

洪水资源化与湿地恢复研究

赵 飞,王忠静,刘 权

(清华大学水利水电工程系,北京 100084)

摘要 在介绍湿地定义、作用和现状的基础上讨论了湿地与洪水及洪水资源化的关系,分析了湿地恢复与重建的概念,介绍了洪水资源化利用的方法和措施。从洪水资源化内涵、定义的角度出发,研究了利用蓄滞洪区恢复和重建湿地的思路、类型与措施,并给出了水库-湿地联合调度模型,为进一步分析恢复和重建湿地的模式提供了方法和依据。

关键词 洪水资源化;蓄滞洪区;湿地恢复;湿地重建

中图分类号:TV213

文献标识码:A

文章编号:1006-7647(2006)01-0006-04

Study on wetland restoration based on utilization of flood resources//ZHAO Fei, WANG Zhong-jing, LIU Quan(*Department of Hydraulic Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China*)

Abstract : Based on an introduction of the definition, function, and current situation of wetland, the relationship between wetland and flood resources was discussed. The conception of restoration and reconstruction of wetland was analyzed, and measures for flood resources development and utilization were introduced. Furthermore, the idea and measures for wetland restoration by means of flood storage and detention regions were studied from the angles of connotation and definition of flood resources utilization, and a reservoir-wetland combined operation model was established, providing a basis for analysis of approaches for wetland restoration and reconstruction.

Key words : flood resources utilization; flood storage and detention region; wetland restoration; wetland reconstruction

随着人类社会的发展,世界水资源也日趋紧张,水资源问题将成为贯穿整个 21 世纪人类生存与可持续发展的首要问题。而与此同时,我们还面对洪水泛滥成灾的严峻现实,这个矛盾提示我们对洪水资源的安全利用将是解决水资源紧张的一个有效手段。水资源的匮乏和人类的过度开发造成了湿地生态的破坏,恢复和重建湿地是目前刻不容缓的重要任务。

1 湿地、洪水与洪水资源化

1.1 湿地

湿地是地球上一种重要的生态系统,它是陆地生态系统(如森林和草地)与水生生态系统(如深水湖和海洋)之间的过渡带。我国把湿地定义为:“湿地是水位经常在或接近地表或为浅水所覆盖的土地,以水成土和土壤水分饱和为其主要特征。”^[1]湿地不仅为人类提供了大量水资源,而且在蓄洪防旱、调节气候、控制土壤侵蚀、促淤造陆、降解环境污染等方面起着及其重要的作用。

我国湿地种类繁多,然而,随着人口增加、经济发展和农业用地无限扩展,对湿地的不合理开发利用导致天然湿地日益减少,功能和效益不断下降。据统计,近 40 年来,全国湖泊围垦面积已超过五大淡水湖面积之和,失去调蓄容积 325 亿 m^3 ,每年损失淡水资源约 350 亿 m^3 ,沿海湿地围垦近 1/2,因水资源不合理利用,我国西部玛纳斯湖、罗布泊、居延海已变成盐碱荒漠^[2]。湿地消失、生物多样性减少、水质恶化、湖泊萎缩、水土流失、江河湖泊泥沙淤积等等各种问题接踵而至。

1.2 湿地与洪水

对于湿地的形成和分布来说,水分的聚集是十分关键的因素,水分的聚集和消耗达到平衡或略有积累的状态是湿地发育的理想条件。有些湿地是由河流改道或洪水泛滥所形成的,如长江、松花江、嫩江等流域的大多数湿地,其形成原因主要和洪泛作用有关;有些湿地是由于地下水运动在某个地区聚集所形成的,如我国西北地区的一些湿地,主要是由于潜水和包气带水易向地表水转化使地下水溢出

