

doi: 10.3724/SP.J.1201.2013.03047

基于联合层次分析法和“模加和”法的 海南水环境承载力评价

杨钧婷¹, 陈秋波^{2a}, 彭黎旭^{2b}

(1. 海南大学 环境与植物保护学院, 海口 570228;

2. 中国热带农业科学院 a. 橡胶所热带作物生物学重点实验室; b. 环境与植物保护研究所, 海南 儋州 571737)

摘要: 水环境作为社会经济系统发展的基本环境, 是人类赖以生存和发展的复杂的大系统, 也是最容易受到人类活动干扰和破坏的领域。近几年来, 海南工业和城市的迅猛发展, 造成某些地区已经发生不同程度的水环境水质污染。目前, 海南正在建设成为国际旅游岛, 可以预见, 逐年增加的游客数量会使淡水需求急剧增加, 将势必对其水环境承载能力造成影响。采用层次分析法(AHP)和“模加和”法对海南水环境承载力进行了分析评价, 结果显示, 2005年至2010年海南水环境承载力呈逐年上升的态势, 均处于弱可承载的等级, 水环境状态很脆弱。最后, 在分析海南水环境现状的基础上, 提出了保持和提升海南水环境承载力的措施。

关键词: 海南; 水环境承载力; 评价指标; 层次分析法; “模加和”法

中图分类号: X143 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-1683(2013)03-0047-05

Assessment of Water Environmental Carrying Capacity of Hainan Province Using the Combined Method of Analytic Hierarchy Process and “Mode and Sum”

YANG Jun ting¹, CHEN Qiu bo^{2a}, PENG Li xu^{2b}

(1. College of Environment and Plant Protection, Hainan University, Haikou 570228, China; 2. Ministry of Agriculture a. Key Lab for Tropical Plant Biology, Rubber Research Institute; b. Environment and Plant Protection Research Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Danzhou 571737, China)

Abstract: Water environment is the basic environment for the social and economic development and is a complex system for human survival and development. Moreover, it is the most vulnerable to the disturbance and destruction of human activities. In recent years, the rapid development of industrialization and urbanization of Hainan Province has resulted in different degrees of pollution in the water environment. At the same time, with the development of Hainan as an International Tourism Island, the demand for fresh water has increased dramatically due to the increasing of visitors, which will lead to significant impacts on the water environmental carrying capacity of Hainan Province. In this paper, the water environmental carrying capacity of Hainan Province was analyzed using the combined method of Analytic Hierarchy Process (AHP) and "mode and sum". The results showed that the water environmental carrying capacity of Hainan Province has increased gradually from 2005 to 2010, but it was in a weak level and the state of water environment was very fragile. Through the analysis of the current situation of water environment of Hainan Province, the measures to maintain and enhance the water environmental carrying capacity of Hainan Province were proposed.

Key words: Hainan; water environmental carrying capacity; evaluation indicators; Analytic Hierarchy Process (AHP); mode and sum

水环境是自然环境的重要组成部分, 是指自然界各类水体在系统中所处的状况, 是人类生存和社会经济系统发展的基本环境^[1], 其承载能力状况在区域发展中起着非常重要的

作用。由于水环境在人类生存和社会经济发展中的重中之重的作用, 因此就要协调好水环境系统与社会经济发展的关系确保区域经济稳步增长, 制定出合理的水环境开采用计

收稿日期: 2013-12-04 修回日期: 2013-05-06 网络出版时间: 2013-05-18

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20130518.1744.038.html>

基金项目: 海南大学 211 工程建设项目; 中国热带农业科学院中央级科研基本项目(1630042013018)

作者简介: 杨钧婷(1988-), 女, 硕士研究生, 主要从事环境规划与影响评价研究。E-mail: yangyang_12315@163.com

通讯作者: 陈秋波(1950-), 男, 广东普宁人, 研究员, 博士, 从事环境规划与战略环境影响评价方面的研究。E-mail: catas_chenqb@yahoo.com.cn

