

# 锦州市城市水资源承载力评价与分析

由 昆,范维利,谭 笑,傅金祥

(沈阳建筑大学市政与环境工程学院,辽宁 沈阳 110168)

**摘 要** 目的 水资源短缺问题已经成为锦州市经济发展的制约因素,针对锦州市的用水现状,从水资源、环境、经济以及社会等角度综合评价锦州市水资源承载力的大小,为锦州市经济可持续发展提供理论依据。方法 基于锦州市水资源数据、社会经济数据、水文数据等,通过查阅文献、实地调研和数据整理,运用可持续发展理论,分析锦州市水资源现状,采用“虚拟水赤字评价方法”和“经济社会及生态环境评价方法”分别从广义和狭义水资源的角度对锦州市水资源承载力进行评价。结果 锦州市2011—2015年水资源承载力从广义水资源角度看,除了2014年和2015年特枯年时,水资源严重不足;2011—2013年水资源对经济、社会及生态的发展仍处于可支撑的范围;2011—2013年区域水资源对虚拟水的生产和消费均处于可支撑状态;2014年和2015年锦州市的水资源量不足以供给城市的生产生活、消费和经济发展的用水需求;由于水资源的不足,锦州市对地下水资源进行超采,导致地下水位逐年下降,造成了水量及水质的破坏。结论 锦州市的水资源承载力已经严重不足,应当大力发展科技,找到合理利用绿水资源的科技手段,来提高水资源的利用效率,使锦州市的水资源承载力得到提升。

**关键词** 水资源承载力;虚拟水理论;水足迹;锦州

中图分类号 TV211.1<sup>+</sup>2;X703

文献标志码 A

## Evaluation and Analysis of Urban Water Resources Carrying Capacity in Jinzhou

YOU Kun, FAN Weili, TAN Xiao, FU Jinxiang

(School of Municipal and Environmental Engineering, Shenyang Jianzhu University, Shenyang, China, 110168)

**Abstract:** The shortage of water resources has become a constraint of the economic development of Jinzhou. Based on the current situation of Jinzhou, comprehensive evaluation of the water resources carrying capacity of Jinzhou from the perspectives of water resources, environment, economy and society provides a theoretical basis for the sustainable development of Jinzhou. Based on water resources data, social economic data and hydrological data of Jinzhou, the status of water resources in Jinzhou is analyzed by consulting literature, field researches and data compilations, applying sus-

收稿日期:2018-08-30

基金项目:国家水体污染重大专项治理项目(2014ZX07202-011)

作者简介:由昆(1978—),女,副教授,博士研究生,主要从事水污染综合防治与治理方面研究。

tainable development theory. From a broad and narrow perspective, we use the “virtual water deficit evaluation method” and “economic social and ecological environment assessment method” to evaluate the water resources carrying capacity of Jinzhou. The research results show the water resources carrying capacity of Jinzhou from 2011 to 2015. From the perspective of general water resources, water resources are seriously inadequate except for the 2014 and 2015 special dry years. From 2011 to 2013, water resources were still sufficient to support economic, social and ecological development; And regional water resources can support the production and consumption of virtual water from 2011 to 2013. In 2014 and 2015, the amount of water resources in Jinzhou failed to meet the water demand for production, consumption and economic development of the city; Due to the shortage of water resources, Jinzhou has overexploited groundwater resources that leads to the drop of groundwater level year by year and the destruction of water quality and quantity. The water resource carrying capacity of Jinzhou has been seriously insufficient. We should vigorously develop science and technology and use green water resource more efficiently and effectively to increase the water resources carrying capacity of Jinzhou.

**Key words:** water resources carrying capacity; virtual water theory; water footprint; Jinzhou

近年来,辽宁省人均水资源量仅为全国水平的1/3,是我国北方严重缺水省份之一,水资源总量呈衰减趋势,且水污染问题严峻<sup>[1-3]</sup>.随着社会经济的发展,工农业生产和城镇生活用水不断增加,水资源短缺问题已成为辽宁省经济发展的制约因素<sup>[4]</sup>.锦州市城区供水源主要为地下水,随着锦州城区规模的不断扩大、人口的不断增加,城市水资源总量不断减少,供需问题突显,并有逐年加剧的趋势;地下水超采致使水源地海水入侵日趋严重,极大地威胁着锦州市城区的供水安全<sup>[5]</sup>.