育而成的,还有些湿地是地表水泛滥和地下水聚集这两个因素共同作用所形成的^[3,4]。在季节性大量水输入时,湿地和高地之间的水文联系常以地表径流为主。天然条件下,湿地在汛期滞蓄大量洪水资源,在干旱季节通过蒸散发和地下水转化等作用调节和维持局部气候及局部生态系统。对于季节性积水的湿地系统,经过旱季土壤水分的亏损为随后的汛期洪水腾出了有效的蓄滞空间,因此对洪水季节的径流具有较大的缓冲作用。湿地与洪水的关系如图1所示。

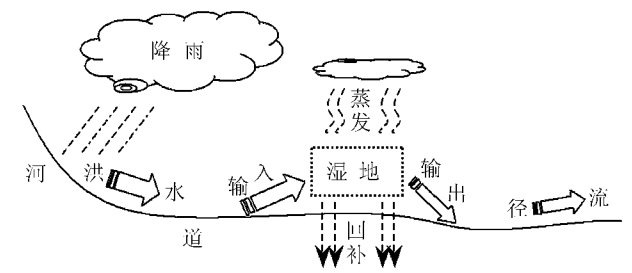


图1 湿地与洪水关系示意图

湿地与洪水的相互作用关系可以看作是大自然将洪水转化为资源水的过程。历史上的大洪水在制造灾难的同时也为后人滋养了宝贵的湿地资源,随着人类对湿地系统的过度开发利用,造成了一系列的生态问题,致使湿地功能退化甚至消失。而大规模的防洪工程的建成和运行,将汛期大量的洪水以最快的速度直接排入大海,减少了洪水在陆地的滞留时间,如此一来就截断了湿地与洪水之间周期性的水力联系,破坏了湿地维持和发育的根本条件。因此,重新利用洪水资源,通过人为手段恢复湿地与洪水之间的相互关系,引洪水以灌湿地,从而达到保护湿地、恢复湿地、重建湿地的目标,这才是湿地可持续发展的必由之路。

1.3 湿地与洪水资源化

广义上讲,我们赖以生存的淡水资源主要来自于降水。自古以来,人类就自发地进行着洪水资源化利用的探索,也充分利用了湿地对洪水资源的自然转化作用来发展经济和维持生活。举世闻名的都江堰水利工程集灌溉、航运等功能于一体,充分反映出了古代劳动人民在洪水资源利用方面的智慧。随着人口的增加和经济的发展,大量的土地被开垦和利用,也产生了一系列的生态环境问题,当前湿地面临的种种危机都在警示着我们水资源量的日趋紧张,同时,为了保护既得的经济利益,人类对洪水的防范意识越来越超过了对其资源化利用的认识,大规模的防洪工程和完整的防洪体系替代了湿地自然调蓄洪水的作用,造成每年汛期大量的洪水被当作弃水直接排入大海甚至泛滥成灾。“水少”和“水多”

这一对矛盾提示我们,建立洪水资源化的思想,将洪水转化为资源水加以安全利用,是解决水资源紧张的一个有效手段,也是湿地恢复和重建的有效途径。

文献[5]中给出的洪水资源化的定义是:在不增加防洪风险的前提下,利用各种工程和管理措施拦蓄洪水,延长洪水在陆地上的停留时间,以用于经济社会需水和生态环境保护,改善河流、湖泊、洼地的水面景观,改善人类居住环境,最大可能地回补地下水。

图2中列出了各种洪水资源化利用措施与方法。文献[6]以海河流域的大黄铺洼和白洋淀为例,研究了蓄滞洪区的洪水资源化利用模式,探讨了洪水资源化对湿地恢复的作用,反映出洪水资源化利用措施中蓄滞洪区的主动运用是洪水资源化综合利用的重要方向,也是湿地恢复与重建的重要途径。

