

缺水地区水资源可持续利用评价与对策探讨

李冰瑶¹, 陈星¹, 周志才¹, 许钦²

(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)

摘要: 随着经济社会的发展和人口的持续增长, 水资源短缺已成为许多地区可持续发展进程中的首要问题。因受海岛地形限制, 加之人类活动影响, 玉环县可利用水资源量极缺, 水体污染严重, 是典型的资源型与水质型缺水地区。本文通过建立水资源可持续利用评价体系, 评价其水资源与社会经济发展、生态环境间的协调发展情况, 评价结果表明, 可利用水量短缺、水环境污染严重、用水效率低是该地区水资源可持续发展的主要限制因素, 并由此制定三种优化情景, 分别在水资源可利用量、水环境、用水效率方面进行优化, 计算结果表明, 与开源相比, 高节水与强治污能更为高效提升水资源的可持续性。

关键词: 水资源; 可持续利用; 层次分析法; 水资源评价; 水资源优化对策; 缺水地区

中图分类号: TV213.4

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2017)06-0104-05

Evaluation on sustainable utilization of water resources in the water shortage region and countermeasure discussion

LI Bingyao¹, CHEN Xing¹, ZHOU Zhicai¹, XU Qin²

(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)

Abstract: With the development of economy and society and the continued growth of the population, water crisis has become the primary issue in the sustainable development of many regions. The available water resources for Yuhuan county is extremely short and seriously polluted due to the island terrain restriction and the influence of human activities, which makes Yuhuan a typical resources-induced and quality-induced water shortage region. By building the index system of sustainable utilization of water resources, it evaluates the coordinated development of water resources, society, economy and ecological environment, which shows that the main constraints in the sustainable development of water resources in Yuhuan are water shortage, water contamination and low-efficiency water use. Three optimization scenarios are formulated based on the problems to increase available water resources, improve water environment, and raise use efficiency. The result indicates that compared with water excavation, high strength water saving and vigorous pollution control can promote the water sustainability more efficiently.

Key words: water resources; sustainable development; analytic hierarchy process; water resources evaluation; countermeasure of water resources optimization; water shortage region

我国作为世界水资源严重短缺的国家之一, 人均水资源占有量仅为 2 200 m³, 约为世界平均水平的 1/4。在水资源如此短缺的背景下, 我国还存在着严重的水污染问题, 城市生产废水及生活废水超标排放, 对重要的江河湖泊水质造成了严重的影响。水资源污染使得原先并不充裕的水资源供应变得更

为紧张, 加剧制约了城市的可持续发展^[1]。由此可见, 水资源短缺与水环境污染问题已成为我国许多缺水地区实现可持续发展的共性限制因素。为了缓解此类地区日益复杂的缺水矛盾, 实现社会经济可持续发展的战略目标, 需从科学系统的角度出发, 构建一套水资源利用评估指标体系, 同时选取合适的

收稿日期: 2017-07-04; 修回日期: 2017-07-13

基金项目: 国家自然科学基金项目(51579148, 41330854)

作者简介: 李冰瑶(1993-), 女, 江苏丹阳人, 硕士研究生, 研究方向为水文学及水资源。

通讯作者: 陈星(1980-), 女, 新疆伊犁人, 博士, 副教授, 硕士生导师, 研究方向为水文学及水资源。

方法,通过对指标的分析计算,获得区域水资源系统综合评估结果。

国内外对于水资源可持续利用的研究已形成了较为成熟的研究体系,在借鉴国际先进研究理论的基础上^[2-3],我国学者对水资源可持续发展的有关指标研究取得了一定成果^[4-12]。但由于研究区域和目标的不同,构建的指标体系差异也较大,因而难以形成一套切实可行的评价体系。对于上述因水资源短缺与水污染问题导致的资源型与水质型并存的缺水地区,本文基于其可持续评价的特殊性,在构建指标体系时重点考虑了水资源的自然条件与人为因素作用对可持续利用的影响。

1 资料与方法

玉环县位于浙江省东南沿海黄金海岸线中段,为台州市最南端的海岛县,总面积 2 279 km²,总人口约 69.5 × 10⁴ 人。其中陆域面积 378 km²,仅占县域总面积的 16.5%。玉环县主要地貌类型为丘陵和平原。丘陵与山地面积约占陆域面积的 68%,平原面积只占陆域面积的 32%。

