

应用地理信息进行无资料地区 流域水文模拟研究

张建云 何 惠

(水利部水利信息中心 北京 100761)

摘 要 无资料或资料缺乏地区的流域径流模拟是水文学研究中的一个重要的课题。提出了应用地理信息系统分析流域的地理信息参数,进行降雨径流模拟的水文模型。该模型中,产流计算采用美国水土保持局(SCS)的径流曲线数法,流域汇流则采用经本文作者改进的三角形单位线。着重阐述了利用地理信息系统,从流域的地理信息中分析和确定模型参数,还简要介绍了该模型在爱尔兰 Dodder 河上的应用情况。

关键词 地理信息系统 径流模拟 径流曲线数

分类号 P 407.8; TV 121.2

1 问题的提出

传统的流域水文模型在过去的二三十年里得到了长足的发展,在生产实践中,也得到了广泛的应用。然而,往往需要一定长度的观测资料去识别模型参数。因此,在无资料地区或资料缺乏地区,概念性流域水文模型的应用受到了很大的限制。

随着计算机科学的发展,80年代以来,应用于不同平台、面向不同用户的各种地理信息系统(GIS)逐步开发完善并越来越广泛地得到应用。GIS是一种具有空间数据存贮、编辑、分析和显示物理数据对应的空间位置及其属性等方面的数据管理和处理功能,并附有较强分析和计算工具的计算机软件系统。其应用使得利用流域的地形、地貌、土壤覆盖、植被分布等地理信息来分析和确定模型的参数,以及在无资料地区进行水文模拟分析成为可能。

2 模型和计算方法

2.1 产流计算——SCS径流曲线数方法

产流计算模型采用美国水土保持局(SCS)的径流曲线数(Runoff Curve Number)方法^[1],即一次降水过程的径流量 R 可由下式计算:

$$R = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \quad (1)$$

式中 R 为总径流量, mm; P 为总降水量, mm; I_a 为初始土壤吸附量, mm, 是土壤类型和前期土壤含水量的函数; S 为土壤蓄水能力, mm。

根据 SCS 的经验^[1], I_a 可以近似地表达为

$$I_a = 0.2 \times S \quad (2)$$

因此式 (1) 可写为

$$R = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \quad (3)$$

并定义土壤的最大蓄水能力为

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (4)$$

式中 CN 即为 SCS 的无量纲的“径流曲线数”; 它是土壤类型及其分布、土地利用和前期土壤湿度的函数^[2]。

2.2 单元坡面汇流计算——SCS 单位线及其改进

原 SCS 单位线是一个三角形的单位线 (如图 1 (a) 所示), 即单位线由降雨开始到洪峰出现的时间 T_p 、单位线峰值 q_p 和单位线底宽 T_B 确定, 并定义 T_p 由下式计算:

$$T_p = T_L + \frac{D}{2} \quad (5)$$

式中 T_L 为降雨过程重心至洪峰的滞后时间; D 为降雨有效时段长。美国陆军工程师兵团 (USACE) 提出了一种从地理参数计算 T_L 的方法^[3]

$$T_L = a \left[\frac{L \cdot L_{ca}}{S_i} \right]^b \quad (6)$$

式中 L 为主河道长度, km; L_{ca} 为主河道上离流域重心点最近的一点到流域出口处的河道长度, km, 该参数反映了流域的形状对单位线的影响; S_i 为主河道的平均坡度; a 和 b 均为模型参数。本文采用 USACE 的推荐值: $a = 0.655$, $b = 0.38$ 。

