

国家安全地球物理丛书（八）

# 遥感地球物理与国家安全

刘代志 主编



中国地球物理学会国家安全地球物理专业委员会  
陕西省地球物理学会军事地球物理专业委员会

编

西安地图出版社

国家安全地球物理丛书（八）

# 遥感地球物理与国家安全

刘代志 主编

中国地球物理学会国家安全地球物理专业委员会  
陕西省地球物理学会军事地球物理专业委员会

编

西安地图出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

遥感地球物理与国家安全/刘代志主编. —西安:  
西安地图出版社, 2012. 9

ISBN 978-7-80748-857-6

I. ①遥… II. ①刘… III. ①遥感技术—应用—地球  
物理学 IV. ①P3—39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 219546 号

著作人及著作方式: 刘代志 主编

责任编辑: 王心雨

书 名: 遥感地球物理与国家安全

---

出版发行: 西安地图出版社

地址邮编: 西安市友谊东路 334 号 710054

印 刷: 西安地质矿产研究所印刷厂

规格开本: 787×1092 毫米·1/16

印 张: 25.375

版 次: 2012 年 9 月第 1 版 2012 年 9 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-80748-857-6

定 价: 60.00 元

---

西安地图出版社通过 ISO9001 国际质量管理体系认证

版权所有 侵权必究

## 《国家安全地球物理丛书（八）》编委会

主 编：刘代志

副主编：李夕海 龙 凡 黄世奇

编 委：（以姓氏笔画为序）

王仕成 龙 凡 李夕海 刘代志 刘志刚

刘怀山 杜爱民 张金城 黄世奇 靳 平

## 《国家安全地球物理丛书》编审委员会

顾 问：刘光鼎（院士） 何继善（院士） 刘振兴（院士）

许绍燮（院士） 魏奉思（院士） 游光荣（总工）

徐文耀（研究员）

主任委员：刘代志

副主任委员：龙 凡 靳 平 王仕成 刘怀山 张金城

秘 书 长：李夕海

委 员：（以姓氏笔画为序）

王仕成 王晓航 边少锋 龙 凡 刘 刚 刘代志 刘光斌

刘怀山 刘志刚 刘新学 朱培民 孙中任 孙凤华 孙更文

孙新利 李夕海 李艾华 李学正 杜爱民 余志勇 张金城

高增勇 郭有光 陶 勇 顾左文 徐白山 曾新吾 韩天成

韩吉民 靳 平 慕晓冬 滕云田 童思友 吴时国 张金生

王 哲 刘 波 陈 洁 何 彬 张全虎 查石祥 黄世奇

刘 俊

## 前 言

所谓遥感,就是遥远地感知。在现代科学技术中,遥感技术就是用探测仪器感知遥远的对象。地球物理学主要是靠仪器探测地球及周围环境的观测学科,既有现地测量,也有遥感与遥测。遥感地球物理主要包括用遥感手段获取地球的各种物理信息(各种地球物理场与物理性质),以及遥感技术应用中所涉及的地球物理问题(各种校正中的地球物理问题)。在遥感地球物理中,以遥感平台划分,可以分为航天遥感(卫星、飞船、空间站等)、航空遥感(有人/无人飞机、气球等)和地面遥感(地面设备的对空感知、水下设备的水中目标感知,甚至地震观测都可以看作遥感地球物理探测)。所以,遥感地球物理有着广泛的研究内容和广阔的应用领域。遥感地球物理既在资源勘察、环境监测方面发挥着重要作用,又在军事情报侦测领域有着不可替代的作用。因此,本次研讨会的主题定为“遥感地球物理与国家安全”,旨在探讨遥感地球物理方法理论与技术应用中的问题,推动国家安全与军事地球物理学学科发展,为应对未来各种挑战作出应有的贡献。

今年6月16日,神州九号飞船顺利升空;三位航天员驾驰飞船与天空一号成功交汇对接;在天空一号飞行器上,除了航天员进行的各种科学实验外,飞行器上的探测器始终在进行着遥感测量(对地对空观测)。今年八月,即将在美丽的海滨城市——大连,召开主题为“遥感地球物理与国家安全”的第八届国家安全地球物理学术讨论会,真是正当其时。本论文集收录论文54篇,内容主要包括遥感地球物理的历史、现状与发展趋势,遥感地球物理信息处理方法理论与技术,遥感地球物理应用,空间环境遥感探测和遥感地球物理仪器设计等。

中国地球物理学会名誉理事长、中国科学院院士刘光鼎先生，一直关心和支持我们专业委员会的工作，中国地球物理学会和陕西省地球物理学会给予了多方面支持与指导。本辑丛书的出版继续得到了本专业委员会挂靠单位第二炮兵工程大学的资助；王耀鹏校长、马力政委和科研部首长多年来给予了两个专业委员会有力的支持和有益的指导。今年是第二炮兵工程大学的开局之年，我们将一如既往地出版好《国家安全地球物理丛书》，以此答谢学校的长期支持和资助。

