

“黄河流域水资源演变规律与二元演化模型” 研究成果简介

贾仰文, 王浩

(中国水利水电科学研究院 水资源研究所, 北京 100044)

【摘要】 简要介绍了在国家重点基础研究发展规划“973”项目“黄河流域水资源演变规律与可再生性维持机理”第二课题(G1999043602)中取得的三项主要成果: (1)流域水资源二元演化模型; (2)黄河流域水资源全口径层次化动态评价; (3)人类活动影响下的黄河流域水资源演化规律。首先, 将分布式流域水文模型(WEP-L)和集总式水资源调配模型(WARM)相耦合, 建立了流域水资源二元演化模型。然后, 在界定“广义水资源”与“狭义水资源”概念的基础上, 提出了水资源全口径层次化动态评价方法, 并给出了黄河流域评价成果。最后, 通过比较 2000 年现状下垫面条件下与历史系列条件下的评价结果, 以及考虑与不考虑人工取水条件下的模拟结果, 初步发现: (1)黄河流域在强烈的人类活动影响下, 水资源量及其构成均发生了显著变化, 地表水资源量衰减, 而不重复地下水量增加; (2)在狭义水资源量衰减的同时, 伴随着有效蒸散即降水有效利用的增加, 流域广义水资源量有一定幅度增加。研究成果对客观评价水土保持生态建设、农田基本建设等土地利用变化的水文水资源效应, 对黄河的治理规划和水安全战略具有重要参考应用价值。

【关键词】 分布式水文模型; WEP-L; 二元模型; 水资源动态评价; 水资源演变规律; 人类活动影响; 黄河流域

中图分类号: TV21+TV882.1(-19)

文献标识码: A

文章编号: 1009-0860(2006)02-0045-08

An introduction to the research on “Evolutionary Laws and Dualistic Evolutionary Model of Water Resources in the Yellow River Basin”

JIA Yang-wen, WANG Hao

(Department of Water Resources, Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100044, China)

Abstract The paper describes three main results obtained in the second project of the Yellow River “973” Program, i.e., National Development Program for Basic Key Science Research entitled “Evolutionary Laws and Sustainable Maintaining Mechanism of Water Resources in the Yellow River Basin”. The three main results are (1) establishment of a dualistic evolutionary model of water resources (2) multi-criterion and dynamic assessment of water resources in the Yellow River Basin, (3) evolutionary laws of water resources in the Yellow River Basin under the impact of human activities. The dualistic evolutionary model of water resources is established by coupling a distributed hydrological model for large basins (WEP-L) and a water allocation and regulation model (WARM). Concepts of special water resources and general water resources are proposed, and an approach for multi-criterion and dynamic assessment of water resources is suggested. The water resources assessment results under present underlying surfaces are compared with those under the historical underlying (land covers), and the water resources assessment results under no water use condition are compared with those under water use condition as well. By contrast, it is shown that the quantity and compositions of water resources changed distinctly under the impact of intensive human activities. The two main variations are as follows: (1) the surface water resources reduced but the groundwater resources which are non-overlapped with the surface water resources increased; (2) the special water resources reduced but the general water resources increased accompanied with increase of the effective evaporation, namely effective utilization of precipitation.

Key words distributed hydrological model for large basins; WEP-L; dualistic evolutionary model; dynamic water resources assessment; evolutionary law of water resources; human impacts; The Yellow River Basin

1 引言

“黄河流域水资源演变规律与二元演化模型”研究是国家重点基础研究发展规划“973”项目“黄河流域水资源演变规律与可再生性维持机理”中的第二课题(G1999043602),研究历时5年(1999年10月~2004年9月)。该课题主要完成单位是:中国水利水电科学研究院水资源研究所、中国科学院地理科学与资源研究所、水利部黄河委员会水文局、中国科学院地质与地球物理研究所,主要完成人员有:王浩、贾仰文、王建华、秦大庸、李丽娟、罗翔宇、周祖昊、严登华、王玲、张学成、刘广全、秦大军、张新海、江东、杨贵羽等。受篇幅限制,本文将简要介绍在该课题中取得的三项主要成果,即:(1)流域水资源二元演化模型;(2)黄河流域水资源全口径层次化动态评价;(3)人类活动影响下的黄河流域水资源演化规律。详细内容请参见文献[1]以及课题研究报告《黄河流域水资源演变规律与二元演化模型》(中国水利水电科学研究院水资源研究所等,2004年9月)。

随着人类活动的日益加剧,天然状态下的流域水循环模式发生了根本性改变,出现了由“取水—输水—用水—排水—回归”五个基本环节构成的人工侧枝循环圈,形成“天然—人工”双驱动力作用下的流域“二元”水循环模式。这种“二元”模式导致流域水资源形势加速演变,洪涝与旱灾发生的几率与不确定性增加,同样规模的洪水造成的损失急剧增大,同时还引起生态与环境变化。

