

DOI:10.3876/j.issn.1000-1980.2023.02.005

基于水资源承载力与城市经济社会发展水平耦合协调度模型的遵义市发展评价

安莉娜, 范国福, 吴迪, 熊继东

(中国电建集团贵阳勘测设计研究院有限公司, 贵州 贵阳 550081)

摘要: 基于 2011—2020 年《遵义市统计年鉴》和《遵义市水资源公报》,采用多因子的熵权法确定水资源承载力水平和城市经济社会发展水平综合评价指标体系各指标的权重,在此基础上构建了能够反映社会、经济、人口、水量、水质等多因子的水资源承载力与城市经济社会发展水平耦合协调度模型,分析了遵义市现城区和规划城区水资源承载力与城市经济社会发展水平的时空耦合协调关系。结果表明:遵义市现城区和规划城区水资源承载力与城市经济社会发展水平的时空耦合协调度在 2011—2020 年均呈现总体上升趋势;时间上,现城区耦合协调度受经济社会发展水平的影响较明显,规划城区北扩区域目前经济布局较少,使得经济社会发展水平有所降低,说明城市北扩有利于促进城市经济社会高质量发展;空间上,遵义市现城区水资源承载力与城市经济社会发展水平耦合协调度在发展进程中有明显的空间差异且差异逐渐缩小,规划城区耦合协调度呈现“南强北弱”的格局,说明经济社会发展对水资源需求程度高的区域在南部,未来经济布局可逐步北移、东扩,并继续实行严格的水资源管理制度,优化水资源配置,缓解水资源短缺等问题,保障经济社会可持续发展。

关键词: 水资源承载力;城市经济社会发展;耦合协调度模型;遵义市

中图分类号: TV213.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-1980(2023)02-0035-07

Development evaluation of Zunyi City based on coupling coordination degree model of water resources carrying capacity and urban economic and social development level

AN Lina, FAN Guofu, WU Di, XIONG Jidong

(POWERCHINA Guiyang Engineering Corporation Limited, Guiyang 550081, China)

Abstract: Based on *Zunyi City Statistical Yearbook* and *Zunyi City Water Resources Bulletin* from 2011 to 2020, the multi-factor entropy weight method is used to determine the weight of each index system for the level of water resources carrying capacity and the level of urban economic and social development. The coupling coordination degree model of water resources carrying capacity and urban economic and social development level, which can reflect multiple factors such as society, economy, population, water quantity, water quality and so on, is established to analyze the spatial coupling and coordination relationship of water resources carrying capacity and urban economic and social development level between current urban area and planned urban area of Zunyi City. The results show that the current and planned urban areas of Zunyi City, the spatial-temporal coupling coordination degree between its water resources carrying capacity and the urban economic and social development level shows an overall upward trend from 2011 to 2020. The influence of the economic and social development level on the temporal coupling coordination degree is obvious in the current urban area, and the northward expansion of the planned urban area further strengthens the economic layout, which reduces the level of economic and social development. The coupling coordination degree with the level of urban economic and social development has obvious spatial differences in the development process and the difference is gradually narrowing with a pattern of “strong south and weak north”, indicating that

基金项目: 贵州省水利厅科技项目(KT202007)

作者简介: 安莉娜(1975—),女,正高级工程师,硕士,主要从事水资源和能源规划研究。E-mail: 702286362@qq.com

引用本文: 安莉娜,范国福,吴迪,等. 基于水资源承载力与城市经济社会发展水平耦合协调度模型的遵义市发展评价[J]. 河海大学学报(自然科学版),2023,51(2):35-41.

AN Lina, FAN Guofu, WU Di, et al. Development evaluation of Zunyi City based on coupling coordination degree model of water resources carrying capacity and urban economic and social development level[J]. *Journal of Hohai University(Natural Sciences)*, 2023, 51(2): 35-41.

the economic and social development has a high demand for water resources. In the south, the future economic layout can be gradually moved northward and eastward, and continue to implement a strict water resource management system, optimize the water resource allocation, alleviate water shortages and other problems, and ensure sustainable economic and social development.

