

DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdtqk.2015.01.015

基于 Landsat-TM 影像的洞庭湖水面动态变化

崔亮, 李永平, 黄国和, 曾雪婷

(华北电力大学 资源与环境研究院, 北京 102206)

摘要: 为了探究近 20 年来洞庭湖萎缩状况, 定量评价其水面面积变化情况, 选择 Landsat TM 遥感影像作为数据源, 采用单波段阈值分析法、多波段谱间关系法、水体指数法、植被指数法和目视解译法对洞庭湖水体进行了解译, 探讨了 1993 年-2010 年洞庭湖水体面积动态变化状况。结果表明, 若以 1949 年洞庭湖面积(km^2) 作为历史参考水面, 则 18 年间湖面面积萎缩严重, 秋季平水期萎缩比例均超 40%; 若以 1978 年洞庭湖水面为参考, 则萎缩比例少于 40%。研究还表明, TM 图像的 7+2 波段组合对于洞庭湖水体的解译非常有效, 可以作为地区水文水资源研究的重要手段。

关键词: 洞庭湖; 萎缩; 遥感; TM 影像; 遥感解译; 水体提取; 动态变化

中图分类号: P237 文献标志码: A 文章编号: 1672-1683(2015)01-0063-04

Dynamic changes of Dongting Lake based on Landsat TM remote sensing data

CUI Liang, LI Yong ping, HUANG Guo he, ZENG Xue ting

(Sino Canada Resources and Environmental Research Academy, Natural Disaster Research Institute,
North China Electric Power University, Beijing 102206, China)

Abstract: In order to investigate the shrinking conditions of the Dongting Lake in recent 20 years and evaluate the change in water surface area quantitatively, the Landsat-TM remote sensing images were used as the data source, and the single band threshold algorithm, multi band spectrum, normalized difference water index, normalized difference vegetation index, and visual interpretation were used to analyze the change in water surface area of the Dongting Lake from 1993 to 2010. Based on the analysis of spectroscopic characterization of Landsat TM remote sensing data of the study area, the fractal dimension of the surface water area of the Dongting Lake was calculated. The water surface area of the Dongting Lake is 1604.29 km^2 in October 1993, 848.73 km^2 in September 2001, 414.32 km^2 in November 2006, and 330.92 km^2 in December 2010. Take the water surface area in 1949 (4350 km^2) as the historical reference value, Dongting Lake shrank severely in recent 30 years, and the shrinking proportion of the Dongting Lake surpassed 40% during the normal river flow period. Take the water surface area in 1978 (2691 km^2) as the historical reference value, and the shrinking proportion of the Dongting Lake was less than 40%. The results showed that 7+2 band visual interpretation can be effectively applied to the interpretation of the Landsat TM remote sensing images in the Dongting Lake.

Key words: Dongting Lake; shrinking; remote sensing; Landsat TM; remote sensing interpretation; water extraction; dynamic change

近百年以来, 由于人类活动的加剧以及全球气候变化的影响, 湖泊普遍出现了水量锐减、水质恶化、面积萎缩, 甚至干涸消亡等状况, 从而改变了湖泊水文循环形式和水文动力状况, 极大的降低了湖泊生态系统的生物多样性, 给湖区居民的生活和生产造成巨大损失, 影响了区域经济的发展^[1]。随着全球对地观测系统的建立以及航天技术遥感信息的快速

发展, 遥感技术以其实时性、周期性、宏观性及综合性等特点, 为湖泊水体的准确快速监测提供了可能。

Landsat TM 遥感影像具有较高的空间分辨率、波谱分辨率和定位精度, 是全世界广泛应用的遥感数据源。利用 TM 卫星遥感影像为数据源解译水体, 国内外已经开展了一系列相关研究, 如陆家驹等^[2]以 TM 影像为数据源, 分别用

收稿日期: 2013-10-08 修回日期: 2014-11-16 网络出版时间: 2014-12-03

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20141203.1143.010.html>

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金项目(2014XS68); 国家杰出青年科学基金(51225904)

