

# 城镇化和闸坝对沙颍河流量的影响

张多纯<sup>1</sup>, 张幼宽<sup>2</sup>

(1. 南京大学 地球科学与工程学院, 南京 210093; 2. 南京大学 水科学研究中心, 南京 210093)

**摘要:** 分布式水文模型 PRMS(The Precipitation Runoff Modeling System) 考虑了降水、气候和土地利用等因素, 可模拟产流、产沙等描述流域水和物质循环的重要变量。利用沙颍河实测流量资料对建立的 PRMS 模型进行了校正和验证, 据此模拟了该流域城镇化和闸坝工程对沙颍河流量的影响, 结果表明: 城镇化使地面不透水面积增加, 导致流域蒸散量和降雨入渗减少, 产流量增加, 而闸坝等水工建筑物改变了流域水资源的时空分配, 减弱了自然径流量的波动性, 增加了水面蒸发, 使流域径流量峰值减小, 径流洪峰滞后。城镇化和闸坝对河流径流的影响在枯水年尤为明显。

**关键词:** PRMS; 城镇化; 闸坝; 产流量; 沙颍河流域

**中图分类号:** P343 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-1683(2014)04-0006-05

## Impacts of Urbanization and Dams on River Runoff in the Shaying River Basin

ZHANG Duochun<sup>1</sup>, ZHANG Youkuan<sup>2</sup>

(1. School of Earth Sciences and Engineering, Nanjing University, Nanjing, 210093, China;

2. Center for Hydrosiences Research, Nanjing University, Nanjing, 210093, China)

**Abstract:** The distributed hydrological model, Precipitation Runoff Modeling System (PRMS), takes into account of precipitation, climate, and land use, and can be used to simulate the important variables representing the water and mass cycle in a basin such as water and sediment. In this paper, the PRMS model was calibrated and validated with the observed runoff data, and then the validated model was used to simulate the impacts of urbanization and dams on runoff in the Shaying River basin. The results showed that the evaporation and infiltration decrease whereas runoff increases in the basin due to the expansion of impermeable land surface as a result of urbanization. The presence of dams can change the spatial and temporal distribution of water resources in the basin, dampen the variation of natural runoff, increase the water surface evaporation, decrease the peak runoff, and then delay the time of peak flow. The impacts of urbanization and dams on runoff were more obvious in the dry years.

**Key words:** PRMS; urbanization; dam; runoff; Shaying River basin

淮河流域是我国闸坝最多、人口最密集、水污染较严重的流域之一。全流域已修建闸坝 11 000 多座, 总库容 303 亿 m<sup>3</sup>, 占多年平均径流量的 51%<sup>[6]</sup>。沙颍河是淮河的最大一级支流, 也是淮河众多支流中闸坝分布最为密集的支流, 人工控制程度较高<sup>[15]</sup>, 建有颍上闸、阜阳闸、槐店闸等众多水闸。近年来, 沙颍河流域的城镇化率也在不断提高。据 2008 年亚洲土地利用和植被覆盖分布图(08\_Globcover\_200412\_200606\_V2.2\_Central\_Asia), 沙颍河流域城镇化水平已达到 4.6%, 远高于 20 世纪 60 年代的 1.5%<sup>[45]</sup>。

已有研究表明, 人类活动对流域地表覆盖类型及水循环

过程的干扰, 必然会影响流域水量的时空分布和河流的天然径流特征<sup>[2]</sup>。但是以往对闸坝的研究多侧重于其对水环境的影响, 比如鲍全盛等(1997)研究了沙颍河闸上重污染水体集中下泄事件, 并分析了其与淮河干流突发性污染事故的关系<sup>[7]</sup>; 淮河流域水资源保护局(1998)研究了闸门启闭时监控断面有机污染物浓度变化规律, 并据此阐述了闸坝工程对河流稀释扩散作用的影响<sup>[8]</sup>; 左其亭等(2010)研究了考虑底泥之后闸坝对重污染河流的水质水量作用规律<sup>[9]</sup>; 此外, Karra(1991)系统的分析了闸坝的修建对河流水文学及其相关领域包括物理、能源、化学、生物、生态方面的影响<sup>[10]</sup>; Huang

收稿日期: 2013-10-24 修回日期: 2014-03-06 网络出版时间: 2014-06-11

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/doi/10.13476/j.cnki.nsbdtqk.2014.04.001.html>

基金项目: 国家自然科学基金(41272260); 国家水体污染控制与治理科技重大专项“淮河流域地表与地下水氮源补给及防控关键技术研究示范”(2012ZX07210-004)

作者简介: 张多纯(1988-), 男, 安徽六安人, 主要从事地表地下水模拟和污染治理研究。E-mail: zhangduochun\_2008@163.com

