

doi: 10.3724/SP.J.1201.2013.05011

基于生态足迹法的广东省水资源可持续利用分析

徐珊, 夏丽华, 陈智斌, 周锡振

(广州大学地理科学学院, 广州 510006)

摘要: 基于生态足迹理论, 从省域、区域和市域 3 个不同的空间尺度对广东省 2005 年-2011 年间水资源生态足迹和水资源生态承载力进行了计算与分析, 结果表明: 研究期内, 广东省水资源生态足迹呈逐年减小的趋势, 下降幅度为每年 11.6%; 万元 GDP 生态足迹逐年下降, 水资源利用率逐年提高; 全省水资源生态承载力较高, 总体上呈现生态盈余, 水资源利用状态为可持续。在区域差异上, 粤北山区的水资源生态足迹最高, 粤东地区最低; 珠三角地区水资源生态压力最大, 粤北地区最小。而市域空间分布上, 韶关市、广州市人均水资源生态足迹在各地级市中较大, 佛山市水资源生态压力位于各市之首。在社会经济发展过程中, 各地区应根据区域水资源可持续利用状态, 进行产业结构的调整, 提高用水效率。

关键词: 水资源生态足迹; 生态承载力; 生态压力; 广东省

中图分类号: TV213.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-1683(2013)05-0011-05

Analysis of Sustainable Utilization of Water Resources in Guangdong Province Based on Ecological Footprint Theory

XU Shan, XIA Li hua, CHEN Zhi bin, ZHOU Xi zhen

(School of Geographic Sciences, Guangzhou University, Guangzhou 510006, China)

Abstract: Based on the theory of ecological footprint, the ecological footprint and ecological carrying capacity of water resources in Guangdong Province were calculated and analyzed from 2005 to 2011 in aspect of the provincial, regional, and municipal scales. The results showed that (1) during the study period, the water resources ecological footprint per capita of Guangdong Province decreases continuously with a rate of 11.6%/a; (2) the water resources ecological footprint per 104 yuan GDP decreases annually, indicating the increasing of utilization of water resources; and (3) the water resources ecological carrying capacity is high in the provincial scale, which suggested the ecological surplus status and thus the utilization of water resources is sustainable. On the regional distribution, the ecological footprint was highest in the northern mountain area of Guangdong whereas lowest in eastern Guangdong. The water resources ecological pressure was highest in the Pearl River Delta region whereas the lowest in northern Guangdong. On the municipal distribution, the water resources ecological footprint per capita was higher in Shaoguan and Guangzhou than that in other cities, and the water ecological pressure in Foshan was the highest among all cities. In the process of socio-economic development, the industrial structure should be adjusted and the water use efficiency should be improved based on the status of sustainable utilization of water resources.

Key words: water ecological footprint; ecological carrying capacity; ecological pressure; Guangdong Province

水资源作为一种重要的自然资源, 对人类生活、生产活动以及生态环境的维持具有不可替代的作用, 水资源的可持续利用已成为促进社会经济发展的重要因素之一。近年来, 水资源的可持续利用也越来越受到学者的关注, 国内相关研究主要从生态足迹理论出发, 评价水资源生态压力和可持续

利用状况。生态足迹理论由加拿大 William Rees 教授于 1992 年提出^[1], 随后, 其学生 Wackernagel 博士于 1996 年对生态足迹理论进行了完善和运用^[2]。它是度量人类对自然资源利用程度以及自然所能提供的生态支撑能力的方法, 也是测度生态可持续发展的定量方法之一^[3]。生态足迹模型

收稿日期: 2013-05-10 修回日期: 2013-08-15 网络出版时间: 2013-08-23

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20130823.1501.002.html>

基金项目: 国家科技支撑计划基金项目(2012BAH32B03); 广东省自然科学基金项目(S2012010009613)

作者简介: 徐珊(1989), 女, 湖南益阳人, 硕士研究生, 主要从事环境与资源信息系统研究。E-mail: xushanz@163.com

通讯作者: 夏丽华(1964), 女, 吉林辽源人, 教授, 博士, 从事资源环境遥感方面的教学与研究。E-mail: xialihua0413@163.com

中涉及的水域生产性土地仅表示有生产能力的水面,不能描述水资源的功能和用途,水资源账户的确定便成为研究中的重要问题。为此,一类研究引入虚拟水的概念,将水资源量折算成生产商品和服务所需的水资源量,称为水足迹研究^[46];另一类是将水资源消耗量折算成水域面积,称为水资源生态足迹研究。目前,基于水资源生态足迹方法的研究应用更为广泛^[7, 10],许多研究者进一步发展了水资源生态足迹模型,对我国多个地区如四川、陕西、黑龙江、河南等地的水资源生态足迹进行了研究分析^[11-15]。

