

水库溃坝应急预案预见性评价方法研究

张士辰^{1,2}, 李 雷^{1,2}

(1. 南京水利科学研究院, 江苏 南京 210029; 2. 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210029)

摘要: 大坝溃决应急预案的预见性,直接关系到预案的实用有效性. 探索分析了水库溃坝预见性的含义,拟定了主要包括大坝溃决模式、溃坝洪水、洪水演进、淹没风险图和后果评估共5个子指标的指标体系. 基于层次分析法和工程经验,确定了5个子指标的权重及综合评价方法. 根据研究的预见性评价方法,对《贵州省贵阳市松柏山水库、花溪水库大坝安全管理应急预案》的预见性进行了评价,评价结果与该《预案》专家评审会中得出的结论相当.

关 键 词: 溃坝; 应急预案; 预见性; 评价方法

中图分类号: TV697

文献标志码: A

文章编号: 1009-640X(2010)03-0045-08

我国水库大坝数量巨大,现正处于病险水库除险加固的高峰. 1954-2007年,我国发生3 503起溃坝事件^[1],对生命、财产、经济和社会造成惨重损失. 目前我国水库大坝风险依然很大,对下游公共安全的威胁已引起各级领导的关注^[2]. 在“预防为主”理念背景下,水库大坝应急预案的重要性日益显现. 所谓“预防为主”,一方面是预防事件的发生;另一方面是预见事件发生的影响,预先采取措施,以避免或减小公众损失. 预案是否具有预见性,直接关系到预案能否实用有效. 但是如何评价应急预案的预见性,至今鲜见这方面研究成果. 本文探索分析了水库溃坝预见性的含义,并对其指标体系和综合评价方法进行了研究.

1 预见性评价的指标体系

1.1 评价指标

水库溃坝对下游的威胁是由于无控制的洪水下泄造成的人员伤亡、财产损失和经济社会影响. 因此,预案必须深入了解溃坝洪水产生的部位和溃决模式、洪水的严重性及演进方式、影响范围及可能的损失^[3-5]. 预案的预见性主要取决于以下5个方面:(1)大坝的溃决模式. 应急预案应正确预见水库大坝的溃决模式. 不同水库大坝的溃决模式是不一样的,同一座大坝的溃决模式也不相同. 不同的溃决模式将产生不同的溃坝洪水. 确定大坝的溃决模式时,需要对工程进行深入的现场检查,了解工程性态及其薄弱环节,以及可能出现问题的部位;(2)溃坝洪水计算. 溃坝洪水是指溃坝时在溃口处无控下泄洪水,溃坝洪水计算特指坝址处溃坝洪水的计算,其目的是为了获得坝址的流量及流速过程线,以及其他水力要素(如库水位)的变化过程线,为下游洪水演进计算提供基础资料. 溃坝洪水都是计算得到的,计算结果的可信度取决于计算工况、计算假定及溃口发展过程的确定是否合理,采用的计算模型和参数是否合适. 溃坝洪水计算是预见性分析的重要内容;(3)洪水演进. 即溃坝洪水随时间向下游河道传播的过程. 溃坝洪水计算的流量及流速过程线作为洪水演进的输入,采用经验或数值方法进行计算,得到沿程不同位置、不同时间的洪水过程线和流速、淹没水深、

收稿日期: 2009-10-28

基金项目: 国家“十一五”科技支撑计划资助项目(2006BAC14B00);水利部“948”计划项目(S70702);南京水利科学研究院基本科研业务费专项资金(重点项目)(Y710002);南京水利科学研究院研究生基金资助项目(YY70801)

作者简介: 张士辰(1977-),男,河北涿州人,工程师,博士研究生,主要从事大坝安全与风险分析研究.

