

临海市水资源承载力动态变化及驱动因素分析

刘朝露¹, 陈星¹, 崔广柏¹, 许钦², 董凤军³, 王君诺⁴

(1. 河海大学 水文水资源学院, 江苏 南京 210098; 2. 南京水利科学研究院 水文水资源研究所, 江苏 南京 210029; 3. 山东省临沂市岸堤水库管理处, 山东 临沂 276217; 4. 山东省淮河流域水利管理局规划设计院, 山东 济南 272037)

摘要: 水资源是制约社会经济发展的重要因素之一,以浙江省临海市为研究区域,分析城市水资源承载力的动态变化及引起变化的主要驱动因素。基于城市水资源承载力复合系统分析,采用模糊评判法和熵值法联合评价临海市2010-2015年水资源承载力水平,并采用单因素敏感性分析方法和情景分析法进一步分析临海市水资源承载力动态变化驱动因素。结果表明:近年来临海市水资源承载力水平总体上呈波动上升趋势,社会经济发展是水资源承载力水平动态变化的主要驱动来源;城镇化率、第三产业占GDP比重、工业用水重复利用率为主要驱动因素,其中第三产业占GDP比重的驱动影响较为突出。研究为临海市实现城市水资源可持续利用提供决策参考。

关键词: 城市水资源承载力复合系统; 模糊综合评判法; 熵值法; 情景分析法; 驱动因素; 临海市

中图分类号:TV213.4

文献标识码:A

文章编号:1672-643X(2019)01-0046-07

Analysis on dynamic change and its driving factors of water resources carrying capacity in Linhai City, China

LIU Chaolu¹, CHEN Xing¹, CUI Guangbo¹, XU Qin², DONG Fengjun³, WANG Junnuo⁴

(1. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. Hydrology and Water Resources Department, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China; 3. Dike Reservoir Management Office in Linyi, Linyi 276217, China; 4. Plan and Design Institute of Water Resources Management Bureau of Huaihe River Basin, Jinan 272037, China)

Abstract: Water resources is one of the important factors that restrict the development of social economy, and this paper takes Linhai City of Zhejiang Province as the research area, to analyze the dynamic changes of the urban water resources carrying capacity and the main driving factors. Based on the analysis of the urban water resources carrying capacity complex system, fuzzy evaluation method and entropy value method were used to evaluate the urban water resources carrying capacity from 2010 to 2015, and the driving factors on the dynamic change of water resources carrying capacity in Linhai city were further analyzed by single factor sensitivity analysis method and scenario analysis method. The results showed that in recent years, the level of water resources carrying capacity in Linhai City has been fluctuating and rising, and the social-economic development is the main driving source. The urbanization rate, the tertiary industry share of GDP, industrial water reuse rate are the main driving factors, and the driving influence of the tertiary industry on the proportion of GDP is more prominent. This study provides decision reference for the sustainable utilization of urban water resources in Linhai City.

Key words: urban water resources carrying capacity complex system; fuzzy comprehensive evaluation method; entropy method; scenario analysis method; driving factors; Linhai City

收稿日期:2018-05-14; 修回日期:2018-09-04

基金项目:国家自然科学基金项目(51579148,51779146); 山东省省级水利科研与技术推广项目(SDSLTC201703)

作者简介:刘朝露(1995-),女,浙江嵊泗人,硕士研究生,研究方向为水资源规划与管理。

通讯作者:陈星(1980-),女,新疆伊宁人,博士,副教授,硕士生导师,主要研究方向为水文水资源。

1 研究背景

城市的发展依赖于水,也影响着水,事实证明,水资源短缺等问题已经成为制约城市社会经济发展的瓶颈^[1]。同时水资源作为社会经济、生态环境发展的支撑条件,与二者均存在着十分复杂的响应关系^[2]。孙富行等^[3]提出水资源承载力是关于水资源、社会经济和生态环境等多方面的内部特征和相互关系的综合指标;马向东等^[4]以协同理论为基础分析了水资源约束下生态环境与社会经济复合系统的协同进化。李庆贺等^[5]在构建福建省城市水资源承载力评价指标体系时,综合考虑了水资源、社会经济和生态环境系统。

