

DOI :10.3876/j.issn.1000-1980.2010.02.001

基于栅格的分布式超渗产流水文模型构建及比较

王莉莉¹, 李致家¹, 包红军²

(1. 河海大学水文水资源学院, 江苏 南京 210098; 2. 国家气象中心, 北京 100083)

摘要: 利用具有物理机制的 Green-Ampt 下渗方法并考虑降雨间歇土壤含水量再分配计算栅格内产流, 同时考虑河道排水网络的水量交换, 采用逐栅格的 Muskingum-Cunge 演算法进行汇流, 构建了基于栅格的分布式超渗产流水文模型(Grid-GA 模型)。同时还建立了基于子流域的 Green-Ampt 水文模型、以及增加超渗产流机制的新安江模型。将这 3 个模型以及新安江模型应用于半湿润的沂河高里流域, 结果表明 4 个水文模型均能很好地进行水文过程的模拟, 证明所构建的模型结构合理。

关键词: 分布式水文模型; 数字高程模型; 新安江模型; Green-Ampt 模型; 水量再分配; 超渗产流; GIS; 高里流域

中图分类号: P333.2

文献标识码: A

文章编号: 1000-1980(2010)02-0123-06

近年来, 随着地理信息、遥感等空间测量技术的迅速发展, 出现了一些典型的基于 GIS 和 DEM 的分布式和半分布式水文模型^[1-3]。如李致家等^[5-8]在新安江模型基础上, 提出了基于栅格的新安江模型。基于 DEM 的分布式水文模型以其充分考虑水文要素和各种参数空间变化的特点成为水文模型的发展趋势。现在比较成熟的分布式水文模型, 如 TOPKAPI 模型、TOPMODEL 模型与基于栅格的新安江模型, 其产流机制往往反映的是蓄满产流机制, 对存在一定比例超渗产流的半干旱半湿润或者干旱流域洪水模拟精度存在一定的影响。因此, 有必要建立能够反映半干旱半湿润地区产流机制的分布式水文模型, 以提高流域水文模拟及洪水预报的精度。

本文结合 GIS 和 DEM 技术, 构建了基于栅格和 Green-Ampt 下渗方法的分布式超渗产流水文模型(Grid-GA 模型)。模型在 DEM 的基础上, 提取了水文模拟所需要的流域特征, 对模型进行栅格化, 利用具有物理机制的 Green-Ampt 下渗方法计算栅格内产流, 并考虑降雨间歇土壤含水率的变化以及河道排水网络的水量交换, 采用逐栅格的 Muskingum-Cunge 演算法进行汇流。基于 Green-Ampt 下渗方法, 建立基于子流域的 Green-Ampt 分布式水文模型(简称基于子流域的 GA 模型)。模型中加入了下渗能力曲线来考虑半干旱半湿润流域下垫面的空间变异性。由于 Green-Ampt 下渗方法具有一定的物理机制, 笔者选择其作为计算超渗产流模块加入新安江模型, 建立增加超渗产流机制的新安江模型。将 Grid-GA 模型、基于子流域的 GA 模型、增加超渗产流机制的新安江模型和新安江模型应用于半湿润地区沂河高里流域水文过程模拟并对比分析研究, 以探讨所构建模型结构的合理性。

1 Grid-GA 模型的构建

构建 Grid-GA 模型, 必须首先根据 DEM 资料提取相关流域信息, 即 DEM 预处理、流向确定、水系生成及流域提取等一系列过程。然后由处理后的 DEM 和流向构建一个栅格演算次序矩阵。

- 在集水面积矩阵基础上, 搜索出最大集水面积的栅格点(即流域出口), 并赋值为当前计算次序 k ($k = 1$)。
- 累加 k ($k = k + 1$) 按照顺时针方向(从正北方邻点开始)依次扫描所有前一赋值点周围 8 个邻点, 如果邻点流入前赋值点, 则赋值该邻点当前计算次序 k 。
- 重复步骤 b 直到没有栅格可以赋值。
- 将得到的计算次序矩阵倒排序, 依次类推, 就可得到栅格演算次序矩阵。Grid-GA 模型将每一个栅格

