

水资源承载能力三层次评价指标体系研究

袁鹰^{1,2}, 甘泓¹, 汪林¹, 王忠静³, 游进军^{1,3}

(1 中国水利水电科学研究院水资源研究所, 北京 100044; 2 广东省水利电力勘测设计研究院, 广州 510710; 3 清华大学 水利系水文水资源研究所, 北京 100084)

摘要: 在总结已有水资源承载能力指标体系的基础上, 结合定义, 提出了水资源承载能力三个层次的概念, 即水资源承载主体的水资源系统、作为承载客体的社会经济系统及生态环境系统和承载水平以及水资源合理配置下的主客体耦合, 并建立指标体系的4点原则, 即目的性原则、可证实性原则、适当超前原则和可操作性原则, 在此基础上, 提出了水资源承载能力三个层次的评价指标体系。应用指标体系计算出了海南省水资源承载能力状况, 而评价结果与海南现状实际情况也是一致的。

关键词: 水资源承载能力; 水资源评价指标; 指标体系; 三个层次

中图分类号: TV 213

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X (2006) 03-0013-05

Research on three hierarchies evaluation index system of carrying capacity of water resources

YUAN Ying^{1,2}, GAN Hong¹, WANG Lin¹, WANG Zhong-jing³, YOU Jin-jun^{1,3}

(1 China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100044, China; 2 Guangdong Provincial Investigation Design and Research Institute of Water Conservancy and Electric Power, Guangzhou, Guangdong 510710, China; 3 Institute of Hydrology and Water Resources, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: Based on the index system of carrying capacity of water resources and combined with the definition, the conception of the three hierarchies on carrying capacity of water resources has been put forward as the carrying subject of water resources, the social economic system and ecological environmental system as the carrying object and the carrying levels as well as the coupling of subject and object under reasonable distribution of water resources. Set up four principles of index system, that was, purpose principle, verifiable principle, proper advancing principle and operative principle. On the bases of it, this paper put forward the three hierarchies evaluation index system of carrying capacity of water resources, and used this index system to assess the carrying capacity of water resources in Hainan Province. The appraised results were consistent with the Hainan actual conditions.

Key words: carrying capacity of water resources; water resources evaluation index; index system; three hierarchies

0 引言

20世纪80年代以来, 随着我国水资源短缺与经济社会发展需水增长的矛盾不断加剧, 水资源所能支撑的社会经济的极限问题已成为越来越多国内专家关注的焦点, 对水资源承载能力的研究也成为热点。随着研究的不断深入, 水资源承载能力正逐渐形

成完善的指标体系, 先后有诸多学者在这方面做过尝试。

1998年, 肖满意等人在进行山西省水资源承载能力评估时, 将待选评价指标体系划分为水资源条件、供水及工程、需水用水节水、社会经济、生态环境五大类, 并运用综合评价方法, 从中选取有一定代表性的指标对山西省水资源承载能力进行了评估^[1]。

收稿日期: 2005-11-20; 修稿日期: 2005-12-01

基金项目: 国家自然科学基金重大项目(50239050)资助

作者简介: 袁鹰(1981-), 男(汉族), 湖南平江人, 硕士研究生, 从事水文学及水资源方面研究。

2001 年,惠决河等人在研究关中地区水资源承载力过程中,建立了水资源承载力评价指标体系,并将其划分为社会经济承载力、承载人口能力、水环境容量、可供水量、需水量等方面的内容,指标的多样性比以前也更进一步^[2]。2002 年,王煜等人在黄河水资源承载力研究中,选择水资源情况、经济发展水平、生态和环境状况、人口状况作为评价指标,指标分类更加清晰,但其只选取人均水资源总量、人均水资源可利用量、人均 GDP 等 14 个指标进行表征,不能全面的反映水资源承载力指标体系^[3]。2004 年,唐曲等人在进行民勤盆地水资源承载力研究过程中,将水资源承载力指标体系划分为供水系统和需水系统两大部分,并将需水系统进一步细分为生活需水、经济需水和生态需水三大类,指标体系的划分比以前更进了一步^[4]。

