

# 用指数平衡法对广西西江流域水资源承载能力的分析

孙光 罗遵兰\* 徐靖 李俊生 吕凤春

(中国环境科学研究院 环境基准与风险评估国家重点实验室,北京 100012)

**摘要** 采用水资源承载力平衡指数法,分析广西西江流域未来10年不同情景条件下的水资源承载力状况。在假设西江流域水资源开发利用率达到40%的条件下的计算结果表明,在最小用水量情景下,除南宁市水资源短缺外,其他地区水资源均可承载其社会经济发展水平;在最大用水量情景下,贵港市也会出现水资源短缺状况,但西江流域整体水资源盈余,西江流域水资源基本能够承载其社会经济、人口发展规模。因此,广西西江流域未来水资源承载力保障的前提是提高该流域的水资源开发利用率。

**关键词** 西江流域; 水资源承载力; 指数平衡法

中图分类号 TV 213

文章编号 1007-4333(2013)05-0057-05

文献标志码 A

## Water resource carrying capacity based on the index balance method in the Xijiang River Basin, Guangxi

SUN Guang, LUO Zun-lan\*, XU Jing, LI Jun-sheng, LÜ Feng-chun

(State Key Laboratory of Environmental Criteria and Risk Assessment, CRAES, Beijing 100012, China)

**Abstract** Water resource carrying capacity balance index was used to analyze the water resource carrying capacity under different scenarios of Xijiang River Basin, Guangxi in next 10 years. The results showed that the water resource could support the social & economic development of the most administrative units except Nanning in the basin under minimum water utilization scenario, assuming the water resources development and utilization rate reached to 40%. A water resource shortage was likely to occur in Guigang while using maximum water utilization scenario, but water resource in whole basin still had a favorable balance, indicating the water resource might support the social & economic development in Xijiang River Basin on the whole. It is evident that the improvement in the water resource development and utilization efficiency is the safeguard to guarantee the water resource carrying capacity in Xijiang River Basin in the future.

**Key words** Xijiang River Basin; water resource carrying capacity; index balance method

水是人类及一切生物赖以生存的不可替代的物质基础,是人类社会可持续发展的基本条件,是工、农业生产和社会发展的战略性资源,是生态环境的控制性因素,也是发展国民经济不可缺少的重要自然资源。随着经济的发展和人口的增长,越来越多的地区出现水资源紧张的局势,水资源短缺将制约我国社会经济的可持续发展。水资源供需平衡问题日益成为可持续发展研究的重点和热点问题。

水资源承载力研究是保证水资源可持续利用,寻求区域可持续发展的重要依据。在水资源日益紧缺的今天,科学合理开发水资源是保障区域经济发展的重要基础,如何使一个流域可利用的水资源量能够支撑区域经济发展规模是水资源承载力研究的主要问题。目前很多学者开展了区域水资源承载力方面的研究,苏伟等<sup>[1]</sup>通过对GDP和人口的增长预测了未来10年长春市水资源承载能力,未来10年

收稿日期: 2013-03-07

基金项目: 国家环境保护部《生物多样性公约》项目(1441100036); 环保公益性行业科研专项(201209031)

第一作者: 孙光,工程师,硕士,主要从事水资源与水环境保护研究,E-mail:sunny82528@163.com

通讯作者: 罗遵兰,助理研究员,主要从事水资源与水环境保护研究,E-mail:luozunlan@163.com

长春市水资源供需矛盾突出,水资源承载能力无法维持经济和社会的正常发展。顾康康等<sup>[2]</sup>对辽中地区矿业城市水资源进行供需平衡分析表明鞍山市用水高度紧张,抚顺和本溪市用水中高度紧张。李明<sup>[3]</sup>利用供需平衡模型预测了重庆人口从现在的880万到2020年的1400万人的水资源承载力,表明到2020年水资源不会成为社会和经济发展的瓶颈。

