

# 河流健康状况诊断指标和标准

王淑英<sup>1</sup>, 王浩<sup>2</sup>, 高永胜<sup>3</sup>, 闫彦<sup>4</sup>

(1. 浙江省水文局, 杭州 310009; 2. 中国水利水电科学研究院 水资源所, 北京 100038;  
3. 浙江同济科技职业学院, 杭州 311231; 4. 浙江水利水电专科学校, 杭州 310018)

**摘要:** 基于反映河流自然和社会双重属性的健康内涵, 构建了河流健康状况诊断指标体系, 包括河流形态结构、河流社会经济功能、河流生态功能 3 个一级指标和 18 个二级指标。选用多目标多层次模糊模型诊断河流健康状况, 提出了河流健康诊断指标的标准特征值, 给出了指标权重确定方法。以东江为例, 确定指标权重和指标值, 诊断河流健康状况, 结果表明, 东江健康状况处于良好的下缘, 形态结构改变是影响其健康的主要原因, 在此基础上提出了河流修复建议。

**关键词:** 河流健康; 模糊诊断模型; 东江

**中图分类号:** X824

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1000-3037(2011)04-0591-08

健康的河流不仅要维持河流生态系统的结构和功能, 还应包括河流对人类与社会的价值<sup>[1]</sup>, 在一定程度上满足人类的需求和愿望<sup>[2-3]</sup>。因此, 河流健康内涵应涵盖河道、流域生态环境系统及流域社会经济发展与人类活动的健康<sup>[4]</sup>, 其内容包括<sup>[5]</sup>河流自身的健康、河流对人类社会经济系统的支撑以及河流对流域生态系统的支撑。

## 1 河流健康诊断指标体系

基于河流健康内涵所包括的内容, 选取河流形态结构、河流社会经济功能、河流生态功能 3 个一级指标和 18 个具体的二级指标作为河流健康状况诊断指标体系。

### 1.1 河流形态结构指标

河流形态结构是水流与河床长期相互作用形成的, 由于人类对河流的干扰, 河流形态结构发生了较大的改观, 不同程度上影响了河流健康。根据自然河流的形态结构和人类活动对其干扰的主要方式, 选取表征河流横向、纵向以及垂向特征指标表示。

(1) 横向联通性指标 横向联通性是指主河槽同洪泛区或湿地的联通, 它对洪水具有调蓄功能, 是河流众多生态过程完成的重要途径。该指标以河流横向联通率表示, 即

$$C_1 = \frac{A_1}{A_2} \times 100\% \quad (1)$$

式中,  $A_1$  为现状某一频率洪水淹没面积,  $A_2$  为自然状况下与现状同频率洪水淹没面积。

(2) 横向稳定性指标 横向稳定性是指河流过水断面不发生左右摇摆。该指标以主河槽横向摆动幅度变化率表示, 即

$$C_2 = \frac{\Delta B}{B} \times 100\% \quad (2)$$

收稿日期: 2010-06-12; 修订日期: 2010-12-23。

基金项目: 浙江省高校重大科技攻关项目(ZD2007009)。

第一作者简介: 王淑英(1970-), 女, 黑龙江双鸭山人, 高级工程师, 博士, 主要从事水文预报及河流生态健康等研究。

式中,  $\Delta B$  为主河槽横向变化幅度,  $B$  为自然状况下主河槽宽度。

(3) 纵向蜿蜒性指标 纵向蜿蜒程度可用河流蜿蜒度<sup>[6]</sup>表示, 文献[7]对不同类型河流蜿蜒度做了较为详细的分类和描述。该指标以河流蜿蜒度变化率表示, 即

