

# Water Resources Allocation of Ecological Engineering Based on “Three Red Lines” in Kashgar Area

Qisong Liu, Tao Bai\*, Yimin Wang, Qiang Huang

State Key Lab Base of Northwest Arid Ecology and Hydraulic Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an Shaanxi  
Email: \*baitao@xaut.edu.cn

Received: Dec. 18<sup>th</sup>, 2017; accepted: Dec. 28<sup>th</sup>, 2017; published: Jan. 5<sup>th</sup>, 2018

---

## Abstract

To improve the ecological environment, the ecological project of “Four Corridors” and “Four Barriers” in Kashgar area was proposed. To ensure the water supply safety and continuity of the ecological project, it is urgent to study the water resources allocation based on “three red lines” of the most stringent water resources management system. The water balance model and multiple schemes regulation to water resources allocation were used. According to the different water-saving measures to form the different years, 27 kinds of programs that can be used for ecological forest irrigation, and the rationality of the programs are analyzed. The results indicated that the water supply of the present level year 2015 was up to 0.55 billion m<sup>3</sup>, and in 2020 and 2030 the water supply can up to about 1 billion m<sup>3</sup> and 1.11 billion m<sup>3</sup>. 27 kinds of programs of each level year can be used for ecological engineering, and a few programs are recommended for different level years combining the situation of Kashgar area with the development of ecological project. It is indicated that the “three red lines” indicators in the Kashgar area are reasonable and the results of water resources allocation are accurate and reliable. According to the basic principle of “amounts of trees determined by water”, the numbers and areas of ecological forest under different forest type combinations are obtained. The research results provide a scientific basis for the demonstration of water resources of “Four Corridors” and “Four Barriers” ecological engineering, which have important practical guiding significance and application value.

## Keywords

Three Red Lines, Long Series of Algorithms, Water Resources Allocation, Amounts of Trees Determined by Water

---

# 基于“三条红线”的喀什地区生态工程水资源配置研究

刘启松, 白涛\*, 王义民, 黄强

作者简介: 刘启松(1991-), 男, 湖北咸宁人, 在读硕士, 主要从事水文水资源工作。  
\*通讯作者。

西安理工大学, 西北旱区生态水利工程国家重点实验室培育基地, 陕西 西安  
Email: \*baitao@xaut.edu.cn

收稿日期: 2017年12月18日; 录用日期: 2017年12月28日; 发布日期: 2018年1月5日

## 摘要

为改善生态环境, 喀什地区提出了“四长廊”、“四屏障”生态工程。为保证生态工程的供水安全、可持续运行, 在满足最严格的水资源管理制度“三条红线”的基础上, 亟需对喀什地区的水资源配置进行深入研究。鉴于此, 基于喀什地区“三条红线”的控制标准, 利用水量平衡模型和多方案调控对水资源进行多方案配置。根据不同的节水措施组成各水平年可用于生态林灌溉的27种方案, 对方案的合理性进行分析。结果表明: 2015现状水平年供水量最多为5.49亿 $m^3$ 、2020和2030规划水平年下供水量最多为9.95亿 $m^3$ 和11.06亿 $m^3$ , 各水平年27种方案均可用于生态工程, 并结合喀什地区实际状况和生态工程进展计划为各水平年推荐了几种较优方案, 说明喀什地区“三条红线”指标合理、水资源配置计算结果准确、可靠。根据“以水定林”的基本原则, 获得了各水平年推荐方案下不同林种组合下的生态林数量和面积。研究成果为“四长廊”、“四屏障”生态工程的水资源论证提供了科学依据, 具有重要的实际指导意义和应用价值。

## 关键词

三条红线, 长系列, 水资源配置, 以水定林

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

喀什地区地处塔克拉玛干沙漠边缘, 境内有塔克拉玛干、布古里、托克拉克三处沙漠, 生态环境脆弱, 森林资源少, 气候干旱多风, 荒漠化土地面积大, 危害严重。急需采取有力措施, 加快治理。本着“构建绿色生态屏障, 营造内部生态环境, 为子孙后代建起绿色银行、留下永久绿荫”的理念, 基于喀什地区实际情况, 经过实地踏测、充分调研, 喀什地区提出了“打造四条绿色长廊、建设四大生态屏障”的生态建设思路。“四长廊”、“四屏障”生态工程的规划、设计和实施需要大量的水资源为前提。面对喀什地区极度紧缺的水资源和“三条红线”的控制标准, 研究新形势下喀什地区的水资源配置尤其重要。

针对喀什地区水资源问题的研究很多。周宏飞通过对新疆的水资源利用量及其承载能力进行讨论, 提出了新疆水资源可以支撑社会经济的可持续发展[1]。叶茂通过对塔里木河水资源利用面临的问题予以分析, 提出了塔里木河流域水资源可持续利用的基本对策[2]。来玉梅基于 Landsat5 TM 影像对喀什地区近二十年水资源变化进行了研究, 揭示了基于气候、人为两大因素的共同驱动下, 近二十年来喀什地区水资源呈现减少趋势[3]。陈红梅基于主成分分析法对喀什地区的水资源承载力进行了综合评价, 提出了喀什地区水资源承载力呈现逐年减少趋势[4]。目前, 研究成果主要是对喀什地区水资源承载力和水资源利用等方面的研究。对于“三条红线”新形势下喀什地区的水资源配置的研究较少。

本文基于喀什地区“三条红线”的水资源控制标准, 利用水量平衡模型和多方案调控[5]研究喀什地区的水资源配置问题。研究成果为新形势下喀什地区的水资源配置以及“四长廊”、“四屏障”生态工程的水资源论

证提供了科学依据，具有重要的实际指导意义和应用价值。

## 2. 喀什地区基本概况

喀什地区地处欧亚大陆中部，新疆维吾尔自治区西南部。位于东经 71°39'~79°52'，北纬 35°28'~40°16'之间。全区总面积 16.2 万 km<sup>2</sup>，约占新疆土地总面积的 8.3%。喀什地区下辖 1 个市和 11 个县，即喀什市、疏附县、疏勒县、英吉沙县、岳普湖县、伽师县、莎车县、泽普县、叶城县、麦盖提县、巴楚县、塔什库尔干塔吉克自治县[6]。

