

基于模糊四元联系数的防洪工程体系安全综合评价模型^{*}

邓朝贤¹, 金菊良¹, 王宗志², 吴成国¹

(1. 合肥工业大学 土木与水利工程学院, 安徽 合肥 230009;

2. 南京水利科学研究院 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: 防洪工程体系是由随机、模糊、未确知等众多不确定性因子组成的复杂系统, 它至今仍是洪水灾害管理的主体, 对该体系综合安全进行定量评价可为洪水灾害管理提供重要依据。模糊四元联系数是集对分析中同异反联系数的推广, 它可更深入地分析系统中的各种不确定性。利用模糊四元联系数建立了防洪工程体系安全综合评价模型, 用联系度可描述评价对象与评价标准之间的关系, 其结果简便直观, 能清晰地反应评价对象和评价标准间的动态联系。用该模型综合评价了实际防洪工程体系的安全程度, 其结果与物元分析方法所得结果一致。

关键词: 洪水灾害管理; 防洪工程; 安全评价; 集对分析; 模糊四元联系数

中图分类号: O159; TV8 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-811X(2008)03-0041-03

防洪工程体系是指在特定区域内, 具有控制或减缓某一标准洪水泛滥成灾和减轻洪水损失的工程、非工程措施的统一系统^[1]。近年来, 由于洪水灾害频繁发生, 致使许多水利工程设施失事, 给人民财产的安全和我国经济建设带来了严重的威胁和巨大的经济损失^[2], 因此防洪工程安全综合评价备受关注^[3-6]。所谓防洪工程体系安全综合评价是指对某区域的防洪工程体系中固有的或潜在的危险及其严重程度进行分析与评估, 并以既定指数、等级或概率值做出定量的判断, 最后根据定量值的大小决定采取预防或防护对策^[1,3,4]。目前, 由堤防、水库、分蓄滞洪区、湖泊、河道治理工程等子系统组成的流域防洪工程仍是流域洪水安全管理的主体^[4-6]。由于流域防洪工程体系包含众多随机、模糊和未确知等不确定性, 是典型的复杂系统, 常规的理论和方法存在明显的局限性, 而在防洪工程体系安全评价指标体系及其等级标准基础上、运用不确定性方法与智能方法进行综合集成建模, 则是当前防洪工程体系安全评价研究的一个重要发展方向^[6,7]。鉴于模糊四元联系数具有计算简便和信息利用全面的优点、能较好地研究其中的不确定性, 为了使防洪工程安全评价结果更可靠, 本文用模糊四元联系数方法建立防洪工程安全评价模型, 并应用于实际防洪工程体系安全评价中。

1 模糊四元联数原理

1.1 四元联系数

四元联系数是集对分析中同异反联系数的一种推广^[8], 将其中异的部分细分为偏同异和偏反异, 增强了其完整性和有效性, 能更准确地分析系统中的不确定信息。其表达式可写为^[8]

$$\mu = a + bi + cj + dk, \quad (1)$$

式中: 同一度 $a \in [0, 1]$; 偏同差异度 $b \in [0, 1]$; 偏反差异度 $c \in [0, 1]$; 对立度 $d \in [0, 1]$; 且满足 $a + b + c + d = 1$; $i \in [0, 1]$; $j \in [-1, 0]$; $k = -1$; 有时 i, j, k 不取任何值, 仅作一种标记。

1.2 模糊四元联系数的计算

设有 n 个评价指标, 将第 p 标准等级的 n 个指标组成一个集合 $A_p = [v_{p,1}, \dots, v_{p,l}, \dots, v_{p,n}]$, 将评价对象的 n 个指标组成一个集合 $B = [x_1, \dots, x_l, \dots, x_n]$, 这 2 个集合构成一个集对 (A_p, B) 。为简便又不失一般性, 设 $B = [x_1, \dots, x_l, \dots, x_n]$ 均为效益型指标, 比较集对中各对应项 $V_{p,l}$ 和 x_l , 作如下分析:

