

# 烟台市中西部及邻区水库淤积研究

杜国云<sup>1</sup>, 魏兴华<sup>1</sup>, 高桂颂<sup>2</sup>, 王庆<sup>2</sup>, 张安定<sup>1</sup>, 刘贤赵<sup>1</sup>

(1. 烟台师范学院 地理与资源管理学院, 山东 烟台 264025; 2. 招远市水务局, 山东 招远 265400)

**摘要:** 将水库淤积按沉积动力学特征分为河流沉积动力淤积和水库沉积动力淤积 2 种类型, 建立了 2 种淤积类型的动力模型。水库淤积量的大小按水库因水位下降所出露的淤积物面积进行评估。结合陆地卫星 TM 图像, 对研究区内的 30 个水库, 按淤积程度离差分为 3 级: I 级,  $DEPDEV < -0.3$ ; II 级,  $DEPDEV = -0.3 \sim -1$ ; III 级,  $DEPDEV > -1$ 。对比图像平面数据与实测的水库淤积量数据, 发现图像数据与兴利库容以下实测数据协同性好。

**关键词:** 烟台市中西部; 水库淤积; TM 图像

文献标识码: A 文章编号: 1000-288X(2004)05-0024-07 中图分类号: TV62; P333.4

## Reservoir Silting and Drainage Character in Midwest Yantai City

DU Guo-yun<sup>1</sup>, WEI Xing-hua<sup>1</sup>, GAO Gui-song<sup>2</sup>, WANG Qing<sup>2</sup>, ZHANG An-ding<sup>1</sup>, LIU Xian-zhao<sup>1</sup>

(1. Geography and Resource Management College, Yantai Normal University, Yantai 264025, Shaandong Province, China;

2. Zhaoyuan Water Resource Bureau, Zhaoyuan 265400, Shandong Province, China)

**Abstract** Reservoir silting can be divided according to sediment dynamics into two basic types—reservoir hydrodynamic silting and river hydrodynamic silting, for which two types of sediment models can be constructed. The area of silting in reservoirs was estimated by measuring the area exposed during low water level periods. Statistical data was collected from 30 reservoirs through the combination of Landsat images. Silting degrees were divided into three grades: grade I, silting degree  $DEPDEV < -0.3$ ; grade II, silting degree  $DEPDEV = -0.3 \sim -1$ ; grade III, silting degree  $DEPDEV > -1$ . The results establish the characteristics of silting degrees in the larger drainage area.

**Keywords** midwest Yantai City; reservoir silting; TM image

水库淤积现象在国内外已十分普遍,并引起了广泛关注与研究<sup>[1]</sup>。近年来的研究内容主要涉及水库淤积测量<sup>[2-4]</sup>,水库淤积与集水区土地利用关系,以及水库淤积管理等 3 个方面<sup>[5]</sup>。在大型水库淤积测量方面,包括数字化测图技术<sup>[2]</sup>,GPS 水下地形测量系统<sup>[3]</sup>,水库泥沙收支状况分析<sup>[4]</sup>。以上测量方法均需要很大的资金投入,且效率低。在仅需获取水库间相对淤积程度时,通过卫星遥感资料的平面数据,结合沉积学理论及前人对水库淤积形态的研究成果,对不同水库淤积程度进行评估,尤其是目前对中、小型水库还缺乏系统的环境监测的情况下更有其现实意义。水库淤积状况的研究既是水库管理中的基本依据,也是区域水土流失研究中的重要参考数据,并为区域间的水土流失状况提供定量的指标<sup>[6-7]</sup>。本研究试图以卫星遥感为主要手段,在水库的淤积程度研究的理论

与方法结合上进行了探讨,并进一步揭示研究区水库淤积的流域空间特征,对区域水库资源与环境的监测、开发与保护有一定的参考意义。

## 1 研究区概况

研究区位于东经  $110^{\circ}58' - 121^{\circ}45'$ , 北纬  $36^{\circ}40' - 37^{\circ}45'$ , 地属烟台市中、西部地区, 并包括威海市西南边缘和青岛市的东北部。该区属于暖温带季风型大陆性气候, 受海洋影响亦十分明显, 多年平均气温  $11.5^{\circ}\text{C}$ , 多年平均降水量  $657.7\text{ mm}$  (1956—1999 年), 降雨年分配主要集中在 6—9 月, 占全年降水量的 72.4%。研究区属于丘陵地形, 最高山艾山, 海拔 817 m, 其次是牙山和大泽山, 海拔分别为 798 m 和 736 m。分水岭位于中北部, 略呈东西向展布, 形成了南、北流向的水系, 南流河注入黄海, 主要有: 五龙河、