E-mail: sczhang@nhri.cn

淹没历时等重要信息. 国外用于洪水演进的计算机软件很多, 国内不少研究单位也在开发洪水演进分析软件. 目前国内多采用数值计算的方法. 但计算结果是否合理, 并不仅仅取决于软件是否成熟可靠, 往往还取决于计算条件与实际情况的相符程度; (4) 淹没风险图. 所谓淹没风险图, 从洪水风险的角度看, 是指淹没范围内各水流参数的分布图; 从溃坝风险对下游生命、财产、经济等影响程度来看, 是指淹没区人口或重要厂矿企业受到洪水影响的严重程度. 在各水流参数分布图上叠加人口、经济、厂矿企业分布图层, 就可以得到淹没范围内生命、财产、工矿企业的风险分布图. 淹没风险图是应急预案编制的主要依据, 据此可确定淹没范围、淹没范围中风险最大且需要及早撤离的区域和人口主要分布区域等, 以便撤离时妥善安排. 如果应急预案中没有该图, 则预案的预见性值得怀疑. 因此在预案的预见性评价中, 淹没风险图是重点关注的对象. 另外, 即使有了该图, 还需注意风险图是哪种水流参数下绘制的, 是计算机还是人工绘制的, 以及风险图的计算工况是否合理等问题; (5) 溃坝洪水的后果评估. 所谓后果, 是指对淹没深度在 30 cm 范围内的生命、经济损失以及对社会环境的影响. 目前应急预案中一般多关注生命损失, 应急措施主要是如何保障风险人口的安全. 在生命损失的后果估计中, 目前常采用经验统计公式, 但这种方法只能估计淹没范围中风险人口的可能死亡人数, 难以根据洪水严重性对不同区域人口的死亡数进行估计. 而基于 GIS 技术的生命损失评估方法, 将风险人口分布图层和洪水严重性分布图层相互叠合, 淹没范围分为 n 个单元, 每个单元中均采用经验统计模型估计生命损失, 从而得到生命损失的总量和分布. 这种方法最具科学性和预见性. 但不管采用何种方法, 必须注意基础资料(风险人口及其分布、村镇及建筑物分布等)的准确性和时效性. 损失评价模型的可靠性、分析范围的合理性等方面的问题.

1.2 指标的评价标准

应急预案中上述 5 个方面是否具有科学性或预见性, 可以在 (0, 1) 之间给予评价, 一般分为很好、较好、一般、较差和很差 5 个等级, 相应等级赋分标准为 0.80 ~ 1.00, 0.60 ~ 0.80, 0.40 ~ 0.60, 0.20 ~ 0.40, 0 ~ 0.20. 专家可根据各自判断给出相应评分. 5 个方面各自的判断标准及赋分参考见表 1 ~ 5.

表 1 大坝溃决模式 Y_1 指标判断标准与赋分参考
Tab. 1 Discriminant standard and assignment scope for failure mode Y_1 index

指 标 等 级	评 分 标 准	专 家 赋 分
很 好	预案中做了深入的大坝溃决模式分析; 隐患判断依据非常充分, 有近期安全鉴定、现场检查等全面材料支撑; 进行了认真、全面的现场检查, 检查队伍中有多位经验丰富的安全专家; 外荷载确定合理可信; 确定的溃决模式合理、可信、全面.	0.80 ~ 1.00
较 好	预案中做了较为深入的大坝溃决模式分析; 判断依据较为充分, 安全鉴定、现场检查等材料较为全面; 进行了现场检查, 检查队伍中含有经验丰富的安全专家; 外荷载确定基本合理可信; 确定的溃决模式基本合理、可信.	0.60 ~ 0.80
一 般	预案中做了大坝溃决模式分析; 隐患判断依据不够充分, 安全鉴定、现场检查等支撑材料较少; 进行了现场检查, 检查队伍中专业技术人员较少; 外荷载确定不够合理可信; 确定的溃决模式不够合理、可信.	0.40 ~ 0.60
较 差	预案中基本没有做大坝溃决模式分析; 隐患判断依据不够充分, 安全鉴定、现场检查等材料基本没有; 近期没有进行现场检查, 只有早期现场检查资料, 且不全面; 没有确定合理可信的外荷载; 确定的溃决模式基本不合理、不可信.	0.20 ~ 0.40
很 差	预案中看不出做过大坝溃决模式分析; 隐患判断依据不充分, 没有安全鉴定、现场检查等材料; 没有进行过现场检查; 没有确定外荷载; 确定的溃决模式不合理、不可信.	0 ~ 0.20

表 2 溃坝洪水 Y_2 指标判断标准与赋分参考
Tab. 2 Discriminant standard and assignment scope for failure flood Y_2 index

指 标 等 级	评 分 标 准	专 家 赋 分
很 好	计算工况确定合理、正确; 计算参数选取合理, 符合一般性规律; 溃口及其发展过程的假定合理, 符合以往溃坝实例的规律; 计算软件是商用的, 有长期使用经验, 计算模型选择合适, 适合使用; 计算结果(溃坝洪水流速、流量过程线)符合一般规律, 可信.	0.80 ~ 1.00

