

# 基于水库模型的扎龙湿地水循环模拟

许士国<sup>1</sup>, 刘大庆<sup>1</sup>, 唐晓亮<sup>2</sup>

(1. 大连理工大学土木水利学院, 辽宁 大连 116023; 2. 大连理工大学电子与信息工程学院, 辽宁 大连 116023)

**摘要:** 基于水库模型的概念, 根据地形地物将扎龙湿地划分为相互联系的 9 个水库单元, 对每个水库单元进行水量平衡模拟, 建立了扎龙湿地水循环系统模拟模型。以月为时间步长, 利用建立的模型对扎龙湿地 1971–2003 年 33 年的水循环过程进行模拟, 应用 1971–1981 年出口径流量进行模型参数标定, 应用 1982–1987 年出口径流量和 12 个水面面积对模型模拟效果进行检验。模拟的出口径流量效率系数和相关系数接近 0.90, 相对误差小于 3%; 模拟的湿地水面面积也具有满意的精度。模拟结果表明, 建立的模型对湿地水循环系统具有较好的模拟能力。

**关键词:** 水库模型; 扎龙湿地; 水循环模拟; 水量平衡

中图分类号: P333 文献标识码: A 文章编号: 1001-6791(2008)01-0036-07

水是湿地生命的源泉。水文条件决定了湿地的物理、化学和生物特性, 是维持湿地结构和功能的重要因素<sup>[1]</sup>。因此, 深刻理解湿地水循环系统以及水与生态系统的关系是湿地管理尤其是湿地水资源管理的决策基础。湿地水循环系统模拟模型能够模拟不同管理方案下湿地的水文响应, 已成为湿地水资源管理的重要工具<sup>[2]</sup>。扎龙湿地近年来由于缺水和补水而受到广泛关注, 为了制定扎龙湿地的补水机制, 需要开发适用于扎龙湿地气候水文条件的模拟模型。现有的湿地模型按照复杂程度的不同主要可分为三类: 从简单到复杂依次为集总式模型(单库模型), 半分布式模型(多库模型), 完全分布式模型。尽管完全分布式模型(如 MIKE SHE)对空间变化的模拟最好, 然而此类模型所需的大量数据往往很难获取, 尤其对面积较大的湿地更是难以应用。所以在实际应用中, 集总式模型和半分布式模型被普遍使用, 应用于世界各地的各种湿地中。例如集总式模型应用于苏丹的 Sudd 湿地<sup>[3]</sup>, 尼日利亚的 Hadejia Nguru 湿地<sup>[4]</sup>, 阿根廷的 Esteros del Ibera 湿地<sup>[5]</sup>, 半分布式模型应用于津巴布韦的 Okavango 三角洲湿地等<sup>[6-8]</sup>, 这些模型可以模拟各自地区的主要水文过程, 然而, 却无法直接应用于扎龙湿地, 因为这些模型都没有考虑类似扎龙湿地地区的特殊气候和水文条件(如冬季冰冻、春季冰雪解冻等), 刘振乾等<sup>[9]</sup>曾使用系统动力学方法对位于相似气候区的我国三江平原典型湿地的蓄水量动态变化进行了有益探索, 但模拟时段为每年的 5 月 1 日~10 月 1 日, 对冬季冰冻期以及春季冰雪解冻期的湿地并未进行模拟, 在时间上不连续, 而且模拟的目标区域是三江平原湿地生态实验站(湿地面积仅为 135 hm<sup>2</sup>), 并未模拟整个三江平原的水循环系统。本文旨在开发针对扎龙湿地气候区特点的水循环系统连续模拟模型, 为确定扎龙湿地补水机制提供一种模拟工具。

