

流域泥沙模型中雨量资料的时空尺度分析*

包为民

(河海大学水文水资源系·南京市·210098)

摘要 以经改进的格林—安普特下渗模型为基础,选择降雨资料有足够短的时段记载的流域和有足够密度雨量站的流域,分别变化时段长和站网密度计算产流。根据模型模拟精度与时段长及站网密度关系线的转折点,确定适当的时段长和合理的站网密度。通过曹坪流域的站网分析和 6 个小流域试验站的时段分析,发现对这些流域而言,时段长小于 15 min,站网密度大于 2 个/100 km²,其降雨的时空均化给模型计算带来的误差可以忽略。

关键词 流域泥沙模型 雨量时段长 站网密度

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(1999)02-0036-04

中图分类号: P333.1

Analysis of Time and Space Scales for Basin Sediment Model

BAO Wei-min

(Department of Hydrology, Hehai University, Nanjing, 210098, PRC)

Abstract In present, sediment model research is usually focused on cases of small basin with short time interval record of rainfall and high density network of rainfall gauging station. There are two problems come usually across in the application of such model to middle and large scale of basins, that are time and space scale problems. A middle scale basin with high density network of rainfall station and six small scale basins with short time interval record rainfall were chosen. The relations of simulating accuracy respectively to time interval scale and to space scale were then analysed in turn. And finally, some useful conclusions were obtained.

Keywords: basin sediment model; time interval scale of rainfall; network density of rainfall station

流域泥沙模型中,产流是最主要的产沙因素之一,在有足够站点和短时段雨量记载的小流域中,概念性流域泥沙模型已能获得较好的模拟结果^[2~4]和较合理的水保效益分离评估结果^[5]。但要研究中大流域的泥沙规律,分析中大流域的水保效益,乃至整个黄河中游近期水沙变化原因及趋势预测之类的问题时,需要把这小流域的泥沙模型应用到中大流域中。应用中首先会遇到的是降雨资料问题,主要是黄河中游现有雨量资料站点较稀,时段较长,不可能有小流域泥沙模型研究中要求的几平方公里,甚至几百平方米 1 个雨量站,时段长要小于 5 min 等。即使有,对于几十万平方公里的大流域,要用计算机来处理这众多的雨量资料信息,也是一个很困难的问题。如果所选时段过长,雨量的时段均化会给超渗产流计算带来大的误差,雨量站过稀,观测到的雨量资料控制不住降雨在流域面上的变化,也会给产流计算带来大的误差。

为了分析雨量站的密度及资料时段长对模型计算精度的影响,本研究根据选定的超渗产流模型,用不同的计算时段长和站网密度,分别进行产流计算,根据模型模拟精度与计算时段

长及站网密度间的关系,以确定对中大流域合适的时段长和站网密度。

1 超渗产流计算

超渗产流计算,用下渗曲线者很多,该文采用经作者修改的格林—安普特下渗曲线^[1]。它具有流域分布的特征,经黄土高原13个小流域、试验站282次洪水资料的模拟检验表明,改进结构合理,符合实际情况,效果较好。改进的具有流域分布特征的格林—安普特下渗曲线为

$$F_M = F_C \{ 1 + K_F [K_U (W_{UM} - W_U) / W_{UM} + (1 - K_U) (W_{LM} - W_L) / W_{LM}] \} \quad (1)$$

$$F = [1 - (1 - \alpha_F)^{1/B_F}] F_M (1 + B_F) \quad (2)$$

式中: F_M ——流域平均下渗能力; F_C ——稳定下渗率; K_F ——渗透系数; W_{LM} ——下层土壤含水容量; W_{UM} ——上层土壤含水容量; W_U ——上层土壤含水量; K_U ——上层土壤含水量对下渗影响的权系数; W_L ——下层土壤含水量; F ——流域上某点的下渗能力; α_F ——下渗能力小于某一定值的面积比例系数; B_F ——下渗分布曲线指数。

对时段净雨量为 P_E , 地面径流 R_S 的产流计算式为

$$R_S = \begin{cases} P_E - F_M + F_M [1 - P_E / F_M / (1 + B_F)]^{1+B_F} & P_E < F_M (1 + B_F) \\ P_E - F_M & P_E \geq F_M (1 + B_F) \end{cases} \quad (3)$$

