DOI:10.19789/j.1004-9398.2015.05.015



# 适合沼泽湿地地区的分布式次降雨径流模型

张 良[1,2] 谢先红[3]

(1. 城市环境过程与数字模拟国家重点实验室培育基地,首都师范大学,北京 100048;
2. 教育部三维信息获取与应用重点实验室 首都师范大学,北京 100048;
3. 遥感科学国家重点实验室,北京师范大学全球变化与地球系统科学研究院,北京 100875)

## 摘 要

根据流域降雨径流的基本过程,在充分考虑了流域下垫面水文要素和各种参数的空间异质性的基础上,建立了一个网格型的分布式次降雨径流水文模型. 模型基于DEM将流域离散为栅格计算单元,将整个流域降雨径流过程分为产流和汇流两大部分. 产流采用考虑地表覆被类型和土壤类型的SCS模型;汇流根据水流特性分别采用运动波方程和Muskingum-Cunge法基于分级汇流的思想进行汇流演算. 模型结构简单、参数较少,大多数参数可利用DEM、土地利用类型图直接获取,少数敏感参数通过率定确定. 应用研究区内的实测数据对模型进行检验,结果表明:确定性系数都在0.8以上,洪量和洪峰的相对误差基本在10%以内,峰现时间的绝对误差不超过2小时,其结果令人满意.

**关键词:** 分布式水文模型,湿地,降雨径流,数字高程模型.
**中图分类号:** P334.8

## 0 引 言

湿地是地球水陆相互作用而形成的独特生态系统,是自然界最富生物多样性和生态功能最高的生态系统[1,2],是人类最重要的环境资源之一,与森林、海洋一起并称为全球三大生态系统,被誉为"地球之肾". 水是湿地生态系统中最重要的物质迁移媒介,是湿地生物组成的决定性因素[3]. 湿地通过水文过程进行物质和能量交换,从而控制着湿地的形成与演化,制约着湿地环境的生物、物理和化学特征[4]. 从20世纪初至今,日益加强的人类活动使得湿地水文过程的连续性受到严重干扰,湿地生态服务功能被破坏,湿地退化严重. 通过模型的手段来研究湿地水文过程,模拟和预测湿地水文状况,为湿地水文过程的恢复和保护提供科学的决策依据和技术支持.

水文模型始终是水文科学研究的重要手段和方法之一[5]. 由于湿地生态系统特有的复杂性以及湿地生态水文过程的复杂性,传统的湿地水文研究方法多是通过野外实地调查法或观测获得信息,包括降雨、流量、水位、洪水过程等. 但是工作条件恶劣,湿地水文气象观测资料非常少;同时传统的流域水文模型应用到湿地上也会出现适用性等问题. 随着水文科学的发展、检测技术的进步和计算机、地理信息系统(GIS)及遥感技术(RS)的进步,为了适应气候变化和人类活动影响下的水文水资源研究之需,水文模型获得了长足的发展,已从集总式模型扩展到分布式或者半分布式模型[6]. 基于湿地研究而建立起来的湿地水文模型也获得了长足的发展. 国外在湿地水文研究方面起步较早,建立了许多野外试验站、生态监测站以及水文监测站和气象站,形成了覆盖湿地范围的监测网络,长期系统的获取湿地实测资料. 并且建立了许多经典的现在仍被广泛应用的湿地水文模型,如SWAT模型[7]、WERLANDS模型[8]、Restrepo-MODFLOW湿地模型[9]、DRAINMOD模型[10]和MIKESHE模型[11]. 但是这些模型在实际应用上也存在一些问题,比如时间尺度大、高精度的流域物理特性数据较难获取、模型参数多且参数的确定也是个难题、模型处理数据量大效率低等.

本文在前人研究的基础上,利用空间信息技术,充分考虑流域下垫面水文要素和各种参数的空间异质性,结合湿地研究区的自身特点,建立了一个小时时间尺度的基于DEM的分布式降雨径流模型,用于模拟次降雨下的沼泽湿地水文过程. 模型采用简洁

收稿日期:2014-03-19



(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

的经验产流模型和具有物理基础的汇流方程来描述水文过程,大部分参数都具有明确的物理意义,且所有参数的易于确定,需要率定的参数少,便于应用.

