

DOI :10.3876/j.issn.1000-1980.2011.05.007

小水电水工建筑物健康诊断灰色理论模型

李 益^{1,2}, 蔡 新^{1,2,3}, 徐锦才⁴, 舒 静⁴, 戴双喜^{1,2}

(1. 河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210098 2. 河海大学力学与材料学院, 江苏 南京 210098;
3. 河海大学水利水电学院, 江苏 南京 210098 4. 水利部农村电气化研究所, 浙江 杭州 310012)

摘要:针对小水电系统安全评价中环境复杂、统计资料匮乏、信息不完整、指标不确定等问题,引入灰色理论对小水电水工建筑物进行健康诊断.从结构可靠度的安全性、适用性、耐久性角度出发,分析了影响小水电水工建筑物健康的主要指标因素.引入指标重要性分值概念,结合熵权理论,对传统的 AHP 法进行了改进.综合运用改进 AHP 法和专家评判法,构建了基于灰色理论的小水电水工建筑物健康诊断指标体系及评价模型.实例表明,该方法计算所得结果较客观、稳定,可为小水电站安全运行、除险加固提供参考.

关键词:小水电 水工建筑物 健康诊断 灰色理论

中图分类号:TV64 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-1980(2011)05-0511-06

小水电作为一种清洁能源,在我国经济建设、社会发展和环境保护等方面效益显著.水工建筑物是小水电的重要组成部分,其安全运行是小水电发挥巨大作用的前提.因此,小水电水工建筑物健康诊断研究十分重要.

近年来,国内已有学者对大中型水库大坝的安全进行研究,其中多采用可靠度理论和模糊综合评价理论^[1-10],而对小水电的安全研究相对较少.可靠度理论以结构不确定性为基本思想,以概率论和数理统计为数学基础,以结构随机变量为研究因素,分析结构的可靠度水平.由于确定所分析因素的分布比较困难,可靠度理论在实际工程中应用有限^[11].模糊综合评价理论是以模糊数学为理论基础的评价方法.该方法从影响问题的主因出发,根据模糊评判标准对复杂问题做出不同程度的模糊划分,通过模糊数学运算,得到定量的综合评价结果.在确定各评价指标对评价集的隶属度时,模糊综合评价理论需求各因素的隶属函数并对指标进行特征化处理,不同的处理方法得到的结果差异较大,会给评价带来误差^[12].一般情况下,小水电工程规模小、检测设备少、检查力度低、统计资料匮乏,这更加制约了可靠度理论和模糊综合评价理论在小水电工程安全评估中的运用.灰色理论则研究可靠度理论和模糊综合评价理论难以解决的“小样本,贫信息,不确定”问题,亦能较好解决评价指标复杂、模糊的问题,是目前一种较为先进、科学、客观的评价理论.基于以上原因,本文引入灰色理论对小水电水工建筑物健康诊断进行研究.

1 基于灰色理论的健康诊断模型

1.1 健康诊断指标体系

小水电水工建筑物是一个复杂的系统,在对其进行健康诊断时应尽量全面考虑影响系统安全的关键因素,诊断指标的选取应遵循科学性、规范性、全面性、层次性、独立性和可行性等基本原则.我国制定的 SL 258—2000《水库大坝安全评价导则》建议从工程质量、结构安全、渗流安全、防洪安全、抗震安全以及运行管理^[13]6 方面对水库大坝安全水平进行评估.在水利部农村电气化研究所现场调研并对调查资料统计分析的基础上,根据 SL 258—2000 中指标选取的建议以及小水电自身的特点,本文提炼出影响小水电水工建筑物健康的主要因素为:结构质量、结构变形、稳定、渗透、结构防洪、抗震以及日常管理等.

收稿日期:2010-12-10

基金项目:水利部公益性行业科研专项(200801019) 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室专项基金(2009586012) 江苏省水利科技重点项目(2009054)

作者简介:李益(1986—),男,江苏连云港人,硕士研究生,主要从事工程结构可靠性研究. E-mail: yi_117@126.com

本文以小水电水工建筑物健康值为评估目标,参考结构可靠度评估的安全性、适用性、耐久性等基本思想,以影响小水电水工建筑物健康值的主要因素为基本诊断指标,构建小水电水工建筑物健康诊断指标体系,如图 1 所示.

