

基于压力-状态-响应模型的城市水资源承载能力研究

郭海丹^{1, 2}, 邵景力¹, 谢新民³, 柴福鑫³

(1. 中国地质大学(北京)水资源与环境学院, 北京 100083; 2. 呼伦贝尔市水资源管理站, 内蒙古 呼伦贝尔 021008; 3. 中国水利水电科学研究院水资源研究所, 北京 100044)

摘要 水资源承载能力研究对于人口、社会经济和生态环境的协调发展具有重要意义。以朝阳市区为例, 综合考虑该市未来人口增长、经济发展趋势, 构建压力-状态-响应模型及其评价指标体系, 分析计算当地水资源承载能力。结果表明, 即使达到较高的节水水平, 现状供水模式也无法满足朝阳市区未来对水资源的需求, 外调水是朝阳市区社会经济可持续发展的保障。

关键词 压力-状态-响应模型; 水资源; 承载能力

中图分类号 TV213.4 **文献标识码** A **文章编号** 1004-693X(2009)01-0046-04

Urban water resources carrying capacity based on pressure-state-response model

GUO Hai-dan^{1, 2}, SHAO Jing-li¹, XIE Xin-min³, CHAI Fu-xin³

(1. School of Water Resources and Environmental Science, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China; 2. Water Resources Management Station of Hulunbeier City, Hulunbeier 021008, China; 3. Department of Water Resources, China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100044, China)

Abstract: The study of water resources carrying capacity is very important to the coordinated development of the population, social economy and ecological environment. Using Chaoyang City as an example and considering the population growth and economic development trends, this study established a pressure-state-response model and evaluation index system to analyze and calculate the water resource carrying capacity. The results show that, even if a higher level of water conservation could be guaranteed, the present water supply mode cannot meet the future water demand of the urban area of Chaoyang City, so water diversion from other regions is required for socio-economic sustainable development.

Key words pressure-state-response model; water resources; carrying capacity

从 1989 年水资源承载能力的概念提出至今, 众多学者对具体流域和区域的水资源承载能力采用不同的方法进行了研究。由于水资源承载能力具有自然和社会双重属性, 其大小受生产力水平、社会经济结构、生态环境状态以及科技水平等众多因素的影响, 涉及水资源系统、社会经济系统和生态环境系统之间的复杂相互作用关系^[1]。目前, 模糊综合评价法、主成分分析法、系统动力学仿真模型、多目标决策分析法等应用较为广泛, 但笔者认为压力-状态-响应模型(Pressure-State-Response, 简称 PSR 模型)能较好地反映水资源、社会经济和生态环境系统之间的相互作用关系, 是评价水资源承载能力的有效方

法之一。

1 压力-状态-响应模型的理论基础

PSR 模型最初由加拿大统计学家 Tony Friend 和 David Rapport 提出, 用于分析环境压力、现状与响应之间的关系。20 世纪 70 年代, 欧洲经济合作与发展组织(Organization for Economic Cooperation Development, OECD)对其进行了修改并用于环境报告。20 世纪 80 年代末 90 年代初, OECD 在进行环境指标研究时对模型进行了适用性和有效性评价^[2]。该理论认为, 人类的经济、社会活动与自然环境之间存在相互作用关系。即: 人类从自然环境取

作者简介: 郭海丹(1969—), 女(达斡尔族), 黑龙江讷河人, 高级工程师, 博士研究生, 研究方向为水资源配置和承载能力。E-mail: ghd3@163.com

得各种资源 通过生产消费又向环境排放 从而改变了资源的数量和环境的质量 进而影响了人类的经济社会活动及其福利 如此循环往复 形成了人类活动与自然环境之间的“压力-状态-响应”关系。据此设计的指标优点较好地反映了自然、经济、环境、资源之间相互依存、相互制约关系。PSR 评价模型目前已广泛地应用于生态安全评价^[3]、工业污染评价^[4]、湿地健康评价^[5]等领域 模型的概念框图如图 1。

