

# 基于理想点法的江西省水资源承载力评价

危文广, 黎良辉, 赖敬飞, 李威  
(南昌大学 建筑工程学院, 江西 南昌 330031)

**摘要:** 在综合考虑水资源承载力主要影响因素的基础上,从水资源子系统、社会子系统、经济子系统和生态环境子系统四个方面选取16个定量指标作为评价因素,为了降低层次分析法(AHP)的主观性,采用熵权法修正评价指标初始权重,基于理想点法原理计算贴近度,构建水资源承载力评价模型。将该方法运用于江西省水资源承载力现状评价。结果表明:从2011-2015年江西省各地市水资源承载力整体呈上升趋势,地域差距比较明显,其中南昌、赣州、宜春和吉安等人口聚集且经济发展迅速的地区水资源承载力相对较差,与江西省水资源承载力的实际情况相吻合,对江西及各地市水资源规划利用和“河长制”的推行与管理具有一定的借鉴和指导性作用。

**关键词:** 水资源承载力评价; 层次分析法(AHP); 熵权法; 理想点法; 江西省

中图分类号:TV213.4 文献标识码:A 文章编号:1672-643X(2018)06-0025-06

## Evaluation of water resources carrying capacity in Jiangxi Province based on ideal point method

WEI Wenguang, LI Lianghui, LAI Jingfei, LI Wei

(School of Civil of Engineering and Architecture, Nanchang University, Nanchang 330031, China)

**Abstract:** Comprehensive considering the main influencing factors of water resources carrying capacity, 16 quantitative indicators were selected from the four aspects: the water resources subsystem, social subsystems, economic subsystems, and ecological environment subsystems. In order to reduce the subjectivity level of analytic hierarchy process (AHP), the entropy weight method was used to modify the initial weight of evaluation index, the closeness was calculated based on the principle of ideal point method, and an evaluation model of water resources carrying capacity was constructed. This method was applied to the evaluation of the water resources carrying capacity in Jiangxi Province, and the results showed that the water resources carrying capacity of all cities in Jiangxi Province showed an increasing trend from 2011 to 2015. The geographical gap was obvious, especially, the cities of Nanchang, Ganzhou, Yichun, and Ji'an are with poor water resources carrying capacity, which has large population and rapid economic growths. This result is consistent with the actual situation of water resources carrying capacity in Jiangxi Province, and can guide the planning and utilization of water resources of Jiangxi Province and the belonging cities and the implementation and management of the "River chief system".

**Key words:** water resources carrying capacity evaluation; AHP (analytic hierarchy process); entropy weight method; ideal point method; Jiangxi Province

## 1 研究背景

水资源承载力<sup>[1]</sup>即水资源最大开发容量,是衡量社会经济可持续发展的重要因素,它包含水资源子系统,社会子系统,经济子系统和生态环境子系统等方

面。随着经济的高速发展,人民生活水平日益提升,对水资源的需求也越来越大,水资源短缺和环境污染等问题也越来越严重。为实现人与社会的可持续发展,人与自然的和谐相处,保护生态环境,保障水资源生态健康,对江西省水资源承载力状况进行综合评价意义

收稿日期:2018-06-05; 修回日期:2018-09-18

基金项目:南昌大学研究生创新专项资金项目(CX2017070)

作者简介:危文广(1992-),男,江西丰城人,硕士研究生,研究方向为水文水资源管理。

通讯作者:黎良辉(1973-),男,江西崇义人,副教授,硕士生导师,主要从事水工结构工程研究。

重大且迫在眉睫。傅春等<sup>[2]</sup>通过对江西省各行各业的需水预测,从人口和经济承载力两个方面对江西省水资源承载能力进行分析和评价;张星标<sup>[3]</sup>结合 AHP 法和模糊数学隶属度法对江西省水生态承载力进行分析;孟丽红等<sup>[4]</sup>用可变模糊评价模型对江西省水资源承载力进行评价;戴明宏等<sup>[5]</sup>利用熵权法赋权,构建模糊综合评价模型对江西省各地市水资源承载力进行评价及对比分析;苏永军等<sup>[6]</sup>将投影寻踪法和物元可拓理论结合建立评价模型,消除主观判断对评价结果的影响。这些方法在指标权重确定及综合评价过程中,部分方法过度依赖专家的经验而主观判断,部分方法仅仅考虑指标的实际值,忽视了指标本身的重要性。鉴于此,本文在以上的基础上综合考虑影响江西省水资源承载力的主要因素,构建了多层次多指标的评价体系,先通过 AHP 法确定初始权重,利用熵权法修正权重系数,然后结合理想点法建立水资源承载力综合评价模型,对江西省水资源承载力进行评价分析,以期对江西省水资源的可持续发展和相关管理单位政策的制定提供指导和借鉴作用。