在本辑丛书出版之际，谨向各位首长、专家和同志们表示真诚的谢意。希望大家的共同努力下，把《国家安全地球物理丛书》办出特色、形成风格。

刘代志

2012年7月30日

# 目 录

|                                   |                         |
|-----------------------------------|-------------------------|
| 地表水信息遥感提取技术综述.....                | 龙凡 于德浩 李霞 杨彤 王康 (1)     |
| 归一化地表水体挖掘指数在地表水体自动提取中的应用 .....    | 李霞 于德浩 龙凡 杨彤 王康 (7)     |
| 高分辨率 3D 遥感影像模型的制作及其应用 .....       | 冯雨林 孙中任 刘强 王长琪 (16)     |
| 近地空间环境电导率研究.....                  | 府宇 魏志勇 方美华 张紫霞 (21)     |
| 气象卫星发展的历史、现状及趋势.....              | 孙应统 陶勇 高超 胡艳冰 (28)      |
| 掩星探测地球大气对天气、气候、空间天气的贡献 .....      | 张义生 王胜国 赵增亮 牛飞 路芳 (35)  |
| 基于典型相关分析的多时相 ETM 影像水体信息变化检测 ..... | 王培忠 严卫东 边辉 翟娜 吴俊政 (42)  |
| 遥感技术应用于积雪监测的研究进展.....             | 郑璞 邓正栋 于德浩 关洪军 叶欣 (49)  |
| 对地观测技术的进展、应用与发展趋势.....            | 张琪 唐媛莉 乔玉坤 (54)         |
| 基于视觉注意机制的遥感图像配准.....              | 杨罗 苏娟 卢俊 (63)           |
| 多尺度曲率空间的遥感图像角点检测方法.....           | 赵蕾 杨威 齐占伟 范启雄 (69)      |
| 海洋岛屿管理中无人机遥感技术应用研究.....           | 范启雄 杨威 周家丹 刘菲 (74)      |
| 环境污染监测中遥感技术的应用研究.....             | 范启雄 段成君 杨威 (79)         |
| 基于 FAST-9 和 SURF 的遥感图像匹配算法 .....  | 杨威 范启雄 李天河 (87)         |
| 基于 Laplace-PCA 的遥感图像融合算法 .....    | 赵鹏涛 刘刚 胡岑 王明昊 彭接力 (92)  |
| 基于超完备字典学习的遥感图像去噪算法.....           | 张金城 杨威 范启雄 (98)         |
| 基于遥感数据的民用渡口选址模型及实例分析 .....        | 徐国富 邓正栋 于德浩 (103)       |
| 偏振遥感成像探测技术及其应用研究进展 .....          | 张金城 范启雄 赵蕾 杨威 (110)     |
| 无人机遥感在三维地形可视化中的应用 .....           | 杨威 张金城 范启雄 周家丹 (118)    |
| 鸭绿江地区崩塌、滑坡、泥石流遥感调查与防护建议 .....     | 于德浩 龙凡 杨彤 李霞 王康 (122)   |
| 鸭绿江塌岸地质灾害遥感调查与监测 .....            | 于德浩 龙凡 刘成玮 李霞 杨彤 (136)  |
| 应急道路遥感选址模型与应用 .....               | 于德浩 龙凡 杨彤 李霞 王康 (149)   |
| EO-1 Hyperion 高光谱数据大气校正研究 .....   | 马心璐 严卫东 孙彬 边辉 王培忠 (161) |
| 高光谱图像目标探测现状研究 .....               | 卢云龙 刘志刚 (167)           |
| 高光谱遥感目标探测研究进展与典型应用 .....          | 范启雄 李天河 杨威 (175)        |
| 高光谱遥感中的植被光谱特征分析及参量反演模型研究进展 .....  | 王百合 刘代志 黄世奇 李义红 (182)   |
| 基于独立成分分析的高光谱混合像元分解方法 .....        | 魏一苇 黄世奇 刘代志 (190)       |

