

DOI: 10.3876/j.issn.1000-1980.2008.05.007

水库大坝风险综合评价标准及其适用性

马福恒^{1,2}, 刘成栋^{1,2}, 向 衍^{1,2}

(1. 南京水利科学研究院大坝安全与管理研究所, 江苏 南京 210029; 2. 水利部大坝安全管理中心, 江苏 南京 210029)

摘要: 简要阐述了水库大坝风险综合评价标准制定的几个原则, 然后对其进行定性和定量等级划分。根据大坝风险综合评价标准具有的地域性、时变性和社会性等特点, 提出了大坝风险综合评价标准的适应性评价指标体系, 并给出了其评价指标权重关键问题的分析方法, 进而建立了适应性评价模型。

关键词: 大坝; 风险评价标准; 适应性评价体系; 权重模型

中图分类号: TV698 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1980(2008)05-0610-05

随着安全问题越来越被重视, 大坝安全管理已逐渐转向基于工程风险的管理。对大坝风险评估势必涉及风险标准的问题。大坝风险包含了生命、经济、社会与环境风险。目前, 对生命风险和经济风险标准方面的研究较深入, 澳大利亚、加拿大和美国都根据各自的特点提出了生命和经济风险标准^[1-3]。在国内, 也有学者结合我国的社会经济发展水平、传统文化背景、社会价值观、管理体制等, 对社会风险和环境风险标准进行了研究^[4-5]。但是对水库大坝风险综合评价标准及其适应性研究方面, 国内外至今还是空白。

大坝风险综合评价标准的制定旨在能够定性和定量地对大坝风险进行衡量, 提高保障公共安全的能力, 最大限度地预防和减少水库大坝突发事件及其造成的损失, 保障人民生命财产的安全, 维护社会、政治、经济秩序, 促进经济社会全面、协调、可持续发展。21世纪以来, 我国提出“以人为本”“和谐社会”的理念, 因而溃坝事件可能导致的社会、环境影响是不能忽视的。应该将社会、经济、环境风险控制在什么水平是个世界性的难题。我国经济社会发展受到地域性与时变性影响, 因此风险标准也必然带有地域性和时变性的特点, 而且还受社会性的制约。本文在调查研究的基础上, 针对风险标准的地域性、社会性和时变性, 对水库大坝风险综合评价标准及其适应性评价指标体系进行了初步探讨。

1 大坝风险综合评价标准

1.1 构建大坝风险综合评价标准的基本原则

大坝风险综合评价标准的构建既要反映一定的社会特点, 适应社会发展的需要, 又要受到社会发展条件的制约, 因此, 必须符合我国的国情和经济发展的规律, 同时, 还应把面向未来、可持续发展的战略思想贯穿其中。大坝风险综合评价标准的构建是一项开创性的工程, 没有现成的体系可借鉴。笔者认为, 制定大坝风险综合评价标准宜遵循以下3个原则。

a. 综合性与区域性。大坝风险综合评价标准是一个广泛、综合、系统的范畴, 应全面体现国家突发公共事件应急预案的有关规定, 反映我国大坝安全现状的本质特征, 适应区域经济发展的需要, 是大坝风险综合评价的共性标准。但是, 我国经济发展的不平衡性, 导致了大坝安全现状的不平衡性。东部沿海地区、中部地区、西部地区, 不同区域, 大坝安全和经济发展的“贫富”差异很大。因而, 大坝风险综合评价标准的构建既要考虑大坝风险的共性要求, 也要兼顾不同经济区域大坝风险的特点和基础。

b. 客观性、可信性、有效性的有机统一。客观性是指评价主体应在充分调查分析的基础上, 对大坝风险进行客观公正的评价, 不能带有主观偏见。可信性是指风险评价结论要可靠, 要有说服力。有效性指的是评价

收稿日期: 2008-05-18

基金项目: 国家科技支撑计划(2006BAC14B04)

作者简介: 马福恒(1969—), 男, 河南项城人, 高级工程师, 博士, 主要从事大坝安全监控、安全评价和安全管理研究。

结论能准确反映大坝风险的程度.在大坝风险综合评价标准中,要协调好三者之间的关系,把大坝风险综合评价标准建立在客观、可信、有效的基础之上.

c. 定性评价与定量评价相结合.定性评价与定量评价相结合是大坝风险综合评价标准的理想选择.一般来说,定量的描述是以定性分析为前提的,反过来,定性分析又以定量描述为基础.对一些抽象层次高、找不到典型价值事实的评价对象,则以定性评价为主.

