

doi:10.11835/j.issn.1000-582X.2015.04.016

# 贵州省水资源生态足迹评价与预测

官冬杰<sup>1</sup>, 苏 印<sup>1</sup>, 苏维词<sup>2,3</sup>, 邱瑞希<sup>1</sup>

(1.重庆交通大学 河海学院, 重庆 400074; 2.重庆师范大学 地理与旅游学院, 重庆 400047;  
3.贵州科学院 山地资源研究所, 贵阳 550001)

**摘 要:**水资源是人类生产生活最关键的资源,对国民经济和社会发展有着不可替代的作用,是实现社会经济可持续发展的社会基础。依据水资源生态足迹的原理和模型,对贵州省 2001—2012 年水资源生态足迹、生态承载力进行分析。在此基础上,采用指数平滑法对贵州省 2013—2016 年水资源生态足迹与生态承载力进行预测。结果表明:在 2001—2012 年间贵州省人均水资源生态足迹总体上呈上升趋势;贵州省历年人均水资源生态承载力均大于生态足迹,存在一定的生态盈余,水资源可持续开发利用情况较好;2013—2016 年贵州省人均生态足迹呈上升趋势,2013 年人均生态承载力略微下降,水资源仍处于生态盈余状态,但生态盈余量有所减少。水资源生态足迹的变化与社会经济发展密切相关,应该充分考虑贵州省水资源的时空分布情况,调整产业结构,合理调度、利用水资源,促进贵州省整个社会经济的持续发展。

**关键词:**水资源;生态足迹;生态容量;指数平滑法;贵州省

**中图分类号:**P933

**文献标志码:**A

**文章编号:**1000-582X(2015)04-0112-09

## Assessment and forecast on ecological footprint of water resources in Guizhou Province

GUAN Dongjie<sup>1</sup>, SU Yin<sup>1</sup>, SU Weici<sup>2,3</sup>, QIU Ruixi<sup>1</sup>

(1.School of River and Ocean Engineering, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, P.R.China;  
2.Geography Science Institute, Chongqing Normal University, Chongqing 400047, P.R.China; 3.Institute of Mountain Resources of Guizhou Province, Guiyang 550001, P.R.China)

**Abstract:** Water resources are essential for production and life of human beings, as well as national economy and social development. So, water resources are the basis to realize the sustainable development of social economy. According to the basic principle and calculation model of water resources ecological footprint, the water resources ecological footprint and ecological carrying capacity in the period of 2001—2012 in Guizhou

**收稿日期:**2015-00-00

**基金项目:**国家自然科学基金(41201546,41261038);重庆市自然科学基金(cstc2012jjA20010);国家十二五科技支撑计划专题(2011BAC02B02);国家十二五科技支撑计划项目(2012BAJ25B09);贵州省重大科技专项(黔科合重大专项字〔2012〕6015号);国家重大科技水环境污染与控制治理专项(2009ZX07528~003,2012ZX07503~002)。Supported by National Natural Science Foundation of China(41201546, 41261038), Natural Science Foundation of Chongqing(cstc2012jjA20010), National Key Technology Research and Development Program of the Ministry of Science and Technology of China(2012BAJ25B09), Science and Technology Major Project of Guizhou Province (Grant No. Qian Ke He JZ Zi〔2012〕6015) and National Science and Technology Major Project of China (2009ZX07528~003,2012ZX07503~002)。

**作者简介:**苏印(1990-),男,重庆交通大学硕士研究生,研究方向喀斯特水资源利用和保护。

官冬杰(1980-),女,重庆交通大学教授,工学博士,研究方向生态环境监测和保护,(E-mail)guandongjie\_2000@163.com。

Province are analyzed. Then, the water resources ecological footprint and ecological carrying capacity in 2013—2016 is predicted by a method of quadratic exponential smoothing. The results show that the water resources ecological footprint per capita increase in the period of 2001—2012, and the ecological carrying capacity of water resources in Guizhou Province is more than the ecological footprint. As a net consequence, the ecological surplus exists. That is to say that the sustainable utilization of water resources in Guizhou Province is good so that the per capita ecological footprint in 2013—2016 in Guizhou Province will be rising. Although the per capita ecological carrying capacity in 2013 slightly fell, water resources were still in the ecologically surplus. Note that the ecological surplus amount decreased yearly. Such changes of water resources ecological footprint are closely related to socio-economic development. It is suggested that the industrial structure associated with the spatial-temporal distribution of water resources in Guizhou Province should be manipulated towards the rational management and use of water resources for further promoting the sustainable development of the overall socio-economy of Guizhou Province.