收稿日期: 2009-03-06

基金项目: 国家自然科学基金(50479017); 教育部长江学者和创新团队发展计划(IRT0717); 国家博士点基金(20090094110005)

作者简介: 王莉莉(1982—), 女, 北京人, 博士研究生, 主要从事水文模型与水文预报研究。E-mail: wanglili_1021@sina.com

作为一个计算单元处理,进行蒸散发量计算、产流计算、汇流计算,得到每1个栅格的产流量和地表、地下2种水源。在进行栅格演算时,如果当前栅格有河道存在,属于河道栅格,则其地表径流和壤中流将有部分汇入河道中。在汇流过程中,地表径流、壤中流以及河道流量都采用逐栅格的 Muskingum-Cunge 演算法^[6-8]计算,这样就可以得到整个流域出口断面的流量。

1.1 模型产流机制

Grid-GA 模型的每个栅格在垂直方向上分为4层:植被及根系截留层、土壤饱和层、土壤非饱和层和基岩层,水分只在上3层运动。

1.1.1 植被截留

由于整个流域土地覆盖类型变化很大,为了充分考虑下垫面的空间变化,需要流域的土地覆盖资料。本文利用美国地质调查局提供的 IGBP 卫星遥感图像获得流域的土地覆盖数据。IGBP 将全球土地覆盖类型分为17类,为了模型参数选取的方便,笔者将17类土壤覆盖类型简化合并为4类:树林、灌木林、草地(含作物地)和不透水地。通过建立土壤覆盖类型与参数植被最大截留量 $S_{r\max}$ 之间关系,就可以得到空间上每个栅格的 $S_{r\max}$ 。进入土壤的净雨量 $P_{ei}(t)$ 由公式(1)计算:

$$P_{ei}(t) = \max\{0 [P_i(t) - S_{ri}(t)]\} \tag{1}$$

式中: $P_i(t)$ —— i 栅格 t 时刻的降雨量; $S_{ri}(t)$ —— i 栅格 t 时刻的植被截留水量。

1.1.2 蒸散发量计算

在 Grid-GA 模型中,蒸散发量计算垂直方向上分为2层:植被及根系截留层蒸散发量 $E_{ai}(t)$ 计算、土壤层蒸散发量 $E_{bi}(t)$ 计算。

$$E_{ai}(t) = E_{pi}(t) \left[1 - \left(\frac{S_{ri}(t)}{S_{r\max i}} \right)^\alpha \right] \tag{2}$$

$$E_{bi}(t) = E_{pi}(t) \left[1 - \left(\frac{S_{uzi}(t)}{S_{uzi}(t) + D_i(t)} \right)^\beta \right] \tag{3}$$

式中: $E_{pi}(t)$ ——单元栅格 i 上 t 时刻的蒸散发能力; α ——植被及根系截留层蒸散发控制指数; β ——土壤层蒸散发控制指数; $D_i(t)$ ——单元栅格 i 上 t 时刻的土壤层缺水量; $S_{uzi}(t)$ ——单元栅格 i 上 t 时刻的土壤层蓄水量。

1.1.3 土壤入渗及对 Green-Ampt 下渗方法的改进

模型产流结构中的下渗过程是流域降雨径流过程的重要组成部分,决定了流域坡面流的形成。本文选取的 Green-Ampt 下渗方法,也称为活塞置换模型,是1911年 Green 等根据毛管理论提出的近似积水模型。虽然形式简单,但物理概念明晰,其特征参数与土壤物理特征间的关系建立方便,而且计算结果也很精确。其计算方程为^[10]

$$f = \frac{dF}{dt} = K_s \left[1 + \frac{(\theta_s - \theta_0) S_f}{F} \right] \tag{4}$$

$$F = K_s t - S_f (\theta_s - \theta_0) \ln \left(1 + \frac{F}{S_f (\theta_s - \theta_0)} \right) \tag{5}$$

式中: f ——入渗率; F ——累积入渗量; K_s ——有效水力传导度; t ——时间; S_f ——湿润峰面处土壤吸力; θ_s ——饱和含水率; θ_0 ——初始含水率。

