

区域水资源承载力理论与方法对比

栾芳芳, 夏建新

(中央民族大学 环境科学系, 北京 100081)

摘要: 水资源是干旱半干旱地区的基础性资源, 水资源承载力是评价水资源能否支撑经济 - 社会 - 生态 - 环境可持续发展的关键指标。本文通过对比分析的方法探讨了评价区域水资源承载力常用方法的优缺点, 结合案例分析了具有代表性的指标体系, 并指出了水资源评价存在的问题。

关键词: 水资源; 水资源承载力; 评价方法; 指标体系

中图分类号: TV211.1

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2013)03-0116-05

Comparison of theory and method of carrying capacity of regional water resources

LUAN Fangfang, XIA Jianxin

(Department of Environmental Science, Minzu University of China, Beijing 100081, China)

Abstract: Water resources is the basic resources in arid and semi-arid area. The carrying capacity of water resources is the key index to evaluate whether the water resources can support the sustainable development of economy - social - ecological - environment. This paper compared the advantages and disadvantages of the common methods of regional water resources carrying capacity evaluation. Combined with cases, it analyzed the representative index system and put forward the problems in the evaluation of water resources carrying capacity.

Key words: water resources; water resources carrying capacity; evaluation method; index system

1 概述

近年来,我国西北地区水资源极度紧缺,严重制约了社会经济发展。2010年末黄河流域监测区已形成承压水降落漏斗4个、浅层地下水降落漏斗8个,与上年同期相比,太原盆地的漏斗区面积扩大50 km²、宋月古漏斗中心地下水埋深增加4 m。这些现象表明当前解决我国水资源问题势在必行。针对缺水地区,水资源承载力是评价区域社会经济与自然生态可持续发展的重要内容,但目前缺乏比较成熟的、被广泛认可的评价方法。由于水资源承载力具有一定的地域性、复杂性、动态性、不稳定性、系统性等,导致其研究方法的选择、指标体系的构建等差别较大。评价方法不统一、指标体系不统一,针对同一地区的评价,存在差异性的评价结果,甚至相反的结果。本文从评价思路、评价指标体系以及评价方法的适用条件等入手,结合不同案例,分析比较目

前已有应用方法的优缺点,并指出其存在的问题,以期后续研究提供借鉴。

2 水资源承载力概念对比

水资源承载力迄今为止仍是一个外延模糊、内涵混沌的概念,其内涵的界定仍存在一定的分歧和不足。从20世纪80年代到目前为止,关于区域水资源承载力的概念各学者说法不一。如冯耀龙^[1]认为具有“流体”的特征,即区域水资源承载能力是一定的,但表现形式可是多种多样的。段青春等^[2]将区域水资源承载力定义为“区域在一定经济社会和科技发展水平条件下,以生态环境健康发展和社会经济可持续发展协调为前提,区域水资源系统能够支撑的合理规模”。对比分析水资源承载力各概念得出:大部分定义提及特定的时间尺度,但不同定义在前提条件和表达方式有所差别。

在前提条件上,影响因素从考虑单因素,如社

收稿日期:2012-12-18; 修回日期:2013-01-09

基金项目:中央民族大学985工程项目(MUC98507-08);中央高校基本科研业务费专项资金资助(1112KYZY53)

作者简介:栾芳芳(1983-),女,吉林长春人,硕士研究生,主要从事水文水资源的研究。

通讯作者:夏建新(1969-),男,湖北黄冈人,博士,教授,从事水科学研究。

会、生活、生态等,已逐步发展到考虑复合因素,如技术经济和社会生产系统、社会经济和技术系统、水资源和生态系统、水管理和社会经济系统等。在表达方式上,系统表述为水资源系统对自然-社会复合系统的承载阈值,可分为最大承载规模类和最大承载能力类。其中各定义中的自然-社会复合系统存在差异,涉及领域多少不一、涉及面广窄不一。