|                                                       |                           |
|-------------------------------------------------------|---------------------------|
| 基于独立分量分析的高光谱图像目标盲探测方法研究 .....                         | 高东生 高连如 (198)             |
| 基于统计排序的高光谱波段选择方法 .....                                | 王艺婷 黄世奇 刘代志 陈聪 (205)      |
| 视觉注意模型的研究与发展 .....                                    | 卢俊 苏娟 杨罗 (212)            |
| 一种 SAR 场景回波模拟快速实现方法 .....                             | 陈振 刘志刚 (220)              |
| 航空瞬变电磁合成孔径成像方法探潜应用研究 .....                            | 钱建兵 李貅 戚志鹏 孙怀凤 付少帅 (227)  |
| 基于 SVDD 的 SAR 图像分割 .....                              | 易昭湘 张雄美 宋建社 徐远涛 (234)     |
| 极化 SAR 目标分解算法研究 .....                                 | 芦颖 倪维平 严卫东 边辉 (239)       |
| 高分辨率 SAR 图像判读研究 .....                                 | 陈振 刘志刚 (246)              |
| 中纬度局地电离层 TEC 与地磁变化场时空相关性分析与建模研究 .....                 | 刘代志 牛超 彭晓天 (252)          |
| MF7 磁异常场模型的分析与计算 .....                                | 刘元元 王仕成 郑玉航 张金生 乔玉坤 (262) |
| 地磁场变化对地磁导航影响的分析及仿真 .....                              | 乔玉坤 张金生 张琪 王仕成 常新龙 (269)  |
| MT 原始数据色块图的工作意义 .....                                 | 孙中任 赵雪娟 高飞 陈树旺 (278)      |
| 基于高速运动平台的地磁寻的约束条件分析 .....                             | 李夕海 曾小牛 刘代志 (285)         |
| 基于伪周期经验模态分解的电离层 TEC 时间序列预测 .....                      | 李义红 刘代志 钱昌松 王百合 牛超 (292)  |
| 基于希尔伯特黄变换的瞬时属性提取方法研究 .....                            | 葛鑫 刘怀山 张如一 (299)          |
| 时间序列的非线性非平稳特性研究综述 .....                               | 卢世坤 李夕海 牛超 陈蛟 (304)       |
| 串联反褶积技术在阿瓦提地区地震资料处理中的应用 .....                         | 王安国 马海 (315)              |
| 近场地震纵波质点速度模型 .....                                    | 李学政 薛涛 唐云凯 (322)          |
| 次声监测中的降噪方法分析 .....                                    | 陈蛟 李夕海 张勇 (328)           |
| 基于小波包分形分析的核爆与雷电电磁脉冲识别 .....                           | 祁树锋 曾泰 李夕海 (340)          |
| 利用 P 波位移振幅谱确定塞米巴拉金斯克 25 吨爆炸源地震矩及各测点的 P 波路径视 Q 值 ..... | 王红春 靳平 (345)              |
| 《全面禁止核试验条约》的现状与发展趋势 .....                             | 徐萍 李夕海 张勇 (354)           |
| 次声信号降噪技术现状 .....                                      | 张勇 李夕海 陈蛟 (359)           |
| 基于 $\gamma$ 辐射特征的核素识别方法研究 .....                       | 许鹏 蔡星会 霍勇刚 (367)          |
| 子波相位和随机干扰对反褶积的影响 .....                                | 赵维娜 刘怀山 石太昆 岳振欢 (371)     |
| 基于定深水鸟的海洋电缆接收点位置确定方法 .....                            | 罗伟 刘怀山 童思友 (378)          |
| 深水海底震源仪初步设计 .....                                     | 廖仪 童思友 刘怀山 张进 (384)       |
| 闪电光电信号同步监测与定位系统及其应用 .....                             | 李鹏 郑毅 范江兵 项震 (391)        |
| 第七届国家安全地球物理专题研讨会会议纪要 .....                            | (398)                     |

# 地表水信息遥感提取技术综述

龙 凡<sup>1</sup>, 于德浩<sup>1</sup>, 李 霞<sup>1,2</sup>, 杨 彤<sup>1</sup>, 王 康<sup>1,2</sup>

(1. 沈阳军区司令部工程科研设计院, 沈阳 110162; 2. 沈阳农业大学, 沈阳 110162)

**摘 要** 水资源对于人类生存具有不可替代的重要意义, 然而目前全球水资源短缺的问题又比较严重, 因此提取地表水体并分析其分布特征, 计算其面积、水量具有重要意义。利用传统的水体信息提取方法费时、费力、效率低下, 难以赶上信息变化的速度, 为了快速、准确、高效的提取地表水体信息, 国内外专家学者提出利用卫星遥感图像提取地表水体信息的方法, 经过大量研究与试验已经取得了一定的成绩。目前利用遥感提取地表水体信息的技术主要有, 手工数字化、波段阈值法、监督分类法、水体指数法和谱间关系法。本文就此几种方法进行综述, 总结其优缺点。

**关键词** 遥感 地表水 水体信息提取技术 方法对比 优缺点

## Overview of the technique for extracting surface-water information by remote sensing data

LONG Fan<sup>1</sup>, YU De-hao<sup>1</sup>, LI Xia<sup>1,2</sup>, YANG Tong<sup>1</sup>, WANG Kang<sup>1,2</sup>

(1. Engineering Research Institute, Shenyang Military Area Command, Shenyang, 110162, China; 2. Shenyang Agriculture University, Shenyang, 110162, China)

**Abstract:** Water resources are very important for human survival, but now the global water resources are serious shortage. So extracts the water body, and analyzes the distribution features, calculate the area, water yield, have important meaning. Using the traditional methods extract water information is time-consuming, waste energy and inefficiency, and it's hard to catch up with the change rate of the information. To extract surface water body quickly, accurately and effeciencily, the domestic and foreign experts and scholars presented make use of satellite remote sensing image extract surface water, a lot of study and test has made some progress. At present, the methods of monitoring the water body using the remote sensing technique mainly have: hand numeralization, the threshold value of single wave hand, Perform Supervised Classification, the exponential of water body and the law of the spectrum relevance, on these methods, this article will sum up the advantages and disadvantages.

