

长江口河段水环境现状分析

李伯昌 施慧燕

(长江水利委员会长江口水文水资源勘测局 江苏 太仓 215431)

摘要 :以 2002 年 9 月底长江口综合整治开发规划水文、水质原型观测资料为依据 ,运用 W 值法分析评价长江口河段水质污染现状及其空间分布特征。监测结果表明 ,长江口河段总体水质属Ⅲ类 ,个别断面达到了Ⅳ类和Ⅴ类 ,有多项水质指标出现超标。主要污染因子为 TN、COD_{Mn}、总铅、氯离子和石油类等。长江口北支水质劣于南支、北港和南港 ,南支南岸水质劣于北岸 ,城市江段水质劣于非城市江段 ,低平潮期水质劣于高平潮期 ,浅水区水质劣于深泓区 ,下游水质劣于上游。影响长江口河段水质的污染物既有无机物又有有机物 ,污染源既有生活污染源又有工业污染源 ,既有固定源又有流动源 ,既有点源又有面源 ,既有随径流流入的又有随潮流带入的。

关键词 水质评价 ;W 值法 ;水环境 ;长江口河段

中图分类号 :X824 文献标识码 :A 文章编号 :1004-693X(2005)01-0039-06

Analysis on the present situation of water environment in the Changjiang estuary

LI Bo-chang , SHI Hui-yan

(Survey Bureau of Hydrology & Water Resources of Changjiang Estuary , Changjiang Water Resources Commission , Taicang 215431 , China)

Abstract :The present situation and distribution characteristics of water quality in the Changjiang estuary is analyzed using the W value method , according to the hydrological and water quality data measured during the comprehensive harnessment and development plan of the Changjiang estuary at the end of 2002. It shows that the water quality of the Changjiang estuary generally reaches the third water quality standard , while the water quality in some specific sections is in the fourth or fifth water quality standard. Quite a few water quality parameters are above the standard in various degrees. The main pollutants are TN , COD_{Mn} , total lead , chlorine ion , oil , and so on. It also indicates that the water quality of the northern branch is worse than that of the southern branch , northern harbor and southern harbor , and the water quality of the southern bank of the southern branch is worse than that of the northern bank. The water quality of sections in urban areas is worse than that in rural areas. The water quality seems better in high-tide period than in low-tide period , in riffles than in pools , and upstream than downstream. The pollutants affecting the water quality include organic and inorganic matter. The pollution sources include domestic ones and industrial ones , static ones and mobile ones , and pointed ones and non-pointed ones. The pollutants can be taken into the estuary along with the runoff or tidal flows.

Key words :water quality evaluation ; W value method ; water environment ; Changjiang estuary

1 区域概况

1.1 自然地理概况

长江口河段通常是指徐六泾至吴淞口 50 号标段 ,流经江苏省常熟、太仓、通洲、海门、启东及上海市 ,长约 181.8 km。

长江口河段是平面呈扇形分汊淤积河型。20 世纪 60 ~ 70 年代 ,经人工围垦后 ,徐六泾河宽缩窄至 5.7 km ,河口口门(苏北的启东嘴—上海南汇嘴)宽 90 km。徐六泾以下崇明岛将长江分为南支和北支 ,南支在吴淞口以下又被长兴岛、横沙岛分为南港

