

# 基于模糊数学的河道健康综合评价方法研究

单红喜

(大丰区小海水利管理服务站, 江苏 盐城 224100)

**摘要:** 将河道的健康评价指标体系分为 3 个层次: 目标层、准则层和指标层, 构建生态功能、社会经济价值、物理化学指标和人类健康指标的准则层, 并挑选 17 个河道健康指标构建指标层。采用模糊数学方法, 对河道健康进行评估, 并且基于 VS 平台, 采用 C++ 语言研发河道健康评价软件, 以快速便捷地评估河道健康程度, 为河道治理提供有力支撑。

**关键词:** 河道健康; 综合评价; 模糊数学

中图分类号: TV882      文献标识码: B      文章编号: 1007-7839 (2018) 05-0057-06

## Study on comprehensive evaluation method of river health based on fuzzy mathematics

SHAN Hongxi

(Xiaohai Water Management Service Station of Dafeng District, Yancheng 224100, Jiangsu)

**Abstract:** The river health evaluation index system is divided into three levels: target level, criterion level and indicator level, from which the criteria level of ecological function, social economic value, physical and chemical index, and human health index are constructed. And 17 river health indicators are selected to construct indicators level. Using fuzzy mathematics to evaluate river health, and using C++ language to develop river health assessment software based on the VS platform to quickly and easily assess river health, and provide strong support for river management.

**Key words:** river health; comprehensive evaluation; fuzzy mathematics

## 1 概述

在城镇形成和发展的过程中, 河流作为重要的资源 and 环境载体, 对城镇的经济发展和生态建设起着重要的作用。然而, 随着我国工业化和城镇化的迅猛发展, 城镇河流水质发生黑臭现象, 河流健康受损, 生态功能丧失, 因此对城镇河道进行健康评价刻不容缓。

目前, 许多国内外学者已经开展了一些研究工

作<sup>[1]</sup>, 但是关于河道健康评价问题较为复杂和抽象, 还没有形成一套完整的评价方法。河道健康评价大都停留在河道生态系统健康的基础上<sup>[2-3]</sup>, 但河道健康的指标众多, 缺少系统的综合评价。本文采用模糊数学原理, 结合多项指标, 研究河道健康综合评价方法。并且基于 VS 平台, 结合上述河道健康评价方法, 开发河道健康评价软件。河道健康综合评价方法能够克服以往评价方法的片面性, 充分反映河道各项指标的健康程度, 对河道

收稿日期: 2017-12-23

作者简介: 单红喜 (1965-), 男, 本科, 工程师, 主要从事水利工程施工管理工作。

健康治理提供了有力的支持。

## 2 河道健康评价指标体系

### 2.1 评价指标体系的构建

确立河道健康评价指标体系是以修复河道功能为目标,使其达到河道健康的要求。河道健康不仅表现在生态多样性、自净功能等自然功能方面,还应该具有社会涵义,即维持河道对人类社会提供的各种功能。因此,构建河道健康指标体系的总体原则是科学性、代表性、可行性和可操作性<sup>[4]</sup>。

#### (1) 生态功能

生态功能是河道健康的重要指标,生态系统所有生命系统最基本因素就是依水而生。河流是一个完整的连续体,上下游、左右岸构成一个完整的体系,依赖于河流径流丰枯而兴衰的河流生态系统健康,是河流生机和活力的重要体现。

#### (2) 社会经济价值

河流的社会经济价值,是指河流的服务功能,是河流对流域内社会经济的支撑和贡献。河流的开发利用是保障社会经济发展的重要基础,对河道的合理利用是可持续发展的重要体现,必须要在开发中保护,在保护中开发,实现发展和保护双赢的目的。

#### (3) 物理化学指标

河道的物理化学指标是表征河道健康的最基础的标准,能够反映河流结构形态和水循环的完整以及功能的完备性。河流的健康状态对现代发展有着不可替代的作用,河道的物理化学指标是河流修复能力、纳污能力和净化能力的体现。

#### (4) 人类健康指标

河道的环境是人类赖以生存的自然条件组成部分。河流不仅给人类生存和发展提供必要的水和其他生产原料,而且给人类生存提供不可缺少的环境功能和服务功能。因此,人类健康指标包括供水能力指标、河道服务功能指标等。

在设计河流健康评价指标体系时,将河流的健康评价指标体系分为 3 个层次:目标层、准则层和指标层。目标层为单一总目标,总目标即为维护河流健康,促进人水和谐。准则层为上述 4 点,分别为生态功能、社会经济价值、物理化学指标和人类健康指标。但是由于河道健康指标过多,因此,需挑选指向明确的,且相互间较为独立的

