

文章编号: 1007-4619 (2003)04-0328-04

官厅水库的遥感动态变化探测及边岸稳定性判别

王志刚¹, 王 净²

(1. 中国科学院 遥感应用研究所, 北京 100101; 2. 北京市官厅水库管理处, 河北怀来 075441)

摘 要: 利用 TM 卫星多时相数据, 采用变化探测技术研究了官厅水库 1988—2001 年时间段库区边岸的动态变化。对库区淤积、边岸侵蚀等问题进行了探讨; 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; 分析了上述问题对官厅水库水资源利用的影响。边岸稳定性判别方法可应用于湖泊、海洋的滩涂地区。

关键词: 遥感; 变化探测; 岸带; 官厅水库

中图分类号: F301.24/TP79 **文献标识码:** A

1 引言

官厅水库是中国第一个兴建的大型水库, 近半个世纪以来, 泥沙淤积已经成为急待解决的大问题。在国家《二十一世纪初期首都水资源可持续利用规划》报告中, 官厅水库被列为全国重点的治理对象, 并将成为北京市第二个重要的水源地。官厅水库水资源可持续发展主要涉及水质污染、水土流失引起的库区淤积、边岸侵蚀以及周边沙漠化等几个方面的问题。库区河口淤积的问题长期未得到解决, 每年有 $260 \times 10^4 \text{t}$ 的泥沙入库, 以至近年来阻隔了妫河和永定河两个库区, 不得不清淤疏浚, 贯通库区。

本文利用多时相遥感变化探测技术和历史分析的方法研究库区淤积的变迁和边岸类型等问题。采用水位差数据和变化探测得出的边岸宽度数据, 提出舒缓坡度边岸的稳定性判据及边岸分类方法。边岸稳定性判别方法不仅可应用于水库, 对大型湖泊、分布广泛的海岸带滩涂以及海岸河口地区的淤积与侵蚀监测, 都可以进行试验性应用。

2 技术方法

为历史地分析水库的环境变化, 收集了 1988—2001 年期间的 3 景 TM 卫星图像数据(表 1)。官厅水库的丰水期在 8、9、10 三个月, 尽管 2001 年 5 月的

数据在枯水期, 但仍比 1994 年 8 月的成像期水位高 10cm, 因此影响不大。

表 1 TM 数据的成像时间
Table 1 Receiving time of TM data

序号	成像时间	数据类型	分辨率/m
1	1988-09-28	TM	28.5
2	1994-08-23	TM	30
3	2001-05-19	ETM	30, 15

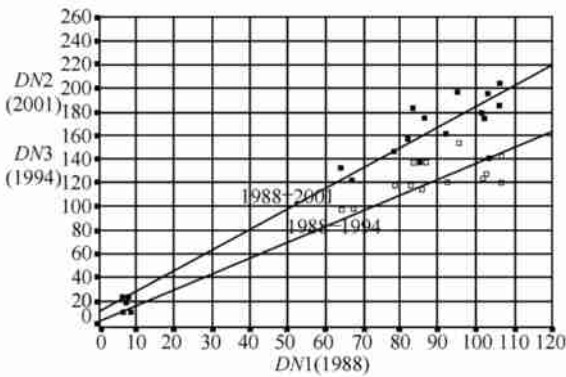
2.1 几何纠正及数据融合

以 1988 年的数据为参考分别对 3 景图像进行了图对图的几何纠正和地图投影变换, 以便获得空间数据的对比。几何纠正的精度控制在 0.7 个像元之内。为获取历史图像空间动态变化信息, 对纠正后不同分辨率的 3 景图像进行了数据融合, 以便进行对比。

2.2 归一化处理

图像辐射值归一化是变化探测技术的一个重要预处理环节。遥感非表面因素通常是引起不同时相数据亮度值差异的主要原因, 包括太阳角度、日地距离、大气条件、成像几何条件等。理想情况下, 上述影响通过大气传输模型校正消除, 但实际应用中很难进行历史数据的大气校正, 通常采用经验方法^[1]。

本文采用最为常用的线性回归方法^[2]。选择 20 个归一化靶区。靶区辐射特性假设不变,图像亮度的变化由非表面因素引起。选区原则^[1]:靶区含有尽量少的植被,不随季节而变化;相对平坦和同一高程带;在不同时相的图像中亮度基本相同;不同靶区有较宽范围的亮度覆盖,便于回归统计。选择 7 个水体,7 个天漠沙丘周边高亮度沙地,4 个村庄,2 个道路。对 3 景 TM 第 5 通道进行靶区的回归分析(图 1),依据回归模型参数对 1994 年和 2001 年图像进行归一化处理。



