

基于地理信息系统技术的 GIUH 通用公式的应用

胡健伟^{1 2} 陆桂华^{1 2} 吴志勇²

(1. 河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210098 ;

2. 河海大学水问题研究所, 江苏 南京 210098)

摘要 简介地貌瞬时单位线(GIUH)的发展以及 GIUH 的通用公式. 采用地理信息系统(GIS)技术从数字高程模型(DEM)中分析和提取了 Horton 地貌率等地貌参数. 以龙岩市桃源溪麦园水文站和雁石溪龙门水文站控制流域为例, 利用 GIUH 通用公式对多场历史洪水进行模拟计算. 计算结果表明, 洪峰值和峰现时间与实测值相符.

关键词 GIUH 通用公式; GIS; DEM; Horton 地貌率

中图分类号 P338⁺.9

文献标识码 A

文章编号 1000-1980(2005)03-0269-04

早在 1932 年, Sherman 就提出了单位线(UH), 这个概念很快被广泛接受. 1957 年, Nash 提出了第一个瞬时单位线(IUH)模型, 这个模型在很多流域汇流计算中取得了较好的精度. 但是单位线是一个“黑箱”模型, 并不联系流域实际的水力状态, 使用时必须有实测水文资料, 这也是它在无资料地区应用受到限制的主要原因. 1979 年, Rodriguez-Iturbe^[1]用概率分布研究流域水滴的运动, 首次建立了地貌瞬时单位线理论(R-V GIUH)并给出了 3 级河网的公式, 摆脱了传统的 UH“黑箱”模式, 并且使得在无资料地区使用单位线成为可能.

这一理论在近 20 年得到了迅速的发展. Gupta 等^[2]用概率方法得出了相应的结果. Kirshen 和 Bras^[3]用运动方程的线性化方法确定了流域的具有地形和物理特征的响应函数(LRGIUH), 并将其看作组成流域的各个河道响应及上游和侧向流入影响的结果. Van Der Tak 和 Bras^[4]分析了伽马分布的地貌瞬时单位线的基本公式中坡度对传播时间的影响, 并介绍了一个坡度因子的流速公式. 为了描述每个河道水流的运动, Rinaldo 等^[5]采用了转移扩散方程, 这个方程是在运动波方程中引入扩散因子而获得, 他们发现不仅个别河道有扩散作用, 而且河网本身也引起扩散, 由此导出了地貌扩散的瞬时单位线(GDGIUH). Lee 和 Yen^[6]介绍了用运动波理论来确定地表汇流时间的方法, 从而得到了运动波的地貌单位线(KWGIUH), 这样解决了单位线线性约束的问题. 芮孝芳^[7 8]对地貌单位线的进展作了系统的介绍, 并提出了流路分布律和坡度分布律确定的地貌单位线.

1 GIUH 的通用公式

由于 GIUH 本身通过地貌参数来确定 IUH 的形状, 所以适用于无实际观测资料的地区. 同时, 由于气候的变迁和人类活动的影响, 获得流域的自然资料越来越困难, 使得 GIUH 在未来应用中更加重要. 目前, 很少有用于实际流域的 GIUH, 大多还停留在实验流域, 主要原因之一是由于实际河网的级别千差万别, 而在实验流域中使用的公式考虑的河网级别都很低, 无法满足实际需求. 河网级数越多, 公式的项数就越复杂, 因此推导 GIUH 通用公式就尤为重要. 在导出四级和五级河网公式的基础上, 文康等^[9]推导出了 GIUH 的通用公式, 并选择若干流域进行了验证. 具体公式如下:

$$U(t) = - \sum_{j=1}^{\Omega} \left\{ \lambda_j \left[\sum_{i=1}^j \theta_{i,A}(0) A_{ij} \right] e^{-\lambda_j t} \right\} \quad (1)$$

