

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

贾仰文, 王 浩, 周祖昊, 游进军, 甘治国, 仇亚琴, 陆垂裕, 罗翔宇

(中国水利水电科学研究院水资源研究所, 北京 100038)

摘要: 针对高强度人类活动作用下海河流域水循环的“自然-人工”二元特性, 开发了流域二元水循环模型(简称“二元模型”)。二元模型由分布式流域水循环模型(WEP)、水资源合理配置模型(ROWAS)和多目标决策分析模型(DAMOS) 3 个模型耦合而成。针对各模型的优势与不足, 提出了两层耦合的技术路线, 以实现统筹考虑水资源、宏观经济与生态环境的流域水资源综合管理分析的功能。WER、ROWAS 和 DAMOS 分别采用 11752 个、125 个和 8 个计算单元对海河流域进行划分, 在获取各类输入参数后, 应用二元模型对海河流域进行了分析计算与模型验证。结果表明, 所建立的二元模型对径流过程、入海水量以及地下水流场等均具有合理的模拟精度, 模型得到验证, 可望用作海河流域水资源规划与管理的情景分析工具。

关键词: 水循环; 水资源; 分布式水文模型; 二元模型; 海河流域

中图分类号: P339 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-6791(2010)01-0001-08

随着中国经济的发展和人口的增长, 流域水循环已从“自然”模式占主导逐渐转变为“自然-人工”二元模式^[1]。自然水循环过程由降水、植被冠层与洼地截留、蒸发蒸腾、入渗、地表径流、壤中径流、地下径流和河道汇流等构成, 其驱动力是太阳辐射、重力和风力等自然驱动力。“自然-人工”二元水循环不但包括上述自然水循环过程, 而且包括取水、输水、配水、用水、耗水和排水等人工侧支水循环(或社会水循环)过程, 其驱动力既有自然驱动力, 又有社会经济驱动力。

分布式水文模型从 20 世纪 80 年代以来得到很大发展及应用^[2-4], 其优势是对自然水循环过程进行分布式模拟, 但本身没有水资源的配置调度功能, 在模拟人工侧支水循环过程方面受到限制。水资源配置模型近年也得到广泛研究与应用^[1, 5-6], 其优势在于对水资源的供需平衡分析和水库调度, 但研究内容仅限于径流性水资源, 缺少对包括蒸发蒸腾在内的水循环全要素的平衡分析。而多目标决策分析模型^[5-6]的优点是将水资源分配与宏观经济和产业结构密切关联, 但分析时空尺度往往过大, 不能对小区域及河道断面的水循环过程进行调控分析。因此, 需要将 3 类模型耦合起来, 才能共同实现统筹考虑水资源、宏观经济与生态环境的流域水资源综合管理分析的功能。

针对上述问题, 贾仰文和王浩^[2]曾将分布式水文模型和集总式水资源调配模型相耦合, 建立了流域二元水循环模型, 并应用模型进行了黄河流域水资源评价、分析了黄河流域水资源演变规律。本文在上述研究基础上, 结合海河流域的特点以及未来水资源管理战略研究的需要, 除建立海河流域分布式水循环模型及水资源配置模型外, 还增加了考虑宏观经济的多目标决策分析模型, 并进行 3 个模型间的耦合研究, 试图完善和发展流域二元水循环模型。

收稿日期: 2009-03-25

基金项目: 国家自然科学基金创新研究群体基金资助项目(50721006); 国家重点基础研究发展计划(973)资助项目(2006CB403404); GEF 海河 KM 流域级应用系统开发资助项目(HW 7-17)

作者简介: 贾仰文(1965-), 男, 山东成武人, 教授级高级工程师, 博士, 主要从事水文水资源方面研究。

E-mail: jayw@iwhr.com

1 模型构成与耦合关系

海河流域二元水循环模型, 简称二元模型, 由分布式流域水循环模型 (WEP)^[7-9]、水资源配置模型 (ROWAS)^[10]和多目标决策分析模型 (DAMOS)^[11]耦合而成, 并基于地理信息系统 (GIS)平台 and 专用数据库。在对每个模型开发调试后, 进行模型的耦合和反馈, 最终实现二元模型的开发和调试工作。

