

保定市水环境承载可持续性分析

李 翀¹ 彭 静¹ 赵奎霞² 廖文根¹ 徐天宝¹

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

摘要 :为评价区域水环境承载与经济社会荷载之间的相对关系,采用水环境承载的可持续性评价指标体系来进行分析。该指标体系为指数-指标-变量的金字塔信息模式,分 1 个指数、6 个分类指标、36 个表征变量。根据保定市的地域特点与发展情况,选取 1995~2004 年的统计资料,采用常规加权平均综合评价法、模糊综合评价法分别计算了保定市 1995~2004 年的水环境承载度。结果分析表明,保定市的水环境承载度尽管处于较低水平(可持续承载度 <0.6),但总体而言,水环境可持续承载度呈现出逐年增大的趋势,增加的幅度大约为 $0.01/a$,表明总体趋势是向好的方向发展。局部地区的一些指标仍有远离可持续承载的趋势,需要采取相应的措施与对策。

关键词 水环境承载度 指标体系 可持续性分析

中图分类号 :X143 文献标识码 :A 文章编号 :1004-693X(2007)01-0049-04

Assessment on sustainability of water environmental carrying capacity for Baoding City

LI Chong¹, PENG Jing¹, ZHAO Kui-xia², LIAO Wen-gen¹, XU Tian-bao¹

(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 :A sustainability indicator system with one index, six indicators and thirty-six variables was adopted to assess the relationship between water environmental carrying capacity and the social-economic stresses. According to the regional characters and development of Baoding City, two assessment approaches, i. e., weighted average integrated approach and fuzzy integrated approach, were used respectively to simulate the index of water environmental carrying capacity from 1995 to 2004 based on the statistical data during the period of Baoding City. It is found out that there is a slight increase trend ($0.01/a$) for water environmental carrying capacity, which means a nice trend for the regional development, though it is below 0.6 and some indicators are against the increase trend, which should be controlled by corresponding measures. The analysis shows that the proposed sustainability indicator system is a powerful tool for the evaluation of the complicated relationship between water environmental carrying capacity and the social-economic stresses.

Key words :water environmental carrying capacity; indicator system; evaluation of sustainability

可持续发展是我国经济社会发展的基本战略,而环境承载力的大小是决定经济社会可持续发展速度和规模的重要因素。对于水环境而言,限制人类活动对水资源的开发利用和对环境的影响保持在承载能力之内,方能实现水资源的高效、安全利用和对经济发展的持续支撑,保障人类的生态环境安全^[1]。

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^[1-2]。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

(河滨带条件) 等不同的方面^[2]。对于某一个具体区域而言,要评判该区域水环境承载的实际水平,在一定发展阶段内能够承载经济发展的可持续性,就需要有关可持续发展和环境承载的理论指导,需要发展量化的评价方法,以从不同空间和时间上对承载水平和发展趋势进行比较。

建立评价水资源和水环境与经济社会关系的一套指标体系^[1-5],即指标体系方法,是现今有关资源、环境、区域承载力的诸多研究中的一个研究热点,它可以涉及大量复杂现象和信息的经济社会与水资源水环境的关系简单量化,从而为指导区域经济社会与资源环境的协调发展,为科学制定保护规划和管理政策提供技术支持。因此,本文基于构建的水环境承载的可持续性评价指标体系^[1-2]为指数—指标—变量的金字塔信息模式,分1个指数、6个分类指标、36个表征变量,以保定市1995年、2000年、2004年的统计资料,采用常规加权平均综合评价法、模糊综合评价法分别计算了保定市1995~2004年的水环境承载度,并进行评价分析,以为协调区域经济社会和环境的协调发展提供技术依据。

1 水环境承载评价指标体系

根据彭静等^[1]对水环境承载内涵的定义: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。这一关系,包含了三个方面的特征:①它描述了特定主体与客体之间的相互依存关系;②它表征了客体与主体之间承载与被承载的相互作用关系;③它刻画了两者相互作用大小的极限关系,即承载力。水环境包括水的资源方面、水的质量方面、水的生态方面三个主要部分。在指标体系设计时,从这三个主要方面加以考虑。在考虑到指标选取应政策相关性强、信息集成度高、反应灵敏性强、数据获取途径简单以及实用性强等五个方面后,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(如表1)构建的指标、变量如图1所示^[1-2]。

表1 水环境可持续承载指标体系设计

名称	设计
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应对响应等不同方面来表征水环境承载的可持续性。指标按类别进行划分,各类指标中进一步包含多重变量,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、或由相关资料提供或通过简单计算便可获得的特征元素。