DN1:1988 年 TM5; DN2:2001 年 TM5; DN3:1994 年 TM5
 $DN2=9.083+DN1*1.787$; 相关系数=0.972; 标准差=5.415
 $DN3=3.406+DN1*1.361$; 相关系数=0.955; 标准差=5.274

图 1 归一化靶区散点图
 (TM 第 5 波段,20 个靶区)

Fig.1 Plot of band values from 1988, 1994 and 2001 for targets

2.3 变化探测

目前,流行的变化探测技术主要有 4 种方法:光谱图像差分(SID)、穗帽亮度图像差分(TCBID)、主成分分析(PCA)、光谱变化矢量分析(SCAV)^[3]。本文选择了主成分分析和 PCI 处理软件中较为简单易行的全区变化探测两种方法。主成分分析 3 景图像的第一主成分集中了 6 个波段的 80% 以上信息,采用 3 个时相的第一主成分进行合成(图版 I 图 2),很好地反映了水库岸带的动态变迁和不同的边岸类型。

基于 TM5 位于红外波段,能够很好地反映水体边界和滨岸地形信息,同时信息量也最大的特点,选用 TM5 波段针对河口地区进行变化探测研究。3 个不同时段的变化图像(图版 I 图 3)显示出口河淤积的演变过程。

2.4 水文数据

收集了库区 3 个历史成像期当天的水位和蓄水量数据(表 2)。可以看出,水位变化不大,但蓄水量

递减,是库区淤积库容减少的结果。

以 1988 年水位为基准,依据成像期的水位可以获得水位差数据(h);利用正切计算,水位差在边岸坡度不同量级情况下引起的边界投影变化见表 3。假设,在边岸坡度为 0.65° 的情况下,水位差引起的水库边界变化最大不足 30m。也就是说在一般坡度的边岸条件下,3 个成像时间引起的图像空间差异不足 1 个像元,但在舒缓的滩涂地区水位差引起的边界变化不可忽视,可达数十个像元!因此,历史图像的对比分析首先要定性地判读边岸坡度,在 0.65° 以下的缓坡度地区必须结合水位差资料才能进行边岸的动态变化分析。

表 2 成像当天的历史水位和蓄水量(官厅水库管理处提供的每日水库观测记录)

时 间	水库水位(大沽高程系)/m	水库蓄水量/ 10^8 m^3
1988-09-28	475.00	4.25
1994-08-23	477.67	3.93
2001-05-19	474.77	3.87

表 3 不同坡度条件下水位差引起的成像边界变化

Table 3 Imaging boundary change with different gradients and water levels of coast

假设边岸坡度/ $^\circ$	0 水位差(1988 年)	-33cm 水位差的边界变化(1994 年)/m	-23cm 水位差的边界变化(2001 年)/m
1.00	0	19(0.63 像元)	13(0.43 像元)
0.65	0	30(1 像元)	20(0.67 像元)
0.10	0	189(6.3 像元)	132(4.4 像元)
0.01	0	1891(63 像元)	1317(43.9 像元)

2.5 舒缓坡度边岸的稳定性遥感判别

假设坡度不变,即边岸的侵蚀和淤积在变化探测时段处于平衡状态,那么不同时期的变化宽度应当与水位差成比例关系(图 4)。这种情况下变化宽度比值和水位差比值应当符合如下关系: $h_1/h_2 = w_1/w_2$ 。图 4 具体说明了非稳定边岸的侵蚀与淤积的判据。这一判别方法适合于坡度小的滩涂地区。

利用两时相卫星数据的变化图像的宽度(w)和成像期水位差(h),采用正切计算,可以获得边岸坡度(θ)数据; $\tan \theta = h/w$ 。

3 库区及河口淤积的分析

库区的变化主要集中在永定河和妫河两个河口

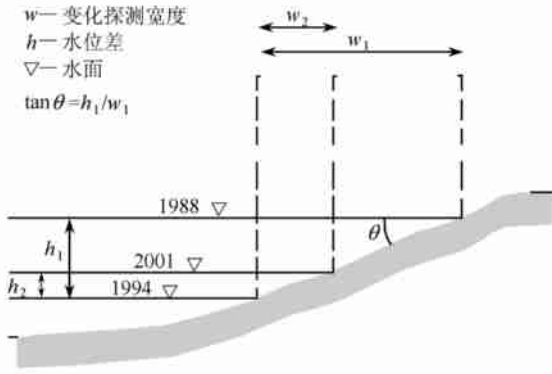


图 4 缓坡度边岸的稳定性判别
(稳定边岸 $h_1/h_2 = w_1/w_2$; 侵蚀边岸 $h_1/h_2 > w_1/w_2$; 淤积边岸 $h_1/h_2 < w_1/w_2$)