1.1 分布式流域水循环模型 (WEP)

在二元模型中, WEP^[2, 9, 12-13]用来模拟历史或不同规划方案下的海河流域水循环和水环境状况。WEP模型包括 3 个子模块:

(1) 分布式流域水文模块^[2, 9] 主要用来模拟水分在地表、土壤、地下、河道以及人工水循环系统中的运动过程。

(2) 地下水数值计算模块^[12] 尽管分布式流域水文模块对全流域地表水和地下水进行统一模拟, 但划分的计算单元在平原区偏大, 不能完全满足平原区地下水管理的需要, 因此, 专门构建了一个地下水数值计算模块, 对平原区地下水进行精细模拟。

(3) 水质模块^[13] 主要用于模拟海河流域地表水环境演变过程。

在运行过程中, 分布式流域水文模块为地下水数值计算模块提供降水入渗补给和人工入渗补给输入, 而地下水数值计算模块为分布式流域水文模块提供地下水计算结果的检验; 水质模块基于分布式流域水文模块提供的水量边界条件进行水环境过程模拟。

1.2 多目标决策分析模型 (DAMOS)

DAMOS^[11]是将社会、经济、环境、水资源等子系统内部及相互之间的约束机制进行高度概括的综合数学模型, 描述资源与资金在“经济-环境-社会-资源-生态”复杂巨系统的各子系统分配关系以及与社会发展模式的协调问题。

DAMOS是一个宏观层次上的模型, 通过多目标之间的权衡来确定社会发展模式及在这种模式下的供水组成和投资组成。其中宏观经济模块、工业农业生产模块、水资源平衡模块、水环境及生态等模块是模型的基础模块。在模型中, 需要建立现状及预测状态下的国内生产总值、工农业生产总值、消费与积累的比例关系。在优化过程中充分考虑节水规划的指导原则, 不断优化产业结构、种植结构和用水结构, 同时结合宏观经济模型和人口模型, 利用需水预测模型进行需水预测, 利用污水处理费用投资来控制污水处理成本, 用绿色当量面积作为衡量生态水平的指标等。

1.3 水资源合理配置模型 (ROWAS)

ROWAS^[10, 14]以对水资源系统的概化为基础, 将复杂水资源系统转化为满足数学描述的框架。以系统概化得到的点线概念, 来表达实际中与水相关的各类元素和相互关联过程, 识别系统主要过程和影响因素, 并对系统的水源和用水户进行分类。水源包括本地蓄水、本地河网水、再生水、外调水等地表水源, 以及浅层、深层等地下水源; 用水户包括农业、工业、三产、城镇生活、农村生活、生态等河道外用水户, 及发电、航运及河道内生态用水等。

通过配置模拟计算, 可以从时间、空间和用户 3 个层面上模拟水源到用户的分配, 并且在不同层次的分配中考虑各种因素的影响。实际中不同类别水源通过各自相应的水力关系传输, 模型采用分层网络的方法描述系统内各类水源的运动过程, 即: 基于各类水力关系将不同水源的运动关系定义为该水源的网络层, 同时又通过计算单元、河网、地表工程节点、水汇等基本元素实现不同水源的汇合和转换, 描述不同水源的水量平衡过程。

1.4 模型耦合

二元模型试图将水文水利计算和水资源评价及规划融为一体。WEP与ROWAS均是模拟模型, 但DAMOS是优化模型, 因此二元模型是模拟模型与优化模型的结合。优化模型分析时空尺度往往较大, 比较

适宜省区之间年尺度分配, 地市之间长系列月尺度分配需要采用水资源合理配置模型。因此, 二元模型最终输出是考虑了经济发展目标与水文循环条件约束的水资源合理配置结果。

二元模型采用两层耦合的方式, 即首先进行 DAMOS和 ROWAS之间的耦合, 然后再与 WEP进行耦合。

第一层耦合, 由 DAMOS得到各省在“经济-环境-生态”等多目标优化条件下的发展模式、供水工程方案组合、用水水平和过程以及污染物排放水平, 由 ROWAS在各规划管理单元(地市套水资源三级区等)进行逐月水资源供用水模拟, 从而得出在不同来水条件下各规划管理单元的缺水程度和供用水平衡结果, 并对 DAMOS的省市区多目标优化结果进行合理性检验和目标调整。