$$C_3 = \frac{\lambda_2 - \lambda_1}{\lambda_2} \times 100\% \quad (3)$$

式中,  $\lambda_1$  为现状河流蜿蜒度,  $\lambda_2$  为自然河流蜿蜒度。

(4) 纵向连续性指标 挡水建筑物等工程破坏了河流地理空间的连续性, 从而也破坏了河流水文过程、泥沙过程以及生物学过程等的连续性。该指标以水库库容率表示, 即

$$C_4 = \frac{V_1}{V_2} \times 100\% \quad (4)$$

式中,  $V_1$  为水库总库容,  $V_2$  为河流年平均径流量。

(5) 纵向稳定性指标 纵向稳定是指河床不冲不淤或在一定时期内冲淤平衡, 水沙比关系是否合理是影响河流纵向稳定的重要因素。该指标以河流含沙量变化率表示, 即

$$C_5 = \frac{|S_2 - S_1|}{S_2} \times 100\% \quad (5)$$

式中,  $S_1$  为河流实际平均含沙量,  $S_2$  为自然河流平均含沙量。

(6) 垂向透水性指标 堤防的修建和河道的衬砌破坏了河流垂向水流过程和生物过程的连续性。该指标以河流垂向不透水率表示, 即

$$C_6 = \frac{L_1}{L_2} \times 100\% \quad (6)$$

式中,  $L_1$  为等效的不透水性护坡河长(可以水平投影面积换算),  $L_2$  为诊断河段总长。

## 1.2 河流社会经济功能指标

河流社会功能是指河流保障人民生命财产安全, 维护社会稳定的功能; 河流的经济功能是指河流可产生经济效益的那部分功能。河流社会经济功能综合反映了河流对人类社会和经济的贡献, 其大小是经济社会人类评价河流健康的主要内容之一。

(1) 防洪减灾指标 防洪减灾措施有工程措施和非工程措施, 其中防洪工程措施的完善是河道防洪减灾的重要标志之一。该指标以防洪工程措施完善率表示, 即

$$C_7 = \frac{M_1}{M_2} \times 100\% \quad (7)$$

式中,  $M_1$  为达标防洪工程长度,  $M_2$  为应完成的防洪工程长度。

(2) 抗旱减灾指标 抗旱减灾能力是指河流抵抗干旱、保障供水的能力。该指标以河流供水保证率  $p$  表示, 即

$$C_8 = p \quad (8)$$

(3) 饮用水安全指标 饮用水安全是指地表水源水质达到《地表水环境质量标准 GB 3838—2002》Ⅲ类标准的水的总量。该指标以饮用水水源地水质达标率表示, 即

$$C_9 = \frac{\sum_{i=1}^n U_i}{U} \times 100\% \quad (9)$$

式中,  $U_i$  为第  $i$  饮用水水源地水质达标的取水量,  $U$  为各饮用水水源地需取水量之和。

(4) 河流可用水量指标 河流可用水量是指满足河流生态用水要求外, 人们可支配的那部分水量, 是人类评价河流经济功能的主要指标。该指标以人均可利用水量表示, 即

$$C_{10} = \frac{W_1 - W_2}{P} \quad (10)$$

式中,  $W_1$  为河流总水量,  $W_2$  为河流生态用水量,  $P$  为流域内人口数。

### 1.3 河流生态功能指标

河流生态功能是河流健康的主要外在表现, 根据我国河道、河口和流域面临的主要生态问题以及引发这些问题的主要原因, 选取相应指标。

(1) 河道生境多样性指标 生境多样性与生物群落多样性是统一的, 选用水深、流速、覆盖物、河床基质等<sup>[8]</sup> 表征河流生境多样性的主要参数, 构造河流生境多样性指数, 即

$$C_{11} = \sum_{i=1}^n \beta_i [N_{ih} N_{iv} (N_{ic} + N_{ib})] \quad (11)$$

式中:  $i$  为测量的典型河段单元;  $N_{ih}$  为第  $i$  单元水深多样性值;  $N_{iv}$  为第  $i$  单元流速多样性值;  $N_{ic}$  为第  $i$  单元覆盖物 (如水中大块石头、水草、河边植被等) 多样性值;  $N_{ib}$  为第  $i$  单元河床基质 (如砾石、卵石、沙等) 多样性值;  $\beta_i$  为第  $i$  单元类型河道面积的权重, 其和为 1。