通讯作者: 张幼宽(1951-), 安徽蚌埠人, 教授, 主要从事地下水数值模拟及污染治理研究。E-mail: ykzhang@nju.edu.cn

(2003)通过分析监测数据评价了阿斯旺大坝的修建对尼罗河流域水环境的负面影响<sup>[11]</sup>; Munoz 等(2006)研究了 San Ramera 大坝在河网中的环境作用,提出了对水库及下游区同时满足水量和水质需求的方法<sup>[12]</sup>。而关于闸坝对河道水量及水流规律方面研究,国内外均很少,只有张永勇等(2009、2010)分别在温榆河流域、淮河流域选取典型闸坝利用 swat 模型模拟在有闸和无闸情况下流域年径流量的变化,认为闸坝的调蓄作用随年降雨量变化并影响流域的年径流量<sup>[13-14]</sup>。美国地质调查局开发的分布式水文模型 PRMS(The Precipitation Runoff Modeling System) 可用来评价降水、气候和土地利用等综合因素对流域产流、产沙及水循环的影响。因此,本文采用该模型模拟沙颍河流域 1962 年-1965 年的降雨径流过程,在此基础上,从流域尺度上定量地研究该流域城镇化、闸坝等人类活动对流域年径流总量的影响。

### 1 研究区概况

本文的研究区为淮河流域的沙颍河子流域。沙颍河位于淮河北岸,河长 616 km,是淮河的最大的支流,流域面积约 4 万 Km<sup>2</sup>。沙颍河发源于河南省伏牛山区,经河南流入安徽,于安徽省颍上县沫河口汇入淮河。流域高程-132~1 912 m 见图 1。西北部为山区,高程一般在 600~1 500 m;东南部为平原,地势较为平坦,一般在 30~100 m。流域地处暖温带向亚热带的过渡地带,属暖温带半湿润大陆性气候区。冬春干旱少雨,夏秋闷热多雨,年平均气温 14℃~16℃,多年平均降水 769.5 mm,流域多年平均径流量为 162 m<sup>3</sup>/s。

### 2 数据来源

本文采用的日降雨量和日径流量数据时间段分别为 1962 年-1965 年和 2007 年-2009 年,均来源于水文年鉴<sup>[22]</sup>;日最高和最低气温、数字高程图(Digital elevation model DEM)(30 m\*30 m)、土地利用类型、土壤类型则来源于互联网。

### 3 模型校正和验证

选用 1962 年-1965 年间流域闸坝较少的实测水文数据进行模型识别,其中 1964 年-1965 年为模型的校正阶段,1962 年-1963 年为模型的验证阶段。模型参数的获取主要

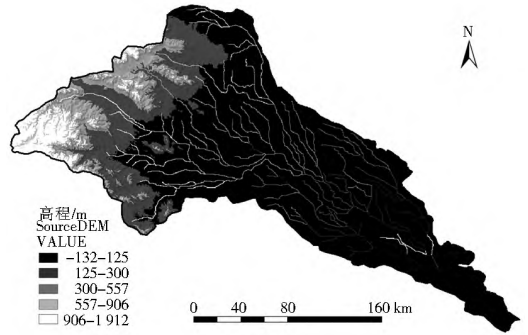


图 1 沙颍河流域地形

Fig. 1 Topography of Shaying River Basin

有三种方式:利用 ArcGIS 等工具;查找文献;后期模型校正。表 1 为模型的重要参数取值<sup>[20-21]</sup>。

根据 1962 年-1965 年间沙颍河流域河流及下垫面条件,将沙颍河流域划分成 178 个水文响应单元(HRU),采用 PRMS 模型对流域产流量进行拟合和验证。模拟结果采用 Nasr Suttcliffe (N-S) 系数进行评价,该系数的计算公式为

$$E_{ns} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - O_{avg})^2} \quad (1)$$

式中:O<sub>i</sub> 为实测值;P<sub>i</sub> 为模拟值;O<sub>avg</sub> 为实测值的平均值。N-S 系数的取值范围为负无穷到 1。N-S 系数值越大表明模拟值与观测值之间越匹配,当 N-S 系数的值为 1 时(即模拟值等于实测值)表明模拟结果非常好;当 N-S 系数的值小于 0 时,说明模拟值比直接使用实测平均值的可信度更低。

在 1964 年-1965 年的模型校正阶段,除部分峰值外,模拟的日径流量(图 2a 中的虚线)与实测值(图 2a 中的实线)吻合较好,日模拟的 E<sub>ns</sub> 值达到 0.72(表 2),模拟的日平均流量为 373.70 m<sup>3</sup>/s,而观测的日平均流量为 366.76 m<sup>3</sup>/s,总体校正结果较好。在 1962 年-1963 年的模型验证阶段,模拟的日径流量(图 2b 中的虚线)与实测值(图 2b 中的实线)相比有一定的差别,但也较好地体现了日径流的变化,日模拟 E<sub>ns</sub> 亦达 0.64,模拟的日平均流量为 242.64 m<sup>3</sup>/s,观测的日平均流量为 254.52 m<sup>3</sup>/s,验证结果亦较令人满意。因此,经过校正和验证的模型应可用来预测沙颍河流域在自然状态下的降雨径流过程。