划,全面做好可持续发展战略目标,重视水环境的保护,充分了解水环境的最大承载能力。研究者汪恕诚将水环境承载力(water environment carrying capacity, WECC)定义为:“在一定的水域,其水体能够被继续使用并仍保持良好的生态系统时,所能容纳污水及污染物的最大能力”^[2]。因此,水环境承载力越大,人类利用水资源的空间就越大。

水环境承载力是区域水环境系统结构性的一种抽象表示方法,可以作为衡量该区域经济发展活动与水环境条件适配程度的指标。目前,国内外对水环境承载力的评价尚无统一和成熟的方法,常用的水环境承载力评价方法有多目标决策分析法、系统动力学方法、主成分分析法、模糊综合评判方法、常规趋势方法和背景分析法等^[3-5]。当前海南正在全面推进“国际旅游岛”建设,旅游业已经成为海南的核心支柱产业。不断增加的游客数量、旅游方式以及城市化人口的增加必将对海南的水资源与水环境产生相当大的压力,必定会对水环境的承载能力造成影响。因此,评价海南水环境承载能力对区域水资源的持续利用与实现社会、经济、生态环境等协调发展具有重要的现实意义。本文拟引入水环境承载力作为衡量城市可持续发展的判断标准,对海南省的水环境承载能力进行评价与预测分析,探索科学合理的水资源配置方法,全面协调水环境系统与社会经济系统的关系,提出有关提升水环境承载力状态的建议及对策。

1 研究区基本概况

海南岛为海南省的陆地主体,面积 3.39 km^{2[6]}。海南岛地处热带,属于热带季风性气候,全岛近似椭圆形,四周被大海包围,中部多山较高,周围相对较低,从而使中部成为江河的源头,并呈放射状流向周边,全岛独流入海的河流有 154 条^[7]。南渡江、昌化江和万泉河为海南岛的三大河流,其流域面积占全岛面积的 47%,另外还有陵水河、宁远河、珠江等 10 多条河流。海南岛全年暖热,雨量丰沛,全岛年平均降水量在 1 600 mm 以上,但降雨分布东湿西干,降雨季节分布也不均匀^[8]。2010 年全省水资源总量为 479.8 亿 m³,人均拥有水资源量为 5 538.7 m³,总供水量为 44.35 亿 m³,地表水资源量为 474.3 亿 m³,地下水资源量为 105.7 亿 m³。

海南岛水资源的特点是雨量充沛、存储丰富,但分布不均,水资源量以地表水为主,地下水缺乏,受热带海洋性气候影响年内和年际变化幅度都大,热带风暴、台风等带来的强降雨在总降水量中占有很大一部分比例^[7]。

2 研究方法与结果

2.1 评价指标的选取

根据定义,本文构建的水环境承载力的指标体系包括水环境系统、社会经济系统、人类生活影响系统三个部分。水环境系统包括的具体指标是人均供水量、人均水资源量;社会经济系统包括的具体指标是人均 GDP、农民人均纯收入、城镇居民家庭恩格尔系数;人类生活影响系统包括的具体指标是工业用水重复利用率、工业废水排放达标率,城镇生活污水处理率^[9-10]。

2.2 评价方法

本文采用 AHP 和“模加和”法对海南省水环境承载力进

行评估。首先需要确定各指标的权重,然后建立选定指标的水环境承载度计算模型,代入实际数据后得到选取各指标的水环境承载度,加权计算得到水环境分承载力的值,再根据三个系统的分承载力权重,得到水环境承载力的综合值,最后对海南省水环境承载力进行综合评价^[11]。

2.2.1 评价指标权重的确定

因为模型中选取的各指标对水环境承载力的影响程度有所不同,因此需要确定权重。目前确定权重的方法大致分为主观赋权法和客观赋权法,主观赋权法主要是通过综合专家们的经验所得出的各指标的权重进行的赋权,如层次分析法(AHP)、专家调查法等。客观赋权法是指各个评价指标由一定的数学方法进行自动赋权,它不取决于人们的主观判断。由于本文模型构建选取的指标涉及多个系统和要素,所以选择采用 AHP^[12]。

