文章编号:0559-9350(2019)02-0201-08

水资源综合模拟与调配模型WAS(Ⅱ):应用

桑学锋，赵　勇，翟正丽，常奂宇

（中国水利水电科学研究院 流域水循环模拟与调控国家重点实验室，北京　100038）

摘要：针对自然-社会水循环系统特点以及水资源管理实践需求，建立一种断面流量过程、断面特征频率径流总量、区域水资源配置总量多指标模型校验方法，并以甘肃省庆阳市为例开展WAS模型(Water Allocation and Simulation Model)构建与应用。模型在雨落坪站水文断面调参期(1967—1985年)年径流模拟的相关系数R^2为0.89，Nash系数为0.79，校验期(1986—2000年)年径流模拟的相关系数R^2为0.88，Nash系数为0.76；区域多年平均水资源总量模拟与实测误差为4.1%，25%、50%、75%和90%频率年误差分别为5.0%、1.1%、5.9%和4.2%；全市水资源配置总量误差为0.35%。在此基础上，提出庆阳市各水资源分区和行政分区的水资源配置方案以及全市自然-人工水资源循环转化图；分析表明，WAS模型在描述自然-社会水循环系统动态反馈方面具有一定优势，模型可以支撑水资源精细化评价和管理需求。

关键词：水资源；模拟；调配；校验；水资源评价；水资源管理

中图分类号：TV213　**文献标识码**：A　**doi**：10.13243/j.cnki.slxb.20180508

国内外很多地区存在用水竞争、用水紧缺等问题，区域内经济社会挤占生态用水、上游用水影响下游用水等矛盾凸显，体现了重复用水、联动用水和竞争用水等特征过程[1]。甘肃省庆阳市属于黄河中游泾河流域黄土高原沟壑区，多年平均水资源量8.1亿m^3，油、煤、气等资源丰富，庆阳市煤炭储量占甘肃的96.4%，建有7大能源化工基地，域内区县主要分布在泾河流域两岸，水资源系统复杂、上下游用水具有联动关系[2]。

当前很多学者针对区域水情特点研发了很多针对性的水文模拟模型，从降雨径流机理、理论和方法上取得了大量成果[3-8]。然而，相关成果多集中于从水文学原理和方法上开展自然水循环模拟，在自然-社会二元系统模拟方面多采用水文模型耦合配置模型，或者将经济社会的取用水量放入水文模型开展研究，双向实时模拟与互馈方面研究较少。本次研究基于此文上篇构建的水资源综合模拟与调配模型WAS(water allocation and simulation model)[9]，以庆阳市为例，开展面向自然和社会水循环过程双向联动模拟的水资源综合模拟与调配研究，针对自然-社会水循环系统特点，建立一种断面流量过程、断面特征频率径流总量、区域水资源配置总量多指标模型校验方法，实现庆阳市水资源综合模拟并给出调控方案。

1　研究区情况与模型构建

庆阳市总面积2.71万km^2，辖西峰、庆城、镇原、宁县、正宁、合水、华池和环县八县(区)，

收稿日期：2018-05-31

基金项目：国家重点研发计划项目(2016YFC0401407，2016YFC0401306)；国家自然科学基金项目(51679253)；国家杰出青年科学基金项目(51625904)

作者简介：桑学锋(1978-)，博士，教授级高级工程师，主要从事水文与水资源、水环境综合调控研究。E-mail：sangxf@iwhr.com

通讯作者：赵勇(1977-)，教授级高级工程师，主要从事水循环模型构建及水资源管理研究。E-mail：zhaoyong@iwhr.com

2015年常住人口223万人，境内的主要河流包括马莲河、蒲河、洪河、清苦水河和葫芦河等，除清苦水河外，庆阳市的河流基本从西北流向东南，各主要河流均呈现基流小、洪水大特点；建有巴家咀水库、庵里水库以及沿黄淀引黄等31座供水工程。