本研究以指数平衡法为理论基础,在人口和GDP不断增长的状况下,对广西西江流域未来的生活和生产用水状况进行估算,分析水资源承载力,从经济发展的角度为研究广西西江流域的水资源供需平衡提供参考。

## 1 研究区概况

西江是珠江流域的主干流,是广西壮族自治区的重要水系,西江在广西境内河长869 km,主要支流有南盘江、红水河、黔浔江、柳江、桂江、郁江及贺江。涉及11个地级市,主要包括南宁、崇左、河池、柳州、来宾、贺州和梧州市的全部辖区,百色市的绝大部分辖区,桂林和玉林市的部分辖区。西江流域年平均气温在16.5~23.1℃之间,各地年降水量为1080~2760 mm。区域土地面积22.69万km<sup>2</sup><sup>[4]</sup>,2010年末流域内总人口4532.59万人<sup>[4]</sup>,流域生产总值8320.51亿元<sup>[4]</sup>,三次产业结构为17:47:36<sup>[4]</sup>。2010年流域总用水量269.30亿m<sup>3</sup><sup>[4]</sup>。

## 2 研究方法

采用水资源承载力平衡指数法,分析西江流域未来10年在2种人口自然增长率和2种经济发展规模情景模式下,水资源承载力是否超载,是否满足社会及经济发展需求。

水资源承载力平衡指数分析法采用水资源承载力平衡指数(IWSD)确定流域水资源是否超载,水资源承载力平衡指数计算方法如式(1)所示<sup>[5]</sup>,当IWSD<0,说明流域可供水量不能支撑该情景下的社会经济系统;当IWSD≥0,说明流域可供水量可支撑该情景下的社会经济系统,流域水资源开发利用与流域人口及经济发展规模是可持续发展型,水资源供需状态良好。

$$IWSD = 1 - \frac{W_D}{W_S} \quad (1)$$

式中: $W_S$ 为可利用水资源量,m<sup>3</sup>。

流域可利用水资源量采用式(2)计算

$$W_S = \alpha(W_L + W_T) \quad (2)$$

式中: $\alpha$ 为水资源开发利用率,%; $W_L$ 为地表水资源量,m<sup>3</sup>; $W_T$ 为地下水资源量,m<sup>3</sup>。

$W_D$ 为水资源需求总量,m<sup>3</sup>。需水量 $W_D$ 是水资源承载力分析的必要因素之一,其计算方法如式(3)所示。

$$W_D = W_P + W_A + W_I + W_M \quad (3)$$

式中: $W_P$ 为生活需水量,m<sup>3</sup>; $W_A$ 为农业需水量,m<sup>3</sup>; $W_I$ 为工业需水量,m<sup>3</sup>; $W_M$ 为环境和其他需水量,m<sup>3</sup>。

1)生活需水量。由于西江流域人口的不断增长及城市化进程的加快,城镇人口所占比例将越来越大,因此对生活需水量考虑西江流域人口增长及城市化率进行预测,根据《城镇居民生活用水量标准》(GB/T 50331—2002),广西属于四区,城镇生活用水量为150~220 L/(人·d),《农村生活用水量卫生标准》(GB11730—89),广西属于IV类气候分区,农村生活用水量为100~180 L/(人·d),本研究根据广西2010年实际发生的居民生活用水状况取值,即城镇生活用水量取值185 L/(人·d),农村生活用水量取值140 L/(人·d)。

情景一:2010—2020年,按照历年流域人口自然增长率计算,8.65%。

情景二:2010—2020年,按照广西“十二五”规划流域人口自然增长率计算,9%。

2)农业需水量。随着政府不断增加对农业灌溉节水工程的投资,完成渠道防渗工程,对大型灌区进行节水改造等工程措施的实施,在耕地种植面积基本保持不变的情况,将会提高农业灌溉水系数,使农田灌溉水有效利用系数从0.415<sup>①</sup>提高到2015年的0.45<sup>①</sup>,2020年的0.50。

