

# 生态保护目标体系下海河流域湿地需水研究 ——以河北省衡水湖湿地自然保护区为例

宋松, 许有鹏, 张建新, 陈奕

(南京大学地理与海洋科学学院, 江苏南京 210093)

**摘要:** 随着当前海河流域水资源短缺状况不断加剧, 流域内湿地面积迅速减小, 生态环境日趋恶化, 科学分析湿地生态环境需水量对该流域生态的保护和恢复具有重要意义。以海河流域衡水湖湿地自然保护区为例, 根据研究区现状及存在的问题建立了3层次生态保护目标体系, 结合湿地分类分级计算, 选取植被需水量等8项指标, 分析计算了不同层次生态保护目标下衡水湖湿地生态环境需水量, 在此基础上, 对研究区最小、最优以及最大几个典型状态下生态环境需水量进行了分析评估。分析结果表明, 目前衡水湖湿地供水仅能满足生态环境最小需水量, 与湿地现状基本吻合。该研究结果可为海河流域洪水资源利用与湿地生态保护和恢复提供科学依据, 研究方法可为干旱半干旱地区湿地生态环境需水量的计算提供借鉴。

**关键词:** 生态环境需水量; 生态保护; 衡水湖湿地自然保护区; 海河流域

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2010)04-0219-05

中图分类号: X143 Q178.51

## Water Demands for Wetlands in Haihe Basin Under Ecological Conservation Objectives System

—A Case Study of Hengshuihu Wetland in Hebei Province

SONG Song, XU You-peng, ZHANG Jian-xin, CHEN Yi

(School of Geographic and Oceanographic Sciences, Nanjing University, Nanjing, Jiangsu 210093, China)

**Abstract:** The scientific analysis of wetland eco-environmental water demands is the important foundation for wetland management and protection. In the case study of Hengshuihu wetlands natural reserve in Haihe basin, we set up a 3-level ecological conservation target system according to the present situation in the study area, adopt classification and grading method, and select 8 indexes in evaluating and grading the eco-environmental water demands of Hengshuihu wetlands, based on which the minimum, optimal, and maximum eco-environmental water demands are estimated, respectively. Analysis indicates that the Hengshuihu wetland water supply can merely guarantee the minimum level which confirms to the actual situation of Haihe basin basically. The result provides a scientific basis and support for water resource allocation and dispatch in Haihe basin, while the research method can be used as a reference for the computation of wetland eco-environmental water demands in arid zone.

**Keywords:** eco-environmental water demand; ecological conservation; Hengshuihu wetland nature reserve; Haihe basin

湿地一般指水体向陆地的自然过渡地带<sup>[1]</sup>, 在调节气候、促淤造陆、降解环境污染等方面作用极其重要<sup>[2]</sup>。近年来, 气候变化和人类干扰等作用致使很多湿地濒临干涸, 生态环境受到前所未有的威胁。正确认识湿地与水的关系, 寻求湿地生态环境需水量与水

资源合理配置的新方法、新途径, 已成为湿地生态恢复和重建的焦点问题<sup>[3-4]</sup>。

随着生态需水概念的提出, 湿地生态需水研究广泛开展并融合了水文与水资源学的研究理论和方法, 具有坚实的生态学和水文学基础<sup>[5-9]</sup>。国外湿地生态

收稿日期: 2009-09-08

修回日期: 2010-01-20

资助项目: 国家科技支撑计划“雨洪资源化利用技术研究及应用”(2006BAB14B07); 国家自然科学基金(40730635; 40571025); 高校博士点基金(2006084019)

作者简介: 宋松(1985—), 女(汉族), 山东省泰安市人, 硕士研究生, 研究方向为水土资源与环境。E-mail: happy\_ssong\_song@163.com。

通信作者: 许有鹏(1956—), 男(汉族), 江苏省南京市人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事地表水文、水资源和水环境教学和科研工作。

E-mail: xuyup@jlonline.com。

环境需水的研究较为系统全面,在科学认识水分—生态的耦合作用机理的基础上详细计算了各类型湿地生态需水量,强调水资源在整个湿地生态系统中的地位和作用,并注重生态系统中与水有关的各因素之间以及生态水文过程的综合研究。国内湿地生态环境需水在概念界定、分类、计算方法、实证研究及生态系统和水文过程的相互反馈作用研究等方面也取得大量成果<sup>[7]</sup>,但在湿地需水计算的科学性及需水过程的时空变异等方面,与国外尚有一定差距。随着湿地生态、水文监测的开展,湿地生态需水量的确定必将采用更加科学、合理和高精度的计算方法<sup>[5]</sup>。