**Key words:** remote sensing; surface water; method of extraction surface-water information; compared with other methods; merits and drawbacks

## 1 引言

水资源对于人类生存具有不可替代的重要意义, 然而, 目前全球都在面临水资源短缺危机, 节约、保护并有效利用水资源, 已经成为人类共同的目标。提取水体信息, 并分析其分

基金项目: “863” 计划项目 “缺水地区地下水勘查与污染控制技术” 资助, 编号: 2012AA062601; 中国地质调查局项目 “东北界河地区国土资源综合调查与监测” 资助, 编号: 1212011120014

布特征,对水资源开发、保护、利用等具有重要意义。利用传统的方法提取水体信息费时、费力、效率低下,难以赶上信息变化的速度,因此需要寻求一种快速、精确、高效的方法进行地表水体信息提取和水资源量估算。国内外专家学者针对这一问题,提出了利用卫星遥感图像提取地表水体信息的方法,经过大量研究与试验已经取得了一定的成绩。

## 2 国内外发展现状

遥感技术是20世纪60年代发展起来的一门新兴的综合性探测技术,它集中了空间、电子、光学、计算机通信和地学等学科的最新成就,被广泛用于军事、海洋、气象、地球资源普查、环境监测等领域,是当代高新技术的一个重要组成部分。利用卫星遥感数据对水资源进行宏观的观测,在近20年得到了广泛的应用,遥感数据具有感测范围大、信息量大、实时性和动态性等特点,适用于大范围的资源调查与研究。

### 2.1 国外发展现状

国外发展遥感技术较早,在利用遥感提取水体信息方面已经取得了一定的成就,如Frazier & Page<sup>[1]</sup>等人对单波段阈值法提取水体信息已经有了很深入的研究,Mcfeeters<sup>[2]</sup>发现平原地区陆地水体在绿波段比近红外波段的反射率高,而其它地物都不具备这一特性,并且利用NDWI,可以很好的提取水体信息,其中,NIR代表近红外波段,RED代表红波段,由此提出归一化水体指数法(NDWI, Normalized Difference Water Index)。如今,国外利用遥感技术提取水体信息的方法已经发展的比较成熟。

### 2.2 国内发展现状

我国遥感技术的发展比较晚,是20世纪70年代才引入的,但是发展的速度很快,如今遥感技术无论在理论上、技术上还是应用上都取得了很好的成绩,在我国,利用卫星遥感影像快速、准确地提取水体信息已经成为水资源调查、水资源宏观监测的重要手段,利用遥感影像提取水体信息的方法也日渐成熟,如陆家驹等人<sup>[3]</sup>对单波段阈值法已经有了很深入的研究,徐涵秋<sup>[4]</sup>在归一化水体指数法的基础上又提出了改进的归一化水体指数法,杨存健等人<sup>[5]</sup>也发现在ETM+图像中水体第二波段与第三波段的和大于第四波段与第五波段的和,即 $(ETM2 + ETM3) > (ETM4 + ETM5)$ ,而其他地物不存在此特征,因此可利用此谱间关系法提取水体信息。以上这些方法都在地表水体提取方面取得了很好的效果,为我国利用遥感技术提取水体信息做出了突出贡献。目前,国内学者多用谱间分析法,虽然提取效果不错,但是通常比较复杂。

## 3 现有方法概述

以前对地表水体信息的获取主要采用实地调查和手工测绘的方式进行,这种方法勘察面积小、周期长、效率低、劳动强度大<sup>[6]</sup>。随着遥感的出现,提取地表水体信息的效率、自动化程度都有了明显的提高,同时遥感也为大面积、低劳动强度、高精度的提取地表水体信息提供了可能。目前利用遥感提取地表水体信息的方法主要有,手工数字化、波段阈值法、监督

分类法、水体指数法和谱间关系法。

### 3.1 手工数字化

手工数字化<sup>[7]</sup>是最原始的方法,其优点是提取精度比较高,但是此方法工作强度大,周期长,数据更新速度慢,效率极低,且受人的主观影响比较大,因而对于有较高效率要求或者处理大量数据时很少使用此方法。

### 3.2 波段阈值法

波段阈值法是最早使用的提取水体的方法,它是利用水体在中红外波长处的强吸收性以及植被和干土壤在此波长范围内的强反射性特点,选择合适的阈值将水体信息提取出来<sup>[8]</sup>。陆家驹<sup>[3]</sup>、Frazier & Page<sup>[1]</sup>等人对单波段阈值法有深入研究,此方法原理简单,但是容易忽略水体与非水体之间的过渡区域,同时此方法难以区分细小水体和混淆在水体中的阴影,从而产生误提漏提的现象。波段阈值法最关键的是阈值的确定,阈值的精确度,决定了信息提取的准确性,这就使得在地物类型丰富、地物在所选波段上灰度值接近的影像上运用波段阈值法受到局限。而且阈值的选取要经过反复试验才能确定,同时受人的主观影响比较大,而且效率较低,自动化程度也很低。阈值的自动选取一直都是一个关键而难解决的问题,至今仍未有好的算法来避免通过繁琐的反复试验确定阈值的过程,所以找到一个能够自动选取阈值或是避免使用阈值提取地表水体信息的方法是今后值得研究与探讨的问题。

