

遥感技术在

水环境评价中的应用

水利部海河水利委员会漳河上游管理局 河北工程大学 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

遥感技术在 水环境评价中的应用

水利部海河水利委员会漳河上游管理局 河北工程大学 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

水环境评价是水生态文明建设的工作内容之一,是水资源配置、保护及水生态系统修复的重要基础。遥感技术具有获取信息手段多、周期短、信息量大和受限条件少等特点,在水环境评价中应用前景广阔。本书主要介绍了水环境评价的内容与方法、遥感技术提取水体信息的方法、基于高光谱的历史样本非线性提取模型、数据处理及其应用,最后利用遥感技术分析了典型流域下垫面的变化。

本书可供从事水文水资源、生态及环境资源、农业及地理专业的研究人员,高等院校教师,政府决策部门的行政领导参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

遥感技术在水环境评价中的应用 / 水利部海河水利委员会漳河上游管理局, 河北工程大学编著. — 北京: 中国水利水电出版社, 2015.10
ISBN 978-7-5170-3790-3

I. ①遥… II. ①水… ②河… III. ①遥感技术—应用—水环境质量评价 IV. ①X824

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第260126号

书 名	遥感技术在水环境评价中的应用
作 者	水利部海河水利委员会漳河上游管理局 河北工程大学 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 (发行部)
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	北京嘉恒彩色印刷有限责任公司
规 格	170mm×240mm 16开本 11.5印张 166千字
版 次	2015年10月第1版 2015年10月第1次印刷
印 数	0001—1000册
定 价	36.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

编写人员名单

主 编 马文奎 张安兵

副 主 编 王 勇 高云明 刘海新 李文君

主要编写人员 (按姓氏笔画排序)

王少君 王冬利 王爱香 牛 富

邓风华 任晓敏 刘向楠 刘新侠

汤欣钢 李元勋 杨春英 吴勇进

张玉杰 陈秋然 林 超 胡玉林

富可荣 鲁冠华

前言

随着经济社会快速发展,我国水环境恶化的风险进一步加大,维护水环境的安全健康成为亟待解决的课题。要解决水环境问题,首先需要对水环境进行科学评价。遥感技术集中了空间、电子、光学、计算机通信和地学等学科的最新成果,是当代高新技术的重要组成部分。随着近几十年的高速发展,遥感技术应用的范畴逐渐深入到国民经济、社会生活与国家安全的各个方面。开展遥感技术在水环境监测和评价中的应用与研究,是一项重要的基础工作,并具有广阔应用前景。

在水利部公益性行业科研专项经费项目“漳河流域水资源及环境遥感监测与生态风险评价”(项目编号201201092)、水利部公益性行业科研专项经费项目“漳河上游降水径流形成及演变规律研究”(项目编号201201091)、河北省高等学校科学技术研究优秀青年项目“基于相空间重构和尺度特征的高光谱端元提取算法研究”(项目编号YQ2013012)和河北省高等学校科学技术研究青年项目“基于遥感数据的漳河上游区域生态环境演变规律研究”(项目编号QN2014184)的支持下,本书重点对遥感数据处理方法和信息提取等关键技术进行了深入研究。

全书共分6章,第1章介绍了遥感的概念、发展历程及

其现状和遥感的应用；第2章介绍了水环境评价的概念、评价程序及内容和评价的方法与标准；第3章介绍了传统遥感的分类原理、处理方法和精度评价；第4章介绍了一种基于非线性混沌技术的端元提取算法和实例验证；第5章介绍了水体特征、光谱特性，并结合实例探讨了基于光谱表征的地表水体提取方法；第6章介绍了研究区域——漳河上游流域的自然地理、社会经济、水资源等概况和遥感技术在研究区域下垫面信息提取与分析中的应用情况。

本书在编写过程中，得到了水利部海河水利委员会、海河流域水资源保护局、水利部海河水利委员会水文局、河北省水文水资源勘测局等单位的大力支持与帮助，在此一并表示诚挚的感谢。

