

Stability Discriminant to Guanting Reservoir under the Variation of Water Level in the Recent 35 Years

Yuzhu Chen^{1,2,3,4}, Zhaoning Gong^{1,2,3,4*}

¹College of Resources Environment and Tourism, Capital Normal University, Beijing

²Key Laboratory of 3D Information Acquisition and Application of Ministry, Beijing

³Key Laboratory of Resources Environment and GIS of Beijing Municipal, Beijing

⁴Base of the State Laboratory of Urban Environmental Processes and Digital Modeling, Beijing

Email: cyzqita@sina.com, *gongzhn@163.com

Received: Dec. 29th, 2014; accepted: Jan. 11th, 2015; published: Jan. 20th, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

Using moderate resolution remote sensing images MSS/TM/ETM⁺, the paper detected the changes of Guanting Reservoir shore in conditions of different water levels using the principal components analysis method (PCA), based on the variation water levels during 1979 and 2013. According to the ratio of reservoir bank width and water head, we confirmed the distribution of the silted bank, the stable bank and the eroded bank, and combined with the changes in centroids of three types of banks to analyze characteristics of temporal and spatial variation of each bank type during three periods. The results showed that: 1) in the three periods, the distribution of erosion coast changed little, mainly located in both sides of the narrow zone and the southwestern coast of Yongding River, with 0.834 km², 4.50 km² and 0.54 km² respectively; 2) the silted bank showed an inward trend, mainly distributed in the Kang Xi prairie, the Yongding River estuary and the Guishui River estuary. The areas of each region are 26.024 km², 31.65 km² and 10.11 km²; 3) the distribution of stable coast varied: mainly distributed in the northwest Guishui River and Kang Xi prairie arc-shaped coast, with area of 10.50 km² in 1979-1996; then expanded to the two arc-shaped coast inward, with area of 31.54 km²; during 2007 and 2013, only a little stable coast distributed sporadically, and the area is 0.24 km²; 4) in 35 years, each type of reservoir bank shifted to different extents; the centroid in silted bank moved 2.82 km towards east-north direction in 16.19°, then moved 1.97 km towards east-north direction in 4.97°. The centroid of erosion coast had the same tendency with the silted bank, moving 3.79 km on the direction of east-north in 27.18° and 1.87 km of east-north in 56.31°. Compared with 1996-2007, the centroid of stable bank moved 0.52 km to the northeast of 9.46° in 1979-1996, then moved 1.84 km towards west-north direction in 51.34°.

作者简介: 陈雨竹(1990-)湖北荆门人, 硕士研究生, 从事遥感技术与地学应用。

*通讯作者。

Keywords

Landsat MSS/TM/ETM⁺, Variation of Water Level, Guanting Reservoir, Stability of Bank

近35年动水位下官厅水库边岸的类型划分及其稳定性判别

陈雨竹^{1,2,3,4}, 宫兆宁^{1,2,3,4*}

¹首都师范大学资源环境与旅游学院, 北京

²三维信息获取与应用教育部重点实验室, 北京

³资源环境与地理信息系统北京市重点实验室, 北京

⁴北京市城市环境过程与数字模拟国家重点实验室培育基地, 北京

Email: cyzqita@sina.com, gongzhn@163.com

收稿日期: 2014年12月29日; 录用日期: 2015年1月11日; 发布日期: 2015年1月20日

摘要

本文基于1979~2013年官厅水库动水位的变化特征, 利用同时间序列中等分辨率的MSS/TM/ETM⁺遥感影像, 采用主成分分析法, 分析动水位条件下官厅水库边岸的变化特征。结合水库边岸宽度差与水位差, 对边岸的类型及其空间分布进行了定量的分析, 并通过质心变化分析了动水位条件下不同边岸类型的时空变化特征。研究表明: 1) 基于官厅水库长时间水位变化速率以及水位涨落的反复性特征, 将近35年来的水位变化分成三个阶段: 1979~1996年水位间歇性涨落、1996~2007年水位持续下落和2007~2013年水位的频繁涨落阶段。2) 在3个水位波动时间段中, 官厅水库侵蚀型边岸的空间分布变化不大, 主要分布在官厅水库狭长带两侧, 面积依次为0.834 km²、4.50 km²和0.54 km²。淤积型边岸分布呈现内缩趋势, 主要分布在康西草原、永定河河口以及妫水河河口一带, 面积分别为26.024 km²、31.65 km²和10.11 km²。稳定型边岸在空间分布上变化较大: 1979~1996年主要分布于妫水河库区西北弧形岸带、康西草原弧形岸带, 面积为10.50 km²; 随后在两个弧形岸带向内变化, 面积为31.54 km²; 而2007~2013年官厅水库边岸主要以淤积为主, 仅有少许稳定型边岸零星分布, 面积为0.24 km²。3) 35年来不同水库边岸的质心发生了不同程度的偏移, 淤积型边岸有明显的向内扩张的趋势, 其质心在东偏北16.19°方向上移动2.82 km后往东偏南4.97°方向上移动1.97 km。侵蚀型边岸质心在东南方向偏移后转向东北方向, 稳定型区域发生变化, 其趋势和格局分布变化原因与淤积型一致。

关键词

Landsat MSS/TM/ETM⁺, 水位变化, 官厅水库, 边岸稳定性

1. 引言

边岸是水陆互相作用的界面, 能够充分表现库区的动态变化, 对于研究水体和陆地互相作用及库区工程都具有重要的意义。在对库区边岸的稳定性研究中一般都是从力学的角度出发, 考虑影响边岸稳定性的众多因素, 例如边岸岩土体的物理力学性质、边岸的倾斜角度、库区的地质条件以及土壤状态[1] [2]。

刘新荣通过模拟了库岸边坡岩体受动水位影响的水岩作用过程, 得出了水-岩循环作用后抗剪强度的劣化规律, 间接揭示了动水位对边岸岩石的影响, 继而影响边坡稳定性[3]。刘才华针对库岸边坡在库水位陡降时易发生失稳破坏这一特点, 分析了地下水引发库岸边坡失稳的机理, 指出在地下水作用下, 边坡岩土物理力学性质恶化、水库水浮托力以及坡体内渗透力是影响库岸边坡稳定性的重要因素[1], 曹玲等以千将坪滑坡为例, 研究了水位升降过程中干-湿循环条件下, 边坡稳定性的变化[4]。这些研究主要是从工程力学的角度出发基于某一个影响边岸稳定性的因子来分析该因子的影响强度。从这些研究中不难发现, 库区动水位、降雨量、地下水以及人为因素等严重影响了边岸稳定性。动水位极易破坏之前较稳定的坡体, 改变边岸的形态稳定性, 使边岸出现侵蚀, 淤积等现象, 使水库岸线后退, 进而发生崩岸现象, 因此动水位是决定水库边岸稳定性的重要原因之一[5]-[7]。

