跨流域调水工程事故后果的模糊综合评判

贺海挺[1],吴剑国[2],张爱晖[2]

(1.宁波高专建筑设计研究院有限公司,浙江 宁波　315010;2.浙江大学建筑工程学院,浙江 杭州　310027)

摘要:针对跨流域调水工程事故后果缺乏有效评判方法的现状,基于模糊数学的理论,将模糊多级综合评判方法运用于跨流域调水工程事故后果综合性评估.文章详细介绍了将模糊多级综合评判方法应用于调水工程事故后果计算的评判方法.

关键词:跨流域调水工程;事故后果;模糊综合评判

中图分类号:TV698.2　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1006-7647(2005)S1-0015-03

跨流域调水工程结构系统风险评估与众多因素相关,由风险定义[1]可知,这些因素主要包括事故发生的概率和事故的后果.在后果评估中,牵涉到人员损失、经济损失、环境影响的损失等.在这些后果因素中,很难有统一的评价标准,存在很大的不确定性.用模糊数学的理论解决工程实际中的模糊不确定性问题,是近几年在各个领域普遍受到关注的事件,并且在复杂系统的设计、功能决策、性能分析与评判等方面取得了许多研究成果.本文围绕一个模拟的调水工程的某一个事件树,对其事故后果进行模糊综合评判,进而说明如何对整个调水工程事故后果应用模糊综合评判方法.

1　跨流域调水工程事故后果评判的指标体系

为了便于说明在跨流域调水工程中如何应用模糊综合评判方法,本文模拟了如图 1 所示的一个自流输水调水工程的概化模型.

结合跨流域调水工程的特点和概化体系,建立了如图 2 所示的指标体系,由左至右分别为目标层、准则层和指标层.其中其他供水效益损失包括林业(苗圃)、菜田、水产养殖、航运补水和环境用水.

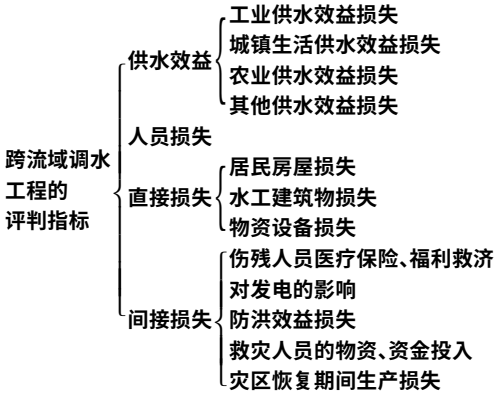


图 2　跨流域调水工程的评判指标

2　AHP 层次分析法在跨流域调水工程中的应用

由于跨流域调水工程事故后果的模糊性较大,且历史数据较少,尽管已经建立了如图 2 所示的指标体系,专家依旧难以对各个事件树下的评估指标

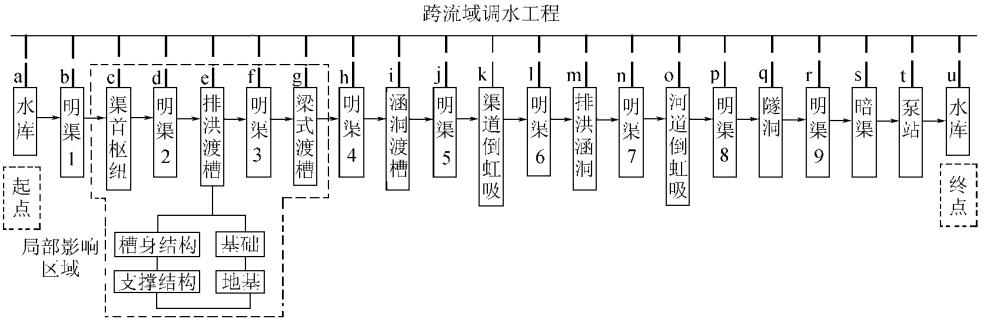


图 1　某跨流域调水工程概化模型

基金项目:水利部重点科技资助项目(SCX2002-09)

作者简介:贺海挺(1979—),男,浙江象山人,硕士,从事跨流域调水工程风险评估研究.