## 1 研究区域的选择

衡水湖湿地自然保护区(115°27′45″—115°42′6″E, 37°31′39″—37°42′18″N)位于河北省衡水市境内,总面积 18 787 hm<sup>2</sup>,是海河流域平原腹地的内陆淡水湿地,在保护水生态环境、维护华北平原内陆淡水湿地生态系统的典型性、稀有性以及重要生态功能等方面具有非常重要的意义,其需水机理和规律在海河流域具有代表性。受人类活动的影响,目前衡水湖湿地萎缩、生态系统退化等现象日趋加剧。

海河流域是我国水资源严重匮乏的地区之一,年均降水量(518.9 mm)远远低于蒸发量(1 296 mm),水资源供需严重失衡,靠流域降水很难维持稳定水位,引水是维系衡水湖湿地的主要水源。近年来,随着黄河、岳城水库可引水量的不断减少,水源的保障程度也随之下降,流域洪水资源利用成为满足衡水湖湿地水资源需求重要途径。因此,本研究以海河流域衡水湖湿地为研究对象,在生态保护目标体系下对其生态环境需水量进行科学的估算和等级划分,明确流域洪水资源利用的目标和任务,以期海河流域洪水资源利用、水资源可持续发展研究以及实现湿地生态系统安全提供科学依据和理论指导。

## 2 生态保护目标体系下湿地生态环境需水及计算

### 2.1 需水内涵

基于生态保护目标的湿地生态环境需水是指为解决湿地生态问题及实现湿地保护目标所需要的水量,也就是指湿地为维持自身发展过程、恢复湿地生态平衡、保护湿地脆弱的生态系统和景观格局、维持生物多样性和珍稀物种以及保证湿地基本生态环境功能的发挥所需要的水量<sup>[4]</sup>。根据湿地的生态保护目标(表 1)可划分为最大、最优和最小 3 个等级。最大需水量是湿地生态系统可能承受的最大上限水量,

超过这一水量,湿地生态系统便会遭受洪涝灾害;最优需水量是湿地生物处于最佳生存状态、湿地各种生态功能相互协调、处于动态平衡,生态系统保持相对稳定并实现生态、经济和社会效益的统一时需要的水量,此时系统处于最理想状态;最小需水量是维持生态环境不再退化、湿地生物生存空间不再萎缩的条件下湿地生态系统所需水量,低于这一下限水量,湿地生态系统便会很快退化甚至消失。

表 1 衡水湖湿地生态保护目标体系下需水等级划分

目标	生态保护重点	等级
初级	维持衡水湖湿地生态系统现状;湿地生物生存空间不再萎缩;	最小
高级	保护生物多样性;恢复鹤类生境;维持湿地生态系统稳定;实现国家发展计划;实现生态、经济和社会效益的统一	最优
限制	湿地生态系统结构和功能的维持	最大

### 2.2 计算方法

目前应用较为普遍的湿地生态环境需水计算方法主要有水量平衡法、湿地分类分级算法、生态水位法以及模拟模型法等。这些方法都从湿地的水文学特征出发,以大量的数据和模型为基础来进行湿地生态需水量的概算,而以湿地生态系统自身的生态功能保护和恢复为核心的研究案例甚少。考虑到衡水湖湿地在海河流域的重要生态功能,以及其现状和资料条件,本研究以衡水湖湿地生态保护和恢复为目标,基于生态环境需水理论和湿地分类分级算法,借助遥感影像信息,计算衡水湖湿地的最大、最优和最小生态环境需水量。

### 2.3 指标选择

本研究所采取的指标以生态保护为核心,同时综合考虑流域特点、地质条件等<sup>[8]</sup>。具体操作中,首先考虑植被需水、湿地土壤需水和保护生物多样性的生物栖息地需水;除此之外,由于研究区水体污染物、土质疏松渗漏和泥沙沉积现象严重,因此污染物净化需水、补给地下水和输沙需水对维系湿地生物栖息地水环境安全和正常的生态环境功能意义重大;同时,根据生态保护与恢复的目标,衡水湖湿地生态系统在实现生态功能的同时必须兼顾区域生态经济效益,实现 3 者的统一,因此,区域环境需水和旅游环境需水也是衡水湖湿地生态环境需水的一个组成部分。最终,衡水湖湿地生态环境需水概算选取植被需水等 8 个指标。