广东省水资源丰富,但在空间分布上存在较大差异,加上经济发展水平不一致,各地水资源利用状况也存在差异。本文基于生态足迹法,计算并分析了广东省 2005 年—2011 年不同区域水资源生态足迹和生态承载力的空间差异和变化特征,以期为广东省水资源的科学管理和可持续利用提供参考。

1 研究区概况

广东省地处我国南部,地理位置界于 $109^{\circ} 45' - 117^{\circ} 20' E$, $20^{\circ} 09' - 25^{\circ} 31' N$ 之间。地势北高南低,北部以山地和丘陵为主,南部以平原和台地为主。气候类型为从北向南依次为中亚热带、南亚热带和热带气候,雨量丰富,年平均降水量为 $1\ 777\ mm$,是全国光、热、水资源最丰富的地区之一。水资源总量大,达 $1\ 998.8\ 亿\ m^3$ (广东省水资源公报,2010),但时空分布不均,空间上呈北高南低,降水主要集中在春、夏两季。广东省是我国经济发展最为活跃的地区之一,水资源的可持续利用状态是社会经济发展的重要影响因素。

2 数据与方法

2.1 数据来源

本研究中所用耗水量、水资源总量等数据来源于广东省 2005 年—2011 年《水资源公报》,所用人口数据、GDP 数据以及广东省各地级市行政区划面积数据来源于 2005 年—2011 年《广东统计年鉴》。

2.2 研究方法

2.2.1 水资源生态足迹模型

水资源生态足迹是以水资源用地面积表示水资源消耗量,计算模型可表示为:

$$EF_w = N \times ef_w = v_w \times (U/\rho_w) \quad (1)$$

式中: EF_w 为水资源生态足迹 (hm^2); N 为区域人口数; ef_w 为各子类水资源账户的人均生态足迹 ($hm^2/人$); U 为各子类水资源消耗量 (m^3); v_w 为水资源的全球均衡因子; ρ_w 为水资源全球平均生产能力 (m^3/hm^2)。

2.2.2 水资源生态承载力模型

水资源承载能力是指某一地区水资源所能支持的生产、生活和生态可持续发展的能力。一个国家和地区约 60% 的水量需用于维持生态环境^[16],水资源生态承载力模型可表示为:

$$EC_w = N \times eC_w = 0.4 \times \varphi \times v_w \times (Q/\rho_w) \quad (2)$$

式中: EC_w 为区域水资源承载力 (hm^2); eC_w 为区域内人均水资源承载力 ($hm^2/人$); φ 为区域水资源的产量因子; Q 为水资源总量 (m^3)。

2.2.3 水资源可持续利用评价指标

(1) 水资源生态盈余和水资源生态赤字。

水资源生态赤字(盈余)指标可用来判断研究区域内水资源的可持续利用情况^[7],可表示为:

$$E_w = EC_w - EF_w \quad (3)$$

式中: E_w 为生态赤字(盈余),当 $E_w > 0$ 时,为水资源生态盈余,说明区域水资源可以有限度地持续利用;当 $E_w < 0$ 时,为水资源生态赤字,说明区域水资源不能满足经济发展需求。

(2) 水资源生态压力指数。

为了量化水资源生态压力的大小,谭秀娟^[7]引入了水资源生态压力指数,用某地区人均水资源生态足迹与人均水资源生态承载力的比值表示:

$$P_w = EF_w / EC_w \quad (4)$$

式中: P_w 为水资源生态压力指数, $P_w = 1$ 时,表明该区域水资源处于供需平衡状态, P_w 值越大,区域水资源安全受到的威胁越大。

(3) 万元 GDP 水资源生态足迹。

万元 GDP 水资源生态足迹可以衡量区域内水资源的利用效率,可表示为区域内水资源生态足迹与区域内 GDP 的比值,其值越小表示水资源利用效率越高,反之越低。用公式表示为:

$$G_w = EF_w / GDP \quad (5)$$

2.2.4 主要参数的确定

在本研究中,水资源全球平均生产能力参考黄林楠等^[9]的研究成果,取 ρ_w 为 $3.14 \times 10^3 (m^3/hm^2)$;采用 WWF2002 年核算的均衡因子计算得出水资源全球均衡因子 v_w 为 5.19。通过计算广东省水资源平均生产能力,并与世界对应值的比较,得到广东省水资源产量因子为 3.24,全省各市水资源产量因子见表 1。