## 1　研究区和研究方法

### 1.1　研究区概况

黑龙江洪河国家级湿地自然保护区位于三江平原腹地,面积 251 工 $km^2$,地理坐标为:133°34′38″ ~ 133°46′29″E,47°42′18″ ~ 47°52′N. 本文选取的研究区为位于三江平原洪河国家级自然保护区的沃绿兰河流域. 沃绿兰河发源于保护区南部高地(图 1),全长 7 km,南北贯穿整个保护区的核心地带,是保护区的主要水源. 研究区面积为 118.7 $km^2$,其中岛状林占 2.8%、灌丛占 13.6%、无植被水面占 18.7%、农田占 0.3%、小叶章苔草群落占 15.5%、漂筏苔草群落占 2.8%、乌拉苔草群落占 37.4% 和毛果苔草群落占 8.9%. 研究区属于温带大陆性季风气候,多年平均降水量为 585 mm,其中 50% ~70% 的降水集中在 7 ~9 月份,暴雨多集中在夏季,历史上最大年降水 886.1 mm,最大日降量达 75 mm[12]. 研究区内土壤为第四系沉积粘土,土壤类型主要包括白浆土和沼泽土[13]. 研究区地下水埋深 5 ~8 m,由于存在一个深厚的粘土层,隔绝了地下水与地表水水力交换,因此,本研究只考虑地表水水文过程.

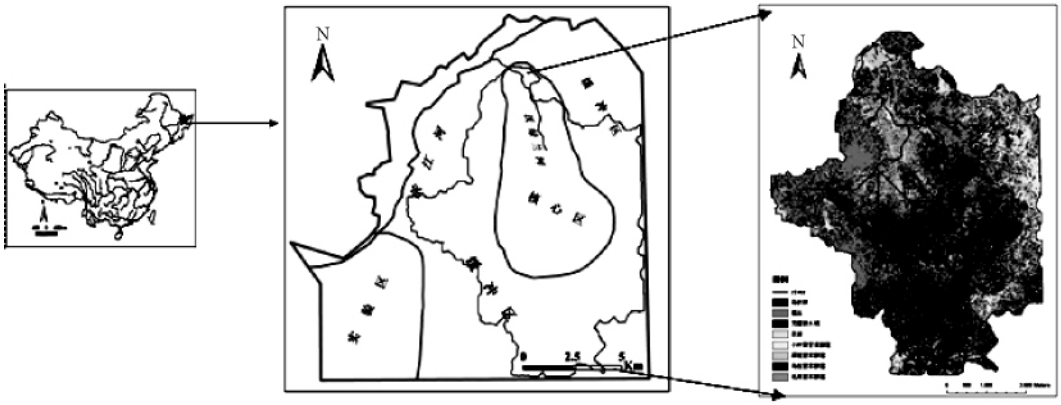



图 1　研究区相对位置图

### 1.2　研究方法

#### 1.2.1　方法设计

本研究基于 DEM 根据地表水产汇流过程构建分布式次降雨径流模型,定量描述一次降雨过程中流域出口的水文特征,结合连续的实地监测数据校验和检验模型,对模型输出结果进行对比分析. 技术路线图如图 2 所示。

#### 1.2.2　数据准备

1)遥感数据

流域地形数据采用以黑龙江省测绘局 1994 年 1∶100 00 地形图(等高距 1 m)进行矢量提取生成的研究区 DEM,栅格单元大小为 30 m × 30 m,沃绿兰河流域共有 131 877 个栅格单元. 本文所用的研究区土地利用图是根据 spot-5 影像分类获取.

2)野外数据

本研究所采用的气象数据和流量数据分别由美国生产的 WatchDog 小型气象站和澳大利亚生产的 Starflow 6526 流速水位温度测量仪测得. WatchDog 气象站能够测量降雨量、蒸散率、风速风向、太阳辐射、气温和相对湿度等常规气象数据,本研究主要应用降雨量数据,其测量精度在 ±2%,设置记录间隔为每小时. Starflow 6526 流速水位温度测量仪采用超声多普勒原理,能够长时间存储所测得的流速、温度和水位