## 1 扎龙湿地概况

扎龙湿地(图 1)位于东北平原北部的乌裕尔河下游, 齐齐哈尔市东南 26.7 km 的闭流洼地处, 地理位置介于 123°47′~124°37′E, 46°52′~47°32′N 之间, 总面积 2 100 km<sup>2</sup>。扎龙湿地是丹顶鹤的主要繁殖栖息地, 1987 年被国务院批准为国家级自然保护区, 1992 年被列入国际重要湿地名录<sup>[10]</sup>。湿地芦苇沼泽分布广阔, 水面面积

收稿日期: 2007-05-10

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50139020; 50679012)

作者简介: 许士国(1958-), 男, 山东临沂人, 教授, 博士生导师, 主要从事水文水资源与水环境方面的研究。

E-mail: sgxu@dlut.edu.cn

年际年内变化大。本区属温带大陆性季风气候, 春旱风大, 夏热多雨, 秋凉霜早, 冬寒漫长。年平均气温 1~3℃。最高气温 36.6℃, 最低气温 -35.0℃, 多年平均降雨量 418.7 mm, 多集中在 6~8 月份, 多年平均蒸发 729.6 mm。进入 11 月份, 气温逐渐下降到 0℃ 以下, 湿地地表水开始冻结, 冻土也开始形成, 直到下一年度 3、4 月份, 气温回升到 0℃ 以上, 冰雪开始融化, 形成春汛。但是, 由于此时的蒸发也非常强烈, 陆面往往出现春旱。

乌裕尔河是扎龙湿地的主要水源河, 在流经龙安桥后进入扎龙湿地, 该站多年平均径流量为 2.98 亿  $m^3$ ; 湿地东北部的双阳河也是其水量补给源, 但径流量很小, 多年平均只有 0.56 亿  $m^3$ , 尤其是在双阳河水库建成以后, 由于水库的截流灌溉, 流入湿地的水量更为减少; 湿地西部的嫩江历史上曾经是扎龙湿地的补给源, 当嫩江发生大洪水时, 溢出河道的洪水会进入湿地, 对湿地进行周期性的补给, 由于嫩江防洪堤的建设, 这种补给关系已经大大弱化了; 扎龙湿地西北部的中部引嫩干渠(简称中引干渠)将嫩江水引入湿地内部的东升水库, 经东升水库调节后下泄, 东升水库没有达到设计防洪标准, 目前尚不能防御 10 年一遇洪水, 一直低水位带病运行, 水库的调节能力很有限。由于地处松嫩低平原, 降水少而且产汇流条件差, 扎龙湿地多年平均径流深不足 10 mm。扎龙湿地潜埋深浅, 地下水主要靠大气降水补给。

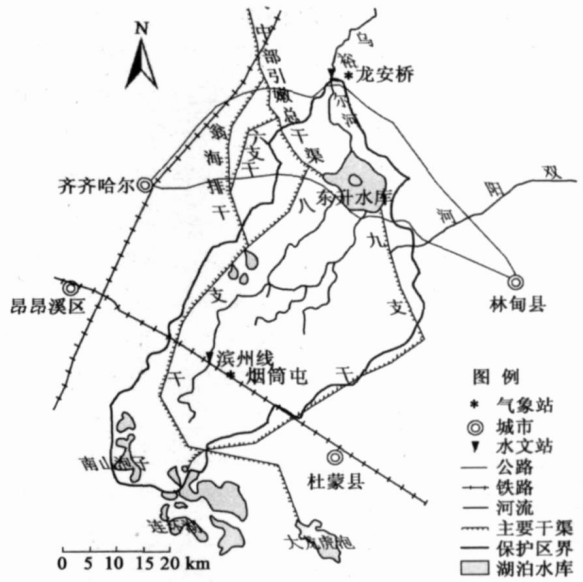


图1 扎龙湿地及观测站位置图

Fig 1 Location of Zhalong wetland and monitoring sites

## 2 水循环系统模型

### 2.1 模型构建思路

湿地水面面积是判断湿地生态系统健康的重要指标, 并且考虑到目前可用于模型检验的数据情况, 模型构建时确定的主要模拟目标为湿地地表水系统的时空变化。将湿地划分为若干相对独立而又相互联系的水文单元来实现空间变化模拟, 时间变化的模拟主要通过连续时间系列演算来实现。

