

---

# 十四 遥感

## 1 学科方向

遥感 (Remote Sensing) 作为一门综合技术, 是美国学者在 1960 年提出来的。顾名思义, 遥感就是遥远地感知, 是一种远离目标, 通过非直接接触, 以摄影或以非摄影方式获得被探测目标, 主要是地球及其环境的可靠信息, 并对其进行记录、量测、分析与应用表达的技术。人类通过大量的实践, 发现地球上每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。遥感的原理就是通过探测地表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。

自上世纪初莱特兄弟发明人类历史上第一架飞机起, 航空遥感就开始了它在军事上的应用, 此后在地质、工程建设、地图制图、农业土地调查等方面得到了广泛应用。人造卫星把遥感技术推向了全面发展和广泛应用的崭新阶段, 从 1972 年第一颗地球资源卫星发射升空以来, 美国、法国、俄罗斯、欧空局、日本、印度、中国等国都相继发射了众多对地观测卫星。随着传感器技术、航空航天技术和数据通讯技术的不断发展, 现代遥感技术已经进入一个能动态、快速、多平台、多时相、高分辨率地提供对地观测数据的新阶段。光学传感器的发展进一步体现为高光谱分辨率和高空间分辨率特点, 光谱分辨率已达纳米级, 波段数已达数十甚至数百个, 目前已发射的部分商用高分辨率卫星系统空间分辨率已达分米级。为协调时间分辨率和空间分辨率这对矛盾, 小卫星群计划正在成为现代遥感的另一发展趋势, 例如可用 6 颗小卫星在 2-3 天内完成一次对地重复观测, 可获得高于 1m 的高分辨率成像光谱仪数据。除此之外, 机载和车载遥感平台, 以及超低空无人机载平台等多平台的遥感技术与卫星遥感相结合, 将使遥感应用呈现出一派五彩缤纷的景象。

遥感技术包括传感器、信息传输、信息处理、信息提取和应用技术等。随着多传感器、多分辨率、多光谱、多时段遥感影像与空间科学、电子科学、地球科学、计算机科学以及其他边缘学科的交叉渗透、相互融合, 遥感已逐渐发展为一门新型地球空间信息科学。遥感技术依其遥感仪器所选用的波谱性质可分为电磁波遥感技术、声纳遥感技术、物理场 (如重力和磁力场) 遥感。电磁波遥感技

---

术是利用各种物体/物质反射或发射出不同特性的电磁波进行遥感的，可分为可见光、红外、微波等遥感技术。按照感测目标的能源作用可分为主动式和被动式遥感技术。按照记录信息的表现形式可分为图像方式和非图像方式。按照遥感器使用的平台可分为航天、航空与地面遥感技术。按照遥感的应用领域可分为地球资源、环境、气象、海洋遥感技术等。

遥感技术已经在陆地水资源、土地资源、植被资源、地质、城市、海洋资源、测绘、考古、环境调查监测和规划管理等方面得到广泛应用。在水文学和水资源研究方面，遥感技术既可观测水体本身的特征和变化，又能对其周围的自然地理条件及人类活动的影响提供全面的信息，为深入研究自然环境与水文现象之间的相互关系，进而揭露水在自然界的运动变化规律创造了有利条件。由于卫星遥感对自然界环境动态监测远较常现方法全面、仔细、精确，且能获得全球自然环境动态变化的大量数据与图像，对于研究区域性的水文过程，乃至全球性的水循环、水量平衡等重大水文课题更具有无可比拟的优越性。利用遥感技术不仅能确定地表江河、湖沼和冰雪的分布、面积、水量和水质，而且对勘测地下水资源也十分有效。卫星遥感技术能提供长期的动态情报，帮助预报旱情、融雪径流和暴雨洪水，监测洪水动向，调查洪水泛滥范围以及受涝面积和受灾程度等。作为地理学研究现代化手段之一，遥感技术不仅能迅速获得大量丰富的第一手地理信息，而且能科学、准确、及时地提供分析成果；不仅能提供局部地区的信息，而且能获得全球的信息。这就为地理学从定性到定量、从静态到动态、从局部到整体、从过程到模式的深入研究提供了条件。遥感资料已经成为地理信息系统的重要资料来源。

地理信息系统（GIS）和遥感（RS）是两个相互独立发展起来的空間技术领域，但它们存在着密切的关系。遥感信息一方面是地理信息系统中重要的信息源，另一方面遥感调查中需要利用地理信息系统中的数据（包括各种地图、地面实测数据、统计资料等）来改善遥感数据的分类精度和制图精度。地理信息系统是以地理空间数据库为基础，在计算机软硬件的支持下，对空间相关数据进行采集、管理、操作、分析、模拟和显示，并采用地理模型分析方法，适时提供多种空间和动态的地理信息，为地理研究和地理决策服务而建立起来的计算机技术系统。20 世纪 60 年代以后，随着空间技术的发展和各种人造卫星的相继升空，不仅卫星遥感技术得到巨大发展，而且基于无线电信号的卫星导航定位系统（GNSS）也得到空前发展和广泛应用。全球定位系统就是一种采用距离交会法的卫星导航

---

定位系统,用户在某一时刻用 GNSS 接收机同时测得从接收机至视场中的 3 颗空间位置已知的 GNSS 卫星的距离,就能用距离交会的方法求解得出所在位置点的三维坐标。近年来,这 3 种技术不断走向融合,国内称为 3S 技术,构成了空间技术应用的主体。以 3S 技术、数字流域技术、水信息学技术等为核心的现代空间技术已经成为水利水电行业现代化的重要标志和发展趋势,正在迅速而深远地影响和改变着人们的思维方式和模式,水利水电工作的方方面面已经离不开这些现代信息技术的支持。

## 2 调研背景概述

本综述主要基于遥感学科的国际主要学术刊物、国际主要学术会议、国外主要研究机构网站、书籍论著、研究报告、学位论文等,对近年来的学术进展进行较系统评述。调研的时间段以近 5 年为主,有些更跨越多年,主要是能反映遥感技术发展的整体过程。以求学科发展过程有一个较为全面的了解,也为了解与国外技术水平之间的差距,综述中某些地方对国内的研究进展也有简单描述。本报告重点对全球性的主要学术刊物和学术会议作了较为系统的介绍,以使读者对整个遥感学科的发展脉络有一个较为全面的了解。

### 2.1 学术刊物

#### 2.1.1 国际遥感学报 (International Journal of Remote Sensing-IJRS)

IJRS 是英国遥感与摄影学会 (RSPSoc) 的正式刊物,主要定位为遥感科学与技术以及遥感数据在各主要领域的应用,创刊于 1980 年,每年 24 期,为半月刊,每 24 期为 1 卷,今年已连续发行到第 28 卷。刊物内容的主体是遥感基础科学、技术和应用方面的文章,也包括一些需要尽快发表的短文,有时还包括一些书评,面向对地球物理参数、制图、环境监测、资源与污染感兴趣的科学家、工程师与管理者等读者群。

#### 2.1.2 环境遥感 (Remote Sensing of Environment-RSE)

RSE 是一个多学科刊物,介绍地球资源环境遥感领域中理论、实验和应用方面科学技术的最新成果,主要面向农业、林业、生态、环境、地理、地质、水文、气象、海洋与遥感领域的研究人员。内容涵盖陆面、大气与海洋遥感等最新领域,重点是从局部到全球尺度的生物物理定量遥感方法研究。除原创性研究论文外,也会发表一些综合性的总数文章,以及反映新数据或新技术的短文等。该

---

刊物创刊于 1969 年，最初基本上为季刊和每年为 1 卷，80 年代后期逐步过渡为月刊和每季为 1 卷，到目前已发展为半月刊和 2 个月为 1 卷，迄今已发行到第 111 卷。

### 2.1.3 摄影与遥感学报 (Journal of Photogrammetry and Remote Sensing- P&RS)

P&RS 是国际摄影与遥感学会 (International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, ISPRS) 的官方刊物，范围包括摄影、遥感、空间信息系统、计算机识别及其他相关领域，面向本领域世界各国的科学家与专业人员。该刊物前身为 Photogrammetria，创刊于 1938 年，为双月刊，基本上为每年 1 卷，自 1989 年的第 44 卷开始改为现在的刊名，今年为第 62 卷。

### 2.1.4 IEEE 地球科学与遥感公报 (IEEE Transactions On Geoscience And Remote Sensing)

该双月刊杂志刊登有关地球科学信息的遥感获取装置以及信息处理与解译技术的最新进展，其中地球科学领域涉及地球物理、地址、水文、气象、海洋与生态等学科，而遥感可涉及星载与机载遥感观测以及地下与海底的地球物理。该刊物还会根据每次 IGARSS 会议的文章或者一些特殊主题，出版一些特刊。

### 2.1.5 其他国际遥感学科刊物

- Journal of Applied Remote Sensing (JARS): 一个 2007 年刚刚创刊的在线遥感刊物
- Earth Observation Quarterly (EOQ): 欧洲航天局 (ESA) 的季刊
- Asian-Pacific Remote Sensing Journal: 1988 年由亚洲遥感协会创刊，每年两期
- Photogrammetric Engineering & Remote Sensing (PE&RS): 美国摄影与遥感学会 (ASPRS) 的刊物，月刊，已发行 73 卷
- Canadian Journal of Remote Sensing (CJRS): 加拿大遥感学会 (CRSS) 刊物，由加拿大宇航与空间研究所 (CASI) 发行，双月刊
- Journal of the Indian Society of Remote Sensing (JISRS): 印度遥感学会 (ISRS) 1969 年创刊的季刊

- 
- Photogrammetric Journal of Finland (PJF): 芬兰摄影与遥感学会 (FSPRS) 刊物, 由赫尔辛基理工大学摄影与遥感研究所 (IPRS) 发行, 每年 1 期
  - International Journal of Hydroinformatics (IJHI): 国际水利学会 (IAHR) 刊物, 1999 年创刊, 季刊
  - International Journal of Geographical Information Science (IJGIS): 前身为 1997 年创刊的 International Journal of Geographical Information Systems
  - Cartography & Geographic Information Science (CaGIS): 美国制图与地理信息学会刊物, 季刊
  - GeoInformatica: 地理信息系统领域的计算机科学进展国际刊物, 1997 年创刊, 季刊
  - Geocarto International: 一个反映遥感与 GIS 的多学科刊物, 也是第一个英文版的遥感与 GIS 期刊

## 2.2 学术会议

### 2.2.1 国际地球科学与遥感研讨会 (IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium -IGARSS)

国际地球科学与遥感研讨会 (IGARSS) 是由 IEEE 地球科学与遥感学会 (GRSS) 资助的全球规模最大的遥感学科学术会议, 每年召开一次, 会议地点在北美与全球其他地点轮流。该项会议在国际遥感界影响最大, 已经成为国际遥感计划、应用与活动的焦点。大会每年都会吸引上千名来自全球各地的科学家、工程师和遥感圈内的领导参加, 了解当前的研究与技术进展, 讨论共同感兴趣的仪器设备、技术方法、模型、应用与研究计划。会议从 1981 年至今已成功举办 27 届, 每次会议都有一个主题, 我国尚未承办过这项会议。

第 27 届 IGARSS 会议于 2007 年 7 月 22-29 日在西班牙巴塞罗那召开。会议共收到来自世界各国的论文 2400 多篇, 接受论文近 2000 篇。内容涉及遥感研究的各个方面, 包括: 遥感机理、遥感处理技术、遥感应用等, 会议还专门增加了遥感新技术专题, 如 Lidar、雷达高度计、最新的遥感传感器 (TerraSAR-X, Cosmo-Skymed, SMOS, 等)。超过 1000 名来自世界各国的研究者参加了这次会议。大会主题是“理解和感知我们的星球”, 下设土地、海洋、大气、冰冻圈、灾害与公害、环境、城市与其他应用、电子波模拟、雷达、微波辐射计、激光雷达、

---

光学传感器、先进传感器、空间计划、数据处理、技术教育与政策等 15 个专题，分成 99 个口头发言和 62 个张贴交流。专题讨论的范围非常广泛，涉及遥感图像的处理技术以及遥感和 GIS 在农业、水利、环境、林业等方面的应用技术，尤其关注微波遥感及其应用技术、新型传感器技术等。会议另外还设有展览区，提供感兴趣厂家和公司展示研究成果及研发产品。国际知名遥感研究机构，包括美国的 NASA、NOAA、日本的 JAXA、欧洲的 ESA、德国的 DLR 等参展，遥感、GIS 软件商如加拿大的 PCI、美国的 ENVI 等也进行了展示。美国一家公司研发的便携式植物仪引起了广泛关注，该仪器可以直接计算所测植物的 NDVI, LAI 等，该公司还同时展示了他们研制的可移动小型气象仪器等。

最近几年直到 2013 年的第 33 届会议地点都已提前确定，足见此项会议的吸引力。

### **2.2.2 国际环境遥感研讨会（International Symposium on Remote Sensing of Environment -ISRES）**

第一届国际环境遥感研讨会于 1962 年在美国密歇根召开，由密歇根大学的 Willow Run 实验室主办。来自世界各地的科学家汇聚此次研讨会，就正在兴起的遥感技术开展交流。之后，Willow Run 实验室及其继任机构密歇根环境研究所（ERIM）先后在世界各地主办了 20 多届研讨会。1994 年经过与国际专家委员会的协商，ERIM 受命建立一个独立的非营利机构，专门负责举办两年一次的研讨会。该机构于 1995 年 3 月在马里兰州成为国际环境遥感中心（ICRSE），而此研讨会系列继续由一个遥感领域能代表世界各国空间机构的国际专家委员会指导。从 1993 年的第 25 届开始，每届会议也设 1 个主题。

### **2.2.3 亚洲遥感大会（Asian Conference on Remote Sensing-ACRS）**

亚洲遥感大会（ACRS）是由 1981 成立的亚洲遥感协会（AARS）主办的每年 1 次的地区遥感学术会议。第 1 次 ACRS 大会于 1980 年在泰国曼谷召开，以后每年在亚洲不同国家和地区举办，日本的 Shunji Murai 教授是该协会的主要发起人，是 AARS 的秘书长。在 1980 年的第 14 届 ERIM 研讨会上，来自日本、中国和中华台北的几位亚洲国家的科学家倡议成立亚洲遥感协会。1980 年在泰国曼谷举行了第一次亚洲遥感大会。大会每年举办一次。在 Murai 的积极努力下，至今已成功举办了 28 届。

### **2.2.4 SPIE 欧洲遥感研讨会（SPIE Europe Remote Sensing**

---

## Symposium)

一年一度的 SPIE 欧洲遥感研讨会开始于 1994 年,会议内容涵盖下一代卫星技术、成像系统、SAR 图形处理技术、LIDAR 技术等遥感技术的多个方面。SPIE 是一个由国际成员组成的学会,主要在光学等相关领域为工业、学术、政府,以及提供前沿产品的公司提供服务。学会通过多学科的途径推动光的科学与应用,帮助成员将其研究的技术成果应用于诸如半导体制造、机器人、医学成像、下一代显示、战场技术、娱乐、生物统计安全、图像处理、通讯、宇航等领域。

欧洲遥感研讨会已连续成功举办 14 届,已经成为欧洲这一领域规模最大和最负盛誉的国际年度聚会,每次会议的代表来自超过 25 个国家。每次研讨会包括多个不同的专题大会,如 2007 年在意大利佛罗伦萨举办的第 14 次会议参会代表超过 450 人,设置了 10 个专题大会:

