

珠江片水环境承载力评价研究

肖舒刈

(河海大学商学院, 江苏 南京 210000)

摘要:以珠江片水域为研究对象,在梳理国内外相关文献的基础上,针对珠江片现有水资源环境与社会发展关系情况,构建了珠江片水环境承载力评价指标体系,而后采用变异系数法客观确定指标权重,再运用向量模法对珠江片水环境承载力进行评价,揭示并分析了近年珠江片水环境承载力的变化趋势。结果表明,2006~2014年间珠江片水环境承载力呈缓慢持续上升趋势,承载力水平值介于0.04~0.06之间,说明珠江片水环境承载力仍处于较低水平。

关键词:评价指标体系;水环境承载力;向量模法;变异系数法;珠江片

中图分类号: X821

文献标志码: A

DOI:10.16803/j.cnki.issn.1004-6216.2016.05.017

Evaluation of Water Environment Carrying Capacity in the Pearl River Basin

Xiao Shuyi

(Business School of Hohai University, Nanjing 210000, China)

Abstract: In this paper, the Pearl River Basin was taken as the study target. On the basis of collecting the domestic and foreign literatures of water environment carrying capacity, with regard to the existing relation status between water resource environment and social development, an evaluation index system of water environment carrying capacity was established. Then, coefficient of variation method was adopted to objectively identify the indicator weight. Vector norm method was used to assess the water environment carrying capacity in the Pearl River Basin with the variation trend in the recent years revealed and analyzed. The results showed that the water environment carrying capacity in the Pearl River Basin had a slow rising tendency from 2006 to 2014 with the level value varied from 0.04 to 0.06, indicating that the water environment carrying capacity was still at a lower level.

Keywords: Evaluation Index System; Water Environment Carrying Capacity; Vector Norm Method; Coefficient of Variation Method; the Pearl River Basin

CLC number: X821

水环境是人类进行生产、生活等一系列社会活动的重要场所。随着人类社会的发展,因社会经济规模过大、产业结构不合理、生产布局不当和环境保护措施不得力等引起的水环境问题日益突出,成为区域可持续发展的制约因素^[1-2]。水环境承载力(water environment carrying capacity, WECC)是人们对社会可持续发展与水环境相互关系有了较深刻认识的基础上提出来的^[3],水环境承载力(WECC)的确定是促进水环境与社会关系和谐发展的基础。

水环境承载力(WECC)的研究进程大致可以划分为3个阶段^[4]:酝酿阶段(20世纪90年代以

前)、兴起阶段(20世纪90年代)和发展阶段(20世纪90年代末至今)。国内外学者对水环境承载力形成了水环境支持能力的广义定义和水环境纳污能力的狭义定义^[5-6]。国外学者对于水资源的相关研究开展较早,但关于水环境承载力的研究则有限,并且多将研究及成果归为可持续发展的研究范畴^[7-9]。国内于20世纪80年代中后期出现水环境承载力研究,随着该领域研究的逐步成熟,逐渐形成了丰富的研究成果——初期注重水环境承载力的科学界定,为后续研究的准确性奠定基础^[10-11];而后为了保障研究结果的准确性,学者们针对指标体系评价法、系统动力学

收稿日期: 2016-03-07

作者简介: 肖舒刈(1992-),女,硕士研究生。研究方向:资源技术经济管理和人力资源管理。E-mail: 634171092@qq.com

法、多目标最优化法和单目标最优化法等研究方法进行了探讨^[12-13]；随着水环境与社会经济发展关系的日益密切，学者们开始思考水环境承载力研究的全面性与科学性，依据水环境共性与各区域的发展个性分别构建了差异化水环境承载力评价体系^[14-15]。

针对珠江流域片现有水资源环境与经济社会发展关系情况，构建了珠江片水环境承载力评价指标体系，进而运用向量模法对该区域水环境承载力展开科学评价，以期为珠江片的生态管理、水资源使用限定及水质管理等一系列有益活动提供理论支持和指导意义，从而协调该区域内水环境与经济社会发展的关系，推动珠江流域片可持续发展目标的实现。

1 研究区概况

珠江流域片（以下简称珠江片）涉及云南、贵州、广西、广东、湖南、江西、福建、海南8个省（自治区）及香港、澳门两个特别行政区。多年来，珠江内河航运基础设施建设不断完善，不仅推动了航运发展，而且促进了沿江城镇建设、沿江产业带形成和腹地国民经济发展^[16]，建成了以广州为中心的珠江三角洲城市群。但是，珠江片降雨量空间和时间分配不均，致使流域内自然灾害频繁^[17]；开发不平衡，导致地区发展差距大，中上游地区虽然有丰富的自然资源，但地形复杂、交通不便、基础设施落后、技术和资金缺乏；早期不甚科学合理的开发使得水环境破坏与污染严重。对珠江片水环境承载力的准确