表 1 PRMS 模型重要参数取值范围

Table 1 Range of key parameters used in PRMS model

参数名称	参数说明	单位	参数范围	优化值
epan_coef	月平面蒸散发系数	无量纲	0.2~3	1.0~2.1
soil_rechr_max	土壤可交换层饱和含水率	inch s	0.0~10.0	0.032~0.83
soil_moist_max	土壤表层饱和含水率	inch s	0.0~20.0	2.73~3.73
pref_flow_den	土壤区用于地下水优先流的水分比例	无量纲	0.0~1.0	0.1
ssr2gw_exp	计算重力排泄到地下水水库指数	无量纲	0.0~3.0	3.0
ssr2gw_rate	计算重力排泄到地下水水库线性系数	inch s/d	0.0~1.0	0.037~0.06
slow_coef_lin	慢速壤中流线性系数	/d	0.0~1.0	0.015
slow_coef_sq	慢速壤中流非线性系数	/inch* d	0.0~1.0	0.001
fastcoef_lin	快速壤中流线性系数	/d	0.0~1.0	0.1
fastcoef_sq	快速壤中流非线性系数	/inch* d	0.0~1.0	0.4
gw_flow_coef	地下水水库水流向河流的线性系数	/day	0.0~1.0	0.05
imperv_stor_max	HRU 不透水区最大滞留储量	inch s	0.0~10.0	1.0
care_max	地表径流的最大可能贡献面积	无量纲	0.0~1.0	0.08
smidx_coef	非线性贡献面积算法系数	无量纲	0.0001~1.0	0.01
smidx_exp	非线性贡献面积算法指数	/inch	0.2~0.8	0.2

表 2 PRMS 径流拟合与验证的确定性系数  $E_{ns}$

Table 2 Coefficients of model fit efficiency ( $E_{ns}$ ) during calibration and validation periods

水文年份	日模拟 $E_{ns}$	月模拟 $E_{ns}$
1964-1965 水文年拟合	0.72	0.83
1962-1963 水文年验证	0.64	0.82
1962-1965 水文年	0.69	0.83

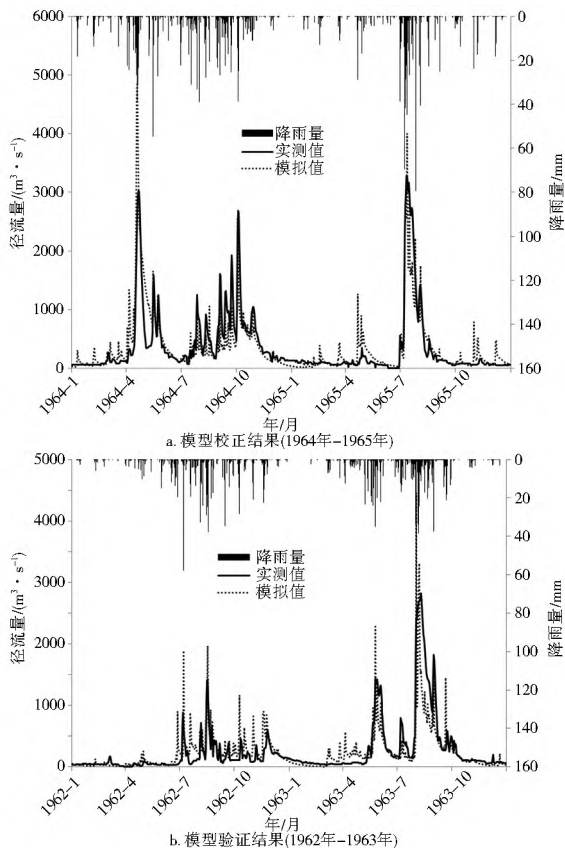


图 2 采用 PRMS 模型模拟的沙颍河日径流量和实测的日径流量

Fig. 2 Comparison of measured and simulated daily runoff using PRMS model

### 4 城镇化和闸坝工程对径流量的影响

根据已有研究<sup>[4,5]</sup>, 经过整理计算得出 1962 年-1965 年沙颍河流域林地覆盖面积为 1.1%, 城镇化水平为 1.53%。根据 2008 年全球土地利用类型分布图, 使用 ArcGIS 计算得出 2007 年-2009 年年林地覆盖面积为 1.5%, 城镇化水平为 4.60% (表 3)。

表 3 沙颍河流域 1962 年-1965 年和 2007 年-2009 年土地利用情况

Table 3 Land use and land cover from 1961 to 1965 and from 2007 to 2009 in Shaying River Basin