2 时段影响分析

模型计算中,把时段内的降雨看作是强度均匀的,而实际上常是不均匀的,这常给超渗产流计算带来时段降雨均化误差。一般时段越长,时段内降雨强度变化越大,均化误差就越大。而资料整编、或甚至超渗产流模型计算本身,由于人力、物力条件的限制,又不可能使时段太短。时段影响分析,就是通过采用不同时段长度做产流计算,分析时段长对模型模拟计算的影响,以确定一个时段长,既不会给模型计算带来大的误差,且从资料整编角度又是可以接受的。

2.1 流域和资料

为了能采用不同的时段长计算产流,选用了有自记雨量计、短时段雨量记载的蛇家沟、团山沟、水旺沟3个小流域和团山沟流域内的3,7,9号试验区的洪水资料。一方面由于这些小流域和试验区面积小,最大的蛇家沟只有4.26 km²,最小的团山沟3号只有900 m²,选用1~2个雨量站的资料基本上能控制降雨,使得站网密度给产流计算带来的误差尽可能小。另一方面是这些流域试验区的资料精度普遍较高,时段可取短到1 min,能满足时段分析的要求。这些流域和试验区的详细情况见文献[1]。

2.2 时段分析计算

时段的长短,影响着下渗量的大小,也改变了下渗方程中的一些参数。如前所述,本文采用的下渗模式有流域平均下渗能力和下渗的流域分布两部分,据其假定,下渗的流域分布中的参数是不随时间改变的,唯一的时间变化变量是流域平均下渗率 F_M 。由式(1)可知, F_M 取决于3个参数 F_C , K_F 和 K_U 。显然,上下土层土湿对下渗影响的权系数不会随时段长短而变化,那么,与时段长短有关的参数只有 F_C 和 K_F 。

模型计算设计中,各流域的短时段 ΔT 根据流域面积的大小选定,各流域时段长的设定见表1。表1中的时段长单位为 min。根据这些选定的时段和短时段率定的模型,我们只要重新率定 F_C , K_F 就可得相应时段长的模型,据此模型计算得次洪绝对误差之和见表2。

表 1 各流域时段设计

流域	min									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
水旺沟	2	4	6	8	10	16	20	24	30	60
蛇家沟	5	10	15	20	25	30	35	40	50	60
团山沟	2	8	14	18	20	22	24	26	30	60
团 3 号	1	18	19	20	21	22	23	30	40	60
团 7 号	1	2	3	4	6	8	12	18	22	60
团 9 号	1	10	16	17	18	19	20	22	30	60

表 2 各流域模型计算次洪绝对误差统计

流域	水旺沟	蛇家沟	团山沟	团 3 号	团 7 号	团 9 号
1	21.2	30.2	39.4	55.3	23.8	29.7
2	21.3	31.7	39.7	62.0	22.9	29.9
3	21.9	29.3	40.1	62.1	23.2	29.6
4	21.1	34.5	40.7	62.1	22.9	30.2
5	21.9	38.0	40.8	62.2	23.6	30.8
6	21.8	36.9	42.8	62.4	23.1	30.8
7	22.0	36.7	46.5	62.4	23.3	31.9
8	20.8	37.0	48.1	66.9	23.9	34.2
9	24.9	38.9	51.2	71.6	27.2	38.4
10	25.5	41.2	59.2	73.0	34.8	50.3

3 站网分析

降雨空间分布不均匀, 站网的代表性, 常给模型带来误差。一般雨量站越稀, 降雨的代表性越差, 误差就越大。那么, 干旱地区, 站网密度应是多大, 才不使降雨的代表性给模型计算带来大的误差, 是本节要讨论的问题。

3.1 曹坪流域概况

曹坪是岔巴沟的一个控制站, 控制流域面积为 187 km^2 。该区属于干燥少雨的大陆性气候, 年降水量约 450 mm , 降雨时空分布极不均匀, 降雨强度大而历时短, 年径流深约 54 mm , 属典型的超渗产流地区。

为研究该流域泥沙及径流形成基本规律, 在流域内布设有有足够密度的雨量站, 1959 年共有 45 个, 平均 24 个/ 100 km^2 , 后来有所减少。选择了资料系列较长、分布较均匀、代表性较好的 17 个雨量站, 其站网布设见图 1。

3.2 站网分析计算

首先选 17 个雨量站, 用泰森多边形法确定其面积, 分单元计算产流, 率定得模型参数。由于模型参数不是空间变化的, 所以此率定得的模型参数不随站网的减少而改变。