因此,只有在水资源开发允许的范围内合理的对水资源开发利用,才能够实现水资源与经济社会的可持续发展.水资源承载力是水资源合理配置和可持续利用的度量,任何一个关于水与经济、社会;水与可持续发展问题都必将涉及水资源承载力问题.目前为止,水资源承载力研究的理论体系仍不完善<sup>[6]</sup>,国内外专家学者开展的水资源承载力的评价研究主要依据3种理论:开发规模论、承载最大人口论和支撑社会经济系统持续发展能力论.

开发规模论看重的是承载水资源的主体,尝试用一个具体的值来对水资源的承载

能力进行描述.水资源承载力是指在技术水平及水资源量一定的条件下,合理利用水资源,从而使经济和社会发展达到最大化<sup>[7-8]</sup>.承载最大人口论将水资源承载力用人口规模的程度来表述<sup>[9-11]</sup>.目前多数研究学者均从可持续发展理论的角度开展研究.支撑社会经济系统持续发展能力论从水资源承载的客体角度出发,即水资源利用的最终目的就是寻求经济、社会的可持续发展.因此,笔者从可持续发展理论入手进行水资源承载力研究评价<sup>[12-13]</sup>,基于可持续发展理论,分析锦州市水资源现状,采用“虚拟水赤字评价方法”和“经济社会及生态环境评价方法”分别从广义和狭义水资源的角度对锦州市水资源承载力进行评价;从水资源、环境、经济以及社会等角度综合评价锦州市水资源承载力的大小,为锦州市经济可持续发展提供理论依据.

## 1 锦州市区域概况

### 1.1 自然条件

锦州市地处辽宁省西南部,地处东经120°43′~122°36′,北纬40°48′~42°08′.下辖凌海、北镇、黑山、义县4个县(市)及古塔、凌河、太和、滨海新区、松山新区5个区,行政面积10 027 km<sup>2</sup>,人口305.9万人,是辽

宁西部区域性中心城市。

1.2 气候特征

锦州市地处欧亚大陆东部,属暖温带半湿润气候。全年平均气温约为8℃左右,年最高气温约为41.8℃,年最低气温约为-31.3℃。全年无霜期约为160天。全年平均降水量约为567mm,四季降水量分布不均,夏季较多,冬季较少。

1.3 锦州市用水状况分析

锦州市共有大中小河流76条,其中有3条大型河流,有4条中型河流,69条小型河流。大型河流有大凌河、小凌河和绕阳河;中型河流有女儿河、西河、东沙河和西沙河。

锦州市河流具有径流量小季节性变化大的特点。汛期(6~9月)流量占全年流量的70%,其中7、8月的流量约占全年的一半。10月至第二年5月为枯水期,其中11月至第二年3月为封冻期。由于锦州市河流径流量季节性变化大,汛期河水暴涨,水流急剧,有时泛滥成灾,平时水浅或完全干涸,很多河流成为季节性的时令河。

1.4 水资源现状分析

锦州市2011—2015年降水量情况如图1所示。由图可知:2012年降水量最大,为特丰水年;其次是2013年为平水年;2011年降水量较少,为偏枯水年;2014和2015年降水量极少,为特枯水年。

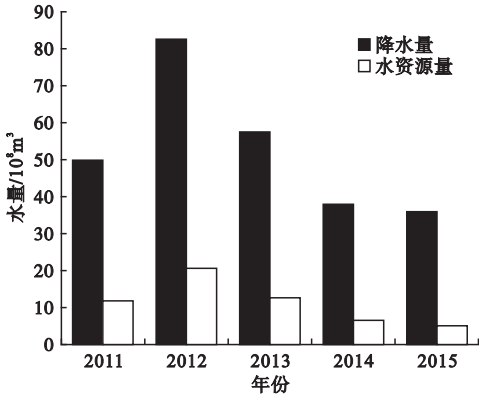


图1 锦州市2011—2015年降水量和水资源量分析  
Fig. 1 Analysis of precipitation and water resources in Jinzhou from 2011 to 2015

