

基于情景分析法的流域径流特性研究

张 荔^{1,2}, 贺基瑞¹

(1. 西安建筑科技大学环境与市政工程学院, 陕西 西安 710055;

2. 西部建筑科技国家重点实验室(筹), 陕西 西安 710055)

摘 要:流域径流的变化受控于自然变化和人类活动两组向量. 以渭河流域陕西片为例, 采用基于分布式水文模型的流域径流变化规律情景分析方法, 选取降雨和土地利用作为径流的主要影响因子, 进行情景设定, 借助分布式水文模型进行模拟计算, 有效揭示渭河流域陕西片的径流变化特性. 结果表明: 年降雨总量对年径流总量影响显著, 月径流量的峰值大小及出现时间呈现较大随机性; 由于流域片降雨量较少而蒸发量较大, 土地利用情景对径流的影响不显著.

关键词:情景分析; 径流; 降雨; 土地利用; 分布式水文模型

中图分类号: X143

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2011)04-0541-05

流域径流变化是气候、下垫面和人类活动等综合作用的结果. 针对渭河流域陕西片的径流过程的空间分布性和非线性特点, 从水文循环的物理机制入手, 充分考虑流域各处的地形、地貌、土壤、土地利用等下垫面信息的空间分布特征及不均匀变化, 构建了基于单元地貌的分布式水文模型, 对流域进行空间离散, 逐级划分流域为若干几何相似的“山坡”单元, 作为水文模拟的基本计算单元. 同时, 基于情景分析方法, 设定一系列降雨和土地利用情景, 利用构建的分布式水文模型进行模拟计算, 科学把握流域片的径流变化规律.

1 基于单元地貌的分布式水文模型构建

1.1 模型特点

基于单元地貌的分布式水文模型是以流域地形和单位线的概念为基础, 利用面积函数和宽度函数概化流域的地形特性, 将流域逐级划分为若干子流域和一系列汇流区间, 每个汇流区间又包含若干河段. 假定任一河段的两边具有对称坡面, 即构成一个“山坡”单元^[1-5] (图 1), 作为模型的水文计算单元.

由于对每一个均质坡面流单元, 可利用一维水分运动方程描述流域的产流过程, 因此该模型不仅较好地描述了流域水文过程, 而且大大缩短了模型计算时间, 提高了计算时效.

1.2 模型原理

在数字高程模型的基础上, 模型将流域的土地利用和土壤类型分布进行了概化. 对流域内的每个水文计算单元, 根据多种土地利用和土壤类型进行组合, 即可将每个山坡单元概化为其对称坡面上沿河道方向平行排列的一系列矩形, 每个矩形代表流带内的一种土地利用和土壤类型的组合, 每个矩形所产生

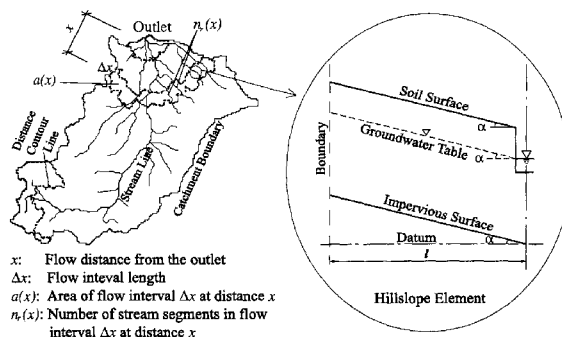


图 1 模型的山坡单元概化

Fig. 1 The hillslope element of model

*收稿日期: 2010-12-23 修改稿日期: 2011-06-03

基金项目: 陕西省教育厅专项基金资助项目(2010JK631); 西安建筑科技大学基础研究基金资助项目(JC0911)

作者简介: 张 荔(1971-), 女, 陕西大荔人, 副教授, 博士, 从事流域水文水质模型领域的教学研究工作.

的径流均直接汇入子流域的主河道^[6-9]. 在坡度、坡长、土地利用和土壤类型等水文要素已知的情况下, 每个水文计算单元的产流模式是确定的.

基于单元地貌的分布式水文模型模拟的主要水文过程包括降水、截留、蒸(散)发、下渗、土壤水运动、地表径流与河道汇流等. 对每个水文计算单元进行水文过程模拟时, 沿垂向将山坡单元划分为植被层、非饱和层和潜水层, 以简化流域的产、汇流等水文过程模拟; 植被层考虑降水截留和截留蒸发; 非饱和层考虑土壤水分运动, 并用一维 Richards 方程描述, 其中, 降雨入渗是方程的上边界条件, 蒸发和蒸腾则作为方程的源汇项; 潜水层考虑地下水与河流之间的水量交换^[10-12].