收稿日期: 2004-05-20

资助项目: 山东省教育厅 (J98L51); 国家自然科学基金 (40101005)

作者简介: 杜国云 (1962—), 男 (汉族), 山东招远人, 教授。主要从事第四纪地质、资源与环境方面的教学与研究。电话 (0535) 6672165,

E-mail: Duguo-yun2003@mail.tom.com

大沽河、小沽河 3 大水系,五龙河有漩河—蚰河、清水河 2 个主要分支;北流河注入渤海或黄海,主要有:大沽夹河、黄水河、界河、老母猪河 4 大水系,内夹河与外夹河是大沽夹河的 2 个主要分支;此外,西北流向的水系主要有:王河、龙王河 2 大水系。

烟台市水库始建于 20 世纪 50—60 年代,主要分布于流域的中上游地区,现有大型水库 3 座,中型水库 25 座,小型水库 1 082 座。水库建成后对当地的农业灌溉、城镇供水、拦洪等起到了重要的作用,仅烟台市水库灌溉面积就达  $6.59 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。近几十年来,水库不断淤积,大大降低了水库的调蓄能力与使用寿命。水库淤积向库尾方向拓展而产生的翘尾,使上游河道不断淤高、淤积范围扩大,导致库区地下水位抬高,耕地盐碱化和粮食减产。水库淤积间接影响到海岸带海陆之间的相互作用。

由于该地区濒临黄海、渤海,入海河流流程短,水库蓄水能力的降低直接影响到对地下水的补给能力,随着海岸带地下水资源的大量开采,直接导致了海水入侵。山东省水文总站和山东省水利厅于 20 世纪 70 年代末,80 年代初对研究区内的大型水库和大部分的中型水库及部分小型水库进行了淤积测量,文献采用实测淤积率法和入库沙量推算法对全省大、中型水库的泥沙淤积量做了预测<sup>[8]</sup>。

## 2 资料来源及处理

### 2.1 图像资料及处理

研究区的卫星影像资料选用了 2001 年 6 月 5 日采集到的 TM 数字图像(编号为:12034—20)。由于数据采集的时间处在全年的枯水期与丰水期的过渡阶段,水库淤积物仍大面积地显露于地表,为水库淤积状况研究提供了可识别的图像信息。TM 图像提供了 6 个波段的数据,各波段图像的统计特征见表 1。

表 1 各波段图像统计特征值对照表

波 段	TM-1	TM-2	TM-3	TM-4	TM-5	TM-6
最大值	11.00	29.00	12.00	5.00	3.00	2.00
最小值	155.00	150.00	182.00	122.00	208.00	182.00
均 值	102.10	79.85	79.71	50.28	78.56	62.10
中 值	101.00	78.00	73.00	37.00	53.00	45.00
模 数	97.00	64.00	46.00	16.00	13.00	12.00
标准差	8.87	15.78	32.03	31.44	58.61	46.16

对水库及淤积物的识别与特征提取,采用了以往经常使用的 TM-4 和 TM-2 个波段。前者对水体有较好的检测效果,并能较好地反映近水的粉沙质、泥质淤积物,并配合 TM-5,以增强对含水性较强的淤积物

的反映程度;后者对地表高亮度信息反映敏感,用于反映水库边部的沙质沉积。在基于表 1 中的各波段统计特征基础上,主要对 TM-4 和 TM-2 波段的直方图进行分析。

2.1.1 图像恢复 由于大气散射引起图像失真,需要对图像进行恢复,而直方图法能针对具体的大气条件,对图像中的辐射失真加以恢复。

从图 1 中的 TM-4 图像直方图看,原图像在预处理中没有完全恢复图像的辐射失真。图像辐射失真对所研究的地物来说影响不大,但图像几何失真将影响到目标物的面积统计,仍需要恢复。几何校正采用地面控制点(GCP)法。首先,对图像像元的图像坐标位置进行校正,通过坐标空间变换建立图像像元位置 and 实际地物位置的映射关系;其次,对像元灰度值通过内插进行重采样。



图 1 勾山水库 TM-4 图像处理结果

2.1.2 图像锐化 图像锐化是一种图像增强处理方法,采用对图像进行差分运算实现。锐化后的整幅图像更清晰,尤其是水库边缘得到了明显的增强。

2.1.3 直方图分析 基于图像非监督分类中的直方图分割思想<sup>[9]</sup>,水库及周边含水丰富的淤积物由于其较低电磁波辐射,这部分像元必然集中在直方图中的左侧。对目标物的增强和信息提取应集中在这部分像元上。TM-4 图像有 3 个峰值区间:13~24、24~50、50~122。经反复实验,灰度值在 40~60 之间,大致处在图像均值与中值之间,对水库主要淤积物出露及水域轮廓反映较好。