### 3.3 监督分类法

监督分类法,遥感影像的监督分类法又称训练场法,是在已知类别的训练场地上提取各类别的训练样本,通过选择特征变量,确定判别函数或判别式,把影像中的各个象元点划归到各个给定的分类,是模式识别的一种方法<sup>[9]</sup>。监督分类法是目前遥感分类中应用较多、算法较为成熟的分类方法之一。常见的监督分类法有:最小距离法、平行六面体法、特征窗口曲线法、最大似然法等<sup>[10]</sup>。此方法的优点是分类结果与实际地物吻合较好,不过该模型较为复杂,工作量较大,而且受人的主观影响严重,其对分类模板的纯度要求比较高,要求训练区域具有典型性和代表性,其精度也比较低,一般不超过 85%<sup>[6]</sup>,且适用范围比较局限,只能在有先验知识的地方使用。

### 3.4 水体指数法

(1) 归一化植被指数法 (NDVI, Normalized Difference Vegetation Index), 最早是 1969 年 Jordan<sup>[11]</sup>为了估计热带雨林的叶面积指数而提出的比值植被指数 (RVI), 为了提高对地面植被的监测效果, 又有人提出<sup>[12]</sup>了将比值限定在  $(-1, 1)$  之间的归一化植被指数 (NDVI), 其公式为  $NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$ , 其中: NIR 代表近红外波段, RED 代表红波段。此指数是目前最常用的植被指数之一, 由于水体在可见光波段比近红外波段有较高的反射作用, 因而其 NDVI 值为负, 而有植被覆盖情况下 NDVI 为正值, 因此, 可以利用 NDVI 阈值法提取水体信息。它的优点是, 对植被的检测灵敏度高, 对植被覆盖度的监测范围宽, 能消除大部分地形阴影、太阳高度角和大气等影响因素所带来的噪声, 计算简单, 可选用的遥感数据范围广<sup>[6]</sup>。

但是岩石、裸地在近红外波段和红波段与水体具有相似的反射率,这就容易造成岩石、裸地和水体混淆<sup>[13]</sup>。

(2) 归一化差异水体指数法 (NDWI, Normalized Difference Water Index), 是 Mcfeeters<sup>[2]</sup>于 1996 年提出的,利用平原地区陆地水体在绿波段比近红外波段的反射率高,而其它地物都不具备这一特性,因此利用  $NDWI = \frac{GREEN - NIR}{GREEN + NIR}$ , 其中: GREEN 代表绿波段, NIR 代表近红外波段,可使水体信息得到增强,非水体信息得到抑制,有利于水体信息的提取。但是土壤和建筑物在这两个波段的光谱特征与水体相似<sup>[13]</sup>,而且阴影也具有随波长增大反射率整体降低的特点<sup>[14]</sup>,因而容易造成误提。归一化差异水体指数法适用于平原地区,对山区水体信息提取效果并不理想,且此模型适合背景地物多为植被的研究区域。

(3) 改进的归一化差异水体指数 (MNDWI, Modified Normalized Difference Water Index) 法,此指数法是徐涵秋<sup>[4]</sup>于 2005 年在 NDWI 基础上考虑了土壤、人工地物和阴影的情况下加以改进的,其公式为:  $MNDWI = \frac{GREEN - MIR}{GREEN + MIR}$ , 其中: GREEN 代表绿波段, MIR 代表中红外波段。研究认为该指数不仅具有了 NDWI 能够突出水体特征的优点,而且能更好地区分 NDWI 中夹杂的非水体信息,效果优于 NDWI<sup>[15]</sup>,但是同样容易将建筑物与水体混淆,虽然适用范围比较广,但也并不是对任何数据都适用,例如在 ASTER 数据中存在 ASTER3 中建筑物亮度值小于 ASTER1, ASTER4 中植被和建筑的亮度值都小于 ASTER1 的情况,因此汪宝存等人<sup>[16]</sup>提出对 ASTER3, ASTER4 两个波段的亮度值进行拉伸,重新建立的两个归一化差异水体指数如下:

$$\begin{cases} NDWI_{ASTER1,3} = ASTER1 - w_1 \times \frac{ASTER3}{ASTER1} + w_1 \times ASTER3 \\ NDWI_{ASTER1,4} = ASTER1 - w_2 \times \frac{ASTER4}{ASTER1} + w_2 \times ASTER4 \end{cases}$$

其中  $w_1$ 、 $w_2$  是对图像进行拉伸的参数, ASTER1、ASTER3 和 ASTER4 分别是 ASTER 的第一波段、第三波段和第四波段。以此使水体同植被和建筑物得以区分开来。水体指数法提取水体信息的效果比较好,但无论是归一化差异水体指数法,还是改进的归一化差异水体指数法都不同程度的存在一些误提漏提的现象。因此林强等人<sup>[17]</sup>提出利用水体指数法并选取一定的阈值提取水体信息,对某些误提现象会有所改善,但是确定阈值也是一个繁琐又麻烦的工作。

