

# 南水北调东、中线一期工程水源置换效应情景分析

贾玲, 游进军, 汪林, 甘泓

(中国水利水电科学研究院, 北京 100038)

**摘要:** 通过构建外调水-当地水联合调配模型和对水源置换流程的解析, 以南水北调东、中线一期工程海河流域受水区为研究范围, 分析了通水后受水区地下水调控与生态环境修复状态下的水量配置情景, 定量评价了受水区的水源置换效应。结果表明东、中线一期工程来水中约 1/3 用于支撑城镇新增需水, 2/3 用于置换现有不合理用水并返还农业和生态。通过城镇水源置换能够使受水区的生态环境得到改善, 但是一期工程通水条件下现有水资源短缺和生态恶化的矛盾尚不能根本解决, 还必须采取强化节水、治污、控制地下水超采和多水源合理配置等多种措施, 唯此才能充分发挥南水北调工程效益。

**关键词:** 南水北调一期工程; 水源置换; 水资源配置; 生态环境效应; 海河流域受水区

**中图分类号:** TV213.9   **文献标识码:** A   **文章编号:** 1672-1683(2014)01-0016-05

## Scenario Analysis on Water Source Replacement Effects of the 1st Stage of South to North Water Transfer Project

JIA Ling, YOU Jir jun, WANG Lin, GAN Hong

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

**Abstract:** In order to evaluate the effects of water source replacement quantitatively, joint allocation model of the external and local water resources was established and applied in the water receiving areas of Haihe Basin of the 1st stage of South to North Water Transfer Project (SNWTP). Based on the analysis of the water source replacement process, different scenarios of water allocation were analyzed under the conditions of groundwater control and eco environmental restoration in the water receiving areas. The results showed that one third of intake water from the 1st stage of SNWTP is used to support the increasing urban water demand, and two thirds is used to replace the existing unreasonable water uses and to return to the agricultural and ecological construction. The water source replacement can improve the eco environment conditions in the water receiving areas. However, the conflict between water resources shortage and ecological deterioration cannot be solved for the 1st stage of SNWTP, and therefore other measures need to be conducted to optimize the profit of SNWTP, including water saving, pollution control, groundwater overdraft control, and reasonable allocation of various water sources.

**Key words:** 1st stage of South to North Water Transfer Project; water source replacement; water resources allocation; eco environmental effects; water receiving areas of Haihe Basin

## 1 研究背景

海河流域受水区人口密集, 约占全国人口的 14%, GDP 总值和粮食产量分别占全国的 21% 和 15%, 在我国经济社会发展和粮食安全中具有十分重要的战略地位。在天然降水衰减、用水增加和下垫面变化导致地表产流急剧减少等共同因素作用下, 水资源供需矛盾日趋突出。因此, 地下水超采成为维持区域用水增加的主要手段, 严重影响了水循环稳

定健康, 透支了流域的水资源再生能力, 导致了各种水资源问题, 区域整体处于水资源大幅超载状态。

合理的水源置换是优化供水结构, 改善生态环境状况, 实现水资源可持续利用的有效手段。水资源调控能力的增强, 尤其调水工程的兴建为区域水源置换提供了可行条件, 国内多个区域已经开展有益的尝试。例如, 吉林省双阳水库为优先满足城区需求和农业的可持续发展, 提出在不导致环境负效应的前提下, 加大区间地下水开采和地表水蓄留力

收稿日期: 2013-08-02   修回日期: 2013-11-12   网络出版时间: 2013-12-17

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/doi/10.3724/SP.J.1201.2014.01019.html>

基金项目: 国家自然科学基金(50879091; 50939006; 51021006); 水利部公益性行业科研专项经费项目(201101016)