- 农业、生态与水文遥感应用大会
- 海洋、海冰与大水域遥感应用大会
- 传感器、系统与下一代卫星大会
- 全球对地观测系统、执行战略与应用大会
- 云与大气遥感应用大会
- 图像分析、模拟与处理技术大会
- 大气光传播与适应性系统大会
- 遥感图像与信号处理技术大会
- 遥感环境监测、GIS 应用与地质大会
- 激光扫描 (LIDAR) 技术与大气遥感观测技术大会

其中的农业、生态与水文遥感应用大会 (Remote sensing for agriculture, ecosystems, and hydrology) 是世界上与水利遥感最为相关的专题会议,从 1998 年的第 1 届至今已成功举办 9 届。2007 年的大会中包括以下内容:

- 农业、生态与水文的遥感综合应用
- 火灾风险评价、监测与恢复
- 蒸发蒸腾与能量平衡

- 
- 植被冠层与土壤光谱及结构
  - 作物与植被监测
  - 基于星载和机载的监测与变化识别系统

### 3 本学科发展新动向和值得关注点

#### 3.1 本学科发展的新进展

作为水资源、水环境、水生态、水灾害等水利水电行业各学科的支撑技术，本学科涉及的研究领域非常广泛，同时又与地理信息系统（GIS）、水信息学等领域密不可分。本次调研主要围绕水旱灾害两个遥感应用的传统领域，对遥感在节水型灌溉农业中的应用也予以关注。

##### 3.1.1 干旱遥感监测方法及进展

干旱是一种复杂的气候灾害，其频繁发生和长期持续不但会给国民经济特别是农业生产带来巨大的损失，还会造成水资源短缺、荒漠化加剧、沙尘暴频发等诸多深远的不良影响。对干旱灾害进行有效监测和合理评估对经济社会发展、环境保护具有积极意义。遥感技术是面上的监测，具有宏观、快速、动态、经济的特点。特别是可见光、近红外、热红外和微波波段能够较为精确地提取一些地表特征参数和热信息，解决了常规监测方法存在的问题，因此已经成为监测旱情的重要手段。

##### （1）干旱遥感监测的主要卫星数据及特点

目前，遥感技术已形成多星种、多传感器、多分辨率共同发展的局面，所获取的遥感信息具有 cm 到 km 级的多种空间分辨率，重访周期从几 h 到 40~50d 不等，在获取资源环境空间和时间信息方面构成了很好的互补关系。旱情遥感监测的遥感数据源选择主要是根据实用、经济、需求的精度等而定，可以是一种遥感数据源，也可是两种或者两种以上数据源的结合使用。国内外在遥感旱情监测中应用最广的是美国国家海洋及大气管理局的 NOAA 卫星，目前在轨卫星有 3 颗，空间分辨率大概在 1km 左右，地面重复观测周期为<0.5d。该数据具有周期短、时间序列长、覆盖范围广、时效性强、数据量小、后处理方便，以及成本低等优点，缺点是空间分辨率低、波谱分辨率低（0.58~12.5 $\mu\text{m}$ , 5 个光谱通道）、受云影响较大等。



---

EOS 卫星是美国新一代地球观测卫星，轨道高度为 705km，扫描宽度达 2300km，现已投入业务运行的 EOS-Terra 卫星和 EOS-Aqua 卫星分别于 1999 年底和 2002 年中发射。星上所搭载的中分辨率成像光谱仪 (MODIS) 是 EOS 最有特色的仪器之一，其免费接收的数据获取政策使人们能够免费获取中空间分辨率 (250~1000m)、高时间分辨率 (0.5d) 和光谱分辨率 (波谱范围 0.4~14 $\mu$ m, 36 个光谱通道) 的卫星资料。基于 MODIS 资料，国内外许多科学家进行了干旱的监测，已经取得了一些成果。随着卫星遥感技术的快速发展，更多的高分辨率的遥感数据也被应用于旱情监测，如 Lasaponara (2004) 利用 SPOT 近红外和短波红外波段得到 1998~2002 年 10d 合成的长序列植被指数，利用这些数据对土壤湿度的时空动态变化进行分析。

微波遥感具有全天时、全天候、多极化和对植被及土壤有一定穿透能力等特点，它利用土壤介电常数明显依赖于土壤水分变化这一特点来反演土壤墒情状况，实现干旱监测的目的。微波遥感监测干旱主要有被动微波法和主动微波法两种。主动微波遥感主要是利用合成孔径雷达 (SAR) 反演土壤水分，在国内外越来越受到重视，所面临的主要问题是如何在模型中去除表面粗糙度的影响和在不同植被覆盖条件下建立土壤水分反演模型。利用被动微波遥感监测陆地表面土壤水分含量的算法相对而言研究的历史更长，技术更为成熟。除了和主动微波遥感一样具有微波波段全天候、全天时的优势之外，被动微波遥感不需要专门的能源装置，所观测的信号直接来自地表热辐射，因此具有仪器比较简单、可运行在较高卫星高度、受粗糙度和地形影响相对要小、重返周期短、适合大面积实时动态监测等优点。欧洲航天局计划于近期发射土壤湿度和海洋盐度卫星 (SMOS)，该卫星基于被动 L 波段二维干涉仪技术，可实现陆地土壤湿度的成像探测，准确评估土壤墒情，也可以极大地提高农作物估产的精度。与以前的传感器相比，SMOS 在反演植被覆盖地区的土壤水分方面应该具有更大的潜力，因为其具备穿透植被能力更强的 L 波段。

光学遥感的图像覆盖范围相对较广，价格也较低，但是容易受到天气条件影响。微波遥感具有全天时、全天候的工作特征，但图像价格较高。此外，传感器的重访周期对农业旱灾的遥感监测的应用也有十分重要的影响，例如 LANDSAT 卫星重访周期为 16d，ERS-1 为 35~46d。较长的重访周期在一定程度上影响了农业旱灾监测中遥感数据源的选择。由于每天可以至少获得研究区上空的 2 次图像，NOAA-AVHRR 和 MODIS 是当前最适合于农业旱灾遥感监测的卫星传感器，

但它们较易受到天气条件的影响。采用光学遥感和微波遥感的结合以提高土壤水分反演精度和效率将是未来农业旱灾遥感监测的重要发展方向（闫峰 2006）。

## （2）土壤含水量的遥感监测方法及进展

土壤含水量是集成了很多地表水文特征的环境指标，也是固体地表与大气之间的界面（汪萧 等 2007）。土壤水分不仅能够在大尺度上影响地气之间的相互作用，更能够在中小尺度上起重要作用。土壤水分的研究在实际应用中有巨大的指导作用，它是监控土地退化以及农田旱情的重要指标，也是气象学、水文学、土壤学、生态学等的重要研究内容。

遥感监测干旱的原理一般有两个：一是土壤水分含量的变化会导致土壤光谱反射特性的变化；二是土壤含水量的变化会导致植被出现不同程度的生理适应特征，从而使植被光谱特性发生变化，进而导致传感器监测到的灌层光谱特性发生变化（刘志明 等 2003）。因此，以此为基础可以利用植被指数法和作物缺水指数法来监测干旱状况。常用的植被指数有归一化植被指数（NDVI）、距平植被指数、条件植被指数等（Bowers & Hunks 1965）。作物缺水指数法利用的是热平衡原理，物理意义明确，区域针对性强，因此在植被覆盖度较高的地区应用效果明显。常用的是作物水分胁迫指数（CWSI），是基于作物在潜在蒸发条件下冠层温度与空气温度的差与空气的饱和水汽压差具有线性关系而提出来的。

国外利用遥感技术监测土壤水分始于上世纪 60 年代末（张灿龙 等 2006），先后开展了土壤水分与光谱反射率的关系以及微波土壤水分反演方法的研究。70 年代以后，随着土壤水分遥感监测技术的迅速发展，出现了地面、航空、航天等多平台以及可见光、近中远红外、热红外和微波等多波段相结合的局面。进入 80 年代后，遥感监测土壤水分与干旱的研究工作得到了全面而迅速的发展，监测方法包括热惯量模式、土壤水分光谱法、能量平衡法和微波遥感法等。部分国家和地区已经建立了基于遥感的旱情监测业务化运行系统。

与国外相比，我国土壤水分遥感反演研究相对较晚。从 20 世纪 80 年代中期开始，国内有学者首先从土壤水分对土壤反射光谱的影响开始进行了土壤水分遥感研究的前期工作（汪萧 等 2007），朱永豪等（1984）研究了不同湿度条件下土壤光谱反射率的关系，刘兴文与冯勇进（1987）利用热惯量方法进行土壤水分制图。90 年代以后，我国土壤水分遥感反演的理论和应用迅速发展，热惯量、地表温度、植被指数、后向散射系数、亮度温度等被用来作为指示因子建立了众

---

多的土壤水分遥感反演模型，土壤水分遥感反演理论和技术不断得到加强。土壤水分遥感反演的一些新的方法、模型不断出现（田国良 1991，张仁华 1991，隋洪智 等 1997，刘培君 等 1997），为我国土壤水分遥感反演和农业干旱研究打下了坚实的基础。

根据当前农业旱灾监测中土壤水分遥感反演所采取波段特征，可以将反演方法主要分为光学遥感和微波遥感两大类。光学遥感反演土壤水分又分为 Gamma 射线技术、可见光和近红外技术、热红外技术 3 种，主要方法包括热惯量法、作物缺水指数法、植被指数法（距平植被指数、植被条件指数、温度植被指数、条件植被温度指数）等。其中热红外技术和微波技术比较常用，Gamma 射线技术是利用潮湿地区和干旱地区天然陆地 Gamma 辐射流量的差异为基础的。可见光和近红外技术通过测量反射太阳辐射来估计土壤含水量，这并不是一个特别有效的方法，在应用的过程中难以量化，所以并不实用。热红外技术的基础是通过测量日温变化的幅度可以确定温度变化与土壤含水量的关系。微波遥感反演土壤水分包括主动微波遥感和被动微波遥感，主要是利用土壤介电特性与土壤含水量密切相关的特点（Schultz & Engman 2000），在实际工作中经常采用主动被动微波遥感结合以实现二者优势互补，成为微波土壤水分遥感反演发展的一个重要方向。

利用热红外波段反演土壤水分通常有 3 种方法：热红外法、热惯量法以及温度植被指数法。热红外法是利用昼夜或白天不同时间下垫面的温度变化能间接反映土壤水分的原理，但只适用于裸土或者植被覆盖度低的地方；热惯量法的理论基础是：土壤热惯量是土壤的一种热特性，是土壤温度变化的一种内在因素，土壤热惯量控制着土壤的温度日较差，通过从遥感数据获取土壤温度日较差来反演土壤水分含量，此方法目前比较常用；热惯量法研究的重点是：（1）热惯量模式的解析表达式；（2）热惯量与土壤水分的统计模型，常用表观热惯量代替热惯量（薛辉 等 2006）；（3）温度植被指数法，用温度指数来指示土壤的干旱程度，应用较多的有植被缺水指数（CWSI）、植被供水指数（VSWI）、植被干旱指数（TVDI）等（薛辉 等 2006）。

微波数据由于波长和穿透能力强，可以在有植被遮蔽的地方进行测量，也可以在多云天气条件下进行测量，在监测土壤水分方面的应用广泛。主动和被动微波遥感各有优势，差别在于设备特性不同，而且设备与目标之间的相互关系也不

---

同。影响土壤含水量测量的因素主要有：土壤质地、密度、测量深度、表面粗糙度、植被覆盖等。研究表明，利用微波方法探测它波长 1/4 厚度的土壤含水量时效果比较好，波长越长，穿透性越大，而且受植被覆盖度的影响会越来越小，波长 21cm 是最适宜监测土壤水分的波段（Schmugge & Kustas 2002）。

自从上世纪 70 年代开始，针对微波方法进行土壤含水量监测的方法层出不穷，主动微波数据因分辨率高而越来越受到重视，但由于受地表粗糙度和植被覆盖影响，重点要去除地表粗糙度对后向散射的影响。针对这种情况，李震等（2002）提出了一种综合主动和被动微波数据的土壤水分变化监测方法，通过一个半经验公式模型来计算体散射项，综合时间序列的主动和被动微波数据来消除植被覆盖的影响，并利用 1997 年美国 SGP'97 综合实验中的机载 800mm 分辨率辐射计 ESTA、Radarsat 的 SCAN-SAR 数据，以及 NOAA/AVHRR 和 TM 的 NDVI 数据进行验证，得到的计算结果和实测值一致。相比主动微波雷达，被动微波辐射计具有监测面积大、受粗糙度影响小，对土壤水分更为敏感，算法更为成熟的优势，重访周期短，能够进行大面积实时动态监测。目前 3 种主要的土壤水分反演方法是：基于统计手段的反演算法、基于正向模型的和基于神经网络的反演算法（钟若飞 等 2005）。

由于利用微波遥感监测土壤水分的理论基础是土壤和水的介电常数的巨大差异，而测量的土壤含水量是空气、土壤和水 3 种介质相互作用的结果，因此有一些研究将目光集中在介电常数的研究上，建立了不同的混合介电常数算法（Dobson et al 1985, Wang 1985），简单的线性权重公式较为常见。另外，施建成等（2002）提出一种目标分解技术，计算在有植被覆盖条件下的土壤水分状况，利用协方差矩阵的特征值和特征向量将极化雷达后向散射测量值分解为单向散射、双向散射和交叉极化散射三个分量，并建立一阶物理离散散射模型，通过各分量与该模型比较建立了重轨计划雷达测量数据估算土壤水分的方法。

近年来，随着遥感技术发展的不断深入，国内外开始利用高光谱遥感技术发现土壤水分和光谱间的规律以及寻找水分敏感波段，对于土壤光谱做了大量的研究，但在大面积土壤水分遥感反演应用上仍处于探索阶段。随着高光谱遥感理论技术的不断成熟、高光谱卫星系列计划的实现和应用的推广普及，高光谱土壤水分遥感技术的巨大应用潜力将会得到进一步的体现。

土壤湿度的尺度问题也是近来国际上的一个热门研究话题。由于被动微波遥

感一个足迹 (footprint) 就有数十 km, 而大部分水文模型的尺度仅有几 m, 因此尺度的变化能够引导基础的水文或环境模型等向遥感尺度方向发展。Das & Mohanty (2007) 利用 PSR (微波和热红外波段的偏振扫描辐射计) 数据 (分辨率 800\*800 米), 在下垫面是农作物 (玉米和大豆) 状况下, 利用基于小波变换的多分辨率技术将尺度分别上升到不同大小, 讨论尺度变化对土壤水分反演结果的影响以及土壤湿度的变化特征。结果表明, 随着遥感尺度的变化, 土壤湿度反演结果呈现明显的尺度规律, 分辨率升高时亚像元的土壤湿度会增加。Merlin 等 (2006) 也进行了土壤湿度的降尺度研究, 他们采用了被动微波数据 (PBMR) 与机载 L 波段数据, 首先利用 Monson90 实验中的微波数据提取 SMOS 分辨率的亮温数据, 然后用亮温线性回归模型来模拟 L 波段的亮温, 用模拟出来的亮温来反演土壤湿度。土壤湿度反演过程包括两个途径, 一是利用表面模型提取地表温度, 得到更能反应表面土壤湿度的温度信息, 然后再利用此温度反演土壤湿度; 二是先得到气象和通量站的一些能描述像元内土壤湿度空间可变性的参数, 如土壤温度、大气条件、土壤和植被特性, 然后得到一个近地表土壤湿度分布函数, 将其在微波像元尺度下进行校准, 通过由微波数据反演上述函数中的两个参数而得到土壤湿度 (Merlin et al 2006)。因此, 怎样将大尺度的遥感数据降低到水文模型等常用的区域尺度, 怎样将地面实测的点数据升尺度和遥感数据结合起来, 成为近年来一个研究热点, 是一个很有价值的研究问题。

