

•水利与土木工程•

DOI:10.15961/j.jsuese.201700864

## 西南地区水资源承载能力评价方法与应用

周彦辰, 陈进, 许继军, 霍军军

(长江科学院 水资源综合利用研究所 流域水资源与生态环境科学湖北省重点实验室, 湖北 武汉 430010)

**摘要:**为全面客观评价区域水资源承载状况,支撑当地经济社会发展,梳理了水资源承载能力评价研究的现状,分析了概念内涵和评价指标体系,指出现行红线指标主要从地区社会经济发展角度出发,难以契合当地水资源特性和水利发展趋势的不足。从区域特征出发,着眼于评价指标的选取,提出基于水资源禀赋条件、开发利用程度和工程供水能力等水资源承载潜力因素的评价指标和评价方法。基于水桶理论,以云南省丽江市为研究对象,分别以考虑水量、水质两方面因素的红线指标与提出的潜力指标两套评价体系评估丽江市的水资源承载能力,全面考虑各要素的评价结果,验证评价指标和方法的合理性与可行性。评价结果显示:水资源红线指标在行政区域内的划分主要考虑区域社会经济发展的需求,红线指标向古城区的倾斜致使经济发展较弱的其他区域用水指标分配较少,更不利于其长远发展;用水指标在水资源分区上划分的缺失不利于水资源综合管理。考虑了水资源禀赋条件和供水工程潜力指标的评价结果更符合丽江市的现状,即丽江市水资源条件较好,但水利工程配套不足,难以有效调配区域水资源,存在工程性缺水,此为西南高原地区的普遍性问题。结合资源承载状况和超载成因,提出丽江市水资源调控措施建议。

**关键词:**承载能力;地区特征;评价方法;潜力指标;丽江市

中图分类号:TV211

文献标志码:A

文章编号:2096-3246(2018)06-0116-07

### Assessment Method of Water Resources Carrying Capacity and Its Application to Southwest China

ZHOU Yanchen, CHEN Jin, XU Jijun, HUO Junjun

(Water Resources Dept., Key Lab. of Basin Water Resource and Eco-environmental Sci. in Hubei Province,  
Yangtze River Scientific Research Inst., Wuhan 430010, China)

**Abstract:** In order to comprehensively and objectively assess water resources carrying status and to provide a theoretical support for regional socio-economic development, this study reviewed existing researches on carrying capacity of water resources, analyzed the conceptual meaning and assessment indicator system. It is indicated that red-line indexes are allocated based on the regional economic development statement, which cannot reflect water resources characteristics and the deficiency in the development of water conservancy development in that place. From the perspective of regional characteristics, this paper focused on the choice of evaluation indexes, and an assessment method was proposed based on water resources carrying potential factors such as water resources endowment, degree of development and utilization and water supply capacity of projects. Based on Cannikin Law, the evaluation system with potential indexes was proposed in this study. Taking Lijiang city in Yunnan province as example, two evaluation systems, the present one and the assessment indicator system using quantity red line and quality red line, were used to evaluate the water resources carrying capacity in Lijiang city to test all the factors and to verify the rationality and feasibility of assessment method proposed. The results revealed that the demand of regional social economic development is the main factor considered in red-line indexes allocation. While the old town district is assigned to a relatively high value in Lijiang city because it is the most developed area, the other districts can only get enough water to meet their need and further constrained their development. It is a problem for water resources management that the water use indexes only allocated in administrative regions but not in water resources regions. The results of potential indexes considering water resource endowment condition and water supply project can better reflect the real condition. In fact, Lijiang water resources condition

收稿日期:2017-10-16

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51609009);中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金资助项目(CKSF2017068/SZ; CKSF2017061/SZ)

作者简介:周彦辰(1988—),男,高级工程师,博士.研究方向:水资源管理;水生态修复. E-mail:zhouyc\_omg@126.com

网络出版时间:2018-10-22 17:22:00 网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/51.1773.TB.20181019.1148.006.html>

is not bad, but it lacks of water conservancy projects and has the difficulty in water resources allocation, which causes engineering water shortage, a common problem in southwest China. Measures and suggestions for managing water resources were proposed based on the analysis of overloading causes.

