

DOI:10.3880/j.issn.1004-6933.2020.01.008

水资源空间均衡系数计算方法及其应用

夏帆¹, 陈莹², 窦明³, 韩宇平¹

(1. 华北水利水电大学水利学院, 河南 郑州 450046; 2. 水利部水资源管理中心, 北京 100038;
3. 郑州大学水利与环境学院, 河南 郑州 450001)

摘要:为分析水资源在空间分布、开发利用及经济效益方面的均衡状态,采用基尼系数与协调发展度的方法,基于水资源负载指数、水土资源匹配系数和用水效益计算水资源空间均衡系数,并对水资源负载指数、水土资源匹配系数和用水效益的均衡性进行计算分析,确定了合理的权重。以全国31个省级行政区为计算单元计算了2017年全国水资源空间均衡系数,结果表明,各省级行政区水资源压力极不均衡,水土资源匹配差异较大,用水效益与经济社会发展有一定的关系,沿海经济比较发达的地区用水效益明显高于中西部地区;全国水资源在时空分布、开发利用以及对经济社会发展的支撑作用中表现为不均衡状态。

关键词:空间均衡;水资源负载指数;水土资源匹配系数;用水效益;基尼系数

中图分类号:TV213.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-6933(2020)01-0052-06

Calculation method and application of spatial equilibrium coefficient of water resources//XIA Fan¹, CHEN Ying², DOU Ming³, HAN Yuping¹ (1. School of Water Conservancy, North China University of Water Resources and Electric Power, Zhengzhou 450046, China; 2. Water Resource Management Center, Ministry of Water Resources, Beijing 100038, China; 3. College of Water Conservancy & Environment, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: In order to analyze the equilibrium state of water resources in spatial distribution, development and utilization, and economic benefits, the Gini coefficient and coordinated development degree method were used to calculate the spatial equilibrium coefficient of water resources based on the load index of water resources, the matching coefficient of water and soil resources and the water use benefits. The equilibrium of the load index of water resources, the matching coefficient of water and soil resources and the water use benefits were analyzed and the reasonable weight was determined. Taking 31 provincial administrative regions as calculation units, the national water resource spatial equilibrium coefficient in 2017 was calculated. The results show that the pressure of water resources in each provincial administrative region is extremely unbalanced, and the matching of water and soil resources is quite different. There is a certain relationship between water use efficiency and economic and social development. The water use efficiency of coastal areas with relatively developed economy is significantly higher than that of central and western areas. The national water resources are in disequilibrium in temporal and spatial distribution, development and utilization, as well as in the supporting role of economic and social development.

Key words: spatial equilibrium; water resources load index; water and soil matching coefficient; water efficiency; Gini coefficient

“节水优先、空间均衡、系统治理、两手发力”是我国今后治水工作的主要方针,空间均衡是该方针的重要内容,是水利工作必须遵循的根本原则。当前和今后一段时期,我国新老水问题交织,水资源短缺、水生态损害、水环境污染形势越来越严峻,许多

地区人口经济规模与水资源环境条件不匹配,水资源开发利用过度突破了水资源水环境的承载能力^[1],经济社会发展引起用水增长和水资源空间极不均衡^[2]。因此开展水资源空间均衡研究对于指导区域水资源管理和水生态保护具有重要意义。

基金项目:国家自然科学基金(51679089);水利部948项目(201328)

