

水资源承载能力研究中的若干问题探讨^{*}

陈洋波, 陈俊合

(中山大学水资源与环境系, 广东 广州 510275)

摘要: 首先对国内外水资源承载能力的定义进行了归纳, 并提出了一个水资源承载能力的新的定义; 在此基础上, 介绍了水资源承载力的三种度量指标, 即水量指标、人口指标和社会综合类指标; 分析了国内外水资源承载能力的综合评价指标体系, 并对水资源承载力计算的定性与定量分析方法进行了评述。对水资源承载力研究中的有关问题提出了建议。

关键词: 水资源承载力; 评价指标; 模糊综合评价; 多目标分析

中图分类号: TV211.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2004) S1-0181-05

水资源承载能力是区域水资源可持续利用的重要支撑条件。水资源承载力计算研究在国内外都还是一个比较新的课题, 国内较早开展研究的是新疆水资源软科学课题研究组 1989 年对新疆水资源及其承载问题进行的研究^[1], 后来国家在“九五”攻关计划中开立了“关中水资源承载力研究”课题, 开展了系列研究, 再后来在“973”项目“黄河流域水资源演化规律与可再生性维持机理”研究中也开展了西北地区水资源承载力研究。

国内外学者虽然进行了不少有益的研究, 但在很多方面, 特别是一些关键问题上的认识还不一致。比如水资源承载能力的定义, 承载力的度量指标等方面, 仍众说不一。本文试图对水资源承载力几个关键问题进行探讨。

1 水资源承载能力的定义

对水资源的承载力, 目前尚无统一的定义, 在不同的文献中有不同的定义方法。联合国教科文组织给资源承载力的定义是“一个国家或地区的资源承载力是指在可以预见到的期间内, 利用本地能源及其自然资源和智力、技术等条件, 在保证符合其社会文化准则的物质生活水平条件下, 该国家或地区能持续供养的人口数量”^[2]。

目前对水资源承载力的定义, 本文将其归纳为三类, 即可供水量定义, 可供养人口定义和综合指标定义。

(1) 可供水量定义

该类型对水资源承载力的定义侧重的是区域水资源的可利用量, 这类定义如许有鹏^[3]、肖满意^[4]、付湘等^[5]、王先甲^[6]、秦莉云等^[7]等, 采用的水资源承载能力的定义是: 在一定的技术经济水平和社会生产条件下, 水资源可最大供给工农业生产、人民生活 and 生态环境保护等用水的能力, 强调的是水资源所能供给的量。

(2) 可供养人口定义

该类型对水资源承载力的定义侧重的是区域水资源可供养的人口, 这类定义如阮本清等^[8]提出的定义是“在未来不同的时间尺度上, 一定生产条件下, 在保证正常的社会文化准则的物质生活水平下, 一定区域(自身水资源量)用直接方式表现的资源所能持续供养的人口数量”。该定义是国内较早对水资源承载能力的定义, 强调的是水资源所能承载的人口数量。

(3) 综合指标定义

该类型对水资源承载力的定义侧重的是区域水资源可支撑的综合指标, 这类定义较多, 如贾嵘等给水资源承载力下的定义是“水资源承载力是指在一个地区或流域的范围内, 在具体的发展阶段和发展模式条件下, 当地水资源对该地区经济发展和维护良好的生态环境的最大支撑能力”^[9]。

王建华等^[10]提出的水资源承载力的定义是“在将来不同的时间尺度上, 以预期的经济技术发展水平为依据, 在对生态环境不构成危害的条件下, 某一区域内可利用的水资源持续供养一个良性

* 收稿日期: 2004-03-20

基金项目: 教育部留学回国人员科研启动基金资助项目; 中山大学“百人计划”科研启动基金资助

作者简介: 陈洋波(1964年生), 男, 教授; E-mail: eescyb@zsu.edu.cn

社会体系的能力”。

薛小杰^[11]提出的城市水资源承载能力的定义是:“某一城市(含郊区)的水资源在某一具体历史发展阶段下,以可预见的技术,经济和社会发展水平为依据,以可持续发展为原则,以维护生态环境良性循环发展为条件,经过合理优化配置,对该城市社会经济最大支撑能力”。

