

# 基于和谐论的新密市城区水资源配置研究

郭丽君<sup>1</sup>, 左其亭<sup>2</sup>

(1. 新疆水利水电勘测设计研究院, 新疆 乌鲁木齐 830000; 2. 郑州大学 水科学研究中心, 河南 郑州 450001)

**摘要:** 水质恶化是城市水资源供需矛盾的重要原因之一。合理配置水量水质, 提高水资源利用效率和供水保证率, 是城市健康发展的必然要求。本文将和谐论思想引入水资源配置, 结合水资源分质配置思路, 基于水资源配置量化指标体系和水资源配置模型, 开展了新密市城区水量水质配置研究, 为水资源优化配置提供定量分析的方法。

**关键词:** 水资源配置; 和谐论; 水量; 水质; 新密市城区

中图分类号: TV211.1 文献标识码: A 文章编号: 1672-643X(2012)04-0029-05

## Study on allocation of water resources in Xinmi urban area based on the harmony theory

GUO Lijun<sup>1</sup>, ZUO Qiting<sup>2</sup>

(1. Xinjiang Survey and Design Institute of Water Resources and Hydropower, Urumqi 830000, China;

2. Center for Water Science Research, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

**Abstract:** The water quality deterioration is a major reason of contradiction between water supply and demand. Rational allocation of water quantity and quality to improve water utilization efficiency and water supply reliability is the inevitable requirement of healthily development of city. Based on the harmony theory and concept of dual water supply, Taking Xinmi urban area as a case study, the paper calculated the harmony degree of water allocation under different schemes and years. The research can provide the method of quantitative analysis for optimal allocation of water resources.

**Key words:** water allocation; the harmony theory; water quantity; water quality; Xinmi urban area

## 0 引言

在开发利用水资源的过程中, 由水质恶化引起的缺水问题在城市供水安全中日益凸显, 促使人们越来越意识到对水量的优化配置已不能支撑城市的健康发展, 必须强化水量和水质的统一配置。不少学者针对水资源配置开展了大量研究, 将利益理论<sup>[1]</sup>、博弈理论<sup>[2]</sup>、人水和谐理论<sup>[3]</sup>等引入水资源配置, 深入研究了用水户之间的水资源分配问题、用水利益分配问题等, 有效地推动了水资源的优化配置。但水资源配置涉及社会、经济、资源、环境等众多方面, 涉及国家、流域、区域、部门等众多利益相关者, 仅考虑人与人或人与水的协调关系, 难以制定出科学合理的水资源配置方案, 水资源配置需要综合考虑多因素之间的“协调”。鉴于此, 本文将和谐论引入水资源配置, 基于水资源分质配置思路, 进行了新密市城区水资源配置研究, 使水资源配置方案和

措施的制定更具针对性和目的性。

## 1 和谐论概述

和谐思想源远流长, 在我国文化中占有十分突出的地位。“和谐”的本质是为了达到“协调、一致、平衡、完整、适应”关系而采取的行动。其中, 左其亭定义了和谐论, 并从数学角度提出“和谐论五要素”及“和谐度方程”<sup>[4-5]</sup>。

### 1.1 和谐论概念

左其亭将研究“和谐”行为的理论与方法称之为和谐论, 并定义为: 和谐论是研究多方参与者共同实现和谐行为的理论和方法。为定量描述和谐论, 左其亭定义了和谐论五要素, 即和谐参与者、和谐目标、和谐规则、和谐因素、和谐行为。和谐论五要素定义如下:

(1) 和谐参与者: 就是参与和谐的各方, 一般双方或多方, 称为“和谐方”。

(2) 和谐目标: 指和谐参与者为了达到和谐状

收稿日期: 2012-05-01; 修回日期: 2012-05-12

基金项目: 国家自然科学基金项目(50679075, 51079132)