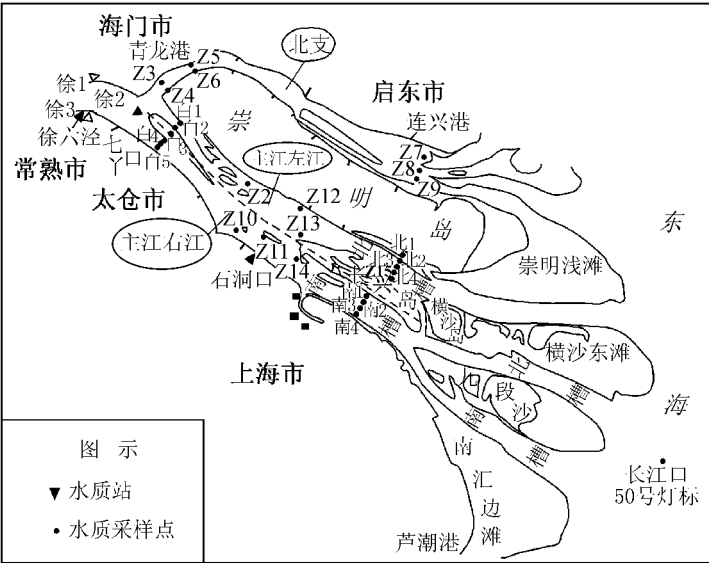


图 1 长江口河段河势及水质监测采样位置

和北港,南港又由九段沙分为南槽和北槽。长江共有北支、北港、北槽和南槽四个入海通道。长江口河段属于海陆双相中等强度的潮汐河段,河段除承担长江上游来水外,还主要承担太湖流域的径流,河段内最大的支流是黄浦江。该区域四季分明、雨量充沛,气温年内变化范围一般为 $-10^{\circ}\text{C}\sim 40^{\circ}\text{C}$,属亚热带湿润季风气候,风向随季节而变,春季以东南风为主,秋季以东北风为多,冬季则以西北风居多。常规风速 $4\sim 6$ 级,每年 $7\sim 10$ 月是台风盛行时期。长江口河段河势见图 1。

1.2 水资源危机

由于种种原因,在以往的经济建设过程中,忽略或不重视对生态环境质量的保护,长江河口地区迅速崛起的都市、快速发展的工业和农业带来了水污染的环境问题。该地区的水体已不同程度地受到了工业废水、城市生活污水、农药、化肥、水土流失、有机质、废渣垃圾、大气沉降物、酸雨和船舶油污等的危害,长江口生态环境受到严重破坏,河口生态系统呈全面衰退趋势,近岸水域水质污染加剧,再加上北支盐水倒灌南支及咸水上溯,使得上海及江苏省部分地区的淡水资源利用出现了问题。上海已成为全国 36 个水质型缺水城市之一。长江口地区水体的主要污染源见图 2。

2 水质监测概况

根据水质监测技术方案要求,在 2002 年 9 月 30 日水文测验小潮后半潮进行水质监测。分别在青龙港、连兴港、白茆沙、新桥水道、新桥通道、新浏河沙头及串沟、南沙头通道下段、鸽笼港通道布设 12 条监测垂线;另外在徐六泾、白茆沙、南港、北港 4 个测流面共布设 18 条监测垂线。各监测垂线位置见

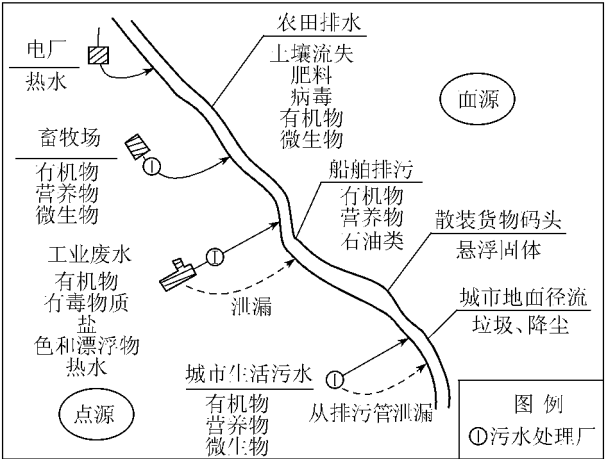


图 2 长江口水域水污染的各种来源

图 1。在高平潮和低平潮期各垂线采集水面下 0.5 m 处水样。本次水质监测选取的项目是:TN、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TP、 COD_{Mn} 、总铅、总铜、叶绿素 I 和叶绿素 II。监测过程按 SL219—98《水环境监测规范》进行。

3 监测结果及评价

3.1 监测结果

本次长江口水域大范围的水质监测获得了 1900 多个数据,对大量水质监测结果进行了统计分析,结果见表 1 和表 2。

3.2 水质评价

3.2.1 评价方法

评价标准采用 GB 3838—2002《地表水环境质量标准》,评价方法采用 W 值法,以水体各项监测指标实测值的平均值对照水质类别进行评分(I, II, III, IV, V 类水质分别得 10, 8, 6, 4, 2 分),以最低 2 项得分之和确定该水体的水质类别。I 类:最低 2 项评分之和为 20 或 18;II 类:最低 2 项评分之和为 16 或