**Key words:** carrying capacity; regional characteristics; assessment method; potential indexes; Lijiang city

随着20世纪80年代可持续发展理论的提出<sup>[1-2]</sup>,国内外关于水资源承载能力的研究与实践持续推进。以美国、以色列为代表的国家基于可持续发展的理念,相继探索了增加效率、提高水资源保障能力的技术与措施。中国从“六五”开始着手相关研究,水资源承载能力的概念最早由施雅风<sup>[3]</sup>在研究西北干旱区治理时提出;许新宜等<sup>[4]</sup>提出水资源承载能力的理论基础、生态临界阈值、调控措施等关键性成果。基于这些成果,全国各地开展水资源承载力评价工作<sup>[5-6]</sup>;随着技术的发展,渭河等地还搭建起可视化智能评价系统平台<sup>[7]</sup>。

然而,现有评价工作的研究主要集中在评价方法上,数据来源几乎都使用水资源公报和年鉴等,以最严格水资源管理规定的“三条红线”作为评价标准。如此一来,评价过程并未充分考虑评价区域的当地特色,尤其是中国西南地区,红线反映的水资源配置方案更多是基于当地的经济社会发展需求,没有很好地契合当地的水资源禀赋条件,因此基于水资源禀赋条件、水利工程供水能力等水资源承载潜力的因素应该在评价过程中得到考虑。

## 1 水资源承载力内涵及评价方法

### 1.1 水资源承载能力的内涵

水资源承载力作为自然资源承载能力的组成部分,承载主体是水资源系统,承载客体是经济社会与生态环境系统。水资源承载能力的研究即基于可持续发展理论,分析主体对客体的最大承受能力。张丽<sup>[8]</sup>、左其亨<sup>[9]</sup>等对水资源承载能力的内涵进行了梳理分析。李云玲等<sup>[10]</sup>认为其内涵可以分为3类:第1类是从主体出发,反映水资源开发利用的最大规模;第2类是从客体出发,反映水资源能承受的最大人口或经济总量;第3类是从主客体关系出发,使经济建设与水资源保护同步进行。基于以上解读,结合水资源禀赋和供水能力等潜力因素,认为水资源承载能力的内涵是满足生态流量和社会经济发展需求的前提下,一定时期内水利工程措施可以配置的当地最大水资源量。

### 1.2 水资源承载能力的评价方法

现阶段水资源承载能力的评价方法大致可以分为3大类。第1类是构建评价指标体系,通过遴选、排序等方式对指标进行综合分析,找出最为关键的几

项指标,在此基础上对研究对象进行分析,包括主成分分析法<sup>[11]</sup>、综合指标分析法<sup>[12]</sup>等。第2类是从承载客体的角度出发,分析不同水资源配置策略、不同开发利用程度下可承载的最大社会经济量,包括系统动力学法<sup>[13]</sup>、多目标分析法<sup>[14]</sup>等。第3类是将经济社会发展量化成水资源量,并具象化作为分析依据,如水足迹法<sup>[15]</sup>、基于GIS的研究方法<sup>[16]</sup>等。水资源禀赋和供水能力等潜力因素直接影响指标选取的合理性,本文的研究重点即方案指标的合理性选取上。

## 2 水资源承载力评价指标

水资源承载能力的评价方法主要用于获得基础数据后,基于评价指标体系运用各类算法进行计算分析,属于获得评价结果过程中的方法论。评价结果的好坏很大程度上取决于评价指标设定的合理性,在评价指标的选取上多使用常规的红线指标,并不能反映水资源禀赋和水利工程代表的承载潜力。本节介绍目前常用的红线指标和本文提出的潜力指标两种体系。