Fig. 4 Stability discriminant for coasts of low gradient

地区。图版 I 图 2 为三个不同时期主成分分析变化探测的合成图像。黄色调和绿色调表明 1988—1994 年两个成像期间库区边界的生长; 绿色调为 1994—2001 年两个成像期库区边界的退缩; 红色调为 1994—2001 年库区边界的生长。

可以看出 1998—1994 年岸界向库区内的推进最大, 变化范围大的岸带主要分布在两个河口和康庄西北一带。应当说明图像提取的岸带变化信息是由两方面原因造成。河口地区显然与淤积关系密切, 但也存在成像期水位差引起的非淤积变化, 但后一种影响是次要的。康西草原及其以北地区边岸坡度舒缓, 假设这一地区滨岸坡度稳定并不存在边岸淤积, 依据 3 个不同成像期的水位差, 图像信息应当是绿色条带和黄色条带的宽度比例分别为 $1/3$ 和 $2/3$ 。但康西草原一带的现实情况是黄色条带占绝对优势, 极少绿色条带, 符合上述淤积边岸 $h_1/h_2 < w_1/w_2$ 的判据, 表明非河口地区仍然存在不可忽视的边岸淤积。初步分析, 康庄镇和花园镇一带位于水库的东南岸, 可能与滨岸水动力环境受西北风向的影响有关。此外, 也可能是该区人口密集, 人类活动的结果。水位差引起稳定岸带变化的典型地区是妫河库区北岸, 向西突出的弧形岸带。图像上岸带绿色条带和黄色条带的宽度约各占 $1/3$ 和 $2/3$, 符合舒缓坡度稳定岸带的成像规律 ($h_1/h_2 = w_1/w_2$)。永定河库区北岸的河口西南部边岸也属于这种情况。

图版 I 图 3 清晰地反映了不同时期永定河口的动态变迁情况。河口淤积与上游土壤侵蚀有关。据报道, 上游洋河和桑干河大约每年有 260 万 t 的泥沙入库, 形成河口的淤积。依据 1973 年的地形图,

永定河口在现今河口以西偏北, 目前已经向库区推进了约 6.6 km, 河口推进主要是在 1988 年以前。1988—2001 年约向东推进了 1 km。尽管十几年来河口的淤积速率减缓, 但危害越来越大。图像上量测, 2001 年 5 月河口仅距对岸 330 m, 枯水期已经阻隔了妫河和永定河两大库区。妫河河口也存在类似问题。1988 年以前, 河口沙坎尚不存在, 在 1988—1994 年期间河口形成淤积沙坎, 但在 1994—2001 年期间河口沙坎没有明显的扩展, 可能是近年来妫河上游绿化、水土保持较好的结果。

4 边岸类型

边岸是水体与陆地相互作用的界面, 能够充分反映库区的动态变化。因此区分不同的边岸类型对于研究水陆相互作用的性质, 以及库区工程都有重要的意义。依据变化探测图像和水位差数据, 可以定性估算边岸的坡度, 判读淤积和侵蚀类型。分析表明官厅库区边岸有以下几种类型。

(1) 高坡度稳定型边岸: 遥感变化探测图像反映出无变化或很少变化信息。大多为基岩性质的边岸, 如永定河库区南岸。

(2) 舒缓坡度稳定型边岸: 遥感变化探测图像反映出变化条带宽度大, 但不同时期的条带随水位差成比例变化的信息 ($h_1/h_2 = w_1/w_2$)。大多为沉积与侵蚀作用相互平衡的缓坡度岸带。如上所述, 妫河库区西北弧形岸带和永定河口西南部岸带属于此类。依据正切计算和表 4 的估计, 永定河口的边岸坡度仅为 $0.02-0.05^\circ$ 左右。