### 3.5 谱间关系法

谱间关系法是通过分析水体及其背景地物的光谱特征曲线,找到水体特有的光谱特征,利用逻辑判断提取出水体。杨存建<sup>[5]</sup>等人基于遥感信息机制分析研究发现水体具有  $(TM2 + TM3) > (TM4 + TM5)$  的特征。利用这些波段的谱间关系可以较好地识别水体,精度高,应用广,建立的模型易操作、稳定性好,是水体信息提取较为理想的方法,目前已被国内外学者采用。但是,谱间关系法比较适合地形起伏较小的地区,而对于山地区域,水体易与阴影混淆。因此,不少学者对谱间关系法进行了修改和补充,如汪金花<sup>[18]</sup>等人对唐山市的水体进行试验,认为水体还具有  $TM4$  与  $TM2$  的比值小于 0.9 的特征,得出水体的谱间关系模型为:  $(TM2 + TM3) - (TM4 + TM5) > 0$  且  $\frac{TM4}{TM2} < 0.9$ 。2004 年,陈华芳等人在云南省香格里拉

县湿地研究中发现多波段谱间关系法和阈值法相结合,运用  $(TM2+TM3) - (TM4 + TM5) > k$  提取到的水体信息精度较高<sup>[14]</sup>。张明华<sup>[19]</sup>在东喜马拉雅南迎巴瓦峰地区的遥感研究中,进一步对水体谱间关系模型加以改进,结合阈值法构建多条件谱间关系模型:

$$\begin{cases} (TM2+TM3) > (TM4+TM5) \text{ (去基岩、植被、部分阴影)} \\ (TM1-TM2) < K \text{ (去阴影)} \\ M < TM3 < N \text{ (去阴影、冰雪、第四系沉积物)} \end{cases}$$

用于水体信息提取,获得了较好的应用效果。但是不同的地区所使用的谱间关系模型一般并不相同,所以导致建立的提取水体的模型通用性较差。而且谱间关系法主要是针对 LandSat, NOAA AVHRR 和 SPOT 等卫星遥感数据开发设计的,目前还没有被应用于中分辨率 MODIS 数据的研究中<sup>[20]</sup>。

## 4 结论

上述各方法都能比较快速的提取出地表水体信息,但是它们都不能把非水体中菜地、山体阴影、水田、建设用地等与水体完全区分开,特别是细小水体,很容易漏提,而且这些方法的分析验证多针对于大型水体和植被较好区域。目前遥感数据的一个重要特点是海量数据,并且获取周期短,更新速度快<sup>[6]</sup>。而现有的水体提取方法都普遍存在一些问题,如自动化程度较低,工作效率较差,精度较低等,这使得对海量遥感数据的处理,其时间和工作量都会非常的大,导致其难以赶上信息变化的速度,也难以满足相关部门的要求。因此,提高工作效率和自动化程度对地表水体的提取相当重要,这也将是今后利用遥感提取地表水体信息值得研究与进一步解决的问题。

## 参考文献

- [1] Frazier P S, Page K J. Water body detection and delineation with Landsat TM data [J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 2000, 66 (12): 1461
- [2] McFeeters S K. The Use of Normalized Difference Water Index (NDWI) in the Delineation of Open Water Features [J]. International Journal of Remote Sensing, 1996, 17 (7): 1425-1432
- [3] 陆家驹, 李士鸿. TM 资料水体识别技术的改进[J]. 环境遥感, 1992, 7 (1): 17
- [4] 徐涵秋. 利用改进的归一化差异水体指数 (MNDWI) 提取水体信息的研究[J]. 遥感学报, 2005, 9 (5): 589-595
- [5] 杨存建, 徐美. 遥感信息机理的水体提取方法的探讨[J]. 地理研究, 1998, 17 (增刊): 86-89
- [6] 于德浩, 龙凡, 邓正栋等. 基于遥感特征指数的地表水体自动提取技术研究[J]. 地球物理学进展, 2009, 24 (2): 707-713
- [7] 刘述春. 数字化侧绘在地籍测量中的应用[J]. 科技资讯, 2008, (21): 247
- [8] 席晓燕, 沈楠, 李小娟. ETM+影像水体提取方法研究[J]. 计算机工程与设计, 2009, 30 (4): 993-996
- [9] 易善祯, 王志辉. 不同方法在水体遥感提取中的应用实现[J]. 红外, 2007, 28 (4): 1-4
- [10] 刘礼, 于强. 分层分类与监督分类相结合的遥感分类法研究[J]. 林业调查规划, 2007. Aug. 32 (4): 37-39, 44
- [11] Jordan C F. Derivation of leaf area index from quality of light on the foreser floor [J]. Ecology, 1969,

- [12] 吴赛, 张秋文. 基于 MODIS 遥感数据的水体提取方法及模型研究[J]. 计算机与数字工程, 2005, 7 (33)
- [13] 徐强, 石军南, 刘建聪等. ETM 影像水体信息提取研究[J]. 黑龙江农业科学, 2011 (8): 115-118
- [14] 陈华芳, 王金亮, 陈忠等. 山地高原地区 TM 影像水体信息提取方法比较—以香格里拉县部分地区为例[J]. 遥感技术与应用, 2004, 19 (6): 480-484
- [15] 程磊, 徐宗学, 左德鹏等. 基于 LandsatTM 数据的黄土高原区水体识别方法研究[J]. 北京师范大学学报, 2010, 46 (3): 424-430
- [16] 汪宝存, 苗放, 陈建华等. 基于 ASTER 数据的归一化差异水体指数的建立及其应用[J]. 测绘科学, 2008, 33 (2): 177-179
- [17] 林强, 陈一梅, 黄永葛. 基于 ETM+ 图像的厦门湾水体信息提取[J]. 水科学与工程技术, 2008 (z2): 52-54
- [18] 汪金花, 张永彬, 孔改红. 谱间关系法在水体提取中的应用[J]. 矿山测量, 2004, (4): 30-32
- [19] 张明华. 用改进的谱间关系模型提取极高山地区水体信息[J]. 地理与地理信息科学, 2008, 24 (2): 14-16
- [20] 丁莉东, 吴昊, 王长健等. 基于谱间关系的 MODIS 遥感影像水体提取研究[J]. 测绘与空间地理信息, 2006, 29 (6): 25-27