由图1还可以看出,锦州市降水量要远远大于水资源量,其本质原因是降水量中含有大部分难被人类直接利用的水资源。

水资源按照组成可分为广义水资源和狭义水资源。广义水资源指的是能够被人类利用的各种水资源的总和,可用降水量表示;狭义水资源主要是指地表水、地下水这些易于开发利用的水资源,可用水资源量表示。

由2011年、2014年和2015年锦州市水资源公报可知,锦州市2011年、2014年和2015年水资源量分别为 $11.91 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、 $6.58 \times 10^8 \text{ m}^3$ 和 $5.36 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,供水量分别为 $8.44 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、 $8.78 \times 10^8 \text{ m}^3$ 和 $8.64 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。通过对2011和2015年水资源量和供水量分析可知,全市总供水量有大于水资源量的情况存在,水资源出现超载现象(2012年和2013年锦州市供水量未知,故文中未提及)。

1.5 现状分析

锦州市全年地区生产总值由2011年的1115.9亿元持续增长至2015年的1357.5亿元,人均生产总值呈持续上涨趋势。随着社会经济的发展,人们对水资源的需求量也会日益增大,从而加大整个城市的用水压力。因此,我们更应当充分了解水资源承载力的状况,对水资源进行合理分配,减轻水资源的供应压力。锦州市2011—2015年全年地区生产总值增长趋势如图2所示。

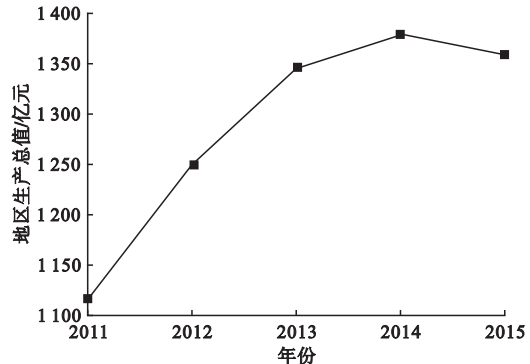


图2 锦州市全年地区生产总值  
Fig. 2 Annual GDP of Jinzhou

2 锦州市水资源量核算及分析

基于锦州市水资源数据、社会经济数据、水文数据、土地利用类型等数据,通过文献查阅和实地调研,依据虚拟水和水足迹计算结果分析,开展水资源承载力评价.

虚拟水的思想起源于以色列,在评价农业时 G. Fishelson<sup>[14]</sup> 提出了“物化水”的概念,他认为对于以色列来说大量水资源密集型农作物的出口是不可持续的. 1994 年 J. Anthony Allan 正式将农产品在生产过程中所消耗水资源的量定义为“虚拟水”,由于这种水是虚拟存在于商品中的,因此称之为“虚拟水”<sup>[15-16]</sup>.

水足迹是在 2002 年由联合国教科文组织荷兰国际水文和环境工程研究所的 A. Y. Hoekstra 提出的. 水足迹是对虚拟水的进一步扩充.

2.1 锦州市水资源量计算

水资源量主要包括蓝水资源和绿水资源两部分. 蓝水主要包括地表水资源及地下水资源,而绿水主要跟降水量和蓝水相关.

蓝水计算公式为

$$Q_{wb} = Q_{ws} + Q_{wu} - Q_{wr}.$$
 (1)

式中: $Q_{wb}$  为蓝水量,  $10^8\text{ m}^3$ ;  $Q_{ws}$  为地表水量,  $10^8\text{ m}^3$ ;  $Q_{wu}$  为地下水量,  $10^8\text{ m}^3$ ;  $Q_{wr}$  为地表水和地下水量的重复计算量,  $10^8\text{ m}^3$ .

绿水计算公式为

$$Q_{wg} = P - Q_{wb}.$$
 (2)

式中: $Q_{wg}$  为绿水量,  $10^8\text{ m}^3$ ,  $P$  为总降水量,  $10^8\text{ m}^3$ .

根据式(1)和式(2),可以计算出锦州市 2011—2015 年蓝水和绿水资源量大小,具体数据见表 1.

