

好水川流域小型水库及淤地坝泥沙淤积量估算

朱旭东¹, 张维江^{1,2}, 李娟^{1,2}

(1. 宁夏大学 土木与水利工程学院, 宁夏 银川, 750021;

2. 宁夏节水灌溉与水资源调控工程技术研究中心 宁夏 银川 750021)

摘要: 建立了小型水库及淤地坝泥沙淤积体的概化模型。结合水库及淤地坝泥沙观测数据, 采用以小型水库的特性征曲线为基础的泥沙淤积量测算方法, 对好水川流域小型水库及淤地坝淤积量进行了估算。运用泥沙淤积体规则概化的测算方法对估算结果进行验证, 并推求区域侵蚀模数。该方法计算简单, 结论可靠, 可为进一步研究该流域的水沙规律提供理论依据, 并为宁夏南部山区的淤地坝淤积量估算提出一种简便的算法。

关键词: 泥沙淤积; 小型水库; 淤地坝; 好水川流域

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2012)04-0196-04

中图分类号: S157

Estimation of Sedimentation in Small Reservoirs and Silt Dams of Haoshui Watershed

ZHU Xu-dong¹, ZHANG Wei-jiang, LI Juan^{1,2}

(1. College of Civil and Water Conservancy Engineering, Ningxia University,

Yinchuan, Ningxia 750021, China; 2. Engineering Technique Research Center for

Water Saving Irrigation and Water Resources in Ningxia, Yinchuan, Ningxia 750021, China)

Abstract: On the basis of established the generalized model, in accordance with the observed data from the reservoirs and silt dams, the sediment volume of small reservoirs and silt dams in Haoshui watershed was estimated using the small reservoir characteristic curve of silt accumulation. The method of generalized deposition was applied to verify the estimated results and to further calculate regional erosion modulus. This approach was simple and the results were proven reliable. This proposed simple sediment estimation algorithm could provide theoretical basis for further research regarding water and sediment in South Ningxia mountainous area.

Keywords: sedimentation; small reservoir; silt dams; Haoshui watershed

黄土高原丘陵沟壑区生态环境脆弱, 水土流失严重, 水库及淤地坝工程都存在不同程度的淤积。随着生态工程的建设及流域的综合治理, 流域下垫面条件发生了较大的变化, 区域水沙规律也随之发生了改变。对水库及淤地坝工程的淤积量进行较为准确地估算, 是黄土高原水利及水土保持工程运行管理的基础。同时, 通过工程淤积推求区域侵蚀模数, 可为区域生态建设的后评价及下一步规划提供可靠的基础数据。

在黄土高原地区, 小型水库及淤地坝淤积量的估算方法可概括为以下几类: (1) 根据实际观测资料推求淤积量。可通过小型水库及淤地坝的实际观测资料推求其淤积规律, 这种方法计算精度高, 但资料较难获得。(2) 根据水文站实测泥沙资料推求淤积

量。这种方法适用于小型水库及淤地坝上游建有水文站, 或者附近建有水文站的地区, 通过多年的泥沙观测资料推求来水、来沙过程。(3) 根据水文比拟法估算^[1]。运用这种方法的关键是所对比的小型水库及淤地坝条件(如下垫面、建库年代、控制面积等)不但要相近, 而且要有详细的观测资料。(4) 泥沙淤积体概化法。将小型水库及淤地坝的淤积体概化为规则的几何模型, 通过测算特征要素, 计算泥沙淤积体的体积, 这种方法实测工作量不大, 比较简便。本次研究选用泥沙淤积体概化的估算方法分析计算好水川流域小型水库及淤地坝的淤积量。

1 研究区概况

好水川流域位于六盘山西侧, 宁夏回族自治区隆

收稿日期: 2011-10-28

修回日期: 2011-12-18

资助项目: 水利部公益性行业科研专项“宁南山区坝系水资源联合调度及高效利用研究”(200901074)

作者简介: 朱旭东(1986—), 男(汉族), 甘肃省渭源县人, 硕士研究生, 研究方向为水资源调控理论及技术。E-mail: nxdxzd@163.com。

通信作者: 张维江(1963—), 男(汉族), 宁夏回族自治区海原县人, 教授, 从事水文水资源方面的教学与研究工作。E-mail: zwjiang@263.net。