(1) 若 $x_l \in [0, v_{1,l}]$, 则 $a = 1, b = c = d = 0$ 。

(2) 若 $x_l \in [v_{1,l}, v_{2,l}]$, 则用 $x_l/v_{2,l}$ 表示 x_l 与 $v_{2,l}$ 的接近程度, $v_{1,l}/x_l$ 表示 x_l 与 $v_{1,l}$ 的接近程

* 收稿日期: 2007-12-24

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划重点项目(2006BAB14B02); 国家自然科学基金项目(70771035)

作者简介: 邓朝贤(1981-), 男, 硕士研究生, 从事水资源系统工程研究. E-mail: deng_chaoxian@163.com

度^[8,9]。而在 $x_l \in [v_{1,l}, v_{2,l}]$ 时, 数值 $x_l/v_{2,l} + v_{1,l}/x_l$ 当 $x_l = \sqrt{v_{2,l} \times v_{1,l}}$ 时取极小值 $2\sqrt{v_{1,l}/v_{2,l}}$, 当 $x_l = v_{1,l}$ 或 $x_l = v_{2,l}$ 时取极大值 $1 + v_{1,l}/v_{2,l}$ 。故为使 $x_l/v_{2,l} + v_{1,l}/x_l$ 归一化, 即用 $1 + v_{1,l}/v_{2,l}$ 分别除 $x_l/v_{2,l}$ 和 $v_{1,l}/x_l$, 得 $\frac{x_l}{v_{1,l} + v_{2,l}}$ 和 $\frac{v_{1,l}v_{2,l}}{(v_{1,l} + v_{2,l})x_l}$, 二者

可视为 x_l 与 $v_{2,l}$ 接近程度的肯定和否定^[9]。故定义 $a = \frac{v_{1,l}v_{2,l}}{(v_{1,l} + v_{2,l})x_l}$, $c = \frac{x_l}{v_{1,l} + v_{2,l}}$, $d = 0$ 。根据归一化条件 $a + b + c + d = 1$ 得差异度为 $b = \frac{(v_{2,l} - v_{1,l})(x_l - v_{1,l})}{(v_{1,l} + v_{2,l})x_l}$ 。于是可得联系度为^[9]

$$\mu = \frac{v_{1,l}v_{2,l}}{(v_{1,l} + v_{2,l})x_l} + \frac{(v_{2,l} - v_{1,l})(x_l - v_{1,l})}{(v_{1,l} + v_{2,l})x_l}i + \frac{x_l}{v_{1,l} + v_{2,l}}j + 0k \quad (2)$$

(3) 若 $x_l \in [v_{2,l}, v_{3,l}]$, 则同式(2)中方法可计算 a, b, c, d 分别为: $a = 0$, $b = \frac{v_{2,l}v_{3,l}}{(v_{2,l} + v_{3,l})x_l}$, $d = \frac{x_l}{v_{3,l} + v_{2,l}}$ 。根据归一化条件 $a + b + c + d = 1$ 得差异度为 $c = \frac{(v_{3,l} - v_{2,l})(x_l - v_{2,l})}{(v_{2,l} + v_{3,l})x_l}$ 。于是可得联系度为

$$\mu = 0 + \frac{v_{2,l}v_{3,l}}{(v_{2,l} + v_{3,l})x_l}i + \frac{(v_{3,l} - v_{2,l})(x_l - v_{2,l})}{(v_{2,l} + v_{3,l})x_l}j +$$

