

DOI:10.3880/j.issn.1004-6933.2021.02.005

新疆水资源开发利用的空间均衡分析

李倩文¹, 左其亭^{1,2,3}, 李东林¹, 韩春辉¹

(1. 郑州大学水利科学与工程学院, 河南 郑州 450001; 2. 郑州大学水科学研究中心, 河南 郑州 450001;
3. 郑州市水资源与水环境重点实验室, 河南 郑州 450001)

摘要:为明确新疆水资源开发利用的空间均衡程度,选取与水资源开发利用相关的 12 个指标,采用空间均衡度计算方法,计算了 2004—2017 年新疆各地州各指标的空间均衡系数及水资源开发利用的总体空间均衡度,并与采用基尼系数方法的计算结果进行了对比。结果表明,新疆各地州的城镇化率及单位面积农田灌溉用水量在空间上较为均衡,而水资源开发利用率的差异最大;2004—2017 年新疆水资源开发利用的总体空间均衡度呈现缓慢上升趋势,水资源开发利用的空间不均衡现象有所改善;空间均衡度计算方法与基尼系数计算方法具有较好的长期一致性,分析空间均衡的变化应以长期的变化趋势为基础。

关键词:水资源开发利用;空间均衡系数;总体空间均衡度;基尼系数;新疆

中图分类号:TV213.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-6933(2021)02-0028-06

Spatial equilibrium analysis of water resources development and utilization in Xinjiang // LI Qianwen¹, ZUO Qiting^{1,2,3}, LI Donglin¹, HAN Chunhui¹ (1. School of Water Conservancy Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China; 2. Center for Water Science Research, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China; 3. Zhengzhou Key Laboratory of Water Resource and Environment, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: In order to explore the spatial equilibrium condition of water resources development and utilization in Xinjiang, this research selected 12 indicators related to the development and utilization of water resources, and calculated the spatial equilibrium coefficient in every region and global spatial equilibrium degree of each indicator from 2004 to 2017 by using the calculation method of spatial equilibrium degree, and then the calculated results were compared with those of Gini coefficient method. The results show that the spatial distribution of urbanization rate and irrigation water consumption per unit area were balanced, while the regional difference of water resources exploitation and utilization rate was the largest. From 2004 to 2017, the global spatial balance of water resources development and utilization in Xinjiang showed a slow rising trend, and the spatial imbalance of water resources development and utilization was improved. The calculation method of spatial equilibrium degree has a good long-term consistency with that of Gini coefficient, and the analysis of spatial equilibrium should be based on the long-term change trend.

Key words: water resources development and utilization; spatial equilibrium coefficient; global spatial equilibrium degree; Gini coefficient; Xinjiang

水资源是支撑人类生存发展的基础性资源,水资源的开发利用与人类生产生活息息相关^[1-2]。随着人口增长和经济社会的快速发展,人类活动对水资源的需求增加,水资源开发利用强度提高,同时也带来一系列问题,如水资源匮乏、水环境污染、水土流失等,这些问题一定程度上制约着经济社会的发展^[3]。新疆位于我国西北内陆干旱区,国土面积广

阔,地形地貌和气候条件较为特殊,水资源的天然空间分布极不均衡,各地州水资源开发利用情况也各不相同。

目前针对新疆水资源开发利用已有较多研究,如岳春芳等^[4]基于新疆水资源开发利用现状及存在问题,对新疆各类水资源开发利用方式的利弊进行了分析;谢蕾等^[5]系统梳理了当前天山北坡水资

基金项目:国家自然科学基金(U1803241,51779230)

