

水资源承载能力评价方法探讨

黄莉新^{1,2}

(1.河海大学水文水资源学院,江苏 南京 210098;2.江苏省人民政府,江苏 南京 210024)

摘要:在水资源及其承载能力定义和内涵研究的基础上,提出了水资源承载能力评价应从宏观和微观两方面进行的思想,并从可操作性的角度考虑,指出指标方法和系统动力学方法可以从宏观评价和微观诊断两个方面对水资源承载能力进行分析,两种方法相互补充说明,可从不同角度探讨水资源承载能力的发展态势和内部要素间的协调程度。

关键词:水资源;承载能力;评价方法;指标体系;系统动力学

中图分类号:TV213.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-198X(2007)06-0613-05

水资源承载能力是一个具有自然与社会双重属性的概念,它既反映了水资源系统满足社会经济系统的能力,又反映了社会经济系统开发自然水资源系统的程度。水资源承载能力评价方法是实现水资源承载能力评价的重要手段与途径,但由于水资源承载能力评价方法关系到环境、人口和经济发展规模及可持续发展的前景,涉及社会、经济、生态、环境、水资源等诸多方面,因而使得如何评价一个区域或流域的水资源承载能力、识别和跟踪诊断区域或流域的水资源系统是否处于可持续发展状态,进而规划水资源系统使其在覆盖的空间范围内与经济、社会和环境协调发展,成为水资源承载能力研究的难点之一。本文从水资源及其承载能力的定义及内涵研究入手,探讨水资源承载能力评价的特点及基本思路,提出利用指标法及系统动力学方法进行水资源承载能力宏观评价和微观诊断相结合的水资源承载能力评价方法。

1 水资源及其承载能力定义和内涵

1.1 水资源定义及内涵

水资源作为一种可再生性自然资源,其定义多种多样。较早采用“水资源”概念的是美国地质调查局(USGS),其于 1894 年将水资源定义为地表河川径流和地下水的总称。此后,随着英国水资源法、美国水资源规划法案等的实施,联合国教科文组织(UNESCO)等机构把人类经济与社会发展需水也纳入水资源的范畴,把水资源定义为“可被利用或可能被利用的水源,具有足够数量和可用质量,并可适合某地对水的需求而能长期供应的水”^[1],将水资源的质和量统一考虑,赋予了水资源社会属性。

此后,中国的专家学者也分别对水资源定义进行了深入讨论,认为可从广义和狭义两个方面对水资源进行定义。狭义的概念考虑水资源的时间、空间和数量、质量的限制,强调在现有人类社会经济技术条件下能够被人类利用和对人类有价值的水;广义水资源是指一切可被人类利用的天然水^[2-3]。

综合上述观点,可以将水资源和人类可利用的水资源定义为:水资源指地球上所有的气态、液态或固态的天然水;人类可利用的水资源是指逐年可以恢复和更新的淡水资源。本文讨论的水资源承载能力是在可利用的水资源概念基础上展开的。基于可利用的水资源概念,作为维持人类社会存在并发展的水资源应当具有自然属性和社会属性。人类在开发利用水资源时,应同时考虑水资源的自然属性与社会属性,以保证人类与自然界的和谐,以实现社会经济的可持续发展。

1.2 水资源承载能力定义及内涵

水资源承载能力是承载能力概念与水资源领域的自然结合,受到自然与社会领域多种因素的共同影响,

同样具有自然与社会的双重属性,水资源承载力的定义应反映水资源的双重属性^[4]。基于上述认识,科学准确的水资源承载能力定义应具有以下内涵^[5]:

a. 时空内涵. 水资源承载能力的时空内涵主要体现在,不同环境条件下水文循环规律的改变与历史变迁中人类社会的发展所引起的水资源量具有动态特性,以及不同区域自然资源、劳动力资源和技术资源具有差异特性。不同的地理空间环境具有明显不同的水文气候特征,水资源开发利用方式、程度以及单位水资源量的开发利用效率也各存差异。因此,在不同的时空尺度上,相同水资源量的承载能力是不同的。

b. 社会经济内涵. 水资源承载能力并不是一个纯粹客观的概念,而是与一定的社会经济发展阶段密切相连的。社会经济发展的不同历史时期,具有不同的科学技术水平和生产力水平,水资源利用效率和生产效率均会不同。同样地,不同的社会经济系统结构也会引起水资源承载能力的变化。

c. 生态与环境内涵. 水资源承载力的生态与环境内涵主要体现在,水资源所承载的社会经济和环境空间具有生态意义上的极限,也即水资源承载力具有一个自然生态方面的最大规模。由于水资源承载能力的极限涵义,水资源的开发利用应以不超过这种极限为前提。

