

# 南水北调东线工程受水区城市水资源配置研究

黄 炜<sup>1</sup>, 杨明非<sup>2</sup>

(1. 江苏省水文水资源勘测局, 江苏 南京 210029;  
2. 江苏省水文水资源勘测局徐州分局, 江苏 徐州 221006)

**摘要:** 南水北调东线工程是一项特大型跨流域、多水源的调水工程, 配置与调度其沿线受水区城市的水资源是一个极其复杂的过程。本文建立了基于复杂系统的南水北调东线受水区城市水资源配置模型, 并通过实例数据对模型中各类对象间的相互作用情况进行模拟, 得到了有关受水区城市水资源配置中各类对象间相互作用以及演化行为的模拟结果。

**关键词:** 南水北调; 东线工程; 受水区; 水资源; 配置与调度

中图分类号: TV213.4 文献标识码: B 文章编号: 1007-7839(2017)03-0006-05

## Study on the allocation of urban water resources of water receiving area within the east route of South to North Water Diversion Project

HUANG Wei<sup>1</sup>, YANG Mingfei<sup>2</sup>

(1. *Hydrology and Water Resources Investigation Bureau of Jiangsu Province, Nanjing 21002, Jiangsu;*  
2. *Xuzhou Hydrology and Water Resources Investigation Bureau of Jiangsu Province, Xuzhou 221006, Jiangsu*)

**Abstract:** The East Route of South to North Water Diversion Project is super large water diversion project with multi basin and multi water sources. Allocation and scheduling along its receiving water city water resources is a very complicated process. Urban water resources allocation model of water receiving area is established in this paper based on complex system. Through the interaction between all kinds of object model for instance data simulation; results are obtained by the relevant area of city water resources allocation in various types of object interactions and evolution.

**Key words:** South to North Water Diversion Project; the east route; water-receiving area; water resources; allocation and scheduling

## 1 概述

水资源是实施可持续发展的重要基础。受全球气候变化和人类活动加剧双重影响, 使得目前侧重于单一主体静态管理的水资源配置管理模式面临严重挑战。特别是南水北调东线工程全面建成后, 沿线受水区城市众多, “水权流转与交易关

系复杂交叠”“水价核算困难”“政府间利益冲突新常态”等问题相继涌现, 并且受调水沿线降水、径流、需水量时空分布变异和随机性以及调水沿线各地区社会、经济、人口发展等影响, 工程应用条件和供需水矛盾都在不断发生变化, 要适应“准市场化”运营要求的各涉水主体协调难度增大, 对于这样的多流域、多目标的城市水资源配置与

收稿日期: 2017-01-02

第八届江苏水论坛优秀青年论文

作者简介: 黄炜(1981-), 男, 博士, 工程师, 主要从事水文水资源相关工作。

调度管理是一个极其复杂的过程<sup>[1]</sup>。

为研究南水北调受水区城市水资源配置情况,本文提出建立基于复杂系统的南水北调东线受水区城市水资源多对象配置模型,将水资源配置系统看成是由若干个(种)相对独立的自主主体构成的合作共生网络体系,以实际数据为基础模拟南水北调东线受水区城市水资源配置、调度和管理全过程,解决传统理论和方法中仅以经济学指标评价优劣和难以用多目标优化求解水资源配置与调度过程的问题<sup>[2]</sup>。

## 2 受水区城市水资源配置模型构建

### 2.1 研究区域

按南水北调东线一期工程走向,将其受水区划分为南方受水区和北方受水区,其中南方受水区包括中国江苏省北部的徐州、连云港等五市,以及安徽省北部的淮北、蚌埠、宿州三市;北方受水区包括中国山东省中部的济南、济宁等城市以及山东半岛的烟台、威海、青岛等市,共14个城市。