1.1 模型构建 针对庆阳市河网水系、水利工程特点和区域单元行业用水等实际情况，基于水资源综合模拟与调控模型WAS的模型原理与方法，构建庆阳市WAS模型，模型单元采用行政分区套水资源四级区进行剖分划分出13个基本单元；由于庆阳市各基本单元区内DEM变化平缓，单元内区域间产流变异不显著，故基本单元内部不再进行DEM高程分割，得到13个WAS模型计算单元，单元空间分布及其编码见图1；在计算单元内部，其中土壤类型基本上为黏质土，土地利用类型概化为11种(图2)，在计算单元基础上叠加土壤类型、土地利用类型最后划分出141个水文计算单元，基本单元与水文单元对应关系见表1；另外根据庆阳市水利建设与供用水实际情况，水库与引调水工程31处及其分布见图3，水资源供用水系统网络图见图4。

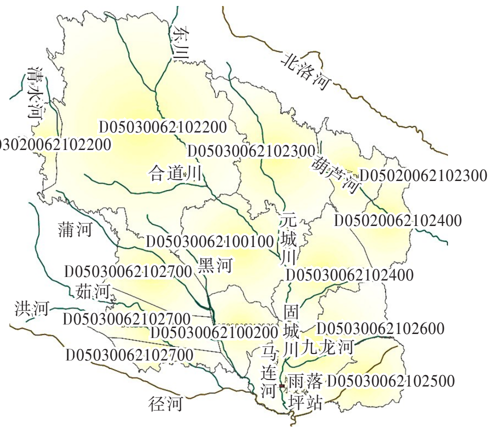


图1 庆阳市WAS模型计算单元划分

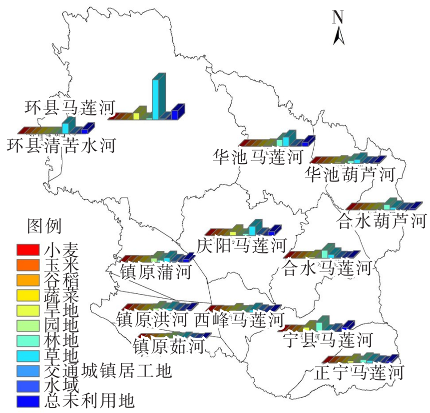


图2 庆阳市土地利用类型分布

表1 庆阳市WAS模型基本单元与水文单位对应关系

计算单元		小麦	玉米	谷物	蔬菜	旱地	园地	林地	草地	居工地	水域	总未利用地
D03020062102200	环县清苦水河	H001	H002	H003		H004	H005	H006	H007	H008		H009
D05030362102200	环县马莲河	H010	H011	H012	H013	H014	H015	H016	H017	H018	H019	H020
D05030362102300	华池马莲河	H021	H022	H023	H024	H025	H026	H027	H028	H029	H030	H031
D05030362100100	庆阳马莲河	H032	H033	H034	H035	H036	H037	H038	H039	H040	H041	H042
D05030362102400	合水马莲河	H043	H044	H045	H046	H047	H048	H049	H050	H051	H052	H053
D05030362100200	西峰马莲河	H054	H055	H056	H057	H058	H059	H060	H061	H062	H063	H064
D05030362102600	宁县马莲河	H065	H066	H067	H068	H069	H070	H071	H072	H073	H074	H075
D05030362102500	正宁马莲河	H076	H077	H078	H079	H080	H081	H082	H083	H084	H085	H086
D05030462102700	镇原蒲河	H087	H088	H089	H090	H091	H092	H093	H094	H095	H096	H097
D05030262102700	镇原茹河	H098	H099	H100	H101	H102	H103	H104	H105	H106	H107	H108
D05030162102700	镇原洪河	H109	H110	H111	H112	H113	H114	H115	H116	H117	H118	H119
D05020062102300	华池葫芦河	H120	H121	H122	H123	H124	H125	H126	H127	H128	H129	H130
D05020062102400	合水葫芦河	H131	H132	H133	H134	H135	H136	H137	H138	H139	H140	H141