随着我国城镇化的不断推进,水资源短缺与社会经济发展的矛盾日益突出,影响水资源利用的社会驱动力研究成为热点。陈雯等^[6]应用 LMDI 方法研究了技术进步和产业结构效应对工业耗水强度的影响;童玉芬等^[7]分析了人口规模、家庭数量等人口学因素对形成水资源压力的驱动作用;刘洁等^[8]通过构建城镇化-水资源综合评价指标体系、响应关系模型,揭示了江苏省城镇化与水源的动态变化过程及响应特征。

本文基于城市水资源承载力复合系统分析,以浙江省临海市为例,评价临海市 2010-2015 年水资源承载力水平。在分析影响水资源承载力动态变化驱动来源的基础上,结合单因素敏感性分析法和情景分析法,探索城市水资源承载力水平动态变化的主要驱动因素。在考虑分析水资源-社会经济-生态环境响应关系的基础上,研究水资源承载力水平动态变化的主要驱动因素,为实现城市水资源可持续利用提供决策参考。

2 研究方法

2.1 城市水资源承载力复合系统

城市水资源承载力表示某一城市,某一特定时间尺度下,水资源以可持续发展为原则,以可预见的经济技术和社会发展水平为依据,以维护生态环境良性循环为条件,通过水资源优化配置,对该城市社会-经济-环境协调发展规模的最大支撑能力^[9-10]。

在城市水资源承载力复合系统中,水资源、社会经济和生态环境三大子系统相互制约、互相影响,内在联系复杂(见图 1)^[9-12]。其中,水资源与生态环境是社会经济系统得以发展的基础条件。社会经济

子系统,一方面通过水资源的消耗与废污水的排放对水资源与生态环境造成破坏,降低其承载力;另一方面通过水资源管理和水利工程建设对生态环境和水资源进行补偿,来提高其承载力。水资源子系统是社会经济和生态环境子系统之间的桥梁,它是由自然和人工组成的复合系统,具有物质性和资源性,分别通过水利工程设施与水文循环过程来实现。城市水资源承载力复合系统的最优发展方式是通过实现水资源的可持续利用承载社会经济和生态环境的发展^[2]。

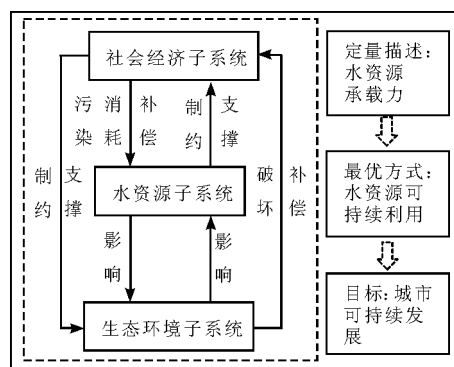


图1 城市水资源承载力复合系统概念模型

2.2 水资源承载力评价指标体系

遵循评价指标体系确立原则,基于城市水资源承载力复合系统的分析,通过对临海市水资源子系统、社会经济子系统和生态环境子系统及其内在联系的研究,构建临海市水资源承载力评价指标体系(表3)。

2.3 水资源承载力评价方法

在城市水资源承载力复合系统中,水资源-社会经济-生态环境之间内在联系的复杂性和不确定性,评价存在模糊性,因此选择模糊综合评判法^[13-15],评价过程包括确定评价因素集和评语集、计算隶属矩阵、多指标综合评价三大步骤。为避免主观随意性过大,相对客观地度量事物或现象的不确定性,采用熵值法^[14-15]来确定研究区域水资源承载力各项评价指标的权重。通过模糊综合评判法和熵值法联合求解,相对客观、准确地反映研究区域的水资源承载力水平。

为量化表示城市水资源承载力水平,按照各个因素的影响程度,将评价标准划分为5个等级(由弱到强分别为 $V_1 \sim V_5$,表1)^[15-16],并对5个等级设置评分值(表2),综合评分值大小代表水资源承载力水平^[17]。