李令跃等^[12]的定义为:“在某一历史发展阶段,以可预见的技术,经济和社会发展水平为依据,以可持续发展为原则,以维护生态良好发展为条件,在水资源开发得到合理开发利用下该地区人口增长与经济发展的最大容量”。

冯尚友^[13]提出水资源承载能力为“一定区域内,在一定的生活水平和生态环境质量下,天然水资源的可供水量能够支持人口、环境与经济协调发展的能力或限度”。

夏军等^[14]提出水资源承载能力为“在一定的水资源开发利用阶段,满足生态需求的可利用水量能够维系有限发展目标的最大的社会—经济规模”。

朱照宇等^[15]提出的水资源承载力的定义是:“在水资源数量和资源质量不发生对人类生存发展有害变化的前提下,水资源所能承受的人类社会发展的规模、强度和速度的限值”。

前 2 种定义以单一指标度量水资源承载力,太过于简单,本文认为第三类较为合理。本文结合上述水资源承载力的定义,提出如下的一个定义。

“一定区域内的水资源,在满足水资源可持续利用条件下,可支撑的社会经济—人口—环境协调发展的规模”。

2 水资源承载能力的度量

水资源承载能力如何度量,是水资源承载能力研究的最终体现。水资源承载能力的度量,一般是与其定义相关的。在实际研究中,应用的指标可分成三种不同类型,即水量指标、人口指标和社会综合类指标。

水量指标以区域内可有效供给的水资源量来表示,这类研究指标与水资源承载力的第一类定义相对应,这类研究指标多见于早期的研究中,计算起来相对较为简单,如许有鹏^[3]、曲耀光^[16]。

人口指标以一定区域内水资源所能持续供养的人口指标来表示水资源的承载能力,如阮本清^[8]、李丽娟^[17]、王煜^[18]在研究中提出了西北地区可承载的最大人口数量,结果表明西北地区人口 1997 年已超载 850 万人,2010 年和 2020 年的超载人口数将达到 1889 和 2551 万人。

社会综合类指标不仅仅以某一种单独的指标来度量水资源承载能力,而是以一组反映经济—人口—环境的指标来度量水资源的承载能力。王先甲^[9]提出可用经济效益、环境效益、社会效益三类指标来描述,但由于没有给出具体的指标,因而缺乏可操作性。贾嵘等^[19]在进行国家“九五”科技攻关项目研究中,选取国内生产总值(GDP)、人口、粮食产量和污染负荷量(BOD)来度量水资源承载能力。

本文认为,第一类度量指标太过于简单,与一般的水资源数量评价的内容相差不大,不宜采用。第二类度量指标采用人口指标,较第一类指标表面上前进了一步,但实际上进步不大,因为人口指标只是根据可利用的水资源量与单位人口的用水量的比值确定,本质上与第一类没有太大的差别。

从水资源可持续利用的观点出发,水资源的可持续利用应实现资源—人口—环境的协调发展。因此,本文认为采用第三类指标,即社会综合指标来度量水资源承载能力较合理,并采用多目标规划法或系统动力学方法来计算确定各度量指标。

本文提出对于南方经济发达地区采用 GDP、人口、环境容量三个指标来度量水资源承载能力较为理想,粮食产量指标在北方农业地区仍很重要,但在南方地区,粮食生产不是主要产业,可不将其作为承载力的度量指标。

3 水资源承载能力的评价方法

目前对水资源承载能力的研究主要有 2 种方法,第一种方法是定性分析方法。这种方法又称水资源承载能力的综合评价,即根据水资源开发利用的各项评价指标,运用综合评价方法,对水资源承载能力是否超载进行定性评价。水资源承载能力综合评价只对水资源承载的社会经济环境发展规模给出是否超载的定性结果,而不是给出一定的水资源情景下,所能承载的规模指标。

另一类分析方法就是定量分析方法,这种方法采用一定的研究模型或方法计算确定一定区域内水资源所能承载的社会经济环境及人口规模。研究将给出具体的规模指标,如人口、GDP 等,研究模型主要有目标模型和系统动力学模型和模拟模型。

