

文章编号: 1000-5862(2014)06-0656-05

# 鄱阳湖信江流域典型县域水资源承载力研究

计勇<sup>1</sup>, 白承荣<sup>1</sup>, 张洁<sup>1,2</sup>, 张力薇<sup>1</sup>, 黄学平<sup>1,3</sup>

(1. 南昌工程学院水利与生态工程学院, 江西南昌 330099; 2. 河海大学环境学院, 江苏南京 210098;  
3. 南昌大学鄱阳湖环境与资源利用教育部重点实验室, 江西南昌 330029)

**摘要:** 在分析鄱阳湖水资源利用及社会经济结构特点的基础上, 构建了基于层次分析法的水资源承载力评价指标体系, 以信江流域典型县域为研究对象, 计算了不同经济社会发展时期研究区域水资源承载力状况。结果表明: 典型县域水资源系统与其他系统协调性增强, 水资源需求量不断增长但未出现超载状况; 不同产业结构背景下的区域, 水资源承载力存在差异, 其中, 贵溪市由于经济结构不同, 比万年县和东乡县的水资源承载能力更强, 可承载的人口规模与经济规模增长空间更大。基于层次分析法的水资源承载力评价指标体系可以较好地反映经济结构调整下区域水资源与经济社会之间的协调关系。

**关键词:** 信江流域; 典型县域; 水资源承载力; 评价指标体系

**中图分类号:** P 333

**文献标志码:** A

## 0 引言

水资源承载力实际是采用系统学原理<sup>[1-2]</sup>将水资源系统与社会、经济、生态环境等系统联系起来, 反映区域水资源供需关系<sup>[3-7]</sup>, 供大于需表示可承载; 反之, 则不可承载。在开展水资源承载力评价过程中, 构建水资源承载力评价指标体系是常用方法和研究热点, 国内外很多学者对如何构建有效的水资源承载力评价指标体系进行了研究<sup>[8-10]</sup>。指标选取是水资源承载力评价指标体系构建的核心问题, 由于水资源系统是社会-经济-生态环境复杂系统的关键组成部分, 指标选取需注重水资源系统本身与社会、经济、环境等系统的耦合关系。在方法上, 层次分析法(AHP)由于充分考虑了人的主观决策力<sup>[11]</sup>, 同时具备多准则、多目标的优点, 它是无结构特征的复杂问题研究的常用方法, 能较好地将区域水资源承载力研究与社会经济发展协调。

鄱阳湖是我国最大的淡水湖, 广纳五河, 贯通长江<sup>[12]</sup>, 它是重要的淡水资源库与生态资源库, 维系一方经济发展与生态稳定。信江是鄱阳湖的重要来水源, 整个流域位于江西省的东北部, 地处东经

116°19′至118°31′, 北纬27°32′至28°58′之间, 面积达17 554 km<sup>2</sup>, 辖鹰潭市、抚州市及上饶市3个地级市的15个县域或地区, 人口数超过600万; 流域降雨充沛, 河网密布, 多年平均水资源总量为173.83亿m<sup>3</sup><sup>[13]</sup>, 水资源量极为丰富。信江流域水资源承载力的研究关系到整个区域乃至鄱阳湖生态经济区的社会经济发展。

## 1 信江流域水资源承载力模型

水资源承载力指标评价模型的建立是进行区域水资源承载力研究的关键问题<sup>[14]</sup>。基于水资源承载力的理论内涵, 研究选取能够直接反映区域水资源承载力大小的宏观指标及反映水资源系统与其他系统耦合状态的综合指标。宏观指标取区域水资源本身能够承载的最大经济规模及人口规模; 综合指标选取反映水资源承载力的支持力、压力及主客体<sup>[15-17]</sup>之间的相互协调性指标。模型将水资源承载力评价指标体系划分为目标层、准则层以及指标层3个层次。

### 1.1 评价指标体系构建

#### 1.1.1 宏观指标设计 区域水资源承载力的宏观

收稿日期: 2014-09-10

基金项目: 国家自然科学基金(51209115, 51369024), 江西省科技厅科技课题(20142BBF60012, 20142BAB213024, 20133BCB23025, 20133DDH80028)和江西省研究生创新专项资金(YC2013-S290)资助项目。

