

DOI :10.3969/j.issn.1004-6933.2011.05.016

引水济湖工程措施的生态环境影响评价方法

李 兰,马凤友,周文财,杨梦斐

(武汉大学水文及水资源系 湖北 武汉 430072)

摘要 在湖泊引水方案和二维环境流体动力学模型影响预测计算结果的基础上,提出引水后湖泊环境生态影响预测评价方法:①从湖泊水景的自然度、自净(健康)度、景观度、亲水度、连通度 5 个方面,构造了引江济湖工程对湖泊生态-环境-景观综合影响指数评价法;②从水环境质量、生物多样性、防洪排涝、景观生态结构等方面应用质量指标法进行工程对湖泊健康综合影响评价。实例应用表明,两种评价方法可以对湖泊引水影响效果进行科学评价,结论也比较一致,为正确实施引水济湖方案提供了科学评估方法和依据。

关键词 引江济湖;富营养化;环境生态评价;景观生态结构;水资源承载力

中图分类号 X26 **文献标识码** A **文章编号** 1004-6933(2011)05-0070-05

Research on methods for ecological environmental impact assessment of water diversion from river to lake

LI Lan , MA Feng-you , ZHOU Wen-cai , YANG Meng-fei

(Department of Hydrology and Water Resources , Wuhan University , Wuhan 430072 , China)

Abstract :Based on the water diversion schemes and the calculated results of the two-dimensional environmental fluid dynamics model , two methods are proposed to predict and evaluate the impact of a water diversion on the lake ecological environment . One method is constructing an integrated impact index to evaluate the impact of the water diversion project on the ecology , environment and landscape of lakes in terms of naturalness , self-purification (health) level , landscape , hydrophilic level , and connectivity . The other one is using the quality index method to evaluate the integrated impact of the project on lake health in terms of water environmental quality , biodiversity , flood control and drainage , and ecological landscape structure . The case study shows that the two methods can scientifically evaluate the effect of the water diversion project , and the results of the two methods are quite consistent , which provide scientific assessment methods and a basis for the proper implementation of the lake diversion project .

Key words :water diversion from river to lake ; eutrophication ; ecological environmental evaluation ; ecological landscape structure ; water resources carrying capacity

我国水域普遍受到各种污染,其中以有机污染为主,湖泊因其相对静止,水流流速低,加上水体营养过剩所引起的富营养化成为突出的环境问题。目前水污染治理所采用的各种物理、化学、生物方法都具有成本高、治理难度大、治理效果不显著的特点。尽管引水济湖过度会导致污染物转移,但因其成本低、治理效果显著,仍成为各地湖泊水体治理的首选

方法。处于良好健康状况下的湖泊环境生态系统不仅能保持化学、物理以及生物完整性,还应该能维持其对人类社会提供的各种服务功能。因此,有必要对湖泊引水济湖工程对生态环境影响进行预测和评估。

目前,随着我国引水济湖及类似工程措施的规划和实施,相关研究也得以开展。梁斌等^[1]以太湖流域“引江济太”工程为背景,在分析河网水体稀释

作者简介:李兰(1956—),女,湖北仙桃人,教授,从事水文水资源及生态环境研究。E-mail: lilan@whu.edu.cn

容量和自净容量的基础上,探讨河网水系污染物稀释扩散和截留净化规律,建立河网稀释净污需水量的计算模式,给出引水总量和流量确定的方法。陈静²在2002—2003年两年引江济太调水试验的基础上,以减少流域水资源供需缺口为原则,进行了引江济太水量水质联合调度的研究。吴时强等³借助二维水水质数学模型,在对多种影响因素进行方案组合并进行改善效果数值模拟的基础上,通过敏感性分析,筛选出了风向和风速两个关键风险因子,对引江济太措施对太湖西北部湖区污水滞留和转移风险进行了评估。华祖林等⁴以浅水湖泊引清调水改善水质的目的为基础,结合生态水力学要求,兼考虑经济性因子,尝试性地建立了浅水湖泊调水方案评价指标体系。伍静静等⁵采用引水换水方案,通过对湖北黄石磁湖水和长江水的水质监测,在实验室条件下,采用静态浸泡实验,模拟换水工程,测定水质基本指标的变化情况,探讨了引江入湖修复城市内湖生态环境方案的可行性。由此可见,在结合工程实际对引水济湖改善水环境条件方面的研究已经取得了一定成果,但对工程措施生态环境影响的预测和评估研究还很缺乏。

