

DOI:10.16198/j.cnki.1009-640X.2016.02.009

岳强, 刘福胜, 刘仲秋. 基于模糊层次分析法的平原水库健康综合评价[J]. 水利水运工程学报, 2016(2): 62-68. (YUE Qiang, LIU Fu-sheng, LIU Zhong-qiu. Comprehensive assessment of plain reservoir health based on fuzzy and hierarchy analyses[J]. Hydro-Science and Engineering, 2016(2): 62-68.)

基于模糊层次分析法的平原水库健康综合评价

岳强^{1,2}, 刘福胜^{1,2}, 刘仲秋¹

(1. 山东农业大学 水利土木工程学院, 山东 泰安 271018; 2. 农业大数据中心, 山东 泰安 271018)

摘要: 为了解决平原水库安全评价中存在的忽略生态和可持续性问题, 针对平原水库面积大、水深小、坝线长和基础处理差的特点, 在健康功能分区的基础上, 综合考虑安全、生态特征、可持续性和社会政治环境等因素构建了平原水库健康综合评价体系, 指标体系包括围坝安全、水库社会效益、水库生态效应和状态持续性4类一级指标和15个二级指标。利用模糊数学方法提高层次分析法确定各指标权重的准确性, 构建平原水库健康综合评价的多目标多层次模糊模型, 克服了传统评价方法的主观随意性, 系统分析各类指标的耦合影响, 改进评判分析的不确定性。评价结果表明: 该方法操作方便、效果较好, 可用于一般水库的健康评价。

关键词: 平原水库; 健康评价; 模糊层次分析法; 指标体系; 权重

中图分类号: TV697 **文献标志码:** A **文章编号:** 1009-640X(2016)02-0062-07

平原水库作为人类与自然相互交流的渠道, 维持其健康状况是科学发展观和社会价值观进步的必然结果。水库健康评价是确切掌握水库运行状况, 明确其结构和功能存在的问题, 采取改善措施以实现健康运行的可持续性。因此, 平原水库健康评价的研究, 不仅具有重要应用价值, 且已成为当前生态环境综合评估的核心内容和热点领域之一。国内外许多学者一直关注水库安全运行、有效发挥功效的问题。R. Costanza等^[1]首次提出健康生态的主要特点是在时间上具有维持其组织结构、自我调节和对胁迫的恢复能力, 健康程度以活力、组织结构和恢复力来定义; S. E. Jorgenson^[2]提出了生态系统健康初步评价程序; 徐福留等^[3]提出了生态系统健康定量评价的函数方法; 肖金凤等^[4]综合水库功效和生态因素, 定义水库健康为生态健康和功效良好; 高永胜等^[5]综合了安全、经济支撑对库区及其周围生态系统和河流下游生态环境的影响, 概括了健康水库的概念; 李景波等^[6]认为组成河流水系的水库是陆地水循环的主要途径以及陆地和海洋进行物质和能量交换的主要通道; 褚克坚等^[7]提出了平原河流生态评价指标体系和评价方法; 张红叶等^[8]对水库的营养状态和生态健康进行了定量评价; 魏海等^[9]对水库健康进行了综合指数评价; 任子纲等^[10]构建了包括水库安全、水库绩效及水库影响的水库健康状况综合评价体系, 给出了指标量化和指标权重确定的方法; 谢飞等^[11]分析了水库生态系统的主成分, 通过熵权提高了水库健康综合评价的有效性; 余祥^[12]考虑水库健康的概念和评价两个方面对中小型水库的健康评价进行了研究。上述学者的研究考虑结构安全、功能和能量循环等因素对水库健康进行分析, 工程应用证明这些研究是评价水库健康状况的有效方法。

本文在已有研究工作的基础上, 结合相关的多学科知识, 采用理论与实践相结合的方法对平原水库健康评价模式进行探讨。从围坝安全、水库社会效益、水库生态效应和健康稳定的角度构建平原水库健康状况综合评价体系, 选用多目标多层次模糊模型评价水库健康状况, 给出了指标量化和指标权重确定的方法。