(2) 河流生态流量指标 河流生态流量主要包括河道基流量、平滩流量和河流生态需水量等。该指标以上述不同生态流量最小保证率表示, 即

$$C_{12} = \min(p_1, p_2, p_3) \quad (12)$$

式中,  $p_1, p_2, p_3$  为河流不同生态流量保证率 (%)。

(3) 河流脉动指标 河流脉动反映了河流径流量的年际、年内变化的剧烈程度, 是河流生态功能表征的一个重要参数。该指标以脉动指数变化率表示, 即

$$C_{13} = \frac{\phi_2 - \phi_1}{\phi_2} \times 100\% \quad (13)$$

式中,  $\phi_1$  为实际河流脉动指数,  $\phi_2$  为自然河流脉动指数。

(4) 水质安全指标 水质是表征我国现状河流健康的一项重要指标, 水质安全是指水质达到了各类水功能区要求的水质标准。该指标以河流水质达标率表示, 即

$$C_{14} = \frac{\sum_{i=1}^n V_i}{V} \times 100\% \quad (14)$$

式中,  $V_i$  为第  $i$  河段水质达到水功能区划要求的水体体积,  $V$  为诊断河段的水体总体积。

(5) 河口径流量指标 河口径流量是表征河流水循环和河口生态状况的一个重要指标。该指标以实际河口径流量占自然状态下河口径流量比值表示, 即

$$C_{15} = \frac{Q_1}{Q_2} \times 100\% \quad (15)$$

式中,  $Q_1$  为现状河口年平均径流量,  $Q_2$  为自然状况下河口年平均径流量。

(6) 流域植被指标 流域植被是表征流域健康状况的重要指标, 是河流健康的外在表现之一。该指标可由流域植被和土壤侵蚀状态图<sup>[9-10]</sup> 确定, 即

$$C_{16} = \begin{cases} A \text{ 区} & (V' < 0, E' > 0) \\ C \text{ 区} & (V' > 0, E' < 0) \\ B \text{ 区} & (V' > 0, E' > 0) \text{ 或 } D \text{ 区} & (V' < 0, E' < 0) \end{cases} \quad (16)$$

式中,  $V'$  为流域植被覆盖度,  $E'$  为土壤侵蚀模数。位于不同区的流域植被健康状况不一样,

位于A区是不健康的;C区是健康的;B区或D区的健康状况介于A区和C区之间。

(7) 水资源开发利用指标 国际上公认流域水资源开发合理限度为40%,即使在充分利用雨洪的前提下,开发程度一般也不应超过60%。该指标以水资源开发利用度表示,即

$$C_{17} = \frac{Y_1}{Y} \times 100\% \quad (17)$$

式中, $Y_1$ 为水资源开发利用量, $Y$ 为水资源总量。

(8) 生物多样性指标 流域生物多样性是人们评价流域健康的一个重要指标。该指标可用Shannon指数<sup>[11]</sup>(一般位于1.5~3.5之间)表示,即

$$C_{18} = - \sum_{i=1}^N \varepsilon_i \ln \varepsilon_i \quad (18)$$

式中, $N$ 为采集样本中的生物物种数, $\varepsilon_i$ 为样本中第*i*种物种在全部生物个体数中的比例。

## 2 河流健康状况诊断模型

### 2.1 多目标模糊诊断模型

河流从健康至不健康存在着逐渐过渡性,属于客观存在着的模糊现象的范畴。指标集确定是多样化的,有些指标间又是不可公度的、具有多层次性,因此,可以采用多目标综合模糊模型<sup>[12]</sup>诊断河流健康状况。