### (3) 土壤水分状况监测的热惯量法

热惯量是物质对温度变化热反应的一种量度, 反映了物质与周围环境能量交换的能力。由于水的热惯量比土壤高, 因此含水量较高的土壤昼夜温差较小。热惯量模型在遥感监测区域干旱中也得到了广泛的应用, 但一般只适用于裸土或植被覆盖度比较低的地区, 所以有必要将热惯量和植被指数结合起来研究干旱, 利用表观热惯量 (ATI) 和植被指数建立 NDVI—ATI 空间, 旱边在下, 湿边在上, 计算表观热惯量植被干旱指数 (AVDI)。齐述华 等在 2005 年利用 MODIS 数据建立的植被干旱指数 (TVDI) 在应用于大区域干旱监测中取得了很好的效果, 并建立了温差植被干旱指数 (DTVDI)。

Watson et al (1974) 最早应用了土壤热惯量模型, 但由于模型参数  $\lambda$ 、 $\rho$  和  $c$  信息难以直接利用遥感手段获取, Price (1977, 1985)、Kahle (1977) 又根据地表热量平衡方程和热传导方程对模式进行了改进。在能量平衡方程中, 地表辐

射能量包括感热通量 (H)、潜热通量 (E) 以及地表热惯量 (G)。Price 简化了潜热通量蒸发形式, 并引入了一个综合描述土壤辐射率与比湿及温度等气象要素函数的地表参量  $\beta$ , 同时还根据能量平衡方程提出了表观热惯量法 (ATI)。

#### (4) 土壤水分状况监测的冠层温度法

以冠层温度为基础建立作物缺水指标的研究开始于 20 世纪 70 年代初。Bartholic et al (1972) 首先利用飞机红外遥感测得不同水分状态下的土壤和作物冠层温度, 为遥感数据代替人工观测提供了实践的基础。Brown & Rosenberg (1973) 根据能量平衡-作物阻抗原理, 提出了一个作物阻抗-蒸散模型, 为将热红外遥感温度应用到蒸散模型中提供了理论依据, 其中包含了作物冠层温度与空气温度差 (即冠气温差) 的变量。Millard & Jackson (1978) 发现用飞机遥测的小麦午后的冠层温度与日出前的叶水势有明显关系, 而后者可以代表根区的土壤水分状况。Soer (1980) 通过测定冠层辐射温度测算日蒸散来了解旱情。

由于蒸散作用与能量和土壤水分含量关系密切, 能量较高和土壤水分供给充足时蒸散作用也较强, 冠层温度则处于较低状态。反之, 土壤水分亏缺时蒸散作用较弱, 冠层温度较高。因此, Idso et al (1981) 以能量平衡原理为基础提出了作物缺水指数 (CWSI), 该指数反映植物蒸腾与最大可能蒸腾的比值。在较均一的环境条件下可以把作物缺水指数与平均日蒸发量联系起来, 作为植物根层土壤水分状况的估算指标。作物缺水指数 (CWSI) 可以定义为:

$$CWSI = 1 - ET / ET_0$$

式中 ET 为实际蒸散,  $ET_0$  为潜在蒸散。由上式可知, ET 越小, CWSI 越大, 反映出供水能力越差, 即土地越干旱。用 NOAA/AVHRR 可得到热红外温度  $T_s$ , 它与日蒸散量有简单的线性关系。而用热红外温度又可以计算出日平均温度, 并进而计算出蒸散发能力  $ET_0$ , 从而作出旱情分级。针对 CWSI 仅适合于植被覆盖度高的地区的不足, Jackson et al (1981, 1988) 用冠层能量平衡的单层模型 (将植被与土壤看为一个整体层面的模型) 对 Idso 提出的冠层气温差上限方程和下限方程进行了理论解释, 并基于能量平衡的阻抗模式提出了涉及诸多气象因素的理论模式。David (1990) 提出农田蒸散的双层模型, 该模型把地表覆盖分为植被层和土壤层, 并在能量上和温度上有所区分, 其中引入了植被覆盖度的变量, 实现了对部分植被覆盖地区旱情的监测。由于 CWSI 需要考虑因素复杂, 含有许多气象因子, 因此其精度取决于地面气象数据的外推范围。Moran et al (1994)

对作物缺水指数的双层模型法加以改进，提出经典的植被指数温度梯形理论，即 VTT (Vegetation-Temperature Trapezoid)。该梯形的 4 个顶点分别代表了水分充分供给（湿润）和水分胁迫下（干燥）的完全植被覆盖及裸露土壤的冠气温差和植被指数对应关系。只要知道该 4 点的冠层气温差以及植被指数，就可以对梯形内任意点求出其在不同植被状态下的冠层气温差，并根据他们提出的水分亏缺指数 (WDI)，建立冠层气温差与蒸散量关系，得到旱情判断标准。利用梯形理论，可以直接通过植被指数和热红外遥感资料得到作物的缺水指数。Su et al (2003) 根据 CWSI 原理，提出 DSI (Drought Stress Index) 指数，其在中国北方地区所作的实验结果表明，DSI (考虑变化因子是植被根区的相对蒸发量) 与降水量的多少是一致的。在作物生长季节，DSI 越高说明降水越不足，植被根区的相对含水量也越少。

除冠层气温差外，冠层温度也同样可以用来监测土壤水分。Nemani (1993) 认为，植被蒸腾状态与土壤水分供给之间的关系可以通过  $T_s/NDVI$  (即冠层温度/植被指数) 的变化坡度很好地表达。根据该原理，他们又在原有的单一植被研究的基础上利用 NOAA/AVHRR 对大尺度不同植被群体 (包括林地，草地，农田) 进行了验证分析，表明利用遥感数据获取的  $T_s/NDVI$  对土壤含水量的变化也非常敏感。

Kondoh & Kishi (1998) 使用修正的土壤调整植被指数 (MSAVI) 代替归一化植被指数，形成  $T_s/MSAVI$  指数，然后与降水指数 (API) 比较，发现其在时空分布上有较好的一致性。Kogan (1998) 通过实验得出用植被条件指数 (VCI) / 温度条件指数 (TCI) 能更好的监测植被长势和土壤水状况的结论。这些都是基于有连续多年遥感数据的基础上获得的研究结果。

Sandholta & Andersenb (2002) 对上述模型进行了修正，得到 TVDI 的表达式为：

$$TVDI = \frac{T_s - T_{Smin}}{a + b \bullet NDVI - T_{Smin}}$$

该指数可以用来监测大范围的水分分布状况，对半干旱地区的地表覆被类型并不敏感。但是计算 TVDI 的两个参数 (a, b) 在干旱季节需要不断修正，这样就需要不断与水文模型进行比较，同时它还需要考虑云层的影响。

Carlson(1994)提出了类似于  $T_s/NDVI$  的植被供水指数 VSWI(即  $NDVI/T_s$ )，

在作物覆盖度很高时比较有效，而在作物生长前期往往会夸大植被的作用，该指数在国内应用较多。Li et al (2005) 认为对于植被密集地区，传统的温度植被指数监测干旱 (TVDI) 的方法过分地夸大了干旱的程度，为此建立了蒸发植被干旱指数模型 (evapotranspiration/vegetation drought index, EVDI) 对其进行改进，并用 Landsat ETM 实现对 ET 估测，以河北省为研究范围将 EVDI 的监测结果与 TVDI 比较，取得较高的精度。

#### (5) 土壤水分状况监测的植被指数法

干旱直接影响到作物生物量的积累、叶面积指数及覆盖度的增长，因此可根据植物的光谱反射特性（红光波段强吸收，近红外强反射）进行波段组合，求得各种植被指数，由此实现对土壤旱情的监测。常见的指数有：归一化植被指数 (NDVI)、比值植被指数 (RVI)、距平植被指数 (AMTNDVI) 等。其中 NDVI 应用最广泛，因为它相对于比值和差值植被指数来说，对不同视角及大气条件不敏感。研究表明，NDVI 能够相当准确地反映大范围内的土地覆被和宏观监测降水状况。

Yang et al (2003) 用干旱指数计算气象干旱，用 NOAA 得到的 NDVI 平均偏差来计算真实干旱，并根据二者的分析结果将黄河流域分为 4 个区域对干旱进行时间和空间分析。Kogan (1998) 认为在相对均质的地区，VCI 能更好地反映降水的动态变化，也可以反映天气变化对植被的影响。Liu (1996) 用 NOAA/AVHRR 的两个时期的 NDVI 和 VCI 数据得到区域干旱状况分布图，并认为其与当地的降水分布是一致的。Leonard (1998) 也利用 AVHRR 获取的 VCI 和 TCI 作为旱情监测的指标，通过将两个指标建立线性方程得到旱情状况，具体方程为：

$$VT = r_1 \bullet VCI + r_2 \bullet TCI$$

$$VCI = \frac{100 \bullet (NDVI - NDVI_{min})}{NDVI_{max} - NDVI_{min}}$$

$$TCI = \frac{100 \bullet (T_{max} - T)}{T_{max} - T_{min}}$$

式中 NDVI、 $NDVI_{min}$  和  $NDVI_{max}$  各自代表每周平滑、多年中绝对最小和多年中绝对最大的植被指数， $T$ 、 $T_{max}$  和  $T_{min}$  是 4 通道获取的相应亮温，权重  $r_1$  和  $r_2$  是根据两种指标与作物产量的相关系数决定的。

Nagesware (1992) 指出，遥感数据应该与地面温度、降水量以及作物生长



期等相结合，实时监测结果将会更为理想。Kogan (1998) 认为，一个地区的气候状况、土壤类型质地、植被类型分布以及地形条件都会影响 NDVI 值的变化。海拔高地区的 NDVI 值相对较高，因此考虑地形地貌因素以及联系气象因子变化会使监测结果更加准确。Peters et al (2002) 用基于 NDVI 的标准化植被指数 (SVI) 进行干旱监测，首先用 12 年的 NOAA 图像得到研究区的 NDVI 各个时期的平均值，即标准植被指数，然后再用当前图像植被指数与标准植被指数的偏差来建立与干旱条件的关系。

#### (6) 土壤水分状况监测的微波遥感法

20 世纪 70 年代初，国外一些学者开始利用地面试验数据和航空资料研究亮温与土壤水分的关系。Koike et al (2000) 提出的土壤湿度指数 (ISW) 定义如下：

$$I_{sw} = 2 (T_{B85H} - T_{B10H}) / (T_{B85H} + T_{B10H})$$

Bindlish (2001) 在积分模型 (IEM) 基础上，通过改进将实际测得的土壤水分与雷达获取的数据相关系数由 0.84 提高到 0.95。Moeremans & Dautrebande (2000) 利用卫星雷达遥感监测田间和区域两个不同尺度的土壤含水量，认为裸地或植被稀疏地区的近地表土壤含水量与后向散射系数有很高的相关性。Tansey & Millington (2001) 也得到了相同的结论，同时认为地表的粗糙度对于土壤水分的监测有很大的影响。Zribi (2002) 用 C 波段结合一种新的经验模型进行了研究。Ravi Kothari et al (2001) 利用自组织方法得到特定尺度范围的土壤含水量空间分布特征。Frate & Schiavon (2003) 利用由微波遥感获得的比辐射率经过两个隐藏层的 BP 神经网络模型的训练得到土壤含水量。

微波遥感监测土壤水分尽管受地表参数影响较大，但它估算土壤水分精度较高，可以全天候使用，并且不受云的干扰，若综合其他可见光与近红外图像，将是监测土壤水分最有希望的方法。随着一系列带有微波传感器卫星（如 ERS 系列、Radarsat、Envisat、ADEOS）的发射和即将发射，将极大地推动主动微波遥感土壤湿度的研究。

#### (7) 基于遥感的干旱监测运行系统

20 世纪末，美国国家干旱减灾中心 (NDMC)、海洋大气局 (NOAA)、农业部 (USDA) 一起合作建立了新的干旱监测业务产品“The Drought Monitor”。

---

该系统由监测干旱状况及影响的图形和文字组成,是根据相当丰富的信息综合而成的产品,每周进行旱情监测,提供全国旱情信息,并在网上发布。美国国家海洋大气局的国家环境卫星数据和信息服务中心利用多年积累的全球 NOAA 资料,采用 VCI(植被条件指数)和 TCI(温度条件指数)方法进行全球性的干旱和预报,并进行作物的估产,为美国农业部和商务部提供信息,取得了很大的成功。

加拿大利用 NOAA/AVHRR 资料的可见光和红外波段获得植被指数,进行正常气候条件下农作物产量与干旱条件下农作物产量的比较评估,并在加拿大西部地区旱情监测预报中发挥了作用。英国则利用卫星 SMMR 与 AVHRR 数据比较的进行研究,在旱情监测技术上得出了较好的结果,并在撒哈拉地区进行了实验,同时也采用 NOAA/AVHRR 的可见光波段反射率和 SMMR 的极化差方法进行旱情监测。日本为了研究大区域的土壤水分分布状况,用 NOAA 卫星资料,采用热惯量模式,结合近地层小气候和地面热流量观测,以中国东北部的吉林省为中心进行了区域土壤水分调查,取得了良好的效果。

国际水管理研究所(IWMI: [http://dms.iwmi.org/about\\_swa\\_dm.asp](http://dms.iwmi.org/about_swa_dm.asp))建立了包括印度西部、巴基斯坦和阿富汗在内的南亚干旱遥感监测系统(SADM)。这个近实时的干旱监测与报告系统最初使用的是 AVHRR 数据,现在改用 MODIS 遥感数据,每 8d 或 16d 发布一次 500m 空间分辨率的监测结果。该系统还在不断改善其背景数据库,进一步结合其他农业和气象信息,持续试验和根据各地情况调整相关参数,目标是建成可为地区抗旱决策提供支持的综合系统。

### 3.1.2 洪涝灾害遥感监测方法及进展

遥感技术的发展为洪水灾害的大面积实时监测提供了可能,在国内外获得广泛研究与应用。一般而言,在 GIS 技术强大的空间信息分析与管理功能支持下,目前基于遥感的洪涝灾害监测应用研究主要包括背景数据库构建、灾前洪水预报调度、灾中洪涝灾害监测、灾后淹没损失评价与减灾防灾决策支持等几个环节。背景数据库构建主要是利用数据库技术、GIS 技术、多源遥感数据处理与分类技术、数学高程模型、GPS 数据应用技术等,构建基于空间展布的社会经济数据与地理地貌数据库,为监测与损失评估创建数据平台。灾前洪水预报主要是利用降雨等水文气象因子的遥感反演技术、降雨径流水文模拟、河道洪水演进水动力学模拟等,进行基于水文水动力学模型的灾前洪水预报。灾中洪涝灾害监测主要是

---

利用基于多源遥感数据的淹没范围快速提取技术,包括人机交互与计算机自动提取等,确定受灾范围。灾后损失评估主要是利用基于 GIS 的空间数据展布与淹没损失评价技术,利用遥感监测的淹没范围以及背景数据库,建立淹没损失评价模型,进行灾后损失评估。减灾防灾决策支持主要是利用预警与应急响应、网络与智能化等技术,开发减灾防灾决策支持系统,包括信息传输、信息综合分析、应急响应等功能的集成。

### (1) 经济社会数据的空间展布

洪涝灾害背景数据库是灾害发生前后对比分析计算的前提,包括高程、气温、坡度、河流、土地利用、道路分布、城市等自然地理环境因素,以及各级行政区划的人口分布、产业布局、经济发展状况等社会经济因素两大类。为了应用栅格模型计算,需要对统计数据进行空间展布,采用多因子乘积融合的形式来确定区域内每个栅格上的数值,如人口密度系数。刘纪远等(2003),通过运用净第一性生产力空间分布、数字高程模型、城市规模及空间分布、交通设施空间分布等数据集,研究了中国人口密度数字模型,用于受灾区人口统计的快速分析计算。Briggs et al (2007) 利用土地利用数据和灯光散射数据,对小区域的人口密度进行空间展布,与 1991 和 2001 年的英国人口统计数据相比较,在 1km 尺度上的相关系数超过 0.9。

