

小水库泥沙淤积量测算方法研究

杨邦柱

(黄河水利技术职业学院, 河南 开封 475001)

摘要:在建立概化模型的基础上,以库容曲线为基础,推求出测算小水库泥沙淤积量的平均淤积高程法、校正因数法和部分表面面积法;并推求出泥沙淤积体规则概化的锥体公式和拟台体公式等测算小水库泥沙淤积量的简化方法.采用简化方法测算小水库泥沙淤积量简单方便,可大大提高工作效率.

关键词:泥沙淤积测算;淤地坝;小水库;流域治理

中图分类号:TV697.2+2

文献标识码:A

文章编号:1006-7647(2004)02-0026-03

目前,地形法或断面法是大中型水库泥沙淤积量测算的常用方法,而对于小水库及淤地坝,因实测工作量大,多采用一些简化方法测算泥沙淤积量.本文介绍几种测算小水库泥沙淤积的简化方法.

1 建立水库泥沙淤积体概化模型

小水库泥沙淤积体可概化为如图1所示的几何模型^[1].图1中 L 是淤积末端断面至坝前的距离;以坝前零库容为基面时, z_m 是淤积末端河床的高程, z_0 是坝前淤积面的高程, z 是水位; B_m 是某断面与 z_m 相应的顶宽; $L(z)$ 是水位为 z 时原始河床的回水长度,由图1中几何相似关系可知:

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

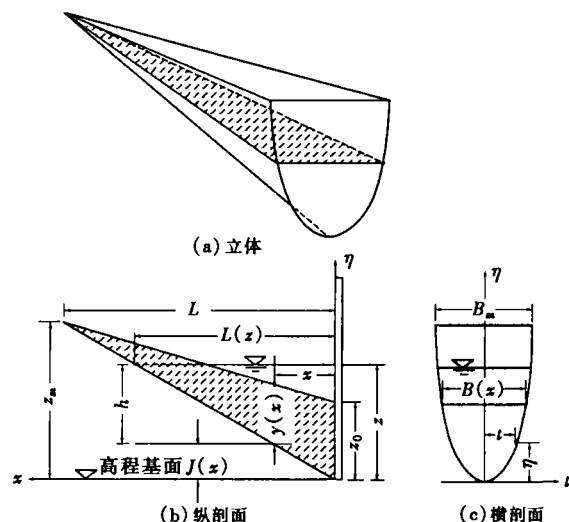


图1 水库泥沙淤积体概化模型

设 t 为横向变量, η 为竖向变量,断面周界用 n 次抛物线描述,抛物线方程为

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

距坝前水平距离 x 处断面,原河床最深河底高程 $J(x)$ 为

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

当库水位为 z 时,在 x 处断面,原河底到水面的最大水深 h 为

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

分别用 h 和 $B(x)$ 代替方程(1)中的 η 和 $2t$,水面宽 $B(x)$ 为

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

在 x 处的断面面积 $A(x)$ 为 $(h - \eta)$ 对宽度 t 的积分,即:

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

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 $V(x)$,即水库概化模型的库容曲线方程为

$$V(x) = \int_0^{L(x)} A(x) dx = \frac{n^2 L B_m z_m}{(1+n)(1+2n)} \left(\frac{z}{z_m} \right)^{2+\frac{1}{n}} \quad (3)$$

式中 z 为高程(水位)变量。

2 以库容曲线为基础的泥沙淤积量测算方法

2.1 平均淤积高程法

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,按相邻间距小于淤积总长度 $1/6 \sim 1/10$ 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^[2].各断面的平均高程和淤积面的平均高程为

$$\bar{z}_i = \frac{1}{2B_i} \sum_{j=1}^m (z_j + z_{j+1}) \Delta B_j \quad (4)$$

$$\bar{z} = \frac{1}{2L} \sum_{i=1}^k (\bar{z}_i + \bar{z}_{i+1}) \Delta L_i \quad (5)$$

式中: $\bar{z}$ 为库区淤积面的平均高程, $m; \bar{z}_i$ 为第 i 断面的平均淤积高程, $m; z_j$ 为第 i 断面第 j 测点的淤积高程, $m; \Delta L_i$ 为相邻断面的间距, $m; L = \sum_{i=1}^k \Delta L_i$ 为坝前到淤积末端的长度, $m; \Delta B_j$ 为同断面相邻测点间的水平距离, $m; B_i = \sum_{j=1}^m \Delta B_j$ 为第 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。