评估，能够指导流域发展做到扬长避短、优势互补，实现全流域的共同发展与繁荣。

2 珠江片水环境承载力评价指标体系构建与数据来源

2.1 指标设计原则

为保证珠江片水环境承载力评价结果的有效性、科学性与参考价值，指标体系的设计应遵循以下原则：

（1）持续原则：所选指标应该反映珠江片水环境的长期性状况，并且要围绕可持续发展模式，符合人与自然和谐共处的目标。

（2）系统原则：所选指标应该能够较为全方位地体现珠江片水资源环境整体情况，尽可能避免因重视程度差异所引发的片面性。

（3）综合原则：所选指标应该包含自然体系和社会体系两大类，结合二者对珠江片水环境承载力进行综合考量，能够更真实地反映该地区水环境对人类社会活动的支撑能力。

2.2 指标体系构建

广义的水环境是具有自然和社会双重属性的空间系统，因此，水环境承载力必然会受到水环境容量、水环境自净能力、区域水资源量等自然因素，以及社会生产力水平、科学技术水平和人类生活水平等社会因素的多重影响。依据水环境承载力影响因素与指标设计原则，该项研究重点考虑从水资源子系统、水资源开发利用子系统（即社会经济子系统）、水资源生态环境子系统等3方面选取评价指标，具体见表1。

表1 珠江片水环境承载力评价指标体系

指标类型	指标变量	代码	指标说明	权重
水资源 现状	降水量/亿 m ³	X ₁	反映区域内降水补给情况（+）	0.067
	地表水资源量/亿 m ³	X ₂	反映区域地表水供给能力（+）	0.079
	地下水资源量/亿 m ³	X ₃	反映区域地下水供给能力（+）	0.080
	水库年末蓄水总量/亿 m ³	X ₄	反映区域内水库的蓄水能力（+）	0.098
水资源 利用开发	水资源开发利用效率/%	X ₅	反映区域水资源利用效率（+）	0.082
	人均用水量/m ³	X ₆	反映区域人民生活对水资源的压力（-）	0.016
	农田灌溉亩均用水量/m ³	X ₇	反映区域农业发展对水资源的压力（-）	0.016
	万元 GDP 用水量/m ³	X ₈	反映区域经济发展对水资源的压力（-）	0.215
	万元工业增加值用水量/m ³	X ₉	反映区域城市发展对水资源的压力（-）	0.196
水资源 生态环境	废污水排放量/亿 t	X ₁₀	反映区域水环境污染状况（-）	0.014
	全年河流水质达Ⅰ~Ⅲ级所占比率/%	X ₁₁	反映区域河流水资源质量（+）	0.051
	全年水库水质达Ⅰ~Ⅲ级所占比率/%	X ₁₂	反映区域湖泊水资源质量（+）	0.085

注：“+”表示正向指标，“-”表示负向指标。

2.3 数据来源

对照表1的珠江片水环境承载力评价指标体系,参照历年《中国统计年鉴》和《珠江片水资源公报》选取可用信息,经整理,总结出2006~2014年珠江片水环境承载力评价指标值。

3 珠江片水环境承载力评价研究方法

现今用于该领域评价研究的方法主要有:主成分分析法、模糊综合评价法、系统动力学法和多目标最优化法等。上述各种水环境承载力评价方法均具有一定的科学性,但同时也存在适用性、主观性等一些固有缺陷。经考虑,研究选取受主观因素影响较小,且具有科学依据的向量模法进行评价。

3.1 向量模法评价方法

向量模法常用于横向(不同地区同一时间)和纵向(同一地区不同时间)的水环境承载能力状况的综合比较^[18]。假设有 t 个地区同一水平年或某一地区的 t 个水平年,这两种情况的最终计算结果均会获得 t 个水环境承载力评价价值,设 t 个评价价值分别为 $E_j (j=1,2,\dots,t)$,再设每个评价价值有

n 个指标分量(即具体的指标值),即:

$$E_j = (E_{1j}, E_{2j}, \dots, E_{nj}) \quad (1)$$

(1) 将各评价指标值归一化:

$$\bar{E}_j = (\bar{E}_{1j}, \bar{E}_{2j}, \dots, \bar{E}_{nj}) \quad (2)$$

其中,正向指标直接采用线性标准化处理方法:

$$\bar{E}_{ij} = E_{ij} / \sum_{i=1}^n E_{ij} \quad (3)$$

式中, $\bar{E}_{ij}$ 为指标归一化结果, $\sum_{i=1}^n E_{ij}$ 为 n 个对应正向指标分量的累计和。负向指标则应先求得各指标原始数据的倒数后,再按线性标准化处理:

$$\bar{E}_{ij} = E'_{ij} / \sum_{i=1}^n E'_{ij} \quad (4)$$

式(4)中, E'_{ij} 为负向指标分量的倒数, $\sum_{i=1}^n E'_{ij}$ 为对应负向指标分量的累计和。通过对正负向指标的归一化处理,得表2。