2.1.4 灰度切片 该方法为用于对所研究目标物信息增强和提取的一种图像处理方法。灰度切片的数学表达式为:

$$g(x,y)=\begin{cases} gM & (a \leq f(x,y) \leq b) \\ 0 & \text{其它} \end{cases} \quad (1)$$

式中:  $gM$ ——为切片部分,即目标物的赋值,其它部分的像元灰度赋以 0;  $a, b$ ——切片像元的灰度范围,

其中  $a = 40, b = 60$ , 最后得到一幅二值图像

灰度切片效果的好坏, 取决于  $a, b$  的取值及灰度值相同且属于不同地物的像元混入。一般来讲,  $a, b$  取值不同, 会直接引起不同地物混入程度的增加或减少。原则上要保证目标物全部进入这一灰度范围, 并尽量减少其它地物信息的混入, 这在实际处理中是很难做到的。由于本研究中的水库及周边淤积物存在比较好的空间连贯性, 因此有可能将全部的目标信息都提取出来

以上图像分析处理操作都是在 Erdas image 8. 4 图像处理软件上进行的。图像处理结果参见图 1, 2, 遥感资料处理流程参见图 3

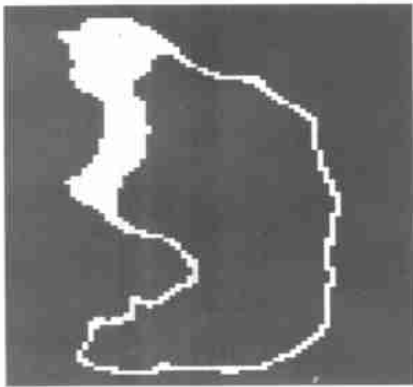


图 2 勾山水库 TM- 5/4/1合成图像

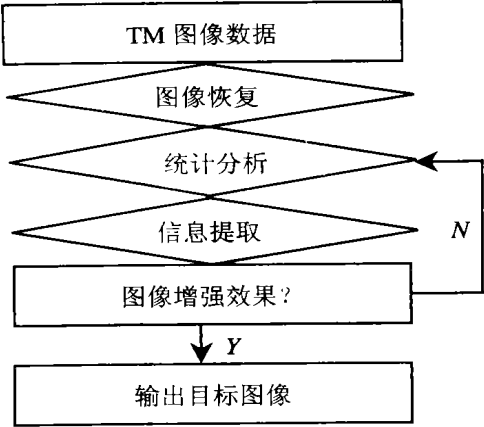


图 3 图像处理流程

2.2 水库淤积实测资料

山东省水文总站与水利厅联合, 于 1972—1984 年期间, 对山东省大型水库和部分中、小型水库进行了淤积测量。山东省水利厅同时开展了水库三查三定工作。水库淤积计算方法主要采用地形法、断面法和沙量平衡法, 包括水上部分、水下部分的量测。基本数

据有各大、中型水库的淤积总量以及兴利库容以下的淤积量实测值, 个别水库缺少实测。以上涉及本研究区内的水库淤积测量数据为本研究提供了主要的也是惟一的参考对比数据。

3 水库淤积形态动力模型

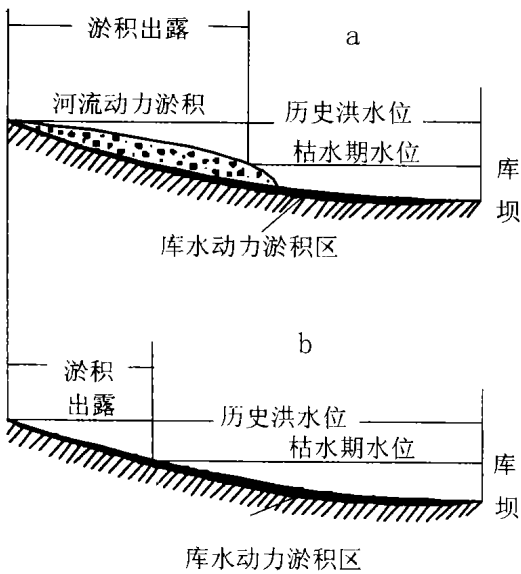
水库淤积包括水上淤积和水下淤积 2 个基本部分, 二者之间随水库水面变化而变化。尽管水面以上的淤积只是水库淤积的一部分, 但由于水库淤积体主体是库尾部分的三角洲淤积, 在卫星图像上有很好的显示, 利用灰度切片还能把前积层边缘部分 (即便是在水下) 很好地揭示出来, 见图 3, 4 (图 4 中的绿色区域)。为了研究淤积出露面积与水库淤积量之间的关系, 需要对水库淤积形态进行分析。