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。

2.2 校正因数法

校正因数法是先按平均淤积高程法求出淤积面平均高程 $\bar{z}$ 和相应淤积库容 V ,然后计算概化的坝前淤积断面相对平均高程 z_0 ,断面形状指数 n 和库容校正因数 K ,最后求得累积淤积体积 $V_{xz} = KV$ 。

2.2.1 计算库容校正因数 K 及累积淤积体积 V_{xz}

用平均高程法测算的平均高程 $\bar{z}$ 代替式(3)中的 z ,则由此推算水库泥沙淤积的体积为

$$V = \frac{n^2 LB_m z_m}{(1+n)(1+2n)} \left(\frac{\bar{z}}{z_m} \right)^{2+\frac{1}{n}} \quad (6)$$

如图 1,由淤积体纵剖面三角形的相似关系,可知 $\frac{\gamma(x)}{z_0} = \frac{L-x}{L}$,从而解出 x 处断面的淤积深为

$$\gamma(x) = \left(1 - \frac{x}{L} \right) z_0$$

用 $\gamma(x)$ 代替式(1)的 η ,解出本断面淤积体的表面宽为

$$B_E(x) = 2t = B_m \left(\frac{\gamma(x)}{z_m} \right)^{\frac{1}{n}} = B_m \left(\frac{z_0}{z_m} \right)^{\frac{1}{n}} \left(1 - \frac{x}{L} \right)^{\frac{1}{n}}$$

因此,淤积体 x 处断面的面积 $A_E(x)$ 为 $(\gamma(x) - \eta)$ 对宽度 t 的积分:

$$A_E(x) = 2 \int_0^{\frac{B_E(x)}{2}} \gamma(x) dt - 2 \int_0^{\frac{B_E(x)}{2}} \eta dt =$$

$$\frac{n}{1+n} B_m z_0 \left(\frac{z_0}{z_m} \right)^{\frac{1}{n}} \left(1 - \frac{x}{L} \right)^{1+\frac{1}{n}} \quad (7)$$

从坝前到淤积末端的总淤积体积 V_{xz} 是 $A_E(x)$ 在 $0 \sim L$ 间的积分,即:

$$V_{xz} = \int_0^L A_E(x) dx = \frac{n^2 LB_m z_0}{(1+n)(1+2n)} \left(\frac{z_0}{z_m} \right)^{\frac{1}{n}} \quad (8)$$

令 V_{xz} 与 V 的比值为 K ,则从式(8)和式(6)可得:

$$K = \frac{z_m}{z_0} \left(\frac{z_0}{\bar{z}} \right)^{2+\frac{1}{n}} \quad (9)$$

从而可得:

$$V_{xz} = KV \quad (10)$$

可见,只有求出 z_0 和 n , V_{xz} 才是可计算的。

2.2.2 坝前概化的淤积高程 z_0 的确定

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 为

$$z_0 = 2\bar{z} - z_m \quad (11)$$

2.2.3 计算断面形状指数 n

实际上,为了提高测算精度, $\bar{z}$ 是用平均淤积高程法推得的,式(11)中的 z_0 也是概化值。

在式(3)中只有 z 是变量, $V(x)$ 是 z 的函数,令

$$\beta = \frac{n^2 LB_m z_m}{(1+n)(1+2n)} \left(\frac{1}{z_m} \right)^{2+\frac{1}{n}}$$

则式(3)可改写为

$$V(x) = \beta z^{2+\frac{1}{n}} \quad (12)$$

两边取对数,有

$$\lg V(x) = \lg \beta + \left(2 + \frac{1}{n} \right) \lg z$$

可见 $\lg V(x)$ 和 $\lg z$ 是线性关系,其斜率为 $m = \frac{\Delta \lg V}{\Delta \lg z}$

$= 2 + \frac{1}{n}$,故计算断面的形状系数为

$$n = \frac{1}{m - 2}$$

在式(9)中,若 $z_m = z_0 = \bar{z}$,则 $K = 1$, V_{xz} 即为平均淤积高程法的库容淤积量. z_m 接近 z_0 表明淤积面坡降小,才可以不经修正直接应用平均淤积高程法,或者说,平均淤积高程法的应用是受淤积面坡降限制的。

