

# 可靠性原理在淤地坝设计与评价中的应用<sup>\*</sup>

沈积怀<sup>1</sup>, 彭晓刚<sup>2</sup>

(1. 杨凌职业技术学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 陕西省水土保持局, 陕西 西安 710004)

**摘 要:** 淤地坝建设对改善黄土高原生态环境, 减少黄土高原水土流失意义重大。运用可靠性原理对淤地坝设计、工程安全性强制规范、风险概率控制测评等3项指标用相应的数学公式进行计算, 得出淤地坝类工程从设计到施工、测评方面在数量上的参数指标, 对提高淤地坝的设计效率和设计精度以及减少设计审查过程中的主观盲目性, 提供了有益的借鉴。

**关键词:** 降雨侵蚀力; 淤地坝; 稳定性参数; 风险概率

中图分类号: S157.31

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2009)05-0278-03

## Application of the Reliability Principle in the Design and Evaluation Practice of Silt Storage Dam

SHEN Ji-huai<sup>1</sup>, PENG Xiao-gang<sup>2</sup>

(1. Yangling Vocational & Technical College, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Shaanxi Provincial Soil and Water Conservation Bureau, Xi'an 710004, China)

**Abstract:** The construction of the silt storage dam is of great importance to the improvement of the loess plateau ecosystem and to the reduction of the soil erosion. According to the reliability principle in the applied mathematics in this paper, the corresponding mathematical formulae were used to calculate three groups of indexes, the dam design, the compulsory norm for engineering safety and the control and assessment of the risk probability after testing and examination of the silt storage dam. The quantitative parameters and indexes calculated for the design, construction, measuring and evaluation of the silt storage dam engineering provided beneficial references for the decrease of the subjective blindness and the increase of the efficiency and accuracy for the design and inspection of the particularly for the reliability of the engineering.

**Key words:** rainfall erosivity; silt storage dam; stability parameter; risk probability

淤地坝建设对于改善黄土高原水土流失状况, 促进生态环境朝可持续方向发展, 具有十分重要的作用。淤地坝工程作为“治黄方略”的骨架组成部分, 其成效已被实践证明。本文依据应用数学中的可靠性原理对工程设计、工程测评中涉及的一些可靠性与安全性的数量指标进行计算, 得出对工程措施科学决策和客观测评的依据和量化标准, 对减少主观盲目性, 贯彻科学发展观, 提高淤地坝的设计效率和精度, 尤其是对工程的可靠性评测, 提供重要的参数依据。

可靠性和安全性是工程的核心, 任何忽视安全性和可靠性的工程都是有百害而无一利的。比如在

1976年7月6日, 延安发生了严重的洪灾。事实上, 当时在延安市区和延河上游, 修建了许多的淤地坝和小型蓄水库, 笔者认为正是当初在工程建造时对工程可靠性和安全性的疏忽才是真正导致此次洪灾的核心原因, 而暴雨仅仅是事故的一个导火索。根据廖鑫等从1976年降雨时间分布、降雨对应的土壤的侵蚀力两个方面所做的统计数据, 所做的分析结果是:

(1) 从时间分布上看, 延安地区月平均降雨量与月平均降雨侵蚀力的对应关系较为突出, 集中在6-9月4个月, 而对土壤的最大侵蚀发生在8月, 6月处于一个较低的水平, 7月份处于上升的水平, 在侵蚀力及雨量最大的8月并没有发生重大灾害。

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2009-07-18

基金项目: 陕西省关中地区地下水水资源规划项目

作者简介: 沈积怀(1955-), 男, 陕西岐山人, 副教授, 主要从事应用数学的教学与研究。E-mail: twdlxr@126.com

(2) 从多年的降雨侵蚀力统计看, 降雨侵蚀力不是发生洪灾的主因。如果把降雨侵蚀作为发生洪灾的主因, 无论如何洪灾都不应发生在 1976 年, 但 1976 年 7 月 6 日不但发生了洪灾<sup>[1]</sup>, 而且对延安地区竟是一场空前的洪灾。

