

浙江省水资源生态足迹时空格局

赵春芳, 董朝阳, 伍磊, 童亿勤

(宁波大学 城市科学系, 浙江 宁波 315211)

摘要: [目的] 研究浙江省水资源生态足迹时空格局, 并对浙江省及各市水资源可持续利用水平进行评价, 为区域发展和相关政策的制定提供必要的理论指导和依据。[方法] 以生态足迹理论为基础, 运用水资源生态足迹和生态承载力模型, 核算浙江省及其各市水资源生态足迹和生态承载力。[结果] 从时间序列看, 2003—2013 年浙江省整体水资源生态足迹呈较小波动的上升趋势; 水资源生态承载力波动较大; 人均水资源生态量均为盈余, 且整体为上升趋势; 水资源利用处于安全状态; 水资源利用效率逐步提高。从空间差异看: 浙江省各市水资源生态足迹可分为高值、中值和低值 3 个级别; 水资源生态承载力和人均水资源量均呈自西南向东北递减格局; 南部地区水资源生态安全程度高于北部地区; 东部地区水资源利用效率高于西部和北部地区。[结论] 浙江省整体水资源可持续利用水平逐步提高, 但内部差异显著。为提高水资源利用科学化水平, 浙江省及其各市应从发展阶段和发展目标出发, 合理调整产业结构, 建设相关水利工程施工, 加强水资源循环利用, 增强水资源保障。

关键词: 水资源评价; 生态足迹; 时空格局; 浙江省

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2016)01-0242-07

中图分类号: P964

文献参数: 赵春芳, 董朝阳, 伍磊, 等. 浙江省水资源生态足迹时空格局[J]. 水土保持通报, 2016, 36(1): 242-248. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2016.01.043

Spatial-temporal Pattern of Water Resources Ecological Footprint in Zhejiang Province

ZHAO Chunfang, DONG Chaoyang, WU Lei, TONG Yiqin

(Department of Urban Science, Ningbo University, Ningbo, Zhejiang 315211, China)

Abstract: [Objective] The objective of this study is to investigate the spatial-temporal pattern of water resources ecological footprint and evaluate the sustainable utilization of water resources in Zhejiang Province in order to provide theoretical basis for the regional development and policy making. [Methods] Based on the theory of ecological footprint, this paper calculated the ecological footprint and the ecological carrying capacity of the water resources in Zhejiang Province. [Results] From 2003 to 2013, the ecological footprint of the water resources showed an upward trend with a slight fluctuation, while the ecological carrying capacity of the water resources fluctuated greatly. The water resources per capital was surplus in the research area, and showed an increasing trend. The utilization of the water resources was secure, as the utilization efficiency of the water resources was increasing year by year. Ecological footprint of the water resources in all cities were divided into three levels: high, medium and low in Zhejiang Province. The ecological carrying capacity of the water resources and the water resources per capital showed a decreasing pattern from southwest to northeast in research areas. The water resources ecological security in southern regional was higher than that in the northern regions, while the utilization efficiency of the water resources in eastern region was higher than that in the western and northern regions. [Conclusion] Although the sustainable utilization of water resources in Zhejiang Province is increasing, great differences exist among different cities. Government should take rele-

收稿日期: 2015-05-28

修回日期: 2015-06-25

资助项目: 国家自然科学基金项目“浙江省近海海域近年来的硅藻记录及定量古环境重建”(41302134); 浙江省社科规划重点课题(14JDHY01Z); 国家级大学生创新创业训练计划项目(201411646013)

第一作者: 赵春芳(1990—), 女(汉族), 河北省平泉县人, 硕士研究生, 研究方向为资源环境保护与利用。E-mail: zcfhbed@163.com。

通讯作者: 童亿勤(1962—), 男(汉族), 浙江省宁波市人, 高级实验师, 硕士生导师, 主要从事资源环境与可持续发展的教学与研究工作。E-mail: tongyqnb@163.com。

vant measures such as reasonable adjustment of industrial structure, construction of water conservancy facilities, intensification of water resources recycling and strengthen of water resources security, to improve the efficiency of water resources using based on development stages and goals.

