

DOI: 10.3880/j.issn.1004-6933.2015.05.013

# 2000—2011年西安市水环境演变与社会经济发展关系的量化分析

张蓉珍<sup>1</sup>, 范华<sup>2</sup>

(1. 西安文理学院 文化与旅游学院, 陕西 西安 710065; 2. 陕西师范大学 旅游与环境学院, 陕西 西安 710119)

**摘要:** 基于2000—2011年西安市水环境、社会经济发展状况, 综合采用频度分析法和主成分分析法, 选取并构建西安市水环境与社会经济发展指标体系, 借助水环境与社会经济发展协调度模型, 对西安市12年间水环境与社会经济发展的协调性进行量化分析。结果表明: 2000—2005年间西安市各项环保设施仍处于建设时期, 西安市水环境趋势呈现波动上升, 其发展水平低于社会经济发展水平; 2006—2011年间水环境与社会经济发展呈现同步增长, 缘于西安市“十一五”期间实施“环境优市”方略, 注重人居环境的改善, 强调建设资源节约和环境友好型社会等各项政策的贯彻落实, 2006—2011年间水环境综合效益增长幅度大于2000—2005年间。指出2000—2011年西安市水环境与社会经济发展总体处于协调上升趋势, 但水环境略滞后于社会经济发展; 随着西安市社会经济的不断发展及人口数量的增加, 西安市水环境质量仍将面临巨大挑战, 还应继续注重水环境的保护与防治。

**关键词:** 水环境演变; 社会经济发展; 协调度; 量化分析; 频度分析法; 主成分分析法; 西安市

中图分类号: TV213.4 文献标志码: A 文章编号: 1004-6933(2015)05-0067-05

## Statistic analysis of relation between Xi'an water environment revolution and development of society and economy from 2000 to 2011

ZHANG Rongzhen<sup>1</sup>, FAN Hua<sup>2</sup>

(1. Culture and Tourism College of Xi'an University of Arts and Science, Xi'an, Shaanxi, 710065;

2. Tourism and Environment College of Shaanxi Normal University, Xi'an, Shaanxi, 710119)

**Abstract:** Based on the water environment and development status of social and economic of Xi'an in the year of 2000 and 2011, frequency analysis and principal component analysis (PCA) are used to establish the water environment and development of social and economic indicator system of Xi'an. With the help of water environment and development of social and economic coordination model, quantitative analysis is conducted on the coordination level of water environment and development of social and economic of Xi'an in the recent 12 years. The result shows that: during the years of 2000—2005, environmental devices of Xi'an were still under construction, making water environment trend of Xi'an increasing with fluctuation, whose development level was lower than the social and economic development level; during the years of 2006—2011, water environment and social and economic development increased synchronously due to “optimizing the city with environment” executed during the eleventh-five-year. Some policies focusing on the improvement of human settlement and ecological environment were emphasized and carried out to build an energy-saving and environment-friendly society. The overall benefit growth rate of water environment in the years of 2006—2011 was higher than that in the years of 2000—2005. In general, water environment and social and economic development of Xi'an in the years of 2000—2011 increased

基金项目: 陕西省科技厅资助项目(2011KRM62)

作者简介: 张蓉珍(1964—), 女, 教授, 主要从事水资源开发与环境保护研究。E-mail: zhangrongzhen2013@163.com

harmoniously, while water environment development turning out to be slower compared to social and economic development. With the constant social and economic development in Xi'an and increasing population, water environment quality in Xi'an still faces huge challenge. Protection of water environment and prevention of water pollution should still be focused on.