表 1 长江口综合整治水质监测评价结果(高平潮)

断面	特征值	TN	NH ₃ -N	TP	COD _{Mn}	总铅	总铜	叶绿素 I	叶绿素 II	断面水质类别
徐六泾	平均值	0.801	0.37	0.09	2.8	0.034	0.006	0.090	0.143	Ⅲ
	W 值	6	8	8	8	6	10			
白茆沙北水道	平均值	1.122	0.27	0.09	2.3	0.033		0.053	0.086	Ⅲ
	W 值	4	8	8	8	6				
白茆沙南水道	平均值	1.141	0.31	0.07	2.3	0.033		0.106	0.178	Ⅲ
	W 值	4	8	8	8	6				
鸽笼港 Z2	平均值	0.808	0.32	0.13	2.4	0.030		0.059	0.087	Ⅲ
	W 值	6	8	6	8	6				
宝山水道 Z10	平均值	0.808	0.41	0.11	2.3	0.026		0.059	0.087	Ⅲ
	W 值	6	8	6	8	6				
浏河沙 Z11	平均值	0.883	0.33	0.10	2.2	0.023		0.058	0.106	Ⅲ
	W 值	6	8	8	8	6				
新桥水道 Z12	平均值	0.787	0.54	0.08	2.4	0.036		0.059	0.087	Ⅲ
	W 值	6	6	8	8	6				
新桥通道 Z13	平均值	1.106	0.33	0.08	2.1	0.030		0.106	0.172	Ⅲ
	W 值	4	8	8	8	6				
南头沙 Z14	平均值	0.893	0.26	0.06	2.1	0.038		0.058	0.105	Ⅲ
	W 值	6	8	8	8	6				
南港	平均值	1.185	0.48	0.10	2.8	0.032		0.070	0.122	Ⅲ
	W 值	4	8	8	8	6				
北港	平均值	0.842	0.46	0.08	2.3	0.037	0.006	0.081	0.115	Ⅲ
	W 值	6	8	8	8	6	10			
北支口门	平均值	0.893	0.38	0.09	2.8	0.030		0.155	0.220	Ⅲ
	W 值	6	8	8	8	6				
青龙港	平均值	0.787	0.46	0.08	2.4	0.032		0.148	0.238	Ⅲ
	W 值	6	8	8	8	6				
连兴港	平均值	1.977	0.25	0.07	18.9	0.206	0.021	0.183	0.258	V
	W 值	2	8	8	2	2	8			

表 2 长江口综合整治水质监测评价结果(低平潮)

断面	特征值	TN	NH ₃ -N	TP	COD _{Mn}	总铅	总铜	叶绿素 I	叶绿素 II	断面水质类别
徐六泾	平均值	0.897	0.35	0.11	2.4	0.036		0.051	0.080	Ⅲ
	W 值	6	8	6	8	6				
白茆沙北水道	平均值	0.952	0.29	0.08	2.1	0.037		0.093	0.158	Ⅲ
	W 值	6	8	8	8	6				
白茆沙南水道	平均值	1.736	0.32	0.09	2.3	0.038		0.126	0.201	Ⅳ
	W 值	2	8	8	8	6				
鸽笼港 Z2	平均值	0.893	0.31	0.07	2.6	0.034		0.048	0.067	Ⅲ
	W 值	6	8	8	8	6				
宝山水道 Z10	平均值	0.744	0.39	0.08	2.1	0.031		0.154	0.239	Ⅲ
	W 值	6	8	8	8	6				
浏河沙 Z11	平均值	0.787	0.42	0.08	2.4	0.031		0.059	0.068	Ⅲ
	W 值	6	8	8	8	6				
新桥水道 Z12	平均值	0.713	0.60	0.09	2.4	0.044		0.059	0.087	Ⅲ
	W 值	6	6	8	8	6				
新桥通道 Z13	平均值	0.925	0.38	0.09	2.2	0.039		0.212	0.343	Ⅲ
	W 值	6	8	8	8	6				
南头沙 Z14	平均值	0.819	0.31	0.08	2.3	0.039		0.048	0.067	Ⅲ
	W 值	6	8	8	8	6				
南港	平均值	1.076	0.50	0.08	2.6	0.034	0.006	0.118	0.184	Ⅲ
	W 值	4	8	8	8	6	10			
北港	平均值	0.827	0.49	0.09	2.4	0.041	0.005	0.072	0.115	Ⅲ
	W 值	6	8	8	8	6	10			
北支口门	平均值	0.925	0.43	0.12	2.2	0.032		0.107	0.135	Ⅲ
	W 值	6	8	6	8	6				
青龙港	平均值	1.106	0.44	0.11	2.0	0.030		0.049	0.030	Ⅲ
	W 值	4	8	6	8	6				
连兴港	平均值	1.934	0.30	0.09	14.7	0.409	0.027	0.185	0.230	V
	W 值	2	8	8	8	2	8			

