

乌拉泊水库淤积计算

张润杰

(新疆天山源水管理经营有限公司乌鲁木齐河管理处 新疆 乌鲁木齐 830000)

摘要 :介绍新疆乌拉泊水库的概况 ,该水库已经运行了 47 a ,主要淤积为悬移质 ,到目前为止淤积量为 1 456.5 万 m³。为了掌握该水库的有效库容情况 ,更好地为乌鲁木齐市生活供水 ,综述了常用的水库淤积计算方法 ,对乌拉泊水库的淤积计算进行研究 ,通过淤积计算 ,确定水库的寿命或使用年限 ,并提出乌拉泊水库淤积处理措施 ,以便水库发挥更大的效益。

关键词 :乌拉泊水库 ;淤积计算 ;淤积处理措施

中图分类号 :TV697.3⁺1 **文献标识码** :B **文章编号** :1006-764X(2009)S1-0085-03

1 乌拉泊水库淤积情况

乌拉泊水库位于乌鲁木齐市南郊 10 km 处 ,是一座拦河中型水库 ,设计库容为 7 000 万 m³ ,坝体结构为土石坝 ,目前已运行了 47 a ,肩负着乌鲁木齐市防洪、灌溉、城市生活、工业和绿化用水的任务。

乌拉泊水库投入运行以来 ,分别于 1972 年、1997 年、2003 年对水库库区进行了 1:5 000 地形图测量。根据 1956 年水库工程勘察报告 ,水库 1956 ~ 1972 年 1 069.4 m(原设计死水位)及 1 087.7 m(设计水位)高程以下淤积量分别为 92.34 万 m³ 和 501 万 m³ ,这与乌拉泊水库的运行条件所产生的淤积必然性及规律是一致的 ,乌拉泊水库建设初期 ,下游供水水质及供水要求暂时不高 ,冲淤条件充分 ,1 069.4 m 高程以下淤积量每年为 5.77 万 m³ ,主要淤积量在较高的高程上 ,16 a 间年平均淤积量 31.3 万 m³ ,采用 1972 年、2003 年测量绘制的库容曲线 ,以及 1 069.4 m(1959 年库容 500 万 m³)、1 087.7 m(1959 年库容 7 000 万 m³)的特征值推算 1959 年库容和淤积^[1]。

根据 1972 年实测 ,乌拉泊水库 1959 ~ 1972 年 13 a 中正常蓄水位 1 082.4 m 以下的总淤积量为 467.57 万 m³ ,其中在死水位(放水涵洞底板高程 1 068.4 m)以上到正常蓄水位(1 082.4 m)以下淤积 388.82 万 m³ ,淤积在兴利库容内 ,占原有兴利库容 6 500 万 m³ 的 5.96% ,平均每年损失兴利库容 0.46%^[1]。

1997 年 8 月乌鲁木齐河管理处委托新疆农业大学水利分院对乌拉泊水库进行淤积测量 ,实测出 1:5 000 库区地形图 ,从地形图上看 ,淤积主要分部在西坝区 ,放水涵洞前淤积高程为 1 070 ~ 1 077 m ,延至副坝上游 ,淤积高程为 1 076 ~ 1 077 m。根据 1972 年和 2003 年实测的乌拉泊水库地形图量算的库容曲线对比 ,1972 ~ 2003 年的 31 a 中正常蓄水位 1 082.4 m 以下总淤积量约 612.6 万 m³ ,其中在死水位(放水涵洞底板高程 1 068.4 m)以上到正常蓄水位(1 082.4 m)以下淤积 349.34 万 m³ ,淤在兴利库容内 ,占尚有兴利库容(6 111.18 万 m³)的 5.72% ,31 a 中平均每年损失兴利库容 0.184%^[1]。

根据 2003 年实测乌拉泊水库地形图量算的库容曲线对比 ,以及 1959 年的库容特性推算 1959 ~ 2003 年的 44 a 中正常蓄水位 1 082.4 m 以下总淤积量约为 1 080.17 万 m³ ,其中在死水位(放水涵洞底板高程 1 068.4 m)以上到正常蓄水位(1 082.4 m)以下淤积 738.16 万 m³ 淤积在兴利库容内 ,占原兴利库容(6 500 万 m³)的 11.35% ,44 a 中平均每年损失兴利库容 0.26%^[1]。

1997 年在进行乌拉泊水库二期除险加固工程设计中 ,根据乌拉泊水文站 1955 ~ 1958 年实测资料 ,点绘出日平均流量与悬移质日平均输沙率关系曲线 ,推算水库来沙量 31.3 万 t ,其中推移质占 9.7% ,6 ~ 8 月 3 个月来沙占总量的 97.4% ,最大含沙质量浓度为日平均 19.5 kg/m³ ,月平均