站网分析计算, 依次是从最密处减少站数, 用泰森多边形法确定新的单元面积权, 分单元

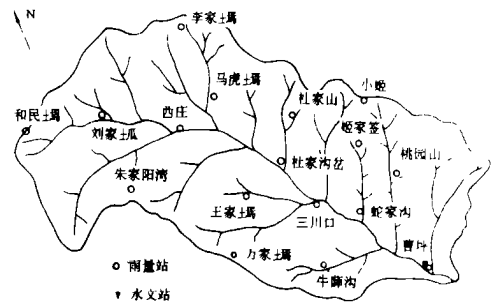


图 1 岔巴沟流域测站布设图

计算次洪径流深。站网的变化、新的单元面积积系数和次洪径流深绝对误差之和见表 3。表 3 中, S_{RE} 是次洪径流深绝对误差之和。相对值是次洪径流深绝对误差之和与用 17 个雨量站模拟计算的绝对误差和之比。

表 3 站网分析计算

单位面积 权重	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
曹坪	0.029	0.029	0.029	0.029	0.029					0.050						
牛薛沟	0.077	0.077	0.003	0.003	0.086	0.093	0.093	0.093	0.111	0.119	0.140					
桃园沟	0.057	0.066	0.071	0.071	0.071	0.006	0.105	0.105	0.105							
蛇家沟	0.048	0.055	0.063	0.063	0.076	0.093	0.093	0.093	0.093			0.148	0.185	0.225		0.399
小姬	0.031	0.038	0.038	0.038	0.038	0.038										
姬家签	0.041									0.129	0.149	0.159	0.176			
三川口	0.038	0.045														0.418
万家塬	0.06	0.06	0.066	0.066	0.066	0.066	0.066	0.066	0.066							
王家塬	0.073	0.073	0.004	0.090	0.098	0.098	0.098	0.098	0.128			0.183	0.204	0.236		
杜家沟岔	0.095	0.056	0.064	0.075						0.183	0.183					
杜家山	0.051	0.057	0.059	0.076	0.102	0.102	0.121	0.121	0.121							
朱家阳湾	0.091	0.091	0.091	0.091	0.091	0.091	0.091	0.091	0.109	0.139	0.139					0.264
西庄	0.079	0.079	0.079	0.098	0.101	0.101	0.101	0.101	0.101	0.158	0.158	0.190				0.602
马虎塬	0.070	0.070	0.070										0.194	0.247	0.319	
李家塬	0.063	0.063	0.063	0.070	0.092	0.092	0.916	0.112	0.112	0.134	0.134	0.164				
和民塬	0.056	0.056	0.056	0.056	0.056	0.056	0.056	0.056		0.089	0.089	0.156				
刘家塬	0.082	0.082	0.082	0.082	0.082	0.082	0.082	0.121	0.121				0.241	0.292		
S_{RE}	43.8	44.3	43.8	44.5	43.8	43.2	44.6	44.1	44.0	43.5	46.1	46.0	48.8	49.8	61.8	80.0
相对值	1.0	1.01	1.0	1.02	0.98	0.99	1.02	1.01	1.0	0.99	1.05	1.05	1.11	1.14	1.41	1.83

4 分析讨论

把表 2 中的绝对误差之和转换为相对值, 有图 2 所示的关系。

$$\eta_i = S_{RE}(\Delta T_i) / S_{RE}(\Delta T) \quad (4)$$

式中: $S_{RE}(\Delta T)$ ——时段长为 ΔT 模拟计算的绝对误差之和; $S_{RE}(\Delta T_i)$ 是时段长为 ΔT_i 模拟计算的绝对误差之和。

由图 2 中的平均情况可以看出, 当时段长小于 15 min 时, 其模型模拟结果的误差变化不大, 各流域的 η 平均值接近于 1。当时段大于 15 min 后, 随着时段的增长, 误差也增大, 当时段长达到 20 min 时, 各流域平均增大误差约 10%, 当时段长为 25 min 时, 平均增大约 20%。以上结果清楚的表明, 这些流域, 当时段长小于 15 min 时, 时段内降雨较为均匀, 其均匀化给模型计算带来的误差可以忽略。从表 3 中的相对值看, 在雨量站密度不小于 4 个/100 km² 时, 模型模拟误差基本不变, 当雨量站密度为 2 个/