**Key words:** water resources; ecological footprint; ecological carrying capacity; exponential smoothing model; Guizhou Province

生态足迹法最早由加拿大经济学家 Rees 和其博士生 Wackernagel 在 20 世纪 90 年代提出<sup>[1]</sup>,该方法定量地将人类消耗的各种自然资源转化为对生态生产性土地的占用<sup>[2-3]</sup>。Stoeglehner 等<sup>[4]</sup>研究了区域的水供应足迹,Dong 等<sup>[5]</sup>评价了辽宁的水足迹,Ge 等<sup>[6]</sup>则评价了中国的水足迹。而 Fogarassy 等<sup>[7]</sup>是基于水津贴系数来计算水足迹的,Okadera 等<sup>[8]</sup>研究了泰国的能源产品和供应方面的水足迹。黄林楠等<sup>[9]</sup>将水资源消耗用地单独转化为一类土地占用类型,纳入生态足迹计算,建立了水资源生态足迹的计算模型。目前,已有多名学者对水资源生态足迹模型的基本理论、计算方法作了进一步的探讨,并针对特定地区作了水资源生态足迹<sup>[10]</sup>的实证分析研究:如卞羽等<sup>[11]</sup>对福建水资源生态足迹分析;邱微等<sup>[12]</sup>对黑龙江省水资源生态承载力的计算;李培月等<sup>[13]</sup>核算了银川市 2008 年水资源生态承载力和水资源生态足迹。陈栋为等<sup>[14]</sup>、常龙芳<sup>[15]</sup>、楚文海等<sup>[16]</sup>和王文国等就珠海市、云南省、西南地区和四川重庆<sup>[17-18]</sup>等省市地区的水资源生态承载力和生态足迹分别进行了核算。洪辉等<sup>[19]</sup>探讨了水资源生态足迹的模型和方法,范晓秋等<sup>[20]</sup>则对水资源生态足迹和生态承载力作了应用方面的研究。但都只是针对某一特定时间的评价和分析,少有对水资源生态足迹的逐年变动趋势做出评价,也没有对未来水资源生态足迹的发展趋势做出预测研究。笔者对贵州省 2001—2012 年水资源生态足迹、生态承载力进行计算和分析,并在此基础上采用指数平滑法对贵州省 2013—2016 年水资源生态足迹和生态承载力变动趋势作出预测,为有关部门对水资源的管理和规划提供一定的依据。

## 1 研究区域概况

贵州省位于中国西南部,地理位置介于东经  $103^{\circ}36' \sim 109^{\circ}35'$ 、北纬  $24^{\circ}37' \sim 29^{\circ}13'$  之间,面积约  $1.76 \times 10^5 \text{ km}^2$ 。地处云贵高原东部,属于亚热带季风气候。雨水充沛,光、热、水变化基本同步。省内河流多发源于中、西部,向南、北、东方向呈扇状放射,苗岭以北属长江流域,面积  $1.157 \times 10^5 \text{ km}^2$ ,苗岭以南属珠江流域,面积  $6.04 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。流域面积大于 1 000 平方公里的河流共 65 条。由于特定的地理位置和复杂的地形地貌,使贵州的气候和生态条件复杂多样,立体农业特征明显,适宜于进行农业的整体综合开发,发展特色农业。如图 1 所示。

## 2 研究方法

### 2.1 水资源生态足迹和水资源生态承载力模型

依据水资源生态足迹的概念内涵,同其他生态足迹账户一样,将消耗的水资源转化为相应账户的生产面积——水域面积,然后对其进行均衡化,得到用于全球范围内不同地区可以相互比较的均衡值。计算模型如下<sup>[4]</sup>。

