

水环境承载的可持续性评价指标体系研究

彭 静¹, 廖文根¹, 赵奎霞², 李 羽中¹

(1. 中国水利水电科学研究院水环境研究所, 北京 100038; 2. 中国矿业大学化学与环境工程学院, 北京 100083)

摘要: 从环境概念的本质进行分析, 拓展认识和界定了水环境和水环境承载的内涵意义。基于水环境的水源、资源、纳污、生态等 4 个主要功能过程, 兼顾考虑社会调节活动对水环境功能的影响, 设计并构建了水环境承载的可持续性评价指标体系。指标体系以指数-指标-变量的分级框架模式, 以 1 个指数、6 个分类指标、36 个表征变量评价区域水环境承载与经济社会荷载之间的相互关系。

关键词: 水环境承载; 可持续性; 评价指标体系

中图分类号: X824 文献标识码: A 文章编号: 1004-693X(2006)06-0014-04

Evaluation indicators system for sustainability of water environmental carrying capacity

PENG Jing¹, LIAO Wen-gen¹, ZHAO Kui-xia², LI Chong¹

(1. Department of Water Environment, China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China; 2. School of Chemistry and Environmental Engineering, China University of Mining and Technology, Beijing 100083, China)

Abstract: Based on the essence of the concept of environment, an extended definition of water environment and water environmental carrying capacity was put forward. Four main functional processes of water environment, including water sources, water resources, acceptance of pollutants, and ecology, as well as the influence of society regulation activities on water environment were taken into consideration in setting the sustainability indicators. Frameworks of the indicators were graded by indexes, indicators and variables. One index, six indicators and thirty-six variables were defined and selected to evaluate the relationship between water environmental carrying capacity and the social-economic stresses.

Key words: water environment carrying capacity; sustainability; evaluation indicator system

可持续发展是我国发展的基本战略^[1]。在可持续发展的社会、经济、资源、环境基本框架中, 环境是重要的支撑要素。根据可持续发展的内涵, 即“发展要具有可持续性, 要不损害支持地球的生命系统(空气、水、土壤, 不超出其源于环境的承载能力^[2])”。目前已得到普遍认同的是, 将发展限制于资源和环境的承载能力之内, 即保障资源和环境的可持续承载, 是保障发展可持续性的前提。

水环境是环境系统中的一个关键子系统。水既是生命的元素, 又是经济发展的重要资源, 对人类的生存和发展有着不可替代的地位和作用。水环境的多元价值属性, 体现在水环境提供予生活、生产和生

态用水的生命、资源和景观价值, 提供各种用、排水的容纳场所, 并进行水流交换和自净修复的环境价值等^[3]。

要了解一个区域环境承载的实际水平, 评判其在一定发展阶段, 能够承载经济发展的可持续性如何, 需要基于可持续发展和环境承载理论。发展定量化的评价方法, 以从不同的空间和时间尺度, 分析环境的承载状态和发展态势。为此, 我国学者从不同侧面, 开展了有关资源、环境、区域承载力的诸多研究^[4-10]。其中的一个研究热点, 是建立承载能力的一套评价指标体系^[11-13], 通过指标体系的方法, 将涉及大量复杂现象和信息的经济社会与资源环境

的关系简约量化,为科学制定保护规划和管理政策提供实际支持。

1 对水环境及水环境承载的重新认识与界定

量化水环境与经济社会发展的关系,首先要基于对水环境及其承载力的内涵认知。随着水环境及相关交叉学科的不断渗透发展,面对在经济发展进程中不断出现的各种水环境问题,对水环境和水环境承载能力的认知也不断丰富和深入。

1.1 水环境概念的拓展

早期的水环境概念,比较单一地指向水体的质量状态,即水污染状况。至今,对于流域和水系的水环境问题,也经常特指水污染问题。应该说,水污染是水环境中的一个主要且重要的因子,但它并不能反映水环境的完整属性^[14]。