1.2 健康诊断模型

本文建立小水电水工建筑物健康诊断模型的基本思路为:在健康诊断指标体系的基础上,对基础指标的灰类进行判别及白化处理,确定基础指标的权重值,应用灰色理论计算方法可最终评定水工建筑物健康所属灰类.

1.2.1 评价群体和统计灰类

由图 1 可得,本文建立的小水电水工建筑物健康诊断指标体系采用 3 层评价指标体系,总指标层记为 A ;子指标层 $A_i (i = 1, 2, 3)$ 为 1 级评价指标,其组成的集合构成总指标 A ,即 $A = \{A_1, A_2, A_3\}$,对应权重集为 $W = \{W_1, W_2, W_3\}$;基础指标层 A_{ij} 为 2 级评价指标,其组成的集合构成子指标 A_i ,即 $A_i = \{A_{i1}, A_{i2}, \cdots, A_{ij}\}$,对应的权重集为 $W_i = \{W_{i1}, W_{i2}, \cdots, W_{ij}\}$.

根据健康诊断指标体系确定评价灰类的等级数、灰数以及白化权函数.小水电水工建筑物健康诊断指标体系将水工建筑物健康状况按健康、亚健康、病变和病危划为 4 类^[9],评分标准见表 1.由典型白化权函数^[14]形式和表 1 确定灰类的白化权函数,如图 2 所示.

1.2.2 决策权及决策矩阵

邀请 K 位专家对小水电水工建筑物健康诊断指标体系基础指标进行诊断,第 L 位专家对基础指标 A_{ij} 的评分为 d_{ijl} ,由此构造指标 A_i 的评价样本矩阵 D_i :

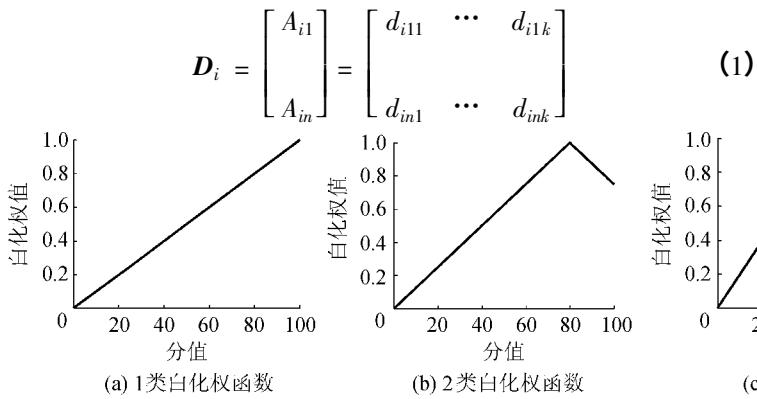


图 2 白化权函数

第 m 类灰类的白化权函数为 f_m , 2 级评价指标 A_{ij} 属于第 m 类灰类的灰色评价系数记为 P_{ijm} ,总灰色评价系数记为 P_{ij} .所有专家对指标 A_{ij} 属于第 m 类灰类的灰色评价权记为 r_{ijm} ,评价指标 A_{ij} 对于各级评价灰类的灰色评价权向量记为 r_{ij} ,指标 A_i 的灰色评价权矩阵记为 R_i ,有:

$$P_{ijm} = \sum_{l=1}^k f_m(d_{ijl}) \quad P_{ij} = \sum_{m=1}^4 P_{ijm} \quad r_{ijm} = P_{ijm}/P_{ij} \quad r_{ij} = (r_{ij1}, r_{ij2}, r_{ij3}, r_{ij4}) \quad (2)$$

$$R_i = \begin{bmatrix} r_{i1} \\ \vdots \\ r_{in} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{i11} & \cdots & r_{i14} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{in1} & \cdots & r_{in4} \end{bmatrix} \quad (3)$$