3)工业需水量。2010年西江流域生产总值8320.51亿元。三次产业结构为17:47:36,其中工业比重为40.6%,工业生产总值为3381.07亿元<sup>[4]</sup>。

情景一:2010—2020年,按照广西“十二五”规划GDP年均增长率计算,10%。

① 数据来源于《广西壮族自治区国民经济和社会发展第十二个五年规划纲要》

情景二：2010—2020 年，按照历年流域 GDP 年均增长率计算，18.9%。

根据广西壮族自治区国民经济和社会发展“十二五”规划纲要，到 2015 年工业增加值占地区生产总值比重提高 5 个百分点，工业比重达到 45.6% 左右。

4) 其他需水量。2010 年其他用水量为 36.52 亿 m<sup>3</sup>[4]。随着社会经济不断发展，按照每年增加 1% 的比例估算 2015 和 2020 年西江流域其他用水量。

5) 供水量。2004—2010 年西江流域年平均供水量为 275.27 亿 m<sup>3</sup>[4]，其中地表水年平均供水量 263.50 亿 m<sup>3</sup>，地下水年平均开采量 11.77 亿 m<sup>3</sup>；地表水源供水量占总供水量的 95.72%，地下水源占 4.28%[4]，表明西江流域供水工程以地表水源供水

为主。2010 年西江流域地表水资源量为 1 614.08 亿 m<sup>3</sup>，地下水资源量为 352.86 亿 m<sup>3</sup>。流域可供水量即为流域可利用水资源量，由式(2)可得水资源开发利用率为式(4)：

$$\alpha = W_s / (W_L + W_T) \quad (4)$$

计算得出，2010 年西江流域水资源综合开发利用率为 13.99%。

### 3 结果与讨论

#### 3.1 流域水资源承载力分析

按照上述方法，计算出 2015 年西江流域需水量为 331.57 亿~359.15 亿 m<sup>3</sup>，2020 年西江流域需水量为 311.45 亿~440.84 亿 m<sup>3</sup>，如表 1 所示。

表 1 西江流域总需水量预测  
Table 1 Total water demand forecast in Xijiang River Basin 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>

项目 Project	情景 Scene	年份 Years		
		2010	2015	2020
生活需水量 Life water demands	情景一：人口自然增长率 8.7% 情景二：人口自然增长率 10.0%	25.96	29.40	31.37
农业需水量 Agriculture water demands		156.50	144.33	129.90
工业需水量 Industry water demands	情景一：GDP 增长率 13% 情景二：GDP 增长率 18.9%	50.32	99.45	109.83
其他用水量 Other water demands		36.52	38.39	40.35
总需水量 Total water demands	最少用水情景下 最多用水情景下	269.30	311.57	311.45
		269.30	359.15	440.84

2010 年西江流域水资源综合开发利用率为 13.99%，距离世界上公认的水资源紧缺地区的水资源开发利用率<sup>[6]</sup>(40.00%)有一定距离，说明西江流域水资源开发有一定潜力。若按照水资源开发利用率允许值 40.00% 计算，则可开发利用的地表水资源量为 645.63 亿 m<sup>3</sup>，地下水资源量为 141.14 亿

m<sup>3</sup>，水资源总量为 786.77 亿 m<sup>3</sup>。

假设西江流域水资源开发利用率达到 40%，则 2015 和 2020 年流域水资源承载力平衡指数均大于 0，如表 2 所示。该结果说明 2015 和 2020 年西江流域水资源量有所盈余，暂时没有水资源危机，西江流域水资源供需平衡指数计算结果见表 2。

表 2 西江流域水资源承载力平衡指数 IWSD 计算结果

Table 2 Water resource carrying capacity balance index IWSD results of Xijiang River Basin

指标 Index	最少用水量 Minimum water consumption		最多用水量 Maximum water consumption	
	2015 年	2020 年	2015 年	2020 年
总计 Total	0.604	0.604	0.544	0.440