作者简介: 崔亮(1985-), 男, 河北秦皇岛人, 博士研究生, 主要从事水文水资源方面的研究。E-mail: cui-liang852@126.com

阈值法、比率测算法、色度判别法解译水体; Kloiber^[3] 在研究美国 10 个城市湖泊的透明度时,利用非监督分类法将 TM 影像解译为 10 类,然后将影响聚类为陆地和水体,最终提取水体范围;李畅游^[4] 等利用 TM 遥感影像数据,采用单波段阈值法、多波段组合运算法、比率法、多光谱分析法及色度判别法对乌梁素海的水体进行了提取,并分别阐述了每个方法的优缺点;刘建波^[5] 等利用密度分割法从 TM 遥感影像中提取水体范围;李小曼^[5] 等针对 TM 遥感影像小水体提取的局限性,利用影像谱间关系提取了水库水体,该方法有效提高了细小水体的提取精度;王东海^[6] 等利用谱间关系法、阈值法和归一化差异水体指数(NDWI)提取了巢湖流域面状水体形态信息,并利用分形几何理论计算了各子流域面状水体的不同季节分形维数;余莉^[7] 等利用分层分类法,通过对秋季鄱阳湖典型湿地长序列 TM 影像进行解译分析,探讨了鄱阳湖典型湿地面积动态变化特征;张倩^[8] 等根据水体的波谱特性以及 MODIS 数据的特点,分别采用了谱间关系法、归一化植被指数法和自组织神经网络算法进行水体提取研究,并分析对比了三种方法各自的优缺点;程磊^[9] 等以固原市周边水体为研究对象,基于 Landsat TM 数据分别应用水体指数法、多波段谱间关系法、单波段阈值法等多种方法对研究区的水体进行识别提取。

本研究以 Landsat TM 遥感影像作为基础数据,采用单波段阈值分析法、多波段谱间关系法、水体指数法、植被指数法和目视解译等方法来提取洞庭湖水体范围,研究洞庭湖水体面积变化特征,探讨洞庭湖萎缩情况,以期对洞庭湖地区水文水资源研究与管理服务。

1 研究区概况

洞庭湖位于长江流域中游荆江河段南岸,在城陵矶附近与长江相连,通过松滋、太平、藕池,调弦(1958 年已封堵),承纳长江和沅、澧、资、湘四水,具有沟通航运、调节江河径流、繁衍水产和改善生态环境等功能。湖区范围大约在 28°30′ - 30°20′ N, 111°40′ - 113°10′ E 之间(图 1),跨越湖南湖北两省的冲积平原和河湖水网,是我国的第二大淡水湖泊。湖区现有湿地面积约 2 625 km², 调蓄容积 167 亿 m³, 分为南洞庭湖、东洞庭湖、西洞庭湖和横岭湖。每年由于洪水季节大量泥沙入湖淤积,形成了季节性淹水带、以敞水带、滞水低地为主的我国最大的湖泊湿地景观^[10]。

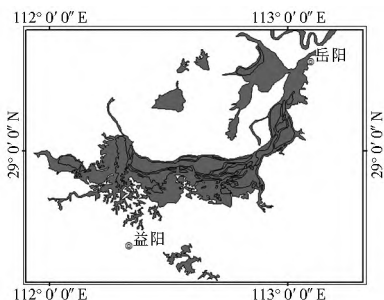


图 1 研究区位置

Fig. 1 Location of the study area

历史上,洞庭湖水面一直处于萎缩扩张的动态变化中。近 100 多年来,由于环湖地区人地矛盾加剧,水体面积急剧

萎缩,湖区的水文状况发生了极大变化。特别是建国以来,上游流域陡坡开荒,造成水土流失十分严重,河床抬高,导致洞庭湖淤积速度加快,加上围湖造田活动,使得湖泊调蓄能力明显降低。近些年来随着经济的高速发展和人类社会活动的日益加剧,在围湖造田、取用水等人类生产生活影响较大的区域,出现了水位持续下降、水面积和蓄水量不断减小的现象,地区性水资源短缺突出,目前已经成为制约湖区经济社会发展的主要因素^[11]。

2 数据资料与研究方法

2.1 数据获取与预处理

Landsat 5 遥感卫星是美国陆地资源卫星的第五颗星,其 TM 影像数据属于光学类遥感数据。目前由中国科学院中国遥感卫星地面站(以下简称中国遥感卫星地面站)所生产的 Landsat 5 数据产品一共有四个级别:0 级、1 级、系统级纠正(Systematic Geocorrection)与精纠正(Precision Geocorrection)。