2 降雨对流域径流的影响鉴别

2.1 降雨情景设定

考虑全球的气候变化趋势, 结合流域片的多年降雨资料, 统计分析年降雨量的出现频率以及月内降雨天数的分布形式, 设定了一系列降雨情景(图 2). 其中, 6~9 月的降雨量约占年降雨量的 57% 以上, 5、10 月的降雨量约占年降雨量的 20%; 年内最大降雨月在 6~9 月内随机产生; 年降雨天数随年降雨量增加呈比例增加; 年内逐月降雨天数的设定依据流域片的月降雨天数分布特性.

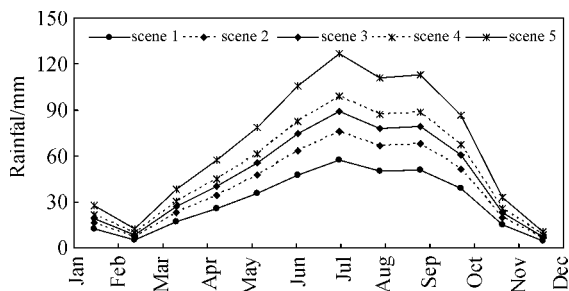


图 2 不同降雨情景的月降雨量

Fig. 2 Monthly rainfall of different scene

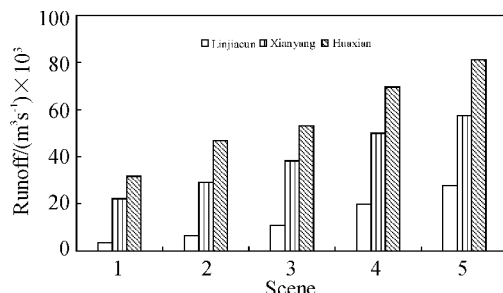


图 3 不同降雨情景的年径流量

Fig. 3 Annual runoff of different scene

2.2 降雨对年径流的影响

利用构建的基于单元地貌的分布式水文模型, 在流域片现状自然地貌、下垫面、人类活动及社会经济等条件下, 将设定的降雨情景分别输入构建的水文模型, 模拟流域的径流过程, 输出渭河干流陕西段三个主要断面的径流量, 以鉴别降雨对流域径流的影响效应.

不同降雨情景的年径流变化如图 3. 由图可以看出, 渭河干流的年径流量随年内降雨量的增加呈现出明显增加趋势. 其中, 对上游林家村断面, 情景 2 相对情景 1 的年径流量增加最多, 约 96%, 而情景 4 相对情景 3 的年径流量增加最少, 约 31%; 对中游咸阳断面, 情景 2 相对情景 1 的年径流量增加最多, 约 32%, 而情景 5 相对情景 4 的年径流量增加最少, 约 11%; 对下游华县断面, 情景 2 相对情景 1 的年径流量增加最多, 约 48%, 而情景 4 相对情景 3 的年径流量增加最少, 约 11%.

2.3 降雨对月径流的影响

不同降雨情景的月径流变化如图 4. 由图可以看出, 一年内的多数月份中, 渭河干流三个主要断面的月径流量随月内降雨量的增加均呈现增加趋势, 尤其 7~10 月增加显著.