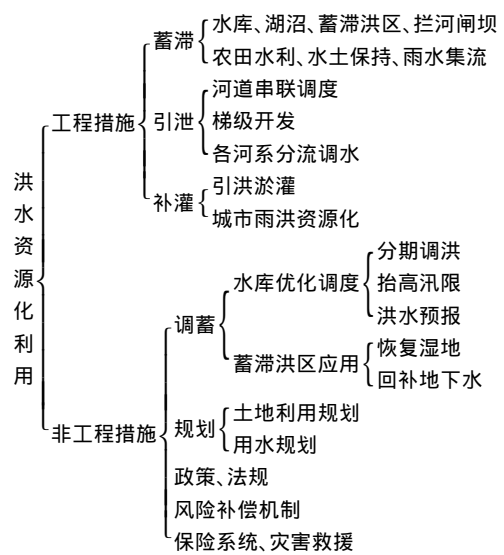


图2 洪水资源化利用措施与方法

2 利用蓄滞洪区恢复和重建湿地

2.1 蓄滞洪区与湿地

在《中华人民共和国防洪法》中,蓄滞洪区是指包括分洪口在内的河堤背水面以外临时贮存洪水的低洼地区及湖泊等,其中多数是历史上江河洪水淹没和自然调蓄洪水的场所^[7]。洪泛区湿地在洪水季节(年份)除直接拦蓄降水外,可承接滞留溢出河槽的洪水,而在洪峰过后的枯水季节(年份)缓缓释放补给河道生态用水,缩短下游河道干枯的时间,维系河川的基流,实现对河川径流的调节^[8],从而能够有效地调洪减峰、滞蓄洪水、补给河道及地下水,调整局部小气候,增加水资源赋存量,均衡水资源的时间及空间分配,截留、阻滞和富集地表污染物以起到生态缓冲区的作用。

现在的蓄滞洪区设立后,初期在历史洪水积累下区内尚有水面,仍是典型的洪泛区湿地。随着上游山区水库的兴建,拦蓄了大量常遇洪水,加上流域

经济发展对水资源的需求,这些蓄滞洪区长期没有启用,区内原本存在的水面逐渐萎缩,有些甚至消失,洪泛区的天然调洪功能被人工控制所遏制,而人为启用蓄滞洪区的频率又很小,启用后也经常是尽快将洪水排入下游或大海以减小防洪压力和恢复区内经济发展,因此蓄滞洪区内的洪泛区湿地生态功能渐行退化甚至丧失。

在不可否认蓄滞洪区发挥了流域防洪的巨大效益的同时,也不得不面对区内人口增加、土地拥挤、水资源紧张和水生态环境恶化的现象,这不能不说是其多年在单一的防洪准则下运用,被人为地切断了洪泛区与江河湖泊之间的自然水力联系的结果,而建立起这一联系的推动力就是洪泛作用。因此不难想到,如果再人为的方法,主动模仿自然的洪泛作用,还其本来面目,通过工程和非工程的措施重新建立起蓄滞洪区与江河湖泊之间的水力联系,就能够恢复洪泛区湿地的原有功能,从而达到对洪水资源的安全利用。

2.2 湿地恢复与湿地重建

湿地恢复,是指通过一系列工程的或非工程的措施对退化或消失的湿地进行修复,再现干扰前的结构和功能,以及相关的物理、化学和生物学特性,使其发挥应有的作用。“恢复”是针对“原状”而言的。

随着社会的发展,自然的形态不可能不发生改变,有一些湿地难免因环境的变化而消亡或因发展经济而被占用,因此若要尽最大能力保护湿地,除了对功能已经丧失或减退的湿地进行恢复外,还应该在新的适合或需要发展成为湿地的区域建造人工湿地,以达到整体湿地面积或分布的平衡,减小人为活动对生态的影响。由此可见,湿地重建是指通过一系列人为的措施和方法,在适合湿地发生发展的地区建立人工湿地生态环境,使其具有天然湿地的功能。美国陆军工程师团和美国环保署根据《清洁水法案》制定了湿地损失补偿行动,该行动要求在进行各项开发活动时,如其项目损害了湿地,就必须采取补偿性的减轻损害措施,可以通过建立、恢复或扩大其他湿地等行动,实现湿地面积和生态功能不受损失的目标^[1]。