影响水库淤积的因素很多, 主要有水库的入库水流含沙量大小及其年内分配情况, 库区地形、地质特征及水库的运用方式等, 从而形成了不同的水库淤积形态。库区范围内的淤积一般分为 3 段: 回水变化段、长年回水区行水段和长年回水区静水段。

回水变化段是指最高与最低库水位两者回水末端范围内的库段, 在此范围内淤积的泥沙较粗, 绝大部分是推移质和悬移质中的较粗部分, 淤积分布也较均匀。长年回水行水段是指最低库水位回水末端以下, 水流具有一定流速的区段, 此区主要是悬移质淤积, 淤积层很薄, 往往不足以形成三角洲淤积。长年回水区静水段是指坝区基本为静水的库段, 此段全为悬移质中的极细泥沙以静水沉降方式产生的淤积, 分布比较均匀。陈惠源、万俊等根据我国已建水库的大量观测资料<sup>[10]</sup>将水库淤积的纵向形态概括为三角洲淤积、锥形淤积和带状淤积 3 种基本形态类型。根据图像分析及实地调查, 研究区内的水库淤积形态也大致分为以上 3 种, 前者如门楼水库、勾山水库等, 后者如沐浴水库, 其它水库则具有锥状淤积形态。

水库淤积属于三维空间地质实体, 需要三维空间数据来描绘。为了通过平面的淤积范围对整个水库淤积量进行评估, 可以通过水库淤积剖面来解析, 并将三维空间上的描述转化为平面上的描述, 以利于卫星图像的分析研究。为了对水库淤积出露面积与水库淤积量建立起线性关系, 在此对水库淤积形态进行适当的简化。淤积物纵向形态的形成与水库库容、水库形态、库底形态、库区地质条件及河流泥沙移动状态均有密切的关联, 而造成淤积物出露特点的主要因素则取决于淤积物表面形态特征, 基本形态有 2 种: (1) 波折型, 为三角洲淤积的表面特征; (2) 平缓型, 为锥状淤积和带状淤积的表面特征。

水库淤积过程中,河流动力与水库动力所起的作用不同,推移质淤积中的河流动力作用较为明显,而悬移质淤积中的水库水动力作用更为明显。为了研究方便,根据水库淤积动力类型,结合研究区水库水面周围出露的淤积物分布,采用以下 2 种淤积模型,即:河流沉积动力淤积模型和水库沉积动力淤积模型。尽管不同的水库淤积类型在分布上随水库水位的季节性变化而变化,两种淤积模型之间往往结合在一起,但建立河流沉积动力淤积模型和水库沉积动力淤积模型有助于说明淤积出露面积与淤积体大小和淤积程度之间的关系(图 4)。



(剖面方向从水库上游至库坝)  
a. 河流沉积动力淤积模型    b. 水库沉积动力淤积模型  
图 4 水库淤积模型示意图

河流沉积动力淤积模型包括回水变化段和长年回水区行水段这 2 个淤积部分。在河水进入库区后,水流散开,以及在水库水体阻滞和地势减缓的情况下,主要由推移质淤积及部分悬移质在库尾形成三角洲堆积,淤积区主要集中在水库的上游分枝河流入口处。主要沉积物以沙质为主,部分泥沙随河水进入水库水体当中。

对大型水库来说,该类淤积的淤积物粒度较细,淤积物主要分布于兴利库容以下,例如门楼水库;对中小型水库来讲,淤积物主要为河床沙,淤积物一般分布于常年水位以上,沉积体表面坡度较大,象临潼水库。

从沉积体剖面上看,三角洲型淤积存在和缓的顶积层和有一定坡度的前积层。枯水期,水库上游河流动力淤积顶部可以出现典型的河床沙沉积,发育类似

洪积扇上的分枝状河道,这种流水地貌可以塑造出水库上游水边上的参差状的边缘轮廓。河流动力淤积的鉴别除了依据以上的河流动力与相关地貌、沉积特征外,一个十分重要的鉴别标志是,河流动力淤积及其作用范围可嵌入到原有水库上游,这使得河流沉积作用范围深入到水库作用范围内,从而形成了库区上游的河流动力淤积区。

