

文章编号: 1672-3031(2017)02-0081-08

面向总量闭合的水资源配置模型与应用

桑学锋, 翟正丽, 王建华, 赵 勇

(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: 水资源总量控制是水资源管理的主要手段, 针对区域来水、取用水分开统计, 导致区域来水、取用耗排水、断面出境水量不闭合问题, 本文从水量控制核算的角度出发, 构建基于水循环转化的水资源配置模型, 通过模拟区域水资源取用耗排过程下的水循环过程, 以区域来水和出境断面水量双向控制方法核算区域水量取用情况。以天津市为例, 在全境多年平均来水 42.1 亿 m^3 (其中外调水 14.7 亿 m^3) 情景下, 2020 年水平年天津市取用水、耗水和排水等总量闭合控制阈值分别为 38.25、22.0 和 16.25 亿 m^3 , 出境水量为 22.1 亿 m^3 , 根据水资源实际需求, 模型给出了各区县不同水源和行业相应的控制阈值, 研究成果可为水资源消耗双控行动、最严格水资源管理和节水型社会建设提供科学支撑。

关键词: 总量闭合; 水资源; 配置; 水资源消耗; 管理

中图分类号: TV213

文献标识码: A

doi: 10.13244/j.cnki.jiwhr.2017.02.001

1 研究背景

水资源配置作为水资源控制的重要手段和核心技术, 受到了国内外研究的广泛关注。国际上应用系统分析方法进行水资源配置的研究始于 20 世纪 50 年代中期, 主要研究单一工程的优化调度, 以后逐渐发展到流域水资源的优化分配, 水资源合理配置的研究内容、配置目标、研究方法以及配置机制都得到了发展。20 世纪 70 年代以来, 伴随计算机技术、系统分析理论和模拟技术的发展及其在水资源领域的应用, 水资源系统模型技术和合理配置研究得以长足进步, 各种水资源管理系统模型应运而生。Letcher 等^[1]构建水资源综合评估模型进行水资源调配和管理, James 等^[2]构建水资源模型从经济学角度分析政策对水资源的影响, Ashley 等^[3]采用降雨径流模型用于评估土地利用变化和支持森林水资源管理措施, 陈守煜等^[4]建立了大连市水资源开发利用与宏观经济协调发展的多目标群决策模型, 左其亭等^[5]提出了面向可持续发展的水资源管理量化模型并对博斯腾湖进行了可持续水资源管理应用研究, 邵东国等^[6]以系统分析的思想建立了面向生态和节水的灌区水资源优化配置序列模型系统, 吴泽宁等^[7]提出了体现水资源调控目标的指标体系及优选模型, 王宗志等^[8]提出基于初始二维水权的流域水资源调控方法, 周惠成等^[9]建立了供水量最大与引水效率最高的多目标联合调度模型开展水资源优化调度。

目前水资源配置多从供水量确定的情景下开展生态、环境、社会和经济多目标的水资源优化配置, 而区域的“降雨-地表水-土壤水-地下水”的水循环与人类“取水-用水-耗水-排水”过程是密不可分的和相互影响的, 前一阶段的人类取用耗排水量, 直接影响下一阶段的可供水量。另外区域来水、取用耗排水、出境水是分开计量统计的, 极易造成区域的取水总量与耗水总量和排水总量不闭合, 且闭差很大。如何诊断闭差出现的环节和大小, 是目前水资源管理面临的难点。

本文根据现实总量不闭合这一实际问题为导向, 认为总量闭合不仅仅是取-用-耗-排之间的平衡

收稿日期: 2016-07-28

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFC0401306, 2016YEC0401407); 国家自然科学基金项目(51679253, 51409274); 水利部专项(水综节水[2006]50号); 云南省重大水利项目(YNWRM-2012-01, YSZD-2014-001)

作者简介: 桑学锋(1978-), 男, 山东邹城人, 博士, 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: 王建华(1972-), 男, 江西上饶人, 博士, 主要从事流域水循环、水资源和节水型社会建设等研究。

E-mail: wjh@iwhr.com

等式, 还应该以关键断面的径流实时监测来诊断来水、取用耗排和断面出流是否闭合, 因此基于水循环模拟的水资源调配模型是科学定量这一过程的有效方法。本文拟构建面向总量闭合的水资源优化配置模型(Water Allocation and Simulation Model, 简称 WAS 模型), 研究基于水文循环模拟的水资源调配模型, 使之能够定量刻画区域人类取用耗排活动影响下的水循环转换, 为总量闭合诊断提供科学技术支撑。