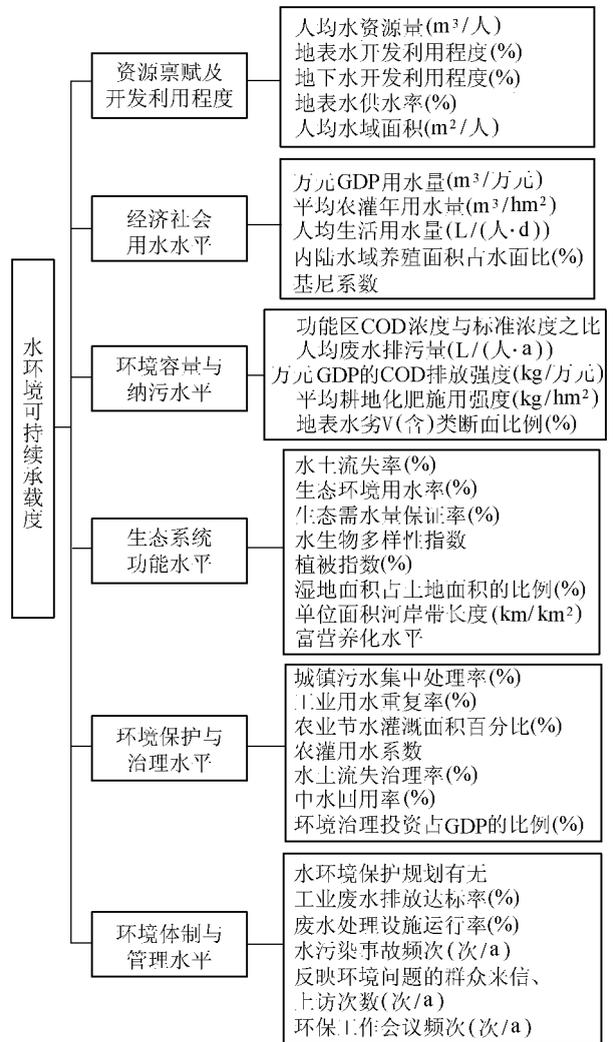


图1 水环境承载可持续性评价指标体系

本指标体系中,指数即为水环境可持续承载度。指标分6类,各类指标特性分述如下:资源禀赋及开发利用水平主要反映以区域水资源自然赋存条件为基础的水资源开发、利用程度。经济社会用水水平主要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,与经济结构、规模、运行模式、人口数量及生活方式等有关。环境容量与纳污水平主要反映各行业经济生产和社会生活的水污染物排放情况,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。生态系统功能水平主要反映保持水生态系统稳定性能、生态适宜度、生态系统功能正常发挥程度的指标,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。环境保护与治理水平主要反映水环境保护投入力度及治理效果。环境体制与管理水平主要反映通过健全的机制和加强管理提高承载的可持续性。

图1中所示的各分类指标的下属变量是针对一般情况而言的,对不同的流域或区域的具体分析,可

以根据流域的特点对有些变量进行取舍或补充。通过指标体系的表征,期望实现以下功能: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,从而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发展相对速度,从而判断水环境承载的发展方向是否可持续。③反映各个方面对水环境可持续承载的相对贡献大小,从而为制定相应水环境保护和管理的措施提供技术支持。④综合信息全面说明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。

2 研究区域选取与数据收集

保定市位于河北省中西部,东邻白洋淀,西依太行山,南北为广阔富饶的冀中大平原,与京津两市呈三足鼎立之势。全市面积 2.21 万 km²,总人口 1 012 万人,有汉、满、蒙、回等 19 个民族。保定市地处平原,地势自西北向东南倾斜,西北部延伸至太行深山区,坡降平缓。市内有大小河流 12 条,其中漕河、唐河横贯市境,注入有“华北明珠”之称的白洋淀。

