

TOPMODEL 在珠江流域布柳河流域的应用及其与新安江模型比较*

邓 鹏, 李致家, 谢 帆

(河海大学水文水资源学院, 南京 210098)

摘 要: TOPMODEL 是一种以地形为基础的半分布式流域水文模型. 对珠江流域布柳河流域的 DEM 信息进行处理, 提取流域的水系、子流域边界、地形指数及水流路径距离的分布, 将 TOPMODEL 应用于该流域中. 另外将新安江模型也应用于该流域进行比较. 此外, 分析了两种模型结构差异所带来的模拟功能差异. 两种模型模拟结果精度差异不大, 而 TOPMODEL 实现了空间产流面积分布的可视化.

关键词: TOPMODEL; 布柳河; 地形指数; 新安江模型; 珠江流域

Application of TOPMODEL in Buliu River catchment, Pearl River basin and comparison with Xin'anjiang model

DENG Peng, LI Zhijia & XIE Fan

(College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, P.R.China)

Abstract: TOPMODEL is a semi-distributed model in which the predominant factors determining the formation of runoff are represented by the topography of the basin. In this paper we dealt with DEM information of Buliu river basin, extracting drainage network, sub-basin area, topographic index and distribution of runoff distance, and applied TOPMODEL in the basin. For the sake of comparison, the Xin'anjiang model was also applied in the basin. Here we analyzed the difference of simulation function due to the frameworks of the two models. The simulation results of the two models have little difference; moreover TOPMODEL realized the visualization of spatial source area distribution.

Keywords: TOPMODEL; Buliu River; topographic index; Xin'anjiang model; Pearl River basin

自从 Beven 和 Kirkby^[1-2]于 1979 年提出 TOPMODEL 以来, TOPMODEL 已在水文领域获得了广泛的应用. TOPMODEL 是一个以地形为基础的半分布式流域水文模型, 其主要特征是利用地形指数来反映流域水文现象, 特别是径流运动的分布规律^[4-6]. 这里将 TOPMODEL 应用于布柳河流域, 与新安江模型进行比较.

1 TOPMODEL 理论基础

模型假设壤中流始终处于稳定状态、饱和地下水的水力坡度近似于地表坡度、导水率是饱和地下水水面深度的负指数函数, 得到地下水位与地形指数的关系:

$$z = \bar{z} - S_{zm} (\ln(\alpha / \tan \beta) - \lambda) \quad (1)$$

式中, Z 为局地地下水表面深度, \bar{z} 为流域平均地下水表面深度, S_{zm} 为非饱和区最大蓄水深度, $\ln(\alpha/\tan\beta)$ 为局地地形指数, 其中 α 为上游单宽集水面积, $\tan\beta$ 为地表坡度, λ 为流域平均地形指数值. 若由式(1)算出的地下水表面深度 Z 为负值, 意味着饱和地下水将渗出地面, 形成饱和坡面流. 流域总径流是壤中流和饱和坡面流之和.

* 国家自然科学基金(50479017)资助. 2008-01-04 收稿; 2009-02-24 收修改稿. 邓鹏, 男, 1983 年生, 博士研究生; E-mail: pdeng@hhu.edu.cn.

2 TOPMODEL 在布柳河流域的应用

布柳河流域位于珠江流域西江水系的中上游, 流域集水面积 3310km². 流域多年平均降雨量 1193mm. 降雨在一年内分配不均, 年降雨量主要集中在 5-10 月份, 约占全年总量的 83%. 根据流域的 DEM 采用 GIS 技术提取流域的水系及边界如图 2 所示, 并将流域分为 7 个子流域.

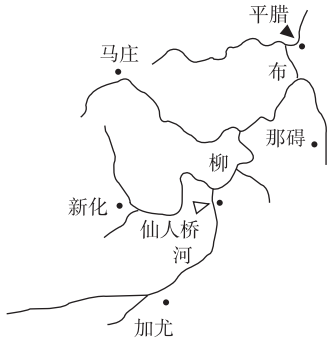


图 1 布柳河流域主要水系

Fig.1 Main tributaries of the Buliu River Basin

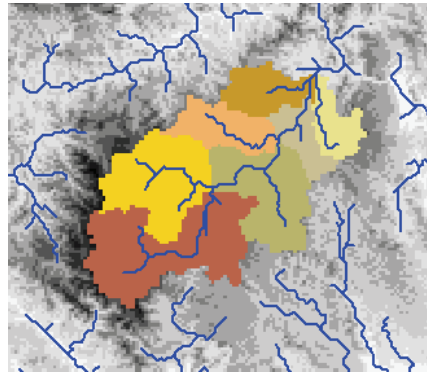


图 2 DEM 提取流域水系及子流域划分

Fig.2 Drainage network extracted form DEM and subbasin

流域地形指数的计算采用多流向法^[7-9]. 任一单元的累计上坡面积可以分配到所有的顺坡方向, 并且假设进入每一个顺坡方向的累计面积与该方向径流梯度成比例, 由此经过推导可得:

$$\alpha / \tan \beta = A / \sum_{j=1}^n (\tan \beta_j L_j) \tag{2}$$

式中, A 为计算单元的总上坡面积累计值, n 为下坡方向个数, tanβ_j 为第 j 个下坡方向的梯度; L_j 为与第 j 个下坡方向垂直的等高线长度. 流域的地形指数分布曲线如图 3 所示. 流域的坡地汇流计算采用等流时线法. 由 DEM 资料可以获得每个网格的水流路径, 水流路径距离的面积分布曲线如图 4 所示. 由路径距离和流速得到流域的等流时块的分布. 河道汇流计算采用马斯京根法. 采用 2002-2004 年的资料用于参数率定, 2005-2006 年的资料用于检验. 计算时段为 1h. TOPMODEL 对洪水模拟的结果如表 1 所示.

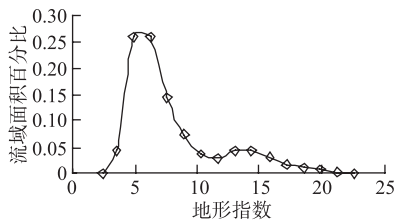


图 3 流域地形指数分布曲线

Fig.3 Distribution curve of topographic index

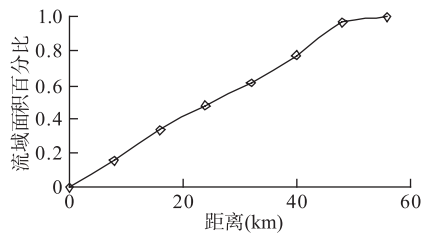


图 4 基于 DEM 的等流时线法距离面积累积曲线

Fig.4 Distance-area accumulation curve of routing method based on DEM

3 与新安江模型比较

三水源新安模型蒸发计算采用三层模型; 产流计算采用蓄满产流理论; 用自由水蓄水库结构将总径流划分为地表径流、壤中流和地下径流三种; 流域汇流计算采用线性水库; 河道汇流采用马斯京根分

段连续演算或滞后演算法^[10-11].

在蒸散发计算上, TOPMODEL 中实际蒸发是蒸发能力和根系区含水量的函数, 蒸发只发生在植被根系区^[12]. 新安江模型采用三层蒸散发模型计算蒸散发量, 实际蒸发量的大小主要由流域张力水容量、蒸散发折算系数和深层蒸散发扩散系数这几种因素来控制.

表 1 TOPMODEL 洪水模拟特征值
Tab.1 Flood simulation results of TOPMODEL

	洪水起始 时间	总雨量 (mm)	径流深			洪峰			峰现 时差 (h)	确定性 系数
			实测 (mm)	计算 (mm)	相对误差 (%)	实测 (m ³ /s)	预报 (m ³ /s)	相对误差 (%)		
率定	2002-07-18	134.7	59.9	58.9	-1.67	602	493.2	-18.07	2	0.7
	2002-08-12	157.7	96.8	104.5	7.95	867	879.4	1.43	1	0.61
	2003-05-28	39.6	25.4	25	-1.57	457	488	6.78	-7	0.83
	2003-06-04	165	91.5	101.4	10.82	1280	1208.1	-5.62	-1	0.92
	2003-06-19	120.6	67	77.3	15.37	1110	929.2	-16.29	7	0.67
	2003-07-06	61.5	26.3	27.2	3.42	359	324.5	-9.61	1	0.9
	2003-07-24	87.4	45.9	51.2	11.55	415	454.3	9.47	-1	0.58
	2003-09-08	34.4	29.1	28.6	-1.72	262	260	-0.76	-1	0.85
	2004-07-08	76.2	27.4	28.3	3.28	573	561.7	-1.97	-2	0.68
	2004-07-18	128.2	52.8	57.4	8.71	401	406.2	1.3	2	0.6
	2004-08-18	25.9	23.7	25.9	9.28	204	209.3	2.6	1	0.9
2004-09-01	60.2	25.4	27.5	8.27	205	231.7	13.02	0	0.82	
检验	2005-06-06	49.9	17.6	17.2	-2.27	332	317.8	-4.28	-4	0.57
	2005-06-10	46.4	18.2	17.4	-4.4	492	489.2	-0.57	2	0.79
	2006-06-16	54.8	19.1	17.3	-9.42	430	493.6	14.79	2	0.75
	2006-07-16	128.8	71.5	73.9	3.36	782	659.3	-15.69	3	0.96
	2006-08-01	211.8	118.3	129.8	9.72	1140	1163.4	2.05	-4	0.96

产流计算上 TOPMODEL 按照地下水面深在空间上的分布及变化判断出源面积, 并将壤中流和饱和坡面流分别计算, 最后汇总到流域总径流中. 与此相反, 新安江模型是先计算出总径流量, 然后通过自由水蓄水结构划分成地表径流, 壤中流和地下径流, 以供接下来的汇流计算. 它们的产流计算模式都可以看作是蓄满产流, 但是 TOPMODEL 可以具体分析出流域产流面积的位置和分布, 而新安江模型只是将整个流域的产流过程的用一条蓄水容量曲线来描述. TOPMODEL 实现了产流面积空间的可视化. 在对流域内土壤水分分布不均匀性的考虑上, TOPMODEL 是借助于地形指数分布曲线来体现的, 而新安江模型是通过蓄水容量面积分配曲线进行描述.