“三条红线”下喀什地区各用水单位在不同水平年的用水量指标见表 1。

2015 现状水平年喀什地区 12 县市用水总量指标是 85.96 亿 m<sup>3</sup>，其中工业用水量为 0.94 亿 m<sup>3</sup>，占总用水量的 1.1%；农业用水量为 82.71 亿 m<sup>3</sup>，占总用水量的 96.2%；生活用水量为 2.31 亿 m<sup>3</sup>，占总用水量的 2.7%；2020 规划水平年喀什地区 12 县市用水总量指标是 82.89 亿 m<sup>3</sup>，其中工业用水量为 2.17 亿 m<sup>3</sup>，占总用水量的 2.6%；农业用水量为 78.10 亿 m<sup>3</sup>，占总用水量的 94.2%；生活用水量为 2.62 亿 m<sup>3</sup>，占总用水量的 3.2%；2030 规划水平年喀什地区 12 县市用水总量指标是 81.34 亿 m<sup>3</sup>，其中工业用水量为 3.40 亿 m<sup>3</sup>，占总用水量的 4.2%；农业用水量为 74.91 亿 m<sup>3</sup>，占总用水量的 92.1%；生活用水量为 3.03 亿 m<sup>3</sup>，占总用水量的 3.7%；由表 1 可知，由于喀什地区人口的增加以及工业的发展，及高效节水面积的增加，喀什地区的生活用水和工业用水呈增长趋势，农业用水呈减少趋势，农业用水基本占喀什地区总用水量的 90%，故该地区整体用水量呈减少趋势。总体来看，喀什地区各水平年的用水总量在“三条红线”总量指标控制下逐渐减少。在喀什地区多年来水不变的前提下，通过对喀什地区水资源合理配置可以实现“四屏障”、“四长廊”生态工程供水需求。

**Table 1.** The water unit indicator in Kashgar Area (unit: 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>)

**表 1.** 喀什地区各单元用水指标(单位: 亿 m<sup>3</sup>)

| 流域名称   | 行政分区 | 2015 现状水平年 |       |      |       | 2020 规划水平年 |       |      |       | 2030 规划水平年 |       |      |       |
|--------|------|------------|-------|------|-------|------------|-------|------|-------|------------|-------|------|-------|
|        |      | 工业         | 农业    | 生活   | 合计    | 工业         | 农业    | 生活   | 合计    | 工业         | 农业    | 生活   | 合计    |
| 喀什噶尔流域 | 喀什市  | 0.33       | 1.60  | 0.18 | 2.11  | 0.57       | 1.45  | 0.22 | 2.23  | 0.89       | 0.96  | 0.28 | 2.13  |
|        | 疏附县  | 0.01       | 7.80  | 0.24 | 8.05  | 0.01       | 6.63  | 0.29 | 6.93  | 0.02       | 6.16  | 0.37 | 6.54  |
|        | 疏勒县  | 0.13       | 6.51  | 0.22 | 6.86  | 0.35       | 5.61  | 0.25 | 6.21  | 0.55       | 5.06  | 0.28 | 5.89  |
|        | 英吉沙县 | 0.05       | 5.86  | 0.13 | 6.04  | 0.13       | 5.16  | 0.15 | 5.44  | 0.20       | 4.78  | 0.16 | 5.14  |
|        | 岳普湖县 | 0.04       | 4.93  | 0.16 | 5.12  | 0.06       | 4.55  | 0.18 | 4.79  | 0.09       | 4.29  | 0.23 | 4.61  |
|        | 伽师县  | 0.15       | 9.46  | 0.23 | 9.84  | 0.33       | 8.26  | 0.26 | 8.85  | 0.52       | 7.57  | 0.28 | 8.37  |
|        | 小计   | 0.70       | 36.17 | 1.15 | 38.02 | 1.44       | 31.66 | 1.34 | 34.44 | 2.27       | 28.81 | 1.60 | 32.68 |
| 叶尔羌河流域 | 巴楚县  | 0.06       | 11.93 | 0.17 | 12.15 | 0.14       | 11.93 | 0.18 | 12.25 | 0.22       | 11.89 | 0.2  | 12.30 |
|        | 泽普县  | 0.02       | 3.97  | 0.12 | 4.11  | 0.08       | 3.94  | 0.14 | 4.15  | 0.12       | 3.90  | 0.15 | 4.17  |
|        | 莎车县  | 0.09       | 14.17 | 0.39 | 14.64 | 0.28       | 14.10 | 0.42 | 14.81 | 0.45       | 13.93 | 0.49 | 14.87 |
|        | 叶城县  | 0.05       | 7.30  | 0.30 | 7.65  | 0.14       | 7.24  | 0.33 | 7.72  | 0.23       | 7.17  | 0.35 | 7.75  |
|        | 麦盖提县 | 0.01       | 8.65  | 0.14 | 8.80  | 0.06       | 8.73  | 0.16 | 8.95  | 0.10       | 8.72  | 0.18 | 8.99  |
|        | 塔县   | 0.01       | 0.53  | 0.05 | 0.58  | 0.02       | 0.51  | 0.06 | 0.58  | 0.03       | 0.49  | 0.06 | 0.58  |
|        | 小计   | 0.24       | 46.54 | 1.15 | 47.94 | 0.72       | 46.45 | 1.28 | 48.45 | 1.14       | 46.10 | 1.43 | 48.67 |
| 喀什     | 总合计  | 0.94       | 82.71 | 2.31 | 85.96 | 2.17       | 78.10 | 2.62 | 82.89 | 3.40       | 74.91 | 3.03 | 81.34 |

喀什地区地处塔克拉玛干沙漠边缘，生态环境脆弱。在立足喀什实际的基础上，经过实地踏测、充分调研，创造性提出了“打造四条绿色长廊、建设四大生态屏障”的生态建设思路。四条绿色长廊即：阿(克苏)-喀(什)高速、喀(什)-叶(城)高速、喀(什)-麦(盖提)高速、三(岔口)-莎(车)高速沿线生态建设工程。四大生态屏障即：英吉沙与莎车县交界戈壁区，巴楚、伽师、岳普湖三县交界区，麦盖提至莎车县交界区域，莎车县至叶城县交界区域。喀什地区四大生态屏障工程总体布局如图1所示。

“四条绿色长廊”和“四大生态屏障”建设，对实现生态环境、资源开发可持续发展起到积极作用。在对喀什地区进行水资源合理配置后，根据可用于生态工程的水量和生态工程所种生态林树木的种类及其灌溉定额，可计算出可种植生态林的数量。按照“以水定林”的思路可计算各水平年不同方案下生态工程的生态林种植数量。

