

# 基于协调发展的南京市水资源承载状态评价 与障碍因子诊断

鲍庆煜<sup>1</sup>, 周 强<sup>2</sup>, 陈 霞<sup>2</sup>, 周 毅<sup>2</sup>,  
张 游<sup>2</sup>, 郝曼秋<sup>3</sup>

(1. 江苏省水文水资源勘测局南京分局, 江苏 南京 210009; 2. 江苏省水土保持生态环境监测总站, 江苏 南京 210012;  
3. 河海大学水文水资源学院, 江苏 南京 210098)

**摘要:**为充分了解南京市水资源承载力,以科学调整用水方式及相应政策,对南京市 2020、2025、2030 年 3 个水平年的水资源承载力进行评价研究。选取 11 个指标,构建由目标层、标准层、指标层、表征层构成的水资源承载状态评价体系,并通过指标体系计算协调发展度,划分区域水资源环境承载状态等级。在建立水资源承载状态评价指标体系的基础上,对影响南京市水资源承载状态的障碍因子进行识别与分析,这对区域社会经济、生态环境、水资源的可持续发展具有重要的理论和指导意义。

**关键词:**承载状态; 协调发展; 障碍因子诊断; 南京市

中图分类号:TV213 文献标识码:B 文章编号:1007-7839(2020)11-0009-06

## Evaluation of water resources carrying state and diagnosis of obstacle factors in Nanjing City based on coordinated development

BAO Qingyu<sup>1</sup>, ZHOU Qiang<sup>2</sup>, CHEN Xia<sup>2</sup>, ZHOU Yi<sup>2</sup>,  
ZHANG You<sup>2</sup>, HAO Manqiu<sup>3</sup>

(1. *Nanjing Hydrology and Water Resources Survey Bureau of Jiangsu Province, Nanjing 210009, China*;  
2. *Jiangsu Soil and Water Conservation Eco-environmental Monitoring Station, Nanjing 210012, China*;  
3. *College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, Jiangsu*)

**Abstract:** In order to fully understand the water resources carrying capacity of Nanjing City, so as to scientifically adjust the water use methods and corresponding policies, the water resources carrying capacity of Nanjing City in 2020, 2025 and 2030 were evaluated and studied. Eleven indicators were selected to construct an evaluation system of water resource carrying state composed of target layer, standard layer, index layer and representation layer. Coordinated development degree was calculated through the index system and regional water resource environmental carrying state levels were divided. On the basis of establishing the evaluation index system of water resources carrying state, the obstacle factors affecting the water resources bearing state of Nanjing were identified and analyzed, which could have important theoretical and guiding significance for the sustainable development of regional social economy, ecological environment and water resources.

**Key words:** bearing state; coordinated development; obstacle factor diagnosis; Nanjing City

收稿日期:2020-07-19

基金项目:江苏省水利科技项目:江苏省降雨频率图集与暴雨高风险区划研究(2018020);江苏省典型地区水资源环境承载能力提升研究(2016003)

作者简介:鲍庆煜(1969—),男,本科,研究方向为水文水资源。E-mail:584203112@qq.com

水是生命之源、生产之要、生态之基,是人类生存和社会经济发展不可或缺的资源<sup>[1]</sup>。我国人多水少、水资源时空分布不均匀,并且面临着水资源浪费、水污染严重、水生态恶化等诸多问题,部分地区水资源供需矛盾十分尖锐,水资源、水环境有限的支撑能力成为社会经济发展的瓶颈<sup>[2-3]</sup>。

南京市作为江苏省会,是长三角及华东地区特大城市之一,随着社会经济规模的不断扩大,南京市社会经济发展对水资源需求的无限性和水资源承载能力的有限性以及污染的无限性与水环境支撑能力的有限性之间的矛盾愈发突出,因此,研究南京市的水资源承载能力和承载状态是非常必要的<sup>[4]</sup>。