### (2) 遥感数据及其处理

可应用于洪水监测的遥感资料很多,包括多种空间分辨率、光谱分辨率和时间分辨率的气象、资源、环境等卫星遥感数据,以及机载、车载等遥感数据。气象卫星以其高时间分辨率而成为快速获取大范围洪水发生发展过程动态的理想资料,但较低的空间分辨率不能满足精确监测与灾情损失评估。资源卫星数据具有多波段、多时相与分辨率适中等优势,可有效地获取地面覆盖信息和洪水信息,是洪灾模拟分析、洪水线回归分析、洪灾淹没损失估算的有效资料,但因受天气影响通常难以满足实时洪水监测要求。以星载及机载侧视合成孔径雷达(SAR)为主的微波遥感具有不受天气状况影响的全天候观测优势,可获取几何性能好和分辨率高的洪水动态信息,在洪水监测中可扮演极为重要的角色,得到最为广泛的应用,与光学遥感数据结合则可更好地实现洪涝灾害的动态监测与损失评估。在洪涝灾害监测分析之前,首先应对遥感数据进行快速处理,主要包括图像辐射增强与几何校正。由于洪涝监测的实效性很强,数据处理的时间将成为影响监测

---

反应时间指标的关键，数据处理的精度成为影响监测可靠性与损失评估精度的重要因素。

### （3）水体识别与淹没范围监测

水体光谱曲线的最明显特征是在  $1-1.06\mu\text{m}$  有一个强烈的吸收峰，在  $0.8$  和  $0.9\mu\text{m}$  处有两个较弱的吸收峰，在  $0.54-0.70\mu\text{m}$  段反射率最高，并随着波长的增加光谱反射率呈下降趋势。在自然环境中，水体在近红外和中红外波段几乎能吸收全部的入射能量，相对于植物或土壤，水体反射率很小，表现出很强的低反射特性，和周围地物的界限很清楚，很容易把水体识别出来。土壤、植被、水体 3 大类地物中，土壤波谱比较平直，长波部分的反射率略高于短波部分，随着土壤种类和含水量的不同而变化。利用光学遥感进行水体识别主要有单波段法和多波段法两种方式，单波段的缺点是去除水体中的噪音比较困难，多波段则利用多个波段进行逻辑判别将水体提取出来，但需要考虑云的影响。微波遥感的水体识别更容易，一般均采用目视识别，自动解译基数因噪音和阴影等影响并不是很实用。

由于不同遥感数据的特征及成像机理不同，图像处理、地物识别与波谱关系等都不相同。地物识别与像元分解分类方法既有基于像元光谱特性的，也有基于空间特性的，或两者皆有的，分解算法包括神经网络、遗传算法、小波分析、模糊 C-means 分类器等方法。Siqueira et al (2004) 对南美地区多季的 JERS-1 SAR 数据进行了定标与解译，Garzelli & Nencini (2007) 运用多尺度卡尔曼滤波对 SPOT 影像进行增强处理，Hirschmugl et al (2007) 运用单一树对高精度遥感数据进行检测分析。

近几年，国外运用遥感技术进行洪水监测与洪水风险制图方面的应用研究成果很多。Arkhipkin et al (2007) 介绍了哈萨克斯坦洪水空间监测系统 (FLOMIS) 及其在 2003 到 2007 年间的洪水监测情况。Rast et al (2003) 和 Henry et al (2003) 分别利用 MERIS 和多极化的 ASAR 数据，对中欧 2002 年洪水事件进行洪水制图分析，而 Islam & Sado (2000) 在孟加拉用 NOAA AVHRR 数据结合 GIS 进行洪水风险评估。Schneiderhan et al (2007) 使用 ENVISAT 的 ASAR 和 ERS 的 SAR 数据进行洪水快速制图，Boni et al (2007) 利用意大利飞行任务的 SkyMed/COSMO 小卫星的 SAR 数据进行了洪水分析。Matgen et al (2003) 分析卢森堡市阿尔泽特河的洪水管理，其中应用了 SAR、高精度地形数据和河流模型。Palacio (2007) 利用 QUICKBRID 数据分析了墨西哥热带海岸城市坎佩切湾

---

的洪水风险制图。Luckman (2007) 在分析珠穆朗玛峰冰层对洪水的影响时, 分别用了干涉测量雷达 SRI 和合成孔径 SAR 数据。Felipe et al (2006) 运用 EO-1 上装载的自制科学飞机实验进行洪水监测, 分别于 2004 年 1 月对澳大利亚的迪亚曼蒂纳河和 2005 年对孟加拉境内的雅鲁藏布江段的洪水进行监测。Mason et al (2007) 将机载激光测高技术改进后利用 SAR 数据提取河流洪水范围。

#### (4) 洪水预警预报

灾前进行准确的洪水预报是做好防灾的重要一步, 可为灾前部署赢得时间, 最大限度地避免和减少损失。洪水过程模拟包括降雨径流水文模拟与河道洪水演进水动力学模拟两部分, 降雨径流水文模型又有集总式与分布式之分, 河道洪水演进水动力学模拟又有一维与二维之分。集总式水文学模型对资料输入处理、物理过程模拟和时空尺度匹配上都存在着局限性, 而基于物理过程的分布式水文模型在遥感 (RS) 和地理信息系统 (GIS) 技术的支持下, 在模拟土地利用、地表覆盖、水土流失变化的径流响应, 及面源污染、陆面过程、气候变化影响评价等方面显现出明显的优势。水文模型根据应用过程不同可分为产流和汇流两部分, 前者对应的是单元水文模型, 是分布式水文模型的核心部分, 包含若干水文过程模拟模块; 后者是河网汇流模型, 在每段河道上建立河道水流模型, 进行河网汇流演算。

降雨量是水文模拟中非常重要的一个因素, 通常来自雨量计单点测量。由于降雨量的空间分布变异特征, 从单点推算到面上的分布存在很大缺点, 因此利用遥感反演预报降雨具有明显优点, 尤其是应用雷达测雨技术进行流域降雨监测和面雨量估算可以较好地反映实际的降雨空间分布状况。刘金涛与李致家 (2004) 利用雷达测雨建立了实时洪水预报模型, 校正方法则采用卡尔曼滤波法。校正模型能很好地滤除洪水预报存在的偏差, 经过校正的洪水过程与实际洪水过程拟合较好, 大大提高了洪水预报精度。20 年前利用热红外遥感影像进行降雨量预报的应用案例很多, 近期也有学者继续进行研究, 如 Chiang (2006) 运用气象卫星影像的多光谱空间卷积 (Multi-Spectral Spatial Convolution, MSSC) 方法, 利用 3 个红外通道计算云顶温度推算可能降雨量, 对台湾地区进行降雨预报计算。

遥感数据应用于水文模型可使水文模型的输入信息更加丰富, 并可充分考虑水文变量的空间不均匀性和变异性, 提供一些传统测量手段所难以提供的水文变量和参数的空间分布特性。这样必然促使水文模型的结构与功能更加细化和健

---

全，为分布式水文模型的研制和检验提供了基础。基于 MODIS 数据的特点和所提供的标准产品，其在水文模型中的应用主要是模型参数的输入与估计，其中应用较多的是土地覆被、蒸发、积雪等，尤其是可提供几种积融雪的标准产品，在冰川和山区水文模拟中应用广泛。王建等（2001）选择 Alps 山区意大利境内的 Rienza 流域，利用 SRM 模型模拟了春季的融雪径流。对于长时段的水文模型，流域蒸散发的影响作用不容忽略，为此 Beven（1993）提出了基于土壤含水量和地形指数的产流计算方法，其中的土壤含水量、地形指数及蒸散发都可从 RS 和 GIS 分析中得到。

在洪水预报方面，Arnaud et al（2002）分析了洪水预测的空间变化影响，Hossain et al（2004）则评价了被动微波和红外卫星用于洪水预报的状况，Robert et al（2005）分析了用遥感数据和数值气象预测模型对洪水进行预警预报的成果。在洪水风险方面，德国 Heiko et al（2006）利用概率模型系统评价了洪水风险，系统中把水文模型、水力模型、地理模型、经济社会模型相关链进行了分析。

洪水演进模型大致有 3 种类型，如美国工程军团的 HEC-RAS 一维模型，法国的 TELEMAC-2D 二维有限元模型，英国的 LISFLOOD-FP 基于栅格的模型。英国 Bates 和 De Roo（2000）用基于栅格存储单元的 LISFLOOD-FP 模型模拟了荷兰的马斯河洪水，但这一模型的缺点是不能校准用于模拟洪水传播的时间。此外，模型在泛洪区单一有效参数的取值方面也不能让人满意，对泛洪区糙率系数的敏感性缺乏，与别的模型相比，空间分布存在很大的不可预知性。为此，Hunter et al（2005）提出基于栅格的贮水单元的适应时步模型，用于漫滩淹没分析，对 LISFLOOD-FP 模型进行改进，改善了对糙率系数的敏感性，增强了漫滩过程模拟的真实性，及对洪水前沿的传播和消退的模拟能力。日本京都大学的 Dutta et al（2000, 2003）利用分布式水文模型、GIS 和遥感进行了洪水模拟和损失评估。德国的 Geomer 公司研制了基于 GIS 的水动力模型 Floodarea，用于界定洪水淹没范围，可预警洪水风险。该模型根据数字地形模拟起始河网水位以及洪水进入漫滩区，由遥感得到不同土地利用并赋以曼宁糙率系数，从而较准确地反映洪水演进过程。Germmer（2004）根据长江流域地形和河道特征，并通过洪湖分洪区的洪水演进实验，对模型的水动力参数进行修改，从而使得该模型能用于长江流域洪泛区。

#### （5）淹没损失评价模型

国内的洪水淹没损失评价模型一般是在空间展布式经济社会数据库基础上, 基于空间信息格网, 考虑不同行业固定资产的损失和停工停产造成的产值损失, 来综合评估洪涝灾害损失。固定资产的损失通过考虑分行业的固定资产损失率来确定, 产值的损失则是通过淹没历时计算由于停工停产造成的损失, 没有产值的单位通过职工工资计算产值损失。对洪水特性主要考虑水深、淹没历时, 以及以预警时间体现的抗洪抢险行为的力度等。对洪水淹没范围作离散化处理, 得到洪水特性格网, 在每一个洪水特性网格单元内, 近似认为水深均一。目前能够比较有效获取洪水淹没范围的方式有两种: (1) 通过遥感影像提取洪水淹没范围; (2) 通过洪水演进模型或洪水淹没分析模型获得淹没范围。对于第一种情况, 是将淹没范围叠加 DEM 后, 根据水深分布的变化情况, 确定单元格网的大小, 并进行离散化处理得到洪水特性网格。对于第二种情况, 可以直接使用洪水模拟演进计算网格或洪水淹没分析网格作为洪水特性网格。对行政单元内经济社会信息不均匀的问题, 可以利用经济社会的空间展布方法, 解决经济社会统计数据在空间上分布的合理性问题, 得到经济社会数据空间展布网格。将洪水特性网格与经济社会网格叠加得到可以进行洪涝灾害损失计算的格网, 称之为洪灾损失计算空间信息格网。洪灾损失计算的空间信息格网模型是进行洪涝灾害损失评估的基础, 通过该格网模型可以获得受淹区内相对准确的经济社会信息、土地利用信息、地形信息 (高程)、洪水特征信息 (如水位、流速等)。

国外在洪水损失研究较早, 日本在洪水损失评价与风险管理方面比较领先。应用遥感方法和历史最大洪水记录进行分析成为近年来研究的主流 (Forte et al 2005)。Mosquera-Machado & Ahmad (2007) 对哥伦比亚西北部阿特腊托河进行洪水风险评估, 其中运用了统计模型及基于 HEC-RAS 和 GIS 的水力学模型。Dutta et al (2000, 2003) 首先在千叶市辖区一宫河流域进行了洪水模拟, 然后建立了一种洪水损失数学模型, 主要是通过时段淹没损失与不同洪水淹没参数和土地利用特征之间的关系, 建立损失评估模型。Becker & Grunewald (2003) 分析了流经中欧的 Elbe 河和多瑙河流域在 2002 年洪水中的损失。

#### (6) 集成的决策支持系统

洪涝灾害的防灾减灾体系应以迅速并高效的决策支持系统为平台, 将遥感和 GIS 技术结合起来。遥感作为快速获取灾害背景数据、孕灾环境数据、致灾因子和灾害承受体信息的一个重要手段, 可实现对洪涝灾害实时、准确的监测 (孙绍

骋 2002)。灾害发生区域范围较大,影像分析、模型计算、计算结果传输都需要快速,以满足较强的实效性要求。因为图像处理算法多为比较规整的矩阵运算,所以非常适合通过多计算机并行处理,通过多台计算机的并行处理可大大提高处理能力和内存容量。图像并行处理时多基于“共享虚拟内存”(简称 VSM)。池天河等(2004)应用中国科学院计算技术研究所开发的用于网络并行计算的虚拟共享存储系统 JIAJIA,对鄱阳湖地区 1998 年特大洪水 SAR 图像进行了实验,取得了令人满意的效果。Plaza(2007)分析了运用并行技术在异类网络工作站中从高光谱影像提取信息的方法。

灾害信息包括灾前洪水区的其他遥感影像图、基础地理信息图、经济社会统计数据数据库、自然资源空间数据库等。研究灾害信息后处理与网络发布一体化集成解决方案,通过网络及时向各级政府决策部门和普通用户提供洪水灾情信息服务,可达到更高层次应用信息的网络共享与服务的目的。Hansson et al(2007)在洪水管理策略评价的框架中分析了洪灾后决策系统的方法,喻朝庆(2005)基于地理智能体的知识系统技术可以实现多层次协同应急支持。

### 3.1.3 遥感 ET 监测与灌溉节水效果遥感评价

通常,获取有关灌溉水管理方面的信息存在一定困难,尤其是小到田间尺度或者大到整个流域的详细资料更为缺少,用于定量计算灌溉效果评价指标的数据鲜有收集。即使有收集,数据质量一般也难以保证,或者不易获得。因此,有必要在现有灌溉水管理实践中引入新的技术与途径,不断提高灌溉的质量,而卫星遥感监测手段可以定期获取地面农业与水文状况的信息。有关遥感技术在灌溉管理中的应用,国外不少学者先后做过系统回顾(Menenti 1990, Vidal & Sagardoy 1995, Bastiaanssen 1998, Bastiaanssen & Bos, 1999)。

目前,地面信息的遥感获取可以达到 1m 到 1km 的空间分辨率和 1/2d 到 24d 的时间分辨率。遥感已经可以提供包括灌溉面积、作物生物量变化、作物产量、作物需水、作物蒸发蒸腾、盐渍化等在内的各种信息,可以作为田间观测的一个很好补充,并且具有以下优势(Bastiaanssen & Bos, 1999):

- 获得的信息客观,不受主观认知影响
- 所提供的信息与某些类型的地面观测比较更为准确
- 覆盖面大,而地面观测由于经费和交通等限制通常仅局限在 1 个小的试点



---

区

- 信息属于空间分布型,既能反映总体状况,也能看出很小尺度上的空间变异性,从而提供能够描述空间均匀性的详细而直观的信息
- 提供的信息可以通过 GIS 进行空间分析,从而可以揭示那些通过图表形式经常难以发现的空间几何规律
- 测量具有可重复性,可以动态监测灌区用水管理过程以及评价各种人为措施的影响