上游林家村断面, 情景 1 的月径流量相差不明显, 情景 2 除 8 月出现较大径流量峰值, 其余各月径

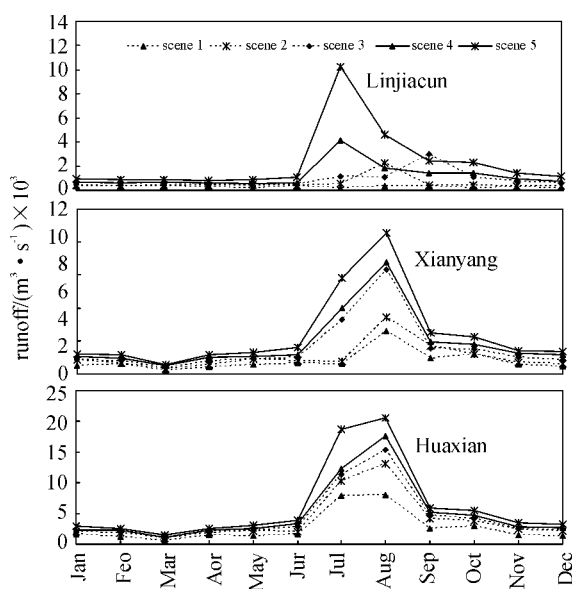


图 4 不同降雨情景的月径流

Fig. 4 Monthly runoff of different scene

流量相差不明显,其他 3 个情景 7~10 的月径流量均呈现显著增加. 其中,情景 3 的月径流量峰值出现在 9 月,且为 5 个降雨情景中的最大值;情景 4 和情景 5 均在 7 月出现月径流量峰值. 中游咸阳断面,5 个降雨情景的年内月径流量呈现基本一致的变化趋势,且均在 8 月出现月径流量峰值. 下游华县断面,5 个降雨情景的年内月径流量也呈现基本一致的变化趋势,且月径流量的显著增加主要集中在 7、8 月. 其中,情景 1 在 7、8 月连续出现数值接近的月径流量.

3 土地利用对流域径流的影响鉴别

3.1 土地利用情景设定

渭河流域陕西片包括宝鸡、咸阳、西安和渭南等城市及其所辖地区. 依据流域片 2003 年春、秋两季土地利用卫星图像的解析结果,并参照中国科学院地理所提供的全国土地利用图,在全国土地利用二级分类的基础上,对流域片部分土地利用类型进行了合并,而对耕地类型进行了三级分类扩展. 据此将流域片的土地利用划分为 8 种主要类型:耕地、坡地、灌木丛、林地、草地、裸地、城镇居住地和水域.

流域下垫面条件对径流过程有着重要的作用. 下垫面的改变将通过影响蒸发、下渗、产流、汇流等过程而改变流域径流量的大小. 土地利用、土壤类型、植被覆盖是下垫面的重要因素. 其中,土地利用是人与土地相互作用下由不同的利用方式和利用强度组成的动态系统,土地利用以及由此导致的植被覆盖的变化,通过影响流域气候、水文、土壤养分迁移以及土壤侵蚀的产生,改变径流过程中的地表蒸散发、土壤水分状况和地表植被的截留量,从而对流域径流过程产生不同程度的影响.

在流域片现状 8 种土地利用类型的基础上,根据目前全面禁伐、水土保持等政策,土地利用逐渐改善,同时也考虑土地管理不善,土地利用可能恶化的可能性,设定了一系列土地利用情景(如表 1).

表 1 不同情景的土地利用比例
Tab. 1 Proportion of different land use scene
单位: %
Unit: %

Land use	Status	Scene 1	Scene 2	Scene 3	Scene 4	Scene 5
Waters	0. 72	0. 72	0. 72	0. 72	0. 72	0. 72
Urban	0. 27	0. 54	0. 27	0. 27	0. 27	0. 27
Bare	0. 78	0. 68	0. 78	0. 78	14. 03	0
Forest	13. 25	13. 25	26. 43	13. 25	0	36. 22
Lawn	7. 51	7. 51	7. 51	7. 51	7. 51	7. 51
Arable	26. 36	26. 19	13. 18	48. 55	26. 36	26. 36
Slope	22. 19	22. 19	22. 19	0	22. 19	0
Bush	28. 92	28. 92	28. 92	28. 92	28. 92	28. 92
Total	100	100	100	100	100	100

3.2 土地利用对径流过程的影响

利用构建的基于单元地貌的分布式水文模型,在流域片现状自然地貌、气候、人类活动及社会经济等条件下,将设定的土地利用情景分别输入模型,模拟流域片的径流过程,输出渭河干流陕西段主要断面的径流量,以鉴别土地利用对流域径流的影响效应.

2003—2005 年渭河干流咸阳断面不同土地利用情景的日径流过程变化如图 5. 由图可以看出,土地利用情景的变化对日径流过程影响较大. 其中,情景 1、2 和 4 在较强降雨后出现径流量的一个较大增幅,之后径流过程出现一个较大减少,随后径流量减少的趋势逐渐减弱;而情景 3 和 5 则与之相反,在较强降雨后径流量出现了一个较大的减幅,之后径流过程出现一个小的增幅,随后径流量增加的趋势逐渐减弱.

3.3 土地利用对径流量的影响

不同土地利用情景的年径流深变化如表 2. 由表可以看出,年径流深的大小依次为情景 4>情景 2>情景 1>情景 3>情景 5. 由于林地具有较强的减水效应,极大地削减了地面径流的产生,因此随着林地比例的增加,径流深减少;而裸地具有较强的增水效应,随着裸地比例的增加,径流深则增加.