Keywords: evaluation of the water resources; ecological footprint; spatial-temporal pattern; Zhejiang Province

当今社会,水资源与社会经济发展关系越来越密切。1992年,William Rees^[1]提出的生态足迹理论为区域水资源可持续利用评价提供了新思路,此后 Mathis Wackernagel 等^[2-3]及中国学者^[4-7]对理论进行了发展和完善。生态足迹理论主要通过计算生产已知人口(某个人、一个城市或一个国家)所消费的资源,以及吸纳产生的废弃物所需要的生态生产性空间面积(包括陆地和水域)之和,与相应人口的区域生态承载力比较,来评价区域的可持续发展状况^[1]。在生态足迹模型中,水域指有生产能力的水面,是6种生产型土地之一,但是这种定义不完善^[8-10]。水资源对社会经济发展具有重要作用,水资源生态足迹理论以生态足迹理论为基础,主要从人类生产生活中对水资源的消耗利用和自然环境对水的需求两方面对区域水资源进行分析评价。本文参照黄林楠等^[11]的方法,计算时将水资源量按照一定方法折算为土地面积形式。假设在分析区域内水资源为均匀分布,即区域单位面积的水量是相同的,从而将水域抽象化,实现对水域生态足迹的全面描述,并满足生态足迹模型中各类土地互异的要求。

中国众多学者从不同角度对区域水资源生态足迹进行了研究,一部分是在生态足迹理论基础上,通过水资源生态足迹理论模型对研究区域整体进行计算分析:谭秀娟等^[12]运用水资源生态足迹模型对中国水资源可持续利用情况进行了定量评价,并运用 ARMA 模型进行预测;张义等^[13]提出了改进的水资源生态足迹模型,并在此基础上对广西省水资源情况进行分析;王俭等^[14]考虑城市生态系统对水资源的需求,构建城市水资源生态足迹核算模型,分析评价沈阳市水资源利用情况;陈栋为等^[15]将生态足迹法应用于区域水资源承载力系统,并对珠海市水资源生态承载力进行计算和评价。另一部分不仅对区域整体水资源情况进行分析,还对区域内部水资源空间差异进行计算评价:周悦等^[16]从时空角度计算并分析了辽宁省水资源可持续利用情况,王文国等^[17]对四川省水资源生态足迹和水资源生态承载力进行了时空分析。对区域整体水资源生态足迹的研究大多在方法上有不同程度的改进,但无法全面呈现区域内部差异。区域水资源生态足迹时空差异的相关研究相对较少,且部分缺少对不同研究区域各自相关系数的

核算,而是采用研究区域整体的系数代替区域内部小区域的系数,由于区域之间自然、社会和经济状况本身存在较大差异,导致最终计算结果缺乏准确性。本文拟从时空角度分析浙江省及各市的水资源生态足迹特征,并根据每个区域的水文、土地等相关特征确定各自相关计算系数,提高比较分析的准确性,结合区域自然条件和社会经济特征,对区域水资源可持续利用情况进行分析。

1 模型构建与系数计算

1.1 水资源生态足迹模型

根据水资源生态足迹的内涵,将区域消耗的水资源量转化为相应账户的水资源用地面积,并通过均衡化,进行区域间的比较分析。借鉴已有研究成果,将水资源生态足迹的计算模型用下式表示^[11]:

$$EF_w = N \cdot ef_w = \gamma_w \cdot W / P_w \quad (1)$$

式中: EF_w ——水资源生态足迹(hm^2); N ——总人口数; ef_w ——人均水资源生态足迹(hm^2/cap); γ_w ——水资源全球均衡因子; W ——消耗的水资源总量(m^3); P_w ——区域水资源生产能力(m^3/hm^2)。下同。

根据用水特点,可以将用水结构分为生活用水、生产用水和生态环境用水3部分,因此将水资源生态足迹对应细分为生活用水足迹、生产用水足迹和生态环境用水足迹3个2级水资源生态足迹指标^[11],生活用水足迹模型:

$$EF_{dw} = N \cdot ef_{dw} = \gamma_w \cdot W_d / P_w \quad (2)$$

式中: EF_{dw} ——生活用水足迹(hm^2); ef_{dw} ——人均生活用水足迹(hm^2/cap); γ_w ——水资源全球均衡因子; W_d ——生活用水总量(m^3)。下同。

同理,生产用水足迹模型公式和生态环境用水足迹模型公式与生活用水足迹模型公式相似为:

$$EF_w = EF_{dw} + EF_{pw} + EF_{ew} \quad (3)$$

式中: EF_{pw} ——生产用水足迹(hm^2); EF_{ew} ——生态环境用水足迹(hm^2); ef_{pw} ——人均生产用水足迹(hm^2/cap); ef_{ew} ——人均生态环境用水足迹(hm^2/cap); W_i ——生产用水总量(m^3); W_e ——生态环境用水总量(m^3)。

1.2 水资源生态承载力模型

水资源承载力是指在当前及以后可能达到的技

术水平、经济强度和社会条件下,研究在合理开发水资源基础之上的区域人口增长与社会发展,一个区域的水资源开发利用率一般不能超过 30%~40% 的阈限,否则难以实现可持续发展,因此在计算水资源承载力中需要最少留下 60% 以保持生态系统健康,水资源生态承载力的计算模型表示为^[11]:

$$EC_w = N \cdot ec_w = 0.4 \cdot \phi \cdot \gamma_w \cdot (Q/P_w) \quad (4)$$

式中: EC_w ——水资源承载力(hm^2); ec_w ——人均水资源承载力(hm^2/cap); ϕ ——区域水资源的产量因子; Q ——水资源总量(m^3)。下同。