作者简介: 郭丽君(1987-), 女, 新疆阿勒泰人, 助理工程师, 水文学及水资源专业。

通讯作者: 左其亭(1967-), 男, 河南固始人, 博士, 教授, 博导, 水文学及水资源专业。

态所必须满足的目标。

(3) 和谐规则:指和谐参与者为了达到和谐目标所制定的一切规则或约束。

(4) 和谐因素:是指和谐参与者为了达到总体和谐所需要考虑的因素。如果只考虑单个因素,称为单因素和谐;如果考虑2个以上因素,称为多因素和谐。

(5) 和谐行为:是指和谐参与者针对和谐因素所采取的具体行为总称。

### 1.2 和谐度方程

某一因素的和谐度方程定义为:

$$HD = ai - bj$$

式中:HD为和谐度。当 $HD < 0$ ,定义 $HD = 0$ ,则 $HD \in [0,1]$ 。 $a$ 为统一度, $a = \sum_{k=1}^n G_k / \sum_{k=1}^n A_k$ ;  $b$ 为分歧度; $a, b \in [0,1]$ ,且 $a + b \leq 1$ 。 $i$ 为和谐系数,反映和谐目标的满足程度,由和谐目标计算确定, $i \in [0,1]$ ; $j$ 为不和谐系数,反映和谐方对存在分歧现象的反对程度,由分歧度计算确定, $j \in [0,1]$ 。

若和谐考虑多因素,则综合和谐度可利用加权平均法或指数权重加权法计算。和谐度等级划分见表1。

表1 和谐度等级划分表

和谐等级	和谐	基本和谐	较不和谐	基本不和谐	不和谐
HD	1	[0.6,1)	(0.4,0.6)	(0,0.4]	0

## 2 基于和谐论的水资源配置量化体系<sup>[6]</sup>

### 2.1 水资源配置量化指标体系

在文献[6]中作者从水资源配置的系统、区域和部门三个层次,基于“和谐论五要素”构建了水资源配置量化指标体系(如图1),并定义水资源配置和谐度是综合反映系统、区域、部门三个层次和谐程度的函数,可表示为:

$$WRAHD = SHD^{\beta_1} \cdot RHD^{\beta_2} \cdot DHD^{\beta_3} \quad (1)$$

$$SHD = \sum_{p=1}^m w_p HD_p, p = 1, 2, \dots, m \quad (2)$$

$$RHD = \sum_{q=1}^n w_q HD_q, q = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

$$DHD = \sum_{r=1}^k w_r HD_r, r = 1, 2, \dots, k \quad (4)$$

式中: $w_p, w_q, w_r$ 为不同层次的和谐因素 $p, q, r$ 的权重。 $\sum_{p=1}^m w_p = 1, \sum_{q=1}^n w_q = 1, \sum_{r=1}^k w_r = 1$ ;  $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ 分别为SHD、RHD、DHD、WRAHD的指数权重,根据重要程度,分别为 $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ 赋值;SHD、RHD、DHD、

WRAHD  $\in [0,1]$ 。SHD、RHD、DHD、WRAHD的值越趋近于1,表示系统、区域、部门层次的水资源配置和谐度越高;反之,则和谐度就越低。



图1 水资源配置量化指标体系框图

### 2.2 水资源配置模型

在文献[6]中作者构建了基于和谐论的水资源配置模型,该模型以水资源配置和谐度最大为目标函数,以系统、区域、部门三个层次的管理因素为约束条件,可定量评价系统、区域、部门三个层次的和谐度及总体和谐度。

(1) 目标函数。以水资源配置的总体和谐为目标,要求“和谐度”值达最大,则目标函数可表示为:  

$$\max(WRAHD) = \max(SHD^{\beta_1} RHD^{\beta_2} \cdot DHD^{\beta_3}) \quad (5)$$

(2) 约束条件。水资源配置和谐度受系统、区域和部门层次配置因素的影响,约束条件如下:

① 供水能力约束。供水能力约束分为公共水源供水能力约束和独立水源供水能力约束。

$$\text{公共水源} \quad \sum_{C=1}^K \sum_{j=1}^J x_{Cj}^k \leq W_c \quad (6)$$

$$\text{独立水源} \quad \sum_{S=1}^K \sum_{j=1}^J x_{Sj}^k \leq W_s \quad (7)$$

式中: $x_{Cj}^k, x_{Sj}^k$ 分别为公共水源C、独立水源S向k子区j用户的供水量; $W_s^k$ 为k子区独立水源S的可利用水资源总量; $W_c$ 为公共水源C的可利用水资源总量。

