

# 基于短板法的重庆市水资源承载力评价

王渺林, 蒲海洋, 曹 磊

长江水利委员会水文局长江上游水文水资源勘测局, 重庆

收稿日期: 2024年3月8日; 录用日期: 2024年4月8日; 发布日期: 2024年4月28日

## 摘 要

本文以中国典型西南山地城市重庆市为对象, 考虑水量、水质2个要素, 采用“短板法”评价2015年、2020现状年和2025规划年重庆市各区县水资源承载力。结果表明, 重庆市2015年、2020年和2025年无严重超载和超载区县; 承载临界状态区县由2015年的7个减少为2020年的3个和2025年的2个(渝北区和酉阳县)。水资源承载力提升原因主要是用水效率提高、用水量的减少和水质提升。2025年渝北区水量承载状况指标将变为0.94, 处于临界状态。建议渝北区加强节水或通过水权交易市场购买用水量控制指标。

## 关键词

水资源承载力, 水量, 水质, 短板法, 重庆市

# Evaluation on Water Resources Carrying Capacity in Chongqing Based on Short-Board Method

Miaolin Wang, Haiwangyang Pu, Lei Cao

Bureau of Hydrology and Water Resources Survey of Upper Changjiang River, Bureau of Hydrology, CWRC, Chongqing

Received: Mar. 8<sup>th</sup>, 2024; accepted: Apr. 8<sup>th</sup>, 2024; published: Apr. 28<sup>th</sup>, 2024

## Abstract

Taking Chongqing, a typical mountainous area in southwest China, as a case study, the water resources carrying capacity of each district and county in Chongqing in 2015, 2020 and 2025 are evaluated by short-board method (considering the situation of the worst factor). Two factors of water quantity and water quality are analyzed. The results show that there is no serious overloading and overloading county in Chongqing in 2015, 2020 and 2025, and the number of counties in critical state decreased from 7 in

作者简介: 王渺林(1975.02-), 男, 正高级工程师, 主要从事水文水资源分析研究工作。Email: 17831198@qq.com

2015 to 3 in 2020 and 2 in 2025. The improvement of water use efficiency, the decrease of water consumption and the improvement of water quality are the main reasons of water resources carrying capacity increase. The water quantity load index of Yubei District in 2025 will become 0.94, which will be in a critical state. It is suggested to strengthen water conservation or purchase water quantity control index through the water right trade market in Yubei District.

## Keywords

Water Resources Carrying Capacity, Water Quantity, Water Quality, Short-Board Method, Chongqing

Copyright © 2024 by author(s) and Wuhan University.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

水资源承载力作为一种描述水资源与经济社会、人口和生态环境系统复杂关系的度量工具，其研究在理论和方法上都已取得较大进展，但仍存在一些问题和不足之处，如当前的水资源承载力研究在概念内涵、评价指标乃至成果表征等方面仍存在诸多分歧[1] [2]。水资源承载能力常见的量化研究方法很多，按所应用技术和复杂程度的不同，分为简单分析与估算方法、综合评价方法和复杂系统分析方法三类[2] [3] [4] [5]。翁薛柔等选取 26 个相关指标构建 DPSIR 概念模型，对重庆市 2003~2017 年水资源承载力进行评价分析[6]。冉启智等构建了重庆市水资源承载力指标体系，采用 28 个指标对 2014~2018 年重庆市各区县水资源承载状态进行评价[7]。较多研究采用了多指标评价方法，此类方法的不足是不便于实际操作和监测预警。李云玲等从水资源承载负荷和承载能力 2 个方面出发，采用实物量指标对水资源承载能力各因素分别评价，采用“短板法”全面考虑各要素评价结果，进而得到水资源承载能力综合评价结果[8]。“短板法”切实可行、便于操作，为《全国水资源承载能力监测预警技术大纲》水资源承载能力评价使用方法。