### 3. 基于“三条红线”下喀什地区水资源配置

#### 3.1. 水资源配置的原则

水资源合理配置是指在给定流域或特定区域范围内。遵循公平、高效和可持续利用的原则，通过各种工程与非工程措施，考虑市场经济的规律和资源配置准则，通过合理抑制需求、有效增加供水、积极保护生态环境等手段和措施，对多种可利用水源在区域内和各用水部门间进行调配。水资源配置需遵循以下原则：1) 综合利用水资源，保障社会、经济、生态可持续发展，以水资源综合利用为核心，优化配置区域内的地表水与地下水资源，遵循充分利用地表水，合理开采地下水的原则，实现水资源的合理配置。2) 充分开发利用有限的水资源，

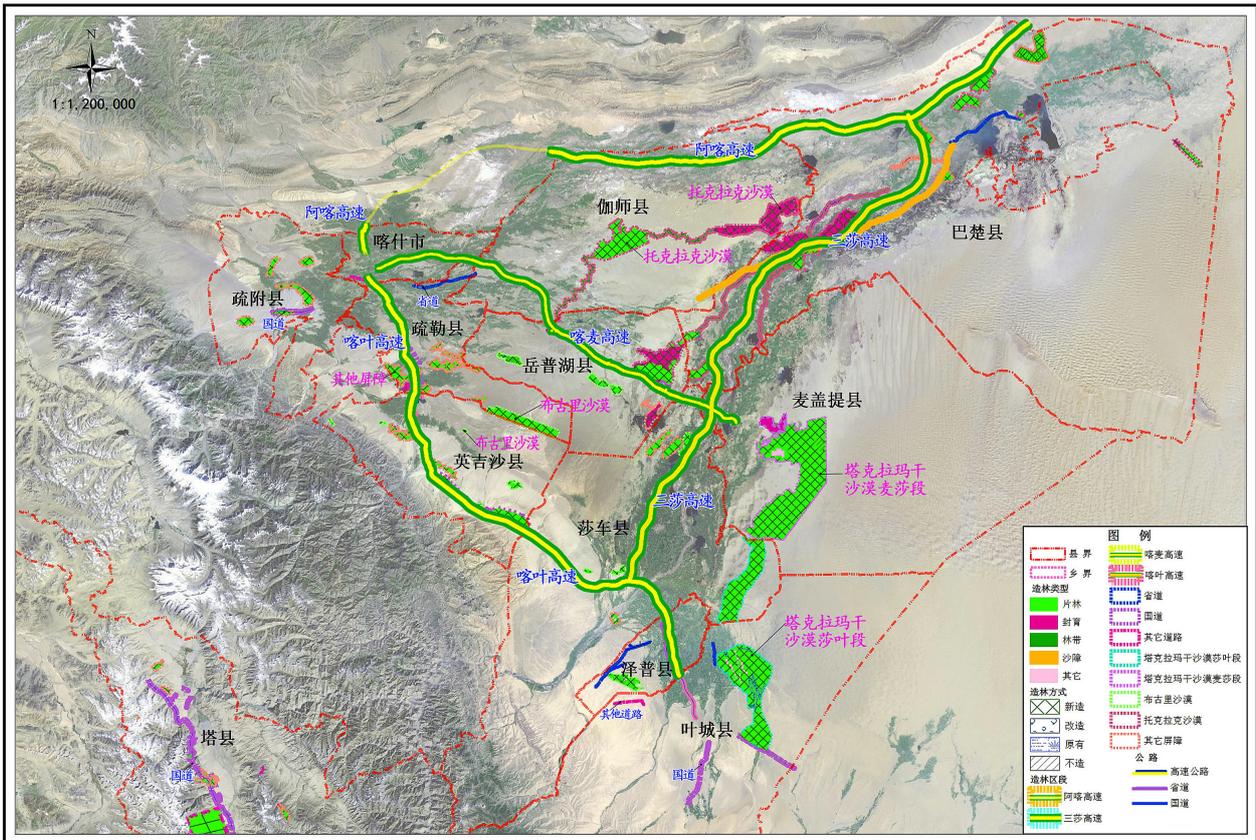


Figure 1. Construction of four ecological barriers in Kashgar area—the overall project layout drawing

图1. 喀什地区四大生态屏障工程建设——工程总体布局图

采取节水与增水相结合的方式,坚持节水与保护原则。3) 公平公正原则,地方与兵团、上中下游要统筹兼顾[7]。

### 3.2. “三条红线”原则

2011年中央1号文件和中央水利工作会议明确要求实行最严格水资源管理制度,确立水资源开发利用控制、用水效率控制和水功能区限制纳污“三条红线”。

用水总量控制是对一个流域(区域)用水总量进行管理,是水资源管理的宏观控制指标。用水总量控制红线只考虑水量,没有考虑水质。用水效率控制红线是一个综合性指标,包含人均综合用水量、万元工业增加值用水量和亩均用水量等指标。水功能区限制纳污控制红线主要针对水域纳污能力。“三条红线”分别从不同方面对水资源的开发利用进行管理。三者之间虽有所区别,但也密切相关,三者一起形成一个完整的水资源管理体系,并且“三条红线”控制指标在任何情况下都不允许被逾越[8][9]。

### 3.3. 水资源配置模型的建立及求解

#### 3.3.1. 模型建立

该水资源配置模型的目标为在满足生活、工业、农业用水量的基础上,求解地区不同水平年可用于生态工程的供水量,为评价区域未来可能承载的生态林的数量提供支撑。

模型要满足的约束条件主要有:

- 1) “三条红线”约束

$$W_i \leq W_j \quad (1)$$

式中:  $W_i$  为各水平年各用水单位用水量;  $W_j$  为各水平年“三条红线”指标控制水量。

- 2) 水量平衡约束

$$W_{\text{用水}} + W_{\text{剩余}} = W_{\text{来水}} \quad (2)$$

式中:  $W_{\text{用水}}$  为各水平年用水总量,  $W_{\text{剩余}}$  为各水平年剩余水量,  $W_{\text{来水}}$  为各水平年来水总量。

#### 3.3.2. 模型求解

基于上述建立的模型及水资源开发利用现状,本研究将采用长系列算法[10]来求解模型,其计算步骤如图2所示。

- 1) 以地表径流、地下水年开采量作为地表水、地下水资料,确定各水平年的来水总量。
- 2) 确定各水平年各用水单位的需水量,生活、农业和工业需水量按照“三条红线”指标供给。
- 3) 以多年来水资料对2015现状水平年、2020和2030规划水平年进行长系列供需平衡计算,得出各水平年的剩余水量。
- 4) 将剩余水量中可用于林牧渔畜供水的不同比例,农业节水的不同力度和地下水开采的不同程度等节水措施进行方案组合。
- 5) 对各水平年不同方案进行供需平衡分析,判断是否满足喀什地区“三条红线”要求,若不满足则需重新调整供水方案和节水措施。

