

三川河流域水资源演变个例研究

仇亚琴¹, 周祖昊¹, 贾仰文¹, 秦大庸¹, 王 浩¹, 严登华¹, 姜乃迁², 王国庆²

(1. 中国水利水电科学研究院水资源研究所, 北京 100044; 2 黄河水利科学研究院, 河南 郑州 450003)

摘要: 以三川河流域为例, 应用 WEP-L 分布式水文模型和集总式流域水资源调配模型偶合而成的二元水循环模型, 模拟了不同情景下流域水循环过程。在此基础上, 定量分析了降水、人工取用水以及下垫面条件这三个主要驱动因子对流域水资源演变的影响。在模型中保持其它条件不变, 仅以改变降水、人工取用水及下垫面条件来模拟 8 种不同情景的水循环: 情景 1, 1956-1979 年降水系列、2000 年下垫面、无人工取用水; 情景 2, 1980-2000 年降水系列、2000 年下垫面、无人工取用水; 情景 3, 1956-2000 年降水系列、2000 年下垫面、无人工取用水; 情景 4, 1956-2000 年降水系列、2000 年下垫面、有人工取用水; 情景 5, 1956-2000 年降水系列、1956-2000 年系列模拟下垫面、无人工取用水; 情景 6, 1956-2000 年降水系列、2000 下垫面、无人工取用水; 情景 7, 1956-1979 年降水系列、1956-1979 年系列模拟下垫面、无人工取用水; 情景 8: 1980-2000 年降水系列、2000 年下垫面、有人工取用水。情景 2 和情景 1 比较, 发现降水单项因子减少 4.5% 引起各种口径水资源量的减少, 地表水资源量减少 18.4%, 地下与地表水资源不重复量 15.8%, 狭义水资源量 18.3%, 有效蒸散发量 2.1%, 广义水资源量 4.6%。情景 4 和情景 3 比较得出, 在人工取用水单项因子作用下, 地表水资源量减少 4.6%, 而地下与地表水资源不重复量增加 113.5%, 在狭义水资源量减少 0.4% 的同时, 伴随有效蒸散发量增加 0.9%, 广义水资源量增加 0.7%。情景 6 和情景 5 对比, 发现在下垫面条件单项因子作用下, 狭义水资源量及其构成地表水资源量和地下与地表水资源不重复量分别减少 4.3%、4.3% 和 2.8%, 有效蒸散发量增加 7.1%, 广义水资源量增加 5.3%。情景 8 和情景 7 对比分析得出, 三个因子对水资源量的综合影响是, 地表水资源量减少 30.6%, 地下与地表水资源不重复量增加 114.5%, 狭义水资源量减少 25.8%, 有效蒸散发量增加 6.7%, 广义水资源量增加 1.1%。研究成果对于其它流域水资源演变规律研究具有参考价值。

关键词: 三川河流域; 水资源演变; 分布式水文模型; WEP-L 模型; 水资源调配模型; 二元水循环模型

中图分类号: TV214 文献标识码: A 文章编号: 1001-6791(2006)06-0865-08

水资源演变规律的研究, 目前开展的工作大致分为流域(区域)水资源演变规律和趋势、水资源演变驱动因子分析两个部分, 后者包括水资源演变驱动因子影响水文水资源的机理分析和定量评估各项驱动因子对水资源演变的贡献方面的研究^[1]。在水资源演变规律定量研究方面, 水文模型是有力的工具, 目前很多研究都采用或开发水文模型来模拟各项因子的水文水资源效应^[1-4]。但这些水文模型, 绝大多数是统计模型或概念性模型, 这类模型由于物理机制不清, 不能详细而准确地描述水分运动的各个环节和过程, 一般用来初步评价断面水资源量的变化, 不能作为全面定量评估水循环全过程变化的工具^[1]。在过去 10 年里, 水文学研究领域内分布式水文模型模拟大尺度的水文过程逐渐受到关注, 主要因其能模拟水文参数和自然地理条件空间变异特征; 也能模拟大流域的径流过程并进行水资源评价及水文预报, 以适应现代水资源规划和管理。

本文采用具有物理机制的分布式水文模型(WEP-L 模型)^[5-7]模拟三川河流域的水循环过程, 定量评估水循环驱动因子对水资源演变规律的影响, 综合分析和预测水资源演变规律。影响水循环的驱动因子, 无外乎自然

收稿日期: 2005-06-03; 修订日期: 2005-08-29

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50239050); 中国水利水电科学研究院科研专项(资集 052201); 黄河水利委员会“十五”治黄重大科技资助项目(2002Z02)