水库沉积动力淤积模型为长年回水区静水段。此段的水动力十分微弱,淤积活动在静水状态下进行,河流动力不明显,淤积主要是一些悬移质的细沙和黏土质,淤积范围遍布整个水库水体覆盖区内。水库沉积动力淤积物除上游河流携带的细颗粒物质外,还包括洪水期河流携带的悬移质泥沙形成的异重流淤积。此外,也包含水库周边的小冲沟和坡面流带入的泥沙,以及水库水体波浪运动对库岸侵蚀产生的碎屑。水库沉积动力淤积在沉积物空间结构、沉积物的粒度特征上与一般水盆地沉积有类似的特点,不同淤积物在平面上呈环带状展布。一些以水库沉积动力淤积为主的水库中,水库周边无明显河流补给,库尾淤积不明显,淤积物在水库高水位时被淹没,低水位时不同程度地显露出来。在枯水期的 TM 影像上呈现出水域外围上的环状淤积带。

图 6 分别给出了河流沉积动力淤积和水库沉积动力淤积 2 种淤积模型。对比以上 2 种淤积模式可以看出不同类型淤积体对水面面积的影响程度不同,淤积出露面积也不同,河流沉积动力淤积体在枯水期的出露面积较水库沉积动力淤积体的出露面积为大,故淤积出露面积与淤积体体积之间是正相关关系,淤积面积与库容变化是负相关关系。所以,淤积出露面积越大,水库淤积程度越高。

## 4 水库淤积程度分析

### 4.1 水库淤积面积统计

基于上述 2 种淤积模型,结合 TM 图像分析,水库淤积统计可分 4 部分进行:第 1 部分是水下淤积,属长年回水区静水段。这部分淤积属于水库沉积动力淤积类型,水域代表其淤积范围;第 2 部分为近水淤积,对一般的水库来讲,它是回水变化段的淤积以及长年回水静水段枯水期水库周边的淤积,主要淤积物为细沙和泥质,这部分淤积物含水性较强,在 TM-4 TM-5 中呈现咖啡色、鲜红色或土红色等深色调,前者如门楼水库,后者如产芝水库、勾山水库等。

这部分淤积物面积统计,主要依据 TM-4 图像灰度切片得到的水库水域轮廓及周边的淤积图像,以灰度值 40~60 作为灰度切片范围,突出这部分像元的

亮度值。

经过灰度切片后获得的图像存在大量的同类像元,这些像元主要出现在远离库区的城镇,故容易从图像上分辨出来,但给计算机统计带来了困难。所以,在对这一部分的淤积面积统计中,是通过手工对淤积区像元图量的统计完成的;第 3部分分布于回水变化段的上段,也是水库翘尾部分,淤积物主要为河床沙,图像灰度值很高,具有与上游河流沙相连接和连贯一致的色调。这部分淤积物尾端的确定对整个水库淤积范围的确定具有十分重要的意义,一方面结合了水库库区的 1∶ 50 000地形图,另一方面则根据图像特征直接判断。在图像上,这部分淤积向上往往与正常河道之间存在一个喇叭形转折点,该转折点可以作为正常河道与水库之间的自然分界,例如临朐河水库等等;第 4部分是长年回水区的行水段,位于水边线以

下的浅水区域部分。极少部分的水库,图像在水库水色上显示了这一地段,但是由于 TM-2图像中显示了部分水库的泥沙动态特征,并且受水库管理状况的影响,其范围不易确定,且作用范围很小,个别水库做了适当的处理,但是大多数水库仍以水库库尾水边线作为淤积出露范围的界限。

水库淤积面积为水库沉积动力淤积面积与河流沉积动力淤积面积之和。水库沉积动力淤积面积理论上应当包含 2个部分:一部分是现有水域面积;另一部分是露出水面的淤积部分。在本统计中只取后一部分,即水位下降后露出水面的淤积部分,同时也计算了整个水库淤积面积,这一数值等于当年水位下降露出水面的部分加上现在的水域面积。部分水库淤积面积见表 2。