1.3 水资源生态盈余(赤字)

通过比较区域水资源生态承载力与生态足迹,定义两者之差为生态盈余或亏损(E_{rd}),判断区域生态系统能否容纳该生产消费活动^[12],即:

$$E_{rd} = EC_w \cdot EF_w \quad (5)$$

式中: E_{rd} 为正,即该区域的生态系统所提供水资源可以支持其水资源生态消费水平,水资源生态发展具有相对可持续性; E_{rd} 为负,则区域的发展处于相对不可持续状态。

1.4 系数计算及数据来源

本文采用的计算模型中,水资源总量平均分布在区域内,水资源总量为区域内地表水与地下水的总量(扣除二者重复部分),引用水文学中平均产水模数的概念,即分析时段内区域水资源总量除以对应区域面积,计算公式如下^[11]:

$$P = Q/S \quad (6)$$

式中: P ——分析时段内区域平均产水模数(m^3/hm^2); Q ——分析时段内区域水资源总量(m^3); S ——分析区域面积(hm^2)。

依黄林楠等^[11]的方法,本文以各分析区域 2003—2013 年 11 a 的平均产水模数刻画各区域的水资源生产能力,即区域单位面积产水量。表 1 为计算所得各区域的水资源生产能力。

表 1 浙江省及各市水资源生产能力 m^3/hm^2

行政区划	水资源生产能力	行政区划	水资源生产能力	行政区划	水资源生产能力
杭州	8.11	宁波	7.91	温州	12.36
嘉兴	4.98	舟山	4.54	台州	9.96
湖州	6.21	金华	7.99	丽水	10.89
绍兴	7.19	衢州	10.48	浙江省	9.04

为了比较不同地区同类生物生产性土地的生产力,引进产量因子的概念,将各地同类土地转换为面积,以便对不同地区的同类生态生产能力进行比较,区域水资源产量因子为区域水资源生产能力与世界

水资源生产能力的比值,计算公式如下^[11]:

$$\phi = V/V_g \quad (7)$$

式中: ϕ ——区域水资源的产量因子; V ——表 1 中区域单位面积产水量(m^3/hm^2); V_g ——全球单位面积产水量(m^3/hm^2)。参照黄林楠等^[5]的研究,取 V_g 值 $3.14 \times 10^3 m^3/hm^2$ 。表 2 为计算所得各区域的水资源产量因子。

表 2 浙江省及各市水资源产量因子

行政区划	水资源产量因子	行政区划	水资源产量因子	行政区划	水资源产量因子
杭州	2.58	宁波	2.52	温州	3.94
嘉兴	1.59	舟山	1.45	台州	3.17
湖州	1.98	金华	2.54	丽水	3.47
绍兴	2.29	衢州	3.34	浙江省	2.88

为使各种土地类型的生产力能够进行对比,引进均衡因子的概念,用全球水资源生态生产面积的平均生态生产力与全球所有各类生态生产土地类型的平均生态生产力的比值均衡处理后,得到的生态生产性土地面积用于区域间的比较,本文根据世界自然基金会(WWF)2002 核算的各类土地的均衡因子,取水资源全球均衡因子为 5.19^[11]。

文中的水资源相关数据来源于《(2003—2013)年浙江省水资源公报》,人口数、国内生产总值(GDP)和各区域面积来源于《(2004—2014)年浙江省统计年鉴》。

2 计算结果

2.1 2003—2013 年浙江省水资源生态足迹与生态承载力

运用公式(1)—(5)、经公式(6)—(7) 计算所得相关系数(表 1—2)和相关统计数据,对浙江省水资源生态足迹与生态承载力及人均水资源状况进行计算,从而得到 2003—2013 年浙江省水资源生态足迹账户(表 3)。2003—2013 年浙江省水资源生态足迹呈较小波动的上升趋势,生产用水足迹在水资源生态足迹中所占比重最大,其中 2003—2007 年,生产用水足迹所占比重在 80% 以上,2008—2013 年下降到 70%。生活用水足迹总量和所占比重总体呈逐步上升趋势,这主要与人口的增长有关。生态环境用水足迹总量和所占比重总体呈逐步上升趋势,这与浙江省实施的水资源保障百亿工程有关,随着各项水库、引水等工程的逐步完成,生态环境用水足迹在水资源生态足迹中所占比例逐渐增加。2003—2013 年浙江省地表水资源生态承载力占据水资源生态承载力的绝