不论是恢复还是重建湿地,水都是最关键的一个问题,但在社会经济快速发展的今天,缺水已经是全球性的问题,常规水资源已经最大限度地被人类所利用。与此同时,大量的洪涝灾害以及水库弃水还时有发生,这说明还有许多可利用的洪水资源等待着合理的开发。考察洪水本身,其本质具有淡水资源的属性,越来越多的研究表明,洪水是自然生态赖以生存的水资源供给的主要来源。因此,从洪水

资源化的角度出发,主动利用蓄滞洪区分蓄洪水,合理调配洪水在陆地(蓄滞洪区)的滞留时间,使洪水资源得到合理的开发、利用和转化,应该是恢复和重建湿地的主要手段。

2.3 利用蓄滞洪区恢复和重建湿地的类型

利用蓄滞洪区恢复和重建的湿地应该做到将蓄滞洪区的防洪任务和湿地的生态效益相结合,但是具体到实际情况时又要因地制宜,不可一概而论。因此从不同的角度出发,利用蓄滞洪区恢复和重建的湿地可分为不同的类型。

根据蓄滞洪区对洪水的利用方式不同,可分为回补型湿地和蓄洪型湿地^[6]。不同蓄滞洪区的水文地质条件以及地理位置等因素会有很大差异,有些区内的地下水埋深较深,且包气带岩土颗粒粗大,主要由卵砾石及中粗砂构成,极利于地表水入渗补给地下水,适合建立成为以回补地下水为主的回补型湿地,有些区内的地下水埋深较浅,且包气带岩土主要是黏性土类,如黏土或岩黏土等,地表水下渗能力微弱,适合建立成为以蓄洪滞洪为主的蓄洪型湿地。

根据蓄滞洪区启用频率的不同可以分为常年型湿地和季节型湿地。对于运用次数较多的蓄滞洪区,由于其水源有较好的保证,可以常年保持水面景观,则应完全恢复其湿地功能,且尽量减少经济开发。《中华人民共和国防洪法》第三十二条规定“对居住在经常使用的蓄滞洪区的居民,有计划地组织外迁”,海河流域新防洪规划中也要求10年一遇以下标准的蓄滞洪区其经常运用的子区移民后将基本上成为无人区。对于10年一遇以上标准的启用频率低的蓄滞洪区,虽然蓄洪量大,淹没范围广,但是可能区内大部分地区长时间处于无水或少水状态,因此应该恢复为季节型湿地,在区内可以发展生态农业和避洪农业,实现人与水的和谐共存。

2.4 利用蓄滞洪区恢复和重建湿地的指导思想与核心技术

主动利用蓄滞洪区分蓄洪水以恢复和重建湿地要以科学的方法为依据,既要充分利用洪水资源,又不能以增加防洪风险为代价。因地制宜、因时制宜、优化调度、科学管理是利用蓄滞洪区恢复和重建湿地的指导思想。目前的实例尚不多^[9-16],核心技术主要有流域水量统一调度和蓄滞洪区合理规划。

a. 流域水量统一调度. 从流域全局的角度出发,整体规划上、中、下游的生活、生产、生态用水,充分利用各种先进的监测技术、信息技术和规划手段,在暴雨洪水预警预报技术的支持下,安全合理地把部分洪水引入蓄滞洪区作为恢复和重建湿地的水资源。如我国自2000年成功实现黄河、黑河、塔里木

