

## 河流健康评价指标体系合理性研究分析

吕照根<sup>1</sup>, 周必翠<sup>1</sup>, 舒持恺<sup>2,\*</sup>, 朱大伟<sup>3</sup>, 杨侃<sup>2</sup>

(1. 句容市水利农机局, 江苏 句容 212400; 2. 河海大学水文水资源学院, 江苏 南京 210098;  
3. 江苏省水利勘测设计研究院有限公司, 江苏 扬州 225127)

**摘要:** 河流健康评价是水环境治理的重要内容, 如何构建有效且合理的评价指标体系是河流健康评价工作中的关键问题。在考虑可持续性、前瞻性、科学性、系统性、独立性、尺度性、可行性等定性原则基础上优选出指标体系, 同时引入体系时效熵与质量熵的概念, 用于量化比较评价体系时效性与准确性的优劣, 并通过举例说明了在河流健康评价指标体系中时效熵与质量熵的计算与应用。

**关键词:** 河流健康评价; 指标体系; 时效熵; 质量熵

**中图分类号:** X171      **文献标识码:** B      **文章编号:** 1007-7839 (2017) 09-0010-05

### Study on the rationality of river health assessment index system

LV Zhaogen<sup>1</sup>, ZHOU Bicui<sup>1</sup>, SHU Chikai<sup>2</sup>, ZHU Dawei<sup>3</sup>, YANG Kan<sup>2</sup>

(1. Water Conservancy and Agricultural Machinery Bureau of Jurong, Zhenjiang 212400, Jiangsu;  
2. College of hydrology and water resources, Hohai University, Nanjing 210098, Jiangsu;  
3. Jiangsu Water Conservancy Survey and Design Institute Co., Ltd, Yangzhou 225127, Jiangsu)

**Abstract:** River health assessment is an important part of water environment control, and constructing an effective and reasonable evaluation index system is the key work in river health assessment. On the basis of qualitative principles such as sustainability, forward-looking, scientific, systematic, independent, scale, feasibility, the index system is selected. The concept of efficient entropy and quality entropy are used for quantifying and comparing with the timeliness and accuracy of evaluation system. The calculation and application of entropy and quality entropy in index system is illustrated.

**Key words:** river health assessment; index system; efficient entropy; quality entropy

人类文明起源于河流, 河流提供水资源是人类社会发展的基础, 健康的河流生态系统能够有效地调节气候状况、改善生态系统环境。时至今日, 社会发展带来的污染已经严重破坏了河流水环境, 保护河流生态系统工作已迫在眉睫。在对河流进行整治之前, 首先要弄清楚河流当前的状态如何,

以便对症下药, 针对性地采取治理措施。河流健康评价通过建立一套完整的评估体系, 能够帮助我们认识到当前河流的健康状况, 为管理者提供信息, 有效治理河流污染情况, 促进河流生态系统朝着良性方向发展。在河流健康评价工作中, 如何建立合理可行的评价体系是非常重要的。

收稿日期: 2017-04-18

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973 计划) (2012CB417006)

作者简介: 吕照根(1965-), 男, 工程师, 主要从事农田水利工作。

通讯作者: 舒持恺(1992-), 男, 硕士研究生, 研究方向为水资源与水环境。

## 1 河流健康的含义

河流健康是一种拟人状态, 人的健康是指人身心的完整性, 河流的健康则是指河流生态系统完整。最初河流健康的定义只是强调了河流自然环境健康, 如河流的水质、生物、流量等表现情况, 这是最基本的河流健康表现, 一条健康的河流首先必须是自然状态下的健康。但随着人们对河流健康深入研究, 发现人类社会的河流都是与人类生活息息相关的, 健康的河流如果不能为人类社会所利用、为社会提供服务, 这也是不合理的, 如河流的通航能力、防洪能力、供水能力等。综上所述, 河流健康含义主要包括河流自身的生态环境和对社会的服务功能两方面, 健康的河流应该是两者的辩证统一, 既能维持自身的生态系统完整、稳定、健康并能自我调控, 又能为人类提供合理的服务功能<sup>[1]</sup>。