表 1 广东省各市水资源产量因子

Table 1 Yield factor of water resources in each city

市别	产量因子	市别	产量因子	市别	产量因子
韶关	2.95	广州	3.24	东莞	3.28
河源	3.05	深圳	3.48	中山	3.37
清远	3.42	珠海	3.36	江门	4.32
潮州	3.44	阳江	4.34	惠州	3.60
揭阳	4.22	湛江	2.52	肇庆	2.90
梅州	2.81	茂名	3.20	佛山	2.04
汕尾	4.28	云浮	2.67	汕头	2.64

3 结果与分析

3.1 广东省水资源生态足迹与生态承载力的历年变化

利用式(1)~式(5)对广东省 2005 年—2011 年间水资源生态足迹进行计算,结果表明(表 1),在研究期内:全省人均水资源生态足迹维持在 $0.71 \sim 0.81\ hm^2/人$ 之间,并呈逐年下降趋势,人均水资源生态足迹由 2005 年的 $0.806\ 5\ hm^2/人$,下降到 2011 年的 $0.712\ 9\ hm^2/人$,下降幅度为 11.6%;各年份水资源生态承载力存在差异,最高年份为 2006 年,达 $4.825\ 1\ hm^2/人$,而最低年份出现在 2011 年,为

2.929 3 $\text{hm}^2/\text{人}$; 水资源生态承载力与广东省对应年份年降水量存在显著的正相关关系, 相关系数为 0.956; 水资源总体呈现生态盈余, 盈余量大小和水资源生态承载力相对应; 水资源生态压力指数在 0.15~0.25 间变化, 2008 年出现最小

值, 仅为 0.160 2, 而 2011 年出现最大值, 为 0.243 4; 万元 GDP 水资源生态足迹呈逐年下降的趋势, 由 2005 年的 0.407 5 $\text{hm}^2/\text{万元}$ 下降到 2011 年的 0.133 6 $\text{hm}^2/\text{万元}$ 。另外, 研究期内水资源利用率提高了 3 倍之多。

表 2 广东省 2005 年-2011 年人均水资源生态足迹和生态承载力

Table 2 Water resources ecological footprint per capita and ecological carrying capacity per capita in Guangdong Province from 2005 to 2011

指标	年份						
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
人均水资源生态足迹/ $(\text{hm}^2 \cdot \text{人}^{-1})$	0.806 5	0.776 2	0.774 4	0.747 7	0.739 2	0.725 3	0.712 9
人均水资源生态承载力/ $(\text{hm}^2 \cdot \text{人}^{-1})$	4.111 7	4.825 1	3.426 9	4.667 8	3.331 7	3.884 6	2.929 3
水资源生态盈余/ $(\text{hm}^2 \cdot \text{人}^{-1})$	3.305 3	4.048 9	2.652 5	3.920 1	2.592 5	3.159 2	2.216 4
水资源生态压力指数	0.196 1	0.160 9	0.226 0	0.160 2	0.221 9	0.186 7	0.243 4
万元 GDP 水资源生态足迹/ $(\text{hm}^2 \cdot \text{万元}^{-1})$	0.407 5	0.265 8	0.228 5	0.193 6	0.182 4	0.156 8	0.133 6

全省各年份生产用水账户生态足迹变化如图 1 所示: 生产用水水资源生态足迹账户中, 第一产业用水所占比例最大, 高达 60%, 但总体上呈逐年降低的趋势; 第二产业用水足迹所占比例居中, 各年份间变化较小; 第三产业用水足迹所占比例最小, 仅为 5%, 但是在总体上呈现出小幅增加趋势。

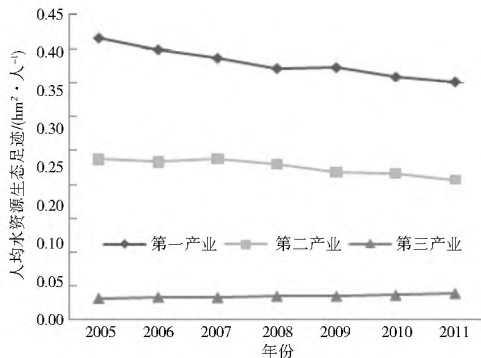


图 1 广东省 2005 年-2011 年人均水资源生态足迹生产账户变化

Fig. 1 Variation of water resources ecological footprint per capita for production account in Guangdong Province from 2005 to 2011

