

淤地坝最优坝高的确定方法研究^{*}

穆天亮^{1,2}, 王全九^{1,3}

(1. 西安理工大学, 西安 710048; 2. 山西省吕梁市横泉水库建设管理局, 山西 吕梁 033000; 3 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨陵 712100)

摘 要:淤地坝已在我国黄土地区水土流失治理中发挥了巨大作用。在进行淤地坝的规划设计时,淤地坝的坝高是影响主体工程经济的一个关键因素。根据具体的坝址、库区地形条件,试图利用益费比最佳的经济效益指标来确定淤地坝的最优坝高。同时,对晋西黄土丘陵沟壑区王家沟流域内已成 6 座淤地坝进行了计算验证,结果表明采用经济效果最佳指标法是可行的,可为淤地坝的合理规划设计提供科学依据。

关键词:淤地坝;经济效果最佳指标;最优坝高;水土流失

中图分类号:S157.31

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2008)04-0024-04

Study on the Determination Method of the Optimized Dam Height

MU Tian-liang^{1,2}, WNA G Quan-jiu^{1,3}

(1. Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China; 2. Hengquan Reservoir Bureau, Luliang, Shanxi 033000, China; 3. Institute of Soil and Water Conservancy, CAS & MWR, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Silt-filled dams play an important role in soil and water loss. The dam height is a key parameter in the dam design. In the paper, the optimized economical benefit index was used to determinate the dam height based on the dam site and landform condition. According to the dam location, reservoir area terrain conditions, we try to use optimized economical benefit index to determine the optimal height of silt dam. Meanwhile, the calculation and verification of six silt dams are carried out in Wangjiagou watershed of West Shanxi Loess Plateau district. The results show that the best indicators of economic performance is feasible and reasonable for the planning and design of the silt dam to provide a scientific basis.

Key words: silt-filled dam; the optimized economical benefit index; optimized dam height; soil and water loss

1 引 言

淤地坝不仅能够有效减少进入主河道的泥沙,而且可以形成坝地,为农业生产提供优良的土地资源。因此淤地坝已成为治理黄土高原水土流失的关键措施,国家为此进行了很大的投资,如何确定淤地坝的建设规模才能使国家资金所产生的效益最大化是学者一直思考的问题。一般情况下,对某一小流域而言,在一定时段内的土壤侵蚀模数为定值,因此,当流域内的淤地坝坝址位置确定后,淤地坝的规模主要决定于淤积年限。对应于某一确定的淤积年限,拦泥库容及淤地面积亦可确定。同时,根据规范所规定的设计和校核洪水标准,可确定工程规模及工程造价,从而可以求得在这个淤积年限时的经济效果指标。假定不同的淤积年限,可以求出对应的经济效果指标,经济效果指标最优时所对的淤地坝坝高(工程规模)即应为该坝址处的最优坝高。淤地坝的效益包括若干方面,其中拦泥减沙效益和坝地生产效益可以定量地用经济评价的指标来计算,防洪效益、社会效益和生态效益

等难以进行定量的分析。因此只通过计算拦泥减沙效益和坝地生产效益来提出确定坝高的方法。

2 经济指标确定方法

2.1 效益计算

坝址位置确定以后,依据现在的年来沙量 S 和给定的淤积年限 N ,利用式(1) - (3)可求出其相应的拦泥量、拦泥坝高和淤地面积。

$$V_{\text{拦}} = S \frac{1 - (1 - r)^N}{r} \quad (1)$$

$$h_{\text{拦}} = c_3 V_{\text{拦}}^{b_3} \quad (2)$$

$$A = c_4 V_{\text{拦}}^{b_4} \quad (3)$$

式中: $V_{\text{拦}}$ ——拦泥量; $h_{\text{拦}}$ ——拦泥坝高; A ——淤地面积; S ——年来沙量; N ——一定的淤积年限; r ——随着流域治理度的提高年来沙量的递减率(根据王家沟流域治理 35 a 的情况,取 $r = 3\%$); c_3, c_4, b_3, b_4 ——系数。

^{*} 收稿日期:2007-05-15

作者简介:穆天亮(1962 -),男,山西方山人,博士,教授级高级工程师,主要研究方向为水土资源与生态环境。E-mail: sxllslmtl@vip.sina.com

