

# 基于多层次多目标模糊综合评估法的水闸安全评价研究

余定金 彭幼林

(江西省潦河工程管理局, 江西 宜春 336000)

**【摘要】** 本文基于水闸安全问题,提出采用多层次多目标模糊综合评估法的水闸安全评价方法,通过对比多种评价方法论述了其可行性,介绍了多层级的模糊综合评估模型,建立了适合水闸的评估指标体系及评语集,进行安全评价。结果表明:基于多层次多目标模糊综合评价法适合于水闸的安全评估。

**【关键词】** 模糊综合评价;水闸;安全评价

中图分类号: TV222

文献标志码: A

文章编号: 1005-4774(2017)08-0026-04

## Research on water gate safety evaluation based on multi-level multi-objective fuzzy comprehensive evaluation method

YU Dingjin, PENG Youlin

(Jiangxi Liaohe River Engineering Administration, Yichun 336000, China)

**Abstract:** In the paper, the sluice safety assessment method of multi-level multi-objective fuzzy comprehensive evaluation method is adopted based on the sluice safety. The feasibility is discussed through comparison among many evaluation methods. A multi-level fuzzy comprehensive evaluation model is introduced. Suitable sluice evaluation index system and evaluation set are established for safety evaluation. Results show that the fuzzy comprehensive evaluation method based on multi-level and multi-objective is suitable for safety evaluation of sluices.

**Keywords:** fuzzy comprehensive evaluation; sluice; safety evaluation

作为水利建设工程中最常见、最重要的建筑物,水闸依靠闸门的升降启停控制水面水位,调节水流流量,不仅可以起到挡水作用,还能起到泄水功能,因此被广泛应用于平原地区。水闸工程可优化配置水资源并作为防洪工程体系的重要部分,被广泛应用于水资源分配及防洪减灾中,其排涝、防洪、养殖、供水等功能显得越来越重要。特别是在江河湖泊防洪过程中,水闸的安全状态日益重要,因此有必要对水闸的安全状态进行评价,以更好地了解水闸的安全水平<sup>[1-4]</sup>。

### 1 评估方法的可行性分析

水闸的安全评估工作具有较复杂、准则多的特点,因此其研究方法也比较多,主要包括层次分析法、加权递阶评估法、灰色评估法、专家系统法、标准比照评估法、专家评估法等。

关于水闸的可靠度,国内外学者们已经做了大量的研究<sup>[5-8]</sup>。前人的研究对于一些问题的解决方法没有达成一致,主要表现在以下三个方面:①对于水闸可靠度的评估指标体系来说,其总目标一般为建筑物的

可靠度,其子目标一般为适用性、安全性以及耐久性,子目标以下另包括其他子项指标,以往的研究对这几项评估指标的研究方法不尽相同;⑥课题研究脱离现场实际情况,未能按照国内水闸的实际情况进行鉴定;⑦以往的可靠度都将评估指标划为4个层次等级,这4个层次等级的划分差异却较大。虽然存在一些不足之处,但是以往的研究仍然为该研究做出良好的思路借鉴。

水闸的可靠度具备“模糊性”的特点,即不能够划分出明确的限定范围,当客观事物存在区别时,区别之间的跨越带不够清晰分明<sup>[9-10]</sup>。水闸可靠度评估时,这种“模糊性”体现为不同的专家在判定一个指标的级别时极有可能得出不同的结果。因此各个专家对各项指标老化程度评估之前,应了解有关现状的调查资料,熟悉复核计算和安全检测结果,此外,还要依据专家的以往经验,参照相关标准规范,并结合项目现实情况;然后对于专家们的评估结果,采用的处理方式有层次分析理论与模糊数学方法,经过科学的分析后才能明确水闸类别以及其可靠度级别<sup>[11-12]</sup>。

## 2 多层级的模糊综合评估模型

由于涉及到的指标因子较多,各个指标属性、种类和层级不同,因此在许多领域进行实际的评判时,必须建立多个层级模型。

按各个因子不同的属性、种类和层级,将  $M$  分解为  $m$  个子系统,子系统里面有  $m_1, m_2, \dots, m_m$  个评估指标因子,符合以下公式:

$$\begin{cases} M = \bigcup_{i=1}^m m_i \\ m_i \cap m_j = \phi, i \neq j \end{cases} \quad (1)$$

