



DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdtqk.2017.04.005

彭亮, 何英, 穆振侠, 等. 面向水资源安全的绿洲受水区水资源配置方案评价[J]. 南水北调与水利科技, 2017, 15(4): 26-33. PENG Liang, HE Ying, MU Zhenxia, et al. Evaluation of water resources allocation schemes of oasis intake areas based on water resource security assessment: A case study of Karamay city[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2017, 15(4): 26-33. (in Chinese)

# 面向水资源安全的绿洲受水区水资源配置方案评价

——以克拉玛依市为例

彭亮<sup>1</sup>, 何英<sup>1</sup>, 穆振侠<sup>1</sup>, 梁川<sup>2</sup>, 李承红<sup>1</sup>

(1. 新疆农业大学 水利与土木工程学院, 乌鲁木齐 830052; 2. 四川大学 水利水电学院, 成都 610065)

**摘要:** 水资源安全问题已成为制约克拉玛依市经济发展的重要因素。通过调查克拉玛依市水资源开发利用情况, 从空间配置、时间配置、用水配置、水源配置等方面入手, 设计两个步骤来解决: <sup>1</sup> 选取 12 个用水指标构建水资源安全评价体系, 应用层次分析法构造判断矩阵, 并确定各指标因子的权重; <sup>2</sup> 拟定各类需水方案、供水方案组合叠加生成调度运行方案, 形成水资源配置方案集, 并设置各方案的水资源安全评价指标, 再运用层次分析法优选 WRMM 模型配置结果, 然后对克拉玛依市 2011 年水资源安全状况进行评价与分析。结果表明, 基于水资源安全评价指标的最佳水资源配置。方案 8, 供水保证率达到 100%, 水资源开发利用率为 57%, 灌溉水综合利用系数为 0.75, 为提高克拉玛依市水资源利用率、保障区域用水安全提供科学依据。

**关键词:** 水资源安全; 指标体系; 层次分析; 水资源配置; 克拉玛依市

**中图分类号:** TV213.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-1683(2017)04-0026-08

## Evaluation of water resources allocation schemes

### of oasis intake areas based on water resource security assessment: A case study of Karamay city

PENG Liang<sup>1</sup>, HE Ying<sup>1</sup>, MU Zhenxia<sup>1</sup>, LIANG Chuan<sup>2</sup>, LI Chenghong<sup>1</sup>

(1. College of Water Conservancy and Civil Engineering, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China;

2. College of Water Resource and Hydropower, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

**Abstract:** Water resource security problem has become one of the important factors which restrict the economic development of Karamay. Based on the investigation into the development and utilization of water resources in Karamay, an evaluation index system for water resource security was established. Considering the space, time, water use, and water sources, we took two steps: <sup>1</sup> We selected 12 indexes to build the water resource security evaluation system, and used the analytic hierarchy process (AHP) to build a judgment matrix so as to determine the weight of each factor. <sup>2</sup> We combined various types of water demand and water supply schemes to generate various dispatching schemes, and thus form a water resources allocation scheme set. At the same time, we set up water resource security indexes for each scheme, and used AHP to select the optimum results of the WRMM model. Then we evaluated and analyzed the water resource security situation of Karamay in 2011. According to the water resource security index system, the optimal water resources allocation scheme was Scheme 8, whose water supply guarantee rate was up to 100%, water resources exploitation rate was 57%, and irrigation water utilization coefficient was up to 0.75. This research has provided a scientific basis for utilization of water resources and management of water resource security in Karamay.

**Key words:** water resource security; index system; analytic hierarchy process; water resource allocation; Karamay city

收稿日期: 2016-02-12 修回日期: 2016-08-16 网络出版时间:

网络出版地址:

基金项目: 国家自然科学基金项目(51569031); 新疆水文学及水资源重点学科(XJSWSZYZDXK20101202)

Funds: National Natural Science Foundation of China (51569031); Hydrology and Water Resources Key Disciplines of Xinjiang (XJSWSZYZDXK20101202)

作者简介: 彭亮(1978-), 男, 湖北武汉人, 讲师, 主要从事水文学及水资源教学和科研。E-mail: pengliang@xjau.edu.cn

水资源安全是城市水资源管理的核心内容与终极目标,直接关系到群众生活和经济社会发展的需要。在一定历史阶段及社会条件下,为保障城市供水系统正常运行,水系统中拥有足够的水量和安全的水质,能保证人类社会可持续发展。水资源配置是实现水资源在不同区域和用户之间有效合理分配,促进水资源高效、合理利用的重要手段<sup>[1]</sup>。可持续发展理论被提出并广泛接受后,只注重经济利益而忽视水资源安全的水资源配置技术逐渐被兼顾社会经济、生态环境和水资源可持续利用的水资源合理配置所取代<sup>[2,3]</sup>。国内外一些学者从水量、水质等方面探讨了水资源配置问题<sup>[4-10]</sup>。Rijisberman 等把水资源承载力作为城市水资源安全保障的衡量标准<sup>[11]</sup>;曾畅云等人利用综合指数法通过用层次分析法赋权,构建了安全度函数,从社会经济安全、生态安全、水质安全、水量安全等角度,对北京市水环境安全进行了评价<sup>[12]</sup>。传统的水资源配置以供需分析为核心,以缺水量来衡量区域水资源满足不同用水户的程度,但水资源安全的保证程度则缺少评判依据。