的层次和其相对重要性有较为明确的认识,使得专家估测法的应用较为困难.AHP(层次分析法)是一种定性与定量分析相结合的适用于多因素的决策分析方法.应用 AHP 层次分析法[2]对各个评判指标划分层次,并且区分各个评判指标的相对重要度,这将大大有助于专家对跨流域调水工程的评判指标作出较为合理的评判.

参看图 1,以 $E_{\alpha,a}$ 为例说明 AHP 层次分析法的应用.当暴雨和洪水作用中心在水库 a 时,则其事件树为 $E_{\alpha,a}$(其中 α 表示作用荷载为暴雨和洪水;a 表示荷载的作用中心为水库 a).

在 AHP 层次分析法中,两个元素之间相对重要程度用阿拉伯数字 1 ~ 9 表示,其意义如表 1 所示.由跨流域调水工程的特点,得到表 2 和表 3 中的比较矩阵.其中排序向量反映各指标的相对权重.如在表 2 中,供水效益这个准则的排序向量为第一行数据分别除以列的和,再取平均值得到,即供水效益准则的排序向量 0.58 = (1/1.7 + 4/6.5 + 4/6.5 + 5/10)/4.

表 1 成对比较的标度

重要程度	定义	词语描述
1	同等重要	两个元素作用相同
3	稍强	一个元素比另一个元素作用稍强
5	强	一个元素明显强于另一个元素
7	很强	一个元素强于另一个元素的幅度很大
9	绝对强	一个元素强于另一个元素可控制的最大可能
2,4,6,8	以上那些标度的中间值	
倒数值	当 i 与 j 比较时,被赋予以上某个标度值,则 j 与 i 比较时的标度值就应是那个标度的倒数	

表 2 各个准则的标度比较矩阵

标 度	供水效益	人员损失	直接损失	间接损失	排序向量
供水效益	1	4	4	5	0.58
人员损失	1/4	1	1	2	0.16
直接损失	1/4	1	1	2	0.16
间接损失	1/5	1/2	1/2	1	0.1
∑	1.7	6.5	6.5	10	1

表 3 直接损失指标的标度比较矩阵

标 度	居民房屋损失	水工建筑物损失	物资设备损失	排序向量
居民房屋损失	1	1/7	1/3	0.088
水工建筑物损失	7	1	3	0.668
物资设备损失	3	1/3	1	0.244
∑	11	1.476	4.333	1

综合表 2 和表 3 可以得到 $E_{\alpha,a}$ 的直接损失项准则的整体排序向量.如‘居民房屋损失’指标的整体排序向量为表 2 中的‘直接损失’项乘以表 3 中的“居民房屋损失”指标的排序向量,即 $0.16 \times 0.088 = 0.014$.同理,可以得到 $E_{\alpha,a}$ 事件树下各指标(即图 2 所示的 13 个指标)的整体排序向量分别为 0.087,0.1508,0.1856,0.1566,0.16,0.014,0.107,0.039,0.018,0.019,0.038,0.009,0.017.整体排序向量的数据用来指导专家对各指标进行合理的估测,但是这些数据并不直接参加模糊综合评判的数值计算.由于跨流域调水工程空间跨度大,各种荷载在不同的地方破坏的程度也不同,所以各指标的相对严重度和排序向量也有所不同,也就是说,不同的事件树有不同的 AHP 分析结果.

3 指标体系的打分

本文依据模糊综合评判的数学理论[3,4]采用二阶矩阵,先分析子系统的后果特性,再进行组合,从而考察总系统的事故后果.这些后果与暴雨和洪水等荷载的严重程度紧密相关,在这里可以借用 FMEA(失效模式及影响分析)表中的严酷度来表示[5,6].严酷度是指失效产生的后果的严重程度,一般分为Ⅰ,Ⅱ,Ⅲ,Ⅳ四类.

由于严酷度的分类没有明确的数值标准,因此,用模糊的办法分级,就是一种较好的办法[7].可利用过去的资料和专家的意见,对每一类危险事件所属的严酷度分类,给出所属的分值,从而计算出后果.

专家估测法是最常用的权系数确定法,是请若干专家对所提供的方案的各项指标以其相对重要性进行打分,然后进行统计,求出平均值,即为各项指标的权重[8].