笔者以东湖为例,针对两套引水济湖工程方案进行二维水质影响预测,对东湖现状和工程实施后开展了环境-生物-景观生态单因子现状评价和影响预测评价,从两种途径开展了湖泊健康综合影响预测评价研究。

1 引水济湖工程方案的二维水质影响预测

考虑投资相对节省,以及与武汉市总体规划相一致,并且有助于促进该地区的发展等因素,方案一选取路线为:罗家路闸—谢巴湖—东湖—严西湖—北湖—北湖闸。如图1所示,方案一具体的引江济湖、排水入长江的路线是:①从罗家路闸引长江水;②引入长江水从和平港灌入谢巴湖、东湖;③东湖水自排入严西湖、北湖;④严西湖、北湖之水可通过北湖闸或北湖泵站再排回到长江。

这样可以实现江水—湖水—江水的连通。如图2所示,方案二的引水线路是长江—新建引水闸门—沙湖—东湖—汤菱湖—青山港—武丰闸。

为了预测东湖引江济湖的水量水质变化过程和流场、浓度场分布,需要根据水环境动力学模型和污染源、湖泊水量水质实测资料对东湖现状水量水质进行模拟计算和优选参数。笔者将美国EPA(环境保护局)首推的三维平面EFDC和WASP7.2环境流

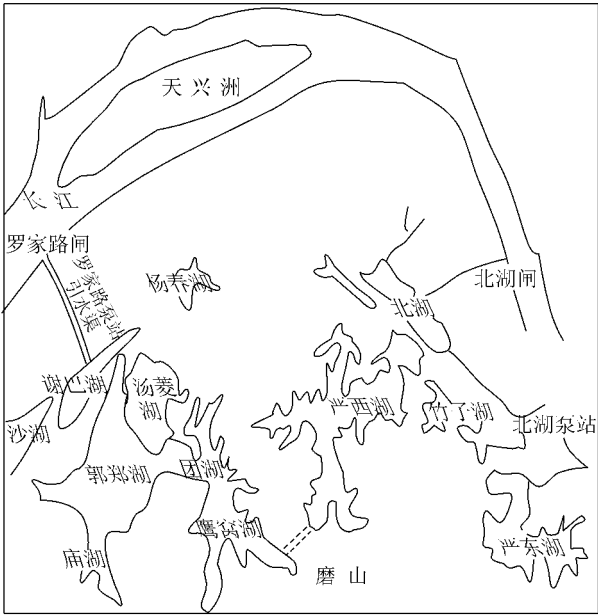


图1 方案一引水路线示意图

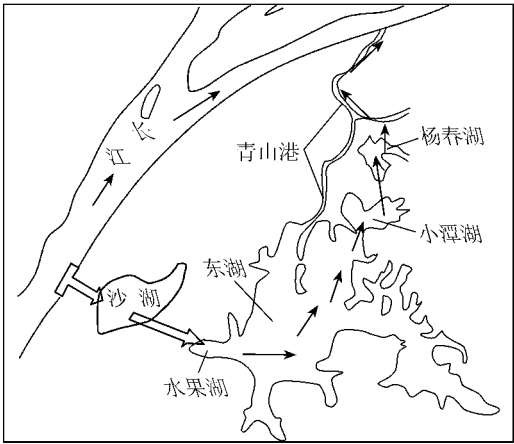


图2 方案二引水路线示意图

体动力学数值耦合模型^[6-8]应用于武汉市东湖水体引水济湖工程影响预测研究,依据所观测的数据对模型进行了验证,并率定了相关参数。利用该模型模拟预测了两套不同引江济湖方案净化水质的效果^[9](东湖各子湖水水质预测结果见表1和表2),结果显示,在设计典型长江水质的情况下,工程对改善东湖的水质有非常明显的作用。