迄今为止,国内外水资源评价方法与实践均是基于“实测—还原”的一元静态模式^[2-5],即通过实测水文要素后,再把实测水文系列中隐含的人类活动影响扣除,“还原”到流域水资源的天然“本底”状态。但是,随着人类活动日益加剧,还原比例越来越大,受资料条件等客观因素的限制和选取还原参数时人为主观随意性的影响,应用还原法难以获取“天然”和“人工”二元驱动力作用下的水资源量“真值”。同时,现行水资源评价方法还存在以下问题:(1)以地表水和地下水构成的径流性水资源为评价口径,评价口径不全面,难以反映水资源的多元有效性(如生态植被对土壤水的有效利用等);(2)以分离评价为基本模

式,如地表水评价与地下水评价相分离、水资源量评价与开发利用评价相分离,难以适应水资源综合规划需求;(3)难于反映下垫面变化对现状可利用水资源的影响;(4)采取分区集总式的评价方法,在描述水资源的空间变异特征和指导开发利用方面存在一定的局限。因此传统水资源评价方法和评价手段亟待改进。

黄河流域(面积795 000 km²)在中国社会经济发展中一直发挥着重要作用。20世纪90年代以来,黄河流域出现了水资源严重短缺,生态环境恶化,下游断流持续时间越来越长。这种状况既与近年降水偏少有关,又与强烈的人类活动影响密不可分。据统计,目前黄河流域干流共建成12座大型水库(总库容563亿m³)、支流大中型水库(总库容100亿m³)以及大量水土保持设施;灌溉面积由20世纪50年代的80万hm²增加到2000年730万hm²。人类活动不仅改变了水循环过程,同时对水资源的数量及其构成产生重大影响。因此,开展黄河水资源动态评价,即分析黄河流域水资源在过去、现在及未来下垫面条件下的变化并找出其演化规律,对黄河流域水资源可持续开发利用具有重要意义。

2 模型开发

20世纪80年代中期以来,随着计算机技术、地理信息系统和遥感技术的进步,分布式流域水文模型^[6-7]得到很大发展。基于物理机制的分布式流域水文模型,可结合遥感、航测、数字流域^[8]及地理信息系统等新技术进行较为细致的水文分析与预测,能够分析不同下垫面条件下的流域水资源演变情景,为开展水资源动态评价创造了条件。本研究首先开发了大流域分布式水文模型,然后将大流域分布式水文模型和集总式水资源调配模型相耦合,建立起流域水资源二元演化模型。

