

基于可变模糊的河流功能等级评价系统研究

郭爽, 贾艾晨

(大连理工大学 水利工程学院, 辽宁 大连 116024)

摘要: 由于河流功能状况综合评估涉及的影响要素很多,各要素之间又存在复杂的相互关系,造成河流功能评价的不确定性,因此为了使评价结果尽量客观,采用可变模糊评价的方法对河流功能状况进行综合评价。同时将河流功能可变模糊评价模型与计算机技术相结合,建立了基于 VC++ 开发环境的河流功能可变模糊评价系统。并以浑河的一级支流红河为例,具体介绍该系统各功能模块的实现过程。

关键词: 可变模糊评价;河流功能;计算机技术

中图分类号: TV213.4

文献标识码: A

文章编号: 1672—1144(2013)05—0153—05

Research on Evaluation System of River Function Based on Variable Fuzzy Evaluation Method

GUO Shuang, JIA Ai-chen

(College of Hydraulic Engineering, Dalian University of Technology, Dalian, Liaoning 116024, China)

Abstract: The comprehensive evaluation of river function involves many affecting elements, and there is a complex relationship among them, so all these factors cause the uncertainty in the evaluation of river function. Therefore, in order to make the evaluation results more objective, the variable fuzzy evaluation method is applied to the comprehensive evaluation of river function. Moreover, combining with the variable fuzzy evaluation model and computer technology, the system for variable fuzzy evaluation of river function under VC++ development environment is built. Finally taking Honghe River which is a tributary of Hunhe River as an example, the achievement process of each functional module for this system is introduced in detail.

Keywords: variable fuzzy evaluation; river function; computer technology

0 引言

随着流域社会经济的快速发展,河流状况发生显著变化,以及人们对河流功能需求的提高和生态环境意识的不断增强,对河流的开发利用、综合治理和保护等各方面提出了新要求。对于河流的治理和开发已不仅仅局限于水利工程方面的要求,而是将生态的理念注入其中,在满足防汛抗旱需要的同时,充分发挥河流的生态、自然、景观、休闲娱乐等功能。

河流功能评价是河流生态治理中重要的一个环节,通过对河流功能明确定位,能够发现河流生态系统所存在诸多问题,为河流的综合治理提供方向和指导。河流功能评价需要建立综合评价指标体系,

其目的在于评价在自然力和人类活动双重作用下,河流的各项功能状况、演变的发展趋势。对于已建水利工程设施的河段,侧重于评价水利工程对河流生态的胁迫影响。

在我国有关河流功能方面的研究起步较晚,尚处于摸索阶段。石瑞花将河流功能分为自然功能和社会功能,构建了包含 10 个一级指标 28 个二级指标的河流功能评价指标体系,对研究河流的各项功能进行了全面系统的评价^[1]。高永胜等在探讨河流健康生命内涵的基础上,构建了河流健康生命评价指标体系,从河流地貌结构、社会经济功能、生态功能 3 个角度对河流健康生命状况进行评价^[2]。现有的这些河流功能评价方法大都是基于主观评判和专

家打分的方式,缺乏客观性和有效性。

本文通过研究国内外河流功能评价的资料,综合考虑河流的自然功能、生态环境功能和社会服务功能,构建河流功能评价指标体系,使河流功能评价更具客观性。并鉴于影响河流功能的各要素之间存在交叉性、不确定性,而造成河流功能评价的模糊性。本文将可变模糊评价方法^[3]引入到河流功能评价中,并把河流功能可变模糊评价模型与计算机技术相结合,建立了基于 VC++ 开发环境的河流功能可变模糊评价系统。

1 河流功能模糊评价模型构建

1.1 评价指标体系建立

河流是一个完整的生态系统,具有多种功能,其主要功能可以概括为自然与生态环境功能和社会经济与服务功能。由于河流功能状况评估涉及的影响要素很多,各要素之间又存在复杂的相互关系,致使河流功能评价具有一定难度,加之不同河流所面临的问题各不相同,所以目前针对河流功能评价尚未建立统一的河流功能评价指标体系。鉴于上述原因,笔者通过查阅大量国内外相关文献,并结合研究区的实际情况,基于完整性、代表性和可操作性指标设置原则构建河流功能评价指标体系。