收稿日期: 2015-05-08

基金项目: 国家科技支撑计划资助项目(2015BAB07B05); 山东省省级水利科研及技术项目(SDSLKY201305); 山东省农业重大应用技术创新项目(SDNYCX1531963); 山东省自然科学基金资助项目(ZR2013EEM002)

作者简介: 岳强(1970—), 男, 山东济南人, 副教授, 博士, 主要从事水库安全评价研究工作。

E-mail: qiangyue@sdau.edu.cn 通信作者: 刘福胜(E-mail: liufsh@sdau.edu.cn)

1 平原水库健康综合评价指标体系

根据上述健康水库内涵选用水库安全、生态环境、社会功能、状态持续性 4 个要素来评价平原水库的健康状况,围坝安全是平原水库实现既定功能效益的前提和基础,是衡量水库健康与否的主要因素和首要条件;生态环境是指水库对于库区及影响区域生态系统的支撑程度,随着人们生态环境意识的提高,生态功能已经成为水库健康评价中不可忽视的重要内容;社会功能是修建水库的主要目的,体现水库自身的价值及对人类社会经济的支撑;状态持续性是水库对于自身健康状态持续性的表征,各种人为、自然干扰下对于自身结构、功能的维持和修复的能力。平原水库健康影响因素之间相互关联、相互作用,具有较强的耦合性。

平原水库健康综合评价指标体系具有多层次和递阶的结构形式,具有系统性和动态性的特点,通过一组具有代表意义,同时又能全面反映各方面要求的指标和数据的综合,得出平原水库的发展变化整体趋势。根据平原水库自身特点,基于健康水库内涵和影响因素分析,本着科学性、系统性、层次性以及可操作性等原则,参考现行《水库大坝安全评价导则》规定水库安全评价内容和分类,建立易于量化的平原水库健康综合评价指标体系由 1 个目标层、4 个准则层及 15 个相关的具体指标构成,见图 1。

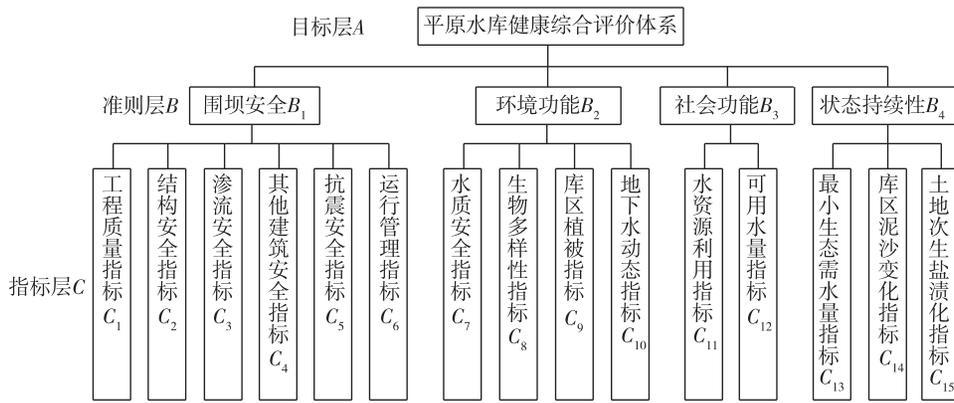


图 1 平原水库健康综合评价指标体系

Fig. 1 Synthetic health evaluation system for plain reservoirs

2 平原水库健康模糊综合评价

2.1 模糊层次分析

对平原水库健康综合评价体系建立目标层、准则层和指标层,准则层分为 4 个准则,准则层指标集为 U ,即: $U = \{ \text{水库围坝安全 } U_1, \text{水库环境功能 } U_2, \text{水库社会功能 } U_3, \text{水库状态持续性 } U_4 \}$