“石油城”克拉玛依市地处准噶尔盆地西北边缘,为典型的绿洲受水区,区域内除独山子区以外基本不产流,基本上都是从周边流域引入地表水。随着周边区域社会经济发展对水资源需求逐渐增加,较大地影响到了流入克拉玛依市的地表水资源量,尤其是枯水年份,直接影响着居民生活用水、工农业用水及艾里克湖生态用水等<sup>[13-15]</sup>。因此,需要对新形势下克拉玛依市水资源进行优化配置。

本文以水资源安全为目标,以水资源安全评价指标为依据,通过对比分析不同水资源配置方案的水资源安全评价指标,最终确定克拉玛依水资源配置最佳方案,确保克拉玛依市水资源及水环境安全。

## 1 研究区概况

克拉玛依市位于准噶尔盆地西北缘,地处东经  $84^{\circ}44' - 86^{\circ}01'$ , 北纬  $44^{\circ}07' - 46^{\circ}08'$  之间,总面积  $7\,733.9\text{ km}^2$ ,地势西高东低,向准噶尔盆地中心倾斜,地貌大部分为戈壁滩,海拔高度在  $250 \sim 500\text{ m}$  之间。克拉玛依市多年平均气温  $7.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,最高气温达  $42.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,最低气温为  $-35.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;年均降水量为  $116\text{ mm}$ ,多集中在 5 月-8 月,年均蒸发量为  $2\,958\text{ mm}$ ,属典型的温带大陆性气候,夏季炎热,冬季寒冷,昼夜温差大,干旱少雨,蒸发量大。克拉玛依地区基本不产流,从周边进入的河流有白杨河、克拉苏河、达尔布图河。白杨河多年平均径流量  $2.48\text{ 亿 m}^3$ ,克拉苏河多年平均径流量  $0.29\text{ 亿 m}^3$ ,达尔布图河多年平均径流量  $0.16\text{ 亿 m}^3$ 。河流补给源主要

是冬季积雪和夏季降雨,冬季时间长,积雪较厚,次年春季气温回升,积雪消融形成洪水,河流水量主要集中在 4 月-6 月。克拉玛依市行政区划见图 1。

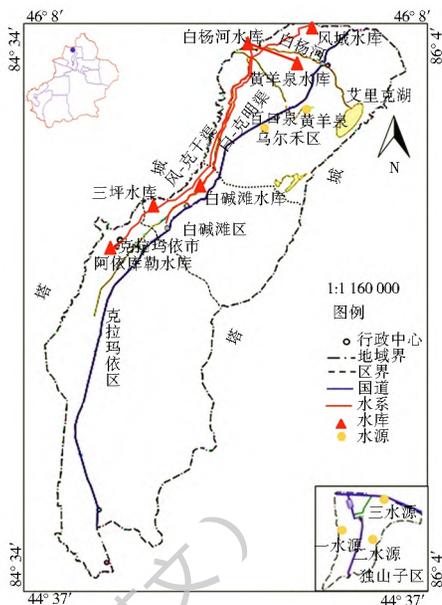


图 1 克拉玛依市行政区划图

Fig. 1 Map showing Karamay City

截止 2011 年底,全市总人口(不含辖区内兵团人口) 29.47 万人,其中农业人口 0.27 万人,非农业人口 29.20 万人;国民生产总值 728.1 亿元,三产比例为 0.5:89.9:9.6,规模以上工业企业累计完成总产值 1 063.4 亿元(现价)。克拉玛依市 2007-2011 年供水量和用水量情况分别见表 1、表 2。克拉玛依市区域之间水资源量相差较大,不同区域产业结构也不尽相同,亟需解决水资源安全问题和合理配置。

表 1 2007 年-2011 年克拉玛依市供水量统计  
Tab. 1 Water supply in Karamay city during 2007-2011 statistics

年份	总供水	地表水供水			地下水供水
		引水工程	白杨河	小计	
2007 年	3.38	2.28	0.93	3.22	0.17
2008 年	2.89	2.08	0.64	2.72	0.17
2009 年	3.14	2.13	0.88	3.01	0.13
2010 年	4.37	1.75	2.50	4.26	0.11
2011 年	3.53	2.43	1.01	3.44	0.09

数据来源:克拉玛依市供水公司供水年志<sup>[16]</sup>和各区水利开发利用情况调查。

表 2 2007 年-2011 年克拉玛依市用水量统计  
Tab. 2 2007-2011 in Karamay city water consumption statistics