作者简介 张润杰(1961—) ,男 ,新疆乌鲁木齐人 ,高级工程师 ,硕士研究生 ,从事水利管理自动化、大坝监测自动化、水资源管理和调度工作。E-mail :xjwhglch@126.com

7.09 kg/m³ ,年平均 2.2 kg/m³ ,库盘淤积物主要是冲泻质 ,泥沙粒径占库盘淤积物的 70% 左右 ,1976 年实测干密度为 1.01 ~ 1.31 t/m³。按照以上基本参数进行推算 ,到 2008 年乌拉泊水库运行 47 a 中总淤积量约为 1456.5 万 m³ [1]。

乌拉泊水库淤积质主要为 卵砾石层 ,主要分布在水库进水口 ,粉细砂层 ,局部夹粉土层 ,主要分布在水下洪积倾斜平台“ 后缘及前缘 ” ,呈“ U ”字形分布 ,分土层主要分布在水下洪积倾斜平台的中部 [1]。

笔者根据现有的乌拉泊水库淤积情况 ,寻找适合水库淤积计算的方法 ,确定水库的寿命或使用年限。

2 常用水库淤积计算方法

2.1 水流泥沙运动方程式的计算方法 [2]

2.1.1 淤积计算基本方程式

假定输沙平衡 ,其基本方程式为

$$J = \frac{Q^2}{K^2} + \frac{u \partial u}{g \partial x} + \frac{\partial u}{g \partial t} + \frac{(\rho_s - \rho) h \partial s_v}{2 \rho_h \partial x} - \frac{[m \rho_s + (1 - m) \rho] u \partial y}{g h \rho_h \partial t} \tag{1}$$

式中 :J 为比降 ;K 为河床抗冲强度系数 ;Q 为流量 ;u 为流速 ;g 为重力加速度 ;t 为时间 ;ρ_s ,ρ 为泥沙及水的密度 ;h 为水深 ;ρ_h 为浑水密度 ,ρ_h = s_v ρ_s + (1 + s_v) ρ ;s_v 为含沙量(体积比) ;Q²/K² 为水头损失项 ,Q²/K² = u²/(c² h) ;c 为糙率系数 ;x 为自河床到某一点的水平位置 ;y 为自河床到某一点的垂直位置。

用式(1)进行水库淤积计算 ,在数学上还存在困难 ,在实际计算中 ,不得不引入一些假设条件 ,对方程式进行简化 ,应用近似积分的方法进行计算。

2.1.2 有限差分法计算公式

利用有限差分法进行水库淤积计算 ,须作假定 :

- ① 将不恒定流作为恒定流处理 ,把实际流量过程线改为若干个不同流量级组成的梯级过程线。
- ② 忽略式(1)中右边第 3 ~ 5 项。
- ③ 假定水库在冲淤过程中水位不发生变化 ,在具体计算中要限制每个时段内的冲淤量不能太大。
- ④ 不考虑水体中含沙量因时变化。计算时应改写成有限差的形式 :

$$J = \frac{Q^2 n^2}{B^2 H^{10/3}} + \left(\frac{Q^2}{B_2^2 H_2^2} - \frac{Q^2}{B_1^2 H_1^2} \right) \tag{2}$$

$$(G_1 - G_2) \Delta t = \rho' \Delta x B \Delta y \tag{3}$$

式中 :角标 1 和 2 分别为上、下断面 ;Δ 为有限差 ;G 为断面输沙率 ,kg/s ;ρ' 为河床沙干密度 ,kg/m³ ;B 为水面宽 ,m ;H 为平均水深 ,m ;其余符号意义同前。

2.1.3 水库淤积平衡比降计算法

水库淤积平衡比降的计算法 ,一般假定为均匀

水流 ,应用阻力公式、挟沙能力公式、河相关关系式等进行联解 ,求得淤积平衡比降与流量、含沙量、糙率等关系 ,用实测资料分析求得经验公式。

2.1.4 不平衡输沙淤积算法

在有限差分法中 ,假定各断面的实有含沙量与水流的挟沙能力相等。但这是不符合实际情况的 ,其忽略了悬移质在冲淤过程中含沙量在沿程的逐渐变化。悬移质级配和河床质级配都要同时进行相应的调整 ,在一定程度上又影响含沙量的变化。长江水利水电科研所曾提出含沙量、悬移质级配和河床质级配三者的沿程变化计算公式 ,公式比较复杂 ,本文不再赘述。

