

# 河流健康评价中尺度间不同指标的转换

金小娟,陈进

(水利部长江水利委员会长江科学院,430010,武汉)

**摘要:**河流健康评价是一种兼顾合理开发利用和生态保护的综合评估体系。它首先要明确的问题就是尺度。简要介绍了河流生物斑点、工程河段、景观河段和全河长4个尺度划分,并对相邻尺度间不同指标进行了分析,建立了部分不同尺度上的不同指标的健康评价关系。以汉江为例,证实了方法的可行性。

**关键词:**河流健康;评价尺度;指标转换

**Research on transformation of different-scaled indexes in river health assessment//Jin Xiaojuan, Chen Jin**

**Abstract:**Assessment of river health is a comprehensive assessment system which values both the rational development and the ecosystem protection. The key point of the assessment is clarifying of spatial criterion. A brief introduction of spatial criterion is given, including biological spot, project section, landscape section and entire river. It analyzes the different indexes between different scales in this paper, and establishes the relations between them. The example of Hanjiang River is given to prove the feasibility.

**Key words:** river health; assessment; spatial criterion transformation

中图分类号:X824

文献标识码:A

文章编号:1000-1123(2010)05-0004-04

河流健康概念是河流管理的一种评估工具,其目的是建立一套河流生态系统健康评估体系,评估河流在自然力与人类活动双重作用下,在长期演变过程中河流生态状态的变化趋势。

就河流评价本身而言,一个完整的河流评价应该涵盖各个尺度,而且影响河流健康的主要因素、决策者的总体目标、管理行为都与空间尺度有关,对河流的评价、开发利用和管理行为都是在一定的尺度范围内进行的,所以河流健康评价首先要明确的关键问题就是尺度问题。每个尺度的特点不同,评价时选取的指标也不尽相同,如果能够建立尺度间的评价关系,则不仅能够减小评价工作的工作量,还能够对河流有更清晰的认识。由于这方面的工作开展尚少,本文主

要研究相对简单的尺度间相同指标的转换关系。

## 一、河流健康评价尺度划分

Ward(1989)将河流生态环境用四维空间来描述:河流纵向、横向、深度和时间。由于河流纵向尺度与横向和深度方向相差很大,所以,分析河流生境时,可以将河流纵向再分成3个尺度,即整条河长、与陆地生态区尺度相当的景观河段(几十公里到上百公里)和工程河段(一般涉河工程影响范围,几公里到几十公里),由于水生生物的正常生存及循环可以证明水环境处在良好的状态,所以再加入生物斑点这种微生境上的尺度,就将一条河流划分成了4个尺度,即全河长、景观河段、工程河段、生物斑点。

## 二、不同尺度间的评价关系

指标的转换是建立各级尺度评价之间的关系的一种方法。河流的尺度不同,评价的重点也各不相同,所选择的评价指标也各有不同,相同的指标使用在不同的尺度上,它的含义也会产生变化。所以,在河流健康评价中,对应各个尺度选取合适的指标并进行精确的定义是很重要的一项工作,它是指标转换的前提,并且直接影响河流评价的结果。指标的转换分析是在指标已经选择完毕且给予了精确定义的基础上进行的。