作者简介: 计勇(1979-), 男, 江西九江人, 副教授, 博士, 主要从事水环境与生态水利方面的研究。

指标包括人口规模和经济规模 2 个子指标,涉及到社会发展水平、某一社会发展水平人均占有 GDP 的下限指标、GDP 和生产这些国内产值总用水量。

支持力指数选取 4 个指标、压力指数中社会系统选取 5 个指标、经济系统选取 6 个指标、生态环境系统采用 4 个指标、协调指数选择 11 个指标。具体综合指标设计及计算原理、指示作用如表 1 所示。

1.1.2 综合指标设计 根据信江流域水资源特点,

表 1 信江流域水资源承载力综合指标设计

指数	领域	指标	计算公式	量纲	指示作用
支持力指数 II <sub>1</sub>	水资源系统指标 III <sub>1</sub>	单位面积水资源量 IV <sub>1</sub>	当地水资源总量/国土面积	10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> · km <sup>-2</sup>	反映区域水资源数量大小
		水质综合达标率 IV <sub>2</sub>	达标水资源量/多年平均水资源总量	%	反映区域水资源质量状况
		水资源可开发利用率 IV <sub>3</sub>	区域水资源可利用量/多年平均水资源总量	%	反映水资源可利用程度
		水资源利用率 IV <sub>4</sub>	除生态环境用水之外的当年用水/当地水资源量	%	反映水资源开发利用情况
社会系统评价指标 III <sub>2</sub>		人口密度 IV <sub>5</sub>	总人口/国土面积	人 · km <sup>-2</sup>	反映人口压力
		人口自然增长率 IV <sub>6</sub>	年内净增人数/年平均人口之比	%	反映人口对水资源动态压力
		城市人口比例 IV <sub>7</sub>	城市人口/总人口	%	反映社会发展水平与人口素质
		生活用水定额 IV <sub>8</sub>	居民生活用水量/总人口/天数	L/(人 · d)	区域人口综合用水指标,反映区域人口压力
		人均 GDP 指数 IV <sub>9</sub>	区域人均 GDP/国内人均 GDP		反映社会发展所处某阶段的状态
压力指数 II <sub>2</sub>	经济系统评价指标 III <sub>3</sub>	人均 GDP IV <sub>10</sub>	GDP 总量/总人口	万元/人	反映区域整体经济状况
		GDP 增长率 IV <sub>11</sub>	现状年与参照年比较	%	反映区域整体发展能力
		第一产业比例 IV <sub>12</sub>	第一产业 GDP/GDP 总量	%	反映区域产业结构状况
		工业用水定额 IV <sub>13</sub>	工业用水量/工业总产值	m <sup>3</sup> /万元	工业用水水平,是工艺、意识、政策等的综合反映
		灌溉用水定额 IV <sub>14</sub>	多年平均灌溉用水量/有效灌溉面积	m <sup>3</sup> · hm <sup>-2</sup>	反映区域农业灌溉发展水平、状况
生态环境系统评价指标 III <sub>4</sub>		灌溉覆盖率 IV <sub>15</sub>	有效灌溉面积/耕地面积	%	数量大小反映作物对水的依赖状况与节水水平
		生态环境用水率 IV <sub>16</sub>	生态环境用水量/总用水量	%	反映区域生态系统对水资源的需求
		植被覆盖率 IV <sub>17</sub>	植被面积/总面积	%	反映水资源净化、水环境保护能力
		湿地面积减少率 IV <sub>18</sub>	湿地减少面积/总面积	%	反映人类活动对区域生态环境的影响
		土地面污染率 IV <sub>19</sub>	污染土地面积/国土面积	%	反映生态环境状况
综合协调指标 III <sub>5</sub>		水资源供需平衡指数 IV <sub>20</sub>	需水总量/水资源可利用量		反映供需水平平衡状态指标
		人均耕地面积 IV <sub>21</sub>	耕地面积/总人口	m <sup>2</sup> /人	可持续的耕地保障
		单位耕地水资源量 IV <sub>22</sub>	当地水资源量/耕地面积	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	反映水资源与土地匹配状况
		人均用水量 IV <sub>23</sub>	区域用水总量/总人口	m <sup>3</sup> /人	反映人口生产、生活用水水平
		人均其它资源综合指数 IV <sub>24</sub>	除水资源外,其它资源引起经济损失总量与 GDP 比值		可持续发展条件之一
协调指数 II <sub>3</sub>	水资源与社会系统协调指标 III <sub>6</sub>	人均水资源量 IV <sub>25</sub>	当地水资源量/总人口	m <sup>3</sup> /人	反映水资源丰、缺状态及发展潜力
		饮水安全人口比例 IV <sub>26</sub>	饮水安全人口/总人口	%	反映人口与水资源协调状况
	水资源与经济系统协调指标 III <sub>7</sub>	单位耗水生产 GDP IV <sub>27</sub>	GDP 总量/总用水量	万元/m <sup>3</sup>	水资源可持续性度量
		污径比 IV <sub>28</sub>	平均废污水排放量/平均径流	%	区域经济发展与水资源协调状况
水资源与生态环境协调指标 III <sub>8</sub>		生态环境缺水率 IV <sub>29</sub>	生态环境缺水总量/水资源总量	%	反映生态环境与水资源协调状况
		地下水超采率 IV <sub>30</sub>	超采的地下水资源量/地下水资源总量	%	反映水资源开发利用对生态环境影响

