

TOPMODEL 模型研究进展与热点

王 润¹, 刘洪斌¹, 武 伟²

(1. 西南农业大学资源环境学院, 重庆 400716; 2. 西南农业大学信息学院, 重庆 400716)

摘要: TOPMODEL 是一种基于物理过程的半分布式水文模型, 该模型以计算地形指数的空间格局来反映流域饱和缺水量的空间分布, 物理意义明确。介绍了 TOPMODEL 的原理, 以及地形指数的意义和计算方法, 讨论了 TOPMODEL 与 GIS 集成, 以及模型尺度等热点问题。

关键词: TOPMODEL; 地形指数; GIS 集成; 尺度

中图分类号: TP79; S273

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2005)01-0047-02

Recent Advances and Research of TOPMODEL

WANG Run¹, LIU Hong-bin¹, WU Wei²

(1. Department of Resources and Environment, Southwest Agriculture University, Chongqing 400716, China;

2. Department of Information, Southwest Agriculture University, Chongqing 400716, China)

Abstract: TOPMODEL is a semi-distributed physical model to simulate the hydrological process. The model makes use of topographic information and the spatial distribution of topographic index to represent the spatial variability to contributing of watershed saturation deficit. The structure of model is distinct. It shows the TOPMODEL theory, signification of topographic index and the computing method. In the end, scale TOPMODEL and integration of watershed hydrologic model with Geographic Information System were discussed.

Key words: TOPMODEL; topography index; integration; scale

水文模型在水资源开发利用、防洪减灾、水库、道路、城市规划、面源污染评价、人类活动的流域响应等诸多方面得到了广泛的应用, 当今的一些热点, 如生态环境需水、水资源可再生性等均需要水文模型的支持。Beven 和 Kirkby 与 1979 年开发的 TOPMODEL^[1] 是一种以数学方式表示水文循环过程的基于物理过程的半分布式流域水文模型, 该模型结构明晰, 参数较少, 且具有明确的物理意义。不但适合于坡地集水区, 还能用于无资料流域的产汇流计算^[5]。该模型经过 20 多年的发展已被应用于各个方面, 并不断发展改进, 反映了降雨径流模拟的最新思想^[2-4, 6]

1 TOPMODEL 模型的理论基础

变源面积理论是 TOPMODEL 的理论基础^[7]。该理论指出, 流域上并不均匀产生地表径流, 地表径流仅仅产生于由于降水使土壤达到饱和的一小部分流域面积上, 这部分面积称为饱和地表面积或源面积上, 一般位于河道附近。而且这一源面积是在不断变化的, 因为流域源面积的空间位置受流域地形、土壤水力特性和流域前期含水量等诸多因素控制。

当地下水向坡底运动时, 地形平坦区域未饱和土壤逐渐达到饱和, 源面积不断向河道两边的坡面延伸。这种延伸同时受到山坡上部非饱和壤中流的影响。因此, 在一定意义上, 变源面积可看作河道系统的延伸。该模型是根据水量平衡和 Darcy 定律推导而来, 具体的推导过程在许多文献和优秀的论文中都有详细的描述^[1, 5, 11], 本文不再赘述, 在此只给出一些重要的理论公式。模型的基本公式为:

$$s = \bar{s} + m(\lambda - \ln \frac{\alpha}{\tan \beta}) \quad (1)$$

式中: s ——流域内任一点的土壤水分亏缺; \bar{s} ——流域平均水分亏缺; $\ln(\alpha/\tan\beta)$ ——该点的地形指数; m ——参数; λ ——流域地形指数的平均值。

在 TOPMODEL 模式理论中, 常用饱和亏缺 (saturation deficit) 值来决定流域中直接径流 (direct flow) 和回归流 (return flow) 的贡献^[3, 11]。

土壤饱和亏 (s_i) 与土层深度 (z_i) 和土壤含水量 (Δ_i) 的关系为:

$$s_i = z_i \Delta \theta \quad (2)$$

流域壤中流 (subsurface flow) 为:

