

病险水库风险判别标准体系研究

王仁钟, 李 雷, 盛金保

(南京水利科学研究院大坝安全与管理研究所, 江苏 南京 210029)

摘要:在常规的大坝安全鉴定(评价)的基础上,引入和采用目前国际上先进的大坝风险分析概念和技术,建立了我国病险水库风险判别标准体系,主要包括工程安全评价、风险分析、风险评估及除险加固排序四部分。对沙河集水库大坝加固前后风险分析的应用实例表明用该体系进行风险评价能得到比较满意的效果。该体系还可通过对事件及溃坝后果赋值的办法,获得诸多病险水库的风险指数,从而应用于病险水库除险加固排序。

关键词:病险水库;风险评价;风险指数;判别标准

中图分类号:TV697.1

文献标识码:A

文章编号:1006-7647(2005)05-0005-04

Study on risk judgment standard system for dangerous reservoirs//WANG Ren-zhong, LI Lei, SHENG Jin-bao(*Dam Safety and Management Department of Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China*)

Abstract: Based on dam safety evaluation commonly performed, a risk judgment standard system was developed for dangerous reservoirs in China by introduction of advanced concepts and techniques for dam risk analysis. The system consists of four parts, i.e. safety evaluation, risk analysis, risk evaluation, and remediation priority. The system was applied to risk evaluation of Shaheji Reservoir, and the result was satisfactory. By assigning dam failure events and losses that might occur with certain values, the system can obtain risk indexes of dangerous reservoirs and further to determine remediation priority.

Key words: dangerous reservoir; risk evaluation; risk index; judgment standard system

我国已建各类水库大坝 8.5 万余座,作为国民经济的基础设施,对国民经济及社会的发展与稳定起着十分重要的作用。然而,不可忽视的是,由于种种原因,在 8.5 万多座水库中约有 40% 为病险水库,这不但影响其效益的发挥,一旦失事还会给下游人民生命财产带来巨大损失。为保障水库下游人民生命财产的安全和充分发挥水库的效益,近几年我国政府加大了对病险水库除险加固的投入,目前完成了近 920 座水库大坝的除险加固工作。计划 2010 年以前,还将对 2 500 多座水库进行除险加固。

病险水库的除险加固工作,首先是要根据病险水库的判别标准,对病险的严重程度进行分析,使病险严重的水库优先得到加固除险。为此,有必要建立一个病险水库风险判别标准体系。本文简要介绍该体系的初步研究成果。

1 病险水库风险判别标准体系的确定

1.1 病险水库风险判别标准体系建立的原则

病险水库风险判别标准体系建立的原则为:

①满足现行规范要求;②具有科学性和先进性;③既能与国际接轨,又能符合国情;④具有可操作性,可供我国病险水库除险加固排序参考。

1.2 基于工程安全性(系数)的判别标准

本文所称的“病险水库大坝”即 SL258-2000《水库大坝安全评价导则》中所称的“三类坝”,《水库大坝安全鉴定办法》(水建管[2003]271 号)中将其定义为“实际抗御洪水标准低于部颁水利枢纽工程除险加固近期非常运用洪水标准,或者工程存在较严重安全隐患,不能按设计正常运行的大坝”。SL258-2000《水库大坝安全评价导则》根据有关现行规范,分别对工程的抗洪能力、结构稳定、渗流稳定、抗震性能及金属结构性态等工程性状的安全性给出定量或定性标准,予以分级,分为 A、B、C 三级。A 级为安全可靠;B 级为基本安全,但有缺陷;C 级为不安全。综合各专项安全性级别进行大坝分类,安全性级别均达到 A 级的,为一类坝;安全性级别达到 A 级和 B 级的,为二类坝;安全性级别中有 1 项以上(含 1 项)是 C 级的,为三类坝,即病险水库大坝。

基金项目:水利部引进国际先进农业科学技术资助项目(200106)

作者简介:王仁钟(1939—),男,辽宁大连人,教授级高级工程师,从事大坝安全与管理研究。

在这一水位下这一破坏路径的发生概率.依次可画出这一水位下其他破坏路径以及发生概率,这就是世界上目前采用的事件树方法.