3 研究思路与方法对比

国际上,关于水资源承载力单项研究成果较少,一般将其纳入资源承载力、区域规划及可持续发展理论中,偏重于水资源管理的经济手段与政策措施研究^[3-5]。水资源承载力概念的差别导致其研究思路及研究方法的多样性。

3.1 研究方案对比

根据评价者的价值取向的不同,评价目的存在一定的差异,可以将区域水资源承载力的研究归纳为以下三种方案:

供需平衡方案。基于不同发展水平下各部门水资源需求情况,探讨区域水资源供需平衡状况。该方案的旨在为评价水资源的供给能否满足经济社会的发展需求。

目标方案。选取多个目标,对影响每个目标的因素及因素间关系进行分析,构建模型,研究不同水平年、不同策略方案下的最优化解。该方案的评价旨在为探讨出水资源承载限度内的最优化经济社会发展模式。

指标方案。选取影响水资源承载力的多个指

标,评价区域水资源承载状况的相对水平。该方案的评价旨在为反映各不同指标对水资源承载力的影响程度差异。

3.2 研究方法对比

区域水资源承载力主要研究方法可分为两类:最大承载规模类和最大承载能力类。最大承载规模类评价结果一般可表述为水资源能够承载多大规模的经济社会发展,主要方法如:常规趋势法、系统动力学法和多目标模型分析法等,其对比分析见表 1。

最大承载规模类方法共同点在于:均选取能反映区域水资源承载力的指标,构建数学方程模拟各指标发展,通过不同变量将这些数学方程耦合成量化模型,评价得出水资源最大承载规模。最大承载能力类评价结果一般可表述为水资源是否具备承载现有经济社会发展规模的能力。最大承载能力类主要方法包括背景分析法、模糊综合评价法和主成分分析法等,其对比分析见表 2。

最大承载能力类评价方法共同点在于:均选取影响区域水资源承载能力大小的指标构建指标体系,将各指标与其评价标准进行对比,评价得出水资源最大承载能力。

两类研究方法与研究思路相互应,区域水资源承载力的研究目前仍处于探索阶段,成熟完备的理论和公认有效的方法仍没有形成。评价区域水资源承载力应首先分析研究区域的社会经济发展格局和状况,分析承载过程中的确定性及不确定性因素,在此基础上进行水资源需求分析和优化配置,才能展开对区域水资源承载力的精准量化分析和合理化评价。

表 1 现有最大承载规模类评价方法的特点及优缺点

方法	不同点	适用范围	优点	缺点
常规趋势法 ^[6] (Routine Trend)	考虑建设节水型农业和节水型社会	研究水资源开发利用与人口、社会经济及资源环境间动态联系	对承载因子潜力的研究、对复杂系统协调研究有借鉴意义	1 涉计自然、社会因子少 2 忽略了承载因子间联系
系统动力学法 ^[7] (System Dynamics)	通过动态系统反馈模拟	适用于中短期发展情况模拟	1 把握系统各种反馈关系 2 定性 with 定量结合 3 分析与推理集成	1 模型的建立受建模者对系统行为动态水平认识影响较大 2 参变量较多,不易调控
多目标模型分析 ^[8] (Multi-objectives Decision)	不求单个目标的最优,追求整体的最优	评价区域某种情景下水资源的承载状况	1 综合考虑区域自然资源及其相互作用 2 决策分析中考虑人类不同目标和价值取向	1 存在一定的主观性,客观性相对较差 2 数据结构复杂,规划目标的选定上存在困难