### 2.4 数据来源与计算流程

本研究景观数据源为 2000 年 5 月的 ETM<sup>+</sup> 数

字影像数据及冀州市统计年鉴、土地调查等统计资料,计算流程如图1所示。植被需水每年需要进行定量的补充;净化污染物需水和输沙需水需要在特定季节对其进行一定流量的补给;湿地土壤需水和栖息地水是一个相对稳定值,需在特殊的水文年进行水量补给。区域环境需水和旅游环境需水与区域生态社会效益密切相关。参照张展羽、崔保山等的研究<sup>[9-10]</sup>得到湿地生态环境各类型需水计算公式。

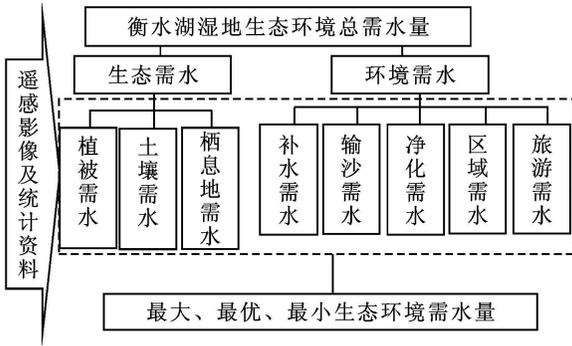


图1 生态环境需水计算流程

(1) 湿地植物需水量:  $dW_p \cdot dt^{-1} = A(t)ET_m(t)$

式中:  $W_p$ ——植物生态需水量;  $A(t)$ ——湿地植被面积;  $ET_m$ ——蒸发量;  $t$ ——时间。

(2) 湿地土壤需水量:  $Q_t = \alpha H_t A_t$

式中:  $Q_t$ ——年土壤需水量;  $\alpha$ ——田间持水量或饱和持水量体积百分比;  $H_t$ ——土壤厚度;  $A_t$ ——湿地土壤面积。

(3) 生物栖息地需水量:  $dW_q \cdot dt^{-1} = A(t)BH(t)$

式中:  $W_q$ ——生物栖息地需水量;  $A(t)$ ——湿地植被面积;  $B$ ——水面面积百分比;  $H(t)$ ——水深;  $t$ ——时间。

(4) 补给地下水需水量:  $W_b = K \cdot I \cdot A \cdot T$

式中:  $W_b$ ——湿地通过自然渗漏补给地下水水量;  $K$ ——渗透系数;  $I$ ——水力坡度;  $A$ ——渗流剖面面积;  $T$ ——计算时段长度,取180d。

(5) 输沙需水量:  $W_s = Q_y C_n^{-1}$

式中:  $W_s$ ——需水量;  $Q_y$ ——泥沙年淤积量;

$C_n$ ——冲泄流能力。

(6) 净化污染物需水量:

$$dW_j \cdot dt^{-1} = \rho Q_d(t) + \beta Q_f(t)$$

式中:  $W_j$ ——湿地净化需水量;  $t$ ——时间;  $Q_d(t)$ ——湿地可容纳、可承载点源污水排放量;  $Q_f$ ——非点源污水进入湿地总量;  $\rho, \beta$ ——分别为点源污水和非点源污水的稀释倍数,稀释倍数的计算根据达标排放浓度与地表水国家标准比值而定。

(7) 生态环境总需水量:  $W = W_p + Q_t + W_b +$

$$\max[W_q, W_j, W_s] + W_k$$

式中:  $W_k$ ——旅游环境和区域环境需水等生态环境需水量。

### 3 衡水湖湿地生态环境需水量

#### 3.1 湿地生态需水量

3.1.1 湿地植被需水量 湿地植物正常生长所需要的水量即为湿地植被需水量。其中蒸腾耗水和水面蒸发、土壤蒸发是最主要的耗水项目,占植物需水量的99%。因而,植被需水量可近似理解为植物叶面蒸腾和水面蒸发或裸间土壤蒸发的水量之和。研究区的主要植被有农作物、水源涵养林、芦苇等。