$$u_{hj} = \begin{cases} 0 & h < a_j, h > b_j \\ \frac{1}{\sum_{k=a_j}^{b_j} \frac{\sum_{i=1}^m [w_i(r_{ij} - s_{ih})]^2}{\sum_{i=1}^m [w_i(r_{ij} - s_{ik})]^2}} & a_j \leq h \leq b_j, d_{hj} = \left\{ \sum_{i=1}^m [w_i(r_{ij} - s_{ih})]^p \right\}^{\frac{1}{p}} \neq 0 \\ 1 & d_{hj} = 0 \end{cases} \quad (19)$$

式中, $a_j$ 、 $b_j$ 为样本*j*的级别下限值和上限值, $r_{ij}$ 为样本*j*指标*i*特征值对 $\bar{A}$ 的相对隶属度, $s_{ih}$ 为级别*h*指标*i*标准特征值对 $\bar{A}$ 的相对隶属度, $w_i$ 为指标*i*的权重。

多目标模糊诊断模型中,应先确定的两个主要部分是各指标权重 $w_i$ 与指标标准特征值 $s_{ih}$ 。诊断结果 $u_{hj}$ 越接近于1,说明诊断对象越健康。

### 2.2 指标权重的确定

权重的确定应在调查研究现状基础之上,广泛听取各方面专家和公众意见,搜集河流历史资料,并预测河流可能发展趋势。确定时主要考虑以下两方面:①流域的自然条件,不同河流有不同的发育演变规律,会面临不同的健康问题,必须因地制宜,抓住主要矛盾和突出问题,确定相关指标的权重;②流域的经济条件,人们对河流健康内涵的理解和健康标准的确定,很大程度上取决于经济发展水平,不同经济发展区域或经济发展时期,在选择诊断指标或确定指标权重时,会有差异。基于上述原因的考虑,用二元对比模糊分析法逐级分层次确定指标权重<sup>[13-14]</sup>。

### 2.3 指标标准特征值的确定

河流健康诊断指标标准的确定不仅取决于河流的自然属性,更取决于人类在相应时期

的认识水平和价值取向,它是一个动态的标准,综合反映了当前河流自然特征和人类经济社会发展面临的问题,力图寻求人类经济社会发展和自然生态环境保护的一种动态平衡,其确定应遵循社会可持续、经济可发展和环境可保护的原则。

将河流健康诊断标准分为优、良、中、较差、极差 5 个级别,在咨询专家、参考文献与规范、借鉴有关研究成果基础上,对每个指标独立确定标准特征值,见表 1。

表 1 诊断指标标准特征值

Table 1 The standard characters value of diagnostic index

一级指标	二级指标	标准特征值				
		I 优	II 良	III 中	IV 较差	V 极差
河流形态结构	横向联通率/%	≥80	60~80	40~60	20~40	≤20
	主河槽横向摆动幅度/%	≤5	5~8	8~12	12~15	≥15
	纵向蜿蜒度变化率/%	≤4	4~8	8~12	12~16	≥16
	水库库容率/%	≤10	10~20	20~50	50~100	≥100
	河流含沙量变化率/%	≤5	5~10	10~15	15~25	≥25
	垂向不透水率/%	≤10	10~20	20~35	35~50	≥50
河流社会经济功能	防洪工程措施完善率/%	≥95	90~95	80~90	70~80	≤70
	河流供水保证率/%	≥90	80~90	70~80	60~70	≤60
	饮用水水质达标率/%	≥96	85~96	75~85	60~75	≤60
	人均可利用水量/(m <sup>3</sup> /人)	≥1 500	1 000~1 500	450~1 000	300~450	≤300
河流生态功能	河流生境多样性指数	≥70	60~70	30~60	5~30	≤5
	河流生态需水保证率/%	≥90	80~90	65~80	50~65	≤50
	河流脉动指数变化率/%	≤10	10~25	25~45	45~65	≥65
	河流水质达标率/%	≥90	70~90	60~70	50~60	≤50
	河口径流指标/%	≥80	50~80	40~50	30~40	≤30
	流域植被指标	C 区	靠近 C 区	B 或 D 区	靠近 A 区	A 区
	水资源开发利用度/%	≤20	20~40	40~50	50~60	≥60
	Shannon 指数	≥3	2~3	1.5~2	0.5~1.5	≤0.5