(3) 舒缓坡度淤积型边岸: 遥感变化探测图像反映出变化条带宽度大, 仅以黄色或红色条带为主, 没有或极少绿色条带 ($h_1/h_2 < w_1/w_2$)。表明水陆相互作用以淤积过程为主。典型地区是康西草原东西两侧。对比 1973 年的地形图, 康西草原的边岸东西向的退缩距离已将近 1 km, 对北部的野鸭湖湿地已形成较严重的威胁。

(4) 侵蚀型边岸: 仅作为一种类型列出, 在库区分布极少。在图像上侵蚀型边岸仅出现在狼山镇四营村以东很小的范围内(图 2 中已标注, 尚需实地调查印证), 图像中表现为蓝色调 ($h_1/h_2 > w_1/w_2$)。野鸭湖附近的蓝色斑可能与 1994 年以后开垦的水稻田有关。

5 结 论

采用多时相遥感卫星数据应用于变化探测的流程:几何纠正→多时相数据融合→归一化处理→变化探测→信息提取。变化探测图像能够十分有效地提取不同时期水体边界的变化信息。

利用多时相的卫星资料 and 变化探测技术,结合成像期的水深标高,采用简单的三角函数正切计算,可以获得边岸坡度数据。这种计算方法适合于舒缓坡度($0.001-0.1^\circ$)的边岸类型,如滩涂地区。但该方法仅是一种半定量的方法,有待于适用范围和估算精度的验证。

利用3个或3个以上时相的卫星数据所获得的变化探测图像,结合不同时段的水位差和图像边岸变化宽度比例,可以获得边岸稳定性判据。依据这

一判据可以区分稳定性边岸、侵蚀边岸、淤积边岸等不同类型。这种分类方法同样适用于舒缓坡度的边岸;对水库、大型湖泊以及分布广泛的沿海滩涂地区有很好的应用前景。

参 考 文 献 (References)

- [1] Joon Heo, Thomas W FitzHugh. A Standardized Radiometric Normalization Method for Change Detection Using Remotely Sensed Imagery [J]. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 2000, **66**(2):173-181.
- [2] Jensen K R, et al. Inland Wetland Change Detection in the Everglades Water Conservation Area 2A Using a Time Series of Normalized Remotely Sensed Data [J]. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 1995, **61**(2):199-209.
- [3] Amod Sagar Dhakal, et al. Detection of Areas Associated with Flood and Erosion Caused by a Heavy Rainfall Using Multitemporal Landsat TM Data [J]. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 2002, **68**(3):233-239.

Shoreline Dynamic Change Detection and Stability Discriminant to the Guanting Reservoir with Multi-temporal Landsat TM

WANG Zhi-gang¹, WANG Jing²

(1. Institute of Remote Sensing Applications, CAS, Beijing 100101, China;

2. Guanting Reservoir Administration of Beijing, Huailai 075441, China)

Abstract: The Guanting Reservoir will be the second water resources of Beijing for drinking, but the alluvial problem has been puzzling for decades. The paper studied the shoreline dynamic evolution of the Guanting Reservoir from 1988 to 2001 using change detection technique, with multitemporal Landsat TM data (1988, 1994, 2001). After geocorrecting and radiometric normalization, principal component analysis and global change detection method was used. Several problems, such as reservoir silting, shoreline types etc., have been discussed.

The remotely sensed temporal and spatial analytic method to shoreline slope and shoreline stability discriminant have been presented, according to the relationship of proportion between the width of change detections and difference of water level on shoreline. With this method, shorelines were classified to 3 types, alluvial, erosive, as well as balance shoreline. The affects of the above-mentioned factors to the water resources in the Reservoir have been analyzed. The shoreline stability discriminant will be applicable potentially on the low-lying beach areas of ocean and lake, andgle between $0.001-0.1^\circ$.