2.1 大流域分布式水文模型

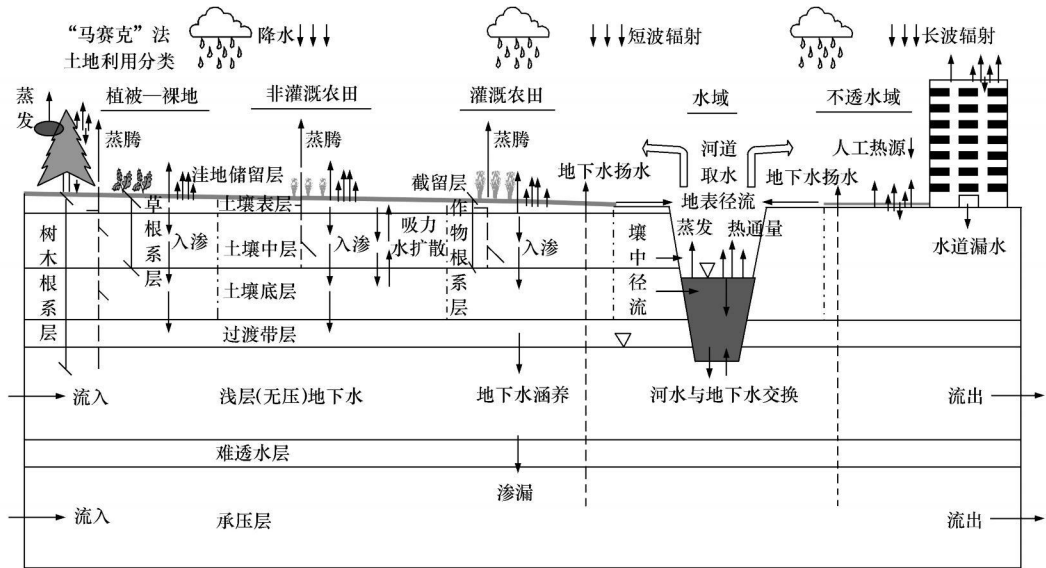
大流域分布式水文模型 WEP-L是在综合了分布

收稿日期:2005-11-22

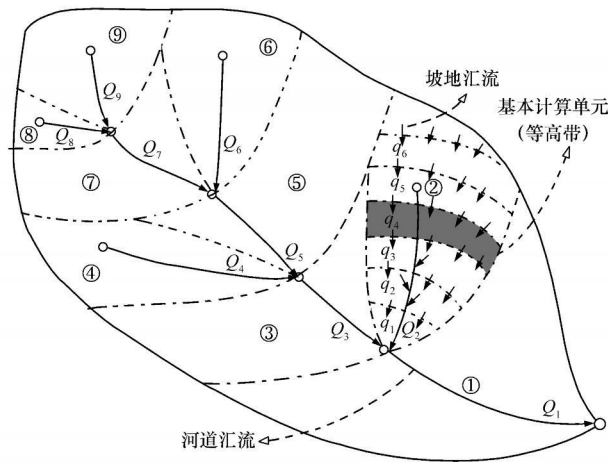
基金项目:国家重点基础研究发展规划“973”项目“黄河流域水资源演变规律与可再生性维持机理”第二课题(G1999043602)。

获奖项目:本课题成果获2005年大禹水利科学技术奖一等奖。

作者简介:贾仰文(1965—),男,教授级高级工程师,总工程师,博士。



(a)垂直结构(基本计算单元内)



(b)平面结构

图 1 大流域分布式水文模型 WEP-L 的结构

式水文模型和陆面过程模型各自优点的基础上开发的,模拟对象为“天然—人工”二元水循环系统。该模型建立在 WEP 模型基础之上,但为适应黄河这样的超大流域,采用“子流域内等高带”为计算单元,并用“马赛克”法考虑计算单元内土地植被的多样性,避免了采用过粗网格单元产生的模拟失真问题。针对各水循环要素过程时间尺度不同的特点,计算时采用了 1 h 至 1 d 的“变时间步长”,既合理表述了水循环动力学机制又提高了计算效率。研究中根据 1 km 分辨率 DEM (数字高程模型)以及数字化河网等空间信息数据,将全黄河流域划分为具有空间拓扑关系的 8 485 个子流域和 38 720 个等高带,采用 45 年 (1956~2000 年)水文气象系列数据及相应下垫面条件进行了模拟计算,并根据黄河流域主要水文站逐月和逐日径流系列进行了模型校验。

WEP-L 模型各基本计算单元 (子流域内等高带) 内的垂直方向结构如图 1 (a) 所示。从上到下包括植被或建筑物截留、地表洼地储留、表层土壤、中层土壤、底层土壤、过渡带、浅层地下水和深层地下水等 8 层。非饱和土壤的 3 层 (表层、中层和底层) 分割,是为了反映土壤含水率随深度的变化和便于描述土壤蒸发、草或作物根系吸水 and 树木根系吸水。状态变量包括植被截留量、洼地储留量、各层土壤含水率、地表温度、过渡带层储水量、地下水位及河道水位等。主要参数包括植被最大截留深、土壤渗透系数、土壤水分吸力特征曲线参数、地下水透水系数和产水系数、河床的透水系数和坡面、河道的糙率等。为考虑基本计算单元内土地利用的不均匀性,采用了“马赛克”法即把基本计算单元内的土地归成数类,分别计算各类土地类型的地表面水热通量,取其面积平均值

为计算单元的地表面水热通量。土地利用首先概化为裸地—植被域、灌溉农田、非灌溉农田、水域和不透水域等 5 组。裸地—植被域又分为裸地、草地和林地 3 类, 不透水域分为城市地面与都市建筑物 2 类。在水循环各要素模拟中, 截留、土壤、水面和植被蒸腾等蒸发项, 按照土壤—植被—大气通量交换方法 (SVATS)、采用 Noilhan-P lanton 模型、Perman 公式和 Perman-M onteih 公式等进行了详细计算。地表径流分为超渗和蓄满两种产流模式分别采用 Green-Amp 模型和 Richards 方程计算, 对山坡斜面土壤层进行了壤中流计算, 浅层地下水运动进行了二维数值计算并与非饱和土壤水及河水进行了动态耦合, 积雪融化过程采用温度指标法。

WEP-L 模型的平面结构如图 1(b) 所示。坡面汇流计算根据各等高带的高程、坡度与 Manning 糙率系数, 采用 1 维运动波法将坡面径流由流域的最上游端追迹计算至最下游端。各条河道的汇流计算, 根据有无下游边界条件采用 1 维运动波法或动力波法计算。地下水流动分山丘区和平原区分别进行数值解析, 并考虑其与地表水、土壤水及河道水的水量交换。

详细内容请参见有关参考文献 [1, 9-10]。

2.2 流域水资源二元演化模型

取用水等人工侧支水循环过程与自然水循环过程相互影响, 因此需要将二者耦合模拟以反映流域水资源实际演化机理。为此, 本研究将大流域分布式水文模型 WEP-L 和集总式水资源调配模型 WARM (Water Allocation and Regulation Model) 相耦合, 建立起流域水资源二元演化模型。受篇幅限制, 集总式水资源调配模型请参见文献 [1, 11]。