表 2 现有最大承载能力类评价方法特点及优缺点

方法	不同点	适用范围	优点	缺点
背景分析法 ^[9] (back-ground analysis)	对比背景相似区域情况,推算承载能力	评价格局状况相似区域	简单易行	分析多局限于静态的历史背景
模糊综合评价法 ^[10] (Fuzzy Comprehensive Evaluation)	通过模糊数学法评价	适用于定性评价	克服承载因子间相互独立的局限性,分析全面	1 大量有用信息遗失 2 模型的信息利用率低 3 结果存在一定片面性
主成分分析法 ^[11] (Principal Component Analysis)	通过线性变换简化高维变量系统	分析固定年份水资源承载力的空间差异情况	1 较好保留原有指标体系信息 2 消除指标间信息重叠 3 相对客观确定指标权重	1 不能进行纵向比较,不具有动态监测效果 2 物理意义不明确,难以选择相应的控制点
云综合评判法 ^[12] (Cloud comprehensive evaluation method)	1 定性与定量转换 2 隶属度矩阵是随机矩阵	适用于不确定性评价	1 评价等级的模糊性和随机性有机结合 2 定性与定量相互转换	
可拓评价方法 ^[13] (Extension evaluation method)	1 重视评价指标差异 2 转变评价指标由单一值为区间值		保证最大隶属度原则,重视承载力指标重要性差异	具有主观性、局限性
集对分析法 ^[14] (Analytical Comparison Method)	评价因子状况和评价标准构成集对		1 转化不确定性的辩证认识为数学运算 2 清晰揭示关系结构	

4 评价指标体系对比分析

水资源承载能力不仅与其系统自身特性有关,还取决于人类活动能力及意识形态,如科技进步、水资源利用效率、管理体制和法制建设等,这些因素在很大程度上影响水资源承载能力^[15]。构建合理的

评价指标体系是公正评价区域水资源承载力的必要条件。当前关于指标体系的构建多偏于简单化、人为化,指标的选取不够规范和完备,很少有学者提出具体的筛选依据和指标体系框架,这就给水资源承载力评价带来诸多不确定性。现有国内代表人物的评价指标体系对比见表 3。

表 3 代表性评价指标体系分析

作者	研究内容	指标体系的选取	选取角度
蔡安乐 ^[16]	从用水结构方面探讨水资源供需平衡关系,得出农业是社会各行业中用水比例最大的产业	反映用水多少及经济效益:净灌溉定额、工业万元产值耗水量、重复利用率、人均日用水量、单位耗水产值	承载对象
王颖等 ^[17]	从水资源与水环境两方面分析长江三角洲水资源承载力与其经济发展的密切关系	水量分析通过供需平衡来评价,1 开源:引水、开采地下水;2 节流:提高水资源利用率、合理制定水价	影响因素
夏军、朱一中 ^[18-19]	多目标情景分析法对西北地区水资源承载力问题进行预测基础上,采用模糊综合评判法对西北地区现状和未来 10、20、50 a 水资源承载力状况进行评价,对不同情景方案进行比较	1 水资源系统:人均水资源、水资源利用率、人均用水量 2 生态环境系统:林草覆盖率、COD 浓度、生态需水率 3 社会经济系统:人口自然增长率、城市化水平、人均 GDP、第三产业占 GDP 比重、人均粮食占有量、用水效益	影响因素
王学全等 ^[20]	模糊综合评判法对青海水资源承载能力进行了评价,评价因素权重分配方面重点考虑生态	水资源利用率、缺水率、灌溉率、降水量、人均占有水量、径流深、生态用水率 7 个评价指标	影响因素

水资源承载力评价指标体系的构建,从选取角度上考虑,包括承载对象角度和承载影响因素角度。从发展趋势上看,评价指标体系正由单一的水资源系统向水资源—经济—社会—生态—环境的复合系统协调方向发展。

在构建水资源承载能力指标体系时,需要考虑以下原则:科学性、整体性、动态与静态结合性、定性与定量结合性、可比性、可行性原则^[21]、科学性和简约性原则^[22]等。另外还须充分考虑数据来源的现

