西苕溪流域健康状况的模糊诊断

丁坚钢[1]，高永胜[1]，王建华[1]，王淑英[2]
（1.浙江同济科技职业学院，浙江 杭州 311231；2.浙江省水文局，浙江 杭州 310009）

摘　要：西苕溪是太湖上游的重要支流，由于人类活动的干扰，河流健康状况受损，功能下降。基于河流健康的内涵，选取河流形态结构、河流社会经济功能和河流生态功能 3 类诊断河流健康状况的 1 级指标。针对西苕溪流域健康现状和可获取的资料，构建了诊断西苕溪健康状况的 18 个 2 级指标。选用多目标多层次模糊模型诊断西苕溪健康状况，建立了各指标标准特征值，确定了各指标权重。计算和分析结果表明，西苕溪综合健康状况大部分处于中等和良好状态，河流形态结构的改变和较差的水质是影响其健康的主要原因。西苕溪流域的生态修复措施主要包括创建多样性生物栖息地，有效控制面源污染，建立水库适应性管理程序等。

关键词：西苕溪；河流健康；模糊诊断；生态修复
文献标识码：A　　**文章编号**：1000-288X(2012)05-0050-06　　**中图分类号**：X826

Fuzzy Diagnosis for Health Status of Xitiao River

DING Jian-gang[1], GAO Yong-sheng[1], WANG Jian-hua[1], WANG Shu-ying[2]
(1. *Zhejiang Tongji Vocational College of Science and Technology, Hangzhou, Zhejiang* 311231, *China*;
2. *Zhejiang Provincial Hydrology Bureau, Hangzhou, Zhejiang* 310009, *China*)

Abstract: The Xitiao River is the main branch of Taihu basin. Due to the disturbance of human, the river health has been damaged and its functions have been reduced gradually. Based on the meaning of river health, 3 first-grade diagnostic indexes were selected, namely river morphology, social economic function and ecologic function. 18 second-grade diagnostic indexes were then determined by considering the present health status and obtained data of the Xitiao River. A multi-objective and multi-layer fuzzy model was used to diagnose the river health and determine the index standard character values and the index weights. Through calculation and analysis, the Xitiao River health was almost in the middle and good condition. The main factors were the changing river morphology and worse water quality. It is suggested that the main restoration measures are to create diversity habits, control non-point source pollution and built adapting management programs of reservoirs.

Keywords: Xitiao River; river health; fuzzy diagnosis; restoration

河流具有自然和社会双重属性，健康的河流不仅要维持河流生态系统的结构和功能，还要在一定程度上满足人类的需求和愿望[1-2]，其健康内涵包括[3-4]河流自身健康状况、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。西苕溪是太湖上游重要的来水支流，由于人类活动的干扰，河流健康状况受损，功能下降。对此，许多学者对其土地利用方式、环境容量、底栖动物等进行了研究，并采用底栖动物完整性指数评价其健康状况[5]，但目前尚没有从流域角度，综合考虑河流自然和社会属性选择指标诊断其健康状况。鉴于此，本研究基于河流健康内涵，构建诊断西苕溪健康状况的指标体系和标准，确定指标权重，采用多目标模糊模型分层次诊断其健康状况，分析其健康状况受损的主要原因，以为西苕溪修复和管理提供科学依据。

1　研究方法

1.1　西苕溪概况

西苕溪位于浙江省北部湖州市境内，属太湖流域，发源于安吉县狮子山大沿坑，自西南向东北注入

收稿日期：2012-03-22　　修回日期：2012-05-09
资助项目：2011 年省级部门水利专项“水景观在美丽乡村建设方案中的艺术构建”(201108)；水利部“948”项目“实时洪水预报系统及水库实时优化调度系统引进与应用”(201026)
作者简介：丁坚钢(1957—)，男(汉族)，浙江省宁波市人，研究生学历，副研究员，主要从事水文水资源、水利发展和高职教育等方面研究。E-mail：zjtjdjg@163.com。