重庆市地处中国西南部、位于长江上游，海拔高差较大。重庆市辖 26 个区、8 个县、4 个自治县。境内坡地较多，山地面积占据大部分区域为 76%，丘陵面积为 22%，因此有“山城重庆”的说法，地理位置处于三峡库区的核心区域，是整个长江流域乃至全国重要的水资源战略库，在生态安全上有着至关重要的作用。重庆市地表水资源相对贫乏，且时空分布不均，地下水资源甚少[9]。本文主要考虑水量、水质 2 个要素，采用“短板法”对 2015 年、2020 年及 2025 年规划年重庆市及各区县水资源承载能力评价，并分析水资源承载状态变化原因。分析结果可指导区域水资源合理利用，从而对水资源的调控制定合适的长远战略，实现区域经济社会的可持续发展。

## 2. 评价方法

重庆市位于山区，地下水资源与地表水资源重复，目前限制地下水开采，地下水相对地表水使用量占比非常小，故本文水量评价采用如下公式：

$$I = W/W_0 \quad (1)$$

式(1)中： $I$ 为采用用水总量计算得到的水量要素评价系数； $W$ 为用水总量； $W_0$ 为用水总量控制指标[10]。

水质方面，相对于污染物入河量来说，水功能区水质达标率有监测数据支撑更为真实可靠，故水质要素评价采用如下公式：

$$J = Q/Q_0 \quad (2)$$

式(2)中： $J$ 为采用水功能区水质达标率计算得到的水质要素评价系数； $Q$ 为水功能区水质达标率； $Q_0$ 为水功能

区水质目标达标率[10]。

综合水资源承载状况评价的判别标准如下：1) 严重超载：水量、水质要素任一要素为严重超载；2) 超载：水量、水质要素任一要素为超载；3) 临界状态：水量、水质要素任一要素为临界状态；4) 不超载：水量、水质要素均不超载。即水资源承载状况评价最终以最差的为准，亦称“短板法”。短板理论和方法经常用于资源和环境承载力评价中[11][12][13]。

水资源承载状况评价标准见表1。2015年、2020年水量水质数据来源于重庆市水资源公报，2025年水量水质预测数据来源于重庆市及各区县“十四五”水安全保障规划等成果。用水总量控制目标和水功能区水质目标达标率数据来源于《重庆市实行最严格水资源管理制度考核办法》(2013年)、《重庆市“十四五”用水总量和强度双控目标》(2022年)、重庆市及各区县“十四五”水安全保障规划等成果。

**表 1. 水资源承载状况分析评价标准**

要素	评价指标	承载状况评价			
		严重超载	超载	临界状态	不超载
水量	水量要素评价系数 I	$I \geq 1.2$	$1 \leq I < 1.2$	$0.9 \leq I < 1$	$I < 0.9$
水质	水质要素评价系数 J	$J \leq 0.4$	$0.4 < J \leq 0.6$	$0.6_0 < J \leq 0.8$	$J > 0.8$

### 3. 重庆市及各区县水资源承载能力评价

#### 3.1. 水量承载状况评价

水量承载状况评价主要采用用水总量，用水总量包含生产、生活、生态，生产用水包含第一、二、三产业用水量，第一产业为农林牧用水总量、第二产业为工业建筑业用水量，第三产业为服务行业用水。其中工业用水需要对火核电用水进行折算。

重庆市水量承载评价结果及承载临界状态区县见表2。从评价结果来看：

1) 2015年重庆市总用水量承载状况指标 I 为 0.80，处于不超载状态。各区县处于临界状态的有綦江区、大足区、璧山区、铜梁区、潼南区、酉阳县等 6 个区县，璧山区指标 I 最大为 0.99；无超载的区县。

2) 2020年重庆市总用水量承载状况指标 I 为 0.72，处于不超载状态。各区县处于临界状态的有璧山区、酉阳县、潼南区等 3 个区县，璧山区指标 I 最大为 0.95；无超载的区县。