白洋淀是华北平原仅存的常年积水的较大湖泊,总面积约 362.8 km²。分属保定、沧州两个地区的安新、高阳、雄县、容城、任丘五县市管辖,其中保定市安新县辖区最大,约占总面积的 78.1%。白洋淀流域地处我国华北半干旱半湿润的季风气候区,总流域面积 31 199 km²,其中保定市接近 70%,白洋淀流域内特别是保定地区的自然环境和人类活动,对白洋淀区有重要影响。白洋淀时至今日,面临诸多困境^[6-7]:①水资源减少,存在水危机。在 1988 年以前有记录的 70 年时间内,总共发生 12 次干淀,而 11 次出现在 1965 年后,其中 1983 ~ 1988 年更是连续 6 年干淀。②污染排放量大,超过水体自净容量,水体水质恶化。保定等城镇排向白洋淀的日排污水量达 25 ~ 33.6 万 t,严重威胁着白洋淀的环境。③水生态资源保护与管理不足。水源缺乏,污染严重,白洋淀水环境在很大程度上已经成为限制该区域国民经济发展的一个重要因素。研究白洋淀流域的水环境承载具有很重要的现实意义。但是,与流域相关的各种统计资料在空间、时间以及统计指标上存在不匹配性,而且资料也不易获取。因而,本文通过对国家公布的省市社会、经济和行业统计资料的调研,对公开出版的河北经济统计年鉴、全国乡镇统计年鉴、城市统计年鉴、河北农村统计年鉴、中国环境年鉴等,并对河北省及保定市人口、经济、社会、资源环境等相关资料进行整理分析,发现在地级市这一行政区资料比较齐全。而白洋淀流域接近

70%的面积集中在保定市,淀区 85% 以上面积隶属保定市,流域与行政区划的一致性较好。因此,选择保定市,收集各级年鉴等统计资料,开展保定市水环境承载力案例研究,间接研究白洋淀区域的水环境承载力。

本文收集了 1995 ~ 2004 年的保定市及下属各县的人口、社会、经济、环境等方面的资料。主要的资料来源是:河北经济统计年鉴、全国乡镇统计年鉴、城市统计年鉴、农村统计年鉴、环境统计年鉴、水利年鉴、水文年鉴及各部门公报、海河水资源年报、海河水水质公报、环境质量报告书等。本文汇总整编了保定市 1995 年、2000 年两年 6 大类指标全部 36 个变量值,而其余各年只有部分指标变量。对缺失数据部分,采用线性内插或外插方法生成 1996 ~ 1999 年、2001 ~ 2004 年各年份全部指标变量值。

各指标的标准值的确定是水环境承载力计算的一个关键难点。本实例计算中,部分变量的标准值是依照国家环保总局《城市环境综合整治定量考核指标》、《生态县、生态市、生态省建设指标》所规定的标准值,部分不能从相关文献中获取的,依照专家经验或交流讨论确定。

3 保定市水环境承载可持续性分析

由于指标体系中涉及不同类型的指标和不同性质的变量,对其评估核算常采用多指标综合评价方法。多指标综合评价是把描述被评价事物多个方向的统计指标转化成无量纲相对评价价值后,综合评估得出对该事物的整体评价。概括起来,多指标综合评价主要有常规加权综合评价、模糊综合评价法、多元统计综合评价三类方法。

水环境可持续承载度承载指数的大小可用数学式表达为

$$C_{SI} = \sum_{i=1}^n S_i W_i$$

式中: C_{SI} 为水环境可持续承载度; S_i 为承载度 6 个指标的分值; W_i 为每个因子所占的权重, $n = 6$ 。

从式中可见,承载度的大小取决于各承载分量的大小和各分量的权重值。承载度越大表示承载的可持续性越大。承载度指数计算的关键是指标分值及其权重的确定。由于水环境承载度的分量指标还包括若干个变量指标,所以承载指数组成要素是分层构成的多要素,可采用层次分析法确定其权重^[8]。指标分值的确定,需要首先对定性指标量化,而后对量化的指标按正向、逆向分别进行标准化处理,标准化为 0 ~ 1 之间的数值,其中最好为 1,最差为 0。常规加权综合评价法中采用统计值与标

准值的比值计算确定标准化值。模糊综合评价法中以标准值作为参考标准,采用按越大越优、越小越优和岭形三类函数来计算指标的相对隶属度,以确定标准化值。将上述确定的各变量权重值和分值进行加权算术平均可得到水环境系统的可持续承载指数大小,可持续承载指数应是介于0~1之间的数值。数值越接近1,表示承载的可持续性越好。

本文采用常规加权平均综合评价法、模糊综合评价法分别计算了保定市1995~2004年的水环境承载度(表2)。

表2 保定市水环境承载度

年份	常规加权平均综合评价法	模糊综合评价法
1995	0.533	0.493
1996	0.542	0.504
1997	0.552	0.514
1998	0.561	0.525
1999	0.570	0.535
2000	0.579	0.546
2001	0.589	0.557
2002	0.599	0.568
2003	0.607	0.578
2004	0.616	0.589