### 2.1 红线指标

红线指标是指根据全国水资源调查评价成果、最严格水资源管理制度“三条红线”、主要江河流域水量分配方案、全国水中长期供求规划等已有成果,以主要河流水系和省级行政区的水资源开发利用、水资源可持续利用要求为控制目标,核算水资源承载力基线。按照可操作、可度量、可监测等原则,考虑与最严格水资源管理“三条红线”指标的衔接,选取用水总量指标、地下水开采控制量(或可开采量)、水功能区水质达标率、污染物超限排程度等作为评价指标(表1)。由此可见,红线指标主要是对最严格水资源管理制度的检验,重点考察红线制定后,区域或流域的经济发展是否符合红线规定等。

其中,用水总量指标源于地区人民政府实施最严格水资源管理制度的实施意见,在此基础上对指标中包含规划但未生效工程供水量的,应扣减该工程的配置供水量;对指标中包含大规模外流域调水量的,应酌情扣减外调水量;对指标确定时考虑区域经济社会发展现实需求,允许部分地表水挤占或地下水超采的,应扣减地表水挤占量和地下水超采量。

地下水开采量指标主要基于第二次全国水资源调查评价结果和各地地下水利用与保护规划等

成果。对于现状地下水开采量大于可开采量的地区，地下水开采量指标采用可开采量；对于地下水开采

量尚有一定潜力的地区，地下水开采量指标采用地下水开采控制量。

表 1 水资源承载状况水量因素分析评价标准

Tab. 1 Criteria of water quantity of water carrying capacity

评价指标	承载能力基线	承载状况评价			
		严重超载	超载	临界状态	不超载
用水总量 $W$	用水总量指标 $W_0$	$W \geq 1.2W_0$	$W_0 \leq W < 1.2W_0$	$0.9W_0 \leq W < W_0$	$W < 0.9W_0$
平原区地下水开采量 $G$	平原区地下水开采量指标 $G_0$	$G \geq 1.2G_0$ , 或超采区浅层地下水超采系数 $\geq 0.3$ , 或存在深层承压水开采量, 或存在山丘区地下水过度开采	$G_0 \leq G < 1.2G_0$ , 或超采区浅层地下水超采系数介于 $(0, 0.3]$ , 或存在山丘区地下水过度开采	$0.9G_0 \leq G < G_0$	$G < 0.9G_0$

水质指标方面, 主要包括水功能区水质达标率、污染物限排量。对于现状水功能区水质达标率符合水功能区限制纳污红线考核目标要求, 且其水功能区污染物入河量不超过水功能区污染物限排总量的地级行政区, 该地级行政区水资源承载能力水质承载状况为不超载, 不再分析其域内各县级行政区水资源承载; 其他情况需分析其域内各县级行政区水资源承载能力水质承载状况。

将地级行政区水功能区水质达标率 $Q$ 与水功能区水质达标要求 $Q_0$ , 污染物入河量 $P$ 与污染物限排量 $P_0$ 进行比较, 选择COD、氨氮入河污染物中超排量最大值作为 $P$ 指标:

当 $Q < 0.4Q_0$ 或 $P > 3P_0$ , 为严重超载区;

当 $0.4Q_0 \leq Q < 0.6Q_0$ 或 $1.2P_0 < P \leq 3P_0$ , 为超载区;

当 $0.6Q_0 \leq Q < 0.8Q_0$ 或 $1.1P_0 < P \leq 1.2P_0$ , 为临界状态区;

当 $Q \geq 0.8Q_0$ 或 $P \leq 1.1P_0$ , 为不超载区。

将超载区的县域水功能区水质达标率 $Q$ 与水功能区水质达标要求 $Q_0$ 进行比较, 并结合县域水环境状况(水质现状、废污水排放量、污水处理率等因子)进行综合评价:

当 $Q < 0.4Q_0$ , 为严重超载;