现阶段, 许多学者提出了预测水库塌岸或水库边岸再造范围和规模的方法, 通过对水库边岸稳定性的分析做出相应的防范措施, 为水库的安全运行提供科学依据[8] [9], 何良德分析了多种塌岸预测方法在实际研究中的应用[10], 徐佩华采用人工神经网络的方法对三峡水库库岸稳定性进行了分级研究[11], 吴争光研究了库水位变化对库岸边坡稳定性的影响作用[12], 刘建磊结合稳定性计量与塌岸预测方法对仁沁新街边岸稳定性进行了预测分析[13], 王志刚等结合水位差数据, 提出边岸坡度和边岸稳定性的遥感时空分析方法和判据依据, 将复杂的工程地质问题与遥感应用技术巧妙的结合起来[14]。由于水位变化幅度的大小会对边岸土体内的渗透压力产生很大的作用, 使得土体产生渗透破坏, 进而破坏水库边岸的稳定性导致塌岸现象[15]。本文从库区水位变化的角度出发, 结合 1979~2013 年长时间水位变化速率以及水位涨落的反复性特征, 判别不同水位变化特征下的水库边岸类型, 为分区研究水库消落带中植物, 土壤中 N, P 及有机质的时空变化提供基础。研究中选取 7 景遥感影像数据来监测官厅水库边岸线历年来的动态变化, 通过水位、边岸坡度及水面宽度三者之间的关系判别水库边岸的形态稳定性来间接的反映官厅水库的边岸稳定性, 并定量研究不同边岸类型的空间分布及其时空变化趋势。

2. 研究区概况

官厅水库是海河流域五大支流之一, 永定河上的第一座大型水库, 桑干河、洋河和妫水河是水库的三大支流, 整个流域面积达 $4.7 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 。水库所处地理位置为东经 $112^\circ 8.3' \sim 116^\circ 20.6'$, 北纬 $38^\circ 51' \sim 41^\circ 14.2'$ (图 1), 水库中部夹在两列山脉之间, 形成水库特有的狭长段。

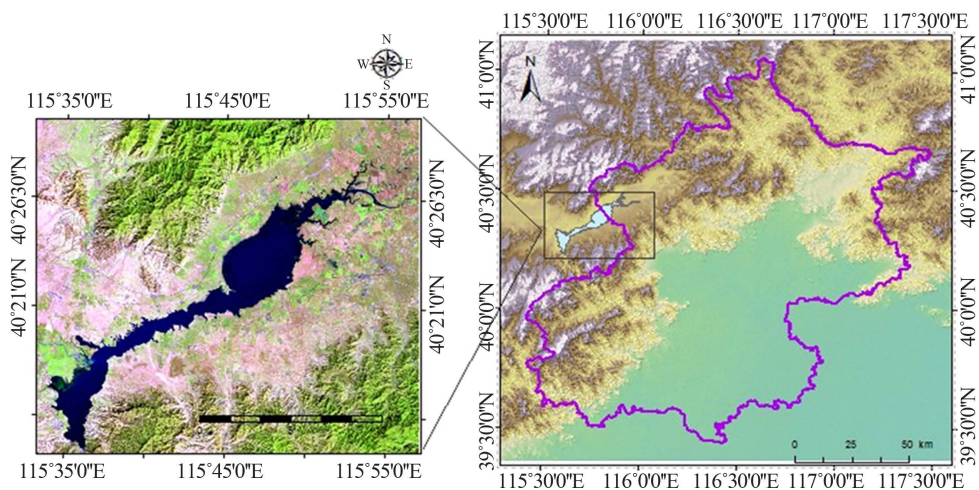


Figure 1. Location map of study area

图 1. 研究区的地理位置

全区属于温带大陆性季风气候，夏季短暂，冬季漫长，全年多风少雨，气候干燥，主要降雨集中在 6~9 月[16]。据怀来县气象站气象资料统计，该区域全年的温度波动较大：6~8 月的平均温度达到了 21.6~27.2℃，而 1~2 月平均温度在-1.0℃~9.2℃，流域平均年降水量为 406 mm，多年来呈现下降趋势[17]。官厅水库历年水位数据显示，官厅水库的水位变化明显：最高水位发生在 1979 年，达 477.96 m；最低水位在 2007 年，为 469.81 m，且水位波动较为频繁，因此水位的剧烈变化严重影响了官厅水库边岸的稳定性。半个世纪以来，官厅水库的水质污染、水土流失引起的库区淤积、边岸侵蚀以及周边沙漠化已经成为亟待解决的问题。至水库建立以来，官厅水库的来水来沙数据[18]显示：来水来沙量随时代同步减少，但仍有入库泥沙出现淤积的现象，甚至阻隔了妫河和永定河两个库区，使得政府不得不清淤疏浚，贯通库区[19]。库区来沙量很大程度上取决于来水量，结合官厅水库 1979~2012 年的来水量数据(图 2)以及相应时段内的来沙量数据[20]显示，在 1981~1994 年段以及 2000 年以来水库的来水来沙量变化不大，因此这段时间内水位变化成为影响水库稳定性的主要因素。

3. 研究方法

3.1. 水位数据分析与数据预处理

据 1979~2013 年官厅水库年平均水位数据显示：时间序列中年均最低水位为 470.32 m (2007 年)，年均最高水位为 477.23 m (1979)(图 3)，而从 35 年中丰水月和枯水月的统计值得出，官厅水库枯水月主要在 8 月，而丰水月主要集中在 4 月，且水库年内的月水位变化曲线基本一致：呈现出先增长后下降再回升的趋势。基于官厅水库消落带干-湿交替速率和水位变动速率，将 1979~2013 年水位变化分成三个阶段：1979~1996 年水位间歇性涨落，1996~2007 年水位持续下落和 2007~2013 年水位的频繁涨落阶段(图 4)。在参考历史水位数据，且满足影像获取及数据质量的前提下，分别在 1979~1996 年、1996~2007 年、2007~2013 年 3 个时间段内选取 3 景影像对官厅水库进行边岸动态变化探测及其稳定性研究。在各阶段影像的筛选中，尽量选择该阶段的最高水位、最低水位和平均水位影像年份，且尽量满足影像获取月份一致。最终选取 1979 年 8 月、1988 年 10 月、1996 年 9 月、2002 年 8 月、2007 年 8 月、2010 年 8 月和 2013 年 8 月共 7 景云量低于 10%，清晰度较高的影像作为研究数据。