② 重要污染物排放量约束。各子区重要污染物最大排放量应低于水环境有关规划控制指标,即:

$$\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^{J(k)} 0.01 \times d_j^k p_j^k \left( \sum_{s=1}^{S(k)} x_{sj}^k + \sum_{c=1}^C x_{cj}^k \right) \leq W_0 \quad (8)$$

式中: $p_j^k$ 为k子区j用户污水排放系数; $d_j^k$ 为k子区j用户单位废污水排放量中重要污染物的含量,

mg/L,一般可用化学耗氧量(COD)、生化耗氧量(BOD)、氨氮(NH<sub>3</sub>-N)等水质指标来表示;W<sub>0</sub>为允许的污染物排放总量。

③ 用户用水效率约束。用户用水效率不大于(或小于)其目标值,即

$$\eta \geq \eta_0 \text{ 或 } \eta \leq \eta_0 \quad (9)$$

式中:η、η<sub>0</sub>分别为规划水平年用户j的用水效率及目标值,一般为万元GDP取水量、万元工业增加值取水量、农业节水灌溉率等指标(对于万元GDP取水量等指标,要求η ≤ η<sub>0</sub>,对于农田节灌率等指标,要求η ≥ η<sub>0</sub>)。

④ 用户需水能力约束。用户从水源取得的水量不大于用户的需水量,即:

$$\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J x_{cj}^k + \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J x_{sj}^k \leq D_j \quad (10)$$

式中,D<sub>j</sub>为规划水平年用户j的需水量。

⑤ 用户用水保证率约束。采用用户用水保证率约束,主要是为了保证不同用水户之间用水的公平性,即:

$$\left( \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J x_{cj}^k + \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J x_{sj}^k \right) / D_j \geq \eta_j \quad (11)$$

式中:η<sub>j</sub>为用户j的用水保证率。

⑥ 经济效益约束。

$$\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J \left[ \sum_{c=1}^C (b_{cj}^k - c_{cj}^k) x_{cj}^k a_{cj}^k + \right.$$

$$\left. \sum_{s=1}^S (b_{sj}^k - c_{sj}^k) x_{sj}^k a_{sj}^k \right] \geq 0 \quad (12)$$

式中:b<sub>cj</sub><sup>k</sup>、b<sub>sj</sub><sup>k</sup>分别为公共水源C、独立水源S向k子区j用户的单位供水量效益系数;c<sub>cj</sub><sup>k</sup>、c<sub>sj</sub><sup>k</sup>分别为公共水源C、独立水源S向k子区j用户的单位供水量费用系数;a<sub>cj</sub><sup>k</sup>、a<sub>sj</sub><sup>k</sup>分别为公共水源C、独立水源S向k子区j用户供水效益修正系数,与供水次序、用户类型及子区影响程度有关。

⑦ 非负约束。同一般模型一样,模型要满足决策变量非负约束。

⑧ 其他约束。针对具体情况,可能还需要增加一些其他约束条件,如地下水水位约束等。

### 3 新密市城区水资源配置方案

#### 3.1 新密市城区概况

新密市地处以郑州市为中心的中原城市群隆起带和“郑州半小时经济圈”内,城区供水以地下水为主,地表水次之,其他水源为辅。城区自来水系统供水区域是城区经济社会发展的核心区域,供水优先保证,其供水对象为城区城镇居民生活和第三产业以及部分第二产业(对水质要求较高),剩余水量分配到供水系统以外的城区范围。新密市城区供水对象及供水优先序见表2。