WEP-L 模型与 WARM 模型的耦合见图 2 (1) 具体通过 WEP-L 分布式模拟结果的时空尺度聚合与 WARM 集总式调控结果的时空展布来实现。(2) 耦合模拟包括两种类型, 一是历史系列或是某个时间断面的模拟; 二是对于未来过程或某一时间断面的模拟。(3) 耦合是双向和交互式的, WEP-L 模型为 WARM 模型提供来水信息、WARM 模型为 WEP-L 模型提供各类用水要求和水利工程的调度规则, 并通过信息反馈不断修正。

2.3 输入数据处理与模型参数

输入数据的处理包括: (1) 河网水系生成、子流域划分及其编码, 基本计算单元(等高带)的划定与计算顺序的确定; (2) 降水等气象要素的时空展布; (3) 下垫面要素信息(如土地利用、土壤、水文地质、

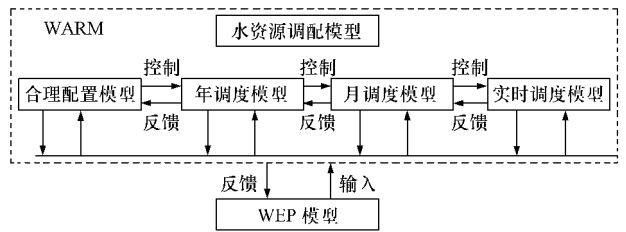


图 2 大流域分布式水文模型 WEP-L 与水资源调配模型 WARM 的耦合

植被、水库、湖泊、河道、灌区、水土保持等)的综合处理; (4) 社会经济要素(人口、GDP、灌溉面积、粮食产量等)和各类取用水信息的时空展布; (5) 准备 8 485 个子流域、河道(包括空间拓扑关系)的基本属性表, 38 720 个计算单元的基本属性表, 以及上述各类数据的输入文件, 为 WEP-L 模型的应用创造条件。

WEP-L 模型的参数可分为三类。一类是地表面及河道系统参数, 包括坡面和河道的曼宁糙率、河床材料的覆盖厚度及透水系数、城市土地利用的不透水性率及地表洼地最大储留深; 再一类是植被参数, 包括植被覆盖率、最大截留深、叶面指数(LAI)、空气动力学阻抗、叶孔阻抗及根系分布参数; 最后一类是土壤与含水层参数, 包括土壤层厚度、土壤空隙度、土壤入渗湿润峰吸力、饱和土壤导水系数、土壤水分~吸力特征曲线参数、土壤水分~导水系数关系参数、含水层厚度、含水层导水系数和含水层产水系数等。所有参数均有物理意义, 理论上讲可根据观测实验数据和遥感数据进行推算而无需率定。但由于这些参数在每个计算单元内仍具有空间变异性, 模拟计算时往往使用其单元内平均参数或称有效参数, 因此通常仍根据流量过程线及地下水位的观测结果对一些关键参数进行适当调整。WEP-L 模型的关键参数包括饱和土壤导水系数、城市土地利用的不透水性率、地表洼地最大储留深、曼宁糙率、含水层导水系数、含水层产水系数和河床材料透水系数 7 个。

2.4 模型验证

本研究进行了 1956 年至 2000 年共 45 年的变时间步长(1 h~1 d)连续模拟计算。其中 1980 年至 2000 年的 21 年取为模型校正期, 主要校正参数包括土壤饱和导水系数、河床材料透水系数和 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: (1) 模拟期年均径流量误差尽可能小; (2) Nash-Sutcliffe 效率

尽可能大; (3)模拟流量与观测流量的相关系数尽可能大。模型校正后,保持所有模型参数不变,对1956年至2000年(验证期)的连续模拟结果进行验证,验证基础为23个主要水文测站45年逐日和逐月实测径流系列。

黄河部分主要水文断面实测河川径流模拟校验结果见表1。唐乃亥站、兰州站和花园口站45年天然河川月径流过程模拟校验结果见图3。从校验结果来看,1956~2000年系列各站多年平均实测径流量、模型 Nash-Sutcliffe效率系数以及月径流过程均拟合的比较好。因此,所构建的模型具有较高模拟精度,可应用于黄河流域二元水循环过程模拟和水资源演变规律分析。

表1 黄河部分主要水文断面实际河川径流模拟校验结果

水文站	实测年均径流 /亿 m ³	计算年均径流 /亿 m ³	相对误差 /%	Nash-Sutcliffe效率
唐乃亥(黄河干流)	205.6	203.1	-1.2	0.821
贵德(黄河干流)	207.2	210.4	1.5	0.819
兰州(黄河干流)	313.1	312.9	-0.1	0.787
三门峡(黄河干流)	357.9	353.0	-1.4	0.621
花园口(黄河干流)	390.6	395.3	1.2	0.689