作者简介:夏帆(1992—),男,博士研究生,研究方向为水资源管理。E-mail: private.xia@qq.com

通信作者:韩宇平,教授。E-mail: han0118@163.com

研究水资源空间均衡首先要计算水资源空间均衡系数,空间均衡系数的计算有多种方法,很多研究成果以不平等关系的计算方法来分析研究对象的空间均衡性。Padilla 等^[3]利用泰尔指数提出了关于CO₂排放不平等关系的计算方法;Gunasekara 等^[4]应用基尼系数对国际水资源分配不平衡的情况做了分析;魏寿煜等^[5]以洛伦兹曲线为基础构建水资源空间匹配模型,对重庆市水资源进行了评价分析;束慧等^[6]将收入分配基尼系数拓展为环境基尼系数,用以度量环境排放的空间均衡性,分析了工业、制造业经济和生态的空间均衡性;空间均衡不能单方面研究经济发展的均衡,应当和生态、环境、资源等相匹配。空间均衡状态评估多以供给能力和需求强度来判断^[7]。程钰等^[8]从人地协调视角界定空间均衡的内涵,评估了黄河三角洲生态区开发强度空间均衡状态;孙才志等^[9]采用基尼系数的计算方法,在对灰水足迹的区域均衡和结构均衡的研究中发现两者均表现为不均衡状态。水资源空间均衡系数计算的研究以基尼系数为基础展开^[10-14];王亚迪等^[15]构建了水土资源匹配基尼系数,研究了河南省2000—2014年水土资源匹配均衡性;左其亭等^[16]认为水资源空间均衡系数表示水资源在任意空间点或空间单元分布的均衡程度,只能反映水资源分布的均衡性。

已有研究成果对降水、水土匹配等方面研究较多,并提出了空间均衡的计算思路,但对水资源在时空分布、开发利用及支撑经济发展作用的均衡程度方面研究鲜见报道。以洛伦兹曲线和基尼系数为基础的水资源空间均衡系数计算方法对水资源均衡程度有很好的描述,但不能很好反映不均衡的原因。为此,本文采用基尼系数与协调发展度的方法,基于水资源负载指数、水土资源匹配系数和用水效益计算水资源空间均衡系数,并以省级行政区为计算单元计算了全国水资源空间均衡系数,可为我国水资源管理政策制定提供参考。

1 计算方法

水资源空间均衡应当从水资源压力、水土资源匹配程度以及用水效益三方面综合考虑。水资源量决定了水资源压力大小和水土资源匹配程度高低,用水效益是水资源在社会经济发展中的价值体现。水资源压力越小、水土资源匹配度越高、用水效益越大,越能体现水资源的可持续利用与经济社会的协调发展,因此,本文采用水资源负载指数、水土资源匹配系数、用水效益作为水资源空间均衡系数计算指标。

1.1 水资源负载指数

水资源负载指数能够反映水资源的时空分布、利用程度及水资源开发的难易程度^[17],可对水资源时空分布及开发利用的均衡性进行评价分析,具体计算公式为

$$C = \frac{K\sqrt{RZ}}{W} \quad (1)$$

式中: C 为水资源负载指数; K 为降水系数; R 为人口,万人; Z 为国内生产总值,亿元; W 为水资源总量,亿 m³。

C 越大说明水资源开发利用程度越高,水资源开发越困难,越需要通过调水来解决人水矛盾。 K 是与降水量有关的系数,不同降水量对应 K 值具体范围和计算公式如下:

$$K = \begin{cases} 1.0 & P \leq 200 \text{ mm} \\ 1.0 - 0.1 \times \frac{P - 200 \text{ mm}}{200 \text{ mm}} & 200 \text{ mm} < P \leq 400 \text{ mm} \\ 0.9 - 0.2 \times \frac{P - 400 \text{ mm}}{400 \text{ mm}} & 400 \text{ mm} < P \leq 800 \text{ mm} \\ 0.7 - 0.2 \times \frac{P - 800 \text{ mm}}{800 \text{ mm}} & 800 \text{ mm} < P \leq 1600 \text{ mm} \\ 0.5 & P > 1600 \text{ mm} \end{cases} \quad (2)$$

