

淤地坝最优坝高设计

辛全才<sup>1</sup>, 刘力<sup>1,2</sup>, 史文兵<sup>1</sup>

(1. 西北农林科技大学, 陕西 杨陵 712100; 2. 中国科学院水利部水土保持研究所黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨陵 712100)

摘要: 从对单个的淤地坝的效益分析入手, 以拦泥坝高为决策变量, 考虑到淤地面积、保收率随时间的变化和防洪问题, 以单坝产生的最大经济效益为目标函数, 建立了数学模型。采用 Fortran 语言编写程序, 对具体的算例进行了计算, 取得了比较满意的结果。  
关键词: 淤地坝; 经济效益; 模型优化

中图分类号: S157.31 文献标识码: A 文章编号: 1005-3409(2004)04-0154-03

The Design for the Optimum Height of Warping Dam

XIN Quan-cai<sup>1</sup>, LIU Li<sup>1,2</sup>, SHI Wen-bing<sup>1</sup>

(1. Northwest Sci-tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100 China;  
2. The State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, CAS & MWR, Yangling, Shaanxi 712100 China)

**Abstract** Based on benefit analysis of single warping dam, a mathematic model for designing dam height was established taking the maximal economic benefit of single dam as object function. Meanwhile, computer calculation program by the Fortran language was made to use the case study, the result was satisfactory.  
**Key words** warping dam; economic benefit model optimizing

1 问题的提出

淤地坝是黄土高原治理水土流失一项重要措施, 其产生水保效益及取得的社会效益, 经济效益都十分显著。淤地坝工程也是水利部启动的“三大亮点工程”之一。但是由于各种因素的限制, 推行坝系优化规划难度较大, 大部分流域也没有进行系统优化规划, 而传统的单坝规划设计基本还是采用经验法, 根据经验确定工程规模, 然后按规范设计淤积年限和防洪标准, 再计算拦泥库容和滞洪库容, 进一步确定出总库容和坝高。这样确定的坝高往往不是最优, 缺乏科学的依据。因而有必要寻求一种清晰易行的单坝优化办法, 基于此目的, 对淤地坝坝高进行优化分析研究十分必要。

2 淤地坝特征关系曲线

2.1 坝高与淤地面积的关系

通过对大量的坝高和淤地面积关系曲线进行回归分析可知, 该曲线一般都可利用幂函数较好的表示, 故该曲线可用下式来表示:

$$S = ah^b \tag{1}$$

式中:  $S$ ——淤地面积,  $\text{hm}^2$ ;  $a$ ——回归分析常系数;  $h$ ——坝高,  $\text{m}$ ;  $b$ ——回归分析指数

2.2 坝高与库容的关系

对 (1) 式在  $[0, h]$  上积分, 可得出下式:

$$V = \int_0^h S dh = \int_0^h ah^b dh = \frac{a}{b+1} h^{b+1}$$

得  $V = dh^e$  (2)

其中:  $d = a/(b+1)$ ,  $e = b+1$

由 (1) (2) 式可得出:

$$S = a \left( \frac{V}{d} \right)^{\frac{b}{e}} \tag{3}$$

根据陕北地区洪水经验公式, 其洪水总量可用下式表示:

$$W_p = \kappa N^\sigma$$

式中:  $\kappa$ ——与控制面积有关的经验常数;  $N$ ——洪水重现期。

3 模型的建立

3.1 建模的思路

以淤地坝拦泥坝高为决策变量, 以经济效益最大为目标, 对淤地坝产生的效益作静态分析。淤地坝的经济效益主要依靠拦泥坝高产生, 而滞洪坝高主要用以保证坝体的安

① 收稿日期: 2004-07-10  
作者简介: 辛全才 (1965-), 男, 陕西蒲城人, 副教授, 主要从事水环境岩土工程及水利水电工程等方面的教学和科研工作。

全, 所以以拦泥坝高为设计变量进行优化, 以优化的拦泥坝高确定坝体的防洪标准, 进一步确定坝体的滞洪坝高, 再以拦泥坝高和滞洪坝高确定安全超高。最后确定坝体的工程量, 从而达到工程的总体最优。优化中同时考虑诸多制约因素。

3.2 目标函数

淤地坝效益包括: 经济效益, 蓄水保土效益, 社会效益和生态效益, 其中经济效益和水保效益可以货币指标表示, 而其它效益不易用货币表示。但其与经济效益呈正相关性。因此, 以经济效益最大作为目标函数, 是合理且方便的。经济效益由三部分构成, 分别叙述如下:

3.2.1 坝地生产效益

$$Z_1 = \sum_{i=n_1}^{n_2} a_i S_i P_i + (n - n_2) a' S P_1$$

其中:  $n_1$ ——坝地开始使用年限(从建坝年计算),  $n_2$ ——坝地设计淤积年限,  $n$ ——坝地淤积年限, 以 50 年计;  $a_i$ ——坝地第  $i$  年的保收率;  $a'$ ——设计淤积高程的坝地保收率;  $P_1$ ——坝地单位面积的收入, 元/hm<sup>2</sup>;  $S_i$ ——坝地第  $i$  年的淤积面积, hm<sup>2</sup>;  $S$ ——设计淤积面积, hm<sup>2</sup>;