2.2 生态环境需水量计算

生态环境需水量主要由两部分组成:城市的生态需水量和河道生态需水量.

表 1 锦州市蓝水和绿水量

Table 1 Blue water and green water resources in Jinzhou

|      |       | $10^8\text{ m}^3$ |       |
|------|-------|-------------------|-------|
| 年份   | 降水量   | 蓝水量               | 绿水量   |
| 2011 | 50.05 | 11.91             | 38.14 |
| 2012 | 82.70 | 20.74             | 61.96 |
| 2013 | 57.59 | 13.05             | 44.54 |
| 2014 | 37.96 | 6.58              | 31.38 |
| 2015 | 36.20 | 5.36              | 30.84 |

(1) 城市的生态需水量

城市的生态环境需水量主要包括两个方面:城市绿地及园林绿化需水和人工水域需水. 城市人工水域需水量的计算公式为

$$W_c = A \times (E - P) \times 10^{-5}.$$
 (3)

式中: $W_c$  为城市人工水域的生态需水量,  $10^8\text{ m}^3$ ;  $A$  为人工水域面积,  $\text{km}^2$ ;  $E$  为水面平均蒸发量,  $\text{mm}$ ;  $P$  为多年平均降水量,  $\text{mm}$ .

城市绿地及园林绿化需水计算公式为

$$W_G = \gamma B \times 365 \times 10^{-5}.$$
 (4)

式中: $W_G$  为园林绿化需水量,  $10^8\text{ m}^3$ ;  $B$  为园林绿化面积,  $\text{km}^2$ ;  $\gamma$  为绿化用水定额, 取  $2\text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ . 城市的生态需水量即为园林绿化需水与人工水域需水量之和.

锦州市水域面积为  $850\text{ km}^2$ , 多年平均降水量  $570\text{ mm}$ , 多年平均蒸发量为  $1\,000\text{ mm}$ . 根据锦州市城市发展过程中公园、绿地、水域等数据, 可计算出锦州市 2011—2015 年城市生态需水量.

(2) 河道生态需水量

河流为了维持正常的生态环境也需要一定的水资源量, 即河道生态需水量. 河道生态需水量既要能够维持河道的自身径流量, 又要能够保持并改善河道的水质. 依据最不利原则, 取 2011—2015 年河道最小年径流量为河道的生态需水量, 具体见表 2.

表2 锦州市 2011—2015 年生态需水量

| Table 2 Ecological water demand of Jinzhou<br>from 2011 to 2015 |         |         | 10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup> |
|---|---------|---------|--------------------------------|
| 年份  | 城市生态需水量 | 河道生态需水量 | 合计                             |
| 2011  | 3.85    | 2.28    | 6.13                           |
| 2012  | 3.85    | 2.28    | 6.13                           |
| 2013  | 3.88    | 2.28    | 6.16                           |
| 2014  | 3.88    | 2.28    | 6.16                           |
| 2015  | 3.89    | 2.28    | 6.17                           |

2.3 虚拟水生产量计算

(1) 主要农产品的虚拟水生产量

笔者对于谷物和水果的虚拟水量数据主要借鉴《辽宁省农作物虚拟水贸易研究》,除此之外,蔬菜中所含的虚拟水量也是不可忽视的.并且蔬菜是全年生长的植物,种类繁多,虚拟水的计算也非常复杂,参考《中国主要作物需水量与灌溉》中的计算方法,认为蔬菜的虚拟水近似不变,经计算可得锦州市平均蔬菜需水量为 352 mm.

单位虚拟水含量:

$$SWD = \frac{CWR}{CY}.$$
 (5)

式中:SWD 指区域中某一作物单位虚拟水含量,m<sup>3</sup>/kg;CWR 为区域中某一作物的需水量,m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>;CY 为区域中某一作物单位面积产量,kg/hm<sup>2</sup>.根据式(5),可计算得出单位虚拟水含量.

(2) 动物产品的虚拟水生产量

笔者参考 A. K. Chapagain<sup>[17]</sup>对中国一些城市畜牧渔产品的虚拟水含量计算成果.参考辽宁省人居动物产品消费量及锦州市人口,推算出动物产品虚拟水生产量.