指标层指标集: $U_i = \{ U_{i1}, U_{i2}, \dots, U_{ij}, \dots, U_{im} \}$, $j = 1, 2, \dots, m$ 。

指标层单个因素指标按照 $V = \{ \text{健康 } V_1, \text{亚健康 } V_2, \text{病变 } V_3, \text{危情 } V_4 \}$ 的标准进行判断,得到单个因素指标评价标准集 V ,即:

$$V_{imj} = \begin{bmatrix} V_{111} & V_{112} & V_{113} & V_{114} \\ V_{121} & V_{122} & V_{123} & V_{124} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ V_{im1} & V_{im2} & V_{im3} & V_{im4} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ V_{4m1} & V_{4m2} & V_{4m3} & V_{4m4} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中: V_{imj} 表示第 i ($i = 1, 2, 3, 4$) 准则层下的第 m 个具体指标所对应的第 j ($j = 1, 2, 3, 4$) 级评价标准, 即为“健康、亚健康、病变、危情”4种状态的标准。

根据现行《水库大坝安全评价导则》中对水库安全评价内容、方法和标准的要求, 参照《平原水库工程设计规范》(DB37/1342—2009)的要求, 借鉴业内专家研究结论和平原水库科学管理实证资料, 对每个指标独立确定其指标特征值(见表1)。

表1 平原水库健康综合评价指标特征

Tab. 1 Evaluation of indexes for plain reservoir health

一级指标	二级指标	主要指标	标准特征值			
			健康	亚健康	病变	危情
	工程质量 C_1	$a_{1-2} = \frac{e_1 - e_2}{p_2 - p_1}$	< 0.1	< 0.3	< 0.5	≥ 0.5
	结构安全 C_2	正常运用抗滑稳定 最小安全系数 K_{\min}	≥ 1.30	≥ 1.25	≥ 1.20	< 1.20
围坝 安全 B_1	渗流安全 C_3	稳定渗流抗滑稳定 最小安全系数 $K_{\text{渗}\min}$	≥ 1.50	≥ 1.35	≥ 1.30	< 1.30
	建筑物安全 C_4	输泄水建筑物及金属结构强度、 变形、渗漏和运行满足要求	全部满足	大多满足	一半满足	较少满足
	抗震安全 C_5	地震作用抗滑稳定 最小安全系数 $K_{\text{震}\min}$	≥ 1.20	≥ 1.15	≥ 1.10	< 1.10
	运营管理 C_6	计划调度; 设施完备; 制度齐全; 完好维修; 监测完备	全部落实	大多落实	一半落实	较少落实
环境 功能 B_2	水质安全 C_7	$\frac{\text{达到水质要求的水库体积 } V_1}{\text{现状库容 } V_2} \times 100\%$	≥ 90	≥ 70	≥ 50	< 50
	生物多样性 C_8	Shannon 指数	≥ 3.0	≥ 1.5	≥ 0.5	< 0.5
	库区植被 C_9	$\frac{\text{库区植被面积 } E_1}{\text{库区面积 } E_2}$	$\geq 35\%$	$\geq 20\%$	$\geq 15\%$	< 15%
	地下水位 C_{10}	库周土壤浸没、湿陷、沼泽	均不出现	较少出现	一半出现	大多出现
社会 功能 B_3	水资源利用 C_{11}	$\frac{\text{水库水资源量 } W_1}{\text{水资源量总量 } W} \times 100\%$	≥ 30	≥ 20	≥ 10	< 10
	可用水量 C_{12}	$\frac{\text{水库总水量 } W_1 - \text{生态用水量 } W_2}{\text{水库供水的人口数 } P}$	$\geq 1\ 500$	≥ 750	≥ 300	< 300
状态 持续性 B_4	生态水量保证 C_{13}	$\frac{\text{实际生态水量 } Q_1}{\text{理论生态水量 } Q_2}$	$\geq 99\%$	$\geq 90\%$	$\geq 70\%$	< 70%
	库区泥沙变化 C_{14}	$\frac{\text{年均出库泥沙量 } S_1}{\text{年均入库泥沙量 } S_2} \times 100\%$	≥ 98	≥ 85	≥ 70	< 70
	土地盐渍化 C_{15}	库周土盐渍; 地下水咸化; 植被破坏; 减产、撂荒	均不出现	较少出现	一半出现	大多出现