表 2 烟台市及邻区主要水库特征值

水 库 名 称	水 域 面积 / m <sup>2</sup>	泥质粉 沙淤积 面积 /m <sup>2</sup>	淤积总 面积 / 10 <sup>4</sup> m <sup>2</sup>	兴利水位以 下淤积量 / 10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup>	兴利水 位库容 / 10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup>	水 库 名 称	水 域 面积 / m <sup>2</sup>	泥质粉 沙淤积 面积 /m <sup>2</sup>	淤积总 面积 / 10 <sup>4</sup> m <sup>2</sup>	兴利水位以 下淤积量 / 10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup>	兴利水 位库容 / 10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup>
城 子	34 200	8 100	36. 914	125. 00	1994. 6	迟家沟	33 930	4 500	13. 766	45. 3	1 356
勾 山	191 880	42 480	70. 011	115. 00	1 920. 0	王 屋	188 190	2 880	65. 763	318	7 850
金 岭	401 40	1 260	4. 140	59. 10	745	门 楼	632 070	112 140	139. 6260	102. 4	13 636
赵 家	59 760	4 410	22. 8	195. 00	691 090	龙门口	49 320	36 090	8. 541	211. 2000	4 350
坎 上	44 100	4 680	4. 878	40. 5	595	庵 里	336 060	30 960	38. 849	325	4 070
临朐河	13 050	10 530	2. 358	68. 5	662	沐 浴	307 710	14 940	55. 958	45. 3	11 014
留 驾	14 7330	5 130	15. 246	90. 18	1 540	高格庄	82 980	14 670	29. 205	532	854. 3
大泽山	34 740	22 50	46. 224	1. 00	622	产 芝	444 600	50 670	155. 151	270	18 003
淄 阳	28 980	2 250	23. 981	—	795	黄 同	198 720	7 920	47. 921	314	2 590
河 套	51 210	2 430	5. 364	—	—	北 墅	64 800	10 890	189. 535	325	2 260
涝 场	9 000	1 620	1. 062	—	—	饮马池	24 030	4 140	—	—	—
庙埠河	3 060	3 960	6. 372	8. 15	616	盘 石	23 400	24 300	4. 773	1050. 7	—
白云洞	29 430	8 640	26. 123	39. 09	875	龙 王	21 060	2 790	5. 921	72	—
北邢家	15 480	1 260	10. 868	55. 00	695	小于家	24 930	1710	2. 664	—	—

注: 水库水域面积和淤积出露面积通过图像计算获得,水库淤积量为山东省水利局实测。

4.2 水库淤积程度分级

水库淤积程度以水库泥沙淤积量为基础,并直接构成了水库库容量变化函数的主要因子。依据河流沉积动力淤积与水库沉积动力淤积 2个理论模型,直接通过平面上的淤积范围来估算。

首先计算淤积面积,然后计算各水库淤积程度均值、水库淤积程度离差。根据各水库淤积程度离差将统计的 28个水库分成 3个等级,分级指标为:I 级,水库淤积程度标准差 < - 0. 3;II 级,水库淤积程度标

准差介于 - 0. 3~ 1之间;III级,水库淤积程度标准差 > 1(见表 3)。

以上论述只是对研究区水库淤积程度的粗略分级,它仅仅给出了区域水库相对淤积程度的大小。这样的一种淤积分级对水库淤积宏观管理决策十分有意义,这些管理决策应当包括以下内容:水库寿命预测、水库泥沙管理、水库防洪、库区灾害、下游灌溉等。该分级还应该结合水库管理历史资料,以及当地的经济与水利投入情况等方面。

表 3 烟台市及邻区水库淤积程度分级

水 库 名 称	主要出露淤积物面积与水域面积之比	水库淤积分级	水 库 名 称	主要出露淤积物面积与水域面积之比	水库淤积分级
招远城子水库	0.236	II	龙口迟家沟水库	0.133	I
招远勾山水库	0.221	II	龙口王屋水库	0.015	I
招远金岭水库	0.031	I	福山门楼水库	0.177	II
莱州赵家水库	0.074	I	栖霞龙门口水库	0.732	III
莱州坎上水库	0.106	I	栖霞庵里水库	0.092	I
莱州临疃水库	0.807	III	莱阳沐浴水库	0.048	I
莱州留驾水库	0.035	I	青岛高格庄水库	0.176	II
青岛大泽山水库	0.065	I	青岛莱西产芝水库	0.114	I
青岛淄阳水库	0.077	I	青岛黄同水库	0.040	I
莱州河套水库	0.047	I	青岛北墅水库	0.168	II
莱州涝场水库	0.180	II	莱州饮马池水库	0.089	II
莱州庙埠水库	1.294	III	海阳盘石水库	1.038	III
莱州白云洞水库	0.293	II	招远龙王水库	0.132	I
龙口北邢家水库	0.081	I	莱州小于家水库	0.068	I

5 与部分水库淤积资料的对照

水库淤积实测结果表明了水库淤积的普遍存在,以及兴利水位上下淤积量之间的相关关系,特别是在总淤积量与兴利水位以下淤积量对比中,可以清楚地反映出兴利水位以下的水库淤积已经占到了水库总淤积量的绝大部分。