(续表)		
指标等级	评分标准	专家赋分
较 好	计算工况确定基本合理;计算参数选取基本合理,基本符合一般规律;溃口及其发展过程的假定基本合理,基本符合以往溃坝实例的规律;计算软件是成熟的,有使用经验,计算模型选择基本合适,可用;计算结果(溃坝洪水流速、流量过程线)基本符合一般规律.	0.60~0.80
一 般	计算工况确定不够合理;计算参数选取不够合理,不够符合一般规律;溃口及其发展过程的假定不够合理,不够符合以往溃坝实例的规律;计算软件是成熟的,但使用经验不足,计算模型不够合适;计算结果(溃坝洪水流速、流量过程线)不够符合一般规律.	0.40~0.60
较 差	计算工况确定不合理;计算参数选取不合理,有较大随意性,不符合一般性规律;溃口及其发展过程的假定不合理,不符合以往溃坝实例的规律;计算软件不成熟,又无使用经验,计算模型不合适;计算结果(溃坝洪水流速、流量过程线)不符合一般规律.	0.20~0.40
很 差	计算工况确定很不合理;计算参数的选取很随意;溃口及其发展过程的假定很不合理;计算软件很不成熟,又无实际使用经验,计算模型很不合适;计算结果(溃坝洪水流速、流量过程线)和一般规律相差甚远;没有溃坝洪水计算迹象.	0~0.20

表 3 洪水演进 Y_3 指标判断标准与赋分参考

Tab. 3 Discriminant standard and assignment scope for flood progress Y_3 index

指标等级	评分标准	专家赋分
很 好	计算简化(假定)合理,计算断面部位和数量选取合适;商用计算软件,成熟可靠,有多年使用经验;沿程计算边界简化合理与实际边界差距不大;沿程计算参数(如糙率、堤岸顶高程等)选取合理;采用地形图的精度满足计算要求.	0.80~1.00
较 好	计算简化(假定)基本合理,计算断面部位和数量选取基本合适;计算软件成熟可靠,有使用经验;沿程计算边界简化基本合理;沿程计算参数(如糙率、堤岸顶高程等)选取基本合理;采用地形图的精度基本满足计算要求.	0.60~0.80
一 般	计算简化(假定)不甚合理,计算断面部位和数量选取不甚合适;计算软件是成熟的,但使用经验不足;沿程计算边界简化不甚合理;沿程计算参数(如糙率、堤岸顶高程等)选取不甚合理;采用地形图的精度不太满足计算要求.	0.40~0.60
较 差	计算简化(假定)不合理,计算断面部位和数量选取不合适;计算软件不成熟,使用经验不足;沿程计算边界简化不合理;沿程计算参数(如糙率、堤岸顶高程等)选取不合理;采用地形图的精度不满足计算要求.	0.20~0.40
很 差	计算简化(假定)不合理,计算断面部位和数量选取不合适;计算软件不成熟,使用经验不足;沿程计算边界简化不合理;沿程计算参数(如糙率、堤岸顶高程等)选取不合理;采用地形图的精度不满足计算要求.	0~0.20

表 4 淹没风险图 Y_4 指标判断标准与赋分参考

Tab. 4 Discriminant standard and assignment scope for flood inundating risk map Y_4 index

指标等级	评分标准	专家赋分
很 好	有清晰的可视化淹没风险图;根据洪水严重性或生命损失严重性,图内已有明确的分区;风险图叠加有风险人口、居民区分布的图层,该图层是近 5 年的;淹没风险图是采用基于 GIS 技术的计算机绘制;风险图中标注有明确的撤离方向、线路和目标等.	0.80~1.00
较 好	有可视化淹没风险图;根据洪水严重性或生命损失严重性,图内已有较明确的分区;风险图叠加有风险人口、居民区分布的图层,该图层是近 10 年的;淹没风险图是计算机绘制的;风险图中标注有撤离方向、线路和目标等内容.	0.60~0.80
一 般	有淹没风险图;根据洪水严重性或生命损失严重性,图内没有明确的分区;风险图中没有叠加风险人口、居民区分布的图层;淹没风险图是计算机计算,人工绘制的;风险图中没有有关撤离方向、线路和目标等内容.	0.40~0.60
较 差	有淹没范围图;图内没有风险程度分区;淹没范围图中没有叠加风险人口、居民区分布图层;淹没范围图是人工绘制的;范围图中没有有关撤离的内容.	0.20~0.40