Green-Ampt 下渗方法是基于连续降雨的条件,但是在实际的生产应用中,降雨过程不一定是连续进行的。所以 Green-Ampt 下渗方法往往因为没有考虑降雨间歇期土壤含水率的变化,因而在降雨间歇期后没有能够很好地模拟下渗。本文在假定一个矩形的土壤水分分布图的情况下,利用非饱和达西定律计算降雨间隙期土壤含水率的再分配,以改进 Green-Ampt 下渗方法^[11]:

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{1}{F} \left[r_h - K_i - \left(K_0 + \frac{K_s S_f (\theta_i, \theta_0)}{F} \right) \right] \tag{6}$$

其中

$$K_i = K_s \frac{\theta_i - \theta_\gamma}{\theta_s - \theta_\gamma}$$

式中: r_h ——降雨间歇期的降雨强度; K_i ——在初始含水率 θ_i 条件下土壤的不饱和水力传导度; K_0 ——在含水率 θ_0 条件下土壤的不饱和水力传导度; $S_f(\theta_i, \theta_0)$ ——含水率在 θ_i 和 θ_0 之间的湿润峰面处土壤吸力,用式

(7)通过缩放 Green-Ampt 下渗方法中湿润峰面处土壤吸力参数 S_f 来求值：

$$S_f(\theta_i, \theta_0) = S_f \left(\frac{\Theta_0^{3+1/\lambda} - \Theta_i^{3+1/\lambda}}{1 - \Theta_i^{3+1/\lambda}} \right)$$

(7)

其中

$$\Theta = \frac{\theta_i - \theta_\gamma}{\theta_s - \theta_\gamma}$$

式中： λ ——Brooks-Corey^[12]中的气孔形状指数； θ_i —— i 时刻土壤含水率； θ_γ ——剩余含水率。由此可得下一个降雨时刻的土壤初始含水率 θ'_0 ，即

$$\theta'_0 = \theta_0 + \frac{d\theta}{dt} \Delta t$$

式中 Δt 为相邻 2 次降雨的间隔时间。

Grid-GA 模型各参数取值见表 1，表 1 中 K_s ， S_f 和 θ_s 均取自美国农业部土壤质地分类的 Green-Ampt 下渗方法参数值。

1.1.4 基流和坡面流

在 Grid-GA 模型中，采用线性水库基流模型用于连续土壤水计算模型。当净雨量 P_e 大于下渗率 f 时，地表将产生坡面流 Q_s ，即

$$Q_s = (P_e - f)Dt$$

(8)

式中 Dt 为计算的时间步长。

1.2 模型汇流机制

汇流过程可分为河道栅格和非河道栅格汇流。对于河道栅格，经过产流机制计算，就可得到当前栅格地表径流量 Q_s 和地下径流量 Q_l ，然后可算出汇入河道流量以及当前时段的河道入流量 Q_c 。

$$Q_{CG} = D_p(Q_s + Q_l)$$

(9)

$$Q_c = Q_{CG} + Q_{Cl}$$

(10)

式中 D_p —— Q_s 和 Q_l 汇入河道的比例； Q_{CG} ——地表和地下径流汇入河道流量； Q_{Cl} ——上游栅格河道出流量。

对于非河道栅格，根据 $D8^{[6]}$ 法计算出每个栅格的出流方向，生成排水网络并建立栅格演算次序矩阵，利用 Muskingum-Cunge 演算法逐栅格演算至流域出口，具体见文献[6]。

2 基于子流域的 GA 模型与增加超渗产流机制的新安江模型的建立

2.1 基于子流域的 GA 模型

本文结合 GIS 技术，构建基于子流域的 GA 模型。利用 Arcgis 软件将所研究流域按自然边界划分成若干子流域，考虑到半干旱半湿润流域下垫面空间分布的不均匀性，采用加入流域下渗能力分布曲线的 Green-Ampt 方法进行子流域的产流计算。采用滞后线性水库模型进行河网汇流计算，河道汇流计算采用马斯京根法。