由于所选影像数据分辨率存在差异：MSS 的分辨率为 78 m，ETM⁺和 TM 的分辨率为 30 m，因此，在数据处理过程中需要先将分辨率为 78 m 的 MSS 数据重采样至 30 m 分辨率。在边岸动态变化的研究中，

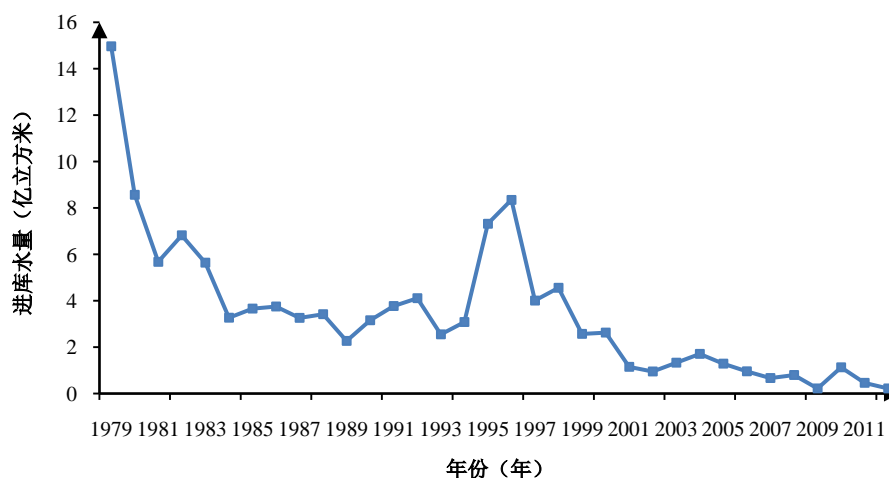


Figure 2. Guanting Reservoir inflow during 1979 to 2012

图 2. 1979~2012 年官厅水库的来水量

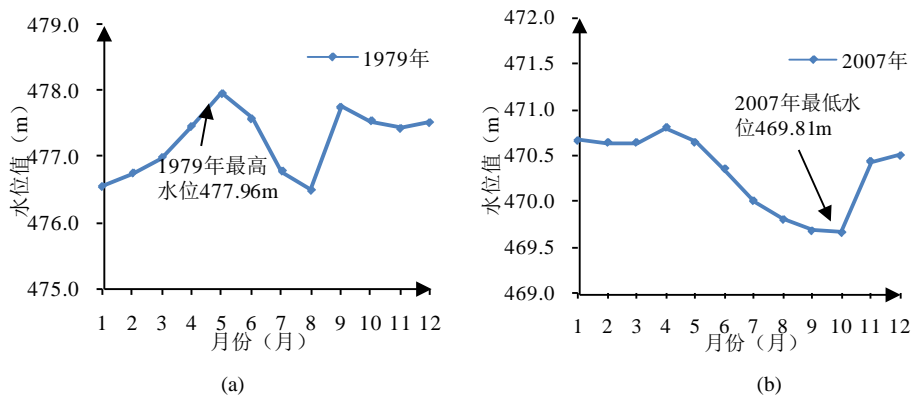


Figure 3. Average water levels in high flow year and low flow year
图 3. 官厅水库丰水年(a)与枯水年(b)的月均水位

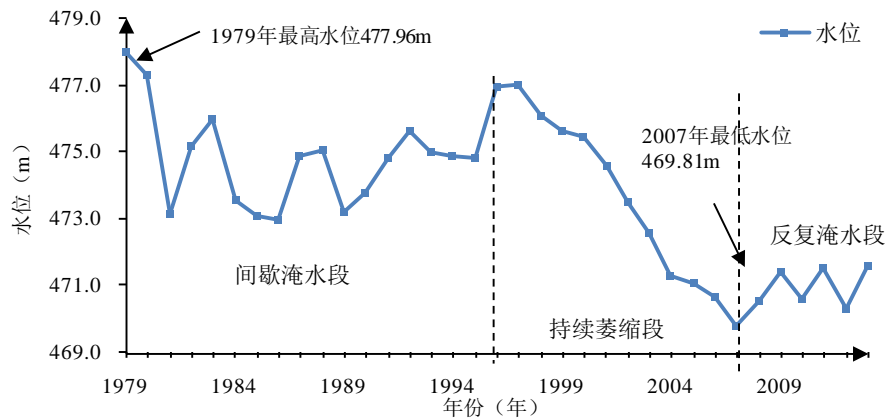


Figure 4. Water levels of Guanting Reservoir in 1979-2013
图 4. 官厅水库历年水位折线图

需要将 3 景影像进行叠合获取空间数据的对比，所以，为消除由于飞行器的姿态、高度、速度以及地球自转等因素所造成图像相对于地面目标发生的几何畸变，采用二次多项式和双线性内插法对所有影像进行几何纠正，经选点检测使得误差控制在 0.5 个像元之内[21]，大气校正是变化探测技术中的重要预处理环节，为能够精确的判别水体边界，消除非表面因素引起的不同时相亮度值差异，预处理中利用 ENVI 提供的 FLAASH 模型进行了大气校正，消除了因传感器自身条件、大气条件、太阳位置和角度等引起的传感器测量值与目标真实光谱反射率或辐射亮度值等物理量之间的差异[22]。

3.2. 边岸动态变化探测

基于遥感影像的变化检测是指利用多时相获取的覆盖同一地表区域的遥感影像及其它辅助数据来确定和分析地表变化，主要是利用计算机图像处理系统，对不同时段的目标或现象状态的变化进行识别确定和定性/定量分析。由于图像在经过主成分变换后，其第一主成分集中了 6 个波段的 80% 以上信息，所以，本文将研究时间段内的 3 景经过主成分分析后的第一主成分进行合成来反映了水库边岸带的动态变迁。

