

水库纵向淤积形态分类研究

赵克玉<sup>1,2</sup>, 王小艳<sup>1</sup>

( 1. 西北农林科技大学, 陕西 杨陵 712100; 2. 西安理工大学, 西安 710048)

摘 要: 我国江河泥沙含量大小不一, 北方河流含沙量大, 尤其是西北地区含沙量很高, 南方地区江河含沙量一般较小。河流上修建的水库都要淤积, 但根据水库所处地理位置及所处流域的自然条件的不同、水库运用方式不同, 其淤积纵剖面不同。对我国水库淤积纵剖面形态分类研究状况和成果进行了全面的综述。内容包括公式的形式、公式采用的资料范围、公式的判别标准及对每个公式的简单评价。

关键词: 淤积形态; 淤积纵剖面; 水库淤积

中图分类号: P343. 3 文献标识码: A 文章编号: 1005-3409(2005)01-0186-03

On Classifying of Deposition Feature in Profile of Reservoirs

ZHAO Ke-yu<sup>1,2</sup>, WANG Xiao-yan<sup>1</sup>

( 1. Northwest Sci-tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. Xi'an Technology University, Xi'an 710048, China)

**Abstract:** In China, sediment content in rivers is different. Sediment concentration is high in the north, and is much more great in the northwest especially. It is lower in the south. Each reservoir is deposited. The deposition features in profile are different. That is caused by geographical position of the project, natural condition of the river basin, operation way of the reservoir, and etc. Researches in classification of deposition feature in profile is dealt with.

**Key words:** deposition feature; deposition profile; reservoir deposition

水库纵向淤积形态是指水库沿库长方向淤积的剖面形态。它不仅反映了水库淤积分布, 而且淤积体又引起含沙水流的再调整及再淤积。水库的淤积形态对新设计的水库来说, 是人们在水库设计时, 根据水库的设计指标及水库所处位置的自然条件, 基本的有水库来水来沙, 河道比降等据依判断水库纵向淤积形状, 研究淤积规律, 预报淤积发展过程, 从而制定水库运用方式, 为水库的建成管理作准备; 对已建成的水库而言, 纵向淤积形态影响着水库有效库容, 影响水库淤积上延, 直接影响水库效益的发挥。因此, 水库纵向淤积形态计算, 具有更大的实用价值。

1 水库纵向淤积形态的判别

水库纵向淤积形态其外形是比较复杂的, 但可概括为 3 种典型的类型即三角洲、锥体和带状淤积体。影响水库淤积形态的主要因素有: 水库运用方式、水库地形特点、进库水沙条件(包括来水量、来沙量及来沙颗粒的粗细)、水库的泄流规模和泄流方式、库容的大小、库区支流的汇入。

1977 年至今 20 多年内, 人们围绕水库淤积因素和公认

的 3 种淤积体进行水库淤积形态计算。由早期的经验判别式, 逐步发展用数学计算公式进行预报, 希望预报的精度得以提高。现对各家公式分述如下:

(1) 1977 年 9 月长江水利水电科学院罗敏逊<sup>[1]</sup>在“水库淤积三角洲及其计算方法”提出如下判别式:

$$K = \frac{G_s}{V r_s^{1/3}} \Delta h$$

当: 0.77 < K < 1.75, 为三角洲淤积; 1.1 < K < 3.94, 为带状淤积; 4.38 < K < 5.3, 为锥体淤积。

式中:  $G_s$ ——年来沙量, t;  $V$ ——库容,  $m^3$ ;  $r_s$ ——泥沙干容重;  $\Delta h$ ——坝前水位变幅, m。

该判别式虽给出了三个淤积体的判别数据范围。但 K 在 1.1 ~ 1.75 间三角洲淤积与带状淤积重叠, 此区间淤积体到底属于那种类型没有说明, 另外, K 在数轴上不连续也是该判别式的不足之处。

(2) 西北水科所、清华大学 1979 年出版的《水库泥沙》<sup>[2]</sup>书中给出(统计了 30 多个多沙河流水库的实测资料) 如下经验判别式:

① 收稿日期: 2004-11-04  
作者简介: 赵克玉(1963- ), 男, 副研究员, 在职博士生, 从事水力学及河流动力学研究。

第一种形式为:

$$K = \frac{V \times 10^{-4}}{W_s J_0}$$

当  $K < 2.2$ , 为锥体淤积;  $K > 2.2$ , 为三角洲淤积或带状淤积。

式中:  $V$ ——时段平均库容,  $\text{m}^3$ ;  $W_s$ ——时段平均入库沙量,  $\text{m}^3$ ;  $J_0$ ——库区原始河床纵比降。该式所依据的资料范围较广, 但未考虑水库运用这一重要因素, 并且未区分三角洲淤积和带状淤积, 这是不足之处。