水资源承载力指标体系除了根据研究对象类型划分外,以各类指标的特性作为划分准则也是一种办法。2004 年,王浩、秦大庸、庄桂文、王军海等分别在对西北内陆干旱区和吉林西部地区进行承载力研究时,从另一角度对水资源指标体系进行了分析,将其划分为可比性指标、均衡性指标、效益性指标和极限性指标^[5]。同年,陈洋波等人在利用驱动力-压力-状态-影响-反应(DPSIR)模型计算深圳水资源承载力时也提出了相应的指标体系,根据模型结构特征,将其划分为驱动力指标、压力指标、状态指标、影响指标和响应指标五大类^[6]。

对水资源承载力课题的研究虽然已有近 20 年的历史,但指标体系的提出到现在只有短短几年时间。水资源承载力指标体系正处于一个不断完善的过程,但还存在如下问题:

(1) 各文献从不同的角度对水资源承载力指标进行了分类,但并没有明确水资源承载能力的三个层次,且划分不一致。

(2) 由于对指标体系分类的角度不同,对承载力指标的选取也是千差万别,指标代表性不强。

(3) 各文献根据自身承载力评价的需要选取了一定量的指标,但没有明确水资源承载力状况的特征指标,对水资源承载力状况的描述性指标也不够完整,不能全面反映水资源承载能力的特性。

针对这些问题,本文从水资源承载能力的概念出发,提出了水资源承载能力的三个层次,制定了指标的选取原则,讨论水资源承载力三个层次评价指标体系的建立。

1 水资源承载能力的三个层次

1.1 水资源承载力定义

水资源承载力是在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,以可持续发展和维护良好生态环境为原则,以合理的优化配置为条件,水资源能够支撑社会经济发展的最大支撑能力。根据水资源承载能力的定义,水资源承载力主体自然是天然的水资源本身。其中,水资源应包括其水量的多少和水质的好坏,只有水量没有水质或只有水质没有水量的水资源均不能构成水资源承载力,反映承载能力的有效性。同时水资源承载力也包含与其它资源(物资资源、人文资源)的配合与协调所形成的统一主体。水资源承载能力的客体从狭义上应包括水资源所直接支撑的与水有直接联系的被支撑对象,如人口、牲畜、水产、各种污染物等。从广义上看,则应包括与水资源关系较为密切、受水资源变化影响较大或反过来对水资源影响较大的各种天然或非天然系统,如水资源综合规划所关注的经济系统(经济生产活动)、社会系统(人民生活水平)、水环境系统(水环境容量)、水生态系统(湿地面积、水生动植物数种与数量)。水资源承载力是由承载主体和承载客体以及两者之间相互作用、相互协调的关系组成,以水资源作为承载主体,以与水资源有关的或以水资源为主要支撑条件的各种系统作为客体的水资源所能承载的最大能力。

1.2 水资源承载能力的三个层次

根据水资源承载能力的定义,可将水资源承载力划分为水资源承载主体、水资源客体及承载水平及水资源配置条件下的主客体耦合三个层次。

(1) 第一层次:作为承载主体的水资源系统。第一个层次侧重研究水资源系统。从资源的角度出发可将其划分为水资源量和水资源有效可利用量。侧重评价与社会经济发展直接相关的水资源有效可利用量。水资源可利用量是从资源的角度分析一个流域可能被控制消耗利用的水资源量。可利用量的分配对象主要是河道外经济社会用水和河道外生态补水,河道内生态环境需水不在分配之列。

(2) 第二层次:作为承载客体的社会经济系统和河道外生态。随着承载客体自身条件或需求的变化,反过来对承载主体提出更高的要求,从而使水资源承载力发生相应的变化,使之相互协调和相互适应。水资源客体对主体的要求主要体现在承载水平上。承载水平是衡量承载能力中承载客体变化的重要指标,不同的承载水平将产生不同的承载能力,因而需要对承载水平进行分级研究。对比中国三步

走发展战略指标,可将水资源承载水平划分为温饱、总体小康、全面小康和基本现代化4个级别^[7]。

由于水资源所承载的客体主要由社会系统、经济系统和生态环境系统组成。所以水资源对客体的承载水平也主要包括对人口的承载水平、对经济发展的承载水平和对生态环境的承载水平。