河水量统一调度以来,在生态恢复方面的成效显著,黄河下游连续4年不断流,沿河各省市的用水最大限度地得到了保障,河口三角洲生态系统明显改善^[9],塔里木河及黑河流域下游水量明显增加,断流天数减少,部分尾间湖泊重现,地下水位抬高^[10]。

b. 蓄滞洪区合理规划。通过分析流域内河网、湖泊、湿地洼淀的历史资料并与现场调研结果相对照,结合流域内经济社会发展状况,对洪泛区范围进行重新核算,根据流域内经济、社会的现状水平和水文、地质、环境的实际情况重新划定行洪、蓄洪、滞洪的区域,以期尽量安全、高效地利用洪水资源,从而达到在人类社会经济发展最小扰动的条件下,人为恢复自然河道、湖泊、湿地之间的水力联系。例如,北京市延庆县^[16]利用妫水河河道筑橡胶坝拦蓄河水,扩大湿地面积 10 km²;长江中下游地区实施“平垸行洪,退田还湖”的土地利用调整方案^[18-20],既减小了洪水的风险和损失,又为洪水让出了空间以利于其向资源水转化。

3 水库-湿地联合调度模型

洪水资源化利用的措施和方法有很多,利用蓄滞洪区主动分蓄水库弃掉的多余洪水来恢复湿地或回补地下水是其中重要的手段。针对来水的特点,通过合理的调度,可以在中小洪水时提前运用蓄滞洪区分洪,一方面可以使上游水库预留一部分库容迎接大洪水,减轻防洪压力;另一方面可以利用蓄滞洪区承接这部分预泄的洪水来恢复湿地、形成景观或回补地下水,从而挖掘洪水资源化利用潜力。可以看出,蓄滞洪区或湿地的运用不是盲目和被动的防御,是积极和主动的利用,因此其调蓄的水量应该是经过优化配置后的结果。从这个思想出发,可以建立水库和湿地联合调度模型,通过优化计算分析蓄滞洪区恢复和重建湿地的洪水资源量。

通过线性规划法建立水库-湿地联合调度模型。

a. 目标函数：

$$\min Z = \sum_{i=1}^k \alpha W_R + \beta \tag{1}$$

$$\beta = MW_L + NV_a + mW_{WS} + nO_W \tag{2}$$

b. 水库约束条件：

水量平衡约束 $V_i - V_{i-1} = I_i - O_i \tag{3}$

$$O_i = W_S + W_R + W_{WS} \tag{4}$$

下泄流量约束 $O_i \leq Q_{\max} \tag{5}$

库容约束 $V_{\text{dead}} \leq V_i \leq V_{\max} \tag{6}$

供水约束 $W_S \leq W_{\text{demand}} \tag{7}$

$$W_L = W_{\text{demand}} - W_S \tag{8}$$

非负约束 $W_S, W_L, W_R \geq 0 \tag{9}$

c. 针对湿地的约束条件：

水量平衡约束 $V_{W,i} - V_{W,i-1} = I_{W,i} + W_{WS} - E_W - L_W - O_{W,i} \tag{10}$

下泄流量约束 $O_{W,i} \leq Q_{W\max} \tag{11}$

湿地蓄量约束 $0 \leq V_{W,i} \leq V_{W\max} \tag{12}$

非负约束 $W_{WS}, O_W \geq 0 \tag{13}$

式中: Z 为目标函数; α 为系数; W_R 为水库时段弃水量; β 为惩罚函数,为避免供水不足时以及库水位较低时产生弃水的不合理现象,设立与缺水和库容相关的惩罚函数,使不可避免的弃水尽可能产生在合理的时段; W_L 为水库时段缺水量; V_a 为水库时段库容可用量,是时段最大库容与时段库容之差; W_{WS} 为水库向湿地的时段弃水量,相对湿地而言可以看作供水量; O_W 为湿地的时段出流量; M, N, m, n 为系数; V_i 为水库本时段末库容; V_{i-1} 为水库上时段末库容,亦即本时段初库容; I_i 为水库本时段入库水量; O_i 为水库本时段出库水量; V_{dead} 为死库容; W_S 为水库时段供水量; W_{demand} 为需水量; $V_{W,i}$ 为湿地本时段末蓄量; $V_{W,i-1}$ 为湿地上时段末蓄量,亦即本时段初蓄量; $I_{W,i}$ 为湿地本时段来流量; $O_{W,i}$ 为湿地本时段出流量; E_W 为湿地时段蒸散发耗水量,是水面蒸发和水生植物腾发量之和; L_W 为湿地时段回灌地下水量; $V_{W\max}$ 代表湿地时段蓄量上限,由于湿地用水不是必需满足的,当湿地用水与水库向下游供水相矛盾时应该首先满足水库向下游的供水,因此将湿地蓄量的下限设为零; $Q_{W\max}$ 为湿地下游最大安全泄量。