限于作者水平，书中难免存在不足和局限之处，敬请广大读者批评指正。

编者

2015年3月

目 录

前言

第 1 章 遥感发展现状及趋势	1
1.1 遥感简介	1
1.1.1 遥感的概念	1
1.1.2 遥感技术系统的构成	1
1.1.3 遥感主要特点	2
1.1.4 遥感的分类	3
1.1.5 遥感的发展历程	4
1.2 国内外遥感发展现状和趋势	6
1.2.1 国内遥感发展的现状	7
1.2.2 国外遥感发展的现状	9
1.3 遥感应用	12
1.3.1 在农业、林业方面的应用	13
1.3.2 在地质矿产方面的应用	13
1.3.3 在大气环境监测方面的应用	15
1.3.4 在城市环境监测与管理中的应用	16
1.3.5 利用遥感技术监测自然灾害	16
1.3.6 在水环境科学中的应用	16
第 2 章 水环境评价简介	21
2.1 水环境评价概述	21
2.1.1 基本概念及含义	21
2.1.2 水环境评价的目的	24

2.1.3	水环境评价发展现状	25
2.1.4	水环境评价分类	25
2.2	水环境质量评价的程序和内容	25
2.3	水环境评价的方法和标准	26
2.3.1	水环境评价的方法	26
2.3.2	水环境评价的标准	34
2.4	水环境质量评价图的绘制	35
第3章	水资源时空信息遥感提取方法	40
3.1	影像的选取	40
3.1.1	遥感影像的特征	40
3.1.2	影像的级别划分	43
3.2	影像预处理	45
3.2.1	几何校正	46
3.2.2	数字图像镶嵌与裁剪	51
3.2.3	辐射校正	53
3.3	地面样本采集	57
3.3.1	采样方法	57
3.3.2	采样数量	59
3.4	水资源信息提取方法	59
3.4.1	目视解译	59
3.4.2	遥感图像分类	66
3.4.3	提取方法的评价	85
3.5	水信息提取的指数分类方法	85
3.5.1	归一化差分植被指数法	85
3.5.2	归一化差分水指数法	86
3.5.3	结论	86
3.6	误差和精度评价	87
3.6.1	误差来源及其特征	87
3.6.2	精度评价方法	88

第 4 章 基于高光谱遥感的历史样本非线性提取模型	94
4.1 高光谱端元提取的意义	94
4.2 高光谱端元提取研究现状	95
4.3 基于非线性技术的端元提取新方法	97
4.3.1 混沌理论简介	98
4.3.2 高光谱数据的相空间重构	99
4.3.3 混沌特性识别	100
4.4 高光谱数据源概述	101
4.5 常见光谱库	101
4.6 光谱库数据实验	102
4.6.1 高光谱数据描述	102
4.6.2 关联维数 D 和 $Lyapunov$ 指数 L 的计算	103
4.7 实例验证	106
4.7.1 研究区域及数据源	106
4.7.2 数据处理	107
第 5 章 水体特征及基于光谱表征的地表水体提取方法	117
5.1 水体的物质成分	117
5.1.1 水质的光学特征	118
5.1.2 清洁水体光谱特性	118
5.1.3 含污染物水体反射光谱特性	120
5.2 水体光谱采集与测量方法	122
5.2.1 水体固有光学特性测量	122
5.2.2 水体光谱采集方法	124
5.3 水体模型的选择与构建	125
5.3.1 典型水体的波谱模型	125
5.3.2 水质浓度反演模型的构建	126
5.4 实例分析	129
5.4.1 数据采集及污染源强分析	129
5.4.2 基于局部端元光谱表征的地表水体遥感自适应提取方法	131

第 6 章 漳河上游流域下垫面信息提取及变化分析	141
6.1 研究区域概况	141
6.1.1 自然地理	141
6.1.2 社会经济	143
6.1.3 水资源量	144
6.1.4 水质现状	145
6.1.5 水资源管理特点	146
6.2 资料及处理方法	148
6.2.1 遥感影像数据资料	148
6.2.2 遥感影像数据处理方法	149
6.2.3 监督分类	149
6.2.4 精度评价	150
6.3 下垫面变化的分析方法	150
6.3.1 土地利用综合程度指数模型	151
6.3.2 土地利用动态度	152
6.3.3 土地利用转移矩阵	152
6.4 下垫面变化分析	153
6.4.1 不同时期下垫面识别	153
6.4.2 下垫面变化趋势分析	156
参考文献	160