德县境内,是渭河上游支流葫芦河的一级支流,流域总面积 102 km²,地理位置北纬 35°37'20"—35°41'40",东经 105°56'20"—106°12'18",海拔高度 1 857~2 930 m,属黄土高原丘陵沟壑区第Ⅲ副区,涉及隆德县好水、杨河 2 乡,10 个行政村,38 个自然村,总人口 1.72×10⁴ 人。多年平均降水量 520 mm,有约 70% 的降水量集中在汛期(6—9 月),是流域水资源的主要来源。流域内土壤沙化,植被覆盖度低,侵蚀比较严重。根据宁夏水文水资源局提供的资料,流域多年平均悬移质输沙模数 3 950 t/(km²·a)。年输沙量 40.3×10⁴ t,输沙量主要集中在 6—9 月份,占全年输沙量的 88.3%。

由于好水川流域生态建设及流域综合治理,下垫面条件的变化导致其产流产沙规律随之也发生了变化。因而借助现有的观测数据,对流域水库及淤地坝工程的淤积量进行较为准确地估算,推求区域的侵蚀模数,是好水川流域库坝功能实现转换的前提,也是当地水利及水土保持工程运行管理的基础,为进一步揭示好水川流域的产流产沙规律提供基础数据。

2 小型水库及淤地坝泥沙淤积体概化模型的建立

水库及淤地坝泥沙淤积体可概化为如图 1 所示的几何模型^[2]。由图 1 中几何相似关系可知:

$$L(x) = \frac{z}{z_m} L$$

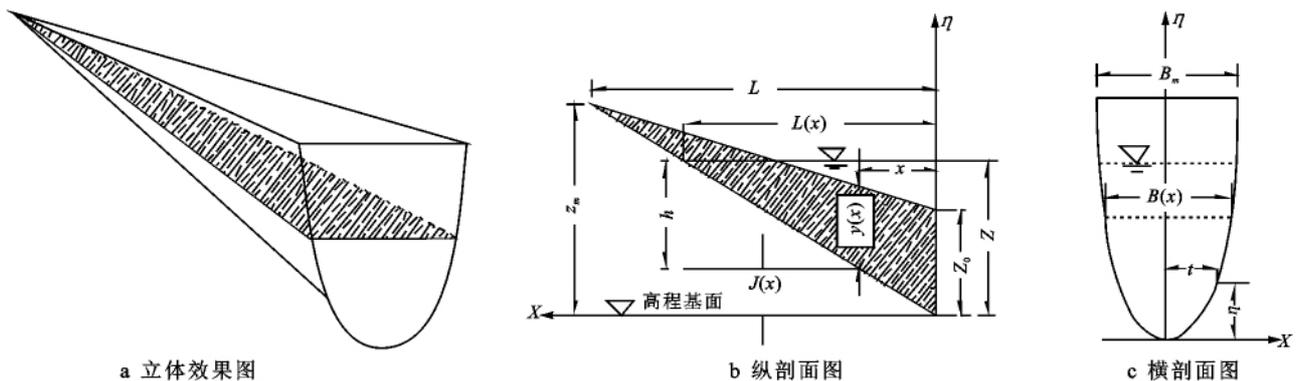


图 1 小型水库及淤地坝泥沙淤积体概化模型

注: z_m 为淤积末端河床的高程; z_0 是坝前淤积面的高程; z 为水位; L 为淤积末端断面至坝前的距离;以坝前零库容为基面时, B_m 为某断面与 z_m 相应的顶宽; $L(x)$ 为水位为 z 时原始河床的回水长度。

3 泥沙淤积量的测算方法

3.1 以库容曲线为基础的泥沙淤积量测算方法

平均淤积高程法是从坝前到淤积末端,以控制淤积体平面变化为原则^[3],按相邻间距小于淤积总长

对图 1 中的横剖面图,以 t 为横坐标 X , η 为纵坐标,断面周界用 n 次抛物线描述,则抛物线方程见公式(1)。

$$\eta = z_m \left(\frac{2t}{B_m} \right)^n \quad (1)$$

在 x 处断面,原河床最深河底高程 $J(x)$ 可由距坝前水平距离 x 表示,见公式(2)。

$$J(x) = \frac{x}{L} z_m \quad (2)$$

在 x 处断面,当水库及淤地坝水位为 z 时,原河底到水面的最大水深 h 的计算见公式(3)。

$$h = z - J(x) = z - \frac{x}{L} z_m = z_m \left(\frac{z}{z_m} - \frac{x}{L} \right) \quad (3)$$