作者简介: 仇亚琴(1974-), 女, 山西长治人, 讲师, 博士研究生, 主要从事水文水资源研究。

E-mail: qyqin_cn@yahoo.com.cn

和人工两个方面。容易发生变化的自然因素主要包括降雨、气温、日照等气象要素和天然覆被状况，人工因素主要包括人类活动对流域下垫面的改变和人类对水资源的开发利用。但对水资源影响较大的驱动因子主要有降水、人工取用水和下垫面条件。降水作为驱动水资源演变的因子既是内因也是外因；人工取用水改变了水资源的赋存环境，也改变了地表水和地下水的转化路径，使得蒸发、产流、汇流、入渗、排泄等流域水循环特性发生了全面改变；下垫面条件变化影响了产汇流特性，进而影响了水资源的演变特性。本文着重对这三个主要驱动因子的水资源效应进行分析研究。

1 研究方法

1.1 “二元”水资源演变模式和二元水循环模拟

人类活动从循环路径和循环特性两个方面明显改变了天然状态下的流域水循环特征，使流域水循环带有“天然-人工”二元特征(图1)^[8]。一个是天然降水、径流以及蒸发形成的主循环圈，另外一个是由取水-输水-用水-排水-回归5个基本环节构成的侧支循环圈。天然循环圈与侧支循环圈彼此影响导致水循环以及水资源演变发生深刻的变化，因此研究水资源演变应该建立在“天然-人工”二元理论基础之上。

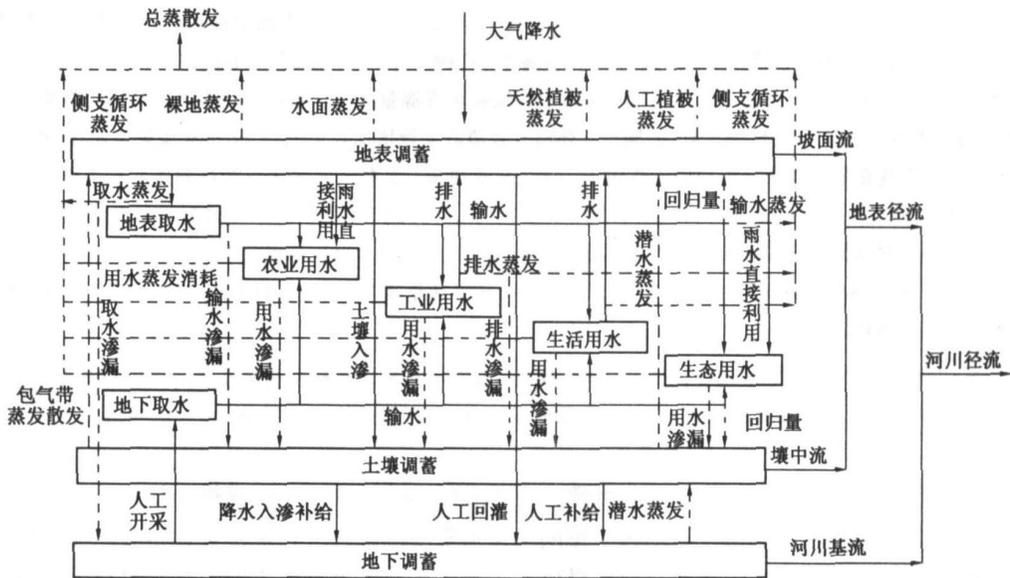


图 1 水资源二元演化模式示意图

Fig. 1 Diagram of water resources dualistic evolutionary model

为模拟“天然-人工”二元水循环过程，采用具有物理机制的WEPL分布式水文模型和集总式流域水资源调配模型进行耦合，构成流域二元水循环模型^[6]。WEPL模型是建立在国家十五攻关重点项目黑河课题中所开发的IWHR-WEPL模型基础上，并根据黄河流域特点进行了改进与完善^[6]，特别是增加了淤地坝模拟模块，并针对黄河流域这样的超大型流域，采用“子流域内的等高带”为基本计算单元，采用“变时间步长”（强降雨入渗产流过程采用1h，坡地与河道汇流过程采用6h，而其余的过程采用1d）进行长系列连续模拟计算集总式水资源调配模型包括水资源合理配置模型和水资源调度模型。

1.2 层次化水资源量评价

水资源的本质特征包括有效性、可控性和可再生性^[8,10,11]3个方面，水资源评价相应地有3个评价准则：有效性是指对社会经济发展和生态及环境具有有效用的水分均可看作是水资源；可控性是指在对人类具有有效用的

水分中, 通过采取工程措施可以开发利用的那一部分水分; 可再生性是指水资源在流域水循环过程中形成和转化, 其作为可再生性资源的充分必要条件为保持流域水循环过程的相对稳定。由此可见, 根据有效性准则定义的水资源包括了降水中的有效部分和径流性水资源, 是一种广义水资源; 在广义水资源范畴内, 根据可控性准则定义的水资源是传统水资源评价的径流性水资源, 即狭义水资源。在狭义水资源范畴内, 进一步从可再生性准则出发, 在自然条件和经济条件允许的情况下能够被工程系统一次性开发利用的最大潜在量可定义为水资源的国民经济可利用量。