作者简介:李倩文(1998—),女,硕士研究生,研究方向为水文水资源。E-mail: liqianwen19981998@163.com

通信作者:左其亭(1967—),男,教授,博士,主要从事水文水资源研究。E-mail: zuoqt@zzu.edu.cn

源利用的主要问题并提出相应对策;克里木等^[6]按照水资源流域分区、行政分区分析了水资源禀赋及其开发利用规律。这些研究大多集中于全疆或某一地区,且大多为定性分析。自习近平总书记提出“节水优先、空间均衡、系统治理、两手发力”的治水思路以来,水资源空间分布相关研究逐渐成为热点。目前针对新疆地区已有相关研究,如张羽威等^[7]采用 GIS 与空间相关分析方法,研究新疆各地州 GDP 与水资源利用的空间分布;宋建等^[8]采用洛伦兹曲线和基尼系数,研究新疆水资源与耕地、人口等因素的空间匹配性。这些研究虽然对水资源空间分布和经济社会发展格局进行了量化,但考虑因素较为单一,未能综合反映水资源开发利用的空间格局。总体来看,目前针对新疆各地州水资源开发利用空间均衡的量化分析较少。

基于此,本文采用水资源分布的空间均衡度计算方法,通过计算 2004—2017 年新疆各地州水资源开发利用相关指标的空间均衡系数及总体空间均衡度,并与水资源开发利用的基尼系数进行比较,以期剖析新疆水资源开发利用的空间格局,为平衡各地州的水资源合理开发利用、进行水资源空间均衡管控提供参考。

1 研究区概况及数据来源

新疆地处我国西北内陆,是我国陆地面积最大的省级行政区,国土面积广阔,地理跨度较大。“三山夹两盆”的特殊地理条件,导致天然水资源空间分布不均衡,整体呈现出北多南少、西多东少,山区较多、平原较少的空间特征^[9]。

近年来,新疆经济社会发展迅速,2017 年全疆用水总量达 552.3 亿 m³,其中农业用水量 514.4 亿 m³,占总用水量的 93.14%。从经济社会发展水平来看,2004—2017 年间北疆经济发展水平较高,如克拉玛依市人均 GDP 远超其他地州,且经济增长迅速,而南疆如和田地区、喀什地区经济发展相对落后,始终处于较低水平且增长缓慢,各地州的经济发展水平差异较大,最大相差 135 091 元(2017 年)。与此同时,由于经济因素、人口密度、水资源禀赋、节水水平等多因素的共同影响,各地州用水情况差异很大。阿勒泰地区人均用水量较高,和田地区万元 GDP 用水量始终高于其他地州,吐鲁番市单位面积农田灌溉用水量较高,克拉玛依市的人均污水排放量远高于其他地州。各地州的用水结构、水资源开发利用方式及程度均有较大差异,呈现出较大的空间不均衡特征。

通过对《新疆统计年鉴》《新疆水资源公报》和

各地州统计年鉴以及各地州水资源公报中的相关数据整理分析得到相关指标的原始数据。

2 研究方法

2.1 指标选取

水资源开发利用涉及水资源禀赋、经济社会发展、生态环境保护等多方面。参照大量相关研究^[10-14],依据科学性、全面性、代表性、可操作性及实用性等原则,选取涵盖水资源禀赋、经济社会发展、水资源开发利用、生态环境等方面的 12 个典型指标,用于空间均衡分析。

水资源禀赋方面,选取人均水资源量和产水系数两个指标,其中,人均水资源量反映水资源条件;产水系数为水资源总量与年降水量的比值,反映降水转化为水资源的能力。经济社会发展方面,选取人均 GDP 和城镇化率,分别反映经济发展水平和城镇化水平,人均用水量反映总体用水状况,万元 GDP 用水量反映经济发展的综合用水水平,万元工业增加值用水量反映工业用水水平,单位面积农田灌溉用水量反映农业用水水平,水资源开发利用率反映水资源开发利用程度,供水模数为供水总量与区域面积的比值,反映供水保障程度。生态环境保护方面,选取人均污水排放量及生态环境用水比例两个指标分别反映水污染状况及生态用水保障程度。

2.2 空间均衡度计算方法

水资源空间均衡理论及量化方法由左其亭等^[15-16]于 2019 年提出。水资源空间均衡指水资源空间分布、经济社会空间布局、生态环境空间功能所呈现的一种平衡状态。