南水北调东线一期工程受水区空间划分及两个分区的相对位置关系见图1。

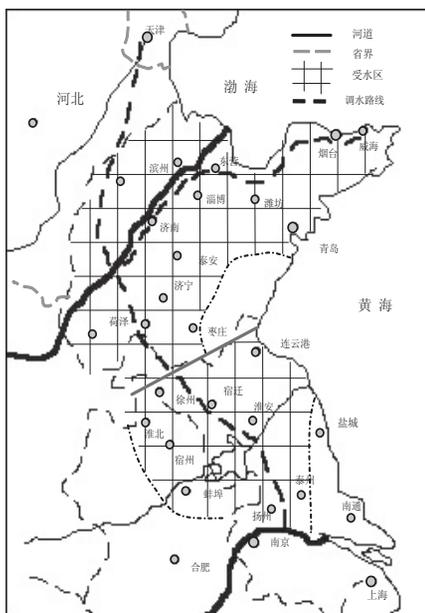


图1 南北受水区空间划分图

### 2.2 指标体系

为使构建的水资源配置模型更具合理性,根据不同目标设计如下评价指标:

#### (1) 水资源配置目标

评价指标设计有系统调水总量  $Q_t$  及受水

区用水总量  $Q_{sum}$ 。受水区调入水总量  $Q_t = \sum_{i=1}^n Q_{ti}$ ,  $Q_{ti}$  为第  $i$  个地区外调水量。受水区可用水总量  $Q = Q_t + \sum_{i=1}^n Q_{loci}$ ,  $Q_{ti}$  为外调水总量,  $Q_{loci}$  为第  $i$  个受水区的本地可用水量。

#### (2) 社会经济发展目标

采用工业及农业生产总值 GDP 表示。GDP 是评价地方经济发展水平的重要指标,通过 GDP 可以了解南水北调东线水资源系统对受水区工农业生产的影响。

#### (3) 社会生活质量指标

考虑水资源的增加对生活满意度的影响作为社会生活质量指标。生活满意度用  $S_a$  表示。它反映了调水过程对居民生活的影响。受水区总的生活满意度采用平均法计算。

$$S_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_{ai}, i=1, 2, \dots, n, S_{ai} \text{ 为第 } i \text{ 个区域}$$

的生活满意度指数。

#### (4) 环境目标

环境目标是评价社会经济可持续发展的重要指标。本文中采用污水排放量  $Q_s$  作为环境污染指标,其中  $Q_s = \sum_{i=1}^n Q_{si}$ ,  $i=1, 2, \dots, n$ , 为第  $i$  个受水区污水排放量。通过监测工业污水及生活污水排放量,研究南水北调东线系统实施后对受水区环境的影响,研究不同水资源政策对工业污水及生活污水排放的影响。

#### (5) 工程安全及航运

工程安全及航运是南水北调东线系统的多目标中两个评价系统综合效益的重要指标。工程安全以在洪水发生时,河道堤坝等水工设施的安全率为评价指标。航运目标以航道可航运天数在统计时间内的百分比表示。

### 2.3 空间概化

按照复杂系统理论<sup>[3-4]</sup>,任一系统都是由系统内相应不同层次中具有不同角色的“对象”组成的,并且通过不同对象间或对象与环境之间的“粘着”聚集而成,进而使系统整体处于合作与共生状态。

南水北调东线工程调水配置系统可看成是由输水河道、各级调水供水管理机构以及众多用水对象组成,其调水过程则是由供水、需水、排水、用水等对象通过与环境或各对象之间的相互“粘

着”聚集而成。为充分表达模型中各主要研究对象的空间特性,采用非负整数值域的二维有界网格来概化受水区域。网格中每个研究对象采用固定位置坐标  $p(x, y)$  标识位置。