大部分,但其波动较大,这与天然河川径流量受气候等因素的直接影响较大有关。地下水资源生态承载力与地表水资源生态承载力相比,较为稳定。2003—

2013 年浙江省人均水资源生态量均为盈余,呈波动状态,整体为上升趋势,表明水资源生态发展的可持续性正在逐步提高。

表 3 2003—2013 年浙江省水资源生态足迹账户

10⁴ hm²

年份	生产用水足迹	生活用水足迹	生态环境用水足迹	水资源生态足迹	地表水资源生态承载力	地下水资源生态承载力	水资源生态承载力	人均水资源盈余
2003	998.04	118.67	65.85	1 182.56	3 729.86	69.64	3 799.50	0.57
2004	993.85	122.86	76.19	1 192.90	4 379.59	89.29	4 468.88	0.72
2005	1 006.94	119.19	78.99	1 205.12	6 609.57	99.14	6 708.71	1.20
2006	999.71	128.03	67.98	1 195.72	5 882.38	93.78	5 976.16	1.03
2007	1 007.34	131.36	72.54	1 211.24	5 798.46	102.05	5 900.51	1.01
2008	989.32	136.41	117.92	1 243.65	5 555.13	101.19	5 656.32	0.94
2009	947.92	144.16	154.21	1 246.29	6 067.51	92.26	6 159.77	1.04
2010	962.96	149.33	151.16	1 263.45	9 140.15	103.37	9 243.52	1.68
2011	961.18	152.37	162.36	1 275.91	4 844.88	77.18	4 922.06	0.76
2012	953.03	158.57	164.77	1 276.37	9 438.89	116.67	9 555.56	1.73
2013	948.61	160.35	181.36	1 290.32	6 063.93	92.86	6 156.79	1.01

2.2 浙江省各市水资源生态足迹与生态承载力

运用公式(1)—(5)、经公式(6)—(7) 计算所得相关系数(表 1—2)和相关统计数据,对浙江省各市水资源生态足迹与生态承载力及人均水资源状况进行计算,从而得到各市水资源生态足迹、生态承载力和人均水资源量(图 1—2,表 4)。

2.2.1 各市水资源生态足迹 如图 1 所示,2003—2013 年浙江省各市水资源生态足迹可分为 3 个级别:第 1 级别为杭州市和嘉兴市,水资源生态足迹明显高于其他 9 个市;第 2 级别为湖州市、绍兴市、宁波市、金华市、衢州市、温州市和台州市,水资源生态足迹处于中间值;第 3 级别为丽水市和舟山市,水资源生态足迹明显低于其他 9 个市。嘉兴市水资源生态足迹在 2003—2012 年呈下降趋势,从 2003 年的 3.00×10^6 hm² 下降到了 2012 年的 1.98×10^6 hm²,减少了约 33.04%,2012—2013 年水资源生态足迹增长了约 6.58%,随着人口增长,2003—2013 年嘉兴市生活用水足迹呈上升趋势,生态环境用水足迹较平稳,生产用水足迹下降是导致嘉兴市水资源生态足迹下降的原因,其中农田亩均用水量呈快速下降趋势,万元工业增加值用水量呈缓慢下降趋势。2003—2013 年嘉兴市 GDP 呈增长趋势,其中第三产业产值增长较快,第一产业产值增长缓慢,产业结构的调整是嘉兴市水资源生态足迹下降的原因之一,另外随着嘉兴市农田水利现代化建设等相关水利工程的实施,提高了水资源利用效率,这是嘉兴市水资源生态足迹下降的另一个原因。