水资源分布的空间均衡度计算方法^[17]分为两步,首先计算地州 i 指标 j 的空间均衡系数 A_{ij} :

$$A_{ij} = \begin{cases} 0 & x_{ij} < \bar{x}_j - \Delta x_{ij1} \\ \frac{x_{ij} - \bar{x}_j + \Delta x_{ij1}}{\Delta x_{ij1}} & \bar{x}_j - \Delta x_{ij1} \leq x_{ij} \leq \bar{x}_j \\ \frac{\Delta x_{ij2} + \bar{x}_j - x_{ij}}{\Delta x_{ij2}} & \bar{x}_j < x_{ij} \leq \bar{x}_j + \Delta x_{ij2} \\ 0 & x_{ij} > \bar{x}_j + \Delta x_{ij2} \end{cases} \quad (1)$$

式中: x_{ij} 为地州 i 指标 j 的原始数据; $\bar{x}_j$ 为各地州内指标 j 的平均值; Δx_{ij1} 和 Δx_{ij2} 分别为空间均衡系数为 0 时各指标平均值向正负方向增加或减少的值,由于各指标的最大值和最小值差距较大,因此假定 $\Delta x_{ij1} = \Delta x_{ij2} = \bar{x}_j$ 。

然后计算总体空间均衡度。由于各空间点分布不均匀,故将指标 j 的空间均衡系数按地州 i 的面积加权,计算指标 j 的总体空间均衡度 B_j :

$$B_j = \sum_{i=1}^N \frac{S_i}{S} A_{ij} \quad (2)$$

式中: S_i 为地州 i 的面积; S 为新疆总面积。

各指标在水资源开发利用的总体空间均衡度中的贡献大小可以通过权重来表征, 如果认为各指标具有相等重要性时可以采用等权重计算。本文假定各指标权重相等, 加权平均得到水资源开发利用 12 个指标的总空间均衡度 B :

$$B = \sum_{j=1}^{12} \frac{B_j}{12} \quad (3)$$

2.3 基尼系数计算方法

基尼系数是国际上用以衡量一个国家或地区居民收入差距的常用指标。基尼系数在 0~1 之间, 其值越小表明收入分配越趋于平等, 其值越大表明收入差距越大。由于计算简便, 评价结果较为直观且准确, 基尼系数在其他领域也有一定应用, 如土地利用^[18]、能源消耗^[19]、用水结构分析^[20]、水资源空间匹配状况^[21]等。因此, 采用基尼系数的计算方法^[22], 首先计算 2004—2017 年指标 j 的基尼系数 G_j ; 其次, 同理假定各指标权重相等, 加权平均得到水资源开发利用的基尼系数 G , 用于和空间均衡度计算结果对比。

3 结果与分析

3.1 各指标空间均衡分析

3.1.1 代表年 2017 年空间均衡系数

以 2017 年为例, 各地州部分指标的空间均衡系数计算结果如表 1 所示。对于人均 GDP, 由于克拉玛依市的人均 GDP 远高于其他地州, 其空间均衡系数为 0; 和田地区的经济发展水平相对其他地州较为落后, 其空间均衡系数也较小, 仅为 0.19; 塔城地区、博尔塔拉蒙古自治州(以下简称“博州”)的经济发展水平接近全疆平均值, 其空间均衡系数高达 0.86、0.82。对于城镇化率, 克拉玛依市的城市化水平为 99%, 远高于其他地州, 其空间均衡系数为 0; 塔城地区、巴音郭楞蒙古自治州(以下简称“巴州”)、伊犁州直属县(市)(以下简称“伊犁州(直属)”)的城镇化水平接近全疆平均值, 空间均衡系数较高。对于人均水资源量, 阿勒泰地区水资源最为丰富, 其空间均衡系数为 0; 乌鲁木齐市、克拉玛依市、石河子市水资源相较其他地州匮乏, 其空间均衡系数也较低, 在 0.01~0.1 之间; 和田地区人均水资源量接近全疆平均值, 空间均衡系数高达 0.94。对于人均用水量, 阿勒泰地区人均用水量最高, 其空间均衡系数最小, 仅为 0.02; 乌鲁木齐市人均用水量最小, 其空间均衡系数也仅为 0.2; 喀什地区人均