南水北调东线工程受水区空间二维概化示意图见图 2 所示。

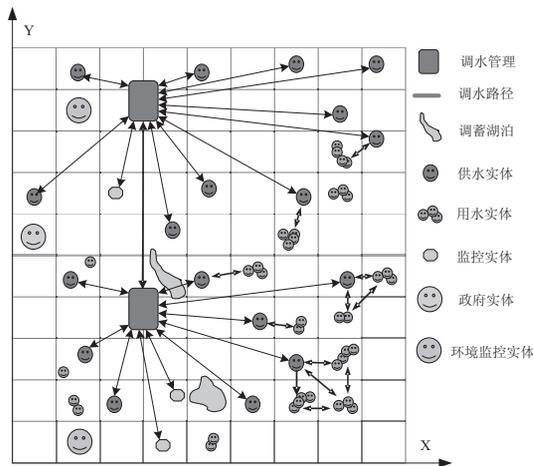


图 2 受水区空间二维概化示意图

#### 2.4 模型设计

本文所提模型采用 SWARM 平台构建,并采用 JAVA 语言编程调用 SWARM2.1.1 版本中的数据进行模拟。通过模型主要模拟和研究调水量与受水区总用水量,调水量与工业用水及城市生活

用水量,调水区水价的演变以及调水量对受水区用水保证率、调水量与区域经济增长之间的关系。

### 3 模型预测及结果分析

#### 3.1 研究数据

南水北调东线工程根据需求和规划的可用资源量向调水区沿线城市输水。区域供水管理机构将区域水资源统一管理,包括自然降水、地下水以及外调水。区域内居民生活用水、工业用水及农业用水由用水户向供水管理机构申请得到,如果申请量在核定用水量以内,用水户的需求可以获得完全满足。受水区域基本情况、水资源数据、降雨量数据、工农业用水及居民用水数据等,取自江苏、安徽、山东各省 2013 年统计年鉴并经整理。其中南北受水区人口为各区域人口之和,土地面积为受水区内相关省市土地面积之和,降雨采用多年平均降雨量。由于北方受水区农业用水不在调水用水范围内,北方受水区耕地不予考虑,南部受水区区域耕地面积为江苏、安徽两省受水区内 8 市耕地面积之和。粮食产量为水、旱作物以种植面积计的加权平均产量。农作物价格为小麦水稻的产量的加权平均价格。

受水区城市各指标数据见表 1。

表 1 受水区评价指标数据表

指标	南部受水区			指标	北部受水区		
	江苏 3 市	安徽 2 市	山东 14 市		江苏 3 市	安徽 2 市	山东 14 市
水资源总量 (亿 $m^3$ )	201.11	500.65	308.00	GDP (亿元)	618.4	436.0	7708.0
地表水 (亿 $m^3$ )	132.43	462.01	228.00	粮食产量 ( $kg/hm^2$ )	6397.0	5133.0	
地下水 (亿 $m^3$ )	90.97	1636.34	1100.00	人口 (万人)	2818.0	1111.1	7577.6
多年平均降水 (mm)	900	900	600	人均收入 (元)	6538.2	5064.0	5808.0
规划调水量 (亿 $m^3$ )	19.22	3.29	16.81	作物价格 (元/kg)	1.56	1.56	1.59

为突出模型的合理性和可行性,对模型预测部分进行了简化。实施调水后,南方受水区城市从水源地获取水资源,北方受水区城市通过与南方受水区城市交易获得外调水源,系统内水资源总量增加,能够基本满足受水区各种用水需求。在此水资源条件下,模型模拟南、北受水区城市内用水情况,以及受水区城市在实施调水后社会经济发展情况。模型运行时间范围约为20年,经过250个计算步骤后得到预测结果。

### 3.2 结果分析

根据模型运行结果表明:在实施调水后,水资源短缺得到缓解,南、北方受水区城市各指标均呈现增长的态势。在模拟时间段内,伴随用水量的上升,两区内城市社会经济发展指标不断增长,反映了调水工程实施后对南北受水区的社会经济发展的良好作用。图3至图8分别描述了受水区城市内水资源需求、水资源交易与传输、水资源使用及经济社会发展情况。