$$\mu(v_{1,l} \sim x_l) = \begin{cases} 1 + 0i + 0j + 0k, & x_l \in [0, v_{1,l}], \\ \frac{v_{1,l}v_{2,l}}{(v_{1,l} + v_{2,l})x_l} + \frac{(v_{2,l} - v_{1,l})(x_l - v_{1,l})}{(v_{1,l} + v_{2,l})x_l}i + \frac{x_l}{v_{1,l} + v_{2,l}}j + 0k, & x_l \in [v_{1,l}, v_{2,l}], \\ 0 + \frac{v_{2,l}v_{3,l}}{(v_{2,l} + v_{3,l})x_l}i + \frac{(v_{3,l} - v_{2,l})(x_l - v_{2,l})}{(v_{2,l} + v_{3,l})x_l}j + \frac{x_l}{v_{3,l} + v_{2,l}}k, & x_l \in [v_{2,l}, v_{3,l}], \\ 0 + 0i + 0j + 1k, & x_l \in [v_{3,l}, +\infty], \end{cases} \quad (4)$$

式中: $v_{1,l}, v_{2,l}, v_{3,l}$ 分别为评价标准一级、二级、三级的门限值; x_l 为防洪工程安全评价对象的各指标值。根据式(4)分别计算各个指标相对于一级标准的联系度的参数 a, b, c, d ; 对所有指标的 a, b, c, d 值取其平均值得到相对于一级标准的平均联系度参数。同理可以计算出各指标值相对于二级、三级、四级和五级标准的平均联系度参数。根据平均联系度的大小判别防洪工程体系所属等级。

3 实例分析

某流域中下游防洪工程体系, 目前主要由水

$$\frac{x_l}{v_{3,l} + v_{2,l}}k \quad (3)$$

(4) 若 $x_l \in [v_{3,l}, +\infty]$, 则 $a = b = c = 0, d = 1$ 。

2 防洪工程安全综合评价

现把上述模糊四元联系数用于防洪工程安全综合评价。根据上文设定的集对和计算方法计算每一个指标相对于每一个级别的联系度 $\mu(A_p \sim B)$, 进一步分析防洪工程安全分级标准与评价指标之间的数量关系, 可以看出, 评价指标数值的不同可以导致防洪工程安全级别的不同。因此, 需要更准确地计算模糊四元联系数。现采用如下方法确定联系度中的 a, b, c, d 的值。若指标值处于评价级别中, 则 $a = 1, b = c = d = 0$; 若指标值处于相邻的级别中, 则 $d = 0$, 指标值越靠近本评价等级则 a 越大, 反之 c 越大; 若指标所处的评价等级与本评价等级相隔一个等级, 则 $a = 0$, 距本评价等级越远则 d 越大, 反之 b 越大; 若指标值所处的评价等级与本评价等级相隔 2 个或 2 个以上等级, 则 $d = 1, a = b = c = 0$ 。

防洪工程安全评价的指标中包括很多种类型的指标, 为了简便, 可把其它类型的指标转换为效益型指标后再进行分析, 式(4)给出了指标相对于一级标准的联系度计算方法。

库、堤防、分蓄洪区、天然湖泊和河道治理 5 个子系统组成^[6]。依据该流域具体特点, 通过风险分析得到各组成要素的风险度(表 1), 据此建立的该防洪工程体系安全评价指标体系及其评价等级标准见文献[6]。根据式(4)计算出各个要素相对于微险、轻险、中险、重险和特险 5 个安全级别的关系度(表 2)。

表 1 某流域防洪工程体系各要素风险度^[6]

水库综合 风险率	堤防风险度	分蓄洪区 风险度	湖泊洪灾 风险度	河道治理 风险度
0.189	0.268	0.313	6.2	0.019

表 2 某流域防洪工程体系安全评价的模糊四元联系数计算结果

防洪工程 体系子系统	微险				轻险				中险				重险				特险			
	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d
水库	1.00	0.00	0.00	0.00	0.76	0.24	0.00	0.00	0.00	0.76	0.24	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00
堤防	0.62	0.02	0.36	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.36	0.02	0.62	0.00	0.00	0.36	0.02	0.62	0.00	0.00	0.00	1.00
分蓄洪区	0.53	0.05	0.42	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.42	0.05	0.53	0.00	0.00	0.42	0.05	0.53	0.00	0.00	0.00	1.00
湖泊	0.47	0.01	0.52	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.52	0.01	0.47	0.00	0.00	0.52	0.01	0.47	0.00	0.00	0.00	1.00
河道治理	0.00	0.43	0.22	0.35	0.00	0.22	0.43	0.35	0.43	0.22	0.35	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.35	0.22	0.43	0.00
平均联系度	0.52	0.10	0.30	0.07	0.75	0.09	0.09	0.07	0.34	0.21	0.44	0.00	0.20	0.26	0.02	0.52	0.07	0.04	0.09	0.80