目前学者关于水资源承载力概念并没有形成一致的观点,主要可以归纳为水资源开发规模论、可承载社会经济规模论以及抽象的水资源承载力<sup>[5-7]</sup>。第一种观点认为水资源承载力是在一定的技术经济水平和社会生产条件下水资源最大供给工农业生产、人民生活 and 生态环境保护等用水能力<sup>[8]</sup>。在这一观点中,通过社会经济取用水量反映水资源承载力,没有继续深入分析其与社会经济发展现状的关系。第二种观点认为水资源承载力是在某一具体的发展阶段下,以可预见的技术、经济和社会发展水平为依据,以可持续发展为原则,以维护生态环境良性发展为前提,在水资源合理配置和高效利用的条件下,区域社会经济发展的最大人口容量<sup>[9]</sup>。在这一观点中,在分析技术水平、社会经济发展阶段的基础上,通过社会经济的规模反映水资源承载力。第三种观点提出水资源承载力是指某一地区的水资源在某一具体历史发展阶段下,以可预见的技术、经济和社会发展水平为依据,以可持续发展为原则,以维护生态环境良性循环发展为条件,经过合理优化配置,对该地区社会经济发展的支撑力<sup>[10]</sup>。这一观点中,没有指明水资源承载力的表征指标,较为抽象。

水资源环境承载力的研究尚处于起步阶段,马军霞<sup>[11]</sup>选用郑州市作为研究区,通过水量水质模拟的手段,利用“基于模拟和优化的控制目标反推模型(COIM)”反推水资源与水环境承载力,并探讨了水资源承载力与水环境承载力的概念及两者之间的关系;窦明等<sup>[12]</sup>通过构建水环境综合承载力计算和评价模型,描述社会经济、水资源、水环境三者内部联系,并将模型应用于淮河流域;赵巨伟等<sup>[13]</sup>将水资源系统理论与遗传算法基础理论相结合,对沈

阳市的水资源承载力和水环境容量的水环境综合承载力进行了研究;姜大川<sup>[14]</sup>从水质水量联合角度对水资源环境承载力计算方法进行了讨论,并将其应用于沂河流域。

目前,针对水资源环境承载力的专门研究相对较少,没有深入探讨水资源环境承载力与水资源承载力、水环境承载力在内涵上的区别及联系。此外,关于承载能力提升的研究多数集中在理论层面,一般以建议或者意见的形式提出,没有能够定量分析提升措施的提升效果。因此,本文引入协调发展度作为区域水资源承载状态的预警指标,探究承载主体与承载客体的协调程度,建立水资源承载状态评价指标体系,并在此基础上识别出影响南京市水资源环境承载能力的主要障碍因素。

## 1 研究区概况

南京市位于江苏省西南部,境内湖泊、水库、河流众多,水域面积占 14.3%。根据水利普查的初步成果,全市境内有河流 616 条,河流总长度 3 373.4 km,河流密度为每 10 km<sup>2</sup> 98 条。其中大江大河干流有 4 条,大江大河分洪河道 6 条,大江大河干流(含石臼湖、固城湖)的 1 级支流河道 72 条,流域范围跨邻省、市河道 30 条。南京市现有湖泊 12 个,其中中型湖泊 1 个,小型湖泊 2 个,城市湖泊 9 个。

## 2 研究方法

### 2.1 协调发展度计算

#### 2.1.1 指标体系构建

结合典型区实际特征以及现有数据资料,构建了基于协调发展度的区域水资源环境承载状态综合评价预警指标体系,基于协调发展度的区域水资源环境承载状态预警指标体系具体如表 1。目标层为“水资源环境承载状态预警”,准则层设立“承载主体——水资源子系统  $B_1$ 、承载客体——社会经济子系统  $B_2$  和生态环境子系统  $B_3$ ”,指标层共设 11 个指标  $C_i(i=1,2,\dots,11)$ ,指标选取全面反映影响区域水资源环境承载状态的各主要因素。具体选取的指标如表 1 所示。根据江苏省典型区的社会经济、水利相关规划、公报,分别确定各单元各计算水平年指标值。

#### 2.1.2 指标归一化与权重确定

##### (1) 指标归一化

考虑了不同指标类型对水资源环境承载状态的影响的差异,把指标分为成本型指标(指标值越

表 1 区域水资源承载状态预警指标体系

目标层	标准层	指标层	指标表征
承载主体	水资源子系统 $B_1$	单位面积水资源量 $C_1$ (万 $\text{m}^3/\text{km}^2$ )	区域水资源自然禀赋条件
		用水总量用控比 $C_2$	区域水资源开发利用情况
		COD 入河量超限比 $C_3$	区域排污与水环境容量关系
		氨氮入河量超限比 $C_4$	区域排污与水环境容量关系
协调发展度	社会经济子系统 $B_2$	万元 GDP 用水 $C_5$ ( $\text{m}^3/\text{万元}$ )	区域用水水平
		污水集中处理率 $C_6$ (%)	区域截污限排水平
		人均 GDP $C_7$ (万元/人)	区域经济水平
	承载客体	人口密度 $C_8$ (人/ $\text{km}^2$ )	区域社会规模
		水功能区水质达标率 $C_9$ (%)	区域水环境质量
	生态环境子系统 $B_3$	水面率 $C_{10}$ (%)	区域水生态状况
		植被覆盖率 $C_{11}$ (%)	区域生态环境总体状况