### 3 河流健康状况诊断实例——以东江为例

#### 3.1 东江概况

东江流域地跨广东、江西两省,是珠江流域三大水系之一,发源于江西寻乌县桎髻岭,河道干流全长 562 km,平均比降 0.39‰,河口以上流域面积  $3.41 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,博罗站多年平均含沙量为  $0.13 \text{ kg/m}^3$ ,多年平均输沙量为  $296 \times 10^4 \text{ t}$ 。东江流域内已建有新丰江、枫树坝、白盆珠等大型水库 5 座,具有防洪、灌溉、发电、排涝、供水和水运等综合功能。东江多年平均径流量为  $326.6 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,是广州、深圳、河源、惠州、东莞等地的主要供水水源,同时担负着向香港供水的重要任务,总供水人口超过 3 000 万。近年来,随着人口增长和经济的快速发展,流域用水迅速增加,水资源供需矛盾进一步加剧,水环境和生态受到威胁,例如东江鱼类由原有的 300 多种减少到目前 90 多种,咸潮上溯加剧等。

#### 3.2 东江健康状况诊断

东江各级诊断指标权重及二级指标现状值如表 2。

表 2 分级指标权重及现状值

Table 2 The weight and present value of each index

一级指标		二级指标			
类型	权重	类型	现状值	诊断结果	权重
河流形态结构	0.223	横向联通率	75%	II	0.130
		主河槽横向摆动幅度	3%	I	0.241
		纵向蜿蜒度变化率	14%	IV	0.130
		水库库容率	70%	IV	0.130
		河流含沙量变化率	56%	V	0.241
		垂向不透水率	28%	III	0.130
河流社会经济功能	0.466	防洪工程措施完善率	95%	I	0.203
		河流供水保证率	89%	II	0.277
		饮用水水质达标率	80%	III	0.338
		人均可利用水量	217	IV	0.182
河流生态功能	0.311	河流生境多样性指数	35	III	0.072
		河流生态需水保证率	90%	I	0.172
		河流脉动指数变化率	25%	II	0.091
		河流水质达标率	75%	II	0.190
		河口径流指标	80%	I	0.114
		流域植被指标	C 区	I	0.102
		水资源开发利用度	30%	II	0.156
		Shannon 指数	1.46	IV	0.102

应用多层次多目标模糊诊断模型计算相对于 5 类级别特征值的相对隶属度,分别取计算阶数为 1 和 2 两种情况计算,最后取其平均值,一级指标诊断结果见表 3,综合诊断结果见表 4。

表 3 一级指标诊断结果

Table 3 The diagnosis result of first-grade indexes

一级指标	I 优	II 良	III 中	IV 较差	V 极差
河流形态结构	0.082	0.147	0.588	0.106	0.077
相对隶属度 河流社会经济功能	0.108	0.674	0.138	0.045	0.035
河流生态功能	0.376	0.463	0.097	0.039	0.025

表 4 综合诊断结果

Table 4 The diagnosis result of river health

健康级别	I 优	II 良	III 中	IV 较差	V 极差
相对隶属度	0.185	0.491	0.226	0.057	0.041

由表 4 知,东江流域综合健康状况相对良以上的隶属度为 0.676,说明东江综合健康状况尚处于良好,但接近良好的下缘。东江形态结构相对良以上隶属度为 0.229,相对中以上隶属度为 0.817,说明目前东江河流形态结构受人类干扰较大,河流形态结构健康状况处于一般;河流社会经济功能相对良以上隶属度为 0.782,说明东江在维护区域稳定、保障区域经济发展发挥了较大功能;河流生态功能相对良上以上隶属度为 0.839,说明东江生态功能较为显著,这归功于人们对东江流域环境的重视和不断治理。