玉环县地处大陆性气候与海洋性气候混合型的湿润多雨地区,年均降雨量约为 1 450 mm,年均水资源量约为 2.696 × 10⁸ m³。因地下水中氯离子含量较高,可利用量极少,区内可利用水资源基本为地表水。地表水资源主要来自于降水,降雨年际、年内变化大,年最大降水量 2 077 mm,年最小降水量 898 mm,6-9 月的降水量约占到了全年的 50%。

玉环县人均水资源量为 388 m³,仅为浙江省人均水资源量的 1/4,全国平均水平的 1/5,处于国际公认的人均 1 700 m³ 的用水紧张警戒线以下,属于重度缺水地区,接近极度缺水地区,是典型的资源型缺水地区。同时根据 2013 年水质例行监测资料,全县 15 个常规水质监测断面中,3 个断面水质评价结果符合功能区水质标准,即功能区水质达标率为 20%。12 个水源地水库监测断面中,达标断面 5 个,达标率为 41.7%。

2013 年玉环县总用水量为 1.19 × 10⁸ m³,工业用水比例达 38.5%,农业用水占比 27.1%,生活用水占比 23.4%,生态用水较少,仅占 2.5%。可以看出,玉环县工业用水比例较国内城市工业用水比例偏高,2013 年工业产值为 230 × 10⁸ 元,用水量为 4 481 × 10⁴ m³,现状万元工业增加值用水量为 19.5 m³;农田亩均灌溉水量为 403 m³,农田灌溉水利用系数为 0.65,低于国际先进水平,用水效率有待提

升;现状城镇生活人均日用水量为 130 L,农村生活人均日用水量为 111 L,低于国内外许多发达城市和国家的用水水平。2013 年全县万元产值总用水量为 29.8 m³,虽低于浙江省水利发展“十二五”规划中的指标(44 m³/万元),但是,考虑到玉环县水资源的稀缺程度,仍然存在一定的节水空间^[13-15]。



图1 浙江省玉环县地理位置图

为了从宏观上反映玉环县水资源可持续利用发展趋势,本文在构建指标体系时,以水资源可持续利用为目标,而水资源系统与社会、经济、环境系统间相互制约、相互影响,因此选用水资源开发利用情况、水资源与经济建设发展、水资源与社会发展、水资源与环境协调 4 个准则层,共计 16 个指标^[16],指标体系见表 1。

基于玉环资源型缺水与水质型缺水并存的特点,在选择具体指标时重点反映水资源开发利用情况和水环境状况,统筹考虑经济建设与社会发展。水资源方面,选用产水系数、水资源开发利用率和人均年用水量反映其自身水资源开发利用水平,其水资源匮乏程度通过人均水资源量体现;水环境方面,选用工业废水排放达标率、地表水功能区水质达标率、饮用水源水质达标率反映区域水功能区受损情况,同时通过生态用水比例反映水资源与水生态协

调水平;经济建设方面,由于水资源高效利用对经济发展有显著的促进作用,反之经济的发展也有利于提高水资源利用效率,因此采用万元 GDP 用水量、工业用水重复率等指标反映区域水资源利用率与经济匹配的匹配情况;社会发展方面,通过人口自然增长率和城市化水平等指标反映玉环县社会发展进程,作为水资源可持续发展的社会基础。

表1 水资源可持续利用评价指标体系

目标层	准则层	指标
水资源可持续利用程度(P)	水资源开发	人均水资源量(P_{11})/ m^3
		产水系数(P_{12})
	利用情况(P_1)	水资源开发利用率(P_{13})/%
		人均年用水量(P_{14})/ m^3
	水资源与经济建设发展(P_2)	万元 GDP 用水量(P_{21})/ m^3
		人均 GDP(P_{22})/元
		工业用水重复率(P_{23})/%
		农业用水比例(P_{24})/%
	水资源与社会发展(P_3)	城市化水平(P_{31})/%
		第三产业占 GDP 比重(P_{32})/%
		公民节水意识(P_{33})
	水资源与环境协调(P_4)	人口自然增长率(P_{34})/‰
		饮用水源水质达标率(P_{41})/%
		地表水功能区水质达标率(P_{42})/%
工业废水排放达标率(P_{43})/%		
		生态用水比例(P_{44})/%

