轨迹数,编号 001 为卫星通过西经 64.60°的轨迹。我国领土大致位于 113 ~ 146 号轨迹之间;而 Row 是指在某一给定的轨迹圈上,横跨一幅影像的纬度中心线时给定的一个编号,即卫星影像的行编号。它从北纬 80°47' 开始定义为 001,向南逐渐增至南纬 81°51' 编号为 248 为止,每一个 Row 间隔为陆地卫星获取影像飞行时间 23.92 s。我国领土大致处于 23 ~ 48 行之间。

1.3.2 SPOT 卫星系统

Spot 对地观测卫星系统是由法国空间研究中心发展的,参与的国家还有比利时和瑞典。该系统包含了卫星、对卫星控制和编程的地面设施、图像制作处理和分发的机构等。Spot 系统迄今为止已发射了五颗卫星。Spot1 号卫星于 1986 年 2 月发射,目前仍在运行,但从 2002 年 5 月停止接受其采集的影像;Spot 2 号卫星于 1990 年 1 月发射,至今还在运行;Spot 3 号卫星于 1993 年 9 月发射,运行 4 年后,在 1997 年 11 月由于事故而停止运行;Spot4 号卫星在作了一些改进后于 1998 年 3 月发射升空;Spot 5 号卫星于 2002 年 5 月发射,其性能作了重大改进。

1.3.2.1 Spot 对地观测卫星基本参数

轨道高度:832 km

轨道倾角:98°

24 h 绕地球:14 又 5/26 圈

运行周期:101 min

重复周期:26 d

一个重复周期内卫星绕地球:369 圈

相继轨迹间地面偏移距离:向西 2 823 km

1.3.2.2 SPOT 卫星星载设备

Spot 1-5 号卫星的共有星载设备包括两个完全相同的高分辨率可见光成像装置 HRV (Spot1,2,3,4)和高分辨率几何装置 HRG(Spot5),两个图像磁带记录仪,此外,还有将图像传输给地面接收站的电磁信号设备。在每个成像装置的入口处都有一面反射镜,它可以绕着运行轨道在一定角度内摆动,它的位置可由地面的卫星控制中心编发指令来调整。从而不只是垂直观测,观测能力扩大到与垂直方向 $\pm 27^\circ$ 夹角的范围。

Spot 4 与 Spot1,2,3 号卫星相比,星载设备主要作了以下几方面的改进:

(1)在短波红外区加了一个新的波段(1.58 ~ 1.75 μm)。

(2)原来的全色波段(0.51 ~ 0.73 μm)被现在的能同时以 10 m 和 20 m 分辨率方式工作的 B2 波段(0.61 ~ 0.68 μm)替代。

(3)增加了植被 (Vegetation)成像装置:是一个宽角的(2 000 km 视场)地球成像装置,有着高的辐射分辨率和 1 km 的空间分辨率。它的波段数有 3 个,与 Spot 4 的 HRVIR 的 B2, B3 和中红外一致,此外,它还有一个 B0(0.43 ~ 0.47 μm)波段,主要用于海洋制图和大气校正。

(4)增加了 S-波段实验终端 (ESBT),设备由欧洲空间局提供。主要是试验以 4 km/s 的速率和宽谱技术将 Spot4 的电磁信号通过欧空局的 Artemis 卫星传送到设在法国国家空间研