土地利用	森林 (%)	农作物、草地和荒地 (%)	城市和 其它用地 (%)	流域汇水面积 / km <sup>2</sup>
1962-1965	1.1	97.37	1.53	41 941
2007-2009	1.5	93.9	4.60	41 941

#### 4.1 城镇化的影响

利用前文建立的模型, 采用 2007 年-2009 年的土地覆

表 4 沙颍河流域土地利用变化对流域径流量的影响

Table 4 Effects of land use and land cover on runoff in the Shaying River Basin

年份	采用 62 65 地表覆盖 / (m <sup>3</sup> · s <sup>-1</sup> )	采用 07 09 地表覆盖 / (m <sup>3</sup> · s <sup>-1</sup> )	增幅 (%)
1964-1965	373.70	378.93	1.40
1962-1963	242.64	256.78	5.82

盖分别模拟 1964 年-1965 和 1962 年-1963 年两个时期的河流径流量, 结果见表 4。由该表可以看出, 由于城镇率的提高, 沙颍河 1964-1965 年, 日平均径流量由 373.70 m<sup>3</sup>/s 增至 378.93 m<sup>3</sup>/s, 增幅 1.40%; 1962 年-1963 年由 242.64 m<sup>3</sup>/s 增至 256.78 m<sup>3</sup>/s, 增幅 5.82%。枯水年份 (1962 年-1963 年) 的增幅 (5.82%) 大于丰水年份 (1964 年-1965 年, 1.40%)。径流量增加的主要原因是随着城镇区域扩大, 耕地等农用地面积减少, 从而使得流域降雨入渗和蒸发减少。这种影响在枯水年表现更加明显。

#### 4.2 闸坝工程的影响

根据已有资料, 20 世纪 60 年代之前沙颍河流域闸坝稀少 (图 3a)<sup>[22-23]</sup>; 60 年代以后, 为了防洪排涝, 发展航运, 沙颍河流域闸坝数量迅速增加; 至 2005 年, 沙颍河流域已建成大小闸坝 80 多座 (图 3b)。因此, 可近似将 1962 年-1965 年作为未受闸坝影响的时期, 而将 2007 年-2009 年作为受到闸坝影响的时期。

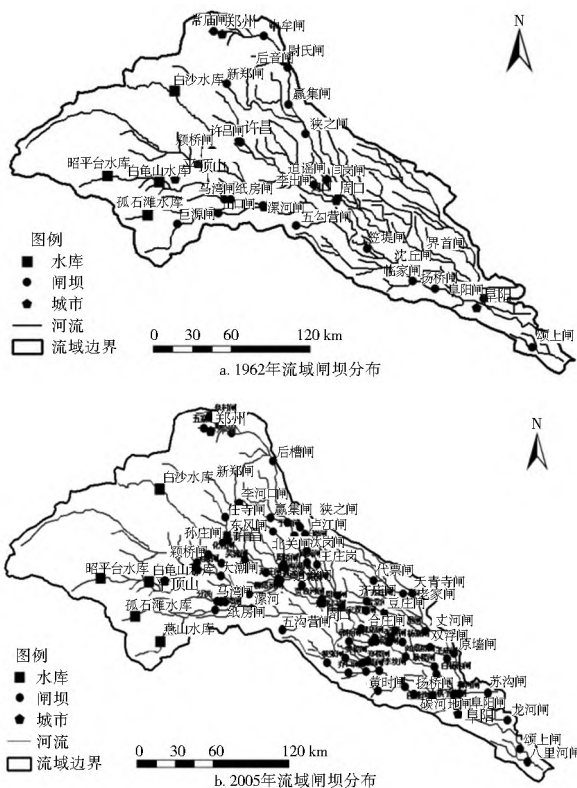


图 3 不同时期沙颍河流域闸坝分布

Fig. 3 Distribution of dams in different times in Shaying River Basin

在不考虑闸坝的情况下, 根据 2007 年-2009 年的土地覆盖条件模拟的河流径流量, 可视为无闸坝影响的天然径流量, 将其与受闸坝调控影响的实测径流量进行对比分析可得

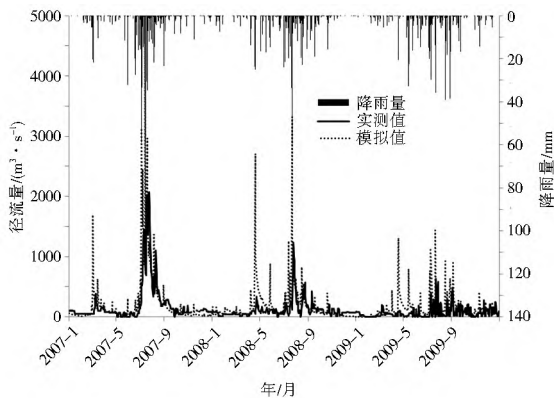


图4 沙颍河无闸坝影响的模拟径流量与有闸坝影响的实测径流量

Fig. 4 Comparison of simulated runoff without dam and measured runoff with dam

出闸坝对流域产流量的影响,模拟结果见图4。由该图可见,2007年-2009年期间实测径流量(图4中的实线)峰值小、出现的时间滞后于降雨;而模拟的径流量(图4中的虚线)峰值大、与降雨的时间相对应。三年的实测日均径流量(197.04 m³/s、108.86 m³/s、67.24 m³/s)均小于相应年份的模拟日均径流量(225.75 m³/s、171.43 m³/s、136.49 m³/s),各年分别减少了12.7%、36.5%、50.7%。枯水年(2009年)径流量减少的幅度较丰水年(2007年)大。

