

大型水利工程环境影响评价指标体系及模糊综合评价 ——以巢湖“两河两站”工程为例

徐福留¹, 卢小燕¹, 周家贵², 曹军¹, 李本纲¹, 陶澍¹

(1. 北京大学 城市与环境系, 地表过程分析与模拟教育部重点实验室, 北京 100871; 2. 合肥市环境监测站, 安徽 合肥 230011)

摘要: 以巢湖“两河两站”工程为例, 探讨了水利工程环境影响评价指标体系及模糊综合评价方法。根据巢湖“两河两站”工程的位置、特点和区域环境条件分析了其可能产生的社会、经济及生态环境影响及其指标体系; 在此基础上, 利用现场调查、类比分析、专家咨询及层次分析法确定了主要影响因子; 最后以主要影响因子为因素集进行模糊聚类综合评价。

关键词: 水利工程; 环境影响评价; 指标体系; 层次分析; 模糊聚类分析

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2001)04-0010-05

中图分类号: S227.7

Indicators and Fuzzy Cluster Method for Comprehensive Environmental Impact Assessment of Large-scale Water Conservancy Engineering

XU Fu-liu¹, LU Xiao-yan¹, ZHOU Jia-gui², CAO Jun¹, LI Ben-gang¹, TAO Shu¹

(1. MOE Laboratory for Earth Surface Process and Department of Urban and Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871, PRC; 2. Hefei Environmental Monitoring Station, Hefei 230011, PRC)

Abstract: Taking “Two Rivers and Two Stations” engineering in the Chao Lake catchment as an example, the indicators and fuzzy cluster method for comprehensive environmental impact assessment of large-scale water conservancy engineering are discussed. The engineering effects to regional society, economy and environment were analyzed according to the engineering location and characteristics, and to regional environmental background. Based on these, main effect factors were determined through field investigation, analogical analysis, expert consultation and analytic hierarchy process. The comprehensive environmental impact assessment of the engineering was carried out by using fuzzy cluster analysis.

Keywords: water conservancy engineering; environmental impact assessment; indicator system; analytic hierarchy process; fuzzy cluster analysis

1 引言

水资源危机与需水量日益增加的矛盾是区域乃至全球可持续发展的最大障碍。为解决由于水资源时空分布不均导致的洪涝、干旱等灾害以及工农业生产 and 居民生活用水困难问题, 国内外都把修建水利工程(如水库、跨流域调水工程等)作为主要手段。然而, 修建大型水利工程必须同时考虑工程对环境的不利影响。这已成为越来越多的国家政府、水利工作者、生态环境学家及经济学家的共识。1969 年美国 EPA 首先提出了环境影响评价的概念和制度, 并要求凡是水利工程都要进行环境影响评价^[1]; 加拿大、日本、埃及等国家在 70—80 年代做出了出色的工作^[2-4]。我国亦十分重视水利工程环境影响评价工作。在 1979 年通过的《中华人民共和国环境保护法

(试行)》及《建设项目环境保护管理办法》中规定, 水利工程在可行性研究阶段必须进行环境影响评价; 1981 年制定了《关于水利工程环境影响评价的若干规定(建议稿)》; 1984 年完成并于 1989 年开始试行了《水利工程环境影响评价规范》^[6]。目前, 我国的水利工程都进行了不同程度的环境影响评价。

然而, 目前的水利工程环境影响评价, 无论在理论、方法还是在技术上, 都存在许多问题, 特别是综合评价的方法学尚未建立。鉴于水利工程环境影响指标的评价标准和环境影响程度的模糊性, 我们尝试性地将模糊数学方法应用于巢湖“两河两站”工程环境影响的综合评价。

2 巢湖“两河两站”工程环境影响评价

巢湖“两河两站”工程是牛屯河分洪道工程、西河

收稿日期: 2001-04-20

资助项目: 国家自然科学基金资助项目(39970121); 国家创新研究群体基金资助项目(40024101)

作者简介: 徐福留(1963—), 男(汉), 安徽临泉人, 北京大学城环系副教授, 留丹博士。主要从事生态模型、规划、环境评价及环境生物地球化学等方面的研究工作, 发表论文 40 余篇, 其中 SCI, EI 引文 10 余篇。电话(010) 62765103, E-mail: xuffl@urban.pku.edu.cn