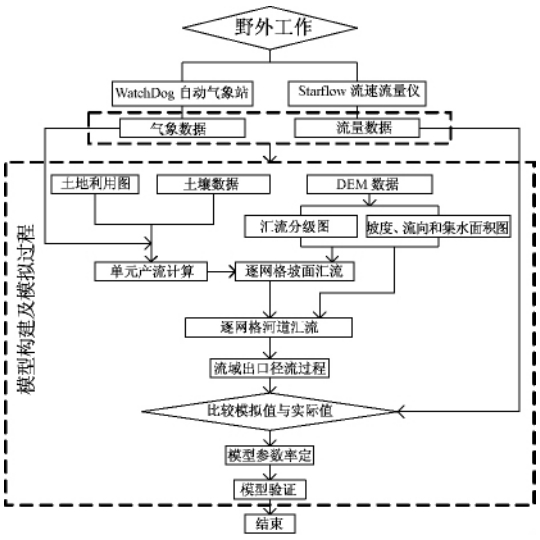



图 2　技术路线流程图



(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

深度数据,在仪器启动时通过设置河道信息可以直接获取流量数据,并且能够随时将记录仪中的数据导入到计算机中,储存为 EXCEL 表格文件. 仪器设置的扫描时间为 5 min,记录时间为 15 min.



图 3 布设于研究区的 WatchDog 气象站和 Starflow6526 流速水位温度测量仪

## 2 分布式水文模型的建立

模型采用栅格数据结构,根据 DEM 将流域离散为栅格单元,每个栅格单元内部都假定有一致的下垫面及气候气象条件,而栅格之间会有变化,通过这种划分可以显式地表达与考虑流域的空间变异性. 模型在设计上,主要考虑降雨之后的产流和汇流过程;并采用简洁的物理或者经验方程描述水文过程,以减少需要率定的参数. 通过 DEM 在 Arcgis 平台上应用 Hydrology 模块,提取流向栅格图、集水面积栅格图和坡度栅格图. 模型根据各个栅格单元的水流方向,确定其汇流等级[14],共将流域划分为 649 级. 对应用集水面积阈值区分出来的坡面和河道采用不同的汇流计算模型进行逐级汇流演算,直至流域出口. 由于本研究的重点是模拟次降雨径流过程,故省略了蒸发的计算过程.

### 2.1 产流计算

产流计算采用由美国土壤保持局(U. S. Soil Conservation Service)针对小流域开发的 SCS 模型[15]. SCS 模型是目前应用最广泛流域水文模型之一[16],其显著特点是模型结构简单,它只有一个参数 CN(Curve Number),该参数随土壤类型、土地利用方式及前期土壤含水量的不同而不同.

SCS 模型的产流公式为:

$$\begin{cases} Q = \dfrac{(P - I_a)^2}{(P - I_a + S)} & P \geqslant I_a \\ Q = 0 & P < I_a \end{cases} \tag{1}$$

其中 Q 为产流深(mm);P 为降雨量(mm);Ia 为为降水的初期损失值(mm),包括地面洼地蓄水、植物截流、下渗和蒸发等. 初期损失项 Ia 是高度变化的,表现前期条件对降水初始损失的影响,模型制作者根据美国农业集水区的资料经验公式将其近似确定为:

$$I_a = 0.2S \tag{2}$$

S 为为最大潜在降水损失(mm),表示降水与径流之间可能的最大差值,通过径流曲线数 CN 与土壤和流域覆被条件建立关系,计算公式为:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \tag{3}$$

径流曲线数 CN 表示不同条件对产流的影响,确定 CN 的主要因素是土壤的水文分组、覆被类型和覆盖情况、水文条件、以及前期径流条件. 确定其值需要三组数据:植被类型、土壤类型(依据土壤的入渗特性将其划分为 A、B、C、D 四类)、前期土壤湿度状况(一般根据前期降水确定,分为三类:干、中、湿)[17],不同的组合对应不同的 CN 值,根据美国国家工程手册第四章列出的 CN 值查算表可以查出不同条件下的具体 CN 值.

综上所述,我们能够看出 SCS 模型的应用重点是在 CN 值的确定上. 但是,SCS 模型是在美国各种下垫面条件下开发制作的,其给出的 CN 值也是根据美国自然地理状况和水文气象条件为基础,经过大量数理统计而给出的. 如果移用到我国,必然存在一个参数的重新率定和经验公式的调整问题. 本文结合国内研究者[18,19]以及 SWAT 模型[7]在应用 SCS 模型时所作出的改动的基础上对 SCS 模型作出一定的调整. 首先是对 CN 值的率定,根据美国 CN 值查算表和国内研究者所确定的一些地类的 CN 值



(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

确定初始 CN 值,将 CN 值作为模型参数参与模型的率定,得出针对本文湿地研究区特点的不同的地表覆被及土壤组合的 CN 值. 其次,将初损 Ia 与最大潜在降水损失比例 0.2 调整为模型参数 m,参与模型参数的率定.