为了分析上述现象的原因,对沙颍河流域具有代表性的上游(马湾闸)、中游(周口闸)及下游(阜阳闸)闸坝的调蓄特征进行了分析,发现流域内闸坝群调蓄的共同特征是丰水年开闸放水更多,而枯水年关闸蓄水更多。篇幅所限,下面只对资料更详细的阜阳闸的调蓄特征进行具体分析。

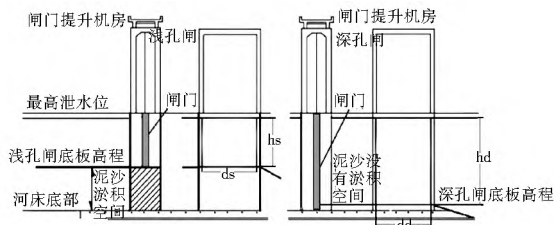


图5 浅孔闸(左)与深孔闸(右)闸孔断面对比

Fig. 5 Schematic diagram of sections of shallow floodgate (left) and deep floodgate (right)

阜阳市沙颍河河段现有两座大闸,分别为12孔的浅孔闸和4孔的深孔闸。浅孔闸每孔宽12m,闸底高程25.76m。深孔闸每孔宽10.6m,闸底高程20.5m。图5为浅孔闸(左)与深孔闸(右)闸孔断面对比示意图,图中 $h_s$ 、 $d_s$ 为浅孔闸门可开启高度和闸孔宽度; $h_d$ 、 $d_d$ 为深孔闸门的可开启高度和闸孔宽度。两座大闸通过不同的调度方式见表5控制

表6 模拟无闸坝影响的日均产流量与实测有闸坝影响的日均产流量

Table 6 Simulated daily runoff without dam and measured daily runoff with dam

年份	降雨量 /mm	模拟日均流量 / (m³·s⁻¹)	观测日均流量 / (m³·s⁻¹)	模拟流量最大值 / (m³·s⁻¹)	观测流量最大值 / (m³·s⁻¹)	模拟流量最小值 / (m³·s⁻¹)	观测流量最小值 / (m³·s⁻¹)	模拟流量方差	观测流量方差
2007	869.9	225.75	197.04	4 543	2 070	10.3	17.5	230 767.52	119 773.2
2008	847.2	171.43	108.86	3 318	1 230	5.3	13.0	86 946.12	20 088.06
2009	791.0	136.49	67.24	1 434	629	2.4	4.6	31 539.89	7 910.96

河段的下泄流量。表中 $n_{s1}$ 、 $n_{s2}$ 、 $h_{s1}$ 、 $h_{s2}$ 为浅孔闸闸门开启孔数和闸门开启高度, $n_{d1}$ 、 $n_{d2}$ 、 $h_{d1}$ 、 $h_{d2}$ 为深孔闸闸门的开启孔数和闸门开启高度。利用2007年-2009年阜阳闸逐日的闸门开启状态,根据表5中闸孔过水面积的计算公式计算出2007年-2009年逐日的闸孔过水面积情况见图6。

由图6可以看出,2007年-2009年的闸孔过水面积逐年减小,各年日平均过水面积分别为29.71 m²(2007年)、

表5 闸坝不同调蓄特征下的闸孔过水面积

Table 5 Discharge area across floodgate under different dispatching modes

闸坝名称	调蓄特征					
浅孔闸	全关	$n_{s1}$ (孔)	$h_{s1}$ (m)	全关	$n_{s2}$ (孔)	$h_{s2}$ (m)
深孔闸	全关	全关	$n_{d1}$ (孔)	$h_{d1}$ (m)	$n_{d2}$ (孔)	$h_{d2}$ (m)
闸孔过水面积/m²	0	$h_{s1}d_s n_{s1}$	$h_{d1}d_d n_{d1}$		$h_{s2}d_s n_{s2} + h_{d2}d_d n_{d2}$	