第二层耦合, 在应用 WEP重点分析自然水循环过程的基础上, 采用 ROWAS型处理水资源配置和水库调度, 并对两个模型耦合。根据两个模型的计算过程和数据要求, 模型耦合的核心可以归结为: WEP为 ROWAS提供各节点及规划单元的地表水资源量和地下水补排状况(补给量和排泄量); 而 ROWAS的输出结果在时间和空间尺度上合理展布后, 提供给 WEP并作为指导 WEP水库调度和水量供给分配的依据。通过 WEP精细的分布式模拟, 得到不同来水条件和用水水平下的水循环和水环境各要素的模拟结果, 用于水资源规划情景方案的分析评价等。

图 1 给出了 DAMOS、ROWAS和 WEP 模型之间的研究目标、成果输出和耦合关系。可以看出: DAMOS 作为流域宏观决策层, 给出流域内各省和行业之间的水量优化分配; ROWAS模型通过对该决策目标的模拟分析, 给出该目标下各规划管理单元水量分配过程和工程调度的结果, 再通过时间和空间展布后提供给 WEP; 通过 WEP模拟, 得到流域水循环过程的演变结果, 并反馈给 DAMOS和 ROWAS。整个耦合过程是一个从宏观到中观、再到微观的信息交互过程。

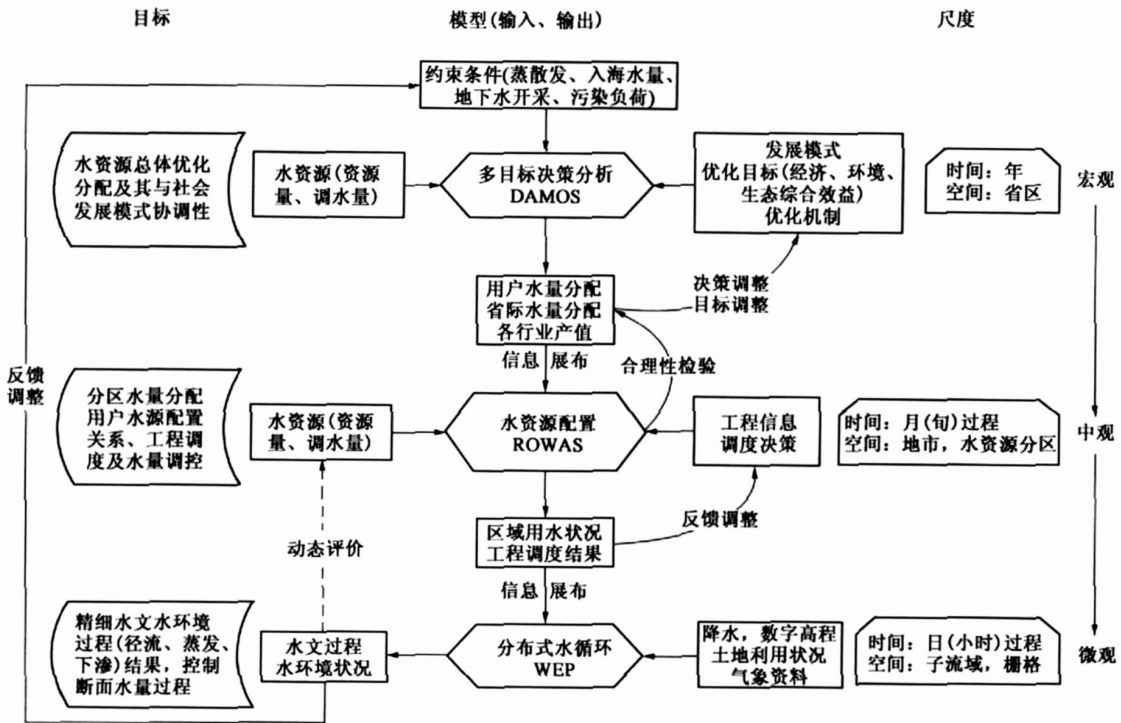


图 1 DAMOS、ROWAS和 WEP 之间的耦合关系

Fig. 1 Coupling relations among DAMOS, ROWAS and WEP

2 输入数据、计算单元划分与参数估算

2.1 输入数据

系统收集了流域多源基础信息,建立信息平台 and 专用数据库。基础信息包括:① 1980~2005年水文气象信息(1502个雨量站,47个气象站,26个水文站,水文气象测站分布见图2(a));② ④地表高程与水系信息(1:25万DEM、河网水系分布、河道断面参数等);④土地利用/植被信息(1985、1995和2000年3期LANDSAT土地利用数据,基于遥感影像的植被盖度、叶面积指数等);④土壤及水文地质参数,水利水保工程信息(水库空间位置及参数、调度规则和运行调度图、灌区空间分布及参数、水土保持措施面积空间分布等);⑤社会经济信息(人口、GDP、产业结构等);⑥供用水信息(社会经济供用耗排水量、灌排制度、管网漏损系数、渠系水利用系数、典型引水过程等);⑦典型年污染物排放与水环境信息(点源与非点源污染物空间分布与排放过程,各监测断面、监测井的水质状况等);⑧水生态信息(水生生态系统结构、功能状况等)。

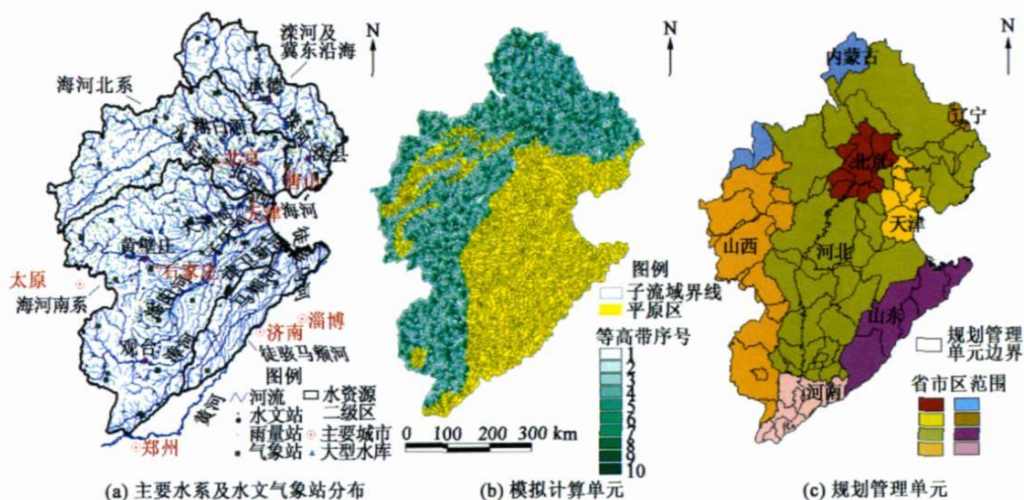


图 2 海河流域概况与单元划分

Fig. 2 Haihe basin and its subdivisions

2.2 计算单元划分

流域水循环模拟和流域水资源规划及管理,都需要对整个流域进行单元划分。按照水循环模拟需要将流域划分为模拟计算单元,按照水资源规划管理需要将流域划分为规划管理单元,模拟计算单元与规划管理单元之间存在有机联系。

(1) 模拟计算单元 以 1:25万 DEM 和 1:25万数字地形图中的河网水系为依据,提取流域数字河网水系,依据 Pfafstetter流域编码规则^[12]将整个海河流域划分为 3067个天然子流域单元,每个子流域平均面积约 104.3 km²。在山区的子流域内部,按等高带进一步划分。这样,海河流域共分为 11752个单元,作为 WEP模型分布式流域水文模块的计算单元(见图2(b))。在海河流域平原区,由于地质条件复杂,地下水数值计算模块对地下水含水层进行概化:将第1层和第2层合并作为浅水含水层;将第3层和第4层合并作为统一的深层含水层。将海河流域平原区用 4km × 4km 网格进行剖分,剖分后海河流域平原区每层含水层的模拟计算单元个数为 8053个,浅层和深层地下水含水层的计算单元总个数为 16106个。