方案一实施以后,溶解氧恢复效果最好的是庙湖、郭郑湖,水果湖最差。总磷和总氮去除效果最好的是庙湖和水果湖。水果湖的溶解氧浓度恢复效果较差,原因是水果湖位于水流线路的边缘,且与东湖连通性差,引入水量能够流到此处的很少,水流掺混作用相对弱。临近取水口的庙湖、郭郑湖,却由于水体的搅动掺混,溶解氧质量浓度上升的幅度比较大。

方案二实施以后,除水果湖外,溶解氧质量浓度普遍升高。总磷整体水平改变较大,引入长江水中的质量浓度仅为0.087 mg/L,除汤菱湖外,东湖总磷

表 1 方案一各指标模拟对照

湖 区	$\rho(\text{DO})(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$		升高率/%	$\rho(\text{TP})(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$		降低率/%	$\rho(\text{TN})(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$		降低率/%
	工程前	工程后		工程前	工程后		工程前	工程后	
庙湖	4.2	5.812	38.381	0.968	0.312	67.769	3.88	2.696	30.515
水果湖	10.1	5.576	-44.792	0.106	0.078	26.415	1.17	0.567	51.538
后湖	7.7	7.671	-0.377	0.087	0.095	-9.195	0.65	1.188	-82.769
郭郑湖	6.8	8.263	21.515	0.102	0.138	-35.294	0.97	1.400	-44.330
汤菱湖	8.0	7.688	-3.90	0.048	0.085	-77.083	0.95	0.922	2.947

表 2 方案二各指标模拟对照

湖 区	$\rho(\text{DO})(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$		升高率/%	$\rho(\text{TP})(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$		降低率/%	$\rho(\text{TN})(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$		降低率/%
	工程前	工程后		工程前	工程后		工程前	工程后	
庙湖	4.2	5.516	31.333	0.968	0.784	19.008	3.88	3.341	13.892
水果湖	10.1	9.421	-6.723	0.106	0.101	4.717	1.17	1.150	1.709
后湖	7.7	8.214	6.675	0.087	0.087	0	0.65	0.750	-15.385
郭郑湖	6.8	7.256	6.706	0.102	0.092	9.804	0.97	1.253	-29.175
汤菱湖	8.0	9.540	19.250	0.048	0.068	-41.667	0.95	1.020	-7.368

质量浓度下降了 4.717%~19.008% ,对总氮净化效果不明显 ,仅庙湖下降 13.892%。各湖区变化较大的是庙湖 ,总磷质量浓度降了 19% 左右 ,总氮质量浓度下降了 13.892% 左右。而长江水中的总氮质量浓度为 1.12 mg/L ,远高于 III 类水的标准值。整体来看 ,在引江济湖后 ,水质改善效果明显 ,但由于长江总氮含量较高 ,使得郭郑湖、后湖和汤菱湖的总氮质量浓度略有上升。

从上面预测结果来看 ,引江济湖效果与引水水量、水质、流路、地形和位置有关 ,并不是所有地方效果都好 ,方案一比方案二去除氮磷效果更好。

2 水环境生态影响评价

水环境评价主要包括有机污染评价和富营养化评价 ,有机污染评价采用了内梅罗指数法 ,构建了湖泊富营养化评价方法。在分项评价基础上提出了两套引水济湖工程对环境生态影响预测评价方法。