2 结果与讨论

在计算各指标权重时,采用两两比较的办法,同时参考文献及有关专家意见确定各层次中诸要素的相对重要性。本文借助层次分析法(AHP)软件yaahp 6.0,计算得出各指标的权重,经分析计算,通过矩阵一致性检验,指标权重见表2。

考虑到指标单位与量级各不相同,指标之间不可互相比较。为了消除此类影响,在计算评价结果前需对评价指标进行标准化处理,即无量纲化处理。需要注意的是,当指标数值等于或者超过了评价标准值,即该指标的单项指数 I_i 大于1.0时,均取 I_i 为1。各指标标准化处理后结果见表3。

将标准化处理后的指标值乘以相应权重就得到了玉环县水资源可持续利用的总分,计算结果见表4。得到指标数据无量纲化结果及指标权重后,通过加权求和,得出玉环县水资源可持续利用评级指数,结果见图2。

表2 水资源可持续利用评价指标权重

指标	P_1	P_2	P_3	P_4	指标综合权重
	0.2325	0.3937	0.1413	0.2325	
P_{11}	0.5191	0	0	0	0.1207
P_{12}	0.0734	0	0	0	0.0171
P_{13}	0.1875	0	0	0	0.0436
P_{14}	0.2200	0	0	0	0.0512
P_{21}	0	0.3914	0	0	0.1541
P_{22}	0	0.1443	0	0	0.0568
P_{23}	0	0.3200	0	0	0.1260
P_{24}	0	0.1443	0	0	0.0568
P_{31}	0	0	0.2695	0	0.0381
P_{32}	0	0	0.4168	0	0.0589
P_{33}	0	0	0.1209	0	0.0171
P_{34}	0	0	0.1928	0	0.0272
P_{41}	0	0	0	0.4709	0.1095
P_{42}	0	0	0	0.2840	0.0660
P_{43}	0	0	0	0.1715	0.0399
P_{44}	0	0	0	0.0736	0.0171

表3 各年份指标标准化结果

指标	2009	2010	2011	2012	2013
P_{11}	0.2297	0.3136	0.0712	0.3130	0.1722
P_{12}	0.8833	1.0000	0.4833	1.0000	0.7667
P_{13}	0.7364	0.8703	0.2000	0.7822	0.3733
P_{14}	0.8657	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
P_{21}	0.3100	0.3250	0.3313	0.3313	0.3691
P_{22}	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
P_{23}	0.4690	0.5000	0.5184	0.5098	0.5632
P_{24}	0.7086	1.0000	0.9259	0.9557	0.9866
P_{31}	0.5203	0.9793	0.9900	0.9983	0.9759
P_{32}	0.7710	0.7438	0.7475	0.8275	0.8248
P_{33}	0.8750	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
P_{34}	0.8993	0.8333	0.8237	0.7634	0.8651
P_{41}	0.7250	0.8750	0.7500	0.5833	0.4170
P_{42}	0.5038	0.5363	0.5000	0.3338	0.2500
P_{43}	0.5411	0.5556	0.6156	0.6522	0.6622
P_{44}	1.0000	0.9267	0.8033	0.5867	0.7667

根据以上评价结果可知,研究期内玉环县水资源可持续利用性较弱,其中2013年最低,2011年次之。主要原因为:玉环县地表水资源主要来源于降雨,但受到海岛地形地貌的限制,水资源涵养能力较

差,使得人均水资源占有量远低于我国平均水平,2011年恰逢枯水年,人均水资源量只有 158 m³;缺水情况下还存在用水效率低下问题,工业用水重复率仅为 40%左右,与国内平均水平(87%)有较大差距,万元 GDP 用水量约为 30 m³,虽优于国内平均水平(229 m³),但与国内领先地位(11 m³)存在差距,考虑到玉环县水资源严重稀缺,仍有提高的必要;水环境污染严重,水源地与水功能区水质达标率逐年下降,至 2013 年仅为 41.7%、20%,同时工业废水排放达标率常年处于 50%左右,水生态环境恶化加剧了玉环县水资源匮乏态势,制约了水资源的可持续发展。