年份	总用水	用水量				
		农林灌溉	工业建筑业	生活	服务业	生态
2007 年	3.38	1.32	0.37	0.34	0.17	1.18
2008 年	2.89	1.13	0.32	0.29	0.14	1.01
2009 年	3.14	1.22	0.35	0.31	0.16	1.10
2010 年	4.37	1.70	0.48	0.44	0.22	1.53
2011 年	3.53	1.38	0.39	0.35	0.18	1.24

数据来源:克拉玛依市供水公司供水年志<sup>[16]</sup>和各区水利开发利用情况调查。

## 2 研究方法

### 2.1 水资源安全评价指标体系

根据克拉玛依市水资源开发利用现状和社会经济统计数据,考虑用水指标选取的代表性、综合性、定量化和可比较性原则,选取了12个用水指标,即缺水量、人均水资源量、供水保证率、水资源开发利用效率、非农业人口比例、城镇人均生活用水量、工业万元GDP用水量、灌溉水综合利用系数、工业用水重复利用率、地下水超采比例、废污水排放总量、单位面积环境用水量<sup>[17]</sup>。根据12个用水指标的特征,将其分为4个评价方面,构建了水资源安全评价指标体系,见图2。

### 2.2 层次分析法

层次分析法是根据系统分析和决策分析的基础,将各个因子分为相互联系的、有层次的系统,建立有联系的层次模型,再构造判断矩阵,利用求解特征值的方法,确定各因子权重<sup>[18]</sup>。本文应用层次分析法构造判断矩阵,并确定各指标因子的权重,优选出水资源优化配置方案。

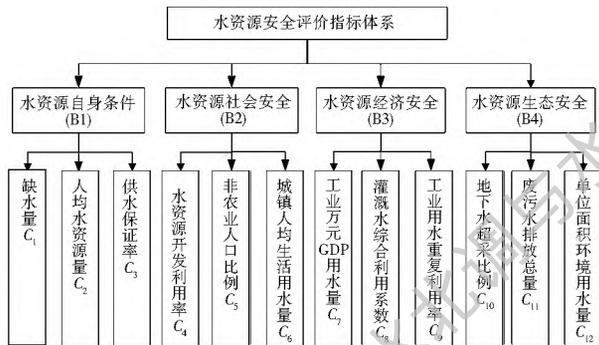


图2 水资源安全评价指标体系

Fig. 2 Evaluation index system of water resource security

### 2.3 水资源配置模型

水资源合理配置是水资源安全评价的基础。由于在设定目标函数时优化方法已经确定了最优方向,所得配置结果为反映当前目标下的最佳结果,再用水资源安全指标来评价优化配置模型结果,并将评价结果信息反馈到优化配置模型中重新调算,会造成优化配置模型的死循环。因此,本文选择水资源管理模型WRMM对水资源进行配置。

#### 2.3.1 水资源配置模型结构

水资源管理模型WRMM(简称WRMM模型)是加拿大阿尔伯特省环境署开发的地表水分配模拟模型,它将实际水资源系统及其内部联系用系统节点图来描述。模型以流域为基本研究单元,其计算

方法以线性规划理论为基础,水分配的优先权由罚值系统和线性规划技术以整个系统罚值最小来确定<sup>[19]</sup>。该模型在已知来水量、需水量与供水优先序的情况下,可较好地模拟水库、天然河道、干渠、水电站、灌区和工业城市用水的水量分配情况,是实用性较强的地表水分配模型,已成功应用于塔里木河流域、乌鲁木齐市等干旱内陆区的水资源总体规划<sup>[20-21]</sup>。WRMM模型由标准输入过程(含两个输入文件SCF、HBDF)、WRMM模拟模块和标准输出过程(OUTSIM)组成,模型结构见图3。

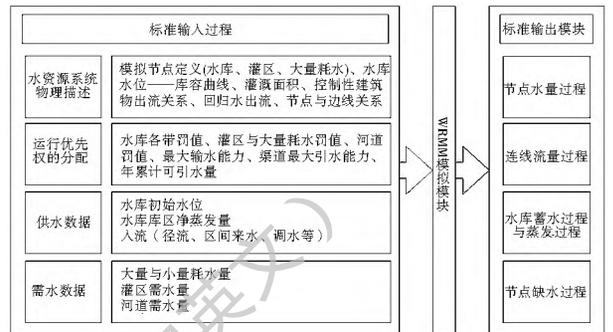


图3 WRMM模型结构示意图

Fig. 3 WRMM model structure diagram

#### 2.3.2 模型求解

WRMM模型将水资源系统概化为流网,流网中的每个水流成分的物理特征以数学关系来描述,地理特征以该成分与其他成分的关系来描述,并且用罚值分配的方法描述各个成分的重要程度<sup>[4]</sup>。流网分为外网和内网:(1)内网,程序根据外网而形成的计算网络关系,见图4;(2)外网,是用户对水资源系统物理特征和地理关系的描述,即水资源系统网络图。然后,模拟计算程序按照每个成分的数学关系式、优先权平衡供水与需水。