遥感发展现状及趋势

1.1 遥感简介

1.1.1 遥感的概念

1. 广义的遥感

遥感一词来自英语 remote sensing, 即“遥远的感知”。广义理解, 泛指一切无接触的远距离探测, 包括对电磁场、力场、机械波等的探测。

实际工作中, 重力、磁力、声波、地震波等的探测被划为物探(物理探测)的范畴。因而, 只有电磁波探测属于遥感的范畴。

2. 狭义的遥感

遥感是应用探测仪器, 不与探测目标相接触, 从远处把目标物的电磁波特性记录下来, 通过分析, 揭示出物体的特征性质及其变化的综合性探测技术。

1.1.2 遥感技术系统的构成

根据遥感的定义, 遥感系统包括: 被测目标物的信息特征、信息的获取、信息的传输与记录、信息的处理和信息的应用五大部分。

(1) 目标物的信息特征。任何目标物都具有发射、反射和吸收电磁波的性质, 这是遥感的信息源。目标物与电磁波的相互作用, 构成了目标物的电磁波特性, 即目标物的信息特征, 也是遥感探测的

依据。

(2) 信息的获取。接收、记录目标物电磁波特征的仪器,称为传感器或遥感器。如扫描仪、雷达、摄影机、摄像机、辐射计等。传感器通过获取目标物反射、发射或者回射的电磁波信息从而获取目标物的信息。

(3) 信息的传输与记录。传感器接收到目标物的电磁波信息,记录在胶片或数字磁介质上。胶片由人或回收舱送至地面回收,而数字磁介质上记录的信息则可通过卫星上的微波天线传输给地面的卫星接收站。

(4) 信息的处理。地面站接收到遥感卫星发送来的数字信息,记录在高密度的磁介质上(如高密度磁带 HDDT、光盘等),并进行一系列的处理,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通用数据格式,或转换成模拟信号(记录在胶片上),然后才能被用户所使用,地面站或用户还可根据需要进行精校正处理和专题信息处理与分类等。

(5) 信息的应用。遥感获取信息的目的是应用。这项工作由各专业人员按不同的应用目的进行。在应用过程中,也需要大量的信息处理和分析,如不同遥感信息的融合及遥感与非遥感信息的复合等。

1.1.3 遥感主要特点

1. 大面积同步观测数据的获取

遥感所采用的航空摄影飞机飞行高度为 10km 左右,陆地卫星的轨道高度达 910km 左右,从而可及时获取大范围的信息。例如,一张陆地卫星图像,其覆盖面积可超过 3 万 km^2 。这种展示宏观景象的图像,对地球资源和环境分析极为重要。

2. 获取信息的速度快、周期短

由于卫星围绕地球运转,从而能及时获取所经地区的各种自然现象的最新资料,以便更新原有资料,或根据新旧资料变化进行动态监测,这是人工实地测量和航空摄影测量无法比拟的。例如,陆地卫星

5 号, 每 16d 可覆盖地球一遍; NOAA 气象卫星每天能收到两次图像。

3. 获取信息受条件限制少

在地球上有很多地方, 自然条件极为恶劣, 人类难以到达, 如沙漠、沼泽、高山峻岭等。采用不受地面条件限制的遥感技术, 特别是航天遥感可方便及时地获取各种宝贵资料。

4. 获取信息的手段多、信息量大

根据不同的任务, 遥感技术可选用不同波段和遥感仪器来获取信息。例如可采用可见光探测物体, 也可采用紫外、红外和微波探测物体。利用不同波段对物体不同的穿透性, 还可获取目标物内部信息。例如, 地面深层、水的下层、冰层下的水体、沙漠下面的地物特性等。微波波段还可以全天候地工作。

5. 具有较高的经济与社会效益

从投入的费用与所获取的效益看, 遥感与传统的观测方法相比, 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。如 Landsat 卫星的投入与效益比估计为 1 : 80。

1.1.4 遥感的分类

为了便于专业人员研究和遥感技术应用, 人们从不同的角度对遥感作如下分类。

1. 按搭载传感器的遥感平台分类

根据遥感探测所采用的遥感平台不同可以将遥感分为以下几类:

(1) 地面遥感。地面遥感即把传感器设置在地面平台上, 如车载、船载、手提、固定或活动高架平台等。

(2) 航空遥感。航空遥感即把传感器设置在航空器上, 如气球、航模、飞机及其他航空器等。

(3) 航天遥感。航天遥感即把传感器设置在航天器上, 如人造卫星、宇宙飞船、空间实验室等。

2. 按遥感探测的工作方式分类

根据遥感探测的工作方式不同可以将遥感分为以下两类:

(1) 主动式遥感。主动式遥感即由传感器主动地向被探测目标物发射一定波长的电磁波, 然后接收并记录从目标物反射回来的电磁波。

(2) 被动式遥感。被动式遥感即传感器不向被探测目标物发射电磁波, 而是直接接收并记录目标物反射太阳辐射或目标物自身发射的电磁波。

3. 按遥感探测的工作波段分类

根据遥感探测的工作波段不同可以将遥感分为以下几类。

(1) 紫外遥感。紫外遥感的探测波段在 $0.05 \sim 0.38 \mu\text{m}$ 之间。

(2) 可见光遥感。可见光遥感的探测波段在 $0.38 \sim 0.76 \mu\text{m}$ 之间。

(3) 红外遥感。红外遥感的探测波段在 $0.76 \sim 1000 \mu\text{m}$ 之间。

(4) 微波遥感。微波遥感的探测波段在 $1\text{mm} \sim 1\text{m}$ 之间。

1.1.5 遥感的发展历程

1. 遥感的萌芽及其初期发展

如果说人类最早的遥感意识是懂得了凭借人的眼、耳、鼻等感觉器官来感知周围环境的形、声、味等信息, 从而辨认出周围物体的属性和位置分布的话, 那么, 人类自古以来就在想方设法不断地扩大自身的感知能力和范围。古代神话中的“千里眼”“顺风耳”即是人类这种意识的表达和流露, 体现了人们梦寐以求的美好幻想。1609年意大利科学家伽利略研制的望远镜及其对月球的首次观测, 以及1794年气球首次升空侦察, 可视为是遥感的最初尝试和实践。而1839年达格雷和尼普斯的第一张摄影相片的发表则是遥感成果的首次展示, 遥感开始由无记录的地面遥感阶段发展到有记录的地面遥感阶段。

随着摄影技术的诞生和照相机的使用, 以及信鸽、风筝及气球等简陋平台的应用, 构成了初期遥感技术系统的雏形。空中相片的魅

力,得到更多人的首肯和赞许。1903年飞机的发明,以及1909年怀特第一次从飞机上拍摄意大利西恩多西利地区空中相片,从此揭开了航空摄影测量——遥感初期发展的序幕。

在第一次进行航空摄影以后,1913年,开普顿·塔迪沃发表论文首次描述了用飞机摄影绘制地图的问题。第一次世界大战的爆发,使航空摄影因军事上的需要而得到迅速的发展,并逐渐形成了独立的航空摄影测量学的学科体系。其应用进一步扩大到森林、土地利用调查及地质勘探等方面。

随着航空摄影测量学的发展及其应用领域的扩展,特别是第二次世界大战军事上的需要,以及科学技术的不断进展,使彩色摄影、红外摄影、雷达技术及多光谱摄影和扫描技术相继问世,传感器的研制得到迅速的发展,遥感探测手段取得了显著的进步。从而超越了航空摄影测量只记录可见光谱段的局限,向紫外和红外扩展,并扩大到微波。同时,运载工具以及判读成图设备等也都得到相应的完善和发展。随着科学技术的飞跃发展,遥感迎来了一个全新的现代遥感发展时期。

2. 现代遥感发展

1957年10月4日苏联发射了人类第一颗人造地球卫星,标志着遥感新时期的开始。1959年苏联宇宙飞船“月球3号”拍摄了第一批月球相片。20世纪60年代初人类第一次实现了从太空观察地球的壮举,并取得了第一批从宇宙空间拍摄的地球卫星图像。这些图像大大地开阔了人们的视野,引起了广泛关注。随着新型传感器的研制成功和应用、信息传输与处理技术的发展,美国在一系列试验的基础上,于20世纪70年代初(1972年7月23日)发射了用于探测地球资源和环境的地球资源技术卫星“ERTS-1”(陆地卫星-1)。为航天遥感的发展与广泛应用,开创了一个新局面。

至今世界各国共发射的各种人造地球卫星已超过3000颗,其中大部分为军事侦察卫星(约占60%),用于科学研究及地球资源探测和环境监测的有气象卫星系列、陆地卫星系列、海洋卫星系列、测地