当 $0.4Q_0 \leq Q < 0.6Q_0$ , 为超载;

当 $0.6Q_0 \leq Q < 0.8Q_0$ , 为临界状态;

当 $Q \geq 0.8Q_0$ , 不超载。

评价结果需结合各县域水质现状、废污水排放量、污水处理率等因素对评价结果进行合理分析。

## 2.2 潜力指标

由于最严格水资源管理制度中确定的红线指标是在早年对全国水资源状况调查后结合水资源配置方法确定的, 因此继续使用红线作为评价指标不具有前瞻性, 与区域的发展状况存在脱节。为进一步了解区域水资源的实际承载潜力(即在一定供水工程条件下可被开发利用的潜在水资源量), 可选取水资源条件和水资源调配能力, 并将其与评价口径的现

状用水量情况对比, 进行基于水资源承载潜力的水资源承载状况评价。

水资源条件主要分析区域水资源可被开发利用的潜力, 选取地表水资源可利用量、地下水可开采量两个参数, 分析区域水资源的可利用潜力。并对区域地表水资源开发利用率、浅层地下水开采率现状进行评价。

调配能力指标是指在现状供水条件下所能提供的最大供水量。根据当地水利工程基本情况普查审核报告, 并结合历年水资源公报中最大供水量, 从蓄水、引水、提水这3方面统计各水资源分区和行政分区的供水能力, 获得调配能力指标。

## 3 丽江地区实例分析

### 3.1 研究区域概况

丽江市位于云南省西北部云贵高原与青藏高原的衔接地段, 金沙江中游; 北连迪庆藏族自治州, 南接大理白族自治州, 西邻怒江傈僳族自治州, 东与四川凉山彝族自治州和攀枝花市接壤, 全市总面积20 549 km<sup>2</sup>, 其中山区面积占92.3%。

全市年平均气温12.6~19.9℃, 全年无霜期为191~310 d, 年均降雨量为910~1 040 mm, 雨季集中于6—9月, 年日照时数2 321~2 554 h。境内河流分属两大流域、三大水系, 即长江流域的金沙江水系、雅砻江水系和澜沧江流域的黑惠江水系, 长江流域占丽江市总面积的98.1%。

研究对丽江市水资源承载负荷的核算基于《2015年丽江市水资源公报》和《2015年丽江市统计年鉴》。2015年丽江市用水情况如表2所示。

水质要素方面, 此次评价的水功能区中丽江市涉及23个, 其中国家重要江河湖泊水功能区15个、省级水功能区8个, 在这23个水功能区中跨县域单元的有3个。根据丽江市水务局提供的2015年丽江市水功能区水质达标情况, 23个重要水功能区水质状况统计见表3, 其中有5个水质现状不达标。

表2 2015年丽江市各统计单元用水量

Tab. 2 Water load in Lijiang in 2015

分区		农业用水量	工业用水	生活用水量	城镇环境用水量	总用水量 $10^4 \text{ m}^3$
水资源分区	直门达至石鼓	3 935	194	255	0	4 384
	雅砻江	6 311	642	540	0	7 493
	石鼓以下干流	35 503	5 378	3 523	1 709	46 113
	泚江口以下	1 273	40	61	0	1 374
行政分区	古城区	6 358	863	1 259	398	8 878
	玉龙县	12 119	482	678	1 180	14 459
	永胜县	14 968	1 895	1 146	30	18 039
	华坪县	6 952	2 351	553	40	9 896
	宁蒗县	6 625	663	743	61	8 092

表3 丽江市2015年水功能区水质达标情况统计

Tab. 3 Water quality reaching standard in Lijiang in 2015

分区	水功能区个数	水质达标个数	水功能区水质达标率/%
水资源分区	直门达至石鼓	2	100
	雅砻江	5	60
	石鼓以下干流	16	81
行政分区	古城区	3	67
	玉龙县	6	100
	永胜县	5	100
	华坪县	6	50
	宁蒗县	6	83