(2) 用向量模表示第 j 个水环境承载力评价价值

$$|\bar{E}_j| = \left[\sum_{i=1}^n (W_{ij} \bar{E}_{ij})^2 \right]^{1/2} \quad (5)$$

式(5)中, $|\bar{E}_j|$ 表示水环境承载力评价价值, W_{ij} 表示第 j 个承载力的第 i 个指标的权重。

表2 2006~2014年珠江片水环境承载力评价指标归一化值

代码	t/a								
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
X_1	0.530 7	0.531 7	0.532 6	0.528 2	0.536 5	0.522 7	0.522 6	0.530 9	0.523 2
X_2	0.276 5	0.260 1	0.285 4	0.269 2	0.275 6	0.259 1	0.276 0	0.278 4	0.275 0
X_3	0.066 4	0.067 1	0.066 8	0.062 4	0.064 3	0.060 8	0.072 4	0.066 2	0.063 1
X_4	0.020 9	0.028 5	0.029 3	0.028 3	0.032 0	0.035 1	0.034 5	0.034 4	0.040 2
X_5	0.000 9	0.001 2	0.000 7	0.001 3	0.000 9	0.001 7	0.000 9	0.000 9	0.001 0
X_5	0.000 9	0.001 2	0.000 7	0.001 3	0.000 9	0.001 7	0.000 9	0.000 9	0.001 0
X_6	0.018 5	0.019 6	0.016 1	0.019 0	0.017 7	0.019 1	0.017 6	0.017 2	0.017 4
X_7	0.011 5	0.013 1	0.010 7	0.012 7	0.011 8	0.012 5	0.011 3	0.010 9	0.010 9
X_8	0.034 8	0.043 8	0.043 6	0.055 3	0.059 5	0.078 3	0.078 8	0.084 7	0.092 8
X_9	0.069 6	0.084 1	0.082 7	0.098 9	0.104 3	0.145 5	0.145 1	0.150 2	0.175 5
X_{10}	0.049 1	0.052 9	0.044 1	0.051 1	0.044 3	0.048 7	0.045 5	0.045 3	0.045 7
X_{11}	0.003 8	0.004 1	0.003 3	0.004 3	0.003 8	0.005 2	0.004 5	0.004 6	0.005 0
X_{12}	0.004 1	0.004 3	0.003 0	0.004 0	0.003 4	0.004 2	0.004 8	0.004 8	0.005 0

3.2 指标权重计算

层次分析法(AHP)或德尔菲法(Delphi)被广泛应用于影响因子权重的确定,但这两种方法均难以克服主观性,计算结果的合理性与真实性受到影响。为了保证研究过程的科学性与客观性,文章

选用变异系数法(Coefficient of variation method),通过联结各指标值的内隐信息来计算指标权重,有效地避免了研究者的主观色彩对研究结果造成的影响,是一种较为客观的权重确定方法。该方法认为,某指标取值差异越大,说明该指标蕴含研究价

值越大, 相对更能区分被评价对象的差异, 应被赋予较大权重, 反之则反。具体计算步骤如下:

(1) 计算各指标的变异系数:

$$V_i = \frac{\sigma_i}{\bar{x}_i} \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad (6)$$

式中, V_i 表示第 i 项指标变异系数, σ_i 表示第 i 项指标标准差, $\bar{x}_i$ 表示第 i 项指标均值。

(2) 归一化, 求得各评价指标权重:

$$W_i = V_i / \sum_{i=1}^n V_i \quad (7)$$

式中, W_i 表示各指标权重, $\sum_{i=1}^n V_i$ 表示各指标变异系数的累计和。

依据历年珠江片水环境承载力评价指标值, 按照上述式 (6) 和式 (7) 方法计算, 即可获得珠江片水环境承载力各评价指标权重见表1。

4 珠江片水环境承载力评价分析

4.1 评价结果计算

根据公式 (1) ~ (5), 结合各评价指标值归一化结果见表2和各评价指标权重见表1, 经计算, 求得2006~2014年珠江片水环境承载力评价结果, 见表3。