方程(1)中的 η 和 $2t$ 分别用 h 和 $B(x)$ 来代替,水面宽 $B(x)$ 可由式(4)表示。

$$B(x) = 2t = B_m \left(\frac{h}{z_m} \right)^{\frac{1}{n}} = B_m \left(\frac{z}{z_m} - \frac{x}{L} \right)^{\frac{1}{n}} \quad (4)$$

在 x 处断面,其断面面积 $A(x)$ 的计算步骤见公式(5)。

$$\begin{aligned} A(x) &= 2 \int_0^{\frac{B(x)}{2}} h dt - 2 \int_0^{\frac{B(x)}{2}} \eta dt \\ &= \frac{n}{1+n} B_m z_m \left(\frac{z}{z_m} - \frac{x}{L} \right)^{1+\frac{1}{n}} \end{aligned} \quad (5)$$

由图 1 可知,断面面积函数 $A(x)$ 从 0 到 $L(x)$ 沿河长方向的积分,即为相应库容 $V(x)$,也为小型水库及淤地坝概化模型的库容曲线方程,见公式(6)。

$$V(x) = \int_0^{L(x)} A(x) dx = \frac{n^2 L B_m z_m}{(1+n)(1+2n)} \left(\frac{z}{z_m} \right)^{2+\frac{1}{n}} \quad (6)$$

度 1/6~1/10 布设 $k+1$ 个断面,测量断面间的间距。在每一断面布设 $m+1$ 个能控制淤积断面起伏的测点,测量各淤积测点的高程和测点间的水平距离。各断面的平均高程和淤积面的平均高程见公式(7)和(8)。

$$\bar{z}_i = \frac{1}{2B_{ij=1}^m} \sum_{j=1}^m (z_j + z_{j+1}) \Delta B_j \quad (7)$$

$$\bar{z} = \frac{1}{2L} \sum_{i=1}^k (\bar{z}_i + \bar{z}_{i+1}) \Delta L_i \quad (8)$$

式中： \bar{z} ——库区淤积面的平均高程(m)； \bar{z}_i ——第 i 断面的平均淤积高程(m)； z_j ——第 i 断面第 j 测点的淤积高程(m)； ΔL_i ——相邻断面的间距(m)； L ——坝前到淤积末端的长度(m)； ΔB_j ——同断面相邻测点间的水平距离(m)； B_i ——第 i 断面淤积面的宽度(m)。由原始库容曲线查得与 \bar{z} 相应的库容，即为水库泥沙的累积淤积体积^[4-5]。平均淤积高程法仅适用于淤积面比降小于 5% 的泥沙淤积体计算。

3.2 泥沙淤积体规则概化的测算方法

根据水库及淤地坝泥沙淤积体的形状，也可将横断面概化为规则的锥体，从而来计算泥沙淤积体体积^[6]。概化为锥体时计算公式见(9)：

$$V_J = \frac{n^2}{(1+n)(1+2n)} LB_0 d_0 \quad (9)$$

式中： V_J ——锥体体积(m³)； L ——坝前至淤积末端的水平距离(m³)； B_0 ——坝前断面淤积表面宽(m³)； d_0 ——坝前最大淤积深(m³)； n ——淤积体横断面形状指数，横断面分别为三角形、二次抛物线形、矩形和梯形时， n 值相应取 1, 2, ∞ 和 1~ ∞ 间的适当值^[7]。

一般淤积面为水平面时才按锥体考虑，则 $z_m = z_0 = d_0$, $B_m = B_k = B_0$ 。典型的三角形断面(一次型, $n=1$)和抛物线形断面(二次型, $n=2$)的锥体，其公式可简化为式(10)和(11)。

$$V_{JZ} = \frac{1}{6} LB_0 z_0 \quad (10)$$

$$V_{EJ} = \frac{4}{15} LB_0 z_0 \quad (11)$$

当把淤积面概化为平面时，坝前高程 z_0 和淤积末端高程 z_m 的均值为 $\bar{z} = (z_0 + z_m)/2$ ，因而概化的坝前淤积断面高程 z_0 的计算见公式(12)。

$$2\bar{z} - z_m = z_0 \quad (12)$$

当断面宽沿河长不呈直线变化时，采用式(13)计算 B_0 。

$$B_0 = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^k [(B_i + B_{i+1}) \Delta L_i] - B_k \quad (13)$$