1.2 模型资料输入

(1)降水蒸发资料。降水资料采用庆阳市内及邻近的40个站国家气象站逐日降雨资料，时间长度为1966—2000年。根据40个站点的降水系列数据，应用泰森多边形法进行空间展布，得到13个计算单元逐日面降水量数据，统计得到庆阳市多年平均降水量为468.1 mm，折合水量为129.3亿m^3。由于降水时间的分散情况，会出现日降水而无产流的现象，并且对于降水较少而蒸发较大的北方干旱地

图3　庆阳市水库分布

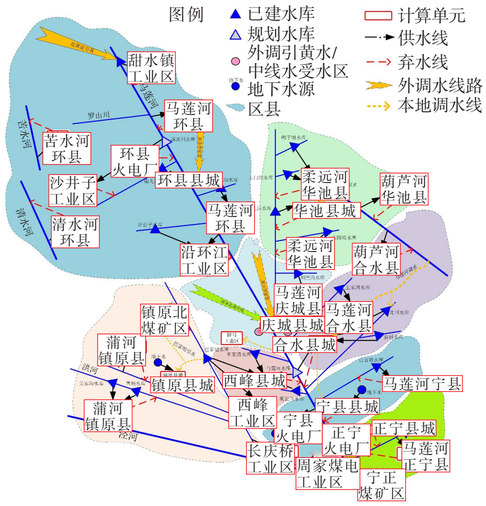


图4　庆阳市水资源系统网络概化

区，这种情况是普遍存在的，需要进行日有效降水分析处理，这对于月水文模型就更重要。本次根据庆阳实际情况，参考北方降水产流特点，采用式(1)对日降水进行判别处理，得到日有效降水量，进而得到单元的月有效降水数值。

$$P_{dy}=P_{d0}\times\alpha_{df} \tag{1}$$

式中：P_{dy}为日有效降水量，mm；P_{d0}为日实际降水量，mm；α_{df}为不同日降水强度产水修正系数。

根据区域降水资料和水文断面流量对比分析，发现基本上日降水10 mm以下基本不产流，同时发现日降水量在[10 mm，80 mm]范围内，降水与产流表现为指数关系，拟合公式为：

$$\alpha_{df}=\begin{cases}0 & P_{d0}<10\\ 0.42\ln P_{d0}-0.87 & 10\leqslant P_{d0}\leqslant 80\\ 1 & P_{d0}>80\end{cases} \tag{2}$$

蒸发资料采用庆阳环县、庆阳西峰和周边的陕西长武等3个国家气象站资料(1966—2000年)，采用泰森多边形法得到13个计算单元的面蒸发能力，庆阳市多年平均蒸发量为987.6 mm。

(2)经济社会用水资料。根据1980—2000年甘肃省水资源公报、庆阳市1984年第二次水资源评价成果等资料，庆阳市1980—2000年多年平均用水量为2.30亿m^3，其中农田灌溉用水1.33亿m^3，工业用水0.46亿m^3，城镇生活用水0.11亿m^3，农村生活用水0.37亿m^3，三产用水量0.03亿m^3。年际数据变化显示，2000年前庆阳市经济发展缓慢，产业结构比较稳定，农业用水占总用水量的58%，总用水波动主要受农业用水影响。

2　模型参数率定与验证

2.1　模型参数

2.1.1　水文模型参数　流域水循环过程按照四水转化特点，一般可分为蒸散发、地表径流、壤中流和地下径流4个层次。第一层次蒸散发过程常态下比较稳定，主要受气候因素和下垫面植被类型决定；第二、三、四层决定流域径流过程的时空分布及变化，流量变化十分敏感[10-12]。

根据模型原理及公式，下面列出了WAS模型水资源循环模块的敏感参数：(1)蒸散发。K_{es}(单元截留蒸发调节系数)、K_{el}(单元植被相对于ET0水面蒸发的调节系数)、k_{ek}(浅层水蒸发调节系数)；(2)地表产流。F_s(土壤最大下渗能力)、U_S(土壤饱和含水度)；(3)壤中流。α_{ss}(土壤壤中流的出流系数)、α_{sx}(土壤对浅层地下水的补给系数)；(4)地下径流。α_{xk}(浅层地下径流系数)、α_{xm}(深层地下径流系数)、β(浅层补给深层水系数)。