### 3.3 河流健康影响因素分析和修复建议

由东江健康状况诊断结果看,河流形态结构的改变是影响东江健康的主要问题,具体影响因子有两个:一是大坝的修建,使河流纵向连续性受到较大干扰;二是河道的渠道化,使河流弯曲程度和垂向透水性降低。导致生物栖息地趋于单一,生物多样性降低。通过对东江大型无脊椎底栖动物状况的调查<sup>[15]</sup>,东江流域底栖动物多样性在上游和中游保持较高水平,而到下游大幅度减少,结合本文诊断结果分析,其主要原因:一是大坝修建阻隔了生物通道,截留了传输营养物质的泥沙等;二是河道的渠道化造成生物栖息地隔离,流速均匀化。因此,东江流域修复的重点:一是逐步改变大坝运行调度方式,建立大坝适应性管理程序,创建适宜下游水生生物需求的水流模式;二是创建多样性生物栖息地,把已经隔离的牛轭湖和江边湖泊湿地重新与江水沟通,为生物觅食、产卵提供场所。

此外,东江担负着 3 000 余万人的供水任务,人均可利用水量较少,供需矛盾较为突出,而且这种矛盾将随着区域人口和经济的快速增长更进一步加剧,因此,在现状基础上,大力发展节水技术、开发非常规水源等措施势在必行。

## 4 结论

(1) 基于河流自身健康、河流对人类社会经济系统支撑、河流对流域生态系统支撑的健康内涵构建了河流健康诊断指标体系,该指标体系较全面地反映了河流的自然和社会双重属性,所选指标易于量化,但针对不同河流,须根据河流具体问题、相关资料的可获取性等实情选择指标。

(2) 考虑河流健康具有一定模糊性和妥协性,采用多目标综合模糊模型诊断河流健康状况,在征询专家意见、参阅相关成果等基础上,提出了河流健康诊断指标的标准特征值,给出了指标权重确定需考虑的因素和确定方法。

(3) 结合东江实际情况,确定了各级指标权重及现状值,诊断结果表明东江健康状况处于良好下缘,河流形态结构的改变是影响东江健康的主要原因,具体因子包括大坝的修建和河道的渠道化,这使得生物栖息地趋于单一,河流生物多样性降低,这与河流实际情况调查相符,该诊断结果为河流管理和修复提供了科学依据。

## 参考文献 (References):

- [1] Meyer J L. Stream health: Incorporating the human dimension to advance stream ecology [J]. *Journal of North American Benthological Society*, 1997, 16(2): 439-447.
- [2] Cairns J Jr, Munawar M. Ecosystem health through ecological restoration: Barriers and opportunities [J]. *Aquat Ecosyst Health*, 1994, 3(1): 5-14.
- [3] Borman F H. Ecology: A personal history [J]. *An Review Energy and Environ.*, 1996, 21: 1-29.
- [4] 胡春宏, 陈建国, 郭庆超, 等. 论维持黄河健康生命的关键技术与调控措施 [J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2005, 3(1): 1-5. [HU Chun-hong, CHEN Jian-guo, GUO Qing-chao, et al. Key technology and regulation measures on maintaining a healthy life of the Yellow River. *Journal of China Institute of Water*, 2005, 3(1): 1-5.]
- [5] 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. [GAO Yong-sheng, WANG Hao, WANG Fang. Construction of evaluation index system for river's healthy life. *Advances in Water Science*, 2007, 18(2): 252-257.]
- [6] 马克明, 孔红梅, 关文彬, 等. 生态系统健康评价: 方法与方向 [J]. 生态学报, 2001, 21(12): 2106-2116. [MA Ke-ming, KIONG Hong-mei, GUAN Wen-bin, et al. Ecosystem health assessment methods and directions. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(12): 2106-2116.]