式中： B_i ——按平面变化趋势测量的各断面宽(m³)， $i=1 \sim k$ ，为断面编号； L 为坝前到淤积末端的长度(m³)； ΔL_i 为相邻断面的间距(m³)； B_0, B_k (m³) 坝前和淤积末端断面的淤积表面宽(m³)。

4 好水川流域泥沙淤积量估算

本次研究选取流域内具有典型代表性的张银水

库、下老庄水保骨干坝和张家台子水保骨干坝，估算其淤积量，并推求区域的侵蚀模数。

4.1 工程概况

隆德县张银水库地处隆德县好水乡张银村境内，距县城北约 5.5 km，位于葫芦河一级支流好水川上游。张银水库始建于 1976 年，主要功能为防洪、拦泥、灌溉，属小(一)型水库。水库控制流域属半湿润半干旱黄土丘陵沟壑区，流域面积 12.5 km²。2008 年水库除险加固后，加高坝体 1.8 m，坝顶高程 2 171.8 m，坝高 33.8 m，增容 3.61 × 10⁵ m³，总库容 2.49 × 10⁶ m³，兴利库容 7.38 × 10⁵ m³。多年平均径流量 1.38 × 10⁶ m³。张银水库处于六盘山边缘，泥沙主要集中在汛期 6—9 月，其中大部分集中在 7, 8 两月，占全年的 76.8%。

下老庄水保骨干坝位于隆德县好水乡红星村，距县城约 5 km。属葫芦河好水川主沟道，流域内控制面积 3.8 km²，该流域梁茆破碎、沟壑纵横，属典型的黄土丘陵沟壑区。下老庄水保骨干坝建于 2005 年，为碾压式黄土均质坝，由土坝和输水建筑物坝两大件组成。设计总库容 5.54 × 10⁵ m³，防洪库容 3.44 × 10⁵ m³，死库容 2.10 × 10⁵ m³，设计洪水标准 20 年一遇，校核洪水标准 200 年一遇。

张家台子水保骨干坝位于隆德县城杨河乡串河村境内，距县城约 25 km 处。属葫芦河水系好水川河左岸支沟，水库集雨面积 3.52 km²。该区属典型黄土丘陵沟壑区。张家台子水保骨干坝建于 2006 年，为机械压实均质土坝，由土坝和放水建筑物组成。水库总库容 52.1 m³，防洪库容 3.30 × 10⁵ m³，其中拦泥库容 2.01 × 10⁵ m³，设计重现期 20 a，校核重现期 200 a。

4.2 水库及淤地坝淤积量的测算

本文水库及淤地坝淤积量的测算，用以库容曲线为基础的泥沙淤积量测算方法进行计算。然后利用泥沙淤积体规则概化的测算方法对其计算结果进行验证，检验该方法是否适用于好水川流域。

按照选定的淤积测算方法，以控制库区或者坝区地形变化，正确地反映淤积部位为原则，在水库及骨干坝选择泥沙观测断面位置，在选定的每个断面靠近坝边缘较隐蔽处打木桩标识，并同时用 GPS 打点存贮；然后利用充气筏与超声波测深仪配合测量每个泥沙断面上间距大致均匀的若干个点的的水深，每个测点水深测三组数据，取其平均值，并测量断面间的间距；另外，用手持 GPS 调查观测坝水面面积。本文引用的数据是 2010 年 5 月张银水库、下老庄水保骨干坝及张家台子水保骨干坝的泥沙观测的实测数据。

4.2.1 以库容曲线为基础的泥沙淤积量测算 利用超声波测深仪,测定断面水深,通过水位高程确定淤积体顶面高程。根据实测数据,运用公式(7),(8)分别算出各断面平均淤积高程及库区淤积面平均高程。通过查张银水库、下老庄水保骨干坝、张家台子水保骨干坝的库容曲线,得到相应的库容,即为累计淤积体的体积。

张银水库、下老庄水保骨干坝、张家台子水保骨干坝淤积面高程计算见表1。通过2007年张银水库除险加固时的实测数据,其实测淤泥面高程为2 157 m,淤积库容为 $1.01 \times 10^6 \text{ m}^3$,多年平均淤积量 $2.89 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。经过3年的运行,淤泥面高程上升0.66 m,为2 157.66 m。由张银水库库容曲线查得,张银水库2007—2010年累计淤积量 $6.82 \times 10^4 \text{ m}^3$,3 a来平均淤积量为 $2.27 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。按照该骨干坝控制的面积、年淤积量、淤积年限等推求出区域平均侵蚀模数为 $1 967.3 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 。