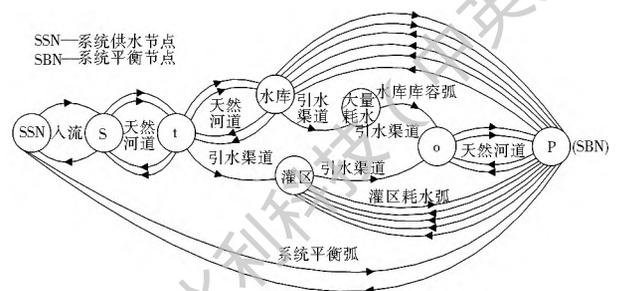


图4 模型计算的内部网络示意图

Fig. 4 Internal Flow Network Representation

模型中罚值是指单位水流从一点如*i*点到*j*点的虚拟成本。每条弧的费用是指每条弧上的流量与对应虚拟成本的乘积。流网总费用即每一条水流连接上弧费用的总和。每一个流网上都会有很多个流网总费用组合,取其最小费用的那个流量组合即为费用最小流量。

$$\text{总费用: } \sum_{(i,j)} C_{i,j} X_{i,j} \quad (i,j) \in A$$

$$\sum_i (X_{i,j} - X_{j,i}) = 0 \quad i \in N$$

$$\text{约束条件: } X_{i,j} \geq L_{i,j} \quad (i,j) \in A$$

$$X_{i,j} \leq K_{i,j} \quad (i,j) \in A$$

式中:  $A$  为水流网络中所有的弧(如  $(i,j)$ )的集合;  $N$  为水流网络中所有节点(如  $i$ )的集合;  $(i,j)$  为从节点  $i$  到节点  $j$  的弧;  $X_{i,j}$  为弧  $(i,j)$  上通过的流量;  $L_{i,j}$  为弧  $(i,j)$  上通过的最小流量;  $K_{i,j}$  为弧  $(i,j)$  上通过的最大流量;  $C_{i,j}$  为弧  $(i,j)$  上每单位流量的费用即罚值。

沿着内网如图 4 所示弧, 根据上述公式通过 Out of Kilter (OKA) 线性技术求得一个满足总费用最小的流量即为最优结果。

### 3 面向水资源安全的水资源优化配置

#### 3.1 水资源配置方案的生成

配置方案设置涉及需求预测、节约用水、供水预测和水资源保护等多个环节内容<sup>[22-23]</sup>。为有效考虑各方面因素, 同时避免方案集设置过于复杂, 将上述涉及的因素划分为供水方案集和需水方案集, 组合成水资源配置方案组合集。其中, 供水方案包括各类开源措施的组合, 如地表水工程建设方案、地下水开采利用方式、污水处理再利用等。需水方案为不同需求预测所确定的需水, 节水方案则体现在不同的需水方案中。根据克拉玛依市水资源及用水户特点, 概化水资源系统网络见图 5。

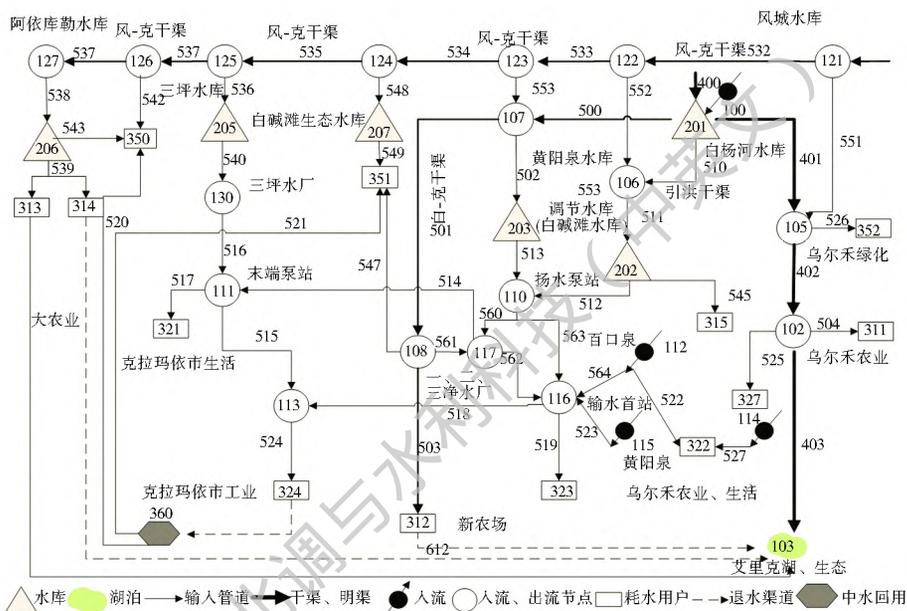


图 5 克拉玛依市水资源系统网络

Fig. 5 Water System network diagram of Karamay City

各种组合形成的方案并非全部参与计算, 而是筛选出可行且有参考意义的各类方案, 通过方案 $\rightarrow$ 反馈 $\rightarrow$ 新方案 $\rightarrow$ 再反馈一系列过程完成方案设置, 最后得到水资源配置模型计算的基本方案集。