### 2.2 水库单元划分

为了将整个扎龙湿地划分成相对独立的水库单元, 需要从遥感影像和地形图上来综合分析。本文对 1988-2002 年中的 12 张 Landsat TM 影像(地面分辨率为 30 m)进行解译<sup>[13]</sup>, 获取水面分布情况, 并且利用 GIS 分析软件 ArcGIS 8.3 中的 3D Analysis 模块将扎龙湿地比例尺为 1:50 000 等高距为 1 m 的地形图生成 50 m × 50 m DEM 数字高程图。在 ArcGIS 8.3 中将解译的水面分布图和 DEM 图进行叠加分析发现, 扎龙湿地在大洪水年或洪水期往往形成大的连续水体, 洪水期过后, 强烈的蒸散发使得湿地水量逐渐减少, 原来连续的水体开始破碎化, 形成多个洼地存水的状态, 由于洪水的周期性, 这些洼地往往形成自己独特的生态系统。因此, 将整个湿地划分成若干相对独立的洼地单元(水库单元)。扎龙湿地地势平坦, 水流关系复杂, 尽管目前有很多软件可以自动提取子流域和河流网, 但对于地形平坦的湿地地区, 这些软件就会发生困难, 因为湿地地区没有明显的流域边界。所以只能使用人工划分单元的方法, 实践证明这种划分方法简便且灵活性强, 而且满足水循环模拟的精度要求。根据扎龙湿地的具体情况, 按照如下原则和方法进行人工划分: ① 主要根据地形进行划分; ② 结合遥感水面分布情况, 尽量找到相对独立的水库单元; ③ 湿地内的大型交通工程、水利工程对湿地水流的影响很大, 往往构成了单元的人工边界。扎龙湿地内这样的工程主要有东升水库南部横穿湿地的 301 国道以及横穿湿地中南部的滨州铁路。按照以上确定的原则和方法, 将扎龙湿地划分为 9 个水库单元, 划分结果见图 2。

### 2.3 水库单元之间的水流交换

依据划分的水库单元和地形, 判定水库单元之间的水流流向(图 2)。应该注意到, 对于扎龙湿地这样的平坦地区, 有些水库单元之间的地形高程差异并不是很大, 水库单元之间的水流流向并不总是固定不变的。比如, 当地势低的单元的水深很深, 地势略高的单元水深很浅甚至干涸, 这时候就会出现水从地势低的单元流向地势高的单元, 但这样的情况一般很少出现, 所以本文没有考虑这种情况, 而是假设水流流向是固定不变的。另外, 单元之间的交互通道有可能不是惟一的, 而且在空间上可能不稳定, 本文把这些复杂水流交换关系概化成一条代表性路径。

### 2.4 水库单元模型

(1) 水量平衡 对于每一个水库单元, 基于水量平衡原理来描述湿地蓄水量的变化:

$$\Delta V / \Delta t = Q - q - G + A(P - E) \quad (1)$$

式中  $\Delta V / \Delta t$  为蓄水量变化量;  $Q$  为入流量(包括河流入流量和人为补水量);  $q$  为出流量;  $G$  为渗入地下水量;  $A$  为水面面积, 这里的水面面积包括两部分, 一部分是明水面, 几乎没有芦苇带存在; 另一部分是明水面边缘区的水面, 往往被芦苇带覆盖;  $P$  为降水量;  $E$  为水面面积上的蒸发量。

(2) 蒸发 水面面积上的蒸发量  $E$  使用下式计算:

$$E = \frac{E_o A_o + E_r A_r}{A} = \frac{E_o A_o + k_r E_o A_r}{A} = [k + (1 - k) k_r] E_o \quad (2)$$