保定市的水环境承载度及6类分指标的变化趋势如图2所示,其中保定市的水环境承载度是逐年增加的,增加的幅度大约在0.01/a。

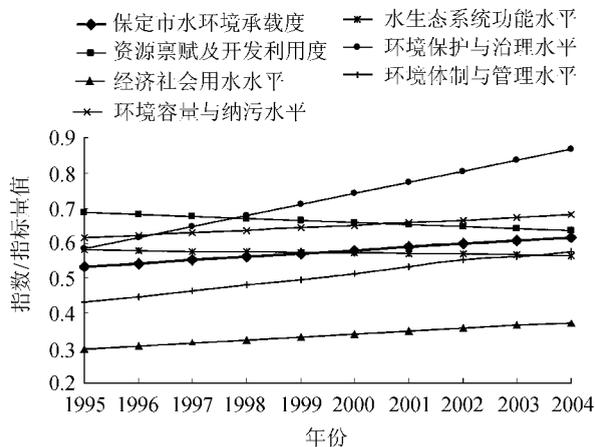


图2 保定市水环境承载度及6类分指标变化趋势

从评价系统选用的36个变量而言,变量值随时间变化呈变大或变小两种趋势,对于水环境来说,意味着改善或恶化两种可能。对比保定市1995年与2000年的36项指标数据,发现11个变量呈现使水环境恶化的趋势,3个变量没有变化趋势,22个变量呈现出水环境改善的趋势。从改善、恶化变量项数的对比来看,其比值在2:1,使环境改善的占多数。但是,从人们通常能直接感觉的水环境好坏的具体变量而言,水体中COD_{Mn}浓度与Ⅲ类标准浓度之比、人均废水排放量等指标呈增大趋势,水体处于富营

养化水平,给人的印象是水环境承载度是减弱的。实际情况是,在保定市,万元GDP的COD排放强度、地表水劣V(含V)类断面比例及环境治理投资占GDP的比例等有益水环境改善、提高水环境承载度的变量值是逐年增加的。只是由于保定市水环境的现状不容乐观,导致人们对区域水环境承载力的担忧。

分析构成指标体系的6大类指标的变化趋势(图2),可见资源禀赋及开发利用度、生态系统功能水平两大类指标表现为下降趋势,而经济社会用水水平、环境容量与纳污水平、水环境保护与管理、环境体制与管理水平呈上升趋势,尤其是水环境保护与管理,其加速上升趋势尤为明显。各类指标在评价体系中的权重分别为:资源禀赋与开发利用水平:0.0619/位置5,经济社会用水水平:0.3374/位置1,环境容量与纳污水平:0.3136/位置2,生态系统功能水平:0.0619/位置6,水环境保护与治理水平:0.1561/位置3,环境体制与管理水平:0.0691/位置4。在本评价系统中,下降的两大类指标的权重分列第5,第6位,对总的水环境承载度的贡献率相对较低,因而计算的水环境承载度表现为一种单调上升趋势。在上升的各大类指标中,经济社会用水水平处于较低的水平上,但由于其权重最大,拉低了水环境承载度的数值。

从本文两种方法的评价结果来看,保定市维持现状的一种发展趋势,会逐步提高保定市的水环境承载度。但对局部地区的一些指标,需要采取更进一步的措施与对策,改善水环境,从而使区域的发展协调、可持续。尽管保定市的水环境承载度处于一种改善的趋势,但是保定市的整体水环境承载状况并不容乐观。地表水劣V(含V)类断面比例超过40%,水体处于富营养状态,单位面积耕地的化肥施用强度接近500 kg/hm²,污染物排放量大,而白洋淀入淀水量少等,是制约白洋淀流域水环境持续承载的制约因素。近10年来,保定市资源禀赋及开发利用度、生态系统功能水平两大类指标表现为下降趋势。保定市水环境承载度在较低水平(小于0.6)维系并有一定提高,主要得益于环境治理投资的增加、环境管理体制的改善、经济社会用水水平的提高。可以说,该区域的经济社会发展,为整体水环境略有改善,是建立在以资源环境、生态发展的基础上的。

4 结论与讨论

毋庸置疑,变量标准值的确定,直接影响到评价的结果。本文研究中,依据保定市区域的实际情况,结合国家和地方的现有标准、已有规范、已有研究成果等,综合考虑后进行标准值的选取(下转第56页)

2.3 计算结果

计算结果见表 2。

表 2 4 个污水处理系统计算结果

序号	工厂	去除率/%	去除量/(t·d ⁻¹)	费用/万元
1	造纸厂	49.79	3.4854	536.0059
2	皮革厂	51.24	0.6866	85.0754
3	化纤厂	64.28	2.7770	427.7028
4	城市污水 处理系统	82.89	43.7856	6776.6779
合 计			50.7346	7825.4600