用水量接近全疆平均值, 其空间均衡系数最高, 为 0.98。其他指标的计算结果类似。总体而言, 指标值过高或过低地州的空间均衡系数均较小, 而接近全疆平均水平的地州空间均衡系数较大, 这与实际情况相符。

表 1 2017 年各地州部分指标的空间均衡系数

Table 1 The spatial equilibrium coefficient of some indicators in each region in 2017

行政区	空间均衡系数			
	人均 GDP	城镇化率	人均水资源量	人均用水量
乌鲁木齐市	0.61	0.17	0.10	0.20
克拉玛依市	0.00	0.00	0.04	0.69
石河子市	0.55	0.42	0.01	0.36
吐鲁番市	0.76	0.75	0.23	0.80
哈密市	0.61	0.75	0.52	0.74
昌吉州	0.67	0.88	0.49	0.84
伊犁州(直属)	0.65	0.89	0.76	0.67
塔城地区	0.86	0.92	0.72	0.49
阿勒泰地区	0.68	0.82	0.00	0.02
博州	0.82	0.85	0.80	0.72
巴州	0.76	0.89	0.00	0.43
阿克苏地区	0.59	0.68	0.53	0.33
克州	0.35	0.47	0.00	0.72
喀什地区	0.33	0.47	0.37	0.98
和田地区	0.19	0.46	0.94	0.70

进一步结合各地州实际情况进行分析。位于天山北坡经济带的乌鲁木齐市、昌吉回族自治州(以下简称“昌吉州”)、石河子市、克拉玛依市是新疆经济最发达、产业最集中、人口最密集的区域, 经济发展水平及城镇化水平较高, 相应地, 供水模数、水资源开发利用率及人均污水排放量也较高; 而这些地州人均水资源量却不大, 一定程度上属于资源性缺水; 同时这些地州对生态环境保护较为重视, 生态环境用水比例较大。位于南部的喀什地区、和田地区、克孜勒苏柯尔克孜自治州(以下简称“克州”)等经济发展水平及城镇化水平相对落后, 水资源开发利用率普遍较低, 相应地, 人均污水排放量也较小; 由于位于塔里木河流域, 天然的水资源较为丰富, 这些地州生态环境用水比例普遍较低。位于东部的吐鲁番市和哈密市是新疆农业的主要集中地, 单位面积农田灌溉用水量相对较高; 这些地州工业发展水平较为落后, 相应地, 节水技术水平及工业用水效率较低, 万元工业增加值用水量较高。

3.1.2 代表年 2017 年总体空间均衡度

2017 年各指标的总空间均衡度见表 2。其中城镇化率、单位面积农田灌溉用水量的总空间均衡度较高, 表明各地州的城镇化水平及农田灌溉用水水平相当, 空间差异不大。这与新疆大部分地州发展绿洲农业有关, 农业用水量占比较大, 2017 年全

表 2 2004—2017 年各指标总体空间均衡度

Table 2 The global spatial equilibrium degree of all indicators from 2004 to 2017

