

# 白洋淀水环境承载能力计算及保护措施探讨

付学功 李瑞森 李 娜 熊孟琴

(沧州水文水资源勘测局, 河北 沧州 061000)

**摘要** 通过对白洋淀水量、水质平衡分析, 建立水质模型, 对白洋淀水环境承载能力进行计算, 提出白洋淀水环境保护措施: 加强污水灌溉和土地处理系统工程建设, 建立湿地利用和污水净化工程; 采取合理的水产养殖和水质控制技术措施。

**关键词** 白洋淀; 水量平衡; 水质平衡; 污染物降解; 水环境承载能力

**中图分类号** X26      **文献标识码** A      **文章编号** 1004-693X(2007)01-0035-04

## Water environmental carrying capacity calculation and protection measures for Baiyangdian Lake

FU Xue-gong, LI Rui-sen, LI Na, XIONG Meng-qin

(Bureau of Hydrology and Water Resources, Cangzhou 061000, China)

**Abstract** Based on analyses of water quantity and water quality balance for Baiyangdian Lake, a water quality model was established for the computation of water environmental carrying capacity. Protection measures were put forward, including the strengthening of the construction of agricultural irrigation with sewages and land treatment system, the development of wetland use and sewage disposal projects, and the adoption of rational measures for aquiculture and water quality control.

**Key words** Baiyangdian Lake; water quantity balance; water quality balance; contaminant degradation; water environmental carrying capacity

白洋淀是华北最大的淡水湖, 是珍稀鸟类在华北地区中部最理想的栖息地。20 世纪 60 年代至 80 年代, 缺水干淀、水体污染、低闸引水、围埝造田等严重破坏了白洋淀的生态环境, 使水生动植物资源遭受了毁灭性破坏。从 1992 年起, 河北省先后 10 次从上游的西大洋、王快等水库向白洋淀补水, 共补水约 10.5 亿  $m^3$ , 补水使白洋淀暂时摆脱干淀威胁, 对维持白洋淀旅游业繁荣、改善淀区生态环境起重要作用。定量地确定区域水环境承载能力对提高白洋淀水资源与水环境的综合管理水平, 促进白洋淀持续利用意义重大。

### 1 白洋淀现状

现状白洋淀由 140 多个大小不等的湖泊、3 700 多条沟壕、0.75 万  $hm^2$  芦苇、36 个岛村组成, 这些形状各异的淀泊, 最大的有 0.13 万多  $hm^2$ , 最小的不到

百亩。它既有异于中国南方的内陆湖泊, 又不同于北方的人工水库, 而是由多条河流将各个淀泊连在一起, 从而形成沟壕纵横、河淀相连、芦荡莲塘星罗棋布、一个个淀泊既相互分割又相互联结的布局。

#### 1.1 白洋淀河流

20 世纪 50 年代, 为了“根治海河”, 在白洋淀上游兴建了百余座大小水库。自 80 年代开始, 因为华北地区连年干旱, 上游水库惜水如金, 8 条主要入淀河流成为上游生活污水、工农业生产污水的主要排泄通道, 各种得不到稀释的污染物年复一年进入白洋淀, 给白洋淀生态环境带来危害。

#### 1.2 白洋淀及其上游流域水资源及其开发利用中存在的问题

##### 1.2.1 气候干旱导致白洋淀水资源量减少

白洋淀多年平均降水量为 510.1 mm, 降水量年际变化较大, 年最大降水量为 941.6 mm(1988 年),

年最小降水量为 263.3 mm(1962 年)。从 20 世纪 50 年代中期以来,降水量不断减少。白洋淀年均降水量情况见表 1。

表 1 白洋淀不同年代年均降水量 mm

年代	时段平均 降水量	与平均降 水量比较	年代	时段平均 降水量	与平均降 水量比较
1951~1960 年	555.3	+45.2	1981~1990 年	469.7	-40.4
1961~1970 年	514.0	+3.9	1991~1999 年	477.6	-32.5
1971~1980 年	556.6	+46.5	2000~2003 年	378.8	-131.3