大越好)和收益型指标(指标值越小越好),所选评价指标因为量纲不同需要进行标准化处理<sup>[15]</sup>。具体归一化公式如下:

①本型指标

$$p_{ij} = \frac{x_{ij} - \min(x_{ij})}{\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})} \tag{1}$$

②收益型指标

$$p_{ij} = \frac{\max(x_{ij}) - x_{ij}}{\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})} \tag{2}$$

式中, $x_{ij}$ 和 $p_{ij}$ 分别为 $j$ 个标准化方案中第 $i$ 个指标的原始值和标准化值,当 $j=1,\cdots,n$ 时, $x_{ij}$ 和 $p_{ij}$ 分别为待评价方案的指标原始值和标准化值,当 $j=n+1,\cdots,n+(m-1)$ 时, $x_{ij}$ 和 $p_{ij}$ 分别为各指标等级标准划分的临界值及其标准化值; $\max(x_{ij})$ 和 $\min(x_{ij})$ 分别为 $s$ 个待标准化方案中第 $i$ 个指标的最大值和最小值。

(2)权重确定

综合考虑主观与客观赋权方法对评价结果的影响,采用组合赋权法对指标体系进行赋权,计算公式如下:

$$Z = \lambda * \beta_i + (1 - \lambda) * \alpha_i \tag{3}$$

式中, $Z$ 为组合权重值, $\alpha_i$ 为层次分析法得到的权重, $\beta_i$ 为熵权法得到的权重, $\lambda$ 为偏好系数,本文取 $0.5^{[16]}$ 。

2.1.3 发展指数与协调度计算

(1)发展指数计算

发展指数是反映承载主体、承载客体各自发展情况的定量指标,计算具体如下所示:

$$f(x) = \sum_{i=1}^p w_i x_i \tag{4}$$

$$g(y) = \sum_{j=1}^p w_j x_j \tag{5}$$

式中, $f(x)$ 、 $g(y)$ 分别为承载主体发展指数、承载客体发展指数, $x_i$ 、 $x_j$ 分别为经过归一化后承载主体和承载客体的指标值。

(2)协调度计算

离差系数可以反映系统间组合协调的数量程度,还可以表征系统间运动轨迹的相似程度和接近程度。因此,系统间的协调度可用离差系数进行度量,具体如下式所示:

$$C = (1 - C_{fg}^2)K \tag{6}$$

$$C_{fg} = \sqrt{1 - \frac{f(x)g(y)}{\left(\frac{f(x) + g(y)}{2}\right)^2}} \tag{7}$$

式中, $C$ 为承载主体和承载客体之间协调度; $C_{fg}$ 为离差系数, $C_{fg}$ 越大,系统间协调性越高; $K$ 为调节系数,一般取 $2 \sim 5^{[17]}$ 。

为既能承载主体与承载客体之间的协调状况及其发展水平高低,本文引入协调发展度的概念。

## 2.2 承载状态预警指标体系评价标准

根据协调发展度划分区域水资源环境承载状态等级,是进行承载状态预警的基础工作。在实际水资源环境承载状态预警过程中,参考表 2 中水资源环境承载状态的评价预警标准,将标准值进行归一化并进行协调发展度计算,得出评价标准所代表的承载状态区分界限。

表 2 区域水资源环境承载状态预警指标体系评价标准

指标	单位	I	II	III
$C_1$	万 $\text{m}^3/\text{km}^2$	>40	20 ~ 40	<20
$C_2$	/	<0.9	0.9 ~ 1	>1
$C_3$	/	<0.9	0.9 ~ 1	>1
$C_4$	/	<0.9	0.9 ~ 1	>1
$C_5$	$\text{m}^3/\text{万元}$	<50	50 ~ 100	>100
$C_6$	%	>0.95	0.90 ~ 0.95	<0.9
$C_7$	万元/人	>13	9 ~ 13	<9
$C_8$	人/ $\text{km}^2$	<100	100 ~ 9000	>900
$C_9$	%	>98	70 ~ 98	<70
$C_{10}$	%	>12	8 ~ 12	<8
$C_{11}$	%	>50	24 ~ 50	<24