第二种形式为:  $K = V/W$  当  $K < 0.3$ , 为锥体淤积;  $K > 0.3$ , 为三角洲淤积。

式中:  $V$ ——库容,  $\text{m}^3$ 。如对一场洪水来说, 相当于这场洪水中的最大库容, 如对一个较长时期而言, 则用汛期平均库水位以下的库容;  $W$ ——入库水量,  $\text{m}^3$ 。如对一场洪水而言, 相当于这场洪水的洪量, 如对一个较长时期而言, 则用汛期平均来水量。该式所考虑影响因素较少, 并且不包括带状淤积, 这是该式不足之处。

(3) 水电部第十一工程局勘测设计院<sup>[3]</sup>在“中大型水库泥沙冲淤计算方法”文章中提出[分析了 7 座水库实测资料(9 个资料), 其中 5 座为多沙河流水库]如下经验判别式:

$$K_1 = \frac{SV}{Q} \quad K_2 = \frac{\Delta h}{H}$$

当  $K_1 > 1, K_2 < 0.1$ , 为三角洲淤积;  $0.25 < K_1 < 1, 0.1 < K_2 < 1$ , 为带状淤积;  $K_1 < 0.25, K_2 > 1$ , 为锥体淤积。

式中:  $Q$ ——汛期平均流量,  $\text{m}^3/\text{s}$ ;  $S$ ——汛期平均含沙量,  $\text{kg}/\text{m}^3$ ;  $V$ ——时段平均库容, 亿  $\text{m}^3$ ;  $H$ ——坝前平均水深,  $\text{m}$ ;  $\Delta h$ ——库水位变幅,  $\text{m}$ 。

该式反映了影响水库纵向淤积形态的主要因素, 即库水位的变化条件  $\Delta h/H$  及入库水沙条件  $SV/Q$ , 但所依据的资料不够广泛,  $K_1 = 0.25$  或 1 时无法判断淤积体形态。  $K_1$  并且  $K_1$  式存在量纲不平衡问题。

(4) 黄委会水科所焦恩泽<sup>[4]</sup>在“水库淤积形态的商榷”中提出[分析了 3 座水库实测资料(5 个资料)]如下判别式:

$$K_1 = V/G_s \quad K_2 = \Delta h/H_0$$

当  $K_1 > 2.0, K_2 < 0.15$ , 为三角洲淤积;  $K_1 < 2.0, K_2 > 0.15$ , 为锥体淤积。

式中:  $V$ ——库容,  $\text{m}^3$ ;  $G_s$ ——年来沙量,  $\text{t}$ ;  $\Delta h$ ——坝前水位变幅,  $\text{m}$ ;  $H_0$ ——坝前平均水深,  $\text{m}$ 。

该式未包括带状淤积形态, 所采用的资料太少, 这是该式不足之处。

(5) 陈文彪、谢葆铃<sup>[5]</sup>在 1980 年武汉水利电力学院学报第 1 期《少沙河流水库的冲淤计算方法》一文中, 分析了 8 座少沙河流水库的实测资料, 以  $\Delta h/H$  表示对纵向淤积形态起主要作用的水库运用方式的影响, 以  $W_s/W$  表示入库水沙条件的影响, 得出如下经验判别式:

$$\varphi = \frac{H}{\Delta h} - \frac{W_s}{W}$$

当  $\varphi > 0.04$ , 为三角洲淤积;  $\varphi < 0.04$ , 为带状淤积。

式中:  $\varphi$ ——水库纵向淤积形态无因次判别数;  $H$ ——水库历年平均坝前水深,  $\text{m}$ ;  $\Delta h$ ——水库历年平均水位变幅,  $\text{m}$ ;  $W_s$ ——多年平均入库悬移质输沙量, 亿  $\text{m}^3$ ;  $W$ ——多年平均入库径流量, 亿  $\text{m}^3$ 。