#### 3.1.1 需水方案

需水预测按经济发展中速度与高速度预测需水量, 分为中情景和高情景方案, 在中情景下, 2020 年、2030 年总需水量预计将分别达到 3.5855 亿  $m^3$ 、3.5542 亿  $m^3$ ; 在高情景下, 2020 年、2030 年预计将分别达到 4.1074 亿  $m^3$ 、4.0349 亿  $m^3$ 。2020 年、2030 年三条红线指标分别为 6.782 亿  $m^3$  和 7.646 亿  $m^3$ , 各水平年需水量均在最严格水资源管理制度用水总量指标控制范围内。需水定额则采用基本节水与强化节水两种指标, 与不同的节水措施组合, 形成了 11

个需水方案。需水方案 1~ 方案 8 为中情景方案, 各方案之间主要区别在于农业与林牧渔业灌溉定额和灌溉水利用系数, 其次是工业用水与生活用水定额, 它们体现了不同的节水面积与节水措施; 需水方案 9~ 方案 11 为高情景, 需水方案 9 与需水方案 5 除绿化以外各业用水定额相同, 需水方案 10 与需水方案 6 除绿化以外各业用水定额相同; 需水方案 11 在需水方案 9 的基础之上减去大农业 0 期需水。

#### 3.1.2 供水方案

供水方案 1: 在现状供水方案 0 的基础之上增加乌尔禾引水渠首、大农业输水管道(0 期)、克拉玛依区三坪净化水厂 0 期、独山子四水源建设、独山子三水源续建配套组成。

供水方案 2: 在供水方案 1 的基础之上, 增加污

水处理回用工程等工程组成。

供水方案 3: 在供水方案 1 的基础之上, 增加白杨河流域城市绿化管网建设, 建设城市第五水厂。

供水方案 4: 在供水方案 3 的基础之上, 实施调水 0 期, 扩建第五净化水厂。

供水方案 5: 在供水方案 3 的基础之上, 扩建第五净化水厂。

### 3.1.3 水资源配置方案集

由以上各类需水方案、供水方案组合叠加生成调度运行方案, 形成水资源配置方案集。由于供水方案与需水方案相关, 并非所有供水方案与需水方案组合都是可行, 最终确定 13 个水资源配置方案如表 4 所示, 方案 0 为现状配置方案。

表 4 克拉玛依市水资源配置方案集

Tab. 4 Water resources allocation schemes of Kalamay

配置方案	供水方案 0	供水方案 1	供水方案 2	供水方案 3	供水方案 4	供水方案 5
需水方案 0	方案 0	配置方案 1	×	×	×	×
需水方案 1			×	×	×	×
需水方案 2			配置方案 2	×	×	×
需水方案 3			配置方案 3	×	×	×
需水方案 4			配置方案 4	×	×	×
需水方案 5			配置方案 5	×	×	×
需水方案 6			配置方案 6	×	×	×
需水方案 7			配置方案 7	×	×	×
需水方案 8			配置方案 8	×	×	×
需水方案 9			配置方案 9	×	配置方案 11	×
需水方案 10			配置方案 10	配置方案 12	×	×
需水方案 11			×	×	×	配置方案 13

### 3.2 各方案的水资源安全评价指标

从 WRMM 模型模拟的 13 个资源配置方案中, 选

取如图 2 所述的 12 个指标作为克拉玛依市水资源配置方案的水资源安全评价指标, 各方案评价结果见表 5。

表 5 水资源配置方案的水资源安全评价指标

Tab. 5 Evaluation index system of water environment of water resources allocation schemes