Key words: remote sensing; change detection; shoreline; Guanting Reservoir

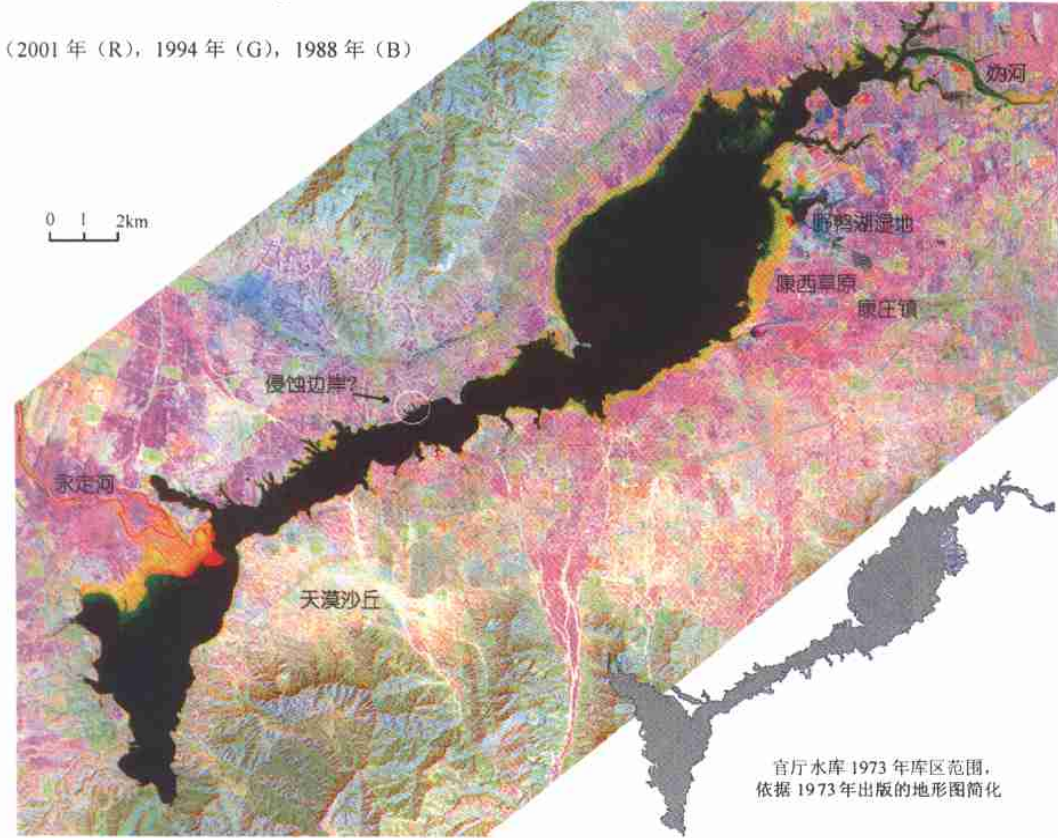
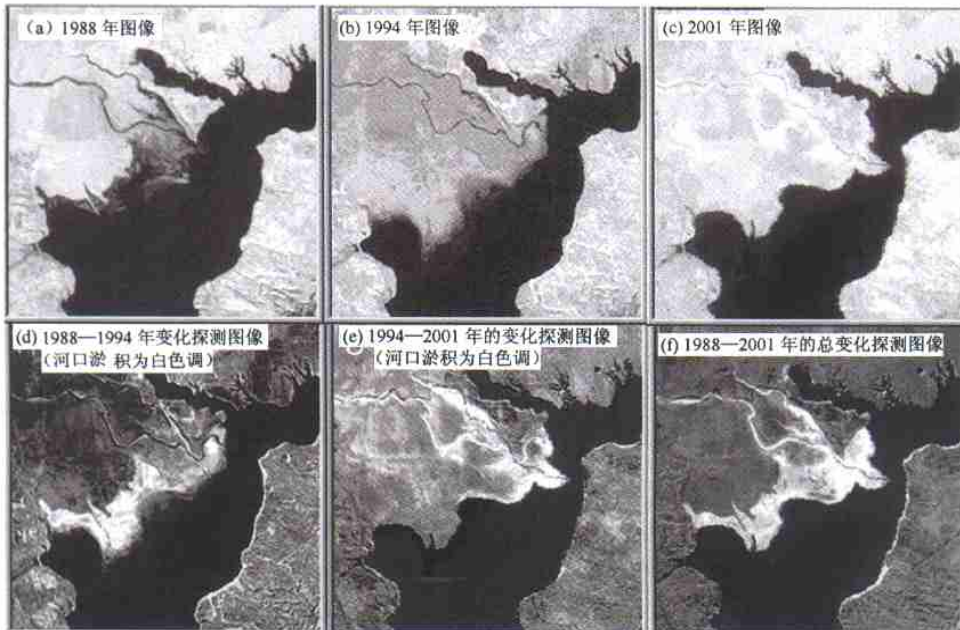


图 2 官厅水库不同时相 TM 主成分变化探测图像



均使用 TM 第 5 通道为原始数据

图 3 官厅水库永定河口的动态变迁