$M$  代表所有评估指标因子集的数量,多个层级与单个层级综合模型可以采用相同的综合评判模型以及分析、计算方法。与单个层级模型不同的是,多个层级的综合评判模型代表了研究对象所包含指标因素的不同层级,这就避免了单个层级系统中各个因素权重不便分配的不利之处。因而无论是在社会科学领域还是在自然科学领域,已经明确的研究结果都具有科学性、

可靠度的特点,同时也普遍应用到了各个实际领域中。

### 2.1 评估指标体系及评语集

评估的目的是判断整个水闸是否安全可靠,因此设定安全评估的三个子目标(适用性、安全性、耐久性),假定适用性指标为  $V^{(1)}$ ,  $\alpha^{(1)}$  是适用性指标的权系数;假定安全性指标为  $V^{(2)}$ ,  $\alpha^{(2)}$  是安全性指标的权系数;假定耐久性指标为  $V^{(3)}$ ,  $\alpha^{(3)}$  是耐久性指标的权系数。

将建筑物及各个指标的老化程度分为四个等级:最差的等级为“严重”,第三等级为“很差”,第二等级为“一般”,第一等级为“很好”。

以安全性指标为例,研究此问题。水闸发生安全事故有以下几个方面的原因:第一种是防洪达不到标准,导致水闸被洪水冲塌;第二种是地基被渗透的水流冲击导致水闸垮塌;第三种是水闸的消能防冲能力达不到,导致护岸、防冲槽、护坦或者海漫被破坏掉;第四种是上下游和闸室连接构件的问题,当达不到一定强度,或者出现一定程度损伤时就会出现。所以在安全性子目标里面又增加了几个分项,这几项分别为防洪指标  $V_1^{(1)}$ 、防冲消能指标  $V_2^{(1)}$ 、闸基渗流指标  $V_3^{(1)}$ 、稳定性指标  $V_4^{(1)}$ 、承载性指标  $V_5^{(1)}$  指标。第一项为防洪指标  $V_1^{(1)}$ :

$$V_1^{(1)} = T_r/T_d \quad (2)$$

式中  $T_r$  ——水闸当前所能抵御洪水再次出现的时间;

$T_d$  ——当前规范所要求的设计洪水再次出现的时间。

第二项为防冲消能指标  $V_2^{(1)}$ :

$$V_2^{(1)} = q_d/q_r \quad (3)$$

该项指标是在考虑防冲消能设施是否发生破坏的同时,通过比较两个单宽流量求得,其中  $q_d$  表示的是消能防冲设施实际能抵御的单宽流量,  $q_r$  表示的是水闸实际的单宽流量。

第三项为闸基渗流指标  $V_3^{(1)}$ , 代表其稳定性。

$$V_3^{(1)} = J_d/J_r \quad (4)$$

式中  $J_r$  ——闸基当前的渗透坡降;

$J_d$ ——当前规范要求的渗透坡降。

此外,还要需要将闸基有无存在止水失效、排水失效、渗流破坏等情况,以及闸基的渗透坡降、防渗等考虑在内。

第四项为稳定性指标  $V_4^{(1)}$ , 代表结构或构件的稳定性。在考虑构件已产生位移的情况下, 比较实际计算得到的安全系数和规范要求的安全系数。

$$V_4^{(1)} = K_r / K_d \quad (5)$$

式中  $K_r$ ——结构或构件稳定安全系数的事实计算结果;

$K_d$ ——目前规范标准所规定的稳定安全系数。

第五项为承载性指标, 代表结构或构件的承载性。计算该指标时必须了解各个结构或构件能否到达混凝土强度的相关要求。

## 2.2 指标隶属程度的确定

可以用评估对象对某个级别的隶属程度代表其老化程度, 各位专家提出的权重以及专家对评估指标等级的判定决定了指标的隶属程度。

假如某个水闸工程进行评估前请的专家人员共 8 人, 利用前面的公式可以明确各位专家的权重系数为  $\lambda$ ,  $\lambda = (0.154, 0.130, 0.106, 0.130, 0.130, 0.106, 0.122, 0.122)$ 。

以安全性子目标分类下的“防洪标准”作为研究案例, 来确定这项指标相对应的不同老化等级的隶属程度。

假设初始矩阵为  $M_0$ :

$$M_0 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}_{n \times 4} \quad (6)$$