(1) 自然与生态环境功能

河流的自然与生态环境功能主要体现在水文特征、地质条件和生态环境三个方面。董哲仁教授等在河流健康评价方面做了大量的工作,他认为河流状况的影响因素包括物理-化学参数、生物栖息地质量、水文、生物 4 个方面内容^[4]。而河流健康状况直接影响到其各项功能的正常发挥,因此本文在此基础上做了进一步的分析探讨,选择以下 7 个指标作为河流自然与生态环境功能评判依据。具体的指标设置如下:径流系数变化率 x_1 (%)、年降水变差系数 x_2 、河道稳定性 x_3 、河流水质达标率 x_4 (%)、天然植被覆盖率 x_5 (%)、水生物种群丰富度 x_6 (%)、最小生态需水量保证率 x_7 (%)。

(2) 社会经济与服务功能

河流的社会经济与服务功能包括:防洪排涝、供水、发电、航运、人文景观、休闲娱乐等很多方面。于纪玉等在研究健康河流的功能分析中既考虑到维持河流生态系统健康,又考虑了人类社会发展的需要,构建了包含 10 项功能 18 个要素的评价指标体系^[5]。本文通过收集研究区行政区划和经济发展规

划等相关资料,在综合分析当地社会发展实际需要的基础上,选择以下 7 个指标作为河流社会经济与服务功能的评判依据。具体的指标设置如下:水资源利用率 y_1 (%)、防洪体系完善度 y_2 (%)、沿岸开发利用方式 y_3 、人均 GDP y_4 (万元/人)、城市化比率 y_5 (%)、人口密度 y_6 (人/km²)、景观娱乐功能指数 y_7 。

1.2 可变模糊评价模型构建

将待评价的整个河流划分为若干个河段,以河段为功能评价单元,对相应指标进行定性和定量分析。设有 n 个待评价河段构成样本集合 $U = \{u_j\}$, $j = 1, 2, \dots, n$ 且每个样本对象 u_j 有 m 个指标,则有 $m \times n$ 阶样本特征值矩阵

$$X = (x_{ij})_{m \times n}, (i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

河流功能评价各样本依据 m 个指标 c 个级别的指标标准特征值进行综合评价,则有 $m \times c$ 阶指标标准特征值矩阵

$$M = M_{ih(m \times c)}, (i = 1, 2, \dots, m, h = 1, 2, \dots, c) \quad (2)$$

式中: M_{ih} 为级别 h 指标 i 的标准特征值,可根据评价对象 u_j 级别 h 对优、劣模糊概念的物理分析确定。以 u_j 为评价对象,设其指标特征值 x_i 落入标准值矩阵 M 中 h 与 $h+1$ 级相对隶属度为 1 的标准区间 $[M_{ih}, M_{i(h+1)}]$ 内,则 x_i 对 $h, h+1$ 级的相对隶属度分别为:

$$\mu_{ih}(u_j) = \frac{M_{i(h+1)} - x_i}{M_{i(h+1)} - M_{ih}} \quad (3)$$

$$\mu_{i(h+1)}(u_j) = 1 - \mu_{ih}(u_j) \quad (4)$$

评价对象 u_j 对级别 h 的综合相对隶属度模型为:

$$v_h(u_j) = \frac{1}{1 + \left(\frac{\sum_{i=1}^m \{w_i [1 - \mu_{ih}(u_j)]\}^p}{\sum_{i=1}^m (w_i \mu_{ih}(u_j))^p} \right)^{\frac{\alpha}{p}}} \quad (5)$$

式中: α 为优化准则参数, p 为距离参数。由于河流功能综合评价是一个高度非线性系统,采用 $\alpha = 1, p = 1, \alpha = 1, p = 2$ 两组模型参数组合确定评价对象对级别 h 的综合相对隶属度。再根据级别特征值公式:

$$H(u_j) = \sum_{h=1}^c v_h(u_j) \cdot h \quad (6)$$

确定级别特征值 H_1, H_2 , 求出它们的算术平均值 \bar{H} 。最后应用归属等级判断准则^[6]: 当 $1.0 \leq \bar{H}(u_j) \leq 1.5$, 则属于 1 级; 当 $h - 0.5 < \bar{H}(u_j) \leq h$, 则属于 h

级,偏($h - 1$)级;当 $h < \overline{H}(u_j) \leq h + 0.5$,则属于 h 级,偏($h + 1$)级;当 $c - 0.5 < \overline{H}(u_j) \leq c$,则属于 c 级。