## 2 河流健康评价指标体系构建原则

合理的河流健康评价指标需要全面、准确地体现出河流的健康情况, 既能表现出河流自然环境的情况, 又能表现出河流社会环境的情况。在构建河流健康评价指标体系时, 就应从自然和社会两个角度出发, 筛选出适当的指标体系。同时选取的指标体系应满足可持续性、前瞻性、科学性、系统性、独立性、尺度性、可行性和可操作性、可比性和针对性等原则<sup>[2-4]</sup>。

### 2.1 可持续性原则

河流健康不应为短暂的状态, 应能稳定并长期保持。指标建立以可持续性发展为原则, 客观反映生态环境真实状况, 能够预测河流一段时间内可持续性状态。

### 2.2 前瞻性原则

河流健康指标选取既要反映过去, 能够描述现在, 也能很好地体现河流健康的发展趋势。

### 2.3 科学性原则

所选取的指标应有很好的科学基础, 能够用科学的含义去解释, 科学的方法去测量。

### 2.4 系统性原则

河流健康并不仅仅是河流自身孤立状态, 它是与河流所处社会资源环境相互作用影响的。指标体系应能全方面描述河流的多属性特征和演变过程, 体现出河流与社会资源环境相互响应过程。

### 2.5 独立性原则

指标间应相互独立, 减少指标间信息的重复和冗余, 降低体系的复杂性和指标处理的难度。

### 2.6 尺度性原则

选取的指标需要具有合适尺度来满足时间与空间要求。如果尺度过大, 则评价结果会过于宏观, 不能切实反映河流真实状况; 尺度过小, 则评价结果又会过于片面, 难以反映出河流整体状况。

### 2.7 可行性和可操作性原则

指标数据获取不要过于复杂, 超出能力之外, 如有些指标数据用现有的设备难以获得, 则应考虑舍去该指标。指标数据应易于处理, 并满足一定的精度与可靠性要求。

### 2.8 可比性和针对性原则

指标数据单位与计算采用通用的标准, 保证在横向上具有可比性, 便于与相似地区进行比较。指标体系针对具体的河流, 应具体要求, 对于所处不同地域、气候的河流, 其评价指标也不应完全相同, 良好的指标体系需要反映出河流各个方面的特性。

只有通过合理的指标体系进行评价, 才能得出真实的河流健康状况。

## 3 河流健康评价指标体系的合理性检验

河流健康评价指标体系是否合理, 首先是看指标是否满足可持续性、前瞻性、科学性、系统性、独立性、尺度性、可行性和可操作性、可比性和针对性等原则, 对研究的具体河流应具体分析对待。在对指标进行初步拟定之后, 还要进行优化检验, 优选出切实可行的指标体系。这些都是指标构建的定性原则, 如何去量化地衡量一个指标评价体系, 我们可以引入体系时效熵与质量熵的概念。河流健康评价指标体系是一种层次结构, 其评价结果是从最底层指标层反应至最高层河流健康状态, 我们可以将这种评价路径看成是信息的逐层流动。信息流动过程中, 有两个重要的指标: 信息的时效性和准确性, 如果体系层次越多, 那么信息上下流动的路径越长, 时效性会降低, 如果减少指标层次结构, 则信息流动的分叉点又会增多, 准确性会降低, 这两个性质可以分别用时效熵和质量熵去反映<sup>[5-6]</sup>。

## 4 河流健康评价指标体系的时效性与准确性应用

### 4.1 时效熵与质量熵的计算

在对某地河流进行评价过程中,针对河流所处区域具体情况,从自然环境与社会服务两个方面出发,优选出自上而下含目标层、控制层、准则层、指标层四层次结构的评价指标体系<sup>[2]</sup>(见表1),自然环境包括河流的形态、水文、环境、生态4个特征6个指标,社会服务包括河流的灾害调

节能能力、河流管理能力、公众评价、供水能力4个准则5个指标。下面介绍其时效熵与质量熵的计算。该指标体系的组织结构图,如图1。其中标号1对应为目标层,2~3为控制层,4~11为准则层,12~22为指标层。