表 1 城市水资源承载力评价标准

指标	指标等级标准				
	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5
产水模数/ $10^4(\text{m}^3 \cdot \text{km}^{-2})$	<15	15~30	30~80	80~130	>130
人均水资源量/ m^3	<500	500~1000	1000~2000	2000~3000	>3000
水资源开发利用率/%	>40	30~40	20~30	10~20	<10
供水模数/ $10^4(\text{m}^3 \cdot \text{km}^{-2})$	>20	15~20	10~15	5~10	<5
人口密度/(人· km^{-2})	>500	300~500	150~300	50~150	<50
城镇化率/%	>70	60~70	50~60	40~50	<40
人均综合用水量/ m^3	>1000	700~1000	400~700	200~400	<200
人均 GDP/ 10^4 元	>8.4	5.2~8.4	2.7~5.2	0.7~2.7	<0.7
GDP 增长率/%	>12	10~12	8~10	6~8	<6
第三产业占 GDP 比重/%	<40	40~50	50~60	60~70	>70
万元工业增加值用水量/ m^3	>80	60~80	40~60	20~40	<20
亩均农田灌溉用水量/ m^3	>500	400~500	300~400	200~300	<200
工业用水重复利用率/%	<20	20~30	30~40	40~50	>50
生态环境用水率/%	<1	1~2	2~3	3~5	>5
地表水功能区水质达标率/%	<60	60~70	70~80	80~90	>90
污水处理率/%	<30	30~50	50~70	70~90	>90
排水管道密度/($\text{km} \cdot \text{km}^{-2}$)	<5	5~8	8~11	11~14	>14
绿化覆盖率/%	<30	30~35	35~40	40~45	>45
环境保护投资指数/%	<0.5	0.5~1	1~1.5	1.5~2	>2

表 2 水资源承载力水平分级

评分	含义	承载力水平
0	水资源承载力已接近饱和,水资源供给无法满足生产生活需要	不可承载水平
(0,0.2]	水资源基本满足生产生活用水,进一步开发利用的空间较小	准不可承载水平
(0.2,0.5]	水资源开发利用已具相当规模,还有进一步开发利用的潜力	可承载水平
(0.5,0.8]	水资源承载力较大,水资源供给对社会经济发展有一定保证	良好承载水平
(0.8,1.0]	水资源与社会经济、生态环境协调发展,水资源开发利用空间较大	理想承载水平

3 城市水资源承载力评价

3.1 研究区域概况

临海市位于浙江沿海中部,东连东海、西接仙居、南连黄岩、北靠天台,全市土地面积 2 203 km^2 ,其中山地丘陵占 68.4%,平原占 25.1%,水域占 6.5%,属亚热带季风性气候。根据市内气象和水文资料统计:年平均气温 16.5~17.8℃,多年平均降雨量 1 710.4 mm,年内降雨主要集中在 5、6 月梅雨季和 7-9 月的台风雨季。丰枯水期明显、冬夏季风交替分明。随着社会经济的进一步发展,临海市水

资源水量时空分配与经济发展不协调、水质逐渐恶化、水资源开发利用程度不高和可调配水量少等问题日益突出,因此,科学评价临海市水资源承载力,通过研究其动态变化分析临海市水资源承载力复合系统的驱动因素,是探索实现水资源可持续利用的重要手段。

3.2 水资源承载力评价

研究区域为临海市,资料与数据来源主要有《台州市统计年鉴》、《台州市水资源公报》等。采用熵值法计算指标权重,结果见表 3。采用模糊综合评判法评价水资源承载力水平,计算结果见表 4。

表 3 临海市水资源承载力评价指标体系及权重

准则层/权重	子准则层/权重	指标层	权重	类型
水资源子系统 /0.2019	水资源条件/0.0863	产水模数/ $10^4(\text{m}^3 \cdot \text{km}^{-2})$	0.0430	正向
		人均水资源量(m^3)	0.0433	正向
	水资源开发利用程度/0.1156	水资源开发利用率/%	0.0407	逆向
		供水模数/ $10^4(\text{m}^3 \cdot \text{km}^{-2})$	0.0749	逆向
		人口密度/(人 $\cdot \text{km}^{-2}$)	0.0540	逆向
社会经济子系统 /0.4762	人口与城镇化进程/0.1089	城镇化率/%	0.0549	逆向
		生活用水水平/0.0508	0.0508	逆向
	经济规模和结构/0.1491	人均 GDP/ 10^4 元	0.0512	逆向
		GDP 增长率/%	0.0462	逆向
		第三产业占 GDP 比重/%	0.0517	正向
		万元工业增加值用水量/ m^3	0.0621	逆向
		亩均农田灌溉用水量/ m^3	0.0432	逆向
		工业用水重复利用率/%	0.0621	正向
	经济用水效率/0.1674	生态环境用水率/%	0.0432	正向
		地表水功能区水质达标率/%	0.0452	正向
		污水处理率/%	0.0666	正向
		排水管道密度/($\text{km} \cdot \text{km}^{-2}$)	0.0444	正向
生态环境子系统 /0.3219	生态质量/0.1994	绿化覆盖率/%	0.0505	正向
		环境保护投资指数/%	0.0720	正向
	生态保护/0.1225			