卫星系列、天文观测卫星系列和通讯卫星系列等。通过不同高度的卫星及其载有的不同类型传感器，不间断地获得地球上的各种信息。现代遥感充分发挥航空遥感和航天遥感的优势，并融合为一个整体，构成了现代遥感技术系统。为进一步认识和研究地球，合理开发地球资源，提供了强有力的现代化手段。

现代遥感技术的发展引起了世界各国的普遍重视，遥感应用的领域及深度在不断扩大和延伸，取得了丰硕的成果和显著的经济效益。国际学术交流日益频繁，遥感的发展方兴未艾，前景远大。

当前，就遥感的总体发展而言，美国在运载工具、传感器研制、图像处理、基础理论及应用等遥感各个领域（包括数量、质量及规模上）均处于领先地位，体现了现今遥感技术发展的水平。苏联也曾是遥感的超级大国，尤其在其运载工具的发射能力上，以及遥感资料的数量及应用上都具有一定的优势。此外，西欧各国、加拿大、日本等发达国家也都在积极地发展各自的空间技术，研制和发射自己的卫星系统，例如法国的 SPOT 卫星系列、日本的 JERS 和 MOS 卫星系列等。许多第三世界国家对遥感技术的发展也极为重视，纷纷将其列入国家发展规划中，大力发展本国的遥感基础研究和应用，如中国、巴西、泰国、印度、埃及和墨西哥等，都已建立起专业化的研究应用中心和管理机构，形成了一定规模的专业化遥感技术队伍，取得了一批较高水平的成果，显示出第三世界国家在遥感发展方面的实力及其应用上的巨大潜力。

1.2 国内外遥感发展现状和趋势

遥感技术集中了空间、电子、光学、计算机通信和地学等学科的最新成就，是当代高新技术的一个重要组成部分。国际上遥感技术的发展，在未来 15 年将把人类带入一个多层、立体、多角度、全方位和全天候对地观测的新时代。各种高、中、低轨道相结合，大、中、小卫星相互协同，高、中、低分辨率互补的全球对地观测系统，将能快速、及时地提供多种空间分辨率、时间分辨率和光谱分辨率的对地

观测海量数据。经过几十年来的高速发展,卫星遥感技术应用的范畴已经从当初的单一遥感技术发展到今天包括遥感(RS)、地理信息系统(GIS)、全球定位系统(GPS)等技术在内的空间信息技术,逐渐深入到国民经济、社会生活与国家安全的各个方面,使社会可持续发展和经济增长方式发生了深刻的变化,其发展与应用水平也已成为综合国力评价的重要标志之一。

1.2.1 国内遥感发展的现状

我国自20世纪70年代以来高度重视遥感技术发展与应用,跟踪国际技术前沿并努力创新,国家给予重点支持,在遥感技术系统、遥感应用系统、地理信息系统等方面均取得突出进展,比如2014年8月我国首颗亚米级高分辨率影像——高分二号发射,该卫星观测宽幅达45km,在亚米级分辨率国际卫星中幅宽达到最高水平。近年来国内遥感的发展可概括为以下四个方面。

(1) 建立了国家级资源环境宏观信息服务体系。该服务体系包括以1:25万土地利用数据为核心的国家资源环境空间数据库,两个部级服务系统,三个省级示范系统及五个县级服务系统,珠江三角洲地区“4D”(数字高程模型DEM、数字正射影像库DOQ、数字专题地图库DRG和数字专题信息DTI)技术系统以及全国资源环境信息技术系统。以1:10万土地利用数据为核心的国家资源环境数据库包括30多种主要资源环境要素,且具有统计的数据标准、参数、数据格式与数据精度。该库将每五年实现全面更新,东部主要地区每年更新。两个部级服务系统是面向农业部和国家林业局开发的。

该服务体系自建立起来就得到了广泛的应用。据不完全统计,国家资源环境数据库用户数现已达到200余个,涉及用户包括国家发展和改革委员会、农业部、水利部、环境保护部、国家林业局、国家统计局、国家航天局以及中国人民解放军总参谋部等多个政府部门。推广应用的省份包括江西、安徽、福建、湖北、湖南、江西、贵州、山东、内蒙古、新疆等。特别是水利部在数据库的基础上,在九个月的时间内,完成了全国1:10万比例尺的土壤侵蚀遥感调查工作,成果