2 模型构建

模型由水循环模拟模块(Water Simulation Module)、水资源配置模块(Water Allocation Module)、再生水模块(Rewater Module)、行业理论用水模块(Water Use Predication Module)和统计分析模块(Result Output Module)组成, 模型结构见图 1。

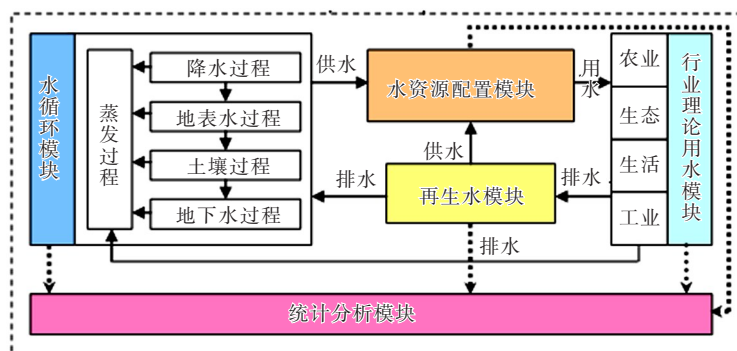


图1 面向总量闭合的水资源配置模型(WAS)框图

2.1 模型计算过程及耦合关系 WAS模型的运算过程如下: 首先通过水循环模块模拟区域的水资源变化, 结合行业用水模块分析区域理论用水量及再生水模块模拟循环利用量, 然后运用配置策略及规则进行水资源合理配置计算, 同时将人工取-用-耗-排水数据反馈给水循环模块进行实时模拟下一时段的区域水资源变化, 以此往复, 直到计算结束, 提出最终优化方案。

模型的功能及相互耦合关系: 模型可以实现地表水和地下水、天然水循环和人工水循环联合模拟, 除了统计分析模块外, 模型中各模拟模块是实时反馈、相互影响的关系。区域水循环模块可以模拟区域的降水、地表产汇流、土壤水、地下水和蒸发等水文过程, 为区域水利供水工程提供来水量; 行业理论用水模型可以分析计算区域经济产业结构下行业用水量过程; 再生水模块可以模拟产业布局下的再生水处理及循环利用过程, 将再生水量汇入相关水利工程; 区域水资源配置模型根据前面的信息进行水资源优化调配。最后给出区域人类活动影响下的水资源循环转换关系并给出定量分析, 为水资源管理的取、用、耗、排总量闭合诊断提供定量支撑。模型内部水循环路径见图2。

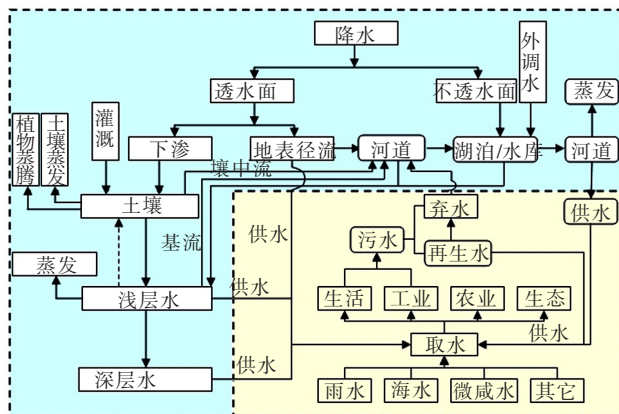


图2 WAS模型水循环转化框图

2.2 模型关键计算方法

2.2.1 地表径流 在工程水文学中常根据降雨径流观测资料,采用实验统计方法(如径流系数法、降雨径流相关图法和推理公式法等),或者通过经验性或概念性流域水文模型(如新安江模型和美国的SCS曲线模型等)来推算地表径流,本文采用径流系数法进行计算。

$$R_b = 0.1 \times \sum R_i \times S_i; R_i = P_i \times \alpha_i \quad (1)$$

式中: R_b 为区域地表产流量(万 m^3); S_i 为 i 单元面积(km^2); R_i 为 i 计算单元时段降雨径流深(mm); P_i 为 i 单元时段降水量(mm); α_i 为与降雨强度、土地利用类型等因素有关的 i 单元降雨径流系数。实际计算中将测报区分成数个计算单元,对各计算单元先求出其面雨量,不同土地利用类型采用不同的径流系数,经面积加权平均求得各测报区的产流量。