本研究采用的数据源来自中国遥感卫星地面站 1993 年-2010 年间的秋季(9 月-12 月)平水期洞庭湖流域 Landsat TM 影像 1 级产品,共有 4 景(分辨率为 30 m)。为了使地面控制点尽可能均匀分布,以九宫格方式选取控制点,并用地面检查点进行检验,使空间误差控制在 0.5 个像元以内,以便进行更为精确的校正。影像采用多项式变换模型(Polynomial)进行几何校正,次数为 3 次方,有 10 个控制点;投影类型为 UTM 投影,选取北纬 49 区墨卡托区域(UTM Zone),椭球体和基准面都为 WGS84;采用双线性插值法(Bilinear Interpolation)进行像元灰度重采样,影像校正后像元的空间分辨率为 30 m。

在解译过程中,还收集了野外采样数据和洞庭湖周围行政区划、1:10 000 地形图等辅助资料。

2.2 研究方法

2.2.1 单波段阈值分析法

TM 传感器的第五波段为中红外波段,几乎可全部被水体吸收,所以可以利用此特性进行水体解译。对于水陆界限对比较明显的图像,可以利用阈值分割的方法,确定分割水体的阈值,将水体范围提取出来。其基本思路是:如果一景图像由背景和被识别物体组成,物体与背景有不同的灰度值,以图像直方图的某一灰度为阈值将图像分成目标和背景两组并计算两组间的方差,当被分成的两组之间的方差达到最大值时,就以这个灰度值为阈值进行分割图像,进而对目标物体进行解译。Frazier^[12] 等对单波段阈值法有比较深入的研究,本方法的缺点是水体与非水体之间的过渡区域容易被忽略,因此无法提取细小水体。

2.2.2 多波段谱间关系法

TM 遥感影像数据共有 7 个波段,不同的波段反映了地物不同的光谱特征信息,各个波段及组合分别适用于不同地物的解译和分类。多波段谱间关系法正是利用遥感影像不同波段的光谱谱间差异特征进行水体信息的提取。杜云艳^[13] 等研究发现 TM 影像中,在常见地物中只有水体具有波段 2 与波段 3 的和大于波段 4 与波段 5 的和这一光谱特

征,因此利用这一谱间关系特征可以提取水体信息^[10]。多波段谱间关系法利用关系式(1)进行水体的提取。

$$(band2+ band3) - (band4+ band5) > 0 \quad (1)$$

式中:band2、band3、band4、band5 分别为 TM 影像中的第二、第三、第四和第五波段。

2.2.3 水体指数法

归一化差异水体指数(NDWI)在1996年由McFeeters提出,该方法可以使遥感影像中的水体信息得到加强,非水体信息受到抑制,从而增强影像的对比度,有利于水体的进一步提取^[14]。其计算公式为

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

式中:Green为绿光波段,即TM影像中的第二波段;NIR为近红外波段,即TM影像中的第四波段。

2.2.4 植被指数法

植被指数法是指植被在TM影像第三波段大于第四波段的光谱亮度值,但其它地物第三波段的光谱亮度值小于第四波段,从而可以较为容易地把植被提取出来的遥感解译方法^[15]。对于经过植被指数运算后的图像,可以通过阈值分割的方法将水体提取出来。归一化植被指数(NDVI)的计算公式如下:

$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R) \quad (3)$$

式中:NIR为近红外波段,即TM影像中的第四波段;R为红光波段,即TM影像中的第三波段。

2.2.5 目视解译

目视解译主要采用以下两种方法。

(1) 总体观察。分析影像对判读目的任务的判读性和各判读目标间的内在联系,观察各种直接判读标志在图像上的反映,从而可以把图像分成大类别和其他易于识别的地面特征。

(2) 对比分析。包括多时域图像、多波段图像、多类型图像的对比分析和各判读标志的对比分析,其中,多波段图像对比有助于识别在某一波段上灰度相近但在其它波段上灰度差别较大的物体;多时域图像对比分析主要用于物体的动态变化情况的监测分析;而多类型图像对比分析则包括不同光源成像、不同成像方式、不同比例尺图像之间的对比分析。