2.1.2　调配模型参数　经济社会用水过程一般可分为供用水、耗水和排水3个层次。第一层次供用水

层面主要受行业性质及渠道特征因素影响，其中农业主要与气候因素、作物类型有关，其他行业则是一个相对稳定的过程；第二层次耗水层面则与行业性质有关，不同产品生产特性、行业用水过程都具有不同的耗水曲线，对耗水量影响十分敏感；第三层次排水层面，考虑行业特点，农村生活及城市生态用水基本全部耗掉，农业退水则参与到水循环模拟过程，城市生活与工业排水受污水收集率、处理率、回用率等指标影响。

根据模型原理及公式，下面列出了WAS模型水资源配置模块的敏感参数。(1)供用水。S_{hp}(水源行业分水比)、H_{qz}(行业权重系数)；(2)耗水。E_{tl}(生活蒸发系数)、E_{indu}(工业蒸发系数)；(3)排水。K_{rewq}(污水收集系数)、K_{rewd}(污水处理系数)。

2.2 模型调参方法 模型模拟期为1966—2000年，1966年为模型预热期，1967—1985年为模型参数率定期，1986—2000年为模型验证期。模型校验采用断面流量过程、断面特征频率径流总量、区域水资源配置总量多指标校验方法，具体结果如下。

2.2.1 模拟效果的性能指标

(1)断面流量过程：采用相关系数R^2、Nash效率系数作为WAS模型河道断面流量效果的性能指标，通常情况下：相关系数R^2在0.8~1.0为极强相关，0.6~0.8为强相关，0.4~0.6为中等程度相关，0.2~0.4为弱相关，0~0.2为极弱相关或无相关；Nash效率系数在0~1之间变化，值越大表示实测与模拟流量过程拟合得越好，模拟精度越高。

(2)断面特征频率径流总量：

$$Q_{pobj} = \sum_{i=1}^{n} \left| y_i - x_i \right| \Big/ \sum_{t=1}^{n} \left(y_i \right) \tag{3}$$

式中：Q_{pobj}为水文站断面或区域特征频率(多年平均、典型频率年)径流总量的误差率，反映模型针对水资源评价的实用性；y_i、x_i为水文断面或区域相应频率下实际和模拟的径流总量。

(3)区域水资源配置总量：

$$Q_{sobj} = \sum_{u=1}^{m} \left| q_{xu} - q_{yu} \right| \Big/ \sum_{u=1}^{m} \left(q_{xu} \right) \tag{4}$$

式中：Q_{sobj}为水资源配置的区域单元或行业总量误差率，反映模型水资源配置的合理性；m为区域单元或者行业的样本数；q_{xu}、q_{yu}为区域单元或者行业实际和模拟的用水总量。

2.2.2 模型调参与验证步骤 考虑庆阳市水资源循环变化和社会历史取用水实际情况，本次在水资源配置部分采用基于规则的配置方法，以水源供水分配比例系数为主进行调配水量，这种方法可以有效控制参数，并可以检验水资源配置对现实的刻画能力，模型调参与校验步骤如下：(1)假定参数初值，模型调参和验证期水资源配置部分采用基于规则的配置方法；(2)比较调参期1967—1985年的模拟与实测的径流过程，采用断面流量过程、断面特征频率径流总量、区域配置供用水总量等指标校验方法；(3)采用上述目标函数，分析模型调参和验证期模型模拟情况；(4)开展模型模拟与实测数据的对比和误差分析，检验模型效果。

2.3 模型校验 选择雨落坪水文站所在位置作为模型校验断面(位置见图1)，雨落坪站控制面积19 027.4 km^2，占庆阳市面积的70%，基本反映了庆阳市径流情况；模型参数率定采用客观优选方法，采用先基流、再洪峰、最后总量的过程进行调参。

(1)断面流量过程分析。经过模型参数迭代调整，模型模拟与实测过程比对见图5，调参率定期和验证期的性能指标见表2。在调参率定期(1967—1985年)，径流模拟与实测的相关系数为0.89，Nash系数为0.79；在验证期(1986—2000年)，径流模拟与实测的相关系数为0.88，Nash系数为0.76；