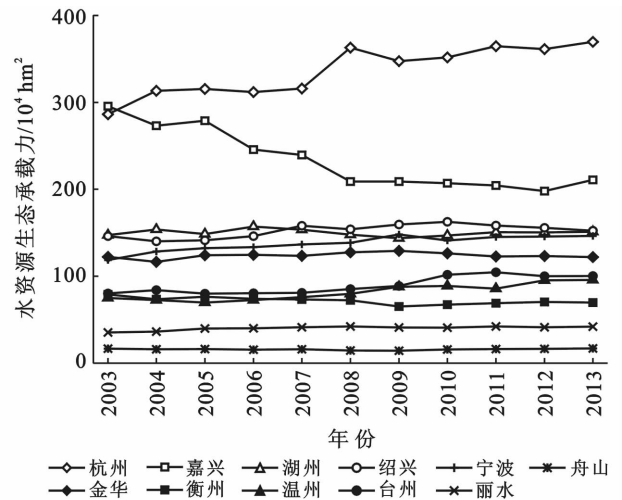


图 1 浙江省各市水资源生态足迹

2.2.2 各市水资源生态承载力 如图 2 所示,2003—2013 年浙江省各市水资源生态承载力变化幅度较大,其大小变化趋势与降水量的大小直接相关,年降水量自西南向东北递减,各市水资源生态承载力整体亦为自西南向东北递减格局,其中位于东北部的舟山市、嘉兴市和湖州市水资源生态承载力明显低于其他 8 个市。2010 和 2012 年各市水资源生态承载力均较高,主要是由于 2010 和 2012 年浙江省降水偏多,遭受“早春汛”、梅雨洪水、局地暴雨和台风影响,部分地区洪涝灾害较严重,全省未发生明显干旱,故各市 2010 和 2012 年降水量明显高于其他年份。各市 2003 年的水资源生态承载力相对其他年份较低,主要由于 2003 年全省梅雨期短,并出现夏秋冬连旱,持续高温和少雨现象,使得海岛和沿海部分地区旱情

严重。各市 2011 年的水资源生态承载力也相对较低, 主要由于春季发生干旱, 使得 1—5 月全省平均降水量仅有 296.1 mm, 为 1951 年有气象记录以来同期最少, 沿海、海岛地区出现旱情。

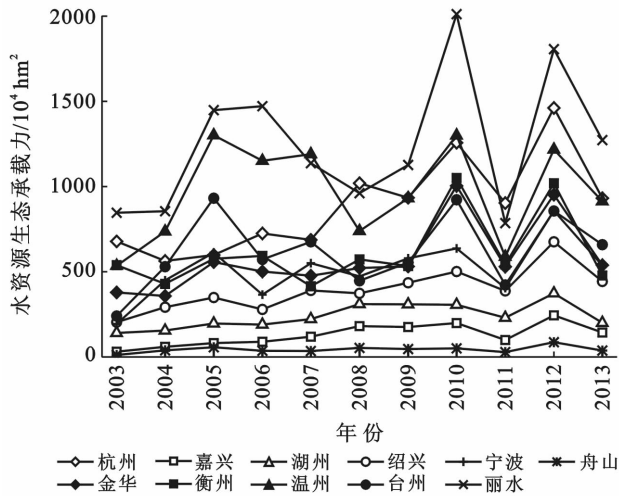


图 2 浙江省各市水资源生态承载力

2.2.3 各市人均水资源生态盈余(赤字) 如表 4 所示, 2003—2013 年浙江省人均水资源状况地域分布不均, 自西南向东北递减, 这与降水的空间分布基本一致, 按照人均水资源生态盈余(赤字)的大小可分为 3 个级别: 第 1 级别为丽水市、衢州市、温州市、金华市、台州市和杭州市, 人均水资源生态盈余均高于 $0.2 \text{ hm}^2/\text{cap}$, 明显高于其他 6 个市; 第 2 级别为宁波市和绍兴市, 人均水资源生态盈余在 $0.1 \sim 0.3 \text{ hm}^2/\text{cap}$, 处于中间值, 且未出现赤字; 第 3 级别为舟山市、湖州市和嘉兴市, 均水资源生态盈余明显较低, 且均出现过赤字。嘉兴市位于浙江省东北角, 人均水资源生态盈余值较小, 2003—2013 年中除 2012 年为盈余状态, 其他年份均为赤字, 提供的水资源量难以支撑本市水资源消费水平, 发展处于相对不可持续状态。丽水市位于浙江省西南角, 人均水资源生态盈余值在 11 个地级市中较大, 该市水资源生态发展具有相对可持续性。

表 4 浙江省各市人均水资源生态盈余

hm^2/cap

年份	杭州	嘉兴	湖州	绍兴	宁波	舟山	金华	衢州	温州	台州	丽水
2003	0.609 4	-0.794 3	-0.023 8	0.132 6	0.136 9	-0.055 8	0.569 7	1.880 1	0.618 9	0.288 9	3.253 8
2004	0.383 5	-0.639 1	0.004 3	0.350 7	0.581 1	0.235 7	0.534 6	1.447 1	0.889 8	0.802 6	3.266 4
2005	0.428 8	-0.592 1	0.185 1	0.477 2	0.862 4	0.417 3	0.951 7	2.033 8	1.641 8	1.521 1	5.600 9
2006	0.620 5	-0.466 4	0.125 6	0.304 8	0.414 7	0.217 9	0.824 9	2.104 1	1.425 9	0.871 4	5.668 6
2007	0.553 1	-0.359 6	0.267 9	0.530 9	0.732 7	0.201 2	0.770 2	1.378 7	1.457 9	1.044 2	4.312 9
2008	0.969 1	-0.082 6	0.628 4	0.503 1	0.589 6	0.402 4	0.855 6	2.010 5	0.854 2	0.631 5	3.598 2
2009	0.859 1	-0.098 2	0.637 9	0.629 5	0.753 9	0.338 2	0.866 7	1.876 7	1.083 8	0.805 4	4.216 8
2010	1.314 4	-0.023 3	0.613 7	0.772 9	0.862 7	0.354 1	1.882 2	3.913 4	1.539 5	1.407 5	7.591 1
2011	0.773 5	-0.305 7	0.303 4	0.520 4	0.450 6	0.125 1	0.866 3	1.873 8	0.628 3	0.541 9	2.960 7
2012	1.570 3	0.134 9	0.854 4	1.180 5	1.233 9	0.721 1	1.762 4	3.755 8	1.402 3	1.279 7	6.720 8
2013	0.796 1	-0.193 9	0.185 9	0.658 8	0.671 3	0.212 7	0.880 8	1.604 1	1.013 2	0.941 1	4.663 1