#### (1) 时效熵的计算

时效熵是体系时效性的不确定性大小,其值越大,表示信息流动经过路径越长,则系统的时效性越差。定义 $L_{ij}$ 为上层标号 $i$ 与下层标号 $j$ 的联系长度(路径长度),如 $L_{18}$ 为2;则 $i$ 与 $j$ 时效

表 1 河流健康评价指标体系

目标层	控制层	准则层	指标层
河流健康综合指数	自然环境子系统	形态特征	河岸稳定性指数
		水文特征	河流流动性指数
			生态流量满足程度指数
		环境特征	水质综合指数
		生态特征	岸坡植被结构完整性指数
			河流生物多样性指数
	社会服务子系统	灾害调节能力	防洪工程达标率
		河流管理能力	岸线利用管理指数
		公众评价	公众满意度
		供水能力	供水水量保证率
			水功能区水质达标率

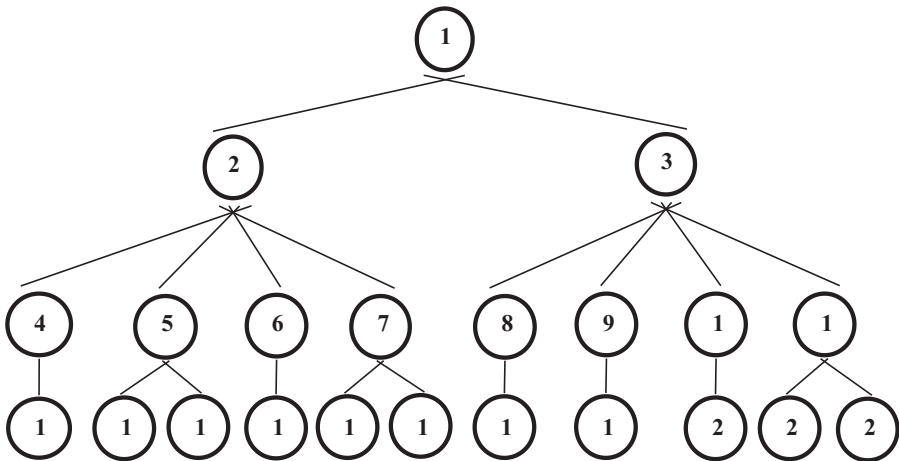


图 1 指标体系组织结构图

熵  $H_1(ij)$  按下式计算:

$$H_1(ij) = -P_1(ij) \log_2 P_1(ij) \quad (1)$$

$$\text{其中 } P_1(ij) = \frac{L_{ij}}{\sum_i \sum_j L_{ij}}, \text{ 则系统的总时效熵 } H_1$$

$$\text{为 } H_1 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n H_1(ij)。$$

#### (2) 质量熵的计算

质量熵是体系准确性的不确定性大小, 其值越大, 表示信息流动经过分叉点越多, 则系统的准确性越差, 定义  $k_i$  为标号  $i$  的联系跨度 (路径数目), 如  $k_{11}$  为 3; 则  $i$  的质量熵  $H_2(i)$  按下式计算:

$$H_2(i) = -P_2(i) \log_2 P_2(i) \quad (2)$$

$$\text{其中 } P_2(i) = \frac{k_i}{\sum_i k_i}, \text{ 则系统的总时效熵 } H_2 \text{ 为}$$

$$H_2 = \sum_{i=1}^n H_2(i)。$$

## 4.2 结果分析

按定义及 (1)、(2) 式计算, 得出该河流健康评价指标体系的时效熵  $H_1$  (见表 2) 和质量熵  $H_2$  (见表 3)。

计算出该指标体系的时效熵与质量熵后, 如何去判断该体系时效性与准确性的优劣, 可以通过与典型的体系进行比较来说明。在河流健康评价指标体系中, 选取长江水利委员会拟定的健康