### 1.2.2 工程拦蓄导致入淀水量和弃水量减少

20 世纪 50 年代年平均入淀水量为 24.5 亿 m<sup>3</sup>, 90 年代降为 6.01 亿 m<sup>3</sup>。21 世纪初,年入淀水量只有 1.67 亿 m<sup>3</sup>。相应年平均弃水量从 20.4 亿 m<sup>3</sup> 减少到 3.01 亿 m<sup>3</sup>,最近几年为 0,详见表 2。

表 2 白洋淀年均入淀水量和弃水量 亿 m<sup>3</sup>

年代	时段平均 入淀水量	时段平均 弃水量	年代	时段平均 入淀水量	时段平均 弃水量
1951~1959	24.5	20.4	1980~1989	2.1	0.9
1960~1969	16.8	13.0	1990~1999	6.01	3.01
1970~1979	10.9	8.2	2000~2003	1.67	0

### 1.2.3 工农业生产用水量增加

白洋淀是天然淡水湖泊,从 20 世纪 50 年代起淀边各县(市)即不断兴建引水工程,发展农田灌溉。1957~1958 年在白洋淀千里堤修建了 7 孔闸、12 孔闸和古佛堂闸,引水能力为 70 多 m<sup>3</sup>/s。1958 年引白洋淀水灌溉面积达到 2.4 万 hm<sup>2</sup>。此后,在千里堤相继修建了枣林庄小闸、沽口闸和低孔闸。到 1972 年各县在白洋淀周边已修建引水闸涵 17 座,扬水站 16 座,引水能力达 225 m<sup>3</sup>/s,淀边农田灌溉面积发展到 3.07 万 hm<sup>2</sup>。周边农业用水由 50 年代初期每年 0.2~0.3 亿 m<sup>3</sup> 增加到目前的 2.0 亿 m<sup>3</sup>。

### 1.2.4 水污染比较严重

保定市排放大量的工业废水(排污干渠和唐河污水库)与城市生活污水(府河干流沿线)造成白洋淀区耗氧有机物污染与淀泊富营养化。同时排污干渠的污染由于上游工业污染源的控制开始生效,发展趋势有所缓解。从污染类型来看,排污干渠主要受工业造纸废水的影响,COD 和硫化物含量都很高,而府河则主要受城市生活污水的干扰,N、P 等营养元素所占的比例最大,造成白洋淀富营养化。1998 年点污染源主要污染物调查情况见表 3。

表 3 1998 年入淀点污染源主要污染物调查情况

地点	$\rho(\text{COD})$ (mg·L <sup>-1</sup> )	$m(\text{COD})$ t	$\rho(\text{NH}_3\text{-N})$ (mg·L <sup>-1</sup> )	$m(\text{NH}_3\text{-N})$ t	$\rho(\text{CN})$ (mg·L <sup>-1</sup> )	$m(\text{CN})$ t	$\rho(\text{FN})$ (mg·L <sup>-1</sup> )	$m(\text{FN})$ t	$\rho(\text{硫化物})$ (mg·L <sup>-1</sup> )	$m(\text{硫化物})$ t	$\rho(\text{TP})$ (mg·L <sup>-1</sup> )	$m(\text{TP})$ t	污水 排放量/ (万 m <sup>3</sup> ·a <sup>-1</sup> )
县城南	222.40	122.32	4.47	2.46	0.004	0.0022			0.19	0.11	1.45	0.80	55.0
大张庄北	187.70	82.21	20.40	8.94			0.005	0.002	1.34	0.59	1.35	0.59	43.8
县城北	53.00	18.55	9.68	3.39	0.004	0.0014	0.005	0.001	0.14	0.05	1.43	0.50	35.0