$$EF_w = N \times ef_w = N \times r_w \times [W/p_w], \quad (1)$$

$$EC_w = N \times ec_w = 0.4 \times \psi_w \times r_w \times Q/p_w. \quad (2)$$

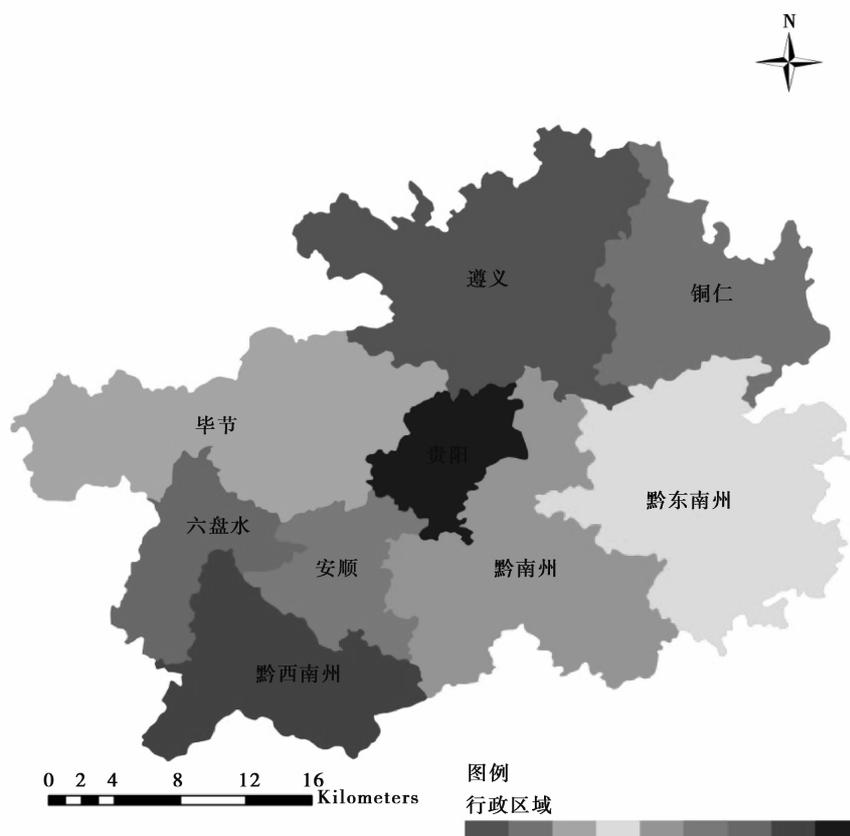


图 1 研究区域位置图

Fig.1 Location of the study area

式中： $EF_w$  为水资源总生态足迹， $hm^2$ ； $EC_w$  为水资源总生态承载力， $hm^2$ ； $N$  为人口数； $ef_w$  为人均水资源生态足迹， $hm^2/cap$ ； $ec_w$  为人均水资源生态承载力， $hm^2/cap$ ； $r_w$  为水资源的全球均衡因子； $p_w$  为水资源全球平均生产能力， $m^3/hm^2$ ； $W$  为人均消耗的水资源量， $m^3$ ； $\phi_w$  为区域水资源用地产量因子； $Q$  为水资源总量， $m^3$ 。公式中的乘以 0.4，是扣除了 60% 用于维持生态环境的水资源量<sup>[21]</sup>。

## 2.2 水资源生态赤字和盈余

把水资源生态足迹和水资源生态承载力作比较，得到水资源生态赤字或水资源生态盈余，该指标用来判断水资源的可持续利用情况。

$$EZ_w = EC_w - EF_w, \quad (3)$$

式中： $EZ_w$  为水资源生态盈余(赤字)。

## 2.3 万元 GDP 水资源生态足迹

万元国内生产总值(GDP)水资源生态足迹是指区域水资源生态足迹与区域 GDP 的比值，用来衡量水资源的利用效率，计算公式如下。

$$\text{万元 GDP 水资源生态足迹} = EF_w / \text{GDP}. \quad (4)$$

## 2.4 水资源生态压力指数

根据王俭等<sup>[22]</sup>研究的城市水资源生态足迹核算模型及应用，这里引用其研究水资源生态压力指数方法，对贵州省水资源压力状态进行评价。

$$EQ = ef_w / ec_w, \quad (5)$$

式中， $EQ$  为水资源生态压力指数。

## 2.5 资料来源

数据主要来源于《贵州省水资源公报》、《贵州省统计年鉴》和《贵州年鉴》(2001—2012)。

## 2.6 主要参数确定

本研究所涉及的参数主要为水资源的全球均衡因子  $r_w$ 、区域水资源的产量因子  $\phi_w$ 、水资源全球平均生产能力  $p_w$ 。均衡因子是为了将不同土地类型的单位生态生产能力转化成一个可比较的标准,笔者采用基于 WWF 2000 年核算的均衡因子计算出的水资源的全球均衡因子,为 5.19。区域水资源的产量因子为该区域水资源平均生产能力与世界水资源平均生产能力的比值,贵州省产量因子为 1.87。水资源全球平均生产能力被定义为全球多年平均产水模数,为  $3\ 140\ \text{m}^3/\text{hm}^2$ 。

## 3 结果与分析

### 3.1 贵州省历年水资源生态足迹与生态承载力

贵州省水资源生态足迹总体上呈缓慢上升的趋势,历年有所波动,但波动范围较小。2001 年最低  $14.41\ \text{Mhm}^2$ ,2010 年达到历年最高值  $16.91\ \text{Mhm}^2$ (图 2);从贵州省水资源生态承载力计算结果来看(图 3),各年份之间差异较大,最高年份为 2008 年,达  $53.28\ \text{Mhm}^2$ ,而最低的年份 2011 年仅有  $26.89\ \text{Mhm}^2$ ,减少了 49.5%。主要原因是 2011 年贵州省降水量不足,同比较低了 20% 以上,年水资源总量同比降低了 40% 以上,经计算水资源生态承载力与各年份之间的降水量呈显著的正比关系。干旱洪涝等自然灾害对贵州省水资源生态承载力影响较大。

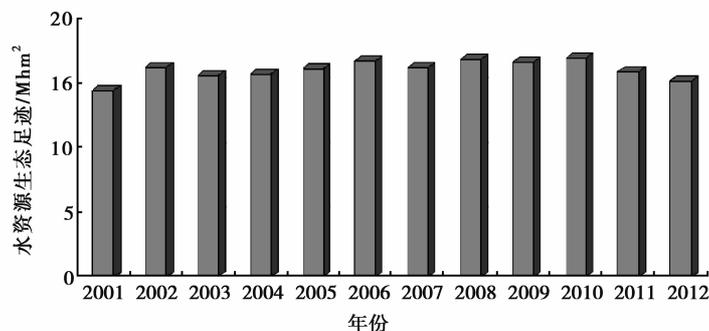


图 2 贵州省 2001—2012 年水资源生态足迹

Fig.2 Ecological footprint of water resources in Guizhou Province from 2001 to 2012