(续表)		
指 标 等 级	评 分 标 准	专 家 赋 分
很 差	没有绘制淹没范围图或有,但非常粗糙;图内没有任何风险程度分区;淹没范围图是人工勾绘的,随意性较大.	0 ~ 0.20

表 5 后果评价 Y_5 指标判断标准与赋分参考

Tab. 5 Discriminant standard and assignment scope for consequence assessment Y_5 index

指 标 等 级	评 分 标 准	专 家 赋 分
很 好	评估方法准确,后果评价采用 GIS 技术;基础资料(人口分布、经济、环境)准确,能够准确反映现状;评估范围合理,淹没范围按准确的洪水演进结束确定;能够得出合理、可行的预警时间.	0.80 ~ 1.00
较 好	评估方法较准确,后果评价未采用 GIS 技术;基础资料(人口分布、经济、环境)较准确,能够较准确反映现状;评估范围较合理,淹没范围按较准确的洪水演进结果确定;能够得出较合理、较可行的预警时间.	0.60 ~ 0.80
一 般	评估方法基本准确,后果评价未采用 GIS 技术;基础资料(人口分布、经济、环境)基本准确,能够基本反映现状;评估范围基本合理,淹没范围按基本准确的洪水演进结果确定;能够得出基本合理、较可行的预警时间.	0.40 ~ 0.60
较 差	评估方法欠准确,后果评价未采用 GIS 技术;基础资料(人口分布、经济、环境)欠准确,基本不能准确反映现状;评估范围欠合理,淹没范围按欠准确的洪水演进结果确定;不能得出合理、可行的预警时间.	0.20 ~ 0.40
很 差	评估方法错误,后果评价未采用 GIS 技术,评估结果不准确;基础资料(人口分布、经济、环境)不准确,不能反映现状;评估范围不合理,淹没范围按不准确的洪水演进结果确定;未考虑预警时间.	0 ~ 0.20

2 指 标 权 重

根据以上各表对应急预案预见性指标赋值后,对预见性进行综合评价时,涉及到各影响因素的权重问题.这里采用 Saaty 建议的 1~9 标度法(AHP 法)^[6],提出权重确定方法及建议值,供预见性评价参考.

AHP 法采用 1~9 及其倒数作为 2 个元素重要性比较定量化的标度.标度 1,3,5,7,9 分别表示一个元素比另一个元素同等、稍微、明显、强烈、极端的重要程度,标度 2,4,6,8 分别表示上述相邻程度的中值;2 个元素反过来对比为原先标度的倒数.

情况一:应急预案的预见性是基于事先对可能突发事件的分析.对影响风险区域的突发事件进行事前预见,目的是准确把握可能突发事件的后果及其影响,合理事先布置应急措施,以将影响降至最低,它是应急预案制定的前端环节,也是关键环节.指标体系子目标层中的淹没风险图(Y_4)和后果评估(Y_5)是制定应急预案的基本依据,也是直接依据;淹没风险图(Y_4)可明确生命损失、经济损失和社会与环境影响的严重程度分区,为下游受灾群众转移提供必须的可视化指导,后果评估(Y_5)则是直接影响突发事件预警级别的依据,而预警级别的不同将直接影响抢险与救援的力度与后果.从应急预案的有效性角度,考虑到后果评估(Y_5)影响应急活动的全局,淹没风险图(Y_4)是确定溃坝后果的直接依据,其他结果无法取代淹没风险图的作用,则两者应属同等重要,因此, $Y_4:Y_5$ 可定为 1:1.大坝溃决模式(Y_1)、溃坝洪水(Y_2)和洪水演进(Y_3),可从“后果评估”逆向分析:洪水风险图需要洪水演进结果,而洪水演进则以溃坝洪水分析为依据,溃坝洪水分析又依赖于大坝溃决模式的分析结果,因此,三者与后果评估是同等重要的,则 $Y_1:Y_2:Y_3:Y_4:Y_5=1:1:1:1:1$.这一结果表明, Y_1,Y_2,Y_3,Y_4,Y_5 是制定应急预案的必要依据,5 个子指标缺一不可.由此,给出如下判断矩阵:

$$\begin{array}{c} Y_1 \ Y_2 \ Y_3 \ Y_4 \ Y_5 \\ \left[\begin{array}{ccccc} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{array} \right] \begin{array}{l} Y_1 \\ Y_2 \\ Y_3 \\ Y_4 \\ Y_5 \end{array} \end{array} \quad (1)$$

由式(1)求得 Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5 权重均为 0.2.