周文德教授在研究大量流量单位线的基础上, 认为峰现时间 T_p 和单位线底宽 T_B 之间有着密切的关系, 并建议使用经验公式^[2]:

$$T_B = 2.67T_p \quad (7)$$

因此, 根据水量平衡, 在面积为 A (km^2) 的流域单元上, 均匀降 1mm 的有效雨量, 产生径流过程的洪峰值 q_p 可由下式计算:

$$q_p = \frac{2 \times A}{3.6 \times 2.67 \times T_p} \quad (8)$$

SCS 单位线在峰后仅有一个坡度, 为了考虑不同径流成分汇流速度快慢的影响, 本文对 SCS 加以改进, 即峰后段考虑两个不同的坡度 (见图 1 (b))。 T_1 为快速径流 (地表径流和壤中流) 的汇流终止点, 其后则为地下径流汇流的退水段。 T_1 所对应的单位线流量为 q_1 , T_1 到单位线终止点的时距为 T_2 , 底宽则为 $T_B = T_p + T_1 + T_2$ 。

分析不同土壤、植被和人类活动影响下的 CN 数值表, 可以发现: ① CN 值在 30~100 之间变化; ②在同样的人类活动影响下, 在高下渗率地区, 即地下水较丰的地区, CN 值较小, 而 T_1 、 q_1 和 T_2 亦与地下水的丰盈和汇流速度的大小有关, 也是土壤、植被等下垫面条件的函

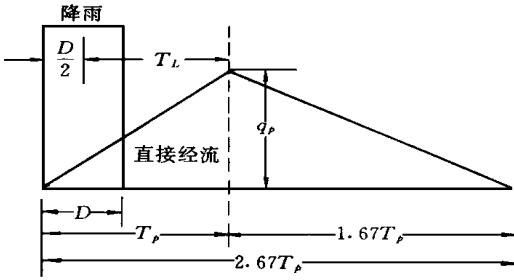


图 1 (a) SCS 三角形单位线

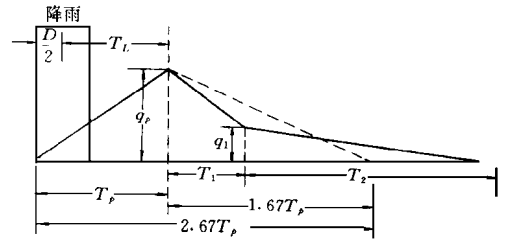


图 1(b) 改进后的单位线

Fig. 1(a). Triangular Unit Hydrograph of the SCS Fig. 1(b). Revised Unit Hydrograph of This Study
 数。因此, 可以建立这些参数与 CN 的关系。经分析, 在本研究中采用下列关系式:

$$T_1 = \frac{CN}{100} \times 1.67T_p \quad (9)$$

$$q_1 = [1 - \frac{CN}{100}] \times q_p \quad (10)$$

根据水量平衡可推求出:

$$T_2 = \frac{1.67 \times T_p}{1 - CN/100} - \frac{(2 - CN/100)(CN/100) 1.67T_p}{1 - CN/100} \quad (11)$$

关于河道汇流计算, 本研究中采用孔奇—马斯京根法。该模型的参数均可由河道的水力特性确定, 而不要求长序列的实测资料, 方法详见参考文献 [4]。

3 应用地理信息系统分析确定模型参数

地理信息系统 (本研究应用 ARC/INFO 工作站 7.01 版) 提供了很强的空间分析能力和计算工具, 上述模型中的有关参数, 均可由流域的地理信息分析确定。

(1) 产流参数 CN 的确定 在 SCS 产流计算方法 (式 4 和式 5) 中, 径流曲线数 CN 是唯一的待定参数, 它是土壤水文分组 (将各种土壤, 根据下渗和蓄水能力大小等特性分为 4 个组^[2])、土地利用和前期影响雨量的函数, 文献 [1] 和 [2] 均给出 CN 的数值表。在本次研究中, 应用 GIS 将土壤类型及分布、流域的子流域边界及土地利用等电子数字地图叠加, 生成一个新的电子数字地图, 在这个新的电子数字地图上, 每一个不规则多边形上只有一种土壤类型和一种土地利用分类, 由程序控制自动检索出每一个不规则多边形上给定的土壤类型和土地利用条件下的 CN 值。在实际应用中, 需根据前 15 d 累积降水量的大小, 对查算的 CN 进行修正^[2]。每一个子流域上的 CN 值则由各不规则多边形上的 CN 值用面积加权平均法计算。