式中  $E$  为水面面积上的蒸发量, 在湿地环境下, 明水面周围往往存在水生植被带, 为了考虑水生植被对水面蒸发的影响, 水面蒸发采用明水面蒸发和芦苇带蒸发的面积加权平均值;  $A$  为水面面积;  $E_o$  为明水面蒸发, 使用龙安桥(图 1)蒸发皿数据;  $A_o$  为明水面面积;  $E_r$  为芦苇带蒸发;  $A_r$  为芦苇带面积;  $k_r$  为芦苇带蒸发调节系数, 采用该地区通过渗流补偿实验方法确定的经验系数<sup>[11]</sup>;  $k$  为明水面面积占总水面面积的比例, 根据扎龙湿地芦苇生长水深和地形分析估算为 0.75。

(3) 降水量 扎龙湿地降水量数据来自龙安桥站和烟筒屯站(图 1)。两站的多年平均降水量分别为 421.9 mm 和 415.6 mm, 两者相差不大, 所以使用两站的平均值作为扎龙湿地的降水量。

(4) 渗漏 以往的监测资料表明, 扎龙湿地地表水是地下水稳定补给源, 本文假设补给量与湿地蓄水量成正比, 即

$$G = gV \quad (3)$$

式中  $G$  为补给地下水量;  $g$  为补给系数;  $V$  为地表蓄水量。

(5) 出流量 当湿地蓄水量很小, 没有达到出水阈值  $V_{\min}$  时, 全部水量储蓄在湿地中, 没有水量流出湿地; 当湿地蓄水量超过出水阈值  $V_{\min}$  时, 湿地才有出流, 此时出流量与超过  $V_{\min}$  部分的蓄水量成正比, 然而由于冬季冰冻和春季解冻融化的影响, 各月之间的出流系数是不同的, 扎龙湿地在 11 月即进入冬季, 湿地内的水开始冻结, 出流系数减小, 进入完全冻结期(12 月~3 月), 出流系数为 0, 进入 4 月以后, 气温开始升高, 湿地内的冰雪开始解冻, 出流系数开始增加, 直到雨季完全解冻。这里使用调整系数  $k_a$  来反映冻结和解冻效应; 当湿地蓄水量超过其最大蓄水能力  $V_{\max}$  时, 超过的部分将全部流出湿地, 湿地出流量计算公式可以表示为

$$q = \begin{cases} 0 & V \leq V_{\min} \\ k_a k_{\max} (V - V_{\min}) & V_{\min} < V < V_{\max} \\ V - V_{\max} & V \geq V_{\max} \end{cases} \quad (4)$$

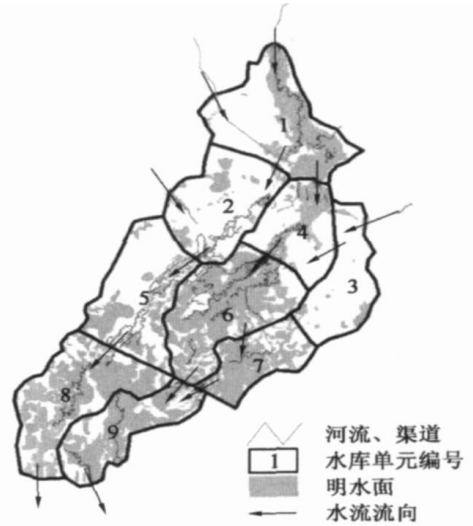


图 2 扎龙湿地水库单元划分及编号

Fig. 2 Location and code of the cells for Zhalong wetland

另一部分是明水面边缘区的水面, 往往被芦苇带覆盖;

式中  $q$  为出流量;  $k_{\max}$  为最大出流系数;  $k_a$  为考虑冰冻和解冻效应的调整系数;  $V_{\min}$  为能够发生出流的最小蓄水量(出水阈值);  $V_{\max}$  是湿地的最大蓄水能力, 是湿地全部淹没时的蓄水量。