2.2.2 地下水计算 (1)补给量计算。

①降水入渗补给量:是潜水分布区的主要补给量。通常用降水量、降水入渗补给系数和计算区面积相乘求得。

②灌溉水入渗补给量:用灌溉季节的灌溉定额、灌溉水入渗补给系数和计算区面积相乘求得。

③地表水入渗补给量:指河、渠、湖、塘等地表水体中的水对地下水的补给量。河、渠对地下水的补给量可用开采区段河渠上下游断面实测的流量之差估算。湖、塘水对地下水的补给量可用水量平衡公式大致计算。

(2)地下水径流。采用地下水库的方式,计算公式如下:

$$R_x = Q_x \times r_x \quad (2)$$

式中: R_x 为区域地下径流量(万 m^3); Q_x 为区域地下水量(万 m^3); r_x 为地下径流系数。

2.2.3 耗水量计算 区域总耗水量包括下垫面的自然蒸散和生活工业过程是耗水,其中下垫面自然蒸散采用积分法,按照地形、地貌、行政区划和流域区域等资料将流域分为若干个计算单元,然后根据各计算单元的土地利用类型和水文气象资料,选用彭曼公式根据单元土地利用类型等计算各单元中的蒸散量 ET_i ,某一时段流域或区域平均自然总蒸散量 ET_r :

$$ET_r = \sum_i^n (ET_i \times F_i) / F; ET_i = \sum_j^m (ET_{ij} \times F_{ij}) / F_i \quad (3)$$

式中: E_r 为全流域或区域的蒸散量(mm); E_i 为各计算单元的蒸散量(mm); F_i 为各计算单元的面积(km^2); F 为全流域或区域面积(km^2); ET_{ij} 为计算单元不同土地类型的蒸散量; F_{ij} 为计算单元不同土地类型的面积; m 为计算单元内土地类型数; n 为计算单元数。

另外,生活工业耗水量计算公式如下:

$$W = \lambda_1 W_1 + \lambda_2 W_2 \quad (4)$$

式中: λ_1 、 λ_2 分别为生活和工业耗水系数; W_1 、 W_2 分别为生活和工业用水量。

2.2.4 水资源配置模块 水资源配置主要采取基于规则的水资源配置模拟原理,其目标函数为行业缺水率最小,配置计算模块主要涉及地表水库平衡方程、地下水库平衡方程、用户单元平衡方程和再生水平衡方程。

(1)地表水库水量平衡方程。

$$QR(r, m+1, y) = QR(r, m, y) + Q_{rin}(r, m+1, y) + Q_{prin}(r, m+1, y) - Q_{rko}(r, m+1, y) - Q_{rfo}(r, m+1, y) - Q_{rseep}(r, m+1, y) - Q_{ret}(r, m+1, y) \quad (5)$$

式中: $QR(r, m, y)$ 为水库 m 时段末蓄水量, $QR(r, m+1, y)$ 、 $Q_{rin}(r, m+1, y)$ 、 $Q_{prin}(r, m+1, y)$ 、 $Q_{rko}(r, m+1, y)$ 、 $Q_{rfo}(r, m+1, y)$ 、 $Q_{rseep}(r, m+1, y)$ 、 $Q_{ret}(r, m+1, y)$ 分别为水库 $m+1$ 时段末蓄水量、水库来水量、水库降雨量、人工调水量、水库下泄水量、水库渗漏量和水库蒸发量

(2)地下水库水平衡方程。

$$GW_t = GW_0 + \sum_{i=1}^t (Q_{si} + Q_{ci} - Q_{ko} - Q_{et} - Q_{co}) \quad (6)$$

式中： GW_i/GW_0 分别为第*i*时段的地下水最终和初始水量； Q_{si} 为第*i*时段的人渗补给量(万 m^3)，包括降雨入渗和灌溉入渗量(万 m^3)； Q_{ci} 为第*i*时段的地下径流侧入量(万 m^3)； Q_{ko} 为第*i*时段的地下水开采量(万 m^3)； Q_{ei} 为第*i*时段的蒸发蒸腾量(万 m^3)； Q_{co} 为第*i*时段的地下径流侧出量(万 m^3)。