指标	总体空间均衡度													
	2004 年	2005 年	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年
人均水资源量	0.41	0.41	0.44	0.40	0.43	0.46	0.41	0.49	0.38	0.49	0.44	0.45	0.39	0.41
产水系数	0.54	0.50	0.47	0.50	0.51	0.45	0.46	0.50	0.52	0.49	0.55	0.56	0.56	0.55
人均 GDP	0.52	0.46	0.44	0.46	0.45	0.54	0.54	0.54	0.54	0.55	0.53	0.54	0.59	0.59
城镇化率	0.70	0.77	0.78	0.78	0.79	0.79	0.75	0.76	0.77	0.79	0.79	0.81	0.75	0.74
人均用水量	0.68	0.60	0.67	0.68	0.68	0.75	0.70	0.71	0.61	0.59	0.59	0.60	0.60	0.58
万元 GDP 用水量	0.33	0.31	0.29	0.29	0.27	0.33	0.31	0.33	0.36	0.39	0.37	0.41	0.42	0.43
万元工业增加值用水量	0.46	0.38	0.33	0.39	0.37	0.56	0.70	0.63	0.67	0.72	0.78	0.44	0.43	0.59
单位面积农田灌溉用水量	0.69	0.69	0.73	0.71	0.68	0.68	0.67	0.66	0.69	0.65	0.67	0.65	0.65	0.67
水资源开发利用率	0.07	0.08	0.06	0.07	0.10	0.07	0.09	0.08	0.22	0.23	0.19	0.16	0.20	0.17
供水模数	0.39	0.40	0.39	0.40	0.37	0.38	0.38	0.37	0.37	0.38	0.38	0.39	0.38	0.38
人均废污水排放量	0.63	0.62	0.64	0.62	0.62	0.62	0.55	0.58	0.61	0.63	0.62	0.59	0.54	0.52
生态环境用水比例	0.45	0.24	0.29	0.48	0.51	0.48	0.36	0.41	0.42	0.38	0.39	0.30	0.28	0.51

疆农业用水量 514.4 亿 m^3 , 占总用水量的 93.14%。而水资源开发利用率的整体空间均衡度最低, 表明各地州水资源开发利用程度有较大差异。其中, 经济发展水平较高的石河子市、克拉玛依市水资源开发利用率远高于其他地州。

3.1.3 2004—2017 年总体空间均衡度

从时间维度来看, 2004—2017 年各指标总体空间均衡度如表 2 所示。水资源禀赋方面, 人均水资源量的整体空间均衡度较为稳定, 产水系数受到各地州水资源量及降水量年际变化的影响, 其整体空间均衡度波动上升, 表明随着人类活动的增强, 各地州由于天然的降水量引起的水资源量改变的差异有所减小。

经济社会发展方面, 人均 GDP 的整体空间均衡度增幅较大, 表明近年来随着全疆经济发展水平的提高, 各地州经济发展水平的差异逐渐减小, 经济发展格局趋于均衡。人均用水量的整体空间均衡度在 2011—2012 年前后有明显下降, 这与最严格水资源管理制度的实施有关; 2011 年国家明确要求实行最严格水资源管理制度, 严格实行用水总量控制, 但具体到各地州实际实施情况存在一定差异, 故短时间内该指标整体空间均衡度有一定程度下降。万元 GDP 用水量的整体空间均衡度持续增加, 且增幅较大, 表明各地州经济发展用水水平趋于一致, 这与各地州经济发展水平的差异减小, 以及用水效率及节水水平普遍提升有关。万元工业增加值用水量的整体空间均衡度增长显著, 反映出随着工业发展水平提高, 工业用水效率普遍提升, 各地州工业用水水平差异减小。单位面积农田灌溉用水量的整体空间均衡度维持在较高水平, 较为稳定。2012 年前后, 该指标的整体空间均衡度变化较为明显。这与吐鲁番市单位面积农田灌溉用水量的减少有关; 吐鲁番主

要发展绿洲农业, 单位面积农田灌溉用水量明显高于其他地州, 2011 年吐鲁番市大力发展节水农业, 减少灌溉用水, 极端值的减小对整体空间均衡度影响较大。水资源开发利用率的整体空间均衡度一直处于较低水平, 各地州水资源开发利用程度差异较大, 但近年来有明显改善。

生态环境保护方面, 人均废污水排放量的整体空间均衡度近年来有减小趋势, 这与各地州废污水排放的控制力度不同有关, 如乌鲁木齐市、克拉玛依市等经济水平较高地州的废污水排放量持续增长, 而博州、巴州的废污水排放量近年来有所下降, 各地州废污水排放量变化并不同步。生态环境用水比例的整体空间均衡度波动上升, 表明各地州对生态环境用水的保障程度逐渐增加, 对生态环境保护的重视程度普遍提升。