式中 P 为全年降水量,mm。

为直观反映水资源时空分布及开发利用的状况,对计算结果进行调整,将水资源负载指数划分为5个等级,如表1所示。

表1 水资源负载指数分级

Table 1 Grading of water resources load indices

等级	C	水资源开发利用程度	水资源开发评价描述
1	≥ 10	很高,继续开发潜力很小	需要通过外部调水缓解用水紧张
2	$[5, 10)$	高,继续开发潜力较小	开发条件较为困难,用水紧张
3	$[2, 5)$	中等,继续开发潜力不大	开发条件中等,水资源压力一般
4	$[1, 2)$	较低,继续开发潜力大	容易开发,水资源压力低
5	$[0, 1)$	低,开发潜力很大	很容易开发,水资源利用程度很低

1.2 水土资源匹配系数

水土资源匹配关系用水土匹配系数来表征,指区域内平均每公顷耕地占有的水资源量,反映区域内水资源和耕地资源的组合状况以及水对耕地的满足程度^[14]。水土匹配系数越大,说明能够用于该区域的水资源就越丰富,对区域内耕地的满足程度越高,越有利于农业生产活动;系数越小,能够用于该区域的水资源量就越匮乏,越不利于农业生产活动。水资源作为农业生产的基础支撑条件和约束性条

件,是农业健康发展的关键所在,了解区域水土资源匹配程度,对分析区域种植结构有重要作用。水土资源匹配系数计算公式为

$$\delta = \frac{W}{S} \times 10^4 \quad (3)$$

式中: δ 为水土资源匹配系数,万 m^3/hm^2 ; S 为耕地面积, hm^2 。

1.3 用水效益

单方水 GDP 产值与经济发展有很强的相关关系,反映了社会发展用水效益的高低。经济发展水平越高,用水效益就越高,单方水 GDP 产值越大,越有利于水资源可持续利用。提高用水技术和节水意识,实现低耗水高产出的用水模式,才能做到水资源的可持续利用。以单方水 GDP 产值来表示用水效益,计算公式为

$$Z_w = \frac{Z}{W_s} \quad (4)$$

式中: Z_w 为单方水 GDP 产值,元/ m^3 ; W_s 为用水量或供水量,亿 m^3 。

1.4 基尼系数

基尼系数是 1943 年美国经济学家阿尔伯特·赫希曼根据洛伦兹曲线所定义的判断收入分配公平程度的指标。该指数能够非常方便地反映出总体收入差距的状况,客观、准确地评价居民收入的差距。通常把 0.4 作为基尼系数的警戒值,超过 0.4,说明收入差距较大。

很多学者应用基尼系数来分析和比较研究对象的总体匹配程度^[18-19]。本文采用张建华^[20]推导的一种简洁的基尼公式对水资源负载指数、水土资源匹配系数和用水效益的基尼系数进行计算:

$$G = 1 - \frac{1}{n} \left(2 \sum_{i=1}^{n-1} y_i + 1 \right) \quad (5)$$

式中: G 为基尼系数; y_i 为每个计算指标从第 1 组累计到第 i 组的总和占全部总量的百分比; n 为组数。

1.5 水资源空间均衡系数

水资源空间均衡系数计算引入协调发展度的概念^[21]来反映系统内部各要素之间、系统之间和谐一致的程度,还可以反映整体的均衡水平。将计算得到的水资源负载指数基尼系数、水土资源匹配基尼系数、用水效益基尼系数进行协调发展度计算,得到水资源空间均衡系数表达公式如下:

$$D = \sqrt{XY} \quad (6)$$

$$\text{其中 } X = \frac{\left[\prod_{j=1}^m I_j \right]^{\frac{1}{m}}}{\left[\left(\frac{1}{m} \sum_{j=1}^m I_j \right)^m \right]} \quad Y = \sum_{j=1}^m \alpha_j I_j$$

式中: D 为水资源空间均衡系数; X 为系统多要素的协调度; Y 为系统多要素的综合评价指标; I_j 为系统第 j 个要素指标,本文主要指标为水资源负载指数基尼系数、水土资源匹配基尼系数、用水效益基尼系数; α_j 为第 j 个要素指标的权重,满足 $\sum \alpha_j = 1$; m 为系统要素指标的个数,本文 $m = 3$ 。