### 1.2.5 泥沙淤积,使白洋淀容积不断缩小

白洋淀上游山区森林覆盖率低,水土流失严重。源于太行山的河流,泥沙含量较大,不仅造成下游河道的淤积,也造成白洋淀淤积。潞龙河、唐河 20 世纪 50 年代年平均淤积 370 万 m<sup>3</sup>。由于上游水库的修建,河水泥沙含量减少,60 年代入淀泥沙量减少到年平均 71 万 m<sup>3</sup>,70 年代减少到 5.7 万 m<sup>3</sup>。随河水入淀的泥沙,从入淀河口开始,向淀内淤积。潞龙河口淤高后,1955 年改道高阳县博士庄入淀,现新入淀口又淤高 2 m。唐河入淀口淤积,1966 年人工改道于安新县韩村入淀。大清河北支河水,自 1970 年由新辟白沟引河入淀,到 1980 年,入淀泥沙达 102 万 m<sup>3</sup>,年平均为 9.3 万 m<sup>3</sup>,现为白洋淀的主要淤积源。引河入淀口已淤积长 1.2 km,平均淤高 0.75 m。泥沙入淀,使白洋淀的容积逐步缩小。另外,1970~1972 年在白洋淀内围淀造田 24 处,总面积 0.15 万 hm<sup>2</sup>,减少了白洋淀容积,且阻碍行洪。

## 2 白洋淀水量平衡分析

根据白洋淀水域特点,把淀区水量平衡模型概化为图 1。1990~2003 年白洋淀水量平衡情况见表 4。

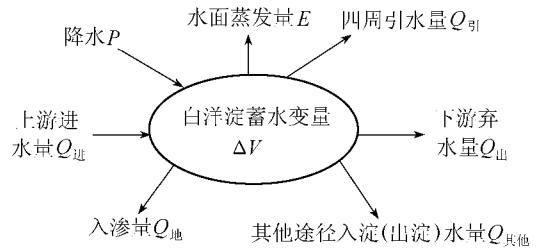


图 1 白洋淀区水量平衡模型概化

水量平衡方程:

$$\Delta V = Q_{进} - Q_{出} - Q_{引} - Q_{地} \pm Q_{其他} - E + P$$

## 3 白洋淀水质平衡分析

对进入白洋淀的化学污染物进行平衡分析,应该在搞清楚污染物在淀内转化过程的基础上进行。转化过程也是污染物在水域中的自净过程。水体自净可以发生在水中,如污染物在水中的稀释、扩散和水中生物化学分解等;也可以发生在水与大气界面,如酚的挥发;也可以发生在水与水底间的界面,如水中

表 4 1990 ~ 2003 年白洋淀水量平衡 万 m<sup>3</sup>

年份	入流量	出流量	蓄水 变量	蒸发量	入渗量	降水量	灌溉及 其他引水
1990	57 011	18 540	17 480	26 100	5 029	14 649	4 511
1991	48 308	33 736	- 11 100	27 849	5 593	17 769	9 999
1992	17 235	0	- 13 190	20 576	3 448	8 915	15 316
1993	427	0	- 11 370	13 468	1 980	4 455	804
1994	29 091	0	21 370	13 559	2 023	10 203	2 342
1995	140 011	98 580	15 430	26 219	5 065	17 138	11 855
1996	255 049	206 000	- 2 000	28 504	5 858	13 112	29 799
1997	42 360	38 968	- 22 750	19 428	3 205	7 229	10 738
1998	27 260	1 910	1 170	18 535	3 016	6 673	9 302
1999	4 444	0	- 15 460	12 497	1 793	3 694	9 308
2000	16 983	0	- 6 510	6 632	791	1 982	18 052
2001	17 581	0	0	2 946	363	1 114	15 386
2002	8 984	0	0	8 377	999	2 425	2 033
2003	23 497	0	0	2 259	282	1 040	21 996
合计	688 241	397 734	- 26 930	226 949	39 445	110 398	161 441