上世纪 80 年代开始,国外一些研究成果就建议利用遥感反演实际蒸发蒸腾与作物缺水状态来改善灌溉系统的管理 (Jackson et al.1981, Menenti et al.1989)。但因当时遥感反演实际蒸发蒸腾的算法尚不成熟,遥感应用主要为作物分布及不同生长阶段状态、作物缺水影响、灌溉面积等,实际蒸发蒸腾的计算则一般是采用水文模拟模型来进行。90 年代,一些学者 (Moran et al. 1994, Bastiaanssen et al. 1996, Molden 1997) 开始利用遥感确定土壤作物指数 (SAVI) 及表面温度来反演作物缺水指数 (WDI),其中多数采用表面能量平衡方法计算能反映蒸发蒸腾量大小的潜热通量,由此评价灌溉的充分性以及公平性 (空间分布的均匀程度)。

利用遥感技术计算蒸散发已成为近年来水文研究的一大趋势。遥感技术虽然并不能直接测量蒸发或蒸散,但比起传统的气象学和水文学方法,遥感技术首先提供了外推站点测量或将经验公式应用到更大区域的方法,包括气象资料极为稀少的地区,遥感资料也可以用于计算能量和水分平衡中的变量如温度等。因此,利用遥感方法计算区域尺度上的日蒸散量可以得到更准确的结果。遥感确定的具有时空分布信息的实际 ET 可以帮助人们更好地了解水的蒸发消耗,建立土地利用、水量配置与用水之间联系。遥感确定蒸散发有多种方法,概括起来主要有统计 (经验) 及半统计模型、实体模型和数值模型等几种。目前区域蒸散发的研究已经发展到一个新的阶段,对于农业和水文应用来说,利用 1 日 1 次的遥感观测值估算蒸散量的模型已具有很强的可操作性。制约基于遥感的蒸散监测的关键因素包括 (郭晓寅、程国栋 2004):

- 能量通量变化通常需要连续观测,遥感观测的瞬时性成为一种先天不足
- 每个遥感像元点上的气温值并非直接获得,而多数模型对表面辐射温度和气温之差又非常敏感

---

- 目前对大气纠正、辐射定标及观测角度对表面辐射温度测量结果影响的认识还不足

- 连续的地表通量计算非常重要，但云的存在使卫星观测成为间断性观测

- 大像元尺度的卫星在时间上具有足够的观测频率，但非均质亚像元区域引起的观测不确定性影响计算精度

遥感估算区域蒸散量的应用比较广泛的有 2 种方法.一种是完全以地表热量平衡方程为基础，用遥感方法估算出净辐射、土壤热流量和显热通量，然后用余项法求出蒸散量；另一种是以 Penman-Monteith 方程为基础，结合地表热量平衡方程，直接估算出蒸散量。黄妙芬等（2004）根据国内外的研究现状，对应用遥感方法估算区域蒸散量的制约因子进行了深入的分析，这些制约因子包括（1）图像信息源；（2）反照率、比辐射率和表面温度等地表参数的遥感反演精度；（3）空气动力学阻抗和表面阻抗模型；（4）估算结果的验证方法；（5）时间尺度的扩展问题如日蒸散量确定。由于大气湍流和云的不确定性，时间尺度的拓展问题并没有得到很好的解决。遥感方法在区域蒸散量中的应用成功与否很大程度上取决于这些制约因子。随着这些制约因子中的相关问题不断地得到解决，遥感方法有望成功地用于区域蒸散量的估算，并使定量遥感研究上一个新的台阶。

不少学者在利用空间分辨率虽然较低但时间分辨率很高的 NOAA-AVHRR 遥感数据进行灌溉管理方面做了大量工作（Alexandridis et al. 1999）。NOAA 卫星每天上午及下午分别过境一个地区，目前该数据早已实现全球免费共享，对于连续、全生长期与全年、大范围、快速监测灌区状况具有很大优势。利用所获得的实际蒸发蒸腾作为灌溉公平性的评价基础，蒸发分量作为灌溉充分性与可靠性的评价基础。

最近 20 多年来，国际上已逐步从这种传统的灌溉效率指标向目前更加注重灌溉农业整体表现的评价指标以及向基于区域或流域尺度的综合水平衡架构方向过渡。随着遥感技术的发展，这种注重整体节水表现的评价指标开始更多地依靠卫星遥感手段来获取，并在世界很多国家获得成功试验。

灌溉系统的整体表现可以用灌溉水流量、作物需水、灌溉用水、系统水量损失、作物产量及耕种范围等指标来定量表示。这些指标大多数处于动态变化之中，同一季节内以及不同季节之间的时间差异很大，通常的评价就是获得这些指标的时间序列及其变化速度（Bos 1997）。评价的最终目的是为各级灌溉管理提供相

---

关反馈信息，使灌溉系统管理更加有效，灌溉效率获得提高。

节水表现评价指标有很多种，可以按照灌区改造工程的不同阶段进行分类。GORANTIWAR & SMOUT (2005) 按照项目的不同阶段对评价指标进行了分类。项目规划阶段为水资源配置指标，主要包括水分生产率和公平性等指标。灌溉实施阶段为供水计划指标，主要包括充分性、可靠性、灵活性、高效性和可持续性等指标。充分性反映潜在供水量与蒸发蒸腾 (ET) 之间的差距 (Rao 1993)，灌溉条件下的实际 ET 减去无灌溉条件下的 ET 再除以供水率就反映了供水的有效性 (Menenti et al. 1989)。通过对节水灌溉工程建设目标与实际运行情况的比较，可对其节水效果作出评估，同时诊断出存在的各种偏差及趋势，为进一步改进灌溉管理与规划今后的新节水改造工程提供帮助。

遥感、GIS 与水文模型的结合也是灌溉效果评价的一个热点方向 (Droogers et al. 1999; Bastiaanssen et al. 1999)。利用水文模型的优点是可以研究各种管理措施对灌溉表现的影响，分析灌区环境的长期可持续性，并发现提高水分生产效率的办法，同时也可很好地克服遥感数据时间分辨率较低的不足。Droogers & Bastiaanssen (2002) 将基于遥感的 SEBAL 模型与基于土-水-气-植物水文模型 SWAP 相结合，应用于土耳其西部的一个灌区。他们利用 SEBAL 从 TM 数据中获取 ET，并与 SWAP 计算的 ET 比较，进一步调整和优化水文模型的相关参数后，在利用 SWAP 模型进行全灌区的水量平衡计算，最后得到 5 种反映灌区灌溉效果的指标。

20 世纪 90 年代后期，国外一些学者开始用遥感进行灌溉工程建设前后的影响评价。其中 Thiruvengadachari (1996)、Thiruvengadachari & Sakthivadivel (1997)、Bastiaanssen et al. (1999)、Sakthivadivel (1999) 等人先后围绕印度的一个灌溉工程，利用工程建设前后的遥感影像并结合灌区水量等数据，分析了灌区水分生产率 (每  $\text{m}^3$  的粮食产量)，包括估算了灌溉面积、作物种植强度、小麦产量、蒸发蒸腾量，结合其他地面资料 (土壤类型、地下水埋深、地下水水质、配水水量及降雨)，利用 GIS 平台分析了生产率的空间分布。一些研究者 (Ambast et al. 1999) 还对生产率保持不变条件下的灌区可持续性问题进行了评价，如盐分积累、地下水位迅速上升或下降，从区域尺度诊断分析了存在问题的地方及应对措施。上述研究表明，这种基于灌区整体效果的遥感评价与传统基于渠道输水效果的评价方法有很大区别，它从灌区水文循环角度更好地考虑了区域地下水

流、地下水灌溉、土壤盐分、水分生产效率等因素，而传统基于渠道输水指标的评价方法很可能产生误导性结论。上述思路对于我国节水型社会建设试点的后评估具有借鉴作用。

2000 年以来，基于表面能量平衡 SEBAL 模型的 ET 遥感监测技术得到长足进展，在世界多个地方获得成功示范，基于遥感 ET 的灌溉表现评价变得非常方便。Bastiaanssen et al (2001) 利用 NOAA 数据分析评价了巴西的一处灌区，计算了每月的实际与潜在 ET、土壤湿度及生物量，采用 7 种指标对不同尺度的灌溉效果进行了评价。Bandara (2003) 利用 NOAA 卫星数据获取了基于 SEBAL 模型的 ET 数据，分析评价了斯里兰卡的 3 处大型灌区旱季的用水情况，其评价中采用了相对供水指数 (RWS)、灌水效率 (IE)、蒸发蒸腾亏缺 (ED)、土地生产力 (LP)、供水水分生产力 (WPS)、消耗水分生产率 (WPD)。RWS 是总供水 (有效降雨+灌溉水) 与作物总需水 (潜在蒸发蒸腾 ETP) 的比值，强调的是作物总体供求情况，缺点是不能反映灌水量及供水时机等灌水有效性。在节水型社会建设 (缺水地区) 中，水分生产力指标十分重要，由于消耗水分生产率指标反映了那部分消耗掉不能再利用的水分的生产力，因此比供水水分生产力更为重要。Akbari et al (2007) 利用 NOAA 卫星数据获取了基于 SEBAL 模型的 ET 及生物量数据，分析评价了伊朗 Esfahan 大型灌区的用水情况，并根据水量平衡得到了地下水抽取量估算值。他们分别获取了灌区不同生长阶段的 NDVI、ETa、ETp、Biomass 空间分布图及其全年变化，并根据 NDVI 获得了灌溉面积分布，计算出灌区的消耗水分生产率指标。

随着地球观测系统系列新传感器的升空，不同时空分辨率的受到更准确校正的遥感数据越来越多，人类对地球表面的理解也越来越深入，蒸散研究也不断取得新的进展。其中，荷兰人经过多年研究建立的基于表面能量平衡的 SEBAL 模型算法最有代表性 (Bastiaanssen et al 1998)，该模型取得很大成功，已在世界上 30 多个国家得到应用。根据 Bastiaanssen et al (2005) 报告，在一定的土壤湿度和植被群落条件下，SEBAL 的计算结果在田间尺度上，每日的 ET 值精度可达到 85%，整个季节可提高到 95%。对于大型流域的年 ET 值，计算精度则可达到 96%。

水文上的水平衡计算与农业上的灌溉水管理都需要提供真实情形下的准确的 ET 信息。对这种 ET 信息的要求是：(1) 具有充分的空间分布细节，以保证

---

田间、项目及流域尺度上的分析；(2) 覆盖大的范围，如整个流域；(3) 能够考虑哪些非原始的生长环境。SEBAL 等遥感能量平衡模型可以估算满足上述要求的 ET 信息，而且  $1\text{km}^2$  尺度上的 1 日 ET 值的总体精度已可达 85%。时间与空间的集成将进一步提高精度水平，整个生长季节的误差会由于随机误差的相互抵消而明显减小 (1%-5%)，流域尺度的年度 ET 整体偏差可以降低到 4%。由于大多数区域尺度的水文数据库的数据本身的精度有限，短期内进一步提高 ET 遥感数据的精度并不现实。但过去 10 多年在全球范围各种不同气候与生态系统进行的广泛试验表明，SEBAL 模型已经通过试验示范阶段，完全可以应用于水资源与灌溉管理。

### 3.1.4 遥感在水利上的其他应用

遥感作为一种新兴的科学研究手段，越来越多的被应用到各个研究领域。由于遥感能够获取大面积区域上的水文变量 (Schmugge & Kustas 2002)，并且在一些无法获得常规资料的区域，遥感更是能够体现出它的无可比拟的优势性，所以遥感数据不仅可以用于监测水文状态变量，而且在水文模型参数估计方面的应用也越来越广泛。可以通过遥感方式获取的水文气象变量包括：地表温度、近地表土壤含水量、积雪覆盖和雪水当量、地表粗糙度以及植被覆盖等。另外，还可以利用遥感方式获取一些水文气象通量，如蒸发蒸腾损失总量 (ET) 等。

利用遥感手段直接监测地下水资源尚存在很大的技术难度，但在基于遥感和 GIS 的地下水综合评价与管理方面的应用案例很多。由于地下水的分布特征与区域的降雨量分布、土地利用情况、地质概况、地形高度、斜坡和排水特征有关，利用卫星遥感数据对地表的研究，尤其对探测地表特征（比如线性构造和地质情况等）则非常有效。通过制作包括基于遥感数据在内的不同专题地图，如年降雨量分布图、土地利用图、地质图、线性构造密度分布图、地形高程图、斜坡分布图和水网密度图等，再利用基于 GIS 技术开发的模型对这些专题地图进行综合评价，对于预测地下水潜力是非常合适的一种方法。

近几年利用遥感方法调查地下水潜在区及其水质也开始被广泛应用 (Rao & Jugran 2003)。Chaudhary & Rao (2006) 利用 1997 年 2 月与 2000 年 4 月的印度遥感卫星 IRS-IC/D LISS-III 数据，首先确定了研究区冲积平原、洪泛平原、盐碱地等地物单元的空间分布，并对每一种地貌单元的地下水可能潜力进行分析，结合地面调查验证资料做出了研究区的 1:5 万比例尺的地下水分布前景专题

---

图，为缩小地下水开采目标区提供了有效信息。Chen et al (2007) 利用遥感分析评价了美国密西西比河流域及其 4 个主要子流域的地下水储量变化。他们首先利用 GLDAS 模型获取了土壤水分与积雪的资料，在此基础上根据遥感获取的重力场信息估算区域地下水储量变化。与观测井数据的比较显示，这种方法在美国密西西比河流域及两个较大子流域的结果很好，但在两个较小子流域的结果较差。

地下水补给通量是连接地表与地下水文系统的重要参数，与植被覆盖于类型的空间分布密切相关，其大小直接决定了确保可持续利用的地下水开采量。这一通量通常是利用地表水与地下水的平衡残量来估算，大范围的野外观测非常困难。Entekhabi & Moghaddam (2007) 对可应用于大范围地下水补给通量估算的各种星载和机载遥感及其数据解译技术做了综述，认为微波遥感由于其全天候的优势可发挥重要作用。由于流域尺度的地下水净采量(地下水开采与补给量之差)的时空分布信息很难获得，基于观测井数据的分析结果存在严重不足，Ahmad et al (2005) 提出一个基于地球信息技术计算非饱和区各水量平衡要素的方法。这种基于遥感和水平衡的方法并不直接计算地下水补给量，而是通过遥感确定灌区的净耗水量，定量分析其空间变化，在巴基斯坦一个大型灌区的示范应用很成功。

### 3.2 综合分析评价

随着计算机技术、光电技术和航天技术的不断发展，卫星遥感技术正在进入一个能快速及时提供多种对地观测海量数据及应用研究的新阶段。遥感技术的发展自 20 世纪 80 年代开始明显加快，不仅成为很多行业跨入高新技术门槛的有力手段，学科本身也得到极大促进，但遥感的实用化一直受到人们的怀疑。90 年代以来，随着遥感传感器技术的飞速发展以及遥感数据源的极大丰富，人类生存环境的恶化以及全球一体化的需求，遥感技术再次迎来一个发展高峰，并呈现出多方面的特点(李静 2005)。目前，高空间分辨率、高时间分辨率和高光谱分辨率的遥感数据不断涌现，遥感应用与数字地球紧密结合在一起。GoogleEarth 遥感影像浏览功能的出现，使遥感应用通过网际网络全面走向普通大众，从而又对遥感的更深入应用产生巨大冲击和推动。在遥感数据多元化、遥感信息定量化、遥感应用动态化、遥感技术产业化、遥感产业网络化等诸多新的发展趋势条件下，水利水电领域的遥感应用研究尤其需要关注。