为了将实测的水库淤积量与卫星图像数据源中的淤积面积进行对比,选用相同的水库及相同的排序。但由于实测水库淤积数据的不完整,在实际的计算当中,先求出其它水库的兴利库容以下淤积量与兴利库容比值,并将其作为水库淤积程度的基本参数,以上述比值均值对数据不完整的水库进行填补。在由卫星图像获取的水库淤积程度与依据实测获取的水库淤积程度对比中,可以清晰地看到,两者具有明显的协同性。在 2 种数据源形成的淤积程度差值散点图中,2 种数据源推导出的水库淤积程度差值基本集中于± 1 之间,占数据总数的 82% 以上,差值在± 2 之间的数据占总数据量的近 90% (见图 5)

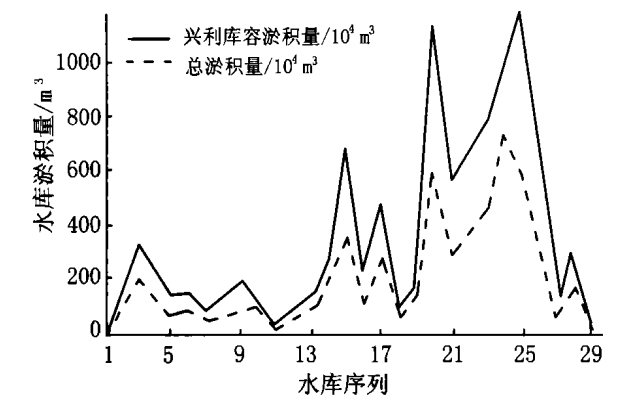


图 5 烟台市水库总淤积量兴利与水位以下淤积量对比

各水库淤积面积与水库淤积量之间的协同性较好,但建新水库、里店水库、丘山水库和战山水库协同性较差,淤积量与淤积面积对比见图 6

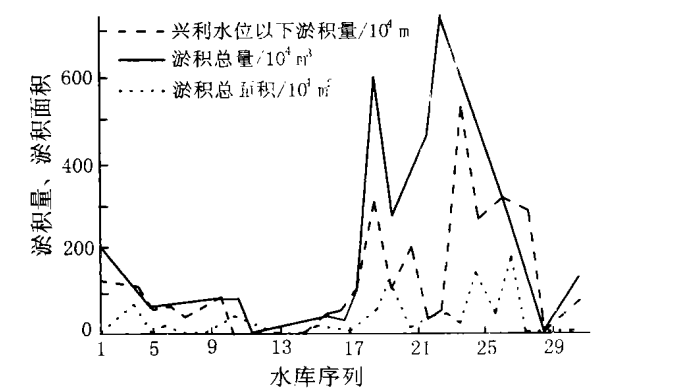


图 6 水库淤积量、兴利水位下淤积量及淤积面积对比

6 水库淤积程度的流域空间特征

流域对比及区域分布研究表明,水库淤积程度在整个研究区域内的分布情况有 2 个显著特点。首先,水库淤积程度大的地段沿莱州郭家店、招远南院庄、栖霞一带分布,基本限定在年均降雨量 640~ 680 mm。其次,西部水库淤积程度较东部地区偏高,淤积较严重的水库集中在西部。从河流反映出的地势看,淤积严重的水库分布地段恰好位于区域地势较高的部位,淤积严重的水库均处在流域的上游。

在对水库的流域管理中,根据流域内各级水库之间相对淤积程度,并对流域内的各个水库施行不同的管理决策。需要对流域内的水库淤积程度在流域空间内进行对比分析。研究中分别对大沽河流域、内夹河流域、漩河—蚬河流域、小沽河流域 4 个有代表性的流域内上游与中游水库,或上游与下游水库之间的水

库淤积程度进行了比值处理。流域空间对比结果显示,4个流域内的上游河段水库淤积程度比中下游水库淤积程度大,或中上游水库淤积程度比下游水库淤积程度大。在所统计的4个流域中,有3个流域的上游水库淤积程度与中、下游水库淤积程度比值均在1.5以上,仅内夹河流域小于1(见表4)。

表 4 流域空间水库淤积程度对比					
流域名称	水库名称	位置	高程 / 淤积 m 级别	上下游 淤积比值	
大沽河 流域	招远市城子	上游	130 II	—	
	招远勾山	上游	120 II	—	
	青岛产芝	中游	70 I	1.943	
内夹河 流域	栖霞庵里	上游	120 I	—	
	福山门楼	下游	40 II	0.519	
	漩河—蚬河	上游	130 III	—	
流 域	莱阳沐浴	中游	100 I	15.071	
	莱州庙埠河	上游	170 III	—	
	莱州涝场	上游	190 II	—	
小沽河 流域	青岛北墅	中游	120 II	7.701	