根据2015年丽江市现状污染物入河统计成果(表4),2015年丽江市COD、氨氮入河量分别为4 402.4、859.3 t, COD污染物入河量超过2020年限制排放量的水功能区超排个数为3,水功能区中氨氮指标超排个数为2。

表4 丽江市2015年污染物现状入河量统计

Tab. 4 Contaminant into rivers in Lijiang in 2015

分区	COD入河量/ ( $\text{t}\cdot\text{a}^{-1}$ )	氨氮入河量/ ( $\text{t}\cdot\text{a}^{-1}$ )
水资源分区	直门达至石鼓	36.4
	雅砻江	1 204.1
	石鼓以下干流	3 161.9
行政分区	古城区	420.8
	玉龙县	66.6
	永胜县	1 808.7
	华坪县	1 491.7
	宁蒗县	614.5
	全市	4 402.4

### 3.2 红线指标评价结果

#### 3.2.1 水量指标评价结果

根据上述水资源承载力、水资源承载负荷的核算成果,采用第2节中的评价标准,将核定后的用水总量指标与评价口径用水总量指标进行对比,判断丽江市各水资源3级区的水资源承载状况,评价结果见表5,各县级区采用相同的评价方式。

根据地下水控制指标承载力核算的要求,地下水评价主要考虑超采区的开采状况,由于目前丽江市禁采区和限采区都没有超采现象,因此可认为丽江市地下水处于不超载状态。丽江市水量指标的评价结果与用水总量结果相同。

#### 3.2.2 水质指标评价结果

根据评价标准及统计得到的水功能区水质达标率、入河污染物超排程度结果,对丽江市整体的水质要素承载状况进行评价,如表6~7所示。

由表6~7可知:丽江市整体水功能区水质达标率 $Q$ 为74%,纳污红线考核的目标 $Q_0$ 为88%, $Q>0.8Q_0$ ,该指标评价为不超载;COD入河量 $P$ 为4 402.4 t, COD限排量 $P_0$ 为4 398.9 t,  $P\leq 1.1P_0$ ;氨氮入河量 $P$ 为859.3 t,氨氮限排量 $P_0$ 为567.0 t,  $P=1.52P_0$ ,由评价标准可知,入河污染物限排量指标评价为超载状态。综上所述,得到丽江市整体上水质要素评价为超载状态。

丽江市2015年水功能区水质达标率不符合纳污红线控制目标的要求,且存在现状入河污染物超限排量。因此,根据评价标准,需要对各县域单元水质要素承载状况进行评价。根据2015年现状水质达标率及各评价单元的纳污红线控制目标,分别计算各水资源3级区、县域的水功能区水质达标率与考核目标的比值 $Q/Q_0$ 、污染物入河量与污染物限制排放量的比值 $P/P_0$ ,计算结果见表8。

表 5 丽江市水资源三级区用水总量指标的承载状况评价

Tab. 5 Carrying capacity of total water consumption in Lijiang

水资源三级区	核定后的用水总量指标/(10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> )	用水总量指标的 1.2倍	用水总量指标的 90%	2014年现状用水量/(10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> )	评价口径现状用水量/(10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> )	承载状况
直门达至石鼓	3 418	4 102	3 076	4 384	4 384	严重超载
雅砻江	7 479	8 975	6 731	7 493	7 493	超载
石鼓以下干流	57 523	69 027	51 771	46 113	46 113	不超载
泔江口以下	2 080	2 496	1 872	1 374	1 374	不超载
全市合计	70 500	84 600	63 450	59 364	59 364	不超载

表 6 丽江市地级行政区水功能区水质状况评价

Tab. 6 Water quality in water functional area in prefectural-level division in Lijiang

行政区	水功能区个数	水功能区达标个数	水功能区水质达标率Q <sub>0</sub> /%	考核目标 Q <sub>0</sub> /%	评价结果
丽江市	23	18	78	87	不超载