14 ;Ⅲ类 最低 2 项评分之和为 12 或 10 ;Ⅳ类 最低 2 项评分之和为 8 或 6 ;Ⅴ类 最低 2 项评分之和为 4。

3.2.2 长江口河段总体水质

用 W 值法对长江口河段水质进行评价 ,评价结果见表 1 和表 2 ,可见 :长江口河段总体水质属 Ⅲ类 ,北支水质劣于南支、南港和北港 ,在连兴港断面 ,水质级别甚至达到了 Ⅴ类。

3.2.3 主要污染指标及其在空间和时间上的分布特征

3.2.3.1 主要污染指标

根据 GB 3838—2002《地表水环境质量标准》,对本次监测结果进行统计 ,在高平潮期和低平潮期超标的主要污染指标均是 TN、COD_{Mn}和总铅。主要污染指标超标情况见表 3 表 4。

表 3 高平潮、低平潮期主要污染指标超标情况统计

主要污染指标	高平潮		低平潮	
	超标断面数/个	占总监测断面比例/%	超标断面数/个	占总监测断面比例/%
TN	6	42.9	5	35.7
COD _{Mn}	1	7.1	1	7.1
总铅	1	7.1	1	7.1

表 4 高平潮、低平潮期断面水质类别对比

水质类别	断面数/个	
	高平潮	低平潮
I		
II		
III	13	12
IV		1
V	1	1

3.2.3.2 主要污染指标沿程分布分析

由于长江口南支河段较宽 ,上游徐六泾断面宽约 6.2 km ,下游长兴岛头宽约 16.3 km ,且江心沙洲众多 ,在分析污染指标沿程分布情况时将南支河段沿中心线(图 1 中虚线所示)进行了划分 ,即中心线以北的部分与北港组成“主江左江”,中心线以南的部分与南港组成“主江右江”。这样主要污染指标的沿程分布有 3 种情况 ,即沿北支的分布、沿主江左江的分布、沿主江右江的分布。北支的断面有北支口门、青龙港和连兴港 3 个断面 ;主江左江的断面或测线有白茆沙北水道、鸽笼港 Z2、新桥水道 Z12、新桥通道 Z13、北港断面 ;主江右江的断面或测线有徐六泾断面、白茆沙南水道、宝山水道 Z10、新浏河沙 Z11、南头沙 Z14、南港断面。具体的分区及断面或测线组成见图 1。

主要污染指标沿北支的分布情况 :北支青龙港断面在低平潮期和连兴港断面的 TN 浓度值较高 ,超过 Ⅲ类水质标准 ,该项指标在口门断面和青龙港

断面的高平潮期均符合 Ⅱ类水质标准 ;COD_{Mn}和总铅的浓度值在连兴港断面均严重超标 ,而在其他断面处均符合 Ⅱ类水质标准。

主要污染指标沿主江左江的分布情况 :在高平潮期 ,主江左江的白茆沙北水道和新桥通道断面处的 TN 浓度值超过 Ⅲ类水质标准 ,而在其他断面均符合 Ⅱ类水质标准 ;COD_{Mn}和总铅在主江左江的各断面处均符合地表水 Ⅱ类水质标准。

主江右江主要污染指标的沿程分布情况 :TN 超过 Ⅲ类水质标准的断面有 2 个 ,污染主要集中在白茆沙南水道和南港断面附近 ,浓度值呈上游、下游高 ,中间低的现象 ;COD_{Mn}和总铅的浓度值在主江左江的沿程分布比较均匀 ,在各断面均符合 Ⅱ类水标准。