3.2 水资源开发利用空间均衡分析

综合各指标的整体空间均衡度, 得到水资源开发利用的整体空间均衡度如图 1 所示。从图 1 可以看出, 2004—2017 年水资源开发利用的整体空间均

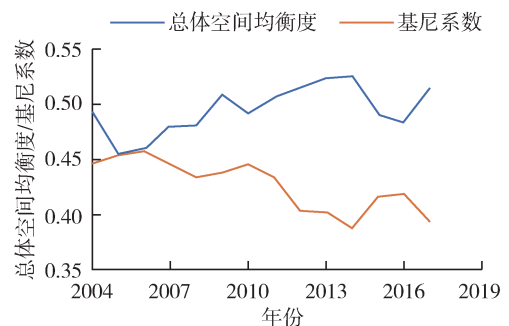


图 1 2004—2017 年水资源开发利用的
总体空间均衡度与基尼系数

Fig. 1 The global spatial equilibrium degree and Gini coefficient of water resources development and utilization from 2004 to 2017

衡度呈现缓慢上升趋势,表明随着经济社会发展、水资源开发利用技术水平的提升,以及水资源管理制度的不断改革和完善,水资源开发利用的空间不均衡现象有所改善。其中,较2011年以前,2011年之后水资源开发利用的总体空间均衡度上升明显,这与2011年新疆实施的水资源管理体制改革的有关。

3.3 两种计算方法的结果比较

将采用空间均衡度计算方法得到的水资源开发利用的总体空间均衡度与采用基尼系数计算方法得到的水资源开发利用基尼系数进行比较,如图1所示,空间均衡度越大越好,基尼系数越小越好,整体上二者变化趋势相反,反映的本质一致。从长期变化趋势看,2004—2017年,水资源开发利用的基尼系数呈下降趋势,表明各地州水资源开发利用的不平等现象有所缓解,这与水资源开发利用的总体空间均衡度升高所反映的现象一致。且具体到每一年,大部分年份中二者呈现反向的变化趋势,揭示出相同的本质;表明从长期变化趋势看,两种方法反映的情况基本接近,两种方法具有较好的一致性;但部分年份,如2005—2006年和2008—2009年,二者变化趋势一致,所得结论相反。因此,可以推测,以较短时间序列研究区域空间均衡变化趋势,得出的结论是不充分的,在探究空间均衡的变化时,应以长期的变化趋势作为分析的基础。

3.4 启示与建议

a. 统筹经济社会发展布局,合理开发利用水资源。新疆各地州水资源禀赋差异较大,经济社会发展水平与天然水资源条件不匹配。各地州应依据水资源禀赋,合理制定经济社会发展规划,科学控制水资源开发利用强度。如位于天山北坡经济带的乌鲁木齐市、昌吉州、克拉玛依市,未来应着力于提高水资源利用效率,以缓解资源性缺水问题。

b. 坚持节水优先,持续推进节水型社会建设。新疆农业用水量占比很大,未来应大力推广滴灌、喷灌等先进节水技术,提升农业水资源利用效率。同时,应加强政府引导,依托媒体进行节水宣传,提高居民节水意识。

c. 加强水资源统一综合管理,形成全疆“一盘棋”的水资源开发利用格局。近年来,天山北坡水资源综合开发工程、伊犁河水资源综合开发工程、塔里木河流域综合治理工程等已为平衡各地州水资源合理开发利用起到积极作用,未来应统一规划全疆水资源管理,逐步实现水资源空间均衡管控。

4 结 论

a. 在水资源开发利用相关的各指标中,城镇化

率、单位面积农田灌溉用水量的空间分布较为均衡,各地州水资源开发利用率的差距最大。

b. 水资源开发利用的总体空间均衡度在2004—2017年缓慢升高,水资源开发利用状况整体向空间均衡的方向缓慢发展。

c. 2004—2017年间,除个别年份外,整体上空间均衡度计算方法与基尼系数计算方法具有较好的一致性;在研究空间均衡的变化时,短时间内所得结论并不充分,应从长期的变化趋势进行分析。

d. 未来应统筹经济社会发展布局,合理开发利用水资源;坚持节水优先,持续推进节水型社会建设;加强水资源统一综合管理,形成全疆“一盘棋”的水资源开发利用格局,逐步实现水资源空间均衡管控。