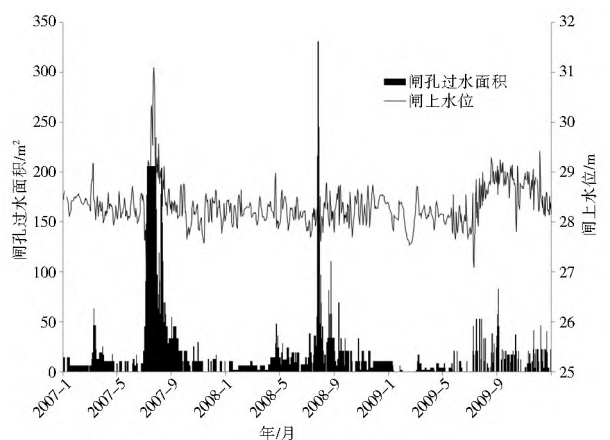


图6 2007年-2009年阜阳闸逐日闸孔过水面积及闸上水位

Fig. 6 Daily discharge area across the floodgate and stage in upstream of Fuyang dam from 2007 to 2009

18.48 m²(2008年)、8.85 m²(2009年),其中丰水年(2007年)的日平均闸孔过水面积远大于枯水年(2009年),究其原因是为了保证上游航运及用水需求,通过闸坝调蓄,使得闸上水位基本稳定在28~29m之间,这样就会形成在丰水季水位增加时,闸坝连续大量开闸放水;而在枯水季,闸孔开启面积很小,甚至持续的关闸蓄水。因此,越是枯水年,流域出口径流量减少的幅度越大。另外在枯水年,除了闸坝等水工建筑物的控制外,流域内大规模提水灌溉也是径流量减少的重要影响因素。

表6对模拟结果进行了统计分析,可以看出在无闸坝自然状态下,模拟的三年最大日径流量(4 543 m³/s、3 318 m³/s和1 434 m³/s)远远大于实测的最大日径流量(2 070 m³/s、1 230 m³/s和629 m³/s),而模拟的最小值(10.3 m³/s、

5.3 m<sup>3</sup>/s和2.4 m<sup>3</sup>/s)却小于观测的最小值(17.5 m<sup>3</sup>/s、13.0 m<sup>3</sup>/s和4.6 m<sup>3</sup>/s),这是因为闸坝在雨季拦蓄洪水,削减河流的洪峰流量;而在枯水季,为了满足工农业和生活用水,闸坝放水,增大了河流的流量。模拟流量的方差大于观测流量的方差表明在无闸坝的自然状态下,日平均径流量的变化大于受闸坝影响的实测流量变化。原因主要是闸坝的调控,其次是由于闸坝上游水面的增加,水面蒸发和渗漏损失增加。闸坝调蓄使得径流曲线形状由“高瘦”变得“矮胖”。这一现象在干旱地区或干旱时节表现更明显<sup>[9]</sup>。

## 5 结论

本文采用分布式水文模型PRMS定量地研究沙颍河流域城镇化、闸坝等人类活动对其年径流总量的影响,得出以下主要结论:

1) 在模型校正阶段,除部分峰值外,模拟的日径流量与实测值吻合较好,日模拟的 $E_{ns}$ 值达到0.72。在模型验证阶段,模拟的日径流量与实测值相比有一定的差别,但也较好地体现了日径流的变化,日模拟 $E_{ns}$ 亦达0.64。

2) 采用经过校正和验证的模型模拟了城镇化和闸坝对沙颍河流量的影响,结果表明:由于城镇化率增大,地面不透水面积增加,导致流域蒸散量和入渗减少,产流量增加,而闸坝调蓄使流域径流量峰值被坦化,径流洪峰滞后。闸坝等水工建筑物的修建与使用,改变了流域水资源的时空分配,减弱了自然径流量的波动性,但使得水面和蒸发增加,河流径流量减少。城镇化和闸坝对径流的影响在枯水年表现更加明显。

## 参考文献(References):

- [1] 栾兆擎,邓伟.三江平原人类活动的水文效应[J].水土保持通报,2003,23(5):11-14.(LUAN Zhaoping, DENG Wei. Study on Hydrological Effects of Human Activities in Sanjiang Plain[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2003, 23(5): 11-14. (in Chinese))
- [2] 任立良,张炜,李春红,等.中国北方地区人类活动对地表水资源的影响研究[J].河海大学学报(自然科学版),2001,29(4):13-18.(REN Liliang, ZHANG Wei, LI Chunhong, et al. Impacts of Human Activities on River Runoff in North China[J]. Journal of Hohai University, 2001, 29(4): 13-18. (in Chinese))
- [3] 栾兆擎,曹慧聪,周德民,等.人类活动对别洪河流域水文情势的影响研究[J].湿地科学,2008,6(2):258-263.(LUAN Zhaoping, CAO Huicong, ZHOU Demin, et al. Impact of Human Activities on the Hydrological Regime of Bielahong River Watershed[J]. Wetland Science, 2008, 6(2): 258-263. (in Chinese))
- [4] 张洁,陈星.中国东部地区土地利用和植被覆盖的历史演变[J].南京大学学报(自然科学),2007,43(5):544-555.(ZHANG Jie, CHEN Xing. The Historical Land Use and Vegetation Cover Change in Eastern China[J]. Journal of Nanjing University(Natural Sciences), 2007, 43(5): 544-555. (in Chinese))
- [5] 葛全胜,赵名茶,郑景云.20世纪中国土地利用变化研究[J].地理学报,2000,55(6):698-706.(GE Quansheng, ZHAO Ming

cha, ZHENG Jingyun. Land Use Change of China During the 20th Century[J]. Acta Geographica Sinica, 2000, 55(6): 698-706. (in Chinese))