2.4 溃坝概率估计

根据不同分析阶段和目的,将风险分析分为4种不同的水平,即初筛、初步分析、详细分析和非常详细分析.由于后两者很难做到,目前世界上绝大多数的风险分析是根据不同要求采用初筛或初步分析的办法.在初步分析时,破坏概率主要依靠经验来估算,目前常用的方法是历史资料统计法和专家经验法.

a. 历史资料统计法.所谓历史资料统计法,是根据历史上发生过类似事件的概率,来确定将来发生该事件的可能性.但历史上某事件发生时大坝的内部和外部条件与所分析的水库大坝的内部、外部条件是不同的,很可能彼此没有可比性,无法借用,因此历史资料统计的应用应注意可比性,和专家经验相互比较,谨慎使用.

b. 专家经验法.目前国际上通常采用的办法是将某一事件可能出现的定性判断转化为可能出现的定量概率.国际上已有一些经验供参考^[1,2].本文根据我国具体情况并借鉴国外经验,提出如表1所示的事件是否发生的定性描述和相应概率间的转换关系,其判断依据为:针对不同事件,根据历史资料和大坝安全鉴定结果,并结合水库大坝安全管理和长期运用情况由专家给出,具体见有关资料^①.李雷等^①给出了工程中发生溃坝事件的10个主要环节及其定性评价、判断依据及发生概率的变化范围,可供专家赋分参照.

表1 我国破坏事件发生的定性描述和概率转换关系

定性描述	相应概率
事件不会发生	0.000001 ~ 0.01
事件基本不会发生	0.01 ~ 0.1
事件可能发生	0.1 ~ 0.5
事件很可能发生	0.5 ~ 0.8
事件肯定发生	0.8 ~ 1.0

3 溃坝影响及其后果的确定

3.1 溃坝影响分析

溃坝影响分析是针对某一溃坝模式和某一洪水水位下进行溃坝洪水及其演进计算,获得溃口的流量和水位过程线,以及沿程各处的流量、水位、流速、波前和洪峰到达时间等,从而可确定溃坝影响范围,并

对溃坝后果做进一步的评价.

王仁钟等对溃坝洪水计算及溃坝洪水演进分析进行了研究^②.Fread开发的预报土坝溃坝洪水过程线的BREACH模型^③可以模拟因漫顶或管涌引起的溃坝,该模型已有相应的软件,本文实例的溃坝洪水计算便是应用该软件的.

Fread在DAMBRK模型和BREACH模型基础上开发出功能更强大的FLDWAV模型^④,现已有成熟的FLDWAV模型软件可方便地用于溃坝洪水演进分析.

3.2 溃坝后果分析

溃坝后果包括生命损失、经济损失及社会与环境影响.

生命损失的主要影响因素有风险人口总数和其分布、溃坝发生时间、报警时间、水深和流速、洪水上涨速率及撤离条件等.其中风险人口指大坝溃坝影响区内直接暴露于某一深度洪水区内的所有人员.参照国外的经验^[3],这一洪水深度可暂取为0.3m.不同学者考虑其中的不同因素,提出了不同的分析方法.

Dekay等根据大量的国外溃坝和洪水泛滥造成灾害的历史统计资料,推导出以下潜在生命损失经验公式^[4]:

$$LOL = 0.075 PAR^{0.56} \exp[-0.759 W_T + (3.790 - 2.223 W_T) F_C] \tag{1}$$

即潜在生命损失LOL是警报时间 W_T 、风险人口PAR及洪水强度 F_C 的函数.高水力风险的峡谷泛区,水深流急,取 $F_C = 1$;低水力风险的平原泛区,水浅流缓,取 $F_C = 0$.式(1)可用于筛选阶段或群坝分析及病险水库除险加固排序.