参考文献:

- [1] HE Yanhu, WANG Yilin, CHEN Xiaohong. Spatial patterns and regional differences of inequality in water resources exploitation in China [J]. Journal of Cleaner Production, 2019, 227: 835-848.
- [2] 左其亭, 张志卓, 吴滨滨. 基于组合权重 TOPSIS 模型的黄河流域九省区水资源承载力评价 [J]. 水资源保护, 2020, 36 (2): 1-7. (ZUO Qiting, ZHANG Zhizhou, WU Binbin. Evaluation of water resources carrying capacity of nine provinces in Yellow River Basin based on combined weight TOPSIS model [J]. Water Resources Protection, 2020, 36 (2): 1-7. (in Chinese))
- [3] 王水献, 周金龙. 新疆平原区水资源开发利用对生态环境的影响 [J]. 水资源保护, 2005 (6): 94-96. (WANG Shuixian, ZHOU Jinlong. Effect of water resources exploitation and utilization on ecological environment of Xinjiang plain region [J]. Water Resources Protection, 2005 (6): 94-96. (in Chinese))
- [4] 岳春芳, 侍克斌, 曹伟. 新疆水资源开发方式的利弊分析 [J]. 节水灌溉, 2014 (7): 60-62. (YUE Chunfang, SHI Kebin, CAO Wei. Analysis of advantages and disadvantages of water resources development mode in Xinjiang [J]. Water Saving Irrigation, 2014 (7): 60-62. (in Chinese))
- [5] 谢蕾, 李江, 穆振侠. 新疆北部水资源利用存在主要问题及对策 [J]. 水利规划与设计, 2019 (7): 23-26, 83. (XIE Lei, LI Jiang, MU Zhenxia. Main problems and countermeasures of water resources utilization in northern Xinjiang [J]. Water Resources Planning and Design, 2019 (7): 23-26, 83. (in Chinese))
- [6] 克里木, 姜付仁. 新疆水资源禀赋、开发利用现状及其长期战略对策 [J]. 水利水电技术, 2019, 50 (12): 57-64. (KELIMU, JIANG Furen. Present situation of water resources endowment, development and utilization and