综合考虑和分析各个判断指标对水环境承载力的影响,了解各项指标间的关系,根据海南省水环境的实际情况,得出各层判断矩阵,采用 MATLAB 计算权重,得出各指标的权重值。水环境承载力各指标的权重确定结果见表 1。

表 1 水环境承载力各指标的权重确定结果

Table 1 The weight of each index of the water environmental carrying capacity

水环境承载力	水环境系统 社会经济系统 人类生活影响系统		
	0.26	0.21	0.53
人均供水量	0.5		
人均水资源量	0.5		
人均 GDP		0.58	
农民人均纯收入		0.3	
城镇恩格尔系数		0.12	
工业废水排放达标率			0.43
工业用水重复利用率			0.14
城镇生活污水处理率			0.43

2.2.2 指标承载度的计算

(1) 指标承载度计算模型的确定。

本文中指标承载度的计算模型参考了水安全度的计算模型,由于对数函数关系能够比较好的反应指标和承载度的关系,并借鉴了学者解艳对榆林市水环境的评价时所采用的方法,选用对数函数^[9]计算水环境承载度,该计算方法适于单纯指标计算。其模型参数为:

$$y = a + b \lg x \quad (1)$$

式中: a 和 b 为模型中的参数。

在确定具体的各指标承载度计算模型时,首先根据国际认可各类指标值、我国的《全国人民小康生活水平的基本标准》等确定海南省水环境承载力承载度指标核算标准。

按照国际上的规定,如果人均水资源量少于 1 700 m³ 将会发生用水紧缺^[9],因此选 1 700 m³ 为指标的及格值。选 100 m³ 为指标的最差值。及格值时指标的承载度设为 0.6;取最差值时,指标的承载度为 0;最优值时指标的承载度为 1。

人均供水量是衡量水资源概况的指标,取 600 m³ 为及格值,30 m³ 为最差值^[11]。

农民人均纯收入是衡量一个国家或地区人民生活整体

水平的统计指标,该指标越大越好。取 3 600 元为及格值,10 000 元为最优值。城镇居民家庭恩格尔系数是普遍使用的衡量居民生活发展水平的指标,一般比例越小越好。取 40% 为及格值,20% 为最优值。人均 GDP 作为衡量经济发展状况的指标,根据国际上的规定,取 3 000 美元为及格值,100 美元为最差值。

另外,工业废水排放达标率、工业用水重复利用率、城镇生活污水处理率都是揭示水环境质量的指标,都是越大越好的指标,因此它们的最优值都取 100%。取工业废水排放达标率的最差值为 40%,取工业用水重复利用率的最差值为 30%,取城镇生活污水处理率的最差值为 20%。

根据海南水环境承载力承载度指标核算标准,代入公式(1),建立方程得出海南水环境承载力各类评价指标承载度计算模型的确定,见表 2。

根据农民人均纯收入的承载度模型得出,承载度为 0 时,农民人均纯收入为 776 元。根据城镇居民家庭恩格尔系数的承载度模型得出,当 x 为 60% 时,可得承载度为 0.35。

(2) 海南水环境承载力各类评价指标承载度的计算。

表 3 海南省水环境承载力评价指标原始值

Table 3 The original values of each evaluation indicator of the water environmental carrying capacity in Hainan

指标名称	2005	2006	2007	2008	2009	2010
人均供水量/ m^3	538.0	556.0	553.0	547.0	506.0	511.9
人均水资源量/ m^3	3 751.0	2 723.0	3 355.0	4 891.0	5 469.0	5 538.7
人均 GDP/美元	1 357	1 617	1 909	2 472	2 805	3 505
农民人均纯收入/元	3 004	3 256	3 791	4 390	4 744	5 275
城镇居民家庭恩格尔系数(%)	47.6	43.5	42.8	44.9	44.7	44.8
工业废水排放达标率(%)	93.60	94.60	94.60	94.70	96.60	97.82
工业用水重复利用率(%)	83.8	91.6	92.5	93.2	89.6	73.2
城镇生活污水处理率(%)	33.9	36.0	36.5	37.4	38.9	50.0