## 2 研究区概况

江西地处中国东南部,长江中下游南岸,位于东经 113°34′~118°28′,北纬 24°29′~30°04′之间,东邻浙江省、福建省,南连广东省,西接湖南省,北毗湖北省、安徽省而共接长江,如图 1 所示。全省由南昌市、赣州市、九江市等 11 个地级市组成,辖区面积  $16.69 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,境内有赣江、抚河、信江、饶河、修河 5 大水系和中国第一淡水湖鄱阳湖。由于地势南高北低,五大水系最后都注入鄱阳湖,经湖口县汇入长江。全省水网稠密,降水充沛,但各河水量季节变化较大,河川径流主要靠降水补给,具有夏季丰水期造成洪涝,冬季枯水期连续干旱的特点。全省季风气候特征明显,属中亚热带温暖湿润季风气候,年均温约 16.3~19.5℃,南北差异较小。江西为全国多雨省区之一,多年平均降水量为 1 638 mm,地区分布上是南多北少,东多西少,山地多,盆地少,2015 年全省年平均降水量 2 075 mm,比多年均值多 26.7%。此外,全省地区生产总值约  $16 724 \times 10^8$  元,同比增长 9.1%,人均地区生产总值 36 724 元,同比增长 8.5%,保持着良好的发展趋势。

## 3 研究方法

### 3.1 指标体系构建与等级划分

水资源是生命之源,是工农业的命脉,水资源承

载力已经成为衡量区域可持续发展的重要指标,它决定着人类的生存和社会经济的发展速度。本文通过参考文献资料并综合江西省水资源承载力的情况,从水资源、社会、经济和生态环境子系统等<sup>[6-8]</sup>方面考虑,从《江西省统计年鉴》、《江西省水资源公报》和《江西省环境统计公报》等获取主要影响指标进行分析。这些指标往往共同起作用,通过对指标的综合分析,建立了多层次的水资源承载力综合评价指标体系,如图 2 所示。



图 1 研究区域示意图

依据国际、国家认可的标准,地区颁布的发展规划指标值和相关文献综合考虑来确定其标准等级<sup>[10-11]</sup>,将水资源承载力划分为五个等级比较合适,指标评估集为:  $V = \{v_1, v_2, v_3, v_4, v_5\} = \{I$  (优), II (良), III (中), IV (差), V (很差)}. 参考文献[1]和[3]中指标划分标准,给出具体的指标等级划分和等级区间见表 1。

### 3.2 指标权重的确定与修正

(1) 确定指标初始权重。AHP 法<sup>[12]</sup>确定权重主要依据专家的知识 and 经验来判断同一层各指标的相对重要性。引入 1~9 数值标度对相对重要性进行定量。但是由于各个专家的知识 and 经验水平存在差异,在构建判断矩阵时,会出现权重相差过大和一致性的问题,需通过一致性检验。

(2) 熵权法修正权重。尽管层次分析法识别问题的系统性较强,可靠性也相对较高,但其主要基于专家经验,具有较强的主观性。熵权法<sup>[13]</sup>是一种客观赋权方法,在具体使用过程中,熵权法根据各指标的变异程度,利用信息熵计算出各指标的熵权,其计算结果客观,严谨,可以有效的降低权重确定的主观