Key words: water resources carrying capacity; urban economic and social development; coupling coordination degree model; Zunyi City

西部大开发战略实施以来,西南各省(自治区、直辖市)城镇呈现规模化发展,城市群效应凸显,同时对水资源的需求剧增,水资源承载力面临巨大的考验^[1-3]。云贵高原涉及云南、贵州、广西、四川等省(自治区),是西部开发的重点区域之一,全面推进以人为核心的新型城镇化建设是第二轮西部大开发的实施战略之一。云贵高原以高原喀斯特地貌而闻名,人口和城市主要集中分布于流域分水岭的高原台地,由于岩溶发育、河谷深切,水资源开发利用难度大、成本高。受地形所限,城市不具备整体搬迁的条件,只能在原城区基础上,兼顾地形、水资源承载力提升的条件和水资源开发利用程度向周边扩张。高原喀斯特地区以人为核心的新型城镇化发展,必须将提升水资源承载力融入新型城镇化建设过程,处理好水资源承载水平与新型城镇化建设的关系,协调新型城镇化发展进程^[4-6]。

水资源在国民经济中的无法替代性决定了水资源在国民经济中的战略地位。现阶段对水资源承载力与城市经济社会发展关系的研究主要为水资源承载力或经济社会发展的单因素研究^[7-11],但对水资源承载力与城市经济社会发展水平耦合关系的研究在逐渐增多^[12-17]。虽然耦合模型能够评价两个及两个以上因素的依赖关系,却无法反映因素之间协调状况,仅分析水资源承载力与城市经济社会发展之间的耦合度是远远不够的,还需分析二者的协调程度。

本文采用耦合协调度模型来评价遵义市水资源承载力与城市经济社会发展水平的耦合协调程度^[11]。遵义市城区是极具代表性和典型性的高原喀斯特城市,2020年的城镇化率达69.2%,由于特殊的高原喀斯特地貌,城区人均水资源量极低,在遵义市乃至整个贵州省均位列倒数第二,分析遵义市水资源承载力与城市经济社会协调发展程度对高原喀斯特地貌城市可持续发展的研究具有重要参考价值。

1 研究区概况和研究数据

遵义市位于贵州北部,根据遵义市城市总体规划,遵义市规划城区将在现有城区的基础上,向南北延伸并东扩,涉及红花岗区、汇川区、播州区和绥阳中心城区。

研究数据主要来源于2011—2020年《遵义市统计年鉴》和《遵义市水资源公报》。

2 研究方法

2.1 水资源承载力和城市经济社会发展水平综合评价指数

通过线性加权法计算水资源承载力和城市经济社会发展水平综合评价指数,即将各评价指标标准值与对应的指标权重的乘积线性相加,以反映水资源承载力和城市经济社会发展的综合水平。

指标权重采用熵权法确定。熵权法是客观赋权法,指标的权重取决于数据本身的离散性,离散程度越高,熵越大,包含的信息越多,则权重越大。相比于主观赋权方法,熵权法可避免各评价指标权重的人为因素干扰,使评价结果更符合实际。

2.2 耦合协调度模型

耦合协调度模型分为耦合模型和协调模型两部分。

2.2.1 耦合模型

耦合性(耦合力或耦合度)是一种度量,是系统中各子系统及子系统之间信息或参数的依赖度。城市水资源承载力系统与经济社会发展水平系统之间是相互影响、相互作用、相互依赖的,形成一个耦合系统。要实现可持续发展,最合理的方式是通过对水资源可持续的合理开发和利用支持经济社会的发展。水资源承载力水平综合评价指数与城市经济社会发展水平综合评价指数的耦合模型公式为

$$C = 2[U_1 U_2 / (U_1 + U_2)^2]^{1/2} \tag{1}$$

式中: C 为耦合度, $0 < C \leq 1$, C 值的大小表示系统间的各子系统处于有序性状态, $C=0$ 表示无关且无序, $C=1$ 表明达到良性耦合且有序, C 值越大,耦合程度越好,关系越趋于良性发展,且未来有序性越满意; U_1 为水资