根据计算结果,将水资源空间均衡系数划分为若干等级,如表 2 所示。

表 2 水资源空间均衡系数等级划分

Table 2 Classification of spatial equilibrium coefficients of water resources

空间均衡系数	均衡等级
[0, 0.2)	I (绝对均衡)
[0.2, 0.4)	II (比较均衡)
[0.4, 0.6)	III (一般失衡)
[0.6, 0.8)	IV (中度失衡)
[0.8, 1]	V (严重失衡)

2 实例分析

选取全国 31 个省级行政区(以下简称“省”,因港澳台地区资料暂缺,故不做计算)为研究单元,采用本文提出的水资源空间均衡系数计算方法计算 2017 年各省的水资源空间均衡系数。

2.1 数据来源

计算所需的社会经济数据来源于各研究单元的统计年鉴,所需的水资源和用水数据主要来源于各研究单元的水资源公报。

2.2 计算结果

根据前述计算公式,可计算得到全国 31 个省的水资源负载指数、水土资源匹配系数、用水效益及其基尼系数如表 3 所示。在水资源空间均衡系数计算中,各指标的权重非常重要,需准确确定权重或引入权重因子^[22-23]。采用层次分析法与经验法相结合的方法,确定水资源负载指数、水土资源匹配系数和用水效益的权重分别为 0.18、0.69 和 0.13,根据式(6)可计算得到水资源空间均衡系数如表 3 所示。

2.3 水资源负载指数分析

从表 3 可以看出,全国有 2/3 的省份水资源负载指数超过 10,主要为长江以北的省份和南方沿海省份,说明全国大部分省份水资源压力都很大,水资源的时空分布、开发利用与人口、经济不匹配。华北地区降水量少,人口多,其中环渤海各省水资源负载指数较大,该地区人口密度大、水资源量少,时空分布极不均匀,工农业发展用水量增长是造成水资源开发利用率高的主要原因。甘肃和宁夏的水资源总量极少而地下水开发利用量和过境水量大,水资

表3 中国省级行政区水资源空间均衡系数及计算指标

Table 3 Water resources spatial equilibrium coefficients and calculation indices of provincial administrative regions in China

省级行政区	C	G_C	δ	G_δ	Z_w	G_{Z_w}	D	省级行政区	C	G_C	δ	G_δ	Z_w	G_{Z_w}	D
黑龙江	13.44	0.46	1.38	0.49	122.04	0.31	0.67	江西	3.85	0.28	11.40	0.16	97.79	0.20	0.43
吉林	23.02	0.54	1.70	0.56	122.17	0.24	0.69	福建	14.58	0.59	7.96	0.25	199.19	0.38	0.56
辽宁	55.24	0.44	0.98	0.50	299.34	0.56	0.70	陕西	47.62	0.52	2.16	0.61	273.02	0.28	0.72
北京	149.44	0.32	1.38	0.74	387.44	0.28	0.66	甘肃	117.69	0.72	1.68	0.71	99.42	0.39	0.80
天津	307.28	0.34	0.15	0.41	584.92	0.31	0.63	宁夏	189.67	0.33	0.10	0.27	82.21	0.41	0.54
河北	122.34	0.31	0.37	0.41	182.73	0.22	0.60	青海	6.03	0.71	55.43	0.53	132.18	0.36	0.72
内蒙古	92.87	0.66	0.54	0.45	118.48	0.42	0.69	新疆	66.89	0.85	3.30	0.54	41.48	0.61	0.77
山西	56.03	0.31	0.47	0.29	225.99	0.24	0.53	贵州	2.42	0.37	12.56	0.25	155.62	0.22	0.51
山东	115.26	0.28	0.64	0.24	418.91	0.34	0.50	云南	3.48	0.52	7.14	0.28	91.03	0.23	0.54
河南	80.74	0.44	0.74	0.40	206.06	0.24	0.61	四川	4.23	0.13	3.76	0.17	158.46	0.43	0.41
安徽	15.97	0.38	3.73	0.55	101.63	0.27	0.68	重庆	7.97	0.30	2.43	0.46	293.84	0.58	0.66
江苏	42.06	0.21	1.78	0.39	190.04	0.26	0.57	西藏	0.13	0.14	284.09	0.47	49.46	0.24	0.58
浙江	12.41	0.28	4.69	0.31	305.14	0.29	0.55	广东	19.90	0.64	23.46	0.57	209.57	0.48	0.76
上海	139.94	0.29	1.79	0.34	402.91	0.27	0.57	广西	2.86	0.32	4.11	0.28	75.18	0.23	0.53
湖北	11.83	0.43	4.26	0.46	119.08	0.32	0.66	海南	7.97	0.22	4.50	0.28	49.22	0.12	0.49
湖南	1.64	0.47	28.24	0.43	87.63	0.38	0.66								