将表 3 中获得的海南省水环境各指标原始值代入表 2 所建立的具体指标的承载度的计算模型,便得出海南省水环境承载力各类评价指标承载度值,见表 4。

表 4 海南省水环境承载力各类评价指标承载度值

Table 4 The capacity values of each evaluation indicator of the water environment carrying capacity in Hainan

指标名称	2005	2006	2007	2008	2009	2010
人均供水量	0.574	0.581	0.580	0.577	0.562	0.564
人均水资源量	0.771	0.703	0.747	0.827	0.851	0.853
人均 GDP	0.467	0.499	0.528	0.575	0.597	0.637
农民人均纯收入	0.529	0.561	0.620	0.678	0.708	0.750
城镇居民家庭恩格尔系数	0.496	0.547	0.556	0.529	0.532	0.530
工业废水排放达标率	0.928	0.939	0.939	0.940	0.962	0.976
工业用水重复利用率	0.853	0.927	0.935	0.942	0.909	0.741
城镇生活污水处理率	0.328	0.365	0.374	0.389	0.413	0.569

2.2.3 分承载力的计算

分承载力的计算采用模型^[9]为:

$$E = \sum_{i=1}^m E_i \times W_i \quad (2)$$

式中: E 为水环境分承载力; E_i 为第 i 个指标的数值; W_i 为第 i 个指标的权重; m 为指标的数目。

为了能够统一计算,首先对模型中的每个指标进行无量

表 2 海南水环境承载力各类评价指标承载度计算模型的确定

Table 2 The calculation model of each evaluation indicator of the water environmental carrying capacity in Hainan

指标名称	指标承载度计算模型
人均供水量	$y = -0.682 + 0.461gx$
人均水资源量	$y = -0.97 + 0.48711gx$
人均 GDP	$y = -0.82 + 0.4111gx$
农民人均纯收入	$y = -2.604 + 0.9011gx$
城镇居民家庭恩格尔系数	$y = 0.07 - 1.321gx$
工业废水排放达标率	$y = 1 + 2.511gx$
工业用水重复利用率	$y = 1 + 1.9111gx$
城镇生活污水处理率	$y = 1 + 1.4311gx$

从《中国环境年鉴》、《海南省水资源公报》、《海南省环境状况公报》、《海南省国民经济和社会发展统计公报》、《海南统计年鉴》等相关资料中,统计出 2005 年-2010 年共 6 年数据,经过初步处理和换算得出海南省水环境承载力评价指标原始值,见表 3。

纲化处理,得到无量纲值。模型中的每个指标都介于 0~1 之中,它们的取值都在最优值和最差值之间。

根据前面用层次分析法计算出来的各指标在系统中的权重,带入各指标的承载度计算得出海南水环境各系统分承载力计算结果,见表 5。

表 5 2005 年海南水环境各系统分承载力计算结果

Table 5 The calculated capacity values of each system of the water environment carrying capacity of Hainan in 2005

系统	指标	承载度	权重	计算结果	最终结果
水环境系统	人均供水量	0.574	0.5	0.287	0.673
	人均水资源量	0.771	0.5	0.386	
	人均 GDP	0.467	0.58	0.271	
社会经济系统	农民人均纯收入	0.529	0.3	0.159	0.490
	城镇居民家庭恩格尔系数	0.496	0.12	0.060	
人类生活影响系统	工业废水排放达标率	0.928	0.43	0.399	0.659
	工业用水重复利用率	0.853	0.14	0.119	
	城镇生活污水处理率	0.328	0.43	0.141	

2.2.4 水环境承载力的综合评价

本文采用“模加和”方法对水环境承载力进行综合评价^[8],即:

$$|E| = \sqrt{\sum_{i=1}^n (\bar{W}_i \times \bar{E}_i)^2} \quad (3)$$

式中: $|E|$ 为水环境总承载力; \bar{W}_i 为第 i 个分承载力的权重; \bar{E}_i 为第 i 个分承载力的数值。

将表 5 所求得的数据带入公式(3), 得出海南水环境承载力计算结果, 见表 6。

表 6 海南水环境承载力计算结果

Table 6 The calculated water environment capacity of Hainan

系统	分承载力值	权重	水环境承载力综合值
水环境系统	0.673	0.26	0.404
社会经济系统	0.490	0.21	
人类生活影响系统	0.659	0.53	