源承载力水平综合评价指数; U_2 为城市经济社会发展水平综合评价指数。

2.2.2 协调模型

协调是一个系统工程,协调的本质在于系统内各子系统的有机统一。协调度是衡量系统协调状况好坏程度的定量指标,表示子系统或内部各要素在发展过程中彼此和谐一致的程度。因此,协调是一个动态过程。

水资源承载力水平综合评价指标体系与城市经济社会发展水平综合评价指标体系是耦合协调模型中的两个子系统,两个子系统综合评价指数用式(2)计算,耦合协调程度用式(3)表达:

$$T = \alpha U_1 + \beta U_2 \tag{2}$$

$$D = \sqrt{CT} \tag{3}$$

式中: T 为综合评价指数; α 、 β 为两个子系统的权重, $\alpha + \beta = 1$,对于高原喀斯特城市发展而言,经济社会的发展需要加快城镇化建设步伐,水资源脆弱性需要提升水资源承载力水平以保障国民经济发展的用水需求,因此水资源承载力水平和城市经济社会发展水平具有同等重要的地位,故取 $\alpha = \beta = 0.5$; D 为耦合协调度, D 越大,发展趋势越趋向于彼此和谐一致。

借鉴焦士兴等^[18]的研究成果,将水资源承载力水平与城市经济社会发展水平耦合协调等级分为 10 级,耦合协调水平分为 4 级,如表 1 所示。

2.3 综合评价指标体系

基于遵义市城区水资源开发利用现状,遵循区域性、层次性、相对独立性和可量性等原则,从水量、水质两方面选取能够反应遵义市城区水资源承载力水平的评价指标。

遵义市城区人均水资源量能够反映区域水资源条件;城镇化的建设和人口的增长需要消耗大量的水资源,因此选择万元 GDP 用水量 and 人均日生活用水量体现水资源利用效率;人口的聚集与产业的布局中,对水质影响最直接的是废水的排放、污水收集率和处理能力。因此选取城区的人均水资源量、万元 GDP 用水量、人均日生活用水量体现水资源消耗,选取废水排放总量、城市污水收集率、污水处理厂污水日处理能力表征城市的水质情况。由此得到遵义市水资源承载力水平综合评价指标体系如图 1 所示(括号中数据分别为遵义市现城区和规划城区水资源承载力水平综合评价指标的权重),其中人均水资源量为正向属性,其余均为逆向属性。

表 1 耦合协调度类型

Table 1 Type of coupling coordination degree

耦合协调度	耦合协调等级	耦合协调水平
>0 ~ 0.1	极度失调	失 调
>0.1 ~ 0.2	严重失调	
>0.2 ~ 0.3	中度失调	
>0.3 ~ 0.4	轻度失调	
>0.4 ~ 0.5	濒临失调	低水平
>0.5 ~ 0.6	基本协调	
>0.6 ~ 0.7	初级协调	中等水平
>0.7 ~ 0.8	中级协调	
>0.8 ~ 0.9	良好协调	高水平
>0.9 ~ 1.0	优质协调	

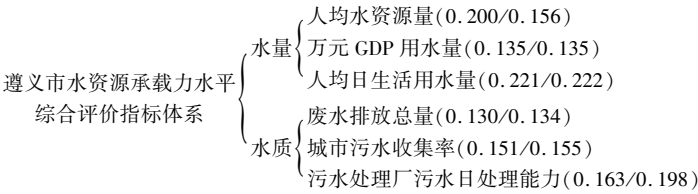


图 1 遵义市水资源承载力水平综合评价指标体系

Fig.1 Comprehensive evaluation index system of water resources carrying capacity in Zunyi City