作者简介: 贾玲(1984), 女, 河南安阳人, 工程师, 博士, 主要从事水资源规划管理研究。E-mail: jialing@iwhr.com

度,将灌区灌溉水源由以区外水库放水为主置换为以开采区内地下水为主的灌溉水源置换方案<sup>[1]</sup>;江苏省沿江地区规划建设以长江、太湖为主的永久性水源地,置换内河和地下水水源,使得水源水质达标率明显提高,为供水安全打下基础,同时对地下水修复产生积极影响<sup>[2]</sup>。南水北调东、中线一期工程对缓解受水区干旱程度、减少地下水超采、置换城市挤占农业用水量、增加农业和环境用水量等方面起到一定的改善作用<sup>[3]</sup>。本文通过构建外调水-当地水联合调配模型,对南水北调东、中线一期工程通水后海河流域受水区的水源置换流程进行解析,旨在实现对水源置换效应的定量评价。

## 2 水源置换流程解析

### 2.1 模型构建

外调水-当地水联合调配模型是以基于规则的水资源配置模拟模型<sup>[4]</sup>为基础,采用两步补偿式外调水调配算法,分两阶段对外调水进行配置利用<sup>[5]</sup>。海河流域联合调配模型的基本框架如下。(1)计算单元:为反映城市供需状况和引江后供水水源置换状况,以水资源三级区套地市为基本计算单元,并将流域内地级以上城市建成区作为独立计算单元,共得到海河流域125个计算单元,其中南水北调一期工程受水区55个计算单元。(2)工程与断面节点:大型水库和重要断面在模型中单独调算,包括64个工程与控制断面节点,地下水工程、中小型地表工程与再生水利用工程等均以参数概化参与计算。(3)用水户:模型共考虑6个用水户,分别为城镇生活、农村生活、工业及三产、农业、城镇生态和农村生态。(4)外调水工程:外调水包括引江水和引黄水两部分,其中引江水包括东线和中线两部分,引黄包括万家寨引黄、鲁北引黄、豫北引黄和引黄济冀四部分。模型采用1980年-2005年长系列月过程进行模拟计算。

为更加合理有效地分析南水北调一期工程水源置换效应,在水源置换过程模拟中还需要同时考虑水源置换条件、外调水-当地水联合调配规则以及效应评价需求等方面要素。

(1)水源置换条件。水源置换过程是区域水资源整体配置平衡变化下的水量结构调整,需在不同的情景条件下对水量配置进行合理模拟后得出转换效果。水源置换条件需要考虑水源条件、用水需求和调控决策三方面因素。水源条件涉及水文系列的选用、再生水等非常规水源利用、外调水总量与利用方式以及地下水开采控制等;用水需求需要反映未来社会经济条件发展条件下的生活、生产用水需求,以及采用节水模式后的需求变化。调控决策涉及水源利用的优先性、工程调度规则等。在此基础上设置不同的模拟情景来反映配置目标的实现情况,包括供需平衡和水循环变化状况、地下水开采情况、入海水量及主要节点的过流状况等。

(2)外调水-当地水联合调配规则。水源置换过程模拟必须考虑不同水源利用的优先序,遵循多水源配置原则。考虑到南水北调水量的利用方式对海河流域的水资源配置模式具有重要影响,应设置外调水-当地水联合调配规则,实现不同策略的外调水配置模式。本次分析中,南水北调水量配置规则为:a.优先配置到受水区城镇用水户,当城镇用户不能完全利用时,考虑配置给农业及生态用户;b.按照总体规划给定的省级行政区分水比进行配置,在省区内部考虑设定

各地市间分水比配置,并根据各区域的需求状况在各地市间进行调配;c.外调水分两阶段利用,第一阶段优先于本地水参与配置,外调水按照设计分水比分配到各个区域与用水户,并设置优先利用量;第二阶段在本地水配置之后配置第一阶段中未利用的外调水量,某单元不能完全利用的外调水可以调整供给同一省区的其他受水单元。这样可以通过调整第一阶段的外调水优先配置水量,实现外调水与本地水不同策略下的配置模拟。

(3)效应评价需求。水源置换效应不仅体现在水量置换的数量,更应该反映配置格局改变对受水区生态环境的影响,因此,需要通过对不同情景下的供需平衡、供水结构、水量消耗、入海水量以及水量平衡地下水补给平衡效应等过程的模拟,实现对水源置换效应的定量评价。