(6) 面积~蓄水量关系 将式(2)~式(4)代入式(1), 方程中有两个未知变量  $A$  和  $V$ , 还需要建立两者的关系  $A=f(V)$ 。这里使用幂函数形式:

$$A = bV^n \quad (5)$$

式中  $A$  为水面面积;  $V$  为地表蓄水量;  $b$  和  $n$  为面积~蓄水量关系系数, 依据各单元地形确定。本文将扎龙湿地 50 m × 50 m DEM 图输入 ArcGIS 8.3 中, 利用 Surface Analysis 工具计算不同水位下的水面面积和蓄水量, 水位每次增加 0.2 m, 将计算得到的水面面积和蓄水量系列按幂函数关系进行拟合即可得到  $b$  和  $n$  值。

### 2.5 水库单元之间的水量交换

当水流从上游水库单元向下游流动时, 如果只流入一个水库单元, 则这个水库将获得上游的全部来水, 但如果同时流入两个不同水库单元时, 就存在如何在这两个水库单元之间分配的问题, 它们获得上游单元的来水往往并不相等, 这时主要是依据交换界面的特性(主要判断过流能力)进行初步判断, 并通过参数标定来调整确定, 可以使用如下公式表示这种水量交换:

$$Q_j = k_j q_i \quad (6)$$

式中  $Q_j$  为  $j$  单元获得的来自  $i$  单元的水量;  $q_i$  为  $i$  单元的总出流量;  $k_j$  为  $i$  单元分配给  $j$  单元的比例系数。

## 3 结果与讨论

利用上述建立的模型, 以 1971 年 1 月至 2003 年 12 月共计 33 年 396 个月的月入流量  $Q$ 、月降雨量  $P$  和月水面蒸发量  $E$  作为输入数据, 假设每个水库单元的初始蓄水量  $V_{\text{initial}}$  为 1.0 亿  $\text{m}^3$ , 进行连续模拟计算。使用出流量数据进行参数标定, 标定后的模型使用出流量和水面面积进行检验。

### 3.1 模型参数标定

可以用于模型标定和检验的湿地出流量数据采用滨洲线水文站(图 1)径流量数据, 该水文站位于扎龙湿地中下游, 其监测对象是滨洲铁路的 5 个过水涵洞的流量, 该水文站历史上只存在一段时间, 可用的径流量数据长度只有 1971 年 1 月~1987 年 12 月 17 年的数据。选择其中的前 11 年(1971 年 1 月至 1981 年 12 月)为标定期。标定原则为: ① Nash 效率系数<sup>[12]</sup>  $R^2$  尽可能大; ② 相关系数  $r^2$  尽可能大; ③ 相对误差  $RE$  尽可能小。使用人工和计算机结合的方法进行参数优化, 模型主要参数标定结果见表 1, 各单元水量分配参数标定结果见表 2, 补给系数  $g$  和调整系数  $k_a$  是年内变化的, 其标定结果见表 3。

表 1 单元特性与模型相关参数标定值  
Table 1 Characteristics of the cells and calibrated values of parameters in the model

单元编号	单元面积 / $\text{km}^2$	$n$	$b$	$k_{\max}$	$V_{\min}$ / $\text{Mm}^3$	$V_{\text{initial}}$ / $\text{Mm}^3$
1	317	1.4	0.1	1.0	65	100
2	260	1.4	0.2	1.0	65	100
3	165	1.8	0.2	1.0	65	100
4	213	1.4	0.2	1.0	65	100
5	293	1.4	0.2	1.0	65	100
6	319	1.3	0.2	1.0	65	100
7	152	1.2	0.5	1.0	65	100
8	230	1.2	0.1	1.0	80	100
9	274	1.4	0.2	1.0	80	100

表 2 各单元水量分配参数

Table 2 Distribution coefficient of the cells

参数	$k_{12}$	$k_{14}$	$k_{25}$	$k_{34}$	$k_{46}$	$k_{58}$	$k_{67}$	$k_{69}$	$k_{79}$	$k_{80}^*$	$k_{90}^*$
参数值	0.2	0.8	1.0	1.0	1.0	1.0	0.2	0.8	1.0	1.0	1.0