3.1 水资源承载能力评价的指标体系

进行水资源承载能力的综合评价,首先需要确定一组评价指标,现有的评价指标体系可以归纳为分项指标体系和分类指标体系。

分项指标体系将评价指标分成若干项指标,葛吉琦^[20]提出了水资源可持续利用评价的 7 项评价

指标, 包括: ①水资源供需平衡 B , 为供水量与需求量的比值; ②水资源对需求量的潜在满足度, 为可利用水资源总量与需求量的比值; ③地下水利用度, 为地下水允许开采量与地下水实际开采量的比值; ④循环用水比例, 指工业中的循环用水与工业用水量的比值; ⑤水资源水质达标率; ⑥区域供水量的替补率, 为区域外水资源经水利设施调入的水资源数量与区域供水量的比值; ⑦社会发展和管理影响因子。

上述第七项指标, 社会发展和管理影响因子不易确定。

文[5]从全国水资源供需分析中的指标体系中, 选取了以下7个相对性评价指标: ①灌溉率, 灌溉面积与耕地面积比(%) ; ②水资源利用率, 现状75%的来水年份供水量与总水资源量之比(%) ; ③水资源开发利用程度, 采用75%的来水年份的水资源开发利用程度(%) ; ④供水模数, 现状75%的来水年份的供水量与土地面积之比($10^4 \text{ m}^3 / \text{km}^2$) ; ⑤需水模数, 现状75%的来水年份需水量与土地面积之比($10^4 \text{ m}^3 / \text{km}^2$) ; ⑥人均供水量, 现状75%的来水年份的供水量与总人口之比($\text{m}^3 / \text{人}$) ; ⑦生态环境用水率, 生态环境用水量与总水量之比(%)。

上述第七项指标, 生态环境用水率, 由于缺乏统计资料, 在实际评价中一般采用1%或2%作为近似值, 可能与实际不符。

分类指标体系将水资源承载能力评价指标分成几大类, 每一类下又分成若干个子项, 因此分类指标体系所包含的评价指标相对较多。但是, 当评价指标过多时, 在实际评价中往往缺乏可操作性, 抓不住主要矛盾, 容易迷失方向, 同时指标过多时, 各指标的权重也不易确定。实际上分类指标体系在应用中, 一般是先提出较多的指标, 然后根据具体情况再对评价指标进行精简, 选择其中主要指标进行水资源可持续利用的承载能力评价。

肖满意^[4]在1998年提出了一套分类指标体系, 在对山西省水资源承载能力进行评价时, 将评价指标体系分成五大类, 共29项评价指标, 由于评价指标太多, 不太可能用全部29个指标进行评价分析, 该文作者采用灰色关联系数结合水资源研究成果, 最终选择了9个指标作为最终评价指标, 包括人均水资源可利用量, 水资源利用率, 人均供水量, 供水模数, 耕地灌溉率, 城市生活用水定额, 需水量模数和工业用水重复利用率及生态环境用水率共9个指标。

刘旺^[21]将水资源可持续利用评价指标体系分

成自然生态类指标, 经济类指标和社会类指标, 整个指标体系共分成三大类17项指标。17个指标太多, 需要精简, 但该文作者似乎没有意识到指标精简的必要性, 也没有进行实例分析评价, 因此该文提出的评价指标体系可操作性较差。

卞建民等^[22]提出的水资源可持续利用三类评价指标包括水资源的可供性类指标, 水资源利用程度及管理类指标和水资源综合效益类指标。该指标体系共分成三类13项指标。13项指标似乎仍显过多, 不容易抓住问题的关键, 仍可进一步精简。

3.2 水资源承载能力的评价方法

对水资源承载能力进行综合评价研究, 还是近10年来的事情, 目前所进行的研究工作还不是很, 提出的评价方法有限, 主要有模糊综合评判法、主成份分析和综合指数法。

模糊综合评判法是目前应用最多的一种方法, 该方法由许有鹏等^[3]在新疆和田流域首先应用, 目前采用该方法进行水资源承载能力评价的高彦春等^[23]、唐斌山^[24]、肖满意等^[4]、秦莉云等^[7]、陈守煜^[25]、王余标^[26]。