3.2 广东省水资源生态足迹与生态承载力的区域性差异

根据广东省区域性特征, 将广东省分为粤东、粤北、粤西和珠三角 4 个区域进行对比分析。从图 2 可以看出, 2005 年-2011 年期间, 人均水资源生态足迹大小依次为: 粤北 > 粤西 > 珠三角 > 粤东, 粤北地区人均水资源生态足迹超过 1.00 $\text{hm}^2/\text{人}$; 粤东地区历年人均水资源生态足迹在 0.60 $\text{hm}^2/\text{人}$ 以下; 粤西地区和珠三角地区居中, 在 0.70~0.80 $\text{hm}^2/\text{人}$ 范围内波动, 珠三角地区水资源生态足迹有逐年减小的趋势, 而其他地区年际变化不明显。从图 3 可以得出, 人均水资源生态承载力大小依次为: 粤北 > 粤西 > 粤东 > 珠三角, 粤北地区人均水资源生态承载力明显高于其他地区, 除 2011 年外, 其他年份均超过 10.00 $\text{hm}^2/\text{人}$, 其中 2008 年高达 13.33 $\text{hm}^2/\text{人}$, 为水资源生态承载力较小的珠三角地区的 4.6 倍; 其次为粤西、粤东地区; 最小为珠三角地区, 除 2006 年为 3.13 $\text{hm}^2/\text{人}$ 外, 其他年份均低于 3.00 $\text{hm}^2/\text{人}$, 其中 2011 年最低, 仅为 1.68 $\text{hm}^2/\text{人}$ 。

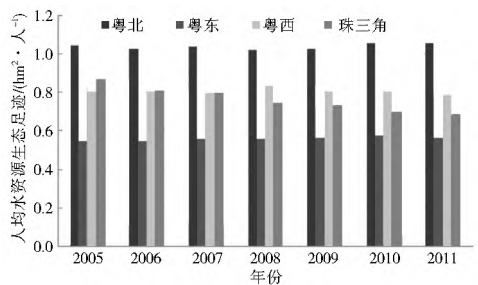


图 2 广东省各区域历年人均水资源生态足迹
Fig. 2 Water resources ecological footprint per capita for each region in Guangdong Province in different years

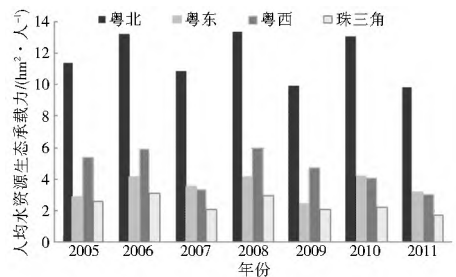


图 3 广东省各区域历年人均水资源生态承载力

Fig. 3 Water resources ecological carrying capacity per capita for each region in Guangdong Province in different years

从区域水资源生态压力指数 (图 4) 来看, 珠三角地区生态压力指数最大, 在 0.25~0.41 之间变化, 在 2011 年生态压力指数达到 0.41; 粤北地区因其水资源生态承载力较大而生态压力指数最小, 最小值出现在 2008 年, 为 0.08; 粤东、粤西地区的水资源生态压力指数居中, 粤东略高于粤西地区。总体来看, 各区域水资源生态压力指数均低于 1, 说明各区域水资源开发利用处于安全状态。从图 5 看出, 各区域万元 GDP 水资源生态足迹与全省保持一致, 呈现逐年减小的趋势。在区域差异上, 珠三角地区万元 GDP 水资源生态足迹最小, 水资源利用率最高; 粤北、粤东、粤西地区万元 GDP 水资源生态足迹依次增大, 粤西水资源利用率较其他地区低。

3.3 广东省水资源生态足迹与生态承载力的市域性差异

水资源生态压力指数将地区经济发展所耗水资源量与水资源承载力有机地结合起来, 在测评社会经济系统对水资源施加的压力强度的相对大小时更优于水资源生态盈余指

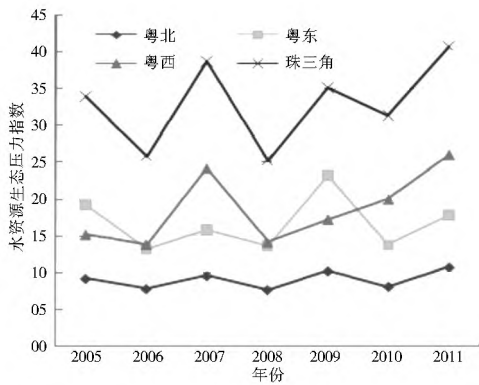


图 4 广东省各区域历年水资源生态压力指数
Fig. 4 Water ecological pressure index of each region in Guangdong Province