### 2.2 水源置换分析流程

按照《南水北调工程总体规划》<sup>[6]</sup>确定的调水分配原则,东、中线一期工程调水的供水目标以城市生活和工业供水为主,兼顾生态和农业用水。因此,南水北调水量可分为直接供水和间接供水,其中直接供水为供给城镇用户置换当地供水量;间接供水则是供给城镇用户的调水所产生的再生水供水。城镇使用外调水后可以减少对当地水资源的利用,置换出的当地水量一部分供给农业,另一部分发挥生态效应,如缓解地下水超采和增加地表径流等。水源置换流程详见图1。

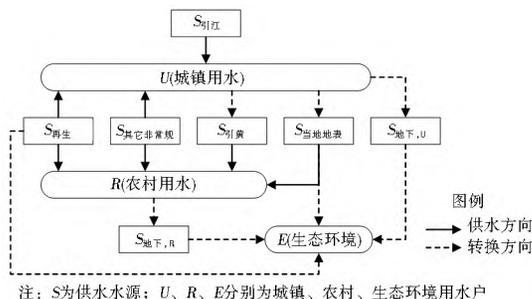


图1 水源置换流程

Fig. 1 Flow chart of water source replacement

南水北调工程通水后, $S_{引江,U}$ 一部分用来满足经济发展生产用水的增长需求( $S_{引江,U}$ ),一部分用于置换现有供水水源( $S_{引江,T}$ ),则:

$$S_{引江,U} = \Delta U - S_{再生,U} - S_{其它非常规,U} \quad (1)$$

$$S_{引江,T} = S_{引黄} + S_{当地地表} + S_{地下,U} \quad (2)$$

式中: $\Delta U$ 为城镇新增用水量,且 $\Delta U = U - U_0$ ;  $U_0$ 、 $U$ 分别为南水北调来水前和来水后的城镇用水量。 $S_{其它非常规}$ 包括海水及微咸水利用、集雨工程供水等,在海河流域主要为微咸水利用。

假定 $\alpha$ 、 $\beta$ 分别为废污水排放率和处理回用率,则:

$$S_{再生} = \Delta U \times \alpha \times \beta \quad (3)$$

$S_{再生}$ 中部分回用于城镇( $S_{再生,U}$ ),部分转供农村( $S_{再生,R}$ ),剩余排放于河道( $S_{再生,E}$ )。

因此,城镇在获得 $S_{引江}$ 水源后,可置换给农村和生态的水量为:

$$T_U = S_{引江,T} + S_{再生,R} + S_{再生,E} = S_{引黄} + S_{当地地表} + S_{地下,U} + S_{再生,R} + S_{再生,E} \quad (4)$$

其中,置换给农村的水量为:

$$T_{U-R} = S_{引黄} + S_{当地地表, R} + S_{再生, R} \quad (5)$$

置换给生态的水量为:

$$T_{U-E} = S_{当地地表, E} + S_{地下, U} + S_{再生, E} \quad (6)$$

生态环境获得总的置换水量为

$$E = S_{当地地表, E} + S_{地下, U} + S_{地下, R} + S_{再生, E} \quad (7)$$

水源置换流程的解析是将水源置换由繁转简的过程, 在实际的规划实施中, 还应考虑多种因素, 对水源置换过程进行模拟。

### 3 情景设置与供需平衡分析

以 2005 年为基准年, 2020 年为规划水平年, 进行调水前后、节水前后的水资源合理配置分析, 模拟南水北调通水对地下水补排量、地下水位和入海水量等影响, 进而分析南水

北调工程对受水区经济生产用水及生态环境的影响。

#### 3.1 情景设置

对南水北调工程水源置换效应分析, 将从两个角度进行: (1) 南水北调工程未来通水后与现状的情景对比, 反映水源置换对经济发展和生态环境两方面的效应; (2) 未来有无南水北调工程通水的情景对比, 反映南水北调对未来水量需求和缓解生态问题的量化效应。为此, 结合水源条件和用水需求的边界条件进行情景设置, 根据南水北调总体规划提出的引江水入海河月过程(1956 年-1997 年), 将系列延补至 2005 年, 处理后的引江规划调水 70.1 亿 m<sup>3</sup>, 其中中线 66.4 亿 m<sup>3</sup>, 东线 3.7 亿 m<sup>3</sup>。现状引黄调水 45.6 亿 m<sup>3</sup>, 2020 年规划调水增加到 51.2 亿 m<sup>3</sup>, 具体参数见表 1。