表2 模型断面流量模拟效果指标

模型期	相关系数R^2	Nash系数
调参期(1967—1985年)	0.89	0.79
验证期(1986—2000年)	0.88	0.76

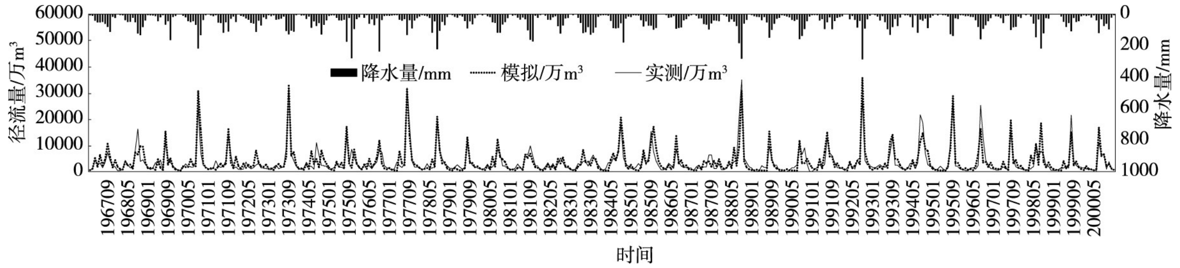


图5　雨落坪断面径流过程模拟与实测对比

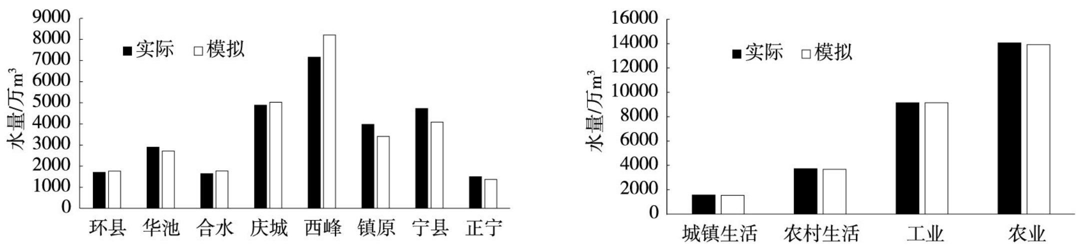
可以看出，模型的精度还是取得比较好的效果。

(2)特征频率径流总量分析。模型多年平均和25%、50%、75%、90%典型频率年对应的雨落坪水文站径流误差情况见表3，其中多年平均模型模拟与实测径流总量误差为4.1%，25%、50%、75%和90%频率年误差分别为5.0%、1.1%、5.9%和4.2%，表明建立的模型结果较好，可以满足水资源评价要求。

表3　断面径流特征总量比较

	多年平均	25%	50%	75%	90%
实测径流/万 m^3	44436	67249	48798	45237	29830
模拟径流/万 m^3	46247	63858	49331	42558	31091
误差率/%	4.1	5.0	1.1	5.9	4.2

(3)区域水资源配置总量分析。从区域供水来看，2010年实际供水量2.85亿 m^3，配置结果供水总量2.84亿 m^3，全市水资源配置总量误差为0.35%。从区域各单元供水总量来看，误差最大为西峰区9.3%，误差最小的为环县0.2%；从行业供水来看，生活、工业、农业等行业的配置结果与现状各行业供水基本一致，平均误差在2%以内；如果用各区县的配置水量和实际用量数据进行相关性分析，其相关系数达到0.99，表明建立的模型结果较好，可以满足水资源管理要求(见图6)。