太湖,贯穿湖州市全境,干流长 139 km,河道比降 2.0‰,范家村站多年平均含沙量为 0.106 kg/m^3。西苕溪流域面积 2 268 km^2,其中山区面积 2 002 km^2,流域范围涉及安吉县大部分、长兴县及湖州市本级各一部分,总人口约为 57.6 万人,耕地面积约为 2.00×10^4 hm^2。流域降水量时空差异较大,多年平均降水量 1 465 mm,主要集中于 4—9 月;径流年际变化显著,多年平均径流量为 1.58×10^9 m^3,建国以来范家村站最大与最小年径流量之比达 3.92 倍。受梅雨、台风雨以及台风与冷峰结合雨型的影响,流域内暴雨洪水较多,洪涝灾害频发。流域内已建有赋石、老石坎 2 座大(二)型水库、3 座中型水库,8 座小(一)型水库及 68 座小(二)型水库,总库容约 5.00×10^8 m^3。西苕溪干流两岸均设有堤防,但流域整体防洪能力偏低,横塘村以上堤防尚未达到 10 年一遇标准,遇较大洪水时,部分洪水向长兴平原分洪,区间部分堤区将溃堤纳洪。

近十几年来,随着流域内人口的增加和经济的发展,人类活动干扰加强,流域内覆被条件及其景观生态效应变化显著,河道内出现水污染加剧、水生境破坏、渔业资源锐减等一系列问题,流域的防洪安全、饮水安全、水环境安全等受到严峻的挑战。

1.2　诊断指标体系的建立

健康的河流既要在一定程度上满足经济社会发展的需求,也要满足河流自身得以维持和延续的需要[3]。基于河流健康内涵所包括的 3 方面内容,分别选取河流形态结构、河流社会经济功能、河流生态功能 3 类 1 级指标诊断河流健康状况。通过现场调研,查阅水文年鉴、苕溪运河志、地方统计年鉴、相关文献和研究报告等,在对西苕溪河流形态结构、流域防洪能力、河流底栖动物、流域景观格局、河道流量及水环境等状况分析的基础上,考虑诊断指标资料的可获取性,选取 18 个诊断西苕溪健康状况的 2 级指标体系。

1.2.1　*河流形态结构*　河流形态结构是水流与河床长期相互作用形成的,具有浅滩、深潭以及洪泛区等典型特征,这些特征有利于河流稳定、消能、净化水质以及生物多样性保护,也有利于降低洪水的灾害性和突发性[6]。人类为了自身发展,对河流进行了各种方式的改造和开发利用,河流形态结构发生了较大的改观,从而影响了自然河流的水循环程度以及河流稳定状况等,导致河流功能改变。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、纵向以及垂向等特征指标表示。

(1) 河流横向联通率 C_1。该指标反映了河流主河槽同洪泛区或周围湿地的联通状况,以某一特征频率洪水在现状和自然状况下淹没面积的比值表示,即:

$$C_1=A_1/A_2\times100\% \tag{1}$$

式中:A_1——现状某一特征频率洪水淹没面积;A_2——自然状况下与现状同频率洪水淹没面积。

(2) 主河槽横向摆动幅度变化率 C_2。该指标反映了河流主河槽的横向稳定情况,以河流现状和自然状况下主河槽宽度变化率表示,即:

$$C_2=|B_2-B_1|/B_2\times100\% \tag{2}$$

式中:B_1——现状主河槽宽度;B_2——自然状况下主河槽宽度。

(3) 纵向蜿蜒度变化率 C_3。该指标反映了人类对河流弯曲程度的改变,以河流现状和自然状况下的蜿蜒度变化率表示,即

$$C_3=(\lambda_2-\lambda_1)/\lambda_2\times100\% \tag{3}$$

式中 λ_1——现状河流蜿蜒度;λ_2——自然河流蜿蜒度,其确定如缺少历史资料,可参考文献[7]。

(4) 水库库容率 C_4。该指标反映了挡水建筑物对河道水流以及泥沙的拦截程度,以水库库容与河流多年平均径流量比值表示,即:

$$C_4=V_1/V_2\times100\% \tag{4}$$

式中:V_1——水库总库容;V_2——河流多年平均径流量。

(5) 河流含沙量变化率 C_5。该指标反映了河流的纵向稳定性,以河流实际和自然状况下平均含沙量变化率表示,即:

$$C_5=|S_2-S_1|/S_2\times100\% \tag{5}$$

式中:S_1——河流实际平均含沙量;S_2——自然河流平均含沙量。

(6) 垂向不透水率 C_6。该指标反映了堤防和河道的衬砌对河流垂向水流过程和生物过程的连续性破坏的程度,以不透水河段长度占诊断河段长度的比值表示,即:

$$C_6=L_1/L_2\times100\% \tag{6}$$

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

1.2.2　*河流社会经济功能*　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诊断河流健康的主要内容之一。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,主要包括河流防御洪水、抵抗干旱以及饮用水安全等内容;河流的经济功能是指河流可产生经济效益的那部分功能,包括河流航运、供水、发电、养殖以及旅游等多种综合功能,河流可利用水量是衡量河流可发挥经济贡献的重要表征参数[3]。