环境是一个相对的概念,是一个相对于“主体”的“客体”。主体不同,相对于主体的客体内涵也就不同。人类学的环境观,以人类为主体,其“环境”指人类生活、生存的空间存在。而生态学的环境观,以生物为主体,其“环境”指人类和地球生命、生活、生存的空间存在,即将人作为地球生物系统的一部分,整体看待地球生命的环境。两种观念各有优势,前者相对易于实际操作,后者重视地球生物的整体性,对克服人类发展对地球生态系统的肆意破坏具有积极意义。

对于水环境而言,如果综合考虑人类学的环境观和生态学的环境观,即以人为主体,同时兼顾对生物的保护,那么,水环境的主体是以人为核心的生命系统,作为与之对应的客体,水环境就是与人类经济社会活动和生物生存有关“水的空间存在”。

因此,在本文中,界定水环境为围绕人群和生物的空间,可直接或间接影响人类生活、社会发展和生物生存的水体,其正常功能的各种自然要素和社会要素的总和。水体是水环境的核心,是具有自然和社会双重属性的空间系统。依据上述定义的广义水环境,表现出两个方面的内涵意义:一是水环境的单个要素,包括水体、流量及流态,水循环空间、下垫面及岸坡周边以及它们的组合方式。二是与水体污染相对应的水体质量。前者可称为水环境的组成状态,它形成了水环境的物理空间。后者可称为水环境的质量状态,它与水环境的物理、化学及生态属性有着密切的关系。水环境的基本组成要素见图1。

1.2 水环境承载

“承载”这一概念的本质,是主体与客体之间支撑和被支撑的关系^[15]。在可持续发展的宏观框架下,水环境承载即为水环境对经济社会的支撑关系,

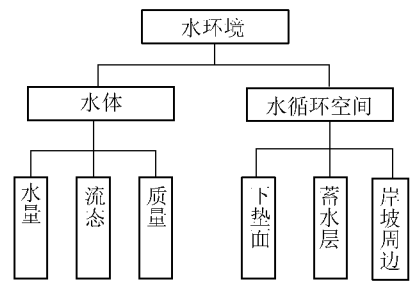


图1 水环境的基本组成要素

这一关系,包含了3个方面的特征:①描述了特定主体与客体之间的相互依存关系;②表征了客体与主体之间承载与被承载的相互作用关系;③刻画了两者相互作用大小的极限关系,即承载力。为保障经济社会发展的可持续,要求水环境承载具有可持续性,即其能够接纳经济社会施加的荷载,并保持在系统自我调节的范围之内。

根据对水环境内涵的拓展认识,以及经济活动对水环境的影响方式,水环境承载可以分解为其各个组成要素的承载,即水量承载(资源的开发利用)、水质承载(水环境容量)、下垫面承载(河势变化)、蓄水层承载(地下水开发利用)、岸坡周边承载(河岸带)等不同的方面。

可见,水环境是一个动态变化的巨系统,它与经济社会巨系统之间的关系,集中体现在经济社会活动对水环境系统的干扰,以及大自然赋予水环境系统的自我组织和自我调节的抗干扰能力,这是水环境得以持续承载的内在机制。源自水环境系统的三大特性:①水是一种可再生的资源,水量因为水文循环而不断得以补充。②水体的流动及其间的物化反应,使其具有接纳污染物并自我净化的环境容量,在一定程度上修复水质。③水中的生命组分使其具有代谢活力,通过生物链的物质和能量循环,保持水生态系统的自我组织和调节能力。

2 评价指标体系构建

合理平衡经济发展与水环境承载的相互关系,是水环境政策关注的目标。为使水环境可持续承载具有可操作性,需要定量分析承载主客体之间的关系,量化相互作用值的大小。由于水环境与经济社会的承载关系是涉及到多方面因素的复杂问题,其中还有许多过程具有不确定性,对这一复杂关系的定量描述,可行的办法之一就是建立一套指标体系。对此,已有从水资源、水环境、生态系统等不同侧面开展的研究积累^[11-13]。