### 1.相同指标

有些指标是在两个或两个以上的尺度上都需取用的指标,而且在不同尺度上含义基本相同,这些指标由

收稿日期:2009-07-27

作者简介:金小娟(1985—),女,硕士,主要从事流域水资源与环境研究。

基金项目:水利部公益性行业科研专项“健康长江指标体系研究”(200701010)。

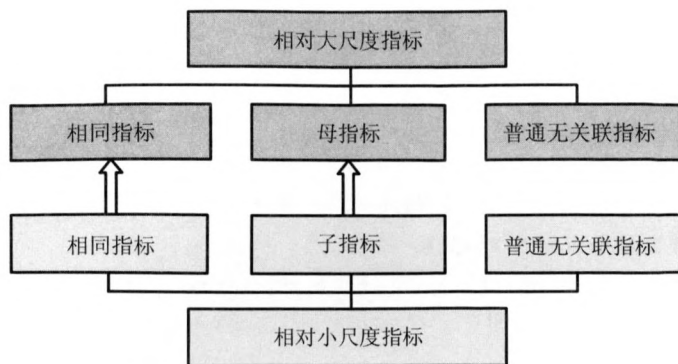


图1 相对小尺度和相对大尺度的指标推导关系

于其仅仅存在应用尺度上的差异,所以可以进行逐级推导,我们将其称为相同指标。

### 2.不同指标

除去上面定义的不同指标外,剩下的指标统称为不同指标。不同指标又分为母子指标和普通无关联指标两类。

#### (1)母子指标

由于在各尺度是由小到大,包含与被包含的关系,所以在指标层面上来看,也难免会出现相对大尺度上的某个指标在含义上涉及相对小尺度上若干指标的情况,我们把大尺度上包含小尺度指标的指标称为母指标,把被包含的小尺度指标称为子指标,将这种指标上的包含关系称为母子关系。

母子指标也是本文研究的重点。

#### (2)普通无关联指标

除了相同指标和母子指标外的指标称为普通无关联指标,这种指标不能进行尺度间的转换,按常规方法进行处理。

### 三、母子指标的确定方法

母子指标关系又可以分为两种,即母指标包含的子指标在相对小尺度的指标集上全部出现的,或者只有若干(大于等于1)出现,还需要其他补充指标才能进行推导的情况。

确定具有涵盖关系的指标分为以下几步:

a.确定相对大尺度上的单个指标是由哪些指标构成的,以下简称为

“构成指标”,这一步的判别依据是已有的、广泛采用的公式和方法。

b.判断“构成指标”有没有落在相对小尺度的指标集上的,如果有,则进行下一步,如果没有,则说明不存在涵盖关系。

c.然后确定它与“构成指标”之间的函数关系。确定函数关系是最重要也是最关键的一个过程,因为这里的函数关系不是一定的,需要结合被评价河流的地理环境、流量、流速、城市化程度等因素再参照现有的各类研究成果来确定需要的函数关系。

d.关系确定后,再来观察还需要哪些补充指标。

e.进入指标的分析推导过程。

母指标与子指标的函数关系表达式为  $s=f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ , 即  $s=f(y_1, y_2,$

$\dots, y_m, b_1, b_2, \dots, b_{n-m})$

式中  $s$  为母指标值;  $n$  为涉及子指标个数;  $y$  为指标集中出现的指标,称为原有指标;  $b$  为指标集中没有出现的子指标,称为补充指标。

下面分为两种情况介绍指标的推导情况:

a.母指标包含的子指标在指标集上全部出现(即  $m=n$ )

母指标与子指标的关系表达式为  $s=f(y_1, y_2, \dots, y_n)$ , 将需要的指标值带入公式计算即可。

b.母指标包含的子指标在指标集上部分出现(即  $m<n$ )

母指标与子指标的关系表达式为  $s=f(y_1, y_2, \dots, y_m, b_1, b_2, \dots, b_{n-m})$ 。

### 四、基于不同指标转换的河流健康评价

#### 1.确定指标集

我们从河流的水文、水质、物理结构、河岸质量、水生生物、防洪和水资源利用等7个方面的内容筛选出每个尺度上相对最重要的10个指标来说明这个关系问题,所选指标见表1。

#### 2.评价方法的简单介绍

我们采用健康评价中最常用的综合评价法来对评价中各尺度之间的关系进行阐释,即先选取指标,对其赋值,再对每个指标值加权求和得到

表1 各尺度河流特征指标选取

| 序号 | 生物斑点指标 (D) | 工程河段指标 (C) | 景观河段指标 (B) | 全河长指标 (A) |
|----|------------|------------|------------|-----------|
| 1  | 底质特性       | 涉水工程影响     | 人类活动强度     | 人类活动强度    |
| 2  | 水深         | 河道改变程度     | 河道改变程度     | 河道改变程度    |
| 3  | 流速         | 优良河势保持率    | 水系连通性      | 水系连通性     |
| 4  | 水质         | 河道护岸类型     | 景观多样性      | 水土流失率     |
| 5  | 斑点规模       | 河流水质       | 河流水质       | 河流水质      |
| 6  | 优势物种种类     | 水资源开发利用率   | 水资源开发利用率   | 支流汇入状况    |
| 7  | 优势物种数量     | 河流生境多样性    | 生态需水保证率    | 河岸状况      |
| 8  | 物种健康状况     | 物种多样性      | 物种多样性      | 生态系统完整性   |
| 9  | 河流生境多样性    | 防洪能力       | 防洪安全指数     | 防洪安全指数    |
| 10 | 河岸带植被种类    | 河岸植被结构完整性  | 天然植被覆盖率    | 大型水利工程影响  |