1.3 指标权重确定

在多指标决策问题中,由于各指标因素在指标体系中的作用不同,对系统的影响程度就有所差异,为了区分其差异性,首先需要确定各评价指标的权重。本文充分考虑主观认识和客观数据特性,采用定性与定量分析相结合的层次分析法确定各评价指标的权重集合:

$$w_i = \{w_1, w_2, \dots, w_m\}; \sum_{i=1}^m w_i = 1 \quad (7)$$

2 系统的设计与开发

2.1 系统设计思想

本系统基于 Windows 操作平台,利用 Visual C++ 中的 MFC 应用程序框架,以抚顺市境内浑河的一级支流红河功能综合评价为例,采用可变模糊评价模型,开发建立了基于可变模糊的河流功能等级评价系统。其特点是对话框的方式读取参数变量,可以实现多个评价方案的可变模糊评价,提高了计算模型和数据的重复利用性和便于修改。同时,尽可能的模拟人类习惯的思维方式,将可变模糊评价的全过程直观的展现出来,使评价结果更加合理可靠,并有利于系统以后的改进和更新。

2.2 系统组成结构

该系统应用 VC++ 的模块化和参数化设计理念,以研究区域的河流水系图作为系统背景,其主界面设计包括:读取评价河段参数、建立标准区间矩阵、计算相对隶属度、确定指标权向量以及评价结果等系统菜单组成。系统的结构框架图、系统的主界面图分别如图 1、图 2 所示。

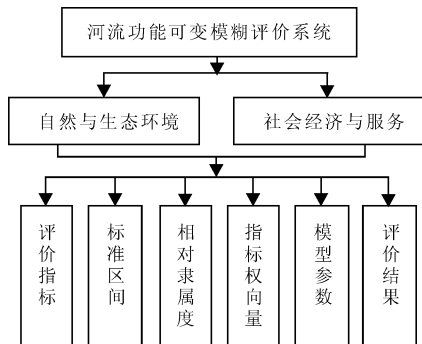


图 1 系统结构图

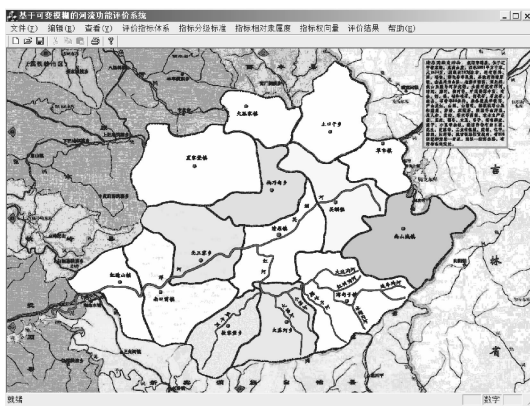


图 2 系统主界面图

3 系统的实现和应用

3.1 数据资料

3.1.1 指标的选取

以浑河一级支流红河为例,根据研究河流生态保护现状和数据采集情况,选取上文 1.1 中提出的 14 个指标分别对河流自然与生态环境功能和社会经济与服务功能进行综合评价。

3.1.2 指标值和指标分级标准

河流功能评价通常以河段为单元,为了便于获取研究河段的指标信息,参考研究区域的行政区划现状,按照具有相似属性的河段归为一类的原则,将待评价的河流划分为四个河段,以每个河段为功能评价的对象,对相应指标进行定性和定量分析。本文参照相关文献,并通过实地调研,结合当地实际情况,确定不同河段的评价指标值见表 1、表 2。同时借鉴有关河流健康综合评价标准^[7],确立本研究区河流功能评价指标分级标准值 M_{ih}^1 和 M_{ih}^2 ,分别为好、较好、一般、较差、差 5 个级别,具体见表 3、表 4。

表 1 自然与生态环境功能评价指标值

评价指标	评价对象			
	u_1	u_2	u_3	u_4
x_1	1.8	2.8	4.1	5.4
x_2	0.12	0.26	0.28	0.31
x_3	7.8	6.7	2.8	3.6
x_4	89	84	62	38
x_5	95	55	46	23
x_6	87	63	55	21
x_7	98	95	53	17

表 2 社会经济与服务功能评价指标值

评价指标	评价对象			
	u_1	u_2	u_3	u_4
y_1	33	34	65	55
y_2	10	32	54	78
y_3	1.2	2.8	3.6	5.0
y_4	1.168	1.487	3.318	2.512
y_5	8	15	39	71
y_6	37	45	70	200
y_7	1.0	1.6	9.8	2.3

表 3 自然与生态环境功能指标分级标准值 M_{ih}^1

评价指标	指标等级				
	好	较好	一般	较差	差
x_1	0	4.75	15.00	27.50	40.00
x_2	0	0.125	0.250	0.375	0.500
x_3	8.0	6.5	5.0	3.5	2.0
x_4	90.00	71.25	57.50	47.50	40.00
x_5	60.0	52.5	45.0	37.5	30.0
x_6	80	65	50	35	20
x_7	90	75	60	45	30