此外,对不同波段图像进行合成,可以使图像上不同形态、类型的地物获得良好的显示效果。通常遥感影像处理系统都采用三色合成的原理生成彩色图像,即在3个通道上安置3个波段的图像,然后每个通道分别赋以红、绿、蓝色,叠加在一起形成彩色图像。其作用在于:综合选取各波段的特点扩展地物波段的差异性;表现差异显示的动态范围、扩展肉眼观察的可视性,提高地物的判读性。

3 结果与分析

3.1 不同解译方法比较研究

针对1993年10月12日TM影像,采用上述五种方法进行洞庭湖水面解译,结果见图2。

对比不同方法解译结果,可以发现:单波段阈值方法能够准确识别连续大范围水体,对于细小水体界限不能很好的区分出来(图2(a));多波段谱间关系法解译结果中,部分水

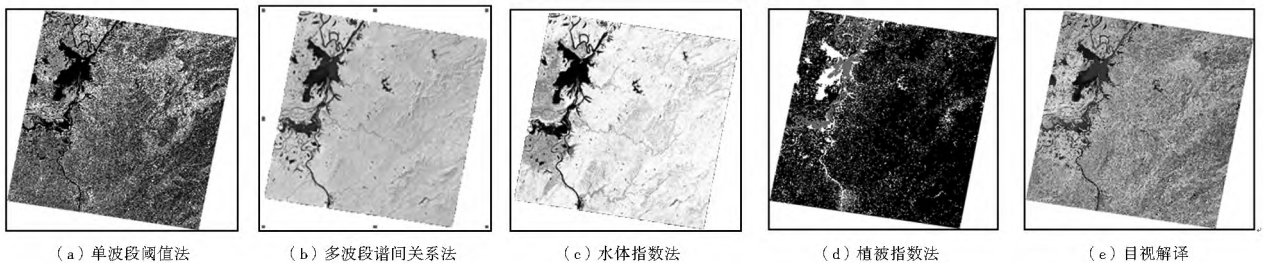


图2 1993年10月12日TM影像解译结果

Fig. 2 The interpretation results of TM images on October 12, 1993

体处于高值区(白色,主要为淤积带),但城市和道路等建设用地大部分也处在高值区(图2(b)),这种情况从一定程度上反映了洞庭湖水体遥感解译的复杂性;水体指数方法可以提取洞庭湖绝大部分的水体,但其中混有部分山体阴影和居民地(图2(c));而植被指数法无法将水植低密度覆盖的混合区与水体区分开,会误将大量植被覆盖区识别为水体(图2(d));应用TM742(RGB)多波段合成图像时,城市呈品红色或紫色,草地淡绿色,森林深绿色(针叶林色调比阔叶林暗),水陆边界明显(图2(e)),把水体信息提取结果图作为背景与原地形图水体范围叠加在一起检验水体的提取效果,发现漏提和多提的水体比较少,效果非常理想。

3.2 基于目视解译方法的洞庭湖水体面积动态变化

将1993年10月12日、2001年09月24日、2006年11月01日、2010年12月22日遥感影像数据影像上以九宫格方式选取控制点,采用多项式变换模型(Polynomial)且次数

为3次方即10个控制点进行几何校正。按照多波段合成目视解译的方法提取水体范围,并对解译结果进行矢量化,得到洞庭湖解译矢量图,见图3。

应用GIS软件对矢量图加载投影及坐标信息计算水体范围大小,得到不同时期洞庭湖水体面积:1993年10月12日为1604.29 km²;2001年09月24日为848.73 km²;2006年11月01日为414.32 km²;2010年12月22日为330.92 km²。解译结果显示枯水期洞庭湖水面面积呈显著递减趋势。

