

基于数字流域的雨量子网空间布设研究

王美荣,任立良,李春红

(河海大学水资源环境学院,江苏 南京 210098)

摘要:在数字流域平台构建的基础上,将雨量子站的雨量信息与子流域单元进行空间匹配,避免了过去以流域面平均雨量值作为水文模型输入的弊端;同时依据地形条件相似性原理,在分析流域内各雨量子站日雨量相关性的基础上,运用数字水文模型对传统雨量测站布设的合理性进行了探究.计算结果表明:在地形条件复杂和没有雨量子站的子流域单元内增设雨量子站十分必要.水阳江流域内应用 13 个代表性最好的雨量子站的日雨量模拟的日流量过程,与应用原先布设的 26 个雨量子站模拟的结果非常接近,但用这 13 个雨量子站 1 h 雨量信息模拟次洪流量则不如 26 个雨量子站的模拟效果好.

关键词:数字流域;下垫面特性;子流域;雨量子站;空间变异性

中图分类号: P332 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1980(2003)02-0196-04

近 10 年来,数字技术正促使一切科学技术领域发生一场深刻的变革,数字水文^[1]时代应运而生,数字流域^[2]的诞生使数字水文模型^[2]替代传统水文模型成为可能.水文站网规划^[3]中流量站网规划是核心,而对于一个中小流域而言,流域内与流量站配套的雨量子站个数及其空间分布也是一个很关键的问题.

20 世纪 80 年代以来,我国常用的雨量子站网规划方法为流域水文模型法^[3],其中模型的雨量输入是基于配套雨量子站所求得的面平均雨量值.方法是逐个增加配套雨量子站的个数,然后求得雨量面平均值作为模型输入,直到继续增加雨量子站个数而模型的确定性系数基本不再增加为止.水文模型是对真实自然过程的概化表达,将流域上不同的水文过程集总为均一的模型很难获得满意的模拟结果^[4],这样的信息输入很大程度上均化了信息的空间差异性,而流域水文模型所追求的恰恰是考虑下垫面的空间变异性和水文信息的空间差异性的物理模型,原有的技术手段基本做不到这一点.数字流域的诞生为此提供了可能.数字水文模型中,将流域离散成较小的可以认为其特性相对均一的空间单元,在这样的条件下,水文模拟正朝着更贴近实际水文现象的物理模型迈进^[4].

本文以长江下游水阳江流域为例,在数字流域平台上运用数字水文模型并考虑时间尺度因素的基础上探究传统雨量子站网空间布设的合理性.

1 数字流域的构建

选取水阳江流域作为研究对象.水阳江位于长江流域下游干流区,水文站宣城控制集水面积为 3 410 km².选用空间分辨率为 30 s 的栅格型 DEM 数据.该数据取自美国国家地球物理数据中心提供的全球陆地 1 km 基础高程 GLOBE(Global Land One-kilometer Base Elevation)数据,所用高程数据的地理位置为东经 118° ~ 120°,北纬 30° ~ 32°.DEM 数据矩阵包含 240 行、240 列.所选水文资料是整个流域内 26 个测站 1977 ~ 1981 年的逐日雨量资料以及宣城和沙埠两站的逐日蒸发资料.

基于 DEM 数据,运用数字高程流域水系模型 DEDNM^[5](Digital Elevation Drainage Network Model),可以自动将流域划分为任意个子流域单元,获得集水面积、河道长度、河网与子流域的拓扑关系.在运行 DEDNM 时,给定一个临界集水面积值和最小河道长,就会有一种子流域单元的划分.但在水阳江流域,最小河道长是一个相对不敏感的因素,所以设定最小河道的长度不变,为 2 km,然后改变临界集水面积值.研究发现,高程落差较大的地方,流域子单元的划分对临界集水面积值比较敏感,最终将水阳江流域划分成 49 个子流域产流单元.下列日模型和次洪模型计算均基于 49 个子流域进行.