表 1 情景设置参数

Table 1 Parameters of Scenarios

情景	水平年	南水北调一期		引黄	非常规水源	地下水开采控制	海河流域受水区用水需求	亿 m <sup>3</sup>
		中线	东线					
基准年	2005	0	0	45.6	5.9	超采 78 亿 m <sup>3</sup>	现状需水	317.2
情景 1	2020	0	0	51.2	32.3	按满足用水需求开采	规划需水	339.1
情景 2	2020	66.4	3.7	51.2	33.6		规划需水	339.1
情景 3	2020	66.4	3.7	51.2	34.4		强化节水	305.2

#### 3.2 供需平衡结果分析

不同情景下的海河流域受水区供需平衡结果见表 2。从供需平衡结果看, 受水区基准年缺水 38.8 亿 m<sup>3</sup>, 主要为农

业缺水, 地下水为主要供水水源, 占总供水的 2/3 以上。到 2020 规划水平年, 总需水将增加 22 亿 m<sup>3</sup>, 其中城镇新增需水 36.9 亿 m<sup>3</sup>, 农村需水有所减少。

表 2 海河流域受水区供需平衡

Table 2 Supply and demand balance in the water receiving areas of Haihe Basin

情景	需水			供水						缺水
	合计	城镇	农村	合计	当地地表水	地下水	引黄	引江	非常规水	
基准年	317.2	77.3	239.9	278.4	53.5	186.8	33.9	0	4.2	38.8
情景 1	339.2	114.2	225	339.1	62.1	220.5	36.7	0	19.8	0.1
情景 2	339.2	114.2	225	338.6	49.3	161.7	36.6	70.1	20.9	0.6
情景 3	305.3	100	205.3	304.7	40.2	136.1	36.9	70.1	21.4	0.6

### 4 城镇供水水源置换效果分析

#### 4.1 供水结构

水源置换主要通过供水结构的变化来实现。不同情景下的海河流域受水区供水结构结果见表 3。

在没有引江水的情景(情景 1)下, 由于当地地表水增供

潜力有限, 城镇需求增加导致供水保证率提高, 为满足供需平衡必须进一步加大地下水开采, 增加开采量 33.7 亿 m<sup>3</sup>, 此外引黄水和非常规水需要大幅增加。说明没有引江水情景下, 海河流域本已严重恶化的地下水环境将进一步加剧, 同时地表径流也将进一步减少, 湿地河流生态退化加剧并导致水环境容量进一步降低。

表 3 海河流域受水区供水结构

Table 3 Water supply structure in the water receiving areas of Haihe Basin

情景	城镇供水							农村供水						
	合计	当地水		外调水		非常规水		合计	当地水		外调水		非常规水	
		地表	地下	引黄	引江	小计	再生水		地表	地下	引黄	引江	小计	再生水
基准年	71	21.5	46.1	1.6	0	1.8	1.8	207.4	32	140.7	32.3	0	2.4	0
情景 1	109.1	36.1	63	2.1	0	7.9	5.9	230	26	157.5	34.6	0	11.9	7.3
情景 2	114.3	10.1	27.4	3.2	65	8.6	6.2	224.3	39.2	134.3	33.4	5.1	12.3	7.7
情景 3	100	4.3	21.7	1.1	64	8.9	5.6	204.7	35.9	114.4	35.8	6.1	12.5	7.9

情景2和情景1相比,需水相同且引黄与非常规水源利用维持在同一水平,情景2地表水供水减少12.8亿m<sup>3</sup>,地下水减采58.8亿m<sup>3</sup>。若在规划需水的基础上采用节水措施,节水33.9亿m<sup>3</sup>(情景3),此时地下水供水占供水总量的44.7%,比基准年降低了22.4%,外调水供水占35.1%,其中引江水占供水总量的23%,引黄水占12.1%,当地地表水占13.2%,非常规水占7%。当地地表水与情景2相比减供9.1亿m<sup>3</sup>,地下水减采25.6亿m<sup>3</sup>。可见,在采用节水措施和南水北调一期工程通水情景下,供水结构更趋于合理。