整个污水处理系统(5 个处理厂)BOD₅ 削减为

$$50.7346 \text{ t/d} + 34.86 \text{ t/d} = 85.5946 \text{ t/d}$$

整个系统的处理费用为：

$$7825.46 \text{ 万元} + 13652.6 \text{ 万元} = 21478.06 \text{ 万元}$$

3 结 论

a. 通过分析可见,分解协调法具有计算简捷、复杂系统可简单化的优点,将大型复杂系统分解成若干子系统后,可充分利用现有的模型,尤其对于高度耦合的系统,较为实用。

b. 模型可以减少维数,并且不同的子系统可用

(上接第 52 页)

有的标准值有一定的随意性。如何合理确定变量标准值,需要更广泛参照国内外的研究成果。变量标准值对评价结论的影响,也需要利用模型通过计算进行敏感性分析。水环境承载度作为用来衡量一个区域(流域)可持续发展的度量,在现阶段只是一个相对于理想状态的值,当然越接近 1,区域(流域)的发展就越可持续,反之亦然。但是,从单纯的数值上看,并不认为诸如水环境承载度大于 0.6 或 0.7,区域(流域)的发展就达到合格标准了。研究重点在于水环境的承载趋势及变化速度的量化,以说明区域(流域)是否走向可持续发展。

为评价区域水环境承载与经济社会荷载之间的相对关系,本文采用水环境承载的可持续性评价指标体系来进行分析。该指标体系为指数-指标-变量的金字塔信息模式,分 1 个指数、6 个分类指标、36 个表征变量。根据保定市的地域特点与发展情况,本文选取 1995~2004 年十年的统计资料,采用常规加权平均综合评价法、模糊综合评价法分别计算了保定市 1995~2004 年的水环境承载度。结果分析表明,保定市的水环境承载度尽管处于较低水平(小于 0.6),但总体而言,水环境可持续承载度呈现出逐年增大的趋势,增加的幅度大约为 0.01/a,表明总

不同的最优化技术求解。分解可以减少问题的维数,使大系统问题变成若干个维数较少的子问题,使一些无法求解的问题得到最优化。

c. 计算过程中关于拉格朗日乘子作为影子价格的经济解释,有助于分析人员对系统行为的认识。

参考文献：

- [1] 薛联青,陆桂华. 排放口污水处理率的优化[J]. 水利学报, 2002(7): 25-27.
- [2] 傅国伟,程声通. 水污染控制系统规划[M]. 北京:清华大学出版社, 1985: 228-232.
- [3] 韦鹤平. 环境系统工程[M]. 上海:同济大学出版社, 1993: 89-91.
- [4] 郭元裕,李寿声. 灌排工程最优规划与管理[M]. 北京:水利水电出版社, 1994: 126-134.
- [5] 宋星原. 水环境分析及预测[M]. 武汉:武汉水利电力大学出版社, 2000: 171-173.
- [6] 程吉林. 大系统试验选优理论和应用——在复杂水利系统优化规划中的应用研究[M]. 上海:上海科学技术出版社, 2002: 8-10.

(收稿日期 2005-05-09 编辑 徐 娟)

体趋势是向好的方向发展。不过局部地区的一些指标仍有远离可持续承载的趋势,需要采取相应的措施与对策。从实例分析结果看,可以认为水环境承载的可持续性评价指标体系对于区域或流域的社会经济发展是否与水环境协调的评价与分析,是一个有力的技术方法。

参考文献：

- [1] 彭静,廖文根,赵奎霞,等. 水环境承载的可持续性评价指标体系研究[J]. 水资源保护, 2006, 22(6): 14-17.
- [2] 中国水利水电科学研究院. 水环境可持续承载评价方法研究[R]. IWHR-WQ-2005-5-001, 2005.
- [3] 惠洪河,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.
- [4] 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.
- [5] 常克艺,王祥荣. 全面小康社会下生态型城市指标体系实证研究[J]. 复旦大学学报:自然科学版, 2003, 42(6): 1044-1048.
- [6] 朱宣清,弓冉,穆仲义,等. 白洋淀环境演变及预测[M]. 西安:西安地图出版社, 1994.
- [7] 梁宝成. 白洋淀水资源可持续发展探讨[J]. 河北水利水电技术, 2002(2): 20-21.
- [8] 陈义华. 数学模型[M]. 重庆:重庆大学出版社, 1995.

(收稿日期 2005-09-29 编辑 傅伟群)