从人口、经济、社会 3 个维度选取 15 项指标对遵义市城区城市经济社会发展水平进行综合评价。城镇人口比重是反映人口维度的最直观指标,随着城镇人口比重的不断提高,聚集效益凸显,第二、三产业从业人员的占比也不断提高,这些都是新型城镇化发展的标志性特征,因此分别选取城镇人口比重、城镇人口增速以及第二、三产业从业人员占比表征城市发展中人口城市化发展水平;城市经济特点主要由工业和服务业的发展来体现,因此选取人均 GDP 和第二、三产业增加值占 GDP 比重、城镇常住居民人均可支配收入来表征;在城市的社会化方面,随着城市的发展,将吸引越来越多的高水平技术人才,由于统计年鉴数据对高水平技术人才的指标残缺,因此本研究以平均每千人口拥有医生数来表征社会城市化程度。由此得到遵义市城市经济社会发展水平综合评价指标体系如图 2 所示(括号中数据分别为遵义市现城区和规划城区城市经济社会发展水平综合评价指标的权重),指标属性均为正向。

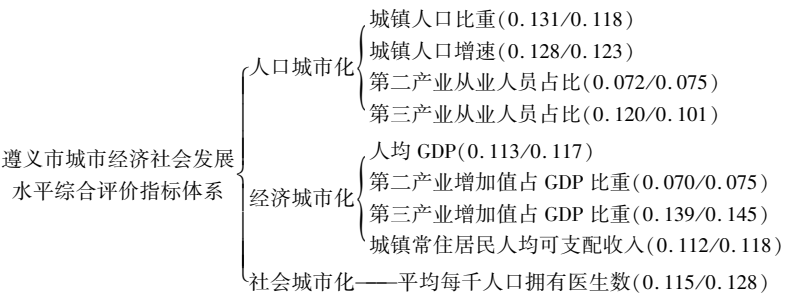


图2 遵义市城市经济社会发展水平综合评价指标体系

Fig.2 Comprehensive evaluation index system of urban economic and social development level in Zunyi City

3 结果与分析

3.1 耦合协调度分析

a. 遵义市现城区。在遵义市发展进程中,现城区水资源承载力与城市经济社会发展水平的耦合协调度总体呈阶段式上升趋势(图3(a)),2011年耦合协调等级为濒临失调,2011—2019年耦合协调水平不断提升,2012年达到中等水平,到2019年为高水平耦合协调,耦合协调度为0.856,达到良好的耦合协调等级。从评价指标增幅来看,城市经济社会发展水平综合评价指数增速高于水资源承载力水平综合评价指数,2013年是特干旱年份,水资源承载力水平综合评价指数陡然下降,2019年因临近“十三五”期末,经济发展增幅较快;城市经济社会发展水平综合评价指数除2020年受疫情影响降低以外,其余年份均波动不大,大部分年份有不同程度的增幅;水资源承载力水平综合评价指数除2013年为特干旱年份,出现较大幅度波动外,其余年份均稳步攀升,2019年达到最高值,2020年受来水影响略有下降。

b. 遵义市规划城区。从水资源承载力水平综合评价指数(图3(b))来看,由于2013年为全省的普遍区域干旱年份,规划城区水资源承载力水平综合评价指数也出现明显波动;由于绥阳中心城区为规划城区的新增区域,该区域位于芙蓉江流域,水资源相对丰沛,规划城区的水资源承载力水平综合评价指数普遍得到了提高,有利于水资源承载力水平与城市经济社会发展水平耦合协调度的提升。从城市经济社会发展水平综合评价指数来看,规划城区均普遍有所降低,说明绥阳中心城区现状经济社会发展水平普遍落后于遵义市现城区,与实际相符。从水资源承载力水平与城市经济社会发展水平的耦合协调度来看,城市发展进程中的水资源承载力与城市经济社会发展水平耦合协调度大致与现城区趋势一致,但均低于现城区,可见,城市经济社会发展水平对耦合协调度的贡献更为突出。