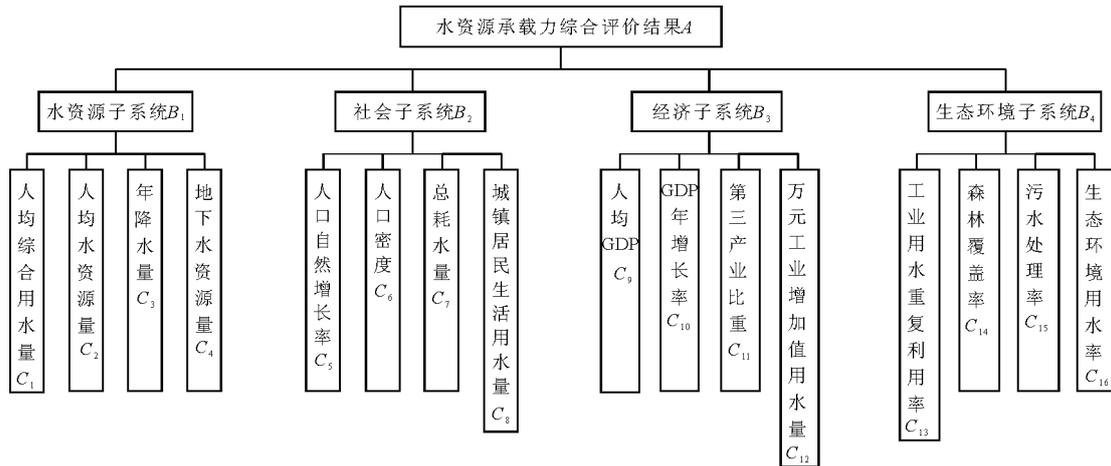


图 2 水资源承载力评价指标体系

表 1 水资源承载力评价指标标准

等级	$C_1 /$ $m^3$	$C_2 /$ $m^3$	$C_3 /$ $mm$	$C_4 /$ $\%$	$C_5 /$ $\%$	$C_6 /$ $(人 \cdot km^{-2})$	$C_7 /$ $10^8 m^3$	$C_8 /$ $10^8 m^3$	$C_9 /$ $10^4 元$	$C_{10} /$ $\%$	$C_{11} /$ $\%$	$C_{12} /$ $m^3$	$C_{13} /$ $\%$	$C_{14} /$ $\%$	$C_{15} /$ $\%$	$C_{16} /$ $\%$
I (优)	0 ~ 300	3000 ~ 8000	2000 ~ 2500	30 ~ 50	0 ~ 0.2	0 ~ 25	0 ~ 10	0 ~ 1	0 ~ 0.3	0 ~ 2	80 ~ 100	0 ~ 20	80 ~ 100	65 ~ 80	80 ~ 100	5 ~ 8
II (良)	300 ~ 500	1700 ~ 3000	1600 ~ 2000	20 ~ 30	0.2 ~ 1	25 ~ 50	10 ~ 20	1 ~ 2	0.3 ~ 0.66	2 ~ 6	60 ~ 80	20 ~ 40	70 ~ 80	50 ~ 65	70 ~ 80	3 ~ 5
III (中)	500 ~ 800	1000 ~ 1700	1200 ~ 1600	15 ~ 20	1 ~ 1.5	50 ~ 100	20 ~ 30	2 ~ 3	0.66 ~ 2.5	6 ~ 9	40 ~ 60	40 ~ 60	60 ~ 70	35 ~ 50	50 ~ 70	2 ~ 3
IV (差)	800 ~ 1100	500 ~ 1000	800 ~ 1200	10 ~ 15	1.5 ~ 2	100 ~ 300	30 ~ 40	3 ~ 5	2.5 ~ 7.74	9 ~ 14	30 ~ 40	60 ~ 100	40 ~ 60	20 ~ 35	30 ~ 50	1 ~ 2
V (很差)	1100 ~ 1500	0 ~ 500	0 ~ 800	0 ~ 10	2 ~ 3	300 ~ 1000	40 ~ 50	5 ~ 8	7.74 ~ 14	14 ~ 20	0 ~ 30	100 ~ 500	0 ~ 40	0 ~ 20	0 ~ 30	0 ~ 1

性。利用熵权法确定权重的步骤如下:

步骤 1: 构建  $m$  个事物  $n$  个评价指标的判断矩阵  $R = (x_{ij})_{mn} (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n)$ 。