根据指标层的指标集 U_i 和评价标准集 V_{imj} , 得到指标层隶属度矩阵 R_i :

$$R_i = \begin{bmatrix} r_{i11} & r_{i12} & r_{i13} & r_{i14} \\ r_{i21} & r_{i22} & r_{i23} & r_{i24} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{im1} & r_{im2} & r_{im3} & r_{im4} \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中: R_i 为第 i 个准则的隶属度矩阵 ($i = 1, 2, 3, 4$), m 表示第 i 个准则所含的指标数为 m 。

2.2 确定各层次的权重

建立第 i 个准则层的判断矩阵 A_i :

$$A_i = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1m} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2m} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mm} \end{bmatrix}, i = 1, 2, 3, 4 \quad (3)$$

式中: A_i 表示第 i 个准则层中各个指标间的相对权重矩阵; a_{ij} 为第 i 个指标相对第 j 个指标的权重值,采用 Saaty 提出的 1 - 9 标度法^[13]。

求得判断矩阵 A_i 的特征向量 W_i^* , 并进行归一化处理, 求得第 i 个准则层权重集 W_i 。

$$W_i^* = \begin{bmatrix} \sqrt[m]{\prod a_{11} a_{12} \cdots a_{1m}} \\ \sqrt[m]{\prod a_{21} a_{22} \cdots a_{2m}} \\ \vdots \\ \sqrt[m]{\prod a_{m1} a_{m2} \cdots a_{mm}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W_{i1}^* \\ W_{i2}^* \\ \vdots \\ W_{im}^* \end{bmatrix}, i = 1, 2, 3, 4 \quad (4)$$

$$W_i = W_{it}^* / \left(\sum_{i=1}^m W_{it}^* \right), t = 1, 2, \dots, m \quad (5)$$

计算判断矩阵的最大特征根 λ_{\max} , 进行一致性检验判断:

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \frac{(A_i W_i)_j}{(W_i)_j} \quad (6)$$

$$C_1 = (\lambda_{\max} - m) / (m - 1) \quad (7)$$

$$C_R = C_1 / R_1 \quad (8)$$

式中: C_1 为一致性判断指标; m 为判断矩阵的阶数; R_1 为平均一致性指标; C_R 为 Saaty 给出的计算一致性比率, 当 $C_R \leq 0.1$ 时, 判断矩阵具有一致性。

用同样的方法求出指标层相对于准则层的权重集 $W_C = \{W_1, W_2, W_3, W_4\}$ 和准则层相对于总目标层的权重集 W_B 。根据平原水库的特点, 对于指标层各个指标两两相互评价权重的大小, 根据各位专家意见的统计分析, 构造出平原水库健康综合评价体系指标权重, 如表 2 所示。

2.3 分层模糊综合评价

平原水库健康综合评价指标体系共有 3 层, 因此进行两级模糊综合评价, 即指标层对准则层和准则层对目标层的评价。

$$\text{指标层对准则层的模糊评价为: } B_i = W_{Ci} \circ R_i \quad (9)$$

$$\text{准则层对目标层的模糊评价为: } S = W_B \circ B \quad (10)$$

式中: B_i 为第 i ($i = 1, 2, 3, 4$) 准则层的模糊评价; S 为水库对 4 个健康级别的隶属度矩阵; 运算“ \circ ”为模糊合成算子。

若隶属度矩阵不满足 $\sum_{j=1}^4 S_j = 1$, 对评价结果进行归一化处理, 得到新的判断矩阵 $P = (P_1, P_2, P_3, P_4)$, 根据最大隶属度原则, 选取 $\max_{1 \leq j \leq 4} \{P_j\}$ 对应的评价等级作为评价结果^[14], 从而对平原水库健康所处的状态做出准确判断。