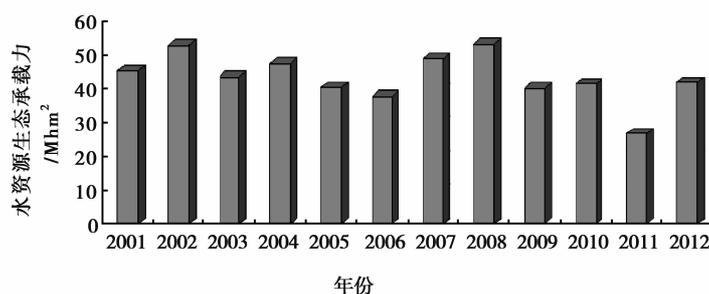


图 3 贵州省 2001—2012 年水资源生态承载力

Fig.3 Ecological carrying capacity of water resources in Guizhou Province from 2001 to 2012

从图 4 可以看出,从 2001 年到 2012 年,贵州省人均水资源生态足迹总量保持在  $0.38\sim 0.48\ \text{hm}^2/\text{人}$  之间,整体水平处于上升趋势;贵州省人均水资源生态承载力在  $0.77\sim 1.41\ \text{hm}^2/\text{人}$  之间,人均水资源生态承载力在各年份之间的变化趋势与总水资源生态承载力的变化趋势相同,最高值出现在 2008 年,最低值出现在 2011 年。

### 3.2 贵州省历年水资源指数分析

从图 4 可以直观的看出贵州省 2001—2012 年水资源人均生态足迹量均低于当年人均生态承载力量,水资源处于生态盈余,满足可持续发展的要求,但各年的生态盈余大小有所差异,2011 年生态盈余最少,2008 年生态盈余最多。在生态足迹变化不大的情况下,生态盈余量主要取决于生态承载力的变化。

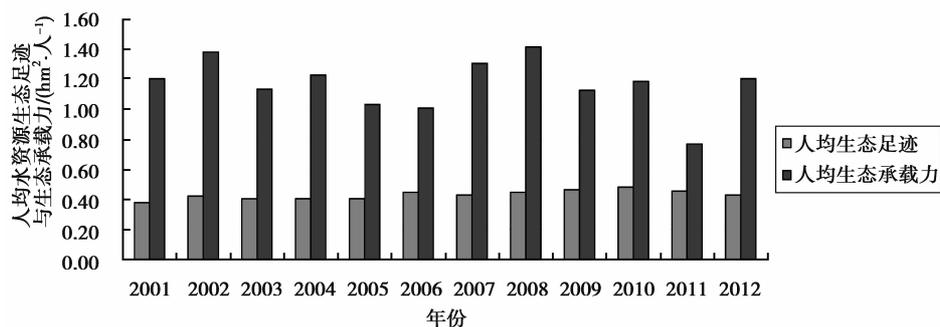


图 4 贵州省 2001—2012 年人均水资源生态足迹和生态承载力

Fig.4 Ecological footprint of water resources per capita and ecological carrying capacity of water resource per capita in Guizhou Province from 2001 to 2012

从图 5 可以看到,贵州省 2001—2012 年万元 GDP 水资源生态足迹呈明显下降趋势,说明贵州省在 2001—2012 年期间水资源开发利用程度和利用效率在不断提高。从 2002 年开始万元 GDP 水资源生态足迹开始逐年降低,基本上呈直线下降。这与贵州省从 2002 年开始调整经济结构,大力发展绿色产业和打造以旅游业、服务业等低消耗产业为主导产业是分不开的。

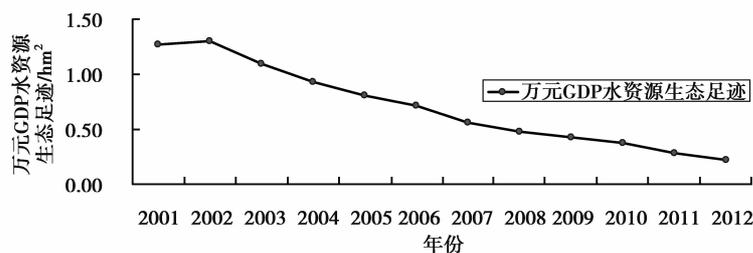


图 5 贵州省 2001—2012 年万元 GDP 水资源生态足迹

Fig.5 Ecological footprint of water resources for ten thousand Yuan GDP in Guizhou Province from 2001 to 2012

从图 4 得到,贵州省在 2008 年生态盈余最多,生态压力指数是最低的;在 2011 年生态盈余最少的时候,生态压力指数也是最高的。其中 2006 年的旱灾以及 2011 年的降水量减少是造成当年水资源生态压力指数明显升高的主要原因,生态压力指数变化趋势与水资源生态盈余量的变化是相辅相成的(图 6)。