图3描述了调水实施后,受水区工业、农业及居民生活需水量的变化情况。从图中可知在调水实施后,南北受水区内总需水量都呈现增长趋势。南方受水区需水量以每年约9%的速率增加,模拟至15年之后,总需水量从370个单位上升到约460个单位,并继续增长。北方受水区需水量在整个仿真期间持续增加,但增速较小。

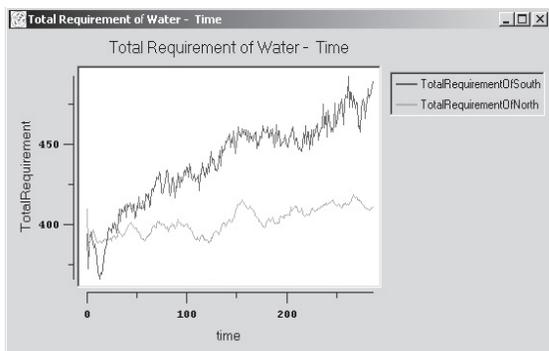


图3 南北受水区总需水量曲线

图4描述了南、北受水区城市人均综合需水量的变化。在整个模拟时间内,南、北方城市人均综合需水量持续增长。两条曲线具有相似的增长趋势,但南方综合需水量绝对值较大。差异可能源自南方受水区居民生活用水具有较高的定额且用水增长较快,以及南方受水区由于经济增长较快带来的更多的用水需求。

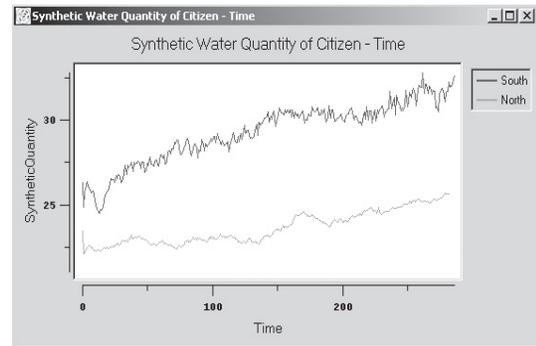


图4 城市人均综合用水量曲线

图5反映了南北两受水区调入水量情况,显示在水源稳定的条件下两区的调入水量在整个实验时间段内总量稳定,南方约为45个单位,北方约为22个单位。这表明南方水源地部分水量通过交易过程输送到北方受水区,实现了水资源跨流域输送的过程。

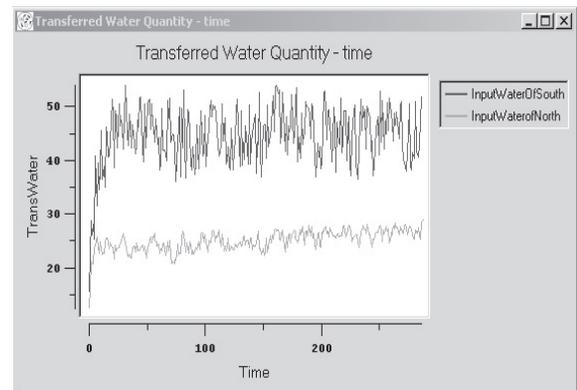


图5 南北受水区调入水量曲线

图6描述了南北受水区水资源供求状况,图中反映出南、北方调水对象的交互过程,以及南、北方调水对象在调水协作过程中的从请求水量到调入水量的形成过程。

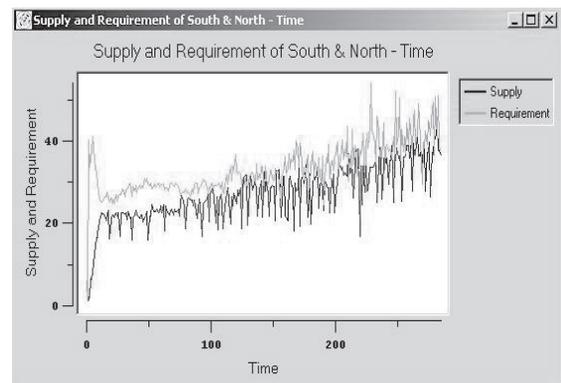


图6 南北受水区水资源供求状况曲线

图7是南北受水区水资源交易平衡曲线,描述了南北双方水资源交易的状态变化,曲线在初期存在较大的振幅,表明调水初期供水及用水需求之间存在较大的偏差。随着模拟等进行,供需间差异逐渐减小,供需偏差维持在一个适当的范围内并保持稳定。