## 2.3 水资源环境承载状态障碍因子分析

为有效提升区域水资源环境承载能力,对各项指标的障碍作用大小进行评估,识别出影响水资源环境承载能力的主要障碍因素,为此引入指标偏离度、因子贡献度、障碍度的概念。其中,指标偏离度  $S_{ki}$  是第  $k$  分区第  $i$  指标与水资源环境承载状态目标的差距,计算公式如下:

$$S_{ki} = 1 - x_i \quad (8)$$

因子贡献度  $T_i$  是单项指标对总体目标的影响程度,计算公式如下:

$$T_i = w_i \quad (9)$$

障碍度  $P_{ki}$  是第  $k$  分区第  $i$  指标对水资源环境承载状态的影响度,计算公式如下:

$$P_{ki} = \frac{S_{ki} T_i}{\sum_i S_{ki} T_i} \times 100\% \quad (10)$$

计算单项指标的障碍度,找出主要障碍因素,按障碍度大小进行排序,各分区选出占主导地位的

多个指标作为水资源环境承载力的障碍因素,为后续提升措施的提出提供可靠的依据<sup>[18]</sup>。

## 3 结果与分析

### 3.1 指标值确定

通过上述计算所得指标值见表 3。

表 3 指标值确定

指标	2020 年	2025 年	2030 年
$C_1$	70.07	70.07	70.07
$C_2$	0.91	0.92	0.94
$C_3$	1.12	1.10	1.08
$C_4$	0.78	0.81	1.02
$C_5$	31.63	23.84	17.97
$C_6$	0.95	0.98	0.98
$C_7$	15.22	19.90	26.01
$C_8$	1341.37	1439.05	1543.84
$C_9$	85.00	90.00	98.00
$C_{10}$	11.40	11.40	11.40
$C_{11}$	31.50	32.00	33.00

### 3.2 归一化

2015—2035 年南京市各评价单元评价指标值见表 4。

表 4 2015—2035 年南京市各评价单元评价指标值

指标	2020 年	2025 年	2030 年
$C_1$	0.84	0.84	0.84
$C_2$	0.62	0.61	0.59
$C_3$	0.66	0.67	0.68
$C_4$	0.90	0.89	0.82
$C_5$	0.87	0.91	0.94
$C_6$	0.83	0.93	0.93
$C_7$	0.35	0.50	0.69
$C_8$	0.81	0.80	0.78

(续表 4)

指标	2020 年	2025 年	2030 年
$C_9$	0.81	0.88	1.00
$C_{10}$	0.43	0.43	0.43
$C_{11}$	0.46	0.47	0.50

3.3 权重确定

根据南京市水资源、社会经济、生态环境现状,采用组合赋权法,分别确定评价指标体系中 11 个指标权重。将层次分析法权重与熵权法权重进行组合,计算得出南京市水资源环境承载状态评价指标体系各评价指标权重,结果如表 5 所示。

表 5 南京市各指标相对目标层综合权重

指标	权重
$C_1$	0.19
$C_2$	0.35
$C_3$	0.24
$C_4$	0.23
$C_5$	0.14
$C_6$	0.15
$C_7$	0.22
$C_7$	0.12
$C_9$	0.10
$C_{10}$	0.17
$C_{11}$	0.10

根据协调发展度计算结果显示,“差”标准与“中”标准临界值所对应协调发展度值  $D$  为 0.669,“中”标准与“好”标准临界值所对应协调发展度值  $D$  为 0.840。具体划分标准如表 6 所示。

表 6 水资源环境承载状态划分标准

承载状态	好	中	差
协调发展度 $D$	0.840 ~ 1	0.669 ~ 0.840	0 ~ 0.669

由水资源环境承载状态计算方法,计算得到 2020、2025 及 2030 年南京市各单元协调发展度  $D$

如表 7 示。

3.4 南京市承载状态评价

根据上述计算,南京市 2020、2025、2030 年水资源环境承载状态评价结果详见表 8。由表 8 可知,2020 年南京市各分区水资源环境承载状态评价结果均为“中”状态和“好”状态;2025 年南京市各分区水资源环境承载状态评价结果依然均为“中”状态以上,除浦口、溧水水资源环境承载状态为“好”外,其余各区以及全市综合评价结果均为“中”状态;2030 年南京市全市各分区水资源环境承载状态评价结果均为“中”状态及以上,其中浦口、六合评价结果为“好”。从时间角度看,南京市各分区水资源环境承载状态随着时间发展,均有不同程度的好转趋势。浦口区 and 溧水区在各计算水平年中均为评价结果较好的分区,市区、高淳水资源环境承载状态在各水平年中得分均为各分区中较差,面临较严峻的水资源环境承载情势。