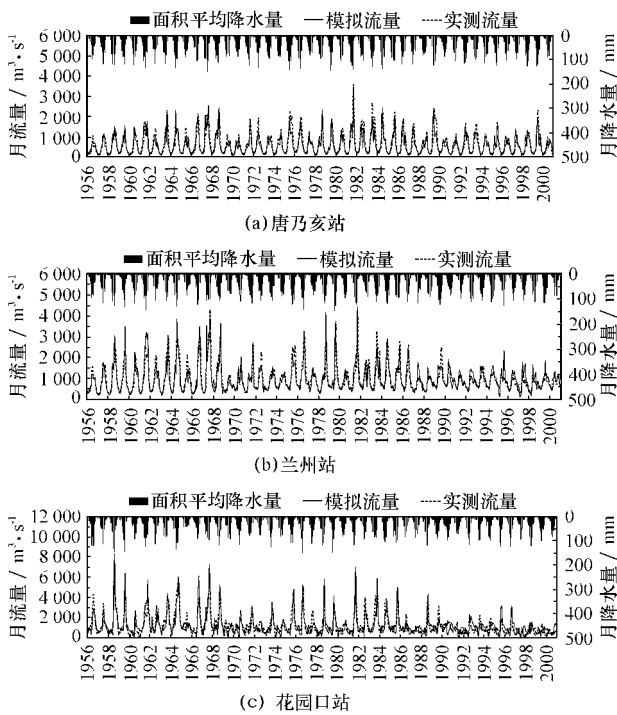


图3 实测月径流过程模拟校验结果

3 水资源层次化动态评价方法

水资源的本质特征包括有效性、可控性和可再生

性三个方面,水资源评价相应地有三个评价准则。有效性是指,对社会经济发展和生态环境具有有效用的水分均可以看作是水资源;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形成和转化过程中,其作为可再生性资源的充分必要条件是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。广义水资源总量等于不重复的有效蒸散发量与狭义水资源总量之和,可用式(1)表示

$$W_s = (R_s + R_g) + E_p + E_{ss} + E_{es} \quad (1)$$

式中, W_s 为广义水资源量; R_s 为地表水水资源量; R_g 为不重复的地下水水资源量; E_p 为冠层截流蒸散发量; E_{ss} 为地面截流有效蒸发; E_{es} 为与地表水、地下水不重复的土壤水有效蒸散发量。

本研究认为,林草冠层蒸发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,因此林草冠层截流蒸发是有效的;居民与工业用地是人类居住和活动的集散地,蒸发可以起到降温、湿润等直接的环境作用,本次研究认为这一部分蒸发也是有效的。对于地面截流蒸发,本次研究认为居民与工业用地上的地面截流蒸发、作物和林草棵间截流蒸发分别对于人类和生态环境主体是有直接环境效用的,应将其纳入到有效的广义水资源范畴。对于难利用土地截流蒸发(沼泽地除外)、稀疏草地的大棵间截流蒸发等都作为无效蒸发;对于土壤水蒸散发当中,蒸腾耗散的水分直接参与了生物量的生成属于有效水分,另外居民与工业用地土壤蒸发、作物和林草棵间土壤蒸发对于人类和生态环境主体也有直接环境效用,作为有效蒸发。潜水蒸散发是从狭义的地下水水资源转化而来,全部属于有效水分。

本研究中狭义水资源评价的口径与传统水资源评价口径一致,即地表水资源量与不重复的地下水水资源量之和。

4 水资源评价结果

在2000年现状下垫面和取用水影响情景下,黄河流域1956~2000年系列各二级分区的广义水资源评

表 2 现状条件下黄河流域广义水资源评价结果 亿 m³

水资源分区	降水量	狭义水资源	有效降水利用量			总量	广义水资源
			农田有效蒸散	林草有效蒸散	居工地有效蒸发		
黄河区	3 563.0	676.4	890.9	1 173.3	15.9	2 080.1	2 756.6
龙羊峡以上	632.3	212.1	5.5	227.2	0.1	232.8	444.8
龙羊峡至兰州	433.0	116.1	48.5	182.8	1.0	232.3	348.4
兰州至河口镇	427.6	53.7	119.6	116.7	2.8	239.1	292.9
河口镇至龙门	480.2	49.2	144.6	143.0	0.6	288.2	337.4
龙门至三门峡	1 038.9	143.5	386.8	330.1	6.7	723.6	867.1
三门峡至花园口	274.7	50.3	89.6	118.5	1.6	209.7	260.0
花园口以下	157.8	32.0	85.8	20.8	2.9	109.5	141.5
内流区	118.6	19.5	10.5	34.1	0.1	44.7	64.3