3.3 洞庭湖水体面积动态变化分析

本研究利用洞庭湖历史参考面积,以年为单位,按照以下公式计算洞庭湖萎缩比例

$$ASR = 1 - \frac{A_c}{A_r} \quad (4)$$

式中:A_c为评估年湖泊水面面积;A_r为历史参考水面面积。本研究分别选取1949年(4350 km²)、1978年(2691 km²)洞

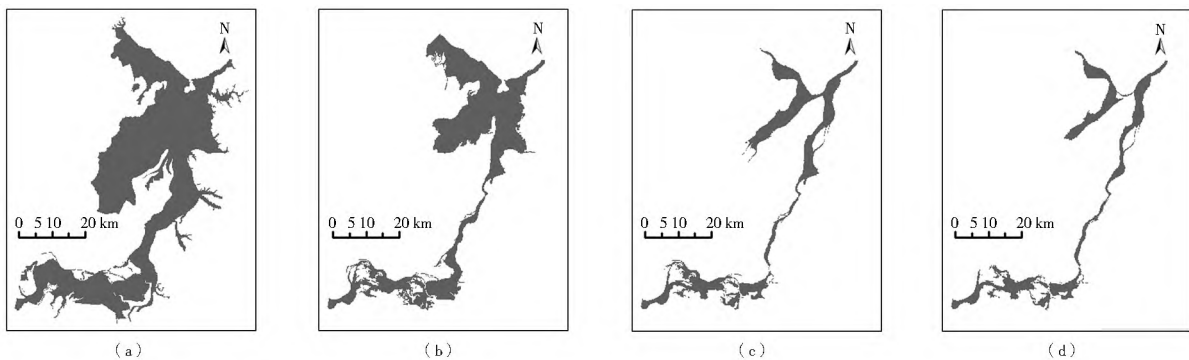


图 3 洞庭湖水体遥感解译结果

Fig. 3 Interpretation results of the remote sensing data in the Dongting Lake

洞庭湖面积为历史参考水面面积。

以 1949 年洞庭湖面积为历史参考水面面积, 1993 年以后洞庭湖萎缩严重, 秋季平水期萎缩比例均超 40%, 2010 年湖泊水体面积萎缩达到 92.4%, 仅为其原有面积的 7.6% (表 1); 由于 1978 年洞庭湖面积已经缩小, 因此以此为参考, 1993 年以后洞庭湖的萎缩幅度略小一些, 即与 1978 年面积相比, 到 2010 年洞庭湖枯水期萎缩比例达到 88.3%, 是 1978 年面积的 12.3%。

表 1 分别以 1949 年、1978 年洞庭湖面积为参考 1993 年—2010 年洞庭湖遥感解译萎缩比例变化

Tab. 1 Interpretive water surface area results of the Dongting Lake based on the remote sensing data from 1993 to 2010 with the data in 1949 and 1978 as the reference values

年份	面积/km ²	1949 年参考萎缩比例 (%)	1978 年参考萎缩比例 (%)
1993	1 640.29	62.3	41.8
2001	848.73	80.5	69.9
2006	414.32	90.5	85.3
2010	330.92	92.4	88.3

4 结语

利用 TM 遥感图像研究发现, 自 20 世纪 90 年代以来, 洞庭湖萎缩严重, 秋季平水期萎缩比例均超 40%, 21 世纪以来洞庭湖水体面积继续呈减小的趋势。与 1949 年洞庭湖水体面积相比, 2010 年洞庭湖水体面积仅为其原有面积的 7.6%; 与 1978 年面积相比, 到 2010 年洞庭湖水体面积是 1978 年的 12.3%。近几年洞庭湖调蓄洪水能力仍在下降、减弱。不过, 由于遥感卫星影像分辨率、校正产生的误差及时效性等方面的原因, 本研究结果存在着一定的不足, 为了更加全面科学的掌握洞庭湖水体面积多年变化, 在未来的研究中应结合高精度、多时空遥感影像, 配合地形数据加以校正, 丰富现有研究成果。

参考文献 (References):

[1] 崔保山, 赵翔, 杨志峰. 基于生态水文学原理的湖泊最小生态需水量计算[J]. 生态学报, 2005, 25(7): 1778-1795. (CUI Bao shan, ZHAO Xiang, YANG Zhi feng. Eco hydrology based calculation of the minimum ecological water requirement for lakes[J]. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(7): 1778-1795. (in Chinese))

[2] 陆家驹, 李士鸿. TM 资料水体识别技术的改进[J]. 环境遥感, 1993(1): 42-50. (LU Jia ju, LI Shi hong. Improvement of the techniques for distinguishing water bodies from TM data[J]. Remote Sensing of Environment China, 1993(1): 42-50. (in Chinese))

[3] Kloiber S M, Brezonik P L, Bauer M E. Application of landsat imagery to regional scale assessment of Lake Clarity[J]. Water Research. 2002, 36: 4330-4340.