# 归一化地表水体挖掘指数在地表水体自动提取中的应用

李霞<sup>1,2</sup>, 于德浩<sup>1</sup>, 龙凡<sup>1</sup>, 杨彤<sup>1</sup>, 王康<sup>1,2</sup>

(1. 沈阳军区司令部工程科研设计院, 沈阳 110162; 2. 沈阳农业大学, 沈阳 110162)

**摘要** 为了在海量遥感数据中高效、高自动化程度的提取地表水体信息, 提出了归一化地表水体挖掘指数法 (NDSWDI), 该方法先选取了归一化植被指数 (NDVI)、改进的归一化差异水体指数 (MNDWI)、归一化建筑物差异指数 (NDBI)、土壤指数 (SI, Soil Index)、裸土指数 (BI) 以及比值植被指数 (RVI), 并根据上述指数绘制了特征指数曲线, 通过分析发现地表水体存在  $\frac{MNDWI-BI}{MNDWI+BI} > 0$ , 而其他地物没有此规律, 因此在学者于德浩研究成果的基础上提出了归一化地表水体挖掘指数 (NDSWDI), 通过与其他方法对比, 此方法有效地克服了水体与其他地物混淆的现象, 在精度方面较其他方法有明显提高, 而且, 该方法不用人工设定阈值, 在自动化提取水体方面有了新的突破。因此, 该方法可用于海量数据地表水体的自动提取。

**关键词** 遥感 地表水体 归一化地表水体挖掘指数 自动提取

## Normalized Difference Surface Water Dig Index applied to extract the surface water information automatically

LI Xia<sup>1,2</sup>, YU De-hao<sup>1</sup>, LONG Fan<sup>1</sup>, YANG Tong<sup>1</sup>, WANG Kang<sup>1,2</sup>

(1. Engineering Research Institute, Shenyang Military Area Command, Shenyang, 110162, China; 2. Shenyang Agriculture University, Shenyang, 110162, China)

**Abstract:** Aimed at extracting surface water information from the mass remote sensing data effectively and automatically, a new method was presented in this paper by producing a curve based on Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Normalized Difference Built-up Index (NDBI), Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI), Soil Index (SI), Bare Soil Index (BI), and Ratio Vegetation Index (RVI). According to the analysis, a rule was found, that is, the DN value of surface water is  $> 0$  in the curve, but other typical objects do not have the character. So based on the research result of scholar YU De-hao, Normalized Difference Surface Water Dig Index is presented in this paper. Compared with the existing methods, this method can effectively overcome the phenomenon of confusion of water and other surface features, the precision was higher than other methods, and this method without artificial setting threshold, in the automatic extraction of water have new breakthrough. Therefore, this method can be used for extracting the water information from mass remote sensing data.

**Key words:** remote sensing; surface water; Normalized Difference Surface Water Dig Index; automatic extraction

导师: 于德浩, 研究方向: “3S”集成与应用研究 Email: yudehao710@yahoo.com.cn 基金项目: “863”计划项目“缺水地区地下水勘查与污染控制技术”资助, 编号: 2012AA062601; 中国地质调查局项目“东北界河地区国土资源综合调查与监测”资助, 编号: 1212011120014

# 1 引言

水资源是人类赖以生存且不可替代的资源,而地表水又是重要的水资源之一,它在人们的生产、生活中具有重要的地位。提取地表水体信息,并分析其分布特征,计算其面积、水量,对水资源开发、保护、利用等具有重要意义。随着遥感的出现,水体信息的提取逐渐向快速、高效、高精度、高自动化程度的方向发展。目前利用遥感提取地表水体信息的方法主要有,波段阈值法<sup>[1-3]</sup>、监督分类法<sup>[4-6]</sup>、水体指数法<sup>[7-10]</sup>和谱间关系法<sup>[11, 12]</sup>。