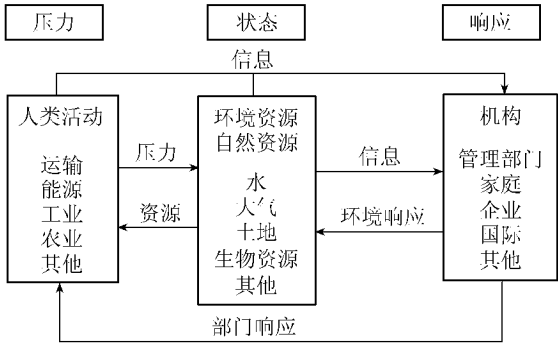


图 1 压力-状态-响应模型的概念框图

2 压力-状态-响应模型的构建

水资源是城市发展的基础性和战略性资源 它具有生产要素和生活要素的双重特征^[6] 因此 水资源承载能力的研究涉及水资源系统、社会经济系统和生态环境系统 而 PSR 模型能够较好的反映三者关系。本次研究从三个层次构建 PSR 模型 :①分析自然系统在不同社会发展阶段能够有多少水资源量在维持人类经济社会发展需要的同时 又不影响或破坏与其紧密相关的生态环境系统 从而维持后代人持续发展的能力 ;②分析水资源承载能力的表述指标随着水资源配置方案不同和使用效率的不同而产生的差异 ;③进一步明确作为承载客体的经济社会及生态环境系统在不同承载标准下水资源承载力指标变化情况。基于城市人口、社会经济发展现状 以及水资源开发利用和生态环境中存在的问题 ,

结合国际上通用的构建评价指标体系的原则和方法 综合考虑辽宁省朝阳市区社会经济发展的实际 , 在 PSR 模型框架基础上构建了水资源承载能力指标体系 包括压力、状态和响应指标 每类指标都包含了社会经济、水资源、生态环境指标。压力指标用以表征造成发展不可持续的人类活动和消费模式或经济系统 回答“为什么会发生如此变化”的问题 ;状态指标用以表征可持续发展过程中的系统状态 回答城市“发生了什么样的变化”问题 ;响应指标用以表征人类为促进可持续发展进程所采取的对策 回答“应该做什么”的问题 模型框架见图 2^[7]。图 2 中①指社会经济发展的用水需求、生态环境和水资源系统承受的压力 ;②指信息传递 ;③指社会经济、生态环境和水资源的调控响应 ;④指社会经济、生态环境和水资源的制约。

3 压力-状态-响应模型的指标体系

按照水资源承载能力指标体系选择的整体性、层次性、协调性、动态性和可操作性原则^[8] 选择 40 个指标反映社会经济、水资源和生态系统之间的压力、状态、响应关系 其中状态指标用来评价承载力客体状况 压力指标用来评价造成这种状态的主体 响应指标用来评价主体改变客体状态的途径。具体指标见图 3。

水资源承载能力研究的目的是确定水资源对人口、社会经济发展规模和生态环境的承载能力。因此 最后选取超载人口、超载 GDP 和超载生态环境面积评判水资源承载能力。超载人口数是指实际人口数或预测人口数扣除可承载的人口数 其中可承载人口数 = 实际人口数或预测人口数 - (缺水量 × 单方水可承载人口数) 单方水可承载人口数 = 实际人口数或预测人口数 / 总需水量 ;超载 GDP 总量与超载生态环境面积计算方法与超载人口数计算方法相同。