河段的综合健康指数,标准化后得到健康标准值,通过比较综合健康标准值来判断各尺度河流健康程度的方法。

$Q_x$  为  $X$  河段的健康指数值,  $Q_{x,N}$  为  $X$  河段的第  $N$  个指标的取值(顺序依上表)。  $W_x$  为  $X$  河段占上一级河段的权重值。

设法在各尺度有关联的  $Q$  之间确定联系,可以大大地减小评价的工作量,还可以对尺度之间的关系有更清楚描述。当所有的  $Q$  值都确定后,再将其无量纲化,标准化,得到健康标准值  $Q'$ ,利用众多的  $Q'$  值就可以算出各尺度各河段的健康标准值,再对健康标准值做出相应的划分和界定,就可以得出河流健康状况的评价结果。

3.建立母子指标的推导关系

(1)筛选不同尺度上的母子对应指标

①生物斑点—工程河段

物种种类、物种数量(子)——物种多样性(母);

河岸带植被种类(子)——河岸带植被结构完整性(母)。

②工程河段—景观河段

防洪能力(子)——防洪安全指数。

(2)建立母子指标的推导关系

①生物斑点—工程河段

a.物种种类、物种数量(子)——物种多样性(母)

指标介绍:

物种多样性指数,表征河流生物种类丰富程度,采用 shannon-wiener 指数进行计算。

$$\text{物种多样性指数} = -\sum_{i=1}^n p_i \log^2(p_i)$$

$p_i$  为物种  $i$  的个体数占总个体数的比例,  $n$  为物种数。

建立关系:

$$Q_{c_i,8} = \text{物种多样性指数}$$

$$p_i = Q_{D_{i8},8} / \sum_{i=1}^n Q_{D_{i8},8}$$

$$\Rightarrow Q_{c_i,8} = -\sum_{i=1}^n (Q_{D_{i8},8} / \sum_{k=1}^n Q_{D_{k8},8}) \times \log^2(Q_{D_{i8},8} / \sum_{k=1}^n Q_{D_{k8},8})$$

b.河岸带植被种类(子)——河岸带植被结构完整性(母)

指标介绍:

植被结构完整性,表征河流岸带植被结构状况。

植被结构完整性=植被种类/4,植被种类大于4的等同于4。

建立关系:

$$Q_{c_i,10} = \text{植被结构完整性}$$

$$\sum_{k=1}^n Q_{D_{k10},10} = \text{植被种类总数}$$

$$\Rightarrow Q_{c_i,10} = \begin{cases} \sum_{k=1}^n Q_{D_{k10},10} / 4, & \text{if } \sum_{k=1}^n Q_{D_{k10},10} < 4 \\ 1, & \text{others} \end{cases}$$