- long-term strategic countermeasures in Xinjiang[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2019, 50(12): 57-64. (in Chinese))
- [7] 张羽威,张昊哲. 新疆经济发展与水资源利用空间关联性研究[J]. 哈尔滨工业大学学报(社会科学版), 2018, 20(2): 129-134. (ZHANG Yuwei, ZHANG Haozhe. Spatial correlation analysis of economic development and water resources utilization in Xinjiang[J]. Journal of Harbin Institute of Technology (Social Sciences Edition), 2018, 20(2): 129-134. (in Chinese))
- [8] 宋建,庄玮. 新疆水资源分布的空间匹配性分析:基于洛伦兹曲线和基尼系数[J]. 水利规划与设计, 2018(7): 60-63, 144. (SONG Jian, ZHUANG Wei. Spatial matching analysis of water resources distribution in Xinjiang: based on Lorenz curve and Gini coefficient[J]. Water Resources Planning and Design, 2018(7): 60-63, 144. (in Chinese))
- [9] 邓铭江,王世江,董新光,等. 新疆水资源及可持续利用[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2005.
- [10] 高彦春,刘昌明. 区域水资源开发利用的阈限分析[J]. 水利学报, 1997(8): 74-80. (GAO Yanchun, LIU Changming. Limit analysis on the development and utilization of regional water resources[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 1997(8): 74-80. (in Chinese))
- [11] 来海亮,汪党献,吴涤非. 水资源及其开发利用综合评价指标体系[J]. 水科学进展, 2006(1): 95-101. (LAI Hailiang, WANG Dangxian, WU Difei. Comprehensive assessment indicator system for water resources and its development and use[J]. Advances in Water Science, 2006(1): 95-101. (in Chinese))
- [12] 周和平,翟超,孙志锋,等. 新疆水资源综合利用效果及发展变化分析[J]. 干旱区资源与环境, 2016, 30(1): 95-100. (ZHOU Heping, ZHAI Chao, SUN Zhifeng, et al. Utilization and the development of water resources in arid areas of Xinjiang[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2016, 30(1): 95-100. (in Chinese))
- [13] 关全力,余国新,刘维忠. 新疆农业灌溉用水效率提升潜力分析[J]. 水利经济, 2015, 33(2): 24-27. (GUAN Quanli, YU Guoxin, LIU Weizong. Improvement potential of utilization efficiency of agricultural irrigation water in Xinjiang Uygur Autonomous Region[J]. Journal of Economics of Water Resources, 2015, 33(2): 24-27. (in Chinese))
- [14] 吴昊,华骅,王腊春,等. 区域用水结构演变及驱动力分析[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2016, 44(6): 477-484. (WU Hao, HUA Hua, WANG Lachun, et al. Analysis of change and driving forces of regional water consumption structure[J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2016, 44(6): 477-484. (in Chinese))
- [15] 左其亭,韩春辉,马军霞. 水资源空间均衡理论应用规则和量化方法[J]. 水利水运工程学报, 2019(6): 50-58. (ZUO Qiting, HAN Chunhui, MA Junxia. Application rules and quantification methods of water resources spatial equilibrium theory[J]. Hydro-Science and Engineering, 2019(6): 50-58. (in Chinese))
- [16] 左其亭,韩春辉,马军霞,等. 水资源空间均衡理论方法及应用研究框架[J]. 人民黄河, 2019, 41(10): 113-118. (ZUO Qiting, HAN Chunhui, MA Junxia. Theoretical method and applied research framework of water resources spatial equilibrium[J]. Yellow River, 2019, 41(10): 113-118. (in Chinese))
- [17] 左其亭,纪璎芯,韩春辉,等. 基于GIS分析的水资源分布空间均衡计算方法及应用[J]. 水电能源科学, 2018, 36(6): 33-36. (ZUO Qiting, JI Yingxin, HAN Chunhui. Spatial equilibrium calculation method and application in regional water resources distribution based on GIS analysis[J]. Water Resources and Power, 2018, 36(6): 33-36. (in Chinese))
- [18] 汪雪格,汤洁,李昭阳,等. 基于洛伦兹曲线的吉林西部土地利用结构变化分析[J]. 农业现代化研究, 2007(3): 310-313. (WANG Xuege, TANG Jie, LI Zhaoyang, et al. Analysis of land use structure change in western of Jilin Province based on Lorenze curves[J]. Research of Agricultural Modernization, 2007(3): 310-313. (in Chinese))
- [19] SABOOHI Y. An evaluation of the impact of reducing energy subsidies on living expenses of households[J]. Energy Policy, 2001, 29(3): 245-252.
- [20] 范嘉炜,黄锦林,袁明道,等. 广州市用水结构空间均衡差异性分析[J]. 水资源保护, 2020, 36(4): 82-86. (FAN Jiawei, HUANG Jinlin, YUAN Mingdao, et al. Analysis of spatial equilibrium of water consumption structure in Guangzhou City[J]. Water Resources Protection, 2020, 36(4): 82-86. (in Chinese))
- [21] 夏帆,陈莹,窦明,等. 水资源空间均衡系数计算方法及其应用[J]. 水资源保护, 2020, 36(1): 52-57. (XIA Fan, CHEN Ying, DOU Ming, et al. Calculation method and application of spatial equilibrium coefficient of water resources[J]. Water Resources Protection, 2020, 36(1): 52-57. (in Chinese))
- [22] 汪燕敏,吴治民. 在Excel中用VBA计算基尼系数[J]. 统计与决策, 2006(6): 143-145. (WANG Yanmin, WU Zhimin. Gini coefficient calculated by VBA in Excel[J]. Statistics & Decision, 2006(6): 143-145. (in Chinese))

(收稿日期:2020-06-27 编辑:彭桃英)