3.3. 官厅水库边岸稳定性判别

水库边岸稳定性除了与水库来水来沙条件、水流直接冲刷滩岸的作用有关外，还受到土质、滩岸坡

角、水位变化等因素的影响[23]。而官厅水库稳定性是受多种影响因素综合影响的，其中土层性质是影响水库的内在因素；而外部因素中库水位变化是影响库岸稳定性的控制性因素[12]。在水位的上涨或降落过程中，库区边坡安全稳定性系数有一个逐渐变小后再增大的变化过程[24]，库区水位的变化会导致库区土层的软化，使得抗剪强度的降低。在水库边岸坡度不变或者变化较小的情况下，水库边岸的侵蚀和淤积状态在变化探测中是处于平衡的，不同成像时期水库边界的变化宽度与同期水位差之间的关系是判别水库边岸稳定性的依据，利用两个时相影像的水域变化的宽度(w)和水位差(h)，采用正切计算，能够获得边岸坡度(θ)数据： $\tan\theta = h/w$ ，根据两个时相的数据判别水库边岸的 3 种类型：稳定型(2-3-1)、侵蚀型(2-3-2)淤积型(2-3-3) [6] (图 5)：

$$1/h_2 = w_1/w_2 \quad (2-3-1)$$

$$h_1/h_2 > w_1/w_2 \quad (2-3-2)$$

$$h_1/h_2 < w_1/w_2 \quad (2-3-3)$$

4. 结果与分析

4.1. 官厅水库边岸动态变化探测及稳定性判别

1) 1979~1996 年水位间歇性涨落阶段

1979~1996 年时间段内所选择的三幅影像中最大水位差为 2.94 m，最小水位差为 1.91 m，由水位差和像元分辨率经正切计算发现，在坡度小于 3.65°时，水位差引起的水库边界变化大于 30 m，通过官厅水库地区 DEM(分辨率为 30 m)提取的坡度数据显示：在官厅水库研究区域，除永定河南部地区少数坡度高于 3.65°外，其他区域的坡度相对平缓，均小于 3.65°，满足正切计算结果(图 6)。因此，在研究区内官厅水库水位差所引起的边界变化不可忽视，水位差与水域变化宽度的比值方法适合于该区域的边岸稳定性判别(表 1)。

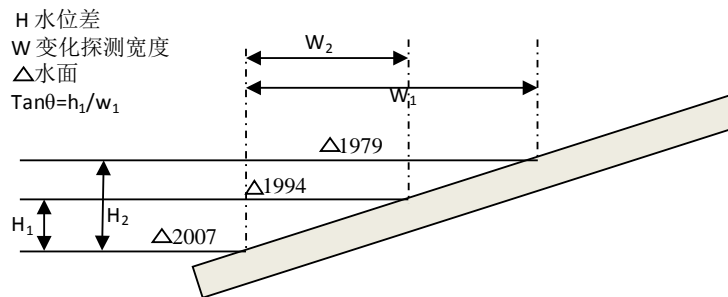


Figure 5. Stability discriminant for coasts of low gradient
图 5. 缓坡度边岸的稳定性判别

Table 1. Imaging boundary change with different gradient water levels of coast in 1979-1996
表 1. 1979~1996 年不同坡度条件下水位差引起的成像边界变化

假设边岸坡度(°)	0 水位差 (1988 年)/m	2.94 m 水位差 (1979 年)/m	1.91 m 水位差 (1996 年)/m
23.06	0	6.91 (0.23 像元)	4.37 (0.15 像元)
9.62	0	17.35 (0.58 像元)	11.26 (0.38 像元)
3.65	0	46.09 (1.54 像元)	30 (1 像元)
3.0	0	56.12 (1.87 像元)	36.44 (1.21 像元)

选取研究时间序列中的起始年份也是最高水位(1979 年)、中间年份也是平均水位(1988 年)和结束年份(1996 年)3 年的影像探测 35 年官厅水库边岸的动态变化,经主成分分析后分别赋予 3 幅影像的第一主成分为 R、G、B 三通道并显示(图 7(a)),继而对其稳定性判别并确定边岸类型及其空间分布。

在 1979~1996 年时间段内,边岸变化不大,主要发生在妣河库区西北弧形岸带和永定河口西南部以及康西草原一带,通过边岸的稳定性的判别方法并手动提取库岸类型(图 7(b))。由于位于永定河库区南部的坡度较大,经实地调查,大多属于基岩性质的边岸,所以归为稳定型边岸。基于变化探测图像和水位差数据的分析,同时结合从该区域 DEM 数据中提取的坡度数据,对官厅水库的边岸类型进行分区,结果基本遵循凹岸侵蚀、凸岸淤积的规律。侵蚀型边岸即变化探测图像反映出无变化或变化很小的边岸,在库区分布极少,且大多数为基岩性质的边岸,主要位于官厅水库峡谷间的狭长带两侧和永定河口西南部岸带,面积为 0.834 km²。稳定型边岸即变化探测图像反映出的变化条带宽度较大,且随着水位差成比例的变化,大多数为沉积与侵蚀作用相互平衡的缓坡岸带,该类型主要分布在妣河库区西北弧形岸带及康西草原的西南一带,面积为 10.50 km²。淤积型边岸,主要分布在康西草原和永定河河口一带,主要是由于永定河河口三角洲一直处于比较宽阔的库段,随着建库初期大量泥沙的淤积,致使水流方向左右摆动,而在 1979 年的官厅水库的来水来沙量的急剧增加,同时坝前水位比较高导致河口一带逐渐被淤死,