本文重点研究不同驱动因子对狭义水资源和广义水资源及其构成的影响。狭义水资源评价的口径与现行水资源评价口径一致, 即地表水资源量与地下与地表水资源不重复量(以下简称不重复量)之和。广义水资源量等于不重复的有效蒸散发量(以下简称有效蒸散发量)与狭义水资源量之和^[7], 可用下式表示:

$$W_s = (R + D) + E_f$$

式中 W_s 指广义水资源量; R 指地表水资源量; D 指不重复量; E_f 指有效蒸散发量, 即生态系统对降水的有效利用量, 包括冠层截留蒸发量、植被蒸腾量、作物/植被、裸间土壤蒸发以及居工地(包括城镇用地、农村居民点和其它建设用地)地面截留蒸发。

植被冠层截留蒸发量可直接降低植物表面和体内的温度, 对维护植物正常生理是有益的, 因此植被冠层截留蒸发是有效的; 居工地是人类居住和活动的集散地, 居工地地面截留蒸发可以起到降温、湿润等直接的环境作用, 蒸发也是有效的; 植被蒸腾量直接参与了生物量的生成, 改善了天然和人工生态系统, 蒸发依然是有效的; 作物和林、草裸间截留蒸发于人类和生态环境主体有直接环境效用, 属于广义水资源范畴。对于难利用土地截留蒸发(沼泽地除外)和稀疏草地的大棵间截留蒸发等作为无效蒸发。

2 个例研究——以三川河流域为例

2.1 典型流域概况

三川河发源于山西省方山县东北赤坚岭, 流经方山、离石、中阳、柳林四县, 在石西乡上庄村入黄河, 全长 176.4 km, 流域面积 4161 km², 三川河主要支流有北川、东川和南川, 干流出口站后大成控制流域面积为 4102 km²(图 2)。流域属于大陆性气候, 多年平均降水量 501.9 mm, 其中 20 世纪 60 年代年均降水量为 525.3 mm, 70 年代年均降水量为 486.6 mm, 80 年代年均降水量为 505.2 mm, 90 年代年均降水量为 476.0 mm, 降水的年际变化较大, 最大年降水量为 665.3 mm, 最小年降水量为 235.4 mm; 降水量年内分布不均, 汛期 6~9 月份降水量占全年的 72.2%。三川河流域位于黄土高原的多沙粗沙区内, 水土流失十分严重, 特别是黄土丘陵侵蚀强烈。20 世纪 70 年代以来, 该流域开展大规模的水土保持工作, 80 年代又开展大规模小流域治理工作, 再加上水利工程以及城镇建设, 流域下垫面变化强烈。

2.2 三川河流域二元水循环模拟

为验证模型, 在 1956-2000 年共 45 年水文气象系列及相应下垫面条件下进行连续模拟计算。取 1980-2000 年为模型校正期, 主要校正参数包括饱和导水系数、河床

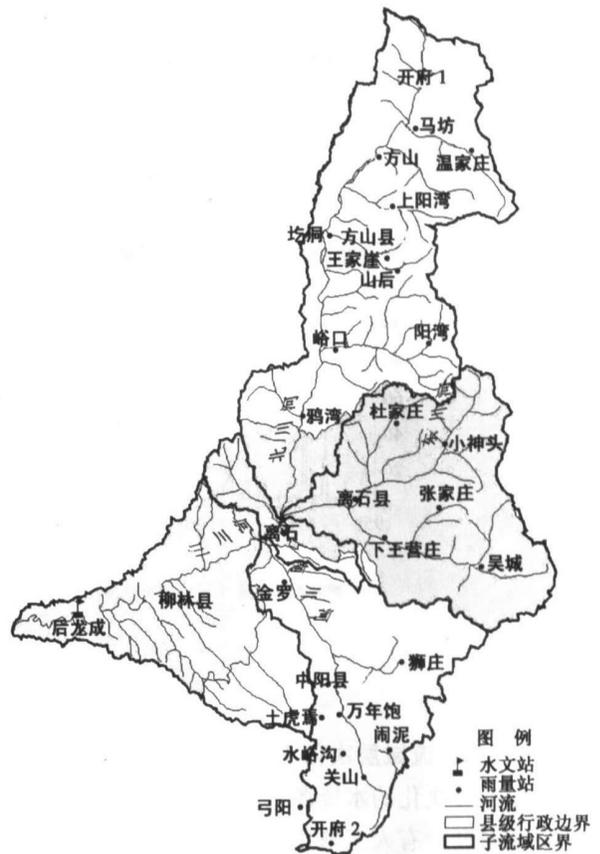


图 2 三川河流域水系图

Fig. 2 Network of Sanchuan river basin

材料透水系数、Manning 糙率、各类土地利用的洼地最大截留深以及地下水含水层的传导系数及给水度等。校正准则包括^[6]：模拟期平均年均径流量误差尽可能小；Nash-Sutcliffe 效率尽可能大；模拟流量与观测流量的相关系数尽可能大。取 1956–2000 年为模型验证期，模型校正后，保持所有模型参数不变，对后大成 45 年连续模拟结果进行验证。参数率定完成后，各种情景模拟的参数均保持不变，Manning 糙率、洼地最大截留深随土地利用类型变化。