(2) 汇流参数的确定 汇流模型 (式 (5) 和式 (6)) 中, L 、 L^α 、 S_t 均可根据各自定义, 应用 GIS 从各子流域水系和数字高程等电子数字地图中直接分析计算得到。

4 个例研究

本模型在爱尔兰 Dodder 流域应用, 取得了令人满意的成果。

4.1 流域概况

Dodder 流域面积 113 km^2 ，上游为较陡的山区，深层多为泥炭或岩石，表层多为岩石、砾石或森林、杂草、灌木等。中下游较为平坦。中游多为放牧的草地，下游为其首都柏林的郊区，多工业区、公园等。流域面积虽然不大，但为都柏林市的工农业和生活用水的主要水源，水质污染问题亦越来越突出。因此，Dodder 河的水量及水质计算和预测受到当地政府的高度重视。流域内共有 8 个雨量站，多年平均雨量为 1423 mm ，为湿润地区。

4.2 模型参数

根据水系、下垫面条件和雨量站的分布，将 Dodder 流域分为 5 个单元面积，如图 2 所示。在参数估计过程中，主要用的电子数字地图共 7 种，见表 1。

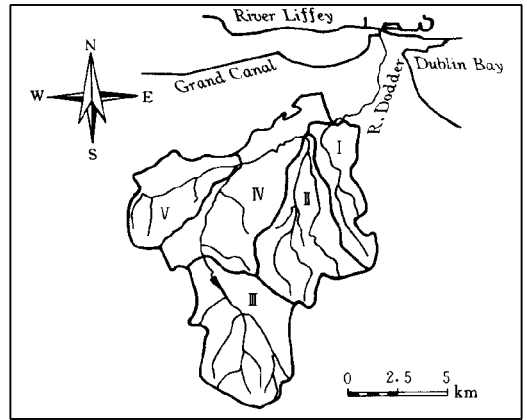


图 2 Dodder 流域水系图

Fig. 2. River network in the Dodder Watershed

表 1 应用的主要电子数字地图及类型

Table 1. Used coverage

序号	图名	描述	类型
1	Basin	流域边界图	A _{rc}
2	Sub-B	子流域边界图	A _{rc}
3	Raingauge	雨量站分布图	Point
4	Topograph	等高线分布图	A _{rc}
5	River	水系图	A _{rc}
6	Landuse	土地利用及分类	Polygon
7	Soils	土壤类型及分布图	Polygon

表 2 列出应用 GIS 分析确定的模型参数值。

表 2 估计的模型参数值

Table 2. Estimated model Parameters

子流域号	面积 / km^2	L / m	L_{ca} / m	S_t	CN	q_1	T_1 / h	T_2 / h
11.8	7 633	3 503	0.02764	64.6	0.11	16.4	65.6	
22.5	8 996	5 269	0.03691	78.9	0.22	17.7	84.9	
28.0	9 221	4 682	0.04447	82.2	0.29	18.3	103.5	
35.8	11 284	5 170	0.00620	76.8	0.34	19.1	100.5	
15.2	6 815	3 789	0.01981	77.4	0.15	17.2	77.1	

注：表中 CN 值未经前期影响雨量修正。

4.3 模型精度及分析

用 1993 年和 1994 年的资料，应用上述模型和参数值模拟计算，两年的模型效率系数 (R^2) 分别为 82.1% 和 89.0%。从过程拟合情况来看，对于洪水和中水部分拟合较好，低水部分模拟过程偏低 (图 3)。分析认为是由于本模型中总径流量未进行水源划分，只是在单位