付湘等^[3]主成份分析法对平坝区水资源承载能力进行了综合评价。主成份分析法的思想是将 m 个评价指标变量, 经主成份分析后得到一组新的个数少于原变量个数的新的评价指标变量, 新的评价指标的变量携带了原指标的大量信息而变量的个数大为减少。在其研究工作中, 将原始的7个评价指标变量经主成份分析后仅取2个新的指标变量。这样在进行水资源承载能力评价时, 由于变量少、评价工作就变得较为容易和直观。主成份分析法在水资源承载能力评价中的应用很少, 仅文献[5]一例, 这说明该方法尚未得到认可。本文认为这主要出自2个方面的原因, 一是目前实际评价用的指标都没有超出10个, 一般在7~9个, 并不是很多, 如果觉得多的话还是可以通过主观判断或专家打分的方法来精简, 没有必要用主成份分析法来精简; 第二个原因是主成份分析法对原评价指标进行数学变换, 用累计贡献率来判断变量个数的精简, 在物理意义上来说没有很强的依据和说服力, 其结果的可信度受到怀疑。从该文献用同样的数据对同一区域的评价结果来看, 与其它方法的评价结果有一定差异。这可能也是造成该方法应用不多的原因。

4 水资源承载能力的计算方法

水资源承载能力的计算方法根据度量指标的不同, 相应的计算方法也不同, 一般可分成综合指数

法, 系统动力学法和多目标分析法。

综合指标法主要用于采用单项指标度量水资源承载力时的计算, 该方法采用常规的统计分析方法, 计算单项度量指标, 如水资源可供水量、可承载的人口数量。由于度量指标为单一指标, 不需要进行很复杂的数学运算, 相应计算方法简单。

系统动力学方法和多目标分析方法则主要用于多指标度量时的承载力计算。其中系统动力学方法根据系统动力学原理, 将水资源可持续利用综合系统分成人口、资源、经济、环境等若干个子系统, 对各子系统的关联建立系统动力学模型, 模拟整个系统的发展变化行为, 从而确定在实现水资源可持续利用条件下, 水资源系统能承载的各项指标。系统动力学方法的关键是要建立能真实模拟水资源系统可持续利用动态过程的方程。陈成鲜等^[27]采用系统动力学模型建立了我国水资源可持续利用系统动力学模型。该模型将整个水资源可持续利用系统看成是一个水资源环境的复杂社会经济大系统, 该大系统又分为人口、污染、工业、农业、第三产业 5 个子系统。建立具有 15 个方程和 41 个主要变量的系统动力学模型, 并对我国 1987—1997 年共 11 年的水资源系统进行了模拟分析, 提出了实现水资源可持续利用的改进措施。

系统动力学方法目前的研究和应用不是很多, 其中一个主要原因是水资源可持续利用系统是一个复杂的巨系统, 很难用一些方程来有效地模拟整个系统的行为。如果系统动力学模型不能真实反映水资源系统的特性, 则结果的可靠性就不能保证。

多目标分析模型是水资源承载力计算中应用较多, 有应用潜力的一种模型。多目标分析模型建立以水资源承载力度量指标为极限目标的数学模型, 采用多目标优化方法, 计算确定水资源承载力。多目标分析模型的理论和技术已比较成熟, 因此该模型在实际应用上没有技术障碍。水资源多目标模型的一个好处是采用交互式决策支持技术对模型求最佳均衡解, 可以实现人为的对水资源可持续利用措施进行控制, 从而达到提高水资源承载力或提高某一单项度量指标, 如人口的目的。贾嵘等^[9]应用多目标分析方法, 对陕西关中水资源承载力进行了分析计算, 求出了关中地区不同水资源开发利用方案的水资源承载力。薛小杰等^[11]应用多目标分析模型研究了城市水资源承载力, 选取了 GDP、人口、粮食产量及污染负荷量 4 个度量指标, 对西安市水资源承载力进行了研究计算, 提出了 2000 年、2010 年和 2020 年的承载力指标, 并据此提出了提高西安市水资源承载力的主要途

径。

5 结 语

本文对水资源承载能力的定义, 承载力的度量指标, 水资源承载能力的综合评价指标与方法, 水资源承载能力的计算方法等方面对国内外研究情况进行了评述, 并提出了一些建议。

参考文献:

- [1] 新疆水资源软科学课题研究组. 新疆水资源及其承载力的开发战略对策[J]. 水利水电技术, 1989(6): 2—9.
- [2] UNESCO FAO. Carrying capacity assessment with a pilot study of Kenya: A resource accounting methodology for exploring national options for sustainable development[M]. Paris and Rome, 1985.
- [3] 许有鹏. 干旱区水资源承载力综合评价研究[J]. 自然资源学报, 1993, 8(3): 229—237.
- [4] 肖满意, 等. 山西省水资源承载力评估[J]. 山西水利科技, 1998(4): 5—11.
- [5] 付湘, 纪昌明. 区域水资源承载力综合评价—主成份分析法的应用[J]. 长江流域资源与环境, 1999, 8(2): 169—173.
- [6] 王先甲. 水资源持续利用的多目标分析方法[J]. 系统工程理论与实践, 2001(3).
- [7] 秦莉云, 金忠清. 淮河流域水资源承载能力的评价分析[J]. 水文, 2001, 21(3): 14—17.
- [8] 阮本清, 沈晋. 区域水资源适度承载力计算模型研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1998, 4(3): 58—85.
- [9] 贾嵘, 等. 区域水资源承载力研究[J]. 西安理工大学学报, 1998, 14(4): 382—387.
- [10] 王建华, 江东, 顾定法, 等. 水资源承载力的概念与理论[J]. 甘肃科学报, 1999, 11(2): 1—4.
- [11] 薛小杰, 等. 城市水资源承载力及其实证研究[J]. 西北农业大学学报, 2000, 28(6): 135—139.
- [12] 李令跃, 等. 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(9).
- [13] 冯尚友. 水资源可持续利用导论[M]. 科学出版社, 2000.
- [14] 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.
- [15] 朱照宇, 等. 珠江三角洲经济区水资源可持续利用初步评价[J]. 资源科学, 2002, 24(1): 55—61.
- [16] 曲耀光, 樊胜岳. 黑河流域水资源承载力分析计算与对策[J]. 中国沙漠, 2000, 20(1): 1—8.
- [17] 李丽娟, 郭怀成, 陈冰, 等. 柴达木盆地水资源承载力研究[J]. 环境科学, 2000(2): 20—23.
- [18] 陈冰, 李丽娟, 郭怀成, 等. 柴达木盆地水资源承载方案系统分析[J]. 环境科学, 2000(3): 16—20.
- [19] 贾嵘, 等. 缺水地区水资源承载力模型研究[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2000, 36(2): 114—121.

[20]

葛吉琦. 水资源可持续利用评价[J] . 科技经济, 1998, 11(增刊) .

[21]

刘旺. 水资源可持续利用评价方法研究[J] . 四川师范大学学报(自然科学版) , 1999, 22(4) .

[22]

卞建民, 杨建强. 水资源可持续利用的指标体系研究[J] . 水土保持通报, 2000, 20(4) .

[23]

高彦春, 刘昌明. 区域水资源开发利用的阈限分析[J] . 水利学报, 1987, (8) , 73— 79.

[24]

唐斌山. 石羊河流域水资源开发利用战略的多层次模糊综合评判[J] . 干旱地区农业研究, 1994, 12(3): 86— 94.

[27]

陈成鲜, 严广乐. 我国水资源可持续发展系统动力学模型研究[J] . 上海理工大学大学学报, 2000, 22(2): 154— 159.

[25]

陈守煜. 区域水资源可持续性利用评价理论模型与方法[J] . 中国工程科学, 2001, 3(2): 33— 38.

[26]

王余标, 王献平. 周口市水资源承载能力综合评价[J] . 河南农业大学学报, 2001, 35(9): 97— 100.

Issues in Water Carrying Capacity Study

CHEN Yang bo, CHEN Jun he

(Department of Water Resources and Environment, Sun Yat sen University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: On analysis of the definition of water carrying capacity, this paper presented a new definition of water carrying capacity. Then 3 indexes for quantifying water carrying capacity were introduced, including water quantity index, population index and social comprehensive index. This paper also reviewed the indicator set for water carrying capacity assessment and the two methods for water carrying capacity study were discussed.

Key words: water carrying capacity; indicator set; fuzzy assessment; multiobjective analysis