(3) 林地产品的虚拟水生产量计算

在此简化计算过程,锦州市林产品主要为水果,根据相关统计年鉴数据,由林产品的产量和单位虚拟水含量可以计算出锦州市林产品的虚拟水含量、生产量.

(4) 工业产品的虚拟水生产量计算

这里直接参照锦州市用水量、国民生产

总值及工业生产总值,根据工业产品虚拟水量的计算方法,先计算出锦州市万元产值用水量,在计算出锦州市工业产品的虚拟水生产量.

(5) 主要产品的虚拟水生产量

锦州市 2011—2015 年主要产品的虚拟水生产量具体见表 3.

表3 锦州市 2011—2015 年主要产品的虚拟水生产量

| Table 3 Virtual water production of major products<br>in Jinzhou from 2011 to 2015 |  |       |       |      |       |
|--|--|-------|-------|------|-------|
| 年份   | 虚拟水生产量/(m <sup>3</sup> ·kg <sup>-1</sup> ) |       |       |      |       |
|  | 农产品  | 动物产品  | 林产品   | 工业产品 | 合计    |
| 2011   | 16.60                                      | 13.28 | 5.30  | 3.80 | 38.98 |
| 2012   | 16.57                                      | 14.81 | 6.40  | 4.05 | 41.83 |
| 2013   | 16.36                                      | 16.49 | 10.50 | 4.44 | 47.79 |
| 2014   | 16.35                                      | 16.38 | 10.14 | 4.64 | 47.51 |
| 2015   | 16.87                                      | 20.79 | 9.86  | 4.47 | 52.00 |

3 基于虚拟水计算的水资源承载力评价

根据实际的消费状况确定虚拟水量并与实际的承载力水平进行对比,即虚拟水赤字:

$$VWD = WC - WF.$$
 (6)

式中:VWD 为虚拟水赤字,10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>;WC 为虚拟水承载力,10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>;WF 为水足迹,10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>.

当 VWD > 0 时,表明区域水资源量能够满足区域发展的用水需求,水资源补给能力大于实际利用能力,水资源环境基本处于健康状态;

当 VWD ≤ 0 时,表明区域水资源量不能满足区域发展的用水需求,水资源补给能力小于实际利用能力,只有通过挤占生态环境用水才能弥补过量利用的水资源,进而造成生态环境的破坏.

根据 2.1 至 2.3 节中的相关数据,可以计算出锦州市虚拟水赤字情况,具体见表 4.



表 4 以广义水资源角度看的虚拟水赤字情况

| Table 4 Virtual water deficit from the perspective of generalized water resources |       |       |       |       |       |        |        |       | 10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup> |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|--------------------------------|
| 年份  | 水资源总量 |       |       | 生态需水量 | 水足迹   |        |        |       | 虚拟水赤字                          |
|   | 蓝水资源量 | 绿水资源量 | 合计    |       | 虚拟水生产 | 城市生活用水 | 城镇公共用水 | 合计    |                                |
| 2011  | 11.91 | 38.14 | 50.05 | 6.13  | 38.98 | 0.77   | 0.32   | 40.07 | 3.85                           |
| 2012  | 20.74 | 61.96 | 82.7  | 6.13  | 41.83 | 0.79   | 0.33   | 42.95 | 33.62                          |
| 2013  | 13.05 | 44.54 | 57.59 | 6.16  | 47.79 | 0.81   | 0.34   | 48.94 | 2.49                           |
| 2014  | 6.58  | 31.38 | 37.96 | 6.16  | 47.51 | 0.83   | 0.35   | 48.69 | -16.89                         |
| 2015  | 5.36  | 30.84 | 36.2  | 6.17  | 52.00 | 0.84   | 0.38   | 53.22 | -23.19                         |

运用狭义水资源理论,仅以蓝水资源的 角度进行虚拟水计算,具体见表 5.