**Key words:** water environment revolution; social and economic development; coordination degree; quantitative analysis; frequency analysis method; principal component analysis; Xi'an City

社会经济的快速发展、人口增加、城市化进程加快等社会经济活动加速了水环境污染和水资源短缺,水环境与水资源评价及其影响因素、驱动力等成为国内外研究热点。关于水环境演变与社会经济发展关系的研究,不少学者作了定性和定量研究,郭怀成等<sup>[1]</sup>采取系统动力学模型研究了城市水环境与社会经济可持续发展的关系;盖美<sup>[2]</sup>采用模糊模式识别模型对大连市近岸海域进行水质评价,研究近岸海域水环境动态变化及影响因素分析;夏霆等<sup>[3]</sup>基于PSR框架,建立了镇江市社会经济与水环境系统可持续发展模式的评价指标体系并进行了预测;方国华等<sup>[4]</sup>对江苏省水资源利用、水环境保护与国民经济发展的关系采取投入产出模型进行了分析;郑旭等<sup>[5]</sup>采用环境库兹涅茨曲线模型建立水环境污染与社会经济发展之间的关系模型,研究了营口市水环境污染与社会经济发展的关系。

随着“关天经济区”的建立、“西咸一体化”的发展,西安步入了建设国际化大都市的新阶段,这对水资源较为贫乏的西安来说必将带来巨大挑战。有关学者在西安水环境方面亦进行了相关研究。庄宇等<sup>[6]</sup>运用建立模型的定量方法对西安地区水环境质量进行了模糊综合评价;马蓓蓓等<sup>[7]</sup>从协调经济发展与城市水环境保护的角度对西部城市水环境与经济发展协调模式进行了研究;张蓉珍等<sup>[8]</sup>针对西安市水环境的生态安全,从状态-压力-响应指标框架体系出发,建立水环境生态安全评价体系;卓悦<sup>[9]</sup>采用复合指标法对西安市1997—2010年城市化水平进行综合测度,构建了城市化与城市用水量、用水效益、人均用水水平之间的模型。基于以上研究和前人研究成果,笔者运用协调度模型,定量分析西安市2000—2011年水环境演变与社会经济发展的关系并分析其内在原因,以弥补该市水环境演变与社会经济发展关系研究的空白,为促进西安市区域经济的发展、水战略的实施提供科学依据。

## 1 西安市水环境现状

### 1.1 水资源先天不足

西安市位于陕西省中部,属于暖温带半湿润大陆性季风气候区。2011年全市水资源总量为30.74

亿 $m^3$ <sup>[10]</sup>,人均水资源占有量不足361.08 $m^3$ <sup>[11]</sup>,按照国际标准,人均占有水资源量500 $m^3$ 为水资源危机线,因此西安市是一个水资源匮乏的地区。同时,西安的水资源时空分布不均:78%的降水集中在5—10月,其中7—9月的降水占全年降水的47%,且时有暴雨出现,这样使得洪涝灾害出现概率增加,水土流失情况加重;秦岭山区的地表径流量占到全市总量的82%,而平原、台塬区仅占18%,因而水资源利用的难度较大。

### 1.2 城市需水量增大,水污染严重

随着西安市城市化进程的加快,一方面,需水量特别是生活用水量迅速增加,据有关资料显示,生活用水量以平均每年5.58%的速度上升,且从1998年开始西安市的生活用水比重已经超过生产用水比重<sup>[12]</sup>。另一方面,由于水污染日益严重,有限的水资源可利用量减少,加剧了西安市水资源的短缺。2011年西安市10个地表水体25个断面中有12个为劣V类,河流断面水功能达标率仅为29.4%,说明地表水体超标严重,2011年主要污染物排放量COD 12.4689万t,  $NH_3-N$  1.4186万t<sup>[13]</sup>。西安市地表水环境首要污染物是 $NH_3-N$ 、石油类、COD排放量也较大,水污染情况不容乐观。

## 2 评价指标体系的构建

根据对水环境与社会经济的关系分析,首先确定一系列指标,然后搜集并整理相关数据;再利用SPSS软件对其进行主成分分析,提取到3项主成分,定为3大类别:水环境、社会和经济;最后从3大类别中可以分别选取相关性最高的17个指标。这样就得到西安市水环境与社会经济可持续发展评价指标体系,并将其分为3大层次:第1层次为目标层,分别为水环境质量指数和社会经济发展质量指数;第2层次为类别层,分别为水环境、社会、经济;第3层次为指标层,为各类具体指标。