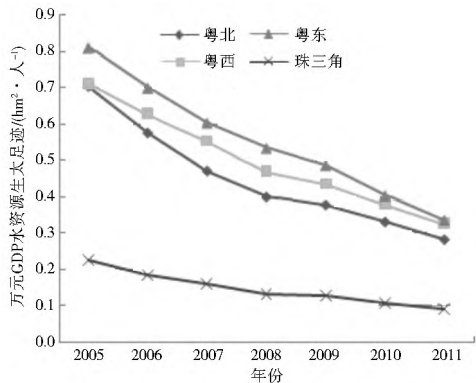


图 5 广东省各区域历年万元 GDP 水资源生态足迹
Fig. 5 Water resources ecological footprint per 10⁴ yuan GDP of each region in Guangdong Province

标。通过对 2005 年、2008 年、2011 年广东省 21 个地级市的水资源生态足迹和水资源生态压力指数进行空间表达(见图 6), 可以发现以下两点。

(1) 市域人均水资源生态足迹大小在时间和空间分布上均存在较大差异。2005 年, 广州市人均水资源生态足迹最高, 其次是韶关市、江门市、云浮市; 2008 年, 韶关市人均水资源生态足迹最大, 其次是广州市和云浮市; 2011 年, 韶关市历年人均水资源生态足迹在各市中最大, 河源市、江门市和云浮市位于其次。三年中, 韶关市人均水资源生态足迹最大, 深圳市和汕头市人均水资源生态足迹最小。人均水资源生态足迹较大的区域并未集中分布在经济发达地区, 主要是因为在水资源账户中, 农业生产账户所占比重最大。

(2) 从水资源生态压力指数大小的分布情况看, 珠三角地区以及经济发展较快的汕头市是生态压力指数较大的地区。水资源生态足迹较大的粤北地区因水资源生态承载力大, 其生态压力指数较小, 水资源利用仍处于安全状态。佛山市水资源生态压力最大, 水资源生态压力指数均超过 1, 在 2011 年高达 1.92, 水资源安全受到威胁。广州市、东莞市、中山市、深圳市、汕头市的水资源压力小于佛山市但大于其他地区, 水资源生态压力指数在 0.6~1.0 之间, 需要对水资源合理利用, 维持水资源利用的安全。水资源压力较小的地区有阳江市、清远市和河源市, 水资源生态压力指数小于 0.1, 可以适当提高水资源开发程度。