河流健康指标为本文河流健康评价指标体系的指标层。河流健康评价指标筛选结果见表 1。

表 1 河流健康评价指标筛选结果

准则层	指标层
生态功能	鱼类种类变化率
	硅藻物种多样性
	天然植被率
	河道内生态需水量保证率
社会经济价值	防洪工程措施完善率
	防洪非工程措施完善率
	调节能力指数
	三生(生产、生活、生态)用水比例
物理化学指标	水资源利用率
	溶解氧
	总磷
	氨氮
人类健康指标	化学需氧量
	灌溉保证率
	通航水深保证率
	景观满意度
	污水处理率

### 2.2 河流健康评价方法

针对河流健康的评价大多都停留于生态功能、水质情况等单项指标的评价上,缺乏系统的综合评价。另外,河流健康评价中部分指标非常抽象,因此,拟采用模糊数学原理<sup>[5]</sup>,结合多项河流健康指标,研发河流健康评价方法。

#### 2.2.1 指标权重确定

准则层分为 4 个一级指标,包括:生态功能、社会经济价值、物理化学指标、人类健康指标,并细化为 17 个二级指标。本文根据实际经验和推理<sup>[6-8]</sup>,加上凸显河道评价的优劣原则,制定如表 2 的权重分配。

#### 2.2.2 评分值确定

表 2 各项指标权重分配

准则层指标	权重	二级指标	权重
生态功能	0.24	鱼类种类变化率	0.20
		硅藻物种多样性	0.20
		天然植被率	0.36
		河道内生态需水量保证率	0.24
社会经济价值	0.26	防洪工程措施完善率	0.23
		防洪非工程措施完善率	0.27
		调节能力指数	0.14
		三生（生产、生活、生态）用水比例	0.16
物理化学指标	0.22	水资源利用率	0.20
		溶解氧	0.25
		总磷	0.25
		氨氮	0.25
人类健康指标	0.28	化学需氧量	0.25
		灌溉保证率	0.35
		通航水深保证率	0.28
		景观满意度	0.22
		污水处理率	0.15

建立符合实际情况的隶属划分是应用模糊数学的关键步骤。本文对各层次的评价因子按照“病态、不健康、亚健康、健康、很健康”5 级健康状况评价等级划分。为了合理确定各评价因子隶属于

各评价等级的隶属度<sup>[9-11]</sup>，定义各评价等级对应的评分值为 0、0.2、0.5、0.7、1，详见表 3。

对于处于第 1、5 级，隶属度评分值为 1、0，对于 2、3、4 级利用线性差值法来获取评分值。

表 3 各项指标评价标准

准则层	指标层	很健康	健康	亚健康	不健康	病态
生态功能	鱼类种类变化率 (%)	0	5	10	15	$\geq 20$
	硅藻物种多样性	$\geq 3.5$	2.5	1.5	1	0
	天然植被率 (%)	$\geq 50$	35	25	10	$\leq 1$
	河道内生态需水量保证率 (%)	100	85	70	50	$\leq 30$
社会经济价值	防洪工程措施完善率 (%)	100	90	85	70	$\leq 60$
	防洪非工程措施完善率 (%)	100	90	85	70	$\leq 60$
	调节能力指数	$\geq 0.2$	0.13	0.08	0.02	$\leq 0.01$
	三生 (生产、生活、生态) 用水比例	比例协调	合理	比较合理	不合理	严重失调
物理化学指标	水资源利用率 (%)	$\leq 5$	30	40	54	$\geq 60$
	溶解氧	$\geq 3$	2	1	0.5	0
	总磷	$\leq 0.3$	0.4	0.5	0.6	$\geq 0.7$
	氨氮	$\leq 1.5$	2.0	2.5	3.0	$\geq 3.5$
人类健康指标	化学需氧量	$\leq 30$	40	45	50	$\geq 60$
	灌溉保证率 (%)	100	85	75	60	$\leq 50$
	通航水深保证率 (%)	100	85	75	60	$\leq 50$
	景观满意度	非常满意	满意	一般	较差	非常差
	污水处理率 (%)	100	70	50	20	$\leq 10$

$$U(x) = U(x_u) + \frac{x - x_u}{x_l - x_u} U(x_l) \quad (1)$$

其中:  $U(x)$  为指标当前评分值,  $x_u$ 、 $x_l$  为指标值下、上界,  $U(x_u)$  为下界评分值。

### 2.2.3 分层模糊评价方法

参数体系的评判是一个多目标、多层次、多约束的决策问题, 用凸模糊规划原理来计算每个试验的评判值。表达式为:

$$A_T = \sum_{j=1}^4 b_j a_j, A_u = \sum_{j=1}^5 b_j a_j, A_R = \sum_{j=1}^4 b_j a_j, M_f E = \sum_{j=1}^4 b_j a_j \quad (2)$$