1.2 大坝风险综合评价标准的确定

风险标准是进行大坝风险综合评价的前提条件,按性质可以将其分为定性标准和定量标准.

1.2.1 定性标准

一般包括国家的各项方针政策、法律法规和地方性法规.大坝风险分析必须以我国的法律法规、方针政策为前提,并以此来衡量水库大坝的风险标准是否符合国家政策方针的要求,是否有利于社会经济的持续稳定发展.大坝风险分析只有合法并且有效才能形成真正的效益.因此,在生命损失、经济损失、社会与环境影响的风险分析基础上^[6],根据国家突发公共事件应急预案以及国家防洪抗旱应急预案的规定,依据大坝风险严重程度的分析结果,将大坝风险综合评价标准划分为 5 级,即Ⅰ级(特别严重)、Ⅱ级(严重)、Ⅲ级(较重)、Ⅳ级(一般)和Ⅴ级(轻微),依次用红色、橙色、黄色、蓝色和绿色表示.

1.2.2 定量标准

根据定性标准划分等级以及目前国际上比较流行的 F-N 线法原理确定.核心思想为:以 F-N 原理为基础,计算人口、社会、环境等影响指数 f 与溃坝概率 F 大小组成的面积.可将风险评价标准分为上限、下限和上下限之间的‘灰色’区域 3 个大区域(图 1).根据定性风险标准划分等级,可得出大坝风险综合评价的定量标准: $(+\infty, 50\alpha]$, $(50\alpha, 5\alpha]$, $(5\alpha, 0.05\alpha]$, $(0.05\alpha, 0.005\alpha]$, $(0.005\alpha, 0]$ 5 个区间.其中 α 为区域适应性因子,由专家确定,为 1 左右.一般情况下,东部地区 α 小于 1,西部地区 α 大于 1.

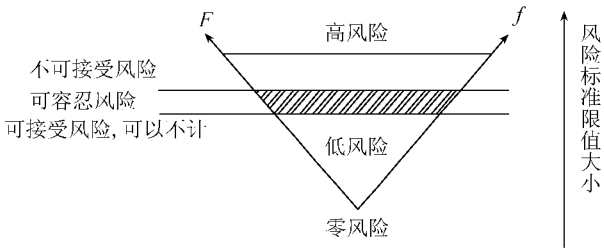


图 1 大坝风险综合评价标准构成
Fig.1 Structure of comprehensive dam risk assessment standards

2 评价标准的适应性

2.1 制约因素

大坝风险综合评价标准的适应性一般来说应对整个区域的社会总体效益进行评价,包括经济效益、社会效益、环境影响、决策等多个方面.但在实际中往往存在以下 3 方面的制约因素:

a. 地域差异性.经济振兴是实现东部、中部、西部生态环境协调发展的基础和关键.西部生态状况的恶化与经济落后是密切关联的.因此,大坝风险综合评价标准应当考虑中西部社会经济、环境的地域性影响,才能形成生态与经济良性发展的良性循环,增强国家经济和生态的可持续发展能力.

b. 组织协调能力.水库大坝抢险抗险是一项协调部门多、涉及人员广、空间跨度范围大的复杂工程.它依附于政府行政能力、抢险指挥部领导能力、水利部门与其他相关部门协同组织能力、地区人口年龄结构不平衡等问题,容易出现统一指挥和分散行动的矛盾,造成‘管理真空’的局面.

c. 评价结论的约束力.从约束力上看,风险评价仅仅作为一个技术性文件,本身不具有法律约束力,只能作为管理决策的一个重要依据.在实际实施过程中,一些地方的突发事件应急预案才存在直接和法定的约束作用.但是已有的应急预案制定、工程除险加固的有限资金运用是否合理尚缺乏依据^[7].

2.2 适应性评价指标体系的建立

根据研究对象的现状,确定影响其适应性研究的各类因素,遵循直观性、可比性、可操作性、独立性、相对性和导向性等原则,结合相关的研究成果,从地域适应性、地方决策的适应性以及专家意见的适应性 3 个方面研究评价标准的适应性,从而建立起可操作的综合评价指标体系(图 2).