2.1 指标体系设计的指导思想

水环境包括水的资源、水的质量、水的生态三个主要部分。在指标体系设计时,从这三个主要方面

加以考虑。

理论上,选取的指标应能反映水环境的自然属性和人类活动的影响,即表征两者之间支撑关系的主要要素。水环境自然属性与经济社会两者之间的关系,集中体现于水环境的功能,即水环境为经济社会提供的各种服务,产生的各种价值。为此,设计指标体系时的指导思想如下:①功能导向。基于水环境的功能来进行指标分类。由于结构决定功能,对于水环境的结构,放在其功能的层面之下,间接通过功能来反映。②社会调节。由于人类强大的改变自然环境的活动,在指标选取时,还必须考虑水环境社会价值的修复过程,即人类各种技术活动对水环境功能的影响,如技术进步等提高水环境承载能力作用,采取修复措施的效果等。

指标设计时考虑的水环境主要功能过程包括:①水源功能。通过资源开发利用提供的、各种形式的水源。②资源功能。当水进入经济领域之后,作为生产资源创造经济价值。③纳污功能。水域作为污染水的接纳场所,具有一定的环境容量。④生态功能。提供水生态系统的生态用水、滋养水生生物,提供社会的环境和景观用水等。

与此同时,通过技术或管理等活动对水环境的调节和修复,包括环境政策、环境治理、环境体制、环境管理等方面,也将考虑在指标体系中。

2.2 设计原则

a. 政策相关性强。指标应能够对水环境各要素的状态、不同社会和经济活动对水环境的压力以及社会的响应等进行有代表性的描述,并与已有的政策目标和有关的标准相关。

b. 信息集成度高。指标体系应符合水环境系统可持续承载的目标内涵,能比较主要地反映水环境系统的各个方面。但指标并不是选取得越多越好,指标太多会使指标体系规模太大而影响其可操作性。

c. 反应灵敏性强。所选指标应简明、易于理解,能够显示系统状态在时间和空间尺度上的变化,而且对水环境状况和相关经济模式与人类活动的变化反应灵敏。

d. 数据获取途径简单。指标体系各指标量的数据应当易获取,有目标值、标准值或期望值,保证指标体系有较好的可操作性。

e. 实用性强。指标体系在理论上应具有科学的基础,同时各指标还要简约清晰,易于被政府管理者和公众理解,指标体系自身应易于与评估模型和信息系统联系起来,便于应用。

2.3 指标体系框架

水域的自然条件决定了区域水环境的承载潜力,而能否充分利用水环境的承载潜力并保持在一个合理的承载范围之内,主要取决于人类活动和经济社会发展对水环境的利用方式、作用强度以及调控措施。人类活动和经济社会发展对水环境的影响,既与水环境的自然禀赋和属性有关,又与水环境利用方式和管理水平有关,也就是说,可以通过环境建设、调控与管理政策,提高水环境承载的可持续性,协调与经济的可持续发展。

结合指标体系的方法学,水环境可持续承载指标体系采用指数-指标-变量三级体系框架,见表1。

表1 水环境可持续承载指标体系框架

三级体系	设计要点
指数	总体反映水环境可持续承载水平,是指标体系的最高一级。
指标	从水质、水量、水生态系统及人类的响应等不同方面,表征水环境承载的可持续性。指标按类别进行划分,各类指标中再进一步划分多重变量,指标综合反映多个变量的特征。
变量	是指标体系中最低的一级,指向定义清晰、数据可直接获取、可由相关资料提供或通过简单计算便可获得的特征元素。