水资源对人口的承载水平主要体现在生活消费水平上。人类消费水平(人类消费的物品)可概括为两个方面:一是为维持生命延续的食物,以农产品为主,它包括粮食和与粮食相关的肉蛋奶类生产。人均农产品占有量说明了人民群众的温饱程度,国际上通用的指标是恩格尔系数;二是为维持正常生活的消费品,以工业为主,由于工业消费产品种类繁多,且与历史年代有关,通常用人均GDP来反映人民生活的富足程度。

经济发展水平由行业发展水平和用水效率构成,前者是国民经济发展组成部分,按照水资源综合规划的分类,包括工业、农业、建筑业及第三产业及其组成的产业结构水平等内容;后者指由工程、技术和管理水平决定的用水水平或用水效率,包括上述相应行业的用水定额和水利用系数等。

水资源对河道外生态的承载水平随着生态目标的提高而增加。水资源对生态合理的承载水平取决于区域的水资源条件和相应社会发展水平下对生态环境提出的要求。随着生活水平和质量的不断提高,人类的生存环境也要不断的改善和提高,所要求的生态环境需水量也应不断提高。

(3) 第三层次:水资源合理配置下的主客体耦合。水资源配置是在确定了可利用水量和各类产业不同发展水平下的需水量后,以满足水资源配置基本原则和要求的方式实现从可利用水量到各类产业用水之间的分配,是连接水资源主体和客体的桥梁。不同的水资源配置结果将产生不同的水资源承载能力,这种关系是显而易见的。由于水资源配置方案的不同,其相应结果必然导致水资源承载能力值的变化,合理的水资源配置结果将产生较高的水资源承载能力值。一定承载水平的主客体耦合下的承载人口和承载规模直接反映了水资源承载能力的大小,而水资源合理配置条件下的承载状况也从侧面反映了区域的水资源承载能力状况。

2 评价指标选取原则

评价指标的选取是进行水资源承载能力综合评价的基础,为了增强指标体系制定的科学性,评价指标

标选取应遵循以下原则:

(1) 目的性原则。评价指标应与评价目标一致,评价结果能够反映水资源承载能力状况。

(2) 可证实性原则。指标应使用明确的数值,对于不能在较短的时间内证实指标是否符合稳定性、可靠性等要求则不应规定。从可证实性出发,指标体系应立足于现状经济发展水平制定。

(3) 适当超前原则。依据预测,对以后将成为最佳的标准化对象,规定高于目前实际水平的指标和要求,称为超前标准化。促使超前标准化产生的背景是科学技术的进步、生产的发展和经济的繁荣。鉴于生活水平、用水效率的提高是发展的必然趋势,不同规划水平年发展条件下的指标以正在进行的全国水资源综合规划成果为依据确定。

(4) 可操作性原则。所选指标用于表述一个区域的水资源承载状态,采用一些相互独立且具有明确物理(或社会)含义的指标,简单直观,可直接反映水资源承载能力状况,并同时也在其所处的范围有一定的代表性,从而弥补表述指标的相对值特性带来的说明性不足的缺陷。

3 水资源多层次评价指标体系的建立

为了能够全面反映水资源承载能力特性,同时又不因大量繁琐的指标选取带来较大的工作量,根据水资源承载能力的定义、三个层次的划分以及指标选取的原则,分别选取相应的表述指标和表征指标构成水资源承载能力的评价指标体系。表征指标选择了各层次承载状态性质判定指标,用以反映承载主客体基本特征的双指针;表述指标选取了影响水资源承载能力的最基本驱动力因素,并考虑了数据可获得性(大纲附表)后加以演化而成,主要是对主客体承载状态进行详尽的描述。

3.1 水资源承载主体评价指标

影响水资源主体的因素主要是水资源禀赋,最突出的反映在水质和水量上。以这些因素为基础,从气候条件、地表地下水资源状况、水质状况等方面建立了水资源主体的评价指标(见表1)。

3.2 水资源承载客体评价指标

客体范围内影响水资源承载能力的重要因素为水资源承载水平,不同承载水平将产生不同的承载能力。水资源承载水平通常包括经济发展水平和用水效率两个方面。经济发展水平的高低最直接的体现在人均GDP上,由于农业用水在行业用水的比重较大,因此,农业用水效率是反映一个地区用水效率