在研究期内城市社会经济发展水平下,区域水资源已承受较大的压力,而随着玉环县经济稳步发展与城市化持续推进,该地区对水资源的需求会进一步增大。由上文计算结果可知,目前影响玉环县水资源可持续的几个限制性因素分别为:水资源匮乏、用水效率低下、水污染严重。

表 4 水资源可持续利用评价计算结果

年份	可持续利用指数	水资源开发利用	水资源与经济建设	水资源与社会发展	水资源与环境协调
2009	0.5791	0.5127	0.5179	0.7407	0.6409
2010	0.6608	0.6195	0.5757	0.8555	0.7278
2011	0.5772	0.3300	0.5734	0.8581	0.6599
2012	0.6131	0.6026	0.5750	0.8820	0.5245
2013	0.5701	0.4358	0.6113	0.8945	0.4374

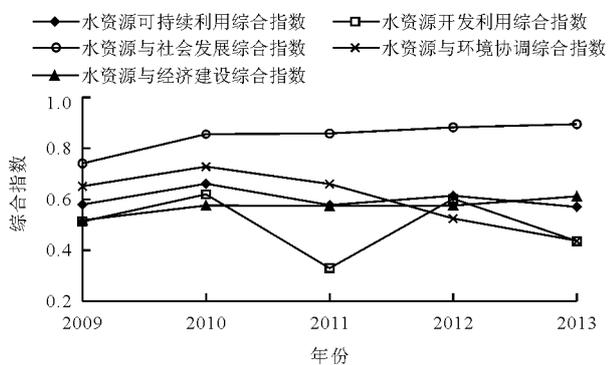


图 2 2009 - 2013 年玉环县水资源可持续利用评价结果

在分析预测玉环县未来社会经济发展规模及水环境保护目标的基础上,本文从挖掘水资源、开展多行业节水、提升水生态环境 3 个角度出发,设定 3 种优化情景,计算不同情景下玉环县规划年水资源可持续利用水平,并分析其改善效果。其中情景一最大限度开展节水,同时开挖水源,治理水污染;情景二重点

进行开源工作,采取新挖水源与非正规水利用结合的模式,同步开展节水与水环境治理工作;情景三强化水环境治理工程,同步推进开源与节水工作。

情景一:通过新建山塘水库、河道清淤拓宽等措施全方面挖掘水源,同时在生活、农业、工业上最大力度开展节水。根据玉环县相关规划,至 2030 年,通过新建山塘水库共可增蓄水量 $5\ 149 \times 10^4\ m^3$,通过河网疏浚整治可新增河道容积 $3\ 802 \times 10^4\ m^3$ 。在节水方面,以建设节水型社会为目标,在各行业推进节水工作,使农业用水比例降至 15%,万元 GDP 用水量降至 15 m³,工业用水重复率提至 80%。此外通过截污、治污工程提升水环境质量,工业废水排放达标率提升至 70%,水源地水质达标率稳定至 80%,水功能区水质达标率提高至 60%。

情景二:开源方面,在情景一开源与治污的基础上开展对中水、雨水等非正规水资源的利用,使可用水量可增加 $4\ 039 \times 10^4\ m^3$ 。相应弱化节水工作,至 2030 年节水目标制定为:农业用水比例降至 25%,万元 GDP 用水量降至 20 m³,工业用水重复率提至 60%。

情景三:情景三结合情景一中的开源工作与情景二中的节水工作,重点开展水环境整治。在截污治污的基础上,配合生态修复措施保障区内水质长效稳定,至 2030 年废水排放达标率提升至 80%,水源地水质达标率稳定至 95%,水功能区水质达标率保持在 75%,保障河道生态用水占比不低于 3%。