指数为水环境可持续承载度。指标分6类,分类时从水环境的功能过程和社会调节影响考虑,见图2。

a. 资源禀赋及开发利用水平。反映以区域水资源自然禀赋存条件为基础的水资源开发、利用程度。指标值大小表示承受的水资源开发利用强度大小,指标值越大,开发利用强度越高。

b. 经济社会用水水平。反映经济社会发展的相应阶段水环境系统所承受的用水压力,与经济发展的结构、规模、运行模式、人口数量及生活方式等有关。指标值大小表示用水水平的高低,指标值越大,经济社会用水水平越高。

c. 环境容量与纳污水平。反映各行业经济生产和社会生活的水污染排放情况,对水环境容量的利用程度以及过去生产、生活所积累的水体污染背景。指标值大小表示水污染程度和环境容量利用程度,指标值越大,环境容量利用程度越高。

d. 生态系统功能水平。反映保持水生态系统稳定性和适宜度等生态系统功能的指标,体现水环境在改善人居环境、生活质量、维持水生生物多样性等方面的间接价值。

e. 环境保护与治理水平。反映水环境保护投入力度及治理效果,指标值越大,保护与治理水平越高。

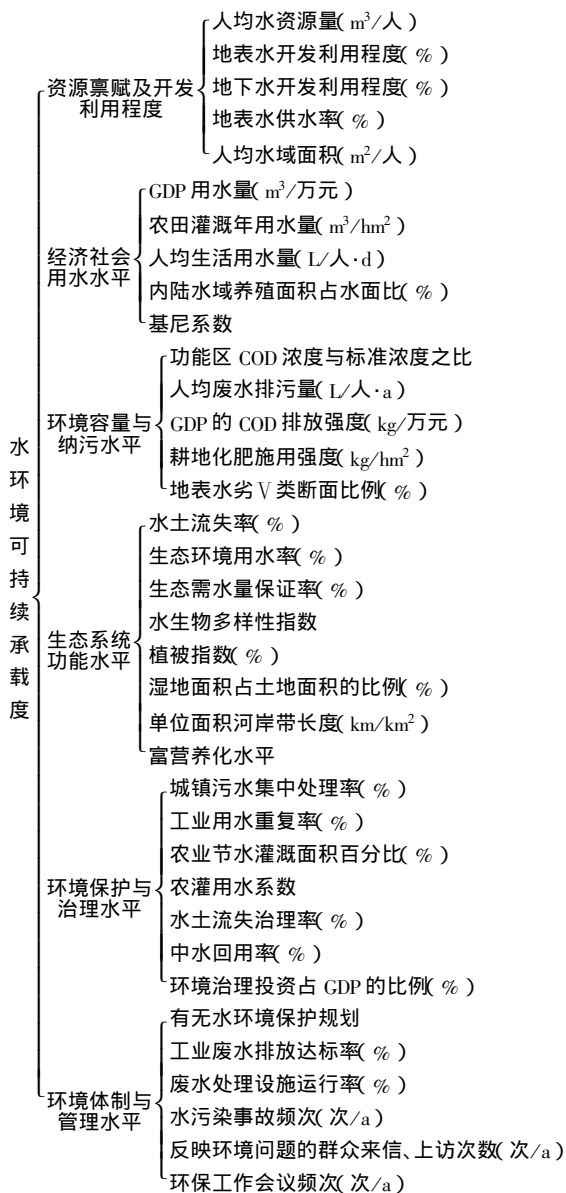


图2 水环境承载可持续性评价指标体系

f. 环境体制与管理水平。反映通过健全的机制和加强管理,提高承载可持续性的指标,指标值越大,管理水平越好。

在各分类指标的下属变量选取时,按变量满足指标功能的程度、集合信息的能力、资料收集的难易性等特征,重点考虑与水量、水质、水生态直接关系的变量,兼顾在国家、地方、行业统计数据中已收编整理的相关数据,或通过收编数据的简单计算可以获取的数据,并注意与水利等行业的统计方式和各种标准相协调。

3 指标体系的功能和应用

水环境可持续承载指标体系,通过1个指数、6项分类指标、36个表征变量,定量反映某一流域或区域水环境可持续承载的水平。通过指标体系的表征,可实现以下功能:①综合反映一定时期内流域或区域水环境承载的可持续水平或状况,协助决策者