### 4.2 置换水量

以情景2为例,城镇供水水源置换过程见图2。70.1亿m<sup>3</sup>引江水中,65亿m<sup>3</sup>直接供给城镇,5.1亿m<sup>3</sup>供给农村。根据公式(1)和(2)可得,直接供给城镇的65亿m<sup>3</sup>引江水中用来满足城镇经济发展生产用水增长需求的S<sub>引江,U</sub>为34.9亿m<sup>3</sup>,占54%,用于置换供水水源的S<sub>引江,T</sub>为30.1亿m<sup>3</sup>,占46%。

假设污水处理率 $\alpha = 0.8$ ,再生水回用率 $\beta = 0.7$ ,则根据公式(3)得:

$$S_{再生} = \Delta U \times \alpha \times \beta = 43.3 \times 0.8 \times 0.7 = 24.2(\text{亿 m}^3) \quad (8)$$

其中4.4亿m<sup>3</sup>回用于城镇,7.7亿m<sup>3</sup>转供农村,剩余12.1亿m<sup>3</sup>排放于河道。

因此,根据公式(4)可得,城镇在获得S<sub>引江</sub>水源后,可置换给农村和生态的水量为:

$$T_U = S_{引江,T} + S_{再生,R} + S_{再生,E} = 30.1 + 7.7 + 12.1 = 49.9(\text{亿 m}^3) \quad (9)$$

其中城镇置换给农村的水量T<sub>U-R</sub>为14.9亿m<sup>3</sup>,置换给生态的水量T<sub>U-E</sub>为35亿m<sup>3</sup>。生态环境获得总的置换水量为41.4亿m<sup>3</sup>。

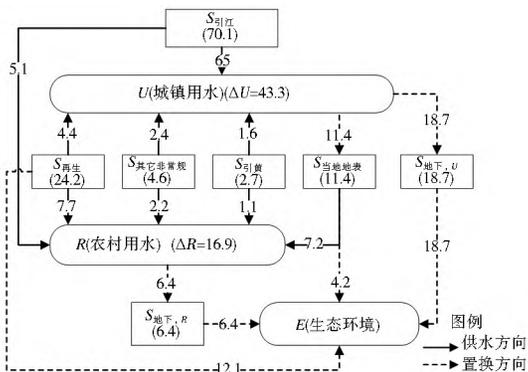


图2 城镇供水水源置换过程(以情景2为例)

Fig. 2 Flow chart of urban water source replacement (scenario 2)

### 4.3 置换效应

城镇用户获得引江水量后,置换出一部分当地地表水给农业,将通过压采地下水还水给生态,通过增加城镇废污水处理量补充农业和生态用水,即以受水区城镇为“点”,将置换出的水量转移到农村的“面”,实现当地水和外调水的补偿利用与合理配置。

对比不同情景下城镇供水水源置换效应(图3)可知,在无调水的情景1下,未来增加的水资源可利用量主要由新增的引黄水、再生水和微咸水利用等组成,对地表径流、地下水、入海水量等均为负效应;在有调水的情景2和情景3下,与基准年相比,除增加水资源可利用量外,水源置换效应还

体现在:增加地表径流4~13亿m<sup>3</sup>;地下水压采25~51亿m<sup>3</sup>;入海水量增加0.2~2.4亿m<sup>3</sup>;相比情景2,采取节水措施下的情景3的生态环境改善效果更加明显,地下水压采量和入海水量更大。

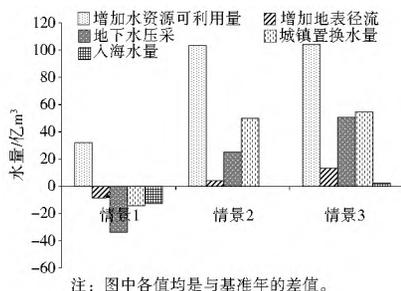


图3 城镇供水水源置换效应

Fig. 3 Effects of urban water source replacement

(1) 地下水位变化效应。南水北调一期工程对海河流域平原区地下水的影响将主要体现在两个方面: a. 调水在增加受水区可利用水资源量的同时,也将一定程度上增加对受水区地下水的补给,影响地下水的补排结构和空间分布; b. 调水可置换出部分被挤占的生态水量,实现地下水压采。在调水对地下水补给和排泄综合作用影响下,地下水循环过程将随之发生变化,其中最直观的表现是地下水位变化。