$$\theta_{j,A}(0) = \frac{R_B^{\Omega-1}}{R_A^{\Omega-1}} \left[R_A^{j-1} - \sum_{i=1}^{j-1} (R_A^{i-1} R_B^{-i} P_{ij}) \right] \quad (2)$$

$$A_{ij} = \frac{B_{ij}(\Omega)}{\prod_{\alpha=i}^{\Omega} [(-\lambda_j)(\lambda_{\alpha} - \lambda_j)]} \quad (\alpha \neq j) \tag{3}$$

$$P_{ij} = (R_B - 2)R_B^{\Omega-j-1} \frac{\prod_{k=1}^{j-i-1} (R_B^{\Omega-i-k} - 1)}{\prod_{k=1}^{j-i} (2R_B^{\Omega-i-k} - 1)} + \frac{2}{R_B} \delta_{i+1,j} \tag{4}$$

$$\delta_{i+1,j} = \begin{cases} 1 & j = i + 1 \\ 0 & j \neq i + 1 \end{cases} \quad (j = 1, 2, \dots, \Omega) \tag{5}$$

式中： R_A, R_B, R_L ——面积率； λ_j —— j 级河流的平均等待时间； $\theta_{j,\Omega}(0)$ —— Ω 级流域 j 级流域的初始概率； P_{ij} ——状态转移概率； A_{ij} ——关于 λ_j 和 P_{ij} 的函数，没有特定含义，是一个概化的系数； $B_{ij}(\Omega)$ ——利用 λ_j 和 P_{ij} 的规律实现求解的一个子程序。

2 GIS 及 DEM 的应用

计算机软硬件技术的发展,使 GIUH 的地貌参数直接从数字地形图中提取成为可能. 数字高程模型 (DEM)是数字地形模型(DTM)中最基本的部分,它是地球表面地形地貌的一种离散的数字表达^[10]. 因此,从 DEM 中可以提取很多水文、地貌信息,如集水流域、地表水流方向及路径、沿河道坡降等. 但在研究中发现,用单纯的 DEM 提取的地貌信息中,面积、河长以及河流数目都与实际的水系有一定的误差. 其中主要的原因是 (a)DEM 的精度限制及其本身所带的误差 (b)虽然 DEM 的填注算法目前有很多种,但是各种方法的提出一般都是解决某一类问题,并不能有效地解决实际的复杂洼地 (c)高程地形与河网地貌本身有相通之处,但也有差别. 因为地形图生成河网是通过阈值设定生成的,而真实水系的生成完全是地貌特征的显示,与阈值的选定关系不大. 另外, GIS 中的矢量水系图是真实河流的数字表达,它比 DEM 中提取的河网和地貌信息更符合实际. 虽然矢量图有矢量方向,但是数字水系是没有高程的,所以矢量地图中没有代表真实流向的方向. 因此在 DEM 提取河流地貌时应用现代 GIS 技术,加入相对较为真实的矢量河流进行编程计算,会得出更为满意的结果. 本文使用矢量水系图和 DEM 来确定流域地貌参数.

3 应用实例

3.1 研究区域

本文所研究的区域是福建省九龙江上游的两个支流. 其一是桃源溪中游的麦园水文站以上流域,麦园水文站位于漳平市新桥镇麦园村,集水面积 642 km²;另一个研究区域为福建省雁石溪上游的龙门水文站以上区域,龙门水文站位于龙岩市龙门镇湖洋村,集水面积 192 km².

3.2 GIUH 参数的获取

GIUH 通用公式需要输入的地貌参数是 Horton 分叉率、河长率和面积率,以及流域第一级河道长、河流最高级别和集水面积. 由于第一级河道长很难准确确定,因此选用最高级河道长反推第一级河道长. 表 1 为麦园和龙门的地貌参数.