源负载指数高。上海人口密度大,经济发达,全市总供水量远大于水资源总量,导致水资源负载指数很大。西南省份水资源具有很大的开发潜力,这些省份水资源丰富,人口密度小,人均水资源占有量高于全国平均水平,水资源负载指数小。长江中上游省份的水资源负载指数较小,这些省份降水量丰富,水资源开发利用比北方要低很多,主要以地表水供水为主,水资源仍具有很大的开发潜力。青海、西藏的水资源十分丰富,人均水资源量远高于全国平均水平,但是因为气候、地形等原因,开发利用率低,开发潜力巨大,开发难度也特别大。

水资源负载指数基尼系数计算结果表明,全国水资源分布、开发利用极不均衡。东北、西北、华中各省水资源负载指数基尼系数超过警戒值 0.4,说明水资源的分布和开发利用在这些省份差距很大。在我国粮食主产区,农业用水量大、耗水率高,水资源开发利用率高,并且各省之间的水资源负载指数差距很大,是导致水资源时空分布和开发利用不均衡的主要因素。西藏水资源储量丰富,开发潜力巨大,但因地形地貌等原因,开发难度较大,现有水资源开发水平能够满足该地区正常生活、生产用水,水资源负载指数比较均衡。广东、福建、云南三省尽管水资源总量丰富,但是省情的差异及水资源负载指数差距变化悬殊是造成整体水资源负载指数不均衡的主要原因。

水资源负载指数能够说明区域水资源开发利用程度及开发难易程度,数值越高,水资源开发利用度就越高,其继续开发利用的难度也随之增大,水资源压力就越大。从计算结果可以看出全国水资源负载指数呈现出的特点是北方高、南方低,这与全国平均降水量分布特点相似。其中天津市水资源负载指数最高,北京、河北、山东、上海以及甘肃、宁夏等地水

资源负载指数都超过了 100。通过大型调水工程,缓解了区域用水不足,但依然面临严峻的水资源问题,水资源压力很大。全国大部分省份的水资源负载基尼系数超过了警戒值 0.4,说明我国水资源开发利用程度和开发利用极不均衡,主要表现是北方开发利用程度高,开发利用率高,继续开发潜力低,南方水资源丰富,开发利用率相对较低,继续开发潜力大。可见,管控水资源开发利用,提高水资源利用效率的任务更重。

2.4 水土资源匹配系数分析

由表 3 可见,西南和中南省份的水土资源匹配系数高,东北、华北和西北省份的水土资源匹配系数低。西南省份的耕地少,水资源量多,水资源开发利用率低,中南省份水资源丰富,因而水土资源匹配系数高于其他省份,对农业用水的保证程度高。东北、华北各省的耕地多,水资源量相对较少,造成水土资源匹配系数较低。从计算结果可以得出大部分北方省份的水土资源匹配系数差别很大。

全国多数省份水土资源匹配基尼系数大于 0.4,只有东部沿海省份和西南省份比较合理,说明水土资源匹配极不均衡,各省水土资源匹配系数差距大是造成水土资源匹配不均衡的主要原因。