2.1 有机物评价

东湖有机污染采用内梅罗指数法^[10]进行评价 ,评价指标选择 BOD₅ 和 DO ,评价结果见表 3。

表 3 东湖治理前后内梅罗指数

项目	标准值 C_{ij}	工程前		方案一		方案二	
		实测值 C_j	C_j/C_{ij}	模拟值 C_j	C_j/C_{ij}	模拟值 C_j	C_j/C_{ij}
DO	5	7.36	1.840	7.650	1.923	8.230	1.771
BOD ₅	4	6.50	2.054	1.695	0.857	1.663	1.083
内梅罗指数		2.001		1.902		1.608	

由表 3 可知 ,实施引江济湖工程后的内梅罗指数低于工程实施前的值 ,说明该工程能够改善东湖水质 ,且方案二优于方案一。

2.2 富营养化评价

东湖富营养化评价水质因子选择 BOD₅、DO、

TP、TN、Chl-a 5 个指标 ,根据层次分析法确定其权重 ,计算权重时构造的判断矩阵见表 4。

表 4 东湖各水质因子的判断矩阵

	BOD ₅	DO	TP	TN	Chl-a
BOD ₅	1	1	5	5	1
DO	1	1	5	5	1
TP	1/5	1/5	1	1	1
TN	1/5	1/5	1	1	1
Chl-a	1	1	1	1	1

由层次分析法^[11]计算得到各水质因子权重为 : BOD₅ 0.312 ;DO 0.312 ;TP 0.094 ;TN 0.094 ;Chl-a 0.188。

表 5 东湖治理前后富营养化评价

项目	$\rho(\text{TN})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\rho(\text{TP})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\rho(\text{BOD}_5)/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\rho(\text{DO})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\rho(\text{Chl-a})/(\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1})$	评分
本底 实测值	1.52	0.262	7.36	6.5	34	5.26
值 评分值	10	10	7.2	0	6.01	
方案 预测值	0.978	0.12	1.695	7.65	24.8	3.73
一 评分值	9.8	10	2.7	0	5.48	
方案 预测值	1.093	0.119	1.663	8.23	26.1	3.67
二 评分值	10	10	2.4	0	5.57	

依据计算结果 ,参照评价标准 ,可知东湖富营养化现状为中营养(后期) ,而实施引江济湖以后其水质得到了改善 ,为中营养(前期)。

2.3 水生物多样性评价

主要采用 Shannon 指数^[12]评价东湖水体生物多样性。东湖水体主要生物种类如下 :

浮游植物 :全湖共检出 36 属 ,平均值为 7.25×10^6 个/L ,最大值为 10.3×10^6 个/L ,出现在庙湖 ,蓝藻及绿藻占优。庙湖裸藻量大 ,表明该湖处于极富营养状态。重富营养的其他指示种类还有 颤藻、平裂藻、栅藻、小环藻、衣藻等 ,在庙湖也占较大数量。

浮游动物 :全湖共检出 28 属 ,平均密度为 7.52

× 10³ 个/L ,最大值为 10 × 10³ 个/L ,出现在水果湖。浮游动物中的原生动物在数量上占优势 ,其次为轮虫 ,原生动物中异养型(腐生类)比例大 ,反映东湖水体富营养化程度高。

粪大肠菌群 :粪大肠菌群检出率为 100% ,均值为 3.69 万个/L ,最大值为 17 万个/L ,出现在庙湖。

根据长江水体浮游植物、浮游动物、粪大肠菌群等生物量与东湖相关生物量本底值 ,考虑引水量后 ,得到东湖引江济湖工程实施后的上述各项生物量 ,分别列入表 6。

表 6 水生生物含量

分 类	浮游植物/ (万个·L ⁻¹)	浮游动物/ (万个·L ⁻¹)	粪大肠菌群/ (万个·L ⁻¹)
东湖本底值	725.0	0.75	3.69
长江生物量	64.4	28.60	1.00
引江济湖工程实施后	549.2	0.63	2.97