模型分别对有无人工取用水两种模拟结果进行校验，其中无人工取用水的校验方式是将其计算的径流模拟结果与后大成“还原”后的河川径流过程进行对比；有人工取用水的校验方式是将其计算的径流模拟结果与后大成实测的河川径流过程进行对比。从校验结果来看，后大成 1956–2000 年多年平均天然径流量的偏差为 -3.4%，Nash 系数为 0.63，多年平均实测径流量的偏差为 -3.1%，Nash 系数为 0.63，月径流拟合结果见图 3 和图 4。其精度基本满足水资源评价的需要。

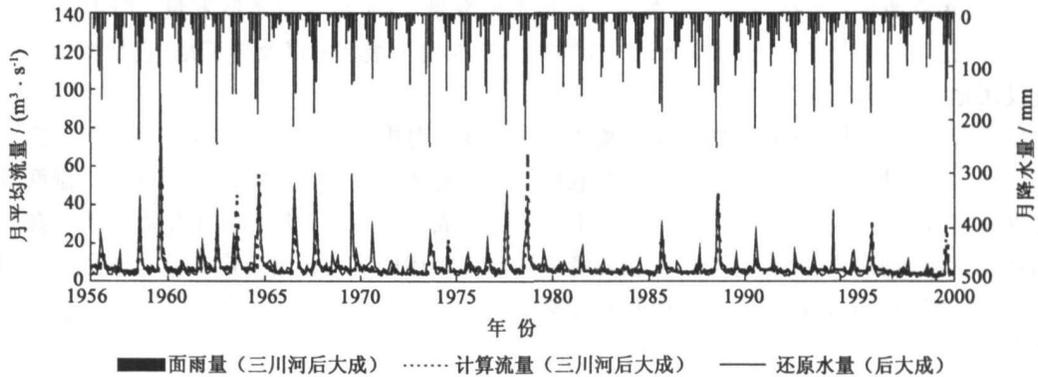


图 3 天然径流量校验结果

Fig. 3 Verification of simulated natural monthly discharge at Houdacheng station

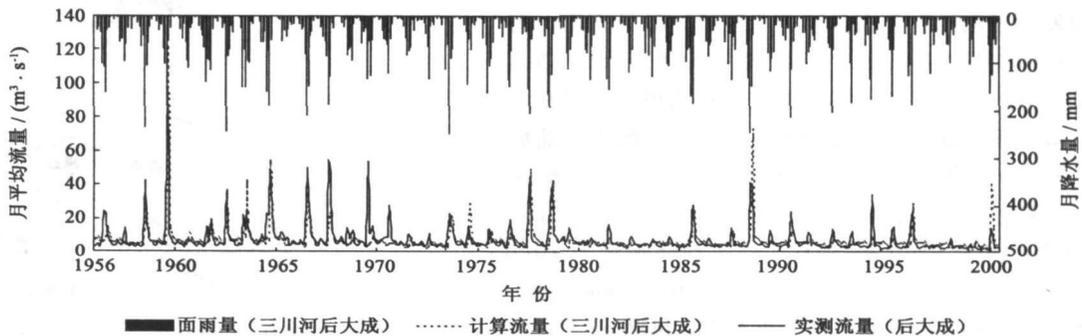


图 4 实测径流量校验结果

Fig. 4 Verification of actual monthly discharge at Houdacheng station

2.3 三川河流域层次化水资源量评价

根据层次化的水资源评价方法，对三川河流域水资源进行评价。表 1 为 2000 年现状下垫面、1956–2000 年降水系列、有人工取用水情景下三川河流域多年平均广义水资源构成。多年平均降水量为 21.2 亿 m^3 ，狭义水资源量为 2.37 亿 m^3 ，占降水量的 11.2%；有效蒸散发量为 14.29 亿 m^3 ，为狭义水资源量的 6.03 倍，占降水量的 67.4%，其中，林地有效蒸发为 7.73 亿 m^3 ，草地为 1.68 亿 m^3 ，农田为 4.87 亿 m^3 ，居工地为 0.01 亿 m^3 ；无效蒸发为 4.54 亿 m^3 ；广义水资源量为 16.66 亿 m^3 ，占降水量的 78.6%。