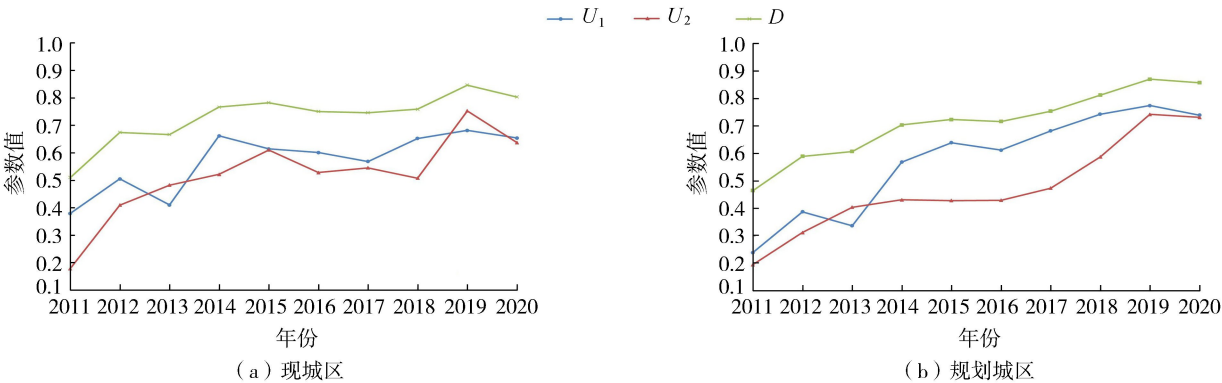


图3 遵义市水资源承载力与城市经济社会发展水平耦合协调度

Fig.3 Coupling coordination degree of water resources carrying capacity and urban economic and social development level in Zunyi City

c. 空间分布。遵义市规划城区水资源承载力与城市经济社会发展水平耦合协调度空间差异在2011—2020年逐渐减小并逐渐呈现空间同步的规律(表2)。城市经济社会发展水平的空间差异为“南强北弱”。形成鲜明对比的是南边的播州区,其城市经济社会发展水平综合评价指数从2011年的0.042提升至2020年的0.789,而北边的绥阳中心城区从2011年的0.362提升至2020年0.563,提升幅度仅为播州区的1/4左

右,汇川区和红花岗区的提升幅度基本相当。水资源承载力水平的空间差异则表现为北部强于南部,且汇川区、红花岗区的水资源承载力水平也表现较好,主要原因是水环境综合整治和节水措施的贯彻和实施,单位产值的用水量得到有效的控制,此外随着近几年水利工程的逐步建成发挥效益,水资源也得到了了一定程度的保障。位于最北部的绥阳中心城区属于芙蓉江流域,流域面积大,水资源十分丰沛,通过工程手段可保障经济社会发展对水资源的需求,若城市发展向北东扩展,可为遵义市城区水资源承载力的提升奠定良好的基础。耦合协调度与城市经济社会发展水平之间的关系在空间格局上更为相似,可见,在遵义市城区发展进程中,经济建设成就是显著的,但水资源承载力的提升能力仍需进一步优化。

表 2 遵义市各区水资源承载力与城市经济社会发展水平耦合协调度

Table 2 Coupling coordination degree of water resources carrying capacity and urban economic and social development in each district of Zunyi City

地区	U_1		U_2		D	
	2011 年	2020 年	2011 年	2020 年	2011 年	2020 年
汇川区	0.236	0.719	0.188	0.714	0.459	0.847
红花岗区	0.155	0.682	0.265	0.806	0.450	0.861
播州区	0.394	0.501	0.042	0.789	0.358	0.793
绥阳中心城区	0.326	0.702	0.362	0.563	0.586	0.793

3.2 耦合协调度动态变化

由表 3 可知,2011—2020 年遵义市城区水资源承载力与城市经济社会发展水平耦合协调度总体不断提高但存在小范围波动,区域内空间差异逐渐减小。结合表 1,2011 年除绥阳中心城区耦合协调等级已达到基本协调等级以外,其余 3 个区耦合协调等级均位于濒临失调等级。随时间推移,各区耦合协调等级和耦合协调水平不断提升,2012 年各区耦合协调等级均达到基本协调等级,绥阳中心城区耦合协调水平达到中等水平,2013 年开始各区耦合协调水平均达到中等水平,2016 年各区耦合协调等级均达到中级协调等级,2019 年各区耦合协调等级均达到良好协调等级。