情况二:淹没风险图(Y_4)可明确生命损失、经济损失和社会与环境影响的严重程度分区,为下游受灾群众转移提供必须的可视化指导,尽管其对应应急预案有效性非常重要,但与大坝溃决模式(Y_1)、溃坝洪水(Y_2)、洪水演进(Y_3)、后果评估(Y_5)四者相比,淹没风险图(Y_4)更注重的是对应应急预案执行过程的指导作用,往往根据 Y_1, Y_2, Y_3, Y_5 ,并依靠相应的可视化软件工具(如 GIS)即可确定淹没风险图(Y_4),因此,认为 Y_1, Y_2, Y_3, Y_5 较 Y_4 “明显重要”,则将五者比例确定为 $Y_1 : Y_2 : Y_3 : Y_4 : Y_5 = 5 : 5 : 5 : 1 : 5$,由此可给出如下判断矩阵:

$$\begin{array}{c} Y_1 \ Y_2 \ Y_3 \ Y_4 \ Y_5 \\ \left[\begin{array}{ccccc} 1 & 1 & 1 & 5 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 5 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 5 & 1 \\ 0.2 & 0.2 & 0.2 & 1 & 0.2 \\ 1 & 1 & 1 & 5 & 1 \end{array} \right] \begin{array}{l} Y_1 \\ Y_2 \\ Y_3 \\ Y_4 \\ Y_5 \end{array} \end{array} \quad (2)$$

由式(2)求得 Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5 权重分别为 0.238 1, 0.238 1, 0.238 1, 0.047 6, 0.238 1.

情况三:仍认为大坝溃决模式(Y_1)、溃坝洪水(Y_2)、洪水演进(Y_3)是最基础的环节,也最为重要,相对淹没风险图(Y_4)而言,可认为 Y_1, Y_2, Y_3 较 Y_4 “明显重要”,而后果评估(Y_5)是在 Y_1, Y_2, Y_3 基础上经计算获得,某种意义上讲, Y_1, Y_2, Y_3 的准确性是以 Y_5 准确性为前提的,即 Y_1, Y_2, Y_3 较 Y_5 相对更重要一些,但考虑到后果评估(Y_5)计算过程有其自身独立特性,即 Y_5 计算既依据 Y_1, Y_2, Y_3 的计算结果,又在这三者计算结果的基础上做进一步的计算分析,故总体看,可将 Y_1, Y_2, Y_3 相对于 Y_5 定为“稍微重要”,由此可给出如下判断矩阵:

$$\begin{array}{c} Y_1 \ Y_2 \ Y_3 \ Y_4 \ Y_5 \\ \left[\begin{array}{ccccc} 1 & 1 & 1 & 5 & 1.667 \\ 1 & 1 & 1 & 5 & 1.667 \\ 1 & 1 & 1 & 5 & 1.667 \\ 0.2 & 0.2 & 0.2 & 1 & 0.333 \\ 0.6 & 0.6 & 0.6 & 3 & 1 \end{array} \right] \begin{array}{l} Y_1 \\ Y_2 \\ Y_3 \\ Y_4 \\ Y_5 \end{array} \end{array} \quad (3)$$

由式(3)求得 Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5 权重分别为 0.263 2, 0.263 2, 0.263 2, 0.052 6, 0.157 9.

对比以上 3 种情况,在实际的预案编制过程中,“情况三”更接近实际情况,即淹没风险图(Y_4)在 5 个指标中重要性最低,而后果评估(Y_5)重要性稍低于大坝溃决模式(Y_1)、溃坝洪水(Y_2)和洪水演进(Y_3), Y_1, Y_2, Y_3 三者的重要性是相同的.因此,在实际预案预见性综合评价过程中,优先采用“情况三”中的各指标权重选取方式.

3 综合评价的集结方法

应急预案预见性可采用线性加权法进行综合评价,其评价模型表达式为:

$$Y = \sum_{i=1}^n (C_i \times W_i) \quad (4)$$

式中: Y 为应急预案的可行性评价价值; C_i 为各评价指标赋分; W_i 为各评价指标的权重.