表 1 现状条件下三川河流域广义水资源量评价结果

亿 m³

Table 1 Assessment of broad sense water resources under present conditions in the Sanchuan river basin

降水量	狭义水资源量			有效蒸散发量													
	地表水资源量	不重复量	总量	林地			草地				农田				居工地	无效蒸发量	
				合计	冠留蒸发量	蒸腾量	土壤蒸发量	合计	冠留蒸发量	蒸腾量	土壤蒸发量	合计	冠留蒸发量	蒸腾量			土壤蒸发量
21.20	2.19	0.18	2.37	7.73	0.98	3.14	3.61	1.68	0.13	0.33	1.22	4.87	0.46	1.00	3.41	0.01	4.54

注：* 包括作物生长期和非生长期期间的土壤蒸发

2.4 各项驱动因子对水资源影响的定量分析

影响流域水资源演变的主要驱动因子是降水、人工取用水和下垫面条件。在模型中仅改变降水、人工取用水及下垫面条件单项驱动因子，研究各种驱动因子对水资源演变的影响。

(1) 降水对水资源演变的影响 降水是流域水资源的唯一来源，对流域水循环起到至关重要的作用。降水对于流域水资源演变的定量计算，可在水资源二元演化模式的 WEP-L 模型中，保持其他驱动因子不变，即采用 2000 年下垫面条件、无人工取用水模式，取不同降水系列作为输入，对比其结果，即可得到降水对流域水资源演变的影响。计算表明，近几十年来，三川河流域降水呈减少趋势，20 世纪 80 年代以后降水减少很多，本文以 1980-2000 年降水系列(情景 2)和 1956-1979 年降水系列(情景 1)作为输入，进行对比研究。

表 2 不同时段水资源量评价结果

Table 2 Assessment of water resources in the different periods

情景	降水量 /mm	地表水资源量 /亿 m ³	地下水资源量 /亿 m ³	不重复量 /亿 m ³	有效蒸散发量 /亿 m ³	狭义水资源			广义水资源量 /亿 m ³
						总量 /亿 m ³	产水系数	产水模数 / (万 m ³ km ⁻²)	
情景 1	512.64	2.51	1.29	0.09	14.29	2.61	0.12	6.17	16.90
情景 2	489.70	2.05	1.09	0.08	13.99	2.13	0.10	5.04	16.12

从表 2 中可以看出，1980-2000 年多年平均降水量为 490 mm，1956-1979 年多年平均降水量 513 mm，后一阶段降水量减少 4.5%，降水量的减少使得各项水资源量都呈现减少的趋势：地表水资源量减少 18.4%，地下水资源量减少 15.1%，不重复量减少 15.8%，狭义水资源量减少 18.3%，产水系数变化不大，但产水模数减少显著，有效蒸散发量减少 2.1%，广义水资源量减少 4.6%。在三川河流域，降水减少引起的地表水资源量衰减比例要比地下水资源量大，狭义水资源量比广义水资源量大。

(2) 人工取用水对水资源演变的影响 人工取用水对于流域水资源演变的定量计算，可在二元模型中，保持降水和下垫面条件(包括农田)不变，即采用 2000 年下垫面、1956-2000 年降水系列，取有人工取用水(情景 4)和无人工取用水(情景 3)分别进行模拟，对比其结果，即可得到人工取用水对流域水资源演变的影响。

表 3 有、无人工取用水水资源量评价结果

Table 3 Assessment of water resources in the zero water use and real water use condition

情景	降水量 /mm	地表水资源量 /亿 m ³	地下水资源量 /亿 m ³	不重复量 /亿 m ³	有效蒸散发量 /亿 m ³	狭义水资源			广义水资源量 /亿 m ³
						总量 /亿 m ³	产水系数	产水模数 / (万 m ³ km ⁻²)	
情景 3	501.93	2.30	1.20	0.08	14.15	2.38	0.11	5.64	16.53
情景 4	501.93	2.19	1.17	0.18	14.28	2.37	0.11	5.62	16.66

从表 3 可以看到，人工取用水改变了三川河流域水资源量的构成：地表水资源量减少了 0.11 亿 m³，主要原因一方面是取水-用水-耗水-排水改变水资源的分布，影响了地表径流的产水条件，地下水的开采致使包气带厚度增厚，增加了地表径流的入渗量，减少了地表径流量，另一方面人工开采地下水使得地下水水位降低，减少了地下水向河流的排泄量；不重复量增加了 0.10 亿 m³，不重复量受地下水补给量和排泄量的影响，补给量除受岩性、降水量、地形地貌、植被等因素的影响外，还受地下水埋深的影响，人工开采地下水影响了地下水水位，改变了地下水的补给量，同时也改变了地下水的排泄方式，袭夺了潜水蒸发以及河川基流量，两种因素共同作用导致不重