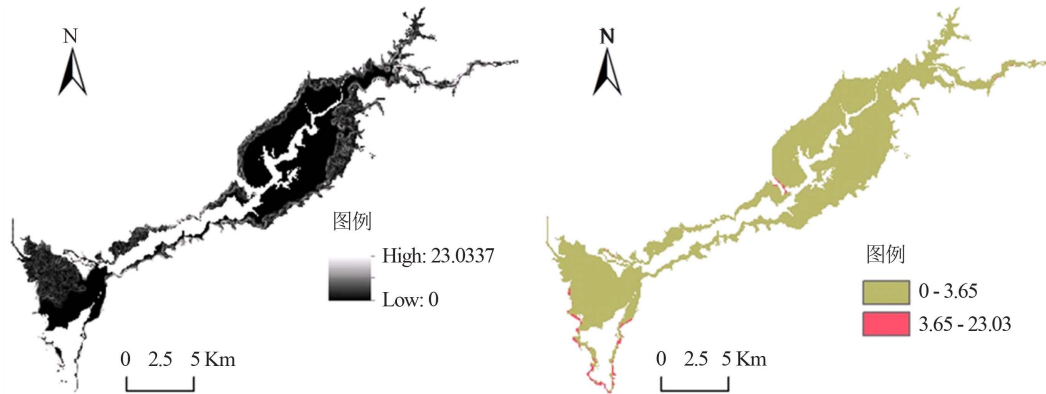


Figure 6. Slopes of Guanting Reservoir
图 6. 官厅水库地区坡度分布

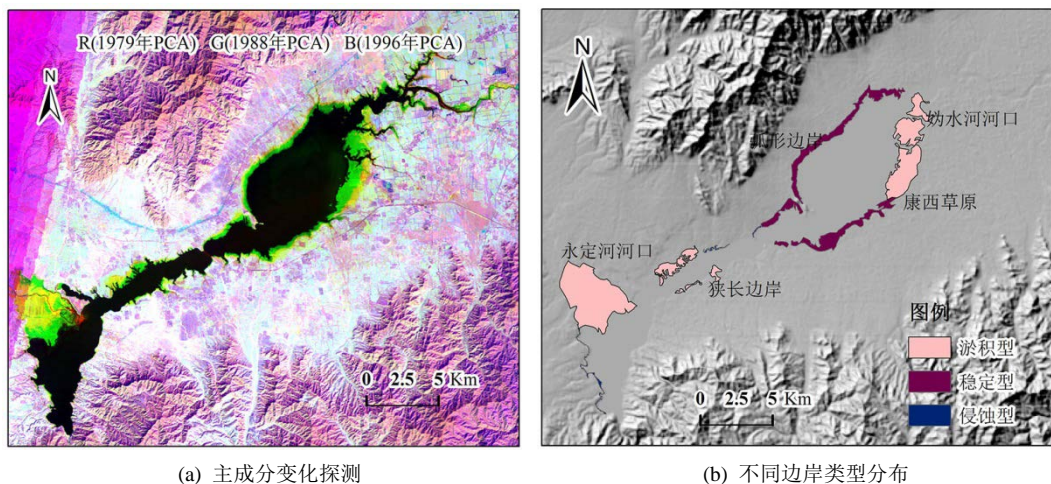


Figure 7. Dynamic change detection and distribution of coast types in 1979-1996
图 7. 1979-1996 年不同时相主成分变化探测(a)及边岸类型分布(b)

之后水流便逐渐向左岸偏移行，总面积约为 26.024 km²。

2) 1996~2007 年水位持续下落阶段

在 1996~2007 年时间段内所选择的 1996 年、2002 年和 2007 年 3 幅影像中最大水位差为 3.65 m，最小水位差为 3.47 m，根据正切计算发现，在坡度小于 6.54°时，水位差引起的水库边界变化大于 30 m。对比研究区域的坡度分布发现，官厅水库的坡度符合使用的边岸稳定性判别方法的条件(表 2)。

对选取的 3 个时相影像经主成分分析后分别赋予 1996 年影像为红色通道、2002 年影像为绿色通道以及 2007 年影像为蓝色通道(图 8)。

在 1996~2013 年时间段内，水库边界向内移动，出现了大范围的水库所特有的消落带区域，尤其是在 2002~2007 年间，边岸萎缩达到了该时间段内整个萎缩区域的 70%以上。从库区边岸类型的空间分布中可以看出：整个时间段内库区边岸的变化主要以稳定型和淤积性为主，稳定型区域主要位于妣河库区西北弧形岸带、康西草原弧形边岸带和永定河口西南部岸带，由于该时间段内，水库水位呈现持续下落趋势，极少出现干湿交替的现象，同时，水位变化速率较小，没有出现水位骤降骤升的情况，而缓慢下降的水位虽然开始会破坏边岸的稳定性，但之后是有利于边坡处于稳定状态的。区域面积达 31.54 km²。淤积性区域分布在永定河和妣水河两个河口区域，对比 1979~1996 年的淤积情况可以看出，淤积分布除了已有的永定河口外，主要出现在妣水河口，主要是由于妣水河河口的来水来沙量小，库容较大，且妣水河河口段地形比较狭窄，在一定的来沙条件下，拦门沙坎的增长速度比较快，妣水河河口出现的倒灌的现象，也是其大量淤积的主要原因，面积为 31.65 km²。在 1996~2007 年间，永定河库区河口淤积现象相当严重，甚至已经阻隔了妣水河和永定河两个库区。少许侵蚀型边岸分布在水库的狭长区域和永定

Table 2. Imaging boundary change with different gradient water levels of coast in 1996-2007
表 2. 1996~2007 年不同坡度条件下水位差引起的成像边界变化

假设边岸坡度(°)	0 水位差 (2002 年)/m	3.47 m 水位差 (1996 年)/m	-3.65 m 水位差 (2007 年)/m
23.06	0	8.15 (0.27 像元)	8.57 (0.29 像元)
9.62	0	20.47 (0.68 像元)	21.53 (0.72 像元)
6.54	0	30 (1 像元)	31.84 (1.06 像元)
3.00	0	66.21 (2.21 像元)	69.65 (2.32 像元)