- [6] 张永勇,夏军,翟晓燕.闸坝的水文水环境效应及其量化方法探讨[J].地理科学进展,2013,32(1):105-113.(ZHANG Yongyong, XIA Jun, ZHAI Xiaoyan. The Hydrologic Environmental Effects of Dams and Sluices and the Assessment Frameworks[J]. Progress In Geography, 2013, 32(1): 105-113(in Chinese))
- [7] 鲍全盛,王华东,海热提.沙颍河闸坝调控与淮河干流水质风险管理[J].上海环境科学,1997,16(4):11-14.(BAO Quansheng, WANG Huadong, HAI Reti. Preliminary Study on the Sluice Gate Regulation of Shaying He River and Risk Management of Water Quality in Huaihe Trunk Stream[J]. Shanghai Environmental Sciences, 1997, 16(4): 11-14. (in Chinese))
- [8] 淮河流域水资源保护局.大型闸坝工程对河流稀释扩散作用的影响[J].水文,1982,2(2):16-19.(Huaihe River Basin Water Resources Protection Bureau. Influence of Large Scale Effects of Dams and Floodgates to Dilution and Transportation of the River[J]. Journal of China Hydrology, 1982, 2(2): 16-19. (in Chinese))
- [9] 左其亭,高洋洋,刘子辉.闸坝对重污染河流水质水量作用规律的分析与讨论[J].资源科学,2010,32(2):261-266.(ZUO Qiting, GAO Yangyang, LIU Zihui. Analysis and Discussion about the Rules of the Dams' Impact on Water Quality and Quantity of Heavily Polluted River[J]. Resources Science, 2010, 32(2): 261-266. (in Chinese))
- [10] Karr JR. Biological Integrity: a Long Neglected Aspect of Water Resource Management[J]. Ecol Appl. 1991, 1(1): 66-84.
- [11] Huang ZL. Ecological and Environmental Monitoring Plans and Protection Measures for Large Scale Hydropower Projects[J]. Resour Environ Yangtze Basin. 2003, 13(2): 101-108 (in Chinese)
- [12] Munoz JG, Montalban F, Gras J, et al. Environmental Integrated Rules in Dams with Water Quality Problems—The Santomera Dam, an Example on How to Integrate Water Quality and Water Quantity Needs[J]. In: Berga Let al (eds) Dams and Reservoirs, Societies and Environment in the 21st Century, Proceedings and Monographs in Engineering, Water and Earth Sciences, 2006, 1(2): 237-242.
- [13] ZHANG Yongyong, XIA Jun, LIANG Tao, et al. Impact of Water Projects on River Flow Regimes and Water Quality in Huai River Basin[J]. Water Resour Manage, 2010, (24): 889-908. (in Chinese)
- [14] 张永勇,陈军锋,夏军,等.温榆河流域闸坝群对河流水质水量影响分析[J].自然资源学报,2009,24(10):1697-1705.(ZHANG Yongyong, CHEN Junfeng, XIA Jun, et al. Research on the Impact of Dams and Floodgates on River Runoff and Water Quality in Wenyu River Basin[J]. Journal of Natural Resources. 2009, 24(10): 1697-1705. (in Chinese))
- [15] 程绪水,沈哲松.沙颍河水利工程调度与改善淮河水质的影响分析[J].水资源保护,2004,20(4):25-27.(CHENG Xushui, SHEN Zhesong. Operation of the Hydraulic Engineering and Analysis to Improve Water Quality of Huai River[J]. Water Resources Protection, 2004, 20(4): 25-27. (in Chinese))

(下转第15页)