2.2 水库淤积经验公式计算方法 [2]

2.2.1 水库纵向淤积形态判别式

陕西省水利科研所等单位统计了 30 个多沙河流水库的实测资料 ,提出纵向淤积形态的经验判别式为

$$K = V \times 10^{-3} / J_0 W_s \tag{4}$$

式中 :K 为淤积判别系数 ,K < 2.2 表示锥体淤积 ,K > 2.2 表示三角洲或带状淤积 ;V 为时段平均库容 ,m³ ;J₀ 为原河床比降 ,‰ ;W_s 为时段平均入库沙量 ,m³。

武汉水利电力学院分析少沙河流 8 个水库的资料 ,提出判别式为

$$\phi = \frac{H \left(\frac{W_s}{W} \right)^{1/2}}{\Delta H} \tag{5}$$

式中 :φ 为判别系数 ,φ > 0.04 表示三角洲淤积 ,φ < 0.04 表示带状淤积 ;H 为历年平均最大坝前水深 ,m ;W_s 为多年平均入库的悬移质输沙量 ,亿 m³ ;W 为多年平均入库径流量 ,亿 m³ ;ΔH 为历年平均最大库水位变幅 ,m。

2.2.2 水库淤积三角洲顶坡和尾部段比降

黄河水利委员会水利科学研究所提出多沙河流尾部段与原河床比降的比值为

$$J_{尾} = 0.68 J_0 \tag{6}$$

该式的适用范围如下 :J_尾 = 0.12% ~ 11% ,J₀ = 0.17% ~ 16.7%。

对于既有悬沙 ,又有底沙 ,尾部段淤积常由悬移质和推移质混杂形成 ,河床质介于原河道和顶坡段淤积物之间的情况 ,其比降为

$$J_{尾} = \frac{J_{顶} + J_0}{2} \tag{7}$$

2.2.3 水库淤积前坡段比降

前坡段比降远较顶坡段比降为陡 ,如无异重流 ,前坡段比降主要由泥沙自由落淤形成。有异重流时 ,前坡段比降将更为平缓。清华大学水利系等单位分

析了我国 10 个水库的实测资料 提出如下关系式:

$$\frac{J_{\text{前}}}{J_{\text{顶}}} = \frac{(11.4 \sim 13.9)J_{\text{顶}}}{J_0} \quad (8)$$

2.3 研究水库运用与库容问题得到的经验公式计算方法^[3]

2.3.1 多年平均库容淤损率法

多年平均库容淤损率法是通过多年平均库容淤损率 α_V 来确定水库的淤积量 其计算公式如下:

$$W_T = \alpha_V VT \quad (9)$$

式中: W_T 为水库蓄水 T 年的总淤积量; V 为水库的总库容; T 为水库的蓄水年数。

根据我国若干已建成的水库资料分析, α_V 采用以下各式加以确定:

当 $V/W_{\text{平}} = 0.08$ 左右时:

$$\alpha_V = 0.6 \left(\frac{W_{S\lambda}}{V} \right)^{0.96} \quad (10)$$

当 $V/W_{\text{平}} < 0.03$ 时:

$$\alpha_V = 0.4 \left(\frac{W_{S\lambda}}{V} \right)^{0.90} \quad (11)$$

当 $V/W_{\text{平}} > 0.5$ 或无底孔排沙时:

$$\alpha_V = \frac{W_{S\lambda}}{V} \quad (12)$$

式中: $W_{\text{平}}$ 为水库多年平均年来水量, 相当于多年平均径流量; $W_{S\lambda}$ 为水库多年平均年来沙量。

此外, 根据国内 25 个水库长期蓄水淤积资料, α_V 也可由下面经验公式确定:

$$\alpha_V = 0.0002 G^{0.95} \left(\frac{V}{F} \right)^{-0.8} \quad (13)$$

式中: G 为流域年平均侵蚀模数, t/km^2 ; F 为水库的控制面积, km^2 。

2.3.2 多年平均排沙比法

水库多年平均排沙比 η 表示多年平均出库沙量与多年平均入库沙量的比值, 即

$$\eta = \frac{W_{S\text{出}}}{W_{S\lambda}} \quad (14)$$

显而易见, 水库的拦沙率为 $1 - \eta$, 此值与 $V/W_{\text{平}}$ 有关。可根据我国与美国资料绘出的 $(1 - \eta) \sim V/W_{\text{平}}$ 关系^[3] 参考计算。