表2 新密市城区供水对象及供水优先级一览表

水源	水质	供水对象	供水工程	供水优先级
地表水	≤Ⅲ类	生活用水;二、三产用水	供水管网及相关配套设施	1级
	≥Ⅲ类	二、三产用水;农业用水;生态用水	专用管网、人工渠道	2级
地下水	≤Ⅲ类	生活用水;二、三产用水;农业用水	供水管网及相关配套设施	1级
中水	≥Ⅲ类	二、三产用水;农业用水;生态用水	专用管网、人工渠道	2级
雨水	≥Ⅲ类	生态用水	集雨工程及人工渠道	3级

注:优先级别1、2、3分别表示最高级、较高级和低级。

#### 3.2 水资源分质配置思路

在遵循传统水资源配置思路的基础上,针对城市不同用户对水质的不同要求,有文献提出了水资源分质配置思路<sup>[7]</sup>。水资源分质配置以满足城市不同用水户对水量和水质的需求为目标,将区域“面”上和自来水供水系统“线”上的水资源配置相结合。区域层面主要以水量配置为主,进行新密市全市范围内的水资源配置,得到城区水资源配置方案,达到供需水总量平衡;供水系统层面主要以水质配置为主,考虑不同用水户对水质的要求,得到城区供水系统水资源配置方案,达到分质供需水量平衡。

#### 3.3 水资源配置方案

根据不同水平年的供需水预测结果,以供水预测的“零方案”和需水预测的“基本方案”相结合作为方案集的下限;以供水预测的“高方案”和需水预测的“强化节水方案”相结合作为方案集的上限;方案集上、下限之间为方案集的可行域。新密市城区不同水平年的水资源配置方案见表3<sup>[8]</sup>。

### 4 新密市城区水资源配置和谐度

#### 4.1 水资源配置量化指标参数选取

结合新密市城区未来经济社会发展对水资源配置的要求,以系统层次的和谐因素“水资源量”为

表3 规划水平年新密市城区水资源配置方案汇总表

万 m<sup>3</sup>

水平年方案	区域	50%			75%			95%		
		需水	供水	余缺水	需水	供水	余缺水	需水	供水	余缺水
2015 年	下限 城区	3049.6	3223.6	174.0	3064.6	3150.7	86.1	3078.8	3100.9	22.1
	其中:自来水系统	1379.6	882.9	-496.7	1379.6	882.9	-496.7	1379.6	882.9	-496.7
	上限 城区	2701.6	3223.6	522.0	2716.6	3150.7	434.1	2730.7	3100.9	370.2
	其中:自来水系统	1304.8	882.9	-421.9	1304.8	882.9	-421.9	1304.8	882.9	-421.9
	推荐 城区	2701.6	2701.6	0	2716.6	2716.6	0	2730.7	2730.7	0
	其中:自来水系统	1304.8	1304.8	0	1304.8	1304.8	0	1304.8	1304.8	0
2020 年	下限 城区	4183.5	4365.8	182.3	4199.6	4292.8	93.2	4219.5	4242.9	23.4
	其中:自来水系统	1855.4	2439.9	584.5	1855.4	2439.9	584.5	1855.4	2439.9	584.5
	上限 城区	3637.6	4365.8	728.2	3653.7	4292.8	639.1	3673.7	4242.9	569.3
	其中:自来水系统	1758.0	2439.9	681.9	1758.0	2439.9	681.9	1758.0	2439.9	681.9
	推荐 城区	3637.6	3637.6	0	3653.7	3653.7	0	3673.7	3673.7	0
	其中:自来水系统	1758.0	1758.0	0	1758.0	1758.0	0	1758.0	1758.0	0
2030 年	下限 城区	6601.2	5352.0	-1249.2	6604.9	5278.9	-1326.0	6620.9	5228.9	-1392.0
	其中:自来水系统	2489.2	2439.9	-49.3	2489.2	2439.9	-49.3	2489.2	2439.9	-49.3
	上限 城区	4947.0	5352.0	405.0	4950.8	5278.9	328.2	4966.8	5228.9	262.2
	其中:自来水系统	2354.7	2439.9	85.2	2354.7	2439.9	85.2	2354.7	2439.9	85.2
	推荐 城区	4947.0	4947.0	0	4950.8	4950.8	0	4966.8	4966.8	0
	其中:自来水系统	2354.7	2354.7	0	2354.7	2354.7	0	2354.7	2354.7	0