表 2 表明, 依据文献[6]中的等级标准: 水库处于微险等级; 湖泊、分蓄洪区和堤防处于轻险等级, 需要完善以提高此防洪工程体系的安全水平; 河道治理处于重险等级, 迫切需提高其治理水平。如果不考虑联系度中的相异部分, 即令 $i=j=0$, $k=-1$, 可计算出该防洪工程体系相对于微险、轻险、中险、重险和特险的平均联系数分别为 0.456、0.682、0.344、-0.325、-0.731, 由此可以判断该防洪工程体系处于轻险等级, 这与文献[6]、[7]、[10]所得得结果一致, 而表 2 中的模糊四元联系数对信息的描述更为全面、直观。

4 结论

(1) 防洪工程体系安全评价中存在众多随机、模糊、未知等不确定性问题, 针对常规的理论和方方法对这些问题中信息应用不充分的局限性, 本文采用模糊四元联系数方法建立系统评价模型并用于防洪工程体系综合安全评价。

(2) 本评价模型能更深入地研究防洪工程体系综合安全评价中的不确定性, 克服片面性, 可实现定性定量相结合的评价。它的计算方法直观、简便, 通用性强, 适用于已知等级评价标准的其它灾害系统综合评价问题^[4,11-13], 同时也有利于促进我国原创的集对分析理论与应用研究^[8]。

参考文献:

- [1] 赵洪杰, 唐德善. 流域防洪体系防洪安全评价研究[J]. 灾害学, 2006, 21(4): 31-35.
- [2] Yongqiang Zong and Xiqing Chen. The 1998 Flood on the Yangtze, China [J]. Natural Hazards, 2000, (22): 165-184.
- [3] 李青云, 张建民. 长江堤防安全评价的理论、方法和实现策略[J]. 中国工程科学, 2005, 7(6): 8-9.
- [4] 魏一鸣, 金菊良, 杨存建, 等. 洪水灾害风险管理理论[M]. 北京: 科学出版社, 2002.
- [5] 王栋, 朱元胜. 防洪系统风险分析的研究评述[J]. 水文, 2003, (23)2: 15-20.
- [6] 纪昌明, 李继清, 张玉山. 防洪工程体系综合风险评价的物元模型[J]. 华北电力大学学报, 2005, 32(1): 86-90.
- [7] 赵吴静, 吴开亚, 金菊良. 防洪工程安全评价集对分析-可变模糊集模型[J]. 水利能源科学, 2007, 25(2): 5-7.
- [8] 赵克勤. 集对分析及其初步应用[M]. 杭州: 浙江科学技术出版社, 2000.
- [9] 叶义城, 柯丽华, 黄德育. 系统综合评价技术及其应用[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2006.
- [10] 陈守煜, 郭瑜. 模糊可变集合及其在防洪工程体系综合风险评价中的应用[J]. 水利水电科技进展, 2005, 25(6): 4-8.
- [11] 黄民生, 黄呈橙. 洪灾风险评价等级模型探讨[J]. 灾害学, 2007, 22(1): 1-5.
- [12] 魏一鸣, 金菊良, 周成虎, 等. 洪水灾害评估体系研究[J]. 灾害学, 1997, 12(3): 1-5.
- [13] 金菊良, 魏一鸣. 复杂系统广义智能评价方法与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2007.

(下转第 53 页)