### 2.1 指标的选取

综合采用频度分析法和主成分分析法选取指标。采用频度分析法<sup>[14]</sup>对关于水环境和城市社会经济协调发展研究的论文中的指标进行频度统计,从中选择使用频度较高的指标,如人口密度、GDP、

城镇居民可支配收入、人均工业产值、农民人均纯收入、城市生活污水排放量、污水处理厂处理能力、污水处理率、人均公共绿地面积、居民家庭用水、人均日生活用水量等。在频度分析法选择的指标中运用主成分分析法<sup>[15]</sup>把原来多个变量划为少数几个综合指标。在此基础上,参考相关文献确定最终研究指标。指标数据来源于2001—2012年的《西安市统计年鉴》、《陕西省统计年鉴》、《中国城市统计年鉴》,以及2004—2009年《中国区域经济统计年鉴》等,少数指标,如工业用水重复利用率、污水再生利用量、COD去除量等,通过线性插值计算获得。

## 2.2 指标权重的确定

指标权重采用AHP方法<sup>[16]</sup>并结合变异系数法<sup>[3]</sup>确定。评价体系中的标准值(表1)源于西安市“十二五”环境保护规划和西安市建设国际化大都市的相关指标等资料。

表1 西安市水环境与社会经济可持续发展评价指标体系

目标类别	指标	标准值	指标权重
水环境 质量 指数	人均日生活用水量(kg)	0.14	0.06276
	工业用水总量(万t)	10000	0.091387
	地下水资源总量(亿m <sup>3</sup> )	17	0.02228
	城市绿化覆盖率(%)	42.50	0.037
	人均公共绿地面积(m <sup>2</sup> )	10	0.08
	工业废水排放达标率(%)	100	0.03392
	工业用水重复利用率(%)	50	0.0405
	污水处理厂处理能力(万t/d)	185.6	0.18242
	污水处理率(%)	70	0.013818
社会 经济 发展 指数	人口密度(人/km <sup>2</sup> )	891	0.07731
	人口自然增长率(%)	50	0.139
	城市化水平(%)	75	0.032
	每千人医院床位数(张)	3.97	0.0445
	人均工业产值(元)	83333	0.1196
	城镇居民人均可支配收入(元)	44488	0.11
	人均GDP(元)	35000	0.1685
第三产业增加值占GDP比重(%)	75	0.0868	

## 2.3 协调度计算

根据文献<sup>[17]</sup>,构建水环境与社会经济发展协调度模型。协调度是度量系统或要素之间协调状况好坏程度的定量指标<sup>[18]</sup>。

根据协调度的定义,设正数 $X_1, X_2, \dots, X_m$ 为描述水环境特征的 $m$ 个指标;设正数 $Y_1, Y_2, \dots, Y_n$ 为描述社会经济特征的 $n$ 个指标。则分别称函数

$$\begin{cases} f(X) = \sum_{i=1}^m a_i \hat{X}_i \\ g(Y) = \sum_{j=1}^n b_j \hat{Y}_j \end{cases} \quad (m=9; n=8) \quad (1)$$

为水环境综合效益指数(或综合环境评价指标)和社会经济综合效益指数(或综合经济评价指标)。

式中, $a_i$ 和 $b_j$ 为权重。

$\hat{X}_i$ 的取值由式(2)给出:

$$\hat{X}_i = \begin{cases} X_i/\lambda_{\max} & \text{当指标 } X_i \text{ 越大越好时} \\ \lambda_{\min}/X_i & \text{当指标 } X_i \text{ 越小越好时} \end{cases} \quad (2)$$

式中: $\lambda_{\max}, \lambda_{\min}$ 为相应于指标 $X_i$ 的标准值。 $\hat{Y}_j$ 的取值依此类推。

$$C = \left\{ \frac{f(X) \cdot g(Y)}{\left[ \frac{f(X) + g(Y)}{2} \right]^2} \right\}^k \quad (3)$$