(3)用户单元水量平衡。

$$QU(u, m, y) = QU_{resu}(u, m, y) + QU_{rivu}(u, m, y) + QU_{shalu}(u, m, y) + QU_{deepu}(u, m, y) + QU_{wru}(u, m, y) + QU_{otu}(u, m, y) + QU_{oresu}(u, m, y) \quad (7)$$

式中： QU 为单元时段内用水量(万 m^3)、 QU_{resu} 水库供水水量(万 m^3)、 QU_{rivu} 河网供水水量(万 m^3)、 QU_{shalu} 浅层水供水水量(万 m^3)、 QU_{deepu} 深层水供水水量(万 m^3)、 QU_{wru} 为再生水供水水量(万 m^3)、 QU_{otu} 分别非常规水(雨水、海水淡化、微咸水、再生水)供水水量(万 m^3)、 QU_{oresu} 为外调水供水水量(万 m^3)。

(4)污水回用水量平衡方程。

$$Q_w = Q_{wbio} + Q_{windu} + Q_{wfarm} + Q_{wq} \quad (8)$$

式中： Q_w 为时段单元污水处理量(万 m^3)， Q_{wbio} 为污水处理后供生态量(万 m^3)， Q_{windu} 为污水处理后供工业量(万 m^3)， Q_{wfarm} 为污水处理后供农业灌溉量(万 m^3)， Q_{wq} 为污水处理后剩余弃入本地河网量(万 m^3)。

(5)河网水量平衡方程。

$$Q_{rv}(r, m+1, y) = Q_{rv}(r, m, y) + Q_{rvin}(r, m+1, y) + Q_{rvu}(r, m+1, y) - Q_{wq}(r, m+1, y) - Q_{rvseep}(r, m+1, y) - Q_{rvet}(r, m+1, y) \quad (9)$$

式中： $Q_{rv}(r, m, y)$ 为河网*m*时段末蓄水量(万 m^3)； $Q_{rv}(r, m+1, y)$ 、 $Q_{rvin}(r, m+1, y)$ 、 $Q_{rvu}(r, m+1, y)$ 、 $Q_{wq}(r, m+1, y)$ 、 $Q_{rvseep}(r, m+1, y)$ 、 $Q_{rvet}(r, m+1, y)$ 分别为本地河网*m+1*时段末蓄水量、本地产水量、人工取用量、本地污水排放量、河网渗漏量和河网蒸发量(万 m^3)。

配置模块计算时还受各种条件约束，主要为供水水源时段可供水量约束、河道输水能力约束、单元需水约束以及变量非负约束等。

3 模型应用

3.1 研究区基本情况 本文以天津市为例开展总量闭合下水资源配置应用研究。天津市位于华北平原东北部，海河流域的下游，全市总面积 11 919.7 km^2 ，其中平原占 93.9%，山区和丘陵占 6.1%。天津河流水系较为发达，流经本市的行洪河道有 19 条，排涝河道 79 条，全市多年平均降水量 574.9 mm，人均水资源占有量大约只有 160 m^3 ，为全国人均水资源量占有量的 1/15，仅为世界平均水平的 1/60，水资源极度匮乏。2004 年全市总供用水量 22.06 亿 m^3 。其中地表水源供水 14.89 亿 m^3 ，包含引滦水量 3.37 亿 m^3 ，引黄水量 3.12 亿 m^3 ；地下水源供水 7.07 亿 m^3 ；深度处理的再生水回用量 0.08 亿 m^3 ；海水淡化量 0.02 亿 m^3 。按用水项目划分，第一产业用水 12.18 亿 m^3 ，第二产业用水 5.20 亿 m^3 ，第三产业用水 1.11 亿 m^3 ，城镇居民用水 2.07 亿 m^3 ，农村居民用水 1.02 亿 m^3 ，生态用水量 0.48 亿 m^3 。

3.2 模型计算单元划分 根据水资源分区、行政区划、土壤类型及土地利用等情况，根据常用的水资源三级区套县市方法将天津分为 15 个计算单元(表 1)，其单元划分空间分布见图 3，图 4 为径流重点断面，图 5 为天津市水资源系统网络图。

表 1 模型管理层单元划分

单元号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
单元名	MAJX	PAJX	PABD	PANH	PAHG	PAWQ	PABC	PBBC	PBXQ	PBCQ	PBJN	PBDL	PBTG	PBDG	PBJH
中文名	蓟县山区	蓟县平原	宝坻	宁河	汉沽	武清	北辰北	北辰南	西青区	城区	津南	东丽	塘沽	大港	静海
面积/ km^2	863	727	1 510	1 431	442	1 574	319	160	564	168	389	479	758	1 056	1 480