(a) 各区县　　(b) 各行业

图6　全市供水总量模拟对比

(4)模型重要参数阈值。通过上述过程和分析，确定模型的重要参数阈值，参数的初始值和最终值见表4。

3　模型对比分析

为进一步检验WAS模型在自然-社会水资源动态互馈模拟与调控的效果，本文开展WAS模型与常规配置模型、水文模型+配置模型方法进行对比，具体见表5。根据自然-社会水资源系统特点，从区域的径流模拟、经济社会用水配置、自然-社会水系统实时互馈3个方面进行3种模型实现情况的比较分析，可以看出，径流模拟功能方面WAS模型和水文模型都能实现，而常规的配置模型则无此功能；在经济社会用水配置功能方面3个模型则都能实现；在自然-社会水资源系统动态互馈方面只有WAS模型可以实现，常规的水文模型+常规配置模型方法一般只能实现单向反馈。

表4　模型重要参数阈值

类别		参数名	初始值	最终值	参数说明
水循环模型参数	蒸散发	K_{es}	0.12	0.12~0.15	单元截留蒸发调节系数，受单元下垫面特征影响
		K_{el}	1.3	1.1~1.8	单元土壤蒸发调节系数，受植被类型影响
		k_{ek}	0.03	0.02	浅层水蒸发调节系数
	地表产流	F_s	30	50	土壤最大下渗能力
		U_S	0.1	0.1	土壤饱和含水度
	壤中流	α_{ss}	0.6	0.8	土壤壤中流的出流系数
		α_{sx}	0.2	0.18	土壤对浅层地下水的补给系数
	地下径流	α_{xk}	0.002	0.00018	浅层地下径流系数
		α_{xm}	0.0001	0	深层地下径流系数
		β	0.0001	0	浅层补给深层水系数
配置模型参数	供用水	S_{hp}	0~1	0~1	水源行业分水比
		H_{qz}	1∶1∶1∶1	1∶1∶0.1∶0	行业权重系数（生活∶工业∶农业∶生态）
	耗水	E_{tl}	0.3	0.35	生活蒸发系数
		E_{indu}	0.3	0.4	工业蒸发系数
	排水	K_{rewq}	1	0.6	污水收集系数
		K_{rewd}	1	0.85	污水处理系数

庆阳案例中显示，WAS模型的出境水量为11.16亿m^3，水文模型+常规配置模型的出境水量为10.88亿m^3，原因是后者缺少了经济社会配置后的动态退水过程；在经济社会用水配置方面，WAS模型的配置水量2.84亿m^3，大于常规配置模型的2.42亿m^3，是由于区域上游的退水加入计算增加了部分供水，这种现象也和黄河流域上下游重复用水实际情况相契合；在自然-社会水系统互馈方面，WAS模型可以得到自然水循环与经济社会水循环的动态演变过程中互馈量0.57亿m^3。WAS模型结果进一步表明，在自然-社会水资源复杂系统中，系统单元之间不仅表现为单元内部的动态互馈联系，也表现为整个水资源系统上下游单元的动态互馈关系，尤其是上下游串联单元多的大流域，这种动态互馈特征更加明显。

表5　不同模型结果对比分析　（单位：亿m^3）

模型	功能			庆阳案例		
	径流模拟	经济社会用水配置	自然-社会水系统实时互馈	出境水量	经济社会用水配置	自然-社会水系统互馈量
WAS模型	有	有	有	11.16	2.83	0.57
常规配置模型	无	有	无	0	2.42	0
水文模型+常规配置模型	有	有	无	10.88	2.42	0

4　庆阳市水资源调控方案及水流平衡分析

在经济社会取用水方面，全市2010年总供水量为2.84亿m^3，其中地表水2.14亿m^3，地下水0.64亿m^3，其他水源供水559万m^3；总用水量为2.84亿m^3，其中城镇生活、农村生活、工业、农业的供水分别为0.17亿、0.37亿、0.91亿和1.39亿m^3，各区县的供水、耗水、排水控制情况见表6；各四级水资源流域的供水、耗水、排水控制情况见表7。

在区域水平衡方面，上游入境水量4.5亿m^3，盐环定扬黄调水0.6亿m^3；全市平均总降水量468 mm；地表水资源量8.2亿m^3，地表地下水重复量2.2亿m^3，本地水资源总量8.2亿m^3；考虑入境水量与外调水量，区域总入境水量为13.3亿m^3；区域经济社会总供用水量为2.84亿m^3，总耗水量为2.11亿m^3，