表 1 麦园和龙门流域地貌参数
Table 1 Geomorphic parameters of Maiyuan and Longmen

流域	Horton 参数			流域参数		
	分叉率	河长率	面积率	面积/km ²	最高级别	主河道长/m
麦园	4.3	2.1	6.0	635.3	7	12 083.2
龙门	3.1	1.8	4.3	185.5	5	4 890.4

GIUH 通用公式另一个需要输入的参数是流速. 笔者试图使用直接从 DEM 中提取坡度等信息计算流速,但是在众多的流速计算公式中都有一些参数目前还无法从 DEM 中获取,如河宽、水深和糙率等. 因此在确定用来计算流速的参数时,不能完全脱离实测水文资料,在实际应用时还应适当考虑优选的方法,这使得 GIUH 的应用在一定程度上受到限制.

3.3 GIUH 的改进和通用公式的应用

在一次实际洪水中,总是会有不同的水源以不同的流速进行汇流. 而 GIUH 是假设单位净雨的流域汇

流,但其本身没有考虑净雨的水源划分问题,所以用 GIUH 算得的流域出口流量过程线有一个明显的特征(图 1(a)),即洪水涨退都很快.在发现这一特征后,对 GIUH 汇流进行了一些改进,考虑净雨中不同水源的平均汇流速度的差异,得出的结果明显较改进前准确(图 1(b)).本文选取 1992~2001 年间麦园和龙门站的多场次洪,用改进的方法进行模拟并与实测的径流值进行比较.结果表明,模型值与实测值比较接近,误差较小(表 2).

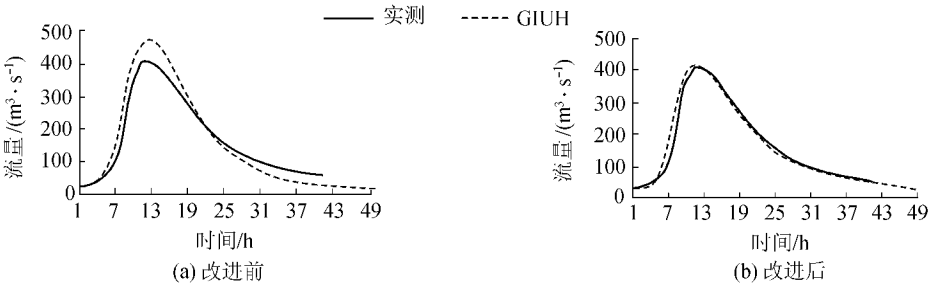


图 1 与实测比较

Fig.1 Comparison of simulated result with measured data

表 2 麦园、龙门次洪模拟结果

Table 2 Simulated results of secondary floods for Maiyuan and Longmen

麦 园					龙 门				
洪号	实测洪峰/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	计算洪峰/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	洪峰相对 误差/%	峰现时 差/h	洪号	实测洪峰/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	计算洪峰/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	洪峰相对 误差/%	峰现时 差/h
19920421	150.0	153.5	2.3	1	19920421	175.00	175.64	0.37	0
19920424	82.0	81.5	-0.6	0	19920517	157.00	156.83	-0.11	1
19920517	218.0	218.3	0.1	0	19930601	138.50	141.03	1.83	0
19920607	207.0	216.5	4.6	0	19930604	306.00	316.67	3.49	-1
19930502	170.0	166.8	-1.9	0	19950710	557.50	557.05	-0.08	0
19940502	893.8	651.4	-27.1	-1	19950731	285.75	314.86	10.19	-2
19940527	846.0	829.0	-2.0	-1	19960329	52.55	52.89	0.64	1
19940805	118.0	121.4	2.9	0	19960530	122.00	121.79	-0.17	0
19950317	409.0	430.1	5.2	-1	19970519	77.22	77.06	-0.21	0
19950628	277.0	271.7	-1.9	1	19970810	177.50	161.63	-8.94	0
19960419	208.0	201.5	-3.1	0	19980217	147.00	137.38	-6.54	0
19960814	132.0	90.1	-31.7	1	19980309	207.00	206.52	-0.23	0
19970802	217.0	212.1	-2.3	1	19980603	177.00	189.23	6.91	0
19980805	640.0	698.2	9.1	0	19990727	213.00	214.50	0.71	1
19990727	229.0	232.7	1.6	-1	19990802	97.70	85.35	-12.64	0
20000414	173.0	172.9	-0.1	1	20000617	139.00	141.47	1.77	0
20000424	105.0	102.9	-2.0	-1	20000901	150.00	155.45	3.63	-1
20010507	132.0	132.6	0.5	0	20010518	91.93	84.70	-7.87	-1