上式未包括锥体淤积形态, 所采用的资料为少沙河流的水库资料, 资料范围不够广泛。

(6) 山东省水文总站<sup>[6]</sup>分析了该省 15 座水库资料, 提出以下判别式:

$$C_x = D_{50}^* (V/W) / [(A/L^2)J(\Delta H/H)]$$

当:  $C_x > 1.2$ , 为三角洲淤积;  $1.2 > C_x > 0.3$ , 为带状淤积;  $C_x < 0.3$ , 为锥体淤积。

式中:  $D_{50}$ ——入库泥沙中值粒径,  $\text{mm}$ ;  $V/W$ ——水库特性指标,  $V$ ——总库容,  $W$ ——多年平均来水量;  $A/L^2$ ——水库形状系数,  $A$ ——水库校核水位下相应的水面面积,  $L$ ——同一水位下相应的库区长度;  $J$ ——库区原始河床纵比降,  $\text{m}/\text{km}$ ;  $\Delta H$ ——最大水位变幅,  $\text{m}$ ;  $H$ ——多年平均库水位与死水位之差,  $\text{m}$ 。

该式考虑的因素较多, 且用无因次数表示是其优点。但所依据的资料仅为山东省的部分水库, 资料范围较窄, 也没有考虑沙量的影响, 这是该式不足之处。

(7) 西北水科所张跟广在<sup>[7]</sup>“水库纵向淤积形态模糊分析预报及其验证”中分析了 20 座水库实测资料(包括多沙、少沙), 确定三个分析预报因子: 坝前库水位相对变幅  $\Delta H/H$ ; 水库平面边界条件  $V/H$ ; 水库相对库容  $V/G_s$ 。采用模糊分析方法, 得出如下结果:

对象区间  $n: n = 1$ , 为三角洲淤积形态;  $n = 2$ , 为锥体淤积形态;  $n = 3$ , 为带状淤积形态。

因子区间:  $(\Delta H/H)_i$ , 当  $\Delta H/H < 0.2, i = 1$ ; 当  $0.2 < \Delta H/H < 0.3, i = 2$ ; 当  $\Delta H/H > 0.3, i = 3$ 。  
 $(V/H)_j$ , 当  $V \times 10^6/H < 6, j = 1$ ; 当  $6 < V \times 10^6/H < 35, j = 2$ ; 当  $V \times 10^6/H > 35, j = 3$ 。  
 $(V/G_s)_k$ , 当  $V/G_s < 16, k = 1$ ;  $16 < V/G_s < 70, k = 2$ ;  $V/G_s > 70, k = 3$ 。

表 1 作者给出水库纵向淤积形态预报表

<i>i</i>	<i>j</i>	<i>k</i>	<i>n</i>	<i>n<sub>c</sub></i>	<i>i</i>	<i>j</i>	<i>k</i>	<i>n</i>	<i>n<sub>c</sub></i>	<i>i</i>	<i>j</i>	<i>k</i>	<i>n</i>	<i>n<sub>c</sub></i>
1	1	1	2	1	2	1	1	2		3	1	1	2	
1	1	2	1		2	1	2	1		3	1	2	2	
1	1	3	1		2	1	3	3	1	3	1	3	2	
1	2	1	1		2	2	1	1		3	2	1	2	
1	2	2	1		2	2	2	1		3	2	2	1	
1	2	3	1		2	2	3	3	1	3	2	3	3	1
1	3	1	1		2	3	1	3		3	3	1	2	
1	3	2	1		2	3	2	1		3	3	2	1	
1	3	3	1	3	2	3	3	3		3	3	3	3	

该方法是根据水库的特征值求出因子区间, 然后查表求出对象  $n$  值, 据依判断水库淤积形态。

该方法较前几种判别式,所考虑的影响因素较多,资料范围较广,且采用数学模糊方法进行淤积形态预报,为了便以应用,作者也给出了预报表。只是所选取的预报因子是否能够很好代表淤积形态因素,还需进一步检验。

(8) 邵淑彩,崔承章<sup>[8]</sup>在“用主成分分析和聚类分析法对水库淤积形态分类”中依据 7 个水库的实测资料进行实例计算。文中应用主成分分析的目的是把多个指标(变量)简化为少数几个综合指标,使这些综合指标尽可能反映原来指标的信息,Q 型聚类分析则是通过主成分得分来完成的,它的基本思想是:将每个样本视为多维空间中矢量的一个端点,经过一定的公式运算,求出各样本之间的相似性统计量,构成一个对称的相似矩阵,在该矩阵的基础上进一步寻找各样本之间的相似程度,按相似程度大小,逐一把样本归类成群。