## 7 结 论

烟台市中西部及邻区水库淤积在卫星 TM 图像上反映明显,识别标志清晰。库尾三角洲主要淤积体的主体部分,可以采用 TM-4 图像通过灰度切片进行信息提取。基于建立的2种水库淤积模型,通过图像分析获得的不同水库之间相对淤积程度与水库淤积实测值对照,尤其是与兴利库容以下淤积量对照,两种数据源所获水库淤积程度存在良好的协同性。这对全区宏观水库资源与环境管理具有一定实践意义和

参考价值。其中,临潼水库、庙埠水库、龙门口水库、盘石水库的淤积较严重,应引起有关部门重视。流域空间上,表现为上游水库淤积程度大于中、下游水库。据此,应加强流域上游的水土保持,减少上游汇水区的水土流失,并把流域水土保持与水库资源及环境管理纳入到区域整体工作之中。

### [参 考 文 献]

[1] 姜乃森,傅玲燕.中国的水库泥沙淤积问题[J].湖泊科学,1997,9(1): 1-8.

[2] 闫铁奎,许鹏.数字化测图在清河水库淤积测量中的应用[J].工程勘察,2000(6): 52-54.

[3] 刘士和,周祖俊.柘溪水库淤积测量及库容关系曲线修正研究[J].武汉水利电力大学学报,2000,33(4): 21-24.

[4] 施修端,夏薇.洞庭湖冲淤变化分析(1956-1995)[J].湖泊科学,1999,11(3): 199-205.

[5] 林襟江,陈树群.台湾地区水库集水区土地利用对水库淤砂之影响[J].水土保持研究,1999,6(3): 72-79.

[6] 徐进,沈改莲.利用水库淤积量确定全垦造林土壤侵蚀模数方法的探讨[J].山西水土保持科技,1994(1): 18-19.

[7] 卜兆宏,孙金庄,董勤瑞,等.应用水土流失定量遥感方法监测山东全省山丘区的研究[J].土壤学报,1999,36(1): 1-8.

[8] 郑召平,王凤鸣,李丽华.山东省大中型水库泥沙淤积量预测[J].海洋湖沼通报,1996(3): 13-18.

[9] 万发贵,柳健,文灏.遥感图像数字处理.武汉:华中理工大学出版社,1991.161-164.112-113.

[10] 陈惠源,万俊主编.水资源开发利用[M].武汉:武汉大学出版社,2001.21-22.

[29] 靳长兴.论坡面侵蚀的临界坡度[J].地理学报,1995,56(3): 234-238.

[30] 蔡强国,陆兆熊,王贵平.黄土丘陵沟壑区典型小流域侵蚀产沙过程模型[J].地理学报,1996,51(2): 108-115.

[31] 谢承迪.坡流类型及坡地水力侵蚀计算方法[J].水土保持通报,1999,19(4): 1-6.

[32] 王万忠,焦菊英,郝小品.中国降雨侵蚀力R值的计算与分布(I)[J].水土保持学报,1995,9(4): 5-18.

[33] 王万忠,焦菊英,郝小品.中国降雨侵蚀力R值的计算与分布(II)[J].水土保持学报,1996,2(1): 29-39.

[34] 吕甚悟.降雨及土壤湿度对水土流失的影响[J].土壤学报,1992,29(1): 94-103.

[35] 中国科学院黄土高原综合考察队.黄土高原地区土壤侵蚀区域特征及其治理途经[M].唐克丽主编.北京:中国科学技术出版社,1991,334-36.

[36] 陈洪经主编.黄土高原小流域动态监测信息系统研究[M].北京:测绘出版社,1992.

(上接第18页)

[22] 陈永宝,景可,蔡强国.黄土高原现代侵蚀与治理[M].北京:科学出版社,1988.

[23] 王乃斌,沈洪泉,赵存兴等.黄土高原地区资源与环境遥感调查和系列制图研究[M].地震出版社,1992.87-90.

[24] 马俊杰,袁勘省.陕西中部黄土山、梁和塬地的土壤侵蚀回归分析[J].水土保持学报,1990,4(4): 21-28.

[25] 袁勘省,马俊杰.关中中东部地区土壤侵蚀评判研究[J].西北大学学报(自然科学版),1997,27(5): 431-436.

[26] 张平仓,唐克丽,郑粉莉等.皇甫川流域泥沙来源及其数量分析[J].水土保持学报,1990,4(4): 29-36.

[27] 金争平,赵焕勋.皇甫川小流域土壤侵蚀预报方程研究[J].水土保持学报,1991,5(1): 8-18.

[28] 江忠善,宋文经.黄河中游黄土丘陵沟壑区小流域产沙计算[J].河流泥沙国际学术讨论会论文集,北京:光华出版社,1980.63-72.