

水资源承载能力评价方法分析

王在兴 郭锐娥 鹿巍 雷佩
(西安思源学院 陕西 西安 710038)

DOI:10.12238/jpm.v3i3.4782

[摘要]近年来社会、经济、文化等各方面发展较快，水资源作为发展的必要因素，正威胁着产业的生存与人们的正常生活，对区域的水资源承载能力进行评价有重要意义。常用的水资源承载能力评价方法有：综合指数法、主成分分析法、模糊综合评价法、系统动力学法、多目标决策法、神经网络法、物元分析法、生态足迹法等。本文总结并分析了这6种评价方法的优缺点，及其适用性。

[关键词]水资源承载能力；水资源承载能力评价方法；水资源

Analysis on evaluation method of water resources carrying capacity

Wang Zaixing, Guo Ruie, Lu weilepei

(Xi'an Siyuan University, Xi'an, Shaanxi 710038)

[Abstract] in recent years, society, economy, culture and other aspects have developed rapidly. As a necessary factor of development, water resources are threatening the survival of industry and people's normal life. It is of great significance to evaluate the carrying capacity of regional water resources. The commonly used evaluation methods of water resources carrying capacity include: comprehensive index method, principal component analysis method, fuzzy comprehensive evaluation method, system dynamics method, multi-objective decision-making method, neural network method, matter-element analysis method, ecological footprint method, etc. This paper summarizes and analyzes the advantages, disadvantages and applicability of these six evaluation methods.

[Key words] water resources carrying capacity; Evaluation method of water resources carrying capacity; water resource

水资源承载能力指区域水资源对当地人口、经济和生态环境发展的支撑能力。国外对水资源的研究，主要在水资源管理方面，很少有学者对区域水资源承载能力做专门研究。一般是在研究区域可持续发展时，会涉及到对水资源承载能力的分析；或者在研究区域自然资源状况时，计算其可承载社会、经济、人口经济规模。

国内对水资源承载能力的研究起步于上个世纪80年代，主要针对区域水资源开发利用状况进行定量描述，通过评价水资源承载能力，可以反映出当地水资源对社会经济系统与生态环境系统的支撑能力。评价研究趋向于应用与量化，采用不同的数学计算方法将其量化，结果较直观可靠。一般采用经验公式法、背景分析法、定额趋势法对区域水资源承载能力进行简单估算与评价。进行系统深入研究时，目前常用的综合评价方法主要有综合指数法、主成分分析法、模糊综合评判法、系统动力学法、投影寻踪法、神经网络法、多目标决策法以及生态足迹法等。不同的研究方法，适用于不同条件下的区域承载力

评价。

1. 综合指数法，指选取能反映研究区水资源承载能力的单项或多项指标，通过加权运算，计算出水资源承载能力的综合指数，以此来评价区域水资源承载能力的方法。该方法具有简便、综合与直观的优点，但将研究问题进行简单化后，会导致研究深度不够。近年来采用综合指数法进行研究的学者众多，如：羊永夫等^[1]运用综合指数法对清镇市一工业区的地下水质量进行了评价；黄垒等^[2]选取10项指标，将综合指数法与GIS/RS技术相结合，对保定市地表水资源进行了评价；李文宝等^[3]将综合指数法与模糊评价法相结合，对湘西自治州水资源承载能力进行分析评价；陈威等^[4]采用系统动力学法做预测，将综合加权指数法与平衡指数模型相结合，评价了武汉市2012-2020年的水资源承载能力。

2. 主成分分析法，既可以用来筛选评价指标，也可以作为客观评价区域水资源承载能力的一种方法。利用主成分分析法筛选指标，主要依靠相关性原理，选择出与系统评价相关性较

强的指标,以减少后续评价研究的计算工作量。如张彦来等^[5]应用主成分分析法筛选出8个指标,通过改进的模糊综合评价法对大同市的水资源承载能力进行评价;苏品任等^[23]通过主成分分析法筛选16个主要指标,采用灰色关联模型,对重庆喀斯特地区水资源承载能力的动态变化进行了评价。利用主成分分析法进行水资源承载能力评价,基本思路为:通过对多个指标进行数学计算,选出少数几个综合指标,然后对综合指标进行分析,来评价区域水资源承载能力。该方法实质上是对高维变量空间进行降维处理,经过线性变换,使高维变量系统得到最佳综合与简化。用主成分分析法来评价水资源承载能力,克服了信息重叠,确定指标权重较客观,避免了主观随意性,可科学、客观地将水资源承载能力多目标问题转换为单目标形式,解决了不同量纲的指标之间可综合性计算分析的问题。但评价参数的分级标准难以选定,在对经济活动研究分析时难以选择合适的控制点,得出的主成分及其综合得分值物理意义不明确。因此,该方法适用于分析某区域内水资源承载能力的空间差异情况或不同年份间的对比分析,而对同一年指定区域的单一样本研究没有意义。