注:  $k_{80}^*$  和  $k_{90}^*$  分别代表 8 单元和 9 单元流入下游的比例系数。

### 3.2 出流量检验

出流量检验期为1982年1月至1987年12月,从模拟出流量与观测出流量的过程(图3(a))、月散点图(图3(b))、年散点图(图3(c))以及多年月平均出流量过程对比图(图3(d))上可以看出,模型对出流量的模拟效果良好。标定期和检验期的相对误差 $RE$ 分别为2.66%和-2.22%,效率系数 $R^2$ 分别为0.87和0.83,相关系数 $r^2$ 分别为0.87和0.85。出流量模拟效果的总体评价结果见表4。从图3(a)和表4可以看出,模型对枯水年的模拟有所高估,而对丰水年的模拟有所低估。具体来说,模型标定期(1971-1981年)基本为枯水年,模拟的径流量偏高2.66%,而模型检验期(1982-1987年)基本为丰水年,模拟的径流量偏低2.22%,尽管如此,模型的总体模拟效果较好。

表3 模型参数标定值

Table 3 Calibration results of the parameters in the model

月份	$g$	$k_a$
1	0	0
2	0	0
3	0	0
4	0.03	0.3
5	0.03	0.4
6	0.03	0.6
7	0.03	1.0
8	0.03	1.0
9	0.03	1.0
10	0.03	1.0
11	0.03	0.7
12	0	0



图3 (a) 模拟和观测的径流量过程对比; (b) 模拟和观测的月径流量散点图; (c) 模拟和观测的年径流量散点图; (d) 模拟和观测的多年平均逐月径流量对比

Fig. 3 (a) Modelled and observed hydrograph for the period; (b) scatter diagram of observed versus modelled monthly runoff values; (c) scatter diagram of observed and modelled annual values; (d) average annual hydrograph compared with the modelled hydrograph

表4 出流量标定和检验结果

Table 4 Calibrated and verified results of outflows

标定期与检验期	观测年径流量 /10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	模拟年径流量 /10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	相对误差 $RE$ / %	Nash 效率 系数 $R^2$	相关系数 $r^2$
标定期(1971年1月-1981年12月)	194.94	200.11	2.66	0.87	0.87
检验期(1982年1月-1987年12月)	522.01	510.44	-2.22	0.83	0.85

### 3.3 湿地水面面积检验

由于湿地水面面积是模型所要模拟的一个重要参数,为了检验模型对水面面积的模拟效果,选择1988-2002年中的12张Landsat TM影像(地面分辨率为30m),进行解译<sup>[13]</sup>,得到12个时间点上的水面面积。由于Landsat TM影像难以反映芦苇沼泽下的水面,所以解译的水面面积实际上小于实际的水面,本文根据湿地的实际地形和芦苇生长的水深对其进行了修正。使用修正后的水面面积与模拟的水面面积进行对比来检验模型模拟