针对密云水库及其下游苏庄蓄水闸湿地应用该模型,以实际10年内来水为依据,分别进行水库单独优化调度和水库-湿地联合优化调度分析,见表1。

表1 不同调度方式结果对比 亿 m³

调度方式	水库供水	水库弃水	湿地分洪	湿地出流	湿地回补
实际调度	63.15	12.74			
水库单独优化调度	63.15	12.23		11.94	1.23
水库-湿地联合调度	63.15	11.51	0.72	12.01	1.78

从表中结果可以计算出,现状情况下密云水库单独优化调度所能够发掘的洪水资源化潜力已经差不多了,只占实际弃水的4%,而通过水库-湿地联合调度,主动利用湿地分蓄水库汛期多余的弃水,能够进一步提高洪水资源化利用效率,再发掘出近6%的潜力。湿地充分利用这部分水库弃水回补了地下水,回补增幅近45%。

(下转第19页)

振动受到的扼制程度较大所致。

3 结 论

a. 当管外压力为大气压时 ,柔性管的内径随流量工况而变化。

b. 柔性管的黏弹性与流体脉动的相互作用即自激振动改变了紊动流场特性 ,其减阻效果确实存在。与刚性管相比可以预测的是 ,猝发现象发生的频率减小、强度减弱 ,黏性底层的增厚 ,紊流能量的生成强度减弱以及雷诺应力的降低等。

c. 在所给的 3 种测试管壁厚范围内 ,自激振动的减阻效果随着柔性管壁厚的减小而增加 ,当 $Re \approx 22000$ 时 ,2 mm ,3 mm 及 4 mm 管的自激振动减阻率依次约为 13% ,10% 和 8%。

d. 自激振动的减阻率在所测的 $Re < 23\,000$ 范围内有随 Re 增加而增加的趋势 ,但增加趋势越来越缓慢 ,其增加程度也因壁厚而异。

柔性管壁与脉动流场的相互作用具体改变了紊

动流场的哪些力学特性 ,柔性管壁自激振动的频率波动特性如何 ,其波动特性与流场的脉动之间有着怎样的关系 ,是实验课题的下一步研究目标。

参考文献：

[1] CHOI K S X. Turblent drag reduction using complian[J]. Proc R Soc Lond ,1997 ,A53 :2229-2240.
[2] 方义. 长谷川. 希薄高分子水溶液の管内流れにおける摩擦損失と阻力 動特性[J]. 日本機械学会論文集 B ,1996 ,62(598) :59-63.
[3] 伊藤ら. 界面活性 水溶液の乱流境界層れにおける速度場計測[J]. 日本機械学会論文集 B ,2004 ,70(693) :22-29.
[4] FUKUHARA M. Experiment study on drag reduction using flexible[J]. JSME International Journal Series B ,1998 ,41(1) :77-85.
[5] 中林 伊藤. 流体力学(粘性編) [M]. 东京 :株式会社コナ ,1993 :70-79.