线中加一个坡度来考虑不同径流成分汇流速度快慢的问题, 这种考虑可能是不够的。此外, 参数 q^1 , T_1 和 T_2 的确定亦需进一步研究。

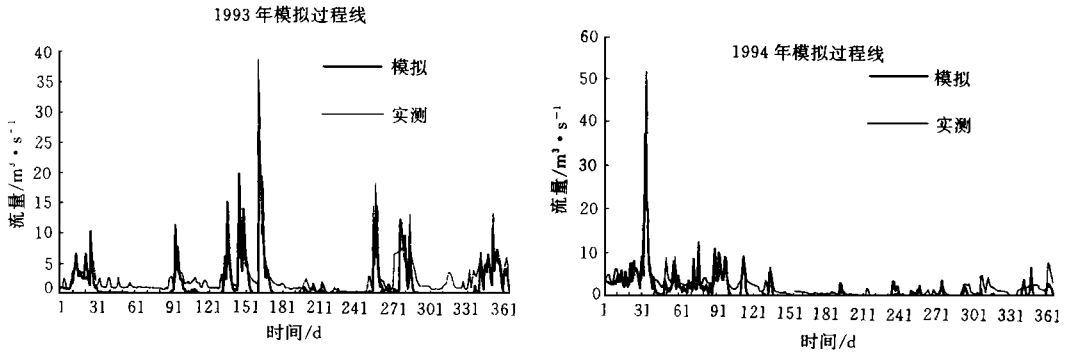


图3 Dodder流域1993, 1994年模拟和实测过程线

Fig. 3. Simulated and observed hydrograph of years 1993 and 1994 in the Dodder Watershed

5 结 语

(1) 本文提出的应用GIS从流域的地理信息中分析确定模型参数, 进行流域径流模拟的方法, 不需要大量的实测资料识别模型参数, 是解决无资料地区或资料缺乏地区的径流模拟的一种有意义的尝试。该模型在Dodder流域的应用, 其模拟成果具有一定的精度, 表明可以应用于无资料或资料缺乏地区的径流模拟。可以预言, 该类方法将在水文预报和区域水资源的评估等方面得到广泛的应用。

(2) 需要指出的是, 该模型成果与概念性物理模型(SMAR)的成果^[5]比较, 其模拟精度后者高于前者, 这是由于概念性模型有较强的物理基础, 并从长序列的历史数据中得到了大量的信息。在一般流域, 若有足够长的较好的资料序列, 概念性物理模型一般可以得到较高的模拟精度。因此, 在有资料的地区, 仍应以概念性模型应用为主。

(3) 该模型尚无水源划分结构, 使得低水部分拟合精度不高, 这是需要进一步改进之处。

参 考 文 献

- 1 Rawls W J, et al, Chapter 5: Infiltration and Soil Water Movement. In Maidment: Handbook of Hydrology. NY, McGraw-Hill Inc, 1992. 1~46
- 2 Chow W D, Handbook of Applied Hydrology. McGraw-Hill, 1964. 624
- 3 Warwick J J, Haness S J. Efficiency of ARC/INFO GIS Application to Hydrological Modeling, J of Water Resources Planning and Management. 1994, 120 (3): 366~380
- 4 Cunge J A. On the subject of a flood propagation computation method (Muskingum method). J of Hydraulic Research, 1969, 205~230
- 5 Zhang J Y. A Decision Support System for Water Management at Catchment Scale Based on a GIS. Ph. D Thesis. National University of Ireland, 1996. 289

Study on Runoff Modeling in Non-Data Watershed Using Geo-Referenced Data

Zhang Jianyun and He Hui

(*Water Resources Information Center, Ministry of Water Resources, Beijing 100761*)

Abstract: The runoff modeling in the watersheds where there is lack of hydrological data is an important and difficult problem in Hydrology. In this article, one hydrological model which can be used to model runoff in a watershed only using its geo-referenced data based on a Geographical Information System was presented. In this model, the Runoff Curve Number method of SCS (Soil Conservation Service of American) was used to calculate the generated runoff volume in a storm, and one revised unit hydrograph was proposed based on the triangular shape unit hydrograph of SCS and used to route the runoff into discharge at the outlet of the watershed. In this paper, how to determine parameter values using geo-referenced data of the watershed was discussed, and finally, the application of the model in the Dodder watershed of Ireland was introduced as a case study.

Key words: geographical information system; runoff modeling;
runoff curve number.