污染物的沉淀、底泥吸附和底质中污染物的分解等<sup>[2]</sup>。

水体自净是一个相当复杂的物理、化学、生物过程,从成因上准确描述、定量计算非常困难。结合白洋淀的实际情况和项目研究要求以及资料情况,把白洋淀生态系统分成三个次一级子系统——旱地芦苇区、沼泽芦苇区、无植物水面区(航道、水深较大芦苇不能生长的区域),取其中的主要污染项目 COD, NH<sub>3</sub>-N, TP 进行平衡分析,建立概念性模型,见图 2。

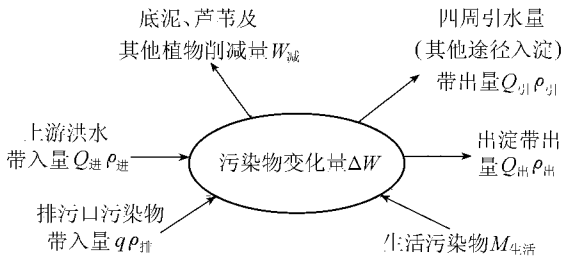


图 2 白洋淀生态系统水分、污染物循环运转概念性模型

$$\Delta W = \sum Q_{进} \rho_{进} + \sum M_{生活} + \sum q \rho_{排} - \sum Q_{出} \rho_{出} - \sum Q_{引} \rho_{引} - \sum W_{减}$$

$$\sum W_{减} = k (\sum Q_{进} \rho_{进} + \sum q \rho_{排} + \sum M_{生活})$$

式中  $\Delta W$  为淀区污染物时段变化量;  $Q_{进}, \rho_{进}$  分别为上游流入的水量和污染物浓度;  $q, \rho_{排}$  分别为排污口的水量和污染物浓度;  $Q_{出}, \rho_{出}$  分别为流出河段的水量和污染物浓度;  $Q_{引}, \rho_{引}$  分别为引水及其他途径排出水量和污染物浓度;  $M_{生活}$  为淀内人畜生活污染物排泄量;  $k$  为污染物削减综合系数。

### 3.1 淀区污染物时段变化量 $\Delta W$

淀区污染物时段变化量  $\Delta W$  为上年度末 15 个监测点加权浓度与相应蓄水量的乘积与下年度年初 15 个监测点加权浓度与相应蓄水量乘积的差值,结果见表 5。

表 5 污染物年度变化量

年份	COD	NH <sub>3</sub> -N	TP
1999	- 4 850.10	- 2 080.80	- 42.669 6
2000	- 549.53	- 89.50	- 4.654 0
2001	- 793.51	- 504.29	- 6.254 2
2002	- 304.52	- 95.68	- 2.272 4
2003	- 215.28	- 32.11	- 2.971 6

### 3.2 排污口入淀污染物质

2001 年,河北省水利厅完成了全省排污口调查,调查的项目有 pH 值, COD, NH<sub>3</sub>-N, 总氰化物, FN, 硫化物, TP。直接进入白洋淀的排污口有 3 个,其调查情况见表 3,它反映点源污染程度。

### 3.3 上游流入的污染物质

上游入淀污染物总量采用上游入淀实测流量与相应污染物浓度相乘得到,结果见表 6。

表 6 上游径流带入污染物总量

年份	COD	NH <sub>3</sub> -N	TP
1999	222.20	54.66	0.266 6
2000	636.86	186.81	0.849 2
2001	527.43	210.97	1.054 9
2002	314.44	89.84	0.449 2
2003	657.92	293.71	1.409 8
平均	471.77	167.20	0.805 9