(3) 洪灾发生的原因分析看, 当时在延河流域、延安市区上游存在的大量分布不合理、建设不规范、没有在严格科学指导下建成的小型水库、淤地坝, 在暴雨下的溃坝形成了一种“多米诺”骨牌效应, 导致延安发生了空前的洪灾。换句话说, 这次洪灾是典型的“三分天灾, 七分人祸”。而同一时期, 经过科学论证和精心施工, 同样位于延河流域上游的大型水库——王瑶水库, 却在这次暴雨中经受住了考验。

工程的可靠性与运行的安全性是工程的生命, 所以, 对库坝类工程的可靠性与安全性的评估, 除了在工程设计、施工、管护上严格遵循行业规范标准以外, 还应该从理论数量方面给出相应的标准。这里从以下三个方面提出一些数学化的参数对库坝类工程的安全及可靠性进行判定。

## 1 普适性最低要求——稳定性参数

流域中的水利工程, 无论大小, 都要在整体规划上形成系统工程的概念, 使工程布局、设计、施工始终遵循自然规律, 杜绝局部利益的干涉。

对于一般性库坝, 最低要求是满足设计和施工中的稳定性。从原理上分析, 任何建筑物承受的荷载都可以归纳为铅直荷载  $W$  和水平荷载  $Q$ , 水坝类有:

$$W = W_1 \pm W_2 - U, \quad Q = Q_1 + Q_2 \quad (1)$$

式中:  $W_1$ ——坝体自重;  $W_2$ ——铅直方向的地震惯性力;  $U$ ——扬压力;  $Q_1$ ——静水推力;  $Q_2$ ——地震荷载, 包括动水压力和坝体水平惯性力。

对于一般性水保设施——淤地坝或小型水库, 其稳定性的评测, 可运用数学公式:

$$k = \frac{f(W - U) + CA}{Q_1 + Q_2} \quad (2)$$

式中:  $k$ ——坝体的抗滑性稳定系数;  $C$ ——粘聚力;  $A$ ——面积;  $W$ ——坝体自重;  $U$ ——扬压力;  $Q_1$ ——静水推力;  $Q_2$ ——地震荷载。

通过该公式计算可得出:  $k$  值较小的坝体, 肯定存在不安全隐患。

## 2 安全设计中修正值的确定

一般工程在设计中都采用历史洪水的频率统计作为参照, 事实上, 一般小流域中资料的匮乏, 大都采用邻近地区的已有资料。这样, 对防洪安全设计

标准  $P$  所取的洪水值  $x_p$ , 必然存在误差, 即就是本流域的数据, 同样存在误差, 须给出安全修正值  $\sigma_{xp}$ 。

$$\sigma_{xp} = \frac{\bar{X} C_v B}{\sqrt{n}} \quad (3)$$

式中:  $\bar{X}$ ——样本均值;  $C_v$ ——离差系数;  $n$ ——样本数;  $B$ —— $C_s$  及  $P$  频率的函数;  $C_s$ ——对样值作数学关系处理的统计值。

大坝防洪安全标准  $P$  的概率意义要求所设计的大坝在未来的每一年内发生事故(实际洪水  $\geq$  设计洪水)的概率应为  $P_0$ 。因此, 利用期望概率进行分析, 洪水频率计算方法必须满足:

$$P\{X \geq X_P\} = P \quad (4)$$

式中:  $X$ ——实际洪水的随机变量;  $X_P$ ——按某种频率计算方法求得的设计洪水的确定值。

期望概率  $P\{X \geq X_P\}$  的计算公式为:

$$P\{X \geq X_P\} = E[F(X_P)] \quad (5)$$

式中:  $F(X_P)$ —— $X_P$  的抽样分布函数;  $E$ ——数学期望计算符号。其中  $X_P$  的抽样分布函数  $F(X_P)$  与总体分布函数形式及参数估计方法有关。

## 3 以风险率为基础的大坝防洪安全设计水文计算

水荷载是大坝承受的主要荷载之一, 它的大小可由入库洪水所形成的库水位来衡量。

设  $x$  为大坝荷载,  $y$  为大坝的承受能力, 当出现  $x > y$  时, 大坝就不安全了。一般情况下,  $x$  和  $y$  均为随机变量。按概率计算, 事件( $x > y$ )发生的概率为<sup>[4]</sup>:

$$p\{x > y\} = \iint f(x, y) dx dy \quad (6)$$

式中:  $f(x, y)$ ——关于  $x$  和  $y$  的联合密度函数;  $P\{x > y\}$ ——大坝运行期间失事的可能性, 称为风险概率, 用  $R$  代表其值。