步骤 2: 对评价指标  $R$  进行归一化处理, 得到标准矩阵  $Y$ 。

对于越大越优型指标, 有:

$$y_{ij} = \frac{x_{ij} - \min x_{ij}}{\max x_{ij} - \min x_{ij}} \quad (1)$$

对于越小越优型指标, 有:

$$y_{ij} = \frac{\max x_{ij} - x_{ij}}{\max x_{ij} - \min x_{ij}} \quad (2)$$

步骤 3: 计算各指标的熵值:

$$e_j = -k \sum_{i=1}^n (p_{ij} \ln p_{ij}) \quad (3)$$

$(i, j = 1, 2, \dots, n)$

式中:  $k = \frac{1}{\ln n}$ ;  $p_{ij} = \frac{y_{ij}}{\sum_{i=1}^n y_{ij}}$

步骤 4: 计算各指标的熵权:

$$w_j = \frac{1 - e_j}{n - \sum_{j=1}^n e_j} \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (4)$$

式中:  $0 \leq w_j \leq 1, \sum_{j=1}^n w_j = 1$

为了充分考虑主观性与客观性, 减少人为因素的影响, 使评价结果更加准确可靠, 既要考虑专家的知识及经验, 又要考虑数据间的变异程度, 因此采用熵权法对层次分析法的初始权重进行修正, 按照式 (5) 计算修正后权重:

$$w_i = \frac{w'_i \cdot w''_i}{\sum_{i=1}^n (w'_i \cdot w''_i)} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (5)$$

式中:  $w'_i$  为指标层次分析初始权重;  $w''_i$  为指标熵权法客观权重。

### 3.3 基于理想点法的综合评价模型

经过熵权法修正后的指标权重  $w_i$  更加客观科

学,能更好地反映出不同指标在实际工程中的重要程度。基于此,采用理想法对水资源承载力进行综合评估。

(1)正、负理想点。理想点法<sup>[14-16]</sup>是根据评价对象对理想化目标的接近程度进行排序的方法,理想化目标包括正理想点和负理想点,评价指标越大越接近正理想点的为正向指标,反之则为逆向指标,正、逆指标下正负理想点的计算公式如下:

$$f_i^*(+) = \max f_i(x), f_i^*(-) = \min f_i(x) \quad (6)$$

$$f_i^*(+) = \min f_i(x), f_i^*(-) = \max f_i(x) \quad (7)$$

式中: $f_i^*(+)$ 、 $f_i^*(-)$ 分别为第*i*个指标的正、负理想点; $f_i(x)$ 为第*i*个指标的实际值; $i = 1, 2, \dots, n$ 。

(2)理想点的综合测度距离。评价指标与正、负理想点间的距离被称为综合测度距离,评价指标与正理想点间的距离越小,则表明评价指标越优,反之,则相反。通常可依据闵可夫斯基距离公式<sup>[17]</sup>,本文中采用欧氏距离来定义评价指标到正理想点和负理想点的综合测度距离,公式如下:

$$D_1 = \left\{ \sum_{i=1}^n w_i [f_i(x) - f_i^*(+)]^2 \right\}^{1/2} \quad (8)$$

$$D_2 = \left\{ \sum_{i=1}^n w_i [f_i(x) - f_i^*(-)]^2 \right\}^{1/2} \quad (9)$$

式中: $D_1$ 为贴近正理想点的综合测度距离; $D_2$ 为贴近负理想点的综合测度距离; $w_i$ 为各评价指标的修正权重。

(3)理想点贴适度。通过理想点贴适度*T*的大小来评价水资源承载力的状态,主要表现为对指标的综合评价,从而反映出各指标对水资源承载力评价的影响。对理想点贴适度的相关公式为:

$$T = D_2 / (D_1 + D_2) \quad (10)$$

式中:贴适度*T*属于区间 $[0, 1]$ ,*T*越大,代表距离正理想点越近,距离反理想点越远。

## 4 结果与讨论

### 4.1 指标权重的计算与分析

以2011-2015年江西省各地市数据为例评价水资源承载力的状态,根据《江西省统计年鉴》、《江西省水资源公报》和《江西省环境统计公报》选取指标数据。采用AHP法,请相关专家对指标的相对重要性做出评估,再结合熵权法修正权重,通过公式(1)~(5)分别确定指标的修正权重 $w_i$ ,如表2所示。层次分析法和熵权法对各指标权重的赋权总体上是较为接近的,个别指标赋权有点差异,年降雨量 $C_3$ 的权重最大,修正权重达到0.134,其次是工业