小断面整治工程、凤凰颈排灌站工程及神塘河排灌站工程的简称,是由世行贷款的大型水资源综合开发项目。它的运行,不仅可大大提高流域的防洪除涝能力和保证 $2.67 \times 10^5 \text{ hm}^2$ 农田的灌溉用水(除涝保证率由不足 20%、灌溉保证率由不足 75%,皆提高到 90% 以上),而且对航运、水产、工矿及城市居民用水等都有直接或间接效益。同时,它对环境的不利影响取决于工程本身的特点以及区域环境条件。在确定环境影响评价指标时,应从分析工程可能产生的环境影响入手,进而利用现场调查、类比分析、专家咨询及定量计算等方法,对影响因子进行重要性判断,以确定主要影响因子。

2.1 工程环境影响分析

2.1.1 根据工程位置、环境条件分析可能产生的环境影响 (1) 凤凰颈排灌站座落在长江干流安徽铜陵段的刘渡镇江外滩环田洲,神塘河排灌站在安徽省无为县神塘乡下坝,这一带均是血吸虫病高发区;同时凤凰颈排灌站在施工过程中有 $4.0 \times 10^5 \text{ m}^3$ 疫源土被搬动。因此,从长远考虑,有可能引起钉螺蔓延扩散,影响人体健康。(2) 牛屯河分洪道是解决巢湖流域洪水自排出路的骨干工程,直接与长江沟通。而牛屯河流域在历史上亦为钉螺孳生地,血吸虫病流行区,今后与长江沟通,并建有船闸,船只往来频繁情况下,亦存在着增加钉螺蔓延、扩散的可能性。(3) “两河两站”工程在引江灌溉期间,源水取自长江。而长江水混浊,含沙率也高,对巢湖及各河道的泥沙淤积将产生影响。(4) 由于同样原因,河道水质混浊对该

区域的水产资源产生影响。

2.1.2 灌溉输水渠道及分洪道开挖的环境影响

(1) 牛屯河分洪道开挖,提高了巢湖排洪能力,堤防的加固抬高,提高了水位,在分洪情况下,对其下游土壤潜育化有影响。(2) 牛屯河分洪道开挖后,保持了稳定水位,兴建了船闸,因此对航运带来了有利影响。(3) 西河小断面整治、分洪道的开挖,为了利于分洪及堤防安全,普遍留有 10~15 m 宽的滩地,仅牛屯河的滩地总长就达 36.1 km。这些滩地的形成,为钉螺孳生、蔓延、扩散创造了条件。(4) 由于各水系互相串通,对水体中各种污染物质的扩散、稀释、迁移产生一定的影响。

2.1.3 河道裁弯取直对生态环境的影响

(1) 由于河道的裁弯取直工程,挖压土方而引起移民安置问题。(2) 由于河道裁弯取直,挖压土方,而造成一定面积的废弃河道,对流域地貌产生影响。(3) “两河两站”工程的兴建,将引起土地利用方面的一些变化。(4) 在原有水利设施基础上,“两河两站”工程及其配套设施,使具有天然河流特征的水文状态起了变化,引起了流速、流态及泥沙运行分布等将发生变化。

2.2 环境影响评价指标体系

根据上述分析,将工程对环境可能产生的影响进行分类、组合,可确定环境影响评价的指标体系(如图 1)。该指标体系可分为 4 个层次,第 1 层次为环境总体;第 2 层次为环境种类(自然环境、社会环境);第 3 层次为环境组成;第 4 层次为环境因子。在评价时,应以分析研究主要环境因子的变化为重点。