3.2.2 拦泥效益

$$Z_2 = V_n C_1$$

式中:  $V_n$ ——坝地设计拦泥量, m<sup>3</sup>;  $C_1$ ——消除下游河道每立方米泥沙的费用, 元/m<sup>3</sup>;

3.2.3 建坝费用

$$Z_3 = W C_2$$

式中:  $C_2$ ——建设每立方米坝体的费用, 元/m<sup>3</sup>;  $W$ ——筑坝土方量, m<sup>3</sup>;

3.2.4 工程运行费用

$$Z_4 = n C_3$$

式中:  $C_3$ ——工程年运行费用, 元;

故总的目标函数表达为:

$$\text{Max} f(h) = Z_1 + Z_2 - Z_3 - Z_4$$

3.3 约束条件

3.3.1 淤地面积约束

为了满足流域生产需要, 根据淤地坝所在地人口, 土地情况和群众要求, 坝地要承担一定的生产任务, 在淤积期末, 其淤地面积至少要达到要求的面积  $[s]$

即:  $S \geq [s]$

3.3.2 拦泥约束

该坝拦泥库容应满足设计拦泥总量的要求, 到淤积期末所拦泥量要大于设计拦泥总量以确保下游工程的安全和河道的畅通, 式子表示为:

$$V \geq [V]$$

式中:  $[V]$ ——坝设计拦泥量。

3.3.3 坝高约束

由于受坝地条件的限制, 其坝高不可能无限增高, 它不应小于等于坝址限制条件下的坝高  $h_{\text{坝址}}$ , 用式子表示为:

$$0 < H \leq h_{\text{坝址}}$$

式中:  $H$ ——总坝高, m。

3.3.4 淤积年限约束

为了满足生产需要和完成防洪以及对下游沟道减蚀任务, 坝必须有一定的使用年限, 其淤积年限大于等于其使用年限, 用式子表示为:

$$n \geq [n]$$

式中:  $[n]$ ——坝至少使用的年限。

这里需要注意的问题是: 淤积年限约束、淤积面积约束和拦泥约束很可能矛盾, 即其中一项或两项可能为无效约束。

3.3.5 上游淹没约束

$$S_{\text{洪}} < S_{\text{淹}}$$

$$S_{\text{洪}} = S_{\text{坝址}} + h + h_{\text{滞}}$$

4 目标函数中变量的确定

4.1 保收率及坝地初始利用年限的确定

模型中各年坝地保收率将由淤积第  $i$  年后, 淤地面上产生水深为生产允许淹没水深  $h$  淹时的洪水总量的洪水频率确定。

第  $i$  年的淤地面积为:

$$S_i = a \left( \frac{MF}{dr_s} \right)^{\frac{1}{c}}$$

在  $i$  年产生淹没水深为  $h_{\text{淹}}$  时的洪水重现期为:

$$N_i = \left[ \frac{a}{r} \left( \frac{MF}{dr_s} \right)^{\frac{1}{c}} h_{\text{淹}} \right]^{\frac{1}{b}}$$

则坝地保收率为:

$$a_i = 1 - \frac{1}{N_i} = 1 - \left[ \frac{a}{r} \left( \frac{MF}{dr_s} \right)^{\frac{1}{c}} h_{\text{淹}} \right]^{\frac{1}{b}}$$

$$a' = 1 - \left[ \frac{a}{r} h^b h_{\text{淹}} \right]^{\frac{1}{b}}$$

式中:  $F$ ——流域面积, km<sup>2</sup>;  $M$ ——流域平均侵蚀模数, t/(km<sup>2</sup>·a);  $i$ ——淤积年限,  $dr_s$ ——淤积泥沙干容重, t/m<sup>3</sup>;  $h_{\text{淹}}$ ——作物耐淹水深, m;

坝地初始利用年限  $n_1$  的确定依据坝地保收率而定, 也就是当坝地保收率增长到一定值 ( $p$ ) 时, 坝地开始利用, 为了确定坝地使用的最低保收率, 利用上式则可计算出:

坝地初始使用年限为:

$$n_1 = i_{(p=1-p)} = \frac{dr_s}{MF} \left[ \frac{r}{d} (1 - [p])^{-\frac{c}{b}} \right]^{\frac{c}{b}}$$

坝地设计淤积年限:

$$n = \frac{r_s}{MF} d h^c$$

坝地设计淤积面积:

$$S = a h^b$$

4.2 拦泥量的确定

由拦泥量即可确定模型中的拦泥效益, 拦泥量为:

$$V_n = d h^c$$

4.3 滞洪坝高的确定

模型中的滞洪坝高根据设计变量及设计淤地面积的变化通过规范查取洪水标准(确定洪水重现期  $N$ ), 依据该洪水总量可确定滞洪坝高为:

$$h_{\text{滞}} = \left[ \frac{dh^c + rN^{\frac{c}{b}}}{d} \right]^{\frac{1}{c}} - h$$