用水重复利用率 $C_{13}$ ,修正权重为0.108,再次是第三产业比重 $C_{11}$ 和人均水资源量 $C_2$ ,修正权重分别为0.095、0.079,权重最小的是万元工业增加值用水量 $C_{12}$ ,修正权重为0.019。从各指标的权重来看,修正权重的大小符合各指标对总体目标的重要程度。

表2 水资源承载力权重系数

指标	AHP 权重	熵权重	修正权重
$C_1$	0.049	0.041	0.033
$C_2$	0.097	0.050	0.079
$C_3$	0.085	0.097	0.134
$C_4$	0.049	0.074	0.059
$C_5$	0.067	0.064	0.070
$C_6$	0.059	0.027	0.026
$C_7$	0.042	0.103	0.070
$C_8$	0.034	0.063	0.035
$C_9$	0.030	0.112	0.055
$C_{10}$	0.086	0.051	0.071
$C_{11}$	0.078	0.074	0.095
$C_{12}$	0.047	0.025	0.019
$C_{13}$	0.102	0.064	0.108
$C_{14}$	0.059	0.025	0.024
$C_{15}$	0.080	0.059	0.077
$C_{16}$	0.039	0.072	0.046

### 4.2 各等级的综合贴适度

由于各评价指标单位并不统一,这样计算得到的理想点贴适度就不可比较,造成评价结果与实际情况不相符,需对各指标进行归一化<sup>[18]</sup>处理,采用统一的正、负理想点参与计算。依据表1的评价指标, $C_2$ 、 $C_3$ 、 $C_4$ 、 $C_{11}$ 、 $C_{13}$ 、 $C_{14}$ 、 $C_{15}$ 和 $C_{16}$ 为正向指标,剩余8项则为逆向指标。根据公式(6)、(7)以归一化处理后的“1”作为正理想点 $f_i^*(+)$ ,以归一化处理后的“0”作为负理想点 $f_i^*(-)$ ,即:

$$\begin{cases} f_i^*(+) = [0, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 1, 1, 1, 1] \\ f_i^*(-) = [1, 0, 0, 0, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 0, 1, 0, 0, 0, 0] \end{cases} \quad (11)$$

首先结合修正权重 $w_i$ ,利用公式(8)、(9)计算出各等级下水资源承载力评价指标标准临界点的理想点综合测度 $D_1$ 、 $D_2$ ,然后依据公式(10)、(11)计算各等级临界点的理想点贴适度,计算结果见表3。

### 4.3 水资源承载力综合评价

以2011-2015年数据为例选取16个指标,并对指标进行归一化处理,根据建立的基于理想点法

江西省水资源承载力评价模型,计算出各指标的理想点贴适度,并依据表 3 的评价标准,得出 2011 -

2015 年江西省各地市水资源承载力评价等级如表 4 所示。

表 3 水资源承载力等级临界点的理想点贴适度  $T$

I (优)	II (良)	III (中)	IV (差)	V (很差)
1 ~0.751	0.751 ~0.610	0.610 ~0.478	0.478 ~0.309	0.309 ~0

表 4 2011 - 2015 年江西省各地市水资源承载力评价结果

地区	各年份理想点贴适度					各年份等级				
	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年
南昌市	0.526	0.563	0.536	0.553	0.567	III	III	III	III	III
景德镇市	0.564	0.631	0.584	0.607	0.641	III	II	III	III	II
萍乡市	0.569	0.620	0.583	0.611	0.620	III	II	III	II	II
九江市	0.542	0.597	0.594	0.599	0.625	III	III	III	III	II
新余市	0.568	0.631	0.610	0.603	0.618	III	II	II	III	II
鹰潭市	0.591	0.652	0.620	0.626	0.649	III	II	II	II	II
赣州市	0.553	0.592	0.550	0.548	0.608	III	III	III	III	III
吉安市	0.533	0.602	0.578	0.603	0.623	III	III	III	III	II
宜春市	0.552	0.590	0.565	0.585	0.594	III	III	III	III	III
抚州市	0.560	0.629	0.586	0.610	0.637	III	II	III	II	II
上饶市	0.571	0.651	0.608	0.623	0.643	III	II	III	II	II