#### 3.2 流域内各市水资源承载力分析

按照上述水资源承载力分析方法，进行西江流域内各市水资源供需平衡计算，2015 和 2020 年流

域内各市水资源供需平衡对比见图 1 和 2。

计算流域内各市水资源承载力平衡指数，计算结果如表 3 所示。

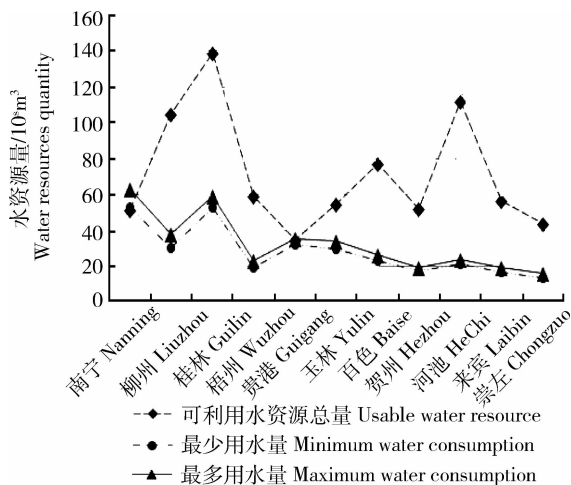


图1 2015年西江流域水资源供需对比图

Fig. 1 Comparison chart of Xijiang River water supply and demand in 2015

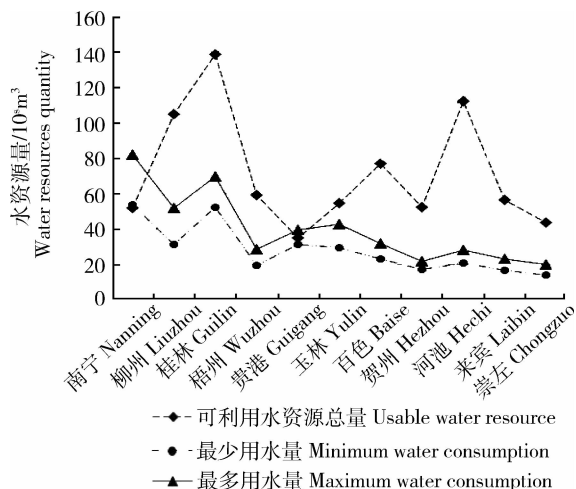


图2 2020年西江流域水资源供需对比图

Fig. 2 Comparison chart of Xijiang River water supply and demand in 2020

表3 西江流域内各市水资源承载力平衡指数IWSD计算结果

Table 3 Water resource carrying capacity balance index IWSD results for the administrative units in Xijiang River Basin

城市 City	最少用水量 Minimum water consumption		最多用水量 Maximum water consumption	
	2015年	2020年	2015年	2020年
南宁 Nanning	-0.024	-0.040	-0.222	-0.579
柳州 Liuzhou	0.709	0.700	0.637	0.505
桂林 Guilin	0.618	0.622	0.572	0.498
梧州 Wuzhou	0.665	0.665	0.609	0.513
贵港 Guigang	0.080	0.108	-0.009	-0.133
玉林 Yulin	0.456	0.456	0.368	0.217
百色 Baise	0.700	0.700	0.658	0.584
贺州 Hezhou	0.664	0.669	0.632	0.581
河池 Hechi	0.810	0.811	0.786	0.745
来宾 Laibin	0.698	0.704	0.657	0.593
崇左 Chongzuo	0.685	0.680	0.634	0.541
总计 Total	0.604	0.604	0.544	0.440

从表3中可知,在西江流域经济发展目标情况下,在最少用水量情景下,IWSD除南宁市外均为正数,南宁市虽为负数但接近于0,且整个西江流域的IWSD也为正数,即西江流域水资源可以承载其社会经济发展水平。在最多用水量情景下,则南宁和贵港市IWSD为负数,其他城市IWSD为正数,但