备注：前两个字母：MA 代表北三河山区，PA 代表北四河平原区，PB 代表大清河淀东平原区；后两个字母：代表计算单元名称的首写字母。

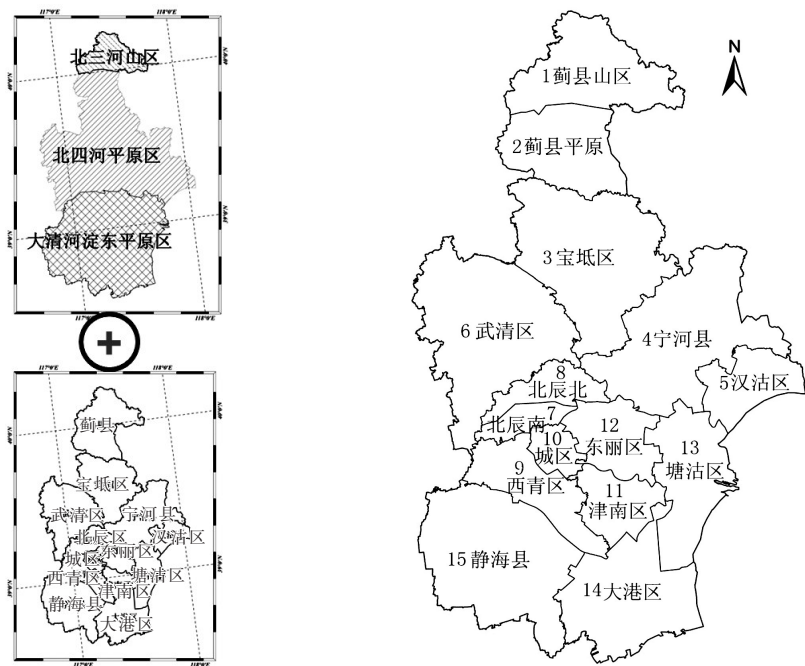


图3 计算单元划分

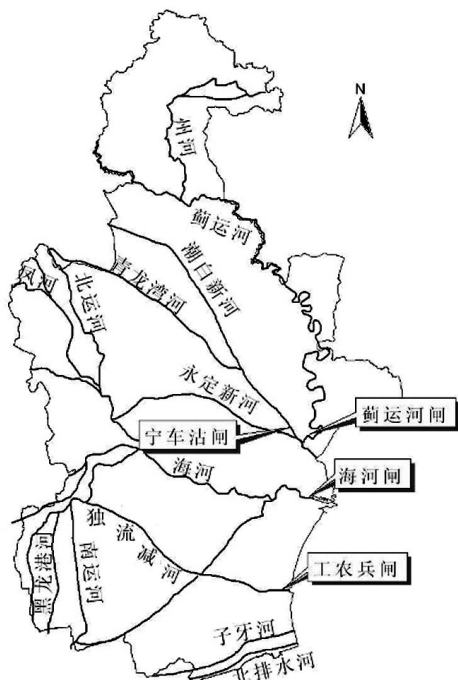


图4 径流重点断面

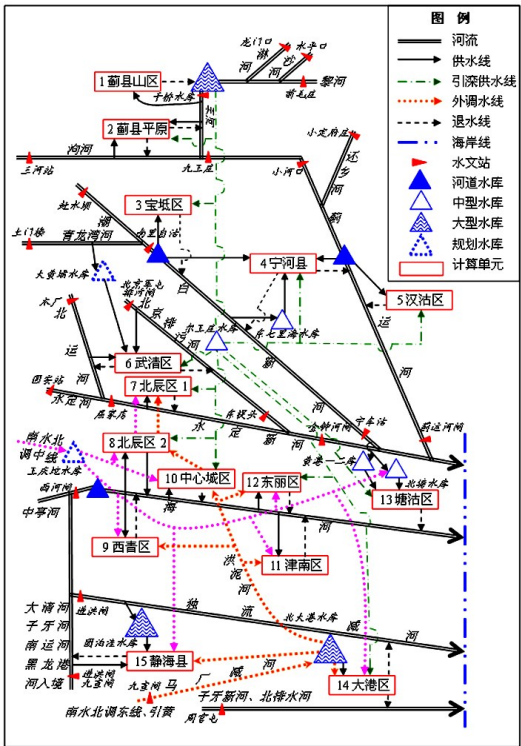


图5 天津市系统网络图

3.3 模型校验 模型校验是模型模拟精度和参数率定的关键过程，本文模型涉及水循环和水资源配置两个方面，首先对于水循环模块主要采用关键断面径流进行校验，其次根据区域总ET(即自然下垫面蒸散发与社会水循环过程的蒸散发之和)检验水资源调配方案下水循环情况。模型模拟期为1985—2004年，共20年；其中前15年为模型率定期，后5年为模型验证期。

3.3.1 径流模拟校验 模型模拟效果采用模拟值与控制断面实测值的Nash效率系数及相关系数(R^2)进行评价(见表3)。从水量模拟的校验结果来看，模型率定期内，Nash系数平均值为0.82，最高的为宁车沽闸0.89，最低的海河闸0.78；模型相关系数 R^2 平均值为0.91，最高的为宁车沽闸0.94，最低

的为海河闸0.87；模型验证期内，Nash系数平均值为0.69，最高位为宁车沽闸0.78，最低的为蓟运河闸0.61；模型相关系数 R^2 平均值为0.75，最高的为宁车沽闸0.82，最低的为海河闸0.67。由于篇幅限制，下面给出了海河闸的模拟结果(图6)。从水循环模拟角度，这个精度的验证结果是比较理想的。