### 3.4. 长系列计算

以2001~2013年来水资料对2015现状水平年、2020和2030规划水平年进行长系列计算,各水平年的计算结果如表2所示。

由表2可得:

- 1) 长系列来水在满足各水平年各用水单位的用水后,剩余部分水量将进入河道中,这部分水量称为“剩余

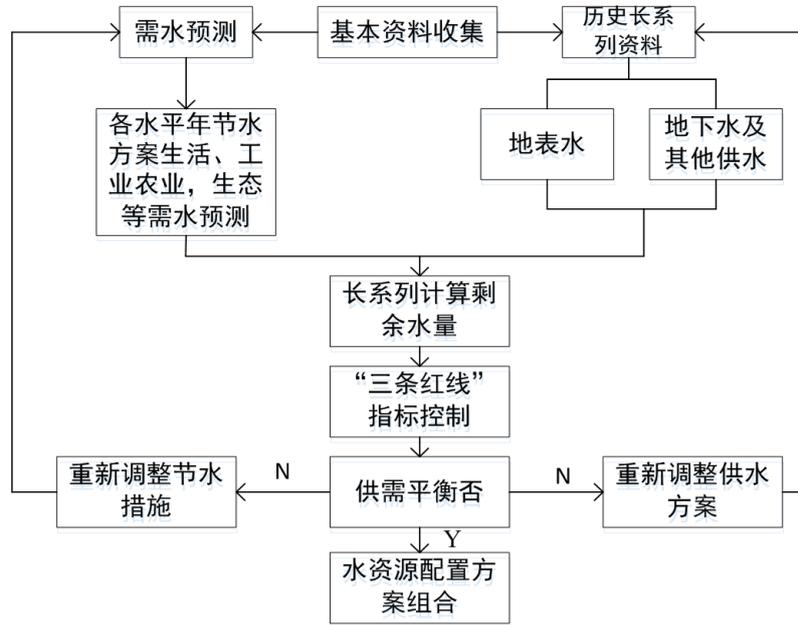


Figure 2. Water resources allocation process  
图 2. 水资源配置流程

Table 2. Long term calculations of each level year (unit:  $10^8 \text{ m}^3$ )  
表 2. 各水平年长系列计算结果(单位: 亿  $\text{m}^3$ )

| 年份   | 地表水    | 地下水 | 2015 需水量 |       |      | 2020 需水量 |      |      | 2030 需水量 |       |      | 剩余水量  |       |       |
|------|--------|-----|----------|-------|------|----------|------|------|----------|-------|------|-------|-------|-------|
|      |        |     | 工业       | 农业    | 生活   | 工业       | 农业   | 生活   | 工业       | 农业    | 生活   | 2015  | 2020  | 2030  |
| 2001 | 82.65  | 20  | 0.94     | 82.71 | 2.31 | 2.17     | 78.1 | 2.62 | 3.4      | 74.91 | 3.03 | 16.69 | 19.76 | 21.31 |
| 2002 | 70.52  | 20  | 0.94     | 82.71 | 2.31 | 2.17     | 78.1 | 2.62 | 3.4      | 74.91 | 3.03 | 4.56  | 7.63  | 9.18  |
| 2003 | 79.97  | 20  | 0.94     | 82.71 | 2.31 | 2.17     | 78.1 | 2.62 | 3.4      | 74.91 | 3.03 | 14.01 | 17.08 | 18.63 |
| 2004 | 72.17  | 20  | 0.94     | 82.71 | 2.31 | 2.17     | 78.1 | 2.62 | 3.4      | 74.91 | 3.03 | 6.21  | 9.28  | 10.83 |
| 2005 | 97.88  | 20  | 0.94     | 82.71 | 2.31 | 2.17     | 78.1 | 2.62 | 3.4      | 74.91 | 3.03 | 31.92 | 34.99 | 36.54 |
| 2006 | 93.00  | 20  | 0.94     | 82.71 | 2.31 | 2.17     | 78.1 | 2.62 | 3.4      | 74.91 | 3.03 | 27.04 | 30.11 | 31.66 |
| 2007 | 75.15  | 20  | 0.94     | 82.71 | 2.31 | 2.17     | 78.1 | 2.62 | 3.4      | 74.91 | 3.03 | 9.19  | 12.26 | 13.81 |
| 2008 | 74.47  | 20  | 0.94     | 82.71 | 2.31 | 2.17     | 78.1 | 2.62 | 3.4      | 74.91 | 3.03 | 8.51  | 11.58 | 13.13 |
| 2009 | 58.13  | 20  | 0.94     | 82.71 | 2.31 | 2.17     | 78.1 | 2.62 | 3.4      | 74.91 | 3.03 | -7.83 | -4.76 | -3.21 |
| 2010 | 92.34  | 20  | 0.94     | 82.71 | 2.31 | 2.17     | 78.1 | 2.62 | 3.4      | 74.91 | 3.03 | 26.38 | 29.45 | 31.00 |
| 2011 | 69.58  | 20  | 0.94     | 82.71 | 2.31 | 2.17     | 78.1 | 2.62 | 3.4      | 74.91 | 3.03 | 3.62  | 6.69  | 8.24  |
| 2012 | 98.84  | 20  | 0.94     | 82.71 | 2.31 | 2.17     | 78.1 | 2.62 | 3.4      | 74.91 | 3.03 | 32.88 | 35.95 | 37.50 |
| 2013 | 105.24 | 20  | 0.94     | 82.71 | 2.31 | 2.17     | 78.1 | 2.62 | 3.4      | 74.91 | 3.03 | 39.28 | 42.35 | 43.90 |
| 均值   | 82.30  | 20  | 0.94     | 82.71 | 2.31 | 2.17     | 78.1 | 2.62 | 3.4      | 74.91 | 3.03 | 16.34 | 19.41 | 20.96 |

水量”。但“三条红线”中未给出喀什地区各水平年的生态需水量和林牧渔畜需水量，为保持喀什地区生态平衡，故剩余水量中应包含这两部分水量。

2) 2015 现状水平年剩余水量为 16.34 亿  $m^3$ , 2020 和 2030 规划水平年平均剩余水量分别为 19.41 亿  $m^3$  和 20.96  $m^3$ , 这些水量在给生态用水和林牧渔畜用水后, 其余部分均进入河道中。