(收稿日期 2005-03-23 编辑 熊水斌)

(上接第 9 页)

4 结 论

湿地能够调蓄洪水、调节气候、净化污水、提供丰富的自然生态资源和优美的景观。而匮乏的水资源 ,频繁的洪涝灾害以及恶劣的气候都警示着人类恢复和重建湿地是当前刻不容缓的任务。考虑到洪泛过程对湿地的产生和发展起着至关重要的作用 ,而人为的防洪工程在一定程度上阻滞了洪水对湿地的自然补给作用 ,在湿地消失、退化等方面起到了不利的影响 ,因此只有通过人工的方法模拟自然洪水泛滥补给湿地的过程 ,才能有效地恢复湿地与洪水之间的原有联系。洪水资源化为湿地的维系和保护提供了重要的依据和保障 ,利用蓄滞洪区主动分蓄水库弃掉的多余洪水来恢复湿地或回补地下水是其中重要的手段。

参考文献：

[1] 刘青松. 湿地与湿地保护[M]. 北京 :中国环境科学出版社 ,2003 :9-101.
[2] 刘军. 中国湿地现状综述[J]. 中国环境管理干部学院院报 ,2004 ,14(2) :64-67.
[3] 孙广友. 沼泽湿地的形成演化[J]. 国土与自然资源研究 ,1998(4) :33-35.
[4] 陈宜瑜. 湿地功能与湿地科学研究的方向[J]. 中国基础科学 ,2002 ,1(1) :7-11.
[5] 王忠静 郭书英. 海河流域洪水资源安全利用关键技术研究[R]. 北京 :清华大学 ,2003.

[6] 向立云 彭静 张胜红. 海河流域蓄滞洪区洪水资源化的示范研究[R]. 北京 :中国水利水电科学研究院 ,2003.
[7] 梅亚东 冯尚友. 洪灾与蓄滞洪区利用管理[J]. 大自然探索 ,1994 ,13(3) :14-19.
[8] 翟金良 邓伟 何岩. 洪泛区湿地生态环境功能及管理对策[J]. 水科学进展 ,2003 ,14(2) :203-208.
[9] 水利部黄河水利委员会. 科学调度黄河水量维持黄河健康生命[J]. 中国水利 ,2004(5) :28-36.
[10] 朱庆平 任建华 王建中,等. 我国内陆河流生态调水[J]. 中国水利 ,2003(3) :49-52.
[11] 曹伯万 许立军. 引哈济党工程对内陆河干旱地区环境的影响[J]. 水电站设计 ,2000 ,16(3) :32-51.
[12] 姜宝玉 韩玉梅 曹波,等. 试论扎龙湿地与水资源优化配置问题与对策[J]. 黑龙江水利科技 ,2003(2) :5-6.
[13] 张云祥 张代臣. 如何有效利用过境洪水资源[J]. 吉林水利 ,2004(11) :5-6.
[14] 王学雷 吴宜进. 江汉平原湿地系统的退化与生态恢复重建[J]. 华中农业大学学报 ,2004 ,23(4) :467-471.
[15] 庄大昌 欧维新 丁登山. 洞庭湖湿地退田还湖的生态经济效益研究[J]. 自然资源学报 ,2003 ,18(5) :536-543.
[16] 刘世江 卢仁富 陈会云. 菠萝泡湿地引水工程的效益分析[J]. 东北水利水电 ,2004 ,22(7) :31-34.
[17] 田玉柱 王明芹 武振德. 延庆地区的湿地保护[J]. 北京水利 ,2004(5) :27-28.
[18] 陈莉 肖羽柏. 长江中游地区防洪与农业现代化[J]. 自然灾害学报 ,2000 ,9(4) :126-129.
[19] 刘影. 平垌行洪退田还湖对鄱阳湖区防洪形式的影响分析[J]. 江西科学 ,2003 ,21(3) :235-238.
[20] 姜加虎 黄群. 洞庭湖区退田还湖的洪水效应模拟[J]. 自然灾害学报 ,2004 ,13(4) :44-48.

(收稿日期 2005-03-23 编辑 熊水斌)