表3 模型率定及验证期成果

率定期(1985—1999年)						验证期(2000—2004年)				
ID	a	b	c	d	平均	a	b	c	d	平均
控制站	蓟运河	宁车沽	海河	工农兵		蓟运河	宁车沽	海河	工农兵	
Nash	0.82	0.89	0.78	0.82	0.82	0.61	0.78	0.65	0.73	0.69
R^2	0.91	0.94	0.87	0.90	0.91	0.67	0.82	0.73	0.78	0.75

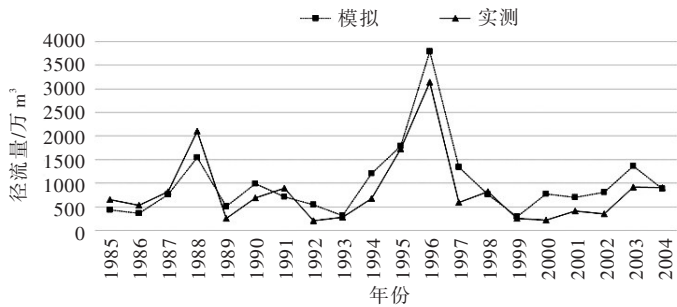


图6 海河闸断面径流模拟结果

3.3.2 区域ET验证 区域综合ET为各下垫面自然ET与人工侧支的生活、一二三产ET之和，其中下垫面的不同土地利用类型(包括农田)的ET可由水文模型计算，人工侧支的生活、二三产ET可由人工水平衡WAS模型的人工耗水模块计算，其城镇生活、农村生活和工业的纯耗水系数根据天津水资源公报(1996—2004年)统计分别为0.19、0.90和0.30。而区域综合ET可以根据区域的总入境量减去总出境量及地表地下蓄变量水平衡方法计算得到，本文对模型得到的区域综合ET与水平衡计算得到的区域ET进行了长系列对比，结果见图7。从1985—2004年模型模拟区域ET与水平衡方法计算的ET系列值比较来看，误差在5%之内的年份占60%，误差小于10%的年份占89%；由综合模拟模型得到1985—2004年20年多年平均区域综合ET为649 mm，这与由统计数据水量平衡结果得到的多年平均区域ET 651 mm 仅差2 mm，相对误差为0.3%。