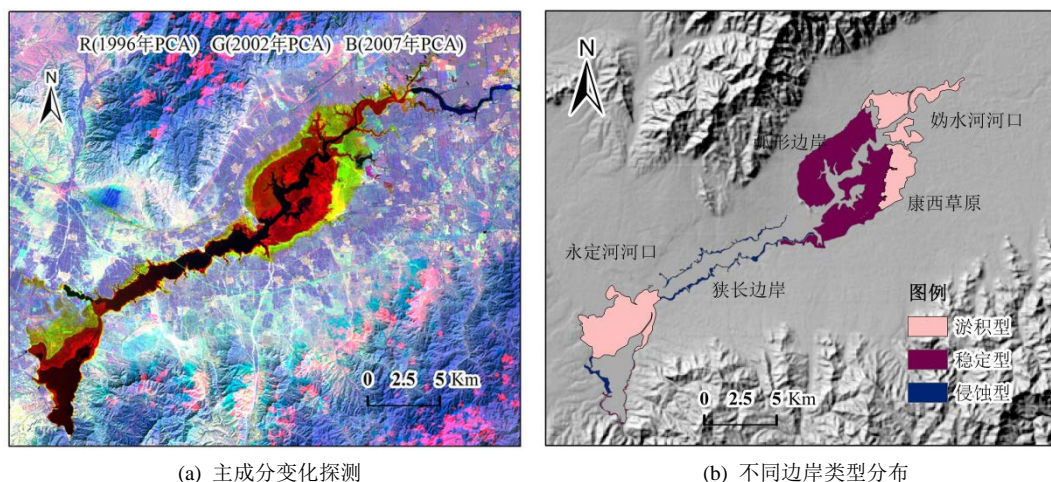


Figure 8. Dynamic change detection and distribution of coast types in 1996-2007
图 8. 1996~2007 年不同时相主成分变化探测(a)及边岸类型分布(b)

河南部，区域面积仅为 4.50 km²。

3) 2007~2013 年水位频繁涨落阶段

在 2007~2013 年时间段内所选择的三幅影像中最大水位差 0.98 m，最小水位差为 0.78 m，根据正切计算发现，在坡度小于 1.48°时，水位差引起的水库边界变化大于 30 m，而研究区域符合这一条件(表 3)。

同样，对选取的 2007 年、2010 年和 2013 年 3 个时相影像经主成分分析后分别赋予影像的第一主成分为 R、G、B 三通道(图 9)。

从图中反映出：2007~2013 年官厅水库水体边界变化不大，基本上处于淤积状态，有少量的稳定和侵蚀区域，稳定型区域面积为 0.24 km²，淤积型区域面积为 10.11 km²，而侵蚀型区域仅为 0.54 km²。从库区边岸类型的空间分布中可以看出：该时间段内，水库边岸主要以淤积型为主，但是整体上 3 种边岸类型并不突出，除了水域面积变化少以外，淤积性区域仍分布在永定河和妫水河两个河口区域，主要是由于妫水河口的淤积，使得相邻区域土质主要以泥沙为主，而查阅资料显示该区域的泥沙中径小于 0.005 mm，而水位的反复变化，使土壤处于干 - 湿交替的状态，同时水位的频繁涨落，使得该区域呈现出淤积的状态，但空间位置上向河中心有一定的移动；侵蚀型区域的空间分布基本不变，位于官厅水库的狭长区域和永定河南部；而稳定型区域的分布变化很大，由于河岸主要以淤积为主，所以只有少数稳定型边岸零星分布。

4.2. 近 35 年来官厅水库边岸稳定性时空分布变化

质心变化通常能直观的反映出变化因子的时空变化趋势，如果官厅水库各边岸类型的分布在空间各

Table 3. Imaging boundary change with different gradient water levels of coast in 2007-2013
表 3. 2007~2013 年不同坡度条件下水位差引起的成像边界变化

假设边岸坡度 坡度(°)	0 水位差 (2010 年)/m	-0.78 m 水位差 (2007 年)/m	0.98 m 水位差 (2013 年)/m
23.06	0	1.83 (0.06 像元)	2.30 (0.08 像元)
10	0	4.42 (0.15 像元)	5.56 (0.19 像元)
1.48	0	30 (1 像元)	37.93 (1.26 像元)
1	0	44.69 (1.49 像元)	56.14 (1.87 像元)

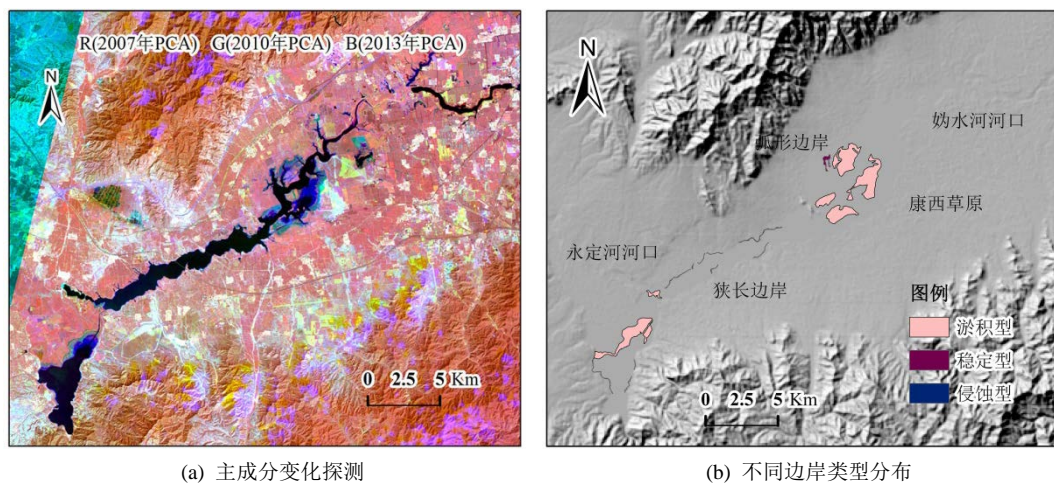


Figure 9. Dynamic change detection and distribution of coast types in 2007-2013
图 9. 2007~2013 年不同时相主成分变化探测(a)及边岸类型分布(b)

方位上均匀消长, 则其质心基本不变; 若在某一方向上消长比较明显, 则其质心发生明显偏移[8]。通过对 1979~1996 年水位间歇性涨落段、1996~2007 年水位持续下落段和 2007~2013 年水位的频繁涨落阶段的淤积型、侵蚀型和稳定型区域的质心分布研究发现: 三十年来, 各边岸类型分布均出现了一定的偏移现象, 淤积型边岸有明显的向内扩张的趋势, 其质心先在东偏北 16.19° 方向上移动了 2.82 km, 之后在东偏北 4.97° 方向上移动了 1.97 km, 而引起偏移的主要原因是妫水河河口淤积现象的出现, 虽然水位变化幅度较大, 但由于在永定河库区周围的坡度大且多为基岩性质边岸, 所以, 淤积主要集中在妫水河区域。侵蚀型边岸在空间分布上变化不大, 主要分布在官厅水库的狭长带, 但由于整个研究序列中水体边界萎缩, 边岸逐渐内缩导致了侵蚀型边岸质心先向东南方向随后向东北方向偏移; 稳定型区域主要在康西草原岸带逐渐内缩, 先在东偏北 13.7° 方向上移动 1.76 m, 其时空分布格局的变化原因与淤积型一致(图 10)。