2.3 适应性评价指标的等级划分

参照国内外各种综合指标分级方法,将风险等级适应性因素分别划分成 5 个等级,如表 1 所示.它是基

于假定其因素属于等差渐变而建立起来的. 各评价指标定性评价等级见表 2.

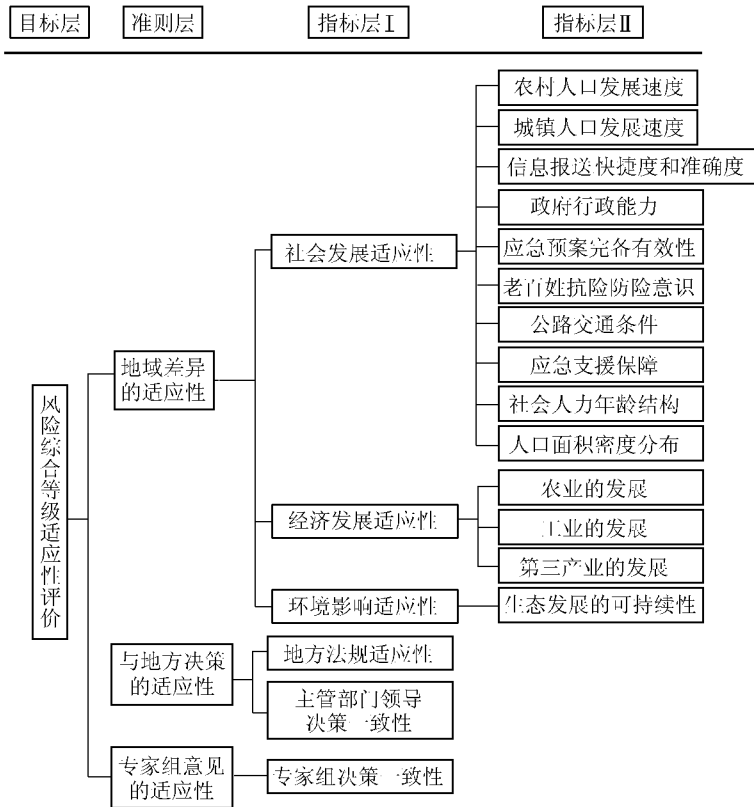


图 2 风险综合评价标准的适应性评价指标体系

Fig.2 Applicability assessment index system for comprehensive risk assessment standards

表 1 适应性评价指标定量等级

Table 1 Quantitative grades of applicability assessment indices

等级	适应性描述	适应性综合指数
一级	完全适应	≥ 80
二级	较适应	60 ~ 80
三级	基本适应	40 ~ 60
四级	弱适应	30 ~ 40
五级	不适应	≤ 30

2.4 权重分析模型

各指标的权重是风险分析中的关键问题. 因此, 本文基于传统 AHP 法思想, 借助模糊数学方法的优势, 建立适合风险分析的模糊改进层次权重分析模型^[8].

2.4.1 标度分析比较及其改进

标度选用是否恰当, 直接影响适应性分析评价结果的客观性. 标度方法有很多种, 大致有 1 ~ 9 标度法、9/9 ~ 9/1 标度法、10/10 ~ 18/2 标度法、指数标度、三标度法及 0.1 ~ 0.9 标度法等. 在风险适应性分析中, 对于这些评价指标的两两比较, 往往不存在‘强烈重要’和‘极端重要’的情况, 而比较多的情况是在‘稍微重要’附近变化. 基于此, 本文选用较为适合风险适应性评价的改进 0.1 ~ 0.9 标度法, 即将判断分为同等重要、重要、明显重要 3 个等级, 如表 3 所示. 表中 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 为上述‘0.1 ~ 0.9 标度’的中值.