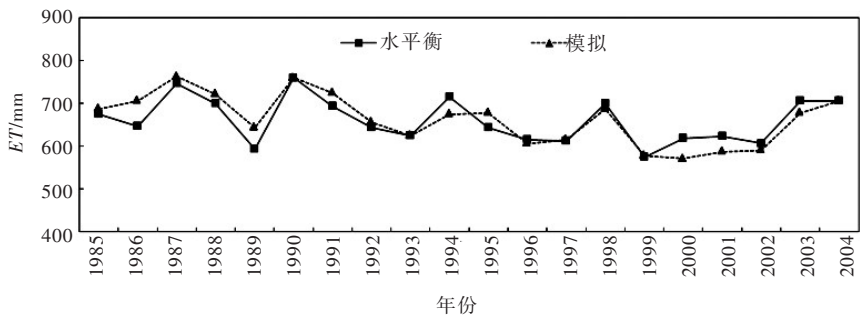


图7 模拟ET与水平衡ET对比

4 基于总量闭合的水资源配置方案

利用WAS模型对天津市2020年水资源优化配置，水文气象采用1980—2004年25年逐月降水和来水长系列数据，基于总量闭合的天津市水资源供-用-耗-排及各水源和行业开发利用控制情况见表4、表5。

(1)取水总量控制。根据天津市水利中长期规划、各区县本底水资源条件和国民经济发展目标，2020水平年天津市地表水取水总量控制为10.05亿 m^3 ，地下水取水总量控制为3.8亿 m^3 ，引滦、南水北调东中线等外调水取水量控制为15.83亿 m^3 ，供工业的深度处理水2.49亿 m^3 ，供农业及生态的二级

表4 2020水平年基于总量闭合的天津市水资源的供-用-耗-排水量控制情况 (单位: 亿 m³)

	蓟县	宝坻	宁河	汉沽	武清	北辰	西青	城区	津南	东丽	塘沽	大港	静海	全市
入境水量	42.1													
供水量	2.87	4.04	1.95	0.55	4.28	1.72	2.36	6.16	1.31	1.66	5.77	3.02	2.56	38.25
用水量	2.87	4.04	1.96	0.55	4.28	1.71	2.36	6.16	1.31	1.67	5.77	3.02	2.56	38.25
耗水量	2.09	3.17	1.66	0.31	3.26	1.00	1.55	1.92	0.82	0.91	1.80	1.82	1.68	22.00
排水量	0.78	0.86	0.29	0.25	1.02	0.71	0.81	4.24	0.49	0.76	3.97	1.20	0.88	16.25
闭合差	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
出境水量	22.1													

表5 面向总量闭合的天津市2020水平年水资源开发利用方案

	蓟县	宝坻	宁河	汉沽	武清	北辰	西青	城区	津南	东丽	塘沽	大港	静海	全市
雨水	0.02	0.02	0.02	0.00	0.02	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.15
海水	0.00	0.00	0.00	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.42	0.76	0.00	1.33
微咸水	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10
二级处理水	0.18	0.25	0.04	0.07	0.31	0.31	0.68	0.00	0.41	0.48	0.45	0.47	0.86	4.51
深度处理水	0.03	0.03	0.02	0.09	0.03	0.15	0.42	0.45	0.15	0.52	0.42	0.14	0.04	2.49
地表水	1.10	1.99	1.41	0.05	2.44	0.28	0.27	0.67	0.20	0.10	0.02	0.84	0.69	10.05
地下水	1.02	1.42	0.19	0.02	0.79	0.05	0.05	0.00	0.04	0.04	0.02	0.06	0.09	3.80
外调水	0.52	0.33	0.28	0.17	0.69	0.92	0.84	5.04	0.50	0.51	4.44	0.74	0.86	15.83
小计	2.87	4.04	1.95	0.55	4.28	1.72	2.36	6.16	1.31	1.66	5.77	3.02	2.56	38.25
国民经济	2.62	3.57	1.28	0.48	3.82	1.61	2.23	5.25	1.14	1.36	5.4	2.03	2.06	32.83
生态	0.25	0.47	0.68	0.07	0.46	0.1	0.13	0.91	0.17	0.31	0.37	0.99	0.5	5.42
小计	2.87	4.04	1.96	0.55	4.28	1.71	2.36	6.16	1.31	1.67	5.77	3.02	2.56	38.25

处理水位 4.51 亿 m³, 其他非常规水源为 1.58 亿 m³, 不同区县的各水源分配目标见表 5。

(2) 用水总量控制。根据国民经济发展目标和各区县水资源条件, 2020 水平年天津市国民经济多年平均用水总量控制为 32.83 亿 m³, 各区县的国民经济用水控制目标见表 2。2020 年全市河湖湿地多年平均生态用水量 5.42 亿 m³, 水生态系统可达到中营养系统结构水平, 不同区县的生态环境用水管理控制目标见表 5。