表6　2010年庆阳市各行政区水资源供耗控制方案　　　　（单位：万 m³）

行政区	全市	环县	华池	合水	庆城	西峰	镇原	宁县	正宁
供水量	2.84	0.17	0.27	0.18	0.50	0.82	0.35	0.41	0.14
耗水量	2.11	0.13	0.16	0.15	0.29	0.64	0.29	0.34	0.11
排水量	0.73	0.04	0.11	0.03	0.21	0.18	0.06	0.07	0.03

表7　2010年庆阳市各流域水资源供耗控制方案　　　　（单位：万 m³）

流域	合计	清苦水河流域	马莲河流域	蒲河流域	茹河流域	洪河流域	葫芦河流域
供水量	2.84	0.0078	2.34	0.14	0.10	0.102	0.15
耗水量	2.11	0.0077	1.76	0.11	0.08	0.100	0.05
排水量	0.73	0.0001	0.58	0.03	0.02	0.002	0.10

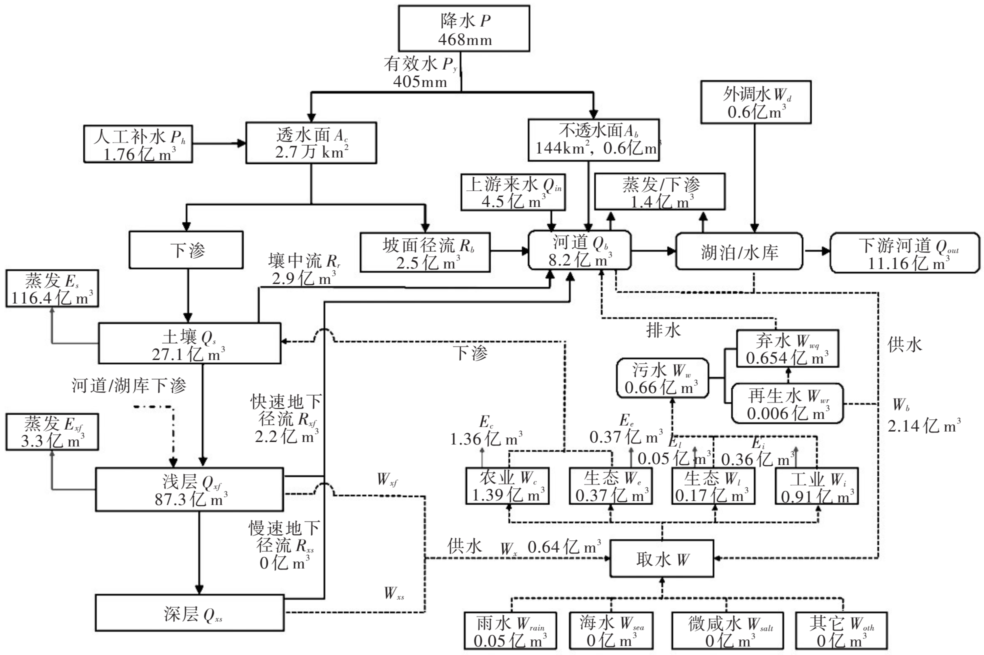


图7　庆阳市2010水平年"自然-人工"水资源循环转化

排水量为0.73亿 m³；总出境水量11.16亿 m³（见图7）。

5　结论

（1）针对自然-社会水循环系统特点，研究建立的断面流量过程、断面特征频率径流总量、区域水资源配置总量多指标模型校验方法，可以用来表征水资源综合模拟与调配模型参数调参目标，并反映模型开展水资源评价和水资源管理的精度。

（2）研究分析了水循环模拟蒸散发、地表径流、壤中流和地下径流4个层次10个模型的重要参数，以及水资源调配模拟供用水、耗水和排水3个层次6个模型的重要参数，可以作为WAS模型的模型调参的主要调整参数，并通过研究区实例，给出了上述参数的阈值。

（3）研究发现自然-社会水资源系统不仅表现为单元内部具有动态联系，而且在整个水资源系统上下游单元之间也具有互馈关系，尤其是上下游串联单元多的大流域，这种动态互馈特征更加明显。