3 水资源生态压力指数与万元 GDP 生态足迹

3.1 水资源生态压力指数与水资源利用安全性

水资源生态压力指数为区域水资源生态足迹与水资源生态承载力的比值, 即衡量地区水资源生态压力强度大小, 是水资源可持续利用状况的评价指标之一, 据任志远等^[18]的划分标准, 水资源生态压力指数 < 0.5 时, 区域水资源利用处于安全状态; $0.5 \leq$ 水资源生态压力指数 < 0.8 时, 区域水资源利用处于较安全状态; $0.8 \leq$ 水资源生态压力指数 ≤ 1 为临界状态; 指数 > 1 时为不安全状态。

2003—2013 年浙江省水资源生态压力指数低于 0.5, 且除 2003 年, 其他年份均低于 0.3, 表明浙江

省整体水资源利用处于安全状态(表 5)。浙江省水资源生态压力指数在 11 a 中呈波动下降趋势, 表明水资源利用的安全程度逐步增强, 地区发展所需要的水资源保障逐步提高。从空间分布来看, 水资源生态压力指数从北向南递减, 说明浙江省南部地区水资源生态安全程度高于北部地区。

2003—2013 年嘉兴市水资源生态压力指数均高于其他市, 且除 2012 年为 0.809 8, 小于 1, 水资源利用处于临界状态, 2003—2013 年中的其他年份水资源生态压力指数均大于 1, 水资源利用处于不安全状态。2003—2013 年丽水市水资源生态压力指数均较低, 水资源利用一直处于安全状态。杭州市 2004—2005 年水资源生态压力指数大于 0.5, 水资源利用为较安全状态, 其他年分水资源生态指数均小于 0.5,

水资源利用为安全状态。湖州市水资源生态压力指数围绕 0.5 上下波动,大部分年份大于 0.5,水资源利用整体为较安全状态。绍兴市、宁波市和舟山市除个别年份水资源生态压力指数大于 0.5 外,绝大部分年

份仍小于 0.5,水资源利用状况整体为安全状态。2003—2013 年金华市、衢州市、温州市和台州市水资源生态压力指数均小于 0.5,水资源利用处于安全状态。

表 5 2003—2013 年浙江省及各市水资源生态压力指数

年份	杭州	嘉兴	湖州	绍兴	宁波	舟山	金华	衢州	温州	台州	丽水	浙江省
2003	0.422 1	9.506 6	1.043 2	0.717 6	0.612 0	1.480 9	0.323 0	0.146 4	0.140 4	0.334 3	0.041 8	0.311 2
2004	0.556 2	4.573 8	0.992 8	0.478 9	0.285 5	0.412 1	0.325 5	0.171 5	0.098 6	0.158 4	0.042 5	0.266 9
2005	0.526 9	3.441 8	0.756 8	0.405 1	0.216 1	0.285 4	0.223 1	0.132 8	0.053 6	0.085 9	0.027 6	0.179 6
2006	0.420 0	2.755 4	0.829 1	0.524 1	0.364 6	0.423 1	0.248 6	0.124 8	0.063 0	0.140 4	0.027 2	0.200 1
2007	0.459 3	2.023 1	0.689 9	0.405 6	0.248 3	0.449 6	0.258 9	0.176 8	0.063 8	0.119 9	0.036 4	0.205 3
2008	0.355 9	1.154 3	0.476 2	0.412 0	0.292 6	0.273 1	0.244 1	0.126 2	0.107 9	0.190 2	0.044 0	0.219 9
2009	0.371 8	1.180 0	0.465 2	0.366 4	0.256 0	0.305 7	0.243 4	0.122 1	0.094 1	0.160 1	0.036 4	0.202 3
2010	0.279 7	1.040 0	0.479 4	0.324 1	0.221 8	0.313 6	0.125 7	0.064 0	0.068 4	0.110 3	0.020 3	0.136 7
2011	0.404 0	2.054 2	0.655 3	0.408 9	0.358 6	0.570 6	0.232 1	0.127 1	0.145 9	0.247 3	0.053 7	0.259 2
2012	0.247 2	0.809 8	0.402 6	0.230 1	0.169 7	0.190 2	0.129 3	0.068 9	0.078 2	0.116 7	0.022 9	0.133 6
2013	0.396 6	1.466 5	0.755 7	0.343 6	0.273 3	0.451 3	0.226 4	0.146 1	0.104 9	0.152 1	0.033 0	0.209 6