(2) 规划管理单元 海河流域涉及省级行政区 8个,地级行政区 41个,县级行政区 287个;水资源二级区 4个,三级区 15个。规划管理单元划分以 80个三级区套地级行政区为基础,同时为支撑城市及重点县的水资源规划管理,将 26个地级以上城市建成区及 16个重点县分离出来,并考虑与水资源三级区的嵌套。这样,海河流域共划分 125个规划管理单元(见图2(c)),作为 ROWAS模型的计算单元。规划管理单元

同时也是 WEP 和 ROWAS 进行数据交换的基础。通过模型耦合建立的数据转换机制, WEP 基本单元的计算成果可以汇总到各个规划单元, 而 ROWAS 规划单元水量分配结果则可以展布到 WEP 各基本单元, 从而实现水循环模拟和水量配置结果的有机结合。

2.3 用水信息时空展布

历史用水统计信息或水资源配置信息通常是集总形式的(即行政区或规划管理单元的年或月数据), 因此需要通过时间和空间上的信息展布才能用于分布式水文模拟。根据土地利用分布、气象数据、灌区图、作物种植结构及灌溉制度等, 应用 GIS 技术将地级行政区的社会经济信息(人口、工业 GDP 等)及用水信息展布到 1 km 网格, 然后再统计到 WEP 模型的模拟计算单元。用水时空展布包括 4 个步骤: ① 推求灌溉作物、林地及草地的空间分布; ② 根据蒸发及降水数据计算理论灌溉需水的时空分布; ③ 根据行政单元或规划管理单元上的用水、河道断面流量等修正用水时空分布; ④ 农业用水的耗水量包括渠系输水过程耗水量与田间用水过程耗水量的计算, 其中渠系耗水量根据各地市的渠系水利用系数及渗漏系数调查统计数据按水量平衡原理推求, 而田间耗水量则由 WEP 模型的农田非饱和土壤水模拟模块计算; 工业和生活用水的耗水量则根据各地市各部门用水的耗水率(基于水资源综合规划结果)计算。尽管 WaterGAP 2^[15] 提出过用水模拟方法, 但只是根据下垫面推算了用水分布, 而本研究采用的展布方法能够保证各部门用水在行政单元或规划管理单元上与历史统计或规划数据一致。

2.4 参数估算

WEP 模型的参数主要分为 4 类: 下垫面与水系参数, 植被参数, 土壤参数以及含水层参数。所有参数具有物理意义, 可根据观测实验数据或遥感数据来估算。由于参数的空间变异, 模拟时常采用单元均值或有效参数。对上述 4 类参数的敏感性进行了分析^[9], 并根据其灵敏程度, 将这些参数分为高敏感、中敏感、低敏感 3 个级别。高敏感的参数包括地表洼地最大储留深, 土壤孔隙率, 土壤厚度, 土壤以及河床材料的水力传导系数等。选择这些高敏感参数, 根据径流过程及地下水位对模型进行了调试和验证。

ROWAS 模型参数主要包括: ① 规划决策信息, 如渠系利用系数、污水处理率及回用率、渠道过水能力、各类水源供水优先级及利用比例等; ② 需水过程参数, 如各类用户需水量及年内分配过程、生态环境对河道过水要求等; ③ 用水耗水信息, 如现状下各类用户供水结构、耗水率、农业用水下渗率和回归率等。针对历史与现状的模拟时, 这类信息部分可以从统计资料中获取, 但一般不够准确全面, 因此通过模型率定进行了修正。对于规划模型, 根据未来不同情景的预测在现状基础上进行调整后获得。

DAMOS 模型参数大多与 ROWAS 模型参数类似, 但还包括宏观经济方面的参数, 如各行业投入产出系数、居民消费结构、社会消费结构、固定资产投资需求结构、各行业 GDP 增长率、投资占 GDP 比例的上限与下限、进出口占各行业产值的比例、资本形成率、固定资产产出率等。这些参数根据各省统计年鉴推求, 对未来不同情景在现状基础上进行了调整。