复量增加;地表水资源量的减少和不重复量的增加使得狭义水资源量减少 0.01 亿 m^3 ;人类大量取用地下水降低了地下水位,增加了包气带的厚度和土壤储存水的容量,因而有效蒸散发量增加 0.13 亿 m^3 ;狭义水资源量的减少和有效蒸散发的增加使得广义水资源量增加 0.13 亿 m^3 。虽然人工取用水对狭义水资源量影响不大,但是改变了其水资源量的构成。广义水资源量略有增加,可见人工取用水下增加了降水的有效利用量。

(3) 下垫面因素对水资源演变的影响 下垫面条件对于流域水资源演变的定量计算,可以在二元模型中,保持其他输入因子不变,即采用 1956–2000 年降水系列、天然水循环模式,取不同下垫面情景分别进行模拟,然后对比其结果,即可获得下垫面条件对流域水资源演变的定量影响。随着大规模农田建设、水土保持建设、城镇建设等工程的实施,三川河流域下垫面状况发生了极大的改变。本次研究在采集植被、农业、土地利用、水土保持和水利工程等各类下垫面空间信息的基础上,在统一的 GIS 平台上进行综合处理,模拟生成了三川河流域不同年份的下垫面信息。本节取 2000 年现状下垫面(情景 6)与 1956–2000 年系列模拟下垫面(情景 5)两种情景,对比分析不同下垫面条件对流域水资源演变的影响。

植树造林、人工梯田、淤地坝等水保措施增加了地表植被的覆盖度,增加了地表的截留、叶面蒸散发以及植被的蒸腾量,同时改变了降水的入渗条件,相应减少了地表径流和地下径流量,增加了生态对于降水的有效利用量;水库建设增加了地表截留和渗漏、蒸发,使得地表径流减少,地下水的补给增加。另外城镇化率的提高导致不透水面积大幅度增加,从而减少了地表截留和入渗,使得地表径流增加,地下径流减少。各种因素综合作用下,影响了流域地表、地下产水量,导致入渗、径流、蒸散发等水平衡要素的变化,改变水资源量的构成。采用二元模型进行计算(表 4),初步得出:地表水资源量减少 4.3%,地下水资源量变化不大,不重复量减少 2.8%,有效蒸散发增加 7.1%,狭义水资源量减少 4.3%,广义水资源量增加 5.3%。下垫面条件变化引起的广义水资源量的变化比例要大于狭义水资源量。

表 4 不同下垫面条件水资源量评价结果

Table 4 Assessment of water resources in the different underlying surfaces condition

情景	降水量 /mm	地表水 资源量 /亿 m^3	地下水 资源量 /亿 m^3	不重复量 /亿 m^3	有效蒸 散发量 /亿 m^3	狭义水资源			广义水 资源量 /亿 m^3
						总量 /亿 m^3	产水 系数	产水模数 /(万 $m^3 km^{-2}$)	
情景 5	501.93	2.40	1.20	0.087	13.21	2.49	0.12	5.89	15.70
情景 6	501.93	2.30	1.20	0.084	14.15	2.38	0.11	5.64	16.53

(4) 三个驱动因子对水资源演变的综合影响 三川河流域以 1979 年为界,降水后一段比前一段减少很多,人类对水资源的开发利用和对下垫面的改造后一段比前一段的强度剧烈,本节为研究 3 个驱动因子的综合影响效应,取 2000 年现状下垫面、1980–2000 年降水系列、有人工取用水(情景 8)与 1956–1979 年系列模拟下垫面、1956–1979 年降水系列、无人工取用水(情景 7)两种情景进行对比。由表 5 可以得到,在三个因子的共同驱动下:地表水资源量减少 30.6%,地下水资源减少 15.4%,不重复量增加 114.5%,狭义水资源量减少 25.8%,有效蒸散发量增加 6.7%,广义水资源量增加 1.1%。三个驱动因子对水资源的综合影响并不是单个因子的简单叠加。

表 5 三种驱动因素变化引起的水资源量变化

Table 5 Change of water resources caused by the three factors

情景	降水量 /mm	地表水 资源量 /亿 m^3	地下水 资源量 /亿 m^3	不重复量 /亿 m^3	有效蒸 散发量 /亿 m^3	狭义水资源			广义水 资源量 /亿 m^3
						总量 /亿 m^3	产水 系数	产水模数 /(万 $m^3 km^{-2}$)	
情景 7	512.64	2.65	1.27	0.09	13.23	2.74	0.13	6.49	15.97
情景 8	489.70	1.84	1.08	0.20	14.11	2.03	0.10	4.82	16.15