2 日雨量的相关性

图 1 给出了水阳江流域水系和雨量站网的分布情况 ,3410 km² 集水面积上分布着 26 个雨量站 ,平均 131 km² 就有一个雨量站 ,测站分布比较密集 .有研究^[6]认为 ,雨量站量测到的雨量值与测站周围的地形环境有着密切的关系 ,地形环境的要素包括坡度、坡向以及山谷的位置等 .经验证 ,地形环境相似的测站年降水量有相当好的相关性 .对水阳江而言 ,日降水量的相关性也很好 .水阳江流域有 5 个子流域内各有 2 个雨量站 ,其他均为 1 个雨量站 .同一子流域的雨量站日雨量的相关性相当好 , $r = 0.855 \sim 0.935$.部分同一子流域和不同子流域内雨量站日雨量的相关系数如图 2 和表 1 所示 .

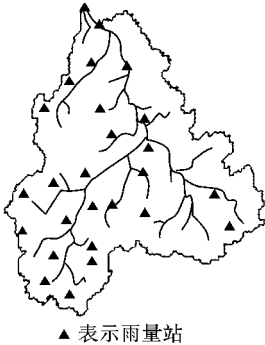


图 1 水阳江水系和雨量站分布

Fig.1 Shuiyangjiang River network and distribution of rain-gauge stations

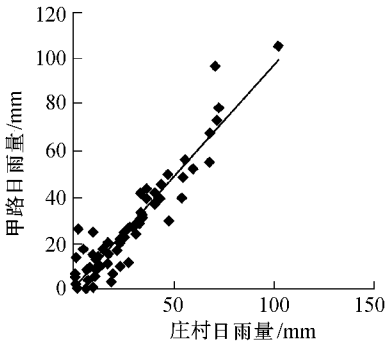


图 2 庄村与甲路日雨量相关图

Fig.2 Daily precipitation correlation between Zhuangcun and Jialu

表 1 部分同一子流域或不同子流域内雨量站日雨量的相关系数

Table 1 Correlation coefficients of daily rain-gauge data in same or different subcatchments

雨量站	相关系数	雨量站	相关系数	雨量站	相关系数	雨量站	相关系数
胡乐司与甲路	0.935	宣城与孙家埠	0.846	沙埠与港口湾	0.914	黄土坎与陶家	0.895
庄村与甲路	0.963	宣城与黄渡	0.910	沙埠与河沥溪	0.930	方塘与孙家埠	0.823
朱家桥与虹龙甸	0.867	狮桥与云梯	0.855	方塘与刘村	0.884	大联坞与和阳	0.914

3 计算结果分析

在水阳江上应用数字水文模型^[4] ,基于 26 个雨量站的日雨量和 2 个蒸发站数据 ,没有雨量站的子流域单元就近移用地形环境相似的其他子流域单元的雨量资料 ,经过参数优选 ,模拟流量过程 .

第 1 步 :减少同一子流域雨量站的个数 ,即全流域共有 21 个雨量站 .蒸发的输入和参数均不变(以下分析计算均只改变雨量信息的输入) ,结果发现 ,除 1977 年的确定性系数略有提高外 ,1977 ~ 1981 年总的确定性系数和其他 4 年的确定性系数都减小了 .

第 2 步 :云梯和狮桥所在的子流域及其周围地形比较复杂 ,但雨量站却稀少 ,并且同一子流域两测站的日雨量相关性最差 ,所以在第 1 步的基础上保留云梯站 ,结果 5 年总的模型确定性系数和 3 年的确定性系数都比 26 个测站时有所提高 .为比较起见 ,在第 1 步的基础上分别保留具有 2 个雨量站的子流域内的另一个雨量站 ,如表 2 所示 .由表 2 可知 ,模型确定性系数 ,26 个雨量站与 21 个雨量站相比 ,均没有明显变化 .从这一结果分析来看 ,狮桥和云梯测站周围没设雨量站的子流域应该增设雨量站 .