用动态分析方法计算效益,若工程施工期为一年(当年开工、当年完成),计算基准年取为工程建设年,则坝地生产效益可由式(4)计算出。

$$P_d = P_n \cdot R_d \cdot A \left[\frac{(1+i)^{N_s} - 1}{i(1+i)^{N_s} \cdot N} \right] \cdot (1+i)^{-N} \quad (4)$$

式中: P_d ——坝地生产效益; P_n ——坝地保收率, $P_n = 1 - P_{\text{设}}; P_{\text{设}}$ ——设计洪水频率; R_d ——每公顷坝地的净产值; i ——经济报酬率(年利率); N_s ——淤地坝的使用年限。

淤地坝拦蓄泥沙效益可用式(5)计算

$$P_s = \sum_{j=1}^N R_s \cdot S \cdot \frac{(1-i)^{j-1}}{(1+i)^j} \quad (5)$$

式中: P_s ——淤地坝拦蓄泥沙效益; R_s ——拦蓄单位泥沙的经济效益(元/ m^3)。

2.2 费用计算

2.2.1 坝体费用

坝址处沟道左右横断面曲线可以分别表示如式(6),式(7)^[5]。

左: $y = c_1 x^{b_1} \quad (6)$

右: $y = c_2 x^{b_2} \quad (7)$

因此,坝体任一横断面面积为

$$A = \frac{1}{2} [2b + (m_1 + m_2)(H - y)](H - y) \quad (8)$$

式中: c_1, c_2, b_1, b_2 ——系数; b ——坝顶宽度; H ——坝高(m); m_1, m_2 ——坝体上、下游边坡系数。

坝体土方量为

$$V = \int_0^{L_1} A dx_1 + \int_0^{L_2} A dx_2 \quad (9)$$

其中:积分上限为 $L_1 = c_1^{-\frac{1}{b_1}} H^{\frac{1}{b_1}}$ 和 $L_2 = c_2^{-\frac{1}{b_2}} H^{\frac{1}{b_2}}$ 。

因此有:

$$V = c_1^{-\frac{1}{b_1}} \cdot b \cdot \frac{b_1}{b_1 + 1} \cdot H^{1+\frac{1}{b_1}} + c_1^{-\frac{1}{b_1}} \cdot (m_1 + m_2) \left[\frac{b+1}{2b_1+1} - \frac{1}{b_1+1} \right] \cdot H^{2+\frac{1}{b_1}} + c_2^{-\frac{1}{b_2}} \cdot b \cdot \frac{b_2}{b_2 + 1} \cdot H^{1+\frac{1}{b_2}} + c_2^{-\frac{1}{b_2}} \cdot (m_1 + m_2) \left[\frac{b+1}{2b_2+1} - \frac{1}{b_2+1} \right] H^{2+\frac{1}{b_2}} \quad (10)$$

设单位坝体工程造价为 R_b ,则坝体投资(T_b)为

$$T_b = V R_b \quad (11)$$

在坝高 $H = h_{\text{拦}} + h_{\text{滞}} + h_{\text{安}}$ 的计算中, $h_{\text{拦}}$ 可用(2)式求得; $h_{\text{滞}}$ 可根据规范规定的设计洪水标准和校核洪水标准求得,但由于淤地坝在坝地淤平之前主要是拦蓄泥沙,淤平之后,则主要是坝地生产。因此设计时应尽量保证坝地内的滞洪水深不超过作物在 7、8 月的生长高度,并以此求得溢洪道宽度,再依据该溢洪道宽度算出校核标准洪水时的滞洪水深 $h_{\text{滞}}$; $h_{\text{安}}$ 按规范规定选取。

2.2.2 溢洪道费用

设溢洪道为梯形断面,在计算过程中考虑衬砌与不衬砌两种情况。

(1) 溢洪道不衬砌时。任一断面面积为

$$A_y = [B + m(y - h_{\text{拦}})](y - h_{\text{拦}}) \quad (12)$$

陡坡段任一断面面积(近似值)可表示为

$$A_d = [(B + m(h_{\text{滞}} + 0.5))(h_{\text{滞}} + 0.5)] \quad (13)$$

式中: B ——溢洪道宽; m ——开挖边坡系数。

开挖工程量表示为

$$V_y = \int_{x_{11}}^{x_{2(1)}} (A_y + A_d) dx \quad (14)$$

其中:积分上、下限分别为 $x_{2(1)}$ 、 x_{11} (见图 1)