计算得到不同情景下玉环县水资源可持续利用评价指标值,见图 3。

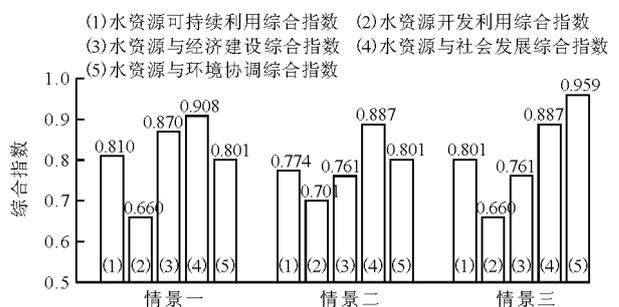


图 3 2030 年各情景水资源可持续利用情况

通过比较可以看出,情景一与情景三评价结果差异不大,情景二提升效果稍弱。情景一高强度节水效果显著,水资源与经济发展子系统指数由 2013 年的 0.61 增至 0.87,同时治污工程将水环境子系统指数增至 0.80,但水资源开发利用子系统提升不明显;情景二在水源开挖的基础上强化非正规水资源的利用,虽将水资源开发利用子系统由 2013 年的

0.4 提升至 0.7,但由于区域水资源量基数过小,改善后人均水资源量依旧难以达到评价标准值,故情景二对于区域缺水问题的提升效果相对较弱;情景三强化水环境治理,水环境子系统由 2013 年的 0.43 提高至 0.95 以上,改善水环境的同时也有助于缓解水资源匮乏,结合适度的开源与节流工作,最终对区域水资源的改善效果较为显著。

3 结 论

(1) 本文构建了玉环县水资源可持续利用指标体系,通过层次分析法评价 2009-2013 年水资源可持续利用水平,结果表明,研究期内玉环县水资源可持续利用水平无明显提高,基本处于较低水平,有很大提升潜力。

(2) 针对其资源型缺水与水质型缺水并存问题,通过制定 3 种不同力度的开源、节流与治污措施组合,发现高效节水与治污措施对评价结果提升明显。因此建议从加强节水型社会建设出发,加大治污与生态保护力度,防止出现因浪费或水体污染造成人为缺水现象,减轻区域水资源可持续发展压力。

参考文献:

- [1] 石志民,袁国宝. 水资源可持续发展的对策与建议[J]. 科技创新与应用,2016(23):234-234.
- [2] Cabrera E, Cobacho R, Estruch V, et al. Analytical hierarchical process(AHP) as a decision support tool in water resources management[J]. Journal of Water Supply Research and Technology - aqua,2011,60(6):343-351.
- [3] Walmsley J J. Framework for measuring sustainable development in catchment systems[J]. Environment Management, 2001,29(2):195-206.
- [4] 宋松柏,蔡焕杰. 区域水资源可持续利用的综合评价方法[J]. 水科学进展,2005,16(2):244-249.
- [5] 董四方,董增川,陈康宁. 基于 DPSIR 概念模型的水资源系统脆弱性分析[J]. 水资源保护,2010,26(4):1-3.
- [6] 杨世杰,陈义华. 基于 AHP 的水资源可持续利用潜力评价-以山东半岛蓝色经济区为例[J]. 中国农村水利水电,2014(4):83-89.
- [7] 程乖梅,何士华. 水资源可持续利用评价方法研究进展[J]. 水资源与水工程学报,2006,17(1):52-56.
- [8] 张代凤. 基于 AHP-BP 模型的文山州水资源可持续利用评价分析[J]. 水资源与水工程学报,2013,24(4):203-209.
- [9] 王 帅,董 卉. 资源型缺水地区水资源可持续利用评价[J]. 贵州大学学报(自然科学版),2011,28(3):115-118.
- [10] 李 武,王 鹤. 城市水资源可持续利用问题研究[J]. 攀枝花学院学报,2015,32(5):82-84.
- [11] 王 壬,陈兴伟,陈 莹. 区域水资源可持续利用评价方法对比研究[J]. 自然资源学报,2015,30(11):1943-1954.
- [12] 王瑞芳,焦君让. 河南省水资源可持续利用 AHP 量化研究[J]. 南水北调与水利科技,2015,13(2):66-69.
- [13] 林敏峰. 玉环县水资源现状分析与对策建议探讨[J]. 水利科学与经济,2012,18(1):87-88.
- [14] 向 龙,范云柱. 基于节水优先的水资源配置模式[J]. 水资源保护,2016,32(2):9-13.
- [15] 叶凌云,尹志伟. 玉环县雨洪资源利用分析[J]. 浙江水利水电学院学报,2014,26(2):42-44.
- [16] 熊雪珍,何心玥,陈 星,等. 基于改进 TOPSIS 法的水资源配置方案评价[J]. 水资源保护,2016,32(2):14-20.