3. 模糊综合评价法,是在确定指标体系及其权重的基础上,确定各因素对指标等级的隶属度,然后分析结果向量,对区域水资源承载能力做出评价。该方法是把定性定量相结合的评价方法,适用于处理难以用精确数学方法描述的问题,具有可操作性强、分辨率高、赋权客观、结果稳定的优点。但对主观产生的离散过程进行综合处理时,会遗失部分有用信息,从而降低评价的准确性。近年来,应用模糊综合评价法进行水资源承载能力研究的也较多,具体研究有:崔莹等^[6]选取25个评价指标,并将指标划分为5个等级,采用熵值法定权,构建模糊综合评判模型,评价分析了2005—2014年重庆市的水资源承载能力。常文娟等^[7]通过层次分析法和熵值法确定指标权重,结合可变模糊集理论,运用最大贴近度准则,对宜昌市2009—2014年间的水资源承载能力进行计算。

4. 系统动力学法,指应用系统动力学原理,通过建立数学模型,将研究问题分解成环环相扣的网络结构。数学模型可用线性方程,也可以用非线性方程,对数据分析的速度较快。运用该方法进行水资源承载力动态模拟计算,可较好地把握研究系统内的各种反馈关系。但模型内参变量难以掌握,易导致不合理结论,因此只适用于中短期发展情况的分析。目前应用系统动力学进行水资源承载力评价的研究有:李焕等以2004—2013年指标数据为基础,构建了水资源人口承载力的系统动力学预测模型,通过模拟计算,得出2020年与2030年长江经济带区域的水资源极限人口承载力、水资源总量、水资源警戒人口承载力以及丰水线人口承载力等指标值。伏吉芮等以2009—2013年数据为基础,构建了吐鲁番地区水资源供需系统模型,通过模拟仿真,计算出2013—2030年间吐鲁番的水资源供

需变化趋势。Wang等建立了北京市水资源承载力的系统动力学模型(SD),进行计算机模拟,得出了北京市2006—2030年人口、经济、水供需和水环境压力的变化趋势。

5. 多目标决策法,是将研究区看做一个系统,选取影响水资源承载能力的社会经济、资源、生态环境等目标,按照数学规划的方法,根据可持续发展的原则,建立数学模型。求出的最优解,即区域可承载人口、经济、生态的最大规模。该方法所用数据都是实测统计而来,信息失真小且不受主观因素干扰,可处理多样本、多指标的系统数据。用数学求最优解的方法,几何意义更直观。该方法适用于较小规模的模型研究,当研究区系统较大、较复杂时,影响因素太多而难以考虑全面,会使运算结果不可靠。该方法经常用于管理、决策及效益评价等领域。在水资源承载力方面的研究中应用也非常广泛。主要研究有:赵恩国基于北京市的产业结构,利用数学迭代的多元目标决策模型,计算得出2020年北京市的人口承载极限为2402万人。郝芝建等运用多元目标决策分析法,评价了钦州市的水资源承载能力,并得出2030年可承载的经济、人口规模。秦隆宇构造了多元目标决策-理想点法模型,并对辽河流域的水资源承载能力进行了评价,结果显示研究流域承载能力较弱。郝跃颖等采用目标优化方法,计算得到,衡水市不同生活水平下水资源最大人口承载数量及水资源承载指数,得出结论:研究区水资源开发利用不合理,且出现短缺状况。

6. 神经网络法,指在选出水资源承载能力影响因子的基础上,将其分级,通过构建指标等级与指标数值之间的映射关系,来评价区域水资源承载能力。映射函数可包含线性与非线性,因此对于复杂、非线性问题较多的系统,应用较广泛。该方法具有很强的非线性映射能力,可以逼近任意函数,灵活性大,计算结果更客观。其缺点是易受局部极点困扰,收敛速度慢。由于神经网络模型的构建较复杂,在水资源承载力方面的应用较少。目前主要研究有:安国庆^[42]确定15个水资源承载力影响因子,构建神经网络模型,研究了2010—2016年间衡水市的水资源承载能力变化趋势,苏宗奎等^[43]从区域生产力水平、水资源数量、生态环境等方面考虑选取6个指标,并将指标分为5个等级,采用神经网络法,评价了2006—2015年江西省的水资源承载能力。崔东文^[44]运用BP神经网络,对选取的8个评价指标进行分析,得出云南文山州不同水平年的水资源承载力状况。冯湘华等^[45]将评价指标划分成3个等级,利用径向基神经网络对淳化县水资源承载力进行了综合评价,并与模糊综合评判模型、TOPIS模型得出结论进行对比。