表 5 以狭义水资源角度看的虚拟水赤字情况

| Table 5 Virtual water deficit from the perspective of narrow water resources |       |       |       |        |        |       |        | 10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup> |
|--|-------|-------|-------|--------|--------|-------|--------|--------------------------------|
| 年份   | 蓝水资源量 | 生态需水量 | 水足迹   |        |        |       | 虚拟水赤字  |                                |
|  |       |       | 虚拟水生产 | 城市生活用水 | 城镇公共用水 | 合计    |        |                                |
| 2011   | 11.91 | 6.13  | 38.98 | 0.77   | 0.32   | 40.07 | -34.29 |                                |
| 2012   | 20.74 | 6.13  | 41.83 | 0.79   | 0.33   | 42.95 | -28.34 |                                |
| 2013   | 13.05 | 6.16  | 47.79 | 0.81   | 0.34   | 48.94 | -42.05 |                                |
| 2014   | 6.58  | 6.16  | 47.51 | 0.83   | 0.35   | 48.69 | -48.27 |                                |
| 2015   | 5.36  | 6.17  | 52.00 | 0.84   | 0.38   | 53.22 | -54.03 |                                |

由广义和狭义角度的虚拟水赤字来看,在非枯水年时,锦州市的广义水资源足以支撑锦州市的生产生活与经济发展,但在狭义水资源的角度来看,锦州市的虚拟水赤字为负,水资源承载力极为紧张,将会制约锦州市的经济发展.

#### 4 水资源经济社会及生态环境承载力评价

在虚拟水理论和水足迹理论的基础上,通过对水资源的经济承载力指标、社会承载力指标和生态承载力指标进行计算,对锦州市水资源承载力进行进一步评价.

##### (1)经济承载力指标

经济承载力可定义为,以评价区域的虚拟水生产量与区域水资源量中可用于生产的水量之比,即:

$$I_{eco} = (Q_1 - DU) / CWR. \tag{7}$$

式中: $I_{eco}$ 为水资源的经济承载力指标,是一

个无量纲指标; $Q_1$ 为区域的广义水资源量,10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>;  $DU$ 为生活和服务用水量,10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>;  $CWR$ 为虚拟水生产量,10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>.

当  $I_{eco} < 1$  时,表明水资源的供给能力不能满足生产用水的需求,水资源供给乏力,过量利用水资源造成了赤字出现,而过量利用的水资源只能通过汲取环境水资源弥补,进而对水生态系统造成破坏.

当  $I_{eco} \geq 1$  时,表明水资源总量能够满足各项需求,区域水生态环境基本健康.

##### (2)社会承载力指标

社会承载力指标定义为评价区域的区域水资源总量与虚拟水消费量之比,即:

$$I_{pep} = Q_1 / WF. \tag{8}$$

其中, $I_{pep}$ 为水资源的社会承载力指标,是一个无量纲指标; $WF$ 为水足迹,10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>.

当  $I_{pep} < 1$  时,区域人口对区域水资源超负荷利用,造成不可更新水资源被开发利用,水生态环境破坏.

当 $I_{\text{pep}} \geq 1$ 时,区域水资源可以满足区域人口发展的用水需求.

(3)生态承载力指标

以生态环境需水量与区域水资源总量的比值,即:

$$I_{\text{ent}} = Q_{\text{ent}}/Q. \tag{9}$$

式中: $I_{\text{ent}}$ 为水资源的生态承载力指数,是一个无量纲指标; $Q_{\text{ent}}$ 为区域生态环境需水量,

$10^8 \text{ m}^3$ ;  $Q$ 为区域水资源量,  $10^8 \text{ m}^3$ .

当 $I_{\text{ent}} \geq 0.3$ 时,表明生态环境需水较大,经济社会发展用水受到一定影响,同时也说明经济社会发展可能挤占环境用水.

当 $I_{\text{ent}} < 0.3$ 时,表明生态环境需水对水资源供应的压力较小.

由上述公式计算可得,经济社会及生态环境承载力指数见表6.