2.5 用水效益分析

从表 3 可以看出,全国用水效益分布特点是沿海省份高、西部省份低。沿海省份单方水 GDP 产出量明显高于内陆省份,以第二、三产业为主要经济构成的省份大于第二、三产业相对薄弱的省份。根据用水效益基尼系数可以得出用水效益高的省份其用水效益基尼系数较低,整体用水效益和现有水资源开发利用水平与经济社会的发展比较合理,但与发达国家相比,仍然有一定的差距,有很大的提升空间。提高用水技术和节水意识,增加用水效益,对水

资源可持续利用十分重要。

用水效益的高低与区域经济社会的发展有一定关系,但用水效益的均衡性与区域经济发展的关系不大。东部、中部发展较快,用水效益高,各地之间用水效益差距不大,用水效益就比较均衡;西部发展缓慢,用水效益不高,但是差距小,用水效益也比较合理。

2.6 水资源空间均衡系数分析

按照表2等级划分,由表3可知全国水资源空间均衡状态整体失衡。其中,东北、华北和中部大部分省份中度失衡,中东部和西南部省份一般失衡。中部发展迅速,人口、经济的增长速度快,对资源的消耗水平高,工农业的快速发展也导致取用水量增加,水资源开发利用程度很大,导致水资源空间均衡状态失衡。华北和东北各省的水资源量和降水量都很少,水资源继续开发难度极大,须通过外部调水来缓解水资源紧张问题,这些省份的水资源空间均衡状态为中度失衡。

西南省份的水资源十分丰富,人口密度低,人均水资源量大,并且经济发展结构中农业占比很高,农业用水量高,水资源对耕地的满足程度也高,但是开发利用程度比其他地区要低,水资源空间均衡状态表现为一般失衡。东部沿海省份经济发展程度高,用水效益高于中西部省份,水资源有效利用率高,但是人口密度大、人均水资源量少,水资源空间均衡状态为一般失衡。

甘肃省水资源空间均衡等级为V级(严重失衡),农业用水量大,第二、三产业相对薄弱,水资源的分布、开发利用都不均衡;广东省水资源量丰富,过境水量多,且人口密度大,第二、三产业占比高,用水量也大,水土资源匹配不均衡,造成水资源空间均衡状态失衡。

3 结语

基于水资源负载指数、水土资源匹配系数和用水效益提出了水资源空间均衡系数计算方法,并计算了2017年全国水资源空间均衡系数。全国水资源分布状况呈现出的特点与全国降水量分布特点相似;各省水资源压力极不均衡,水资源开发利用程度表现为华北与东北高,西南与东南低;水土资源匹配系数低的省份水资源量少,水资源开发利用程度及利用效率都较高,全国水土资源匹配差距较大;用水效益的大小与经济社会发展有一定的关系,沿海经济发展好的省份用水效益明显高于经济发展缓慢的省份。水资源在空间分布、开发利用、水土资源匹配以及用水效益等方面表现为失衡状态。区域资源禀赋的差异和人类活动的影响致使我国经济社会发展的

过程中人水关系存在着诸多不和谐因素,污水排放总量上升,流经城市的河段受到污染问题依然存在,用水结构不合理,水资源浪费问题突出,用水效率低等都是造成水资源压力增加,导致水资源空间失衡的原因。

参考文献:

- [1] 吴强,高龙,李淼. 空间均衡:必须树立人口经济与资源环境相均衡的原则[J]. 水利发展研究,2018(9):17-24. (WU Qiang,GAO Long,LI Miao. Spatial equilibrium: the principle of equilibrium between population economy and resources and environment must be established[J]. Water Resources Development Research,2018(9):17-24. (in Chinese))
- [2] 翟正丽,桑学锋,顾世祥,等. 基于水资源配置平衡的云南省水系连通格局效果分析[J]. 水资源保护,2019,35(3):48-52. (ZHAI Zhengli,SANG Xuefeng,GU Sixiang, et al. Effect analysis of water system connectivity pattern in Yunnan Province based on water resources allocation balance[J]. Water Resources Protection,2019,35(3):48-52. (in Chinese))
- [3] PADILLA E,SERRANO A. Inequality in CO₂ emissions across countries and its relationship with income inequality: a distributive approach[J]. Energy Policy,2006,34:1762-1772.
- [4] GUNASEKARA N K,KAZAMA S,YAMAZAKI D. Water conflict risk due to water resource availability and unequal distribution[J]. Water Resources Management,2014,28(1):169-184.
- [5] 魏寿煜,谢世友. 基于基尼系数和洛伦兹曲线的重庆市水资源空间匹配分析[J]. 中国农村水利水电,2015(2):56-59. (WEI Shouyu,XIE Shiyu. A spatial matching analysis of Chongqing's water resources based on Gini coefficient and Lorenz curves[J]. China Rural Water and Hydropower,2015(2):56-59. (in Chinese))
- [6] 束慧,熊萍萍. 一类混合环境基尼系数的构建及其在产业经济、生态空间均衡评价中的应用[J]. 数学的实践与认识,2018,48(13):9-13. (SHU Hui,XIONG Pingping. The construction of mixed environment Gini coefficient and its application in the evaluation of industrial economy and ecological spatial equilibrium[J]. Mathematics in Practice and Theory,2018,48(13):9-13. (in Chinese))
- [7] 陈雯,孙伟,赵海霞. 区域发展的空间失衡模式与状态评估:以江苏省为例[J]. 地理学报,2010,65(10):1209-1217. (CHEN Wen,SUN Wei,ZHAO Haixia. The spatial imbalanced pattern and state assessment of regional development[J]. Acta Geographica Sinica,2010,65(10):1209-1217. (in Chinese))
- [8] 程钰,任建兰,侯纯光,等. 沿海生态地区空间均衡内涵