(1) 防洪工程措施完善率 C_7。该指标反映了河

道安全泄洪的能力，不同河道防洪标准和防洪工程措施完成情况不同，以达标防洪工程长度与应完成防洪工程长度比值表示，即：

$$C_7 = H_1 / H_2 \times 100\% \tag{7}$$

式中：H_1——达标防洪工程长度；H_2——应完成的防洪工程长度。

（2）河流供水保证率 C_8。该指标综合反映了河流灌溉、城市供水等的保证程度，以河流不同供水目标的供水保证率表示，即：

$$C_8 = \sum_{i=1}^{n} \chi_i P_i \tag{8}$$

式中：χ_i——第 i 种供水目标的供水权重；P_i——第 i 种供水目标的供水保证率。

（3）饮用水水质达标率 C_9。该指标反映了饮用水源水质达到《地表水环境质量标准 GB3838—2002》Ⅲ类标准水的情况，以达标水质水量占取水总量的比值表示，即：

$$C_9 = \sum_{i=1}^{n} U_i / U \times 100\% \tag{9}$$

式中：U_i——第 i 饮用水水源地水质达标的取水量；U——各饮用水水源地需取饮用水量之和。

（4）人均可利用水量 C_{10}。该指标反映了河流扣除生态环境用水外，人类可利用的那部分水量的多少，以人均占有河流可利用水量表示，即：

$$C_{10} = (W_1 - W_2) / Y \tag{10}$$

式中：W_1——河流总水量；W_2——河流生态环境用水量；Y——流域内人口数。

1.2.3 *河流生态功能* 河流生态功能是河流健康与否的主要外在表现，是流域经济社会可持续发展的重要保障条件。随着人们生态和环境保护意识的增强，河流生态功能已成为人们诊断河流健康的重要内容之一。根据河道、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，选取表征河流生态功能的水文、水质以及生物等特征指标。

（1）渔业资源变化率 C_{11}。该指标反映了人类活动所引起河流生境变化对渔业资源的影响，以不同状况下渔业资源捕获量变化率表示，即：

$$C_{11} = (T_2 - T_1) / T_2 \times 100\% \tag{11}$$

式中：T_1——现状渔业资源捕获量；T_2——自然状况下渔业资源捕获量。

（2）河流生态需水保证率 C_{12}。该指标反映了河道内所剩水量是否能满足河流健康发展需求，以不同状况下河流生态的需水保证率表示，即：

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

式中：p_1，p_2，p_3——河流基流量、平滩流量和河流生态需水量保证率。

（3）河流脉动指数变化率 C_{13}。该指标反映了人类活动对河流径流量年际、年内变化的影响程度，以实际和自状况下河流脉动指数变化率表示，即：

$$C_{13} = (\varphi_2 - \varphi_1) / \varphi_2 \times 100\% \tag{13}$$

式中：φ_1——实际河流脉动指数；φ_2——自然河流脉动指数。

（4）河流水质达标率 C_{14}。该指标反映了能够满足各类水功能区水质标准要求的水体情况，以达标水体体积占诊断河段水体总体积的比值表示，即：

$$C_{14} = \sum_{i=1}^{n} V_i / V \times 100\% \tag{14}$$

式中：V_i——第 i 水功能区达标的水体体积；V——诊断河段的水体总体积。

（5）河口径流指标 C_{15}。该指标反映了人们对整个河流或流域径流量的干预程度，以现状河口年平均径流量占自然状况下河口年平均径流量的比值表示，即：

$$C_{15} = Q_1 / Q \times 100\% \tag{15}$$

式中：Q_1——现状河口年平均径流量；Q——自然状况下河口年平均径流量。

（6）流域植被覆盖度变化率 C_{16}。该指标反映了人类活动对流域植被的影响情况，以现状和较自然状况下的植被覆盖度变化率表示，即：

$$C_{16} = (N_2 - N_1) / N_2 \times 100\% \tag{16}$$

式中：N_1——现状植被覆盖率；N_2——较自然条件下植被覆盖率。

（7）水资源开发利用度 C_{17}。该指标是衡量流域水资源是否可持续发展利用的一个重要指标，以水资源开发利用量占水资源总量的比值表示，即：

$$C_{17} = M_1 / M \times 100\% \tag{17}$$

式中：M_1——水资源开发利用量；M——水资源总量。

（8）底栖动物完整性指数 C_{18}。底栖动物完整性指数（benthic-index of biotic integrity，B-IBI）是河流或流域健康外在表现的一个重要表征指标，它综合反映了人类活动对河流或流域的影响。