表 2 不同雨量站情形下模型确定性系数比较

Table 2 Deterministic coefficients of daily model for different rain-gauge stations

年份	26 个测站	21 个测站	保留云梯	保留和阳	保留黄渡	保留刘村	保留甲路
1977	0.86028	0.87350	0.86258	0.87296	0.87170	0.87337	0.87287
1978	0.76309	0.75573	0.75937	0.75871	0.75997	0.75563	0.75851
1979	0.80898	0.76750	0.82236	0.76370	0.75844	0.76665	0.76342
1980	0.88306	0.87417	0.88284	0.87579	0.87494	0.87407	0.87584
1981	0.88292	0.87643	0.88306	0.87664	0.87642	0.87673	0.87681
1977 ~ 1981	0.87341	0.87223	0.87482	0.87239	0.87141	0.87218	0.87239

第3步 减少布站密度大的地方的雨量站个数,其子流域单元的雨量信息用邻近子流域与其相关性好的雨量站信息替代,考察模型的确定性系数变化趋势.本文对26个雨量站的日雨量进行了充分的相关性分析,然后选出了其中13个代表性最好的雨量站(包括宣城、新田、溪口、山门、沙埠、朱家桥、狮桥、云梯、方塘、甲路、和阳、黄土坎及俞村)进行模拟计算.结果与应用原先布设的26个雨量站信息模拟的结果非常接近.同时又选择了12个、11个和9个雨量站进行比较.结果1978年、1979年、1980年的模型确定性系数在13个测站时达到最高,如表3所示.1977~1981年总的模型确定性系数 DC 和1979年的模型确定性系数 DC 如图3、图4所示.

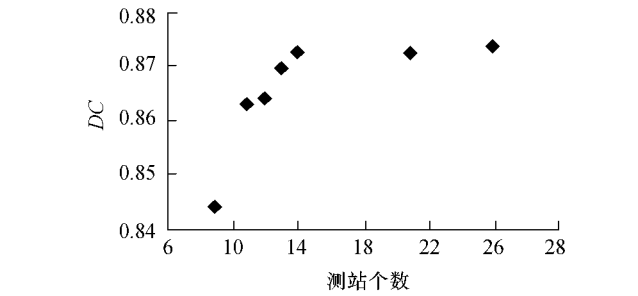


图3 不同雨量站数下1977~1981年模型确定性系数
Fig.3 Deterministic coefficients of daily model for different numbers of rain-gauge stations from 1977 to 1981

表3 不同雨量站数下的模型确定性系数比较				
Table 3 Deterministic coefficients of daily model for different numbers of rain-gauge stations				
年份	13个测站	12个测站	11个测站	9个测站
1977	0.843 90	0.834 80	0.847 60	0.802 91
1978	0.779 30	0.768 30	0.764 94	0.751 83
1979	0.833 78	0.816 79	0.779 36	0.772 08
1980	0.886 29	0.883 22	0.875 00	0.882 44
1981	0.880 86	0.880 83	0.873 29	0.858 58
1977~1981	0.869 38	0.863 96	0.862 87	0.843 87

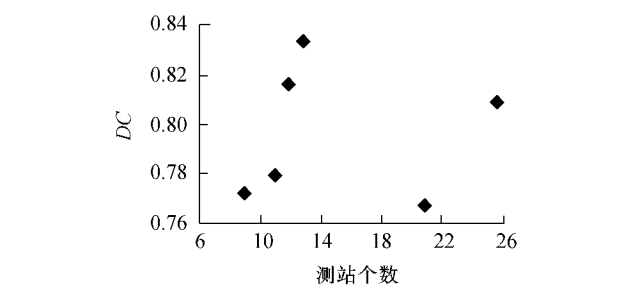


图4 不同雨量站数下1979年模型确定性系数
Fig.4 Deterministic coefficients of daily model for different numbers of rain-gauge stations in 1979

年径流相对误差反映总水量拟合情况,如表4所示.1977~1981年总径流误差随着雨量站数目的增加而减少,但各个具体年份里径流相对误差变化不稳定.这是因为,有的子流域移用其他子流域的降雨资料,而移用会带来一定的误差.