3.2 万元 GDP 水资源生态足迹与水资源利用效率

区域水资源生态足迹与国内生产总值的比值即为万元 GDP 水资源生态足迹,用来衡量地区用水效率。万元 GDP 水资源生态足迹值越低,说明地区水资源利用效率越高,反之,说明地区水资源利用效率越低^[18]。

2003—2013 年浙江省万元 GDP 水资源生态足迹呈逐年下降趋势,表明浙江省水资源利用效率显著提高。从空间分布来看,万元 GDP 水资源生态足迹呈自西北向东南递减格局(表 6)。北部的嘉兴市、湖

州市和西部的衢州市万元 GDP 水资源生态足迹明显高于其他 8 个市,东部的舟山市、宁波市、台州市和温州市万元 GDP 水资源生态足迹明显小于其他 7 个市,水资源利用效率较高。随着经济发展和技术进步,地区用水效率逐渐提高,提升空间逐渐减小。2003—2013 年各市万元 GDP 水资源生态足迹均存在不同程度的降低,其中下降幅度较大的舟山市、嘉兴市和衢州市分别降低了 81.11%, 80.52%, 80.43%,水资源利用效率显著提高。

表 6 2003—2013 年浙江省及各市万元 GDP 水资源生态足迹

年份	杭州	嘉兴	湖州	绍兴	宁波	舟山	金华	衢州	温州	台州	丽水	浙江省
2003	0.136 3	0.344 5	0.300 4	0.134 3	0.066 4	0.096 9	0.152 6	0.337 7	0.061 2	0.080 6	0.160 7	0.118 6
2004	0.124 6	0.260 1	0.260 3	0.106 6	0.059 5	0.075 5	0.119 1	0.259 3	0.051 8	0.071 5	0.137 4	0.099 9
2005	0.107 2	0.240 6	0.230 4	0.097 7	0.054 1	0.057 5	0.116 7	0.232 4	0.043 7	0.063 9	0.130 4	0.089 5
2006	0.090 6	0.182 4	0.206 5	0.087 1	0.046 4	0.046 1	0.100 9	0.191 1	0.039 5	0.054 9	0.112 6	0.076 1
2007	0.077 1	0.151 1	0.172 2	0.080 2	0.039 8	0.038 9	0.084 3	0.153 3	0.035 2	0.047 1	0.095 5	0.064 9
2008	0.075 9	0.115 1	0.142 7	0.069 3	0.034 9	0.029 8	0.075 8	0.124 6	0.032 9	0.043 3	0.083 7	0.057 9
2009	0.068 1	0.108 9	0.129 4	0.067 1	0.035 1	0.027 1	0.073 2	0.105 6	0.034 7	0.043 9	0.075 7	0.054 8
2010	0.059 1	0.090 1	0.112 9	0.058 2	0.027 3	0.024 3	0.059 8	0.089 1	0.030 4	0.041 9	0.061 5	0.046 7
2011	0.051 9	0.076 3	0.099 1	0.047 5	0.023 9	0.020 9	0.049 9	0.074 9	0.025 1	0.037 4	0.052 9	0.040 2
2012	0.046 3	0.068 5	0.090 4	0.042 6	0.022 1	0.019 3	0.045 4	0.072 3	0.025 9	0.034 3	0.046 2	0.036 9
2013	0.044 3	0.067 1	0.083 8	0.038 4	0.020 5	0.018 3	0.041 2	0.066 1	0.023 9	0.031 8	0.042 8	0.034 4

4 结论

(1) 水资源生态足迹描述了水资源的生态环境和社会经济功能,不再以“用水总量”为评价水资源的主要方法,而是根据区域自然和社会经济特征,核算各区域相关水资源生态足迹计算系数,最终以“水资

源用地面积”的形式呈现,提高各区域评价及区域之间比较分析的准确性。水资源生态承载力具有多重属性,是在区域自然特征和社会经济条件的共同影响下,对生态系统和社会经济系统良性发展的支撑能力,是区域发展和相关政策制定的重要参考指标。