5. 结论与讨论

1) 官厅水库区域水位变化大体可以分为三个阶段: 1979~1996 年的间隔涨落阶段、1996~2007 年的持续萎缩阶段和 2007~2013 年的频繁涨落阶段。1979~1996 年水库水位变化频繁, 但水位涨落幅度不大, 整体上的水位控制在 473.55 m~477.96 m 之间, 水位年际变化幅度较大, 处于干-湿交替的状态, 其月水位变化较大, 且水位的变动速率也比较大, 年水位变化为 1.1 m, 呈现出变化不稳定的现象。而从 1996 年开始, 官厅水库水位从 476.93 m 持续降至 469.81 m, 水位落差最大, 为 7.12 m, 水位年平均降幅 0.64 m。2007~2013 年, 水位在经过大幅度衰减后有小幅回升趋势。官厅水库至 1996 年后, 虽然经历了大幅度的持续落水和小幅度的反复消涨, 但其年际水位差相对平稳, 在 0.75 m 左右。

2) 结合 1979~2013 年官厅水库水位变化特征, 分时段的对库区淤积、稳定和边岸侵蚀三种边岸类型进行判别: 1979~2013 年长时间序列中, 淤积型边岸和侵蚀型边岸的分布相对规律, 淤积型边岸主要分布在妫水河与永定河河口以及康西草原一带。侵蚀型边岸主要分布在永定河南岸以及官厅水库狭长带。而稳定型边岸在早期主要分布在水库的弧形边岸一带, 而 2007 年后, 水体边界的内缩导致淤积严重, 使得只有少许稳定边岸零星分布。由于不同的边岸类型在土质类型, 反复淹水的频次, 以及淹水时间的长短上有所差异, 因此在之后的湿地消落带的研究中, 可以以水位变化特征下不同边岸稳定性区域为基础来研究消落带土壤中各参数的差异及其时空分布规律, 以及研究不同边岸稳定性区域的植物格局变化规律。

3) 将水库边岸类型的研究从半定量化转到定量化, 探究了水位变化下官厅水库 3 种边岸类型的面积

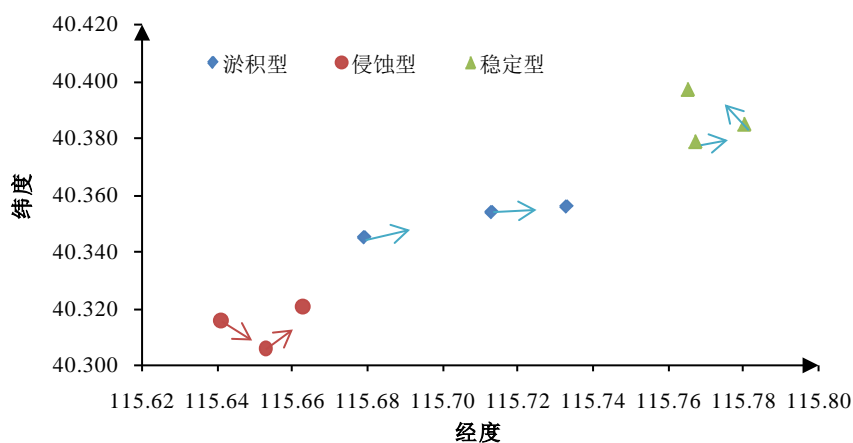


Figure 10. Changes of centroid of different banks

图 10. 不同边岸类型的质心变化

变化,进而从不同边岸类型的质心变化来研究时间序列中边岸类型的空间偏移情况:35年来不同水库边岸的质心发生了不同程度的偏移。而产生质心变化的原因除了水位变化外还与官厅水库周围的地质条件,如土壤类型,边坡角度以及气象因素有关,之后的研究可以更进一步的从多方面来综合探究分析影响其质心变化的驱动因子。

基金项目

国家青年科学基金项目:41101404 (the National Natural Science Foundation of China); 国家国际科技合作专项项目:2014DFA21620 (the International Science & Technology Cooperation Program of China)。

参考文献 (References)