的主要因素之一。经济发展水平最直接体现在社会经济状况、生活消费和用水水平上。其中, 社会经济发展状况可通过人口数量、GDP、各行业增加值等反映, 生活消费水平则主要体现在对人均肉蛋奶消费和恩格尔系数上, 用水效率是反映用水水平和节水水平的指标。

通常以用水净定额反映用水水平, 水利用系数反映节水水平。受行业用水性质的影响, 各行业水利用系数差异很大, 需分别列出进行表述。水资源承载客体表征指标和表述指标见表 2。

3 3 水资源承载能力评价指标

水资源承载能力是主客体相互作用的综合体现, 在水资源承载主体水资源量和客体经济发展水平和用水水平确定的情况下, 主客体通过合理有效的分配可获得相应发展水平和用水水平的水资源承

载能力。水资源承载能力主要通过人口数量和承载经济规模来体现, 可将其作为水资源承载能力表征指标。此外, 从资源匹配程度、水资源开发利用程度、水分生产效率、用水分配等方面建立相应的评价指标对水资源承载能力进行描述, 具体指标见表 3。

表 1 水资源承载主体评价指标

指标分类	表征指标		表述指标	
	水量	水质	水资源禀赋	水资源量及可利用量
指标内容	人均水资源可利用量、地下水埋深	BOD 浓度、COD 浓度、PH 值	降水量、干旱指数、径流深、地下水模数	水资源量、水资源可利用量、地表水资源可利用量、地下水资源可开采量

表 2 水资源承载客体评价指标

指标分类	表征指标		表述指标			
	经济发展水平	用水效率	社会经济状况	用水水平(用水净定额)	生活消费水平	用水效率
衡量指标	人均 GDP	灌溉水利用系数	人口, GDP, 一产增加值, 火电工业增加值, 一般工业增加值, 高耗水工业增加值, 建筑业增加值, 第三产业增加值	生活用水净定额, 农业灌溉综合净定额, 火电工业用水净定额, 一般工业净定额, 高耗水工业净定额, 建筑业用水净定额, 第三产业用水净定额	人均肉蛋奶, 恩格尔系数	灌溉水利用系数, 工业水利用系数, 建筑业水利用系数, 第三产业水利用系数, 城镇输水损失, 工业用水重复利用率

表 3 水资源承载能力评价指标

指标分类	表征指标		表述指标			
	承载人口	经济规模	资源匹配程度	供水保证程度	水资源开发利用程度	水分生产效率
衡量指标	人口数量	GDP	人均水资源占有量, 亩均水资源占有量, 有效雨量/同期作物需水量	生活供水保证率, 工业供水保证率, 灌溉供水保证率, 河道内供水保证率, 河道外供水保证率	地表水供水能力, 地下水开采能力, 废污水处理率, 处理污水回用率	单位 GDP 净用水量, 人均耗水量

3 4 水资源承载能力指标体系计算结果

通过对水资源主客体及承载水平的分析以及水资源配置系统模拟模型^[8]和承载能力模型的计算, 得出水资源承载能力三个层次下的指标体系的计算结果, 从各个层次上可对水资源承载能力进行评价分析。受篇幅所限, 本文只列出了第三层次的部分指标的计算结果, 见表 4。

从结果上看, 海南省现状承载能力还具有一定的潜力, 主要反映以下几个方面。

(1) 海南现状人口为 800×10^4 人, 经济规模约

为 500×10^8 元, 而海南水资源可承载人口和经济规模分别为 $2\,742 \times 10^4$ 人和 $1\,807 \times 10^8$ 元, 大大高于现状人口和现状经济规模。

(2) 海南省资源匹配程度和供水保证程度都比较高。现状供水保证率生活、工业几乎为 100%, 农业灌溉、河道外生态和河道内生态也高达 90% 以上; 人均水资源占有量和每公顷平均水资源占有量分别为 $3\,906\text{ m}^3$ 和 $126\,285\text{ m}^3$, 高于相应的全国平均水平的 $2\,200\text{ m}^3$ 和 $28\,500\text{ m}^3$, 属于不缺水地区。