¹ 收稿日期: 2004-06-02

基金项目: 重庆市科委攻关项目 (6217); 重庆市教委科技项目 (011802)

作者简介: 王润 (1976-), 男, 硕士研究生, 主要从事 GIS 应用研究。

$$\theta = \frac{1}{A} \int (T \tan \beta) e^{-fz} dl \quad (3)$$

式中: A —— 面积; L —— 河道长度; T —— 导水系数; f —— 与土壤有关的系数。TOPMODEL 模拟流域的总产流为:

$$\theta = \theta_d + \theta_r + \theta_m \quad (4)$$

即为直接径流、回归流和壤中流的和。

2 地形指数

地形指数是 TOPMODEL 的核心, 该模型充分考虑了地形的空间变化, 以地形指数 $[\ln(\alpha/\tan\beta)]$ 的空间分布来反映流域水分亏缺的空间分布, 并假定流域内具有同一地形指数的区域具有水文相似性^[8], 其中 α 为流经坡面任一点处单位等高线长度的汇流面积。 $\tan\beta$ 为该点处坡角^[11]。该指数是在准定长假定条件下, 根据动力波方程推导而得。物理意义明确^[11-13]。

地形指数与土壤水分的关系:

$$s_i = m \left(\ln \frac{\alpha}{\tan \beta} - \ln \frac{k_0}{r} \right) \quad (5)$$

式中: s_i —— 土壤相对含水量; k_0 —— 土壤刚饱和时在局部坡度处的地下水通量(通常假定不随空间变化); r —— 单位时间单位面积的地下水补给率(假定 r 不随空间变化)。上式表明地形指数与土壤相对含水量呈线性关系。

地形指数与产流区的关系:

$$\ln \frac{\alpha}{\tan \beta} = \frac{s_i}{m} - \frac{\bar{s}}{m} + \lambda \quad (6)$$

式中: \bar{s} —— 流域平均土壤相对含水量, λ —— 流域地形指数的平均值。等式左边大于右边时即为 TOPMODEL 中的饱和产流区。

3 地形指数的计算

目前广泛使用数字地形模型(DTM)或数字高程模型(DEM)计算地形指数的空间分布^[10,12]。对于栅格 DEM 来讲地形指数中的为上坡区域经过单位等高线长度汇集到单元格网内的径流, 为局部坡角, 该坡角可用来近似代替稳定状态下的局部水力梯度^[10]。对于任一流域, 只要给定合适的 DEM 的栅格单元, 就可以得到表征流域水文特性的地形指数。

计算地形指数的方法主要有两种, 单流向法和 Quinn 等提出的多流向法^[9,13]。目前较为流行的是多流向法。无论那种方法, 在计算 $\ln(\alpha/\tan\beta)$ 都是分别计算 α 和 $\tan\beta$ 的值, 然后得到值 $\ln(\alpha/\tan\beta)$ ^[8]。计算 α 时首先是对径流路径进行分析, 从而确定进入网格单元的总上坡面积 A 及与流出单元格网流向有效等高线长度 L , 然后计算上坡面积。对单一流向方法的上坡面积则有:

$$\alpha = A/L \quad (7)$$

而由 Quinn 等提出的 8 流向计算方法与单流向方法有所不同, 他是将任一单元的累计上坡面积按坡度的比例分散地分配给高程较低的相邻网格, 比例的取值按照流向决定, 图(1)。其中主方向取权重 0.5, 对角线方向为 0.35^[8]。对于这种取权重的方法, Freeman^[18]认为有不合理之处并提出了按指数分配的方法。对坡角的计算, 对坡角的计算, 单一流向方法和多

流向法也有所不同, 计算也应根据径流路径, 单一流向方法计算坡角较简单, 通常是假设有效等高线等于网格边长, 坡角即为顺坡方向最大者。而多流向的坡角要通过加权计算得到。多流向方法, 孔凡哲等认为, 该方法在计算 α 和 β 的值时存在一些不合理的地方^[8]。认为在计算下坡单元网格累计面积汇流面积时, 应考虑欲计算 $\ln(\alpha/\tan\beta)$ 值的单元网格的面积, 计算 α 值应该用与流入单元网格流向垂直的等高线长度, 而不是用与流出单元网格流向垂直的等高线长度。