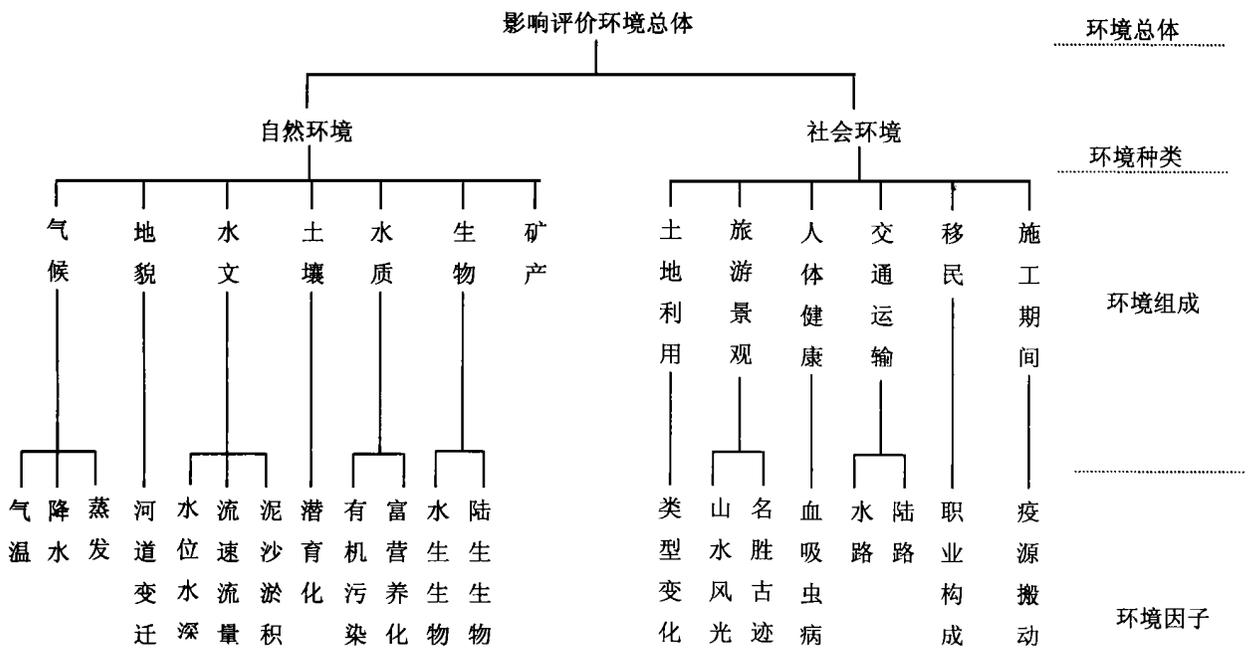


图 1 巢湖“两河两站”工程环境影响评价指标体系及其层次结构

2.3 主要影响指标及其权重的确定

根据上述指标体系,我们进行了类比调查、现场勘查和访问、专家咨询等工作,利用层次分析法^[8-9],通过定性排序和分层权重的定量计算,确定主要评价指标。

2.3.1 定性排序确定主要影响因子 按工程所在地及影响范围内普遍关心和敏感地区敏感程度来决定其排序先后,以第 3 层次和第 4 层次建立定性排序矩

阵。通过矩阵各因子(行与列)之间进行比较,各因子相互关系按调查、访问、专家意见进行判断,相对重要度较大的,以“1”表示;相对重要度较小的,则以“0”表示,最后获得比较得分;在此基础上,再进行行列比较,可得出各因子的比较得分(表 1)。

由表 1 可知,较重要的影响因子主要有血吸虫病、泥沙淤积、水质污染、土壤潜育化、水文情势及生物资源等,其它因子则相对次要。

表 1 定性排序矩阵及各因子比较得分

自然或社会因素	血吸虫病	泥沙淤积	水文情势	水质污染	土壤潜育化	河道变迁	局地气候	生物资源	交通运输	人文景观	施工阶段	移民	土地利用	矿产资源
血吸虫病	/	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0
泥沙淤积	0/1	/	0/1	0/1	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0
水文情势	0/1	0/1	/	0/1	0/1	0/1	1/0	0/1	0/1	0/1	1/0	0/1	0/1	1/0
水质污染	0/1	0/1	0/1	/	1/0	1/0	1/0	0/1	1/0	1/0	0/1	1/0	1/0	1/0
潜育化	0/1	0/1	0/1	0/1	/	1/0	1/0	0/1	1/0	1/0	0/1	1/0	1/0	1/0
河道变迁	0/1	0/1	1/0	0/1	0/1	/	1/0	0/1	0/1	0/1	1/0	1/0	1/0	1/0
局地气候	0/1	0/1	0/1	0/1	0/1	0/1	/	0/1	0/1	0/1	0/1	0/1	0/1	0/1
生物资源	0/1	0/1	0/1	0/1	0/1	1/0	1/0	/	0/1	0/1	1/0	1/0	0/1	1/0
交通运输	0/1	0/1	0/1	0/1	0/1	0/1	1/0	1/0	/	1/0	0/1	1/0	0/1	1/0
人文景观	0/1	0/1	1/0	0/1	0/1	0/1	1/0	1/0	0/1	/	0/1	1/0	1/0	1/0
施工阶段	0/1	0/1	1/0	0/1	0/1	0/1	1/0	0/1	0/1	0/1	/	1/0	0/1	1/0
移民	0/1	0/1	0/1	0/1	0/1	0/1	1/0	0/1	1/0	0/1	0/1	/	1/0	1/0
土地利用	0/1	0/1	0/1	0/1	0/1	0/1	1/0	0/1	0/1	0/1	0/1	1/0	/	1/0
矿产资源	0/1	0/1	0/1	0/1	0/1	0/1	1/0	0/1	0/1	0/1	0/1	0/1	0/1	/
比较得分	13	12	9	12	10	8	0	9	8	8	8	3	6	1