1.3 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[8]诊断河流健康状况。

$$u_{hj} = \begin{cases} 0 & (h < a_j, h > b_j) \\ 1 & (a_j \leqslant h \leqslant b_j) \\ \dfrac{\sum_{i=1}^{m} [w_i (r_{ij} - s_{jh})]^2}{\sum_{k=a_j}^{b_i} \sum_{i=1}^{m} [w_i (r_{ij} - s_{jk})]^2} & \\ 1 & (r_{ij} = s_{jk}) \end{cases} \tag{18}$$

式中:h——分级数($h=1,2,\cdots,c$);j——样本数($j=1,2,\cdots,n$);a_j,b_j——样本 j 的级别下限值和上限值;i——指标数($i=1,2,\cdots,m$);u_{hj}—— 相对于 j 的优属度;w_i——指标 i 的权重;r_{ij}——样本 j 指标 i 的特征值;s_{ih}——级别 h 指标 i 的标准特征值;s_{ik}——级别 k 指标 i 的标准特征值。

多目标模糊诊断模型中,应先确定的 2 个主要参数是各指标权重 w_i 与指标标准特征值 s_{ih}。模型诊断结果 u_{hj} 越大,说明诊断对象越接近于 h 级别。

1.3.1　诊断指标权重的确定　诊断指标权重的确定采用二元对比模糊分析法[8-9]逐级分层次确定。依据西苕溪河流水文、水质、生态、社会经济等状况,在征求水资源、生态、经济等方面专家和公众意见基础上,初步判定同类同层次指标的二元对比重要性程度,得到重要性定性排序一致性标度矩阵。

$$\boldsymbol{F}=\begin{bmatrix} f_{11} & f_{12} & \cdots & f_{1m} \\ f_{21} & f_{22} & \cdots & f_{2m} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ f_{m1} & f_{m2} & \cdots & f_{mm} \end{bmatrix}=f_{kl} \qquad (19)$$

($k=1,2,\cdots,m,l=1,2,\cdots,m$)

若满足条件

(1) 当 $f_{hk}>f_{hl}$ 时,有 $f_{kl}=0$

(2) 当 $f_{hk}<f_{hl}$ 时,有 $f_{kl}=1$

(3) 当 $f_{hk}=f_{hl}=0.5$ 时,有 $f_{kl}=0.5$

将矩阵 $\boldsymbol{F}$ 各行和数由大到小排列,给出因素集在满足排序一致性条件下的重要性定性排序。将最重要的依次与排在后边的进行对比,得到语气算子,依据语气算子与定量标度相对隶属度关系来确定权重。

1.3.2　诊断指标标准特征值确定　河流健康状况诊断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,如表 1 所示。

表 1　诊断指标标准特征值

1 级指标	2 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^3/人)	≥1 500	1 000～1 500	450～1000	300～450	≤300
河流生态功能	渔业资源变化率/%	≤15	15～30	30～50	50～60	≥60
	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/%	≥85	75～85	60～75	50～60	≤50
	流域植被覆盖度变化率/%	≤5	5～10	10～30	30～40	≥40
	水资源开发利用度/%	≤20	20～40	40～50	50～60	≥60
	底栖动物完整性指数	≥0.69	0.52～0.69	0.35～0.52	0.18～0.35	≤0.18

1.3.3　诊断指标资料的获取　通过调研、查阅水文年鉴(水文数据库)、苕溪运河志、湖州和安吉统计年鉴、苕溪流域防域手册和相关文献、研究成果等方法获取计算各具体诊断指标的资料。目前,西苕溪干流上具有长系列水文资料的主要站点有 1929 年设立的梅溪水位站,1955 年设立的横塘村水文站,1954 年设立的范家村水文站(1997 年该站下移改名为港口站,观测项目不变)。