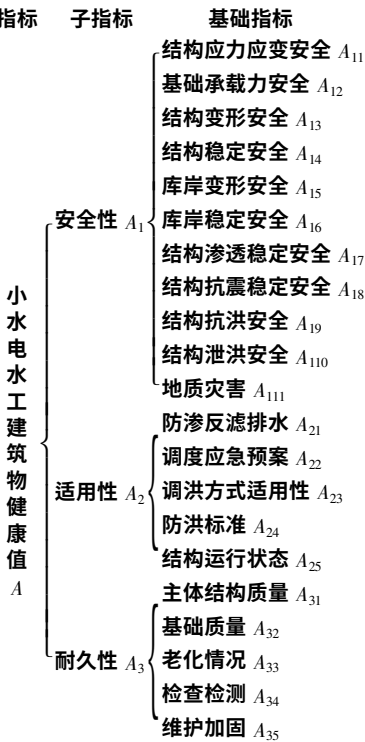


图 1 小水电水工建筑物健康指标体系

Fig. 1 Health diagnosis index system for hydraulic structures at small hydropower stations

表 1 灰类评价标准

Table 1 Evaluation standard for gray statistics

评价灰类	评价集	评分阈值	等级范围
1 类	健康	100	89 ~ 100
2 类	亚健康	80	62 ~ 89
3 类	病变	50	23 ~ 62
4 类	病危	15	0 ~ 23

1.2.3 改进 AHP 法

传统的层次分析法采用 1~9 标度构建对比矩阵,由于判断差异不明显、判断标度不确定,在实际使用中常出现对比矩阵一致性不满足要求的问题.同时,由于受人为主观影响较大,在对对比矩阵修正时又会引起指标权重分配不稳定、失真等现象.为了解决上述层次分析法中存在的问题,本文采用基于指标重要性分值和熵权理论的改进 AHP 法计算指标权重,具体计算步骤如下.

a. 专家独立对指标重要性进行评分,评分标准如下 绝对重要为 90~100 相当重要为 75~90 非常重要为 60~75 明显重要为 45~60 ;一般重要为 30~45 轻微重要为 15~30 不重要为 0~15. 对指标重要性分值两两进行对比运算,得到指标成对比矩阵,计算成对比矩阵最大特征值及相应特征向量,该特征向量即为该专家给出的指标权重.综合所有专家给出的指标权重,得到指标权重矩阵 W'_i .

b. 由指标权重矩阵 W'_i ,计算各专家评判的熵值 h_{ik} ,形成熵值矩阵 H_i ,由 H_i 确定专家自身的权重 c_{ik} ,形成专家权重矩阵 C_i .

$$e_{ijk} = 1 - \frac{|w_{ijk} - \bar{w}_{ijk}|}{\max(w_{ijk})} \quad h_{ik} = \sum - e_{ijk} \ln e_{ijk} \quad c_{ik} = \frac{1/h_{ik}}{\sum 1/h_{ik}} \tag{4}$$

式中: e_{ijk} ——第 k 位专家对指标 A_{ij} 所做评价结论的水平; w_{ijk} ——第 k 位专家确定的指标 A_{ij} 的权重值; h_{ik} , c_{ik} —— A_i 指标下,第 k 位专家的熵值、权重值.

c. 由指标的主观权重矩阵 W'_i 和专家自身权重矩阵 C_i ,计算得到指标的综合权重 W_i :

$$W_i = W'_i C_i \tag{5}$$

1.2.4 指标健康诊断

记 1 级评判指标的综合评价结果为 S_i ,灰色评价权矩阵 R ,综合评价结果 S ,则有

$$S_i = W_i R_i = (s_{i1}, s_{i2}, s_{i3}, s_{i4}) \quad R = \begin{bmatrix} S_1 \\ S_2 \\ S_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_{11} & s_{12} & s_{13} & s_{14} \\ s_{21} & s_{22} & s_{23} & s_{24} \\ s_{31} & s_{32} & s_{33} & s_{34} \end{bmatrix} \quad S = WR = (s_1, s_2, s_3, s_4) \tag{6}$$

2 实例分析

浙江省某水电站为我国第一批农村电气化建设项目,集防洪、发电、灌溉为一体.1988 年建成发电,年发电量 4500 万 kW·h.水电站挡水建筑物为钢筋混凝土面板堆石坝,坝高 89.35 m,坝长 198.00 m.现场调研总体反馈资料如下:该电站拥有应急预案,且调度运行方案良好;防汛抢险物料准备到位,报警通讯系统正常;电站无潜在地质灾害;挡水大坝整体变形正常,坝面平整,无贯穿性裂缝;有渗水现象,散浸轻微,无流土等现象.