设溢洪道的土方开挖单价为 R_y ,则溢洪道投资为

$$T_y = V_y R_y \quad (15)$$

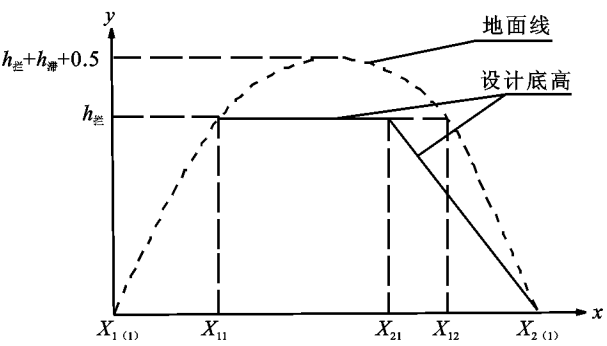


图 1 溢洪道纵断面

(2) 溢洪道衬砌时。设溢洪道开挖断面为 A_{yw} ,则开挖工程量为

$$V_{yw} = \int_{x_{11}}^{x_{2(1)}} A_{yw} dx \quad (16)$$

设溢洪道的衬砌工程量为 V_{yc} ,单价为 R_{yc} ,开挖土方单价为 R_{yw} ,则溢洪道投资为

$$T_y = T_{yw} + T_{yc} = V_{yw} R_{yw} + V_{yc} R_{yc} \quad (17)$$

2.2.3 涵卧管费用计算

(1) 卧管费用。设卧管砌筑工程量为 V_w ,单价为 R_w ,钢筋混凝土板工程量为 V_{gb} ,单价为 R_{gb} ,则卧管投资为

$$T_{wg} = V_w R_w + V_{gb} \cdot R_{gb} \quad (18)$$

(2) 涵洞费用。设涵洞的工程量为 V_{hd} ,单价为 R_{hd} ,则涵洞投资为

$$T_{hd} = V_{hd} \cdot R_{hd} \quad (19)$$

2.2.4 运行费用计算^[3]

根据《水利经济计算规范》和水电工程的实际情况,年运行费按工程总造价的 1.5% 计算。

溢洪道不衬砌时,工程总造价为

$$T = T_b + T_y + T_{wg} + T_{hd} \quad (20)$$

溢洪道衬砌时,工程总造价为

$$T = T_b + T_{yw} + T_{yc} + T_{wg} + T_{hd} \quad (21)$$

年运行费为:

$$T_{yN} = T \times 1.5\% \quad (22)$$

故年运行费的折算总值为:

$$T_{yz} = T_{yN} \frac{(1+i)^{N_s} - 1}{i(1+i)^{N_s}} \quad (23)$$

式中: N_s ——工程使用年限; i ——年利率。

2.3 经济分析

以经济效益费用比和净收益为指标分析,分别表示为经济效益费用比

$$R_0 = (P_d + P_s) / (T + T_{yz}) \quad (24)$$

净收益表示为

$$P_0 = (P_d + P_s) - (T + T_{yz}) \quad (25)$$

如上所述,给定一个淤积年限,即可确定一个坝高,同时便可算出相应的经济效果指标。若以坝高为横坐标,以经济效果指标为纵坐标,点绘出坝高和经济效果指标的关系曲线,便可直观地看出经济效果指标最佳时的坝高,即该坝址处的最优坝高。