式中, $k$ 为系数,文中计算取 $k=2$ 。

协调度 $C$ 作为反映水环境与社会经济相互协调的重要指标,它对于约束环境与社会经济的发展行为,促进二者健康、协调发展具有十分重要的意义。

然而,协调度在有些情况下却很难反映出水环境与社会经济的整体功能大小(或发展水平)。为此,用城市协调发展水平 $D$ 来反映水环境与社会经济的综合发展水平。

$$D = \sqrt{CT}$$

$$\text{其中} \quad T = \frac{f(X) + g(Y)}{2} \quad (4)$$

式中, $T$ 为协调发展系数。

## 3 评价结果与分析

通过式(1)~(4)对2000—2011年西安市水环境与社会经济发展指标值进行计算,得出水环境综合效益指数 $f(X)$ 、社会经济综合效益指数 $g(Y)$ 、协调度 $C$ 、城市协调发展水平 $D$ ,具体结果见图1。

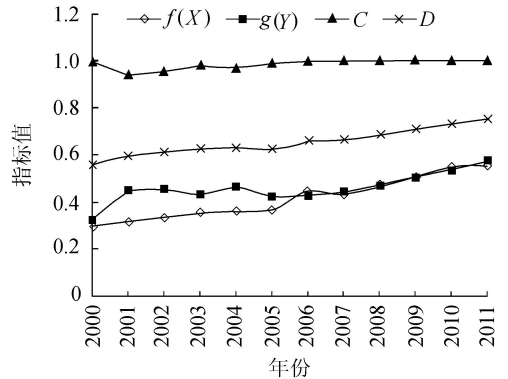


图1 水环境综合效益指数 $f(X)$ 、社会经济综合效益指数 $g(Y)$ 、协调度 $C$ 、城市协调发展水平 $D$ 的历年变化

根据水环境与社会经济协调发展的分类体系及其判别标准<sup>[17]</sup>,从图1中可以看出:西安市在2000—2011年间水环境综合效益、社会经济综合效益以及城市协调水平均呈现增长趋势,且后期均呈不断增长的趋势,表明西安市水环境与社会经济可持续发展潜力较大。2000—2011年期间,随着国家实施西部大开发以及西安市“十五”、“十一五”各项环保措施和经济发展政策的落实西安市水环境和社会经济呈现协调增长趋势。有关数据显示:这一时

期西安社会经济以年均 13.7% 的速度递增,高于全国平均增幅 3.8%,高于全省平均增幅 1.3%;特别是从 2001 年开始,生产总值连续 8 年保持了 13% 以上的速度<sup>[18]</sup>,经济发展速度稳步提高;期间通过创建国家园林城市、卫生城市以及建设与改造城市基础设施、不断增大环保投资力度等,城市环境质量得到明显改善。

2000—2011 年可以分为两个阶段:

a. 2000—2005 年间西安市各项环保设施仍处于建设时期,工业废水排放率 2005 年污水处理率仅 38.9%<sup>[12]</sup>,西安市水环境呈现波动上升,其发展水平低于社会经济发展水平。

b. 在 2006—2011 年间水环境与社会经济发展呈现同步增长。西安市“十一五”期间实施“环境优市”方略,注重人居生态环境的改善,强调建设资源节约和环境友好型社会,城市综合服务功能得以提升。因此,2006—2011 年间水环境综合效益增长幅度快于 2000—2005 年间。如 GDP 耗水量 2004 年为 30 m<sup>3</sup>/万元,2010 年下降 5.4 m<sup>3</sup>/万元,工业用水量从 2004 年的 209.96 t/万元降到 2010 年的 121.4 t/万元,废水排放量在 2005 年为最高达 40.1 t/万元,在 2010 年为最低值 17.9 t/万元,这与不断加大工业企业的整顿和各项排污治理措施的落实有关<sup>[19]</sup>。