2.3.2 成对比较法计算因子相对权重 将经过定性排序矩阵筛选出的 6 个主要因子,按比较得分排列,将最次要因子作为基准因子,并且令基准因子的原始权数为 1,根据各因子之间的重要程度进行对比,求出其它因子的原始权数。为了使重要性有一定量度,赋予一定的相对倍率,取值在 1~ 10 范围内,最后进行因子的归一化权数计算(见表 2)。

表 2 归一化权数计算结果

自然或社会因素	比较得分	相对重要度 R	原始权数 K_i	归一化权数 S
血吸虫病	13	4.5	2 138.4	0.770 0
泥沙淤积	12	4.0	475.2	0.170 0
水质污染	12	4.0	118.8	0.043 0
潜育化	10	3.3	29.7	0.011 0
水文情势	9	3.0	9.0	0.003 2
生物资源	9	3.0	3.0	0.002 0
矿产资源	1		1.0	0.000 4
合计			2 775.1	1.000 0

3 工程环境影响模糊综合评价

模糊综合评价就是根据给定的评价标准,通过构

造隶属函数,计算隶属度,进行模糊变换,按最大隶属原则确定评价对象优劣等级的一种方法^[10]。

3.1 建立因素集和评价集

根据“两河两站”工程环境影响识别确定的重点环境因子,可建立评价因素集: $U = \{U_1, U_2, U_3, U_4, U_5\} = \{\text{钉螺扩散, 水质污染, 泥沙淤积, 水生资源, 土壤潜育化}\}$ 。

由于水利工程项目有多种影响因素,因而具有不同含义的评价等级标准。由每一种因素所有评价等级的全部标准组成评价集:

$$V = \{V_1, V_2, \dots, V_m\}$$

式中: m ——评价等级数目。

由于该工程的主要影响因子(钉螺扩散、泥沙淤积、土壤潜育化等)没有具体标准来衡量其对环境的影响程度。因此,本文乃以相对计量法来划分等级,对工程的有利影响与不利影响各划分为 5 个等级,其判别标准见表 3。从而可建立评价集:

$V = \{V_1, V_2, \dots, V_m\} = \{\text{极度敏感, 非常敏感, 中度敏感, 轻度敏感, 微弱敏感, 微弱有利, 轻度有利, 中等有利, 甚为有利, 特别有利}\}$ 。

表 3 评价等级判别标准

评价等级		判 别 标 准
不利影响 (按敏感度划分)	极度敏感	由于环境改变而引起某些环境因子无法替代、恢复与重建的损失。时间上表现为永久的、不可逆的。如:生物种群灭绝,资损的不能再生,对人体健康有致命的危害。
	非常敏感	由于环境改变而引起某些环境因子严重而长期的损害或损失,其替代、恢复与重建非常困难和代价高,时间上相当长。如:生物种类减少,资源不易得到再生,人体健康受到严重威胁。
	中度敏感	由于环境改变而引起某些环境因子的损害与破坏,其替代或恢复是可能的,但相当困难且要较高的代价,并需要较长的时间。如:生物资源原有的结构改变,人体健康受到影响。
	轻度敏感	由于环境改变而引起某些环境因子的轻微损失或暂时性破坏,其再生、恢复与重建可以实现,但需一定时间。
	微弱敏感	由于环境改变而引起某些环境因子暂时性破坏或受干扰,能较快地、自动地恢复或再生,或者其替代与重建比较容易实现。
有利影响	微弱有利	环境与生态虽产生良性循环,但环境质量仅有微小改观,仅产生很小的社会、经济、生态效益。
	轻度有利	环境与生态产生了良性循环,但环境质量改善不大,产生的社会经济、生态效益较小。
	中等有利	环境与生态产生了良性循环,使环境质量有一定改观,可产生一定的社会、经济、生态效益。
	甚为有利	环境与生态产生了良性循环,环境质量有较大改观,可产生较大的社会、经济、生态效益。
	特别有利	环境与生态产生了良性循环,环境质量大为改观,可产生巨大的社会、经济、生态效益。