3 实例计算

为验证可行性,利用上述方法,对晋西黄土丘陵沟壑区吕梁市离市区王家沟流域已成的 6 座淤地坝进行了分析计算。

3.1 计算指标选取

为便于计算,统一取设计洪水标准为 $P_{\text{设}} = 10\%$,核校洪水标准为 $P_{\text{核}} = 1\%$,泥沙递减率为 $r = 3\%$,经济报酬率(年利率)为 $i = 7\%$,淤地坝的使用年限为 50 a,坝地的净产值为 4 500 元/($\text{hm}^2 \cdot \text{a}$),拦蓄泥沙的经济效益为 2.3 元/

m^3 ,坝顶宽 $b = 3.0 \text{ m}$,上游坝坡 $m_1 = 2.5$,下游坝坡 $m_2 = 2.0$,坝体回填土方单价 $R_B = 7.0 \text{ 元}/\text{m}^3$,坝的安全超高为 1.5 m,溢洪道安全超高为 0.5 m,溢洪道边坡 $m = 1.0$,溢洪道衬砌厚度 0.5 m,溢洪道土方开挖单价 4 元/ m^3 ,衬砌浆砌石单价 120 元/ m^3 ,涵卧管放水流量按 0.5 m^3/s 考虑,卧管纵坡 1 : 2.5,卧管断面 0.5 m \times 0.5 m,卧管断面其余尺寸见表 1,卧管盖板厚度见表 2。

表 1 卧管尺寸

| 坝 高 | m | | | | |
|-------------|------------|------------|-------------|------------|------------|
| | 侧墙顶宽 b_d | 侧墙底宽 a_d | 基础外伸长 a_w | 基础厚度 a_h | 搭接长度 d_d |
| < 5.0 | 0.3 | 0.3 | 0.1 | 0.3 | 0.15 |
| 5.0 ~ 10.0 | 0.3 | 0.3 | 0.15 | 0.3 | 0.15 |
| 10.0 ~ 20.0 | 0.4 | 0.7 | 0.15 | 0.4 | 0.20 |
| > 20.0 | 0.4 | 0.8 | 0.15 | 0.4 | 0.20 |

表 2 卧管盖板厚度

| 坝 高 | < 5.0 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 24 | 26 | > 26 |
|-----|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|
| 盖板厚 | 0.13 | 0.16 | 0.18 | 0.20 | 0.21 | 0.23 | 0.24 | 0.25 | 0.26 | 0.275 | 0.285 | 0.295 |

涵洞底距最大坝高处高差为 3.5 m,涵洞为浆砌石拱涵,净跨 0.8 m,洞净高 1.20 m,墩高 0.8 m,起拱面宽 0.5 m,拱圈厚 0.4 m,基础宽 0.85 m,基础厚 0.5 m,卧管砌石单价 120 元/ m^3 ,涵洞砌石单价 120 元/ m^3 ,卧管钢筋混凝土盖板单价 300 元/ m^3 ,溢洪道消力池工程量按溢洪道工程量的 20%计,涵洞消力池工程量按涵洞工程量的 20%计。王家沟流域治理前的多年平均输沙模数为 15 850 t/($\text{km}^2 \cdot \text{a}$),亦即 1.174 万 $\text{m}^3/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 。

3.2 计算结果

依据库区地形图、坝址地形图和淤地坝工程技术规范,通过分析计算求得 6 座淤地坝库容曲线、面积曲线、沟道横断面曲线及洪水计算成果,根据公式(1) - (25)计算各坝的不同淤积年限所对应的坝高、拦沙效益、生产效益、坝体费用、涵卧管费用、溢洪道费用、运行费用、总效益、总费用、益费比,由此可得各坝不同坝高所对应的益费比(经济效果指标),经济效果指标最佳时所对应的淤积年限所确定的坝高

(工程规模)即为该坝址的最优坝高。各坝的坝高与益费比曲线见图 2 - 图 7。

4 分析与讨论

4.1 淤地坝的现状

为便于分析讨论,现将这 6 座淤地坝的现状列于表 3^[6],计算结果列于表 4。

从坝高情况来看,虽然现状坝高均较计算所得的最大合理坝高高出不少,但由于通过 1986 年进行的流域坝系防洪能力分析之后,在原有基础上对坝体进行了普遍加高增厚所致。其目的主要从防洪角度考虑,确保坝系工程安全。对比现淤坝高与本次计算的最大合理坝高得知,该流域经过几十年的治理,除窑沟 4# 坝尚未淤积至最大合理坝高的高度,主沟 6# 的已淤坝高高出合理坝高 4.3 m,其余 4 座坝的已淤坝坝高仅高出合理坝高 0.9 ~ 0.2 m。说明计算结果与实际情况基本符合,该最优坝高的确定方法是合理而且可行的。