### 2.2　坡面汇流计算

当降雨产生地面径流时,坡面上会出现沿坡度而下的薄层水流,这就是坡面流. 坡面流可以用圣维南方程来组来描述和求解,但是计算繁琐,近年来国内外广泛采用由一维圣维南方程组简化的运动波方程来描述坡面汇流[20]. 运动波近似方法假定水面坡度与河床坡度一致(或者摩阻坡度与地表坡度一致),对动量方程进行简化,其忽略了圣维南方程组中动量方程中的惯性项与附加比降项,认为摩阻坡度等于河底坡度,即水深流量成单值关系.

D. A. Woolhiser 和 J. A. Liggett 指出,为使运动波求解坡面流有效,需使其运动系数 K 值满足下式[21]:

$$K = \frac{S_0 L}{F_{r0}^{\ 2} H_0} > 10 \tag{4}$$

式中,$S_0$为坡面比降;L 为坡长;$H_0$为坡面标准水深;$F_{r0}$为坡面末端弗汝德数. 整理得:

$$K = g S_0^{0.4} n^{1.2} I_e^{-0.8} L^{0.2} \tag{5}$$

式中,n 为曼宁糙率系数;$I_e$为坡面平均降雨强度. 取研究区理论最小坡面比降、研究显示的裸土曼宁糙率系数[22]和理论最大降雨强度代入公式(5)得到表 1.

表 1　极限条件下的运动系数值

| DEM 分辨率 | S0 | L | n | Ie(mm/h) | K |
|---|---|---|---|---|---|
| 30 | 0.000 1 | 30 | 0.02 | 100 | 19.6 |

由计算结果发现,即便在坡降最小、糙率最小、而雨强为 100 mm/h(这种情况发生的概率很小)的不利情形下,所求得的运动系数仍可以满足式(4),说明完全可以利用运动波来描述研究区的坡面汇流情况. 运动波方程为:

$$\begin{cases} \text{连续方程} & B\dfrac{\partial h}{\partial t} + \dfrac{\partial q}{\partial x} = r \\ \text{动量方程} & S_f - S_0 = 0 \end{cases} \tag{6}$$

式中,B 为断面宽度;h 为平均水深;q 为流量;r 为净雨通量;x 为地表坡长;t 为时间;$S_f$为摩阻坡度;$S_0$为坡面比降. 坡面径流流速 u 可用曼宁公式来计算:

$$u = \frac{1}{n} h^{\frac{2}{3}} \sqrt{s_0} \tag{7}$$

式中,n 为地表曼宁糙率系数,其值根据不同土地利用类型查找参考文献获得,为使模型模拟更加准确引入曼宁糙率系数的系统偏差系数 $k_n$,其值通过率定获得.

本文采用隐式有限差分法中,普遍认为最优良的 Preissmann 四点隐格式差分法[23],联立公式(6)、(7)得到非线性方程. 非线性方程无法直接求解,采用牛顿迭代法获得其解值.

### 2.3　河道汇流计算

河道汇流采用对传统 Muskingum 模型的改进的 Muskingum-Cunge 法[24],它通过考虑河道和水流特性引入了一个解决扩散问题的非线性系数方法. 它的理论基础是控制空间步长,以诱发运动波方程有限差分解中的数字扩散,从而再生了实际的物理扩散,使其产生扩散波方程的解. 其计算公式为:

$$O_2 = C_2 I_1 + C_2 I_2 + C_3 O_1 + C_4 Q_{lat} \tag{8}$$

式中的变量 I 和 O 分别指河段的入流和出流,二者的下标 1 和 2 分别指前一时刻和计算时刻,式中的参数分别用下式计算:

$$\begin{aligned} C_1 &= \frac{\frac{\Delta t}{K} + 2X}{\frac{\Delta t}{K} + 2(1 - X)} \\ C_2 &= \frac{\frac{\Delta t}{K} - 2X}{\frac{\Delta t}{K} + 2(1 - X)} \\ C_3 &= \frac{2(1 - X) - \frac{\Delta t}{K}}{\frac{\Delta t}{K} + 2(1 - X)} \\ C_4 &= \frac{2\frac{\Delta t}{K}}{\frac{\Delta t}{K} + 2(1 - X)} \end{aligned} \tag{9}$$