评价角度	指标	方案 0	方案 1	方案 2	方案 3	方案 4	方案 5	方案 6	方案 7	方案 8	方案 9	方案 10	方案 11	方案 12	方案 13
水资源自身条件 B1	缺水量 ( $C_1$ ) / 万 $m^3$	- 2 633	- 614	- 320	- 463	- 327	- 679	- 326	- 582	- 292	- 17 260	- 8 083	- 5 752	- 2 566	- 4 207
	人均水资源量 ( $C_2$ ) / ( $m^3 \cdot 人^{-1}$ )	1 360	1 394	1 273	1 375	1 245	1 370	1 244	1 347	1 242	1 326	1 261	1 589	1 388	1 376
	供水保证率 ( $C_3$ ) (%)	96	100	100	100	96	96	100	100	100	100	100	74	48	63
水资源社会安全 B2	水资源开发利用率 ( $C_4$ ) (%)	0.86	0.86	0.63	0.82	0.58	0.81	0.57	0.77	0.57	0.82	0.70	1.44	0.94	1.02
	非农业人口比例 ( $C_5$ ) (%)	99.37	99.37	99.37	99.37	99.37	99.37	99.37	99.37	99.37	97.28	97.28	97.28	97.28	97.28
	城镇人均生活用水量 ( $C_6$ ) / ( $l \cdot 人^{-1} \cdot d^{-1}$ )	130	130	120	130	120	130	120	130	120	130	120	130	120	130
水资源经济安全 B3	工业万元 GDP 用水量 ( $C_7$ ) / ( $m^3 \cdot 万元^{-1}$ )	19.37	19.37	19.37	19.37	19.37	19.37	19.37	19.37	19.37	15.68	15.68	15.68	15.68	15.68
	灌溉水综合利用率 ( $C_8$ )	0.64	0.64	0.68	0.68	0.74	0.72	0.74	0.74	0.75	0.72	0.74	0.72	0.74	0.72
	工业用水重复利用率 ( $C_9$ ) (%)	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91
水资源生态安全 B4	地下水超采比例 ( $C_{10}$ ) (%)	- 0.04	- 0.04	- 0.36	- 0.04	- 0.37	- 0.02	- 0.37	- 0.04	- 0.37	- 0.03	- 0.09	- 0.11	- 0.17	- 0.15
	废污水排放总量 ( $C_{11}$ ) / 万 $m^3$	17 064	17 064	17 064	17 064	17 064	17 064	17 064	17 064	17 064	25 458	25 458	25 458	25 458	25 458
	单位面积环境用水量 ( $C_{12}$ ) / ( $m^3 \cdot km^{-2}$ )	6511	6511	6511	6511	6511	6511	6511	6511	6511	6511	6511	6511	6511	6511

### 3.3 最优方案的选取

#### 3.3.1 准则层 $B_i$ 层次分析

(1) 根据评价指标体系, 对准则层 4 的关系构造判断矩阵, 见表 6。

表 6 准则层  $B_i$  的判断矩阵

Tab. 6 Judgment matrix of criterion layer  $B_i$

A	$B_1$	$B_2$	$B_3$	$B_4$
$B_1$	1	1/3	5	1
$B_2$	3	1	7	3
$B_3$	1/5	1/7	1	1/5
$B_4$	1	1/3	5	1

(2) 计算准则层  $B_i$  单排序权重值, 见表 7。

表 7 准则层  $B_i$  的单排序计算表

Tab. 7 Single sort calculation of criterion layer  $B_i$

A	$M_i$	$\bar{W}_i$	$W_i$
$B_1$	5.0	1.495	0.263
$B_2$	0.01	0.312	0.055
$B_3$	0.20	0.669	0.118
$B_4$	105.0	3.201	0.564

(3) 一致性检验, 判断矩阵的最大特征根稍大于矩阵阶数, 而其他特征根接近 0, 认为判断矩阵具有较高的一致性。若随机一致性比率  $CR = \frac{CI}{RI} < 0.10$ , 则判断矩阵具有满意的一致性, 表明权重的正确性, 计算结果见表 8。

表 8 准则层  $B_i$  一致性检验表

Tab. 8 consistency test of criterion layer  $B_i$

$\lambda_{max}$	CI	RI	CR
4.117	0.039	0.9	0.043

由表 8 可知准则层  $B_i$  的随机一致性比率  $CR$  为 0.039, 小于 0.10, 符合判断矩阵的一致性检验要求。水资源自身条件的权重最大, 在方案集优选时应当优先考虑; 其次是水资源生态安全; 再次是水资源经济安全; 权重最低的是水资源社会安全。

#### 3.3.2 指标层 $C_j$ 层次分析

通过层次分析法, 对克拉玛依市水资源评价体系的指标层  $C_j$  进行权重分析, 排序见表 9。

由表 9 可以看出, 指标层  $C_j$  的先后顺序是  $C_{11} > C_{10} > C_1 > C_7 > C_3 > C_{12} > C_4 > C_2 > C_8 > C_6 > C_9 > C_5$ , 即废污水排放总量 > 地下水超采比例 > 缺水量 > 工业万元 GDP 用水量 > 供水保证率 > 单位面积环境用水量 > 水资源开发利用率 > 人均水资源量 > 灌溉水综合利用系数 > 城镇人均生活用水量 > 工

业用水重复利用率 > 非农业人口比例, 符合克拉玛依市的社会发展情况。

表 9 克拉玛依市水资源安全评价体系排序表

Tab. 9 Rank of Water Resource security Assessment System

B 层 C 层	$B_1$	$B_2$	$B_3$	$B_4$	C 层 总排序
$C_1$	0.637	0	0	0	0.168
$C_2$	0.105	0	0	0	0.028
$C_3$	0.258	0	0	0	0.068
$C_4$	0	0.713	0	0	0.039
$C_5$	0	0.094	0	0	0.005
$C_6$	0	0.258	0	0	0.014
$C_7$	0	0	0.845	0	0.100
$C_8$	0	0	0.218	0	0.026
$C_9$	0	0	0.094	0	0.011
$C_{10}$	0	0	0	0.373	0.210
$C_{11}$	0	0	0	0.442	0.249
$C_{12}$	0	0	0	0.105	0.059