3) 2025年重庆市总用水量承载状况指标 I 为 0.71，处于不超载状态。各区县处于临界状态的有渝北区、酉阳县 2 个区县；无超载的区县。需要注意的是渝北区，承载状况指标 I 从 0.76 增加为 0.94，处于临界状态。

**表 2. 重庆市水量承载评价结果及承载临界状态区县**

行政区	2015 年		2020 年		2025 年	
	承载指标 I	承载状态	承载指标 I	承载状态	承载指标 I	承载状态
重庆市	0.80	不超载	0.72	不超载	0.71	不超载
綦江区	0.95	临界状态	0.73	不超载	0.80	不超载
大足区	0.98	临界状态	0.72	不超载	0.83	不超载
璧山区	0.99	临界状态	0.95	临界状态	0.88	不超载
铜梁区	0.98	临界状态	0.74	不超载	0.84	不超载
潼南区	0.93	临界状态	0.90	临界状态	0.78	不超载
酉阳县	0.95	临界状态	0.92	临界状态	0.92	临界状态
渝北区	0.81	不超载	0.76	不超载	0.94	临界状态

### 3.2. 水质承载状况评价

水质承载状况评价涉及到国家级和重庆市级的水功能区 251 个。含保护区 24 个，保留区 73 个，缓冲区 36 个，开发利用区 118 个。

重庆市及部分区县水功能区达标率控制指标见表 3。采用水功能区水质达标率评价水质要素承载状况：2015 年除垫江县处于“临界状态”外，其余区县均处于“不超载”的状态。而 2020 年和 2025 年均处于“不超载”的状态，也无“临界状态”区县。

**表 3. 重庆市及部分区县水功能区达标率控制指标**

行政区	水功能区达标率控制指标			实际达标率		2025 年预计达标率
	2015 年	2020 年	2025 年	2015 年	2020 年	
重庆市	78%	85%	93.1%	79%	92.4%	98.6%
垫江县	75%	88%	95%	50%	85%	100%
酉阳县	82%	85%	95%	83.3%	85.2%	95%
渝北区	85%	91%	95%	89%	91%	100%

### 3.3. 综合评价

综合水量和水质评价结果，2015 年、2020 年和 2025 年重庆市无严重超载和超载的区县。

1) 2015 年临界状态区县共 7 个(其中水量临界状态区县 6 个，分别为綦江区、大足区、璧山区、铜梁区、潼南区、酉阳县；水质临界状态县 1 个，为垫江县)。

2) 2020 年承载临界状态区县共 3 个(都为水量临界状态，分别为璧山区、潼南区、酉阳县)。

3) 2025 年承载临界状态区县共 2 个(都为水量临界状态，分别为渝北区、酉阳县)。2025 年渝北区水量承载状况指标将增加为 0.94，处于临界状态。

## 4. 水资源承载状况变化原因及对策

### 4.1. 用水效率提升促使用水量减少

分析重庆市 2005~2020 年主要用水指标变化(如图 1 所示)。可以看出万元工业增加值、万元 GDP 用水量均呈现下降趋势。人均综合用水量 2010 年达到最高值 299 m<sup>3</sup> 后持续减少。2020 年重庆市万元 GDP 用水量、万元工业增加值用水量分别比 2015 年下降 29%、61%。

綦江区、大足区、铜梁区 2020 年用水量分别为 2.0216 亿 m<sup>3</sup>、1.4487 亿 m<sup>3</sup>、1.7109 亿 m<sup>3</sup>；分别比 2015 年减少 0.5288 亿 m<sup>3</sup>、0.3451 亿 m<sup>3</sup>、0.4092 亿 m<sup>3</sup>。用水量减少使得承载状况指标 I 降低。