Graham考虑洪水严重性、警报时间及风险人口对洪水严重性的理解,提出了溃坝生命损失的确定方法^[5],该方法比较科学全面,但分析计算工作量大,可用于初步分析阶段.

溃坝经济损失包括直接经济损失和间接经济损失,其计算还将涉及到社会经济调查、溃坝洪水损失率及溃坝洪水损失增长率等.文献[6]等对溃坝经济损失的确定已有详细介绍.

溃坝对社会的影响除前面谈到的生命损失外,主要包括政治影响,即对国家、社会安定的不利影响;因受伤或精神压力给人们造成身心健康的损害;日常生活水平和生活质量的下降;无法补救的文物古迹、艺术珍品和稀有动植物的损失等.

①李雷,彭雪辉,王昭升.水库大坝溃决模式和溃坝概率分析研究.南京水利科学研究院,2004.
②王仁钟,彭雪辉,王昭升.溃坝影响及其后果确定方法研究.南京水利科学研究院,2004.
③Fread D L. Breach: an Erosion model for earthen dam failures. 1988.
④Fread D L, Lewis J M. NWS fldwav model. Hydrologic Research Laboratory Office of Hydrology, National Weather Service, 1998.

溃坝对环境的影响主要包括对河道形态的影响;生物及其生长栖息地(包括河流、湿地、表土和植被等)的丧失;人文景观(含公园与保护区)的破坏;易受影响或造成重大环境影响或污染的工业(包括化学储存设施、农药厂、核电站等)等。

4 水库大坝风险标准

水库大坝风险包括生命风险、经济风险及社会与环境风险,应分别制定相应的风险标准(准则)。目前国外对生命风险和经济风险已有相应的标准^[1],而我国在这方面的研究还刚刚起步。盛金保等^①根据我国国情并借鉴国外尤其是澳大利亚的经验,初步提出了我国的风险标准(参见图2及图3)。

5 水库大坝风险分析应用实例

以沙河集水库大坝加固前后为例,进行大坝风险分析。

5.1 工程概况

沙河集水库位于安徽省滁州市市区西北约18 km的长江下游滁河支流清流河上,总库容 $1.85 \times 10^8 \text{ m}^3$,是一座以灌溉为主,结合防洪、供水、养殖等综合利用的大(2)型水库。水库于1958年动工兴建,1979年基本建成。

水库枢纽由主坝、副坝、3座涵洞(南涵、北涵、小北涵)、溢洪道及非常溢洪道组成。主坝均为均质土坝,最大坝高26.5 m,坝顶长720 m。

水库虽经多次加固,但仍未能脱险,近期加固前水库存在的主要问题有:29.00 m高程曾发生管涌;主坝防渗体系不完善;南涵(底板高程29.00 m)洞身砌石质量差,涵基为坝体填土,有环向断裂,多处渗漏,涵洞与坝体填土接触渗漏严重等。

该水库大坝于1999年被鉴定为三类坝,2000年5月开始除险加固,2002年12月加固完成。

5.2 大坝风险分析

用简化法确定沙河集水库加固前后的溃坝概率;用BREACH模型计算溃口流量、水位过程线及溃口形状,再用FLOODWAV模型模拟洪水演进和溃坝流量及水位过程线,并依此制作洪水淹没图和计算溃坝后果。生命损失用Graham法计算,经济损失借用该水库除险加固工程初步设计资料,并根据洪水演进分析,用面积比法,获得各溃坝工况的经济损失。由以上分析计算,得到加固前后的社会生命风险图(图2)及经济风险图(图3)^②,图中还绘出了本研究建议的社会生命风险标准和经济风险标准。由图2和图3可见,