- [7] Rosgen D L. A clasafication of nature rivers [J]. *Catena*, 1994, 22: 169-199.
- [8] Crig Fischenich, Hollis Allen. Stream management-concepts and methods in stream protection and methods in stream protection and restoration [R]. Working Document, 1999.
- [9] 王兆仁, 郭彦彪, 李昌志, 等. 植被-侵蚀状态图在典型流域的应用[J]. 地球科学进展, 2005, 20(2): 149-157. [WANG Zhao-yin, GUO Yan-biao, LI Chang-zhi, *et al.* Vegetation-erosion chart and its application in typical watershed in China. *Advance in Earth Sciences*, 2005, 20(2): 149-157.]
- [10] 王兆仁, 王光谦, 高菁, 等. 侵蚀地区植被生态动力学模型[J]. 生态学报, 2003, 23(2): 98-105. [WANG Zhao-ren, WANG Guang-qian, GAO Jing, *et al.* An ecological dynamics model of vegetation evolution in erosion area. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(2): 98-105.]
- [11] Shannon C E, Weaver W. The Mathematical Theory of Communication [M]. Urbana I L: University of Illinois Press, 1949: 20-35.
- [12] 陈守煜. 工程模糊集理论与应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 1998: 11. [CHEN Shou-yu. Engineering Fuzzy Set Theory and Application. Beijing: National Defense Industry Press, 1998: 11.]
- [13] 高永胜, 王淑英. 双目标耦合不确定性模糊模式识别模型[J]. 水文, 2006, 26(1): 34-37. [GAO Yong-sheng, WANG Shu-ying. Double objectives coupling uncertainty fuzzy pattern recognition model. *Journal of China Hydrology*, 2006, 26(1): 34-37.]
- [14] 王淑英, 高永胜, 丁春梅. 基于模糊相关度的模糊聚类有效性检验方法[J]. 水文, 2006, 26(4): 39-42. [WANG Shu-ying, GAO Yong-sheng, DING Chun-men. Fuzzy clustering relation degree and cluster validity test method. *Journal of China Hydrology*, 2006, 26(4): 39-42.]
- [15] 王兆印, 程东升, 段学花, 等. 东江河流生态评价及其修复方略[J]. 水利学报, 2007, 38(2): 1228-1235. [WANG Zhao-yin, CHENG Dong-sheng, DUAN Xue-hua, *et al.* Assessment of ecological system in East River and corresponding ecological restoration strategies. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2007, 38(2): 1228-1235.]

## Index System and Criteria for Diagnosing the Status of River Health

WANG Shu-ying<sup>1</sup>, WANG Hao<sup>2</sup>, GAO Yong-sheng<sup>3</sup>, YAN Yan<sup>4</sup>

(1. Zhejiang Provincial Hydrology Bureau, Hangzhou 310009, China;

2. China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China;

3. Zhejiang Tongji Vocational College of Science and Technology, Hangzhou 311231, China;

4. Zhejiang Water Conservancy & Hydropower College, Hangzhou 310018, China)

**Abstract:** Based on the meaning of river health reflecting the natural and social attributes, an index system for diagnosing the status of river health was constructed. This index system included three first-grade indexes, namely river morphology, river social economic function and river ecologic function, and 18 second-grade indexes. This paper chose multiobjective multilayer fuzzy model to diagnose the river health. It put forward the index standard characteristics value and gave the method to determine the index weight. Taking East River as an example, it diagnosed the river health by determining the index weight and value. The diagnosis result demonstrated that East River health is at the lower edge of good condition. The key factor that influenced the river health is the changed river morphology. It put forward the suggestion for river restoration.

**Key words:** river health; fuzzy diagnosis model; East River