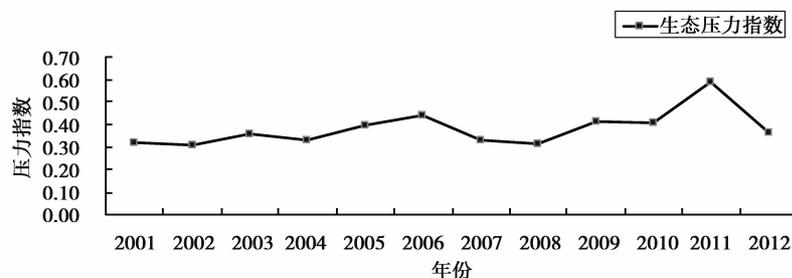


图 6 贵州省 2001—2012 年水资源生态压力指数

Fig.6 Ecological pressure index of water resources in Guizhou Province from 2001 to 2012

### 3.3 基于指数平滑模型的预测

生态足迹评价法有效地评价了目前贵州省水资源可持续发展状况,得出水资源可持续发展<sup>[23]</sup>的宝贵经验,但是对未来水资源可持续发展展望不足。指数平滑法(Exponential Smoothing, ES)是布朗<sup>[24]</sup>(Robert G. Brown)所提出,是移动平均法中的一种,其特点在于给过去的观测值不一样的权重,即较近期观测值的权重比较远期观测值的权重要大,预测值是以前观测值的加权和。通过得到的2001—2012年贵州省水资源生态足迹以及生态承载力来对未来进行预测,最后进行相关评价。指数平滑预测模型如下<sup>[25-26]</sup>。

$$S_t = \alpha y_t + (1 - \alpha) S_{t-1}, \quad (6)$$

$$S_t^{(1)} = \alpha y_t + (1 - \alpha) S_{t-1}^{(1)}, \quad (7)$$

$$S_t^{(2)} = \alpha S_t^{(1)} + (1 - \alpha) S_{t-1}^{(2)}. \quad (8)$$

一次指数平滑预测公式:

$$\hat{y}_{t+1} = \alpha y_t + (1 - \alpha) \hat{y}_t. \quad (9)$$

二次指数平滑预测模型:

$$\hat{y}_{t+k} = a_t + b_t k, \quad (10)$$

$$a_t = 2S_t^{(1)} - S_t^{(2)}, \quad (11)$$

$$b_t = \frac{\alpha}{1 - \alpha} (S_t^{(1)} - S_t^{(2)}). \quad (12)$$

式中: $S_t$ 是时间 $t$ 的平滑值, $y_t$ 是时间 $t$ 的实际值, $S_{t-1}$ 是时间 $t-1$ 的平滑值, $\alpha$ 为平滑系数,其取值范围为 $[0, 1]$ ;  $S_t^{(1)}$ 为一次指数平滑值,  $S_t^{(2)}$ 为二次指数平滑值,  $S_{t-1}^{(2)}$ 为时间 $t-1$ 的二次指数平滑值;  $\hat{y}_{t+1}$ 是时间 $t+1$ 的一次指数预测值(即时间 $t$ 的平滑值);  $y_t$ 是时间 $t$ 的实际值;  $\hat{y}_t$ 为时间 $t$ 的一次指数预测值(时间 $t-1$ 的平滑值),  $k$ 为从基期 $t$ 到预测期的期数,  $\hat{y}_{t+k}$ 是时间 $t+k$ 的二次指数预测值。

这里采用试算法对 $\alpha$ 进行确定,将 $\alpha$ 分别取值为0.1, 0.3, 0.6, 0.9进行一次平滑计算,最后计算预测值与实际值误差的标准差,选取标准差最小的 $\alpha$ 值;经计算得到当平滑系数 $\alpha=0.3$ 时,标准差最小,则误差最小,则更加稳定,所以确定预测水资源人均生态足迹平滑系数 $\alpha=0.3$ ;同理,确定预测水资源人均生态承载力的平滑系数 $\alpha=0.9$ ;初始值的确定:即第一期的预测值,如果原数列的项数较少时(小于15项),可以选取最初几期(一般为前三期)的平均数作为初始值。

表1 贵州省人均水资源生态足迹指数平滑值

Table 1 The exponential smoothing value of ecological footprint of water resources per capita in Guizhou Province

年份	$t$	人均生态足迹	$S_t^{(1)} = \alpha y_t + (1 - \alpha) S_{t-1}^{(1)}, a = 0.3,$ 初始值为 0.403 01	$S_t^{(2)} = \alpha S_t^{(1)} + (1 - \alpha) S_{t-1}^{(2)}, a = 0.3,$ 初始值为 0.396 53
2001	1	0.381 41	0.396 53	
2002	2	0.423 23	0.404 54	0.398 93
2003	3	0.404 39	0.404 50	0.400 60
2004	4	0.403 49	0.404 19	0.401 68
2005	5	0.410 20	0.406 00	0.402 97
2006	6	0.445 67	0.417 90	0.407 45
2007	7	0.430 94	0.421 81	0.411 76
2008	8	0.445 80	0.429 01	0.416 93
2009	9	0.465 11	0.439 84	0.423 81
2010	10	0.482 16	0.452 53	0.432 42
2011	11	0.456 27	0.453 66	0.438 79
2012	12	0.435 06	0.448 08	0.441 58