通过指标层  $C_j$  的排序可以得出, 权重最高的指标层是水资源生态安全中废污水排放总量指标和地下水超采比例指标, 在方案择优时优先考虑废污水排放总量指标和地下水超采比例指标。当这两个指标要求相同时, 依次考虑缺水量指标、工业万元 GDP 用水量指标、供水保证率指标、单位面积环境用水量指标、水资源开发利用率指标、人均水资源量指标、灌溉水综合利用系数指标、城镇人均生活用水量指标、工业用水重复利用率指标、非农业人口比例指标, 最终选择出符合克拉玛依市的水资源配置方案。本次计算, 基于水资源安全的克拉玛依市水资源配置方案选取方案 8 为推荐方案, 参考推选方案为方案 2, 方案 4, 方案 6。

#### 3.4 结果比较

通过对比推荐方案 8 与现状方案(方案 0)的评价指标可以看出: 从水资源自身条件看, 方案 0 的缺水水量为 2 633 万  $m^3$ , 远大于方案 8 的 292 万  $m^3$ ; 方案 8 的供水保证率达到 100%, 高于方案 0 的供水保证率 96%; 从水资源社会安全指标可以看出, 方案 8 的水资源开发利用率为 57%, 而方案 0 的水资源开发利用率为 86%; 从水资源经济安全来看, 方案 8 的灌溉水综合利用系数为 0.75, 是所有配置方案中最高的, 而方案 0 的灌溉水综合利用系数为 0.64。因此, 从水资源安全角度考虑, 应用层次分析法优选出的方案 8, 可以有效提高水资源利用率、保障区域用水安全。

## 4 结语

绿洲受水区城市水资源合理配置关系到城市社会经济安全、水量安全、水质安全、水资源安全的纽带,关系到社会经济的可持续发展和生态环境的良性循环。本文从不同角度选取评价水资源安全的指标,计算了不同指标所占的权重,通过对比方案,应用层次分析法最终优选出方案8为克拉玛依市水资源优化配置方案,方案8的供水保证率达到100%,水资源开发利用率为57%,灌溉水综合利用系数为0.75,能更好为城市的规划发展提供可靠的水资源保证。

(1)通过WRMM模型建立的克拉玛依市水资源配置模型,可以模拟各方案的水资源配置过程,并得到各方案相应的评价指标,表明该模型能适用于克拉玛依市水资源配置。

(2)本文提出的基于水资源安全的水资源配置方法,通过对12个水资源安全指标的评价分析,将水资源配置从传统的以缺水量最小为核心,扩展到在满足水资源安全前提下实现了各用水户的有效供给,对于提高水资源利用率、保障区域用水安全具有重要意义。