3) 农业用水占喀什地区总用水的 80% 以上, 加强农业节水措施和提高用水效率, 可使农业用水量减少, 各水平年剩余水量增加。

### 3.5. 喀什地区水资源多方案设置

根据喀什地区水资源系统调配研究思路和实际情况, 设置 2015 现状水平年、2020 规划水平年和 2030 规划水平年水资源配置方案, 其目的主要是分析和研究在不同的节水方案下, 喀什地区通过水资源配置后可用与“四长廊”、“四屏障”生态工程的水量。在此基础上, 考虑高效节水与渠道防渗发展程度, 地表水、地下水供水比例以及多年平均剩余水量可用比例等情况组成 27 种方案集, 不同水平年 27 种方案均相同, 共 81 种方案。

1) 可用水量: 由长系列供需平衡计算各水平年的剩余水量, 具体水量见表 2。鉴于近十年《喀什地区水资源公报》, 在设置方案时采用剩余水量的 5%、10% 和 15% 的三种比例方案为喀什地区的林牧渔畜供水, 这部分水量定义为“可用水量”。各水平年的剩余水量在扣除林牧渔畜的用水量后, 依然远大于未考虑“三条红线”时河道中剩余的水量。

2) 地下水: 适当的开采喀什地区的地下水, 可以缓解喀什地区水资源供需矛盾。在不影响自然生态环境的前提下, 年可采量约为 23 亿  $m^3$ , 年开采量一般限制在 20 亿  $m^3$  以内。鉴于此, 在方案设置中分别考虑开采地下水 21 亿  $m^3$ 、22 亿  $m^3$  和 23 亿  $m^3$ 。

3) 农业节水: 2015 现状水平年农业用水量为 82.71 亿  $m^3$ , 常规灌溉水利用系数为 0.5。但以目前的高效节水工程而言, 喀什地区暂时没有多余的节水能力在方案设置时 2015 现状水平年农业节水的低方案、中方案和高方案的灌溉水利用系数均为 0.5, 节水量为零; 2020 规划水平年农业用水量 78.1 亿  $m^3$ , 常规灌溉水利用系数为 0.55, 为进一步节水, 将灌溉水利用系数分别提高为 0.56、0.57 和 0.58 作为农业节水的低方案、中方案和高方案, 此时相应的农业用水量分别为 76.71 亿  $m^3$ 、75.36 亿  $m^3$  和 74.06 亿  $m^3$ 。同理, 2030 规划水平年农业用水为 74.91 亿  $m^3$ , 将灌溉水利用系数从 0.57 提高至 0.59、0.60 和 0.61 后, 相应的农业用水量为 72.37 亿  $m^3$ 、71.17 亿  $m^3$  和 70.0 亿  $m^3$ , 各节水措施相互组合的水资源配置方案集如表 3 所示, 各水平年提高灌溉水利用系数后农业用水量见表 4。

## 4. 水资源配置结果及分析

### 4.1. 水资源配置方案结果

本文利用 2001~2013 年长系列来水资料, 通过长系列供需平衡计算, 得到各水平年的剩余水量, 然后根据剩余水量中可用于喀什地区林牧渔畜的可用水量, 与农业节水和地下水组成的各水平年不同方案供水量, 按表 2 所示方案集进行组合, 得到各水平年不同方案供水量, 详情见表 5。

图 3 是各水平年不同方案供水量对比图, 由图 3 和表 5 可知:

- 1) 不同水平年均均有 27 种方案, 共 81 种方案, 各供水方案均可作为“四长廊”、“四屏障”生态工程供水。
- 2) 2015 现状水平年可用水量最少为 1.82 亿  $m^3$ , 最多为 5.45 亿  $m^3$ ; 2020 规划水平年可用水量最少为 3.37 亿  $m^3$ , 最多为 9.95 亿  $m^3$ ; 2030 规划水平年可用水量最少为 4.59 亿  $m^3$ , 最多为 11.06 亿  $m^3$ 。
- 3) 各水平年不同方案均是方案 1 供水量最少, 方案 27 供水量最多, 其中部分可用水量来自农业节水, 说明农业节水力度越大, 可供生态工程的水量越多。
- 4) 随着农业高效节水灌溉面积的增加, 农业灌溉用水的减少, 在未来各方案可用水量呈增长的趋势。

### 4.2. 水资源配置方案合理性分析

从表 2~表 5 可以看出, 各水平年的水资源配置方案均以满足“三条红线”下喀什地区生活、工业、农业用

**Table 3.** Water resources configuration project-scheme combinations  
**表 3.** 水资源配置方案组合集

| 方案    | 调控手段 |     |     |         |     |     |                         |     |     |
|-------|------|-----|-----|---------|-----|-----|-------------------------|-----|-----|
|       | 剩余水量 |     |     | 灌溉水利用系数 |     |     | 地下水开采量/亿 m <sup>3</sup> |     |     |
|       | 5%   | 10% | 15% | 低方案     | 中方案 | 高方案 | 低方案                     | 中方案 | 高方案 |
| 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 |      | ★   |     |         | ★   |     | ★                       |     |     |
| 方案 14 |      | ★   |     |         | ★   |     |                         | ★   |     |
| 方案 15 |      | ★   |     |         | ★   |     |                         |     | ★   |
| 方案 16 |      | ★   |     |         |     | ★   | ★                       |     |     |
| 方案 17 |      | ★   |     |         |     | ★   |                         | ★   |     |
| 方案 18 |      | ★   |     |         |     | ★   |                         |     | ★   |
| 方案 19 |      |     | ★   | ★       |     |     | ★                       |     |     |
| 方案 20 |      |     | ★   | ★       |     |     |                         | ★   |     |
| 方案 21 |      |     | ★   | ★       |     |     |                         |     | ★   |
| 方案 22 |      |     | ★   |         | ★   |     | ★                       |     |     |
| 方案 23 |      |     | ★   |         | ★   |     |                         | ★   |     |
| 方案 24 |      |     | ★   |         | ★   |     |                         |     | ★   |
| 方案 25 |      |     | ★   |         |     | ★   | ★                       |     |     |
| 方案 26 |      |     | ★   |         |     | ★   |                         | ★   |     |
| 方案 27 |      |     | ★   |         |     | ★   |                         |     | ★   |