价结果见表 2。从表 2 结果看出, 黄河流域 1956~2000 年系列平均降水量为 3 563 亿 m³, 现状下垫面和取用水影响情景下平均广义水资源量为 2 756.6 亿 m³ 占降水的 77.4%, 其中非径流性有效水分为 2 080 亿 m³, 是径流性狭义水资源的 3.1 倍, 这表明以土壤水等其他形式赋存的有效降水对于经济和生态系统起到重要的支撑作用。在各二级区当中, 三一花区间的广义水资源占降水比例最高, 占 94.7%, 而内流区比例广义水资源比例最低, 占 54.2%。

黄河流域 1956~2000 年系列分区狭义水资源评价结果见表 3。从表 3 结果可以看出, 2000 年现状下垫面和取用水条件下黄河流域传统的狭义水资源总量为 676.4 亿 m³, 其中地表水资源量为 548.7 亿 m³, 地下水资源量为 404.2 亿 m³, 不重复的地下水资源量为 127.7 亿 m³。

表 3 现状条件下黄河流域狭义水资源评价 亿 m³

水资源分区	地表水资源量	地下水资源量		狭义水资源总量
		资源总量	不重复资源量	
黄河区	548.7	404.2	127.7	676.4
龙羊峡以上	210.1	65.3	1.9	212.1
龙羊峡至兰州	112.8	37.0	3.4	116.1
兰州至河口镇	18.5	58.6	35.2	53.7
河口镇至龙门	42.3	40.0	6.9	49.2
龙门至三门峡	104.5	125.1	39.0	143.5
三门峡至花园口	39.2	35.1	11.0	50.3
花园口以下	18.0	23.6	14.0	32.0
内流区	3.3	19.5	16.2	19.5

现状条件下 1956~2000 年系列黄河干流各主要断面水资源评价结果见表 4。从表 4 结果可以看出, 2000 年现状条件下 45 年系列黄河花园口断面天然年径流量为 485.4 亿 m³, 不重复地下水资源量为 97.5 亿 m³, 水资源总量为 582.9 亿 m³。

5 黄河流域水资源演变规律

5.1 历史演变规律分析

黄河流域 1956~2000 年系列狭义水资源评价的“历史仿真”结果见表 5。可以看出, 在“自然—人工”双驱动力作用下, 黄河流域 1980~2000 年系列平均狭义水资源总量较 1956~1979 年系列减少 3.1%, 其中地表水资源衰减 6.9%, 但不重复的地下水资源增加了 21.4%。

表 4 现状条件下黄河主要断面 1956~2000 年系列

狭义水资源评价结果 亿 m³

主要断面	地表水资源量	地下水资源量		狭义水资源总量
		资源总量	不重复资源量	
贵德	201.7	65.3	1.9	203.6
兰州	308.0	102.2	5.3	313.3
头道拐	313.6	160.9	40.5	354.1
龙门	351.5	200.9	47.4	398.9
三门峡	448.9	325.9	86.5	535.4
花园口	485.4	361.0	97.5	582.9

表 5 黄河流域狭义水资源系列仿真评价 亿 m³

时段/年	地表水资源量	地下水资源量		水资源总量
		资源总量	不重复资源量	
1956~1959	608.6	372.8	69.4	678.0
1960~1969	650.2	383.0	89.7	739.9
1970~1979	569.8	396.5	112.0	681.7
1980~1989	614.0	395.8	109.9	723.9
1990~2000	524.9	393.7	122.8	647.7
1956~1979	609.4	386.9	96.2	705.6
1980~2000	567.1	394.7	116.8	683.9
1956~2000	548.7	404.2	127.7	676.4

5.2 取用水对流域水资源演变的影响

以 2000 年现状下垫面条件为基础, 黄河流域有、无取用水两种情景下的 45 年系列水资源评价结果见表 6。可以看出, 人工取用水对于流域水资源演变影响主要表现在: (1) 改变了狭义水资源的构成, 人工取用水通过袭夺河水减少了地下水的河川排泄量, 从而使得河川径流量有明显减少, 不重复的地下水资源量有明显增加。虽然狭义水资源总量没有太大变化, 但水资源构成变化带来一系列生态环境后果, 包括河流生态系统的维护和地下水超采负面生态环境后效等问题。(2) 有效降水利用量有所增加, 主要是因为人工取用水造成地下水位下降, 包气带增厚, 增加了有效土壤水资源量, 有利于降雨就地利用。