#### 4.4 分析与建议

根据理想点法得到的 2011 - 2015 年江西省水资源承载力评价结果,可以得到各地市的变化特点,如图 3 所示。

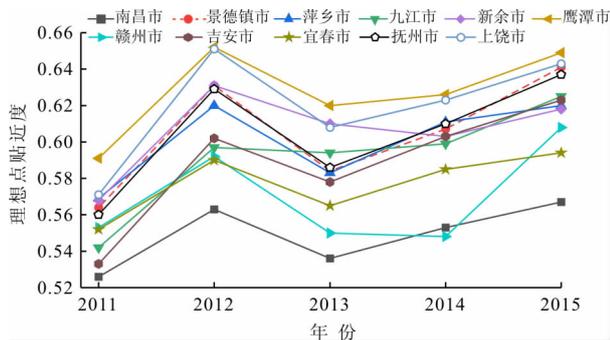


图 3 2011 - 2015 年江西省各地市水资源承载力

2011 - 2015 年江西水资源承载力值在 0.5 ~ 0.7 之间波动,由于 2012 年降雨量明显增大,人均水资源量也显著提高,导致 2011 - 2012 年上升幅度最大,而后又出现短暂的回降,但总体呈缓慢上升趋势。各地市从 2011 年均处于 III (中) 等改变为到 2015 年除南昌、赣州和宜春 3 市之外均处于 II (良) 等的良好状态,其中南昌市的水资源承载力除 2014 年外均处于全省最低值,水资源承载力与其它地市相比最差,鹰潭市从 2011 - 2015 年水资源承载力值

均最大,位居全省第一,其原因是南昌、赣州和宜春等地社会经济迅速发展,GDP 增长率较大,在吸引了大量外来人口同时造成人口聚集现象,导致城镇居民生活用水量和总耗水量增大,人均水资源量减少,均低于全省平均值,水资源供需矛盾突出,然而鹰潭、上饶、新余地年降雨量和人均水资源量都较丰富,城镇居民生活用水量和万元工业增加值用水量较少,工业用水重复利用率和污水处理率也均高于省内平均值。

影响江西省水资源承载力的因素有很多,其主要因素有降雨量、工业用水重复利用率、第三产业占比、人均水资源量和污水处理率等,此外,还受 GDP 增长率、总耗水量、人口自然增长率等影响,根据江西省的实际情况有如下建议:

(1) 加快产业结构调整,推动工业经济转型升级。从影响因素来看,第三产业占比对江西省水资源承载力的影响较大,与其他产业相比具有生产同等 GDP 资源消耗少的优点,调整产业结构,大力发展第三产业和绿色企业,同时需要发展新材料、新能源,以创新驱动发展,提升工业技术,提高工业用水重复率和污水处理能力,从而减少污染,提高水资源承载能力。

(2) 提倡节约用水,推广节水技术与设施。从

全国范围来看,江西省水资源总量比较丰富,由于城镇居民日常生活用水量 and 总耗水量较大,人们过度消耗水资源,将造成水资源的浪费和日益短缺,需大力宣传全民节水意识,建立水资源危机意识,开展水资源警示教育,推广节水技术与设施,同时合理开发水资源,避免水资源破坏,以缓解水资源需求压力。

(3)加强生态文明建设,坚持可持续发展。生态文明建设是人类社会经济可持续发展的根基,是人与人、人与自然、人与社会相互尊重和谐共处的文化理念,在坚持以人为本、可持续发展的基础上,制定科学的法律制度,合理利用自然。在经济快速发展的同时大力开展生态环境保护工作,保护水资源,保证河湖基本生态需水量,努力建设美丽江西,实现生态文明可持续发展。

(4)缩小地区差异,保持均衡发展。各地市水资源承载力值差异较大,地区差别比较明显,对总体提高江西省水资源承载力有一定的影响,政府应因地制宜制定不同的政策,对水资源承载力较差的地区给予更多的帮扶,加大对水资源承载力的建设,使其与社会经济发展相协调,既要金山银山,也要绿水青山,努力缩小地区差距,实现均衡发展。

