

环境减灾小卫星影像水体和湿地自动提取方法研究

曲伟^{①②}, 路京选^①, 李琳^①, 李小文^②

(^① 中国水利水电科学研究院遥感技术应用中心, 北京 100048;

^② 北京师范大学地理学与遥感科学学院, 遥感科学国家重点实验室, 北京 100875)

摘要: 本文在研究 HJ 星多光谱 CCD 相机数据地物光谱特征基础上, 提出了一种基于蓝光波段的改进型归一化差异水体指数 (NDWFB), 并分别利用 HJ 星数据和 ETM+ 数据, 比较分析了 NDWFB 和归一化差异水体指数 NDWI 提取水体的效果。结果证明, 应用 NDWFB 除可准确提取大范围水体外, 还能够提取小范围水体和湿地, 为基于环境减灾小卫星数据的洪水淹没等水体分布信息快速自动提取提供了一种实用化方法。

关键词: 水体提取; 环境减灾小卫星; 水体指数

doi: 10.3969/j.issn.1000-3177.2011.04.006

中图分类号: TP79 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3177(2011)116-0028-06

Research on Automatic Extraction of Water Bodies and Wetlands on HJ Satellite CCD Images

QU Wei^{①②}, LU Jing-xuan^①, LI Lin^①, LI Xiaowen^②

(^① China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100048;

^② School of Geography, Beijing Normal University, Beijing 100875)

Abstract: HJ Satellites can be used in dynamic inspection and evaluation of the flood disaster because of its short observation period and high spatial resolution. In this article, the spectral features of the land surface on HJ satellites CCD images were studied, and a modified normalized difference water index based on Blue light (NDWFB) was produced. In order to prove it, ETM images were also used to generate NDWFB and normalized difference water index (NDWI) of Mcfeeters (1966). The results showed that not only the large water bodies but also small water bodies and wetlands could be divided on the NDWFB images. This provided an effective method to extract the water distribution information fast that were submerged by flood using HJ satellites CCD images.

Key words: water bodies extraction; HJ satellites; water index

1 引言

我国是个自然灾害多发的国家, 尤其是洪涝灾害, 几乎年年发生, 常常造成大量人员伤亡以及巨大的经济损失。利用遥感技术快速监测评估洪涝灾害已成为我国防洪减灾工作中的重要一环, 在历次洪涝灾害监测中均发挥了巨大作用。过去, 由于国产卫星资源严重不足, 洪涝灾害监测评估中多采用国外卫星数据, 而近年来随着国产卫星数据的不断增加, 国产卫星数据在洪涝等自然灾害监测中的应用也越来

越多。

2008年9月6日, 我国专门用于环境与灾害监测的环境与灾害监测预报小卫星(简称环境减灾卫星)星座中的两颗光学星升空(HJ-1A, HJ-1B), 可实现可见光探测在30m分辨率下每两天对国土进行全覆盖观测, 红外和超光谱探测在中等分辨率下每四天对国土进行全覆盖观测。卫星星座8颗星全部升空后, 上述周期可减半。HJ-1A与HJ-1B星上搭载宽覆盖多光谱CCD相机、超光谱成像仪(A星)和红外相机(B星), 参数如表1所示。

收稿日期: 2010-05-26 修订日期: 2010-06-29

作者简介: 曲伟(1984~), 女, 中国水利水电科学研究院工程师, 主要研究方向为遥感和GIS技术在水文学研究中的应用。

E-mail: jianing545@163.com

表1 环境减灾小卫星主要技术指标

项目	CCD 相机	红外相机
地面分辨率(m)	30	150、300
幅宽(km)	360	720
波段数(个)	4	4
波段(μm)	0.43- 0.52	0.75- 1.10
	0.52- 0.60	1.55- 1.75
	0.63- 0.69	3.50- 3.90
	0.76- 0.9	10.5- 12.5

环境减灾卫星 CCD 相机的 4 个波段 HJ1 到 HJ4 分别是蓝光、绿光、红光、近红外波段。蓝光波段对水体信息(水深、浅海水下地形、水体浑浊度等)比较敏感;绿光波段对水体也有一定穿透能力,但其对植物的绿反射敏感;红光波段位于叶绿素的主要吸收带,以及含沙浓度不同水体的辐射峰值(0.58 μm ~0.68 μm)附近,对植被的生长状况和水中悬浮泥沙的浓度敏感;近红外波段位于植被的高反射区和水体的强吸收区,可用于勾绘水体轮廓,区分土壤湿度等^[9]。