### 4.2. 通过河长制有效促进水质提升

重庆市 2017 年起全面推行河长制，先后印发《河长制工作规定》《强化河长履职尽责的实施意见》，落实“一河一长”“一河一策”“一河一档”要求，建立了河长巡查、河长会议等多项工作机制，明确河长履职关键环节。2021 年 1 月在全国率先颁布实施河长制地方法规《重庆市河长制条例》，将河长制实施纳入法治化轨道。2020 年长江干流重庆段国考断面水质全部达到 II 类，重庆全市 42 个“十三五”国控考核断面水质优良比例首次达到 100%，较 2016 年河长制实施之前提高 11.9%。其中垫江县全面推进饮用水水源地保护、污水偷排直排乱排整治等专项行动，2020 年化学需氧量、氨氮较 2015 年分别减排比例为 29.69%、29.88%，完成总量减排目标。

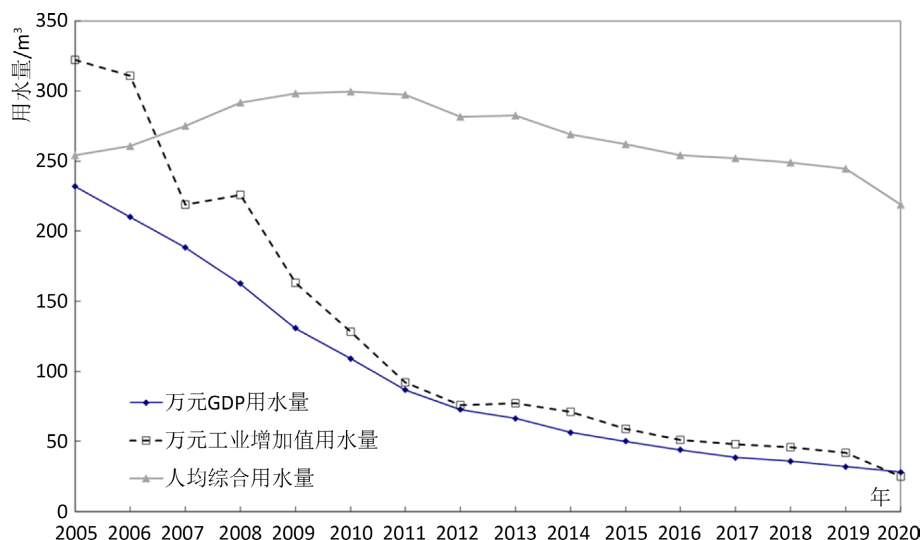


图 1. 重庆市主要用水指标变化

### 4.3. 承载临界状态区县提升建议

根据前述分析,水资源承载临界状态区县由 2015 年的 7 个将减少为 2025 年的 2 个(渝北区和酉阳县)。2025 年渝北区水量承载状况指标将变为 0.94,处于临界状态。酉阳县一直处于临界状态。考虑到 2025 年规划年采用的预测用水量存在一定的不确定性,为确保 2025 年重庆无水资源承载能力超载区县,因此有必要提升渝北区和酉阳县水资源承载能力。

#### 1) 渝北区

渝北区是重庆北向发展的主战场,同时作为重庆“一区两群”战略中主城都市区的重要支撑点。预计 2025 年 GDP 保持重庆市领先水平,年均增长 6%左右。受城镇化扩张、人口增长等多方面因素影响,导致水资源承载负荷量不断加大。且区内部分区域属于国家级开发新区——两江新区范围,为重要增长极,因此建议:1) 开发区和工业园区重点用水大户,应制定节水方案。各企业应自主完成水平衡测试;2) 推广再生水利用,建设和增加再生水回用设施和装置,制定再生水回用优惠政策;3) 两江新区的定位和发展前景预计对水资源需求较大,而所在区域渝北区和江北区水资源管理用水总量控制指标相对偏小,建议适当调整。必要时通过水权交易市场购买用水量指标。