(2) 中国针对水资源问题,提出最严格水资源管

理制度,并将浙江省列入全国最严格水资源管理制度先行省份,在新一轮改革发展中,浙江省将“五水共治”作为关键之策。浙江省水资源生态足迹时空格局的研究旨在对浙江省及各市经济社会发展中的水资源状况进行分析。从时间序列看,2003—2013年浙江省整体水资源生态足迹呈较小波动的上升趋势;水资源生态承载力波动较大;人均水资源生态量均为盈余,且整体为上升趋势;水资源生态压力指数较低,水资源利用处于安全状态;万元GDP水资源生态足迹呈下降趋势,水资源利用效率逐步提高。从空间差异看,浙江省各市水资源生态足迹可分为高值、中值和低值3个级别;水资源生态承载力呈自西南向东北递减格局;人均水资源状况自西南向东北递减,绝大部分地区基本能够支撑各自水资源消费水平;南部地区水资源生态安全程度高于北部地区,大部分地区水资源利用状况较为安全;水资源利用效率存在不同程度的提高,其中东部地区水资源利用效率高于西部和北部地区。

(3) 随着人口增长及人们对环境质量要求提高,生活和生态用水足迹逐渐升高,因此生产用水足迹成为区域水资源生态足迹的主要影响因素。浙江省及各市应从发展阶段和发展目标出发,通过合理的产业结构调整和相关水利工程建设,增强发展所需要的水资源保障。影响水资源的自然因素缺乏稳定性,浙江省及各市应积极采取相关措施,在满足地区生态和居民生活用水的基础上,为经济发展提供充足的水资源保障。水资源利用安全程度和利用效率是区域发展的重要基础,也是区域水资源可持续利用状况的评价指标,浙江省整体水资源利用为安全状态,水资源利用效率显著提高,但内部差异十分明显,尤其是北部的嘉兴市和湖州市,水资源利用安全程度和利用效率虽有提高,但仍低于其他市。浙江省及各市应提高技术水平,加强水资源循环利用,提高水资源利用科学化水平。

[参 考 文 献]

- [1] Rees W. Ecological footprint and appropriated carrying capacity what urban economics leaves out[J]. *Environmental and Urbanization*, 1992,4(2):121-130.
- [2] Wackernagel M, Rees W. Our ecological footprint: Reducing human impact on the earth[M]. Gabriela Island: New Society Publishers, 1996.
- [3] Wackernagel M, Lewan L, Hansson C B. Evaluating the use of natural capital with the ecological footprint: Applications in Sweden and Subregions [J]. *Ambio*, 1999,28(7):604-612.
- [4] 章锦河,张捷. 国外生态足迹模型修正与前沿研究进展[J]. *资源科学*, 2006,28(6):196-203.
- [5] 陈冬冬,高旺盛,陈源泉. 生态足迹分析方法研究进展[J]. *应用生态学报*, 2006,17(10):1983-1988.
- [6] 熊德国,鲜学福,姜永东. 生态足迹理论在区域可持续发展评价中的应用及改进[J]. *地理科学进展*, 2003,22(6):618-626.
- [7] 龙爱华,张志强,苏志勇. 生态足迹评价及国际研究前沿[J]. *地球科学进展*, 2004,19(6):971-981.
- [8] 徐中民,程国栋,张志强. 生态足迹方法的理论解析[J]. *中国人口·资源与环境*, 2006,16(6):69-78.
- [9] 周涛,王云鹏,龚键周,等. 生态足迹的模型修正与方法改进评述[J]. *生态学报*, 2015,35(14):1-17.
- [10] 向书坚,柴士改. 生态足迹若干不足、修正与完善以及应用拓展[J]. *资源科学*, 2013,35(5):1051-1058.
- [11] 黄林楠,张伟新,姜翠玲,等. 水资源生态足迹计算方法[J]. *生态学报*, 2008,28(3):1279-1286.
- [12] 谭秀娟,郑钦玉. 我国水资源生态足迹分析与预测[J]. *生态学报*, 2009,29(7):3559-3567.
- [13] 张义,张合平,李丰生,等. 基于改进模型的广西水资源生态足迹动态分析[J]. *资源科学*, 2013,35(8):1601-1610.
- [14] 王俭,张朝星,于英谭,等. 城市水资源生态足迹核算模型及应用:以沈阳市为例[J]. *应用生态学报*, 2012,23(8):2257-2262.
- [15] 陈栋为,陈晓宏,孔兰. 基于生态足迹法的区域水资源生态承载力计算与评价:以珠海市为例[J]. *生态环境学报*, 2009,18(6):2224-2229.
- [16] 周悦,谢屹. 基于生态足迹模型的辽宁省水资源可持续利用分析[J]. *生态学杂志*, 2014,33(11):3157-3163.
- [17] 王文国,何明雄,潘科,等. 四川省水资源生态足迹与生态承载力的时空分析[J]. *自然资源学报*, 2011,26(9):1555-1565.
- [18] 任志远,黄青,李晶. 陕西省生态安全及空间差异定量分析[J]. *地理学报*, 2005,60(4):597-606.