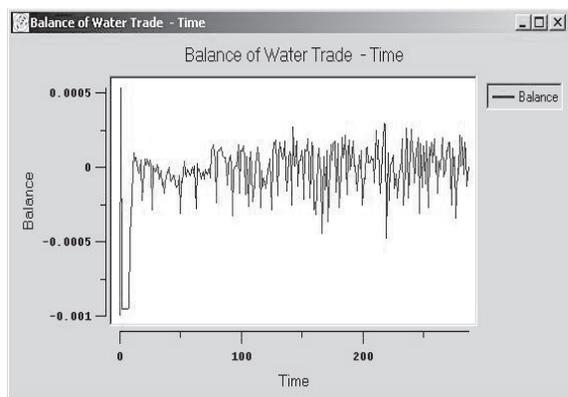


图7 南北受水区水资源交易平衡曲线

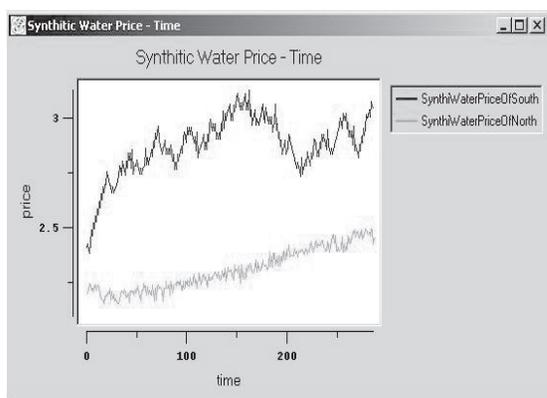


图8 南北受水区综合水价曲线

图8是南北受水区综合水价曲线。该曲线显示在整个模拟过程中,南、北方受水区水价的演化过程差异较大。整体上南方受水区综合水价高于北方,且在整个模拟过程中有较大的变化幅度。

而北方水价比南方水价整体水平偏低且变化幅度较小,北方水价则在整个模拟过程中基本保持增长的趋势直到结束。

## 4 结语

本文以南水北调东线工程沿线城市水资源配置为研究对象,建立了基于复杂系统的受水区城市水资源配置模型,通过实例数据模拟得到的结果是模型内众多对象运动及相互影响所表现出的整体结果,而非通过某个数学模型计算的结果。它反映了系统中各对象间的相互作用的过程,是系统中众多对象的微观行为的宏观反映。

当然,模型结果中也存在一些问題,如模型规模较大,参数较多,很难在有限的时间内进行全局性更精确的模拟。因此对模型中部分内容作了删减,导致模拟结果与真实情况相比可能有偏差,如在模型中北方水价与南方水价具有完全相同的生成机制,但实验中两者的结果相差很大。这些问題表明仿真系统内部模型尚不够完善,需要进一步研究改进,但结果对定性的或半定量评价目标系统仍具有参考意义。

## 参考文献:

- [1] 王慧敏. 流域可持续发展系统理论与方法 [M]. 南京: 河海大学出版社, 2000.
- [2] 赵勇, 解建仓, 马斌. 基于系统仿真实理论的南水北调东线水量调度 [J]. 水利学报, 2002, 11(3): 345-350.
- [3] 欧阳莹之. 复杂系统理论基础 [M]. 上海科技教育出版社, 2002.
- [4] 赵建世, 王忠静, 翁文斌. 水资源复杂适应配置系统的理论与模型 [J]. 地理学报, 2002(6): 34-40.

(责任编辑: 徐丽娜)