2.2 增加超渗产流机制的新安江模型

山坡水文学的理论，丰富和完善了产流机制，其中最大的贡献之一是提供了变动产流面积和壤中流的概念^[7]。根据山坡水文学的理论，地表径流有超渗坡面流和坡面流；由于土层沿垂向的水力传导度不同，一般从上到下逐渐减少，当上层的供水率大于下层的下渗率时，在界面上会形成积水，从而产生壤中流。在新安江模型的蓄满产流计算中，考虑了变动产流面积上的饱和坡面流、壤中流及地下径流，但是对于不产流面积上的产流情况没有考虑。实际上对于半干旱半湿润流域以及湿润流域久旱之后的第一次洪水，常有超渗产流发生。在模型中不考虑这部分产流量会造成模拟系统的偏差。而在半干旱半湿润流域，植被较差，土层很薄，有部分陡峭的山区很容易发生超渗产流和形成超渗坡面流。鉴于此，有必要对新安江模型^[9]进行改进，在新安江模型中增加一个超渗产流模型，使得新安江模型除了适用于湿润流域之外，也适用于有超渗产流的半干旱半湿润流域。

李致家等^[7]在新安江模型中的不产流面积上增加霍顿产流机制，以对其进行改进。下渗能力的计算有水文分析法和下渗模型法，其中后者较为通用。由于 Green-Ampt 下渗方法简洁易用，而且具有一定的物理基

础,本文选用基于 Green-Ampt 下渗方法的产流机制.

3 模型应用

3.1 流域介绍

沂河位于沂沭泗水系东北部,发源于鲁山南,地势西北高,向东南部平原倾斜,高程在 57~1 004 m 之间.河道长 287.5 km.沂河流域属温带季风区大陆性气候,多年平均降雨量 830 mm,汛期降雨量 616 mm,约占年降雨量的 75%.

选取沂河临沂以上高里流域为研究区域,位于北纬 35.28°~35.53°,东经 118°~118.53°区域之间,集水面积为 552 km²,流域内共 3 个雨量站.根据美国地质调查局(USGS)提供的全球 30"×30"的 DEM 数据提取水系并划分子流域(见图 1,阈值 300 km²).土地覆盖数据采用美国地质调查局提供的 30"×30"全球土地覆盖图像,并合成 4 种类型.利用 NOAA 卫星提供的 1°×1°全球土壤成分图像,得到高里流域的土壤成分分布图.

3.2 模型应用比较

选取 1971~1996 年间 12 场高里流域汛期的典型洪水,时间步长取为 2 h,用 4 个模型对其进行洪水模拟,其中 8 场用来率定模型的参数,4 场用来检验.表 2 为 4 个模型次洪模拟结果特征值.从表 2 可以看出,4 个模型模拟的精度基本一致,Grid-GA 模型在洪峰误差控制和径流深误差控制上稍好于其他模型,这也证明了 Grid-GA 模型理论的合理性和可靠性.