表 2 定性评价等级

Table 2 Qualitative grades of applicability assessment indices

指标	完全适应	较适应	基本适应	弱适应	不适应
农村人口发展速度	完全不影响	基本不影响	微弱影响	有一定影响	影响很大
城镇人口发展速度	完全不影响	基本不影响	微弱影响	有一定影响	影响很大
信息报送快捷度和准确度	非常快、准确	比较快、准确	一般	较差	差
政府行政能力	非常强	较强	一般	较差	差
老百姓避险意识	相当强	较强	一般	较差	差
公路交通条件	良好	较好	好	较差	差
应急保障物质	非常充足	比较充足	一般充足	比较缺乏	缺乏
社会人口年龄结构	非常年轻化	比较年轻化	年轻化	比较老龄化	老龄化
人口面积密度分布情况	非常集中	比较集中	基本集中	较分散	分散
农业发展	完全不影响	基本不影响	微弱影响	有一定影响	影响很大
工业发展	完全不影响	基本不影响	微弱影响	有一定影响	影响很大
第三产业发展	完全不影响	基本不影响	微弱影响	有一定影响	影响很大
影响当地环境程度	完全不影响	基本不影响	微弱影响	有一定影响	影响很大
与地方决策一致性程度	完全一致	比较一致	基本一致	较差	很差
专家组接受程度	非常满意	较满意	满意	较不满意	不满意

2.4.2 指标权重的确定

设评价指标 $u_1, u_2, \cdots, u_m$, 进行两两重要性比较, 得到模糊一致性矩阵为 $R = (r_{ij})_{m \times m}$, 评价指标 $u_1, u_2, \cdots, u_m$ 的权重值分别为 $w_1, w_2, \cdots, w_m$, 则由 $r_{ij} = f(w_i - w_j)$ 的特点, 可设 f 为 $f(x) = 0.5 + px$, 那么就有如下关系式成立:

$$r_{ij} = 0.5 + p(w_i - w_j) \quad (i, j = 1, 2, \cdots, m)$$

固定 i 可得

$$w_i = \frac{(r_{ik} - \frac{1}{2})}{p} + w_k \quad (k \in \Omega)$$

然后对 k 求和, 有

$$mw_i = \frac{1}{p} \sum_{k=1}^m r_{ik} - \frac{m}{2p} + \sum_{k=1}^m w_k$$

由权重向量归一化条件 $\sum_{k=1}^m w_k = 1$ 可得权重计算公式为

$$w_i = \frac{1}{m} - \frac{1}{2p} + \frac{1}{pm} \sum_{k=1}^m r_{ik} \quad (p \geq (m - 1)/2)$$

式中: m ——适应性评价指标的个数; p ——专家对评价指标之间重要性差异的重视程度. 分析可知: p 越大, 权重之差越小; p 越小, 权重之差则越大, 当 $p = (m - 1)/2$ 时权重之差达到最大. 因此, p 越小, 表明专家非常重视评价指标间重要性的差异; p 越大, 表明专家不是非常重视评价指标间重要性的差异. 决策者还可以通过调整 p 的大小, 求出若干个不同的权重向量, 再从中选择一个自己认为比较满意的权重向量.

2.5 风险分析适应性评价模型

风险标准受到多种因素的影响. 将每一种因素用一个评语来代表, 假设有 m 个评语, 它们构成一个评语论域 U :

$$U = \{u_1, u_2, \cdots, u_j, \cdots, u_m\}$$

式中 u_j 代表第 j 个评语.

将每一个评语适当地分成若干等级, 以衡量其重要程度. 假设每个评语分成 n 个等级, 则它们将构成等级论域 V :

$$V = \{v_1, v_2, \cdots, v_i, \cdots, v_n\}$$

式中 v_i 代表第 i 个等级.

每一个评语 $u_j (j = 1, 2, \cdots, m)$ 对每一个等级 $v_i (i = 1, 2, \cdots, n)$ 都有一个隶属度, 即 u_j 对 v_i 的符合程度, 记作 r_{ij} . 一个评语对所有等级的隶属度构成一个模糊向量 Y' , 第 j 个评语的模糊向量可表示为

$$Y' = (r_{1j}, r_{2j}, \cdots, r_{ij}, \cdots, r_{nj})$$

所有评语的模糊向量构成一组模糊关系, 记为模糊变换矩阵 $\tilde{R}$:

$$\tilde{R} = \begin{bmatrix} r_{11} & \cdots & r_{n1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{1m} & \cdots & r_{nm} \end{bmatrix}$$

因为在 m 种因素中, 每种因素对大坝风险标准划分的影响程度不同, 所以必须给每个评语加上适当的权重, 这些权重亦构成一个模糊向量 $\tilde{A}$:

$$\tilde{A} = (a_1, a_2, \cdots, a_j, \cdots, a_m)$$

式中 a_j 是第 j 个评语的权重.