表2 工程河段综合评价表

| 序号 | 涉水工程影响 | 河道改变程度 | 优良河势保持率 | 河道护岸类型 | 河流水质 | 水资源开发利用 | 河流生物多样性 | 物种多样性 | 防洪能力 | 河岸植被结构完整性 | 工程河段健康标准值 | 工程河段评价结果 |
|----|--------|--------|---------|--------|------|---------|---------|-------|------|-----------|-----------|----------|
| 1  | 4      | 5      | 5       | 5      | 4    | 5       | 5       | 5     | 5    | 5         | 4.8       | 健康       |
| 2  | 4      | 5      | 5       | 5      | 4    | 5       | 5       | 4     | 5    | 5         | 4.7       | 健康       |
| 3  | 3      | 4      | 3       | 4      | 3    | 3       | 4       | 3     | 4    | 5         | 3.6       | 亚健康      |
| 4  | 3      | 4      | 3       | 4      | 3    | 4       | 3       | 4     | 5    | 4         | 3.7       | 亚健康      |
| 5  | 2      | 2      | 1       | 4      | 4    | 4       | 5       | 5     | 5    | 5         | 3.7       | 亚健康      |
| 6  | 2      | 2      | 1       | 4      | 2    | 4       | 4       | 4     | 5    | 4         | 3.2       | 亚健康      |
| 7  | 3      | 4      | 3       | 4      | 3    | 4       | 4       | 4     | 4    | 5         | 3.8       | 亚健康      |
| 8  | 2      | 2      | 1       | 4      | 2    | 3       | 4       | 3     | 5    | 5         | 3.1       | 亚健康      |
| 9  | 4      | 5      | 5       | 5      | 4    | 5       | 5       | 4     | 5    | 4         | 4.6       | 健康       |
| 10 | 2      | 4      | 3       | 4      | 3    | 3       | 4       | 3     | 4    | 4         | 3.4       | 亚健康      |
| 11 | 4      | 5      | 5       | 5      | 4    | 5       | 5       | 4     | 5    | 5         | 4.7       | 健康       |
| 12 | 3      | 4      | 3       | 4      | 3    | 4       | 5       | 4     | 5    | 4         | 3.9       | 亚健康      |
| 13 | 2      | 2      | 1       | 4      | 4    | 3       | 4       | 4     | 5    | 5         | 3.4       | 亚健康      |
| 14 | 3      | 4      | 3       | 4      | 3    | 4       | 5       | 4     | 4    | 4         | 3.8       | 亚健康      |
| 15 | 4      | 5      | 5       | 5      | 3    | 4       | 5       | 5     | 4    | 4         | 4.4       | 健康       |
| 16 | 2      | 4      | 3       | 4      | 3    | 3       | 5       | 5     | 4    | 3         | 3.6       | 亚健康      |
| 17 | 3      | 4      | 3       | 5      | 1    | 4       | 4       | 5     | 4    | 3         | 3.6       | 亚健康      |
| 18 | 4      | 5      | 5       | 5      | 1    | 4       | 5       | 5     | 4    | 4         | 4.2       | 健康       |
| 19 | 4      | 5      | 5       | 4      | 3    | 4       | 5       | 5     | 4    | 4         | 4.3       | 健康       |
| 20 | 2      | 4      | 3       | 4      | 2    | 3       | 4       | 5     | 4    | 3         | 3.4       | 亚健康      |
| 21 | 3      | 4      | 3       | 3      | 2    | 4       | 4       | 3     | 4    | 3         | 3.3       | 亚健康      |
| 22 | 4      | 5      | 5       | 3      | 2    | 4       | 4       | 4     | 4    | 3         | 3.8       | 亚健康      |
| 23 | 2      | 4      | 3       | 3      | 1    | 3       | 3       | 3     | 4    | 4         | 3.0       | 亚健康      |
| 24 | 3      | 4      | 3       | 3      | 2    | 4       | 2       | 3     | 4    | 3         | 3.1       | 亚健康      |
| 25 | 3      | 4      | 3       | 4      | 2    | 4       | 3       | 3     | 4    | 3         | 3.3       | 亚健康      |
| 26 | 2      | 3      | 2       | 2      | 2    | 3       | 2       | 2     | 4    | 3         | 2.5       | 一般       |

表3 景观河段综合评价表

| 序号 | 涉水工程影响 | 河道改变程度 | 优良河势保持率 | 河道护岸类型 | 河流水质 | 水资源开发利用 | 河流生境多样性 | 物种多样性 | 防洪能力 | 河岸植被结构完整性 | 工程河段健康标准值 | 工程河段评价结果 |
|----|--------|--------|---------|--------|------|---------|---------|-------|------|-----------|-----------|----------|
| 1  | 5      | 5      | 5       | 5      | 4    | 5       | 5       | 3     | 4    | 4         | 4.5       | 健康       |
| 2  | 3      | 4      | 5       | 5      | 3.5  | 4       | 5       | 4     | 4.7  | 4.7       | 4.3       | 健康       |
| 3  | 2      | 3.4    | 4       | 4      | 2.8  | 3.8     | 3       | 3.6   | 4.6  | 4.4       | 3.6       | 亚健康      |
| 4  | 4      | 5      | 5       | 4      | 4    | 5       | 5       | 4     | 5    | 5         | 4.6       | 健康       |
| 5  | 4      | 3      | 5       | 4      | 3.5  | 3.5     | 5       | 4     | 5    | 4.5       | 4.2       | 健康       |
| 6  | 3      | 4.3    | 3       | 3      | 3    | 3.7     | 3       | 4.7   | 4    | 3.7       | 3.5       | 亚健康      |
| 7  | 3      | 4.7    | 3       | 3      | 1.7  | 4       | 3       | 5     | 4    | 3.7       | 3.5       | 亚健康      |
| 8  | 2      | 4      | 3       | 4      | 1.8  | 3.6     | 3       | 3.3   | 4    | 3.1       | 3.1       | 亚健康      |