由上述分析可以看出,水资源承载能力的定义既应当准确表述水资源对可持续发展最大可能支撑能力这一概念,同时亦能够满足经济社会发展进程中对水资源承载能力具体识别和调控的要求。基于此认识,本文认为文献[6]中的定义很好地体现了上述要求,即水资源承载力可定义为在一定流域或区域内,在特定社会、经济与技术条件下,其自身的水资源能够持续支撑的经济社会发展规模,并维系良好生态环境的能力^[6]。该定义中对地区范围、经济社会发展阶段、科学技术水平、区域水资源条件等都有明确的界定,并强调维护本地区良好的生态环境。因此,上述定义具有较强的可操作性,依据此定义可以进行某个具体区域或流域的水资源承载能力评价。下文将依据该定义深入讨论水资源承载能力的评价方法。

2 水资源承载能力评价概念及思路

2.1 水资源承载能力评价概念及其特点

基于水资源承载能力的定义,本文给出了水资源承载能力评价的概念,即:评价主体根据明确的评价目标,按照一定的评价原则,采用一定的评价方法,对一定区域或流域的水资源承载能力进行科学评价的行为过程。水资源承载能力评价的特点主要体现在水资源承载能力评价主体、评价客体、评价原则和评价方法4个方面。

a. 关于水资源承载能力评价主体. 水资源承载能力评价主体是承担对水资源承载能力进行评价的自然人、法人机构或专家群体。评价主体应当对评价工作有明确的目的,并基于可持续发展思想和中国国情,制定相应的评价原则,确立合理可行的评价方法。

b. 关于水资源承载能力评价客体. 评价客体即水资源承载能力,即在一定流域或区域内,在特定社会、经济与技术条件下,其自身的水资源能够持续支撑的经济社会发展规模,并维系良好生态环境的能力。由于水资源承载能力由水资源禀赋条件、社会经济发展状态、生态环境状况等综合因素构成,所以水资源承载能力评价客体是一个复杂系统。

c. 关于水资源承载能力评价原则. 它是水资源承载能力评价结果科学性、合理性的一个重要保证。水资源承载能力评价必须坚持水资源可持续发展原则、系统原则和动态分析原则。系统原则就是要把水资源系统作为一个复杂系统,从整体角度分析其子系统及子系统间的关系,并以此进行水资源承载能力综合评价。动态原则主要是考虑水资源承载能力是一个动态概念,即水资源承载能力的构成要素是动态的,是与具体的社会经济发展阶段有直接联系的,在不同的发展阶段具有不同的承载能力。因此,从这个角度出发,对水资源承载能力的评价必须坚持动态原则。

d. 关于水资源承载能力评价方法. 它是实现水资源承载能力评价的重要手段与途径,由于水资源承载能力的评价涉及社会、经济、生态、环境、水资源等诸多方面,因此对水资源承载能力评价方法的选取,必须坚持体现系统分析的思想,体现微观与宏观相结合、静态与动态相结合、定性与定量相结合的方法论,并尽量采用现代先进分析方法与技术。

2.2 水资源承载能力评价的基本思路

为科学合理地描述现阶段的水资源承载能力,水资源承载能力评价需遵循以下基本思路:

a. 水资源承载能力评价要回答的基本问题. 根据水资源承载能力的定义, 水资源承载能力评价总是面向一个具体的经济、社会发展阶段与发展目标进行的. 通过评价要回答的基本问题是: 当地水资源能否在不对生态环境造成不利影响的前提下, 满足该地区规划确定的经济、社会发展目标对水资源的需求? 或其反问题: 怎样确定一个地区的经济、社会发展目标, 使其与该地区的水资源承载能力相适应? 显然, 在回答上述基本问题的过程中, 将要不断地回答更现实与迫切的问题, 即该地区当前的水资源状况与其承载的经济、社会规模与水平是否相适应, 以期为实时调整产业结构、发展速度等提供水资源承载能力方面的依据.