组织 6 位专家根据现场调查情况对该水电站挡水建筑物的基础指标健康状况进行评判,专家给出的各级指标重要性分值矩阵 f 、基础指标的评价样本矩阵 D_1, D_2, D_3 为

$$f' = \begin{bmatrix} 92 & 95 & 95 & 90 & 90 & 90 \\ 71 & 75 & 70 & 75 & 80 & 70 \\ 43 & 45 & 45 & 40 & 60 & 50 \end{bmatrix} \quad f'_1 = \begin{bmatrix} 80 & 82 & 85 & 84 & 86 & 80 \\ 78 & 75 & 76 & 78 & 80 & 75 \\ 85 & 85 & 81 & 80 & 82 & 80 \\ 92 & 90 & 93 & 90 & 92 & 90 \\ 50 & 55 & 52 & 55 & 60 & 60 \\ 60 & 62 & 60 & 63 & 65 & 60 \\ 90 & 92 & 90 & 92 & 94 & 92 \\ 75 & 78 & 80 & 78 & 80 & 80 \\ 95 & 94 & 96 & 97 & 98 & 95 \\ 70 & 74 & 75 & 76 & 75 & 75 \\ 65 & 66 & 66 & 63 & 68 & 65 \end{bmatrix}$$

$$f'_2 = \begin{bmatrix} 85 & 82 & 80 & 85 & 83 & 80 \\ 65 & 65 & 60 & 66 & 65 & 60 \\ 70 & 75 & 70 & 78 & 75 & 75 \\ 95 & 90 & 90 & 92 & 90 & 95 \\ 88 & 85 & 85 & 88 & 85 & 85 \end{bmatrix} \quad f'_3 = \begin{bmatrix} 70 & 75 & 75 & 76 & 72 & 78 \\ 58 & 60 & 65 & 62 & 60 & 65 \\ 45 & 50 & 50 & 55 & 50 & 60 \\ 82 & 85 & 80 & 85 & 86 & 88 \\ 75 & 80 & 75 & 80 & 82 & 84 \end{bmatrix}$$

$$D_1 = \begin{bmatrix} A_{11} \\ A_{12} \\ A_{13} \\ A_{14} \\ A_{15} \\ A_{16} \\ A_{17} \\ A_{18} \\ A_{19} \\ A_{110} \\ A_{111} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 88 & 86 & 79 & 93 & 95 & 82 \\ 70 & 78 & 84 & 82 & 75 & 80 \\ 90 & 95 & 90 & 92 & 92 & 93 \\ 80 & 86 & 90 & 84 & 92 & 88 \\ 90 & 87 & 92 & 95 & 95 & 90 \\ 90 & 84 & 93 & 95 & 93 & 88 \\ 70 & 75 & 70 & 80 & 78 & 76 \\ 90 & 87 & 95 & 88 & 80 & 85 \\ 90 & 82 & 80 & 85 & 88 & 90 \\ 90 & 93 & 90 & 88 & 92 & 86 \\ 92 & 89 & 96 & 91 & 90 & 89 \end{bmatrix}$$

$$D_2 = \begin{bmatrix} A_{21} \\ A_{22} \\ A_{23} \\ A_{24} \\ A_{25} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 70 & 78 & 75 & 72 & 76 & 74 \\ 95 & 92 & 95 & 90 & 90 & 87 \\ 95 & 92 & 90 & 90 & 93 & 88 \\ 90 & 94 & 85 & 85 & 88 & 85 \\ 88 & 82 & 76 & 87 & 85 & 81 \end{bmatrix}$$

$$D_3 = \begin{bmatrix} A_{31} \\ A_{32} \\ A_{33} \\ A_{34} \\ A_{35} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 95 & 83 & 75 & 80 & 85 & 90 \\ 95 & 78 & 85 & 82 & 80 & 75 \\ 90 & 82 & 75 & 70 & 85 & 78 \\ 80 & 70 & 80 & 78 & 82 & 75 \\ 95 & 90 & 85 & 88 & 86 & 80 \end{bmatrix}$$