实可获得性。王友贞等^[23]提出水资源承载力可用宏观指标和综合指标来衡量,宏观指标从供需平衡角度描述水资源系统能够支持的经济和人口规模,综合指标反映水资源社会经济系统的承载状态和协调状况。选取的评价指标指标应简单明了且具有一定代表性,而这类指标往往是经过加工处理过的,常以百分比、人均、增长率、效益等表示^[24]。相对性指标可以清晰反映问题,得出比较全面的结论,现已有各代表性指标及其作用概括于表 4。

表 4 各代表性指标及其作用

指标	指标定义	指标作用
水资源支撑经济规模	国内生产总值 GDP 与所消耗的水量之比,万元/m ³	反映水资源利用率
水资源支撑人口规模	国内生产总值 GDP 与人均占有 GDP 的下限指标之比,%	反映社会发展水平
水资源开发利用率	现状水平年 75% 频率供水量与可利用水资源总量之比,%	反映水资源可利用程度
缺水率	现状水平年 75% 频率缺水量与供水量之比,%	反映水资源缺乏程度
人均水资源量	当地水资源量与总人口之比,m ³ /人	反映水资源丰缺状态及发展潜力
人均供水量	75% 频率的可供水总量/总人口,m ³ /人	反映生产生活用水水平
供水模数	75% 频率的供水量与土地面积之比值,万 m ³ /km ²	反映水资源供给量
需水模数	需水总量与需水土地面积之比值,万 m ³ /km ²	反映水资源量需求量
过境水利用率	平均过境水利用量/用水总量,%	反映过境水资源利用状况
生活需水定额	每天的生活需水量与用水人口的比值,m ³ /(人·d)	反映人口素质与节水状况
污水达标处理率	污水达标排放量/排放量,%	反映污水处理水平
工业用水定额	工业用水量/工业总产值,m ³ /万元	反映工业用水水平
农田灌溉率	灌溉用水量与农业用地总面积的比,m ³ /km ²	反映农业灌溉发展水平
灌溉用水定额	灌溉用水量/有效灌溉面积,m ³ /km ²	反映作物对水的依赖状况及节水水平
植被灌溉率	植被面积/国土面积,%	反映绿色可持续状况
生态用水率	人工林、草场等环境保护用水量与总引用水量之比,%	反映环境对水的依赖状况
生态环境缺水率	生态环境缺水量与总需水量之比,%	反映生态环境与水资源协调状况

评价指标体系应是由相互关联的,易于量化的,水资源—经济—社会—生态—环境复合系统的发展指标因子构成的有机整体。构建合理的评价指标体系必须参照全国水资源供需分析体系,充分考虑到不同区域水资源自然条件及开发利用方式的差异,从不同侧面、不同层面选取代表性强、易于量化对比的指标。完备的评价指标体系可以准确即时的反映系统动态变化。

5 存在问题

(1)概念标准及评价准则不统一。合理协调各领域及各部门间的用水优化分配问题及人与自然和谐关系问题是维系区域可持续发展的战略关键。已有研究大多轻视水资源优化配置与调控这一重要影响因素。

(2)评价指标体系标准不统一。当前许多指标

体系存在两方面问题,一是信息重复性与片面性问题。二是指标模糊性问题。统一、客观、有效、实用的指标体系标准应既能精确反映水资源承载力大小,又能即时反映水资源—经济—社会—生态—环境复合系统的动态变化对承载力的影响程度。

(3)评价方法存在不同程度的缺陷。由于水资源系统自身的复杂性、随机性和模糊性及影响因素的多角度性和多层次性等,精确评价水资源承载力的评价方法还有待进一步探讨。只有系统性地分析水资源承载力理论实质、已有成果及相关理论,才能进一步完善区域水资源评价领域。

6 结 语

区域水资源承载力评价涉及面广,涉及因素复杂,不仅与水资源供给自然条件密切相关,还与社会经济发展有关。分析水资源在自然界和社会经济领

域的循环规律是当前迫切需要解决的问题,尤其是气候变化下和人工调控条件下水足迹特点的研究更是当务之急。在此基础上,构建水资源承载力评价理论体系和统一其评价标准,可为实施水资源利用“三条红线”提供参考。