Muskingum 法和 Muskingum-Cunge 法的主要差别在于参数 K 和 X 的计算上,用下式计算参数:

$$K = \frac{x}{c}; X = \frac{1}{2}\left(1 - \frac{Q}{c?xB\,S_0}\right) \tag{10}$$

式中 c 为波速;$Q_{lat}$为旁侧入流;B 为水面宽度;$S_0$是河床坡度;K 实际上是指在当前波速的情形下经过河段的集水时间;X 为加权系数. 其中水面宽度和河床坡度都可由 DEM 得出,唯一未知的为波速 c.

在一些不需要详细河道特性的方法中,例如根据汇流时间确定流域出口断面的汇流过程时,可以假设水流流速为流量的函数[25,26]:

$$c = a\,Q^b \tag{11}$$

式中,Q 为各个栅格的流量,在实际计算中以上游栅



(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

格的出流代替,a 和 b 是经验参数,在模型调试中率定.

本文在利用 Muskingum-Cunge 法进行逐栅格的河道汇流演算之前,需要根据式(8)确定各个栅格的参数 K 和 X.

至此整个分布式模型即建立起来.

## 3 结果与分析

### 3.1 参数率定与模型验证

模型选取研究区 7 月和 8 月实测数据中的六次降雨来进行模拟,其中 7 月份的 3 次降雨用来进行模型参数率定,8 月份的 3 次降雨用来进行模型验证. 参数率定结果如表 2 和表 3 所示. 选择确定性系数、洪量相对误差、洪峰相对误差和峰现时间的绝对误差来作为模型评价的指标. 结果如表 4 所示. 验证期的 3 次洪水计算结果过程图如图 4 所示.

表 2 模型参数率定结果

| 参数 | 参数含义 | 参数值 |
|---|---|---|
| m | 初损比例 | 0.22 |
| $k_n$ | 曼宁糙率系数系统偏差系数 | 1.12 |
| a | 波速计算经验参数 | 0.60 |
| b | 波速计算经验参数 | 0.78 |

表 3 模型参数 CN 率定结果

| 土地利用类型 | 岛状林 | 灌丛 | 无植被水面 | 农田 | 小叶章 | 漂筏 | 乌拉 | 毛果 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CN 值 | 63 | 69 | 100 | 81 | 79 | 89 | 85 | 83 |