表 7 丽江市地级行政区入河污染物超排程度评价

Tab. 7 Over drainage in prefectural-level division in Lijiang

评价指标	现状入河量P/t	限制排放量P <sub>0</sub> /t	比值P·P <sub>0</sub> <sup>-1</sup>	评价结果
COD	4 402.4	4 398.9	1.00	不超载
氨氮	859.3	567.0	1.52	超载

表 8 丽江市2015年水资源三级区、县域单元水质要素评价

Tab. 8 Carrying capacity of total water quality in Lijiang

分区	水功能区水质达标率/%	考核目标/%	比值 Q·Q <sub>0</sub> <sup>-1</sup>	COD超排程度 P·P <sub>0</sub> <sup>-1</sup>	氨氮超排程度 P·P <sub>0</sub> <sup>-1</sup>	评价等级	
水资源分区	直门达至石鼓	100	50	2.00	1.00	1.00	不超载
	雅砻江	60	100	0.60	1.00	1.00	临界状态
	石鼓以下干流	81	88	0.93	1.00	1.62	超载
行政分区	古城区	67	67	1.00	1.00	1.12	临界状态
	玉龙县	100	83	1.20	1.00	1.00	不超载
	永胜县	100	100	1.00	1.00	1.00	不超载
	华坪县	50	83	0.60	1.00	1.83	超载
	宁蒗县	83	100	0.83	1.00	1.00	不超载
	全市	78	87	0.90	1.00	1.52	超载

由表8可知,虽然丽江市水功能区水质 $Q>0.8Q_0$ ,但由于氨氮入河量 $P=1.52P_0$ ,因此丽江市整体处于超载状态,其中玉龙县、永胜县和宁蒗县处于不超载状态,古城区为临界状态,华坪县处于超载状态。

### 3.3 潜力指标评价结果

选取地表水资源开发利用率为评价指标作为丽江市水资源承载状况评价的重要参考因素。地表水资源开发率是指地表水源供水量占地表水资源量的百分比。根据《2015年丽江市水资源公报》中的2015年现状用水量及全国水资源调查评价中的丽江市地表水资源量,计算得到丽江市水资源三级区及各县区的地表水资源开发利用率为。

将水资源条件指标和调配能力指标中的较小值作为水资源承载潜力(满足河湖生态环境需水条件下现状供水工程可支撑社会经济的最大供水量),并将评价口径用水量与承载潜力对比,进行水资源承载状况评价,如表9~10所示。

### 3.4 结果分析

根据第3.2~3.3节红线指标和潜力指标的评价结果,分析丽江市水资源承载状况,如图1~4所示。

从红线指标的评价结果来看,丽江市水资源承载状况堪忧。水资源分区上长江流域全线飘红,而行政区的评价结果与之出入较大,说明红线指标在水资源分区和行政分区上衔接的不统一会造成后续评价工作的困难。另一方面,行政区的评价结果反映出水资源配置方面,水资源多数配置到社会经济发展较好的区域,使得较为落后的地区水资源配置量不足以支撑本地的发展需求,存在不合理的现象。

从潜力指标的评价结果来看,全市水资源承载状况较好,说明丽江水自身的水资源禀赋条件尚好;在行政区的评价结果中可以看出古城区超载,说明古城区作为丽江市的行政与经济中心,水资源承载负荷最大,在水资源配置工程完成良好的配套之前存在较大的用水压力,与实际情况较为符合。

表 9 丽江市基于水资源承载潜力的水资源三级区承载状况评价

Tab. 9 Water carrying capacity in tertiary area of water resources in Lijiang

水资源三级区	水资源可利用量/(10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> )	现状供水能力/(10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> )	可利用量与供水能力的较小值/(10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> )	水资源承载潜力指标的90%/(10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> )	评价口径用水量/(10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> )	水资源承载状况
直门达至石鼓	18 711	4 683	4 683	4 215	4 384	临界状态
雅砻江	22 333	8 090	8 090	7 281	7 493	临界状态
石鼓以下干流	75 680	48 998	48 998	44 098	46 113	临界状态
泚江口以下	1 974	1 681	1 681	1 513	1 374	不超载