表4 年径流总量相对误差统计					
Table 4 Statistics of relative error of annual runoff computed					
年份	26个测站	13个测站	12个测站	11个测站	9个测站
1977	3.27	1.57	6.28	6.88	7.11
1978	11.50	11.37	11.74	12.42	11.30
1979	4.27	4.56	3.00	4.51	4.45
1980	6.71	11.92	5.92	8.72	9.39
1981	0.72	0.77	4.18	3.12	4.24
1977~1981	0.21	0.39	2.65	2.71	2.82

为了进一步验证的需要,又选择两场洪水(7701和8102)按上述思路进行洪水过程模拟计算.日雨量相关性好的两测站之间时雨量相关性减弱,如对应于7701号洪水的各雨量站所测时雨量相关系数仅为0.757~0.910,如表5所示.表5表明,模型确定性系数随雨量站数目的减少而降低,其降低幅度大于日模型情形.

表5 次洪模型确定性系数比较					
Table 5 Deterministic coefficients of hourly model for flood events					
洪水编号	26个测站	13个测站	12个测站	11个测站	9个测站
7701	0.957	0.927	0.901	0.890	0.882
8102	0.992	0.981	0.957	0.951	0.939

4 结 论

a. 水阳江流域各雨量站的日雨量在空间上具有很好的相关性,地形环境相似的雨量站日雨量信息基本

可以相互替代.

- b. 在地形条件复杂和没有雨量站的子流域中增设雨量站十分必要.
- c. 时间步长为 24 h (日模型)时,13 个站的模型确定性系数与 26 个站的非常接近;而时间步长为 1 h (次模型)时,13 个站的不如 26 个站的.这说明,时间尺度越短,雨量信息的空间变异性就愈强;时间尺度越长,雨量信息的空间变异性就愈弱.

参考文献 :

[1] 刘新仁. 数字水文系统建设——信息时代的水文技术变革[J]. 水文, 2000, 20(4) : 5—8.

[2] 任立良, 刘新仁. 基于数字流域的水文过程模拟研究[J]. 自然灾害学报, 2001, 9(4) : 45—52.

[3] 胡风彬. 水文站网规划[M]. 南京 : 河海大学出版社, 1993. 3—200.

[4] 任立良, 刘新仁. 数字时代水文模拟技术的变革[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2000, 28(5) : 1—6.

[5] MARTZ W, GARBRECHT J. Numerical definition of drainage network and subcatchment areas from digital elevation models[J]. Computers & Geosciences, 1992, 18(6) : 747—761.

[6] WOTLING G, BOUVIER Ch, DANLOUX J, et al. Regionalization of extreme precipitation distribution using the principal components of the topographical environmen[J]. Journal of Hydrology, 2000, 233 : 86—101.

Digital basin based spatial analysis of rain-gauge network

WANG Mei-rong , REN Li-liang , LI Chun-hong

(College of Water Resources and Environment , Hohai Univ. , Nanjing 210098 , China)

Abstract :Based on the platform of digital basin derived from DEM , an analysis was made of the rationality of the spatial distribution of the conventional rain-gauge network by means of the digitally distributed hydrological model. In the hydrological model , instead of taking an area-weighted average precipitation as the input of the model , the rain-gauge data were matched spatially with subcatchments generated from DEM data. Furthermore , the correlation between daily precipitations of any two rain-gauge stations was investigated. The result shows that the daily discharge hydrograph computed by data of 13 rain-gauge stations , which can well represent the spatial distribution of daily precipitation in the Shuiyangjiang River basin , is much close to the hydrograph computed by data of the original 26 rain-gauge stations , while the above result does not appear in the case of hourly discharge modeling for flood events , verifying that the shorter the time-scale , the larger the spatial variability of rain.

Key words :digital basin ; land-surface characteristics ; subcatchment ; rain-gauge station ; spatial variability