#### 2) 酉阳县

酉阳自治县位于重庆市东南、渝鄂湘黔四省市结合部,是国家乡村振兴重点帮扶县。2020 年城镇化率 42.19%。水资源利用效率有待进一步提高,城镇节水有待加强,水源保障能力仍显不足。建议:1) 开展戏沙湖水库、桃花源水库等水利工程建设。2) 推进酉阳河、酉水河、龙潭河等河流水资源监测体系建设,加强水资源监控平台应用。3) 加强节水工作,降低城镇公共供水管网漏损率至 10%,非常规水利用率 2025 年达到 17%。

## 5. 结语与建议

本文以《重庆市统计年鉴》《重庆市水资源公报》等统计资料为基础,结合重庆市及各区县“十四五”水安全保障规划等相关规划资料,考虑水量、水质 2 个要素,采用“短板法”对 2015 年、2020 年和 2025 年规划年重庆市及各区县的水资源承载能力进行评价,分析了水资源承载变化原因和对策,主要结论如下:

1) 重庆市 2015 年、2020 年和 2025 年规划年无严重超载和超载区县;承载临界状态区县由 2015 年的 7 个减少为 2020 年的 3 个,预计减少至 2025 年的 2 个。水资源承载力提升原因主要是用水效率提高、用水量的减

少和水质提升。

2) 2025 年渝北区水量承载状况指标从 0.76 增加为 0.94, 处于临界状态。建议加强节水或通过水权交易市场购买用水量指标。

本次研究 2025 年规划年水量水质预测数据存在一定的不确定性。为确保 2025 年重庆无水资源承载状态超载区县, 建议加强水资源承载能力监测, 建立水资源承载力预警机制, 落实水资源刚性约束要求, 加强用水管理, 完善节水措施, 推进水资源安全高效集约节约利用。

## 基金项目

重庆市水利局项目(20210004-1)“重庆市水资源承载能力评价项目”; 长江水科学研究联合基金(U2240201)。

## 参考文献

- [1] 王建华, 何凡, 何国华. 关于水资源承载力需要厘清的几点认识[J]. 中国水利, 2020(11): 1-5.
- [2] 龙秋波, 朱文彬, 吕爱锋. 水资源承载风险监测预警理论与方法探析[J]. 南水北调与水利科技(中英文), 2021, 19(6): 1147-1156.
- [3] 何小赛, 杨玉岭, 戴良松. 区域水资源承载力研究综述[J]. 水利发展研究, 2015, 15(2): 42-45+73.
- [4] 杨金鹏. 区域水资源承载能力计算模型研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国水利水电科学研究院, 2007.
- [5] 朱运海, 彭利民, 杜敏, 等. 区域水资源承载力评价国内外研究综述[J]. 科学与管理, 2010, 30(3): 21-24.
- [6] 翁薛柔, 龙训建, 叶琰, 等. 基于 DPSIR 耦合模型的重庆市水资源承载研究[J]. 水资源研究, 2020, 9(2): 189-201.
- [7] 冉启智, 廖和平, 洪惠坤. 重庆市水资源承载力时空特征与承载状态[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2022, 44(7): 169-183.
- [8] 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.
- [9] 段秀举. 基于生态理念的山地城市水资源规划研究——以重庆市水资源规划为例[D]: [博士学位论文]. 重庆: 重庆大学, 2015.
- [10] 魏芳芳, 周芬, 王亚楠. 宁波市水资源承载能力评价及对策[J]. 人民黄河, 2022, 44(S2): 97-99.
- [11] 杨正先, 索安宁, 张振冬, 等. “短板效应”理论在资源环境承载能力评价中的应用及优化研究[J]. 海洋环境科学, 2018, 37(4): 602-607.
- [12] 熊跃辉. 发挥环保标准在生态保护红线中的支撑作用[J]. 环境保护, 2014, 42(1): 22-25.
- [13] 韩冬梅, 汪刚, 田晓喻. 基于短板理论的中国畜禽养殖资源承载风险评估[J]. 资源科学, 2022, 44(10): 2074-2088.