3 模型验证

3.1 径流过程与入海水量

采用 1980~2005 年长系列气象资料作为输入, 用 1980~1989 年 10 年径流观测数据对模型进行参数校核, 保持参数不变用 1990~2005 年 16 年数据对模型进行验证。图 3 是海河流域 3 个主要控制站的对比过程(未能收集到 2001~2005 年径流观测)。从模拟结果的统计分析来看, 模拟的 1980~2000 年年均径流量误差在 7% 以内; 月径流量的 Nash-Sutcliffe 效率系数在 60%~80%; 模拟月径流量与观测系列的相关系数达到 80% 以上。因此, 模型对径流过程的模拟具有较为满意的精度。

海河流域现有大小入海河口 43 个, 其中有径流测站的主要入海河口有海河干流、滦河、漳卫新河等 12 个。根据文献[16]以及 2001~2005 年中国水资源公报, 1980~2005 年多年平均实测入海总水量为 35 亿 m³。模型模拟同期平均入海总水量为 38 亿 m³, 模拟精度合理。

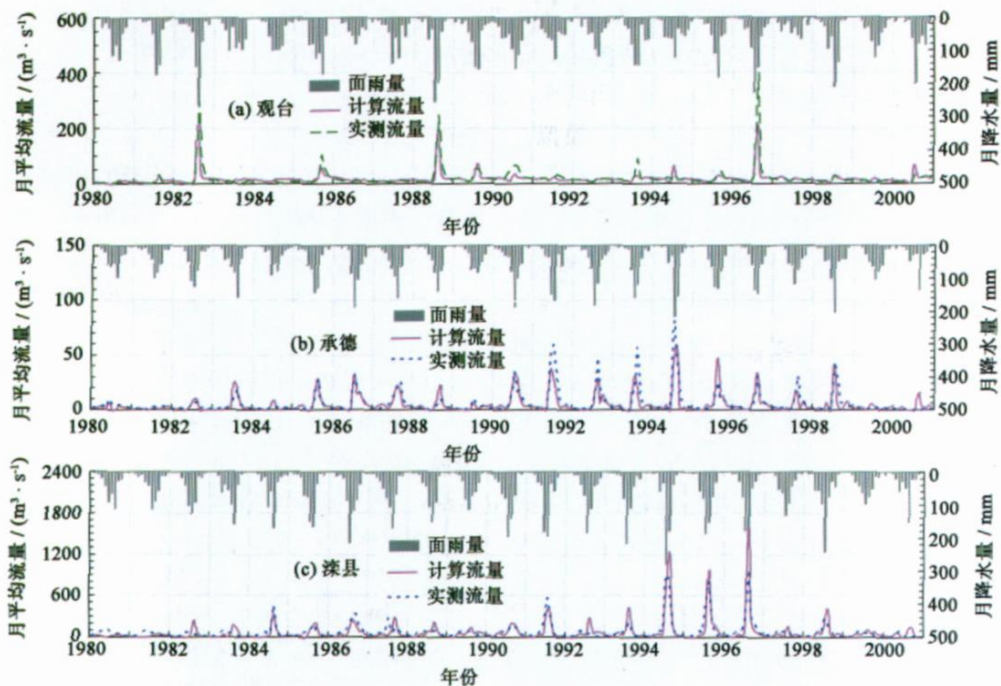


图 3 海河流域主要水文站月径流过程模拟结果与实测结果的对比

Fig 3 Comparison of simulated and observed monthly river flows at main gauges

3.2 地下水水位

通过对 1995~2000 年地下水分区补给量和排泄量的合理分析和对水文地质参数的率定, 完成了现状地下水数值模拟。图 4 是 2000 年潜水水位等值线模拟结果与实测结果对比 (模拟的起始时间是 1995 年初)。可以看出, 模拟结果很好的再现了实测结果, 表明二元模型在地下水流场模拟中具有较高的精度。