水体范围监测既是调查水资源的一个重要方面,也是洪水灾害监测的重要内容。在洪水灾害监测评估中,需要快速得到洪水的淹没范围,常用的方法是采用目视判读来获取洪水淹没范围,难以满足洪水灾害快速评估的要求。目前,国内对水体自动提取的研究主要是针对陆地卫星的 TM/ETM+ 数据^[1~7]、地球观测系统(EOS)卫星上携带的 MODIS 传感器数据^[8~10]、Terra 卫星上搭载的高级星载热发射反照辐射计(ASTER)的数据^[11]以及 NOAA 气象卫星的 AVHRR 数据^[12],针对环境减灾卫星的相关研究还不多见。本文将针对环境减灾卫星数据的特点,研究水体自动提取的方法。

2 水体提取方法研究

水体几乎全部吸收了近红外和中红外波段内的入射能量,所以这两个波段内的反射率很低,而植被、土壤等在这两个波段内的吸收能量较少,反射率比较高^[14],因此可以利用单波段阈值法对水体进行提取。学者通常利用 TM5 短波红外波段(1.55 μm ~1.75 μm)^[3,6]提取水体,除了对一些阴影区和水体区分率较差外,水体整体提取效果较好。因此,利用阈值法对环境减灾卫星数据进行水体提取时可选用红外相机的第二波段,但由于其数据分辨率(150m)较 TM 低,对于面积小于或接近其像元面积的水体,提取会有难度。

水体具有独特的谱间关系特征,利用多个波段的综合特点提取水体是近年来的研究重点。谱间关系法利用水体和背景地物在不同波段(或不同波段组合)之间光谱特征的差异,建立逻辑判断公式,对水体和背景地物进行区分,杨存建、周成虎、张明华等分别在这方面进行过研究^[1,13~14]。最早且最具有代表性的水体指数是由 Mcfeeters^[15]提出的归一化差异水体指数 NDWI(Normalized Difference Water Index),公式如下:

$$NDWI = (Green - NIR) / (Green + NIR) \quad (1)$$

其中 Green、NIR 分别为绿光和近红外波段。

NDWI 提出后,很多学者针对不同的研究区和数据源创建了新的或改进的植被指数。徐涵秋^[4]针对 NDWI 对建筑物和水体区分的不足,提出了改进型归一化差异水体指数(MNDWI),将 NDWI 中的近红外波段改为中红外波段。莫伟华等^[8]针对 MODIS 数据,建立了一种基于植被指数和中红外通道的混合水体指数模型 CIWI。闫霁^[9]在分析半干旱地区水系与背景噪音反射特点的基础上,提出了增强型水体指数 EWI(Enhanced Water Index),有效区分了半干涸河道与背景噪音。汪宝存等^[11]提出了基于 ASTER 数据的归一化差异水体指数 NDWI_{ASTER1,4}。丁凤^[17]针对水体在 TM 数据 1、4、5、7 波段间的关系特征,建立了一种新型的水体指数 NWI。

3 改进型归一化差异水体指数 (NDWI-B) 的构建

本文研究区位于巴尔喀什湖南端,而巴尔喀什湖位于亚洲中部,哈萨克斯坦东部。伊犁河从南面注入巴尔喀什湖西部,其水量占湖总入水量的 75% 至 80%。所选卫星影像资料为 2009 年 4 月 23 日的环境减灾卫星 CCD 相机多光谱数据(图 1(a)),并用 2004 年 6 月 16 日的经过正射校正的一景 ETM+ 数据(图 1(b))验证研究方法的可行性。研究区范围如图 1 所示:

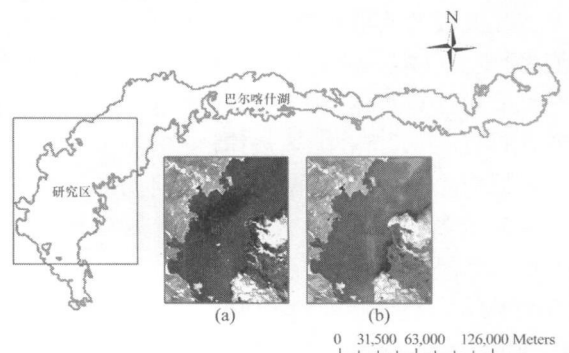


图1 研究区假彩色影像及其位置图

要将影像上的水体信息和非水体信息最大程度的分离,首先要分析图像的地物波谱特征,根据地物的波谱特征寻找适合的方法进行水体提取。本文在研究区内选取了水体、居民地、山地、耕地这4个以往学者认为易混淆^[1,4,8]的地物类型做样本,以及针对本研究区内裸地范围广且内部异质性大的特点,