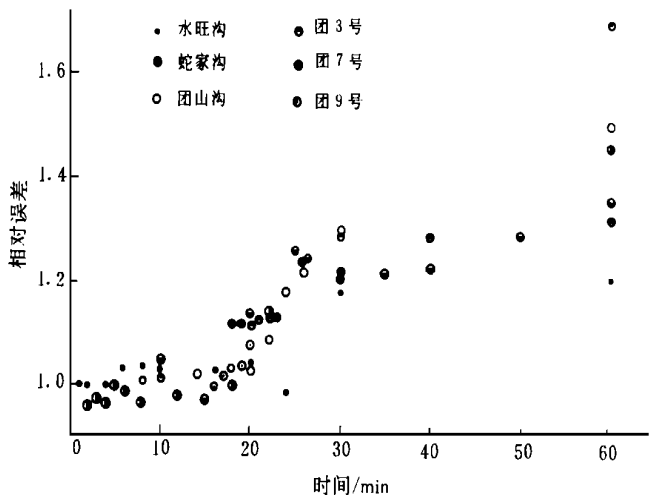


图 2 相对误差随时段长的变化

有不同的作用, 拔节期供水利于穗的分化完成, 始穗期补充供水利于小穗的分化完成, 灌浆期补充供水利于千粒重的提高; 各生育时期补充供水的补灌效益也不一样, 拔节期补充供水的补灌效益最高, 始穗期补充供水的补灌效益居第 2, 灌浆期补充供水的补灌效益最低。说明拔节期补充供水的效果最好。拔节期、始穗期、灌浆期补充供水分别比地膜穴播未补充供水的对照增产 59.2%, 49.3%, 33.9% (表 2)。

表 2 不同时期补充供水的穗长、穗粒重、千粒重、产量、补灌效率

处理	穗长/ cm	穗粒重/ g	千粒重/ g	产量/ ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	水产值/ ($\text{元} \cdot \text{t}^{-1}$)	补灌效率/ ($\text{kg} \cdot \text{mm}^{-1} \cdot \text{hm}^{-2}$)
未补灌(CK)	13.1	2.6	2.8	1726.5	—	0
拔节期补灌	14.6	4.1	3.0	2749.5	4.77	34.05
始穗期补灌	13.7	3.8	3.0	2578.5	3.23	28.35
灌浆期补灌	13.3	3.4	3.1	2311.5	2.70	19.50

4.3 旱地地膜玉米集流补灌效益研究

1997 年在定西唐家堡进行了地膜玉米集流补灌试验, 以极早熟玉米良种新玉 6 号为指示作物, 分播前管灌 40 mm, 播前点浇 5 mm, 大喇叭口期滴灌 40 mm 和对照(不灌) 4 种处理, 随机排列, 重复 3 次, 其它管理类同于大田。结果表明, 播前补灌和点浇有利于全苗, 播前补灌的前期生长速度快, 但后期缺水导致灌浆不良, 产量低于大喇叭口期补灌, 增产幅度小, 补灌效益低, 每 1 t 水产值低。点浇 5 mm 最经济实惠, 在水资源极度贫乏的半干旱区值得推广。

参 考 文 献

- 1 赵松岭. 集水农业引论. 西安: 陕西科学技术出版社, 1996
- 2 马天恩, 高世铭. 集水高效农业. 兰州: 甘肃科学技术出版社, 1997
- 3 高世铭. 旱地作物补充供水及覆盖保水效果研究. 西北农业学报, 1995(2): 59- 63
- 4 文军, 朱生金. 青海省东部干旱山区雨水集蓄与利用. 水土保持通报, 1998(4): 53- 56

(上接第 39 页)

100 km² 时, 模型模拟精度有些降低, 误差增大约 10%, 当密度小于 2 个/100 km² 时, 模型模拟的误差就显著的增大。这表明, 在曹坪流域, 只有当雨量站密度大于 2 个/100 km² 时, 降雨的面上分布才能基本控制住。

站网密度和时段长的分析工作, 目前在干旱地区还做得不多, 但这对于超渗产流地区流域水文模型的研制, 黄河中游中大流域泥沙模型水文模型的研究, 模型的推广应用, 指导站网布设和资料整编都十分重要。由于实测资料的限制, 本研究工作还是很初步的, 还应在更多的流域上检验和中大流域泥沙模拟应用检验, 以获得一些更合理、更可靠的结论。

参 考 文 献

- 1 包为民. 格林—安普特下渗曲线的改进和应用. 人民黄河, 1993(9): 1- 4
- 2 包为民. 黄土地区小流域产沙概念性模拟研究. 水科学进展, 1993(1)
- 3 包为民. 小流域水流泥沙耦合模拟概念模型. 地理研究, 1995(2): 27- 34
- 4 包为民. 概念性汇沙模型初探. 河海大学学报, 1991(6)
- 5 包为民. 水土保持措施减水减沙效果分离评估研究. 人民黄河, 1994. 1