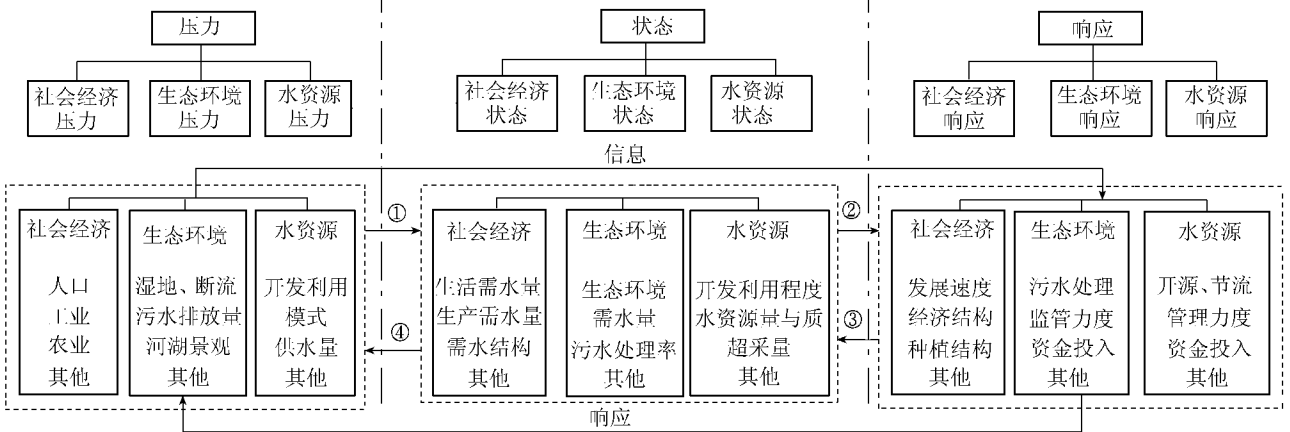


图 2 压力-状态-响应模型框架

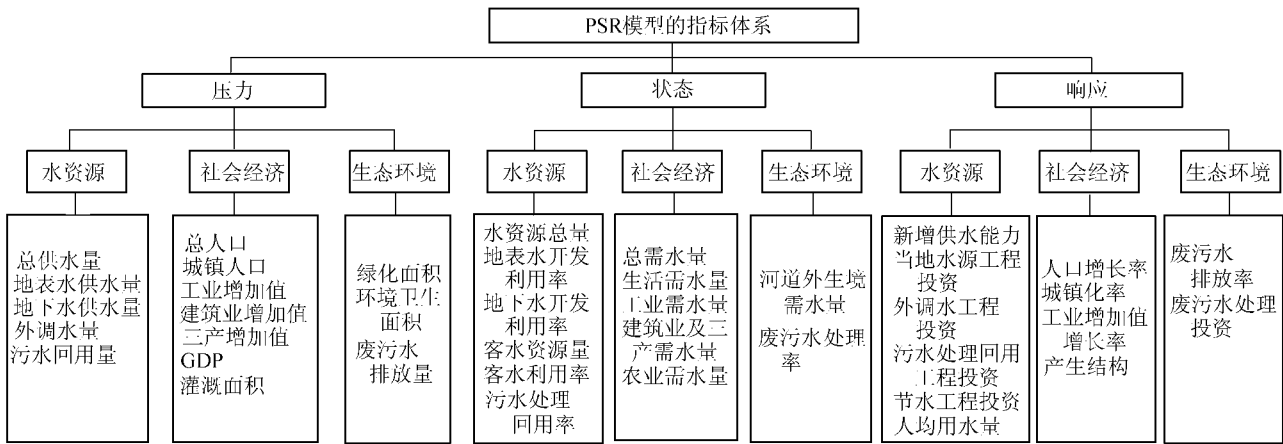


图3 PSR模型的指标体系

4 应用实例

本次研究区域为辽宁省朝阳市区,在综合分析朝阳市区人口、社会经济和生态环境现状的前提下,针对城市水资源开发利用和生态环境方面存在的问题,构建了适宜当地经济发展的PSR模型,从水资源承载能力的主体、客体、主客体耦合三层,按照‘三次平衡’配置的思想,计算了朝阳市区水资源承载能力,并给出适合当地经济社会可持续发展的推荐方案。

4.1 朝阳市区自然地理和社会经济概况

朝阳市位于辽宁省西部,朝阳市区位于朝阳市的中部偏东北,现有2个市辖区(双塔区、龙城区),总面积557 km²,属于北温带大陆性季风气候区。2005年朝阳市区总人口48.9万,人均GDP为7182元/人。朝阳市区人均GDP虽呈逐年增长态势,但与辽宁省和全国同期的增幅相比,还有很大差距。

4.2 水资源条件

朝阳市区属于大凌河流域,水资源总量为8597万 m³,人均水资源量175.8 m³/人,平均水资源量6352.5 m³/hm²,属于水资源严重匮乏地区,且水资源时空分布极不均匀。2005年朝阳市区实际供水总量为5273.8万 m³,总用水量为5273.8万 m³,其中生活、生产、生态用水量分别占总用水量的37%、61%和2%。朝阳市区地下水水质总体状况较好。“十一五”期间,随着社会经济的快速发展,对水资源的需求量猛增,使原本稀缺的水资源更加紧张,加之朝阳市市区的用水水平和用水效率较低,水污染问题比较突出,缺水问题日益突显。