由表1可以看出,人均生态足迹经过一次指数平滑后呈现出明显的直线趋势,因此,选用二次指数平滑法进行预测:将数据代入二次指数预测公式,所求模型为 $\hat{y}_{12+k} = 0.454\ 58 + 0.002\ 79\ k$ 。

当 $k=1$ 时,2013年人均水资源生态足迹预测值:0.457 37  $\text{hm}^2$ 。

当 $k=2$ 时,2014年人均水资源生态足迹预测值:0.460 16  $\text{hm}^2$ 。

当  $k = 3$  时, 2015 年人均水资源生态足迹预测值:  $0.462\ 95\ \text{hm}^2$ 。

当  $k = 4$  时, 2016 年人均水资源生态足迹预测值:  $0.465\ 74\ \text{hm}^2$ 。

从得出的预测值可发现, 人均生态足迹呈缓慢增长趋势, 增长量较低, 在经济快速发展的贵州, 若未同时开发出相应的绿色生产技术, 生态足迹量必然升高。通过预测值发现贵州省在预测四年内水资源生态足迹处于一个较为安全的增长幅度, 在经济发展的同时, 促使经济与环境保护相结合, 时刻具有危机意识, 做好应对自然灾害的措施, 防止生态赤字发生。

表 2 贵州省人均水资源生态承载力指数平滑值

Table 2 The exponential smoothing value of ecological carrying capacity of water resources per capita in Guizhou Province

年份	$t$	人均生态承载力	$S_t^{(1)} = \alpha y_t + (1-\alpha)S_{t-1}^{(1)}$ $\alpha = 0.9$ , 初始值为 1.238 85
2001	1	1.202 34	1.205 99
2002	2	1.381 61	1.364 05
2003	3	1.132 58	1.155 73
2004	4	1.225 09	1.218 16
2005	5	1.031 85	1.050 48
2006	6	1.007 16	1.011 49
2007	7	1.303 87	1.274 64
2008	8	1.410 26	1.396 70
2009	9	1.125 64	1.152 75
2010	10	1.182 61	1.179 63
2011	11	0.773 98	0.814 54
2012	12	1.204 22	1.165 26

由表 2 可以看出, 人均生态承载力经过一次指数平滑后无明显趋势性, 故选用一次指数平滑预测。2013 年人均水资源生态承载力预测值为  $1.165\ 26\ \text{hm}^2$ 。由于水资源量与生态承载力呈正相关, 所以若无特大自然灾害, 降水量不足等, 其生态承载力一般是一个平稳的状态。

#### 4 讨论与建议

为了更好地说明贵州省水资源生态足迹的情况, 通过横向对比具有相同背景环境的西南地区不同省份同一时期内的水资源生态足迹, 得出贵州省水资源的具体利用情况。因此, 选择云南<sup>[13]</sup>、四川<sup>[17]</sup>两省作为与贵州省对比评价的对象。从 2001 年到 2012 年, 贵州省水资源生态足迹为  $14.41 \sim 16.91\ \text{Mhm}^2$ , 但均低于同期云南省的  $25\ \text{Mhm}^2$  和四川省的  $34 \sim 37\ \text{Mhm}^2$ , 贵州省水资源生态承载力为  $26.89 \sim 53.28\ \text{Mhm}^2$ , 云南省为  $175 \sim 285\ \text{Mhm}^2$ , 四川省处在  $228 \sim 358\ \text{Mhm}^2$  之间; 贵州省人均水资源生态足迹在  $0.38 \sim 0.48\ \text{hm}^2/\text{人}$  之间, 人均水资源生态承载力  $0.77 \sim 1.41\ \text{hm}^2/\text{人}$  之间, 云南省人均水资源生态足迹  $0.53 \sim 0.57\ \text{hm}^2/\text{人}$ , 人均水资源生态承载力  $3.83 \sim 6.65\ \text{hm}^2/\text{人}$ , 四川省人均水资源生态足迹为  $0.40 \sim 0.41\ \text{hm}^2/\text{人}$ , 人均水资源生态承载力  $2.6 \sim 4.2\ \text{hm}^2/\text{人}$ 。

贵州省水资源总的生态足迹比云南省和四川省低, 说明社会经济发展的需水量要低于云南和四川, 贵州省水资源生态承载力也相对云南、四川较低, 而且年际变化幅度量大, 与云南、四川类似都与降水呈正相关, 说明西南地区水资源承载力高低很大程度上依赖于降水量。川滇黔西南三省的人均水资源生态足迹均小于我国东部地区福建省<sup>[9]</sup>的  $0.8\ \text{hm}^2/\text{人}$ , 水资源生态足迹反映社会发展对水资源的需求量, 水资源生态足迹和人均水资源生态足迹越高, 社会经济水平发展越高, 作为我国的内陆大省贵州省大部分地区以岩溶地貌为主, 经济发展落后, 对水资源的需求量小于我国东部经济发达地区, 也低于四川、云南两省, 但是随着近年“西部大开发”的深入, 对水资源需求量加大, 水资源生态足迹表现出上升趋势。贵州省人均水资源生态盈余在  $0.39 \sim 0.93\ \text{hm}^2/\text{人}$  之间, 水资源量可开发利用的空间不大, 随着水资源足迹的增长, 在不改变目前水资源承载力的情况下, 生态盈余会转变为生态赤字, 水危机将到来。因此, 为根本扭转贵州省目前的水资源短缺形势, 改善水资源的可持续利用状况, 首先要增强水资源保护意识, 改善生产和生活消费方式, 建立水资源节约型的生产和消费体系, 使粗放型、消耗型的水资源利用方式向集约型、节约型转变; 其次采用节水设施技术和跨流域调水工程来弥补水资源量方面的不足; 最后, 考虑到水污染问题对水资源可持续利用的影响, 在推进