4 结 论

GIUH 理论最适用于无资料地区的洪水模拟和预报,GIUH 通用公式在传统 GIUH 的基础上考虑了更多流域复杂因素,突破了 GIUH 在较大非实验流域的限制.另外,现代 GIS 技术及 DEM 的发展也为 GIUH 的地貌参数提供了有力支持.但是 GIUH 需要的动力因子流速计算存在一定困难.从目前国内外的研究进展来看,对 DEM 能否替代实测水文资料这一问题尚有不同意见.从本文的实践来看,DEM 在 GIS 技术下求解地貌参数已经比较成功,但是流速的求解还有一定困难,虽然它可以推出流域网格化的坡度,但流速本身很复杂,影响因素很多,如水深、河宽以及糙率等因子是无法在现有的技术下从 DEM 资料中获取的.在引入其他地貌信息资料 and 不断发展的 GIS 技术支持下,才能获取更为完备的流域汇流的动力因子,只有这样才能真正实现无资料地区的水文模拟预报.

参考文献:

- [1] RODRIGUEZ-ITURBE I, VALDES J B. Geomorphologic structure of hydrologic response[J]. Water Resour Res, 1979, 15(6):1409—1420.
- [2] GUPTA V K, WAYMIRE E, WANG C T. A representation of an instantaneous unit hydrograph from geomorphology[J]. Water Resour Res, 1980, 16(5):855—862.
- [3] KIRSHEN D M, BRAS R L. The linear channel and its effect on the geomorphologic IUH[J]. Hydrol, 1983, 65:175—208.
- [4] VAN DER TAK L D, BRAS R L. Incorporating hillslope effects into the geomorphological instantaneous unit hydrograph[J]. Water Resour Res, 1990, 26(1):2393—2400.
- [5] RINALDO A, MARANI A, RIGON R. Geomorphological dispersior[J]. Water Resour Res, 1991, 27(4):513—525.
- [6] LEE K T, YEN B C. A geomorphology and kinematic-wave based hydrograph derivation[J]. Hydraulic Engng, ASCE, 1997, 123(1):73—80.
- [7] 芮孝芳. 地貌瞬时单位线研究进展[J]. 水科学进展, 1999, 10(3):345—350.
- [8] 芮孝芳. 由流路长度分布律和坡度分布律确定地貌单位线[J]. 水科学进展, 2003, 14(3):602—606.
- [9] 文康, 金管生, 李蝶娟, 等. 地表径流过程的数学模拟[M]. 北京: 水利电力出版社, 1991. 263—294.
- [10] 李志林, 朱庆. 数字高程模型[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2001. 5—7.

Application of GIUH general expressions based on GIS Technique

HU Jian-wei, LU Gui-hua, WU Zhi-yong

(1. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources

and Hydraulic Engineering, Hohai Univ., Nanjing 210098, China;

2. Research Institute of Water Problems, Hohai Univ., Nanjing 210098, China)

Abstract A brief introduction was given to the development of geomorphic instantaneous unit hydrograph (GIUH) and its general expressions. By use of GIS technique, geomorphic parameters, such as the Horton geomorphic ratio, were extracted from DEM. With the controlled regions of Maiyuan hydrological station and Longmen hydrological station taken as examples, GIUH general expressions were used for simulation of a number of historical floods. The calculated results of the flood peak and its occurring time are in accordance with the measured data.

Key words GIUH general expression; GIS; DEM; Horton geomorphic ratio