表6 锦州市2011—2015年水资源压力指数

Table 6 Water resources pressure index in Jinzhou from 2011 to 2015

| 年份   | $Q_1/$<br>$10^8 \text{ m}^3$ | $DU/$<br>$10^8 \text{ m}^3$ | 生态需水/<br>$10^8 \text{ m}^3$ | $CWR/$<br>$10^8 \text{ m}^3$ | $WF/$<br>$10^8 \text{ m}^3$ | $I_{\text{eco}}$ | $I_{\text{pep}}$ | $I_{\text{ent}}$ |
|------|------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|------------------|------------------|------------------|
| 2011 | 50.05                        | 1.09                        | 6.13                        | 38.98                        | 40.07                       | 1.26             | 1.25             | 0.12             |
| 2012 | 82.70                        | 1.12                        | 6.13                        | 41.83                        | 42.95                       | 1.95             | 1.93             | 0.07             |
| 2013 | 57.59                        | 1.15                        | 6.16                        | 47.79                        | 48.94                       | 1.18             | 1.18             | 0.11             |
| 2014 | 37.96                        | 1.18                        | 6.16                        | 47.51                        | 48.69                       | 0.77             | 0.78             | 0.16             |
| 2015 | 36.20                        | 1.22                        | 6.17                        | 52.00                        | 53.22                       | 0.67             | 0.68             | 0.17             |

通过对计算结果分析,2011—2013年水资源的经济承载力指数和社会承载力指数均大于1,表明区域水资源对虚拟水的生产和消费均处于可支撑状态;2014和2015年水资源的经济承载力指数和社会承载力指数均小于1,锦州市的水资源量不足以供给城市的生产生活、消费和经济发展的用水需求,水资源供给乏力,过量利用水资源造成了赤字出现,而过量利用的水资源只能通过汲取环境水资源弥补,进而对水生态系统造成破坏;区域人口对区域水资源超负荷利用,造成不可更新水资源被开发利用,水生态环境破坏.2011—2015年生态承载力指数均小于0.3,生态环境用水对水资源供应压力较小.

5 结 论

(1)在广义水资源条件下,除了2014年和2015年特枯水年时,水资源严重不足;2011—2013年水资源对经济、社会及生态的发展仍处于可支撑的范围.

(2)由于目前的技术水平以及开发条件、开发理念的限制,对蓝水资源开发利用较

大,这已经造成了水资源局部承载力不足.

(3)由于水资源的不足,锦州市对于地下水的开采量较大,导致了超采现象的出现,地下水水位逐年降低,造成了水量及水质的破坏.由于水资源的不足,不足的部分要对生态用水量进行挤占,必然会对生态环境造成破坏.

(4)以目前的发展水平来说,锦州市的水资源承载力已经严重不足,应当大力发展科技,找到合理利用绿水资源的科技手段,来提高水资源的利用效率,使锦州市的水资源承载力得到提升.

参考文献

[1] 傅金祥,刘梦阳,由昆. 基于层次分析法的敏感水源识别方法[J]. 沈阳建筑大学学报(自然科学版),2017,33(3):537-545.  
(FU Jinxiang, LIU Mengyang, YOU Kun. Identification of sensitive water sources based on analytic hierarchy process [J]. Journal of Shenyang jianzhu university (natural science), 2017,33(3):537-545.)  
[2] 傅金祥,张荣新,鲁勇朝,等. 环境技术验证(ETV)测试研究[J]. 沈阳建筑大学学报(自然科学版),2016,32(2):330-340.