3 实例分析

丁东水库位于山东省德州市陵县, 库区占地面积 8.51 km^2 , 水面面积 7.0 km^2 , 大坝坝顶高程为 26.5 m ,

高 9.5 m, 坝顶宽 8.0 m, 设计蓄水深 7.0 m, 大坝轴线长 11.64 km, 库容 550 万 m^3 , 碾压式均质土坝, 是山东省内新建大型平原水库之一。水库建成蓄水以来, 为推动德州市工农业生产发挥了巨大作用。

表 2 平原水库健康综合评价体系指标权重

Tab. 2 Weights of comprehensive evaluation for plain reservoir health

总目标层 A	准则层 B		指标层 C			
	评价指标	W_B	评价指标	W_{CB}	W_{CA}	排序
水库健康 评价指数	围坝安全 B_1	0.467	工程质量指标 C_1	0.241	0.113	3
			结构安全指标 C_2	0.281	0.131	2
			渗流安全指标 C_3	0.179	0.084	6
			其他建筑物安全指标 C_4	0.094	0.044	9
			抗震安全指标 C_5	0.160	0.075	7
			运行管理指标 C_6	0.045	0.021	12
	环境功能 B_2	0.160	水质安全指标 C_7	0.545	0.087	5
			生物多样性指标 C_8	0.233	0.037	10
			库区植被指标 C_9	0.138	0.022	11
			地下水动态稳定指标 C_{10}	0.084	0.013	14
	社会功能 B_3	0.278	水资源开发利用指标 C_{11}	0.333	0.093	4
			水库可用水量指标 C_{12}	0.667	0.185	1
	状态持续性 B_4	0.095	最小生态需水量指标 C_{13}	0.683	0.065	8
			库区悬移质输沙量变化 C_{14}	0.200	0.019	13
			周边土地次生盐渍化 C_{15}	0.117	0.011	15

水库自 1997 年开始蓄水起收集了完善的监测资料, 通过现场勘测和历史资料统计分析, 在丁东水库时期的安全评价计算的基础上, 结合各位业内专家的模糊评价结论, 对最近一个水文年内各指标的最新数据资料进行量化处理, 根据表 1 所示的平原水库健康综合评价指标特征值, 对各指标依次进行隶属度计算, 所得结果如表 3 所示。

表 3 模糊综合评价隶属度

Tab. 3 Judgment subordinating degree of fuzzy comprehensive assessment

评价指标	健康	亚健康	病变	危情	评价指标	健康	亚健康	病变	危情
工程质量指标 C_1	0.87	0.13	0	0	库区植被指标 C_9	0.53	0.47	0	0
结构安全指标 C_2	0.83	0.17	0	0	地下水动态稳定指标 C_{10}	0.68	0.19	0.13	0
渗流安全指标 C_3	0.72	0.20	0.08	0	水资源开发利用指标 C_{11}	0	0.47	0.53	0
建筑物安全指标 C_4	0.71	0.18	0.11	0	水库可用水量指标 C_{12}	0	0.56	0.44	0
抗震安全指标 C_5	0.90	0.10	0	0	最小生态需水量指标 C_{13}	1.00	0	0	0
运行管理指标 C_6	0.76	0.21	0.03	0	库区悬移质输沙量变化 C_{14}	0.62	0.20	0.13	0.05
水质安全指标 C_7	0.95	0.05	0	0	周边土地次生盐渍化 C_{15}	0.69	0.13	0.14	0.04
生物多样性指标 C_8	0.74	0.26	0	0					