(1) 陆生植被需水量。研究区陆生植被主要有水源涵养林、小麦、玉米和棉花等。参考华北地区作物需水规律,结合研究区实际,最小需水量约占作物长势最好、产量最高的最优需水量的60%。林地的蒸散蒸腾量的确定则依据实地调查,并参考同纬度地区的经验值修正<sup>[11]</sup>(表2)。(2) 水生植被需水量。芦苇是湖区内分布最广、面积最大的优势种,本研究按照其生长基本特征估算需水量并划分需水量级别(表3)。(3) 蒸发需水量。根据衡水湖地区1994—2004年统计资料,最大蒸发量为  $3.42 \times 10^7 \text{ m}^3$ ,最小蒸发量为  $2.76 \times 10^7 \text{ m}^3$ ,平均蒸发量为  $3.17 \times 10^7 \text{ m}^3$ 。叠加计算,可得研究区植被最小需水量为  $8.91 \times 10^7 \text{ m}^3$ ,最优和最大植被需水量分别为  $1.32 \times 10^8 \text{ m}^3$  和  $1.48 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

表2 衡水湖陆生植被需水量

项目		小麦	玉米	棉花	林地	合计
单位面积蒸散发量/ ( $\text{mm} \cdot \text{hm}^{-2}$ )	最小	294.00	216.00	163.00	605.93	319.73
	最优	490.00	360.00	272.24	908.90	507.79
	最大	525.00	432.00	326.00	1 009.89	573.22
需水量/ $10^8 \text{ m}^3$	最小	0.14	0.11	0.03	0.10	0.39
	最优	0.24	0.18	0.06	0.16	0.64
	最大	0.26	0.21	0.07	0.17	0.71

注:各种作物种植面积分别为小麦4 922.53  $\text{hm}^2$ ,玉米4 922.53  $\text{hm}^2$ ,棉花2 109.65  $\text{hm}^2$ ,林地1 725.3  $\text{hm}^2$ ,合计8 757.48  $\text{hm}^2$ 。

表 3 衡水湖湿地水生植被需水量

级别	盖度/%	平均水深/cm	蒸散量/mm	需水量/ $10^8 \text{ m}^3$
最小	30	0~10	1 000	0.225
最优	50	50~80	1 600	0.360
最大	70	80~100	1 900	0.427

3.1.2 湿地土壤需水量 湿地土壤需水量主要指维持湿地土壤水分所需要的水量,随土壤类型和土地利用类型的不同差异巨大。田间持水量是影响不同土地利用类型的土壤需水量重要参照指标。衡水湖湿地内各种土地利用类型及其在不同需水等级下的需水量如表 4 所示。

表 4 衡水湖湿地土壤需水量

级别		耕地	林地	其它	总计
体积含水量/%	最小	13.5	20~30	—	—
	最优	40.5	40~50	—	—
	最大	45.0	>80	—	—
需水量/ $10^8 \text{ m}^3$	最小	0.06	0.01	0.01	0.08
	最优	0.09	0.01	0.02	0.12
	最大	0.10	0.02	0.04	0.15

3.1.3 栖息地需水量 衡水湖湿地是华北地区重要的鹤类繁殖栖息地。鹤类被认为是对湿地生境变化最敏感的指示种,因此需以其栖息需水面积和水深为最小动物栖息地需水计算标准,最优需水则以保证最大物种多样性为目标。最大需水量以湖中优势鱼类鲫鱼对水深要求为标准(表 5)。

表 5 衡水湖湿地栖息地需水量

级别	依据	淹水面积比/%	水深/cm	需水量/ $10^8 \text{ m}^3$
最小	鹤类生境	15	50	0.082
最优	生物多样性	78	200	0.960
最大	鲫鱼	100	250	1.520

## 3.2 环境需水量

3.2.1 补给地下水需水量 由于湿地系统本身的复杂性、关联性与计算精确性之间的矛盾,补给地下水需水量的计算主要参考统计资料。根据 1994—2004 年的统计资料,最大渗漏量为  $2.53 \times 10^7 \text{ m}^3$ ,最小渗漏量为  $9.53 \times 10^6 \text{ m}^3$ ,平均渗漏量为  $2.05 \times 10^7 \text{ m}^3$ ,分别对应相应级别补给地下水需水量。