按照相关的指标参考内容、工程的切实情况及专家的自身经验, 选用 5 个不同程度值的语言来对各个指标进行描述, 分别为赋值 0 的“完全不符”、赋值 0.25 的“不太符合”、赋值 0.5 的“有些符合”、赋值 0.75 的“基本符合”以及赋值 1 的“完全符合”, 假设该专家认为指标“防洪标准”基本符合 2 级, 但是与 1 级

和 4 级不一致, 不太符合 3 级, 那么所评估的指标“防洪标准”对各个等级的隶属程度就为  $(0, 0.75, 0.25, 0)$ 。

若干  $n (n = 8)$  位专家对指标都进行了自行判断, 那么按照判定结果可将  $M_0 \rightarrow M_1^{(1)}$ 。

$$M_1^{(1)} = \begin{bmatrix} 0 & 0.75 & 0.25 & 0 \\ 0 & 0.25 & 0.5 & 0.25 \\ 0 & 0.25 & 0.75 & 0 \\ 0 & 0 & 0.75 & 0.25 \\ 0.25 & 0.5 & 0.25 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 5 & 0 \\ 0 & 0.5 & 0.5 & 0 \end{bmatrix} \quad (7)$$

$(m_{ij})_i^{(1)}$  表示第  $i$  位专家认为“防洪标准”这项指标属于第  $j$  个级别的程度。

“防洪标准”这项指标对各老化级别的隶属程度为

$$(r_{11}^{(1)}, r_{12}^{(1)}, r_{13}^{(1)}, r_{14}^{(1)}) = \lambda M_1^{(1)} \\ = (0.03, 0.04, 0.50, 0.07) \quad (8)$$

同理, 采用同样的方法也求得四个不同的老化级别中, 安全性的子项指标隶属于哪个。

$$(r_{i1}^{(1)}, r_{i2}^{(1)}, r_{i3}^{(1)}, r_{i4}^{(1)}) = \lambda M_i^{(1)} \\ = (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n) M_i^{(1)} (i = 1, 2, \dots, 5) \quad (9)$$

单个因素的隶属程度组合起来就形成了模糊关系  $\underline{R}^{(1)}$ :

$$\underline{R}^{(1)} = \begin{bmatrix} r_{11}^{(1)} & r_{12}^{(1)} & r_{13}^{(1)} & r_{14}^{(1)} \\ r_{21}^{(1)} & r_{22}^{(1)} & r_{23}^{(1)} & r_{24}^{(1)} \\ r_{31}^{(1)} & r_{32}^{(1)} & r_{33}^{(1)} & r_{34}^{(1)} \\ r_{41}^{(1)} & r_{42}^{(1)} & r_{43}^{(1)} & r_{44}^{(1)} \\ r_{51}^{(1)} & r_{52}^{(1)} & r_{53}^{(1)} & r_{54}^{(1)} \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$\underline{R}^{(2)} = \begin{bmatrix} r_{11}^{(2)} & r_{12}^{(2)} & r_{13}^{(2)} & r_{14}^{(2)} \\ r_{21}^{(2)} & r_{22}^{(2)} & r_{23}^{(2)} & r_{24}^{(2)} \\ r_{31}^{(2)} & r_{32}^{(2)} & r_{33}^{(2)} & r_{34}^{(2)} \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$\underline{R}^{(3)} = \begin{bmatrix} r_{11}^{(3)} & r_{12}^{(3)} & r_{13}^{(3)} & r_{14}^{(3)} \\ r_{21}^{(3)} & r_{22}^{(3)} & r_{23}^{(3)} & r_{24}^{(3)} \\ r_{31}^{(3)} & r_{32}^{(3)} & r_{33}^{(3)} & r_{34}^{(3)} \end{bmatrix} \quad (12)$$

$r_{ij}^{(k)}$  表示在老化级别中,  $k$  子目标的第  $i$  指标属于  $j$  的程度。

### 3 水闸安全评价

#### 3.1 构建下一层级的评估模型

评估时研究样本选取安全性的子项目标,分析各种老化规格对于安全性子目标的隶属程度。该指标下各子指标的权重构成矩阵  $\underline{X}^{(1)}$ :

$$\underline{X}^{(1)} = (\alpha_1^{(1)}, \alpha_2^{(1)}, \alpha_3^{(1)}, \alpha_4^{(1)}, \alpha_5^{(1)}) \quad (13)$$