进行水环境的综合规划与合理利用。②评价一定时期内水环境承载的各分类指标的相对发展速度,判断水环境承载的发展态势及可持续性。③反映各个方面对水环境可持续承载的相对贡献大小,为制定相应水环境保护和管理的措施提供技术支持。④综合信息分析水环境的承载趋势及变化速度,判断各种水环境保护措施的有效性。

在具体应用方面,可通过指标体系获取水环境承载系统中相关因子的定量指示值,进行不同流域或区域水环境承载水平的比较。也可以对同一区域在不同发展阶段的水环境承载状况、或不同规划方案下的水环境承载发展趋势进行对比分析,判定区域水环境承载方向,指示不同规划措施的效果。指标体系曾用于白洋淀区域水环境承载可持续评价,计算了该地区从1995~2004年的水环境可持续承载指数,并分析了不同类型指标及变量对承载指数的影响,通过研究,提出了制约水环境可持续承载的主要因素,为制定改善措施和对策提供科学依据。

4 结语与建议

水环境是人类生存和经济发展的一个极其重要的基础系统。水环境的可持续承载,是可持续发展的基本前提。我国在经济高速增长的发展阶段,面临着越来越严峻的水资源短缺和水生态环境恶化压力,在这种形势下,迫切需要科学认知我国经济发展与水环境的关系,定量评估区域水环境承载的实际水平,从技术上支撑政府决策,合理调整经济布局,加大环境治理和保护的投入,以科学的发展观,统筹协调经济发展与资源环境保护的平衡关系。

经济发展与水环境的关系,包含着极其丰富而又复杂的方方面面内容,采用指标体系的方法量化这一关系,是涉及到自然、经济、社会等不同学科领域的十分复杂的问题。本文所建立的指标体系,主要从水环境的功能过程来考虑指标的分类和具体变量的选取。在各分类指标的变量选取过程中,由于受到资料来源、考虑与已有统计方式的协调以及对一些承载指标定量特性认知不够等因素的影响,指标体系的研究还有待深入,并结合指标体系的实证应用,不断补充完善。

参考文献:

[1] 中国科学院可持续发展战略研究组. 2004 中国可持续发展战略报告[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
 [2] World Commission on Environment and Development. Our common future[M]. Oxford and New York: Oxford University Press, 1987.
 [3] 彭静, 廖文根. 对水环境研究的认识及展望[J]. 中国水科学学报, 2004, 2(4): 271-275. (下转第24页)

异性的变量 则不能体现其空间估计的优越性。

方位-分维法在小去除率下估值效果一般,在去除率为 30% 时则现出较好的估计精度,各项误差指标仅差于普通克里格法。在实测点较少,受距离因素影响较小的情况下,对于地下水弥散运动这类问题的估值,方位-分维法也表现了一定的优越性。

普通克里格法在实验数据的空间估计中,体现了明显的优越性,其估计具有明显的无偏性、有效性和最小的离散性,这种优势随去除率的增大、已知观测值较少的条件下仍然存在,是本研究中各种空间估值方法中效果最优的。

4 结论与展望

a. 结论。①反距离平方加权法作为传统的空间估计方法,在实际监测值密度较大,待估计点较少时,有一定的应用价值;②趋势面法作为识别总体趋势的方法,不适于地下水渗流污染物这种空间变异性强烈的变量进行局部估值;③普通克里格法在地下水污染物弥散实验数据的估计中,表现出较好的估计效果,估计的无偏性、有效性及误差离散性都在一定程度上优于其他估值方法。尤其是在已知观测值较少的情况下,仍然具有较好的估值效果,体现了空间最优估值方法的价值,适合研究地下水污染物弥散运动;④方位-分维法也是一种较好的空间估计方法,在样本数量较小时往往显示出其空间估计的优越性,并对弥散等具分形特征的变量有很好的刻画。

b. 展望。①对比 4 种方法的估值精度选用的数据来自于实验室的模拟实验,研究尺度较小,下一

步应对地下水野外监测数据进行进一步的估值效果验证,探讨其尺度效应;②克里格法在地下水环境模拟与评价中具有广阔的应用空间,其它种类的克里格法如协同克里格法、泛克里格法、指示克里格法等,也有其应用的价值。