由表 1 和表 2 可见 ,TP 在北支、主江左江、主江右江各断面处的浓度值较低 ,符合 Ⅰ类或 Ⅱ类水质标准。

3.2.3.3 主要污染指标沿断面分布分析

在徐六泾断面处 ,TN、NH₃-N、COD_{Mn}的浓度值自江北往江南逐渐递减 ,TP、总铅的浓度在断面上分布较均匀 ,叶绿素沿断面的变化由江南到江北逐渐递减。

在白茆断面处 ,TP、总铅在断面上分布较均匀 ,而 TN、NH₃-N、COD_{Mn}呈现中间高、两岸低的特征(该断面两岸为深水区 ,而中间为浅水区)。

在北港断面处 ,总铅在断面上分布较均匀 ,TP 由崇明岛到长兴岛递减 ;其他污染指标右岸高于左岸。

在南港断面处 ,TN、TP、总铅、NH₃-N、COD_{Mn}由左岸(长兴岛)到右岸(上海浦东)递增 ,而叶绿素是左岸高于南岸。

在连兴港断面处 ,污染指标的浓度值在断面上的分布呈现中间高两岸低的特征(该断面处中间有浅滩 ,水深较两岸浅)。

3.2.3.4 主要污染指标在高平潮和低平潮期监测结果比较

高平潮和低平潮期各断面水质状况比较结果见表 4 ;各断面超标污染指标比较结果见表 3 ,图 3 和图 4。

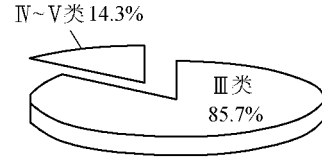


图 3 低平潮期水质类别示意

由此可见 ,高平潮期水质略好于低平潮。在监

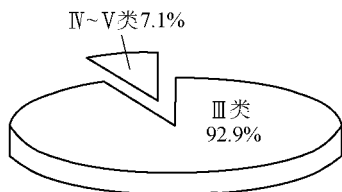


图4 高平潮期水质类别示意

测时段内,高平潮期Ⅲ类水质断面占92.9%,Ⅳ~Ⅴ类占7.1%;低平潮期Ⅲ类水质断面占85.7%,Ⅳ~Ⅴ类占14.3%。

3.2.4 长江口河段主要污染区域

本次水质监测范围广、测线多,监测结果基本反映长江口各江段的水环境状况。按W值法评价结果,主要污染区域集中在南港断面的上海浦东一侧、白茆断面的浅水水域以及北支的连兴港断面等处。

3.3 长江口河段水质污染的主要原因

长江口地区城市群密集,农村城镇化率高,流动人口多,工农业经济、航运及旅游业十分发达,同时长江口河段又属于中等强度的感潮河段,因此区域内水质污染复杂,污染指标来源十分广泛,污染途径多种多样,但人为污染是主要原因之一。

3.3.1 城镇生活污水、生活垃圾污染

由于长江口地区污水处理厂和污水处理能力的严重不足,大部分地区的生活污水未经处理就直接排入水体,这是本地区水体TN、TP的主要来源。此外,城镇生活垃圾处理效果不尽如人意,有不少地区是利用自然沟壑、自然塌陷区或荒郊来处理,此类无任何防护措施的简易垃圾填埋场在长江口沿岸也有不少,如遇雨水淋溶或长江洪水浸泡,将严重污染周围环境。

3.3.2 工业废水污染

虽然长江口各地区环保部门要求各工业企业废水要达标排放,但由于是低水平达标以及工矿企业数量庞大,因此外排的工业废水中污染指标总量仍然很大。长江口地区市场竞争激烈,各污染企业特别是乡镇企业都不愿意单方面采取措施,进行污染成本核算,以免影响竞争力。同时由于排污收费标准偏低,许多企业宁可交排污费,也不去搞治理。更有甚者,有些企业受部门经济利益的驱动,经常偷排、夜排。近年来,长江口水域沿岸大型的燃煤发电厂、化工开发区等如雨后春笋般兴起,带来了大量的工业废水,从而产生结构性污染问题。