表 4 2010 – 2015 年临海市水资源承载力综合评分结果

评价等级	评价层次	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年
第一级	水资源条件	0.8006	0.5250	0.7651	0.5179	0.7032	0.6687
	水资源开发利用程度	0.5218	0.4081	0.4912	0.3442	0.4734	0.5012
	人口与城镇化进程	0.4310	0.4090	0.3818	0.3183	0.3282	0.3073
	生活用水水平	0.7083	0.6901	0.6982	0.5000	0.6966	0.7181
	经济规模和结构	0.3242	0.3730	0.5528	0.4240	0.5670	0.5658
	经济用水效率	0.4839	0.4327	0.4732	0.4831	0.5682	0.6197
	生态质量	0.5456	0.4403	0.3626	0.3432	0.4730	0.5711
	生态保护	0.3448	0.3489	0.3514	0.2143	0.3080	0.4013
第二级	水资源子系统	0.6410	0.4581	0.6083	0.5419	0.5716	0.5728
	社会经济子系统	0.4457	0.4360	0.5012	0.4869	0.5266	0.5418
	生态环境子系统	0.4692	0.4055	0.3583	0.3171	0.4102	0.5064
第三级	城市水资源承载力复合系统	0.4927	0.4306	0.4768	0.4433	0.4982	0.5367

3.3 评价结果分析

在临海市水资源承载力复合系统中,综合评分值代表了各个子系统以及复合系统的水资源承载力水平,分值越大,表示水资源承载力水平越高,表明水资源与社会经济、生态环境协调发展程度越好,水资源开发利用空间越大。

根据以上评价结果(表 4、图 2)可见,2010 – 2015 年临海市水资源承载力总体呈波动上升趋势,均处于可承载水平及以上,其中 2011 年与 2013 年,水资源承载水平略低,2015 年达到良好承载力水平。2011 年临海市水资源承载力水平下降的原因主要是水资源子系统中产水模数下降 50.5%,人均

水资源量减少 50.8%,而社会经济子系统中人均综合用水量增加 14.3%,万元工业增加值用水量升高 5.5%,亩均农田灌溉用水量升高 10.6%,导致临海市水资源供需矛盾加剧。2013 年临海市水资源承载力水平回落的原因主要是生态环境子系统中生态环境用水率减少 30.1%,排水管道密度减少 16.3%,绿化覆盖率减少 16.7%,表明在经济得到更快发展的同时生态环境代价也更为突出,并且生态环境子系统的响应具有一定滞后性。

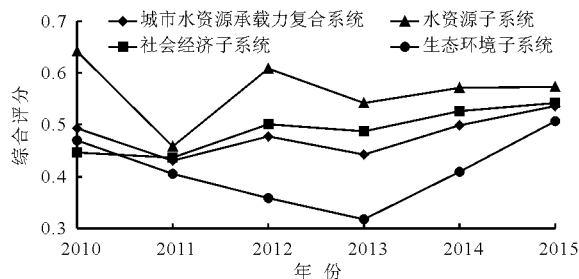


图2 2010-2015 年临海市水资源承载力评价结果

在临海市水资源承载力复合系统中,社会经济子系统与复合系统的演变趋势较一致,表明社会经济子系统对城市水资源承载力的整体贡献较大。之后依次是生态环境子系统和水资源子系统,表明由于临海市处于东南沿海湿润地区,年均降水量大、地表水资源丰富,水资源总量相对丰沛,水资源子系统对水资源承载力的制约力度较小。而社会经济的迅速发展造成用水的时空不均匀、水资源供需矛盾加剧等问题,对临海市的水资源承载力产生较大影响,特别是粗放型的社会经济发展模式会造成水资源的不可持续发展,并进一步对生态环境子系统产生影响,使得水生态环境恶化,降低水资源的可利用性。因此临海市水资源承载力动态变化的驱动因素主要来源于社会经济子系统。