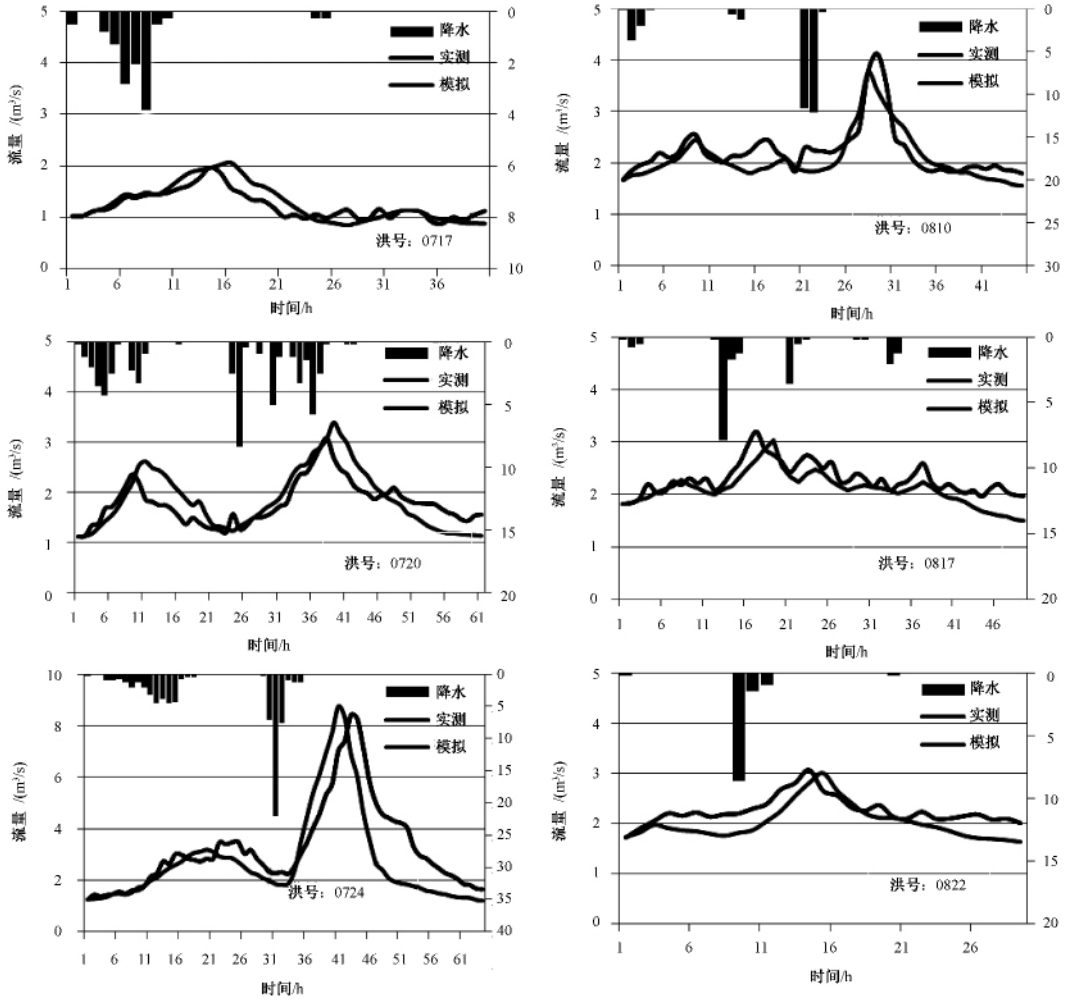



图 4 实测与模拟的流量过程线

### 3.2 结果分析

从模拟结果图 4 和表 4 中可以看出,模型模拟的 7 月份 3 次率定期和 8 月份 3 次验证期洪水过程线和实测过程线基本一致,确定性系数都在 0.8 以上,洪量和洪峰的相对误差基本在 10% 以内,峰现时间的绝对误差不超过 2 小时,模拟结果令人满意. 同时,发现 7 月前两次降雨中洪量和洪峰的相对误差为正,7 月底和 8 月的四次降雨中洪量和洪峰的



(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

相对误差基本全为负,这主要由于从 7 月底开始研究区内的降雨次数和降雨强度明显增多和增强,从实测的径流数据中我们也可以发现 8 月份的径流数据明显比之前的大. 因此,用 7 月份数据率定出的参数来验证 8 月份的数据,得到的模拟值会比实测值小.

表 4　模拟的研究区各场洪水的评价指标值

| 洪号 | 确定性系数 | 洪量相对误差(%) | 洪峰相对误差(%) | 峰现时间的绝对误差(h) |
|---|---|---|---|---|
| 0717 | 0.91 | 4.51 | 5.34 | 2 |
| 0720 | 0.84 | 4.37 | 10.15 | 1 |
| 0724 | 0.85 | -14.64 | 3.91 | 2 |
| 0810 | 0.87 | -4.83 | -8.72 | 1 |
| 0817 | 0.83 | -8.29 | -5.35 | 2 |
| 0822 | 0.82 | -10.45 | -2.12 | 1 |

首先对 7 月份的 3 次降雨进行模拟,模拟时发现 CN 值和曼宁糙率系数系统偏差系数比较敏感. CN 值参数率定时每一次率定都需要对每个土地利用类型的 CN 值进行调整,其中研究区内所占比例较大的小叶章苔草群里、乌拉苔草群落和毛果苔草群里的 CN 值调整次数最多. 曼宁糙率系数系统偏差系统的率定值较大,其原因是湿地植被覆盖度较大,坡面流的水深很小,坡面对水流的阻力相对较大,因而数值较大.

## 4　结论与展望

湿地是独特的生态系统,是环境变化反应的敏感区域. 由于水文过程在湿地中的特殊地位,所以深入研究湿地水文模型在湿地水资源管理、生物多样性的保护、湿地的恢复等方面意义深远. 本文在考虑降雨径流及其影响因素时空变异的基础上,结合本研究区的自身特点,建立了一个简洁的、基于 DEM 的分布式次降雨径流模型,并应用实测数据对模型进行了率定和检验,模拟结果令人满意. 相对于其他模型(如 SWAT 模型[7],MIKESHE 模型[11])流域物理特性数据较难获取、模型参数多且较难确定和计算量大等缺点.