[4] 刘建波, 戴昌达. TM 图像在大型水库库情监测管理中的应用[J]. 环境遥感, 1996, 11(1): 53-58. (LIU Jian bo, DAI Chang da. The application of TM image in reservoir situation monitoring[J]. Remote Sensing of Environment China, 1996, 11(1): 53-58. (in Chinese))

[5] 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, 28(4): 580-582. (LI Xiao man, WANG Gang, TIAN Jie. Study of the method of picking up small water bodies in landsat TM remote sensing image[J]. Journal of Southwest Agricultural University: Natural Science, 2006, 28(4): 580-582. (in Chinese))

[6] 王东海, 王心源, 黄海波, 等. 基于 Landsat TM/ETM+ 影像的面状水体特征研究—以巢湖流域面状水体为例[J]. 测绘与空间地理信息, 2009, 32(1): 44-50. (WANG Dong hai, WANG Xin yuan, HUANG Hai bo, et al. Study on the characterization of the surface water based on Landsat TM/ETM+ Images: A case study of the surface water in the Chaohu Lake basin[J]. Geomatics & Spatial Information Technology, 2009, 32(1): 44-50. (in Chinese))

[7] 余莉, 何隆华, 张奇, 等. 基于 Landsat TM 影像的鄱阳湖典型湿地动态变化研究[J]. 遥感信息, 2010(6): 48-54. (YU Li, HE Long hua, ZHANG Qi, et al. Landsat TM data based study on dynamic changes of the typical wetlands of Poyang Lake[J]. Remote Sensing Information, 2010(6): 48-54. (in Chinese))

[8] 张倩, 李国庆, 于文洋. 基于 MODIS 数据的水体提取算法研究与实现[J]. 南水北调与水利科技, 2009, 7(3): 51-54. (ZHANG Jing, LI Guo qing, YU Wen yang. The study and implementation of water body extraction method based on remote sensing data of MODIS[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2009, 7(3): 51-54. (in Chinese))

[9] 程磊, 徐宗学, 左德鹏, 等. 基于 Landsat TM 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: 自然科学版, 2010, 46(3): 424-430. (CHENG Lei, XU Zong xue, ZUO De peng, et al. Identification of water bodies in the loess plateau based on Landsat TM dataset[J]. Journal of Beijing Normal University: Natural Science, 2010, 46(3): 424-430. (in Chinese))

(下转第 107 页)