东湖水体生物多样性 Shannon 指数计算结果见表 7。

表 7 工程实施前后 Shannon 指数计算

分 类	浮游植物	浮游动物	粪大肠菌群	Shannon 指数
工程实施前	- 0.009	- 9.926	- 7.627	0.057
工程实施后	- 0.009	- 9.777	- 7.540	0.061

由表 7 显示 ,工程实施后 Shannon 指数大于工程实施前 Shannon 指数 ,可以判断引江济湖工程实施以后 ,东湖生物多样性明显增加。

2.4 水景观对比分析

基于斑块、廊道与基质三类景观要素 ,定量评价东湖引水灌湖工程实施前后的湖泊景观生态系统结构和景观生态多样性。

方案一中增加了两个廊道 ,即连接谢巴湖和罗家路闸的渠道和后湖与严西湖的渠道 ,还增加了 3 个湖泊斑块 ,即严西湖、严东湖和北湖。方案二中增加了 3 个人工廊道 ,即连通沙湖与长江的渠道、连通沙湖与水果湖的渠道和连接青山港与长江的渠系 ,还增加 1 处湖泊斑块 ,即沙湖。计算得到两套方案实施前后的东湖水景观指标见表 8。

表 8 水景观指标方案对照

分类	岸线 长/km	面积/ m ²	斑块 形状	圆度	紧密度	景观形 状指数	丰富 度
实施前	142.37	4088.21	0.444	0.807	1.592	557	1
方案一	277.20	6717.40	0.675	0.350	1.048	846	3
方案二	152.14	4407.87	0.457	0.762	1.547	573	3

表 8 数据显示 ,连通东湖和严西湖以后其面积较工程前增加了近 1.5 倍 ,增加了水面的景观效果和与大气接触面 ,有利于水体复氧。两方案斑块形状系数比方案实施前均有所增加 ,方案一的最好 ,达到 0.675。斑块形状系数能够增加生境斑块之间的

物质、能量交换 ,强化和缓冲生境斑块的“ 岛屿化” 效应。湖泊江水连通以后 ,景观紧密度在方案一中却有所下降 ,而方案二与方案前差别较小 ,说明景观面积的增大没有增加其景观密度。方案一的圆度小于方案前和方案二 ,仅为 0.350 ,说明其斑块形状破碎度变大 ,生态系统受外界的干扰会加重。方案一由于连接了长江和严西湖、严东湖、北湖 ,其景观形状较不规则 ,所以该方案的景观形状指数值达 846 ,方案一实施前仅为 557 ,说明方案一实施后生态系统与外界交互作用增强。两方案涉及五大斑块 :长江、东湖、沙湖和严西湖与北湖 ,由于各湖泊的景观相似性很强 ,两方案实施前后 ,丰富度值均增加了 2 ,笔者只考虑了水体斑块类型。

从上面计算各指标可知 ,引江济湖工程实施后 ,东湖水体景观生态结构更加丰富 ,景观生态系统多样性有所增强。

2.5 防洪排涝评价

实施引江济湖前 ,其东湖周边的排泄闸门主要是武丰闸、青山港和罗家路闸 ,其设计过流能力分别为 20 m³/s、20 m³/s 和 21.72 m³/s ,总过水能力为 52.72 m³/s。方案一实施以后其排水能力将提高 20 m³/s ,其排水能力将提高 38%。方案二实施以后 ,东湖水将通过严西湖和北湖 ,经由北湖闸和北湖泵站排出 ,北湖闸和北湖泵站两处的设计排水能力分别为 30 m³/s和 64 m³/s ,方案二排水能力为 147 m³/s。

2.6 综合健康评价

笔者提出两种湖泊健康综合评价方法。一种途径是从湖泊水景的自然度、自净(健康)度、景观度、亲水度、连通度 5 个方面 ,构造了湖泊生态-环境-景观综合指数评价法。另一种途径是从水环境质量、生物多样性、景观生态结构等方面应用质量指标法进行了湖泊健康综合评价。通过层次分析法计算景观生态因子。