播州区水资源承载力与城市经济社会发展水平耦合协调等级于 2016 年达到良好协调等级,其与汇川区的部分街道组成新蒲新区,并作为遵义市城区经济发展的政治、经济、文化核心区,城镇化进程一直很快,产业转型升级良性发展,是黔北中心城市的中心区域,人口聚集效应明显,人口机械增长迅速,耦合协调度不断提升。由于遵义市对水污染防治的高度重视,汇川区和红花岗区城市经济社会发展水平综合评价指数与水资源承载力水平综合评价指数均较高,耦合协调度增速较快。绥阳中心城区因历史原因,经济社会发展相对缓慢,尽管得益于优越的地势而具有较高的水资源承载力水平,但耦合协调度提升速度相比之下仍略显疲软。

对比 2011—2020 年期初和期末各区域水资源承载力与城市经济社会发展水平耦合协调度(表 4),各区之间差异不断缩小,2011 年变异系数为 0.202,到 2020 年减小至 0.043;2011 年全距为 0.228,2020 年减小至 0.068。具体来看,水资源承载力与城市经济社会发展耦合协调水平变化程度呈现“北慢南快”形态。2011—2020 年耦合协调度增速最快的为播州区,主要原因是播州区之前为遵义县,经济社会发展没有得到足够的重视,撤县成立播州区后经济快速发展;汇川区和红花岗区是现城区的生产生活聚集区域,由于重视节水 and 黑臭水体治理,原本水资源承载力和城市经济社会发展水平基础较差,二者的耦合协调水平低,但在水资源承载力水平改善后,仍然具有较强的经济吸引力。绥阳中心城区的水资源承载力与城市经济社会发展水平耦合协调度提升速度最慢,主要是因为水资源承载力处于高水平,因此,随着遵义市城区北扩战略的实施,未来绥阳中心城区的水资源承载力与城市经济社会发展水平耦合协调度将显著提高。

表 3 2011—2020 年遵义市各区水资源承载力与城市经济社会发展水平耦合协调度

Table 3 Coupling coordination degree of water resources carrying capacity and urban economic and social development in each district of Zunyi City from 2011 to 2020

年份	耦合协调度			
	红花岗区	汇川区	播州区	绥阳中心城区
2011	0.45	0.459	0.358	0.586
2012	0.552	0.600	0.504	0.660
2013	0.652	0.602	0.602	0.671
2014	0.706	0.688	0.691	0.735
2015	0.675	0.757	0.764	0.765
2016	0.756	0.758	0.800	0.762
2017	0.744	0.757	0.819	0.814
2018	0.856	0.776	0.831	0.833
2019	0.833	0.877	0.844	0.834
2020	0.861	0.847	0.793	0.793

表4 2011—2020年遵义市水资源承载力与城市经济社会发展水平耦合协调度评价结果

Table 4 Evaluation results of coupling coordination degree of water resources carrying capacity and urban economic and social development in Zunyi City from 2011 to 2020

年份	最大值	最大值所在区	最小值	最小值所在区	全距	均值	变异系数
2011	0.586	绥阳中心城区	0.358	播州区	0.228	0.463	0.202
2012	0.660	绥阳中心城区	0.504	播州区	0.156	0.579	0.115
2013	0.671	绥阳中心城区	0.602	汇川区	0.069	0.632	0.056
2014	0.735	绥阳中心城区	0.688	汇川区	0.046	0.705	0.030
2015	0.765	绥阳中心城区	0.675	红花岗区	0.090	0.740	0.059
2016	0.800	播州区	0.756	红花岗区	0.043	0.769	0.027
2017	0.819	播州区	0.744	红花岗区	0.075	0.784	0.049
2018	0.856	绥阳中心城区	0.776	汇川区	0.080	0.824	0.041
2019	0.877	汇川区	0.833	红花岗区	0.044	0.847	0.024
2020	0.861	红花岗区	0.793	绥阳中心城区	0.068	0.823	0.043

以上结果表明:遵义市现城区范围内 2011—2020 年水资源承载力与城市经济社会发展水平耦合协调度低的区域(如播州区)仍有进一步提高的空间;耦合协调度较高的区域(红花岗区和汇川区)同时也发展迅速,且全市水资源承载力与城市经济社会发展水平耦合协调度空间差异程度不断缩小;随着遵义市城区范围的扩大,未来绥阳中心城区纳入城区后,将整体提高遵义市城区的水资源承载力水平,为遵义市未来的经济腾飞发展奠定良好的基础。