表 6 有、无取水情景下的水资源评价对比

亿 m³

情景 分区	有人工取水情景					无人工取水情景				
	地表水资源	地下水总量	不重复地下水	水资源总量	有效蒸散发	地表水资源	地下水总量	不重复地下水	水资源总量	有效蒸散发
龙羊峡以上	210.1	65.3	1.9	212.1	232.8	210.9	65.0	1.85	212.8	232.5
龙羊峡至兰州	112.8	37.0	3.4	116.1	232.3	114.7	35.6	0.63	115.3	228.9
兰州至河口镇	18.5	58.6	35.2	53.7	239.2	19.5	47.6	28.89	48.3	224.2
河口镇至龙门	42.3	40.0	6.9	49.2	288.2	43.3	47.1	10.32	53.6	287.3
龙门至三门峡	104.5	125.1	39.0	143.5	723.6	120.1	119.3	28.27	148.4	725.9
三门峡至花园口	39.2	35.1	11.0	50.3	209.8	48.1	31.2	1.26	49.3	214.5
花园口以下	18.0	23.6	14.0	32.0	109.5	24.0	13.7	8.63	32.7	113.6
内流区	3.3	19.5	16.2	19.5	44.8	3.3	21.5	19.31	22.6	43.6
总计	548.7	404.2	127.7	676.4	2 080.1	583.9	381.1	99.2	683.1	2 070.5

表 7 历史系列下垫面和现状下垫面水资源评价结果对比

亿 m³

情景 分区	历史下垫面					2000年下垫面				
	地表水资源	地下水总量	不重复地下水	水资源总量	有效蒸散发	地表水资源	地下水总量	不重复地下水	水资源总量	有效蒸散发
龙羊峡以上	223.3	67.7	1.8	225.1	207.3	210.1	65.3	1.9	212.1	232.8
龙羊峡至兰州	123.5	37.7	2.3	125.9	218.9	112.8	37.0	3.4	116.1	232.3
兰州至河口镇	19.9	58.3	33.7	53.5	233.1	18.5	58.6	35.2	53.7	239.2
河口镇至龙门	41.1	37.0	5.3	46.4	275.4	42.3	40.0	6.9	49.2	288.2
龙门至三门峡	114.8	116.2	29.3	144.2	699.9	104.5	125.1	39.0	143.5	723.6
三门峡花园口	42.3	35.4	7.8	50.1	176.2	39.2	35.1	11.0	50.3	209.8
花园口以下	21.4	19.8	11.6	33.0	108.4	18.0	23.6	14.0	32.0	109.5
内流区	3.1	18.6	14.9	18.0	46.8	3.3	19.5	16.2	19.5	44.8
总计	589.4	390.6	106.7	696.2	1 966.2	548.7	404.2	127.7	676.4	2 080.1

5.3 下垫面变化对流域水资源演变的影响

历史实际系列下垫面情景和 2000年现状下垫面情景下的水资源评价结果进行评价对比结果见表 7。可以看出,下垫面变化对流域水资源演变影响主要表现在:(1)狭义水资源的总量减少了 20亿 m³,其中地表水减少了 41亿 m³,不重复地下水增加了 21亿 m³。这主要是因为随着水土保持、田间整治、梯田建设等各项人工措施实施,不利于地表水产流,而增加了垂向的下渗量。(2)有效降水利用量增加 113.9亿 m³,不仅利用了就地拦蓄下来的径流性水资源,而且还增加了原有一部分无效的土壤水和地表截流。(3)广义水资源总量增加 94.1亿 m³。在上述狭义水资源衰减、其他形式有效水分增加的作用下,流域广义水资源量仍有一定幅度增加。

6 结 论

本研究的主要结论如下。

(1)将分布式流域水文模型(WEP-L)和集总式水资源调配模型(WARM)相耦合,建立并验证了流域水资源二元演化模型。

(2)应用 WEP-L模型提出了黄河流域现状下垫面和取水影响情景下的全口径水资源评价成果。1956~2000年系列平均降水量为 3 563亿 m³,平均广义水资源量为 2 756.6亿 m³占降水的 77.4%,其中非径流性有效水分为 2 080亿 m³,狭义水资源总量为 676.4亿 m³。地表水资源量为 548.7亿 m³,地下水资源量为 404.2亿 m³,不重复的地下水资源量为 127.7亿 m³。

(3)根据黄河流域 1956~2000年系列水资源评价的“历史仿真”结果,黄河流域 1980~2000年系列平均狭义水资源总量较 1956~1979年系列减少 3.1%,其中地表水资源衰减 6.9%,但不重复的地下水资源增加了 21.4%。

(4)通过 2000年现状下垫面条件下,黄河流域有、无取水两种情景下的 45年系列模拟结果对比,以及历史实际系列下垫面情景和 2000年现状下垫面情景下的评价结果比较,人类活动影响下的黄河流域水资源演化规律主要表现在:(1)改变了狭义水资源的构成,即河川径流量有明显减少,不重复地下水明显增加。这也合理揭示了为什么后来的水资源评价中不重复地下水量比我国第一次水资源评价结果(82亿 m³, 1956~