选取了裸地为样本,另外,还选取了研究区内比较典型且有较大范围分布的典型地类——湿地做样本。其中,针对地物类型内部的异质性程度,水体选了6个不同样本,居民地2个、山地4个、耕地2个、裸地3个、湿地4个样本,各种地类样本的亮度值统计信息见表2,地物波谱图见图2。

表2 地物样本亮度值统计

地类		耕地	居民地	裸地	山地	水体	湿地
样本像元数		1024	996	7326	1347	34881	23253
亮度均值	HJ1	34.59	44.98	55.32	41.15	51.62	30.17
	HJ2	27.50	36.71	47.86	31.60	34.47	20.39
	HJ3	31.57	48.68	64.25	39.58	18.31	24.44
	HJ4	57.58	52.12	58.45	42.35	6.9	24.96

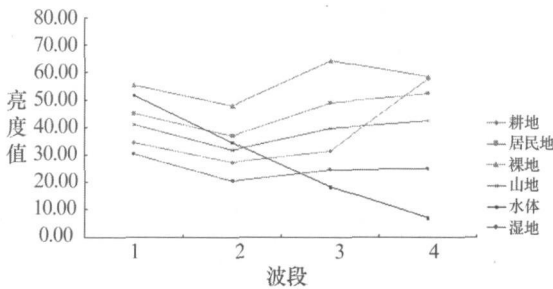


图2 环境星 CCD 相机地物波谱图

亮度值的统计数据 and 地物波谱图很好地验证了水体在近红外波段强吸收性的特点,水体在近红外波段的反射率远低于统计的其他地物,并且随着波长从蓝光增加到近红外,水体的反射率有很大程度的降低。耕地、居民地、裸地和山地从蓝光波段到绿光波段反射率也有所降低,但幅度不大,之后随着波长的增加,反射率一直逐步增加,近红外波段的反射率高于蓝光波段的反射率。湿地是水体、植被、土壤三者的混合,其反射率特征包含三者的特点,不同于任何一种地物,湿地在蓝光波段反射率也比较高,近红外波段的反射率虽然比水体的反射率高,但是比它在蓝光波段的反射率低。由于统计信息是样本的均值,为避免样本内地物异质性的影响,分析数据的同时也通过计算水体指数对地物的光谱特征进行了验证,结果证明了符合上述规律。

根据对上述地物光谱特征的统计分析,建立了基于蓝光波段的归一化差异水体指数模型,公式如下:

$$NDWI-B = (Blue - NIR) / (Blue + NIR) \quad (2)$$

其中, *Blue* 为 HJ 星 CCD 相机的蓝光波段, *NIR* 为 HJ 星 CCD 相机的近红外波段。 *NDWI-B*

即为基于蓝光波段的归一化差异水体指数 *NDWI-Blue* 的简称。

4 实验方法

4.1 环境减灾卫星 *NDWI-B* 和 *NDWI* 分析比较

对研究区 HJ 星图像进行 *NDWI-B* 的计算,发现纯水体的值在 0.93 到 0.65 之间,浑浊水体的值在 0.65 到 0.51 之间,湿地的值在 0.51 到 0.15 之间,其他背景地物的值在 0.15 到 -0.16 之间。同时,为比较 *NDWI-B* 和归一化差异水体指数 *NDWI* 的水体提取效果异同,本文也计算了研究区 HJ 星图像的 *NDWI* 值,发现纯水体的值在 0.88 到 0.58 之间,浑浊水体的值在 0.58 到 0.18 之间,湿地和水分含量较高的土壤的值在 0.18 到 0.015 之间,其他背景地物的值在 0.015 到 -0.27 之间。