表 4 社会经济与服务功能指标分级标准值 M_{ih}^2

评价指标	指标等级				
	好	较好	一般	较差	差
y_1	60.0	52.5	45.0	35.0	20.0
y_2	80	65	50	35	20
y_3	4.00	3.25	2.50	1.75	1.00
y_4	4.00	3.25	2.50	1.75	1.00
y_5	60.0	45.0	30.0	17.5	10.0
y_6	80	65	50	35	20
y_7	8.0	6.5	5.0	3.5	2.0

3.1.3 指标权重

本文采用层次分析法,通过计算得出两类功能属性的各评价指标的权重集合如下:

$$w^1 = \{0.157, 0.082, 0.138, 0.224, 0.101, 0.179, 0.119\}$$

$$w^2 = \{0.135, 0.150, 0.161, 0.134, 0.134, 0.135, 0.151\}$$

3.2 各功能模块实现

3.2.1 数据读取模块

本系统采用建立对话框的方式读取指标值,并在对话框资源上添加相应的控件,然后在类向导中建立对话框类,添加与控件相关联的成员变量,在编辑框中输入对应的指标值。“指标分级标准值”和“指标权向量”对话框的建立与上述方式相同。需要

注意的是此处输入的数据值要赋给全局变量,以便作为后面的计算模型参数使用。

3.2.2 计算模块

该模块的功能是计算指标的相对隶属度和综合相对隶属度。根据式(3)~式(5)求出四个河段对级别 h 的综合相对隶属度,进行归一化后的结果见表 5、表 6。

3.2.3 结果显示模块

该功能模块主要实现的是两组不同模型参数对应评价结果以及综合评价等级的显示。由式(6)可以分别确定各评价河段的级别特征值 H_1 、 H_2 ,求出相应的算术平均值 $\bar{H}_{(u_j)}$ 见表 5、表 6。

河流综合评级等级反映的是河流功能发挥的优劣程度。综合评价等级值越小,表明研究河段该功能的主导作用性越强,相反地,综合评价等级值越大,表明研究河段该功能的主导作用性越弱。综合评价等级的结果不仅可以作为确定河流功能定位的主要依据,还可以为后续的河流功能区划和流域综合治理提供理论支持和指导方向。

3.3 结果分析

根据上文 1.2 中提出的等级判断准则,可以判断出四个河段自然与生态环境功能和社会经济与服务功能的归属等级。评价河段 u_1 位于红河最上游,两岸居民稀疏,受人类活动干扰极少,自然和生态环境保持良好,该河段自然与生态环境功能级别特征值为 1.195,属于 1 级,社会经济与服务功能级别特征值为 4.671,属于 5 级; u_2 位于 u_1 下游,沿河居民和农田分布相对源头有所增加,河道逐渐变宽,沿岸有少量的护岸工程,受到相邻河段的影响,河段 u_2 主要起到衔接和过渡的作用,该河段自然与生态环境功能级别特征值为 1.888,属于 2 级,偏 1 级,社会经济与服务功能级别特征值为 4.400,属于 4 级,偏 5 级;河段 u_3 位于红河中游段,由于自然条件优势,蕴含丰富生物和水能资源,该河段已建成红河峡谷漂流项目和多处水电站等水利工程设施,改变了当地居民的生活条件,促进了区域的经济的发展,适宜综合开发和利用。该河段自然与生态环境功能级别特征值为 3.381,属于 3 级,偏 4 级,社会经济与服务功能级别特征值为 1.939,属于 2 级,偏 1 级;河段 u_4 位于红河最下游,所在地大部分在清原镇,具备一定的经济基础,由于受到上游红河水库大坝的拦截,该河段有明显的断流、生态恶化现象。该河段自然与生态环境功能级别特征值为 4.588,属于 5 级,社会经济与服务功能级别特征值为 2.667,属于 3 级,偏 2 级。

表 5 自然与生态环境指标综合相对隶属度

评价对象	模型 1 $\alpha = 1, p = 1$					模型 2 $\alpha = 1, p = 2$					$\bar{H}_{(u_j)}$
	$h = 1$	$h = 2$	$h = 3$	$h = 4$	$h = 5$	$h = 1$	$h = 2$	$h = 3$	$h = 4$	$h = 5$	
u_1	0.831	0.169	0	0	0	0.778	0.222	0	0	0	1.195
u_2	0.388	0.506	0.099	0.007	0	0.437	0.515	0.173	0.016	0	1.888
u_3	0.021	0.282	0.483	0.149	0.064	0.052	0.362	0.491	0.208	0.145	3.381
u_4	0	0.147	0.061	0.180	0.612	0	0.288	0.104	0.273	0.588	4.588