- (FU Jinxiang, ZHANG Rongxin, LU Yongchao, et al. Research on test of environmental technology verification [J]. Journal of Shenyang jianzhu university (natural science), 2016, 32(2): 330 - 340.)
- [3] 傅金祥,刘畅,朱志峰,等. 基于MO的饮用水源保护区划信息系统的设计与初步实现[J]. 沈阳建筑大学学报(自然科学版), 2012, 28(3): 533 - 537.  
(FU Jinxiang, LIU Chang, ZHU Zhifeng, et al. Design and realization of delineating source water protection areas information system based on map object [J]. Journal of Shenyang jianzhu university (natural science), 2012, 28(3): 533 - 537.)
- [4] 孙晶,王俭,关伟. 辽宁省水资源现状及可持续利用对策[C]//辽宁省环境科学学会2006年学术年会. 沈阳:辽宁大学, 2006: 77 - 79.  
(SUN Jing, WANG Jian, GUAN Wei. The current situation of water resources in Liaoning Province and countermeasures for sustainable use [C]// Liaoning Provincial Environmental Science Society Annual Conference 2006. Shenyang: Liaoning University, 2006: 77 - 79.)
- [5] 程海英. 锦州市城区水资源现状及优化配置方案[J]. 水土保持应用技术, 2015(6): 22 - 23.  
(CHENG Haiying. The present situation of water resources and optimal allocation scheme in Jinzhou city [J]. Technology of soil and water conservation, 2015(6): 22 - 23.)
- [6] 孙富行. 水资源承载力分析与应用[D]. 南京: 河海大学, 2006.  
(SUN Fuxing. Analysis and application of carrying capacity of water resources [D]. Nanjing: Hohai University, 2006.)
- [7] 冯尚友. 水资源持续利用与管理导论[M]. 北京: 科学出版社, 2000: 216 - 225.  
(FENG Shangyou. Introduction in the sustainable utilization and management of the water resources [M]. Beijing: Science Press, 2000: 216 - 225.)
- [8] 刘佳骏,董锁成,李泽红. 中国水资源承载力综合评价研究[J]. 自然资源学报, 2011, 26(2): 258 - 269.  
(LIU Jiajun, DONG Suocheng, LI Zehong. Comprehensive evaluation of China's water resources carrying capacity [J]. Journal of natural resources, 2011, 26(2): 258 - 269.)
- [9] 阮本清. 流域水资源管理[M]. 北京: 科学出版社, 2001: 152 - 169.  
(RUAN Benqing. The management of watershed water resources [M]. Beijing: Science Press, 2001: 152 - 169.)
- [10] 韩俊丽,段文阁,李百岁. 基于SD模型的干旱区城市水资源承载力模拟与预测: 以包头市为例[J]. 干旱区资源与环境, 2005(4): 188 - 191.  
(HAN Junli, DUAN Wenge, LI Baisui. Simulation and predication of arid area urban water resources bearing capacity based on SD model: a case study of Baotou city [J]. Journal of arid land resources and environment, 2005(4): 188 - 191.)
- [11] 王西琴,刘昌明,杨志峰. 生态及环境需水量研究进展与前瞻[J]. 水科学进展, 2002(4): 507 - 514.  
(WANG Xiqin, LIU Changming, YANG Zhifeng. Research advance in ecological water demand and environmental water demand [J]. Advances in water science, 2002(4): 507 - 514.)
- [12] 中国水利水电科学研究院. 西北地区水资源合理开发利用与生态环境保护研究[J]. 中国水利, 2001(5): 9 - 11.  
(China Institute of Water Resources & Hydro-power Research. Study on a rational development and utilization of water resources and environment protection in the northwest region [J]. China water resources, 2001(5): 9 - 11)
- [13] 李令跃,甘泓. 试论水资源合理配置和承载力概念与可持续发展之间的关系[J]. 水科学进展, 2000, 11(3): 307 - 313.  
(LI Lingyue, GAN Hong. Remark on the relationship between water resources rational allocation, carrying capacity and sustainable development [J]. Advances in water science, 2000, 11(3): 307 - 313.)
- [14] FISHELSON G. The allocation and marginal value product of water in Israeli agriculture [J]. Studies in environmental science, 1994, 58: 427 - 440.
- [15] BINGSHENG K, PIERRE G. Water, livestock and ecosystems [C] // Water for food conference. Netherlands: [s. n.], 2005.
- [16] 罗贞礼,黄璜,傅志强,等. 郴州市农产品虚拟水的量化分析[J]. 湖南农业大学学报, 2004, 30(3): 282 - 284.  
(LUO Zhenli, HUANG Huang, FU Zhiqiang, et al. Quantitative analysis on virtual water of agricultural products in Chenzhou. [J]. Journal of Hunan agricultural university, 2004, 30(3): 282 - 284.)
- [17] CHAPAGAIN A K, HOEKSTRA A Y. Virtual water flows between nations in relation to trade in livestock and livestock products [C]. Netherlands: UNESCO-IHE Institute for Water Education, 2003: 11 - 15.  
(责任编辑:刘春光 英文审校:范丽婷)