## 1.2 计算方法

1.2.1 权重计算 层次分析法<sup>[11, 18-20]</sup> (The Analytic Hierarchy Process, AHP) 是常用的确定指标权重的方法,该方法以决策者的主观判断为基础,能够更好地把握宏观发展形势,是一种“活”的方法.为保证权重计算的合理性,本文选取多名相关领域不同层次、经验丰富的专家进行独立决策赋值.

1.2.2 指标计算 基于上述指标的选取与设计,水资源承载力( $F$ )计算公式为

$$F = [F_e, F_p, C_{Cl}, C_{HI}],$$

其中宏观指标  $F_e$  为区域水资源可承载的经济规模,  $F_p$  为区域水资源可承载的人口规模,综合指标中  $C_{Cl}$  为水资源承载力指数,  $C_{HI}$  为协调指数.

(i) 区域水资源可承载的经济规模指数( $F_e$ )与人口规模指数( $F_p$ )

宏观指标实际反映区域宏观的水资源供需状况,涉及区域社会、经济耗水量及其对应的经济产值,区域水资源可利用量,社会发展水平的人均 GDP 指标等.单位水量承载的经济规模为

$$F_e = G_{DP} / W_D,$$

其中  $W_D$  为社会、经济系统总用水量/( $10^4 \text{ m}^3$ ),  $G_{DP}$  为耗水量为  $W_D$  时的国内生产总值.

区域水资源可承载的最大经济规模( $F_{em}$ )为

$$F_{em} = G_{DP} / W_D \cdot W_S,$$

其中  $F_{em}$  为区域水资源可承载的最大经济规模/( $10^4$ 元),  $W_S$  为区域水资源可利用量/( $10^4 \text{ m}^3$ ).

水资源承载的最大人口规模为

$$F_p = G_{DPP} / [G_{DPP}],$$

其中  $G_{DPP}$  为某一社会发展水平的人均占有 GDP 的

下限指标<sup>[9]</sup>.

(ii) 区域水资源承载力综合指标( $C_c$ )计算

该指标由承载力指数( $C_{Cl}$ )与协调指数( $C_{HI}$ )组成,包括各层次指标和目标值的计算.综合指标是从反映区域水资源承载力的微观影响因素入手,进行水资源承载力评价的相对指标.指标计算公式为  $C_c = [C_{Cl}, C_{HI}]$ .

水资源承载力指数反映水资源系统承载的压力和本身支持力的相对关系,计算公式为

$$C_{Cl} = C_{CP} / C_{CS},$$

其中  $C_{CS}$  为水资源支持力指数,  $C_{CP}$  为水资源压力指数.

支持力指数与压力指数的计算公式参见文献[21].  $C_{Cl}$  反映区域水资源承载的状况.显然,  $C_{Cl} > 1$  表示水资源系统超载;  $C_{Cl} = 1$  表示水资源承载力达到临界;  $C_{Cl} < 1$  表示水资源系统可以承载社会发展.

协调指数( $C_{HI}$ )反映复杂系统中水资源系统与其他系统之间的关联性,指数计算公式参见文献[22].

## 2 分析与讨论

### 2.1 典型县域选取

典型县域主要依据产业结构布局现状进行选取.信江流域经济产值来源主要为工业、农业.依据现状年及参照年第一、二产业产值与总值的比值状况选取 3 个典型县域,3 个县域产业布局状况分别为:第一产业为主、第二产业为主、2 种产业相当(见表 2).通过对比分析,研究区典型县域(信江流域所辖部分)选择东乡县、贵溪市及万年县.2005 年 3 个典型县域的基本情况汇总如表 3 所示.