2.6.1 湖泊健康质量综合指数评价

湖泊水景的自然度、自净(健康)度、景观度、亲水度、连通度是反映湖泊健康程度的 5 个重要指标 ,根据第 3 节构造的湖泊生态-环境-景观综合指数评价法评价东湖引江济湖工程实施后对湖泊健康的影响。景观生态因子的判断矩阵构造见表 9 ,应用层

表 9 景观生态因子的判断矩阵

	自然度	自净度	景观度	亲水度	连通度
自然度	1	1	5	7	3
自净度	1	1	5	7	3
景观度	1/5	1/5	1	3	1/3
亲水度	1/7	1/7	1/3	1	1/7
连通度	1/3	1/3	3	7	1

次分析法计算自然度、自净(健康)度、景观度、亲水度、连通度对湖泊健康的贡献大小。

应用层次分析法计算各指标的权重值分别为：自然度 0.356 ;自净度 0.356 ;景观度 0.075 ;亲水度 0.038 ;连通度 0.175。工程实施前后的生态-环境-景观综合指数计算结果见表 10。

表 10 工程前后景观生态对比

分类	自然度	自净度	景观度	亲水度	连通度	综合指数
工程前	10	4	9	7	3	6.45
方案一	10	8	9.5	9	7	8.69
方案二	10	6	9.2	9	8.5	8.22

工程实施后加大了湖区水流的流速,从而提高了湖泊自身的净化能力,连通度显示了湖泊与长江连通效果,工程的实施必将提高水体交换频率和效率。经计算,方案实施以后景观生态效果也有所上升。根据构造的判断准则,工程实施后,自然度、景观度均达到良好状况,亲水度与工程前相当,处于较好程度。自净度效果增加 1 倍,从较差变为较好程度,连通度效果增加 1 倍,从差—较差之间变为中—较好状态,综合指数也上升到良好。

笔者提出东湖水景/生态评价等级按生态评价综合指数,见表 11。

表 11 湖泊水景生态综合评价等级

等级分值	差	较差	中	良	优
分值	[0,2]	[2,4]	[4,6]	[6,8]	[8,10]

东湖水景/生态评价现状综合指数为 6.45,位于中等水平,方案一综合指数为 8.69,方案二综合指数为 8.22,东湖健康水平已经达到良好状态。

2.6.2 湖泊健康质量指标综合评价

笔者通过对东湖水体的富营养状况、水生态、水景观、防洪排涝、换水效果进行分析,从而判断东湖的生态健康状态。对应于这 5 个评价指标,提出 5 个评价指数,即富营养指数、生态指数、景观形态指数、防洪排涝指数及换水指数,运用层次分析法确定其各个指标的权重,最终确定东湖的健康状况。

经过层次分析法计算,水环境质量、防洪排涝、生物多样性、景观生态在东湖健康的权重值分别为 0.3、0.3、0.2、0.2。两方案所计算的各要素质量指数和对东湖健康综合影响指标见表 12。

表 12 东湖综合健康影响评价质量指标分值

质量指标	水环境质量	防洪排涝	生物多样性	景观生态	综合健康影响指标
方案一	0.92	0.48	0.06	0.87	0.606
方案二	0.91	0.98	0.06	0.66	0.711