4 结 论

时间上,2011—2020 年遵义市现城区经济社会发展水平逐年提高,水资源承载力水平除特干旱年份外,也稳步攀升,总体来说其增长速度略滞后于城市经济社会发展速度,随着城区的北扩,水资源承载力水平明显提升;二者耦合协调水平逐步攀升,受经济社会发展水平的影响较为明显。遵义市现城区人均水资源量较低,但水资源承载力明显提高,说明在水资源配置和水环境保护以及水污染控制方面的成效相对显著,且仍将是未来在促进水资源承载力与城市经济社会协调发展工作中的重点,以提升水资源利用效率和疏解水环境压力,提高水资源承载力。遵义市规划城区的经济社会发展水平较现状有所降低,说明规划城区扩张后可进一步加强经济布局,以促进城市经济社会高质量发展。

空间上,遵义市现城区水资源承载力与城市经济社会发展的耦合协调水平在发展进程中有明显的空间差异,且差异逐渐缩小。规划城区耦合协调水平呈现“南强北弱”的格局。播州区、红花岗区和汇川区均位于南部,目前城市经济社会发展质量普遍较高,而北部水资源承载力水平表现较好但经济社会发展速度较低。这说明经济社会发展对水资源需求程度高的区域在南部,未来经济布局可逐步北移、东扩,并继续实行严格的水资源管理制度,优化水资源配置,解决水资源短缺等问题,保障经济社会可持续发展。

参考文献:

[1] 王建华,何凡,何国华. 关于水资源承载力需要厘清的几点认识[J]. 中国水利,2020(11):1-5. (WANG Jianhua,HE Fan,HE Guohua. Some understandings about the clarification of water resources carrying capacity[J]. China Water Resources,2020(11):1-5. (in Chinese))

[2] 王建华,何国华,何凡,等. 中国水土资源开发利用特征及匹配性分析[J]. 南水北调与水利科技,2019,17(4):1-8. (WANG Jianhua,HE Guohua,HE Fan,et al. Utilization and matching patterns of water and land resources in China[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology,2019,17(4):1-8. (in Chinese))

[3] 王喜峰,沈大军. 黄河流域高质量发展对水资源承载力的影响[J]. 环境经济研究,2019,4(4):47-62. (WANG Xifeng,SHEN Dajun. Impact of high quality development on water resources carrying capacity in the Yellow River Basin[J]. Journal of Environmental Economics,2019,4(4):47-62. (in Chinese))

[4] 聂春霞,田加源. 天山北坡城市群水资源与城镇化的交互胁迫作用[J]. 人民长江,2019,50(1):102-107. (NIE Chunxia,TIAN Jiayuan. Study on mutual-stress between urbanization and water resource of northern Tianshan urban cluster[J]. Yangtze River,2019,50(1):102-107. (in Chinese))

[5] 崔婷婷,王银堂,金义蓉,等. 城镇化进程中苏州城市扩张过程及其对降水规律影响研究[J]. 中国农村水利水电,2017

(10):89-93. (CUI Tingting,WANG Yintang,JIN Yirong,et al. Research on the process of urban expansion in Suzhou City and its influence on precipitation patterns[J]. China Rural Water and Hydropower,2017(10):89-93. (in Chinese))

[6] 许长新,吴晓远. 水环境承载力约束下区域城镇化发展合理速度分析[J]. 中国人口·资源与环境,2020,30(3):135-142. (XU Changxin,WU Xiaoyuan. Analysis of reasonable speed of regional urbanization development under the constraint of water environmental carrying capacity[J]. China Population,Resources and Environment,2020,30(3):135-142. (in Chinese))

[7] 唱彤,酆建强,金菊良,等. 面向水流系统功能的多维度水资源承载力评价指标体系[J]. 水资源保护,2020,36(1):44-51. (CHANG Tong,LI Jianqiang,JIN Juliang,et al. Multi-dimensional water resources carrying capacity evaluation index system for water flow system function[J]. Water Resources Protection,2020,36(1):44-51. (in Chinese))