3.3.3 农业面源污染

长江口地区是鱼米之乡,农田大多以种植水稻为主,化肥、农药使用量大(据报道,区域内公顷化肥用量达1500~3000kg,农药用量约42kg),利用率低,大量未吸收降解的化肥、农药随地面径流流入河

网,汇入长江,增加了水体氮、磷营养盐含量。

3.3.4 畜禽养殖、水产品养殖污染

随着畜牧业的迅猛发展,畜禽养殖已成为本地区农村及城乡结合部污染的主要来源。有专家估算,1头猪的日排泄量最低相当于7个人的日排泄量,最高可达15个人的排泄量。

水产养殖污染大部分集中在河网。据中国科学院南京地理与湖泊研究所的报告,每生产1t鱼向水体释放氮141.2kg,磷14.1kg,每生产1t蟹向水体释放氮517.8kg,磷71.6kg。畜禽养殖、水产品养殖也成为本地区氮、磷的主要来源之一。

3.3.5 船舶运输产生的污染

随着长江口水域的航运业的迅速发展,由此而带来的船舶运输过程中排放的含油废水、生活污水、船舶垃圾、粉尘、溢油、有毒化学品、废气等污染问题也逐渐显现出来。根据长江口水环境监测中心的监测资料,徐六泾断面和石洞口断面经常出现石油类超标的现象。

3.3.6 水体交换不畅

长江口河段属于中等强度的感潮河流,江水潮涨潮落、周而复始。河口段的水流流向和流速、流量经常发生剧烈的变化,从而导致水质问题的复杂性。落潮时污染指标随落潮流迁移入海,涨潮时近岸海域的污水又会随涨潮流倒灌入内。这一特点导致部分污水在河口段中往复回荡。

3.3.7 盐水入侵

长江口水环境监测中心在长江口的常规监测资料显示(图5),近年来,长江口水域海水入侵越来越频繁,每次入侵都严重影响沿岸火电厂、自来水厂以及工厂企业的正常生产,给国民经济带来重大损失,给人民群众的日常生活带来严重影响。盐水入侵问题是长江口河段水质污染不可忽视的重要方面。

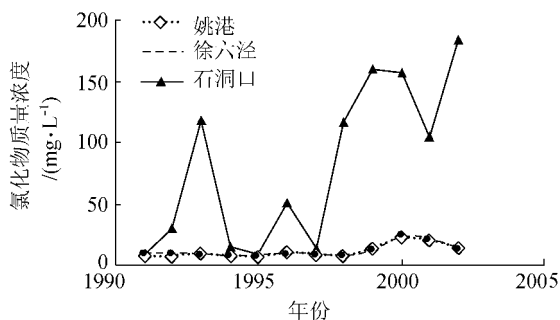


图5 长江口常规监测断面氯化物质量浓度历年变化过程

4 结 语

本次监测表明,长江口河段总体水质属Ⅲ类,个别断面达到了Ⅳ和Ⅴ类,有多项水质指标出现不同程度的超标。种种迹象表明,长江口河段水环境形

势十分严峻 ,水环境恶化的范围在扩大 ,程度在加剧 ,危害在加重。

北支的水质劣于南支、北港和南港 ;主江右江 (南岸)的水质劣于左江(北岸);城市江段的水质劣于非城市江段 ,低平潮期水质劣于高平潮期 ,浅水区水质劣于深泓区 ;水流速度小的水体的水质劣于水流速度大的 ;下游水质劣于上游。

长江口河段水污染指标主要有 TN 、 COD_{Mn} 和总铅、氯离子和石油类等。

长江口河段的水污染如任其发展下去 ,水体的富营养化程度将越来越严重。

影响长江口河段水质的污染指标既有无机物又

(上接第 28 页)能够达到规定标准(C_1)也比较重要 ,权重分别为 14.58%和 12.4%。

3 结 论

综合考虑准确层各因素的影响 ,邀请专家团对约束层各因子打分 ,得到约束层各因子的最终得分。结合其权重 C_w 可得各方案的综合分值(表 5) ,根据该分值对各个方案进行排序。