**Table 4.** Each level years of agriculture water under different schemes (unit:  $10^8 \text{ m}^3$ )  
**表 4.** 各水平年不同方案下的农业用水(单位: 亿  $\text{m}^3$ )

| 水平年  | 灌溉系数  |      | 农业用水量 | 节约水量 |
|------|-------|------|-------|------|
| 2015 | 原灌溉系数 | 0.5  | 82.71 | 0.00 |
|      | 低方案   | 0.5  | 82.71 | 0.00 |
|      | 中方案   | 0.5  | 82.71 | 0.00 |
|      | 高方案   | 0.5  | 82.71 | 0.00 |
| 2020 | 原灌溉系数 | 0.55 | 78.1  | 0.00 |
|      | 低方案   | 0.56 | 76.71 | 1.39 |
|      | 中方案   | 0.57 | 75.36 | 2.74 |
|      | 高方案   | 0.58 | 74.06 | 4.04 |
| 2030 | 原灌溉系数 | 0.57 | 74.91 | 0.00 |
|      | 低方案   | 0.59 | 72.37 | 2.54 |
|      | 中方案   | 0.6  | 71.17 | 3.74 |
|      | 高方案   | 0.61 | 70.00 | 4.91 |

**Table 5.** Each level years of water supply under different schemes (unit:  $10^8 \text{ m}^3$ )  
**表 5.** 各水平年不同方案下的供水量(单位: 亿  $\text{m}^3$ )

| 方案    | 2015 现状水平年 |      |      |      | 2020 规划水平年 |      |      |      | 2030 规划水平年 |      |      |       |
|-------|------------|------|------|------|------------|------|------|------|------------|------|------|-------|
|       | 可用水量       | 农业   | 地下水  | 合计   | 可用水量       | 农业   | 地下水  | 合计   | 可用水量       | 农业   | 地下水  | 合计    |
| 方案 1  | 0.82       | 0.00 | 1.00 | 1.82 | 0.97       | 1.39 | 1.00 | 3.37 | 1.05       | 2.54 | 1.00 | 4.59  |
| 方案 2  | 0.82       | 0.00 | 2.00 | 2.82 | 0.97       | 1.39 | 2.00 | 4.37 | 1.05       | 2.54 | 2.00 | 5.59  |
| 方案 3  | 0.82       | 0.00 | 3.00 | 3.82 | 0.97       | 1.39 | 3.00 | 5.37 | 1.05       | 2.54 | 3.00 | 6.59  |
| 方案 4  | 0.82       | 0.00 | 1.00 | 1.82 | 0.97       | 2.74 | 1.00 | 4.71 | 1.05       | 3.75 | 1.00 | 5.79  |
| 方案 5  | 0.82       | 0.00 | 2.00 | 2.82 | 0.97       | 2.74 | 2.00 | 5.71 | 1.05       | 3.75 | 2.00 | 6.79  |
| 方案 6  | 0.82       | 0.00 | 3.00 | 3.82 | 0.97       | 2.74 | 3.00 | 6.71 | 1.05       | 3.75 | 3.00 | 7.79  |
| 方案 7  | 0.82       | 0.00 | 1.00 | 1.82 | 0.97       | 4.04 | 1.00 | 6.01 | 1.05       | 4.91 | 1.00 | 6.96  |
| 方案 8  | 0.82       | 0.00 | 2.00 | 2.82 | 0.97       | 4.04 | 2.00 | 7.01 | 1.05       | 4.91 | 2.00 | 7.96  |
| 方案 9  | 0.82       | 0.00 | 3.00 | 3.82 | 0.97       | 4.04 | 3.00 | 8.01 | 1.05       | 4.91 | 3.00 | 8.96  |
| 方案 10 | 1.63       | 0.00 | 1.00 | 2.63 | 1.94       | 1.39 | 1.00 | 4.34 | 2.10       | 2.54 | 1.00 | 5.64  |
| 方案 11 | 1.63       | 0.00 | 2.00 | 3.63 | 1.94       | 1.39 | 2.00 | 5.34 | 2.10       | 2.54 | 2.00 | 6.64  |
| 方案 12 | 1.63       | 0.00 | 3.00 | 4.63 | 1.94       | 1.39 | 3.00 | 6.34 | 2.10       | 2.54 | 3.00 | 7.64  |
| 方案 13 | 1.63       | 0.00 | 1.00 | 2.63 | 1.94       | 2.74 | 1.00 | 5.68 | 2.10       | 3.75 | 1.00 | 6.84  |
| 方案 14 | 1.63       | 0.00 | 2.00 | 3.63 | 1.94       | 2.74 | 2.00 | 6.68 | 2.10       | 3.75 | 2.00 | 7.84  |
| 方案 15 | 1.63       | 0.00 | 3.00 | 4.63 | 1.94       | 2.74 | 3.00 | 7.68 | 2.10       | 3.75 | 3.00 | 8.84  |
| 方案 16 | 1.63       | 0.00 | 1.00 | 2.63 | 1.94       | 4.04 | 1.00 | 6.98 | 2.10       | 4.91 | 1.00 | 8.01  |
| 方案 17 | 1.63       | 0.00 | 2.00 | 3.63 | 1.94       | 4.04 | 2.00 | 7.98 | 2.10       | 4.91 | 2.00 | 9.01  |
| 方案 18 | 1.63       | 0.00 | 3.00 | 4.63 | 1.94       | 4.04 | 3.00 | 8.98 | 2.10       | 4.91 | 3.00 | 10.01 |
| 方案 19 | 2.45       | 0.00 | 1.00 | 3.45 | 2.91       | 1.39 | 1.00 | 5.31 | 3.14       | 2.54 | 1.00 | 6.68  |
| 方案 20 | 2.45       | 0.00 | 2.00 | 4.45 | 2.91       | 1.39 | 2.00 | 6.31 | 3.14       | 2.54 | 2.00 | 7.68  |
| 方案 21 | 2.45       | 0.00 | 3.00 | 5.45 | 2.91       | 1.39 | 3.00 | 7.31 | 3.14       | 2.54 | 3.00 | 8.68  |
| 方案 22 | 2.45       | 0.00 | 1.00 | 3.45 | 2.91       | 2.74 | 1.00 | 6.65 | 3.14       | 3.75 | 1.00 | 7.89  |
| 方案 23 | 2.45       | 0.00 | 2.00 | 4.45 | 2.91       | 2.74 | 2.00 | 7.65 | 3.14       | 3.75 | 2.00 | 8.89  |
| 方案 24 | 2.45       | 0.00 | 3.00 | 5.45 | 2.91       | 2.74 | 3.00 | 8.65 | 3.14       | 3.75 | 3.00 | 9.89  |
| 方案 25 | 2.45       | 0.00 | 1.00 | 3.45 | 2.91       | 4.04 | 1.00 | 7.95 | 3.14       | 4.91 | 1.00 | 9.06  |
| 方案 26 | 2.45       | 0.00 | 2.00 | 4.45 | 2.91       | 4.04 | 2.00 | 8.95 | 3.14       | 4.91 | 2.00 | 10.06 |
| 方案 27 | 2.45       | 0.00 | 3.00 | 5.45 | 2.91       | 4.04 | 3.00 | 9.95 | 3.14       | 4.91 | 3.00 | 11.06 |