表3 2006~2014年珠江片水环境承载力计算结果

t/a	评价结果
2006	0.044 9
2007	0.045 7
2008	0.046 5
2009	0.047 5
2010	0.048 8
2011	0.052 7
2012	0.053 3
2013	0.054 6
2014	0.057 7

同时, 根据表3评价结果得出2006~2014年珠江片水环境承载力变化趋势, 见图1。

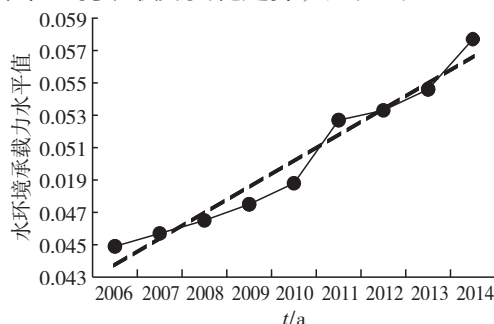


图1 2006~2014年珠江片水环境承载力变化趋势

4.2 评价结果分析

根据2006~2014年珠江片水环境承载力评价结果见表3和变化趋势见图1进行深入研究, 可以得出以下结论。

(1) 2006~2014年珠江片水环境承载力整体呈缓慢持续上升趋势, 由2006年的0.0449增加至2014年的0.0577, 但珠江片水环境承载力的整体水平依旧较低, 截至2014年, 该区域水环境承载力最高值仍未达到0.1水平值。

随着2006~2014年间珠江片城市化进程加快和科学技术水平的不断提升, 大中型水库蓄水能力明显增强, 提供了更加丰沛的水资源存量; 人均用水量以及农田灌溉亩均用水量均有所下降, 但下降幅度的相对值和节约水量的绝对值有限, 区域供水压力大; 人民生活、社会生产正常运作和平稳提升得到保证的同时, 污水排放量总体浮动较小, 但污水排放量绝对值远超其他流域, 流域水生态环境长期受到严重污染; 珠江片年降水量受自然环境影响浮动明显, 个别水平年降水量相差大, 致使区域水资源时空分配不均; 河流、水库水质达标率虽整体呈上升趋势, 并且近年达标率显著提升, 但仍存在个别水平年达标率回落现象, 使得流域水体污染、水质恶化, 水生态环境平衡难以保障, 导致恶性循环。以上情形致使珠江片水环境承载力一方面获得持续改善, 另一方面却又上升缓慢, 长期维持在一个较低的水平。

(2) 2006~2014年珠江片水环境承载力变化在2011年出现一点增长峰值, 以2011年为界, 珠江片水环境承载力由2006~2010年缓慢增长时期的0.04水平值跨越至2011~2014年快速增长时期的0.05水平值。

珠江片水环境承载力2011年间快速上升, 究其原因, 是在大部分评价指标保持基本持平或平稳上升的情况下, 区域水资源利用率实现显著提升, 明显高于历年水资源利用率的平均值; 水资源利用能力提升带来的益处同时体现在万元GDP用水量和万元工业增加值用水量均大幅度下降, 大大减轻了珠江片供水压力。2006~2010年期间, 珠江片水资源自然供给量整体较为平稳, 但大中型水库蓄水能力有限并且

表现不稳定,工农业用水需求大且用水量指标值上下波动;伴随着城市化进程的推进,废污水排放量未得到有效控制,河流及水库水质也受到影响,达标率仍有待提高。以上原因致使2006~2010年间珠江片水环境承载力上升缓慢。在2011~2014年间珠江片水环境承载力突破0.05水平值并持续上升,主要得益于水资源开发利用能力的提升,推动了万元GDP用水量和万元工业增加值用水量的指标值降低,进而促进了河流、水库水质的改善,水质达标率指标值迅速增加。这些情况的改变使得2011~2014年珠江片水环境承载力水平增强。

(3) 该项研究关于珠江片水环境承载力情况的计算结果较为准确、真实地反映了珠江片的实际情况。珠江片横跨我国东部经济发达地区和中西部经济欠发达地区,区域经济社会发展差距较大,途经内陆旅游城市和沿海工业城市,区域经济增长方式差异较大,致使珠江片水环境承载力研究存在一定复杂性。西部地区依托得天独厚的自然资源,大力发展旅游业,区域内人口流动量大,旅游人口造成的水污染问题突出。中部地区工业发展相对较慢、工业化水平相对较低,区域经济社会发展能源消耗大,加之相关部门监管不到位和生产者环境意识缺失等原因,致使生产力发展的同时付出了生态环境受到破坏的代价。污染物排放浓度或数量不达标、过度开采地下水等现象频发,水生态环境急剧恶化,进而会影响到整个生态循环系统的平衡运转。东部沿海地区经济社会发展已成规模,但快速增长背后造成的资源和环境污染也是惊人的,因此,东部地区在保证经济增长的同时已着手大力开展环境治理。珠江片各区域自然环境差异和社会发展差距,使得珠江片水环境结构复杂,水生态环境问题多样,区域水环境承载力水平不高,已成为制约珠江片区域经济社会发展的重要因素。