3.2.2 输沙需水量 输沙需水量指的是维持衡水湖湖床环境健康所需要的水量。据统计,近 10 a 来衡水湖年均淤积量为  $9.56 \times 10^4 \text{ t}$ ,洪水冲泄能力为  $5 \text{ t/m}^3$ 。而维持衡水湖生态的最小蚀淤泥比例 1:4,保证其健康发展的蚀淤比例为 1:1,因此,衡水湖湿地最小输沙需水量为  $4.78 \times 10^3 \text{ m}^3$ ,最优和最大输沙需水量均为  $9.56 \times 10^3 \text{ m}^3$ 。

3.2.3 净化需水量 根据衡水湖湿地生态保护和恢复的目标,最小净化需水量应使衡水湖水水质级别达到国家地表水水环境标准(GB3838-2002)IV 级标准,优等需水量水质级别达到 III 级标准,最大需水量达到 II 级标准。

统计资料表明,衡水湖 COD、氨氮的年排入量分别为 173.847 和 13.721 t,而芦苇沼泽湿地对 COD、氨氮的自净率分别为 80%和 70%<sup>[13]</sup>,因此最终污染物净化需水量如表 6 所示。

表 6 衡水湖湿地净化需水量

级别	准许浓度/( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )		需水量/ $10^8 \text{ m}^3$		最终需水量/ $10^8 \text{ m}^3$
	氨氮	COD	氨氮	COD	
最小	1.5	30	0.023	0.014	0.023
最优	1.0	20	0.034	0.022	0.034
最大	<0.5	15	0.069	0.029	0.069

3.2.4 区域环境需水量 实现生态、经济与社会效益的统一是湿地生态系统保护与恢复的高级目标之一。统计资料表明,衡水湖 2001—2008 年年均为区域环境供水  $1.29 \times 10^7 \text{ m}^3$ 。为了体现近期要求,最小区域环境需水量取  $1.29 \times 10^7 \text{ m}^3$ ,适宜需水量取  $1.70 \times 10^7 \text{ m}^3$ 。根据衡水市“十一五”规划,未来衡水湖需向区域环境年均供水  $2.20 \times 10^7 \text{ m}^3$ ,可以此作为衡水湖最大区域环境需水量。

3.2.5 旅游环境需水量 环境、旅游和娱乐是湿地的重要环境功能,是湿地生态保护与恢复的重要目标之一,该项用水属非消耗性,因而它可以与生物栖息地需水量相互代替。

## 3.3 生态环境总需水量

湿地生态环境总需水量,应在去除单项需水量间相重复的部分后进行累加计算。根据以往经验,生物栖息地需水、输沙需水和污染物净化需水在生态效果上是基本重合的,因此选取 3 者中较大的生物栖息地需水与其他各单项需水叠加核算,各个级别相应叠加,结果如表 7 所示。

表 7 衡水湖湿地生态环境总需水量及等级划分  $10^8 \text{ m}^3$ 

级别	植被需水	生物栖息地需水	土壤需水	补地下水需水	区域环境需水	总需水量
最小	0.891	0.082	0.08	0.095	0.129	1.277
最优	1.317	0.960	0.12	0.204	0.170	2.771
最大	1.479	1.520	0.15	0.253	0.220	3.622

根据袁平等<sup>[13]</sup>提出的海河流域湿地生态环境需水量的生态水位算法,衡水湖湿地最小生态水位为 0.94 m,最优生态水位大于 1.1 m,结合衡水湖多年

水位蓄量表,可以得出最小和最优态环境需水量分别为:  $1.123 \times 10^8 \text{ m}^3$  和  $2.151 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 与本研究基本吻合。由于本研究需水分析的过程主要基于衡水湖湿地的生态保护与恢复,各级需水量对湿地生态环境功能要求较高,并综合考虑衡水湖湿地的生态、经济和社会效益,因此各级生态环境需水量计算结果相对生态水位法偏高。

## 4 结论

(1) 从需水结构来看,在各个需水等级下,植被需水量在生态环境总体需水量中所占的比重最大,最小到最大等级分别是 69.77%, 47.53% 和 40.83%; 其次是生物栖息地需水和补给地下水需水量,区域环境需水量所占比重较小,在最小需水等级条件下仅为 10% 左右,最优和最大需水等级条件下约为 6%。