### 3.4 下游弃水带出污染物的数量

出淀污染物总量采用下游水文站实测流量与相应污染物浓度相乘得到。

### 3.5 引水带出的污染物数量

引水带出污染物数量采用灌溉引水量与相应污染物浓度相乘得到,结果见表 7。

表 7 引水带走污染物总量

年份	COD	NH <sub>3</sub> -N	TP
1999	465.40	114.49	0.558 5
2000	676.95	198.57	0.902 6
2001	461.58	184.63	0.923 2
2002	302.65	86.47	0.432 4
2003	475.89	212.45	1.019 8
平均	476.49	159.32	0.767 3

### 3.6 淀内人畜生活污染物排放量

淀内纯水村人口 6.6 万,人畜粪便等废弃物是生物性污染的来源。淀内村庄畜禽动物排泄量与动物种类、生长期、生产性能(如蛋鸡和肉鸡)、饲料种

类等因素有密切关系,详见表8。

表8 动物排泄物产生的污染物情况

污染物名称	牛		猪		蛋禽/ (g·kg <sup>-1</sup> )	网箱养鱼/ (kg·hm <sup>-2</sup> · a <sup>-1</sup> )
	粪样/ (g·kg <sup>-1</sup> )	尿样/ %	粪样/ (g·kg <sup>-1</sup> )	尿样/ %		
COD <sub>Cr</sub>	64~89	1.9~2.1	51~108	0.5~1.3	48~56	999
TN	4.3~5.3	0.3~0.31	22~45	1.7~4.1	4.8~10.5	101
TP	0.9~ 1.1	0.0036~ 0.0040	1.6~ 3.4	0.0132~ 0.0362	3.9~ 4.5	4.95

1999年以来,淀内水位较低,除养鸭、网箱养鱼过程有污染物直接排放外,生活污染物排放较少。

## 4 白洋淀水环境承载能力计算

### 4.1 水环境保护目标确定

水功能区水环境保护标准是水体纳污能力定量评价的基本前提,根据《河北省水资源保护规划》和《保定市水资源保护规划》,白洋淀围堤内366 km<sup>2</sup>的范围划为湿地保护区,水质达到GB 3838—88《地面水环境质量标准》Ⅲ类水质标准。水功能区根据水质控制参数选取COD、NH<sub>3</sub>-N、TP为控制目标。

### 4.2 最低生态水位确定

湖泊洼淀的最低生态水位,要满足洼淀的多种功能需求,特别是生态功能需求。最低水位的确定主要考虑以下因素:渔业所需水位、芦苇生长所需水位、其他水生植物所需水位、旅游业所需水位,具体见表9。

表9 白洋淀不同功能最低生态水位

项目	水位/m	水深/m
渔业养殖	5.9~8.1	1.0~3.2
芦苇种植	5.6	0.7
其他水生植物种植	5.9~7.4	1.0~2.5
娱乐	5.9~8.1	1.0~3.2

注:淀底高程(黄海高程)为4.9 m。

综合上述要求,确定保证白洋淀养鱼、种植水生植物、旅游业及维持生态平衡所需的最低水位为5.9 m。这一水位对应的水深为1.0 m,水面面积为122 km<sup>2</sup>,相应的最低生态水量为1.295亿 m<sup>3</sup>。补充蒸发、渗漏损失所需的水量分别为1.34亿 m<sup>3</sup>和0.18亿 m<sup>3</sup>,保持生态最小年补水量为1.52亿 m<sup>3</sup>。

### 4.3 上下游关联水质目标

因为白洋淀上游河道流量主要受水库、闸坝等水利工程人为控制,所以假定入淀污染物总量基本稳定,上游各河流量除满足白洋淀内生态用水、有一定调蓄能力(用不同水位表示)外,还要满足下游河道的基本流量和适当的水质要求。按照《河北省水资源保护规划》,到2010年恢复下游赵王新河河道长度20 km,过流天数90 d,需要水量0.77亿 m<sup>3</sup>,水质达到地表水Ⅲ类标准。