（4）通过模型验证和分析，庆阳市多年平均降水量129.3亿 m³，本地水资源量8.2亿 m³，入境和外调水量5.1亿 m³，区域经济社会2010年总供用水量为2.84亿 m³，人工总耗水量为2.11亿 m³，总出境

水量11.16亿 m^3，并给出了庆阳市各行政单元和水资源四级区水资源控制方案和全市自然-人工水资源循环转化图。

参 考 文 献：

[1] 倪红珍，王浩，汪党献．经济社会与生态环境竞争用水的水价研究[J]．水资源保护，2008，24(3)：73-76．

[2] 张智全．庆阳市生态承载力与生态环境评价研究[D]．兰州：甘肃农业大学，2010．

[3] 黄小祥，姚成，李致家，等．栅格新安江模型在天津于桥水库流域上游的应用[J]．湖泊科学，2016，28(5)：1134-1140．

[4] 雷晓辉，贾仰文，蒋云钟，等．WEP模型参数自动优化及在汉江流域上游的应用[J]．水利学报，2009，40(12)：75-82．

[5] 赵勇，陆垂裕，肖伟华．广义水资源合理配置研究(Ⅱ)——模型[J]．水利学报，2007，38(2)：163-170．

[6] 史晓亮，李颖，杨志勇．基于SWAT模型的诺敏河流域径流对土地利用/覆被变化的响应模拟研究[J]．水资源与水工程学报，2016，27(1)：65-69．

[7] 贾仰文，王浩，周祖昊，等．海河流域二元水循环模型开发及其应用——I.模型开发与验证[J]．水科学进展，2010，21(1)：1-8．

[8] 秦大庸，陆垂裕，刘家宏，等．流域"自然-社会"二元水循环理论框架[J]．科学通报，2014(Z1)：419-427．

[9] 桑学锋，王浩，王建华，等．水资源综合模拟与调配模型WAS(Ⅰ)：模型原理与构建[J]．水利学报，2018，49(12)：1451-1459．

[10] 宋晓猛，张建云，占车生，等．水文模型参数敏感性分析方法评述[J]．水利水电科技进展，2015，35(6)：105-112．

[11] 田雨，雷晓辉，蒋云钟，等．水文模型参数敏感性分析方法研究评述[J]．水文，2010，30(4)：9-12，62．

[12] 王佩兰，赵人俊．新安江模型(三水源)参数的客观优选方法[J]．河海大学学报，1989(4)：65-69．

Water resources comprehensive allocation and simulation model (WAS), part Ⅱ. Application

SANG Xuefeng, ZHAO Yong, ZHAI Zhengli, CHANG Huanyu

(State Key Laboratory of Simulation and Regulation of Water Cycle in River Basin, China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China)

Abstract: Aiming at the characteristics of the natural-social water cycle system, a multi-dimension index model verification method for cross-section flow process, cross-section feature runoff volume, regional water allocation was established, and Qingyang City in Gansu Province is taken as an example to use the WAS model(Water Allocation and Simulation Model). The correlation coefficient R^2 of runoff simulation in calibration period 1967-1985 of the Yuluoping cross-section was 0.89, and the Nash coefficient was 0.79. The correlation coefficient R^2 of runoff simulation in validation period 1986-2000 was 0.88, and the Nash coefficient was 0.76. The average annual error of the simulation and measurement of regional water resources was 4.1%, and the errors at frequency of 25%, 50%, 75% and 90% were 5.0%, 1.1%, 5.9% and 4.2%, respectively. The average error of the water allocation and measurement of Qingyang City was 0.35%. Based on the result, the water resources allocation plan for water supply of 284 million m^3 and water consumption of 211 million m^3 in the current year was put forward, and the decomposition map of regional water balance was given. The results show that WAS model can describe the dynamic feedback relationship between natural and social water circulation systems, and the model can also meet the accuracy requirements of water resources assessment and management.

Keywords: water resources; simulation; allocation; verification; water resources assessment; water resources management

（责任编辑：王成丽）