4 模糊综合评判

$E_{\alpha,a}$ 事件树下的事故后果的模糊综合评判模型可列为如下算式:

$$\tilde{B} = \tilde{W}\tilde{R} = (\tilde{W}_2, \tilde{W}_3, \tilde{W}_4, \tilde{W}_5, \tilde{W}_6, \tilde{W}_7, \tilde{W}_8) \begin{bmatrix} \tilde{R}_2 \\ \tilde{R}_3 \\ \tilde{R}_4 \\ \tilde{R}_5 \\ \tilde{R}_6 \\ \tilde{R}_7 \\ \tilde{R}_8 \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中:

$$\tilde{R}_i = (\tilde{W}_{i1}, \tilde{W}_{i2}, \tilde{W}_{i3}, \tilde{W}_{i4}) \cdot \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & r_{14} & r_{15} & r_{16} & r_{17} & r_{18} & r_{19} & r_{110} & r_{111} & r_{112} & r_{113} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & r_{24} & r_{25} & r_{26} & r_{27} & r_{28} & r_{29} & r_{210} & r_{211} & r_{212} & r_{213} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & r_{34} & r_{35} & r_{36} & r_{37} & r_{38} & r_{39} & r_{310} & r_{311} & r_{312} & r_{313} \\ r_{41} & r_{42} & r_{43} & r_{44} & r_{45} & r_{46} & r_{47} & r_{48} & r_{49} & r_{410} & r_{411} & r_{412} & r_{413} \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中:$\tilde{W}_i$ 为事件树下基本事件的权重,由专家打分和结合过去的经验求得;$\tilde{R}_i$ 为对应的基本事件后

果；$\tilde{W}_{ij}$为基本事件 i 所属的严酷程度 j（$j=1,2,\cdots,13$）的权重，见表 4；$\tilde{r}_{ij}$为对应的严酷度的损失，即 $E_{\alpha,a}$的失效路径 2 发生时严酷度为 i，指标 j 的损失分值，其值由专家参考 AHP 分析结果确定. 式(1)中，由于事件树中的路径(基本事件)1 为不失效的路径，所以失效路径从路径 2 开始. 由专家估测法得表 4，由表 4 及公式(2)可得 $\tilde{R}_2=(\tilde{R}_{21},\tilde{R}_{22},\tilde{R}_{23},\tilde{R}_{24},\tilde{R}_{25},\tilde{R}_{26},\tilde{R}_{27},\tilde{R}_{28},\tilde{R}_{29},\tilde{R}_{210},\tilde{R}_{211},\tilde{R}_{212},\tilde{R}_{213})$. 同理，应用式(2)，可对这个事件树下的其他失效路径的失效后果进行计算. $E_{\alpha,a}$事件树下的事故后果的模糊综合评判如下：

$$\tilde{R}=\begin{bmatrix}\tilde{R}_{21} & \cdots & \tilde{R}_{213}\\ \square & & \square\\ \tilde{R}_{81} & \cdots & \tilde{R}_{813}\end{bmatrix} \tag{3}$$

$$\tilde{W}=(\tilde{W}_2,\tilde{W}_3,\tilde{W}_4,\tilde{W}_5,\tilde{W}_6,\tilde{W}_7,\tilde{W}_8) \tag{4}$$

由式(1)可得

$$\tilde{B}_j=\sum_{i=2}^{8}\tilde{W}_i\tilde{R}_{ij}\quad(j=1,2,3,\cdots,13) \tag{5}$$

其中 $\tilde{W}_i$ 表示这个事件树下各失效路径的权重；$\tilde{R}_{ij}$ 表示第 i 个失效路径下，第 j 个评估指标下的模糊后果评判值. 于是可得 $E_{\alpha,a}$事件树所对应的事故后果 $\tilde{B}=(B_1,B_2,B_3,B_4,B_5,B_6,B_7,B_8,B_9,B_{10},B_{11},B_{12},B_{13})$. 同理，可求出跨流域调水工程其他事件树下的失效后果，结合各事件树的失效概率，最终可求出目标层跨流域调水工程系统的事故后果.