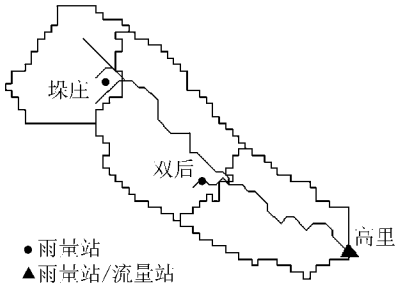


图 1 高里流域
Fig. 1 Gaoli basin

表 2 4 个模型次洪模拟结果特征值统计

Table 2 Statistical characteristics of secondary floods simulated by 4 models

洪 号	洪峰相对误差/%				径流深相对误差/%				峰现时差/h				确定性系数			
	GGA	GA	X	IX	GGA	GA	X	IX	GGA	GA	X	IX	GGA	GA	X	IX
1971080902	4.12	7.40	4.30	4.30	-10.10	-13.90	-19.70	-19.70	0	0	0	0	0.91	0.91	0.91	0.91
1973072722	3.92	45.96	15.80	15.70	-14.30	16.90	-15.90	-16.00	1	-4	-3	-3	0.91	0.45	0.83	0.83
1974081222	-11.30	32.24	32.40	32.40	-10.90	15.37	12.79	12.78	0	0	0	0	0.93	0.92	0.90	0.90
1975072310	19.97	-13.40	-7.90	-5.60	-13.30	-32.50	-33.90	-43.70	0	0	0	0	0.88	0.37	0.30	0.12
1980062914	-0.21	15.67	5.90	5.50	-11.90	-18.90	-12.30	-13.00	0	-1	0	0	0.90	0.87	0.90	0.90
1985073002	0.42	12.87	19.80	19.70	0.16	-14.10	9.73	7.63	1	2	3	3	0.85	0.38	0.56	0.53
1985090416	-12.10	14.89	12.10	11.70	-15.10	-16.40	-5.40	-7.69	0	0	0	0	0.89	0.84	0.92	0.92
1990081406	-1.37	32.36	34.40	34.40	15.71	-2.27	16.97	8.17	0	0	0	0	0.83	0.91	0.91	0.90
1991072222	-18.60	20.26	25.70	25.60	-17.80	12.44	22.46	20.32	0	0	0	0	0.84	0.78	0.75	0.71
1993080322	0.71	-8.40	-18.54	-6.92	-12.55	1.84	-4.65	3.83	0	0	0	0	0.92	0.91	0.90	0.91
1995082202	-18.30	17.98	12.10	9.50	7.60	-27.90	-11.40	-15.10	0	0	0	0	0.85	0.78	0.93	0.91
1996080622	1.41	12.84	-13.60	5.90	-16.00	-9.35	-4.32	15.26	1	-3	-2	-2	0.9	0.85	0.94	0.89

注:GGA 为 Grid-GA 模型;GA 为基于子流域的 GA 模型;X 为新安江模型;IX 为增加超渗产流机制的新安江模型.

经过分析可以看出,4 个模型各有优势,究其原因,可能有以下几个方面:(a)从洪峰来看,增加超渗产流机制的新安江模型在 1975072310,1985073002,1985090416,1991072222,1995082202 和 196080622 次洪水中的模拟效果好于新安江模型,可以看出增加超渗产流的新安江模型模拟精度较高,也证明了流域中存在一定的超渗产流.Grid-GA 模型、基于子流域的 GA 模型与增加超渗产流机制的新安江模型模拟效果相当,证明了 Green-Ampt 下渗方法适用于半湿润流域.图 2 是高里流域 1980062914 次和 1993080322 次洪水 4 个模型的模拟过程线.从图 2 可以看出,Grid-GA 模型退水较快,这也说明了半湿润地区存在一定的地下水.(b)从径流深来看,4 个

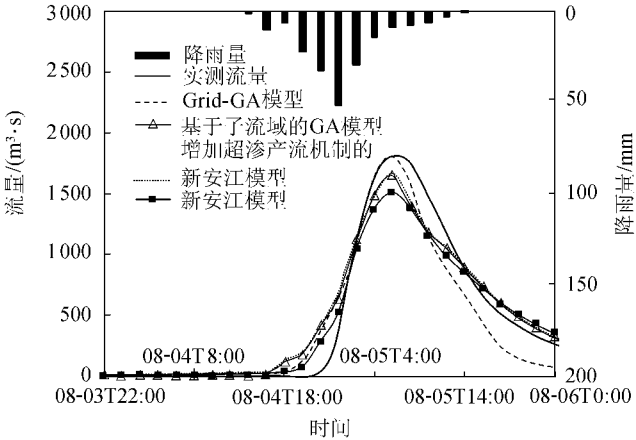


图 2 洪号 1993080322 的洪水模拟过程

Fig. 2 Modeling of flood Number1993080322 in Gaoli basin

模型模拟效果基本相近,说明所建模型结构是合理的。(c)从峰现时间及过程线拟合程度上来看,4 个模型各有优势,其中,Grid-GA 模型模拟误差明显好于其他 3 个模型,这充分体现出分布式水文模型的优点,即在产汇流中考虑半湿润地区下垫面空间分布的不均匀性。