4 结论

(1) 广东省人均水资源生态足迹呈逐年减小的趋势, 总

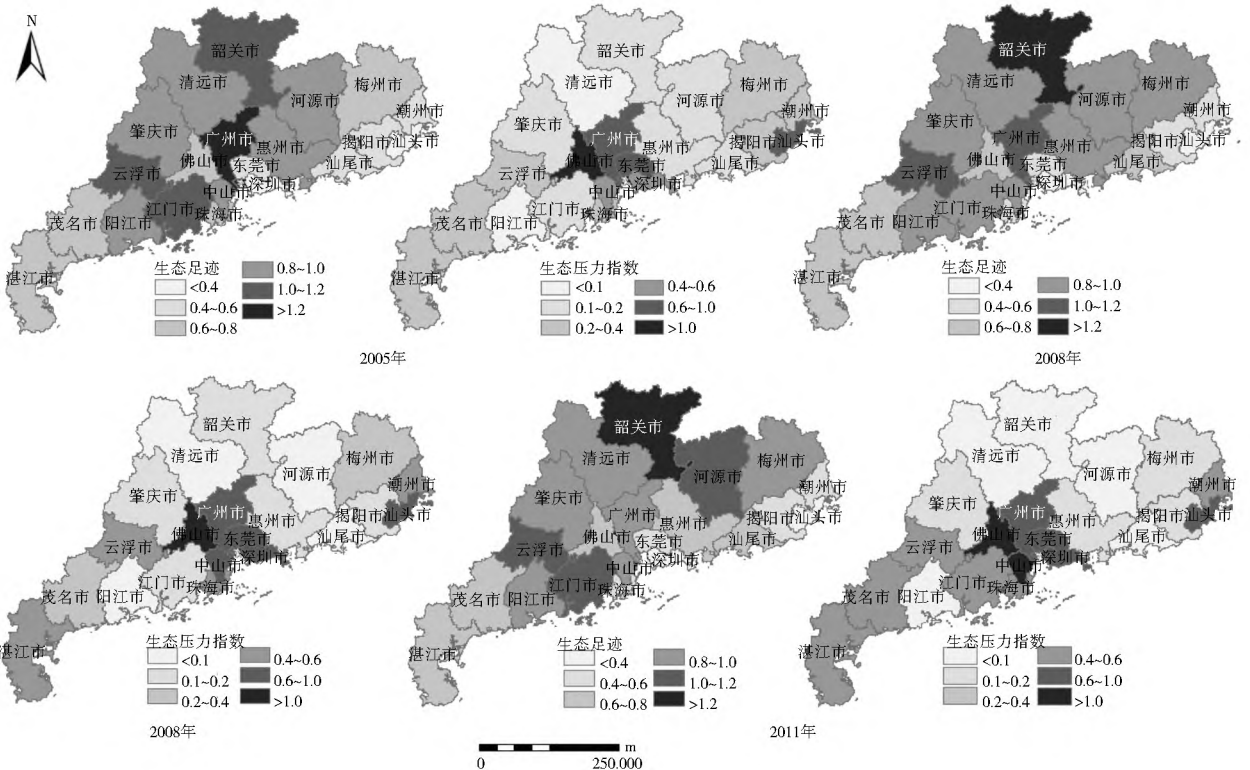


图 6 广东省各市人均水资源生态足迹、生态压力指数空间分布

Fig. 6 Distribution of water resources ecological footprint per capita and ecological pressure index of each city in Guangdong Province

体上, 水资源为生态盈余, 水资源生态压力较小, 水资源开发利用处于安全状态, 水资源利用效率随着科学技术的投入加

大逐步提高。

(2) 因水资源总量的空间分布不均, 以及区域间产业结

构的差异,水资源生态足迹和生态承载力在区域上存在较大差异:粤北山区因农业耗水比重大,人均水资源生态足迹高于其他地区,并且山区水资源丰富,人口较少,水资源开发利用少,人均水资源生态承载力也高于其他地区;珠三角经济发达地区人口数量大,人均水资源承载力小于其他地区,但因其产业结构以第二和第三产业为主,并随着技术投入的增大,用水效率高于其他地区且逐步提高。

(3)在市域差异上,韶关市为广东省重要的重工业城市,工业化水平高,其传统农业也位于广东省前列,因此水资源生态足迹最大;而深圳市、汕头市为经济特区,经济结构中技术比重大,耗水量较少,其水资源生态足迹小;在经济发展速度快的珠三角地区,水资源生态承载力和水资源生态足迹之间矛盾日益凸显,使得该地区的水资源生态压力明显高于其他地区,水资源利用处于不安全状态,比如珠三角地区的佛山市以耗水型工业为主,生态压力位于各城市之首。在社会经济活动过程中,各地区应根据区域的水资源实际分布与利用状况,进行产业结构的调整,提高用水效率对于水资源短缺的地区,还可通过流域水资源优化配置和调度工作保障广东地区的水资源安全,实现区域水资源可持续利用。

生态足迹方法是测度区域生态可持续发展有效方法,水资源生态足迹与生态承载力模型为评价区域水资源的可持续利用状态提供了量化工具。但是,针对区域的实际情况以及研究目的的不同,水资源账户的选择至关重要,本研究中仅考虑了生活、生产、生态3个用水账户,并未将水污染账户生态足迹纳入计算。随着经济的发展,水污染带来的水环境治理问题将日趋严峻,水资源生态足迹与生态承载力之间的矛盾也会随之加剧。因此,在以后的研究中,需综合各相关因素,使研究结果能更科学、全面地反映区域水资源可持续利用状态。

参考文献(References):

- [1] William ER. Ecological Footprints and Appropriated Carrying Capacity: What Urban Economics Leaves Out[J]. *Environment and Urbanization*, 1992, 4(2): 121-130.
- [2] Wackernagel M, William ER. Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth[M]. Gabriola Island: New Society Publishers, 1996: 61-83.
- [3] 徐中民,程国栋,张志强.生态足迹方法:可持续性定量研究的新方法——以张掖地区1995年的生态足迹计算为例[J]. *生态学报*, 2001, 21(9): 1484-1493. (XU Zhongmin, CHENG Guodong, ZHANG Zhiqiang. Measuring Sustainable Development With the Ecological Footprint Method: Take Zhangye Prefecture as an Example[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(9): 1484-1493. (in Chinese))
- [4] 陈俊旭,张士锋,华东,等.基于水足迹核算的北京市水资源保障研究[J]. *资源科学*, 2010, 32(3): 528-534. (CHEN Junxu, ZHANG Shifeng, HUA Dong, et al. A Study on Water Resources Guarantee in Beijing City Based on Water Footprint Evaluation[J]. *Resources Science*, 2010, 32(3): 528-534. (in Chinese))
- [5] 孙义鹏.基于水足迹理论的水资源可持续利用研究——以沿海缺水城市大连为例[D].大连:大连理工大学,2007. (SUN Yipeng. Water Resource Sustainable Utilization Based on Water