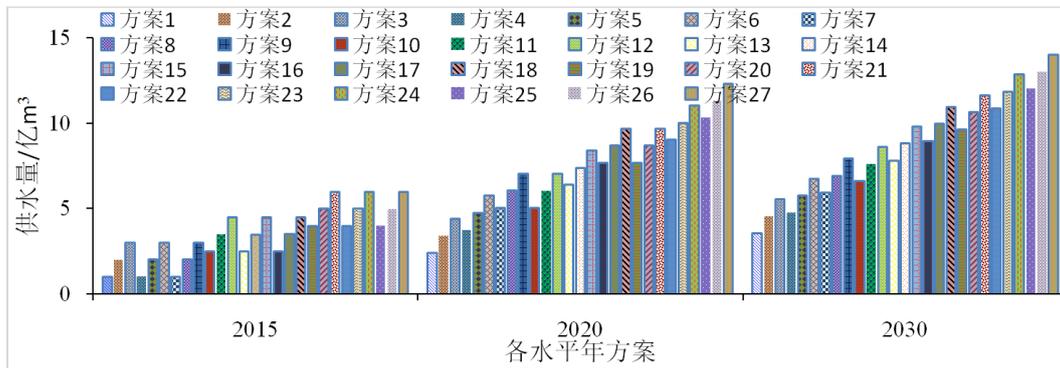


Figure 3. Each level years of water supply chart under different schemes

图 3. 各水平年不同方案供水量对比图

水量。采用剩余水量的 5%、10% 和 15% 三种比例为生态工程供水, 各水平年的剩余水量在扣除这部分用水量后, 依然远大于未考虑“三条红线”时河道中剩余的水量, 故可认为所选取比例方案合理。目前喀什地区地下水年开采量在 20 亿  $m^3$ , 在不影响自然生态环境的前提下, 适当的增加机井可以使地下水开采量达到 23 亿, 因此, 在方案设置中分别考虑开采地下水 21 亿  $m^3$ 、22 亿  $m^3$  和 23 亿  $m^3$  这三种方案符合喀什地区实际情况。2015 现状水平年灌溉水利用系数保持 0.5 不变, 2020 和 2030 规划水平年分别将原灌溉水利用系数 0.55 和 0.57 分别提高至 0.56、0.57 和 0.58 和 0.59、0.60 和 0.61 作为农业节水的低方案、中方案和高方案, 可通过滴灌、喷灌、渗灌等高效灌溉方式和加大水利基础设施建设的投入、渠道防渗等高效节水工程的建设来实现, 所以设置各水平年的农业节水方案也合理。

综上所述, 水资源方案集所采取的三种节水措施均满足喀什地区实际情况并可以通过工程措施和非工程措施实现。因此, 由三种节水措施组合成的 27 种配置方案以及计算结果满足科学性以及合理性。

### 4.3. 方案比选与推荐

从水资源配置结果可知, 供水量在未来呈增长的趋势, 这与未来地区水利基础设施建设的增强和高效灌溉面积的增加密切相关。2015 现状水平年喀什地区高效节水灌溉和地下水开采等工程设施还不完善, 生态工程水源主要为可用水量; 2020 规划水平年高效节水灌溉和地下水开采等工程措施均已取得一定进展, 农业节水量和地下水开采量增加一定程度, 且生态工程进展过半, 需水量增加; 2030 规划水平年随着高效节水灌溉和地下水开采等工程措施的完善, 以及生态工程的初步建成, 所需水量大幅增加。因此, 考虑节水措施的加强与生态工程的规划进展, 2015 现状水平年生态工程供水方案推荐方案 1 (4, 7) 和方案 10 (13, 16) (方案 4 和方案 7 供水量与方案 1 相同, 方案 13 和方案 16 供水量与方案 10 相同), 2020 规划水平年生态工程供水方案推荐方案 11 和方案 14, 2030 规划水平年生态工程供水方案为方案 24 和方案 27。各水平年推荐方案汇总见表 6。

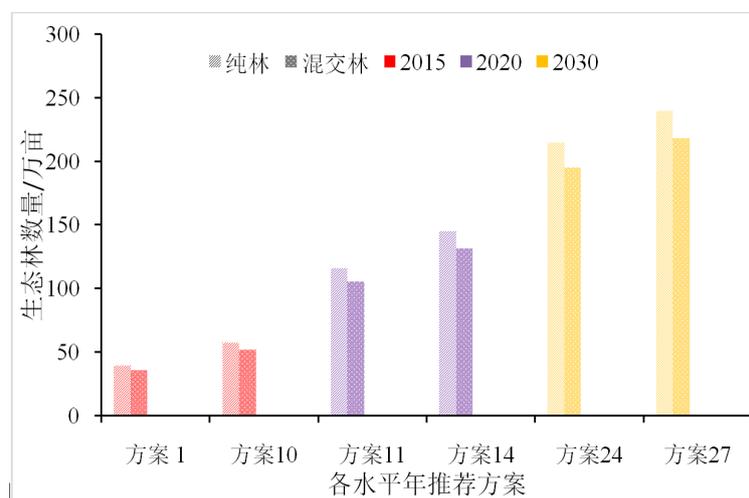
### 4.4. 喀什地区生态工程可种植生态林数量计算

在考虑“三条红线”指标控制的情况下, 计算喀什地区不同水平年下可为生态工程提供的水量。在确定喀什地区“四大生态屏障”和“四条绿色长廊”生态工程所需生态林的需水过程和用水定额后, 采取“以水定林”的原则计算喀什地区能够满足生态林正常生长的数量。

喀什地区“四大生态屏障工程”造林模式主要为纯林和混交林两种。其中, 纯林主要种植新疆杨、胡杨、竹柳等单种树林, 混交林主要种植新疆杨、枣树、枸杞等混合树林。根据喀什地区《新疆农业灌溉用水定额 (DB65-3611-2014)》可知, 纯林滴灌灌溉定额为 300  $m^3$ /亩·年, 混交林滴灌灌溉定额 330  $m^3$ /亩·年, 灌溉水利用系数为 0.65。根据不同方案设置下的可用总水量可以计算出不同方案下可种植生态林数量。各水平年不同方案