3.2 确定隶属函数

隶属函数有多种确定方法,最常用的有:模糊统计试验法(包括相对频率法和隶属频率法)、二元对比排序法(包括相对比较法、对比平均法、优先关系定序法和择优比较法)、逐级估量法(即模糊集法)、隶属函数图表法(包括正态分布法和降半梯形分布法)及中值法等^[28]。

根据“两河两站”工程环境影响因素特征,本文采用模糊集法确定隶属函数。模糊集法又叫逐级估量

法,它首先要求给出若干等级,然后在全部等级上逐级估量。并以适当的自信度(0~10)表示,其主要步骤为:

- (1) 在给定的全部等级上作选择,以确定出最倾向属于的一个等级,并给出最高自信度;
- (2) 在给出的最高自信度等级的两边作对偶比较与估量,直至对全部等级都给出适当的自信度为止;
- (3) 将所得分数除以 10,则变换成在闭区间[0, 1]上取值的隶属度。各因素对评价等级的隶属度函数见表 4。

表 4 各因素对不同等级的隶属度

范围	因素 U_i	极端敏感	非常敏感	中度敏感	轻度敏感	微弱敏感	微弱有利	轻度有利	中等有利	甚为有利	特别有利
		V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7	V_8	V_9	V_{10}
巢湖	钉螺扩散 U_1	0.4	0.8	0.6	0.4	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	水质指染 U_2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.4	0.8	0.6	0.3
	泥沙淤积 U_3	0.3	0.6	0.8	0.4	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	水生资源 U_4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.3	0.4	0.8	0.6
	潜育化 U_5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.4	0.7	0.3	0.1
裕溪河	钉螺扩散 U_1	0.4	0.8	0.6	0.4	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	水质指染 U_2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.4	0.8	0.6	0.3
	泥沙淤积 U_3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.4	0.7	0.5	0.3
	水生资源 U_4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.4	0.8	0.6	0.3
	潜育化 U_5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.3	0.4	0.8	0.6
西河	钉螺扩散 U_1	0.6	0.9	0.4	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	水质指染 U_2	0.1	0.3	0.8	0.6	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	泥沙淤积 U_3	0.1	0.4	0.7	0.5	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	水生资源 U_4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.4	0.8	0.6	0.3
	潜育化 U_5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.4	0.8	0.6	0.3
牛屯河	钉螺扩散 U_1	0.1	0.2	0.4	0.8	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	水质指染 U_2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.6	0.8	0.4	0.2
	泥沙淤积 U_3	0.1	0.4	0.7	0.5	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	水生资源 U_4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.3	0.4	0.8	0.6
	潜育化 U_5	0.1	0.3	0.4	0.8	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

3.3 模糊关系矩阵

在建立因素集和评价集后,就可构造一种评判格局。然后通过隶属函数的转换,可得出模糊关系矩阵。设被评价因素 U_i 有 m 种等级,对第 j 种等级 V_j 二元组合 (U_i, V_j) 构成一种评判局势 $S_{ij} = \{U_i, V_j\}$ 。由评判局势的隶属度函数 $y_{ij} = \mu(U_i, V_j)$, ($0 \leq y_{ij} \leq 1$; $i = 1, 2, \dots, n$; $j = 1, 2, \dots, m$) 可构成模糊关系矩阵。

$$R = (y_{ij})_{nm} = \begin{pmatrix} y_{11} & y_{12} & \dots & y_{1m} \\ y_{21} & y_{22} & \dots & y_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ y_{n1} & y_{n2} & \dots & y_{nm} \end{pmatrix}$$