模型具有以下几个特点:

(1)模型参数较少,参数的物理意义明确,大多数参数可以利用 DEM、土地利用图和土壤类型确定;需要率定的参数少,便于应用;

(2)模型模拟的时间尺度小,为小时尺度;

(3)模型虽结构简单,但能够反映出次降雨径流过程的基本物理机制;

(4)通过确定计算单元的汇流次序,提高了模型的计算效率.

但是,需要指出的是,由于研究区实测数据从今年才开始监测,可用于模拟的降雨次数较少. 经过多年实测之后,模型率定的参数将更加准确,模拟流量与实测流量也更加接近. 同时,模型主要模拟次降雨径流过程,因而忽略了蒸发的计算,以后可以增加蒸发项,使模型拓展到长期的水文过程模拟. 模型虽有一定的不足之处,但在洪河国家级湿地保护区内应用的结果令人满意. 希望本模型能在其他湿地上有更多的应用和验证.

致谢:本文研究工作得到首都师范大学周德民研究员的悉心指导,感谢中国科学院东北地理与农业生态研究所栾兆擎研究员和首都师范大学柳成亮硕士对采集野外数据的帮助,感谢首都师范大学辛培源硕士对模型构建编程方面的帮助,感谢中国科学院三江平原沼泽湿地生态试验站和黑龙江洪河国家级自然保护区有关领导的大力帮助和支持,特此致谢.

## 参　考　文　献

[1] 贾萍,宫辉力,赵文吉,等. 我国湿地研究的现状与发展趋势[J]. 首都师范大学学报:自然科学版,2005,24(3):84-95.

[2] 马立广,曹彦荣,李新通. 基于层次分析法的拉市海高原湿地生态系统健康评估[J]. 地球信息科学学报,2011,13(2):234-239.

[3] ToddA K, Buttle JM, TaylorCH. Hydrologicdynamics and l ink ages ina wetland-dominated basin [J] 1 Journal ofHydrology, 2006, 319 (4):15-351.

[4] 崔丽娟,张岩. 湿地水文过程效应及其调控技术[J]. 世界林业研究,2011,24(2):10-14

[5] 赵人俊. 流域水文模拟[M]. 北京: 水利电力出版社, 1984.

[6] 王中根,刘昌明,吴险峰. 基于 DEM 的分布式水文模型研究综述[J]. 自然资源学报,2003.

[7] Neitsch S L, Arnold J G,Kiniry J R, et al. Soil and water assessment tool theoretical documentation, version 2000 [EB/OL].