其中:  $A_T$ 、 $A_R$ 、 $A_u$ 、 $M_f E$  分别表示生态功能、社会经济功能、物理化学指标和人类健康指标的综合评判,  $b_j$ 、 $a_j$  分别是小项目隶属度和权数。根据模糊判决有:

$$B_{Ni} = \alpha A_T + \beta A_R + \delta A_u + \gamma M_f E \quad (3)$$

其中:  $B_{Ni}$  表示第  $i$  个河道健康的总评判,  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\delta$ 、 $\gamma$  分别表示生态功能、社会经济功能、物理

化学指标和人类健康指标的权数。

## 3 河流评价实例

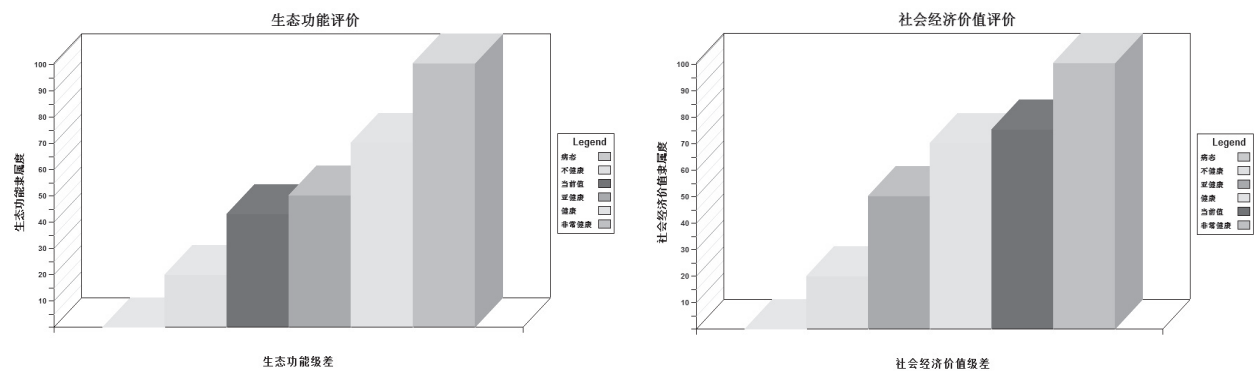
以江苏省盐城市大丰区某河道为例, 采用本文所研发的河道健康评价软件, 对所选的河道进行健康评价, 详见表 4。

将上述评分值输入到软件内, 可得到各准则层的健康程度, 图 1 为准则层中各指标评价得分, 根据各准则层的评分值综合可得河道健康总评价, 图 2 为河道健康综合得分。为了让河道健康评分更加简明, 图表展示采用百分制。

从图 2 可以看出该河道健康综合评分处于亚健康、健康之间, 整体健康程度一般; 图 1 看出河道 4 个二级指标评分, 可知物理化学指标和人类健康指标跟综合评价相似; 社会经济价值指标评分较好, 但生态功能评分较差。因此, 该河道的生态状况应该是今后治理工作的重点, 特别是要调

表 4 大丰区某河道健康指标值

准则层	指标层	指标值	评分值
生态功能	鱼类种类变化率	4	0.76
	硅藻物种多样性	2.3	0.58
	天然植被率	20	0.4
	河道内生态需水量保证率	40	0.1
社会经济价值	防洪工程措施完善率	100	1
	防洪非工程措施完善率	80	0.4
	调节能力指数	0.2	1
	三生（生产、生活、生态）用水比例	合理	0.7
	水资源利用率	20	0.82
物理化学指标	溶解氧	1.3	0.59
	总磷	0.5	0.5
	氨氮	1.2	1
	化学需氧量	55	0.1
	灌溉保证率	80	0.65
人类健康指标	通航水深保证率	75	0.5
	景观满意度	较差	0.2
	污水处理率	80	0.79