表 2 不同土地利用情景下的年径流深

单位:mm

Tab. 2 Annual runoff of different land use scene

Unit:mm

Year	Scene 1	Scene 2	Scene 3	Scene 4	Scene 5
2003	87.41	98.34	63.62	176.78	39.07
2004	39.09	44.12	28.84	80.00	18.24
2005	99.89	111.62	73.79	205.47	45.46
Average	75.46	84.69	55.42	154.08	34.26

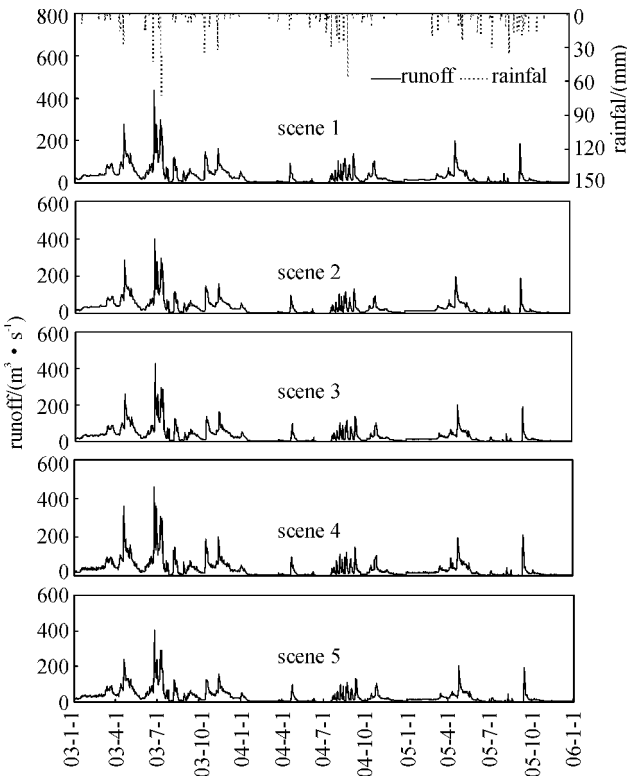


图 5 不同土地利用情景的日径流

Fig. 5 Daily runoff of different land use scene

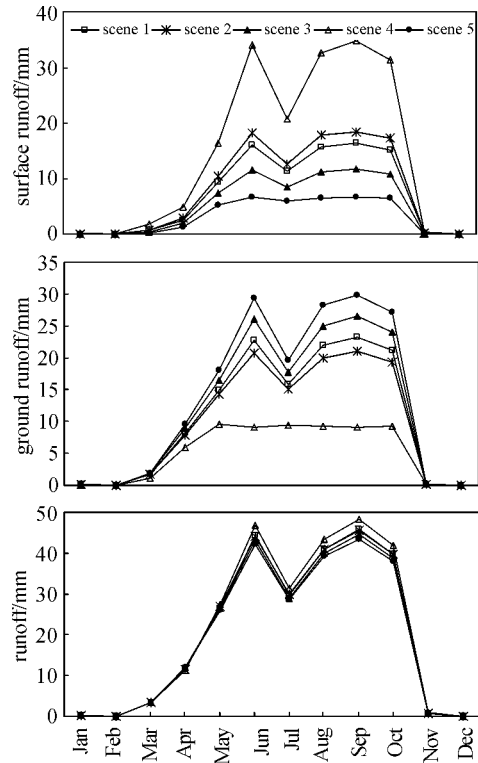


图 6 不同土地利用情景的水文过程

Fig. 6 Hydrological Processes of different land use scene

3.4 土地利用对水文循环的影响

不同土地利用情景的年内径流过程如图 6. 由图可以看出,情景 4 由于裸地比例增大,其地面流明显增加,而壤中流和地下流显著降低;情景 3 和情景 5 由于耕地和林地比例增大,其地面流明显降低,而壤中流和地下流有所增加;情景 1 和情景 2 由于主要的土地理由方式变化不大,其地面流、壤中流和地下流的变化不明显. 总体上,不同情景土地利用的径流量的变化较小,对流域径流过程影响不显著,流域径流量基本保持不变,而地面径流量有所增加. 相对而言,情景 4 径流量最大,情景 2 径流量最小.