4 城市水资源动态变化驱动力分析

4.1 单因素敏感性分析

单因素敏感性分析^[18-19]是假定其它评价因素均保持不变,分析单个不确定因素的变动对不同情景方案下水资源承载力影响的方法。为进一步分析临海市水资源承载力水平动态变化的驱动因素,采用单因素敏感性分析确定社会经济子系统的主要敏感性因素,即在各指标平均年际变化率基础上分别增加或减少 5% 和 10%,保持其他指标数据不变的情况下,计算单指标增减不同百分比后的水资源承载力,比较综合评分变化率,变化率越大,表示指

标越敏感。

由分析结果(表 5)可知,社会经济子系统中城镇化率、第三产业占 GDP 比重、工业用水重复利用率 3 个指标是临海市水资源承载力水平动态变化的主要敏感性因素。

表 5 单因素敏感性分析结果

指标	平均年际变化率/%	水资源承载力综合评分变化率/%			
		-10	-5	+5	+10
人口密度	0.54	0.51	0.37	0.27	0.20
城镇化率	4.72	0.42	-0.17	-0.76	-1.35
人均综合用水量	-0.59	0.53	0.40	0.27	0.13
人均 GDP	6.94	0.32	0.18	0.03	-0.12
GDP 增长率	-4.83	0.54	0.47	0.38	0.26
第三产业占 GDP 比重	3.32	1.65	1.18	0.70	0.23
万元工业增加值用水量	-4.34	0.87	0.61	0.35	0.08
亩均农田灌溉用水量	1.73	0.57	0.29	0.00	-0.28
工业用水重复利用率	7.11	1.28	1.15	0.94	0.50

4.2 驱动力情景分析

基于单因素敏感性分析结果,利用模糊综合评判法、熵值法联合,以城镇化率、第三产业占 GDP 比重、工业用水重复利用率为情景分析指标对不同情景下 2025 年临海市水资源承载力进行评价。各项指标预测方法及预测值见表 6,其中各指标预测值基于对数拟合或相关规划并结合实际略作修正,情景分析指标采用 2015 年指标值作为低预测值,国家先进值作为高预测值。情景设置和评价结果见图 3,其中 U 表示城镇化率(Urbanization Rate),T 表示第三产业占 GDP 比重(The Tertiary Industry Rate),I 表示工业用水重复利用率(Industrial Water Reuse Rate),H 表示高预测值,L 表示低预测值,如 HU-HT-HI 表示城镇化率、第三产业占 GDP 比重和工业用水重复利用率均为高预测值的情景。

根据评价结果可知,不同情景下 2025 年临海市水资源承载力均处于良好承载水平,其中情景 HU-LT-LI、LU-LT-HI 和 LU-LT-LI 的综合评分低于 2015 年。进一步观察图 3 可知,城镇化率、第三产业占 GDP 比重和工业用水重复利用率 3 个敏

感性因素中,第三产业占 GDP 比重对临海市水资源承载力水平动态变化影响较为突出。从 3 个具体的指标来看:

(1)第三产业占 GDP 比重,表示区域产业结构,间接反映了区域生产用水结构。诸多研究表明,产业结构演进将带动用水结构、用水量及用水量变化,对水资源消耗具有一定遏制作用^[20-21]。临海市

2014 年的第三产业占比超过第二产业,工业用水量减少了 $494 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。2025 年 HU - HT - LI 情景第三产业占 GDP 比重与 2015 年相比增加了 21.3%,综合评分比 2015 年提高 0.02,均表明产业结构的调整升级带动了水资源利用方式的改变,水资源与产业结构关系的均衡发展有利于提高水资源承载力水平。