表 4　$E_{\alpha,a}$的失效路径 2 所属严酷度的权重系数得分

指　标	严酷度Ⅰ	严酷度Ⅱ	严酷度Ⅲ	严酷度Ⅳ	∑
平均权重	$\tilde{W}_{i1}$	$\tilde{W}_{i2}$	$\tilde{W}_{i3}$	$\tilde{W}_{i4}$	1

5　结　语

跨流域调水工程系统风险分析中的事故后果涉及到人员伤亡的损失、建筑物损失、工业供水效益损失、城镇供水效益损失、农业灌溉供水效益损失、防洪效益损失、发电效益损失和其他供水效益损失. 首先用模糊数学的理论解决事故后果分析中的不确定性问题，结合层次分析法，求出各因素的相对权重，比较科学、客观，减少了个人主观臆断带来的评估误差，建立了跨流域调水工程事故后果的综合评判方法，为事故后果模糊分析计算也为跨流域调水工程系统的风险评价体系打下了基础.

参考文献：

[1] 亨利 E J. 可靠性工程与风险分析[M]. 吕应中，黄祥瑞，高金钟，等译. 北京：原子能出版社，1988：7-20.

[2] 萨迪 T L. 领导者：面临挑战与选择-层次分析法在决策中的应用[M]. 张录，译. 北京：中国经济出版社，1993：34-56.

[3] 林少芬，李瑰贤，陈映秋，等. 散装货船模糊综合安全性评估的实现方法[J]. 船舶工程，2000(1)：59-62.

[4] 韩立岩，汪培庄. 应用模糊数学[M]. 北京：首都贸易经济大学出版社，1998：31-49.

[5] 章国栋，陆廷孝，屠庆慈，等. 系统可靠性与维修性的分析与设计[M]. 北京：北京航空航天大学出版社，1990：74-98.

[6] 贺海挺，吴剑国，张爱晖. 跨流域调水工程的失效模式及影响分析[J]. 水利水电技术，2004，35(8)：116-120.

[7] XU K，TANG L C，XIE M，et al. Fuzzy assessment of FMEA for engine systems[J]. Reliability Engineering and System Safety，2002，75(1)：17-29.

[8] 杨树国，李春霞. 舰船电力系统生命力的模糊综合评判法[J]. 自动化技术与应用，2000，19(4)：21-26.

（收稿日期：2004-10-22　编辑：熊水斌）

·简讯·

水利部部长汪恕诚在河海大学作学术报告

2005 年 10 月 26 日上午，水利部部长汪恕诚为河海大学师生作了题为《人与自然和谐相处——谈中国水资源问题及对策》的学术报告. 汪恕诚部长的报告包括 5 方面内容：人与自然和谐相处是现代水利的核心理念；我国水资源的特点和面临的挑战；坚持人与自然和谐相处，解决中国水资源问题；水利水电事业前景广阔；水利水电教育和科研大有可为. 汪恕诚指出，构建和谐社会既强调了处理好人与人的关系，又强调了处理好人与自然的关系. 从经济社会可持续发展角度看，要考虑两个承载能力：一是资源承载能力；二是环境承载能力. 资源承载能力主要是指水资源、能源资源和土地资源的承载能力；环境承载能力主要是指大气环境、水环境和生态的承载能力. 在这两个承载能力中，水资源是核心问题. 在人类历史发展进程中，人与自然关系的发展经历了 4 个时期——依存、开发、掠夺、和谐. 在各个时期，经济社会发展程度不同，人们对自然的认识不同，在处理与自然的关系时也采取了不同的态度. 水资源是基础性的自然资源和战略性的经济资源，是战略性的控制要素. 当前，水利工作要解决我国面临的水资源短缺、时空分布不均、水土流失和水污染严重等 4 大水问题，要保障饮水安全、保障防洪安全、保障粮食安全、保障生态安全. 按照人与自然和谐相处的理念，破解中国的 4 大水问题分别有 4 个核心要点：①建设节水型社会，提高水资源的利用效率和效益；②给洪水以出路；③充分依靠大自然的自我修复能力；④发展绿色经济，严格排污权管理.　　（本刊编辑部供稿）