(5) 未来(2020 年)水资源变化趋势 为研究三川河流域未来水资源演变趋势,选取 2020 年情景(情景 9)进行模拟预测,其中下垫面条件以 2000 年现状下垫面为基础,根据相关专项规划,结合历史未来演变规律分析,借助于 GIS 进行处理得到;人工取用水根据现状规划水平年进行预测得到,由集总式水资源合理配置模型输

出; 降水系列依然采用 1956–2000 年降水系列。虽然人类活动对于气候系统的影响程度以及气候的未来变化趋势日益受到关注^[12], 但是气候未来变化的不确定性给预报和长系列模拟带来困难, 而未来气候变化对降水的影响有待于进一步研究, 因此本次研究未考虑降水量的变化。经过模型模拟, 预测在 2020 年情景下, 地表水资源量为 2.09 亿 m³, 地下水资源量为 1.14 亿 m³, 不重复量为 0.20 亿 m³, 狭义水资源量为 2.29 亿 m³, 有效蒸散发量为 14.59 亿 m³, 占降水量的 68.8%, 广义水资源量为 16.88 亿 m³(表 6)。相比现状条件, 地表水资源量减少 0.10 亿 m³, 地下水资源量减少 0.03 亿 m³, 不重复量增加 0.02 亿 m³, 狭义水资源量减少 0.08 亿 m³, 有效蒸散发量增加 0.31 亿 m³, 广义水资源量增加 0.22 亿 m³。

表 6 2020 年广义水资源量评价结果

Table 6 Assessment of broad sense water resources in 2020

情景	降水量 /mm	地表水 资源量 /亿 m ³	地下水 资源量 /亿 m ³	不重复量 /亿 m ³	有效蒸 散发量 /亿 m ³	狭义水资源			广义水 资源量 /亿 m ³
						总量 /亿 m ³	产水 系数	产水模数 /(万 m ³ km ⁻²)	
情景 9	501.93	2.09	1.14	0.20	14.59	2.29	0.11	5.42	16.88

3 结 论

(1) 描述了流域水资源演变规律分析方法。以二元水循环模型为工具, 刻画流域水循环过程; 在此基础上, 采用层次化的水资源评价方法对流域水资源状况进行评价; 通过设定不同情景, 模拟、评价单项水循环驱动因子对流域水资源的影响和多种水循环驱动因子对流域水资源的综合影响; 在预测未来水循环因子变化规律的前提下, 预测、评价流域水资源的演变趋势。

(2) 本研究提出了 2000 年下垫面有人工取用水情景下三川河流域多年平均广义水资源构成。1956–2000 年多年平均降水量为 21.2 亿 m³, 狭义水资源量为 2.37 亿 m³, 广义水资源量为 16.66 亿 m³, 占降水量的 78.6%; 有效蒸散发量为 14.29 亿 m³, 为狭义水资源量的 6.03 倍, 占降水量的 67.4%, 其中, 植被截留蒸发量为 1.57 亿 m³, 植被蒸腾量为 4.47 亿 m³, 土壤蒸发量为 8.24 亿 m³, 居工地蒸发量为 0.01 亿 m³。并预测了 2020 年下垫面有人工取用水情景下三川河流域多年平均广义水资源构成。狭义水资源量为 2.29 亿 m³, 广义水资源量为 16.88 亿 m³; 有效蒸散发量为 14.59 亿 m³。

(3) 在“降水”驱动因子作用下, 降水量的减少使得所有的水资源量都呈减少的趋势, 其中对地表水资源量的影响最大, 减少率达 18.4%, 对有效蒸散发量的影响最小, 减少率为 2.1%。另外不重复量减少 15.8%, 狭义水资源量减少 18.3%, 广义水资源量减少 4.6%。

(4) 人工取用水对水资源演变产生的影响主要是: 地表水资源量减少 4.6%, 地下水资源量减少 2.6%, 不重复量增加 113.5%, 狭义水资源量略有减少, 有效蒸散发量增加 0.9%, 广义水资源量增加 0.7%。在“人工取用水”驱动因子作用下, 狭义水资源量变化不大, 但其构成发生了改变, 不重复量的变化最大, 广义水资源量略有增加。

(5) 下垫面条件引起的变化为: 地表水资源量减少 4.3%, 地下水资源量变化不大, 不重复量减少 2.8%, 有效蒸散发增加 7.1%, 狭义水资源量减少 4.3%, 广义水资源总量增加了 5.3%。在“下垫面条件”驱动因子作用下, 狭义水资源量减少, 而广义水资源量增加, 其中对地下水资源量的影响最小, 对有效蒸散发量的影响最大。

(6) 在三个驱动因子共同作用下, 水资源量的演变是: 降水减少 4.5%, 地表水资源量减少 30.6%, 地下水资源量减少 15.4%, 不重复量增加 114.5%, 狭义水资源量减少 25.8%, 有效蒸散发量增加 6.7%, 广义水资源量增加 1.1%。

参考文献:

[1] 周祖昊. 变化环境下黄河流域水资源演变规律研究[D]. 北京: 中国水利水电科学研究院, 2005. 5–6.