同理得出 2005 年-2010 年海南省水环境承载力综合值, 见表 7。变化趋势见图 1。

表 7 2005 年-2010 年海南水环境承载力综合值

Table 7 The comprehensive values of the water environment carrying capacity of Hainan between 2005 and 2010

指标	2005	2006	2007	2008	2009	2010
水环境承载力综合值	0.404	0.418	0.427	0.434	0.443	0.468

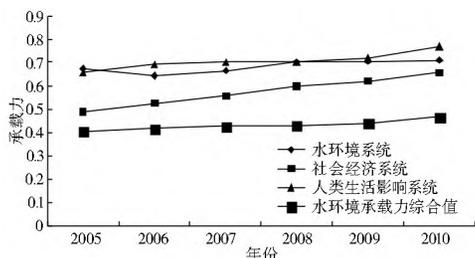


图 1 2005 年到 2010 年海南水环境承载力变化趋势

Fig. 1 The trend variation of water environment carrying capacity in Hainan between 2005 and 2010

2.3 结果分析

根据钱华的对黄河万家寨水库水环境承载力研究中, 水环境承载力的取值范围是在 0~1 之间的, 其大小反映了地区水环境承载力的程度, 得出的值越大说明该地区水环境承载力越好, 能够承受比较大的压力, 具有很大的纳污弹性。根据水环境承载力的取值将其划分成四个判断区间: 第一判断区间为不可承载(0~0.2), 水环境处于崩溃状态; 第二判断区间为弱可承载(0.2~0.5)水环境处于脆弱状态; 第三判断区间为基本可承载(0.5~0.8)水环境处于一般状态; 第四判断区间为良好可承载(0.8~1.0)水环境处于弹性好状态^[3]。

2005 年-2010 年海南省水环境承载力处于弱可承载的这个等级, 水环境状态很脆弱, 但是从 2005 年到 2010 年, 海南省水环境承载力呈逐年上升的趋势, 承载力从 2005 年的 0.404 提高到 2010 年的 0.468。尤其是 2009 年到 2010 年水环境承载力有较为显著的提高, 工业废水排放达标率由 2009 年的 96.6% 提高到 2010 年的 97.82%, 城镇生活污水处理率由 2009 年的 38.9% 提高到 2010 年的 50.0%。可见, 社会经济系统的经济实力持续增长(因为海南省人均 GDP 承载度呈逐年上升趋势), 使水环境承载力稳步增长。人类社会影响系统的承载力持续增长, 尤其是 2009 年到 2010 年上升较为明显。水环境系统的承载力 2005 年到 2006 年有所下

降, 但总体呈现出上升的态势。海南水环境承载力的持续增长与这三个系统总体上的稳步增长密切相关。

3 保持和提升海南水环境承载力的措施

建设国际旅游岛, 在自然水资源相对不变的情况下, 大量人口的流入必将减少人均水资源占有量, 进而造成整个水环境系统的承载力下降。保持和提升海南水环境的承载能力, 应该在减压和提升能力方面下功夫, 根据海南的实际情况, 可以采取如下几点措施。

(1) 借助各种宣传工具, 经常举办以水为主题的宣传活动, 唤起人们对水资源短缺、水环境污染、生态恶化以及洪涝、旱灾频发的关注, 让人们充分认识到保护水资源环境, 提高水环境承载力是关系到人类生存、社会发展的大事。

(2) 海南岛上有大大小小的温泉群 34 处, 分布在岛的东南部和西北部, 目前已开发的有七仙岭、兴隆等 8 处, 对这些温泉合理利用, 开发和保护并举, 才能最大限度的发挥其效能。