水面面积的效果。单个水库单元(图4)和整个湿地(图5)的模拟结果都表明,除了在个别时间点上存在较大误差以外,水面面积的总体模拟效果较好。

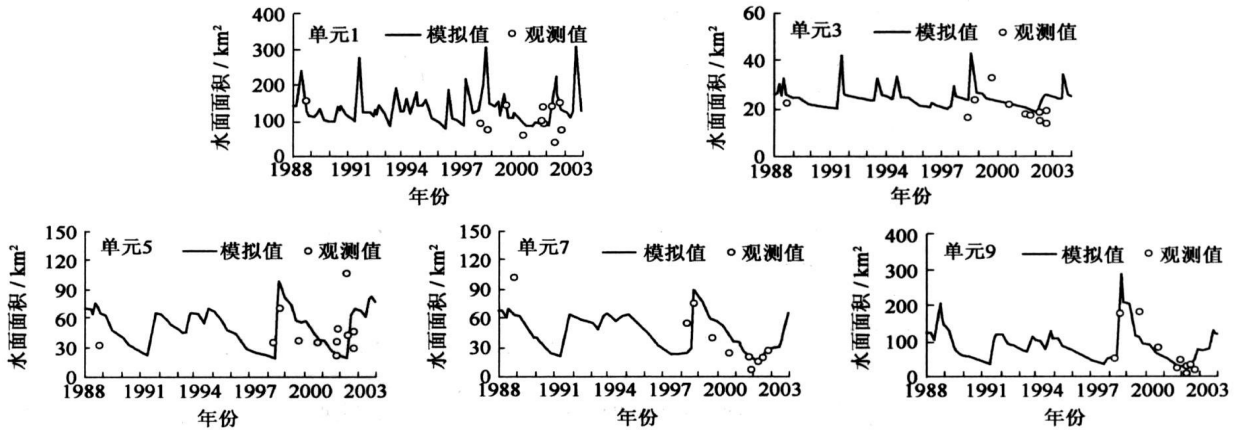


图4 各水库单元模拟和观测的水面面积

Fig. 4 Modelled and observed flooded areas in 5 units

水面面积模拟误差的原因除了可能来源于模型本身之外,还可能来源于其它4个方面:①输入数据的不确定性,比如人为补水量的估算误差。②遥感数据误差。用于检验的遥感解译数据本身可能存在误差,比如1998年,扎龙湿地上游的乌裕尔河发生较大洪水,湿地水面面积应该较大,这与模拟的结果较为一致,但与Landsat TM影像解译的结果相差较大,怀疑是Landsat TM影像解译的结果不够准确。③根据DEM图计算的各单元水面面积和蓄水量关系可能存在误差,误差大小与DEM的精度有关,尤其在扎龙湿地这样的地形平坦地区,地形图的分辨率尤其是高程分辨率将影响到水库单元的划分和某些参数(如面积~蓄水量关系系数 $b$ 和 $n$ )的确定。④在划分水库单元时,人工边界只考虑了较大工程如301国道和滨州铁路,而实际上,扎龙湿地内部还存在乡间道路和引水干渠,这些工程都阻碍了河流与下游湿地的水文联系,影响模型的模拟精度。尽管如此,从总体上来看,模型能够很好的模拟湿地水面面积,模拟结果具有较高的可信度。

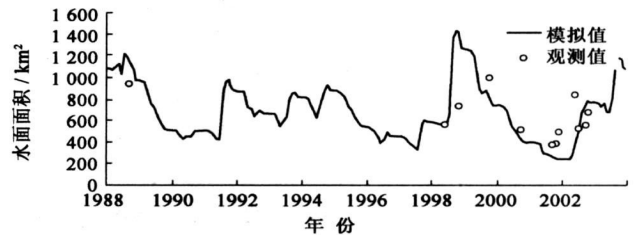


图5 模拟和观测的扎龙湿地水面面积

Fig. 5 Modelled and observed flooded areas in Zhalong wetland

## 4 结 论

(1) 针对我国北方地区沼泽湿地的水文特点如冬季冰冻、春季冰雪解冻等,建立了扎龙湿地水循环系统模型。模型检验结果表明,该模型模拟出流量和湿地水面面积具有较高的精度。

(2) 尽管完全分布式水文模型是未来的发展方向,但在目前的数据条件下,类似于本文所建立的半分布式水循环模拟模型仍然具有重要的实际应用价值。

(3) 该模型具有模拟人为补水对湿地水循环系统,尤其是对湿地水面面积影响的潜力,因此利用该模型可以模拟确定达到不同水面面积目标所需的补水量规模,从而为湿地建立生态补水机制提供一种有效的模拟工具,相关研究成果将另文撰述。