表 10 丽江市基于水资源承载潜力的行政分区承载状况评价

Tab. 10 Water carrying capacity in prefectural-level division in Lijiang

行政区	水资源可利用量/(10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> )	现状供水能力/(10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> )	可利用量与供水能力的较小值/(10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> )	水资源承载潜力指标的90%/(10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> )	评价口径用水量/(10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> )	水资源承载状况
古城区	5 080	9 151	5 080	4 572	8 878	超载
玉龙县	34 986	20 833	20 833	18 750	14 459	不超载
永胜县	27 153	20 667	20 667	18 600	18 039	不超载
华坪县	17 783	13 395	13 395	12 056	9 896	不超载
宁蒗县	32 109	8 832	8 832	7 949	8 092	临界状态



图 1 丽江市水资源三级区承载状况(红线指标)

Fig. 1 Carrying capacity in tertiary area of water resources in Lijiang (red lines)



图 3 丽江市水资源三级区承载状况(潜力指标)

Fig. 3 Carrying capacity in tertiary area of water resources in Lijiang (potentials)



图 2 丽江市行政分区水资源承载状况(红线指标)

Fig. 2 Carrying capacity in prefectural-level division in Lijiang (red lines)



图 4 丽江市行政分区水资源承载状况(潜力指标)

Fig. 4 Carrying capacity in prefectural-level division in Lijiang (potentials)

## 4 结 论

1) 水资源承载状况评价对指导生态环境保护和社会经济发展具有重要意义,目前主流的评价指标多是采用最严格水资源管理中的3条红线指标,不能很好地反映水资源禀赋条件、水利工程供水能力等承载潜力因素。

2) 中国部分地区,尤其是西南地区,社会经济发展对水资源的依赖程度较高,地方特色较为明显,水资源红线指标是按照行政区域划分,并不适合水资源分区的评估。

3) 潜力指标相较红线指标,能更好地反映地区的水资源实际情况,有效规避红线指标在水资源配置上的不合理性。

4) 基于评价结果,建议进一步调研评估区域水资源需求和趋势,为指标分配提供更为合理的依据,同时强化流域层面的水资源分配工作。

### 参考文献:

- [1] WMOU. Water-resources assessment activities[R]. New York: WMO Secretariat, 1988.
- [2] Fao U. Carrying capacity assessment with a pilot study of Kenya. Population-resources-environment-development: A resource accounting methodology for exploring national options for sustainable development[M]. Paris and Rome: UNESCO FAO, 1986.
- [3] 施雅风. 气候变化对西北华北水资源的影响[M]. 济南: 山东科学技术出版社, 1995.
- [4] 许新宜, 王浩, 甘泓. 华北地区宏观经济水资源规划理论与方法[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 1997.
- [5] Chen Kai, Li Jiu hao, Li Yong gang, et al. Evaluation of water resources carrying in Shantou city[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2012, 29(7): 21–26. [陈凯, 李就好, 李永刚, 等. 汕头市水资源承载力评价研究[J]. 长江科学院院报, 2012, 29(7): 21–26.]
- [6] Cui Dongwen. Evaluation and analysis of water resources carrying capacity in Wenshan prefecture based on BP neural network[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2012, 29(5): 9–15. [崔东文. 基于BP神经网络的文山州水资源承载力评价分析[J]. 长江科学院院报, 2012, 29(5): 9–15.]
- [7] Zhou Yang, Zhou Xiaode, Zhang Xinhua. Construction and application of evaluation system platform for the regional water environment carrying capacity[J]. Journal of Sichuan University (Engineering Science Edition), 2011, 43(6): 34–39. [周洋, 周孝德, 张新华. 区域水环境承载力评价系统平台构建与应用[J]. 四川大学学报(工程科学版), 2011, 43(6): 34–39.]
- [8] Zhang Li, Dong Zengchuan, Zhang Wei. Progress of pro-