利用 Mod flow 地下水模型进行情景模拟可知<sup>[8]</sup>,在无调水的情景1下,地下水漏斗中心水位的埋深将继续增加,在有调水的情景2下,地下水漏斗中心水位的埋深较情景1有所减小,但仍低于现状水位。可见南水北调一期工程通水后,浅层地下水补、排量和深层含水系统能够朝向良性循环状态发展,漏斗区地面沉降的下降速度也能够得以减缓。

(2) 地表径流变化效应。受水区城镇获得引江水后置换出当地水资源量,通过水源置换,2020规划水平年将比基准年增加地表径流4~13亿m<sup>3</sup>。根据《海河流域水生态修复规划》结果,流域平原地区24个河段最小生态水量28.51亿m<sup>3</sup>,在有调水情境下可基本满足平原地区河流生态水量需求,部分原先被挤占的生态用水将归还河道生态。以情景2为例,南水北调通水后,置换给地表生态16.3亿m<sup>3</sup>,对于河流生态状况的改善、促进修复河流水体连通功能、水质净化功能、生境维持功能、景观环境功能、提高生物多样性等具有积极作用。

(3) 湿地湖泊变化效应。根据南水北调中线、东线工程规划,海河流域内作为蓄水的主要湖泊湿地有衡水湖、大浪淀水库、北大港水库和大屯水库。工程实施后,湿地面积将增加。南水北调工程对受水区水资源的统一调配及补充,提高了各水体各时期的蓄水位,特别是枯水期水位,有利于维护原有湿地的稳定,恢复趋于衰退或已基本消失的湿地。水量增加、水面扩大,将促进湿地供水、生物栖息与繁育、养殖、旅游等水体功能的发挥,对于流域生态系统的演进及经济发展起到重要作用。

(4) 河口生态环境效应。20世纪50年代各河口基本上处于冲淤平衡状态。随着入海水量的减少,加上60年代各主要入海河口陆续修建了挡潮闸,河口淤积情况逐渐加重,近岸海域的年均盐度已由29%~30%逐渐上升到32%,致

使很多海洋生物的产卵场退化或消失,严重影响了渤海的生物资源。南水北调工程实施后,入海水量提高0.2~2.4亿 $m^3$ ,近岸海域盐分有所恢复,对于河口地区生态保护具有重要作用。

## 6 结语

南水北调东、中线一期工程70.1亿 $m^3$ 引江水,是实现海河流域经济社会发展和生态环境修复不可缺少的外在条件。其中可被农业利用的水量尚需结合相应的配套工程措施才能实现。通过城镇水源置换效应能够使受水区的生态环境得以改善,然而水资源短缺的矛盾将长期存在,还必须与强化节水、治污、控制地下水超采和多水源合理配置等多种措施相结合才能充分发挥南水北调工程效益,缓解受水区水资源供需矛盾、恢复和改善生态环境状况。

外调水-当地水联合调配模型的引入是进行水源置换过程模拟和效应分析的一项关键技术,通过模拟计算不同情景下的外调水与当地水配置过程,能够得出地下水压采、保证城市发展新增用水和农业基本用水、增加河道水量等多目标竞争权衡下的水资源合理配置结果。通过水量模拟结果进行水源置换效应评价,可以定量分析南水北调东、中线一期工程通水后海河流域受水区水源置换效应及对受水区生态环境影响。

南水北调工程对受水区生态环境的影响作用主要通过水源置换效应来实现,在引江水供给城市满足发展新增用水后,城市能够退出的当地供水量越多,城区地下水压采量越大,对受水区农业和生态环境的良性影响作用越大。实现引江水置换当地水量的首要条件是各种水源统一调配和统一水价,并制定配套的管理体制、运行机制和经济政策,同时还需出台严格控制地下水开采的政策,建立健全有利于促进节水减污的水资源费和水价征收管理制度。