表 3 淤地坝现状

| 坝 址 | 坝控面积/ km^2 | 坝高/m | 总库容/万 m^3 | 已拦泥/万 m^3 | 已淤地/ hm^2 | 淤面与坝顶高差/m | 现淤坝高/m |
|--------|---------------------|------|--------------------|--------------------|--------------------|-----------|--------|
| 东流沟 1# | 0.4 | 15.7 | 48.0 | 20.59 | 3.48 | 7.0 | 8.7 |
| 窑 沟 1# | 0.35 | 11.6 | 27.0 | 25.23 | 3.23 | 0.8 | 10.8 |
| 窑 沟 4# | 0.14 | 10.4 | 23.5 | 8.9 | 1.16 | 4.9 | 5.5 |
| 主 沟 4# | 0.75 | 18.7 | 67.5 | 18.33 | 3.30 | 8.1 | 10.6 |
| 主 沟 6# | 0.81 | 18.3 | 105.8 | 44.55 | 6.86 | 4.7 | 13.6 |
| 花曲沟 | 0.48 | 13.8 | 13.2 | 7.65 | 1.46 | 4.5 | 4.3 |

表 4 计算结果

| 项 目 | 东流沟 1# | 窑沟 1# | 窑沟 4# | 主沟 4# | 主沟 6# | 花曲沟 |
|----------|--------|-------|-------|-------|-------|------|
| 最大合理坝高/m | 7.2 | 8.8 | 7.9 | 9.7 | 9.3 | 7.6 |
| 最大益费比 | 1.54 | 1.26 | 0.86 | 7.40 | 2.60 | 1.18 |

4.2 计算结果分析

窑沟 4# 的经济效益费用比小于 1.0,这是因为(1)在计

算效益时,只考虑可定量分析的泥沙效益和坝地增产效益,没有计入其防洪效益、生态效益、社会效益等,即使是泥沙效

益和坝地增产效益,也只是按现行价格进行计算,没有考虑物价上涨等因素带来的效益增长,因而其效益较小。(2)淤地坝是治理水土流失的一项重要措施,淤地坝建设是国土治理之所需,不能只用经济的观点来评价其可行性。(3)本文

所探讨的是淤地坝最优坝高的确定问题,故尽管其经济效果指标从经济上考虑不太理想,但并不影响我们确定最优坝高(因为其所对应的是最佳的经济指标),也正基于此,本文对经济效益的计算没有进行更深更细的研究。