2.3.3 水库淤积过程粗估值法

水库淤积过程粗估值法特别适用于锥形淤积体, 也较适用于带状淤积体, 因此用于中小型水库的淤积计算具有一定的精度。水库淤积过程粗估法的计算公式见文献^[3]。

3 乌拉泊水库淤积计算经验公式

乌拉泊水库已经运行了 47 a, 淤积测量经过了 3 次测算, 利用实测资料进行经验性分析, 提出经验

关系式, 供计算水库淤积用。通过水库淤积计算方法的分析, 结合淤积实测资料, 认为乌拉泊水库淤积计算适合选择“研究水库运用与库容问题得到的经验公式计算方法”来确定其寿命或使用年限。乌拉泊水库因有防洪任务, 其淤积年限一般采用 100 年或更多, 但其水库有保护乌鲁木齐市的任务, 其淤积年限应更长。

3.1 乌拉泊水库淤积计算参数的确定

乌拉泊水库修建在乌鲁木齐河上, 其控制面积 $F = 2596 km^2$, 总库容 $V = 7000$ 万 m^3 , 死库容 $V_{\text{死}} = 360$ 万 m^3 , 多年平均径流量 $W_{\text{平}} = 22600$ 万 m^3 , 泥沙密度 $\rho_s = 1.01 \sim 1.31 t/m^3$ (取平均为 $1.16 t/m^3$), 水库多年平均来沙量 $W_{S\lambda} = 26.98$ 万 m^3 。

3.2 利用多年平均库容淤损率法确定水库的使用年限

a. 确定 α_V 值, 因为 $V/W_{\text{平}} = 0.31$, 接近于 $V/W_{\text{平}} = 0.08$, 故采用式(10)计算 α_V 值, 即 $\alpha_V = 0.0029$ 。

b. 计算水库使用年限。当以水库死库容淤满年限作为水库使用年限时, 根据式(9)可得出水库的使用年限 $T \approx 17.73$ a; 当以水库总库容淤满年限作为水库使用年限时, 根据式(9)可得出水库的使用年限 $T \approx 344.8$ a。

3.3 利用多年平均排沙比法确定水库的使用年限

a. 计算 $V/W_{\text{平}}$ 值, 第 3.2 节中已算出 $V/W_{\text{平}} = 0.31$;

b. 确定拦沙率 $(1 - \eta)$, 由 $V/W_{\text{平}} = 0.31$ 查《水利工实用水文水利计算》图 7-4 得 $1 - \eta \approx 96\%$;

c. 确定多年平均年淤积量 $W_{\text{年}} = (1 - \eta)W_{S\lambda} = 25.9$ 万 m^3 。

d. 计算水库使用年限: 将水库死库容淤满年限作为水库使用年限时, $T = V_{\text{死}}/W_{\text{年}} \approx 13.9$ a; 将水库总库容淤满年限作为水库使用年限时, $T = V/W_{\text{年}} \approx 270.3$ a。

3.4 利用水库淤积过程粗估法确定水库的使用年限

a. 确定 A_1 值: 乌拉泊水库防洪设计标准为千年一遇 ($P = 0.1\%$), 设计洪峰流量 $Q_{P=0.1\%} = 1180 m^3/s$ ($3/4$) $Q_{P=0.1\%} = 885 m^3/s$, 因为乌拉泊水库缺少坝址断面处水位 ~ 流量关系曲线和水位 ~ 面积关系曲线, 所以根据坝址综合地质图测算: 设计洪峰流量时的库水位为 1086.1 m, 其坝址断面面积为 $9681.36 m^2$, 可以推算出 $(3/4)Q_{P=0.1\%} = 885 m^3/s$ 时坝址断面面积为 $A_1 = 7201.02 m^2$ 。

b. 确定 A_2 值: 乌拉泊水库正常蓄水位为 1082.4 m, 以此水位根据坝址综合地质图测算得 $A_2 = 11126.92 m^2$ 。

(下转第 93 页)

参考文献：

[1]何永涛,闵庆文,李文华.植被生态需水研究进展及展望[J].资源科学,2005,27(4):8-12.

[2]栗晓玲,康绍忠.生态需水的概念及其计算方法[J].水科学进展,2003,14(6):740-744.

[3]贾宝全,慈龙骏.新疆生态用水量的初步估算[J].生态学报,2000,20(2):243-250.

[4]张远,杨志峰.黄淮海地区林地最小生态需水量研究[J].水土保持学报,2002,16(2):72-75.

[5]冯宝平,张展羽,陈守伦.生态环境需水量计算方法研究现状[J].水利水电科技进展,2004,24(6):59-62.

[6]杨志峰,崔保山.生态环境需水量理论、方法与实践[M].北京:科学出版社,2003.