## 4.4 白洋淀不同水位水环境承载能力

河湖环境水量的一个重要功能是稀释自净污染物。流量越大、流速越快,河湖的生态功能越强,对污染物的稀释自净能力就越大。白洋淀污染物综合消减系数综合反映白洋淀流量、流速、芦苇、鱼类等对污染物的消减作用。按照设定的水质标准和入淀水的水质本底值,考虑一定的衰减率(对于可降解污染物)计算允许的纳污量,就是所谓的环境容量或环境承载能力。根据现有条件,仅计算了COD、NH<sub>3</sub>-N、TP的纳污能力,结果见表10。

表10 白洋淀不同水位水环境承载能力

水位/m	蓄水量/ 亿 m <sup>3</sup>	纳污能力/(t·a <sup>-1</sup> )		
		COD	NH <sub>3</sub> -N	TP
7.4	1.3593	2600.4	97.1	27.2
7.9	2.1575	4127.4	154.1	43.2
8.4	3.2486	6214.7	232.0	64.9
8.9	4.6588	8912.5	332.8	93.2

由表10可见:当白洋淀的水位为8.4 m,淀容积为3.2486亿 m<sup>3</sup>时,COD的允许负荷为6214.7 t/a, NH<sub>3</sub>-N允许负荷为232.0 t/a。而平水年1995年白洋淀水位为8.4 m,入淀河流污染负荷COD为11849 t/a, NH<sub>3</sub>-N为580 t/a,大于白洋淀有机污染允许负荷,这说明白洋淀水体受到污染是不可避免的,且水质正日趋恶化。有关部门必须加大治理力度,采取切实可行的办法,使污水少入淀直至不入淀。只有切断外界污染源的加入,淀区水质才有可能变好。

## 5 白洋淀水环境保护措施

鉴于目前造成白洋淀水域污染的主要原因,是保定市的城镇生活污水排放以及造纸、化工、印染行业的工业废水排放,其中尤以造纸行业排放的耗氧有机物(以COD计)最为严重,约占全市工业废水COD排放总量的76%。因此要在加强重点污染源的治理、开发推广清洁生产新工艺等污染源控制措施的同时,进一步扩大区域环境的净化功能,强化土地处理措施,减少面污染,采用生物、物理措施增强淀区本身对污染物的吸纳、消解能力。

### 5.1 加强污水灌溉与土地处理系统工程建设

白洋淀地区引用保定市污水灌溉农田已有20多年的历史,目前的污灌总面积已达0.33万余 hm<sup>2</sup>,多年追踪监测的结果表明:污灌对污水中的耗氧有机物有很强的降解能力,而对难以被生物降解的重金属元素未发现有明显的累积现象。特别是污水中的N、P等污染物,其本身可作为本区土壤比较缺乏的植物营养元素,是农业生产所必需的一种水肥资源,只要加强科学管理,严格控制污水(下转第42页)

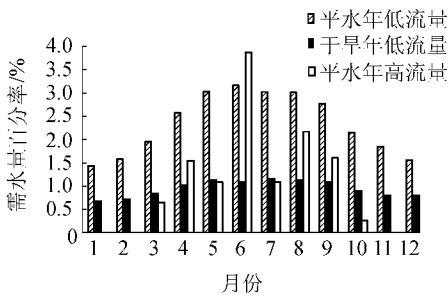


图4 需水量月分配结果

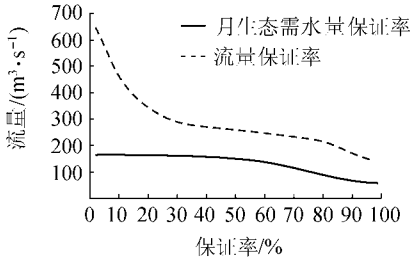


图5 1月流量保证率曲线及生态需水量保证率曲线

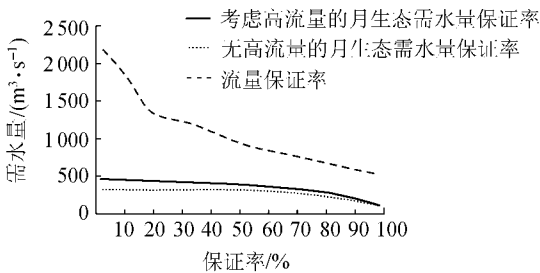


图6 7月流量保证率曲线及生态需水量保证率曲线

## 4 结 语

DESKTOP RESERVE 模型是建立在对河流水情

(上接第 38 页)