本文的研究目的不仅是为了提取水体,因此选取了一个有纯净水体、湿地、道路和盐碱地的混合区域进行进一步分析,并分别做出了这一区域的 *NDWI-B* 直方图(图 3(d)) 和 *NDWI* 直方图(图 3(g))。分析两个直方图可以发现, *NDWI-B* 直方图上有两个峰值,而且两类之间有明显的距离,通过选取阈值可以把图上的地物分为两类,亮度大的一类是水体和湿地,亮度值小的一类是背景地物。 *NDWI* 直方图中有一个很明显的峰值和几个小峰值,但是峰值之间距离很小,不易区分。根据以上情况分别选取不同的阈值提取研究区内的水体和湿地,结果如图 3 所示。

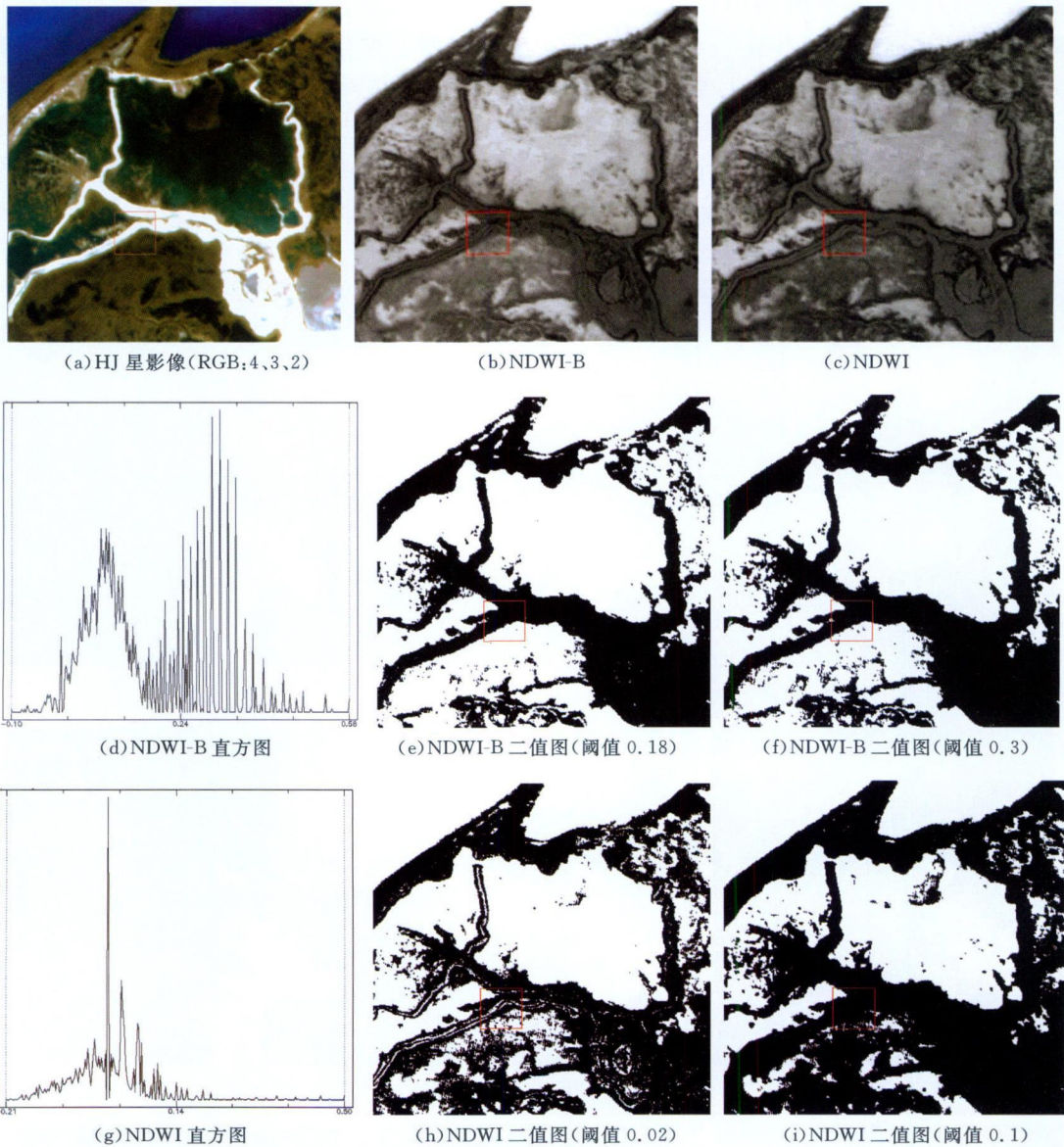


图3 HJ星数据水体和湿地的NDWI+B和NDWI比较

(白色区域是水体和湿地,黑色区域是背景地物)