根据式(9)和(10), 求得准则层各个指标模糊评价结果和总目标的总体评价结果(见表 4)。

根据隶属度最大原则, 丁东水库的健康状况为“健康”, 各项功能正常, 但其“亚健康”隶属度也占到了 25.3% 的比例, 说明健康状态有可能向亚健康发展, 而“病危”隶属度也有 0.148, 对水库的健康状态需要提高警惕。丁东水库社会功能的“亚健康”隶属度较高, 说明水库的社会功能有向着“病变”发展的风险, 对于水库管理决策者提供了水库管理需要改进的方向。如何优化水库的调度方式, 更好发挥水库的社会效益, 是水库决策者对于水库运行管理需要思考的问题。因此, 对于丁东水库的维护和运行, 还需投入更大的人力和

物力以维持水库的健康。

表4 准则层和目标层模糊评价结果

Tab.4 Results for criteria and target level of fuzzy performance

评价指标	健康	亚健康	病变	危情	评价指标	健康	亚健康	病变	危情
水库围坝安全 B_1	0.817	0.157	0.026	0	水库状态持续性 B_4	0.888	0.055	0.042	0.015
水库环境功能 B_2	0.820	0.169	0.011	0	健康综合指数 A	0.597	0.253	0.148	0.001
水库社会功能 B_3	0.113	0.490	0.397	0					

4 结 语

(1) 健康水库应具备一定的生态调节能力,对影响区域生态系统的影响在阈值范围内。平原水库健康的内涵包括水库安全、水库绩效、生态环境影响和健康状态持续性4方面内容。

(2) 平原水库健康评价指标体系具有多层次和递阶的结构形式,包括安全、环境、社会功能和状态持续性4类一级指标和15个具体二级指标,根据不同水库的具体问题可取舍相应指标。

(3) 采用多目标综合模糊模型可以较真实地反映平原水库健康状况,降低指标赋权的随意性和模糊性,充分利用水库大坝安全评价和监测数据资料,水库健康评价更为客观和高效。

(4) 以丁东水库为例,根据模糊评价分析得出水库健康状况属于“健康”,但是其社会功能的“亚健康”隶属度较高,为水库管理决策指出了需要改进和完善的方向。

参 考 文 献:

- [1] COSTANZA R, D'ARCE R, GROOT R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. *Ecological Economics*, 1998, 25(1): 3-15.
- [2] JORGENSEN S E. Exergy and ecological buffer capacities as measures of ecosystem health[J]. *Ecosystem Health*, 1995, 1(3): 150-160.
- [3] XU F L, ZHAO Z Y, ZHAN W, et al. An ecosystem health index methodology (EHIM) for lake ecosystem health assessment [J]. *Ecological Modelling*, 2005, 188(2): 327-339.
- [4] 肖金凤, 梁宏. 水库建设与开发的生态理念[J]. *水利水电技术*, 2005, 35(11): 8-10. (XIAO Jing-feng, LIANG Hong. Ecological concept in reservoir development [J]. *Water Resources and Hydropower Engineering*, 2005, 35(11): 8-10. (in Chinese))
- [5] 高永胜, 王浩, 王芳. 健康水库内涵及评价指标体系的建立[J]. *水利发展研究*, 2005, 5(9): 1-6. (GAO Yong-shen, WANG Hao, WANG Fang. The establishment of reservoir health connotation and evaluation index system [J]. *Water Conservancy Development Research*, 2005, 5(9): 1-6. (in Chinese))
- [6] 李景波, 董增川, 王海潮, 等. 水库健康调度与河流健康生命探讨[J]. *水利水电技术*, 2007, 38(9): 12-15. (LI Jing-bo, DONG Zeng-chuan, WANG Hai-chao, et al. Discussion on healthy operation of reservoir and health of river [J]. *Water Resources and Hydropower Engineering*, 2007, 38(9): 12-15. (in Chinese))
- [7] 褚克坚, 阚丽景, 华祖林, 等. 平原河网地区河流水生态评价指标体系构建及应用[J]. *水力发电学报*, 2014, 33(5): 138-144. (CHU Ke-jian, KAN Li-jing, HUA Zu-lin, et al. Construction and application of an indicator system for assessment of river ecosystem in plain tributary networks [J]. *Journal of Hydroelectric Engineering*, 2014, 33(5): 138-144. (in Chinese))
- [8] 张红叶, 蔡庆华, 孔令惠, 等. 丹江口水库生态系统健康综合评价[J]. *应用与环境生物学报*, 2012, 18(1): 86-92. (ZHANG Hong-ye, CAI Qing-hua, KONG Ling-hui, et al. Comprehensive assessment of Danjiangkou reservoir ecosystem health [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2012, 18(1): 86-92. (in Chinese))
- [9] 魏海, 沈振中, 赵斌. 水库健康效应评价指标体系初步研究[J]. *水利水电科技进展*, 2008, 28(4): 32-36. (WEI Hai, SHEN Zhen-zhong, ZHAO Bin. Primary study on evaluation index system for reservoir health [J]. *Advances in Science and Technology of Water Resources*, 2008, 28(4): 32-36. (in Chinese))