[2] 王国庆, 王云漳, 尚长昆. 气候变化对黄河水资源的影响[J]. 人民黄河, 2000, 22(9): 40–41, 45.

- [3] 王国庆, 王云璋, 史忠海, 等. 黄河流域水资源未来变化趋势分析[J]. 地理科学, 2001, 21(5): 396–400.
- [4] 穆兴民, 王 飞, 李 靖, 等. 水土保持措施对河川径流影响的评价方法研究进展[J]. 水土保持通报, 2004, 24(3): 73–78.
- [5] 贾仰文. WEP 模型的开发和应用[J]. 水科学进展, 2003, 14(增刊): 50–56.
- [6] 贾仰文, 王 浩, 倪广恒, 等. 分布式流域水文模型原理与实践[M]. 北京: 中国水利水电出版社(水科学前沿学术丛书), 2005. 196–236.
- [7] 王 浩, 贾仰文, 王建华, 等. 人类活动影响下的黄河流域水资源演化规律初探[J]. 自然资源学报, 2005, 20(2): 157–162.
- [8] 王 浩, 陈敏建, 秦大庸, 等. 西北地区水资源合理配置和承载能力研究[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2003. 23–26.
- [9] 贾仰文, 王 浩, 王建华, 等. 黄河流域分布式水文模型开发和验证[J]. 自然资源学报, 2005, 20(2): 300–308.
- [10] 王 浩, 秦大庸, 陈晓军. 水资源评价准则及其计算口径[J]. 水利水电技术, 2004, (2): 1–4.
- [11] 王 浩, 王建华, 秦大庸, 等. 现代水资源评价及水资源学学科体系研究[J]. 地球科学进展, 2002, 17(1): 12–17.
- [12] 姜大膀, 王会军, 郎咸梅, 等. SRES A2 情景下中国气候未来变化的多模式集合预测结果[J]. 地球物理学报, 2004, 47(5): 776–784.

A case study on the evolutionary law of water resources in Sanchuan river basin

QIU Ya-qin¹, ZHOU Zhi-hao¹, JIA Yang-wen¹, QING Da-yong¹, WANG Hao¹,

YAN Deng-hua¹, JIANG Nai-qian², WANG Guo-qing²

(1. China Institution of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100044, China;

2. Yellow River Institute of Hydropower Research, Zhengzhou 450003, China)

Abstract: We apply the distributed hydrological model (WEP-L model) with physical mechanism to simulate hydrological cycle under the different conditions of Sanchuanhe basin as a case study, and analyze the quantitative influence of the different factors such as precipitation, water use and underlying surface on the evolution of water resources on the basis. Eight cases are described: Case 1, the precipitation data in 1956–1979, the underlying surface data in 2000 and the zero water use; case 2, the precipitation data in 1980–2000, the underlying surface data in 2000 and the zero water use; case 3, the precipitation data in 1956–2000, the underlying surface data in 2000 and the zero water use; case 4, the precipitation data in 1956–2000, the underlying surface data in 2000 and the real water use; case 5, the precipitation data in 1956–2000, the underlying surface data in 1956–2000 and the zero water use; case 6, the precipitation data in 1956–2000, the underlying surface data in 2000 and the zero water use; case 7, the precipitation data in 1956–1979, the underlying surface data in 1956–1979 and the zero water use; and Case 8, the precipitation data in 1980–2000, the underlying surface data in 2000 and the real water use. The comparison of case 1 and case 2 show that 4.5% reduction of precipitation causes the decrease in water resources in all forms: 18.4% surface water resources and groundwater resources, 15.8% not overlapped with surface water resources, 18.3% special water resources, 2.1% precipitation effective utilization and 4.6% general water resources. In case 4, the surface water resources reduce by 4.6% but the not overlapped groundwater resources and surface water increase by 113.5%, and the special water resources decrease by 0.4% but the general water resources increase by 0.7%, and 0.9% increase of the precipitation effective utilization compared with that in case 4. Comparing with the water resources in case 5, the special water resources decrease by 4.3% with 4.3% and 2.8% decrease of not-overlapped surface water resources and groundwater resources, while the general water resources increase by 5.3% with 7.1% increase of the precipitation effective utilization in case 6. In case 8, the general water resources decrease by 25.8% with 30.6% decrease of surface water and 114.5% increase of not-overlapped the groundwater and surface water, and the precipitation effective utilization and the general water resources increase by 7.1% and 5.3% compared with that in case 7. The research achievement can be referenced in other basins.

Key words: Sanchuan river basin; evolution of water resources; distributed hydrological model; WEP-L model; water resources allocation model; dualistic hydrological model