将湖泊综合健康影响评价质量指标依据表 13 进行评价等级划分。

表 13 评价分值与等级对应关系表

分值	1.0~0.8	0.8~0.6	0.6~0.4	0.4~0.2	0.2~0.0
等级	优	良	中	较差	差

东湖引江济湖工程方案一实施后对东湖综合健康影响评价质量指标值为 0.606 ;方案二为 0.711 ;可知引江济湖工程方案二比方案一对东湖整体的健康状况好的影响要多一些。其中 ①水环境质量 :方案一为 0.92 ,方案二为 0.91 均处于优等状态(按 III 类水标准),方案一稀释效果胜过方案二 ;②防洪排涝 :因方案二排泄能力比方案一增加 74 m³/s ,所以方案二的防洪排涝质量指标比方案一要高 1 倍多,方案二的防洪排涝质量达到优等,方案一仅为中等水平 ;③生物多样性 :两个方案因引水流量和生物量相等,因此影响评价质量指标值相同,比较差 ;④景观生态结构指标 :方案一为 0.87 ,方案二为 0.66 ,前者为优级,后者处于良好级别,方案一景观生态效果比方案二高 1/4。

根据表 12 湖泊综合健康影响评价质量指标法计算的东湖健康影响综合指数和表 13 列出的评分值与等级对应关系标准,方案一质量指标综合指数为 0.606 ,方案二为 0.711 ,说明两套引江济湖工程方案实施后,东湖将处于良好健康状况。

3 结 论

从湖泊健康综合评价结论来看,方案二质量指标综合指数均高于方案一,推荐方案二为首选方案。两套湖泊综合健康影响评价方法从不同侧面构造了评价指标体系,计算方法完全不同,所得结论有互补性,并且所得湖泊健康评价结论一致,说明提出的评估方法能够对引江济湖工程方案进行科学评估。

参考文献：

[1] 梁斌,王超,王沛芳.“引江济太”工程背景下河网稀释净污需水计算及其应用[J].河海大学学报:自然科学版,2004,33(1):32-37.

[2] 陈静.引江济太水量水质联合调度研究[D].南京:河海大学,2005.

[3] 吴时强,范子武,周杰,等.引江济太措施对太湖西北部湖区污水滞留和转移风险评估[J].水利水运工程学报,2009(2):1-6.

[4] 华祖林,顾莉,薛欢,等.基于改善水质的浅水湖泊引调水模式的评价指标[J].湖泊科学,2008,20(5):623-629.

[5] 伍静静,李登新,郑志雄,等.引江人湖修复城市内湖方案的初步探索[J].环境科学与技术,2010,33(9):108-112.

[6] 陈美丹,姚琪,徐爱兰.WASP 水质模型及其研究进展[J].水利科技与经济,2006,12(7):420-426.

(下转第 77 页)

主要包括 增殖放流对象的确定、亲鱼数量的确定、增殖放流的数量和规格、工艺流程设计、增殖放流地点的确定等。目前,人工增殖措施在水电工程建设中采用较多,建成并运行的有索风营鱼类增殖放流站、向家坝鱼类增殖放流站、思林鱼类增殖放流站、功果桥鱼类增殖放流站等,在鱼类保护中起到重要的作用。人工增殖放流措施也可以用来解决鱼类洄游的问题。哥伦比亚河上的大坝保护洄游性鱼类的措施就是建造孵化场所;1980年,我国为解决葛洲坝对中华鲟等珍稀鱼类洄游的影响,采用了人工增殖放流的方法。

2.3 栖息地保护

水库形成后,坝上蓄水对栖息地造成大面积淹没,坝下水文情势改变导致栖息地面积减少,可通过2种方式保护鱼类的栖息地:①通过保护支流的流水生境保护鱼类的栖息地。选几条具有代表性的支流作为保护区,保护受影响的鱼类,从而减缓工程对鱼类的影响。②人工再造适宜栖息地。通过生态水文学计算,将鱼类“适宜生境”量化为水文、水温等数值,并根据这些数据优化规划方案、调整设计参数和运行方式,以达到人工再造适宜栖息地。

2.4 减轻对鱼类产卵的影响

为减少对下游鱼类产卵的影响,国内外采用的措施主要是改进水库调度,模拟建坝前的水文条件。减轻对下游鱼类产卵的影响,南非潘勾拉水库多次进行人造洪峰试验,得出保证下游鱼类产量条件的洪峰流量及其适宜时间等参数^[9];自1959年起伏尔加河上的伏尔加格勒坝,每年春季模拟春汛向大坝下游进行专门放水,以确保鱼类产卵场的淹没^[10];美国垦务局也正准备修改弗莱明大坝的洪峰流量、历时、水温以及基流等标准,以帮助恢复科罗拉多河濒危鱼类。