b. 水资源承载能力评价结果的表述. 对上述基本问题的回答通常有两种表述方式. 第一种, 给出相对评价结果, 并以某一相对值表述, 是水资源承载能力的一种定性描述. 这种表述方式能给出被评价地区当前水资源承载能力的相对状况, 并可以方便地进行地区间水资源承载能力状况的比较和识别水资源承载能力随时间的变化, 但难以对该地区当前的水资源状况与其经济、社会规模与水平是否相适应进行指导和调控. 第二种, 给出绝对评价结果, 即指出当前或在未来规划的经济、社会发展目标下, 水资源的短缺程度或紧张度系数等. 这种表述方式可以通过具有反馈机制的模型, 对水资源状况与经济、社会规模、产业结构、科技水平等因素进行调控, 达到使水资源承载能力和经济、社会发展规模与水平相适应的目的.

c. 水资源承载能力评价的技术途径. 水资源承载能力评价涉及水资源、生态、环境、经济、社会等因素, 是一个复杂系统. 基于水资源承载能力构成要素的复杂性和动态性, 在评价中实现定性定量相结合、静态与动态相结合是必要的. 即用于水资源承载能力评价的方法, 应是将定性定量、静态与动态、科学理论与专家经验、宏观与微观有机结合起来, 形成一个整体, 对水资源承载能力进行全面分析, 客观评价.

d. 水资源承载能力评价是一个过程. 水资源承载能力评价是一个过程, 因而不可能像土地、森林、矿产等其他自然资源承载能力评价那样可以给出精确的评价结果. 这是因为: 一方面, 水资源承载能力构成十分复杂, 而目前在理论与应用方面尚没有较为成熟的评价方法, 因而需要一个实践、认识、改进和提高的过程; 另一方面, 水资源承载能力处在不断变化的动态过程中, 而且存在着引起动态变化的若干不确定因素. 因此, 只有根据经济社会发展进程, 不断对水资源承载能力评价结果进行修正, 才可能对水资源承载能力的状况有较为符合实际的认识, 进而才有可能实现对经济社会与资源环境的关系进行实时的调控, 达到进行水资源承载能力评价的最终目的. 例如, 若逐年对某地区的水资源承载能力进行评价, 就可能给出该地区水资源承载能力的变化态势, 使对该地区水资源承载能力有较为符合实际的了解, 并据此进行实时调控与预警.

e. 水资源承载能力评价研究应与实证研究相结合. 如上所述, 水资源承载能力的构成十分复杂而且处在动态变化过程中, 很难通过纯理论途径找到某种理想的评价方法, 而只有通过具体地区与流域的评价实践与探索的积累, 才有可能发展出科学、合理、具有可操作性的评价方法. 同时, 每个被评价地区与流域都具有鲜明的个性, 而这些个性对水资源承载能力往往具有重大的影响. 例如, 水污染显然是太湖水网地区水资源承载能力最重要的影响因素, 因此在太湖流域水资源承载能力评价方法中无疑要充分考虑水质的影响, 而在北方水资源短缺地区, 水资源量无疑是水资源承载能力评价方法中应当考虑的主要因素. 所以, 试图开发一种具有普遍意义的通用评价方法是困难的, 必须根据被评价地区的特点, 进行评价方法的实证研究才是有效的途径. 当然, 这并不意味着不强调具有共性的概念与评价方法研究的重要性.

3 水资源承载能力评价方法分析

由于水资源系统本身的复杂性、随机性、模糊性以及影响水资源承载能力因素的多方面性、多层次性等^[7], 由上述分析可知, 水资源承载能力评价方法的选取, 必须坚持体现系统分析的思想, 体现微观与宏观相结合、静态与动态相结合、定性定量相结合的方法论, 并尽量采用现代先进分析方法与技术. 当前对于水资源承载能力评价的方法很多, 但这些方法一方面缺乏系统和完整的理论体系, 理论依据分析不充分; 另一方面在评价方面缺乏可操作性, 评价结果缺乏有效性和实用性, 难以实际应用. 以下将通过对指标法和系统动力学方法用于水资源承载能力评价的合理性分析, 探讨水资源承载能力评价的基本方法.

3.1 指标评价和系统动力学评价方法合理性分析

a. 水资源系统是一个具有高阶次的复杂系统, 人们在认识进而评价这类复杂事物时, 通常根据系统的构成特点将其描述成有序的、多层次的递阶结构, 并形成一指标体系, 然后通过指标体系从底层到高层进而顶层的逐层分析, 达到认识和评价该事物宏观特征的目的^[8]. 指标体系其实是一种描述复杂系统的微观状态与宏观特征之间关系的一种函数形式, 其原理就是把复杂的问题表示为有序的递阶层次结构, 通过两两比较方