3.5 障碍因子诊断

对各项指标的障碍作用大小进行评估,识别出影响南京市水资源环境承载能力的主要障碍因素,有助于提升南京市水资源承载能力。本研究基于障碍因子诊断模型,得到了南京市 2020、2025、2030 年 3 个水平年的水资源环境承载能力障碍因子诊断结果,基于障碍度排序,找出影响南京市水资源承载力的主要障碍因子,列出排名前 5 的指标因子见表 9,可知 2020—2030 年,水资源子系统的障碍度显著增加,从 2020 年的 29.47% 增加到 2030 年的 57.03%,成为影响南京市水资源承载力的首要因素;社会经济子系统则由 2020 年的 29.47% 减至 2030 年的 23.82%,其原因主要是由于用水效率提高,从而社会经济子系统呈现下降的趋势。对于生态环境子系统而言,2020 年生态环境子系统为 39.07%,为影响南京市水资源承载力的首要因素,在 2025 与 2030 年分别降至 29.23% 和 15.58%,且在 2025 与 2030 年障碍度排序均为第三。

2020 年与 2025 年影响水资源承载力的首要障碍因子均为 COD 入河量超限比( $C_3$ )和人口密度( $C_8$ ),其次为植被覆盖度( $C_{11}$ )。2030 年影响水资源承载力的为 COD 入河量超限比( $C_3$ )、氨氮入河量超限比( $C_4$ )和人口密度( $C_8$ )均为主要的障碍因子,都为 23.82%,2030 年  $C_3$  指标的障碍度降低,但是区域排污与水环境容量关系指标(即  $C_3$  与  $C_4$ )整体比重升高。通过 2020、2025、2030 年的障碍因子诊断结果可知,影响南京市的水资源承载力障碍度

表 7 2015—2035 年南京市协调发展度计算结果

年份	市区	浦口	江宁	六合	溧水	高淳	全市
2020	0.698	0.819	0.782	0.755	0.841	0.762	0.808
2025	0.738	0.844	0.820	0.821	0.861	0.780	0.837
2030	0.785	0.870	0.836	0.848	0.871	0.785	0.850

表 8 南京市水资源承载状态评价结果

年份	市区		浦口		江宁		六合		溧水		高淳		全市	
	D	状态	D	状态	D	状态	D	状态	D	状态	D	状态	D	状态
2020	0.698	中	0.819	中	0.782	中	0.755	中	0.841	好	0.762	中	0.808	中
2025	0.738	中	0.844	好	0.820	中	0.821	中	0.861	好	0.780	中	0.837	中
2030	0.785	中	0.870	好	0.836	中	0.848	好	0.871	好	0.785	中	0.850	中

表 9 影响南京市水资源承载力排名前 5 的障碍因子

指标排序	2020 年		2025 年		2030 年	
	障碍因子	障碍度/%	障碍因子	障碍度/%	障碍因子	障碍度/%
1	$C_3$	29.47	$C_3$	29.89	$C_3$	23.82
2	$C_8$	29.47	$C_8$	29.89	$C_4$	23.82
3	$C_{11}$	20.97	$C_{11}$	20.69	$C_8$	23.82
4	$C_9$	13.68	$C_9$	8.54	$C_{11}$	15.58
5	$C_{10}$	4.42	$C_2$	6.52	$C_2$	9.39

最大的因素为区域排污与水环境容量关系指标(即  $C_3$  与  $C_4$ ),因此应积极整治水环境,加强水环境修复与保护。其次为区域社会规模指标(即  $C_8$ ),随着人口密度增大,单位面积水资源量降低,应注重水资源的优化配置,丰富水资源可利用量。

各子系统障碍度的变化趋势见图 1。

## 4 结 论

(1)2020 年南京市各分区水资源环境承载状态评价结果均为“中”状态和“好”状态,2025 年南京市各分区水资源环境承载状态评价结果均为“中”状态以上,2030 年南京市全市各分区水资源环境承载状态评价结果均为“中”状态及以上。南京市各分区水资源环境承载状态随着时间发展,均有不同