清洁生产,减少污水排放的同时,应促进污水的资源化,通过污水的重复利用,减少水资源的需求总量,以实现水资源可持续利用的目标。

从贵州省万元 GDP 水资源生态足迹由 2002 年的 1.30  $\text{hm}^2$  下降到 2012 年的 0.22  $\text{hm}^2$  来看,相比云南省万元 GDP 水资源生态足迹由 1.13  $\text{hm}^2$  下降到 0.34  $\text{hm}^2$ ,四川省万元 GDP 水资源生态足迹 0.8  $\text{hm}^2$  下降到 0.3  $\text{hm}^2$ ,贵州省的下降幅度是最大的,降低了 1.08  $\text{hm}^2$ ,并且已经低于云南省和四川省,进一步下降的空间不大,说明近十年贵州省的水资源开发利用程度和利用效率在加速提高,这与贵州省加大水利工程的投入是密切相关的。

笔者对贵州省 2001—2012 年的水资源生态足迹和生态承载力作了核算,同相邻省份作了对比,能够为贵州省的水资源利用提供参考依据,并在次基础上对人均水资源生态足迹和生态承载力作了预测。由于学术界对水资源账户细类划分及水资源生态足迹计算方法的研究差异性很大,因此,本文的计算模型还有待进一步检验和完善,虽然本文构建的指数模型通过了检验,能满足预测人均水资源生态足迹的要求,但只能进行短期预测,且初始值和平滑系数的确定有待进一步研究和探讨。

## 5 结 论

从总体而言,贵州省水资源丰富,水资源生态承载力较高,生态盈余较大,可开发利用空间较大。

1)贵州省 2001—2012 年水资源总的生态足迹呈缓慢上升的趋势,历年有所波动,但波动范围较小;总的生态承载力历年变化较大,水资源主要来自于降水,水资源承载力与降水量相关联,在干旱灾害年份,水资源承载力降低,导致生态盈余减少,对水资源的可持续利用造成影响,很大程度上依赖于自然气候变化;贵州省水资源人均生态足迹相对云南、四川偏低,对水资源的开发利用程度不高。

2)随着经济和科技的发展,万元 GDP 水资源生态足迹逐年下降,贵州省对水资源的利用率正在逐步提高;水资源生态压力指数与生态盈余相关联,从压力指数的大小可以对水资源的可持续利用做出预警。

3)对贵州省 2013—2016 年的人均水资源生态足迹预测表明,人均水资源生态足迹在逐渐升高,可以预见水资源的开发利用程度将提高;人均生态承载力未来的变化具有突变性,无明显趋势,2013 年的人均生态承载力预计为 1.165  $\text{hm}^2$ ,较 2012 年有所下降。

### 参考文献:

- [1] Rees W, Wackernagel M. Urban ecological footprint: Why cities cannot be sustainable-and why they are a key to sustainability[J]. *Environmental Impact Assessment Review*, 1996, 16(4/5/6): 223-248.
- [2] Rees W, Wackernagel M. Our ecological footprint: Reducing human impact on the earth[M]. Gabriola Island: New Society Publishers, 1996.
- [3] Wackernagel M, Onist I, Bell P, et al. National natural capital accounting with the ecological footprint concept[J]. *Ecological Economics*, 1999, 29(3): 375-390.
- [4] Stoeglehner G, Edwards P, Daniels P, et al. The water supply footprint (WSF): A strategic planning tool for sustainable regional and local water supplies[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2011, 19(15): 1677-1686.
- [5] Dong H J, Geng Y, Sarkis J, et al. Regional water footprint evaluation in China: A case of Liaoning[J]. *Science of the Total Environment*, 2013, 442(1): 215-224.
- [6] Ge L Q, Xie G D, Zhang C X, et al. An evaluation of China's water footprint[J]. *Water Resources Management*, 2011, 25(10): 2633-2647.
- [7] Fogarassy C, Neubauer É, Böröcz Bakosné M, et al. Water footprint based water allowance coefficient[J]. *Water Resources and Industry*, 2014, 7/8: 1-8.
- [8] Okadera T, Chontanawat J, Gheewala S H. Water footprint for energy production and supply in Thailand[J]. *Energy*, 2014, 77(12): 49-56.
- [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): 1280-1286.  
HUANG Linnan, ZHANG Weixin, JIANG Cuiling, et al. Ecological footprint method in water resources assessment[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 28(3): 1280-1286. (in Chinese)
- [10] 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)
- [11] 卞羽, 洪伟, 陈燕, 等. 福建水资源生态足迹分析[J]. *福建林学院学报*, 2010, 30(1): 1-5.  
BIAN Yu, HONG Wei, CHEN Yan, et al. Analysis of ecological footprint of water resources in Fujian Province[J]. *Journal of Fujian College of Forestry*, 2010, 30(1): 1-5. (in Chinese)