[7]王芳,王浩,陈敏建,等.中国西北地区生态需水研究(2)——基于遥感和地理信息系统技术的区域生态需水计算及分析[J].自然资源学报,2002,17(2):129-137.

[8]胡广录,赵文智.干旱半干旱区植被生态需水量计算方法评述[J].生态学报,2008,28(12):6282-6291.

[9]卞戈亚,周明耀,朱春龙.生态需水量计算方法研究现状及展望[J].水资源保护,2003,19(6):46-49.

[10]吴大千.黄河三角洲植被覆被分布特征及其动态变化研究[D].济南:山东大学,2007.

[11]李春梅,高素华.我国北方半干旱区草地水分供需状况研究[J].干旱区研究,2004,21(4):338-342.

[12]刘钰,PEREIRA L S.气象数据缺失条件下参照腾发量的计算方法[J].水利学报,2001(3):12-17.

[13]张长春,王晓燕,邵景力.利用 NOAA 数据估算黄河三角洲区域蒸散量[J].资源科学,2005,27(1):86-91.

[14]张长春,王光谦,魏加华.基于遥感方法的黄河三角洲生态需水量研究[J].水土保持学报,2005(2):149-152.

[15]奚歌,刘绍民,贾立.黄河三角洲湿地蒸散量与典型植被的生态需水量[J].生态学报,2008,28(11):5355-5358.

(收稿日期:2008-12-09 编辑:高建群)

(上接第 87 页)

- c. 确定 n 值:该水库坝址以上河流比降为 $i = 1.64\%$ 取 $n = 0.5$.
- d. 确定 R_p 值:取 $R_p = 26.98$ 万 m^3 .
- e. 确定 W_1 值:根据文献[3]公式可得 $W_1 = 5.184$ 万 m^3 .
- f. 确定 W_k 值:根据文献[3]公式可得 $W_k = 3611.9$ 万 m^3 .
- g. 计算水库使用年限:将水库死库容淤满年限作为水库使用年限,根据文献[3]公式可得 $T \approx 69.44$ a.

水库达到极限淤积时的使用年限,同样也可根据文献[3]公式得出 $T \approx 696.74$ a.

3.5 乌拉泊水库淤积计算公式的确定

经过上述计算,结合乌拉泊水库多年实际淤积的测算对比,多年平均库容淤损率法比较适合乌拉泊水库淤积计算。理由如下:①乌拉泊水库淤积经过实测,多年平均来沙量为 31.3 万 t,即为 23.89 万 m^3 ($\rho = 1.31 t/m^3$) 运行 47 a 总淤积量约为 1122.98 万 m^3 ,而利用多年平均库容淤损率法得 $W_T = 954.1$ 万 m^3 ,两者比较接近;②用多年平均库容淤损率法算得乌拉泊水库使用年限为 344.8 a,根据实测资料得 47 a 水库淤积总量为 1131.76 万 m^3 ,344.8 a 相当于 7.3 个 47 a,淤积满年限的总淤积量约为 8261.85 万 m^3 ,而利用多年平均库容淤损法得 $W_T = 6999.44$ 万 m^3 ,两者比较接近;③乌拉泊水库具有防洪任务,并且主要保护对象是乌鲁木齐市,淤积年限更长一些比较好;④其他方法各有优点,但不适合乌拉泊水库。

4 乌拉泊水库淤积处理措施

对乌拉泊水库淤积计算进行研究,主要是掌握其淤积年限或使用年限,以便更好地发挥乌拉泊水库的工程效益。就目前水库的淤积情况提出以下处理措施:

- a. 尽可能减少水库入库的泥沙。①对乌拉泊水库周围进行水土保持;②水库上游河道拦沙;③在水库上游 29 km 排洪口排泄高含沙量的径流。
- b. 尽可能减少乌拉泊水库的淤积。①在主汛期利用洪水将挟带泥沙的洪水排出水库;②水库异重流排沙。
- c. 乌拉泊水库清淤。采用疏浚或机械方式排沙清淤,此工程正在施工中,计划用 3.5 a 的时间完成。

参考文献：

[1]张润杰.乌拉泊水库淤积现状及存在问题与解决途径[J].水利建设与管理,2009(2):54-55.

[2]华东水利学院.水工设计手册第二卷 地质 水文 建筑材料[M].北京:水利电力出版社,1984:136-138.

[3]长江流域规划办公室水文处.水利工程实用水文水利计算[M].北京:水利出版社,1980:257-260.

(收稿日期:2009-03-17 编辑:高建群)