(3) 海南岛上天然湖泊较少, 但河流众多, 河流水资源主要靠降雨补给, 充分利用这些河流修筑水利工程, 切实加大水库设施建设, 增加水资源存储量, 开发水利和水电事业, 使其发挥生活用水、灌溉、防洪、供电等社会效益。

(4) 农业灌溉占总用水量的比重较大, 且由于海南气温高, 水蒸发量大, 因此必须改进灌溉模式, 提高输水效率。目前海南已经建成的水利工程对农业增产、农民增收正发挥着巨大作用, 如松涛水库、大广坝水库等。因此一方面加大对水库新建、续建、加固的力度, 增强其蓄水能力, 另一方面对农业灌溉配套设施进行改造, 做好最后一公里硬化建设, 提高灌溉能力, 使效益最大化。

(5) 工业生产用水以降低水耗为前提^[4]。对工业用水量较大的企业, 实行市场干预制度, 可以适当提高工业用水收费, 对于高污染企业的达标排放实行“谁污染, 谁负责”的原则, 对于污染不达标的企业单位征收污水处理费, 限期整改污染严重的落后工艺。建立相应的奖励处罚规章制度, 加强法制管理, 严惩偷排不达标废水的企业。发展生态工业企业建设, 引进清洁生产的有关工艺, 对有些环节如冷却尝试用海水代替淡水。

(6) 强化人们对生活用水的节水意识, 大力号召居民使用节水设施, 杜绝跑冒滴漏等浪费现象, 适当调整加大居民用水水价。

(7) 由于海南水资源具有时空分布不均匀的特点, 随着国际旅游岛的开发和建设, 生态用水和生活用水的加大, 淡水资源对未来的承载力还有很多不可预知性, 因此, 要使水资源用量和旅游业发展水平相适应, 既要合理配置, 科学调度, 还要加大投入, 未雨绸缪。

总之, 要使海南在建设国际旅游岛时能促进经济发展与环境可持续协调发展, 在思想认识上必须将珍贵的水资源保护放在首位, 采取开源节流与保护水资源并重的方针, 确保海南国际旅游岛建设与运行顺利进行并保持长期稳定可持续发展。

参考文献(References):