表 6 指标预测值

指标	预测方法	预测值	指标	预测方法	预测值
产水模数/ $10^4 (\text{m}^3 \cdot \text{km}^{-2})$	对数拟合	99.3	万元工业增加值用水量/ m^3	规划	22.6
人均水资源量/ m^3	对数拟合	1766	亩均农田灌溉用水量/ m^3	对数拟合	403
水资源开发利用率/%	对数拟合	17.4	生态环境用水率/%	对数拟合	2.6
供水模数/ $10^4 (\text{m}^3 \cdot \text{km}^{-2})$	定额法	22.7	地表水功能区水质达标率/%	规划	80.0
人口密度/ $(\text{人} \cdot \text{km}^{-2})$	规划	640	污水处理率/%	规划	89.0
GDP 增长率/%	规划	8.0	排水管道密度/ $(\text{km} \cdot \text{km}^{-2})$	对数拟合	13.4
人均综合用水量/ m^3	定额法	358.8	绿化覆盖率/%	规划	41.0
人均 GDP/ 10^4 元	规划	4.7	环境保护投资指数/%	对数拟合	0.96
城镇化率/%	规划	70.0(57.7/87.6)	第三产业占 GDP 比重/%	规划	53.0(70.7/49.4)
工业用水重复利用率/%	规划	90(97/49)			

注:预测值括号中数据表示(高预测值/低预测值)。

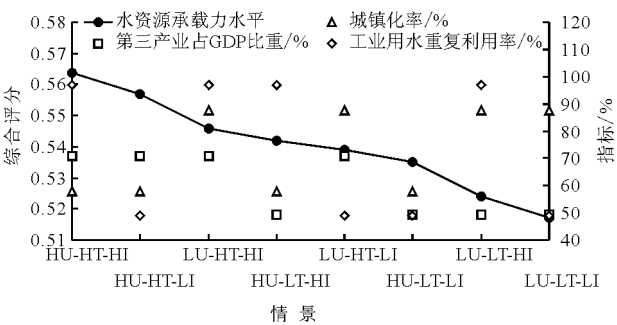


图 3 驱动力情景分析结果

(2)城镇化率,不仅表现为城市规模扩张与结构变化两个方面,同时也伴随着社会经济发展质量和效率的变化^[7]。2010 - 2015 年临海市城镇化率由 45.8% 上升到 57.7%,城镇人口增加 29%,城镇公共用水量增加 27%。LU - LT - LI 情景 2025 年城镇化率较 2015 年提高了 29.9%,水资源承载力综合评分下降 0.02,表明随着城镇化的深入发展,水资源供需矛盾将更加突出,进而对水资源承载力造成巨大压力。

(3)工业用水重复利用率,反映了工业用水在一定技术条件和循环用水水平之下的效率。就目前经济状况而言,临海市仍以扩大再生产作为发展工业的

重要手段,技术水平发展较为缓慢,工业用水量仅次于农业灌溉用水量,加强工业节水是减少工业用水量、缓解水资源压力的主要手段。由 2025 年 HU - LT - HI 情景与 2015 年相比可见,2025 年临海市工业用水重复率增长到 97%,水资源承载力综合评分增加 0.0051,因此在未来一段时间内,提升工业用水重复利用水平仍是工业节水的一大重要措施。

综合以上分析,城镇化率、第三产业占 GDP 比重和工业用水重复利用率为临海市水资源承载力变化的主要驱动因素,提高第三产业占 GDP 比重和工业用水重复利用率,控制城镇化率是临海市提升水资源承载力水平的主要途径。其中,借助政策手段,积极推进产业结构调整是同时实现城市用水结构优化和经济增长的首要措施;借助管理手段,通过水资源综合管理协调城镇化发展与水资源利用,提高城镇化发展质量是促进临海市水资源承载力复合系统协调发展的主要措施;同时借助科技手段,提高城市工业用水水平是未来一段时间内能够有效减少水资源压力的重要措施。从长远来看,适应水资源与生态环境子系统的用水结构升级是实现临海市水资源承载力复合系统可持续发展的关键。

5 结 论

(1) 本文基于城市水资源承载力复合系统分析,从水资源子系统、社会经济子系统与生态环境子系统出发,结合研究区域实际特点,选取了 19 项评价指标构建临海市水资源承载力评价指标体系。