3.3 模型分析

a. 模型结构.4 个模型在沂河高里流域取得较好的模拟效果,Grid-GA 模型与新安江模型相比在洪峰误差控制上模拟效果稍好一些,主要原因在于 Grid-GA 模型充分考虑到了半湿润地区下垫面的空间变异性和半干旱半湿润地区存在一定的超渗产流。但是 Grid-GA 模型毕竟是比较简单的分布式水文模型,只考虑了含有河道栅格的水量交换,并没有考虑流域内不含河道栅格之间的水量交换,关于这一方面国外已经有一些研究^[12-13]。其次,研究半湿润地区产汇流机制资料的时间步长应小于 0.5 h,笔者认为这也是没有完全体现所建立的分布式水文模型优势的原因之一。从图 2 可以看出,Grid-GA 模型退水较快,这是因为沂河高里流域存在一定的地下水,这也是下一步 Grid-GA 模型需要完善的地方。新安江模型模拟的效果也比较好,其原因主要是干旱、半干旱及半湿润地区植被较差,耕作土壤层较薄,一般形成的洪水和特大洪水降雨强度大,表层土壤容易板结,阻碍进一步的下渗;另外,本文选取的时间步长为 2 h,这使得流域内一些地方在这个时段内已经达到了稳定入渗^[14]。同样是基于子流域的模型,GA 模型模拟效果虽然与新安江模型及增加超渗产流机制的新安江模型相似,但没有这 2 个模型模拟效果好,其原因是新安江模型和增加超渗产流机制的新安江模型都是三水源模型,相对于基于子流域的 GA 模型分水源细,这说明高里流域存在一定的地下水。而对于新安江模型和超渗产流机制的新安江模型,模型模拟效果大致相同,这也说明超渗产流模型更加满足半湿润地区洪水模拟的要求,证明了改进模型结构的合理性。并且增加超渗产流机制的新安江模型从一定程度上扩大了新安江模型的适用范围,可以完全用于湿润和半干旱半湿润地区,理论上也可以用于干旱地区。

b. 模型参数.本文所构建的 Grid-GA 模型,结合了遥感与 GIS 技术,利用美国地质调查局提供的全球土地覆盖类型图来提取研究区域的土地覆盖信息,通过土地覆盖类型与参数 $S_{r\max}$ 建立关系来反映 $S_{r\max}$ 的空间分布;同时,还采用了 NOAA 卫星提供的全球土壤成分图像来提取研究区域的土壤成分图,并通过土壤成分来反映 Green-Ampt 下渗参数饱和和水力传导度的空间分布。与概念性的新安江模型相比有一定的物理基础。在 Grid-GA 模型中能否加入一些栅格间参数和子流域间参数的优化,是下一步要研究的问题。增加超渗产流机制的新安江模型在新安江模型的基础上增加了参数,如何在各种流域情况下率定参数是需要进一步解决的问题。

c. 模型资料.从另一个角度可以看出概念性水文模型对资料的要求相对于分布式水文模型要低很多,具有资料易于获取、成本低、效率高等优点。但随着地理信息、遥感等空间技术的迅猛发展,使得分布式水文模型对资料的要求愈加容易满足,所以能够较好地考虑到时空分布的不均匀性并具有明确物理基础的分布式水文模型将成为新一代实用性的水文模型。

4 结 论

本文在 Green-Ampt 下渗理论的基础上,以栅格为计算单元,构建了基于栅格的分布式超渗产流水文模型——Grid-GA 模型。模型考虑了降雨间歇期土壤表层含水率的变化,同时,运用流域下渗能力分布曲线考虑流域下垫面空间分布的不均匀性,建立了基于子流域的 GA 模型;并以新安江模型为基础,在模型的不产流面积上进行以 Green-Ampt 下渗理论为基础的超渗产流计算,建立增加超渗产流机制的新安江模型。从高里流域的应用来看,Grid-GA 模型和增加超渗产流机制的新安江模型均能获得较高的模拟精度。

参考文献:

- [1] FREEZEE R A, HARLAN R L. Blueprint for a physically-based digitally-simulated hydrological response mode[J]. Journal of Hydrology, 1969, 9: 237-258.
- [2] ABBOTT M B, REFSGAARD J C. Distributed hydrological modelling[M]. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1996.
- [3] VIJAY P S. Computer models of watershed hydrology[M]. Littleton: Water Resources Publications, 2002.
- [4] EZIO T, CIARAPICA L. The TOPKAPI model: a mathematical model of Lame watershed hydrology[M]. Littleton: Water Resources Publications, 2003.