5 结语

该项研究借鉴前人研究经验,并结合珠江片区域水环境实际情况,构建了包含3个一级指标、由12个二级指标组成的珠江片水环境承载

力评价指标体系,选择变异系数法客观确定指标权重,再运用向量模法计算2006~2014年间珠江片水环境承载力,进而揭示了近年珠江片水环境承载力的变化趋势,反映出流域内存在的水环境问题。2006~2014年珠江片水环境承载力综合评价值由0.044 9上升至0.057 7,虽然区域水环境承载力总趋势呈上升态势,但水环境承载力评价绝对值仍处于较低水平,通过与珠江片水环境实际情形对比,进一步印证了该项研究结果的科学性与真实性。严峻的水环境现实状况要求珠江片流域各地区要积极采取相应措施,增强水资源利用效率;通过技术创新降低社会生活、生产用水需求;严格监管污水排放量,提升流域水质、减轻直至解决流域内水环境污染问题,为珠江片更好更快地实现可持续发展奠定良好的基础。

参考文献

- [1] 赵卫,刘景双,孙凡娥.水环境承载力研究述评[J].水土保持研究,2007,14(1):47-50.
- [2] 李姣,严定容.湖南省及洞庭湖区重点城市水环境承载力研究[J].经济地理,2013,33(10):157-162.
- [3] 陈雷.落强责任 强化措施 强力做好水库安全度汛工作[J].中国水利,2010(10):3-5.
- [4] 郭怀成,尚金城,张天柱,等.环境规划学[M].北京:高等教育出版社,2001:159-167.
- [5] 胡雄光,徐荣华,徐海波,等.城市内河水环境承载力评价研究[J].水资源与水工程学报,2015,26(3):105-109.
- [6] 侯丽敏,岳强,王彤.我国水环境承载力研究进展与展望[J].环境保护科学,2015,41(4):104-108.
- [7] Fakhraei H, Driscoll C T, Selvendiran P, et al. Development of a total maximum daily load (TMDL) for acid-impaired lakes in the Adirondack region of New York[J]. Atmospheric Environment, 2014, 95:277-287.
- [8] Chen D, Dahlgren R A, Shen Y, et al. A Bayesian approach for calculating variable total maximum daily loads and uncertainty assessment[J]. Science of The Total Environment, 2012, 430(15):59-67.
- [9] Guan D J, Gao W J, Su W C, et al. Modeling and dynamic assessment of urban economy-resource-environment system with a coupled system dynamics-geographic information system model[J]. Ecological Indicators, 2011, 11(5):1333-1344.
- [10] 杨丽花,佟连军.基于BP神经网络模型的松花江流域(吉林省段)水环境承载力研究[J].干旱区资源与环境,2013,27(9):135-140.
- [11] 王西琴,高伟,何芬,等.水生态承载力概念与内涵探讨[J].中国水利水电科学研究院学报,2011,9(1):41-46.
- [12] 周刚,雷坤,富国,等.河流水环境容量计算方法研究[J].水利学报,2014,45(2):227-234.
- [13] 郭婉娥,Elman与GRNN神经网络模型在水环境承载力评价中的应用——以文山州区域水环境承载力评价为例[J].水资源与水工程学报,2013,24(4):184-188.
- [14] 孙楠,邵伟庚,李淑艳,等.松花江(黑龙江省段)流域水环境承载力指标体系构建研究[J].环境科学与管理,2014,39(4):152-155.
- [15] 刘子刚,蔡飞.区域水生态承载力评价指标体系研究[J].环境污染与防治,2012,34(9):73-77.
- [16] 彭程志.珠江水系对中山市及沿海、港澳的影响[J].珠江水运,2011,(12):103-105.
- [17] 范伶俐,张光亚.广东实际蒸散发与潜在蒸散发的关系研究[J].广东海洋大学学报,2013,33(03):71-77.
- [18] 黄涛珍,宋胜邦.淮河流域水环境承载力评价研究[J].中国农村水利水电,2013,(4):45-49.