### (1) 多源遥感数据源的综合利用

随着信息技术和传感器技术的飞速发展，卫星遥感影像分辨率有了很大提高，包括空间分辨率、光谱分辨率和时间分辨率。从 20 世纪 70 年代初的第一颗地球资源卫星开始，空间分辨率由 80m 提高到 70 年代末的 30m，80 年代的 10m，90 年代的 5m，到 20 世纪 90 年代末和本世纪初，商用遥感卫星的分辨率已提高到 1m。在高空间分辨率卫星不断涌现的同时，各种高时间分辨率的低空间分辨率卫星以及其他各种航空航天多光谱传感器还在相继投入运行，高光谱分辨率的新型遥感数据源也在不断出现，形成现代遥感技术高速发展的暂新局面。当今，海量遥感信息从各种传感器上不断接收下来，这些高分辨率、高光谱的遥感数据为遥感定量化、动态化、网络化、实用化和产业化及利用遥感数据进行地物特征的提取，提供了丰富的数据源。如何更有效地充分利用这些对地观测数据已成为进一步提高水利水电行业遥感应用水平的重要课题，尤其应针对我国水旱灾害遥感监测体系与平台建设的实际需要，积极开展多源遥感数据源的综合利用应用研究。

### (2) 全方位的遥感信息定量化研究

遥感信息定量化，建立地球系统科学信息系统，实现全球观测海量数据的定量管理、分析与预测、模拟是遥感当前重要的发展方向之一。国内外遥感机构在此方面做了不少工作，取得了良好的进展。目前，高光谱遥感器的光谱分辨率已达数纳米，高空间分辨率影像也达 1m 以内，成为定量遥感的重要基础。如何利用这些已有的或将要出现的对地观测数据，更加准确地定量反演各种地区信息，对于全球变化和全球资源环境状况监测和调查意义重大，是遥感技术在更大程度上实现实用化和产业化的重要前提。今后应重点围绕水旱灾害监测与评估，积极开展各种相关参数的遥感定量化反演研究，如降水、土壤水分、蒸发蒸腾、积雪等。

### (3) 面向抗旱减灾业务的遥感干旱监测业务化

土壤水分是干旱监测的重要指标，虽然我国在遥感监测土壤水分等方面取得了可喜的成果，大大缩短了与国外同类研究的差距，但目前我国在该领域的研究还主要集中在光学遥感上，微波遥感研究还相对落后。国内的中国科学院、中国农科院，以及中国气象局也相继建立了基于遥感的干旱监测业务化运行系统，但面向抗旱减灾业务的遥感干旱监测业务化系统在水利水电行业尚未真正建立起

来。目前,国家气候中心利用降雨资料每 10d 监测一次全国旱情,国家卫星气象中心利用气象卫星遥感图像每旬监测一次全国干旱状况,国家气象中心利用地面土壤含水量观测资料每 5d 发布一次旱情状况。中国水科院遥感中心长期从事旱灾监测与评估研究,并已在黑龙江省建立了全国第一个基于遥感的土壤墒情监测及预报系统。遥感在干旱监测中的潜力和作用,以及传统干旱监测方法所不具备的优势已得到国内越来越多人的认同,正在从试验研究向实用化迈进。应积极开展相关技术应用研究,结合水利行业抗旱减灾管理业务的实际需求,推动遥感干旱监测全面走向业务化运行。

#### (4) 基于遥感的灌溉节水效果评价

近几年来,利用遥感计算大范围蒸发蒸腾(ET)的技术取得巨大进展,在世界很多地方获得成功示范,世行海河 GEF 项目的核心就是推广遥感 ET 在流域水资源管理中的应用。基于遥感 ET 的灌溉质量评价在国内外也取得成功示范,研究案例显示,它完全可以成为现有基于渠道输水量监测网络数据的一个很好补充。有关灌溉管理中的充分性、生产率、公平性、可靠性及可持续性等方面的评价指标是可以利用遥感数据计算的。灌溉质量评价指标的标准化一直是国际灌排委员会(ICID)的一项重要议题,而卫星遥感监测恰恰可以提供一致、客观的反映灌溉状况的信息,从而使得每个灌区内部以及不同灌区之间的比较成为可能。因此,基于卫星遥感的灌溉质量评价为我国节水型农业建设提供了一条客观和标准化的真实节水效果评价的有效途径。应积极开展对遥感 ET 在田间地块尺度灌溉质量诊断、灌溉实施情况定期监测、灌溉水资源整体利用评价、水分生产率评价、节水灌溉措施真实节水效果分析评价、流域水权执行状况监督等方面的研究。

### 3.3 对本学科发展的若干建议

国际遥感技术研究及其应用正在经历着前所未有的快速发展时期,水利水电领域的遥感应用前景十分广阔,所面临的机遇和挑战并存。我国的遥感技术应用水平总体上并不落后于国际水平,但基础研究方面却存在一定差距,与国际发展水平相比还存在一定不足。根据本阶段调研结果和分析,建议本学科在如下几方面加强研究,以孵化学科的新增长点。

- 解决技术问题,构建专用平台,推动水旱灾害动态遥感监测的业务化运行,重点开展预警预报与风险管理技术研究;
- 为节水型农业提供遥感支持,尤其开展基于遥感 ET 的大型灌区用水管理



与节水效果评价技术研究;

- 跟踪国际动态,加强国内合作,积极开展遥感信息定量反演等基础性研究,从广度和深度两个层面提高遥感为防洪抗旱以及水资源管理提供信息支持的能力;

- 积极开展多源遥感数据信息挖掘、融合、同化和优化利用等应用研究,在有效利用好现有数据源的同时还应关注近期的新数据源利用问题。

## 参考文献

- [1] Ahmad, M., Bastiaanssen, W.G.M., Feddes, R.A. A new technique to estimate net groundwater use across large irrigated areas by combining remote sensing and water balance approaches, Rechna Doab, Pakistan[J]. Hydrogeology Journal, 2005, 13 (5-6) : 653-664
- [2] Akbari, M., Toomanian, N., Droogers, P., Bastiaanssen, W.G.M., Gieske, A. Monitoring irrigation performance in Esfahan, Iran, using NOAA satellite imagery[J]. Agricultural Water Management, 2007, 88 (1) : 99-109
- [3] Alexandridis, T., Asi, S. & Ali, S. Water performance indicators using satellite imagery for the Fordwah Estern Sadiqia (South) irrigation and drainage project. Report no R-87, International Water Management Institute, Lahore, Pakistan, 1999: 16pp
- [4] Ambast, S.K., Singh, O.P., Tyagi, N.K., Menenti, M., Roerink, G.J. & Bastiaanssen, W.G.M. Appraisal of irrigation system performance in saline irrigated command using SRS and GIS, in Nieuwenhuis et al (eds) Operational Remote Sensing for Sustainable Development, Balkema, Rotterdam, 1999: 457-461
- [5] Arkhipkin, O.P., Spivak, L.F., Sagatdinova, G.N. Space monitoring of floods in Kazakhstan. Proceedings of IGRASS'07, 23-27 July 2007, Barcelona, Spain
- [6] Arnaud, P., Bounvier, C., Cisneros, L., et al. Influence of rainfall spatial variability on flood prediction[J]. Journal of Hydrology, 2002, 260: 216-230
- [7] Bandara, K.M.P.S. Monitoring irrigation performance in Sri Lanka with high frequency satellite measurements during the dry season[J]. Agricultural Water Management, 2003, (58) : 159-170
- [8] Bartholic, J.F., Namken, L.N. and Wiegand, C.L. Aerial thermal scanner to determine temperatures of soils and of crop canopies differing in water stress[J]. Agron J, 1972, (64): 603-608
- [9] Bastiaanssen, W.G.M., Wal, T. Van der & Visser, I.N.M. Diagnosis of regional evaporation by remote sensing to support irrigation performance assessment[J]. Irrigation and Drainage Systems, 1996, (10) : 1-23
- [10] Bastiaanssen, W.G.M. Remote sensing in water resources management: the state of the art. International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka, 1998: 118pp
- [11] Bastiaanssen, W.G.M., Menenti, M., Feddes, R.A. & Holtslag, A.A. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL), part2: validation[J]. J. Hydrol, 1998: 212-229

- 
- [12] Bastiaanssen, W.G.M. & Bos, M.G. Irrigation performance indicators based on remotely sensed data: a review of literature[J]. *Irrigation and Drainage Systems*, 1999, 13 (4) : 291-311
  - [13] Bastiaanssen, W.G.M., Brito, R.A.L., Bos, M.G., Souza, R.A., Cavalcanti, E.B. & Bakker, M.M. Low cost satellite data for monthly irrigation performance monitoring: benchmarks from Nilo Coelho, Brizal[J]. *Irrigation and Drainage Systems*, 2001, 15 (2) : 53-79
  - [14] Bastiaanssen, W.G.M., Noordman, E.J.M., Pelgrum, H., Davids, G., Thoreson, B.P. & Allen, R.G. SEBAL model with remotely sensed data to improve water-resources management under actual field conditions[J]. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 2005, 131 (1) : 85-93
  - [15] Bates, P.D. & De Roo, A.P.J.. A simple raster-based model for floodplain inundation[J]. *Journal of Hydrology*, 2000, 236: 54-77
  - [16] Becker A. & Grünwald U. Flood risk in Central Europe. *Science*, 2003, 300 (5622) : 1099
  - [17] Beven, K.J. Prophecy, reality and uncertainty in distributed hydrological modelling[J]. *Adv. Water Resour.*, 1993, 16: 41–51
  - [18] Bindlish, R. Parameterization of vegetation backscatter in radar-based, soil moisture estimation[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2001, 76 (01) : 130-137
  - [19] Boni, G., Castelli, F., Ferraris, L., Pierdicca, N., Serpico, S. and Siccardi, F. High resolution COSMO/SkyMed SAR data analysis for civil protection from flooding events. IGRASS'07, 23-27 July 2007, Barcelona, Spain
  - [20] Bos, M.G. Performance indicators for irrigation and drainage[J]. *Irrig. Drain. Syst.*, 1997, (11) : 119–137
  - [21] Bowers, S.A. & Hunks, R.J. Reflection of radiant energy from soils [J]. *Soil Science*, 1965, 100 (2) : 130-138
  - [22] Briggs, D.J. Gulliver, J., Fecht, D. and Vienneau, D.M. Dasymetric modelling of small-area population distribution using land cover and light emissions data[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2007, 108 (4) : 451-466
  - [23] Brown, K.W. & Rosenberg, H.T. A resistance model of predict evapotranspiration and its application to a sugarbeet field[J]. *Agron J*, 1973, (65) : 341-347
  - [24] Carlson, T.N. A method to make use of thermal infrared temperature and NDVI measurement to infer surface soil water content and fractional vegetation cover[J]. *Remote Sensing of Environment*, 1994, (9) : 161-173
  - [25] Chaudhary, B. S., Rao, Toleti B. V. M. Hydrogeomorphological mapping and delineation of ground water potential zones using satellite data in Sonipat district, Haryana[J]. *Annals of Agri Bio Research*. 2006, 11 (1) : 7-14
  - [26] Das, N.N. & Mohanty, B.P. Temporal dynamics of PSR-based soil moisture across spatial scales in an agricultural landscapes during SEMX02: a wavelet approach[J]. *Remote Sensing of Environment*, 12 July 2007, in press
  - [27] David, L.B.J. Constrained two layer models for estimating evapotranspiration. 11th Asia conference on Remote sensing, Zhongshan University, Guangzhou, China, 16-19 Nov 1990
  - [28] Dobson, M.C., Ulaby, F.T., Hallikainen, M.T., El-Rayes, M.A. Microwave dielectric behavior of wet soil, dielectric mixing models[J]. *IEEE Trans Geosci Remote Sens*, 1985, (GE-23) : 35-46

- 
- [29] Droogers, P., Kite, G. Water productivity from integrated basin modeling[J]. *Irrig. Drain. Syst.*, 1999, (13) : 275–290
  - [30] Droogers, P. & Bastiaanssen, W.G.M. 2002. Irrigation performance using hydrological & remote sensing modelling[J]. *J. of Irrig. Drain. Engineering*, 128 (1) : 11-18
  - [31] Dutta, D., Herath, S., Musiake, K. Flood inundation simulation in a river basin using a physically based distributed hydrologic model[J]. *Hydrological Processes*, 2000, (14) : 497-519
  - [32] Dutta, D., Herath, S., Musiake, K. A mathematical model for flood loss estimation[J]. *Journal of Hydrology*, 2003, 277 (1) : 24–49
  - [33] Entekhabi, D. & Moghaddam, M. Mapping recharge from space: roadmap to meeting the grand challenge[J]. *Hydrogeology Journal*, 2007, 15 (1) : 105-116
  - [34] Felipe, I.P., Dohm, J.M., Baker, V.R., Doggett, T., Davies, A.G., Castaño, R., Chien, S., Cichy, B., Greeley, R., Sherwood, R. Flood detection and monitoring with the Autonomous Science Craft Experiment onboard EO-1[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2006, 101(4): 463-481
  - [35] Forte, F., Strobl, R.O., Pennetta, L. A methodology using GIS, aerial photos and remote sensing for loss estimation and flood vulnerability analysis in the Supersano-Ruffano-Nociglia Graben, southern Italy[J]. *Environ Geol.*, 2006, (50) : 581–594
  - [36] Frate, D. & Schiavon, G. Retrieving soil moisture and agricultural variables by microwave radiometry using neural networks[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2003, 84: 174-183
  - [37] Garzelli, A. & Nencini, F. Panchromatic sharpening of remote sensing images using a multiscale Kalman filter[J]. *Pattern Recognition*, 2007, 40 (12) : 3568-3577
  - [38] Germmer, M. Decision support of flood risk management at the Yangtze River by GIS/RS based flood damage estimation[M]. Giessen: Shaker, 2004: 108-127
  - [39] Gorantiwar, S.D. & Smout, I.K. Performance assessment of irrigation water management of heterogeneous irrigation schemes: 1. A framework for evaluation[J]. *Irrigation and Drainage Systems*, 2005, 19: 1–36
  - [40] Hansson, K., Danielson, M. & Ekenberg, L. A framework for evaluation of flood management strategies[J]. *Journal of Environmental Management*, 2007 Feb 8
  - [41] Heiko, A., et al. A probabilistic modeling system for assessing flood risks[J]. *Natural Hazards*, 2006, (38) : 79-100
  - [42] Henry, J.B., Chastanet, P., Fellah, K., Desnos, Y.L. ENVISAT multi-polarised ASAR data for flood mapping. *Proceedings of IGARSS'03*, 21-25 July 2003, Toulouse, France
  - [43] Hossain, F., Anagnostou, E.N. Assessment of current passive-microwave and infrared-based satellite rainfall remote sensing for flood prediction[J]. *J. Geophys. Res.*, 2004, 109 (D7) (Art. No. D07102)
  - [44] Hirschmugl, M., Ofner, M., Raggam, J. & Schardt, M. Single tree detection in very high resolution remote sensing data[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2007, 110 (4) : 533-544
  - [45] Hunter, N.M., Horritt, M.S., Bates, P.D., Wilson, M.D., Werner, M.G.F. An adaptive time step solution for raster-based storage cell modelling of floodplain inundation[J]. *Advances in Water Resources*, 2005, (28) : 975–991
  - [46] Idso, S.B., Jackson, R.D., Pinter, P.J.Jr., et al. Normalizing the stress degree day for