汇流计算中 TOPMODEL 假设汇流流速在计算单元内是不变的, 通过等流时线法建立距离面积曲线, 从而体现出水文系统的“忆滞”功能. 其中饱和坡面流与壤中流是合并在一起进行汇流计算的. 新安江模型则通过已划分好的三种水源, 分别按照各自的退水规律进行汇流计算, 得到计算单元的径流过程. 每个计算单元至流域出口的河道汇流计算, 两个模型均采用了马斯京根法. 两种模型模拟结果比较如表 2 所示, 表中数据为各场洪水的平均值. TOPMODEL 和新安江模型计算结果精度差异不大, TOPMODEL 能够成功地概化变动产流面积概念进行流域水文模拟.

表 2 两种模型洪水模拟特征值对比*

Tab.2 Comparison for flood simulation results of two models

	洪量相对误差(%)		洪峰相对误差(%)		峰现时差(h)		确定性系数	
	T	X	T	X	T	X	T	X
率定	6.14	-5.76	-1.48	7.21	0.17	0.38	0.76	0.85
检验	-0.60	-14.73	-0.74	-5.23	-0.20	-0.33	0.81	0.87

* T: TOPMODEL; X: 新安江模型.

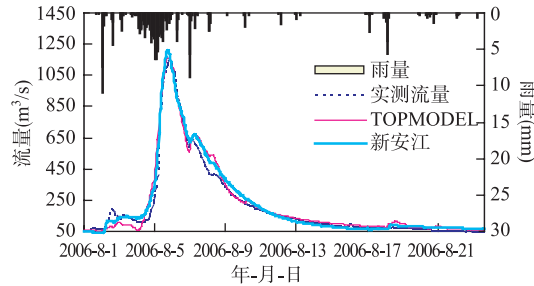


图 5 模拟结果雨量流量过程线

Fig.5 Precipitation and discharge processes curve for simulation results

4 结语

TOPMODEL 基于变动产流的概念, 利用地形指数反映下垫面的空间变化对流域水文循环过程的影响, 为流域水文模型参数的空间化, 提供了一个很好的解决方案. 与新安江模型相比, TOPMODEL 考虑了下垫面地形的空间变异性对水文响应的影响, 并实现了产流面积的空间可视化. TOPMODEL 对于构建基于 DEM 的分布式模型具有很好的启迪作用, 对模型的深入研究, 无论在径流、泥沙、水质的模拟研究中, 还是在气候、土地植被变化和水资源管理等领域都具有很好的应用前景.

5 参考文献

- [1] 刘昌明, 郑红星, 王中根等. 流域水循环分布式模拟. 郑州: 黄河水利出版社, 2006: 3-24.
- [2] Beven KJ, Kirkby MJ. A physically based variable contributing area model of basin hydrology. *Hydrology Science Bulletin*, 1979, 24(1): 43-69.
- [3] Wolock DM. Simulating the variable-source-area concept of streamflow generation with the watershed model TOPMODEL. U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report, 1993: 93-4124.
- [4] 刘青娥, 夏 军, 王中根. TOPMODEL 模型几个问题的研究. *水电能源科学*, 2003, 21(2): 41-44.
- [5] 熊立华, 郭生练. 分布式流域水文模型. 北京: 中国水利水电出版社, 2004: 82-85.
- [6] 谢 帆, 李致家, 姚 成. TOPMODEL 和新安江模型的应用比较. *水力发电*, 2007, 33(10): 14-18.
- [7] Quinn P, Beven KJ, Lamb R. The $\ln(\alpha/\tan\beta)$ index: how to calculate it and how to use it in the TOPMODEL framework. *Hydrological Processes*, 1994, 9: 161-185.
- [8] Quinn P, Beven KJ, Planchon O. The prediction of hillslope flow paths for distributed hydrological modeling using digital terrain models. *Hydrological Processes*, 1991, 5(1): 59-79.
- [9] 孔凡哲, 芮孝芳. TOPMODEL 中地形指数计算方法的探讨. *水科学进展*, 2003, 14(1): 41-45.
- [10] 林三益. 水文预报. 北京: 中国水利水电出版社, 2001: 141-145.
- [11] 赵人俊. 流域水文模拟. 北京: 水利电力出版社, 1983: 3-10.
- [12] Beven KJ. Distributed hydrological modelling: applications of the TOPMODEL concept. *Advance in Hydrological Processes*, 1997, (11): 1069-1085.