例,介绍其和谐目标、和谐规则以及和谐度方程中各参数的确定,具体详见文献[6]。

(1) 和谐目标:水资源开发利用量不超过水资源可利用量。表达式为:

$$\sum W_{w,c} \leq \sum W_{w,a} \quad (13)$$

式中:  $W_{w,c}$  为某一水源的开发利用量;  $W_{w,a}$  为某一水源的可利用量。

(2) 和谐规则:水源工程优先满足经济社会用水,其次满足生态环境用水。表达式为:

$$W_{es,c0} = W_{es,r}; W_{e,c0} = W_{e,s} - W_{es,c} \leq W_{e,r}$$

式中:  $W_{e,c0}$ 、 $W_{es,c0}$  分别为按照和谐目标和和谐规则分配给生态环境系统和经济社会系统的用水量;  $W_{e,r}$ 、 $W_{es,r}$  分别为生态环境系统和经济社会系统的需水量;  $W_{e,s}$  为系统总用水量。

(3) 统一度  $a$ 。根据统一度计算公式,首先确定  $n$  方和谐具有“相同目标”的和谐行为  $G$ 。

生态环境系统:当  $W_{e,c} \leq W_{e,c0}$  时,  $G_e = W_{e,c}$ ; 当  $W_{e,c} > W_{e,c0}$  时,  $G_e = W_{e,c0}$

经济社会系统:当  $W_{es,c} \leq W_{es,c0}$  时,  $G_{es} = W_{es,c}$ ; 当  $W_{es,c} > W_{es,c0}$  时,  $G_{es} = W_{es,c0}$

(4) 分歧度  $b$ :令  $b = 1 - a$

(5) 和谐系数  $i$ 。根据和谐目标的满足程度确定  $i$  值,选用的和谐系数曲线如图 2 所示。当  $\sum W_{w,c}$  在  $[0, \sum W_{w,a}]$  之间时和谐系数为 1; 在  $\sum W_{w,a}, 1.2 \sum W_{w,a}]$  之间时,和谐系数从 1 逐渐降至 0。

(6) 不和谐系数  $j$ :令  $j = b$

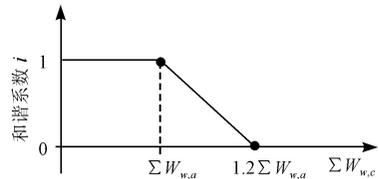


图2 “水资源量”的和谐系数  $i$  函数曲线

### 4.2 水资源配置和谐度分析

新密市城区不同水平年、不同保证率下的水资源配置和谐度计算结果见表 4。以 75% 保证率为例,对不同水平年的和谐度计算结果进行分析。

(1)2015 年。从水资源供需分析看,下限和上限方案中新密市城区都不缺水,但考虑到用户对水质的要求,造成自来水系统缺水分别为 496.7 万 m<sup>3</sup>、421.9 万 m<sup>3</sup>,而城区其他区域有盈余水量。推荐方案在采取强化节水、新增水源工程等措施后,城区及城区自来水系统供需水达到平衡,满足各类用户对水质的要求;从和谐度计算结果分析,推荐方案在下限方案的基础上采取了开源节流等工程和非工程措施,水资源配置和谐度从下限方案的 0.53 (较不和谐)增加至推荐方案的 1 (和谐),使水资源量和质在空间分配上趋于合理。

(2)2020 年。从水资源供需分析看,下限和上限方案中新密市城区都不缺水,根据用户对水质的要求,新增了一些供水工程,满足了自来水系统用户的水质和水量要求,城区自来水系统有盈余水量,而

城区其他区域存在缺水问题。推荐方案中,将自来水系统盈余水量部分配置到城区其他区域中的农村生活用水和工业用水,使其他区域供需水达到平衡,同时实现优质优用;从和谐度结果分析,水资源配置和谐度从下限方案的0.63(基本和谐)增加至推荐方案的1(和谐),不同水源按照水质来划定水量供给优先次序,满足各类用水户对水质和水量的要求。