- 
- environmental variability[J]. *Agricultural Meteorology*, 1981, (24) : 45-55
- [47] Islam, M.M., Sado, K. Flood hazard assessment in Bangladesh using NOAA AVHRR data with geographical information system[J]. *Hydrological Processes*, 2000, (14) : 605-620
- [48] Jackson, R.D., et al. Canopy temperature as a crop water stress indicator[J]. *Water Resources Research*, 1981, (17) : 1133-1138
- [49] Jackson, R.D. Kustas, W.P., et al. A reexamination of the crop water stress index[J]. *Irrigation Science*, 1988, (9) : 309-317
- [50] Jackson, R.D., Idso, S.B., Reginato, R.J. & Pinter P.J. Canopy temperature as a crop water stress indicator[J]. *Water Resources Research*, 1981, (17) : 1133-1138
- [51] Kahle, A.B. A simple thermal model of the Earth's surface for geologic mapping by remote sensing[J]. *J Geophys Res*, 1977, (82): 1673
- [52] Kogan, F. Global drought and flood- watch from NOAA polar-orbiting Satellites[J]. *Advances in Space Research*, 1998, 21 (03) : 477-480
- [53] Koike, T., Fujii, H., Ohta, T., Togashi, E. Development and validation of TMI algorithms for soil moisture and snow. *Remote Sensing and Hydrology 2000, Proceedings of a symposium held at Santa Fe, New Mexico, USA, April 2000, IAHS Publ. no. 267*, 390-393
- [54] Kondoh, A. & Kishi, S. The use of multi-temporal NOAA/AVHRR data to monitor surface moisture status in the Huaihe River basin, China[J]. *Advances in Space Research*, 1998, 22 (05) : 645-654
- [55] Lasaponara, R., Lanorte, A., Masini, N. Estimation of seasonal trends of satellite-based parameters useful for the monitoring of surface moisture content: preliminary results by using NIR-SWIR data of SPOT vegetation. *Proc. Remote sensing for agriculture, ecosystems, and hydrology*, 13-17 September 2004, Spain: 408-417
- [56] Li, H., Lei, Y., Li, Z., Mao, R. Calculating regional drought indices using evapotranspiration (ET) distribution derived from Landsat7 ETM+ data. *SPIE Conference on Remote Sensing and Modeling of Ecosystems for Sustainability II*, 2-3 August 2005, San Diego, CA (US) : 58841E.1-58841E.9
- [57] Luckman, A. The potential of satellite radar interferometry and feature tracking for monitoring flow rates of Himalayan glaciers[J]. *Remote Sensing of Environment*. 2007, (9)
- [58] Mason, D.C., Dall'Amico, J.T., Scott, T.R., Horritt, M.S. Using airborne laser altimetry to improve river flood extents delineated from SAR data. *IGRASS'07*, 23-27 July 2007, Barcelona, Spain
- [59] Matgen, P., Schumann, G., Henry, J.B., Hoffmann, L. and Pfister, L. Integration of SAR-derived river inundation areas, high-precision topographic data and a river flow model toward near real-time flood management[J]. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2007, 9 (3) : 247-263
- [60] Menenti, M., Visser, T.N.M., Morabito J.A. & Drovandi, A. Appraisal of irrigation performance with satellite data and georeferenced information. In Rydzewski, J.R. and Ward, C.F. (eds) *Irrigation Theory and Practice*, Proc of the Int. Conf, Inst. of Irrigation Studies, 12-15 Sep 1989, Southampton, London: 785-801
- [61] Menenti, M. Remote sensing in evaluation and management of irrigation. *Instituto Nacional de Ciencia y Techicas Hidricas (INCYYH)* , Mendoza, Argentina, 1990: 337pp

- 
- [62] Merlin, O., Chehbouni, A., Kerr, Y.H., Goodrich, D.C. A downscaling method for distribution surface soil moisture within a microwave pixel: application to the monsoon'90 data[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2006, 101: 379-389
  - [63] Milliard, J.P., Jackson, R.D. Crop water stress assessment using an airborne thermal scanner[J]. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 1978, (44) : 77-85
  - [64] Moeremans, B. & Dautrebande, S. Soil moisture evaluation by means of multi-temporal ERS SAR PRI images and interferometric coherence[J]. *Journal of Hydrology*, 2000, 234: 162-169
  - [65] Molden, D. Accounting for water use and productivity. SWIM Paper 1, International Irrigation Management Institute, Colombo, Sri Lanka, 1997
  - [66] Moran, M.S., Clarke, T.R., Inoue, Y. & Vidal, A. Estimating crop water deficit using the relation between surface air-temperature and spectral vegetation index[J]. *Remote Sensing of Environment*, 1994, 49 (2) : 246-263
  - [67] Mosquera-Machado, S. & Ahmad, S. Flood hazard assessment of Atrato River in Colombia[J]. *Water Resource Management*, 2007, 21 (3) : 591-609
  - [68] Nageswara, V.J. Satellite remote sensing in disaster management, in *Natural Resource Management*, Karale, R.L. NNRMS Pub., Bangalore, India, 1992
  - [69] Palacio, A.A.G. Runoff Coefficients Using a Quickbird image for mapping flood hazard in a tropical coastal city, Campeche, Mexico. IGRASS'07, 23-27 July 2007, Barcelona, Spain
  - [70] Peters, A.J., et al. Drought monitoring with NDVI-based standardized vegetation index[J]. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 2002, (68) : 71-75
  - [71] Plaza, A.J. Parallel techniques for information extraction from hyperspectral imagery using heterogeneous networks of workstations[J]. *Journal of Parallel and Distributed Computing*, 2007, 10 July: 1-19
  - [72] Price, J.C. Thermal inertia mapping: a new view of the earth[J]. *J Geophys Res*, 1977, (82): 2582
  - [73] Price, J.C. On the analysis of thermal infrared imagery: the limited utility of apparent thermal inertia[J]. *Remote Sens Environ*, 1985, 18 (1): 59
  - [74] Rao, P. S. 1993. Review of selected literature on indicators of irrigation performance. IIMI Research Paper No 13, Colombo, Sri Lanka, International Irrigation Management Institute: 75pp
  - [75] Rao, Y.S. & Jugran D.K. Delineation of groundwater potential zones and zones of groundwater quality suitable for domestic purposes using remote sensing and GIS[J]. *Hydrological Sciences Journal*, 2003, 48 (5) : 821-833
  - [76] Rast, M., Bouvet, M., Delwart, S., Goryl, P., Huot, J.P. and Regner, P. First results of ESA's MERIS for land and environmental applications. Proceedings of the MERIS User Workshop, 10-13 November 2003, ESA-ESRIN, Frascati, Italy
  - [77] Robert, J.M., Bell, V.A., Jones, D.A. Forecasting for flood warning[J]. *Comptes Rendus Geosciences*, 2005, 337 (1-2) : 203-217
  - [78] Rodell, M., Chen, J.L., Kato, H., Famiglietti, J.S., Nigro, J., Wilson, C.R. Estimating groundwater storage changes in the Mississippi River basin (USA) using GRACE[J]. *Hydrogeology journal*, 2007, 15 (1) : 159-166
  - [79] Sakthivadivel, R., Thiruvengadachari, S., Amerasinghe, U., Bastiaanssen, W.G.M. &

- 
- Molden, D.J. Performance evaluation of the Bhakra irrigation system, India, using remote sensing and GIS techniques. Research Report 28, International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka, 1999a: 22pp
- [80] Sandholt, I. & Andersen, J. A simple interpretation of the surface temperature/vegetation index space for assessment of surface moisture status[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2002, 79: 213-224
  - [81] Schmugge, T.J. & Kustas, W.P. Remote sensing in hydrology[J]. *Advances in Water Resources*, 2002, (25) : 1367-1385
  - [82] Schneiderhan, T., Hoffmann, J., Huber, M., Zwenzner, H., Voigt, S. Use of ENVISAT ASAR and ERS SAR data for flood rapid mapping. *Proceedings of the ENVISAT Symposium*, Montreux, 22-25 April 2007
  - [83] Schultz, G.A. & Engman, E.T. *Remote sensing in hydrology and water management*[M]. Springer, 1 edition, 2000: 483pp
  - [84] Siqueira, P., Chapman, B. and McGarragh, G. The coregistration, calibration, and interpretation of multiseason JERS-1 SAR data over South America[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2004, 90 (4) : 536-550
  - [85] Soer, G.J.R. Estimation of regional evapotranspiration and soil moisture conditions using remotely sensed crop surface temperature[J]. *Remote Sens Environ*, 1980, (9) : 27-45
  - [86] Su, Z., Yacob, A., Wen, J., et al. Assessing relative soil moisture with remote sensing data: theory, experimental validation, and application to drought monitoring over the North China Plain[J]. *Physics and Chemistry of the Earth*, 2003, (28) : 89-101
  - [87] Tansey, K.J. & Millington, A.C. Investigating the potential for soil moisture and surface roughness monitoring in drylands using ERS SAR data[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2001, 22 (11) : 2129-2149
  - [88] Thiruvengadachari, S. Use of satellite remote sensing in irrigation system management. In *Symposium on Management Information Systems in Irrigation and Drainage: Sixteenth Congress on Irrigation and Drainage*, New Delhi, 1996
  - [89] Thiruvengadachari, S. & Sakthivadivel, R. Satellite remote sensing for assessment of irrigation system performance: a case study In India. *IWMI Research Report No.9*, 1977: 23pp
  - [90] Wang, J.R. Effect of vegetation on soil moisture sensing observed from orbiting microwave radiometers[J]. *Remote Sens Environ*, 1985, 17: 141-51
  - [91] Watson, K., Rowen, L.C., Offield, T.W. Application of thermal modeling in the geologic interpretation of IR images[J]. *Remote Sens Environ*, 1971, (3): 2017-2041
  - [92] Wei, C., Hung, W.C., Cheng, K.S. A multi-spectral spatial convolution approach of rainfall forecasting using weather satellite imagery[J]. *Advances in Space Research*, 2006, (37) : 747-753
  - [93] Yang, S.T., Liu, C.M., Sun, R. The temporal and spatial analysis of drought in Yellow River Basin using remote sensing and GIS. *Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS '03 Proceedings*, 2003, (4) : 2290-2292
  - [94] Yu, C. *GeoAgent-based Knowledge Systems*. Ph.D Dissertation, The Pennsylvania State University, 2005
  - [95] Zribi, M. A new empirical model to retrieve soil moisture and roughness from C-band radar

- 
- data[J]. Remote Sensing of Environment, 2002, 84: 42-52
- [96] 池天河,张新,韩承德,胡伟武,方金云. 基于并行计算的洪水灾害快速评估系统研究[J]. 人民长江,2004,35 (5) : 21-23
- [97] 郭晓寅,程国栋.2004. 遥感技术应用于地表蒸散发的研究进展 [J]. 地球科学进展,19 (1): 107-114
- [98] 黄妙芬,刘素红,朱启疆.2004. 应用遥感方法估算区域蒸散量的制约因子分析[J].干旱区地理,27 (1): 101-105
- [99] 李静. 遥感技术发展的新趋势分析. <http://www.gissky.net/> , 2005.6.15
- [100] 李震, 郭华东 等. 综合主动和被动微波数据监测土壤水分变化[J]. 遥感学报, 2002, 6 (6) : 481-484
- [101] 刘纪远,岳天祥 等.中国人口密度数字模拟[J]. 地理学报, 2003, 58 (1): 17-24
- [102] 刘金涛,李致家.基于雷达测雨的实时洪水预报模型[J]. 河海大学学报. 2004, 32 (5): 488-491
- [103] 刘培君,张琳,艾里西尔.等. 卫星遥感估测土壤水分的一种方法[J]. 遥感学报, 1997,1 (2): 135-138
- [104] 刘兴文,冯勇进.应用热惯量编制土壤水分图及土壤水分探测效果[J].土壤学报,1987, 24 (3): 272-280
- [105] 刘志明,张柏 等. 土壤水分与干旱遥感研究的进展与趋势[J]. 地球科学进展, 2003, 18 (4) : 576-582
- [106] 齐述华, 李贵才 等. 利用 MODIS 数据产品进行全国干旱监测的研究[J]. 水科学进展, 2005, 16 (1) : 56-61
- [107] 施建成, 李震, 李新武 等. 目标分解技术在植被覆盖条件下土壤水分计算中的应用[J]. 遥感学报, 2002, 6 (6) : 412-413
- [108] 隋洪智,田国良,李付琴.农田蒸散双层模型及其在干旱遥感监测中的应用[J]. 遥感学报, 1997, 1 (3): 220-224
- [109] 孙绍骋,遥感技术在洪涝灾害防治体系建设中的应用[J]. 地理科学进展, 2002, 21 (3) : 282-288
- [110] 田国良,土壤水分的遥感监测方法[J]. 环境遥感, 1991, 6 (2): 89-99
- [111] 王建, Federicis, P. 等. 基于遥感与地理信息系统的 SRM 融雪径流模型在 Alps 山区流域的应用[J]. 冰川冻土, 2001 年 23 卷 4 期: 436-441
- [112] 汪萧,张增祥 等. 遥感监测土壤水分研究综述[J]. 土壤学报, 2007, 44 (1) : 157-163
- [113] 薛辉,倪绍祥 等. 我国土壤水分热红外遥感监测研究进展[J]. 干旱地区农业研究, 2006, 24 (6) : 168-172
- [114] 闫峰,覃志豪,李茂松,王艳姣.农业旱灾监测中土壤水分遥感反演研究进展[J]. 自然灾害学报, 2006, 15 (6): 114-120
- [115] 张灿龙,倪邵祥 等. 遥感监测土壤含水量方法综述[J]. 农机化研究, 2006, 6 (6) : 58-61
- [116] 张仁华.土壤含水量的热惯量模型及其应用[J]. 科学通报, 1991, 36 (12): 924-927
- [117] 钟若飞,郭华东 等. 被动微波遥感反演土壤水分研究进展[J]. 遥感技术与应用, 2005, 20 (1) : 49-57
- [118] 朱永豪,邓仁达,卢亚非.不同湿度条件下黄棕壤光谱反射率的变化特征及其遥感意义[J]. 土壤学报,1984,21 (2): 194-202

表 1 历届国际地球科学与遥感研讨会 (IGARSS)