由下老庄骨干坝库容曲线查得,累计淤积库容为 $3.05 \times 10^4 \text{ m}^3$,运行5 a来平均年淤积量为 $6 100 \text{ m}^3$ 。推求出该区域平均侵蚀模数为 $2 504 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 。

由张家台子骨干坝库容曲线查得,累计淤积库容为 $1.50 \times 10^4 \text{ m}^3$,运行4 a来平均年淤积量为 $3 750 \text{ m}^3$ 。推求出区域平均侵蚀模数为 $1 154 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 。

表1 典型水库及淤地坝淤积面高程计算

库坝名称	断面编号	断面宽 B/m	断面平均淤积高程/m	库坝淤积面平均高程/m
张银水库	1	61.6	2 157.26	2 157.66
	2	115.0	2 157.14	
	3	139.8	2 157.63	
	4	163.0	2 159.12	
下老庄坝	1	82.86	2 067.77	2 068.97
	2	65.31	2 067.87	
	3	50.09	2 069.70	
	4	29.07	2 071.47	
张家台子坝	1	73.79	1 911.57	1 913.40
	2	59.95	1 912.29	
	3	46.32	1 912.93	
	4	32.57	1 913.52	
	5	25.50	1 914.81	

4.2.2 采用淤积体概化的计算方法验证计算结果 本次淤积量测算将淤积体概化为典型的抛物线形断面的锥体,运用公式(11)来计算淤积体的体积,其中 z_0 根据公式(12)求得, B_0 根据公式(13)求得。坝前断面淤积深为水库设计时坝前断面高程与其淤积高

程的差值。通过淤积体概化的方法计算张银水库、下老庄骨干坝、张家台子骨干坝的淤积量(表2)。

表2 典型水库及淤地坝淤积量计算

库坝名称	坝前断面淤积表面宽 B_0/m	坝前断面淤积深 z_0/m	坝前到淤积末端长度 L/m	累计淤积量/ 10^4 m^3
张银水库	71.61	6.26	574.77	6.87
下老庄坝	87.68	2.62	555.49	3.40
张家台子坝	55.11	1.37	817.51	1.65

比较两种方法计算的淤积量,前一种算法的计算结果是比较可靠的。考虑到水库及各淤地坝的地形复杂情况,有些淤地坝用淤积体概化法误差较大,第一种算法更宜于在流域内推广。

5 结论

本文选择具有代表性的张银水库、下老庄水保骨干坝、张家台子水保骨干坝,通过两种不同的概化估算方法计算水库及各骨干坝的淤积量。经比较,以库容曲线为基础的泥沙淤积量测算方法计算的淤积量结果可靠,宜于在流域内推广。另外,所选典型水库及骨干坝所在区域推求的平均侵蚀模数均小于好水川流域多年平均侵蚀模数。其主要原因是流域内近些年的生态工程建设及综合治理,其下垫面条件发生了变化,区域的侵蚀模数也相应的减小。

在宁夏南部山区,由于缺乏实际泥沙观测资料,水文站少,观测设备、条件滞后,要估算当地小型水库及淤地坝的淤积量存在着很多困难。本文所采用的概化估算方法,只需观测概化几何模型中特征要素,便可简便地推求出小型水库及淤地坝的淤积量,在宁夏南部山区可作进一步的验证推广。

[参考文献]

- [1] 孙和平. 小型水库泥沙淤积成因分析及淤积量的初步估算[J]. 地下水, 2005, 27(3): 221-222.
- [2] 赵海瑞. 水文调查指南[M]. 北京: 水利电力出版社, 1991.
- [3] 李秋梅, 张显双, 朴富林. 小型水库多年淤积量测算研究[J]. 中国水土保持, 1999(4): 13-14.
- [4] 张红梅. 水库库容和淤积量测算技术研究[J]. 水利学报, 2002(12): 33-37.
- [5] 杨邦柱. 淤积量测算的相应高程法和面积外延法[J]. 人民黄河, 2003, 25(10): 25-26.
- [6] 杨邦柱. 小水库泥沙淤积量测算方法研究[J]. 水利水电科技进展, 2004, 24(2): 26-28.
- [7] 吴伟, 李援农, 魏小抗. 中小型淤地坝泥沙淤积量计算方法初探[J]. 人民黄河, 2010, 32(6): 80-81.