- [10] 任子纲, 高永胜. 水库健康状况综合评价的初步研究[J]. 海河水利, 2014(4): 56-60. (REN Zi-gang, GAO Yong-sheng. A preliminary study on the comprehensive evaluation of reservoir health[J]. Haihe Water Resources, 2014(4): 56-60. (in Chinese))
- [11] 谢飞, 顾继光, 林彰文. 基于主成分分析和熵权的水库生态系统健康评价-以海南省万宁水库为例[J]. 应用与环境生物学报, 2014, 25(6): 1773-1779. (XIE Fei, GU Ji-guan, LIN Zhang-wen. Assessment of aquatic ecosystem health based on principal component analysis with entropy weight: a case study of Wanning reservoir (Hainan Island, China) [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2014, 25(6): 1773-1779. (in Chinese))
- [12] 余祥. 中小型水库健康评价及实证研究[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2010. (YU Xiang. Medium and small reservoir health assessment and empirical study[D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2010. (in Chinese))
- [13] SAATY T L. 层次分析法[M]. 许树柏, 译. 北京: 煤炭工业出版社, 1988. (SAATY T L. Analytical hierarchy process[M]. Translated by XU Shu-bo. Beijing: China Coal Industry Publishing House, 1988. (in Chinese))
- [14] 杜栋, 庞庆华, 吴炎. 现代综合评价方法与案例精选[M]. 北京: 清华大学出版社, 2008. (DU Dong, PANG Qing-hua, WU Yan. Modern comprehensive evaluation method and case selection[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2008. (in Chinese))

Comprehensive assessment of plain reservoir health based on fuzzy and hierarchy analyses

YUE Qiang^{1,2}, LIU Fu-sheng^{1,2}, LIU Zhong-qiu¹

(1. College of Water Conservancy and Civil Engineering, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, China; 2. Agricultural Big Data Center, Tai'an 271018, China)

Abstract: The characteristics of ecosystem and sustainability have been ignored in safety evaluation for the plain reservoir. The plain reservoir has special characteristics such as large area, shallow water depth, long dam length and poor foundation treatment. On the basis of the health function regionalization, the comprehensive health assessment system for the plain reservoirs is established according to its safety, ecosystem characteristics, persistence, and other social, political and environmental factors. This index system includes 4 first-grade indexes, namely reservoir safety, social benefits, ecological effects and health persistence, and 15 second-grade indexes. In order to overcome the shortcomings of randomness and subjectivity in the traditional evaluation method and to eliminate the uncertainty during the evaluation process, a multi-objective and multi-layer fuzzy model for comprehensive health assessment of the plain reservoir is proposed, where the weight of each indicator is determined based on an improved analytic hierarchy process (AHP) method combined with fuzzy analysis of the relevant relationships of each indicator. The case history indicates that the research method is feasible and effective, and can be used widely in the reservoir health assessment. The analysis results obtained from this study are beneficial to the sustainable development and scientific management of the plain reservoirs.

Key words: plain reservoir; health assessment; fuzzy analytic hierarchy process; index system; weighting