NDWI+B图中, 纯净水体的值在0.93到0.65之间, 浑浊水体的值在0.65到0.51之间, 湿地的值的范围从0.51到0.15, 因此分别以0.18和0.2为阈值对NDWI+B图进行二值划分, 将水体和湿地一起提取出来, 结果分别如图3(e)和图3(f)所示。从图中可以发现, 两种情况下湖泊的范围都能够准确地被提取出来, 同时, 道路和盐碱地被很好地排除了, 以0.18为阈值提取的湿地范围最大, 而且破碎图斑相比较后者少很多, 随着阈值的增大提取的湿地范围逐渐减少, 在应用的过程中, 可以根据研究区的特点以及应用需求选取特定的阈值。

在NDWI图中, 纯净水体的值在0.88到0.58之间, 浑浊水体的值在0.58到0.18之间, 湿地的值在

0.18到0.015之间。因此分别以0.02和0.1为阈值对NDWI图进行二值划分, 结果分别如图3(h)和图3(i)所示。从图中可以发现, 阈值为0.02时, 湿地的范围整体和NDWI+B提取的范围差不多, 但是从局部区域看, 研究区内的道路和盐碱地也被误提出来了, 随着阈值的增大, 道路和盐碱地的误提情况有所改善, 但同时伴随着湿地面积的丢失, 当阈值为0.1时, 道路和盐碱地被完全排除掉了, 但同时很大范围的湿地也被牺牲掉了。因此, 用NDWI提取纯净水体是很好的选择, 提取湿地时就会有很多问题。

4.2 NDWI+B的ETM+数据验证

为验证NDWI+B的适用性, 本文选取了2004年6月16日的一景ETM+数据, 计算研究区的

NDWI-B(图 4(b)) 和 NDWI(图 4(c)), 并分别选取适当的阈值将水体和湿地提取出来。

比较图 4(d)和图 4(g)可以发现,当阈值为 0.2 时,两种指数都会将右上角的盐碱地误提出来,NDWI-B 误提的更多,阈值增加可以减少误提的情况。阈值取 0.4 时,右上角只有很小一部分盐碱地被误提出来,两种指数提取结果几乎一样(图 4(e)和图 4(h))。当阈值进一步增加到 0.5 时,NDWI-B 中(图

4(f)) 的盐碱地几乎能够完全消除,同时水体和湿地的面积也不损失,NDWI(图 4(i)) 中的盐碱地也只剩下很小的面积,可以通过后续算法去掉,不过损失了部分的湿地的面积。在应用的过程中,两种水体指数都可以应用,不过在阈值的选取和后续处理上有所差别。通过对 ETM+ 数据 NDWI-B 指数的分析,可以证明 NDWI-B 对陆地卫星数据水体提取的适用性,以及其在排除特定背景地物影响上的优势。