表 6 社会经济与服务指标综合相对隶属度

评价对象	模型 1 $\alpha = 1, p = 1$					模型 2 $\alpha = 1, p = 2$					$\bar{H}_{(u_j)}$
	$h = 1$	$h = 2$	$h = 3$	$h = 4$	$h = 5$	$h = 1$	$h = 2$	$h = 3$	$h = 4$	$h = 5$	
u_1	0	0	0.018	0.307	0.675	0	0	0.046	0.368	0.615	4.671
u_2	0	0.064	0.187	0.467	0.282	0	0.153	0.289	0.468	0.358	4.400
u_3	0.418	0.418	0.164	0	0	0.454	0.437	0.268	0	0	1.939
u_4	0.605	0.112	0.132	0.030	0.121	0.562	0.209	0.271	0.076	0.257	2.667

4 结 论

本文采用可变模糊评价方法,将河流功能模糊评价模型与计算机技术相结合,通过对话框参数化设计,开发河流功能等级可变模糊评价系统。该系统充分利用计算机界面交互能力,实现评价模型的交互计算和评价结果可视化显示,不仅提高了河流功能评价的效率,同时为后期制定流域综合规划以及对河流进行管理提供重要的依据和导向。

参考文献:

[1] 石瑞花. 河流功能区划及河道治理模式研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2007: 16-36.

[2] 高永胜,王 浩,王 芳. 河流健康生命评价指标体系的构建[J]. 水科学进展, 2007, 18(2): 252-257.

[3] 陈守煜. 可变模糊集理论与模型及其应用[M]. 大连: 大连理工大学出版社, 2009: 7-21.

[4] 董哲仁. 生态水利工程原理与技术[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 222-236.

[5] 于纪玉,刘方贵,等. 健康河流功能分析研究[C]//第五届中国水论坛,南京, 2007: 309-312.

[6] 王子茹,罗宝力,牛云格. 大连市水资源优化配置决策方案评价可视化系统研究与应用[J]. 大连理工大学学报, 2012, 52(2): 259-263.

[7] 张 晶,董哲仁,孙东亚,等. 河流健康全指标体系的模糊数学评价方法[J]. 水利水电技术, 2010, 41(12): 16-21.

(上接第 109 页)

(2) 根据检测结果利用 PKPM 软件进行加固验算,由此提出加固方案。在加固方案中主要对地基加固和承重墙墙体加固进行详细说明,以此简要说明加固方案的有效性。

(3) 对地基加固和承重墙墙体加固进行计算验证,说明加固可行性,可以作为施工依据对其进行施工,为建筑维修改造加固施工提供了技术支撑。

参考文献:

[1] 庄联郎. 厦门影剧院维修改造与抗震加固设计[D]. 重庆: 重庆大学, 2004.

[2] 原 帅. 底部框架 - 抗震墙砌体结构抗震设计综述[J]. 科学之友, 2011, 24(16): 3-4.

[3] 张吉平. 浅谈柱下独立基础设计[J]. 建材技术与应用, 2011, 38(12): 34-36.

[4] 王建成. 《建筑结构荷载规范》新旧版的简要对比[J]. 上海城市管理职业技术学院学报, 2004, (S1): 159.

[5] 王 曦. PKPM 与建筑信息模型[N]. 中华建筑报, 2012 - 7 - 24(15).

[6] 付 洁,王志浩. 用 PKPM 对面层或板墙加固后砌体结构的抗震计算[J]. 建筑结构, 2007, (S1): 81-84.

[7] 孙 肃,张晓霞. PKPM 系列软件在建筑结构课程设计教学中的应用[J]. 黑龙江教育高教研究与评估课程, 2012, 20(6): 30-31.

[8] 王艳红,袁洪升. 保证混凝土框架柱延性的设计方法[J]. 水利与建筑工程学报, 2012, 10(4): 47-49.

[9] Mander J B, Priestly M J N, Park R, et al. Theoretical stress-strain model for confined concrete [J]. Journal of Structural Engineering, 1988, 114(8): 1084-1826.

[10] 中国建筑科学研究院. GB50011 - 2010. 建筑抗震设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.