## 参考文献:

- [ 1 ] Misch W J, Gosselink J G. Wetlands[M]. 3rd ed. New York: John Wiley & Sons, 2000.
- [ 2 ] Murray-Hudson M, Wolski P, Ringrose S. Scenarios of the impact of local and upstream changes in climate and water use on hydro ecology in the Okavango Delta, Botswana[ J]. Journal of Hydrology, 2006, 331( 1- 2 ): 73- 84.
- [ 3 ] Sutcliffe J V, Parks Y P. Hydrological modelling of the Sudd and Jonglei Canal[ J]. Hydrological Sciences Journal, 1987, 32( 2 ): 143- 159.
- [ 4 ] Thompson J R, Hollis G E. Hydrological modelling and the sustainable development of the Hadejia Nguru Wetland, Nigeria[ J]. Hydrological Sciences Journal, 1995, 40( 1 ): 97- 116.
- [ 5 ] Ferrati R, Canziani G A. An analysis of water level dynamics in Esteros del Ibera wetland[ J]. Ecological Modelling, 2005, 186( 1 ): 17- 27.
- [ 6 ] Dincer T, Child S, Khupe B. A simple mathematical model of a complex hydrologic system Okavango Swamp, Botswana[ J]. Journal of Hydrology, 1987, 93( 1- 2 ): 41- 65.
- [ 7 ] Gieske A. Modelling outflow from the Jao/ Boro River system in the Okavango Delta, Botswana[ J]. Journal of Hydrology, 1997, 193( 3- 4 ): 214- 239.
- [ 8 ] Wolski P, Savenije H H G, Murray-Hudson M, *et al.* Modelling of the flooding in the Okavango Delta, Botswana, using a hybrid reservoir GIS model[ J]. Journal of Hydrology, 2006, 331( 1- 2 ): 58- 72.
- [ 9 ] 刘振乾, 段舜山, 李爱芬, 等. 湿地蓄水量动态 SD 仿真研究—以三江平原沼泽湿地为例[ J]. 地理与地理信息科学, 2004, 20( 1 ): 57- 59.
- [ 10 ] 中华人民共和国林业部. 扎龙国家级自然保护区管理计划[ M]. 北京: 中国林业出版社, 1997.
- [ 11 ] 许土国, 王 昊. 测量芦苇沼泽蒸散发的渗流补偿方法[ J]. 水科学进展, 2007, 18( 4 ): 496- 503.
- [ 12 ] Nash J E, Sutcliffe J V. River flow forecasting through conceptual models part FA discussion of principles[ J]. Journal of Hydrology, 1970, 10: 282- 290.
- [ 13 ] Han M, Cheng L, Meng H. Application of four layer neural network on information extraction[ J]. Neural Networks, 2003, 16( 5- 6 ): 547- 553.

## Modelling hydrological cycle system in Zhalong wetland based on reservoir model concept\*

XU Shi guo<sup>1</sup>, LIU Da qing<sup>1</sup>, TANG Xiao liang<sup>2</sup>

(1. School of Civil and Hydraulic Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116023, China;

2. School of Electronic and Information Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116023, China)

**Abstract:** This paper presents a hydrological cycle system model based on reservoir model concept to model hydrological cycle processes in Zhalong wetland. It is divided into 9 reservoirs based on the topography and the project construction. Each reservoir is modelled based on water balance function. The model works using the input data from 1971 to 2003. The parameters of the model are calibrated by the 11 years (1971- 1981) outflow runoff data. The validity of the model is verified by the 6 years (1982- 1987) outflow runoff data and 12 flooded areas obtained from Landsat TM images. The efficiency coefficient of outflow runoff is nearly 0.90 and the relative error less than 3.0%. The modeled flooded areas are also satisfying. The results show that the proposed model has a good performance in modelling wetland hydrological cycle system.

**Key words:** reservoir model; Zhalong wetland; water cycle model; water balance

\* The study is financially supported by the National Natural Science Foundation of China(No. 50139020; 50679012).