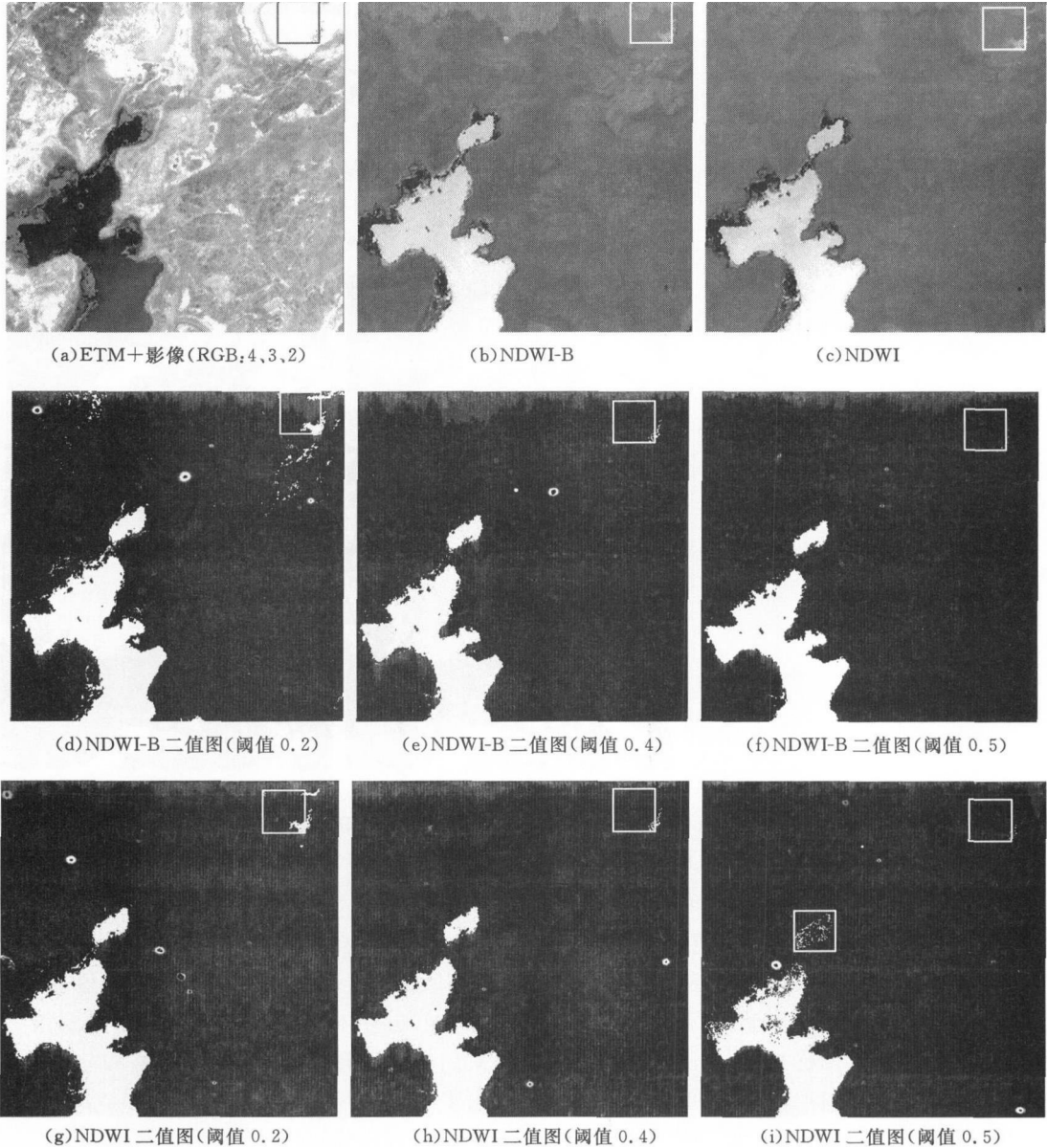


图 4 ETM+ 数据水体和湿地的 NDWI-B 和 NDWI 比较

5 结束语

灾害特征不仅包括湖泊、河流、水库等的水体范围,也包含洪水淹没区的信息。淹没区除了被水覆盖的区域之外,还包含水体和植被的混合区域。研

究区内的水体覆盖度较高,湿地植被覆盖度较低,与洪水淹没区的地物类型组合有很大的相似性。因此,本文以湿地为研究区,为洪水淹没区信息的提取进行了初步探索。

本文借鉴以往学者对水体提取的研究经验,结

合环境减灾小卫星的数据特点,分析了适合它的水体提取方法,证明了归一化差异水体指数 NDWI 对环境减灾卫星数据的适用性,同时提出了利用蓝光波段代替 NDWI 中绿光波段的 NDWI-B 水体指数,不仅可以达到准确提取大范围水体的目的,还可以

区分研究区内的湿地以及小范围水体。并用 ETM+ 数据验证了改进型归一化差异水体指数 NDWI-B 的适用性。另外,研究中发现,小于等于两个像元的水体及河道很难被提取出来,只有超过 3~5 个像元范围的水体才可能被提取出来。