## 4 结 语

城市是社会经济活动最为密集的地域,以城市为单元开展社会经济发展与环境演变相互作用及调控研究,是实现城市可持续发展的有效途径。社会经济发展是影响水环境演变的重要因素,水环境质量的高低与社会经济之间存在相互依赖、相互制约、彼此促进的紧密关系,一方面优良的水环境和切实的环境治理是社会经济发展的基础,另一方面社会经济发展又给水环境保护与治理提供雄厚的资金保障。西安市水环境演变与城市经济发展、产业结构的调整及环境保护政策的实施有很大的关系。运用频度分析法、主成分分析法、层次分析法和变异系数法构建水环境与社会经济可持续发展评价指标体系,并构建了两者的协调度模型,分析西安市 2000—2011 年水环境演变与社会经济发展的关系,得出这 12 年间西安市在水环境综合效益、社会经济综合效益以及城市协调水平均呈曲折增长趋势的结论。2006 年是一拐点,之前,水环境发展水平低于社会经济发展水平;2006 年以后增长趋势明显,表明西安市水环境与社会经济可持续发展潜力较大。2000—2011 年西安市水环境与社会经济发展虽呈协调上升趋势,但水环境略滞后于社会经济发展。

随着西安市社会经济的不断发展,人口数量的增加,西安市水环境质量仍将面临巨大挑战,因此西安市还应继续注重水环境的保护与防治。这一研究结果与相关研究比较契合<sup>[3]</sup>。笔者通过定性定量两种相结合的方法选取水环境与社会经济发展指标,相较单一方法,该方法更加全面、科学。同时运用协调度模型将水环境演变与社会经济发展间的关系进行定量分析,使得结果更具有客观性。但是在指标权重确定时专家打分中仍有一定的主观性,社会经济发展指标数量较少涵盖,显得不够全面,在今后的研究中应继续梳理、完善相关指标体系,更加全面、系统地研究区域水环境与社会经济的关系。

## 参考文献:

- [1] 郭怀成,唐剑武. 城市水环境与社会经济可持续发展对策研究[J]. 环境科学学报, 1995, 15(3): 363-369. (GUO Huaicheng, TANG Jianwu. A strategy for sustainable development of urban water environment and socio-economy[J]. Acts Scientiae Circumstantiae, 1995, 15(3): 363-369. (in Chinese))
- [2] 盖美. 大连市近岸海域水环境质量、影响因素及调控研究[J]. 地理研究, 2003, 22(5): 643-653. (GAI Mei. Research on water environmental quality, affecting factors and regulation of the nearshore waters of Dalian[J]. Geographical Research, 2003, 22(5): 643-653. (in Chinese))
- [3] 夏霆,朱伟,赵联芳. 镇江市社会经济-水环境系统协调发展[J]. 水资源保护, 2007, 23(4): 52-55. (XIA Ting, ZHU Wei, ZHAO Lianfang. Coordinated development of social economy-water environment system in Zhenjiang City[J]. Water Resources Protection, 2007, 23(4): 52-55. (in Chinese))
- [4] 方国华,钟淋涓,张建华. 江苏省水资源利用、水环境保护与国民经济发展关系分析[J]. 长江流域资源与环境, 2009, 18(11): 1008-1013. (FANG Guohua, ZHONG Linjuan, ZHANG Jianhua. Analysis on relationship between water resources utilization, water environment protection and national economic development of Jiangsu Province[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2009, 18(11): 1008-1013. (in Chinese))
- [5] 郑旭,赵军,朱悦,等. 营口市水环境污染与社会经济发展的关系研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2013, 23(5): 87-91. (ZHENG Xu, ZHAO Jun, ZHU Yue, et al. The relationship between water pollution and social-economic development in Yingkou City [J]. China Population Resources and Environment, 2013, 23(5): 87-91. (in Chinese))
- [6] 庄宇,昌琳. 西安地区水环境质量的模糊综合评价[J]. 干旱区资源与环境, 2007, 21(11): 22-26. (ZHUANG