波段阈值法原理简单,是最早使用的提取水体的方法,但是此方法难以区分细小水体和混淆在水体中的阴影,波段阈值法最关键的是阈值的确定,但是阈值的选取要经过反复试验才能确定,是一个相当繁琐的过程,效率及自动化程度都很低。监督分类法是目前遥感分类中应用较多、算法较为成熟的分类方法之一,其优点是分类结果与实际地物吻合较好,但是该模型较为复杂,工作量较大,对分类模板的纯度要求比较高,要求训练区域具有典型性和代表性,其精度也比较低,一般不超过 85%<sup>[13]</sup>,且适用范围比较局限,只能在有先验知识的地方使用。水体指数法是 Mcfeeters<sup>[7]</sup>于 1996 年提出的,在平原地区提取水体效果较好,但是土壤和建筑物在这两个波段的光谱特征与水体相似<sup>[9]</sup>,而且阴影也具有随波长增大反射率整体降低的特点<sup>[10]</sup>,因而容易造成误提。谱间关系法可以较好地识别水体,应用比较广泛,建立的模型易操作、稳定性好,但是,此方法的通用性较差,不同的研究区域所用的模型有差异,而且对于山地区域,水体易与阴影混淆。

上述这些方法都能比较快速的提取出水体,但是它们都存在着一些普遍的问题,如自动化程度较低,工作效率较差,精度较低等。针对上述问题,本文选取了六个遥感特征指数,即可以提取植被信息的归一化植被指数 (NDVI) 和比值植被指数 (RVI)、能够很好的提取水体信息的改进的归一化差异水体指数 (MNDWI)、能够有效地提取建筑物信息的归一化建筑物差异指数 (NDBI)、以及可以提取土壤信息的土壤指数 (SI) 和裸土指数 (BI),四种典型地物,即地表水体、人工地物、裸土和植被,通过深入分析各典型地物在遥感特征曲线上的特征,并在学者于德浩<sup>[13]</sup>研究成果的基础上提出了归一化地表水体挖掘指数 (Normalized Difference Surface Water Dig Index, NDSWDI)。

## 2 遥感特征指数及特征曲线

### 2.1 遥感特征指数

(1) 归一化植被指数 (NDVI, Normalized Difference Vegetation Index),是目前最常用的植被指数之一。为了提高对地面植被的监测效果,Rouse JW 等人<sup>[14]</sup>提出了此方法,主要用于植被信息提取、植被监测和植被物候研究,其公式为:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (1)$$

其中: NIR 代表近红外波段, RED 代表红波段。

(2) 改进的归一化差异水体指数 (MNDWI, Modified Normalized Difference Water Index),此方法是徐涵秋<sup>[8]</sup>于 2005 年在 NDWI 基础上考虑了土壤、人工地物和阴影的情况下

加以改进的, 其公式为:

$$MNDWI = \frac{GREEN - MIR}{GREEN + MIR} \quad (2)$$

其中: GREEN 代表绿波段, MIR 代表中红外波段。

(3) 归一化建筑物差异指数 (NDBI, Normalized Difference Built-up Index), 是 Zha Y 等人<sup>[15]</sup>于 2003 年提出的, 主要用于提取建筑物信息。其公式为:

$$NDBI = \frac{MIR - NIR}{MIR + NIR} \quad (3)$$

式中, MIR 代表中红外波段, NIR 代表近红外波段。

(4) 土壤指数 (SI, Soil Index), 其公式为:

$$SI = \frac{RED - (255 - NIR)}{RED + (255 - NIR)} \quad (4)$$

式中, RED 代表红波段, NIR 代表近红外波段。

(5) 裸土指数 (BI, Bare Soil Index), 其公式为:

$$BI = \frac{B5 + B3 - B4 - B2}{B5 + B3 + B4 + B2} \quad (5)$$

式中, B2 代表绿波段, B3 代表红波段, B4 代表近红外波段, B5 代表短波红外波段。

(6) 比值植被指数 (RVI, Ratio Vegetation Index), 是 Jordan<sup>[16]</sup>提出的最早的一种植被指数, 此指数可强化植被在近红外和红外波段反射率的差异<sup>[17]</sup>, 其公式为:

$$RVI = \frac{NIR}{RED} \quad (6)$$

NIR 代表近红外波段, RED 代表红波段。

## 2.2 遥感特征指数曲线

由以上特征指数, 依次以 RVI、SI、NDVI、NDBI、BI、MNDWI 为横坐标, 以图像 DN 值为纵坐标构建典型地物特征指数曲线, 其中, 各特征指数已经过线性变换, 拉伸到 0—255 范围, 如图 1 所示。图中选取了四类典型地物进行研究, 即地表水体、人工地物、裸土和植被。

## 3 归一化地表水体挖掘指数

通过分析图 1 典型地物特征指数曲线可以发现: 只有水体存在  $\frac{MNDWI - BI}{MNDWI + BI} > 0$ , 而其他地物没有此规律, 因此在学者于德浩<sup>[13]</sup>研究成果的基础上提出归一化地表水体挖掘指数 (Normalized Difference Surface Water Dig Index, NDSWDI), 即  $\frac{MNDWI - BI}{MNDWI + BI}$ , 用以提取地表水体信息。式中, MNDWI 为改进的归一化差异水体指数, 公式为  $MNDWI = \frac{B2 - B5}{B2 + B5}$ , BI 为裸土指数, 公式为  $BI = \frac{B5 + B3 - B4 - B2}{B5 + B3 + B4 + B2}$ , B2 代表绿波段, B3 代表红波段, B4 代表近红外波段, B5 代表短波红外波段。

下面将利用地表水体挖掘指数 (Normalized Difference Surface Water Dig Index,