按照  $\underline{X} \cdot \underline{R} = \underline{Y}$  得

$$\underline{Y}^{(1)} = \underline{X}^{(1)} \cdot \underline{R}^{(1)} \quad (14)$$

假设  $\underline{Y}^{(1)} = (0.16, 0.21, 0.50, 0.13)$ , 在最大隶属程度的准则下,判断出安全性子目标划归为第三等级。适用性和耐久性这两项的子目标,分别属于什么级别,也可以使用相同的方法求得。假设  $\underline{Y}^{(2)} = (0.20, 0.45, 0.26, 0.09)$ , 那么适用性子目标可以划归为第二等级。假设  $\underline{Y}^{(3)} = (0.19, 0.23, 0.43, 0.15)$ , 那么耐久性子目标可以划归为第三等级。

#### 3.2 构建可靠度的综合评价模型

安全性、适用性、耐久性这三项子目标的权重系数组合可以形成  $\underline{X}$ :

$$\underline{X} = (\alpha^{(1)}, \alpha^{(2)}, \alpha^{(3)}) = (0.7, 0.17, 0.13) \quad (15)$$

以上三项子目标对不同老化级别的隶属程度组合,可以形成  $\underline{R}$ :

$$\underline{R} = \begin{pmatrix} \underline{Y}^{(1)} \\ \underline{Y}^{(2)} \\ \underline{Y}^{(3)} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} 0.16 & 0.21 & 0.50 & 0.13 \\ 0.20 & 0.45 & 0.26 & 0.09 \\ 0.19 & 0.23 & 0.43 & 0.15 \end{bmatrix} \quad (16)$$

则:

$$\underline{Y} = \underline{X} \cdot \underline{R} = (0.17, 0.25, 0.45, 0.13) \quad (17)$$

以最大隶属程度为准则,可以得出水闸的可靠度可以划归为第三等级。

### 4 结论

本文通过对水闸可靠度的已有研究进行分析,找到当前研究中尚未解决的难点,因此如何解决水闸实

际工程中的问题是本文的研究重点。

本文依照《水闸安全鉴定规定》,并结合了普遍性的水闸安全评估工作,参照已有的水闸可靠度评估的方法,构建关于水闸可靠度多层次模糊专家评估模型。在工作人员长期监测和审核的基础上,构建了水闸安全评估指标体系及参考标准的数学模型,该模型对每项指标的老化划分成四个层级;专家依照自身对水闸可靠度评估已有的经验,参考实际情况来对每项指标进行再次评估。该方法在水闸安全评估阶段应用的比较多,但仍有许多需要完善和调整的地方。◆

#### 参考文献

- [1] 金初阳,柯敏勇,洪晓林,等.水闸病害检测与评估分析[J].水利水运工程学报,2000(1):73-77.
- [2] 杨华舒,施延华.用设计指标直接诊断水工混凝土结构的老化[J].大坝与安全,2002(4):3-7.
- [3] 牛其光,孙桂枝.河南省大型水闸老化病害评估与分析[J].水利水运工程学报,1998(3):217-223.
- [4] 乔润德.水闸溢洪道老化病害评估的层次分析法[J].江淮水利科技,1996(1):2-9.
- [5] 张志俊.水闸老化状态的整体评估方法[J].中国农村水利水电,1998(4):34-37.
- [6] 张志俊,吴太平.水闸老化的加权递阶评估方法[J].水利水运工程学报,1998(3):238-243.
- [7] 张志俊,崔德密,郑继.水闸老化的灰色评估法[J].水利水运工程学报,1998(3):244-248.
- [8] 张志俊,吴太平,闪黎.水闸老化的模糊集合论评估方法[J].水利水运工程学报,1998(3):249-254.
- [9] 崔德密,乔润德.水闸老化病害指标分级综合评估法及应用[J].人民长江,2001,32(5):39-41.
- [10] 牛其光,孙桂枝.河南省大型水闸老化病害评估与分析[J].水利水运工程学报,1998(3):217-223.
- [11] 刘柏青,周素真,雷声隆,等.灌区混凝土建筑物老化病害评估指标及其标准的研究[J].中国农村水利水电,1998(5):16-18.
- [12] 张志俊,唐新军.水闸老化病害状态的结构可靠性理论评估方法[J].新疆农业大学学报,1999(3):224-228.