- [1] 刘才华,陈从新,冯夏庭.地下水对库岸边坡稳定性的影响[J].岩土力学,2005,26(3):419-422.
LIU Caihua, CHEN Congxin and FENG Xiating. Effect of groundwater on stability of slopes at reservoir bank. Rock and Soil Mechanics, 2005, 26(3): 419-422. (in Chinese)
- [2] LANE, P. A., GRIFFITHS, D. V. Assessment of stability of slopes under drawdown conditions. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 2000, 126(5): 443-450.
- [3] 刘新荣,傅晏,王永新,等.水-岩相互作用对库岸边坡稳定的影响研究[J].岩土力学,2009,30(3):613-616.
LIU Xinrong, FU Yan, WANG Yongxin, et al. Stability of reservoir bank slope under water-rock interaction. Rock and Soil Mechanics, 2009, 30(3): 613-616. (in Chinese)
- [4] 曹玲,罗先启.三峡库区千将坪滑坡滑带土干-湿循环条件下强度特性试验研究[J].岩土力学,2007,28(增):93-97.
CAO Ling, LUO Xianqi. Experimental study of dry-wet circulation of Qianjiangping landslide's unsaturated soil. Rock and Soil Mechanics, 2007, 28(Suppl.): 93-97. (in Chinese)
- [5] 黄家柱.遥感与地理信息系统技术在长江下游江岸稳定性评价中的应用[J].地理科学,1999,19(6):521-524.
HUANG Jiazhu. The application of remote sensing and GIS to the assessment of bank stability in the lower Yangtze River. Scientia Geographica Sinica, 1999, 19(6): 521-524. (in Chinese)
- [6] 周廷强,刘学飞.动水位对库区边坡稳定影响机理分析[J].西部探矿工程,2008,12:54-56.
ZHOU Tingqiang, LIU Xuefei. Analysis of influence mechanism from dynamic water level on reservoir slope stability. West-China Exploration Engineering, 2008, 12: 54-56. (in Chinese)
- [7] 官厅水库坍岸研究小组.水库坍岸研究[M].北京:北京水利电力出版社,64-117.
Guanting Reservoir Bank Research Group. Study on reservoir bank collapse. Beijing: Beijing Water Conservancy and Electric Power Press, 64-117. (in Chinese)
- [8] 汪斌,杨昌斌,等.考虑水位波动影响的剩余推力法及其在库区岸坡稳定性评价中的应用[J].地质灾害与环境保护,2005,16(2):190-193.
WANG Bin, YANG Changbin, et al. The remained slip force method considering the effect of water lever fluctuating and its application to assessment of slop stability. Journal of Geological Hazards and Environment Preservation, 2005, 16(2): 190-193. (in Chinese)
- [9] 张梁,王俊杰,阎宗岭.山区库岸塌岸预测方法综述[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2010,29(2):227-232.
ZHANG Liang, WANG Junjie and YAN Zongling. Summary on methods to predict soil bank failure of mountain reservoir. Journal of Chongqing Jiaotong University (Natural Science), 2010, 29(2): 227-232. (in Chinese)
- [10] 何良德,朱筱嘉.水库塌岸预测方法述评[J].华北水利水电学院学报,2007,28(2):69-72.
HE Liangde, ZHU Xiaojia. Retrospection and evaluation of prediction method for reservoir bank ruin. Journal of North China Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power, 2007, 28(2): 69-72. (in Chinese)
- [11] 徐佩华,陈剑平,阙金声,仲志成,王清.基于人工神经网络的三峡水库库岸稳定性分级[J].吉林大学学报(地球科学版),2007,37(3):564-569.
XV Peihua, CHEN Jianping, QUE Jinsheng, ZHONG Zhicheng and WANG Qing. The grading model of reservoir bank stability of Three Gorges based on artificial neural network method. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2007, 37(3): 564-569. (in Chinese)
- [12] 吴争光.库水位变化对库岸边坡稳定性影响研究[J].灾害与防治工程,2009,1:1-6.
WU Zhengguang. The influence of water level fluctuation on the bank slope stability. Disaster and Control Engineering, 2009, 1: 1-6. (in Chinese)

- [13] 刘建磊. 三峡库区仁托新街库岸边坡稳定性分析与库岸再造预测[D]. 吉林大学, 2009.
LIU Jianlei. The slope stability analysis and bank rebuilding forecast about Rentuoxinjie riverside in The Three Gorge reservoir area. Jilin University, 2009. (in Chinese)
- [14] 王志刚, 王净. 官厅水库的遥感动态变化探测及边岸稳定性判别[J]. 遥感学报, 2003, 7(4): 328-331.
WANG Zhigang, WANG Jing. Shoreline dynamic change detection and stability discriminant to the Guanting reservoir with multi-temporal landsat TM. Journal of Remote Sensing, 2003, 7(4): 328-331. (in Chinese)
- [15] 宋岳, 段世委, 陈书文. 官厅水库塌岸影响因素分析[J]. 水利水电工程设计, 2004, 23(1): 34-37.
SONG Yue, DUAN Shiwei and CHEN Shuwen. Analysis of the factors influencing the Guanting reservoir bank collapse. Design of Water Resources & Hydroelectric Engineering, 2004, 23(1): 34-37. (in Chinese)
- [16] 王占生, 刘文君. 微污染源饮用水处理[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1999: 23-58.
WANG Zhansheng, LIU Wenjun. Micro polluted drinking water treatment. Beijing: China Architecture & Building Press, 1999: 23-58. (in Chinese)
- [17] 甄姿, 宫兆宁, 赵文吉. 官厅水库库区水生植物演变格局时空变化特征分析[J]. 农业环境科学学报, 2012, 31(8): 1586-1595.
ZHEN Zi, GONG Zhaoning and ZHAO Wenji. Analysis of hydrophytes for spatial evolution pattern in Guanting reservoir, China. Journal of Agro-Environment Science, 2012, 31(8): 1586-1595. (in Chinese)
- [18] 王延贵, 胡春宏. 官厅水库淤积特点及拦门沙整治措施[J]. 泥沙研究, 2003, 6: 25-30.
WANG Yangui, HU Chunhong. Study on sedimentation and the mouth bar control in Guanting reservoir. Journal of Sediment Research, 2003, 6: 25-30. (in Chinese)
- [19] 李运来. 官厅水库三角洲演变分析[J]. 北京水利, 1996, 3: 21-25.
LI Yunlai. Analysis of the evolution of the Guanting reservoir delta. Beijing Water Resources, 1996, 3: 21-25. (in Chinese)
- [20] 程卫华. 官厅水库水文特性统计分析[J]. 北京水务, 2012, 5: 29-32.
CHENG Weihua. Statistical analysis of the hydrological characteristics of the Guanting reservoir. Beijing Water, 2012, 5: 29-32. (in Chinese)
- [21] 林川, 宫兆宁, 赵文吉. 基于中分辨率 TM 数据的湿地水生植被提取[J]. 生态学报, 2010, 30(23): 6460-6469.
LIN Chuan, GONG Zhaoning and ZHAO Wenji. The extraction of wetland hydrophytes types based on medium resolution TM data. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(23): 6460-6469. (in Chinese)
- [22] 崔天翔, 宫兆宁. 不同端元模型下湿地植被覆盖度的提取方法——以北京市野鸭湖湿地自然保护区为例[J]. 生态学报, 2013, 33(4): 1160-1171.
CUI Tianxiang, GONG Zhaoning. Research on estimating wetland vegetation abundance based on spectral mixture analysis with different end member model: A case study in wild duck lake wetland, Beijing. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(4): 1160-1171. (in Chinese)
- [23] 刘厚成. 三峡水库蓄水运行过程中库岸边坡稳定性演化规律的研究[D]. 重庆交通大学, 2010.
LIU Houcheng. Research on stability evolution of reservoir bank during the running of the three gorges reservoir. Chongqing Jiaotong University, 2010. (in Chinese)
- [24] 夏麾, 刘金龙. 库水位变化对库岸边坡稳定性的影响[J]. 岩土工程技术, 2005, 19(6): 292-295.
XIA Hui, LIU Jinlong. The influence of water level fluctuation on the bank slope stability. Geotechnical Engineering Technique, 2005, 19(6): 292-295. (in Chinese)