参考文献

- [1] 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(4): 993- 996.
- [2] 李小曼,王刚,田杰. TM 影像中水体提取方法研究[J]. 西南农业大学学报(自然科学版), 2006(4): 580- 582.
- [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(1): 17- 23.
- [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(5): 590- 595.
- [5] 颜梅春. 基于 TM 数据的水域变化信息提取研究[J]. 水资源保护, 2005(6): 31- 33.
- [6] 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(6): 479- 484.
- [7] 李文波,于春颖,张秋文,等. 基于归一化水体指数的水域面积估算研究[J]. 人民长江, 2008(2): 11- 13.
- [8] 莫伟华,孙涵,钟仕全,等. MODIS 水体指数模型(CIWI)研究及其应用[J]. 遥感信息, 2007(5): 16- 21.
- [9] 马丹. 基于 MODIS 数据的水体提取研究[J]. 地理空间信息, 2008(1): 25- 27.
- [10] 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): 1- 4.
- [11] 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(2): 177- 179.
- [12] 周成虎,杜云艳,骆剑承. 基于知识的 AVHRR 影像的水体自动识别方法与模型研究[J]. 自然灾害学报, 1996(3): 100- 108.
- [13] 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(2): 14- 16.
- [14] 周成虎. 遥感影像地学理解与分析[M]. 北京: 科学出版社, 1999.
- [15] M cfeeters S K. The use of the Normalized Difference Water Index(NDWI) in the delineation of open water features[J]. International Journal of Remote Sensing, 1996, 17(7): 1425- 1432.
- [16] 曹荣龙,李存军,刘良云,等. 基于水体指数的密云水库面积提取及变化监测[J]. 测绘科学, 2008(2): 158- 160.
- [17] 丁凤. 基于新型水体指数(NWI)进行水体信息提取的实验研究[J]. 测绘科学, 2009(4): 155- 157.
- [18] 闫霁,张友静,张元. 利用增强型水体指数(EWI)和 GIS 去噪音技术提取半干旱地区水系信息的研究[J]. 遥感信息, 2007(6): 62- 67.
- [19] 赵英时. 遥感应用分析原理与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2006.

中国青藏高原研究会 2011 年学术年会(第一轮通知)

地球系统科学理念是人类认识地球的新视野,也是解决资源、环境和灾害等新出路。目前,以表层系统为主要对象的全球变化研究、以深部系统为主要对象的地球动力学研究被认为是地球系统科学研究的典范。对地球系统科学的深入研究和认识必须从关键区域入手,青藏高原正是同时理解地球深部和表层系统演化与相互作用的关键地区。地球深部过程引发了印度与欧亚板块碰撞,地表大幅度隆升,形成平均海拔达 4500m 的青藏高原,并导致亚洲季风环流的形成;这个巨大的高原通过风化剥蚀可能对碳循环和海陆生态系统产生了重要影响;其地表过程变化引起高原本身的环境变化并产生不同尺度的多重效应,制约着资源合理利用与生态建设的方向。中国青藏高原研究会 2011 年学术年会将通过一系列特邀报告、分组讨论、学术论坛等,旨在拓宽基于青藏高原研究的地球系统科学研究领域,提高青藏高原研究的基础理论水平,深化对青藏高原地区环境变化与区域发展关系的认识等。

1. 会议主题: 青藏高原多圈层相互作用及其资源环境效应; 2. 会议时间: 2011 年 11 月 21 日—24 日(11 月 20 日报到); 3. 会议地点: 海南省三亚市。4. 会议主要安排: 开幕式、第八届青藏高原青年科技奖颁奖; 特邀大会报告; 分组学术报告; 专题学术讨论; 青年科学论坛; 会后参观考察。

报名参加会议的人员请于 2011 年 8 月 31 日前填写注册表,并提交到会议秘书处(见会议联系方式),以便获得会议筹办过程的进一步信息和相关要求。为便于与会人员进行学术交流,会议秘书处将于会前编辑会议手册和论文摘要。凡拟进行学术报告的人员请于会前准备学术论文摘要(限 800- 1000 字)。论文摘要电子版请于 2011 年 9 月 30 日前提交给会议秘书处(联系方式同上)。与会人员食宿自理。由于会议期间海南三亚进入旅游旺季,住宿紧张,会议将为与会联系食宿,并根据报名情况为与会人员提供一定补贴,具体食宿标准将在会议二号通知中公布,并要求参会者在 2011 年 10 月 31 前给予确认。

联系地址: 北京市朝阳区大屯路甲 11 号中国青藏高原研究会; 邮政编码: 100101

电话: 010- 64889819(宁建贞), 010- 62849386(朱立平) 传真: 010- 64889769

电子信箱: qingzang@igsnr.ac.cn; lpzhu@itpcas.ac.cn

重要日期: 2011 年 8 月 31 日, 第一轮通知报名截止; 2011 年 9 月 30 日, 论文摘要接收截止; 2011 年 10 月 31 日, 第二轮通知食宿确认截止