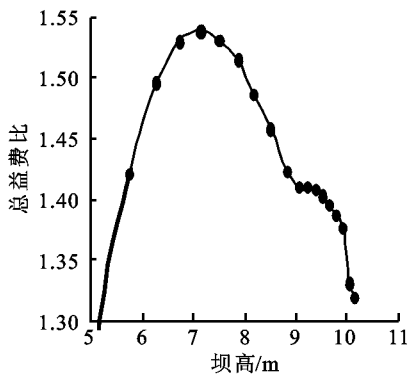


图 2 东流沟 1# 坝高与益费比的关系

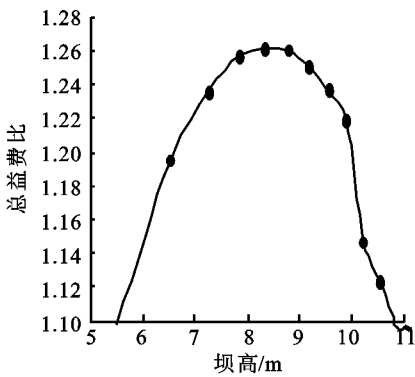


图 3 窑沟 1# 坝高与益费比的关系

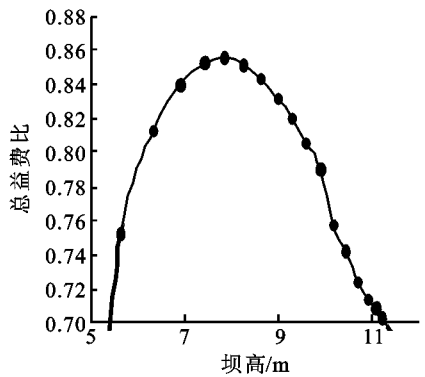


图 4 窑沟 4# 坝高与益费比的关系

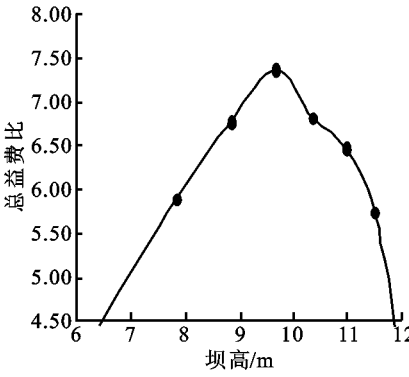


图 5 主沟 4# 坝高与益费比的关系

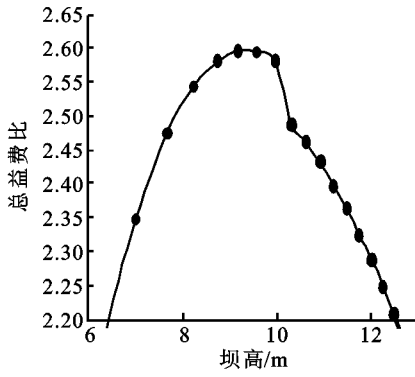


图 6 主沟 6# 坝高与益费比的关系

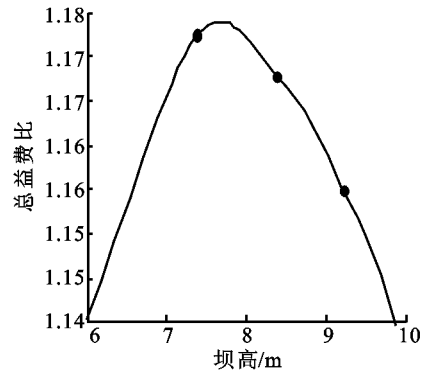


图 7 花曲沟坝高与益费比的关系

4.3 关于淤地坝的设计方法问题

现行的淤地坝设计规范中,设计洪水与校核洪水都是用来保证工程安全的,没有考虑坝地的正常运用,我们认为这是欠妥当的,因为,如果在校核洪水下能够保证工程安全,那么不必计算也可知道在设计标准洪水下工程更安全,因而,本文在确定工程投资时,对洪水的考虑方法是:设计洪水来临时保证枢纽正常运用,即保证坝地作物正常生产,以此确定溢洪道的宽度;校核洪水来临时保证枢纽的安全。

4.4 关于淤积年限

从经济效益最大化的角度出发,淤地坝的淤积年限宜采用本文所述方法确定,从流域治理的角度出发,淤积年限应与流域治理速度挂钩。若二者差距较大,可采用分期加高的方法^[8]使经济效益尽可能最大化。

5 结 语

计算分析结果表明:以工程效益最大化为主要目的的淤地坝最优坝高的确定方法既合理又可行。在此基础上加之采取有效的防洪保坝安全措施(设置一些控制性骨干坝),确

保单坝或坝系安全,不仅能使有限的建设资金产生更大的经济效益,而且还可加快小流域的综合治理步伐。

参考文献:

[1] 《水土保持治沟骨干工程暂行技术规范》(SD175 - 86) [S].
[2] 《淤地坝工程技术规范》(晋 Q834 - 85) [S].
[3] 《水利经济计算规范》(SD139 - 85) [S].
[4] 郭文元,穆天亮. 关于淤地坝设计洪水标准确定方法的探讨[J]. 山西水土保持科技, 1986(4): 15-18.
[5] 穆天亮,郭文元. 淤地坝枢纽结构的选择和溢洪道最佳宽度的确定[J]. 水土保持学报, 1990, 4(2): 19-25.
[6] 聂兴山,许国平,郭文元. 晋西王家沟流域坝地发展灰色预测[C]// 晋西淤地坝试验研究文集, 郑州:黄河水利出版社, 2000: 180-185.
[7] 郭文元,李如鸿. 淤地坝工程有关问题探讨[J]. 山西水土保持科技, 1985(3): 12-18.