加固后社会生命风险和经济风险大幅度降低,但仍位于不可容忍风险区,有待今后深入研究。

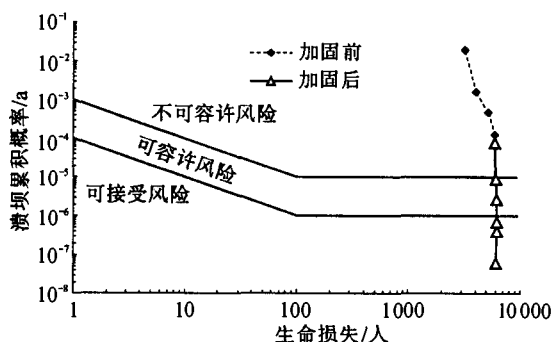


图2 加固前后社会生命风险

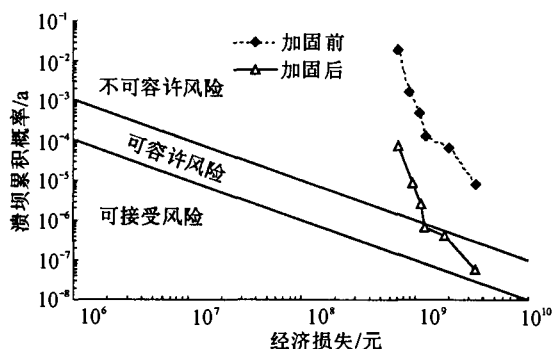


图3 加固前后经济风险

6 病险水库除险加固排序实用方法初探

6.1 除险加固排序方法

a. 按1.2节的标准和要求对工程进行安全评价和分级。

b. 根据工程安全评价结果,按前述可能的破坏路径建立事件树,并以相应的事件赋值办法予以赋值,计算出各可能破坏路径下的溃坝概率,其和即为大坝溃坝概率。

c. 确定溃坝后果。生命损失可暂采用文献[4]的方法确定,计算公式见式(1);经济损失可由调查统计确定;社会与环境影响则由社会与环境调查确定。

d. 溃坝后果综合评价(赋值)。溃坝后果综合系数 L 可由式(2)得出:

$$L = \sum_{i=1}^3 S_i F_i = S_1 F_1 + S_2 F_2 + S_3 F_3 \quad (2)$$

式中: S_1, S_2, S_3 分别为生命损失、经济损失及社会与环境影响的权重系数,经采用Saaty建议的1~9标度法(AHP法)初步确定,分别为0.737、0.105和0.158; F_1, F_2, F_3 分别为生命损失、经济损失及社会与环境影响的严重程度系数,可根据分析或调查结果,依据相关表格^③赋值。(下转第67页)

①盛金保,彭雪辉.水库大坝风险标准的研究.南京水利科学研究院,2004.

②Barker M, Sheng Yu, 李雷,等.沙河集水库大坝风险评价.澳大利亚GHD公司,水利部大坝安全管理中心,2003.

③王仁钟,李雷,王昭升,等.病险水库除险加固排序实用方法研究.南京水利科学研究院,2004.

和补浆处理一起作为一种被动的补救措施不可能成为保证后张法预应力混凝土桥梁孔道压浆质量的有力手段。所以,普通压浆工艺在国内桥梁界还将长期使用,而从改进压浆材料和施工工艺着手提高普通压浆质量的工程研究具有实际应用价值。

当有新的灌浆材料拟使用时,必须先经过试验,确定其具有满足要求的新特性,估计外加剂在抗腐蚀方面的特性以及外加剂之间可能存在的副作用后方可用于实际结构。

参考文献:

[1] Woodward R J. Collapse of a segmental post-tensioned concrete

(上接第8页)