- Temperature Condition Index and Its Application for Drought Monitoring [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2001, 26(5): 412-418. (in Chinese)
- [10] 孙威, 王鹏新, 韩丽娟, 等. 条件植被温度指数干旱监测方法的完善[J]. 农业工程学报, 2006, 22(2): 22-26. (SUN Wei, WANG Peng xin, HAN Li juan, et al. Further Improvement of the Approach to Monitoring Drought using Vegetation and Temperature Condition Indexes from Multiyears' Remotely Sensed Data [J]. Transactions of CSAE, 2006, 22(2): 22-26. (in Chinese))
- [11] 毕晓丽, 周睿, 刘丽娟, 等. 泾河沿岸景观格局梯度变化及驱动力分析[J]. 生态学报, 2005, 25(5): 1041-1047. (BI Xiao li, ZHOU Rui, LIU Li juan, et al. Gradient Variations in Landscape Pattern along the Jinghe River and Their Driving Forces [J]. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(5): 1041-1047. (in Chinese))
- [12] 王辉, 咎国盛, 毕晓丽, 等. 基于 MODIS 的泾河流域植被动态年际变化[J]. 植物生态学报, 2007, 31(5): 850-856. (WANG Hui, JIU Guo sheng, BI Xiao li, et al. MODIS Determined Inter Annual Vegetation Dynamics in Jinghe Watershed, China [J]. Journal of Plant Ecology, 2007, 31(5): 850-856. (in Chinese))
- [13] Justice C O, Townshenda J R G, Vermotea E F, et al. An Overview of MODIS Land Data Processing and Product Status. Remote Sensing of Environment, 2002, (83): 3-15.
- [14] 王鸣程, 杨胜天, 董国涛, 等. 基于条件温度植被指数(VTCI)的中国北方地区土壤水分估算[J]. 干旱区地理, 2012, 35(3): 446-455. (WANG Ming cheng, YANG Sheng tian, DONG Guo tao, et al. Estimating Soil Water in Northern China Based on Vegetation Temperature Condition Index (VTCI) [J]. Arid Land Geography, 2012, 35(3): 446-455. (in Chinese))
- [15] 杨胜天, 刘昌明, 王鹏新. 黄河流域土壤水分遥感估算[J]. 地理科学进展, 2003, 22(5): 454-462. (YANG Sheng tian, LIU Chang ming, WANG Peng xin. The Method of Calculating Soil Water in Yellow River Basin by Remote Sensing [J]. Progress in Geography, 2003, 22(5): 454-462. (in Chinese))
- [16] 胡良军, 邵明安, 朱文治. 黄土高原土壤水分的空间分异及其与林草布局的关系[J]. 草业学报, 2004, 13(6): 14-20. (HU Liang jun, SHAO Ming-an, ZHU Wen zhi. Relationship between Vegetation Spatial Collocations and Soil Moisture Spatial Heterogeneities in the Loess Plateau area [J]. Acta Prataculturae Sinica, 2004, 13(6): 14-20. (in Chinese))
- [16] 郭渠, 孙卫国, 程炳岩, 等. 重庆市气温变化趋势及其可能原因分析[J]. 气候与环境研究, 2009, 14(6): 646-656. (GUO Qu, SUN Wei guo, CHENG Bing yan, et al. The Trend of Temperature Variation and Its Possible Cause in Chongqing [J]. Climatic and Environmental Research. 2009, 14(6): 646-656. (in Chinese))
- [17] 任国玉, 姜彤, 李维京, 等. 气候变化对中国水资源情势影响综合分析[J]. 水科学进展, 2008, 19(6): 772-779. (REN Guo yu, JIANG Tong, LI Wei jing, et al. An Integrated Assessment of Climate Change Impacts on China's Water Resources [J]. Advances in Water Science. 2008, 19(6): 772-779. (in Chinese))
- [18] LIU Ming-liang, TIAN Har-qin, CHEN Guang-sheng, et al. Effects of Land Use and Land Cover Change on Evapotranspiration and Water Yield in China during 1900-2000 [J]. JAWRA, 2009, 44(5): 1193-1207.
- [19] 王云琦, 齐实, 孙阁, 等. 气候与土地利用变化对流域水资源的影响[J]. 水科学进展, 2011, 22(1): 5-58. (WANG Yur qi, QI Shi, SUN Ge, et al. Impacts of Climate and Land Use Change on Water Resources in a Watershed, A Case Study on the Trent River Basin in North Carolina, USA [J]. Advances in Water Science. 2011, 22(1): 51-58. (in Chinese))
- [20] Rosenbrock H H. An Automatic Method for Finding the Greatest or Least Value of a Function [J]. The Computer Journal, 1960, 3(3): 175-184.
- [21] Dickinson W T H Whiteley. Watershed Areas Contributing to Runoff [J]. IAHS Publ, 1970(96): 12-26.
- [22] 河南省水利厅. 1962-1965, 2007-2009 中华人民共和国水文年鉴. 淮河流域水文资料 [M/CD]. (Henan Huan Bao Ting. 1962-1965, 2007-2009 Annual Hydrological Report P. R. China. Hydrological Data of Huaihe River Basin [M/CD])
- [23] 胡巍巍. 蚌埠闸及上游闸坝对淮河自然水文情势的影响[J]. 地理科学, 2012, 32(8): 1013-1019. (HU Wei wei. The Influence on the Natural Hydrologic Regimes of the Huaihe River Dams by Bengbu Sluice and Its Upstream Dams [J]. Scientia Geographica Sinica, 2012, 32(8): 1013-1019. (in Chinese))

(上接第 10 页)