(4) 海南水资源开发利用程度和水分生产效率



却相对较低, 现状条件下地下水开采比例虽已达到 83 %, 但地表水开发利用程度和废污水处理率仅分别为 18 % 和 34 %; 单位 GDP 净用水量和人均耗水量分别为 505 m³/万元和 253 m³/人, 在全国属于中等偏下水平, 这也说明海南水资源承载能力的提高还具有巨大潜力。

表 4 海南省水资源承载能力计算结果

指标 分类	承载规模		资源匹配程度		供水保证率/%				
	承载人口 /10 ⁴ 人	承载 GDP /10 ⁸ 元	人均水资源 占有量/m ³	每公顷平均 占有量/m ³	生活	工业	农业灌溉	河道外 生态	河道内 生态
现状值	2742	1807	3906	126285	100	100	92.1	92.1	94.7
2010 年	2492	3418	3512	109755	100	100	96.6	96.6	97.7
2020 年	2151	5889	3235	93315	100	100	98.5	98.5	99.0
2030 年	1893	9940	3073	79200	100	100	97.4	97.4	98.3

指标 分类	水资源开发利用程度			水分生产效率				
	地表水供水 能力/地表 水资源量/%	地下水开采 能力/地下水 可开采量/%	废污水 处理率 /%	单位 GDP 净用水量 每万元/m ³	人均耗 水量/m ³	用水分配比例/%		
						生活	生产	河道外 生态
现状值	18.0	83.0	34.0	505	253	8.6	91.1	0.3
2010 年	26.0	83.0	74.0	267	286	9.0	90.4	0.6
2020 年	32.0	83.0	81.0	155	312	8.9	90.2	0.9
2030 年	35.4	83.0	90.0	92	336	8.9	90.1	1.0

一方面, 由于水分生产效率和水资源开发利用程度的提高, 规划水平年单位 GDP 净用水量不断下降, 各行业供水保证率和可承载 GDP 也不断增加; 另一方面, 由于生活水平的不断提高, 海南省未来可承载人口会略微有所下降, 到 2030 年左右, 可承载人口大约为 1900 万人。

4 结 论

本文根据水资源承载能力定义, 在总结以往指标体系的基础上, 提出了水资源承载能力的三个层次, 并拟定了建立水资源承载能力指标体系的原则。在此基础上, 提出了水资源承载能力多层次指标体系下的表征和表述四十多项指标。水资源承载能力的三个层次分别指作为主体的水资源系统、作为承载客体的社会经济系统和河道外生态以及主客体耦合下的水资源承载能力。根据水资源承载能力多层次指标体系和承载能力计算方法, 对海南现状条件下水资源承载能力进行了计算, 结果表明海南现状可承载人口和经济规模大于相应的现状实际值, 从而得出海南目前承载能力还具有一定潜力的结论, 从第三层次其他指标计算结果中也可以反映, 这一

结论与目前海南的承载能力现状一致, 也说明本文提出的指标体系是比较合理的。

参考文献:

[1] 肖满意, 董翊立. 山西省水资源承载能力评估[J]. 山西水利科技, 1998, (4): 5- 11.

[2] 惠泱河, 蒋晓辉, 黄强, 等. 水资源承载能力指标体系研究[J]. 水土保持通报, 2001, 21(1): 30- 34.

[3] 王煜, 黄强, 刘昌明, 等. 基于最大可支撑人口的水资源量承载能力分析[J]. 水土保持学报, 2002, 16(6): 54- 57.

[4] 唐曲, 姜文来, 陶陶. 民勤盆地水资源承载力指标体系及评估[J]. 自然资源学报, 2004, 19(5): 672- 678.

[5] 王浩, 秦大庸, 王建华, 等. 西北内陆干旱区水资源承载能力研究[J]. 自然资源学报, 2004, 19(3): 151- 159.

[6] 陈洋波, 陈俊合, 李长兴, 等. 基于 DPSIR 模型的深圳市水资源承载能力评价指标体系[J]. 水利学报, 2004, 35(7): 1- 7.

[7] 李培林, 朱庆芳. 中国小康社会[M]. 北京: 社会科学文献出版社, 2003.

[8] 游进军, 甘泓, 王浩, 等. 基于规则的水资源系统模拟[J]. 水利学报, 2005, 36(9): 1043- 1049, 1056.