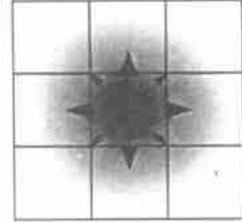


图 1 水流的方向

4 研究热点

4.1 尺度研究

尺度问题一直是水文学研究的热点问题^[10,14,15]。每一个流域系统均可划分为若干子流域, 子流域又分为若干单元流域, 这样构成了一种多重重合的尺度结构, 而在不同尺度上, 水文特性的表现是不一致的, 所以流域的水文效应, 因是不同尺度效应的综合结果。流域水文模型实际是利用离散模型代表连续的水文系统。

在 TOPMODEL 中, 水文响应单元大小的不同将会对地形指数产生影响, 进而对 TOPMODEL 的模拟结果产生影响。因此, 取多大的水文响应单元既不会使水文过程的细部信息丧失, 又不会因水文单元取的过小而增加时空信息, 影响模拟的效率。对于上述问题, 国内外都有大量的研究。目前许多研究认为, 理想的水文响应单元一般取在 50 m 以内^[9,12,13], 运用 TOPMODEL 模拟效果较好。但有些研究者也做了一些尝试^[6], 将 DTM 网格尺度拓宽到 500 m, 对淮河流域进行了模拟研究, 研究表明, TOPMODEL 能够成功地概化变动产流面积概念进行流域水文模拟, 并可取得较为理想的模拟效果。此外, 还有研究者做了 20 ~ 100 m 之间不同尺度的对比研究^[10], 认为 TOPMODEL 对水文响应单元的尺度有极高的敏感性, 同时栅格单元在 100 ~ 200 m 之间的 DEM 的信息有较大的变化。他们的研究还表明, 由于栅格单元尺度的变化对 TOPMODEL 产生的影响可以用模型的再参数化来补偿。以上研究表明, 尺度对地形指数的分布极为敏感, 因此, TOPMODEL 如何在不同尺度的网格单元上应用, 以及模型的再参数化等问题, 还需进一步探讨。

4.2 TOPMODEL 与 GIS 的集成

随着区域水资源的开发利用, 积累了大量的环境监测基础数据。如何利用现代计算机信息管理、信息可视化和地理信息系统(GIS)等技术来组织处理庞大而复杂的信息、建立技术先进、实用性强的信息分析系统, 使综合信息管理与分析决策更简便、高速有效是水文系统模拟研究面临的要解决

所以宜采用仰斜式挡墙。

4 结 语

(1) 简介了重力仰斜式挡墙的优越性, 结合新的《建筑边坡工程技术规范》, 从理论和实践两个方面分析了它的可行性。

(2) 在重力式挡墙的几种形式中, 仰斜式挡墙是最经济的, 它可以有效的减少土压力, 提高抗滑移, 抗倾覆性。通常

参考文献:

- [1] 石名磊, 龚维明, 季鹏. 基础工程[M]. 南京: 东南大学出版社, 2001.
- [2] GB50330-2002, 建筑边坡工程技术规范[S].
- [3] 陈忠达, 王秉纲. 公路挡土墙设计[M]. 北京: 人民交通出版社, 2003.

(上接第 48 页)

的问题^[6]。从目前水文模型和 GIS 集成方法来看, 二者的集成已经由相互独立或松散式的集成发展到了相对紧密的集成阶段。如 Bo Huang 等^[12]应用 ArcView 宏语言 Avenue, 开发了 AVTOP 模型系统, 实现了 TOPMODEL 和 GIS 的完全集成。使得包括数据输入、数据处理和组后的结果输出在同一环境下完成, 大大提高了模型数据分析与决策的效率。此外, 模型与 GIS 的集成的网络发布和 3D 显示也是集成研究的一个热点。Bo Huang^[17]应用公网网关接口技术与

参考文献:

- [1] Beven K, Kirkby M J. A physically based, variable contributing area model of basin hydrology[J]. Hydro Sci Bull, 1979, 24: 43- 69.
- [2] J Pellenq, J Kalma, G Boulet. A disaggregation scheme for soil moisture based on topography and soil depth[J]. Journal of Hydrology, 2003, 276: 112- 127.
- [3] Veronique Beau Jouan, Patrick Durand, Laurent Ruiz. Modeling the effect of the spatial distribution of agricultural practices on nitrogen fluxes in rural catchments[J]. Ecological Modelling, 2001, 137: 93- 105.
- [4] C Valeo, S M A Moin. Variable source area modeling in urbanizing watersheds[J]. Journal of Hydrology, 2000, 228: 68- 81.
- [5] 余新晓, 赵玉淘, 张志强, 等. 基于地形指数的 TOPMODEL 研究进展与热点跟踪[J]. 北京林业大学学报, 2002, 24(4): 117- 121.
- [6] 郭方, 刘新仁, 任立良. 以地形指数为基础的流域水文模型[J]. 水科学进展, 2000, 11(3): 296- 301.
- [7] Hewlett, J D, Hibbert, A R. Factors affecting the response of small watersheds to precipitation in humid areas[A]. Sopper and Lull(Eds). Forest Hydrology[M]. Oxford: Pergamon Press, 1967. 275- 290.
- [8] 孔凡哲, 等. TOPMODEL 中地形指数计算方法的探讨[J]. 水科学进展, 2003, 14(1): 41- 45.
- [9] Quinn P, Beven K J, Lamb R. The index: how to calculate it and how to use it in the TOPMODEL framework[J]. Hydro Process, 1994, 9: 161- 185.
- [10] James Brasingto, Keith Richards. Interactions between model predictions, parameters and DTM scales for TOPMODEL[J]. Computer & Geosciences, 1998, 24(4): 299- 314.
- [11] Beven, K Lamb, R Quinn, P Romanowicz, R Freer. "TOPMODEL, "Computer models of watershed hydrology[M]. Water Resources Publications, 1995.
- [12] Bo Huang, Bin Jiang. AVTOP: a full integration of TOPMODEL into GIS[J]. Environmental Modeling & Software, 2002, 17: 261- 268.
- [13] Quim, P Bevenk, Chevalier, P. The prediction of hillslop flow paths for distributed hydrological modes[J]. Hydro Logical Processes, 1991, 5: 59- 79.
- [14] 夏军. 水文尺度问题[J]. 水利学报, 1993, 5: 32- 27.
- [15] 刘苏峡, 刘昌明. 90年代水文学研究的进展和趋势[J]. 水科学进展, 1997, 8(4): 365- 361.
- [16] 朱雪芹, 潘世兵. 流域水文模型和 GIS 集成技术研究现状和展望[J]. 地理与地理信息科学, 2003, 19(3): 10- 13.
- [17] Bo Huang. Web- based dynamic and interactive environmental visualization [J]. Computers Environment and Urban Systems, 2003, 27: 623- 636.
- [18] Freeman T G. Calculating catchment area with divergent flow based on a regular grid[J]. Computers & Geosciences, 1991, 17(3): 413- 422.

可比俯斜式挡墙节省工程量 30% ~ 60% 左右。在场地条件、地质条件、施工条件允许的情况下, 应优先考虑。

(3) 仰斜式挡墙在施工的时候存在墙后填土不容易夯实的问题, 施工难度相对其他几种形式要大些。同时仰斜角过大还造成偏心矩不能满足要求的问题。所以在设计时, 仰斜角度不宜过大。

HTML 语言实现了 TOPMODEL 模拟结果的网上发布和 3D 显示, 使水文模型与 GIS 集成更进了一步。

值得一提的是, 以上这些集成未明确二者集成的基本时空概念模型^[8], 因此都不算完全意义上的集成, 我们希望的集成模式应该是在一种全新的多维时空概念框架下的无缝集成。而这种集成方式目前还无法实现, 因此要实现 TOPMODEL 等水文模型和 GIS 的无缝集成还有一段路要走。