式,确定层次中诸因素的相对重要性,然后结合人的判断,确定诸因素相对重要性总的排序。在水资源承载能力评价中采用指标法,就是根据所建立的指标体系,确定各评价指标的权重,进而求得某一水平年或目标年的水资源承载能力水平^[9]。基于上述认识,指标法可以作为评价水资源承载能力宏观状态的一种方法。

b. 作为一个复杂系统,描述和判断水资源承载能力系统层各因素之间协调的动态趋势对于提高承载能力有着重要的意义。采用指标法评价水资源承载能力实践中,通常先根据历史数据,应用主成分分析法,针对水资源承载能力时间性和空间性进行动态跟踪,分析水资源承载能力系统层各因素之间协调的动态趋势,可称其为动态评价方法。在此基础上,结合水资源承载能力的静态评价结果,从动静两方面对水资源承载能力进行全面综合的评价,从而使评价结果更为合理、客观,更具科学性。

c. 上述指标评价方法虽然能够描述和判断系统层各因素之间协调的动态趋势,但不能动态反映在不同社会发展目标和不同经济结构下,水资源承载能力的宏观状态与其子系统中微观要素之间的变化关系。而系统动力学(system dynamic method)方法为解决这一问题提供了新的思路。(a)系统动力学是一门可用于研究和处理社会、经济、生态等一类高度非线性、高阶次、多变量、多重反馈、复杂时变大系统问题的学科。它可在宏观与微观层次上对复杂多层次多部门的大系统进行综合研究。如前所述,水资源系统是一个复杂系统,这一点满足了系统动力学的适用范围,同时水资源承载能力研究就是从微观状态出发分析子系统层次内部变化关系,再分析层次与各子系统间、各子系统内部的协调关系,最终评价宏观的水资源系统对社会经济发展的支撑程度,而系统动力学恰恰就是架起宏观与微观数量关系的一个数学模型方法。(b)系统动力学的研究对象主要是开放系统,它强调系统的“联系、发展与运动”,认为系统的行为模式与特性主要根植于其内部的动态结构与反馈机制中。众所周知,水资源系统不是独立存在的,它与社会经济系统、生态环境系统等有着密切联系,因此对水资源承载能力的评价,不能单纯地考虑水资源这一个系统的发展情况,必须结合社会经济系统的行为方式、发展变化及其对水资源系统的影响等方面,综合地、从整个系统内部有机的动态发展来研究水资源承载能力。系统动力学的上述功能可以很好地满足水资源承载能力评价这一特点。(c)系统动力学研究解决问题的方法是定性与定量相结合,其模型是结构与功能的模拟。前面已提到,水资源承载能力评价要求实现定性与定量相结合的综合集成,系统动力学弥补了传统评价方法的不足,将定性与定量相结合,可以满足水资源承载能力评价的要求。(d)系统动力学模型是规范的模型,便于人们清晰地沟通思想,进行对存在问题的剖析和对政策试验的假设,便于处理复杂的问题,能一步一步可靠地把假设中任何隐含的凌乱与迷津追索出来,而不带有人言辞上的含糊、情绪上的偏颇或直观上的出错,具有较强的实用、可操作性。(e)系统动力学最大的特点就是不仅能够预测而且还能够预警,即不仅采用所谓正面的评价,而且还包括对整个发展过程从反面、动态的描述和预测(或者说是从反面的角度对水资源承载能力进行定量研究)。这一特点能为对策研究提供辅助决策。系统动力学的建模过程便于实现建模人员、决策者和专家群体的三结合,便于运用各种数据、资料、人们的经验与知识,也便于汲取、融汇其他系统学科与其他科学理论的精髓。

d. 指标评价方法和系统动力学方法从相对和绝对两方面对水资源承载能力进行分析,两种方法可以相互补充说明,从不同角度探讨水资源承载能力在发展态势和系统内部结构的情况。指标评价方法侧重于考察水资源系统与社会经济系统在不同层次、不同方面发展态势对承载能力的影响,评价结果是对水资源支撑社会经济程度的综合水平的一个评价。而系统动力学方法则是从社会经济系统在不同社会经济发展目标和不同经济结构下,对水资源承载能力进行研究,这是从内部因素分析水资源承载能力的影响因子,可以对水资源状况与经济、社会规模、产业结构、科技水平等因素进行调控,达到使水资源承载能力与经济、社会发展规模与水平相适应的目的,是对水资源承载能力的一个客观评价结果。