- Yu, CHANG Lin. A fuzzy comprehensive evaluation model of the water environment quality in Xi'an area[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2007, 21(11): 22-26. (in Chinese))
- [7] 马蓓蓓, 薛东前, 延军平. 西部城市水环境与经济发展协调模式研究: 以西安市浐灞生态区为例[J]. 干旱区资源与环境, 2007, 21(5): 53-58. (MA Beibei, XUE Dongqian, YAN Junping. Research on the harmonization between urban water environment and economic development in Western China: a case study of Chanba ecology district in Xi'an City[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2007, 21(5): 53-58. (in Chinese))
- [8] 张蓉珍, 李剑. 陕西省西安市水环境生态安全评价[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(25): 12129-12131. (ZHANG Rongzhen, LI Jian. Ecological security assessment of the water environment in Xi'an City of Shaanxi[J]. Journal of Anhui Agricultural Science, 2009, 37(25): 12129-12131. (in Chinese))
- [9] 卓悦. 关中地区经济发展与渭河水环境质量演变关系研究[D]. 西安: 西北大学, 2010.
- [10] 西安市统计局. 西安市统计年鉴(2011年)[M]. 北京: 中国统计出版社, 2012: 3-4.
- [11] 西安市水务局. 西安市再生水利用“十二五”规划[R]. 西安: 西安市人民政府, 2011: 63-78.
- [12] 李华, 师谦友, 高楠, 等. 西安城市化与水资源利用关系的量化研究[J]. 地域研究与开发, 2012, 31(5): 131-134. (LI Hua, SHI Qianyou, GAO Nan, et al. Study on the quantitative relationship between urbanization and water resources utilization in Xi'an City[J]. Areal Research and Development, 2012, 31(5): 131-134. (in Chinese))
- [13] 西安市环境保护局. 西安市2012年主要污染物减排实施方案[R]. 西安: 西安市人民政府, 2013.
- [14] 徐世龙. 可持续发展定量评价指标体系的构想[J]. 统计与信息论坛, 2000, 15(1): 7-14. (XU Shilong. Suggestions on statistic index system for the quantitative evaluation of sustainable development[J]. Statistics & Information Tribune, 2000, 15(1): 7-14. (in Chinese))
- [15] 徐建华. 地理建模方法[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- [16] 樊彦芳, 刘凌, 陈星, 等. 层次分析法在水环境安全综合评价中的应用[J]. 河海大学学报: 自然科学版, 2004, 32(5): 512-514. (FAN Yanfang, LIU Ling, CHEN Xing, et al. Application of analytic hierarchy process method to comprehensive evaluation of water environmental safety system[J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences, 2004, 32(5): 512-514. (in Chinese))
- [17] 杨士弘. 城市生态环境学[M]. 北京: 科学出版社, 2003: 254-256.
- [18] 西安市统计局. 社会保障体系建立健全和谐西安建设成效显著; 改革开放以来西安经济社会发展成就系列统计报告之十五[R]. 西安: 西安市统计局, 2009.
- [19] 耿雅妮. 基于向量模法的西安市水环境承载力研究[J]. 中国农学通报, 2013, 29(11): 168-172. (GENG Yani. Water environmental carrying capacity in Xi'an City based on vector norm method[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2013, 29(11): 168-172. (in Chinese))

(收稿日期: 2014-10-22 编辑: 徐娟)

(上接第52页)

- [19] 曲克明, 陈碧娟, 袁有宪, 等. 氮磷营养盐影响海水浮游硅藻种群组成的初步研究[J]. 应用生态学报, 2000, 11(3): 445-448. (QU Keming, CHEN Bijuan, YUAN Youxian, et al. A preliminary study on influence of N and P on population constituent of planktonic diatoms in seawater[J]. Journal of Applied Ecology, 2000, 11(3): 445-448. (in Chinese))
- [20] 王汉奎, 董俊德, 张恩, 等. 三亚湾氮磷比值分布及其对浮游植物生长的限制[J]. 热带海洋学报, 2002, 21(1): 33-39. (WANG Hankui, DONG Junde, ZHANG Si, et al. Distribution of N/P ration and its limitation to growth of phytoplankton in Sanya Bay[J]. Journal of Tropical Oceanography, 2002, 21(1): 33-39. (in Chinese))

(收稿日期: 2014-07-29 编辑: 彭桃英)