由各级指标重要性分值矩阵 f ,按改进 AHP 法计算得各指标权重值,计算结果见表 2~5. 由基础指标的评估样本矩阵 D 及其权重值,依据上述灰色理论健康诊断方法,得 1 级指标的评价结果为 : $S_1 = \{0.426, 0.442, 0.132, 0\}$; $S_2 = \{0.414, 0.438, 0.148, 0\}$; $S_3 = \{0.392, 0.442, 0.166, 0\}$. 总评价结果为 : $S = \{0.414, 0.441, 0.145, 0\}$.

表 2 安全性下属基础指标权重计算结果

Table 2 Calculated results of weight of subordinate index to safety index

专家号	专家自身权重	A_{11} 权重	A_{12} 权重	A_{13} 权重	A_{14} 权重	A_{15} 权重	A_{16} 权重	A_{17} 权重	A_{18} 权重	A_{19} 权重	A_{110} 权重	A_{111} 权重
1	0.110	0.095	0.093	0.101	0.110	0.060	0.071	0.107	0.089	0.113	0.083	0.077
2	0.238	0.096	0.088	0.100	0.106	0.064	0.073	0.108	0.091	0.110	0.087	0.077
3	0.165	0.100	0.089	0.095	0.109	0.061	0.070	0.105	0.094	0.112	0.088	0.077
4	0.172	0.098	0.091	0.093	0.105	0.064	0.074	0.107	0.091	0.113	0.089	0.074
5	0.179	0.098	0.091	0.093	0.105	0.068	0.074	0.107	0.091	0.111	0.085	0.077
6	0.136	0.094	0.088	0.094	0.106	0.070	0.070	0.108	0.094	0.112	0.088	0.076
综合		0.097	0.090	0.096	0.106	0.065	0.072	0.107	0.092	0.112	0.087	0.077

表 3 适用性下属基础指标权重计算结果

Table 3 Calculated results of weight of subordinate index to applicability index

专家号	专家自身权重	A_{21} 权重	A_{22} 权重	A_{23} 权重	A_{24} 权重	A_{25} 权重
1	0.116	0.221	0.161	0.174	0.236	0.218
2	0.209	0.207	0.164	0.189	0.227	0.214
3	0.166	0.208	0.156	0.182	0.234	0.221
4	0.221	0.208	0.161	0.191	0.225	0.215
5	0.194	0.209	0.163	0.188	0.226	0.214
6	0.105	0.203	0.152	0.190	0.241	0.215
综合		0.207	0.160	0.186	0.230	0.216

表 4 耐久性下属基础指标权重计算结果

Table 4 Calculated results of weight of subordinate index to durability index

专家号	专家自身权重	A_{31} 权重	A_{32} 权重	A_{33} 权重	A_{34} 权重	A_{35} 权重
1	0.185	0.212	0.176	0.136	0.248	0.227
2	0.177	0.221	0.170	0.142	0.241	0.227
3	0.116	0.217	0.188	0.145	0.232	0.217
4	0.226	0.203	0.175	0.155	0.240	0.226
5	0.166	0.215	0.169	0.141	0.243	0.232
6	0.130	0.199	0.175	0.162	0.237	0.226
综合		0.221	0.175	0.147	0.241	0.226

评价结果分析：

a. 最大隶属原则. 综合评价结果 $S = (s_1, s_2, s_3, s_4)$,若 $s_i = \max \{s_1, s_2, s_3, s_4\}$,则被评价对象在总体上隶属于第 i 类. 根据最大隶属原则,由总评价结果 S 得到 $s_2 (0.441)$ 所占比重最大,其对应灰类为 2 类,则评估该水电站挡水建筑物整体健康状况为亚健康.

b. 向量单值化. 综合评价结果 $S = (s_1, s_2, s_3, s_4)$,假定 $X = (x_1, x_2, x_3, x_4)$ 为每一个灰类对应的分值(一般为评分阈值),则 $S' = (\sum s_i x_i) / \sum s_i$ 为评价结果的单值化值,由 S' 可评定被评价对象最后的灰类. 采用向量单值化法评估时,计算得到 $S' = 83.93$,根据表 1 判断其所属灰类为 2 类,