- River[J]. J Tsinghua Univ: Sci & Tech, 2010, 50(6): 852-856. (in Chinese)
- [6] 泾河东庄水库库区及渭河下游河道(含汇流区)泥沙冲淤报告[R]. 清华大学, 2013. (Sediment deposition in the Dongzhuang Reservoir and the Lower Weihe River as the building of Dongzhuang Reservoir on the Jinghe River[R]. Tsinghua University, 2013. (in Chinese))
- [7] Wolman MG. The natural channel of Brandywine Creek, Pennsylvania. US Geological Survey Professional Paper, 1955:271.
- [8] Wang Y J, Fu X D, Zhang Y F, et al. Temporal change in bankfull characteristics of the Yellow River, single thread versus multiple thread reach[A]. Proceedings of 2013 IAHR World Congress, 2013.
- [9] Wolman MG, Leopold LB. River floodplains: Some observations on their formation[R]. U. S. Geological Survey Professional Paper 282-C, Washington, DC, 1957.
- [10] Williams GP. Bankfull discharge of rivers[J]. Water Resources Research, 1978, 14(6): 1141-1154.
- [11] Leopold LB, Wolman GM, Miller JP. Fluvial Processes in Geomorphology[M]. W. H. Freeman and Co.: San Francisco, New York, 1964: 522.
- [12] 夏军强, 吴保生, 李文文. 黄河下游平滩流量不同确定方法的比较[J]. 泥沙研究, 2009(3): 20-29. (XIA Jun qiang, WU Bao sheng, LI Wen wen. Comparison of different approaches to determine bankfull discharge in the Lower Yellow River[J]. Journal of Sediment Research, 2009(3): 20-29. (in Chinese))
- [13] Wu BS, Wang GQ, Xia JQ, et al. Response of bankfull discharge to discharge and sediment load in the Lower Yellow River[J]. Geomorphology, 2008, 100: 366-376.
- [14] Wu BS, Xia JQ, Fu XD, et al. Effect of altered flow regime on bankfull area of the Lower Yellow River, China[J]. Earth Surface Processes and Landforms, 2008, 33: 1585-1601.
- [15] Wu BS, Wang GQ, Xia JQ. Case study: delayed sedimentation response to inflow and operations at Sanmenxia dam[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2007, 133(5): 482-494.
- [16] Wu BS, Wang GQ, Xia JQ, et al. Response of bankfull discharge to discharge and sediment load in the Lower Yellow River[J]. Geomorphology, 2008, 100: 366-376.
- [17] Wu BS, Xia JQ, Fu XD, et al. Effect of altered flow regime on bankfull area of the Lower Yellow River, China[J]. Earth Surface Processes and Landforms, 2008, 33: 1585-1601.
- [18] Dury GH. Bankfull discharge: an example of its statistical relationships[J]. International Association of Scientific Hydrology, Bulletin, 1961, 6: 48-55.
- [19] 钱宁, 张仁, 周志德. 河床演变学[M]. 北京: 科学出版社, 1987: 343-345. (QIAN Ning, HANG Ren, ZHOU Zhi de. Fluvial Processes[M]. Beijing: Science Press, 1987: 343-345. (in Chinese))
- [20] 夏军强, 吴保生, 王艳平, 等. 黄河下游河段平滩流量计算及变化过程分析[J]. 泥沙研究, 2010(2): 7-14. (XIA Jun qiang, WU Bao sheng, WANG Yan ping, et al. Estimating the bankfull discharge in the Lower Yellow River and analysis of its variation processes[J]. Journal of Sediment Research, 2010(2): 7-14. (in Chinese))

(上接第 66 页)

- [10] 刘娜, 王克林, 段亚锋. 洞庭湖景观格局变化及其对水文调蓄功能的影响[J]. 生态学报, 2012, 32(15): 4641-4650. (LIU Na, WANG Ke lin, DU AN Ya feng. Analysis on the responses of flood storage capacity of Dongting Lake to the changes of landscape patterns in Dongting Lake area[J]. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(15): 4641-4650. (in Chinese))
- [11] 龚胜生. 长江中游洪灾的历史地理考察[J]. 华中师范大学学报: 自然科学版, 2000, 34(4): 485-488. (GONG Sheng sheng. A historical geographical inspection on the flood disasters of the middle reach of the Yangtze River. Journal of Central China Normal University: Natural Sciences, 2000, 34(4): 485-488. (in Chinese))
- [12] Frazier P S, Page K J. Water body detection and delineation with Landsat TM data[J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 2000, 66(12): 1461-1467.
- [13] 杜云艳, 周成虎. 水体的遥感信息自动提取方法[J]. 遥感学报, 1998, 2(4): 264-269. (DU Yun yan, ZHOU Cheng hu. Automatically extracting remote sensing information for water bodies[J]. Journal of Remote Sensing, 1998, 2(4): 264-269. (in Chinese))
- [14] 夏双, 阮仁宗. 淡水湖泊湿地水体信息提取方法[J]. 地理空间信息, 2012, 10(5): 8-10. (XIA Shuang, RU AN Ren zong. Extraction of water body in freshwater lake wetlands[J]. Geospatial Information, 2012, 10(5): 8-10. (in Chinese))
- [15] 王刚, 李小曼, 田杰. 几种 TM 影像的水体自动提取方法比较[J]. 测绘科学, 2008, 33(3): 141-142. (WANG Gang, LI Xiaoman, TIAN Jie. Comparison of several water body information extraction methods in Landsat TM remote sensing image[J]. Science of Surveying and Mapping, 2008, 33(3): 141-142. (in Chinese))