- 界定与状态评估:以黄河三角洲高效生态经济区为例[J]. 地理科学, 2017, 37(1): 83-91. (CHENG Yu, REN Jianlan, HOU Chunguang, et al. Meaning of space balance and assessing the state of the coastal ecological regions: a case of the Yellow River delta efficient ecological economic zone[J]. Scientia Geographica Sinica, 2017, 37(1): 83-91. (in Chinese))
- [9] 孙才志, 白天骄, 韩琴. 基于基尼系数的中国灰水足迹区域与结构均衡性分析[J]. 自然资源学报, 2016, 31(12): 2047-2059. (SUN Caizhi, BAI Tianjiao, HAN Qin. The regional and structural equilibrium analysis of grey water footprint in China based on Gini coefficient[J]. Journal of Natural Resources, 2016, 31(12): 2047-2059. (in Chinese))
- [10] 朱俊海, 林涛, 钱会. 陕西省水资源时空均衡研究[J]. 华北水利水电大学学报(自然科学版), 2018, 39(1): 63-67. (ZHU Junhai, LIN Tao, QIAN Hui. Study on spatio-temporal equilibrium of water resources in Shanxi Province[J]. Journal of North China University of Water Resources and Electric Power(Natural Science Edition), 2018, 39(1): 63-67. (in Chinese))
- [11] 陆视池, 方世明. 中国省域水资源生态足迹格局均衡性研究[J]. 水土保持研究, 2018, 25(4): 289-297. (LU Yanchi, FANG Shiming. Study on equilibrium of ecological footprint pattern of provincial water resources in China[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2018, 25(4): 289-297. (in Chinese))
- [12] 王豪杰, 左其亭, 郝林钢, 等. “一带一路”西亚地区降水时空特征及空间均衡分析[J]. 水资源保护, 2018, 34(4): 35-41. (WANG Haojie, ZUO Qiting, HAO Lingang, et al. Analysis of spatial-temporal characteristics and spatial equilibrium of precipitation in West Asia area of “Belt and Road”[J]. Water Resources Protection, 2018, 34(4): 35-41. (in Chinese))
- [13] 何俊, 黄显峰. 区域水资源量非均衡性评价[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2013, 41(2): 130-135. (HE Jun, HUANG Xianfeng. Evaluation of non-equilibrium distribution of regional water resources quantity[J]. Journal of Hohai University(Natural Sciences), 2013, 41(2): 130-135. (in Chinese))
- [14] 章恒全, 杨雅婷, 张陈俊. 基于基尼系数的湖北省用水公平性研究[J]. 水利经济, 2019, 37(1): 1-6. (ZHANG Hengquan, YANG Yating, ZHANG Chenjun. Fairness of water utilization in Hubei Province based on Gini coefficient[J]. Journal of Economics of Water Resources, 2019, 37(1): 1-6. (in Chinese))
- [15] 王亚迪, 左其亭, 刘欢, 等. 河南省水土资源匹配特征及均衡性分析[J]. 人民黄河, 2018, 40(4): 55-59. (WANG Yadi, ZUO Qiting, LIU Huan, et al. Equilibrium analysis of the matching characteristics of water and soil resources in Henan Province[J]. Yellow River, 2018, 40(4): 55-59. (in Chinese))
- [16] 左其亭, 纪瓊芯, 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(6): 33-36. (ZUO Qiting, JI Yingxin, HAN Chunhui, et al. Spatial equilibrium calculation method and application in regional water resources distribution based on GIS analysis[J]. Water Resources and Power, 2018(6): 33-36. (in Chinese))
- [17] 封志明, 刘登伟. 京津冀地区水资源供需平衡及其水资源承载力[J]. 自然资源学报, 2006(5): 689-699. (FENG Zhiming, LIU Dengwei. A study on water resources carrying capacity in Jingjinji region[J]. Journal of Natural Resources, 2006(5): 689-699. (in Chinese))
- [18] 曹万林. 区域生态公平及其影响因素研究[J]. 统计与决策, 2019(7): 105-108. (CAO Wanlin. Study on regional Eco-equity and its influencing factors[J]. Statistics and Decision, 2019(7): 105-108. (in Chinese))
- [19] 李铭, 李立. 优化个人所得税税率、级次与级距的设定: 基于基尼系数的分解和组间基尼系数变动[J]. 中央财经大学学报, 2019(2): 24-30. (LI Ming, LI Li. Optimize the setting of personal income tax rates, levels and brackets; based on the decomposition of Gini index[J]. Journal of Central University of Finance and Economics, 2019(2): 24-30. (in Chinese))
- [20] 张建华. 一种简便易用的基尼系数计算方法[J]. 山西农业大学学报(社会科学版), 2007, 6(3): 275-278. (ZHANG Jianhua. An convenient method to calculate gini coefficient[J]. Journal of Shanxi Agricultural University (Social Science Edition), 2007, 6(3): 275-278. (in Chinese))
- [21] 翟晶, 徐国宾, 郭书英, 等. 基于协调发展度的河流健康评价方法研究[J]. 水利学报, 2016, 47(11): 1465-1471. (ZHAI Jing, XU Guobin, GUO Shuying, et al. Research on river health assessment method based on coordinated development degree[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2016, 47(11): 1465-1471. (in Chinese))
- [22] 朱彩琳, 董增川, 李冰. 面向空间均衡的水资源优化配置研究[J]. 中国农村水利水电, 2018(10): 64-68. (ZHU Cailin, DONG Zengchuan, LI Bing. Research on water resources allocation based on spatial equilibrium[J]. China Rural Water and Hydropower, 2018(10): 64-68. (in Chinese))
- [23] 赵宋, 伍永刚, 顾巍, 等. 地表水资源空间配置的权重缺水率法研究[J]. 水利水电科技进展, 2009, 29(2): 16-18. (ZHAO Song, WU Yonggang, GU Wei, et al. Study on the weight water shortage rate method of space allocation of surface water resources[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2009, 29(2): 16-18. (in Chinese))

(收稿日期: 2019-04-16 编辑: 熊水斌)