2.5 减轻下泄水温的影响

国外经验证明,分层取水是解决分层型水库下泄水温的有效措施。不同的引水方式组合,如底层取水、表层取水、中下层组合取水、中层取水等系应根据不同鱼类的洄游时间、产卵和孵化条件要求,因时因地制宜地选取,以控制或改善泄水水温,这种多层引水口结构已为美国许多枢纽工程所采用。如阿肯色河普韦布洛坝设可自由控制泄水的4个不同高程的泄洪孔,加利福尼亚州福尔索姆坝泄水孔在拦污栅上游装有许多活动翻板门,操纵活动门可以从所要求的高程取水。

3 结 语

水利水电工程建设对鱼类影响是多方面的,人

们对其认识在不断加深,所采用的保护措施也不断进行深入研究。由于各流域特征不同,各工程所处位置的不同,以及各河流鱼类种类的差别,工程对鱼类的影响方面也存在着差别,因此,在采取保护措施方面,要根据具体的实际情况,有针对性地选择,方能更有效地保护河流中的鱼类。

参考文献:

[1] 贾敬德. 长江水资源开发的冷思考[J]. 淡水渔业, 2005, 35(5): 62-64.
[2] 高玉玲, 连煜, 朱铁群. 关于黄河鱼类资源保护的思考[J]. 人民黄河, 2004, 26(10): 12-14.
[3] 曾祥胜. 人为调节涨水过程促使家鱼自然繁殖的探讨[J]. 生态学杂志, 1990, 9(4): 20-23.
[4] PETTIS G E. AMOROS C. Fluvial hydrosystem[M]. London: Chapman & Hall Ltd, 1998.
[5] CARLE D N. Restore the endangered wild atlantic salmon[J]. The North Woods, 1994(1): 55-62.
[6] BILLEN G. Atlantic river system of Europe[C]//CUSHING C E. River and Stream Ecosystem. Amsterdam: Elsevier, 1995: 35-65.
[7] 谭德彩. 三峡工程致气体过饱和对鱼类致死效应的研究[D]. 重庆: 西南大学, 2006.
[8] DRAKE D. Multivariate analysis of fish and environmental factors in the grande ronde basin of northeastern oregon[R]. Portland, OR: Oregon Department of Environmental Quality, Biomonitoring Section, 1999.
[9] 方子云. 用科学发展观研究水库和水资源调度问题[J]. 水利水电快报, 2004, 25(11): 1-5.
[10] 沃罗伯耶夫. 伏尔加河下游有利于生态的春季放水可行性研究[J]. 容致旋, 译. 水利水电快报, 1995, 16(5): 5-8.
(收稿日期 2011-02-10 编辑 高渭文)

(上接第74页)

[7] 李兰, 武见. 梯级水库三维环境流体动力学数值预测和水温分层与累积影响规律研究[J]. 水动力学研究与进展: A辑, 2010, 25(2): 155-164.
[8] 李兰. 水电站群水资源与生态联合调控研究[C]//中国水资源与水环境挑战论文集. 香港: 香港环境科学出版社, 2009.
[9] 马凤有. 城市湖泊引江治理水环境生态评价研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2007.
[10] 王华东, 周虹, 陈纯, 等. 环境质量评价[M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1991: 89-92.
[11] 叶守泽. 水利水电工程环境评价[M]. 北京: 水利电力出版社, 1995: 20-27.
[12] 孙军, 刘东艳. 多样性指数在海洋浮游植物研究中的应用[J]. 海洋学报, 2004, 26(1): 62-73.
(收稿日期 2011-06-08 编辑 高渭文)