(3)基于水资源安全的水资源配置理论与方法尚处于探索阶段,对于水资源安全指标设置还有些欠考虑的因素,评价指标还需进一步改进。

### 参考文献:

- [1] 王浩,游进军.水资源合理配置研究历程与进展[J].水利学报,2008,39(10):1168-1175.(WANG Hao, YOU Jinjun. Advancement and development course of research on water resources deployment [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2008, 39(10): 1168-1175. (in Chinese))
- [2] Bogardi J J, Dudgeon D, Lawford R, et al. Water security for a planet under pressure: interconnected challenges of a changing world call for sustainable solutions[J]. Current Opinion in Environmental Sustainability, 2012, 4(1): 35-43.
- [3] Manning S, Boons F, Von Hagen O, et al. National Contexts Matter: The Co-Evolution of Sustainability Standards in Global Value Chains[J]. Ecological Economics, 2012, 83(5): 197-209.
- [4] Davidson B, Malanob H, Nawaratmb B, et al. The hydrological and economic impacts of changing water allocation in political regions within the periurban south creek catchment in western Sydney: E Model development[J]. Journal of Hydrology, 2013, 499: 339-348.
- [5] Liu B, Mei X R, Li Y Z, et al. The connotation and extension of agricultural water resources security [J]. Agricultural Sciences in China, 2007, 6(1): 11-16.
- [6] 曾思栋,夏军,黄会勇,等.分布式水资源配置模型DTVGM-WEAR的开发及应用[J].南水北调与水利科技,2016(3):1-6.(ZENG Sidong, XIA Jun, HUANG Huiyong et al. Development and application of distributed water resource allocation model: DTVGM-WEAR [J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2016(3): 1-6. (in Chinese))
- [7] 吴丹,王士东,马超,基于需求导向的城市水资源优化配置模型[J].干旱区资源与环境,2016(2):31-37.(WU Dan, WANG Shirong, MA Chao. Modeling of urban water resources optimal allocation [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2016(2): 31-37. (in Chinese))
- [8] 刘静,左其享.环境变化对水系统影响的关键问题探讨.南水北调与水利科技,2015(6):1-7.(LIU Jing, ZUO Qixing. Discussion of key issues for impacts of environmental change on human water system [J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2015(6): 1-7. (in Chinese))
- [9] George B, Malanob H, Davidson B, et al. An integrated hydro-economic modelling framework to evaluate water allocation strategies: E Model development [J]. Agricultural Water Management. 2011. 93(5): 733-746.
- [10] Ahmadi. Azadeh. Integrated planning of land use and water allocation on a watershed scale considering social and water quality issues [J]. Journal of Water Resources Planning & Management. 2012. 138(6): 671-681.
- [11] Rijisberman, M A, Frans H M. Different approaches to assessment of design and management of sustainable urban water system [J]. Environment in Pact assessment review, 2000, 129(3): 333-345.
- [12] 曾畅云,李贵宝,傅桦.水环境安全及其指标体系研究以北京市为例[J].南水北调与水利科技,2004,3(4):31-35.(ZENG Changyun, LI Guibao, FU Hua. Study on Water environment security and its evaluation index system: A case study of Beijing [J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2004, 3(4): 31-35. (in Chinese))
- [13] 杜勇,许力飞.石油城市经济可持续发展问题研究——以克拉玛依为例[J].理论月刊,2012,(4):126-129.(DU Yong, XU Lifen. Research on sustainable development of petroleum city economy- Karamay Case [J]. Theory Monthly, 2012, (4): 126-129. (in Chinese))
- [14] 苑涛,何秉宇.干旱区水资源承载力分析及应用[J].水土保持研究,2007,14(3):341-342.(YUAN Tao, HE Bingyu. Research and application of water resources carrying capacity in arid area [J]. Research of Soil and Water Conservation, Research of Soil and Water Conservation, 2007, 14(3): 341-342. (in Chinese))
- [15] 潘峰,田长彦,邵峰,等.新疆克拉玛依市生态敏感性研究[J].地理学报,2011,66(11):1497-1507.(PAN Feng, TIAN Changyan, SHAO Feng, et al. Evaluation of ecological sensitivity in Karamay, Xinjiang, Northwest China [J]. Acta Geographica Sinica, 2011, 66(11): 1497-1507. (in Chinese))
- [16] 克拉玛依市供水公司.克拉玛依市供水年鉴[R].新疆,克拉玛依,2007-2011.(Water Company of Karamay city. Water supply bulletin of Karamay city [R]. Xinjiang, Karamay city, 2007-2011. (in Chinese))

- [17] 高媛媛,王红瑞,许新宜,等.水资源安全评价模型构建与应用——以福建省泉州市为例[J].自然资源学报,2012,27(2):204-212.[J].(GAO Yuan yuan,WANG Hong rui,XU Xiruyi,et al,Assessment of water resources security case of Quanzhou City in Fujian Province[J].Journal of Natural Resources,2012,27(2):204-212.(in Chinese))
- [18] 游进军,赵帆,等.针对水资源配置评价的定量指标改进层次分析法研究[J].水利水电技术,2010,(3):6-8,16.(YOU Jir jun,ZHAO Fan,et al.Improved analytic hierarchy process for quantitative index of assessment on water resources allocation [J].Water Resources and Hydropower Engineering,2010,(3):6-8,16.(in Chinese))
- [19] Alan, Alberta Environment Natural Resources Service Bow Region Water Administration Branch[M].Water Resources Management Model Computer Program Description. Canada, 1999
- [20] 何英.干旱区典型流域水资源优化配置研究[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2010.(HE Ying. Typical basin water resources optimal allocation of arid zone[D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2010. (in Chinese))
- [21] 布海力且木·阿布都卡地尔,姜卉芳.WRMM模型在乌鲁木齐河流域水资源管中的应用[J].新疆农业大学学报,2005,28(1):77-80.(BUHAILIQIEMU Abudukadir,JIANG Huirfang. Application of WRMM model to Urumqi river water resource management [J]. Journal of Xinjiang Agricultural University, 2005, 28(1): 77-80. (in Chinese))
- [22] 金晶,唐德善,李晓英.基于AHP模糊决策模型的水资源配置方案优选[J].水电能源科学,2013(7):33-35.(JIN Jing,TANG De shan,LI Xiaor ying. Scheme optimization of water resources allocation based on AHP fuzzy decision model[J]. Water Resources and Power, 2013(7): 33-35. (in Chinese))
- [23] 姬卿伟,孙建光.绿洲城市水资源配置模拟和优化[J].人民黄河,2014(7):65-68,72.(JI Qir wei,SUN Jiarr guang. Simulation and optimization of water resources allocation in oasis city[J]. Yellow River, 2014(7): 65-68, 72. (in Chinese))