**Table 6.** The recommendation of each level year  
**表 6.** 各水平年推荐方案

| 水平年  | 推荐方案                        |
|------|-----------------------------|
| 2015 | 方案 1 (4, 7), 方案 10 (13, 16) |
| 2020 | 方案 11, 方案 14                |
| 2030 | 方案 24, 方案 27                |



**Figure 4.** Each level years of pure and mixed ecological forest under recommended schemes

**图 4.** 各水平年推荐方案下纯林和混交林数量

下纯林和混交林模式下生态林的数量如图 4 所示，其中 2015 现状水平年以方案 1 和方案 10 为例。

如图 4 可知：

- 1) 随着生态工程的推进，需水量逐渐增加，各水平年供水推荐方案下可种植生态林数量符合生态工程进展。
- 2) 可用于生态工程的供水量越多，种植的生态林越多。加强节水措施可使供水量增加，则相应可种植的生态林越多。
- 3) 混交林模式下的灌溉定额比纯林模式大，在相同的供水量推荐方案下，可种植的混交生态林的数目比纯林少。

## 5. 结论

1) 2015 现状水平年、2020 和 2030 规划水平年不同供水量下的 27 种设计方案均满足喀什地区“三条红线”指标控制要求，说明喀什地区“三条红线”指标合理，建立的水资源配置模型准确。

2) 满足喀什地区各水平年的需水要求后，通过水资源配置，2015 现状水平年可为生态工程提供的水量最多为 5.45 亿 m<sup>3</sup>；2020 规划水平年供水量最多为 9.95 亿 m<sup>3</sup>；2030 规划水平年供水量最多为 11.06 亿 m<sup>3</sup>。随着农业、地下水等节水措施的加强，各水平年的供水量增加。

3) 在各水平年不同供水量下可种植生态林数量的 27 种方案均适用于“四长廊”、“四屏障”生态工程，并为各水平年选取了推荐方案。该研究成果为生态工程的水资源论证提供了科学依据，具有重要的实际指导意义和应用价值。

4) 在进行水资源配置时所采取的部分节水措施，以喀什地区现有的节水力度很难实现，所生成的部分节水方案偏于理想化，这是本文的不足之处，在未来需进一步深入研究。

## 基金项目

国家重点研发计划(2017YFC0405900); 水利部公益性行业科研专项(201501058); 国家自然科学基金(51409210, 91325201); 陕西省水利科技计划(2016slkj-8,2017slkj-16,2017slkj-27); 西安理工大学科研项目(2016ZZKT-15)。

## 参考文献 (References)

- [1] 周宏飞, 张捷斌. 新疆的水资源可利用量及其承载能力分析[J]. 干旱区地理, 2005, 28(6): 756-763.  
ZHOU Hongfei, ZHANG Jiebin. Analysis of water resources availability and carrying capacity in Xinjiang. Development of Arid Land, 2005, 28(6): 756-763. (in Chinese)
- [2] 叶茂, 徐海量, 宋郁东, 等. 塔里木河流域水资源利用面临的主要问题[J]. 干旱区研究, 2006, 23(3): 388-392.  
YE Mao, XU Haoliang, SONG Yudong, *et al.* The main problems of water resources utilization in Tarim River Basin. Research on Arid Land, 2006, 23(3): 388-392. (in Chinese)
- [3] 来玉梅, 邱玉宝, 傅文学, 等. 基于 TM 影像近十年来喀什地区地表水遥感监测与分析[J]. 遥感信息, 2013, 28(3): 50-57.  
LAI Yumei, QIU Yubao, FU Wenxue, *et al.* Remote sensing monitoring and analysis of surface water in Kashgar area based on TM image in recent ten years. Remote Sensing Information, 2013, 28(3): 50-57. (in Chinese)
- [4] 陈红梅, 李青. 基于主成分分析法的水资源承载力综合评价——以新疆喀什地区为例[J]. 塔里木大学学报, 2013, 25(2): 96-103.  
CHEN Hongmei, LI Qing. Comprehensive evaluation of water resources carrying capacity based on principal component analysis—Taking Xinjiang Kashgar area as an example. Journal of Tarim University, 2013, 25(2): 96-103. (in Chinese)
- [5] 畅建霞, 姜瑾. 引汉济渭调水工程水资源配置研究[J]. 自然资源学报, 2011, 26(1): 110-118.  
CHANG Jianxia, JIANG Jin. Study on water resources allocation of water diversion project in Ziyi and China. Journal of Natural Resources, 2011, 26(1): 110-118. (in Chinese)
- [6] 王文杰, 张永福. 基于 GIS 的新疆喀什地区耕地变化及驱动力研究[J]. 湖北农业科学, 2016, 55(17): 4560-4564.  
WANG Wenjie, ZHANG Yongfu. Study on the change and driving forces of cultivated Land in Kashgar area based on GIS. Journal of Hubei Agricultural Sciences, 2016, 55(17): 4560-4564. (in Chinese)
- [7] 黄强, 徐海量. 塔里木内陆河流域水资源合理配置[M]. 北京: 科学出版社, 2015.  
HUANG Qiang, XU Hailiang. Reasonable allocation of water resources in Tarim river basin. Beijing: Science Press, 2015. (in Chinese)
- [8] 王浩. 实行最严格水资源管理制度关键技术支撑探析[J]. 中国水利, 2011(6): 28-30.  
WANG Hao. Implementation of the most stringent water resources management system key technical support. China Water Conservancy, 2011(6): 28-30. (in Chinese)
- [9] 陶洁, 左其亭, 薛会露, 等. 最严格水资源管理制度“三条红线”控制指标及确定方法[J]. 节水灌溉, 2012(4): 64-67.  
TAO Jie, ZUO Qiting, XUE Huilu, *et al.* Control index and determination method of “Three Red Lines” in the most stable water resources management system. Water Saving Irrigation, 2012(4): 64-67. (in Chinese)
- [10] 刘吉祥, 袁文龙, 康爱卿. 典型年和长系列年计算方法对水资源配置结果影响实例分析[J]. 黑龙江水利科技, 2011, 39(1): 159-160.  
LIU Jixiang, YUAN Wenlong and KANG Aiqin. Analysis on the influence of typical year and long series annual calculation methods on water resources allocation. Water Resources Technology of Heilongjiang Province, 2011, 39(1): 159-160. (in Chinese)