4.3 水资源承载能力计算和结果分析

本次研究分别考虑朝阳市区(情景Ⅰ)和朝阳市区加即将上马的凌钢和燕山湖电厂(情景Ⅱ)两种情景,按照社会经济高速、中速和低速发展以及人口增长高、中、低3个方案、9种情景进行需水预测,在此

基础上分别按照指标体系评价法和PSR模型进行水资源承载能力计算。

方法一:以经济发展水平和水资源可供水量之间关系分析为基础,通过推求单位GDP综合需水量分析和计算水资源承载能力。按照我国政府制定的全面小康、基本现代化、现代化作为经济发展水平的衡量指标,以人均GDP为主要参照标准,从水资源可供水量中扣除生活和生态必需的水量,得到可供生产使用的水量,以用于生产的水资源量以及一定的承载水平下单位GDP综合需水量,推算出可承载的经济规模;与一定的承载水平下人均GDP相除,得到可承载的人口数量,并进行检验。具体结果见表1。

表1 基于指标体系评价法的水资源承载能力

发展方案	节水方案	承载水平	临界年份	可承载GDP/亿元	可承载人口/万人	可承载人口/预测人口
低	适度	全面小康	2011	162.3	72.3	1.0
		基本现代化	2022	291.8	65.0	1.0
		现代化	2032	532.8	69.4	1.0

计算结果表明,可承载GDP呈上升趋势,承载人口呈下降趋势,说明水资源在保证社会经济发展的同时,抑制了人口增长。

方法二:根据水资源‘三次平衡’配置的思想,建立了适于城市水资源承载能力评价的PSR模型以及评价指标体系,具体评价结果见表2。

综合考虑不同配置方案的工程投资、缺水行业、允许缺水深度和经济发展水平等因素,建议选取经济低速增长和适度节水的配置方案作为朝阳市区水资源承载能力推荐方案。推荐方案2030年在保证率75%条件下,总供水量为15861.70万 m³,总需水量为17538.3万 m³,总缺水量为1676.6万 m³,占其需水量的9.5%,超载人口为6.83万人,超载GDP为47.11亿元,超载生态环境面积为0.017万 hm²。

通过可承载人口的对比分析发现,PSR模型在

表 2 基于 PSR 模型的水资源承载力推荐方案

压力指标														
水平年	社会经济					生态环境					水资源			
	总人口/ 万人	其中城 镇人口/ 万人	工业 增加值/ 亿元	建筑业及第 三产业增加 值/亿元	GDP/ 亿元	灌溉面积/ 万 hm ²	绿化面积/ 万 hm ²	环境卫生 面积/ 万 hm ²	废污水 排放量/ 万 m ³	供水量/ 万 m ³	地表水供 水量/ 万 m ³	地下水供 水量/ 万 m ³	外调水供 水量/ 万 m ³	污水回 用量/ 万 m ³
2005	52.76	35.61	17.44	15.53	36.37	5.52	0.025	0.026	2959	5927.30	0	5927.3	0	0
2010	55.73	38.45	84.85	27.08	117.16	5.52	0.035	0.040	851.62	11218.61	300	6348.7	3292.41	1277.5
2020	64.67	49.15	187.01	63.48	260.78	5.52	0.048	0.097	370.16	14406.70	300	6348.7	5258.00	2500
2030	71.44	57.15	356.36	122.65	492.84	5.52	0.063	0.180	0.00	15861.70	300	6348.7	3738.00	5475

状态指标														
水平年	社会经济					生态环境					水资源			
	总需水量/ 万 m ³	生活 需水量/ 万 m ³	其中城镇 生活需水 量/万 m ³	工业需 水量/ 万 m ³	建筑业及第 三产业需水 量/万 m ³	农业 需水量/ 万 m ³	河道外生 态环境需 水量/万 m ³	废污水 处理 率/%	水资源 总量/ 万 m ³	地表水 开发率/%	地下水 开采 率/%	客水资源/ 万 m ³	客水利 用率/%	污水处 理回用 率/%
2005	5927.3	2090.87	1871.82	1395.2	503.95	1803.13	134.16	0	8597.5	0	87.1	7889	0	0
2010	11218.6	2834.40	2456.07	5739.90	711.48	1772.84	160.00	70	8597.5	7.1	93.3	6570	50.11	31.50
2020	15342.4	4164.02	3767.44	8217.54	1092.42	1647.83	220.62	90	8597.5	7.1	93.3	5258	100.00	60.79
2030	17538.3	5006.44	4589.23	9523.29	1270.21	1466.86	271.51	100	8597.5	7.1	93.3	3738	100.00	88.76