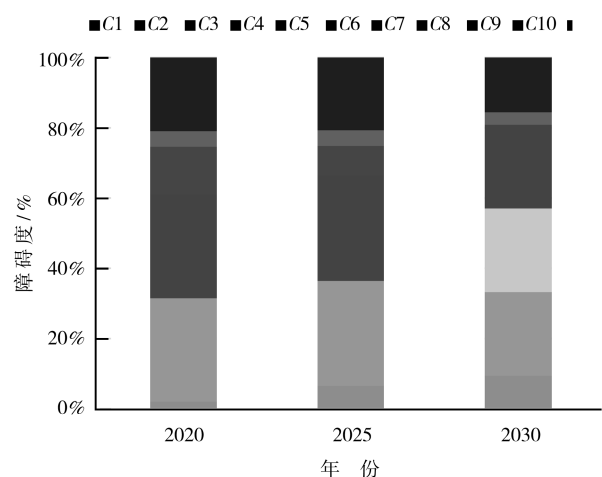


图 1 2020—2030 年南京市各评价单元障碍度计算结果

(下转第 18 页)

## 参考文献:

- [1] 赵群. 水资源可供水量分析探讨[J]. 水利科技, 1999 (12):34-36.

- [2] 崔腾科, 张德栋. 大通河流域降水量及地表和地下水  
资源分析与评价[J]. 中国水利, 2017 (3):41-43.  
[3] 王政祥, 张晶. 2016 年长江流域水资源量分布特征分  
析[J]. 人民长江, 2018, 49(12):49-54.

(上接第 14 页)

程度的好转趋势。

(2)影响南京市的水资源承载力障碍度最大的因素为区域排污与水环境容量关系指标,因此应积极整治水环境,加强水环境修复与保护;其次为区域社会规模指标,随着人口密度增大,单位面积水资源量降低,应注重水资源的优化配置,丰富水资源可利用量。

## 参考文献:

- [1] 金菊良, 陈梦璐, 郦建强. 水资源承载力预警研究进展[J]. 水科学进展, 2020, 29(4), 583-596.  
[2] 王建华, 翟正丽, 桑学锋. 水资源承载力指标体系及评判准则研究[J]. 水利学报, 2017, 48(9):1023-1029.  
[3] 卞锦宇, 宋轩, 耿雷华. 太湖流域水资源承载力特征分析及评价研究[J]. 节水灌溉, 2020(1):73-78.  
[4] 高晓琦, 董增川, 杨光. 南京市水资源承载状态障碍因素分析[J]. 中国农村水利水电, 2020(3):39-43.  
[5] 董涛, 金菊良, 吴成国. 基于承载过程的安徽省水资源承载力动态评价[J]. 水电能源科学, 2018, 36(7):17-21.  
[6] 朱一中, 夏军, 谈戈. 关于水资源承载力理论与方法的研究[J]. 地理科学进展, 2002(2):180-188.  
[7] 姚治君, 王建华, 江东, 等. 区域水资源承载力的研究进展及其理论探析[J]. 水科学进展, 2002(1):111-115.  
[8] 许有鹏. 干旱区水资源承载能力综合评价研究——以新疆和田河流域为例[J]. 自然资源学报, 1993(3):

229-237.

- [9] 王浩. 水资源评价准则及其计算口径[C]. //中国水利学会学术年会论文集. 北京:中国水利学会, 2003.  
[10] 惠泱河, 蒋晓辉, 黄强, 等. 水资源承载力评价指标体系研究[J]. 水土保持通报, 2001(1):30-34.  
[11] 马军霞. 城市水资源承载能力计算及应用研究[D]. 郑州:郑州大学, 2006.  
[12] 窦明, 胡瑞, 张永勇, 等. 淮河流域水资源承载能力计算及调控方案优选[J]. 水力发电学报, 2010, 29(6):28-33.  
[13] 赵巨伟, 王才, 刘洋, 等. 基于遗传算法的水环境综合承载力研究[J]. 水土保持应用技术, 2013(1):6-8.  
[14] 姜大川. 气候变化下流域水资源承载力理论与方法研究[D]. 北京:中国水利水电科学研究院, 2018.  
[15] PETERSON D H. Florida Keys Carrying Capacity Study [J]. Proceedings of the Water Environment Federation, 2002(2):489-501.  
[16] 魏斌, 张霞. 城市水资源合理利用分析与水资源承载力研究——以本溪市为例[J]. 城市环境与城市生态, 1995(4):19-24.  
[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, 21(5):689-699.  
[18] 王睿, 周立华, 陈勇, 等. 基于模糊综合评判的杭锦旗水资源承载力评价[J]. 水土保持研究, 2017, 24(2):320-329.