e. 病险水库风险指数的计算。按式(3)计算病险水库风险指数 R

$$R = P_f L \quad (3)$$

式中: P_f 为溃坝概率。由于溃坝概率 P_f 往往比较小,而 L 在 0.1~1 之间,两者的乘积更小。为直观起见,将其放大 1 000 倍,则式(3)变为

$$R = 1000 P_f L \quad (4)$$

f. 按上述方法计算诸多病险水库的风险指数,然后依风险指数大小排序,决定除险加固顺序。

6.2 计算实例

以沙河集水库为例,按上述方法计算得水库除险加固前后风险指数 R 分别为 0.7180 和 0.0285^①,说明加固后比加固前风险指数降低了 96%。

如果多座大坝作类似分析,则可以得到各坝的风险指数,即可排出风险的大小顺序,供排序决策参考。

7 结 语

本研究在常规的大坝安全鉴定(评价)的基础上,引入和采用目前国际上先进的大坝风险分析概念和技术,首次建立了我国病险水库风险判别标准体系。应用表明,该体系所研究和建议的方法基本可行,并可首先用于病险水库除险加固排序;然而它又是初步的,鉴于大坝安全的重要性及其影响因素众多,以及风险评价仍处于发展阶段,还需对体系中的一些环节做专门的深入调查研究,使该体系得到完善和提高。

参考文献:

- [1] Guidelines on Risk Assessment[S]. Australian National Committee on Large Dams (ANCOLD), 2003.
[2] Vick S G. Degrees of belief-subjective probability and engineer-

bridge[R]. Concrete Bridge Design and Maintenance: Steel Corrosion in Concrete, 1989. 38—60.

- [2] 朱方容. 后张法中的灌浆技术——真空吸浆法[J]. 湖南交通科技, 2002, 28(2): 54—55.
[3] 冯大斌, 栾贵臣. 后张法预应力混凝土施工手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002. 89—92.
[4] 夏涛. 我省大型桥梁若干典型病害处治技术探讨[J]. 湖南交通科技, 2003, 29(3): 56—59.
[5] Schokker A J, Breen J E, Kreger M E. Simulate field testing of high performance grouts for post-tensioning[J]. Journal of Bridge Engineering, 2002, 7(2): 127—133.

(收稿日期: 2004-07-17 编辑: 高建群)

ing judgment[M]. Reston: ASCE Press, 2002.

- [3] Guidelines for Failure Impact Assessment of Water Dams[S]. Queensland Government Natural Resources and Mines, 2002.
[4] Dekay M L, McClelland G H. Predicting loss of life in case of dam failure and flash flood[J]. Risk Analysis, 1993(2): 193—205.
[5] Graham W J. A simple procedure for estimating loss of life from dam failure[R]. D-8540, Bureau of Reclamation, USA, 1999.
[6] 朱淮宁. 溃坝经济分析研究[D]. 南京: 河海大学, 1997.
(收稿日期: 2004-11-30 编辑: 熊水斌)

(上接第11页)差别最大可达30%。河道型水库的洪水调度应该考虑动库容的影响。

b. 对于河道型水库,采用静库容推算入库流量过程较采用动库容推算入库流量过程滞后,峰值较小,峰值相差可达2%。

c. 对于河道型水库的洪水调度,可以采用入库站洪水预报和库区的旁侧人流预报作为边界条件,应用水力学洪水演进模型,通过控制坝上水位过程,直接模拟计算出库流量,进行水库洪水调洪演算。

d. 对于河道型水库的历史洪水整编,采用动库容方法推算入库流量过程比较符合实际,建议采用动库容方法推算入库流量。

参考文献:

- [1] 许海军, 陈守煜. 水库动库容调洪计算的数值-解析解法[J]. 水利学报, 2002(3): 69—73.
[2] 许海军, 陈守煜. 基于实测资料的水库动库容调洪数值解法[J]. 大连理工大学学报, 2003(6): 837—840.
[3] 李光炽. 流域洪水演进模型及其参数反问题研究[D]. 南京: 河海大学, 2001.
[4] 阿包特 M B. 计算水力学[M]. 王绍文, 魏启宇译. 北京: 海洋出版社, 1985. 46—79.
[5] 汪德耀. 计算水力学理论与应用[M]. 南京: 河海大学出版社, 1989. 152—157.

(收稿日期: 2004-01-06 编辑: 高建群)

①王仁钟, 李雷, 王昭升, 等. 病险水库除险加固排序实用方法研究. 南京水利科学研究院, 2004.