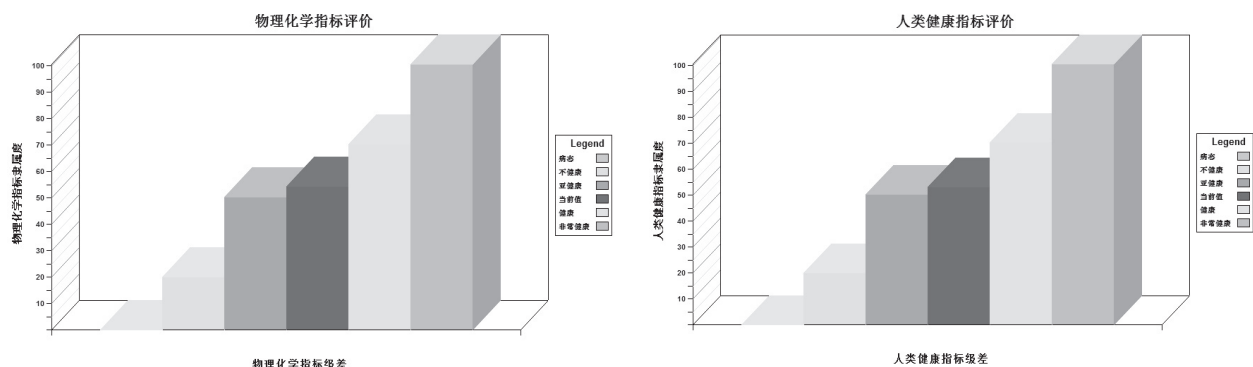


图1 准则层各指标评价

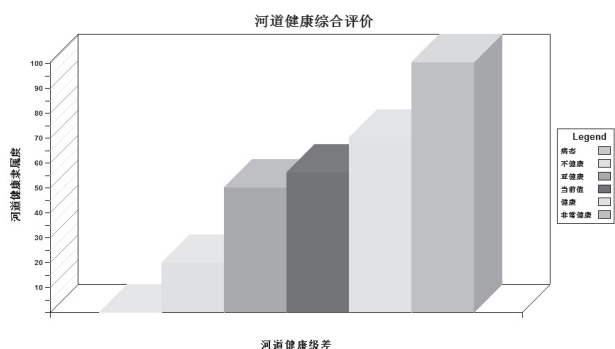


图2 河道健康综合评价

整河道生态环境,满足流域区域生态良性循环。同时,还需要做好防洪非工程措施,完善河道景观功能,进一步提高河道健康程度。

#### 4 结论

河道健康评估由于评价指标的众多性和复杂性,一直是众多学者研究的热点。本文通过对河道健康指标分析和评价方法研究,可得如下结论:

(1) 本文将河道评价分为3个层次:目标层、准则层和指标层,并从众多指标中挑选出具有代表性和独立性的17个指标,用于评价河流健康。

(2) 采用模糊数学方法,建立河道健康评价方法,从生态功能、社会经济价值、物理化学指标和人类健康指标评价河道健康程度,并根据上述4个指标评估河道综合健康程度。

(3) 基于VS平台,采用上述评价方法,研发河道健康评估软件,可以高效评估河道健康,简洁明了地分析出河道健康薄弱点,为河道治理措施

提供有力的技术支撑。

#### 参考文献:

- [1] 王伟,杨晓华,陈强.基于ELMAN网络的河流健康复杂系统综合评价[J].水电能源科学,2007,25(2):1-4.
- [2] 吴阿娜,杨凯,李越,等.河流健康状况的表征及其评价[J].水科学进展,2005,16(7):602-608.
- [3] 张展羽,卢敏,朱成立.城镇河道的水生态环境建设和保护[J].灌溉排水学报,2004,23(6):18-20.
- [4] 孙雪岚,胡春宏.河流健康评价指标体系初探[J].泥沙研究,2008(4):21-27.
- [5] 谢季坚,刘承平.模糊数学方法及其应用[M].武汉:华中科技大学出版社,2006:31-32.
- [6] 吴阿娜,车越,徐启新,等.上海地区河流健康评价方法探讨[J].生态与农村环境学报,2007,23(4):90-94.
- [7] 况琪军,马沛明,胡征宇,等.湖泊富营养化的藻类生物学评价与治理研究进展[J].安全与环境学报,2005,5(2):87-91.
- [8] 徐竟成,傅婷,李光明,王奇.人工景观水体健康状况的综合评价方法[J].中国给水排水,2008,24(20):104-108.
- [9] 刘恒,耿雷华,陈晓燕.区域水资源可持续利用评价指标体系的建立[J].水科学进展,2003,14(3):265-270.
- [10] 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.
- [11] 蔡守华,胡欣.河流健康的概念及指标体系和评价方法[J].水利水电科技进展,2008,28(1):23-26.