长江评价指标体系 (见表 4) 为参考体系, 按上述定义及 (1)、(2) 式计算得到其体系时效熵与质量熵分别为 5.933、4.357。

通过比较, 不难发现本文选取的河流健康评价指标体系的时效熵与质量熵均小于健康长江评价指标体系的时效熵与质量熵, 即该指标体系在时效性与准确性上均是优于健康长江评价指标体系的。这不能说明该指标体系是一定优于健康长江评价指标体系, 健康长江评价指标体系是长江委专家根据长江实际情况构建的针对长江的评价体系, 有它的优越性和针对性, 本文选取的河流健康评价指标体系是针对某地具体河流构建的, 适用于该河流。但至少从系统的时效性与准确性上来说, 该河流健康评价指标体系是优于健康长江评价指标体系的, 也在一定程度上说明了该指标体系的合理性。两种河流健康评价指标体系的时效熵与质量熵差值并不大, 表明两种评价体系的时效性与准确性比较接近, 不难看出它们都是四层次结构体系, 评价信息流动路径模式基本相同。但由于长江作为我国第一大河流, 其特殊性与复杂性需要健康长江评价指标体系考虑到的因素更多, 指标划分也更为复杂, 这就使评价信息流动过程也更为复杂, 从而使评价体系时效熵与质量熵偏大, 信息流动的时效性与准确性有所降低。

表 2 指标体系时效熵  $H_1$  计算

联系长度	$P_1(ij)$	联系符号	合计
1	1/92	1-2.3, 2-4...7, 3-8...11, 4-12, ..., 11-21.22	21
2	2/92	1-4...11, 2-12...17, 3-18...22	19
3	3/92	1-2...22	11
合计	1	$H_1=5.542$	92

表 3 指标体系质量熵  $H_2$  计算

联系跨度	$P_2(i)$	标号	合计
1	1/42	12, ..., 22	11
2	2/42	1, 4, 6, 8, 9, 10	6
3	3/42	5, 7, 11	3
5	5/42	2, 3	2
合计	1	$H_2=4.214$	42

表 4 健康长江评价指标体系

总体层	系统层	状态层	要素层
长江健康程度	生态环境保护	水土资源与 水环境状况	河道生态需水量满足程度
			水功能区水质达标率
			水土流失比例
			吸血虫病传播阻断率
		水环境状况	水系连通性
			湿地保留率
			优良河势保持率
		水生生物多样性	鱼类生物完整性指数
			珍稀水生动物存活情况
	防洪安全保障	蓄洪能力	防洪工程措施完善率
			防洪非工程措施完善率
	水资源开发利用	服务能力	水资源开发利用率
			万元 GDP 用水量
			农村饮水安全保证率
			城镇供水保证率
			灌溉保证率
			水能资源利用率
			通航水深保证率

## 5 结论

河流健康评价指标体系须符合河流实际情况,针对具体河流地理区域状况,在遵从可持续性、前瞻性、科学性、系统性、独立性、尺度性、可行性和可操作性、可比性和针对性等原则基础上,定性优选出评价指标,同时对于评价体系的时效性与准确性,引入信息流动时效熵与质量熵的概念,从而为评价体系优化方面提供量化参考。

### 参考文献:

[1] 董哲仁. 河流健康评估的原则和方法 [J]. 中国水利,

2005 (10):17-19.

[2] 李浩, 杨侃, 陈静, 等. 灰色三角白化权集对分析模型在河流健康评价中的应用 [J]. 水电能源科学, 2015 (8):33-36.

[3] 耿雷华, 刘恒, 钟华平, 等. 健康河流的评价指标和评价标准 [J]. 水利学报, 2006, 37 (3):253-258.

[4] 卞锦宇, 耿雷华, 方瑞. 河流健康评价体系研究 [J]. 中国农村水利水电, 2010 (9):39-42.

[5] 阎植林, 邱菀华. 管理系统有序度评价的熵模型 [J]. 系统工程理论与实践, 1997, 17 (6):45-48.

[6] 周栩, 汤立, 颜红艳. 基于熵理论的项目组织结构评价与选择 [J]. 价值工程, 2006, 25 (10):109-111.

(责任编辑: 华智睿)