参考文献:

- [1] MUELLER T G, PUSULURI N B, MATHIAS K K, et al. Map quality for ordinary kriging and inverse distance weighted interpolation [J]. Soil Science of America Journal, 2004, 68 (6) : 2042-2047.
- [2] 朱求安, 张万昌. 流域水文模型中面雨量的空间插值 [J]. 水土保持研究, 2005, 12 (2) : 11-14.
- [3] 齐鑫山, 王晓明, 张玉芳. 环境监测数据空间分布规律的研究方法及应用——趋势面分析法 [J]. 环境保护, 2000 (10) : 20-22.
- [4] 方书敏, 钱正堂, 李远平. 甘肃省降水的空间内插方法比较 [J]. 干旱区资源与环境, 2005, 19 (3) : 47-50.
- [5] 龚元石, 廖超子, 李保国. 土壤含水量和容重的空间变异及其分形特征 [J]. 土壤学报, 1998, 35 (1) : 10-15.
- [6] CATTLE J A, MCBRANTNEY A B, MINASNY B. Kriging method evaluation for assessing the spatial distribution of urban soil lead contamination [J]. Journal of Environmental Quality, 2002, 31 : 1576-1588.
- [7] 刘英华, 张世熔, 张素兰, 等. 成都平原地下水硝酸盐含量空间变异研究 [J]. 长江流域资源与环境, 2005, 14 (1) : 114-118.
- [8] 肖朝明. 渗流水位空间变异性分析的分形估值方法 [D]. 北京: 北京林业大学, 2004.

(收稿日期 2005-10-11 编辑 舒建)

(上接第 17 页)

- [4] 唐剑武, 叶文虎. 环境承载力的本质及其定量化初步研究 [J]. 中国环境科学, 1998, 18 (3) : 7-9.
- [5] 崔凤军. 城市水环境承载力及其实证研究 [J]. 自然资源学报, 1998, 13 (1) : 15-17.
- [6] 朱一中, 夏军, 谈戈. 关于水资源承载力理论与方法的研究 [J]. 地理科学进展, 2002, 21 (2) : 180-188.
- [7] 赵明华, 周鹏. 威海市水资源承载力与经济协调发展的协调策略研究 [J]. 水利经济, 2004, 24 (4) : 18-21.
- [8] 彭静, 廖文根, 何少苓, 等. 珠江三角洲水环境承载能力与协同调控初探 [C] / 水资源及水环境承载能力. 北京: 中国水利水电出版社, 2002 : 183-190.
- [9] 左其亭. 城市水资源承载能力——理论方法·应用 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.

- [10] 龙江, 张立. 水环境承载力的含义及定量指标 [C] / 水资源与承载能力学术研讨会论文集. 北京: 中国水利水电出版社, 2002 : 29-32.
- [11] 惠泱河, 蒋晓辉, 黄强, 等. 水资源承载力指标体系研究 [J]. 水土保持通报, 2001, 21 (1) : 30-34.
- [12] 贾振邦, 赵智杰, 李继超, 等. 本溪市水环境承载力及指标体系 [J]. 环境保护科学, 1995, 21 (3) : 8-11.
- [13] 中国 21 世纪议程管理中心, 中国科学院地理科学与资源研究所. 可持续发展指标体系的理论与实践 [M]. 北京: 社会科学文献出版社, 2004.
- [14] 彭静, 廖文根. 对水环境研究的认识及展望 [J]. 中国水利学报, 2004, 35 (4) : 271-275.
- [15] 高吉喜. 可持续发展理论探索——生态承载力理论、方法与应用 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2001.

(收稿日期 2005-08-01 编辑 舒建)