系列号	简称	主 题	时间	地点
第 1 届	IGARSS'81	遥感最新进展	1981.6.8-10	美国华盛顿
第 2 届	IGARSS'82	遥感的前景	1982.6.1-4	德国慕尼黑
第 3 届	IGARSS'83	遥感: 扩展人类的视野	1983.8.31-9.2	美国三藩市
第 4 届	IGARSS'84	遥感: 从研究走向业务化应用	1984.8.27-30	法国斯特拉斯堡
第 5 届	IGARSS'85	遥感仪器: 面向科学与应用的技术	1985.10.7-9	美国 Amherst
第 6 届	IGARSS'86	遥感: 今天的解决办法是为了明天的信息需要	1986.9.8-11	瑞士苏黎世
第 7 届	IGARSS'87	遥感: 把地球最为一个系统去理解	1987.5.18-21	美国密歇根
第 8 届	IGARSS'88	遥感: 迈步走向 21 世纪	1988.9.12-16	英国爱丁堡
第 9 届	IGARSS'89	暨第 12 届加拿大遥感研讨会 遥感, 90 年代一个经济的工具	1989.7.10-14	加拿大温哥华
第 10 届	IGARSS'90	90 年代的遥感科学	1990.5.20-24	美国马里兰
第 11 届	IGARSS'91	遥感: 面向地球管理的全球监测	1991.6.3-6	芬兰 Espoo
第 12 届	IGARSS'92	更好地了解地球环境	1992.5.26-29	美国休斯敦
第 13 届	IGARSS'93	更好地了解地球环境	1993.8.18-21	日本东京
第 14 届	IGARSS'94	表面与大气遥感: 技术、数据分析与解译	1994.8.8-12	美国加州
第 15 届	IGARSS'95	面向科学与应用的定量遥感	1995.7.10-14	意大利佛罗伦萨
第 16 届	IGARSS'96	面向可持续未来的遥感	1996.5.27-31	美国 Lincoln
第 17 届	IGARSS'97	遥感 - 一个可持续发展的科学视野	1997.8.3-8	新加坡
第 18 届	IGARSS'98	感知与管理环境	1998.7.6-10	美国西雅图
第 19 届	IGARSS'99	地球系统遥感-21 世纪的挑战	1999.6.28 -7.2	德国汉堡
第 20 届	IGARSS'00	把握星球的脉搏: 遥感在环境管理中的作用	2000.7.24-28	美国檀香山
第 21 届	IGARSS'01	总结今日, 放眼未来	2001.7.9-13	澳大利亚悉尼
第 22 届	IGARSS'02	暨第 24 届加拿大遥感研讨会 遥感: 使我们对星球的视野更全面	2002.6.24-28	加拿大多伦多
第 23 届	IGARSS'03	从地球形状与颜色观测中学习	2003.7.21-25	法国图卢斯
第 24 届	IGARSS'04	科学服务社会: 探索和管理一个变化中的星球	2004.9.20-24	美国阿拉斯加
第 25 届	IGARSS'05	人与自然和谐	2005.7.25-29	韩国首尔
第 26 届	IGARSS'06	暨第 27 届加拿大遥感研讨会 遥感 - 一个自然的全球伙伴	2006.7.31-8.4	美国丹弗
第 27 届	IGARSS'07	感知和了解我们的星球	2007.7.23- 27	西班牙巴塞罗那
第 28 届	IGARSS'08		2008.7.7-11	美国波斯顿
第 29 届	IGARSS'09		2009.7.7-11	南非开普敦
第 30 届	IGARSS'10		2010	美国夏威夷
第 31 届	IGARSS'11		2011	日本仙台
第 32 届	IGARSS'12		2012	待定
第 33 届	IGARSS'13		2013	澳大利亚墨尔本



表 2 历届国际环境遥感研讨会 (ISRES)

系列号	主 题	时间	地点
第 1 届		1962.2.13-15	美国密歇根
第 2 届		1962.10.15-17	美国密歇根
第 3 届		1964.10.14-16	美国密歇根
第 4 届		1966.4.12-14	美国密歇根
第 5 届		1968.4.16-18	美国密歇根
第 6 届		1969.10.13-16	美国密歇根
第 7 届		1971.5.17-21	美国密歇根
第 8 届		1972.10.2-6	美国密歇根
第 9 届	会议就遥感技术在地球资源及人类环境的测绘、监测与管理方面的应用,多光谱扫描仪、雷达成光谱仪、与航空摄影等各种遥感仪器的使用,以及数据处理技术等议题进行了交流。	1974.4.15-19	美国密歇根
第 10 届	会议议题涉及光谱仪与红外遥感应用、星载专题测图传感器性能优化、数字化机载多光谱扫描仪与数据处理系统、热红外仪测量、基于卫星的洪水信息采集平台与海面温度自定测量,也包括了太阳与大气影响以及遥感图像处理技术。	1975.10.6-10	美国密歇根
第 11 届	会议议题涉及传感器开发与数据分析及在地质、矿产、气象、农业、林业、山地、海洋、近海与环境等方面,也关注了遥感的经济与机构问题、技术转让、微波遥感以及遥感在业务运行计划中的作用等。	1977.4.25-29	美国密歇根
第 12 届	会议议题涉及各国遥感活动与具体项目情况、全球遥感途径、矿产开发、土地利用信息系统、声学雷达技术、发展中国家土地利用分析、积雪微波辐射计测量、小麦估产、农林资源与洪泛区调查等。	1978.4.20-26	菲 律 宾 马 尼 拉
第 13 届	会议议题涉及数据采集处理与分析硬件与技术、地球资源与人类环境监测与管理、地-机-星传感器系统等。	1979.4.23-27	美国密歇根
第 14 届	会议议题涉及遥感在资源监测与管理、数据分类与模拟、发展中国家遥感利用及遥感在土地利用/土地覆盖、土壤调查、作物识别、地质资源调查、可再生资源分析及海洋等方面的应用。	1980.4.23-30	哥 斯 达 黎 加 圣 约 瑟
第 15 届	会议议题涉及先进传感器研发进展、用于全球资源管理的先进空间遥感系统、地球表面的星载雷达观测、先进的地球资源卫星系统概念、地球资源多光谱调查技术、数字影像处理技术、微波遥感等。	1981.5.11-15	美国密歇根
第 16 届		1982.6.2-9	阿 根 廷 布 宜 诺 斯 艾 利 斯
第 17 届	会议议题涉及地-机-星遥感数据采集、处理与分析及在地球资源环境监测与管理中的应用、美国遥感发展方向、未来的陆地遥感观测、陆地海洋及大气的全球遥感观测、水文模拟中的遥感应用、地理星系系统、航天飞机成像雷达及	1983.5.9-13	美国密歇根

系列号	主 题	时间	地点
	LANDSAT-4 与 AVHRR 在油气勘探、植被生物量、污染等方面的应用。		
第 18 届	会议议题涉及遥感技术在农业监测、自然资源评价与灾害研究中的应用、遥感数据处理与多光谱成像技术进展等。	1984.10.1-5	法国巴黎
第 19 届	会议讨论了陆地遥感技术及应用，议题涉及 90 年的 NASA 地球科学计划与 NOAA 对地观测计划、法国空间遥感、遥感卫星计划的国际协调、影像地图应用及其他遥感应用。	1985.10.21-25	美国密歇根
第 20 届		1986.12.4-10	肯尼亚内罗毕
第 21 届		1987.10.26-30	美国密歇根
第 22 届		1988.10.20-26	象牙海岸阿比让
第 23 届		1990.4.18-25	泰国曼谷
第 24 届		1991.5.27-31	巴西里约热内卢
第 25 届	可持续发展的工具	1993.4.4-8	奥地利格拉茨
第 26 届	可持续发展的信息工具，第 18 届加拿大遥感研讨会	1996.3.25-29	加拿大温哥华
第 27 届	可持续的信息	1998.6.8-12	挪威 Tromsø
第 28 届	可持续发展的信息	2000.3.27-30	南非开普敦
第 29 届	可持续与发展的信息	2002.4.8-12	阿根廷布宜诺斯艾利斯
第 30 届	风险管理与可持续发展的信息	2003.11.10-14	美国夏威夷
第 31 届	可持续与安全的全球监测	2005.6.20-24	俄国圣彼得堡
第 32 届	基于全球对地观测的可持续发展	2007.6.25-29	哥斯达黎加圣约瑟

资料来源：<http://www.icrse.org/> 等。

表 3 历届亚洲遥感大会 (ACRS)

系列号	时间	地 点	备 注
第 1 届	1980.11.5-7	泰国曼谷	157 位代表来自孟加拉、中国、印度、日本、南韩、马来西亚、新加坡、斯里兰卡、泰国等 10 个亚洲国家，另外美国 1 人，荷兰 ITC1 人，UN ESCAP1 人。
第 2 届	1981.10.29-11.4	中国北京	157 位代表来自 12 亚洲和太平洋地区国家，新参会的包括澳大利亚、塞浦路斯、菲律宾。
第 3 届	1982.12.4-5	孟加拉达卡	171 位代表来自 16 个国家和组织，新参会的包括不丹、伊朗、尼泊尔、越南、法国、西德，FAO 与 UN ESCAP 代表作为观测员参加。
第 4 届	1983.11.10-15	斯里兰卡科伦坡	187 位代表来自 20 个国家和组织，新参会的包括巴基斯坦、加拿大、丹麦、英国，西德与联合国代表作为观测员参加。
第 5 届	1984.11.15-17	尼泊尔加德满都	171 位代表来自 15 个国家地区和组织，新参会的为意大利代表。
第 6 届	1985.11.22-25	印度海得拉巴	342 位代表来自 12 个国家地区和组织。
第 7 届	1986.10.24-27	南韩首尔	209 位代表来自 15 个国家地区和组织。
第 8 届	1987.10.23-26	印尼雅加达	226 位代表来自 14 个亚洲国家地区和 8 个非亚洲国家与国际组织。
第 9 届	1988.11.24-28	泰国曼谷	478 位代表来自 30 个国家地区和组织。
第 10 届	1989.11.24-27	马来西亚吉隆坡	441 位代表来自 20 个亚洲国家地区和多个非亚洲国家与国际组织。
第 11 届	1990.11.16-19	中国广州	513 位代表来自 17 个亚太洲国家地区和多个欧洲国家与国际组织。
第 12 届	1991.10.31-11.4	新加坡	
第 13 届	1992.10.8-9	蒙古乌兰巴托	
第 14 届	1993.10.12-17	伊朗德黑兰	474 位代表参加。
第 15 届	1994.11.18-21	印度班加罗尔	320 位代表来自 20 个亚太洲国家地区和 6 个非亚洲国家与国际组织参加。
第 16 届	1995.11.20-24	泰 国 Nakhon Ratchasima	358 位代表来自 31 个国家地区和 2 个国际组织参加，41 位来自非亚洲国家。中华台北等被接收为 AARS 正式成员。
第 17 届	1996.11.4-8	斯里兰卡科伦坡	236 位代表来自 24 个国家地区与国际组织参加。
第 18 届	1997.10.20-21	马来西亚吉隆坡	330 位代表来自 31 个国家地区与国际组织参加。
第 19 届	1998.11.17-18	菲律宾马尼拉	
第 20 届	1999.11.22-25	香港	
第 21 届	2000.12.4-8	台北	
第 22 届	2001.11.5-9	新加坡	
第 23 届	2002.11.25-29	尼泊尔加德满都	
第 24 届	2003.11.3-7	南韩釜山	
第 25 届	2004.11.22-26	泰国清迈	
第 26 届	2005.11.7-11	越南河内	
第 27 届	2006.10.9-13	蒙古乌兰巴托	
第 28 届	2007.10.12-16	马来西亚吉隆坡	

资料来源: <http://www.aars-acrs.org/acrs/> 等。

表 4 主要对地观测卫星遥感数据源

卫 星	发射时间	主要传感器及轨道参数
ALOS 日本	2006 开始	JERS-1 与 ADEOS 后继星, 46d 重访, 测摆达 2d 重访 PRISM: 分辨率 2.5m, 幅宽 70km AVNIR-2: 4 个波段, 幅宽 70km, 空间分辨率为 10m PALSAR: 3 种模式, 7-100m 分辨率, 幅宽 20-350km
IKONOS 美国	1999 开始	<3d 重访, 可测摆, 幅宽 11km, 分辨率 1m
QuickBird 美国	2001 开始	<3d 重访, 可测摆, 幅宽 16.5km, 分辨率 0.61m
OrbView 美国	2003 开始	<3d 重访, 可测摆, 幅宽 8km, 分辨率 1m
LANDSAT 美国	1972 开始	16d 重访, 幅宽 185km MSS 1-3: 20 世纪 70 年代发射, 5 波段, 分辨率 80m TM 4-5: 20 世纪 80 年代发射, 7 波段, 分辨率 30m ETM+ 6-7: 90 年代发射, 8 波段, 分辨率 15m
SPOT 法国	1986 开始	26d 重访, 可测摆, 幅宽 60km SPOT 1-3: 1986-93, 4 波段, 分辨率 10m SPOT 4: 1998, 5 波段, 分辨率 10m SPOT 5: 2002, 5 波段, 分辨率 2.5m
CBERS 中国与巴西	1999 开始	资源卫星, 26d 重访, 可测摆 CCD 相机: 5 波段, 幅宽 113km, 分辨率 19.5m
IRS-P6 印度	2003 开始	即 RESOURCESAT-1 LISS-3: 24d 重访, 3 波段, 幅宽 24km, 分辨率 5.8m LISS-4: 5d 重访, 4 波段, 幅宽 141km, 分辨率 23.5m AWIFS: 5d 重访, 4 波段, 幅宽 737km, 分辨率 56m IRS 系列开始于 1988 年开始, 包括 1C、1D、P2、P3、P4、P5, 其中 P5 分辨率达 2.5m
福卫二号台湾	2004 开始	每日过台湾海峡 2 次, 可测摆, 5 波段, 幅宽 24km, 分辨率 2m, 福卫三号星 2006 年也已发射
TerraSAR 德国	2007 开始	雷达卫星, 4.5d 重访, 2.5d 重访地球 90%, 可测摆 3 种城乡模式, 1-16m 分辨率, 幅宽 10-100km
RADARSAT 加拿大	1995 开始	SAR 雷达卫星, 24d 重访, 可测摆, 7 种模式, 幅宽 50-500km, 分辨率 9-100m
ENVISAT 欧洲航天局	2002 开始	35d 重访, 其中 ASAR 有 5 种工作模式, 幅宽 5-400km, 分辨率 1-1000m
ERS 欧洲航天局	1991 开始	SAR 雷达卫星, 35d 重访, 幅宽 100km, 分辨率 30m
JERS 日本	1992 开始	SAR 雷达卫星, 44d 重访, 幅宽 72km, 分辨率 18m
POES 美国	1979 开始	极轨气象卫星, 2006 年已发射第 18 颗, 6h 内重访 AVHRR: 5 个波段, 分辨率 1100m
EOS 美国	1999 开始	包括 TERRA 盒 AQUA 两颗卫星, 16d 重访, 每天过境 ASTER: 14 个波段, 分辨率 15m, 幅宽 60km, 可测摆 MODIS: 36 个波段, 分辨率 250-1100m, 幅宽 2330km
TRMM 美国与日本	1997 开始	测雨卫星, 载有微波成像仪 TMI、可见与红外扫描仪 VIRS、云与地面辐射仪 CERES、闪电成像仪 LIS 等 降雨雷达 PR: 分辨率 5km, 幅宽 220km

表 5 历届 SPIE 欧洲遥感研讨会

系列号	时间	地 点	备 注
第 1 届	1994.9.26-30	意大利罗马	
第 2 届	1995.9.25-29	法国巴黎	
第 3 届	1996.9.23-26	意大利西西里	
第 4 届	1997.9.22-27	英国伦敦	
第 5 届	1998.9.21-25	西班牙巴塞罗那	农业、生态与水文遥感应用大会 I, 9.22-24
第 6 届	1999.9.20-24	意大利佛罗伦萨	
第 7 届	2000.9.25-29	西班牙巴塞罗那	农业、生态与水文遥感应用大会 II, 9.25-27
第 8 届	2001.9.17-21	法国图卢斯	农业、生态与水文遥感应用大会 III, 9.17-21
第 9 届	2002.9.23-27	希腊克里特	农业、生态与水文遥感应用大会 IV, 9.23-27
第 10 届	2003.9.8-12	西班牙巴塞罗那	农业、生态与水文遥感应用大会 V, 9.8-12
第 11 届	2004.9.13-17	西班牙加那利	农业、生态与水文遥感应用大会 VI, 9.13-17
第 12 届	2005.9.19-22	比利时 Brugge	农业、生态与水文遥感应用大会 VII, 9.20-22
第 13 届	2006.9.11-14	瑞典斯德哥尔摩	农业、生态与水文遥感应用大会 VIII, 9.11-13
第 14 届	2007.9.17-21	意大利佛罗伦萨	农业、生态与水文遥感应用大会 IX, 9.19-20
第 15 届	2008.9.8-11	英国伦敦	

资料来源: <http://spie.org/x6267.xml> 等。

编写人员: 路京选、李琳、付俊娥、曲伟、杨海波