## 5 结 论

(1)本文阐述了江西省水资源承载力评价体系及指标分级标准,采用 AHP 和熵权法进行融合确定指标权重,提出了基于理想点法的评价模型。结果表明,该模型能够削弱 AHP 法确定指标权重过程中的主观性,有效的减少人为因素的干扰,使江西省水资源承载力评价结果更加客观科学。

(2)实证结果表明:2011 - 2015 年江西省水资源承载力整体逐年呈上升趋势,综合状态处于 II ~ III 等,但地域差距比较明显,针对南昌、赣州、宜春和吉安等人口聚集且经济发展迅速的地区水资源承载力相对较差的问题,并结合江西省水资源承载力的实际情况提出相应建议,以期为各地市“河长制”的推行与管理及水资源规划保护与可持续开发利用提供一定的借鉴和参考。今后江西各地市应加快产业结构调整,提高工业用水重复率及污水处理率,节约用水,珍惜水资源,同时加大对生态环境的保护,均衡发展社会经济,以提升水资源承载能力,实现水资源的高效、可持续利用。

(3)由于影响水资源承载力的指标数较多和部分数据的缺失,导致指标评价体系的构建和水平年份的选取也难以详尽全面,为保障评价的准确性与

科学性,有待今后进一步研究完善。

### 参考文献:

- [1] 刘佳骏,董锁成,李泽红. 中国水资源承载力综合评价研究[J]. 自然资源学报,2011,26(2):258-269.
- [2] 傅春,刘柱建,林永钦. 江西省 2010 年水资源承载力分析[J]. 南昌工程学院学报,2005,24(4):1-5.
- [3] 张星标. 江西省水生态承载力分析[D]. 南昌:南昌大学,2011:30-38.
- [4] 孟丽红,叶志平,董书庆,等. 可变模糊集理论在江西省水资源承载力评价中的应用[J]. 数学的实践与认识,2015,45(10):8-16.
- [5] 戴明宏,王腊春,魏兴萍. 基于熵权的模糊综合评价模型的广西水资源承载力空间分异研究[J]. 水土保持研究,2016,23(1):193-199.
- [6] 苏永军,王慧,孔淑芹. 基于投影寻踪-物元可拓模型的区域水资源承载力评价[J]. 节水灌溉,2017(2):80-84+89.
- [7] 王正选,邱金亮,王静,等. 基于改进模糊集对评价法的水资源承载力评价——以龙川江流域为例[J]. 水资源与水工程学报,2017,28(5):70-75.
- [8] 李小萌. 郑州市水资源承载力评价研究[D]. 开封:河南大学,2016.
- [9] 孙富行. 水资源承载力分析与运用[D]. 南京:河海大学,2006.
- [10] 徐琳瑜. 城市生态系统复合承载力研究[D]. 北京:北京师范大学,2003.
- [11] 胡吉敏. 沿海地区水资源承载力研究[D]. 大连:大连理工大学,2008.
- [12] 袁艳梅,沙晓军,刘煜晴,等. 改进的模糊综合评价法在水资源承载力评价中的应用[J]. 水资源保护,2017,33(1):52-56.
- [13] 熊黑钢,付金花,王凯龙. 基于熵权法的新疆奇台绿洲水资源承载力评价研究[J]. 中国生态农业学报,2012,20(10):1382-1387.
- [14] 王迎超,尚岳全,孙红月,等. 基于熵权-理想点法的岩爆烈度预测模型其应用[J]. 煤炭学报,2010,35(2):218-221.
- [15] 王占军,张悦国,石嵩云,等. 基于理想点法的矿区生态环境敏感性评价[J]. 水土保持通报,2015,35(2):225-230.
- [16] 杨增宝,刑应寿,赵兵凯,等. 基于理想点法的水质综合评价模型及其应用[J]. 人民黄河,2017,39(2):65-68+73.
- [17] 李灿,张凤荣,朱泰峰,等. 基于熵权 TOPSIS 模型的土地利用绩效评价及关联分析[J]. 农业工程学报,2013,29(5):217-227.
- [18] 蒋荣,郭建斌. 基于理想点法的水工钢闸门安全评价[J]. 水电能源科学,2017,35(11):183-186+211.