此外，河流上游有赋石水库站，老石坎水库站以及 1975 年由于建库而撤除的潜渔站（1954 年设站）等。港口、水库等多处设有水质监测断面。

2 结果与讨论

2.1 健康状况诊断

西苕溪分级指标权重及现状值如表 2 所示。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 $P=1$ 和 $P=2$ 这 2 种情况计算，最后取其平均值，1 级指标及综合健康状况诊断结果如表 3 所示。

由表 3 可知，西苕溪综合健康状况相对中的隶属度为 0.414，相对良的隶属度为 0.348，相对优的隶属度为 0.131，说明西苕溪综合健康状况大部分处于中等和良好状态。西苕溪形态结构相对中的隶属度为 0.529，相对良和优的隶属度分别为 0.145，0.084，说明西苕溪形态结构状况大部分处于中等状态，西苕溪现状河流形态结构受人类干扰较大，应加强修复和保护。河流社会经济功能相对中的隶属度为 0.597，相对良和优的隶属度分别为 0.219 和 0.098，说明西苕溪在维护区域防洪安全，保障区域经济发展为中等状况。河流生态功能相对良的隶属度为 0.690，相对优的为 0.215，说明西苕溪生态功能处于优良状态，其主要原因是西苕溪水资源开发利用程度较低，同时人们对西苕流域环境的重视和不断治理，如加强植物造林等。

表 2 西苕溪分级指标权重及现状值

1 级指标		2 级指标			
类 型	权重	类 型	现状值	诊断结果	权重
河流形态结构	0.224	横向联通率/%	75	Ⅱ	0.130
		主河槽横向摆动幅度/%	23	Ⅴ	0.240
		纵向蜿蜒度变化率/%	8	Ⅱ	0.130
		水库库容指数/%	31.7	Ⅲ	0.130
		河流含沙量变化率/%	32.3	Ⅴ	0.240
		垂向透水变化率/%	33	Ⅲ	0.130
河流社会经济功能	0.466	防洪工程措施完善率/%	70	Ⅳ	0.203
		河流供水保证率/%	52	Ⅴ	0.277
		饮用水水质达标率/%	80	Ⅲ	0.338
		人均可利用水量（m^3/人）	2 191	Ⅰ	0.182
河流生态功能	0.311	渔业资源变化率/%	58.3	Ⅳ	0.072
		河流生态需水保证率/%	92	Ⅰ	0.172
		河流脉动指数变化率/%	5.2	Ⅰ	0.091
		河流水质达标率/%	26	Ⅴ	0.190
		河口径流指标/%	92	Ⅰ	0.115
		流域植被覆盖度变化率/%	−1.5	Ⅰ	0.102
		水资源开发利用度/%	15	Ⅰ	0.156
		底栖动物完整性指数	0.38	Ⅲ	0.102

注：流域植被覆盖度变化率为负值，表示植被覆盖面积增加。

表 3 健康状况诊断结果

健康级别		Ⅰ（优）	Ⅱ（良）	Ⅲ（中）	Ⅳ（较差）	Ⅴ（极差）
1 级指标相对隶属度	河流形态结构	0.084	0.145	0.529	0.146	0.096
	河流社会经济功能	0.098	0.219	0.597	0.048	0.038
	河流生态功能	0.215	0.690	0.056	0.024	0.015
综合健康状况相对隶属度		0.131	0.348	0.414	0.063	0.044

2.2 健康影响原因分析

由西苕溪健康状况诊断结果看，影响西苕溪健康的主要有河流形态结构改变较大、河流水质较差两方面原因。

河流形态结构改变较大。河流形态结构的改变主要表现在 2 方面，一是河流断面横向摆动幅度较大，如横塘村大断面自 20 世纪 80 年代中期以来，主河槽发生较大变化，2009 年与 1985 年相比，主河槽

右岸刷深约 10 m,向右拓宽近 40 m,扩张了近 50%。河床加深、加宽,浅滩消失,急流变缓,改变了河流生境,如灵芝塔附近的鲌鱼产卵场就因此而被破坏。二是大坝的修建阻隔了河流生物通道和泥沙的迁移、输送,范家村站 1980 年之后平均含沙量为 0.088 kg/m^3,比 1980 年之前减少约 32%,这引起河流下游不同程度冲刷,也使河流营养物质的输送受阻。