[5] 李致家,张珂,姚成.基于 GIS 的 DEM 和分布式水文模型的应用比较[J].水利学报,2006,37(8):1022-1028.(LI Zhi-jia , ZHANG Ke ,YAO Cheng. Comparison of distributed geological models based on GIS technology and DEM[J]. Journal of Hydraulic Engineering 2006 37(8):1022-1028.(in Chinese))

[6] 王莉莉,李致家,包红军,等.基于 DEM 栅格的水文模型在沂河流域的应用[J].水利学报,2007,38(增刊 1):417-422. (WANG Li-li ,LI Zhi-jia ,BAO Hong-jun et al. Application of hydrological models based on DEM in the Yihe Basin[J]. Journal of Hydraulic Engineering 2007 38(S1):417-422.(in Chinese))

[7] 李致家.水文模型的应用与研究[M].南京:河海大学出版社,2008.

[8] 李致家,姚成,汪中华.基于栅格的新安江模型的构建和应用[J].河海大学学报:自然科学版,2007,35(2):131-134.(LI Zhi-jia ,YAO Cheng ,WANG Zhong-hua. Development and application of grid-based Xinanjiang mode[J]. Journal of Hohai University :Natural Sciences 2007 35(2):131-134.(in Chinese))

[9] 赵人俊.流域水文模拟:新安江水文模型和陕北模型[M].北京:水利水电出版社,1984.

[10] DAVID R M. Handbook of hydrology[M]. New York :McGraw-Hill ,1993.

[11] VIJAY P S ,DONALD F. Mathematical model of small watershed hydrology and applications[M]. Littleton :Water Resources Publications , 2002.

[12] 刘志雨.基于 GIS 的分布式托普卡匹水文模型在洪水预报中的应用[J].水利学报,2004,35(5):70-75.(LIU Zhi-yu. Application of GIS-based distributed hydrological model to flood forecasting[J]. Journal of Hydraulic Engineering 2004 35(5):70-75.(in Chinese))

[13] LIU Zhi-yu ,MARIO L V M ,EZIO T. Flood forecasting using a fully model :application of the TOPKAPI model to the upper Xixian catchment[J]. Hydrology and Earth System Sciences 2005 9(4) 347-364.

[14] EZIO T ,CIARAPICA L. The TOPKAPI model :in mathematical model of Larne watershed hydrology[M]. Littleton :Water Resources Publications 2003.

Development and comparison of Grid-based distributed hydrological models for excess-infiltration runoffs

WANG Li-li¹ , LI Zhi-jia¹ , BAO Hong-jun²

(1. College of Hydrology and Water Resources , Hohai University , Nanjing 210098 , China ;
2. National Meteorological Center , China Meteorological Administration ,Beijing 100083 , China)

Abstract: A DEM Grid-based distributed hydrological model (Grid-GA model) for excess infiltration runoffs was developed. The Green-Ampt infiltration method was applied in the model and the redistribution of water content in soils was considered. The Grid-based Muskingum-Cunge flow routing method was employed to route the flows of the whole basin. The water exchange of the river drainage network was considered. The Grid-GA model , the sub-basin-based Green-Ampt model , the Xin ' anjiang model with the excess infiltration mechanism and the Xinanjiang model were applied to Gaoli basin in Yi River , China. The results show that the above 4 models can satisfactorily simulate the hydrological process of the river basin. The rationality of the proposed model is validated.

Key words : distributed hydrological model ; DEM ; Xinanjiang model ; Green-Ampt ; redistribution of water content ; excess infiltration runoff ; GIS ;Gaoli basin