- [12] 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 Qingxin, 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)
- [13] 李培月, 钱会, 吴健华, 等. 银川市 2008 年水资源生态足迹研究与分析[J]. 南水北调与水利科技, 2010, 8(1): 69-71.  
LI Peiyue, QIAN Hui, WU Jianhua, et al. Study and analysis of water resources ecological footprint of 2008 in Yinchuan City[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2010, 8(1): 69-71. (in Chinese)
- [14] 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.  
CHEN Dongwei, CHEN Xiaohong, KONG Lan. The calculations and analysis of regional ecological water resources carrying capacity cabased on ecological footprint analysis method[J]. Ecology and Environmental Sciences, 2009, 18(6): 2224-2229. (in Chinese)
- [15] 常龙芳. 云南省水资源生态足迹与生态承载力动态分析[J]. 云南地理环境研究, 2012, 24(5): 107-110.  
CHANG Longfang. Dynamic analysis of water resources ecological footprint and ecological carrying capacity in Yunnan province[J]. Yunnan Geographic Environment Research, 2012, 24(5): 107-110. (in Chinese)
- [16] 楚文海, 吴晓微, 韩慧波, 等. 西南岩溶地区水资源可持续利用评价[J]. 资源科学, 2008, 30(3): 468-473.  
CHU Wenhai, WU Xiaowei, HAN Huibo, et al. Evaluation method for sustainable water resources use in southwestern karst region of China[J]. Resources Science, 2008, 30(3): 468-473. (in Chinese)
- [17] 洪辉, 付娜. 浅谈水资源生态足迹和生态承载力的研究[J]. 山西建筑, 2007, 33(30): 200-201.  
HONG Hui, FU Na. Study on ecological footprint and ecological carrying capacity of water resources [J]. Shanxi Architecture, 2007, 33(30): 200-201. (in Chinese)
- [18] 王文国, 龚久平, 青鹏, 等. 重庆市水资源生态足迹与生态承载力分析[J]. 生态经济, 2011(7): 159-162.  
WANG Wenguo, GONG Jiuping, QING Peng, et al. Analysis of water resources ecological footprint and ecological carrying capacity in Chongqing city[J]. Ecological Economy, 2011(7): 159-162. (in Chinese)
- [19] 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 spatio-temporal characteristics of water resources ecological footprint and ecological carrying capacity in Sichuan province[J]. Journal of Natural Resources, 2011, 26(9): 1555-1565. (in Chinese)
- [20] 范晓秋. 水资源生态足迹研究与应用[D]. 南京: 河海大学, 2005.  
FAN Xiaochu. Study on the principle of water resources ecological footprint and application in Jiangsu province[D]. Nanjing: Hohai University, 2005. (in Chinese)
- [21] 马静, 汪党猷, 来海亮, 等. 中国区域水足迹的估算[J]. 资源科学, 2005, 27(5): 96-100.  
MA Jing, WANG Dangxian, LAI Hailiang, et al. Water footprint: An application in water resources research [J]. Resources Science, 2005, 27(5): 96-100. (in Chinese)
- [22] 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 Shenyang city of Northeast China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2012, 23(8): 2257-2262. (in Chinese)
- [23] 魏素娟, 张钰. 基于 AHP 法对甘肃内陆河流域水资源可持续利用的评价[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(1): 483-485.  
WEI Sujiang, ZHANG Yu. Evaluation on sustainable utilization of water resources in the Inland River Basin of Gansu Province based on AHP[J]. Journal of Anhui Agricultural Science, 2011, 39(1): 483-485. (in Chinese)
- [24] Brown R G. Exponential smoothing for predicting demand[R]. Cambridge, Massachusetts: Arthur D. Little Inc. 1956, 15.
- [25] 何大四, 张旭. 改进的季节性指数平滑法预测空调负荷分析[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2005, 33(12): 1672-1676.  
HE Dasi, ZHANG Xu. Analysis of air conditioning load prediction by modified seasonal exponential smoothing model[J]. Journal of Tongji University(Natural Science), 2005, 33(12): 1672-1676. (in Chinese)
- [26] 张卫中, 尹光志, 唐建新, 等. 指数平滑技术在重庆市煤炭需求预测中的应用[J]. 重庆大学学报(自然科学版), 2006, 29(1): 110-116.  
ZHANG Weizhong, YIN Guangzhi, TANG Jianxin, et al. Application of the forecasting model of exponential smoothing to the forecast of the coal wastage in Chongqing[J]. Journal of Chongqing University (Natural Science Edition), 2006, 29(1): 110-116. (in Chinese)