## 参考文献(References):

- [1] 迟宝明,戴长雷,易树平,等.吉林省双阳水库灌区灌溉水源置换可行性研究[J].世界地质,2003,22(3):284-289.(CHI Bao ming, DAI Chang lei, YI Shu ping, et al. A Study of Replacing Feasibility of Irrigating Resources in Shuangyang Reservoir Irrigating Area of Jilin[J]. Global Geology, 2003, 22(3): 284-289. (in Chinese))
- [2] 朱建国.统筹城乡发展,推动江苏沿江区域供水[A].2006中国城市规划年会论文集[C].2006:82-85.(ZHU Jianguo. Balancing Urban and Rural Development, Promote the Regional Water Supply Along the Yangtze River in Jiangsu province[J]. China's Urban Planning Conference Proceedings[C]. 2006: 82-85. (in Chinese))
- [3] 汪林,甘泓,赵世新,等.南水北调东中线一期工程对受水区生态环境影响分析[J].南水北调与水利科技,2009,7(6):4-7.(WANG Lin, GAN Hong, ZHAO Shi xin, et al. Ecological and Environmental Impact Analysis of First Phase of South to North Water Transfer Project on Water Recipient Areas[J]. South to North Water Transfer and Water Science & Technology, 2009, 7(6): 4-7. (in Chinese))
- [4] 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,(9):1043-1049,1056.(YOU Jir jun, GAN Hong, WANG Hai, et al. Simulation of Water Resources System Based on Rules[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2005, (9): 1043-1049, 1056. (in Chinese))
- [5] 游进军,王忠静,甘泓,等.两阶段补偿式跨流域调水配置算法及应用[J].水利学报,2008,39(7):870-876.(YOU Jir jun, WANG Zhong jing, GAN Hong, et al. Stepwise Compensatory Allocation of Inter-basin Water Diversion[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2008, 39(7): 870-876. (in Chinese))
- [6] 中华人民共和国水利部.南水北调工程总体规划[R].2002.(The Ministry of Water Resources of the People's Republic of China. The Overall Plan of the South to North Water Diversion Project[R]. 2002. (in Chinese))
- [7] 中国环境规划院,水利部南水北调规划与设计管理局.南水北调工程生态环境保护规划[R].2002.(Chinese Academy for Environmental Planning, Bureau of South to North Water Transfer of Planning, Designing and Management. Ecological and Environment Protection Planning of the South to North Water Transfer Project[R]. 2002. (in Chinese))
- [8] 杜思思,游进军,陆垂裕,等.基于水资源配置情景的地下水演变模拟研究——以海河流域平原区为例[J].南水北调与水利科技,2011,9(2):15-18.(DU Si si, YOU Jir jun, LU Chui yu, et al. Study on Simulation of Groundwater Evolution Based on Water Resources Allocation Scenarios, A Case Study in Haihe River Basin[J]. South to North Water Transfer and Water Science & Technology, 2011, 9(2): 15-18. (in Chinese))
- [9] 长江水利委员会长江勘测设计研究院.南水北调中线一期工程可行性研究总报告[R].2005.(The Yangtze River Survey Design Institute. The Feasibility Study General Report of First Phase of South to North Water Transfer Project[R]. 2005. (in Chinese))
- [10] 中水淮河工程有限责任公司,中水北方勘测设计研究有限责任公司,江苏省水利勘测设计研究院有限公司,山东省水利勘测设计院.南水北调东线第一期工程可行性研究总报告[R].2005.(China Water Huaihe Planning, Design and Research, et al. The Feasibility Study General Report of First Phase of South to North Water Transfer Project[R]. 2005. (in Chinese))
- [11] 水利部水利水电规划设计总院,水利部南水北调规划设计管理局.南水北调(东、中线)受水区地下水压采总体方案(报批稿)[R].2009.(The Ministry of Water Resources Water Conservancy and Hydropower Planning & Design Institute, Bureau of South to North Water Transfer of Planning, Designing and Management. The Underground Hydraulic Mining Overall Scheme on Water Recipient Areas[R]. 2009. (in Chinese))