[8] 胡启玲,董增川,杨雁飞,等. 基于联系数的水资源承载力状态评价模型[J]. 河海大学学报(自然科学版),2019,47(5):425-432. (HU Qiling,DONG Zengchuan,YANG Yanfei,et al. State evaluation model of water resources carrying capacity based on connection number[J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences),2019,47(5):425-432. (in Chinese))

[9] 郑博福,范焰焰,任艳红,等. 典型河网地区水环境承载力评估:以长兴县为例[J]. 中国农村水利水电,2020(7):54-59. (ZHENG Bofu,FAN Yanyan,REN Yanhong,et al. An assessment of water environment carrying capacity in typical river network areas:a case study of Changxing County[J]. China Rural Water and Hydropower,2020(7):54-59. (in Chinese))

[10] 高伟,陈岩,严长安,等. 基于生态系统净化与人为调控耦合作用的水环境承载力评估[J]. 生态学报,2020,40(14):4803-4812. (GAO Wei,CHEN Yan,YAN Chang'an,et al. Water environmental carrying capacity assessment based on ecosystem purification and human regulation coupling effect[J]. Acta Ecologica Sinica,2020,40(14):4803-4812. (in Chinese))

[11] 金菊良,刘东平,周戎星,等. 基于投影寻踪权重优化的水资源承载力评价模型[J]. 水资源保护,2021,37(3):1-6. (JIN Juliang,LIU Dongping,ZHOU Rongxing,et al. Evaluation model of water resources carrying capacity based on projection pursuit weight optimization[J]. Water Resources Protection,2021,37(3):1-6. (in Chinese))

[12] 郑江丽,李兴拼. 基于协调性的区域水资源承载力评估模型[J]. 水资源保护,2021,37(5):30-35. (ZHENG Jiangli,LI Xingpin. Evaluation model of regional water resources carrying capacity based on coordination[J]. Water Resources Protection,2021,37(5):30-35. (in Chinese))

[13] 黄国如,陈易偲. 高度城镇化背景下珠三角地区降雨结构时空演变特征分析[J]. 水资源保护,2022,38(1):82-90. (HUANG Guoru,CHEN Yisi. Analysis of temporal and spatial evolution characteristics of rainfall structure in the Pearl River Delta area under background of high urbanization[J]. Water Resources Protection,2022,38(1):82-90. (in Chinese))

[14] 陈华鑫,陆沈钧,何建兵,等. 长三角一体化示范区水资源保护协作机制创新研究[J]. 水资源保护,2021,37(5):56-61. (CHEN Huaxin,LU Shenjun,HE Jianbing,et al. Research on innovation of water resources protection cooperation mechanism in Yangtze River Delta integration demonstration area[J]. Water Resources Protection,2021,37(5):56-61. (in Chinese))

[15] 季永兴,韩非非,施震余,等. 长三角一体化示范区水生态环境治理思考[J]. 水资源保护,2021,37(1):103-109. (JI Yongxing,HAN Feifei,SHI Zhenyu,et al. Thinking on water eco-environment management in regional integration demonstration area of Yangtze River Delta[J]. Water Resources Protection,2021,37(1):103-109. (in Chinese))

[16] 李少朋,赵衡,王富强,等. 基于 AHP-TOPSIS 模型的江苏省水资源承载力评价[J]. 水资源保护,2021,37(3):20-25. (LI Shaopeng,ZHAO Heng,WANG Fuqiang,et al. Evaluation of water resources carrying capacity of Jiangsu Province based on AHP-TOPSIS model[J]. Water Resources Protection,2021,37(3):20-25. (in Chinese))

[17] 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 Zhizhuo,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))

[18] 焦士兴,王安周,李青云,等. 河南省城镇化与水资源耦合协调发展状况[J]. 水资源保护,2020,36(2):21-26. (JIAO Shixing,WANG Anzhou,LI Qingyun,et al. Study on coupling and coordinated development of urbanization and water resources in Henan Province[J]. Water Resources Protection,2020,36(2):21-26. (in Chinese))

(收稿日期:2022-03-16 编辑:熊水斌)