7. 物元分析法,指根据已建的指标体系及其分级标准,建立待测物元、经典域和节域矩阵,确定关联函数,最后进行贴近度计算,得出评价区域所处等级。该法把研究问题转化成“事物-特征-量值”的形式进行描述,使复杂问题简单化。该法中的关联函数没有统一的确定形式,程序相对较简单,常与模糊

数学理论结合起来,运用在水资源承载力评价的研究中。如:李滕等选取 12 个评价指标,并对指标进行等级划分,采用熵值法赋权,建立了模糊物元模型,对渭北工业区的地下水水资源进行承载力评价。结果表明:阎良地下水处于高度利用状态,开采潜力较小;临潼、高陵地下水处于中度利用状态,尚有一定开采潜力。莫崇勋等将 10 个评价指标分为 8 级,运用物元法,计算出南宁市现状年与规划年的水资源承载力级别。田静宜等将 15 个指标分为 3 级,并采用熵值法对其赋权,运用模糊物元法,评价了甘肃省民勤县 2003、2010 与 2020 年的水资源承载力。于倩雯等运用主客观组合赋权,采用模糊物元法,对青海省 8 个行政单元进行了水资源承载力分析。

8. 生态足迹法,指研究区域内人类生活需消耗自然资源,并产生废弃物,分析所能承载这些人群正常生活的生产性土地面积。生态足迹法能研究出该区域人类与自然的可持续发展情况。使用该方法是通过计算土地面积来表征区域承载能力大小,有易于操作、计算简便、结果形象的优点。其缺点在于,通用的固定计算式中,恒量为国际标准设定,对区域特定情况会不适宜;另外,影响水资源承载能力的因素众多,而计算式中参数较少,难以较准确的表现出区域水资源承载能力。目前,应用该方法进行水资源承载能力的研究较多,如陆砚池等构建了基尼系数为基础的生态足迹模型,研究了全国的水资源承载能力。张志高等通过生态足迹法,测算了 2005—2014 年间安阳市的人均水资源生态足迹,并评价了区域水资源生态承载能力。熊娜娜等^[52]根据水资源生态足迹模型,研究了成都市历年水资源生态足迹的变化趋势,并分析了经济发展对其造成的影响。金昌盛等计算了长江经济带的水资源生态足迹,并预测了其未来 9 年的发展趋势,结果显示:该区域水资源生态足迹整体在上升后,趋于平稳。孙博等探讨了辽宁省 9 年的水资源生态足迹变化趋势,并用指数分解法对各影响因素进行分析。董立翔等对传统的生态足迹模型进行改进,分析了浙江台州市 17 年间的水资源生态足迹。

综上所述,不同的研究方法有其优点,亦有其缺点。综合指数法、生态足迹法可以对区域水资源承载力做出较浅分析,若要进行深入研究,需要与其他方法结合使用。多目标决策法、系统动力学法可以计算得出未来区域可承载人口、经济规模。主成分分析法可以将较多的评价指标,经一系列数学运算归纳出较少的综合指标,然后通过较少几个综合指标的分析来评

价区域水资源承载力。模糊综合评价法、物元分析法、神经网络法、通过对指标分级,研究各指标数值与划分级别之间的映射关系,获得区域水资源承载力所属级别,评价结果较直观,其中模糊综合评价法可克服指标间相互独立的局限性,实现对复杂水资源承载系统的全面分析。因此,对于不同区域的水资源承载力进行研究,需要选择相适应的方法。

参考文献

- [1] 羊永夫,褚学伟.模糊评判法和综合指数法在岩溶地下水质量评价中的应用——以清镇市工业西区为例[J].黑龙江水利科技,2017,45(5):131-136.
- [2] 黄垒,张礼中,朱吉祥,等.基于综合指数法的保定市地表水资源脆弱性评价[J].南水北调与水利科技,2018,16(06):68-73.
- [3] 李文宝.基于模糊综合评价的湘西自治州水资源承载力研究[J].湖南水利水电,2016(6):42-44.
- [4] 陈威,周铨.武汉市水资源承载力动态评价模型的构建及其应用[J].水电能源科学,2014,32(07):48-51+43.
- [5] 张彦来,任春平,武鹏林.改进可变模糊算法在水资源承载力评价中的应用[J].人民长江,2019,50(01):89-94.
- [6] 崔莹,谢世友,柳芬,等.重庆市水资源可持续利用能力的模糊评价[J].西南大学学报(自然科学版),2017,39(04):115-123.
- [7] 常文娟,刘建波,马海波.基于可变模糊集理论的宜昌市水资源承载力评价[J].节水灌溉,2018(01):48-51.

作者简介:

王在兴(1989—),女,汉族,陕西省西安市,西安思源学院,研究生,助理工程师,研究方向:工程管理

郭锐娥(1981—),女,汉,陕西省咸阳市,西安思源学院,研究生,讲师,研究方向:土木工程