应急预案预见性评价标准尚无统一规定, 暂采用如表 6 所示的评价标准^[7].

表 6 应急预案预见性等级划分参考标准

Tab.6 Grade and standard of predictability for emergency plan

等级划分	状 态	可行性值 R	对 策
A	优秀	$0.85 \leq R \leq 1.00$	保持
B	良好	$0.75 \leq R < 0.85$	适当加强
C	一 般	$0.60 \leq R < 0.75$	需加强
D	较差	$0.40 \leq R < 0.60$	急需加强
E	很差	$R < 0.40$	需重新编制

4 案例的预见性评价

根据以上方法, 对作者参与编制的《贵州省贵阳市松柏山水库、花溪水库大坝安全管理应急预案》^[8] (下简称《预案》) 的预见性进行了评价. 限于篇幅, 这里不再对该《预案》内容进行详细介绍, 其中与预见性有关的内容在下面的指标赋值过程中可以了解.

4.1 预见性评价指标赋值

4.1.1 大坝溃决模式指标 《预案》在松柏山水库 1998 年 1 月大坝安全鉴定总报告结论和花溪水库 2003 年 7 月蓄水安全鉴定报告的基础上, 结合有丰富经验的安全专家参与的现场检查情况, 以及已失事的拱坝、混凝土坝失事经验, 经过专家们的经验评价, 对该两座水库的突发事件进行了较深入的分析, 得到在 1 000 年以上一遇、1 000 年一遇、100 ~ 1 000 年一遇和 100 年以下一遇洪水下的可能突发事件, 并分析了可能溃决模式, 最终得出在 1 000 年以上一遇洪水作用下可能发生松柏山水库主坝瞬时双向全溃、花溪水库副坝连同溢洪道冲溃的溃决模式. 另外, 《预案》中对两水库水质污染突发事件进行了专门分析, 还对地震、战争和恐怖袭击等可能引发突发事件的风险要素进行了简要定性评价, 使突发事件分析更加全面.

根据以上情况, 认为《预案》中对大坝溃决模式及其它可能引发的突发事件做了较为深入的分析, 根据表 1, 可将“大坝溃决模式”指标等级划分为“较好”级别, 其对应的专家赋值为 0.60 ~ 0.80, 考虑到在对大坝溃决模式分析时没有采用“破坏模式影响及危害性分析”(FMECA) 或“事件树(ETA)分析”等专业性分析方法^[9], 可能对溃决模式略有影响, 但现场检查由经验丰富的专家进行, 其溃决模式判别结果具有一定程度的可靠性, 因此, 将赋值最终确定为上限 0.80.

4.1.2 溃坝洪水指标 《预案》在大坝溃决模式分析的基础上, 将 1 000 年一遇的校核工况作为溃坝洪水计算工况基本合理. 溃坝洪水计算时, 对坝前水深、有关几何参数等的选取方式做了说明, 并将全溃坝址流量过程线设定为经验性的 4 次抛物线, 计算参数基本合理, 基本符合一般规律, 所采用经验性的 4 次抛物线其实就是假定了溃口发展过程及其流量变化过程^[10]. 溃坝洪水计算采用丹麦 DHI 公司的 MIKE21 商业软件, 该软件已广泛应用于潮汐、水流等二维水力学现象的研究与分析. 《预案》中溃坝洪水分析者曾接受过该软件的系统培训, 并已将其应用于多个工程项目中, 具有较丰富的使用经验.

根据以上情况, 认为《预案》中溃坝洪水分析较为深入. 根据表 2, 可将“溃坝洪水”指标等级划分为“很好”级别, 其对应的专家赋值为 0.80 ~ 1.00, 但考虑到溃坝洪水计算参数选取影响因素较多, 因此, 偏于保守地将赋值最终确定为 0.85.

4.1.3 洪水演进指标 《预案》中同样采用 MIKE21 软件进行下游洪水演进计算, 基础资料主要来自于 1 : 10 000 地形图, 淹没区域内的高程点、水系、公路等信息可由人工在 GIS 软件平台上进行分层数字化得到. 地形图精度满足洪水演进的基本要求, 与实际情况基本一致, 计算基础信息满足洪水演进计算要求; 初始条件和边界条件确定合理, 演进所需参数如河道糙率等均依据水库下游实际情况和工程经验给出.