河流水质状况较差。西苕溪水质状况在时间上呈逐渐轻微恶化趋势,在空间上表现为自上游至下游快速恶化。西苕溪港口站现状水质为Ⅴ类,主要超标物质为总氮,由于总氮超标,一年有一半时间水质处于劣Ⅴ类,根据黄惟灏等[10]调查,1982 年江水透明度在 35～70 cm,2000 年透明度只有 3～15 cm。由于河流水质较差,影响河流功能的正常使用,也影响了水生生物资源。

上述原因使得河流生境受到破坏,最终使生物多样性降低,这与西苕溪渔业资源、底栖生物等实际情况调查相符,诊断结果可用于指导西苕溪管理和修复工作。

2.3　修复建议

创建多样性生物栖息地,尽可能恢复已经隔离的河滩地、湿地与主河槽沟通,提高河流自净能力,促使细泥砂颗粒落淤,为生物觅食、产卵提供场所。对已破坏的鱼类产卵场采取有效补救措施,如修复灵芝塔附近的鱼类产卵场或修建可替代的产卵场。同时,应采用生态护坡等方法提高城区和圩区防洪标准。

采取措施控制河流污染源,改善水质状况。相关研究成果表明[11-12],土地利用结构对氮素输出具有重要影响,只控制点污染源仅能使西苕溪水质指数提高 6.5%左右,这表明与土地利用/覆被变化有关的面源污染是西苕溪流域水质下降的主要原因。未来应在加大水质监测密度的基础上,定量研究区分不同土地利用方式对水质的影响程度,为有效控制面源污染提供基础依据。

逐步改变西苕溪上游水库,特别是老石坎和赋石水库的运行调度方式,逐步建立水库适应性管理程序,创建适宜下游水生生物需求的水流模式和泥沙输移模式,逐步实现流域水量水质的统一联合调度。

3　结 论

基于河流健康内涵,在分析西苕溪河流现状及资料可获取的基础上,构建了诊断西苕溪健康状况的指标体系,在征询专家意见、参阅相关研究成果等基础上,建立了河流健康诊断指标的标准特征值,确定了指标权重。

西苕溪综合健康状况大部分为中等和良好状态,河流形态结构的改变、河流水质状况的恶化是影响其健康的主要因素,由此破坏了河流生境,使河流渔业资源、底栖生物等受到影响,该结论与河流渔业资源、底栖生物等实际情况调查相符。

河流修复和管理重点主要为 3 个方面:一是尽可能创建多样性生物栖息地,并提高城区和圩区堤防防洪标准;二是改善河流水质,特别是控制面源污染;三是改善水库运行调度方式,逐步建立水库适应性管理程序。

[参 考 文 献]

[1] Cairns J Jr, Munawar M. Ecosystem health through ecological restoration: barriers and opportunities[J]. Aquat. Ecosyst. Health, 1994,3(1):5-14.

[2] Borman F H. Ecology: a personal history[J]. An Review Energy and Environ., 1996(21):1-29.

[3] 高永胜,王浩,王芳. 河流健康生命内涵的探讨[J]. 中国水利,2006(14):15-16.

[4] 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.

[5] 李强,杨莲芳. 底栖动物完整性指数评价西苕溪溪流健康[J]. 环境科学,2007,28(9):2141-2147.

[6] Forman R T T. Land mosaics: the ecology of landscapes and Regions[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1995.

[7] Rosgen D L. A classification of nature rivers[J]. Elsevier, 1994(22):169-199.

[8] 陈守煜. 工程模糊集理论与应用[M]. 北京:国防工业出版社,1998.

[9] 高永胜,王淑英. 双目标藕合不确定性模糊模式识别模型[J]. 水文,2006,26(1):34-37.

[10] 黄惟灏,韦肖杭,姚伟忠,等. 采砂业对渔业生态环境及资源的影响:西苕溪安吉段渔业资源调查[J]. 宁波大学学报:理工版,2002,15(3):28-32.

[11] 于兴修,杨贵山. 典型流域土地利用/覆被变化及对水质的影响:以太湖上游浙江西苕溪流域为例[J]. 长江流域资源与环境,2003,12(3):211-217.

[12] 李兆富,杨桂山,李恒鹏. 西苕溪典型小流域土地利用对氮素输出的影响[J]. 中国环境科学. 2005,25(6):678-681.