- spect of research of water resources capacity[J]. *Water Resources and Hydropower Engineering*, 2003, 34(4): 1–4. [张丽, 董增川, 张伟. 水资源承载能力研究进展与展望[J]. *水利水电技术*, 2003, 34(4): 1–4.]
- [9] Zuo Qiting. Relationship between carrying capacity and optimal deployment of water resources[J]. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2005, 36(11): 17–22. [左其亭. 论水资源承载能力与水资源优化配置之间的关系[J]. *水利学报*, 2005, 36(11): 17–22.]
- [10] Li Yunling, Guo Xuning, Guo Dongyang et al. An evaluation method of water resources carrying capacity and application[J]. *Progress of Geography*, 2017, 36(3): 342–349. [李云玲, 郭旭宁, 郭东阳, 等. 水资源承载能力评价方法研究及应用[J]. *地理科学进展*, 2017, 36(3): 342–349.]
- [11] Fu Xiang, Ji Changming. A comprehensive evaluation of the regional water resource carrying capacity—Application of main component analysis method[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 1999, 8(2): 168–173. [傅湘, 纪昌明. 区域水资源承载能力综合评价——主成分分析法的应用[J]. *长江流域资源与环境*, 1999, 8(2): 168–173.]
- [12] Zuo Qiting, Zhang Peijuan, Ma Junxia. Calculating model and key questions about carrying capacity of water resources[J]. *Water Resources and Hydropower Engineering*, 2004, 35(2): 5–8. [左其亭, 张培娟, 马军霞. 水资源承载能力计算模型及关键问题[J]. *水利水电技术*, 2004, 35(2): 5–8.]
- [13] Yuan Ying, Gan Hong, Wang Zhongjing, et al. Discussion on progress and development trend of the research on water resources carrying capacity[J]. *Journal of China Institute of Water Resources and Hydropower Research*, 2006, 4(1): 62–67. [袁鹰, 甘泓, 王忠静, 等. 浅谈水资源承载能力研究进展与发展方向[J]. *中国水利水电科学研究院学报*, 2006, 4(1): 62–67.]
- [14] Zhao Jianshi, Wang Zhongjing, Gan Hong, et al. Computable model for carrying capacity of two dimensional water resources and its application[J]. *Journal of Hydroelectric Engineering*, 2009, 28(3): 176–180. [赵建世, 王忠静, 甘泓, 等. 双要素水资源承载能力计算模型及其应用[J]. *水力发电学报*, 2009, 28(3): 176–180.]
- [15] Hou Xiaojie. Study on water resources carrying capacity based on water footprint theory[D]. Wuhan: Central China Normal University, 2015. [侯小洁. 基于水足迹理论的水资源承载力研究[D]. 武汉: 华中师范大学, 2015.]
- [16] Tian Hongling, Qiao Jianping, Zhu Bo, et al. Repaid evaluation on environment resources carrying capacity of earthquake stricken area in Chengdu[J]. *Journal of Sichuan University (Engineering Science Edition)*, 2009, 41(Supp 1): 45–48. [田宏岭, 乔建平, 朱波, 等. 基于GIS技术的成都市灾区资源环境承载力快速评价[J]. *四川大学学报(工程科学版)*, 2009, 41(增刊 1): 45–48.]

(编辑 李轶楠)

引用格式: Zhou Yanchen, Chen Jin, Xu Jijun, et al. Assessment method of water resources carrying capacity and Its application to southwest china[J]. *Advanced Engineering Sciences*, 2018, 50(6): 116–122. [周彦辰, 陈进, 许继军, 等. 西南地区水资源承载能力评价方法与应用[J]. *工程科学与技术*, 2018, 50(6): 116–122.]