根据以上情况, 认为《预案》中对洪水演进做了深入、合理的分析, 根据表 3, 可将“洪水演进”指标等级

划分为“很好”级别,其对应的专家赋值为0.80~1.00,考虑到整个分析过程无明显不合理环节,但偏于保守地综合考虑后将赋值最终确定为0.95。

4.1.4 淹没风险图指标 《预案》中对1000年一遇洪水条件下发生溃坝、未溃坝而采用溢洪道和泄洪洞泄洪的下游洪水深度淹没情况,100年一遇洪水条件下未溃坝采用溢洪道和泄洪洞泄洪的下游洪水深度淹没情况,均给出了清晰的可视化淹没风险图,还绘制了能够反映洪水严重性的“水深×流速”洪水严重性风险图。不管在水深淹没风险图还是洪水严重性淹没图中,都将居民区分布情况进行了有效标注,且居民区图层基础数据采用的是2006年统计数据(属5年内的基本数据),准确有效,能够较好地反映淹没区内目前的实际情况;淹没风险图的制作是采用GIS技术实现的,能够保证风险图制作过程和提取数据的准确性。

综上所述,认为《预案》中对淹没风险图的制作能够反映淹没区的实际情况,可作为应急预案制作的基本依据,根据表4,可将“淹没风险图”指标等级划分为“很好”级别,其对应的专家赋值为0.80~1.00。考虑到风险图中为对撤离方向、线路和目标未做标识,对应急预案的执行过程稍有影响,但相关信息以表格的形式进行了统计,并与淹没风险图相互对应,部分程度上弥补了这种影响。因此,综合分析后将赋值最终确定为0.95。

4.1.5 后果评估指标 《预案》中基于大坝溃决模式分析、溃坝洪水计算、洪水演进分析、淹没风险图制作等,对溃坝进行了必要的后果评估,主要包括生命损失、经济损失和社会与环境影响的后果评估,并综合这3项评估结果对溃坝洪水损失做了综合评估,突发事件严重性综合评定为“特别重大”(I级)等级。

后果评估依据的溃坝洪水淹没情况准确、可信。评估过程中,针对淹没范围内总的风险人口,依据Dekay & McClelland经验统计模型计算了生命损失,该评估模型20世纪90年代开始使用,计算结果可大致反映实际情况;经济损失和社会与环境影响则根据淹没范围内经济状况和社会环境状况大致确定,淹没区所用基础资料采用2006年统计资料,属近5年内的统计资料,能够较准确、有效地反映目前现状,经济和社会、环境损失评估结果较准确。在溃坝后果评估后,能够根据不同历时条件下溃坝洪水淹没的不同情况,得出合理、可行的预警时间。

综上所述,认为《预案》中的后果评估较深入、较准确,根据表5,可将“后果评价”指标等级划分为“很好”级别,其对应的专家赋值为0.80~1.00。考虑到对下游生命损失评估时未基于GIS平台做分区生命损失评估,对生命损失结果略有影响,综合分析后将赋值最终确定为0.95。

4.2 预见性综合评价

根据“指标权重”中的3种情况,由式(4)计算该预案预见性综合评价为:情况一, $Y_1=0.90$;情况二, $Y_1=0.89$;情况三, $Y_1=0.88$ 。对照表6可见,3种情况下该预案的分析评价结果均为“优秀”,应继续“保持”现有状态。尽管如此,从其评价分数看,尚处于表6“A”级分数规定区间的下半区间(0.85~0.90),也就是说现有预案尚有继续完善的空间,例如,可考虑采用FMECA方法对溃决模式进行更为细致的分析,对预案中根据实际情况增加撤离路径的分析与标志,基于GIS平台做分区生命损失的更精确估算等。

5 结 语

本文着眼于应急预案的预见性,拟定了相应的指标体系,主要包括大坝溃决模式、溃坝洪水、洪水演进、淹没风险图和后果评估5个子指标;采用层次分析法,基于工程经验,分3种情况分别确定了5个子指标的权重;确定了综合评价方法和评价标准。

根据研究的应急预案预见性评价方法,对《贵州省贵阳市松柏山水库、花溪水库大坝安全管理应急预案》的预见性进行了评价,评价结果与该《预案》专家评审会中的结论相当。

参 考 文 献:

- [1] 孙继昌. 中国的水库大坝安全管理[J]. 中国水利, 2008(20): 10-14. (SUN Ji-chang. Dam safety management in China