Footprint Theory Case: Littoral and Scarce Water City Dalian[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2007. (in Chinese))

- [6] 刘梅,许新宜,王红瑞,等.基于虚拟水理论的河北省水足迹时空差异分析[J]. *自然资源学报*, 2012, 27(6): 1022-1034. (LIU Mei, XU Xinyi, WANG Hongrui, et al. Water Footprint and Spatiotemporal Analysis of Hebei Province Based on Virtual Water Theory[J]. *Journal of Nature Resources*, 2012, 27(6): 1022-1034. (in Chinese))
- [7] 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): 3559-3568. (TAN Xiujuan, ZHENG Qinyu. Dynamic Analysis and Forecast of Water Resources Ecological Footprint in China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(7): 3559-3568. (in Chinese))
- [8] 吴志峰,胡永红,李定强,等.城市水生态足迹变化分析与模拟[J]. *资源科学*, 2006, 28(5): 152-156. (WU Zhi Feng, HU Yonghong, LI Dingqiang, et al. Analyzing and Modeling Temporal Variation of Water Ecological Footprint in Guangzhou City of China[J]. *Resources Science*, 2006, 28(5): 152-156. (in Chinese))
- [9] 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. (HUANG Linnan, ZHANG Weixin, JIANG Cuiling, et al. Ecological Footprint Method in Water Resources Assessment[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(3): 1279-1286. (in Chinese))
- [10] 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. (WANG Jian, ZHANG Chaoxing, YU Yingtan, et al. Calculation Model of Urban Water Resources Ecological Footprint and Its Application: A Case Study in Shengyang City[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2012, 23(8): 2257-2262. (in Chinese))
- [11] 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. (WANG Wenguo, HE Mingxiong, PAN Ke, et al. Analysis of Spatiotemporal Characteristics of Water Resources Ecological Footprint and Ecological Carrying Capacity in Sichuan Province[J]. *Journal of Nature Resources*, 2011, 26(9): 1555-1565. (in Chinese))
- [12] 邢清枝,任志远,王丽霞,等.基于生态足迹法的陕北地区水资源可持续利用评价[J]. *干旱区研究*, 2009, 26(6): 793-798. (XING Qingzhi, REN Zhiyuan, WANG Lixia, et al. Evaluation on Sustainable Utilization of Water Resource in North Shanxi Province Based on Ecological Footprint Model[J]. *Arid Zone Research*, 2009, 26(6): 793-798. (in Chinese))
- [13] 邱微,樊庆铎,赵庆良,等.黑龙江省水资源生态承载力计算[J]. *哈尔滨工业大学学报*, 2010, 42(6): 1000-1003. (QIU Wei, FAN Qingruo, ZHAO Qingliang, et al. Calculation on Ecological Carrying Capacity of Water Resources in Heilongjiang Province[J]. *Journal of Harbin Institute of Technology*, 2010, 42(6): 1000-1003. (in Chinese))
- [14] 卢艳,于鲁冀,王燕鹏,等.河南省水资源生态足迹和生态承载力分析[J]. *中国农学通报*, 2011, 27(1): 182-186. (LU Yan, YU Lurji, WANG Yanpeng, et al. Ecological Footprint and Ecological Carrying Capacity of Water Resources in Henan Province[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2011, 27(1): 182-186. (in Chinese))

(下转第98页)

过物探技术确定找水靶区、区分富水断层和低阻岩脉,最终确定井位。勘探效果充分验证了先前确定的找水方向和物探结果分析。该井的成功实施,解决了史家佐村近 2 500 人的饮水问题,亦为此类型水文地质条件下找水起到了很好的示范作用。

对于低阻岩脉与富水断层,可通过电性参数及物探参数进行区分,但资料分析时,需要紧密的结合地质调查成果。由于受到各种因素制约,若利用不同断面间(断层断面、岩脉断面)的对比分析进行区分,往往比较困难。本次勘探经验表明,通过同一断面或剖面数据的对比分析来区分低阻岩脉与富水断层,结果更加可靠。

参考文献(References):