表 5 一级指标权重计算结果

Table 5 Calculated results of first-grade index weight

专家号	专家自身权重	A_1 权重	A_2 权重	A_3 权重
1	0.224	0.447	0.345	0.209
2	0.250	0.442	0.349	0.209
3	0.175	0.452	0.333	0.214
4	0.111	0.439	0.366	0.195
5	0.076	0.391	0.348	0.261
6	0.165	0.429	0.333	0.238
综合		0.438	0.344	0.217

注 在安全评估时,若出现某一基础指标重要性分值或灰类分值难于确定的情况,本文采取偏安全评估的处理方法:对于指标重要性分值,取其指标重要性等级范围内偏大值;对于指标灰类分值,取其指标灰类范围内偏小值.

该水电站挡水建筑物整体健康状况为亚健康,与_a结果一致。

3 结 语

a. 在对小水电现场调研资料整理、分析基础上,结合 SL 258—2000《水库大坝安全评价导则》,分析影响小水电水工建筑物健康的主要因素,以结构可靠度及层次结构为基本思想,构建了小水电水工建筑物健康诊断指标体系。

b. 采用基于指标重要性分值和熵权理论的改进 AHP 法进行指标权重的计算。运用指标重要性分值构建对比矩阵,使其自然满足一致性要求。运用熵权理论计算专家自身权重,以专家自身权重修正专家的主观性,所得结果更加合理、科学。

c. 引入灰色理论,建立了小水电水工建筑物健康诊断模型。将模型应用于实际工程中,2 种灰色综合评价结果分析方法所得结论一致,表明本文模型评估结果较为客观、稳定,在小水电安全综合评估中具有应用价值。

参考文献:

- [1] 吴中如. 大坝的安全监控理论和试验技术[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2009.
- [2] 李雷, 王仁钟, 盛金保, 等. 大坝风险评价与风险管理[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2006.
- [3] 蔡新, 武颖利, 郭兴文. 混凝土坝及坝后式厂房整体地震响应分析[J]. 河海大学学报: 自然科学版, 2008, 36(1): 49-53. (CAI Xin, WU Ying-li, GUO Xing-wen. Integral seismic response analysis of concrete dam and powerhouse at dam toe[J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences, 2008, 36(1): 49-53. (in Chinese))
- [4] 李洪煊, 蔡新, 徐锦才, 等. 考虑时变效应的水工金属结构安全风险评价模型[J]. 河海大学学报: 自然科学版, 2010, 38(6): 660-664. (LI Hong-xuan, CAI Xin, XU Jin-cai, et al. Safety risk assessment model of hydraulic metal structurals considering time-varying effect[J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences, 2010, 38(6): 660-664. (in Chinese))
- [5] 苏怀智, 顾冲时, 吴中如. 大坝工作性态的模糊可拓评估模型及应用[J]. 岩土力学, 2006, 27(12): 2115-2121. (SU Huai-zhi, GU Chong-shi, WU Zhong-ru. Assessment model of dam behavior with fuzzy extension theory and its application[J]. Rock and Soil Mechanics, 2006, 27(12): 2115-2121. (in Chinese))
- [6] 莫崇勋, 董增川, 麻荣永, 等. “积分—一次二阶矩法”在广西澄碧水库漫坝风险分析中的应用研究[J]. 水利发电学报, 2008, 27(2): 44-49. (MO Chong-xun, DONG Zeng-chuan, MA Rong-yong, et al. Application study on overtopping risk analysis for Guangxi Chengbihe reservoir by integrate-FOSM method[J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2008, 27(2): 44-49. (in Chinese))
- [7] 陈守煜, 柴春岭. 区域水资源可持续利用评价的模糊可变评价方法[J]. 水利水电科技进展, 2007, 27(5): 1-5. (CHEN Shou-yu, CHAI Chun-ling. Fuzzy variable assessment method for sustainable utilization of regional water resources[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2007, 27(5): 1-5. (in Chinese))
- [8] 董玉文, 任青文. 高拱坝稳定安全度研究综述[J]. 水利水电科技进展, 2006, 26(5): 78-82. (DONG Yu-wen, REN Qing-wen. Review on safety degree for stability of high arch dams[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2006, 26(5): 78-82. (in Chinese))
- [9] 吴威, 郭兴文, 王德信, 等. 荆江大堤安全度模糊综合评判方法研究[J]. 河海大学学报: 自然科学版, 2008, 36(2): 224-228. (WU Wei, GUO Xing-wen, WANG De-xin, et al. Fuzzy comprehensive method for evaluation of safety of Jingjiang dyke[J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences, 2008, 36(2): 224-228. (in Chinese))
- [10] 聂学军, 顾冲时, 严良平, 等. 自适应模糊系统在大坝安全监测故障诊断中的应用[J]. 河海大学学报: 自然科学版, 2005, 33(4): 395-398. (NIE Xue-jun, GU Chong-shi, YAN Liang-ping, et al. Application of adaptive fuzzy system to fault auto-diagnosis in dam safety monitoring[J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences, 2005, 33(4): 395-398. (in Chinese))
- [11] 朱伯芳. 当前混凝土坝建设中的几个问题[J]. 水利学报, 2009, 40(1): 1-9. (ZHU Bo-fang. On some problems in construction of concrete dams[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2009, 40(1): 1-9. (in Chinese))
- [12] 苏永华. 岩土参数模糊隶属函数的构造方法及应用[J]. 岩土工程学报, 2007, 29(12): 1772-1779. (SU Yong-hua. Constructing method of fuzzy membership function of geotechnical parameters and its application[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2007, 29(12): 1772-1779. (in Chinese))
- [13] SL 258—2000 水库大坝安全评价导则[S].
- [14] 邓聚龙. 灰色系统基本方法[M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1987.