响应指标															超载指标		
水平年	社会经济				生态环境				水资源						人口数/ 万人	GDP 总量/ 亿元	生态环 境面积/ 万 hm ²
	人口增 长率/%	城镇 化率/ %	工业增 值增长 率/%	产业结构	废污水 排放率/ %	废污水 处理投 资/ 亿元	新增供 水能力/ 万 m ³	当地水 源工程 投资/ 亿元	外调水 工程 投资/ 亿元	污水处理 回用工程 投资/ 亿元	节水工 程投资/ 亿元	人均 用水量/ (m ³ ·人)					
2005	—	67.5	—	9.3 53.1 37.5	100								112.34	0.00	0	0	
2010	11	69	37.2	4.5 75 20.5	30	1.68	8942.5	0.17	1.6	0.35	0.23	201.32	0.00	0.00	0.000		
2020	15	76	8.2	3.9 74.2 21.8	10	0.4	1277.5	0	0	0.35	0.90	222.76	3.94	15.90	0.007		
2030	10	80	6.7	2.8 74.5 22.7	0	0.4	2975.0	0	0	0.8	2.17	222.03	6.83	47.11	0.017		

城市水资源承载力计算结果可靠 ,方法可行。计算结果显示 ,仅依靠当地水资源的供水能力 ,即使考虑很高的节水水平 ,仍然无法满足朝阳市区未来经济社会和人口发展的需求 ;考虑外调水 ,2020 年和 2030 年人口和 GDP 以及生态环境面积仍然超载。因此 ,提高当地用水水平和用水效率 ,全面建设节水型社会 ,是朝阳市区今后社会经济可持续发展的重要保障。

5 结 语

通过指标体系评价法和 PSR 模型计算结果发现 ,压力-状态-响应模型构建的指标体系更能全面反映城市水资源承载力涉及的社会经济、生态环境和水资源系统的状态以及三者之间的相互作用关系 ,为制定城市可持续发展规划提供重要依据。由于压力-状态-响应模型在城市水资源承载力研究方面刚刚起步 ,模型和评价指标体系的构建还有待进一步完善。

参考文献 :

[1] 方国华 ,胡玉贵 ,徐瑶 . 区域水资源承载力多目标分析评价模型及应用 [J]. 水资源保护 , 2006 ,2(6) :9-13.
[2] 麦少芝 ,徐颂军 ,潘颖君 . PSR 模型在湿地生态系统健康

评价中的应用 [J]. 热带地理 , 2005 ,25(4) :317-320.
[3] 邱微 ,赵庆良 ,李崧 ,等 . 基于“ 压力-状态-响应 ”模型的黑龙江省生态安全评价研究 [J]. 环境科学 , 2008 ,29(4) :1148-1152.
[4] 陆翱翔 ,陆春燕 ,刘影 . 基于 PSR 模型的江西省工业污染评价 [J]. 太原师范学院学报 :自然科学版 , 2007 ,8(4) :99-102.
[5] 周林飞 ,许士国 ,孙万光 . 基于压力-状态-响应模型的扎龙湿地健康水循环评价研究 [J]. 水科学进展 , 2008 ,19(2) :205-213.
[6] 杨荣金 ,舒俭民 . 城市化过程与水资源可持续利用 [J]. 水资源保护 , 2005 ,21(S2) :136-138.
[7] 谢新民 ,甘泓 ,李洪尧 ,等 . 基于三次平衡配置的水资源承载力分析 [J]. 中国水利水电科学研究院学报 , 2006 ,4(3) :191-195.
[8] 尹虔硕 ,郎燕 . 水资源承载力评价指标体系构建 [J]. 水资源保护 , 2007 ,23(S2) :10-13.
(收稿日期 :2008-10-31 编辑 :徐娟)