3 泥沙淤积体规则概化的测算方法

根据水库泥沙淤积体的形状,通常将横断面概化为规则的锥体或拟台(楔)体,然后测算特征要素,计算泥沙淤积体体积^[3]。

3.1 锥体公式

概化为锥体时计算公式为

$$V_J = \frac{n^2}{(1+n)(1+2n)}LB_0d_0 \quad (13)$$

式中： V_J 为锥体体积， m^3 ； L 为坝前至淤积末端的水平距离， m ； B_0 为坝前断面淤积表面宽， m ； d_0 为坝前最大淤积深， m ； n 为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。

当断面宽沿河长不呈直线变化时，采用式 (14) 计算 B_0 ：

$$B_0 = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^k [(B_i + B_{i+1})\Delta L_i] - B_k \quad (14)$$

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

由图 1 可知，概化的淤积体就是锥体，因此如式 (8) 推导的淤积体公式也就是锥体公式。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

$$V_{JZ} = \frac{1}{6}LB_0z_0 \quad (15)$$

$$V_{EJ} = \frac{4}{15}LB_0z_0 \quad (16)$$

将式 (14) 改写为 $\frac{B_0 + B_k}{2}L = \sum_{i=1}^k \left[\frac{B_i + B_{i+1}}{2} \Delta L_i \right]$ ，可见等式左边是把淤积平面在总体上概化为梯形时的面积，右边是把淤积平面分成许多梯形时的面积和，从而推出 B_0 的表达式。

3.2 拟台(楔)体公式

拟台(楔)体是等底等高柱体体积的一半，如果用坝前断面淤积体上、下底宽 B_0 、 b_0 及淤积面末端表面宽 B_k 三者的均值近似作柱体底面的宽，坝前淤积深 $d_0(z_0)$ 作柱体底面的长，淤积距离 L 作柱体的高，则拟台(楔)体的体积为

$$V_Q = \frac{1}{2} \left[\frac{1}{3} (B_0 + b_0 + B_k) L d_0 \right] = \frac{1}{6} (B_0 + b_0 + B_k) L d_0 \quad (17)$$

式中： V_Q 为拟台体体积， m^3 ； b_0 为坝前断面淤积底部宽， m ； L 、 D_0 、 B_0 、 B_k 意义同前。

4 部分表面面积法

沿淤积表面纵轴，按变化形态将泥沙淤积体表面

分成 m 个平行区片，各区片面积 a_i ，对应各片重心的淤积深为 z_i 。由图 1 可见，各点的淤积深 z_i 与该点到淤积末端距离 l_i 成比例，即有 $z_i/z_0 = l_i/L$ ，可得：

$$z_i = \frac{l_i}{L}d_0$$

式中： d_0 为坝前淤积深， m ； L 为淤积距离， m 。当淤积体横断面为矩形时，淤积体为拟台(楔)体，从淤积体表面按有限元分片近似计算的各部分体积和总体

积分别为 $\Delta V_i = z_i a_i$ 和 $\sum_{i=1}^m z_i a_i = \frac{d_0}{L} \sum_{i=1}^m l_i a_i$ 。实际上断面不是矩形时应修正，仿照式 (2) 或式 (7)，取 $\frac{n}{1+n}$ 作断面形状修正系数，从而将淤积体体积表达为

$$V_{BM} = \frac{n}{1+n} \cdot \frac{d_0}{L} \sum_{i=1}^m l_i a_i \quad (18)$$

式中： V_{BM} 为淤积体体积， m^3 ； m 为平行分割的淤积表面区块数； n 为淤积体横断面形状指数，横断面分别为三角形、2 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。

5 结 语

小水库及淤地坝，采用简化方法测算泥沙淤积量，简单方便，可大大提高工作效率。当小水库及淤地坝现存原始库容曲线时，可选用校正因数法和平均淤积高程法。如无原始库容曲线，可采用概化公式法和部分表面积法。库容曲线高程值以零库容高程为起算基面，实际工作中可以坝脚为相对高程零点。经实践，平均淤积高程法适用于淤积面比降小于 5% 的泥沙淤积体计算，其断面与测点的布设及数量可根据实际情况而定，在淤积面较平整时可均匀布点，用算术平均法计算平均高程。

参考文献：

[1] 赵海瑞. 水文调查指南[M]. 北京: 水利电力出版社, 1991.
[2] 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.
[3] 徐高洪. 长江干流宜昌至沙市河段地形法槽蓄量分析研究[J]. 水文, 2001(6): 14 ~ 17.

(收稿日期: 2003-05-04 编辑: 熊水斌)