Grey system theory model of hydraulic structure health diagnosis for small hydropower stations

LI Yi^{1, 2}, CAI Xin^{1, 2, 3}, XU Jin-cai⁴, SHU Jing⁴, DAI Shuang-xi^{1, 2}

(1. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering,
Hohai University, Nanjing 210098, China ;

2. College of Mechanics and Materials, Hohai University, Nanjing 210098, China ;

3. College of Water Conservancy and Hydropower, Hohai University, Nanjing 210098, China ;

4. National Research Institute for Rural Electrification, Hangzhou 310012, China)

Abstract : Aimed at the problems of complex environment, rare statistical data, incomplete information, and uncertain indexes in small hydropower safety evaluation, the grey system theory was used in health diagnosis of hydraulic structures at small hydropower stations. Various indexes and factors influencing the hydraulic structure health were analyzed in terms of safety, applicability, and durability. The index importance value and entropy weight theory were used to improve the conventional analytical hierarchy process(AHP) method. Using the improved AHP method and expert adjudicate method, a diagnosis index system and an evaluation model for hydraulic structures health of small hydropower stations were developed based on the grey system theory. The case study results show that the model is effective and reasonable, and can be used for the reinforcement and safety operation of small hydropower.

Key words : small hydropower ; hydraulic structure ; health diagnosis ; grey system theory

《水利水电科技进展》征订启事

(邮发代号 28-244, CN32-1439/TV, ISSN1006-7647, 双月刊, A4 开本)

《水利水电科技进展》由河海大学主办,是中国科学引文数据库(CSCD)来源期刊,全国中文核心期刊,中国科技核心期刊,RCCSE 核心期刊,全国水利系统优秀期刊,华东地区优秀期刊,江苏省优秀期刊. 主要刊登水科学、水工程、水资源、水环境、水管理方面的科技论文,主要栏目有水问题论坛、研究探讨、工程技术、水管理、专题综述、国外动态等,适合水科学、水工程、水资源、水环境领域的科研、工程、管理人员以及大专院校师生阅读.

《水利水电科技进展》由邮局发行,邮发代号 28-244,2012 年每期定价 12 元,全年 6 期共计 72 元. 可在全国各地邮局订阅,也可直接向编辑部订阅.

编辑部地址 南京市西康路 1 号 《水利水电科技进展》编辑部

邮政编码 210098

电话/传真 025-83786335

E-mail jz@hhu.edu.cn

http://kkb.hhu.edu.cn/web/index_jz.asp?d_id=5