总坝高则为:

$$H = \left[ \frac{dh_{e_1} + rN^6}{d} \right]_e + \triangle h$$

4 4 建坝费用

坝的建坝费用取决于坝高, 坝越高坝费用越大。设坝高为  $h$ , 坝顶宽度  $b_0$ , 上、下游坡率分别为  $m_1, m_2$ 。对于一般沟道断面, 若沟底宽度  $L_0$ , 则沟道的宽高关系可表示为:  $L = L_0 + e_1 H^{e_2}$ , 式中:  $e_1, e_2$  为回归常数。

从而得坝体土方量为:

$$W = L_0 b_0 H + \frac{1}{2} m L_0 H^2 + \frac{b_0}{6} \frac{1}{e_2 + 1} H^{e_2 + 1} + \frac{e_m}{(e_2 + 1)(e_2 + 2)} H^{e_2 + 2}$$

参考文献:

[1] 辛树帜, 蒋德麒. 中国水土保持概论 [M] 北京: 农业出版社, 1982  
[2] 辛全才, 王静. 淤地坝坝体土方量, 淤地面积和库容的简易推算 [J] 中国水土保持, 1994 (6): 18– 20  
[3] 蒋定生. 试论黄土高原梯田断面设计 [J] 水土保持学报, 1987 1(2): 28– 35  
[4] 赵蔚静. 黄河中游地区淤地坝结构形式改进初探 [J] 中国水土保持, 1982 (3): 38– 41  
[5] 揭曾佑. 试论黄河中游治理中的淤地坝、水库和水土保持措施 [J]. 中国水土保持, 1988 (12): 31– 32  
[6] 崔云鹏, 蒋定生. 水土保持工程学 [M] 西安: 陕西人民出版社, 1997

其中  $m = m_1 + m_2$

计算出坝体方量后, 将其换算为经济指标, 即得建坝费用。

5 结 语

本文在运用该数学模型基础上, 采用 Fortran 语言编写的程序对实例进行了计算, 取得了比较理想的结果 (由于篇幅有限, 计算过程及程序略)。通过构建数学模型来达到对坝高的最优值进行研究, 弥补了定性研究的缺陷, 在实践中有一定的使用和参考价值。

(上接第 130 页)

[3] Douglas D H. Experiments to locate ridges and channels to create a new type of digital elevation models [J]. Cartographica 1986 23(4): 29– 61 1991 30(6): 1 681– 1 692  
[4] Fairfield J P Leymarie Drainage networks from grid digital elevation models [J] Water Resources Research 1991 30 (6): 1681– 1692  
[5] Mark D M. Automatic detection of drainage networks from digital elevation models [J]. Cartographica 1984 21(2/3): 168– 178  
[6] Martz L Garbrecht W J Numerical definition of drainage network and subcatchment areas from digital elevation models [J] Computers and Geosciences 1992 18(6): 747– 761  
[7] 王中根, 刘昌明, 黄友波. SWAT 模型的原理结构及应用研究 [J] 2003 22(1): 79– 87  
[8] Neitsch S L, Arnold J G., Kiniry J R, et al Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation, Version 2000 [EB/OL] <http://www.bretan.us.edu/swat/> 2001  
[9] Hargreaves G L Hargreaves G H, Riley J P. Agricultural benefits for Senegal River Basin [J]. Irrig and Drain Engng 1985 111(2): 113– 124  
[10] Priestley C H, Taylor R J On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters [J]. Mon Weather Rev, 1972 100 81– 92  
[11] Penman H L. Evaporation: An introductory survey [J] Netherlands Journal of Agricultural Sciences 1956 (4): 7– 29  
[12] Nash J E. Sutcliffe River flow forecasting through conceptual models, Part I A discussion of Principle [J] Journal of Hydrology, 1970 10(3): 282– 290  
[13] Furey P R, Gupta V K. A physical lipase filter for separating baseflow from stream flow times series [J] Water Resources Research 2001 37(11): 2 709– 2 722  
[14] Rabiner L R, Gold B Theory and application of digital signal processing [M] 史令启译. 北京: 国防工业出版社, 1982  
[15] Lyne V, Hollick M. Stochastic time variable rainfall runoff modeling [A] Hydrology and Water Resources Symposium Berth Proceedings [C] Australia National Committee on Hydrology and Water Resources of the Institution of Engineers 1979 89– 92  
[16] Nathan R J McMahon T A. Evaluation of automated techniques for base flow and recession analysis [J] Water Resources Research 1990 26(7): 1 465– 1 473  
[17] Arnold J G, Allen P M. Automated methods for estimating baseflow and ground water recharge from stream flow [J]. Journal of the American Water Resources Association 1999 35(2): 411– 424