中难降解的重金属元素与人工合成的有机毒物的含量,正确选择浇灌作物的种类,适当控制灌水方式与数量,就完全可以达到既可进行农业灌溉,发展生产,又能处理污水,保护白洋淀水质这个双重目的。

### 5.2 建设湿地利用与污水净化工程

白洋淀是一个湿地系统,对白洋淀区的水陆交错带中不同微景观斑块、不同形态的营养物与耗氧有机物定位观测所得的结果表明:湿生植物群落及其水沟对营养物的截留、去除作用是很强的。特别是在苇田根区的土壤,对  $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TP 的截留率均可达到 90% 以上,在苇田密布的水沟中对 N、P 的截留量也可达到 70% 左右。因此利用白洋淀上方的藻杂淀芦苇地对 N、P 等营养元素的吸收、截留与过滤作用来净化城市污水,便成为控制白洋淀污染的一

与生态功能关系分析的基础上的,应用简单方便,只需要历史流量资料,且输出的结果为各个月保证率对应的生态需水量时间序列,便于水资源的管理。但是由于模型将构造块方法中的另两项均归于噪音项,相对于构造块方法,影响了 DESKTOP RESERVE 模型的可靠性,所以在使用时,尤其是在计算高流量时,要注意地区性参数的选择。

### 参考文献:

- [1] 杨志峰,崔宝山,刘静玲,等.生态环境需水量理论、方法与实践[M].北京:科学出版社,2003.
- [2] KING J, LOUW D. Instream flow assessments for regulated rivers in South Africa using the building block methodology[J]. Aquatic Ecosystem Health and Management, 1998, 1: 109-124.
- [3] HUGHES D A, HANNART P A, WATKINS D. Continuous baseflow separation from time series of daily and monthly stream flow data[J]. Water SA, 2003, 29(1): 43-48.
- [4] HUGHES D A, HANNART P A. A desktop model used to provide an initial estimate of the ecological instream flow requirements of rivers in South Africa[J]. Journal of Hydrology, 2003, 270(3): 167-181.
- [5] BOX G E P, COX D R. An analysis of transformations[J]. Journal of the Royal Statistical Society, 1964, 26(2): 211-252.
- [6] HUGHES D A. Towards the incorporation of magnitude-frequency concepts into the building block methodology used for quantifying ecological flow requirements of South African rivers[J]. Water SA, 1999, 25(3): 279-284.

(收稿日期:2005-07-18 编辑:徐娟)

个重要措施。

### 5.3 采取合理的水产养殖与水质控制技术措施

近年来白洋淀区利用网箱、围栏养殖,水产发展很快。但这种高密度、高投入、高产出的养殖模式,很可能由于在养殖过程中剩余饵料及鱼类排泄物等因素而造成局部水体的富营养化过程,使湖底沉积加重,加促湖泊老化。应采取可行的水质控制管理措施,解决水产养殖发展过程中所产生的污染问题。

### 参考文献:

- [1] 廖文根,彭静,刘树坤.海河流域河道与湿地水生态环境修复与管理之关键[C]//黄真理,廖文根.中国环境水力学 2004.北京:中国水利水电出版社,2004:102-105.
- [2] 徐祖信.河流污染治理技术与实践[M].北京:中国水利水电出版社,2003.

(收稿日期:2005-05-19 编辑:徐娟)