(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

[8] MansellRS, Bloom SA, Sun G. 2000. A model forwetland hydrology: Description andvalidation. Soil Science, 165: 384 -397.
[9] Restrepo J I, Montoya AM, Obeysekera J. 1998. A wetland simulation module for theMODFLOW ground water model. Ground Water, 36: 764 - 770.
[10] Skaggs RW. 1982. Field evaluation of a watermanagement simulation model. Transactions of the ASAE, 5: 666 - 674.
[11] Refsgaard JC, Storm B. 1995. MIKESHE ComputerModels ofWatershed Hydrology. New Jersey, USA: Water ResourcesPublication.
[12] 周德民,宫辉力. 洪河保护区湿地水文生态模型研究 [M]. 北京:中国环境科学出版社,2007,7 -8.
[13] 倪红伟,李君. 洪河自然保护区生物多样性 [M]. 哈尔滨:黑龙江科学技术出版社,1999.
[14] 王纲胜,夏军,牛存稳. 分布式水文模拟汇流方法及应用 [J]. 地理研究,2004,23(2):175 -182.
[15] SCS. National Engineering Handbook [S]. Hydrology, section 4, Soil Conservation Service, US Department ofAgriculture, Washington, DC, 1956.
[16] 刘家福, 蒋卫国, 占文凤. SCS 模型及其研究进展 [J]. 水土保持研究,2010.
[17] Glenn O. S, Richard K. F, Talcott W. E, Kenneth K. B. Soil and Water Conservation Engineering [M]. New York:John Wiley & Sons,1981:69 -91.
[18] 郭晓军,王道杰,庄建琦. SCS 模型在干热河谷区坡面产流模拟中的应用 [J]. 中国水土保持科学,2010,10(4):14 -18.
[19] 李丽,王加虎,郝振纯,刘文斌. SCS 模型在黄河中游次洪模拟中的分布式应用 [J]. 河海大学学报,2012,1(1):104 -108.
[20] 黄新会,王占礼,牛振华. 水文过程及模型研究主要进展 [J]. 水土保持研究,2004,11(4):105 -108.
[21] Woolhiser D A, Liggett J A. Unsteady one-dimensional flow over a place the rising hydrograph [J]. Water Resources Research,1967,3(3):753 -771.
[22] 张升堂,康绍忠. 基于矢量糙率的栅格单元流量分配模型 [J]. 水利学报,2005,36(11):1326 -1330.
[23] David R Maidment. 水文学手册(Handbook of Hydrology). 张建云等译北京:科学出版社,2002. 387 -422.
[24] Cunge K A. On the subject of a flood propagation method (Muskingum Method) [J]. J Hydraulic Research, 1969, 7 (2): 205 - 230.
[25] Dennis L J, Arthur C M. A spatially distributed hydrologic model utilizing raster data strucuures [J]. Computer & Geosciences,1997,23(3):267 -272.
[26] Diermanse F L M. Representation of natural heterogeneity in rainfall-runoff models [J]. Physics and Chemistry of the earth,1999,24(7):787 -792.

# A suitable distributed hydrological model for a single rainfall-runoff event in the marsh wetland area

Zhang Liang[1,2] Xie Xianhong[3]

(1. Base of the State Laboratory of Urban Environmental Processes and Digital Modeling, Capital Normal University, Beijing 100048, China;
2. Key Laboratory of 3D Information Acquisition and Application, Ministry of Education, Capital Normal University, Beijing 100048, China;
3. Key Laboratory of Remote Sensing Science, Beijing Normal University College of Globle Change and Earth System Science, Beijing 100875, China)

**Abstract**

According to the basic process of rainfall-runoff, this study has established a grid typedistributed hydrological model for a single rainfall-runoff event in full consideration of the spatial heterogeneity of watershed underlying surfacehydrological factors and various parameters. This model discretizes watershed into grid unit based on the DEM and divides the rainfall-runoff process into two parts, runoff generation and confluence. The runoff generation is calculated by SCS Model which takes the vegetation types and soil types into consideration. According to the the

(下转第 86 页)



(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

# The Landscape Structure Optimization of Artificial Forest in the Taihe County

Chen Ying Dong Xiaojun

(The Institute of Environment and Tourism of Capital Normal University, Beijing 100048)

**Abstract**

The southern red soil hilly region is a typical fragile ecological system in China area, after a long-term cultivation, the vegetation is destroyed, soil erosion is serious. This article select Taihe county in Jitai plains in Jiangxi as the study area. Adopt the method of landscape ecology evaluation and utilize the PatchAnalyst module of Arcview3. 3 and Fragstats(raster version 3. 3) software to calculate landscape pattern index from the three levels: Plaque, type, and landscape. Landscape pattern index incorporate NP, CA, PLAND, LSI, AREA_MN, AREA_SD($hm^2$), SPLIT and so on. Landscape pattern index reveals the landscape pattern characteristics of the study area, evaluate landscape structure of artificial forest in Taihe county, compare the difference of forest types on the landscape structure and put forward countermeasures of fir plantation landscape structure optimization.

**Key words:** landscape structure, landscape pattern index, landscape structure optimization, national policies and measures.

---

(上接第 74 页)

characteristic of flow, the confluence is calculated respectively by the kinematic wave equation and the Muskingum-Cunge methodbased on the idea ofhierarchical routing convergence. The model is simple in structure and few input parameters that most parameters can be obtained directly by DEM and land use map and a few sensitive parameters can be determined by calibration. This model is inspected by the observed data in the study area, the result shows that the deterministic coefficient is above 0. 8, the relative error of flood discharge and flood peak basic within 10% and the absolute error of flood time is less than 2 hours. The results are satisfactory.

**Key words:** distributed hydrological model, wetland, rainfall-runoff, digitalelevation model.



(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net