整个西江流域的IWSD为正数,说明西江流域水资源基本能够承载其社会经济、人口发展规模。

#### 4 结论

近年来,广西大力开展水利建设,提出打造西江黄金水道的战略决策<sup>①</sup>,为水资源的开发利用提供

① 广西壮族自治区人民政府关于印发广西西江黄金水道建设规划的通知(桂政发[2010]12号).附件:广西西江黄金水道建设规划

必要前提。通过水利枢纽重大工程、农村饮用水安全工程、病险水库除险加固工程、大中型灌区节水改造工程、海河堤防工程建设、水利生态治理工程建设等各项重大工程的实施,西江流域水资源开发利用效率将逐步提高。

因此,在假设西江流域水资源开发利用率达到40%的条件下的计算结果表明:

1)西江流域人口自然增长率在8.65‰和9‰2种情景下,生活用水量差别不大。在流域人口自然增长率为8.65‰的情景下,2015和2020年生活需水量分别为29.40亿和31.37亿 $m^3$ ;在流域人口自然增长率为9‰的情景下,2015和2020年生活需水量分别为29.69亿和31.48亿 $m^3$ 。2种情景下的人口自然增长率对生活用水量的影响不大。

2)西江流域农业需水量逐年减少。随着农业灌溉节水工程的改进、完善,提高了农业灌溉水系数,使农业需水量到2015年减少到144.33亿 $m^3$ ,比2010年减少了12.17亿 $m^3$ ,到2020年减少到129.90亿 $m^3$ ,比2010年减少了26.60亿 $m^3$ 。

3)西江流域GDP年均增长率分别为10%和18.9%时,工业用水量相差较大。到2015年工业比重调整为45.6%的情况下,假设GDP年均增长率为10%,则2015年工业用水量为99.45亿 $m^3$ ,2020年工业用水量为109.83亿 $m^3$ ;假设GDP年均增长率为18.9%,则2015年工业用水量为146.74亿 $m^3$ ,2020年工业用水量为239.11亿 $m^3$ 。

4)西江流域2015和2020年水资源均有盈余,

水资源供应可满足西江流域的可持续发展。

最小用水情景下,除南宁市少量缺水外,其他地区均盈余,且整个西江流域2015年共需水311.57亿 $m^3$ ,水资源盈余475.20亿 $m^3$ ,2020年共需水311.45亿 $m^3$ ,水资源盈余475.33亿 $m^3$ ;最大用水情景下,贵港市也会出现水资源短缺现象,但整个西江流域2015年共需水359.15亿 $m^3$ ,水资源盈余427.62亿 $m^3$ ,2020年共需水440.84亿 $m^3$ ,水资源盈余345.93亿 $m^3$ 。2种假设情景下,用水量差别较大,但都可满足社会经济发展需求。

致谢 感谢广西壮族自治区人民政府、发展改革委、环保局和统计局等各相关单位提供相关数据信息支持。

## 参 考 文 献

- [1] 苏伟,刘景双.长春市水资源承载力变动及可持续利用对策[J].干旱区研究,2007,24(4):441-445
- [2] 顾康康,刘景双,陈昕.辽中地区矿业城市水资源供需平衡动态分析[J].地理学报,2008,63(5):473-481
- [3] Li Ming. The prediction and analysis of water resource carrying capacity in Chongqing Metropolitan, China [J]. Procedia Environmental Sciences,2011(10):2233-2239
- [4] 广西壮族自治区统计局.广西统计年鉴[Z].北京:中国统计出版社,2005-2011
- [5] 夏军,朱一中.水资源安全的度量:水资源承载力的研究与挑战[J].自然资源学报,2002,17(3):262-269
- [6] 李东.浅析水资源开发利用效率与水电开发率[J].中国水能及电气化,2010(5):31-35

责任编辑:王燕华