(2) 从各分需水量在不同需水等级的变化来看,生物栖息地需水量变化最大,所占比例由最小等级下的 6.42% 到最优等级下的 34.64%, 需水量从  $8.20 \times 10^6 \text{ m}^3$  增加到  $9.60 \times 10^7 \text{ m}^3$ , 增加幅度较大。其次是补给地下水需水量。这表明,维持衡水湖湿地现状,保证湿地不再退化和萎缩所需要的水量较容易实现。但要实现衡水湖湿地的高级生态保护目标,完全恢复湿地的各项生态功能,还需要大量水资源的补充。同时,补给地下水需水的欠缺说明衡水湖湿地自然保护区地下水位较低,佐证了冀州地区地下水开采过量的事实。

(3) 目前衡水湖湿地年均引水量为  $5.39 \times 10^7 \text{ m}^3$ , 降雨量为  $9.51 \times 10^7 \text{ m}^3$ , 总供水量为  $1.49 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 仅能实现维持湿地生态系统现状、保护生物栖息地不再萎缩的生态保护的初级目标。在湿地生态最优需水标准下,尚欠缺  $1.28 \times 10^8 \text{ m}^3$  的水量,这正是流域洪水资源利用工程的供水任务。

(4) 海河流域水资源供需矛盾突出,湿地生态环境需水压力较大,流域洪水资源利用要求迫切。本研究从维持和恢复湿地生态系统功能的角度,利用湿地分类分级算法,首次在生态保护目标体系下分析了

衡水湖湿地生态环境需水量,研究结果基本符合海河流域湿地的实际情况,明确了流域洪水资源利用的目标和任务,为衡水湖湿地生态系统的保护和恢复提供了科学的依据,对干旱半干旱地区湿地水资源调度、洪水资源配置具有一定的指导意义。同时,本研究方法具有创新性和区域代表性,为干旱地区湿地生态环境需水量计算提供了有益的借鉴。

## [ 参 考 文 献 ]

- [ 1 ] 朱笑虹,孙棋锋. 湿地研究综述[ J ]. 江西林业科技, 2007 (3): 47-49.
- [ 2 ] 李鱼,张华鹏,刘亮,等. 沙化对向海湿地功能的影响[ J ]. 水土保持通报, 2005, 25(2): 83-86.
- [ 3 ] 郭跃东,何岩,邓伟,等. 扎龙国家自然湿地生态环境需水量研究[ J ]. 水土保持学报, 2004, 18(6): 163-174.
- [ 4 ] 李加林,赵寒冰,刘闯,等. 辽河三角洲湿地生态环境需水量变化研究[ J ]. 水土保持学报, 2006, 20(2): 129-134.
- [ 5 ] Thoms M C, Sheldon F. An ecosystem approach for determining environmental water allocations in Australian dryland river systems; The role of geomorphology[ J ]. Geomorphology, 2002, 47: 153-168.
- [ 6 ] 严登华,王浩,王芳. 我国生态需水研究体系及关键研究命题初探[ J ]. 水利学报, 2007, 38(3): 267-273.
- [ 7 ] 李九一,李丽娟,姜德娟,等. 沼泽湿地生态储水量及生态需水量计算方法探讨[ J ]. 地理学报, 2006, 61(3): 289-296.
- [ 8 ] 解莉. 衡水湖湿地生态系统健康评价及恢复研究[ D ]. 北京: 华北电力学院, 2006.
- [ 9 ] 保山,杨志峰. 湿地生态环境需水量等级划分与实例分析[ J ]. 资源科学, 2003, 25(1): 21-28.
- [ 10 ] 张展羽,郭相平,汤建熙,等. 滩涂洗盐种稻暗管工程技术参数的研究[ J ]. 水利学报, 1999(4): 45-50.
- [ 11 ] 钟兆站,赵聚宝,郁小川. 中国北方主要旱地作物需水量的计算与分析[ J ]. 中国农业气象, 2000, 21(2): 1-5.
- [ 12 ] Coveney M F, Stites D L, Lowe E F, et al. Nutrient removal from eutrophic lake water by wetland filtration [ J ]. Ecological Engineering, 2002, 19: 141-159.
- [ 13 ] 衷平,杨志峰,崔保山,等. 白洋淀湿地生态环境需水量研究[ J ]. 环境科学学报, 2005, 25(8): 1119-1126.