表 2 典型县域不同年份第一、二产业结构状况

研究区县域	现状年(2005年)		参照年(2015年)		参照年(2030年)	
	第一产业	第二产业	第一产业	第二产业	第一产业	第二产业
	比例	比例	比例	比例	比例	比例
贵溪市	5.89	94.11	2.48	97.52	1.52	98.48
东乡县	87.41	12.59	69.06	30.94	38.32	61.68
万年县	45.90	54.10	27.30	72.70	18.96	81.04

表 3 典型县域基本状况

典型县域	总面积/ $\text{km}^2$	总人口/(万人)	国内生产总值/(亿元)	水资源总量/(亿 $\text{m}^3$ )
贵溪市	2 480	59.48	82.37	27.32
东乡县	523	13.00	28.94	4.28
万年县	588	17.78	21.27	5.45

### 2.2 计算结果分析

研究区水资源承载力相关指标、指数计算以现状年(2005年)实际资料为基础,依据宏观形势与研

究区实际状况,并结合相关统计资料(统计年鉴、水文公报等)及研究成果等预测参照年(2015年、2030年)该区的的水资源承载力状况.

基于以上研究论述,研究区典型县域不同水平年水资源承载力计算结果如表4所示。

表4 水资源承载力指标计算结果

典型 县域	2005年				2015年				2030年			
	经济 规模/ (亿元)	人口 规模/ (万人)	承载力 指数	协调 指数	经济 规模/ (亿元)	人口 规模/ (万人)	承载力 指数	协调 指数	经济 规模/ (亿元)	人口 规模/ (万人)	承载力 指数	协调 指数
贵溪市	244.95	63.36	0.668	0.726	639.19	95.36	0.696	0.750	1953.84	132.74	0.748	0.804
东乡县	33.05	19.03	0.765	0.642	143.13	21.54	0.784	0.715	593.74	28.68	0.812	0.739
万年县	31.41	36.74	0.761	0.696	132.62	36.49	0.810	0.736	526.10	47.97	0.839	0.758

计算结果表明,2005年各典型县域水资源可承载的经济规模均大于现状指标,这表明3个典型县域经济均可承载,其中贵溪市可承载的经济规模达244.95亿元,该区社会、经济发展潜力巨大;2015年与2030年比现状年经济承载规模有大幅提升,区域经济有充分的发展空间,这是区域产业结构不断优化调整、水资源可发利用模式趋于科学化的结果;典型县域中,贵溪市的可承载规模最大,2015年与2030年分别达到639.19亿元与1953.84亿元,与现状年可承载规模最大的状况一致。

2005年各县域可承载人口规模均超过现状人口,均可承载;参照年除万年县在2015年可承载人口规模有小幅下降外,贵溪市与东乡县区内可承载人口均呈增长趋势,贵溪增幅最大,且比2005—2015年段、2015—2030年段增幅更加明显,这表明2005—2015年段各典型县域水资源消耗量剧增,生活用水压力增大,尤其以万年县最为明显。2005、2015及2030年各典型县域水资源承载力指数不断增大,这表明即使在经济发展、人口增长的压力下,通过不断的产业结构调整、制定合理有效的水资源开发策略、提高节水意识等措施依然可以缓解用水压力;另一方面,典型县域中该指数以贵溪市最小,该区产业结构、水资源开发利用策略等方面更加合理,与现状发展状况相一致。

协调指数随着社会经济发展不断提升,这表明区域水资源系统与周边系统协调性增强。值得一提的是,贵溪市比其他2县域协调指数更高,水资源系统与其他系统衔接更加科学,这些均与上述分析一致。

### 3 结论

1) 研究表明,随着社会经济的不断发展,各个典型县域经济、人口承载规模大幅提升,未出现超载状况;尽管区域水资源承载力指数不断增长,水资源利用压力不断增大,但区域水资源仍然存在一定的承载空间,水资源系统与其他系统协调性不断增强。