该文采用的 6 个原始指标: $X_1$ (来水来沙系数)=平均含沙量/平均流量; $X_2$ =天然河道比降; $X_3$ =悬移质中值粒径; $X_4$ (水库形态特征)=水库面积/水库长度; $X_5$ (水库调节能力)=库容/年输沙量; $X_6$ (水库运用方式)=库水位变幅/汛期壅水高。

用这 6 个原始指标提取的 4 个主成分(各主成分均是 6 个原始指标的线性组合)揭示出:第一主成分解释全部原始指标对淤积纵剖面信息的 57%。水库的运用方式相关系数达 0.955,是决定淤积纵剖面的主要因素,来水来沙系数和水库形态特征相关系数分别为 0.886 和 -0.851,它们对淤积纵剖面起主导作用。

第二主成分解释全部原始指标对淤积纵剖面信息的 17.37%,在第二主成分中天然河道比降的相关系数为 -0.95,说明在第二主成分中比降起主导作用。

第三主成分解释全部原始指标对淤积纵剖面信息的 13.46%,第三主成分主要反映入库泥沙中值粒径的信息。中

参考文献:

[1] 中国水利学会泥沙专业委员会.泥沙手册[M].中国环境出版社,1992.335-336.  
[2] 陕西省水利科学研究所河渠研究室,清华大学水利工程系泥沙研究室.水库泥沙[M].水利电力出版社,1979.28-30.  
[3] 水电部第十一工程局勘测设计院.大型水库泥沙冲淤计算方法[R].黄河泥沙研究报告选编,1980.180-228.  
[4] 焦恩泽,水库淤积形态的商榷[R].黄河泥沙研究报告选编,第四集,1980.229-243.  
[5] 武汉水利电力学院,河流泥沙工程学教研室.河流泥沙工程学(下册)[M].北京:水利电力出版社,1982.9.  
[6] 中小型水库设计与管理中的泥沙问题[M].北京:科学出版社,1983.66-67.  
[7] 张跟广.水库纵向淤积形态模糊分析预报及其验证[J].西北水资源与工程,1995,6(1):44-50.  
[8] 邵淑彩,崔承章.用主成分分析和聚类分析法对水库淤积形态分类[J].泥沙研究,1996,(2):77-82.  
[9] 梅灰海,肖益民,肖怡安.灰色模式识别模型及其在工程中的应用[J].培训与研究—湖北教育学院学报,1998,(5):9-11.  
[10] 韩其为.论水库的三角洲淤积(二)[J].湖泊科学,1995,7(3):213-225.  
[11] 郭军民.安康水库泥沙淤积及其对水库正常运用的影响分析[J].西北水电,1995,(3):9-12.  
[12] 安催花,郭选英,张厚军.黄河西霞院水库淤积形态分析[J].人民黄河,1998,20(3):6-7.

值粒径的相关系数为 0.74。

第四个主成分反映水库的调节能力。由于第四个主成分解释全部原始指标对淤积纵剖面信息的 8%,故其揭示水库淤积纵剖面形态差异信息的能力已很有限了。

该文把锥体淤积作为三角洲淤积的最终形态来处理。

这种数学计算方法使以往常用的分析由定性走向定量,而且揭示了系统内部复杂的内在联系,对影响淤积形态的影响因素得出了一定的结论,这是以前任何一种判别式都没有的结论。由于受资料的限制,模型样本容量还不够大,而且与所选取的原始指标表示形式有关,该方法对拟建水库淤积形态预报还存在一定的困难。

除了上述几种判别模式外,还有梅汇海提出的以灰关联度为测度的灰色模式识别模型,与第 8 种分析模式基本相似;韩其为<sup>[10]</sup>认为,水库淤积形状受淤积百分数的影响,不能淤下的水库就会形成锥体,能淤下的水库则只能形成带状和三角洲。

2 结 语

水库纵向淤积形态分类经过多年的研究,得到一定的发展。在第一部分中前 6 种方法属于经验判别式,虽然公式建立在一定的资料基础上,有一定的代表性,也有一定的局限性,但它也有一定的应用性;后两种方法属于数学计算方法,比经验式前进了一步,尤其是第 7 种方法,得出了影响淤积形态各因素的重要性排序,为以后的进一步研究指出方向。

对某拟建水库淤积形态分类预测时<sup>[11,12]</sup>,选取合适的公式进行预报,同时还应根据水库所处的地理位置及水库周边已建水库的运用方式、库容、来水来沙情况、泄流规模、淤积形态等特征值作参考,给出拟建水库的淤积形态类型,为水库建成后正常运行打好基础。