将模糊矩阵 $\tilde{R}$ 和模糊向量 $\tilde{A}$ 合成, 进行模糊变换:

表 3 0.1~0.9 标度法与改进

Table 3 0.1—0.9 scale method and improvement		
标度	0.1~0.9 标度	改进的 0.1~0.9 标度
0.1	甲指标绝对没有乙指标重要	甲指标没有乙指标重要
0.3	甲指标明显没有乙指标重要	甲指标稍微没有乙指标重要
0.5	甲指标与乙指标同样重要	甲指标与乙指标同样重要
0.7	甲指标明显重要于乙指标	甲指标比乙指标重要
0.9	甲指标绝对重要于乙指标	甲指标比乙指标明显重要

$$\tilde{Y} = \tilde{A} \circ \tilde{R} = (a_1, a_2, \cdots, a_j, \cdots, a_m) \begin{bmatrix} r_{11} & \cdots & r_{n1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{1m} & \cdots & r_{nm} \end{bmatrix} = (y_1, y_2, \cdots, y_i, \cdots, y_n) \tag{10}$$

通过模糊变换而得出的模糊向量 $\tilde{Y}$ 为

$$\tilde{Y} = (y_1, y_2, \cdots, y_i, \cdots, y_n) \tag{11}$$

即为得到的风险标准的适应性分析结果,其中 y_i 代表风险标准的适应性对第 i 个等级的隶属度^[9].

3 结 语

大坝风险综合评价标准制定的目的是为了工程安全预警,优化除险加固资金,并进行辅助决策^[10].凡是能满足社会需求、满足生态环境需求、适应社会经济发展的风险综合评价标准就是合理的,就是适应社会发展的.然而,这些标准涉及的应用阶段不一,地域情况不一,具有一定的复杂性,要求评价者对本专业领域十分熟悉.由于目前水利行业内大坝风险综合评价标准及其适应性评价研究很少,尚无经验可借鉴.因此,大坝风险综合评价标准及其适应性评价还有待于不断摸索、完善和深化.

参考文献：

[1] 阿姆达尔 T,刘洪波.挪威风险评估的新准则[J].水利水电快报,2001,22(21):15-18.
[2] 王正旭.挪威的大坝安全管理[J].水利水电科技进展,2007,27(6):67-69.
[3] 王正旭.英国的大坝安全管理[J].水利水电科技进展,2002,22(4):65-68.
[4] 马福恒.病险水库大坝风险分析与预警方法[D].南京:河海大学,2006.
[5] 盛金保,赫健,王昭升.基于风险的病险水库除险决策技术[J].水利水电科技进展,2008,28(2):25-29.
[6] 傅琼华,吴晓彬,金峰.区域水库群大坝安全评价体系的构建[J].水利水电科技进展,2007,27(6):28-31.
[7] 马福恒,向衍.水工混凝土结构健康诊断的预警系统[J].水利水运工程学报,2005(3):7-12.
[8] 马福恒,刘成栋.大坝安全评价的信息赋权模型[J].水电自动化与大坝监测,2005(3):69-71.
[9] 向衍,吴中如.数据挖掘技术在大坝安全决策支持系统中的应用[J].水力发电,2003,29(1):20-23.
[10] 吴中如,顾冲时.重大水工混凝土结构隐患病害检测与健康诊断[M].北京:高等教育出版社,2005:112-115.

Comprehensive reservoir dam risk assessment standards
and their applicability

MA Fu-heng^{1,2}, LIU Cheng-dong^{1,2}, XIANG Yan^{1,2}

- (1. Dam Safety and management Department, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China ;
2. Dam Safety Management Center of MWR, Nanjing 210029, China)

Abstract : The required principles of comprehensive dam risk assessment standards are discussed. Comprehensive dam risk assessment standards are divided into grades qualitatively and quantitatively. An applicability assessment index system for comprehensive dam risk assessment standards has been developed based on some of their characteristics, such as regionality, time variation and sociality, and an analysis method for determination of the assessment index weight is presented. The applicability assessment model is also established.

Key words : dam ; risk assessment standards ; applicability assessment system ; weight model