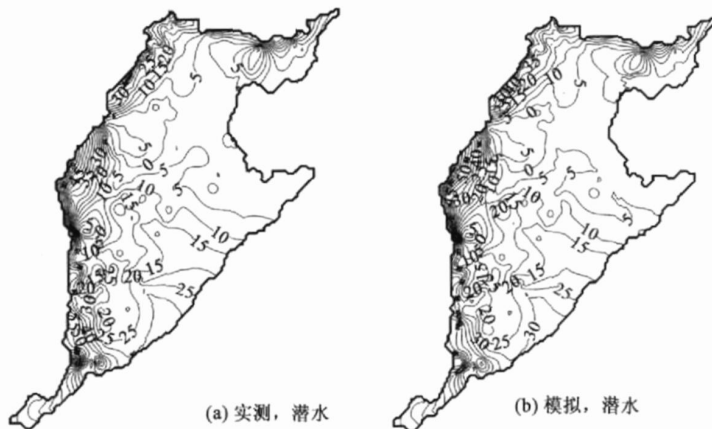


图 4 2000 年潜水水位等值线模拟成果与实测对比

Fig. 4 Comparison of simulated and observed shallow groundwater contour lines in 2000

4 结 论

针对强烈人类活动作用下流域的“自然-人工”二元水循环特性, 以及当前流域水循环研究存在的实际问题, 即分布式水文模型具有对自然水循环过程进行分布式模拟的功能, 但缺少水资源配置调度功能, 而水

资源配置模型研究内容仅限于径流性水资源, 多目标决策分析模型分析时空尺度往往过大等, 本研究以海河流域为例, 探索了将 3 类模型耦合起来形成流域二元水循环模型、以实现统筹考虑水资源、宏观经济与生态环境的流域水资源综合管理分析。利用开发出的海河流域二元水循环模型, 采用 1980~2005 年长系列气象资料作为输入, 进行了分布式二元水循环耦合模拟, 并利用实测径流数据和地下水水位监测数据等对模型进行了验证。验证结果表明, 该模型具有较强的模拟功能和合理的模拟精度, 可望用来进行海河流域水资源规划与管理的情景分析。

致谢: 参加本研究的还有中国水利水电科学研究院甘泓、杨贵羽、牛存稳、蒋云钟、赵红莉、汪林、韩春苗、高辉、秦昌波、申宿慧、相毅、彭辉、郝春沅等。中国水利水电科学研究院陈蓓玉教授、河北省水文局刘克岩教授等曾给予本研究大力帮助。

参考文献:

- [1] 王浩, 王建华, 秦大庸. 流域水资源合理配置的研究进展与发展方向 [J]. 水科学进展, 2004, 15(1): 123-128. (WANG Hao, WANG Jian-hua, QIN Da-yong. Research advances and direction on the theory and practice of reasonable water resources allocation [J]. Advances in Water Science, 2004, 15(1): 123-128. (in Chinese))
- [2] 贾仰文, 王浩. “黄河流域水资源演变规律与二元演化模型”研究成果简介 [J]. 水利水电技术, 2006, 37(2): 45-52. (JIA Yang-wen, WANG Hao. An introduction to the research on “Evolutionary laws and dualistic evolutionary model of water resources in the Yellow River Basin” [J]. Water Resources and Hydropower Eng. 2006, 37(2): 45-52. (in Chinese))
- [3] 田富强, 胡和平, 雷志栋. 流域热力学系统水文模型: 本构关系 [J]. 中国科学 E 辑: 技术科学, 2008, 38(5): 671-686. (TIAN Fu-qiang, HU He-ping, LEI Zhi-dong. Watershed thermodynamic system hydrological model Constitutive relationship [J]. Science in China Series E: Technological Sciences, 2008, 38(5): 671-686. (in Chinese))
- [4] 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 Da-wen, LI Chong, NI Guang-heng, et al. Application of a distributed hydrological model to the Yellow River basin [J]. Acta Geographica Sinica, 2004, 59(1): 143-154. (in Chinese))
- [5] 翁文斌, 王忠静, 赵建世. 现代水资源规划——理论、方法和技术 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2004. 426. (WENG Wen-bin, WANG Zhong-jing, ZHAO Jian-shi. Modern water resources planning Theory, methodology and technology [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2004. 426. (in Chinese))
- [6] 左其亭, 窦明, 吴泽宁. 水资源规划与管理 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2005. (ZUO Qi-ting, DOU Ming, WU Ze-ning. Water resources planning and management [M]. Beijing: China Water Power Press, 2005. (in Chinese))
- [7] 贾仰文, 王浩, 严登华. 黑河流域水循环系统的分布式模拟: I 模型开发与验证 [J]. 水利学报, 2006, 37(5): 534-542. (JIA Yang-wen, WANG Hao, YAN Deng-hua. Distributed model of hydrological cycle system in Heihe River basin: I model development and verification [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2006, 37(5): 534-542. (in Chinese))
- [8] JIA Y W, NIG H, KAWAHARA Y, et al. Development of WEP model and its application to an urban watershed [J]. Hydrological Processes, 2001, 15(11): 2175-2194.
- [9] JIA Y W, WANG H, ZHOU ZH, et al. Development of the WEP-L distributed hydrological model and dynamic assessment of water resources in the Yellow River basin [J]. Journal of Hydrology, 2006, 331: 606-629.
- [10] YOU J J, GAN H, WANG L, et al. A rules-driven object-oriented simulation model for water resources system [C] // Proc of XXXI IAHR Congress, Seoul IAHR, 2005. 4493-4502.
- [11] GAN Z G, JIANG Y Z, SHEN Y Y. Water resources allocation model with ET as a core concept (in Chinese) [C] // Proc of the 3rd Youth Science and Technology Forum of CHES Chengde [s.n.], 2007: 118-125.
- [12] 陆垂裕. 宁夏平原区分布式水循环模型研究 [R]. 北京: 中国水利水电科学研究院, 2006. (LU Chu-yu. Distributed hydrological model research in the Ningxia plain [R]. Beijing: China Institute of Water Resources & Hydropower Research, 2006. (in Chinese))
- [13] JIA Y W, NIU C W, WANG H. Integrated modeling and assessment of water resources and water environment in the Yellow River basin [J]. Journal of Hydro-environment Research, 2007, 1(1): 12-19.
- [14] 游进军, 甘泓, 王浩, 等. 基于规则的水资源系统模拟 [J]. 水利学报, 2005, 36(9): 1043-1049. (YOU Jin-jun, GAN

- Hong WANG Haq et al. A rules-based object-oriented simulation model for water resources system [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2005, 36(9): 1043-1049. (in Chinese)
- [15] DÖLL P, KASPAR F, LEHNER B. A global hydrological model for deriving water availability indicators: model tuning and validation [J]. Journal of Hydrology, 2003, 270(1/2): 105-134.
- [16] 任宪韶. 海河流域水资源评价[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2007: 339. (REN Xian-shao. Water resources assessment of the Haihe River basin [M]. Beijing: China Water Power Press, 2007: 339. (in Chinese))

Development and application of dualistic water cycle model in Haihe River Basin: I. Model development and validation*

JIA Yang-wen, WANG Haq, ZHOU Zu-hao, YOU Jin-jun, GAN Zhi-guo,

QIU Ya-qin, LU Chu-yu, LUO Xiang-yu

(Department of Water Resources, China Institute of Water Resources & Hydropower Research, Beijing 100038, China)

Abstract A dualistic hydrological cycle model (abbreviated as dualistic model) is developed orienting the natural-artificial dualistic characteristic of hydrological cycle in the Haihe River Basin (HRB) under the strong impacts of human activities, which consists of the distributed watershed hydrological model (WEP), the water resources rational allocation model (ROWA) and the multi-objective decision model (DAMOS). A two-layered coupling technique is adopted to realize the function for integrated water resources management analysis. The HRB is respectively partitioned into 11, 752, 125 and 8 application units for the execution of WEP, ROWA, and DAMOS. The dualistic model is calibrated and validated using the observations from the HRB. The result shows that the simulated evapotranspiration, river flow, flow discharge into the sea and groundwater flow field compare well to the observations, which demonstrates the potential of using the dualistic model for scenario analysis of water resources planning and management in the HRB.

Key words water cycle; water resources; distributed hydrological model; dualistic model; Haihe River Basin

* The study is financially supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 50721006), the National Basic Research Program of China (No. 2006CB403404) and the GEF Haihe Program (No. HW 7-17).