4 结 论

选取降雨和土地利用作为径流的主要影响因子,设定一系列降雨和土地利用情景,借助分布式水文模型和情景分析方法,有效鉴别了渭河流域陕西片的径流变化特性:年降雨总量对年径流总量影响显著,月径流量的峰值大小及出现时间呈现较大随机性;由于流域片降雨量较少而蒸发量较大,土地利用情景对径流的影响不显著;植被覆盖具有削减洪峰、增加基流、调节径流的作用,植被覆盖越好,蒸发量越大,径流量越少;裸地对径流的调节能力差,植被覆盖越差,对降雨响应越敏感,较易形成大的洪峰,不利于对降水资源的利用;城市面积的扩张、耕地面积的增长和土地的荒漠化会增加地面径流量;森林面积的增加则会降低地面径流量.

参考文献 References

- [1] 杨大文,李 翀,倪广恒,等. 分布式水文模型在黄河流域的应用[J]. 地理学报,2004,59(1):143-154.
YANG D W, LI C, NI G H, et al. Application of a distributed hydrological model to the Yellow River basin[J]. Acta Geographica Sinica, 2004, 59(1):143-154.
- [2] YANG D W. Comparison of different distributed hydrological models for characterization of catchment spatial variability[J]. Hydrological Process, 2000 (14):403-416.
- [3] YANG D W, SRIKANTHA H. Application of distributed hydrological model in Asian monsoon tropic region with a perspective of coupling with atmospheric models[J]. The Meteorological Society of Japan (JMSJ), 2001, 79 (1B):373-385.
- [4] YANG D W, SRIKANTHA H. Spatial resolution sensitivity of catchment geomorphologic properties and the effect on hydrological simulation[J]. Hydrological Sciences, 2001,15(11):2085-2099.
- [5] 许继军. 分布式水文模型在长江流域的应用研究[D]. 北京:清华大学,2007.
XU J J. Application of a distributed hydrological model to the Yangtze River basin[D]. Beijing: Tsinghua University, 2007.
- [6] YANG D W, SRIKANTHA H., MUSIAKE K. A geomorphology-based hydrological model and its applications [C]. Water Resources Publications, Littleton, Colorado. 2002,Chapter 9:259-300.
- [7] YANG D W, MUSIAKE K. A continental scale hydrological model using distributed approach and its application to Asia[J]. Hydrological Processes, 2003(17):2855-2869.
- [8] YANG D W, KOIKE T, TANIZAWA H. Effect of precipitation spatial distribution on the hydrological response in the upper Tone River of Japan[C]. IAHS publication, 2003(282):194-202.
- [9] YANG D W, KOIKE T, TANIZAWA H. Application of distributed hydrological model and weather radar observation for flood management in the upper Tone River of Japan[J]. Hydrological Processes, 2004(18):3119-3132.
- [10] YANG D W, Li C, Hu H, et al. Analysis of water resources variability in the Yellow River of China during the last half century using historical data doi:1029/2003/WR002763[R]. Water Resour. Res., 2004,40, W06502.
- [11] 王 磊,王忠静,尹 航,等. GBHM 模型原理及其在中尺度流域的应用[J]. 冰川冻土,2006,28(2):256-260.
WANG L, WANG Z J, YIN H, et al. A distributed hydrological model-GBHM and its application in middle-scale catchment[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2006, 28(2): 256-260.
- [12] 张 荔,赵串串,林金辉,等. 分布式水文模型在渭河流域水环境分析中的应用[J]. 西安建筑科技大学学报:自然科学版,2007,39(1):61-65.
ZHANG L, ZHAO C C, LIN J H, et al. Application of a distributed hydrological model for characterization of Weihe river basin[J]. J. Xi'an Univ. of Arch. & Tech. :Natural Science Edition, 2007,39(1):61-65.

Study of the runoff characteristics based on a scenario analysis

ZHANG Li^{1,2}, HE Ji-rui¹

(1. School of Envir. and Muni. Eng., Xi'an Univ. of Arch. & Tech., Xi'an 710055, China;

2. State Key Laboratory of Architecture Science and Technology in West China(XAUAT), Xi'an 710055, China)

Abstract: Change in the runoff is controlled by two vectors of natural change and human activity. The paper studies the runoff characteristics of the Weihe River basin in Shaanxi based on a distributed hydrological model and scenario analysis method. The runoff change of the Weihe River basin in Shaanxi is simulated through selecting rainfall and land use as the main factors and sets the different scene. The results show that the annual rainfall significantly affects annual runoff, the appearance time of peak monthly runoff appears clear random; runoff is not affected by land-use significantly due to less rainfall and large evaporation in the basin.

Key words: scenario analysis; runoff; rainfall; land use; distributed hydrological model

*Biography: ZHANG Li, Associate Professor, Xi'an 710055, P. R. China, Tel: 0086-029-82202729, E-mail: zhangli1@xauat.edu.cn