(2) 利用模糊综合评判法和熵值法联合对临海市水资源承载力进行评价,并对临海市水资源承载力动态变化趋势进行分析,得出 2010—2015 年临海市水资源承载力总体呈波动上升趋势,均处于可承载水平及以上,临海市水资源承载力动态变化的驱动因素主要来源于社会经济子系统。

(3) 采用基于单因素敏感性分析的情景分析识别临海市水资源承载力驱动因素,结果显示,社会经济子系统系统中的城镇化率、第三产业占 GDP 比重和工业用水重复利用率为主要驱动因素,其中第三产业占 GDP 比重对临海市水资源承载力水平动态变化的驱动影响较为突出。并根据分析结果,提出了促进临海市水资源承载力复合系统协调发展的措施。

参考文献:

- [1] 赵良仕,孙才志,郑德凤. 中国省际水资源利用效率与空间溢出效应测度[J]. 地理学报,2014,69(1):121-133.
- [2] 钟淋涓,方国华,国延恒. 水资源、社会经济与生态环境相互作用关系研究[J]. 水利经济,2007,25(3):4-7+81.
- [3] 孙富行,郑垂勇. 水资源承载力研究思路和方法[J]. 人民长江,2006,37(2):33-36.
- [4] 马向东,孙金华,胡震云. 生态环境与社会经济复合系统的协同进化[J]. 水科学进展,2009,20(4):566-571.
- [5] 李庆贺,伍博炜,杨珺丽,等. 福建省城市水资源承载力综合评价研究[J]. 水资源与水工程学报,2014,25(4):147-151.
- [6] 陈雯,王湘潭. 我国工业行业的技术进步、结构变迁与水资源消耗——基于 LMDI 方法的实证分析[J]. 湖南大学学报(社会科学版),2011,25(2):68-72.
- [7] 童玉芬,李铮. 人口因素在北京市水资源压力中的驱动作用分析[J]. 人口学刊,2012(5):30-38.
- [8] 刘洁,谢丽芳,杨国英,等. 丰水区城镇化进程与水资源利用的关系——以江苏省为例[J]. 水土保持通报,2016,36(3):193-199.
- [9] 常文娟,刘建波,马海波. 基于可变模糊集理论的宜昌市水资源承载能力评价[J]. 节水灌溉,2018(1):48-51.
- [10] 孔凡文,张婷婷,胡弘. 城市水资源承载力概念探析[J]. 资源开发与市场,2013,29(5):523-525.
- [11] 姚志春,安琪. 区域水资源生态经济系统冲突与协调[J]. 南水北调与水利科技,2011,9(4):77-80+86.
- [12] 时佳,薛联青,陈新芳,等. 基于综合赋权法的叶尔羌河流域水资源承载力可变模糊综合评价[J]. 水资源与水工程学报,2017,28(5):32-36.
- [13] 朱怡娟,黄建武,揭毅. 武汉城市圈水资源脆弱性评价[J]. 水资源保护,2015,31(2):59-64+94.
- [14] 王正选,王静,杨婷婷,等. 基于改进熵权法的水资源承载力评价——以曲陆坝区为例[J]. 水资源与水工程学报,2017,28(4):82-87.
- [15] 杨广. 玛纳斯河流域水资源承载力评价模型研究[D]. 石河子:石河子大学,2009.
- [16] 李罡. 湖北省水资源承载力评价研究[D]. 武汉:中国地质大学,2012.
- [17] 戴明宏,王腊春,汤溟. 基于多层次模糊综合评价模型的喀斯特地区水资源承载力研究[J]. 水土保持通报,2016,36(1):151-156.
- [18] 申思. 灌区水资源优化配置多目标风险分析[D]. 郑州:华北水利水电大学,2016.
- [19] 朱岭,郝丽莎. 丰水型城市水资源承载力变化与提升途径——以南京市为例[J]. 水土保持通报,2014,34(6):332-337.
- [20] 蒋桂芹,赵勇,于福亮. 水资源与产业结构演进互动关系[J]. 水电能源科学,2013,31(4):139-142+182.
- [21] 孙才志,谢巍. 中国产业用水变化驱动效应测度及空间分异[J]. 经济地理,2011,31(4):666-672.