3.4 确定加权的模糊向量

由于各评判因素重要程度不同,必须赋予 U_i 一定的权值 A_i ($\sum A_i = 1$), 权值的分配是因素集上的

一个模糊子集 $\underline{A}: \underline{A} = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$ 。5 种主要评判因素的权值见表 2。

3.5 模糊变换(模糊综合评价)

模糊综合评价实际上是模糊变换问题,即已知输入 (\underline{A}) 和模糊变换器 (R), 求输出 (\underline{B}), 其原理为模糊线性加权变换模型。根据其模糊运算的不同,可分为 iv 型模糊评判和 \oplus 型模糊评判^[28]。I 型模糊评判采用“ \wedge, \vee ”(即取小,取大)运算,是一种“主要参数突出型”的综合评判,其评价结果较为粗糙;II 型模糊评判采用“ $\text{III}, +$ ”(即求积、加和)运算,是一种“加权平均型”的综合评判,其信息损失量少,评价精度较高。本文选用 II 型模糊评判,即:

$$\underline{B} = \underline{A}OR = \sum_{i=1}^n (A_i * \lambda_j) = (b_1, b_2, \dots, b_n)$$

巢湖“两河两站”工程环境影响 II 型模糊综合评价结果见表 5。

表 5 \oplus 型模糊综合评价结果

评 价 地 区	极端敏感 V_1	非常敏感 V_2	中度敏感 V_3	轻度敏感 V_4	微弱敏感 V_5	微弱有利 V_6	轻度有利 V_7	中等有利 V_8	甚为有利 V_9	特别有利 V_{10}
巢 湖	0.036	0.720	0.601	0.377	0.189	0.011	0.023	0.043	0.031	0.015
裕溪河	0.308	0.616	0.462	0.308	0.154	0.046	0.091	0.162	0.122	0.072
西 河	0.484	0.775	0.464	0.266	0.146	0.003	0.005	0.001	0.008	0.004
牛屯河	0.095	0.227	0.434	0.711	0.521	0.013	0.035	0.035	0.019	0.010

4 综合评价结论

由于工程兴建可能引起前述 5 个主要方面问题,从而影响到工程范围内的河流、湖泊及其流域。据表 5 数据,按最大隶属原则可以判断,巢湖、裕溪河、西河均属于非常敏感等级,尤其是西河,其敏感度高达 0.775,高于巢湖和裕溪河;相对来说,经过整治后的牛屯河敏感度较低,属轻度敏感等级。西河河道原来是和长江相平行的,为了解决洪水出路,排除西河内涝以及解决灌溉用水问题,通过风、神两站的西河侧引河而与长江沟通,因而成为钉螺扩散通道和泥沙输入的必由之路,西河流域首当其冲,继而扩展至巢湖、裕溪河。由此可知,西河是防止钉螺扩散,减轻泥沙淤积,改善水环境质量的重点设防区域。

[参 考 文 献]

[1] 方子云. 关于水资源工程环境影响评价的国外动态[J]. 水资源保护, 1989(1): 17—23.

[2] 洪一平. 加拿大水利工程环境影响评价[J]. 水资源保护, 1989(4): 57—60.

[3] 吴国昌编译. 日本水资源开发利用与保护[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1991.

[4] Mahmoud Abu Zeid. Water Resources Development[J]. 1989(3): 145—157.

[5] 段开甲. 编制《水利水电工程环境影响评价规范》的体会[J]. 水利水电环境, 1989(2): 1—4.

[6] 中国科学院三峡工程生态与环境科研项目领导小组. 三峡工程对生态与环境的影响及对策研究[M]. 北京: 科学出版社, 1988.

[7] 汪达. 论国外跨流域调水工程对生态环境的影响与发展趋势——兼谈对我国南水北调规划的思考[J]. 环境科学动态, 1999(3): 28—33.

[8] Seaty T L. The Analytical Hierarchy[M]. New York: McGraw-Hill Inc. 1980.

[9] 赵焕臣. 层次分析法——一种简易的新决策方法[M]. 北京, 科学出版社, 1986.

[10] 付雁鹏. 模糊数学在水质评价中的应用[M]. 武汉: 华中工学院出版社, 1986.