- [1] 刘光亚. 基岩地下水[M]. 北京:地质出版社, 1979. (LIU Guang ya. Bedrock Groundwater[M]. Beijing: Geological Press, 1979. (in Chinese))
- [2] 宋洪伟, 张翼龙, 刘国辉, 等. 综合电法在太行山区地下水勘查实例解析[J]. 水文地质工程地质, 2012, 39(2): 23-29. (SONG Hong wei, ZHANG Yi long, LIU Guo hui, et al. Analysis of Groundwater Investigation by Comprehensive Electrical Methods in the Taihang Mountain[J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 2012, 39(2): 23-29. (in Chinese))
- [3] 王振兴, 李向全, 候新伟, 等. 太行山前严重缺水地区地下水勘查实践—以灵寿县丘陵区为例[J]. 南水北调与水利科技, 2012, 10(3): 127-132. (WANG Zhen xin, LI Xiang quan, HOU Xin wei, et al. Groundwater Exploration in Serious Water Shortage Area of Taihang Piedmont—A Case Study in the Hilly Area of Lingshou County[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2012, 10(3): 127-132. (in Chinese))
- [4] 王新峰, 刘蕴, 李伟, 等. 涑源盆地水文地质特征及缺水现状分析[J]. 南水北调与水利科技, 2012, 10(6): 74-78. (WANG Xin feng, LIU Yun, LI Wei, et al. Analysis of Water Shortage Status and Hydrogeologic in the Laiyuan Basin[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2012, 10(6): 74-78. (in Chinese))
- [5] 武选民, 郭建强, 文冬光, 等. “逐步逼近式”找水方法及其在缺水地区水文地质勘查中的应用[J]. 西北地质, 2009, 42(4): 102-108. (WU Xu an min, GUO Jian qiang, WEN Dong guang, et al. The Successive Approximation Method on Groundwater Exploration and its Application in Hydrogeological Investigation in Watershortage Areas[J]. Northwestern Geology, 2009, 42(4): 102-108. (in Chinese))
- [6] 武毅, 郭建强, 曹福祥, 等. 多种物探技术勘查宁南深层岩溶水的组合试验[J]. 物探与化探, 2002, 26(2): 113-117. (WU Yi, GUO Jian qiang, CAO Fu xiang, et al. The Combination of Varied Geophysical Techniques in Exploring Deepseated Karstic Water of South Ningxia[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2002, 26(2): 113-117. (in Chinese))
- [7] 李伟, 朱庆俊, 王洪磊, 等. 西南岩溶地区找水技术方法探讨[J]. 地质与勘探, 2011, 47(5): 918-923. (LI Wei, ZHU Qing jun, WANG Hong lei, et al. On Methods of Finding Water in the Karst Zones of South West China[J]. Geology and Exploration, 2011, 47(5): 918-923. (in Chinese))
- [8] 郭建强, 武毅, 邵汝君, 等. StratagemTM-EH4 电导率成像系统简介及应用[J]. 物探与化探, 1998, 22(6): 458-464. (GUO Jian qiang, WU Yi, SHAO Ru jun, et al. A Brief Description of the STRATAGEM EH-4 Electrical Conductivity Image-forming System and Its Application[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 1998, 22(6): 458-464. (in Chinese))
- [9] 李伟, 朱庆俊, 李巨芬, 等. 华北地方病严重区地下水勘查及供水安全示范 2010 年度报告[R]. 保定: 中国地质调查局水文地质环境地质调查中心, 2010. (LI Wei, ZHU Qing jun, LI Ju fen, et al. The 2010 Report of Serious Endemic Area for Groundwater Exploration in North China and the Water Supply Safety Demonstration[R]. Baoding: Center For Hydrogeology and Environmental Geology Survey, CGS, 2010. (in Chinese))
- [10] 王洪磊, 李伟, 吴洪涛. 复杂地区构造裂隙水勘查方法实践—以磁县南蛟村构造裂隙水勘查为例[J]. 地下水, 2009, 21(6): 121-124. (WANG Hong lei, LI Wei, WU Hong tao. Practice on the Method of Ectonic Crack Water Exploration in Complex Area[J]. Ground Water, 2009, 21(6): 121-124. (in Chinese))

(上接第 15 页)

- [15] 欧阳铭, 白若男, 朱国宇. 成都市水资源承载力动态变化及成因[J]. 南水北调与水利科技, 2012, 10(6): 110-114. (OU Yang ming, BAI Ru o nan, ZHU Guo yu. Dynamic Variation of Water Resources Carrying Capacity and Its Causes in Chengdu [J]. South to North Transfers and Water Science & Technology, 2012, 10(6): 110-114. (in Chinese))
- [16] 张岳. 中国水资源与可持续发展[M]. 南宁: 广西科学技术出版社, 2000: 2-3. (ZHANG Yue. China's Water Resources and Sustainable Development[M]. Nanning: Guangxi Science and Technology Publishing House, 2000: 2-3. (in Chinese))