表4 全河长综合评价表

| 指标值计算   | 人类活动强度          | 河道改变程度 | 水系连通性   | 水土流失率  | 河流水质     |
|---------|-----------------|--------|---------|--------|----------|
|         | 3.2             | 3.3    | 4.1     | 4      | 3        |
|         | 支流汇入状况          | 河岸状况   | 生态系统完整性 | 防洪安全指数 | 大型水利工程影响 |
| 4       | 4               | 4      | 4.9     | 4      |          |
| 总河长评价结果 | 亚健康(健康标准值 3.85) |        |         |        |          |

②工程河段—景观河段

指标介绍:

防洪能力(子)——规定的防洪能力(补充)——防洪安全指数(母)。

防洪安全指数(FC):反映河流防洪安全程度,指数越高越安全,最大为1。计算公式为:

$$FC = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{F_i}{F_{\alpha}}$$

当  $F_i > F_{\alpha}$  时,令  $F_i = F_{\alpha}$ 。式中  $n$  为河流分段数; $F_i$  为第  $i$  段实际防洪能力(重现期); $F_{\alpha}$  为第  $i$  段规定的防洪能力。

建立关系:

$Q_{B,9}$  = 第  $i$  个景观河段的防洪安全指数

$Q_{C,9}$  = 第  $i$  个景观河段下属的第  $j$  个河段的防洪能力

$$Q_{B,9} = \begin{cases} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{Q_{C,9}}{F_{\alpha}}, & Q_{C,9} < F_{\alpha} \\ 1, & \text{others} \end{cases}$$

五、举例说明(以汉江为例)

汉江全长 1577 km, 与国外河流相比,属大型河流。其上中下游无论是地形地貌、水文气象、河道特征还是生态资源、水质污染、水资源开发

利用状况都各不相同,因而以它为例,进行分尺度评价,其中利用到相同尺度的线性转换。评价结果见表 2~表 4。

1.景观河段与工程河段划分

按照地质地貌特征将汉江上游划分成 8 个景观河段:

- ①源头—勉县, ②勉县—洋县,
- ③洋县—安康, ④安康—白河, ⑤白河—丹江口,
- ⑥丹江口—襄樊, ⑦襄樊—钟祥, ⑧钟祥旧口—汉口。

按照涉水工程(闸涵、桥梁、码头、堤防加固、城市等)对汉江的影响状况,找出了九冶治江大桥工程段,桥闸工程三桥工程段,汉中城区工程段等 26 个工程河段。

2.尺度间指标值的分析计算

我们直接用上面的编号来表示相应的河段。

为了便于计算处理,将所有指标进行赋值处理,赋值区间定为 1~5,1 为最差,2 为比较差,3 为一般,4 为较好,5 为好。最后算出健康标准值来判断河段与河流的健康程度,其中,1~2 之间为不健康,2~3 之间为一般,3~4 之间为亚健康,4~5 之间为健康。简便起见,将各河段视为等权

重。工程河段评价表中,序号这一行同色的工程河段视为隶属于同一景观河段。

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).  
 [2] 郑丙辉,张远,李英博.辽河流域河流栖息地评价指标与评价方法研究[J].环境科学学报,2007,27(6).  
 [3] 赵进勇,董哲仁,孙东亚.河流生物栖息地评估研究进展 [J]. 科技导报,2008,26(17).  
 [4] Giuliano Ziglio, Maurizio Siligardi, Giovanna Flaim, Biological Monitoring of River, Applications and Perspectives, John Wiley & Sons Ltd, Chichester, 2006.  
 [5] Frissell C A, Liss W L, Warren C E, et al. A hierarchical framework for stream habitat classification: Viewing streams in a watershed context [J]. Environmental Management, 1986, 10: 199-214.  
 [6] 陈进,黄薇.水资源与长江的生态环境[M].北京:中国水利水电出版社,2008.  
 [7] 董哲仁. 国外河流健康评估技术 [J]. 水利水电技术, 2005, 36(11).  
 [8] 郭建威,黄薇.健康长江评价方法初探[J].长江科学院院报,2008,25(4).  
 [9] Krebs, C.J. 1997. Ecological methodology. Columbia: British Columbia University Press.  
 [10] 长江水利委员会. 汉江干流综合规划报告[R]. 2007.

责任编辑 王晓平