表 5 各方案综合得分

方 案	方案 1	方案 2	方案 3	方案 4	方案 5
综合得分	0.588 8	0.615 2	0.544 2	0.566 8	0.393 8

在方案综合评比中 ,方案 2 由于分值最高被确定为最优方案。该方案通过工程建设 ,将西库内 17 个村庄全部迁出 ,西湖作为衡水、冀州市饮用水源地 ,东库蓄当地水。由于未修建中隔堤 ,其库容较大 ,总库容达到南水北调衡水湖调蓄水库库容规划要求。西库内的居民全部迁出后 ,洼内无居民居住 ,水质基本上不受人活动影响 ,水体水质可以得到较好保护 ,其水质在 5 个方案中最优。同时人类活动程度的降低 ,可以减少对野生动物的惊扰以及对野生植物的破坏 ,更加有利于恢复和保护生物多样性。洼内村民完全搬迁出规划核心区 ,方案规划与《河北衡水湖自然保护区总体规划》完全一致。此方案移民数量多 ,移民投资大 ,但就业机会也增加许多。

4 讨 论

湖泊的水体环境功能区划涉及到社会、经济、政治、环境、生物和工程等多个学科 ,相对数据信息量少且定量与定性数据并存。在湖泊水体环境功能区划方案选择中采用层次分析法 ,可在现有的数据量和数据结构下 ,通过合理的权重分配和对定性指标作量化处理 ,使主观判断变为客观描述 ,既增强了项

目和目标的科学性 ,既有有机物 ,污染源既有生活污染源又有工业污染源 ;既有固定源又有流动源 ,既有点源又有面源 ,既有随径流流入的又有随潮流带入的。

参考文献 :

[1] 钟成华 ,邓春光 ,廖建华 ,等 .三峡库区 1997 年平水期水质同步监测的 W 值法评价[J].环境导报 ,1997(5) 20 ~ 22.
[2] 解振华 .努力开创“十五”自然生态保护新局面[J].环境保护 ,2000(4) 3 ~ 6.
[3] 谢红彬 .对太湖流域水环境保护对策的思考[J].环境保护 ,2000(4) 25 ~ 26.

(收稿日期 2003-10-22 编辑 :傅伟群)

目和目标评估的科学性和可靠性 ,又提高了评估结果的直观性和可操作性。

要想获得科学、理想的评估结果 ,在湖泊水环境功能区划中使用层次分析法应注意 :① 针对评估对象设计出能体现评估目的并符合评估对象基本特征的合理评估指标体系。若指标体系缺乏系统性和完整性 ,或者所列指标缺乏层次性和逻辑性 ,则无法建立严密的层次结构模型 ,评估结果亦难以达到科学、可信。② 专家调查是一种由专家群对评估或预测目标进行判断和评价的群体作业 ,因此专家的选择十分重要。如果接受咨询的专家对评估和预测对象缺乏广泛的背景知识和专深的学科知识 ,就难以作出较客观的正确判断。

参考文献 :

[1] 赵藏书 ,米同清 ,杨建峰 .衡水湖水环境调查及防治对策[J].河北环境科学 ,2001(1) 42 ~ 44.
[2] 江宝生 .衡水湖东湖底质检测调查[J].河北环境科学 ,2001(4) 19 ~ 21.
[3] 温淑瑶 ,马占青 ,周之豪 ,等 .层次分析法在区域湖泊水资源可持续发展评价中的应用[J].长江流域资源与环境 ,2000(2) 196 ~ 201.
[4] 王好芳 ,董增川 .区域水资源可持续开发评价的层次分析[J].水力发电 ,2000(7) 12 ~ 14.
[5] 苏德林 ,武斌 ,沈晋 .水环境质量评价中的层次分析法[J].哈尔滨工业大学学报 ,1997 ,29(5) 105 ~ 107.
[6] 慕金波 .层次分析法在评定最优环境工程方案中的应用[J].环境科学进展 ,1997 ,5(4) 33 ~ 40.
[7] 刘璇 .关于草海国家级自然保护区功能区划最优方案的探讨[J].贵州师范大学学报 ,1999 ,17(3) 69 ~ 73.
[8] 陆建明 .平原河网地区地表水环境保护功能区划分的研究[J].环境导报 ,2000(2) 35 ~ 36.
[9] 洪继华 ,宋依兰 .层次分析法在水环境规划中的应用[J].环境科学与技术 ,2000(1) 32 ~ 39.

(收稿日期 2003-11-04 编辑 :傅伟群)