(3)2030年。从水资源供需分析看,下限方案新密市城区缺水,缺水率达20%,考虑到城区自来

水系统供水的重要性,根据水质优先将水量配给自来水系统,自来水系统缺水率仅为2%;上限方案采取了强化节水等措施后,城区及自来水系统都有盈余水量。推荐方案中,城区及城区自来水系统供需水达到平衡;从和谐度结果分析,水资源配置和谐度从下限方案的0(基本和谐)增加至上限方案的1(和谐)和推荐方案的1(和谐),但上限方案中城区及自来水系统都有盈余水量,相应地增加了工程投资,没有达到水资源合理配置的要求。

表4 规划水平年新密市城区不同方案的和谐度计算结果

水平年	方案	50%				75%				95%			
		SHD	RHD	DHD	WRAHD	SHD	RHD	DHD	WRAHD	SHD	RHD	DHD	WRAHD
2015年	下限	1	0.40	0.40	0.54	1	0.40	0.37	0.53	1	0.45	0.36	0.54
	上限	1	0.41	0.41	0.55	1	0.41	0.39	0.54	1	0.47	0.36	0.55
	推荐	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2020年	下限	1	0.45	0.61	0.65	1	0.43	0.58	0.63	1	0.42	0.53	0.60
	上限	1	1	1	1	1	0.99	0.96	0.98	1	0.97	0.95	0.97
	推荐	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2030年	下限	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	上限	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	推荐	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

### 4.3 水资源配置保障措施

根据水资源配置和谐度计算成果,分析其存在问题,从系统、区域和部门多层次提出相应的保障措施。

(1)系统层次。在新密市城区建设中,重点规划建设一批雨水集蓄和废水处理再利用工程,努力解决城镇生态环境用水水源问题;依托资源优势,调整经济结构和产业布局,建立一批特色产业园。

(2)区域层次。为保障居民正常生产和生活,新密市城区应实行分质供水,实行优质优用、低质低用,优质自来水应优先保证居民长期稳定的生活供水。一般工业及城区绿化等,可使用地表水、雨水和中水。

(3)部门层次。为合理高效利用水资源,参考河南省《用水定额》,结合节水型社会建设需要,科学制定各行业用水定额,实行行业计划用水管理;二是适度控制经济社会规模和发展速度,建设节水型工业和节水型城市。

## 5 结 语

水资源配置是一个“和谐”问题。本文将和谐论引入水资源配置,基于水资源配置量化指标体系和水资源配置模型,计算了新密市城区不同水平年、

不同频率下水资源配置的和谐度。充分挖掘工程和非工程措施可提供的水量,保障新密市城区尤其是城区自来水系统用户的水质水量要求,为管理部门提供更具针对性的决策依据。

### 参考文献:

- [1] 陈湘满. 论流域开发管理中的区域利益协调 [J]. 经济地理, 2002, 22(5): 523 - 525.
- [2] 左其亭, 赵春霞. 人水和谐博弈辨识方法及博弈力计算 [J]. 水利水电技术, 2009, 40(4): 1 - 4 + 19.
- [3] 左其亭, 张云. 人水和谐量化研究方法及应用 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2009.
- [4] 左其亭. 和谐论的数学描述方法及应用 [J]. 南水北调与水利科技, 2009, 7(4): 129 - 133.
- [5] 左其亭. 和谐论及其应用的关键问题讨论 [J]. 南水北调与水利科技, 2009, 7(5): 101 - 104.
- [6] 郭丽君. 基于和谐论的水资源管理理论方法及应用研究 [D]. 郑州大学, 2011. 05. 01.
- [7] 张华侨, 窦明, 张海林, 等. 城市水资源“双线”配置模型研究 [J]. 水电能源科学, 2011, 29(3): 20 - 23 + 196.
- [8] 郑州大学. 新密市城区水资源规划 [R]. 新密市水利局, 2009. 12.