- [1] 蒋晓辉, 黄强, 惠泱河等. 陕西关中地区水环境承载力研究

- [J]. 环境科学学报, 2001, 21(3): 312-317. (JIANG Xiaohui, HUANG qiang, HUI Yanghe, et al. Study on the Models of Bearing Capacity of Regional Water Environment [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2001, 21(3): 312-317. (in Chinese))
- [2] 汪恕诚. 水环境承载能力分析与调控[J]. 水利发展研究, 2002, 1: 2-6. (WANG Shucheng. The Analysis and Regulation of Water Environment Carrying Capacity [J]. Water Resources Development Research, 2002, 1: 2-6. (in Chinese))
- [3] 翁明华, 聂秋月, 蔡峰, 等. 聊城市水环境承载力研究[J]. 水资源保护, 2009, 25(3): 41-44. (WENG Minghua, NIE Qiuyue, CAI Feng, et al. Study on Carrying Capacity of Water Environment in Liaocheng City [J]. Water Resources Protection, 2009, 25(3): 41-44. (in Chinese))
- [4] 李新, 石建屏, 曹洪. 基于指标体系和层析分析法的洱海流域水环境承载力动态研究[J]. 环境科学学报, 2011, 31(6): 1338-1344. (LI Xin, SHI Jianping, CAO Hong. Water Environment Carrying Capacity of Erhai Lake based on Index System and Analytic Hierarchy Process [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2011, 31(6): 1338-1344. (in Chinese))
- [5] 耿雅妮. 基于修正模糊优选法的陕西省水环境承载力评价[J]. 水资源与水工程学报, 2012, 23(3): 65-70. (GENG Yanni. Water Environment Carrying Capacity in Shaanxi Province based on Improved Fuzzy Optimization Process [J]. Journal of Water Resources & Water Engineering, 2012, 23(3): 65-70. (in Chinese))
- [6] 周祖光. 海南岛地下水资源特征与开发利用[J]. 水资源保护, 2005, 21(3): 48-51. (ZHOU Zuguang. Characteristics and Utilization of Groundwater Resources in Hainan Island [J]. Water Resources Protection, 2005, 21(3): 48-51. (in Chinese))
- [7] 向晓明. 海南岛水资源基本特点及影响可持续发展的主要因素初探[J]. 海南师范大学学报(自然科学版), 2007, 20(1): 80-83. (XIANG Xiaoming. Analysis of Main Characteristics and Factors on the Sustainable Development of Water Resources in Hainan [J]. Journal of Hainan Normal University (Natural Science), 2007, 20(1): 80-83. (in Chinese))
- [8] 罗艳菊, 黄宇, 毕华, 等. 海南省各市县旅游用水影响分析[J]. 热带地理, 2010, 30(2): 200-204. (LUO Yanyu, HUANG Yu, BI Hua. Analysis on the Impact of Tourism Water Use in Cities of Hainan Province [J]. Tropical Geography, 2010, 30(2): 200-204. (in Chinese))
- [9] 张秀兰, 赵彦红. 河北省水环境承载力动态变化分析[J]. 水土保持研究, 2007, 14(3): 259-260, 262. (ZHANG Xiulan, ZHAO Yanhong. Study on the Dynamic Change of the Water Environment Carrying of Hebei Province [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2007, 14(3): 259-260, 262. (in Chinese))
- [10] 高伟. 湖州市水环境承载力评价[J]. 水利科技与经济, 2009, 15(11): 947-949. (GAO Wei. Evaluation of Water Environment Carrying Capacity in Huzhou City [J]. Water Conservancy Science and Technology and Economy, 2009, 15(11): 947-949. (in Chinese))
- [11] 解艳. 榆林市水环境承载力综合评价研究[D]. 西安: 西北大学, 2011. (XIE Yan. Research on Water Environmental Carrying Capacity of Yulin [D]. Xi'an: Northwest University, 2011. (in Chinese))
- [12] 杨维, 刘萍, 郭海霞. 辽宁省水环境承载力计算与分析[J]. 沈阳建筑大学学报, 2009, 11(1): 52-55. (YANG Wei, LIU Ping, GUO Haixia. The Calculation and Analysis of Water Environment Carrying Capacity of Liaoning [J]. Journal of Shenyang Jianzhu University, 2009, 11(1): 52-55. (in Chinese))
- [13] 钱华. 河流水库水环境承载力研究-以黄河万家寨水库为例[D]. 保定: 华北电力大学, 2004. (QIAN Hua. The Water Environment Carrying Capacity Research of River and Reservoir Regarding Wanjiazhai Reservoir in Yellow River as the Example [D]. Baoding: North China Electric Power University, 2004. (in Chinese))
- [14] 李颖. 城市水环境承载力及其实证研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2009. (LI Ying. Study on Urban Water Environment Carrying Capacity and Case Verification [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2009. (in Chinese))
- [15] 孙楠, 付强, 戚颖, 等. 城市水环境承载力研究进展[J]. 农业系统科学与综合研究, 2007, 23(3): 307-311. (SUN Nan, FU Qiang, QI Ying, et al. Advances of Research on City Water Environment Carrying Capacity [J]. System Sciences and Comprehensive Studies In Agriculture, 2007, 23(3): 307-311. (in Chinese))
- [16] 夏军, 张永勇, 王中根, 等. 城市化地区水资源承载力研究[J]. 水利学报, 2006, 37(12): 1482-1488. (XIA Jun, ZHANG Yongyong, WANG Zhonggen, et al. Water Carrying Capacity of Urbanized Area [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2006, 37(12): 1482-1488. (in Chinese))
- [17] 陶林. 城市水环境变化及其驱动力研究以南昌市为例[D]. 南昌: 南昌大学, 2010. (TAO Lin. Study on Urban Water Environment Change and Driving Forces: a Case of Nanchang City [D]. Nanchang: Nanchang University, 2010. (in Chinese))