2) 不同产业结构背景的区域水资源承载力状

况存在较大差异,产业结构中第一产业为主的区域比第二产业为主的区域水资源承载能力与协调状况普遍更差。

3) 承载力指数较小、协调指数较大的区域,可承载人口与经济规模的增长空间更大,这与实际情况是相符的。

### 4 参考文献

- [1] 董增川. 水资源系统分析 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2008: 1-208.
- [2] 尚松浩. 水资源系统分析方法及应用 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2006: 6-512.
- [3] 龙腾锐, 姜文超, 何强. 水资源承载力内涵的新认识 [J]. 水利学报, 2004, 35(1): 40-45.
- [4] 段春青, 刘昌明, 陈晓楠, 等. 区域水资源承载力概念及研究方法的探讨 [J]. 地理学报, 2010, 65(1): 82-90.
- [5] 左其亭. 城市水资源承载能力: 理论·方法·应用 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2005: 47-51.
- [6] 刘晓, 陈隽, 范琳琳, 等. 水资源承载力研究进展与新方法 [J]. 北京师范大学学报: 自然科学版, 2014, 50(3): 312-318.
- [7] 黄力宏. 抚河流域水资源承载力研究 [D]. 南昌: 江西师范大学, 2013.
- [8] 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, 21(1): 30-34.
- [9] 王友贞, 施国庆, 王德胜. 区域水资源承载力评价指标体系的研究 [J]. 自然资源学报, 2005, 20(4): 598-604.
- [10] 宰松梅, 温季, 仵锋, 等. 河南省新乡市水资源承载力评价研究 [J]. 水利学报, 2011, 42(7): 783-788.
- [11] 郭金玉, 张忠彬, 孙庆云. 层次分析法的研究与应用 [J]. 中国安全科学学报, 2008, 18(5): 148-153.
- [12] 张丽丽, 殷峻暹, 蒋云钟, 等. 鄱阳湖自然保护区湿地植被群落与水文情势关系 [J]. 水科学进展, 2012, 23(6): 768-775.
- [13] 余泽清. 江西省水资源综合规划之水资源调查评价报告 [R]. 南昌: 江西省水文局, 2004.
- [14] 陈鲁莉, 胡铁松, 尹正杰. 区域水资源承载力研究综述

- [J]. 中国农村水利水电, 2006(3): 25-28.
- [15] 谢新民, 甘泓, 李洪尧, 等. 基于三次平衡配置的水资源承载能力分析 [J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2006, 4(3): 191-201.
- [16] 袁鹰, 甘泓, 汪林, 等. 水资源承载能力多层次评价指标体系研究 [J]. 水资源与水工程学报, 2006, 17(3): 13-17.
- [17] 冯耀龙, 韩文秀, 王宏江, 等. 区域水资源承载力研究 [J]. 水科学进展, 2003, 14(1): 109-113.
- [18] 王莲芬, 许树柏. 层次分析法引论 [M]. 北京: 中国人民大学出版社, 1990: 1-389.
- [19] 许树柏. 实用决策方法-层次分析法原理 [M]. 天津: 天津大学出版社, 1988: 1-230.
- [20] 邓雪, 李家铭, 曾浩健, 等. 层次分析法权重计算方法分析及其应用研究 [J]. 数学的实践与认识, 2012, 42(7): 93-100.
- [21] 王友贞. 区域水资源承载力评价研究 [D]. 南京: 河海大学, 2004.
- [22] 刘佳骏, 董锁成, 李泽红, 等. 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.

## The Study on Water Resources Carrying Capacity in Typical Counties of Xinjiang River Basin Poyang Lake

Ji Yong<sup>1</sup>, Bai Cheng-rong<sup>1</sup>, Zhang Jie<sup>1,2</sup>, Zhang Li-wei<sup>1</sup>, Huang Xue-ping<sup>1,3</sup>

(1. College of Hydraulic and Ecological Engineering, Nanchang Institute of Technology, Nanchang Jiangxi 330099, China;

2. College of Environmental Sciences and Engineering, Hehai University, Nanjing Jiangsu 210098, China;

3. Key Lab of Lake Ecology and Bio-Resource Utilization of Poyang Lake, Ministry of Education, Nanchang University, Nanchang Jiangxi 330029, China)

**Abstract:** On the basis of the analysis of water resources utilization and economic structure characteristics in Poyang Lake basin, evaluation indexes about carrying capacity based on analytic hierarchy process method were constructed to assess water resources of typical counties in Xinjiang River Basin. The results showed that the water resources system had closed relationship with other systems. Although the demand of water resources in typical counties were sustainable increasing, the total amount was still down the limitation. The study also showed that there were significant differences of water resources carrying capacity in different industrial structure. Comparing with two other counties, water resources carrying capacity in Guixi showed more stronger than others and could carry a more larger population and economy scales for growth. Evaluation indexes system can better reflect the relationship between the regional water resources demanding and economic society structure.

**Key words:** Xinjiang River Basin; typical counties; water resources carrying capacity; evaluation index system

(责任编辑: 曾剑锋)