3.2 指标评价和系统动力学评价方法一致性分析

前文讨论了水资源承载能力指标评价方法和系统动力学评价方法的合理性,下面对两种方法做进一步的比较分析。

a. 从两种方法解决问题的思路来看,均体现了从微观到宏观,以微观体现宏观的思想。微观就是影响水资源承载能力的水资源与社会经济系统的诸多因素,宏观就是水资源承载能力。但两种方法也是有区别的,指标评价方法是将影响水资源承载能力的诸因素按照等级分层,划分主次因素,从系统结构上体现微观与宏观。而系统动力学方法则是从系统内部出发,分析影响水资源承载能力诸因素,通过反馈功能,以微观影响宏观,或完全改变宏观,使其系统优化,以更好地实现以微观体现宏观的思想。

b. 从方法实现角度来看,指标评价方法和系统动力学方法都可用于水资源承载能力的评价,但二者对

水资源承载能力评价的角度是不一样的。指标评价方法是从水资源系统与社会经济系统发展的整体角度出发,通过构建指标体系对水资源承载能力进行评价,而系统动力学方法则是从系统内部演化机理出发,按照部分和整体互相沟通的思想进行水资源承载能力评价,所谓的部分和整体互相沟通就是在运用系统动力学方法进行评价时,通过系统动力学中的一些变量和基本单元反馈回路对系统内部演化进行信息反馈,优化系统。在本文中,一方面可以通过系统动力学对影响水资源承载能力因素进行分析进而评价水资源承载能力;另一方面,就是根据所得到的水资源承载能力结果,根据系统动力学推出其影响因子,从而对其完善,优化水资源系统与社会经济发展系统。

c. 从方法的最终作用来看,两种方法的最终目标都是实现对水资源承载能力的评价,但二者所实现目标的最终作用是有区别的。根据上述分析可知,指标评价方法实现的是一个区域(或流域)的水资源承载能力的总体水平,即一个相对的值,没有对其内部的机理进行分析,所以这种方法得到的结果一般用于对不同区域(或流域)的比较分析,也就是该方法比较适合于区际比较,而系统动力学方法从系统内部演化机理进行分析,从问题的根本出发,这对于决策的制定和实施是至关重要的。

4 结 语

本文较为系统地阐述了水资源及其承载能力的概念及其评价的基本思路,进而探讨了指标评价方法和系统动力学评价方法用于水资源承载能力评价的合理性,并对两种方法做了一致性对比分析。认为指标评价方法和系统动力学方法从宏观评价和微观诊断两个方面对水资源承载能力进行分析,两种方法相互补充说明,从不同角度探讨水资源承载能力发展态势和系统内部结构的情况。二者相辅相成,共同用于对最终决策的支持。本文研究提出的方法已在江苏省水资源承载能力评价中实证应用,虽然评价结果的度量指标不一样,但反映的承载能力变化趋势是一致的。相关研究成果另文发表。

参考文献：

[1] UNESCO, WMO. Water Resources Assessment Activities[R]. New York: WMO Secretariat, 1998.
[2] 陈家琦. 论水资源学和水文学的关系[J]. 水科学进展, 1999, 10(3): 215-218.
[3] 孙富行. 水资源承载能力分析与应用[D]. 南京: 河海大学, 2006.
[4] LOUCKS D P, STAKHIV E Z. Sustainable water resource management[J]. Journal of Water Planning and Management, 2000, 126(2): 43-47.
[5] 龙腾锐, 姜文超, 何强. 水资源承载能力内涵的新认识[J]. 水利学报, 2004(1): 38-45.
[6] 陈明忠. 水资源承载能力评价理论与方法研究[D]. 南京: 河海大学, 2004.
[7] 王慧敏. 流域可持续发展系统理论与方法[M]. 南京: 河海大学出版社, 2000.
[8] 成思危. 复杂性科学探索[M]. 北京: 民主与建设出版社, 1999.
[9] 黄薇, 陈进. 流域水资源评价广义指标体系研究[J]. 长江科学院院报, 2005, 22(4): 22-25.

Study on evaluation methods of water resources carrying capacity

HUANG Li-xin^{1 2}

(1. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China;
2. People's Government of Jiangsu Province, Nanjing 210024, China)

Abstract: Based on the definition and connotation of water resources and its carrying capacity, it is suggested that the evaluation of water resources carrying capacity should be made from microscopic and macroscopic angles. It is also demonstrated that the index method and the system dynamic method are available for macroscopic evaluation and microscopic diagnosis of water resources carrying capacity, and that the development trend of water resources carrying capacity and the coordination of its internal factors could be analyzed by the cooperation of the above two methods.

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