(3) 耗水总量控制。耗水控制实施是实现区域真实节水的有效手段, 耗水控制的内涵在于建立耗水与用水环节的联系, 其本质是耗水为约束、取用水为手段, 而取用水是建立在耗水控制下的目标值。2020 水平年天津市多年平均耗水总量控制为 22 亿 m³, 各区县的耗水总量控制目标见表 4。

(4) 排水总量控制。各行政单元河流断面的下泄水量是流域机构和地方部门水资源开发利用管理主要抓手, 因此, 排水总量作为检验上下游各行政单元取用水合理的有效指标之一, 其控制阈值也是非常重要的。2020 水平年天津市多年平均排水总量控制为 16.25 亿 m³, 以保证上下游水资源的可持续利用, 各区县的耗水总量控制目标见表 4。

5 结论

(1) 本文构建的基于总量闭合的水资源合理配置模型, 通过模拟区域水资源合理配置下的二元水循环过程, 核算区域水量取用情况, 可以避免区域水资源管理中总量不闭合现象, 可为区域水资源精细化管理不同情境方法提供定量支撑。(2) 本文开发的管理层单元和水文单元相结合的水资源配置单元, 可实现人工取用水管理与水文模拟过程的无缝结合, 为强人类活动地区的水资源模拟、管理及过程反馈提供了一种新的方法。(3) 在实例应用上, 本文以天津市为例开展了基于总量闭合的水资源合理配置, 给出区域 2020 水平年取水、耗水、排水等总量闭合控制阈值, 并详细给出了不同区县、不同水源、不同行业的供用水控制阈值, 可为水资源消耗双控行动和最严格水资源管理提供决策依据。

参 考 文 献:

- [1] LETCHER R A, W B F, JAKEMAN A J . Integrated assessment modelling for water resource allocation and management: A generalised conceptual framework [J] . Environmental Modelling & Software, 2007, 22 (5) : 733-742 .
- [2] JAMES F, BOOKE R, RICHARD E, et al . Economics and the modeling of water resources and policies[J] . Natural Resource Modeling, 2012, 25(1): 168-218 .
- [3] ASHLEY J B, GREENWOOD, GERRITSCHOUPS, et al . Bayesian scrutiny of simple rainfall-runoff models used in forest water management[J] . Journal of Hydrology, 2014, 512(9): 344-365 .
- [4] 陈守煜, 黄宪成, 李登峰 . 大连市水资源利用与宏观经济协调发展规划多目标群决策模型与方法[J]. 水利学报, 2002(4): 33-38 .
- [5] 左其亭, 夏军, 邵民诚, 等 . 博斯腾湖水资源可持续利用调度系统[J] . 水利水电技术, 2003(2): 1-4, 66 .
- [6] 邵东国, 贺新春, 黄显峰, 等 . 基于净效益最大的水资源优化配置模型与方法[J] . 水利学报, 2005(9): 1050-1056 .
- [7] 吴泽宁, 左其亭, 丁大发, 等 . 黄河流域水资源调控方案评价与优选模型[J] . 水科学进展, 2005(5): 735-740 .
- [8] 王宗志, 张玲玲, 王银堂, 等 . 基于初始二维水权的流域水资源调控框架初析[J] . 水科学进展, 2012(4): 590-598 .
- [9] 周惠成, 刘莎, 程爱民, 等 . 跨流域引水期间受水水库引水与供水联合调度研究[J] . 水利学报, 2013, 44 (8): 883-891 .

The development and application of water resources allocation model based on water balance closure

SANG Xuefeng, ZHAI Zhengli, WANG Jianhua, ZHAO Yong

(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: The control of water use is the main way of water resources management, but the value of the cash inflows and outflows is not equal to water consumption in a region according to the two difference using different methods of measuring. In this paper, The water allocation and simulation model (WAS) based on water cycle transformation is constructed from the view of water accounting, and a two-way control approach, which combined the regional inflows and outflows, is used to account and determine the regional water use, drainage and consumption. In the case of Tianjin City, China in 2020, if the inflows are 4.21 billion m^3 , the total amount of water use, water consumption and water drainage are 3.825, 2.2 and 1.625 billion m^3 respectively, and the outflows is 2.21 billion m^3 . The results of 13 counties of Tianjin are recommended based on above methods to meet water resources management. The research can also provide scientific supports for the strictest water resources management and water-saving society construction.

Keywords: water balance closure; water resources; water allocation; water consumption; water management

(责任编辑: 王成丽)