参考文献:

- [1] 冯耀龙,韩文秀,王宏江,等.区域水资源承载力研究[J].水科学进展,2003,14(1):109-113.
- [2] 段青春,刘昌明,陈晓楠,等.区域水资源承载力概念及研究方法的探讨[J].地理学报,2010,65(1):82-90.
- [3] Michiel A Rijisbermen, Frans H M, Van de Ven. Different approaches to assessment of design and management of sustainable urban water system [J]. Environment Impact Assessment Review, 2000, 129(3): 333-345.
- [4] Jonathan M Harris, Scott Kennedy. Carrying capacity in agriculture: Globe and regional issue [J]. Ecological Economics, 1999, 129(3): 443-461.
- [5] Hrllich, Anne H. Looking for the ceiling: estimates of the earth's carrying capacity [J]. American Scientist, Research Triangle Park, 1996, 84(5): 494-499.
- [6] 张鑫,王纪科,周建召.关中平原地下水资源承载力现状及提高承载力的途径[J].地下水,2001,23(2):65-66.
- [7] 王建华,江 东,顾定法,等.基于SD模型的干旱区城市水资源承载力预测研究[J].理学与国土研究,1999,15(2):18-22.
- [8] 徐中民,程国栋.运用多目标决策分析技术研究黑河流域中游水资源承载力[J].兰州大学学报(自然科学版),2000,36(2):122-132.
- [9] 王家骥,姚小红,李京荣,等.黑河流域生态承载力估测[J].环境科学研究,2000,13(2):44-48.
- [10] 姚治君,王建华,江 东,等.区域水资源承载力的研究进展及其理论探析[J].水科学进展,2002,13(1):111-115.
- [11] 崔凤军.城市水环境承载力及实证研究[J].自然资源学报,1998,13(1):58-62.
- [12] 曹玉升,陈晓楠,张 伟,等.云综合评判模型在区域水资源承载力评价中的应用[J].华北水利水电学院学报,2010,31(4):17-20.
- [13] 张洪波,黄 强,辛 琛,等.水资源承载力可拓评价方法[J].大连理工大学学报,2006,46(S):206-212.
- [14] 王志良,李楠楠.基于集对分析的区域水资源承载力评价[J].人民黄河,2011,33(4):40-42.
- [15] 马军霞,王 琦,刘培勋.城市水资源承载能力计算模型研究[J].人民黄河,2006,28(2):45-47.
- [16] 蔡安乐.水资源承载力浅谈——兼谈新疆水资源适度承载力研究中应注意的几个问题[J].新疆环境保护,1994,16(4):190-196.
- [17] 王 颖,王腊春,王 栋.长江三角洲水资源水环境承载力、发展变化规律与永续利用之对策研究[J].水资源保护,2003,19(6):34-41.
- [18] 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.
- [19] 朱一中,夏 军,谈 戈.西北地区水资源承载力分析预测与评价[J].资源科学,2003,25(4):43-48.
- [20] 王学全,卢 琦,李保国,等.应用模糊综合评判方法对青海省水资源承载力评价研究[J].中国沙漠,2005,25(6):944-949.
- [21] 王 浩,陈敏建,秦大庸,等.西北地区水资源合理配置与承载能力研究[M].郑州:黄河水利出版社,2003.
- [22] 朱记伟,解建仓,黄银兵,等.基于熵值和模糊贴近度的区域水资源承载力评价[J].水资源与水工程学报,2012,23(5):1-5.
- [23] 王友贞,施国庆,王德胜.区域水资源承载能力评价指标体系的研究[J].自然资源学报,2005,20(4):597-603.
- [24] 陈绍金.水安全系统评价、预警与调控研究[M].北京:中国水利水电出版社,2005:104-105.