$x$  和  $y$  一般是相互独立的, 因此(6)式可简化为

$$R = P\{x > y\} = \iint f_x(x) f_y(y) dx dy =$$

$$\int_0^\infty \int_0^x f_x(x) f_y(y) dx dy \quad (7)$$

式中:  $f_x(x), f_y(y)$ —— $x$  和  $y$  的密度函数。

一般说来, 用风险率作为评判大坝防洪安全的参照或评测更为合理。在(7)式中若  $y$  为确定性常数, 则该公式变为:

$$R = P\{x > y\} = \int_y^+ f_x(x) dx \quad (8)$$

显然, 当  $y$  为确定常数时, 风险率即等于洪水频率, 这就是人们常说的设计标准为 30 年一遇, 50 年一遇, 百年一遇等简明说法。

实际工作中, 应综合考虑各种因素, 多方面、多

方位进行比较、分析,多听不同意见,得出切合实际的科学结论,最终决定应采用何种工程措施。并以环境、社会、经济效益等各方面指标进行客观评判,以期做好工程中的全面工作。

4 结 语

经过广大科技人员几十年的辛勤工作,在淤地坝的拦泥减蚀机理、坝系规划、坝库设计、工程施工、管理养护、新技术应用等方面已经积累了大量的科研成果。这些成果为科学决策提供了依据,并为黄土高原的淤地坝建设起到了科技支撑的作用。应该强调的是,从设计技术层面而言,更应注意设计洪水标准、工程结构、最优大坝断面的可靠性和安全性规范。从以往洪水毁坝的事件中应汲取教训,在设计中减小坝控面积,提高设计标准,以淤地坝的拦泥坝高、滞洪坝高为决策变量,对坝系进行优化设计,形成安全、效益、综合、环境可持续发展地系统工程,对

流域的治理要有整体的规划。建立骨干工程,确保工程的可靠性与功能效果的发挥。

参考文献:

[1] 廖鑫,徐学选,刘普灵.基于日雨量的延安地区降雨侵蚀力动态特征分布[J].水土保持研究,2009,16(2):36-37.

[2] 郑新民,王英顺.水坠坝设计与施工[M].郑州:黄河水利出版社,2006.

[3] 汝乃华,姜忠胜.大坝事故与安全:拱坝[M].北京:中国水利水电出版社,1995.

[4] 彭新瑞,崔新华,等.水文计实务[M].郑州:黄河水利出版社,2008.

[5] 陈彭岑,于德广,雷元静,等.黄河中游多沙粗沙区快速治理模式的实践与理论[M].郑州:黄河水利出版社,1998:72-100.

[6] 2007年水利青年科技论坛.科技创新与现代水利[M].郑州:黄河水利出版社,2007.

欢迎订阅 2010 年《水土保持研究》

《水土保持研究》创刊于 1985 年,双月刊,中文版,属地球科学类期刊。主管单位为中国科学院,由中国科学院水利部水土保持研究所主办。为《中国科技论文统计源期刊》、《中国科学引文数据库统计源期刊》、《中文核心期刊要目总览》。本刊为 A4 开本,272 页/期。刊号为:ISSN 1005- 3409, CN6 1- 1272/P。国内邮发代号:52- 211,定价:25.0 元/册。

**报道内容:**土壤侵蚀、旱涝、滑坡、泥石流、风蚀等水土流失灾害的现状与发展动态;水土流失规律研究、监测预报技术研发成就与监测预报结果;水土流失治理措施与效益分析;水土流失地区生态环境建设与社会经济可持续发展研究;计算机、遥感工程、生物工程等边缘学科新技术、新理论、新方法在水土保持科研及其实践中的应用;国外水土流失现状及水土保持研究新动态等。

**读者对象:**从事水保科技研究、教学与推广的科教工作者及有关行政管理人员;国内外环境科学、地学、农业、林业、水利等相关学科的科教人员及大专院校师生。

地址: 陕西省杨陵区西农路 26 号  
中国科学院水利部水土保持研究所《水土保持研究》编辑部  
邮编: 712100  
E-mail: research @ ms. isw c. ac. cn  
电话: (029) 87012705  
http:// www. isw c. ac. cn