1979年系列)增大。虽然狭义水资源总量略有衰减,但水资源构成的急剧变化将带来一系列生态环境后果,因此在黄河流域水资源开发利用中应注意地下水的超采问题,以利于河流生态系统的维护和避免地下水超采引起生态环境问题。(2)有效降水利用量增加,不仅利用了就地拦蓄下来的径流性水资源,而且还增加了原有一部分无效的土壤水和地表截流。(3)在狭义水资源衰减的同时,由于有效蒸散发量的增加提高了降水的有效利用,流域广义水资源量仍有一定幅度增加。

总之,该项研究成果对客观评价水土保持生态建设、农田基本建设等土地利用变化的水文水资源效应,对黄河的治理规划、水资源调配管理和水安全战略具有重要参考应用价值。

致谢:本研究得到国家重点基础研究发展规划“973”项目(G1999043602)的资助。水利部黄河水利委员会对本研究给予了极大的支持和帮助。

参考文献:

[1] 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,2005.

[2] 水利电力部水文局.中国水资源评价[M].北京:水利电力出版社,1987.

[3] Milorad Miloradov, Prvoslav Marjanovic. Guidelines for conducting water resources assessment: a contribution to IHP-IV project M-1-1 (a) [M]. Paris: UNESCO Publishing, 1998.

[4] 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.

[5] 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,2004,35(2),1-4.

[6] Singh V P, Woolhiser D A. Mathematical modeling of watershed hydrology[J]. Journal of Hydrologic Engineering ASCE, 2002, 7(4): 270-292.

[7] 贾仰文,王浩.分布式流域水文模拟研究进展及未来展望[J].水科学进展,2003,14(增刊):118-123.

[8] Verdin K L, Verdin J P. A topological system for delineation and codification of the Earth's river basins[J]. Journal of Hydrology, 1999, 218: 1-12.

[9] Jia Y, Ni G, Kawahara Y, et al. Development of WEP model and its application to an urban watershed[J]. Hydrological Processes, 2001, 15(11): 2175-2194.

[10] 贾仰文. WEP模型的开发和应用[J].水科学进展,2003,14(增刊):50-56.

[11] 王浩,秦大庸.黄淮海流域水资源合理配置[M].北京:科学出版社,2004.

(责任编辑 欧阳越)

· 简 讯 ·

关于组织申报 2006年度大禹水利科学技术奖的通知

各流域机构,部直属科研院(所)及事业单位,各省(自治区、直辖市)水利(水务)厅(局),新疆生产建设兵团水利局,中国水利学会各省级学会、专业委员会及团体会员单位:

现将2006年度大禹水利科学技术奖(下简称大禹奖)的组织申报和推荐工作的有关事项通知如下。

一、申报条件

2006年度大禹奖的申报工作应严格按照新修订的《大禹奖奖励办法》的规定进行,并注意如下。

1. 申报奖励的科技成果须符合大禹奖的奖励范围并附有齐全的申报材料。自2006年起,大禹奖的奖励范围在以往基础上增加了“其他科学技术成果”类,包括水利标准、计量、科技信息、科学普及等科技基础性研究,以及规划、政策、战略、管理等软科学研究。

2. 申报奖励的科技成果应不存在成果权属、主要完成单位和主要完成人及其排序等方面的争议。

3. 凡已获得或正在申报各省(自治区、直辖市)科技进步奖及其他行业奖的科技成果,不得申报大禹奖。

4. 每项科技成果只能通过一个推荐单位申报。

5. 推荐单位原则上应推荐2001年初至2005年底结题的成果。

二、申报与推荐

凡申报奖励的单位应向推荐单位提供齐全的申报材料,由推荐单位进行审核。

设有科学技术奖的推荐单位,原则上应从获本单位二等奖以上的成果中择优推荐;未设科学技术奖的推荐单位,推荐的项目须经九名以上具有高级职称的同行专家评议后择优推荐。

推荐单位可通过中国水利学会网站(www.ches.org.cn)和中国水利科技网(www.chinawater.net.cn)下载《大禹水利科学技术奖推荐书》(含《应用及经济效益证明》表,见附件1)和《大禹水利科学技术奖推荐项目汇总表》(见附件2),填写后连同申报材料(均一式三份)一并报送大禹奖奖励工作办公室。

经研究,决定每项申报成果酌收技术服务赞助费3000元。请与申报材料一并寄送至大禹奖奖励工作办公室(户名:中国水利学会;帐号:2610178863;开户行:建行北京市宣武支行)。

三、时间安排

各推荐单位应在2006年3月1日之前做好组织申报工作。奖励工作办公室于2006年3月1日开始同时接受书面和网上推荐(二者缺一不可),3月31日截止,逾期不予受理。

四、如有其他问题请与大禹奖奖励工作办公室联系

联系人:赵晖

联系电话:010-63204550

传 真:010-63202154

联系地址:北京市宣武区白广路二条2号

E-mail: dayu@mwr.gov.cn

(摘自“中国水利 国际合作与科技网”2006年1月18日)