

# 徐州市生态环境—社会经济系统耦合态势分析

杨木<sup>1</sup>, 奚砚涛<sup>1</sup>, 李高金<sup>2</sup>

(1. 中国矿业大学 资源与地球科学学院, 江苏 徐州 221008; 2. 中国矿业大学 环境与测绘学院, 江苏 徐州 221008)

**摘要:**城市发展过程中生态环境问题已成为制约城市可持续发展的主要瓶颈,如何实现城市生态环境与社会经济协调可持续发展,已引起全社会的普遍关注。以徐州市为例,基于耦合理论,运用系统演化思想,建立徐州市生态环境—社会经济动态耦合度模型,对徐州市 1978—2005 年 28 a 间生态环境—社会经济耦合态势进行了分析,结果显示:徐州市生态环境—社会经济系统的耦合度分布在 $-90^{\circ}\sim 90^{\circ}$ 之间,生态环境—社会经济系统经历了协调化发展、生态环境恶化与修复重建,再到社会经济与生态环境均衡发展的过程。最后,通过对徐州市生态环境变迁与社会经济发展的研究,总结出几点经验教训,为确切掌握近年来徐州市生态环境和社会经济的状况、科学地认识区域生态环境系统与社会经济系统的演变规律,并为制定科学可行的城市规划与发展方案提供决策支持。

**关键词:**生态环境; 社会经济; 耦合度; 徐州市

中图分类号:F062.2;F127

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2012)02-0137-05

## Analysis on Trend of Coupling Degree of Eco-environmental and Socio-economic Systems in Xuzhou City

YANG Mu<sup>1</sup>, XI Yan-tao<sup>1</sup>, LI Gao-jin<sup>2</sup>

(1. School of Resources and Earth Science, China University of Mining & Technology, Xuzhou, Jiangsu 221008, China; 2. School of Environment and Surveying and Mapping, China University of Mining & Technology, Xuzhou, Jiangsu 221008, China)

**Abstract:** The issue of eco-environment in the development of urban has been the main obstacle for urban sustainable development. How to achieve the sustainable development between urban eco-environment and socio-economy has aroused the general concern of whole society. Based on coupling theory, application of ideology of systematic evolution and the establishment of dynamic coupling model of eco-environment and socio-economy of Xuzhou City, the eco-environment and socio-economic state in Xuzhou City, 28 years from 1978 to 2005, was analyzed. The results show that the coupling degree of the eco-environmental and socio-economic systems in Xuzhou City is from  $-90^{\circ}$  to  $90^{\circ}$ , which has undergone a coordinated development, environmental degradation to reconstruction and the balanced development of socio-economy and eco-environment. At last, by the studying of change of eco-environment and socio-economy in Xuzhou City, some experiences and lessons would be summarized, the law of eco-environment and socio-economy would be mastered exactly, the development regularity of regional ecological environmental system and socio-economy system would be to understand scientifically.

**Key words:** eco-environment; socio-economy; coupling degree; Xuzhou City

近年来,生态环境问题已经成为全球广泛关注的热点问题。生态环境与社会经济可持续发展有着密不可分的关系。许多研究表明,由于集聚经济效益,在人口集中的城市中生态环境与社会经济的关系更加密切,极大地影响着城市居民的生活质量<sup>[1]</sup>。2008 年底,我国城市化率为 45.68%,正处于高速城市化

阶段。《中国新型城市化报告 2011》提出,在中国新型城市化进程中面临着五大挑战,其中包括“城市物质文明建设与生态文明建设的不同调”<sup>[2]</sup>。因此研究城市生态环境变迁与社会经济发展,从而实现城市物质文明建设与生态文明建设同步发展,具有十分重要的意义。

收稿日期:2011-09-18

修回日期:2011-10-27

资助项目:江苏省哲学社会科学规划基金重点项目(09SLA001)

作者简介:杨木(1987—),男,江苏徐州人,硕士研究生,主要研究方向为资源环境、地理信息系统、流行性疾病与公共卫生。E-mail:ohyah@126.com

“耦合度”是指系统之间联系的紧密程度,是评价系统间耦合程度的主要指标,它包括系统之间的相互制约关系,能流、物质流、信息流的传递关系<sup>[3]</sup>。系统之间联系越多,其耦合性越强,一个系统变化有可能引起的“牵一发动全身”的水波效应。因而,通过两个系统耦合度的变化即可以确定复合系统的演化状态,用“耦合度”来衡量区域生态环境—社会经济耦合系统各子系统间的耦合程度,建立耦合度模型,可以较好地反映生态环境—社会经济系统耦合的阶段特征<sup>[4-5]</sup>。

### 1 研究区概况

徐州市位于江苏省西北部,116°22′—118°40′E、33°43′—34°58′N,总面积 11 258 km<sup>2</sup>,地势低平、海拔高度 20~50 m,地貌除中部和东北为丘岗山地外,大都为平原(面积占全市总面积的 90%),总地势由西北倾向东南,属于温暖带季风气候和北亚热带季风气候区,受东南季风影响较大。气候资源较优越,有利于农作物的生长,主要气候特点是:四季分明,光照充足,雨量适中,雨热同期,主要气象灾害有旱、涝、风、霜冻、冰雹等,历年日照时数为 2 268.2 h,平均气温 14.5℃,历年平均降水量 841.2 mm<sup>[6]</sup>。

徐州市地处经济发达的长三角与环渤海湾经济区过渡地段的徐淮地区,是我国重要的粮、棉、油生产基地和商品粮基地,煤炭工业是这里工业的重要组成部分。历史上,黄河长达 700 多年的南徙给徐淮地区的自然生态环境和社会经济造成了严重的摧残,影响甚至持续至今<sup>[7]</sup>。新中国成立以后,徐淮地区的自然生态环境得到了有效的治理与修复,社会经济长足发展。为确切掌握近年来徐淮地区生态环境和社会经济的状况,科学地认识区域生态环境系统与社会经济系统的演变互动关系规律,本文将以徐州市为例,分析城市生态环境与社会经济的互动关系,运用系统演化思想,建立生态环境—社会经济系统耦合度模型,从整体上探讨复合系统的动态演变过程。

### 2 研究方法

#### 2.1 耦合度的计算方法

耦合系统的演化方程<sup>[8-9]</sup>可表示为:

$$\frac{dx(t)}{dt} = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$$

式中: $x_i$ ——系统影响因子; $f$ —— $x_i$ 的非线性函数, $i = 1, 2, 3, \dots, n$ 。

根据李雅普诺夫第一近似定理,上式可以近似表示为<sup>[9]</sup>:

$$\frac{dx(t)}{dt} = \sum_{i=1}^n a_i x_i$$

因此,徐州市生态环境系统( $E_l$ )与社会经济系统( $E_n$ )的一般函数可分别表示为:

$$E_l = \sum_{i=1}^n l_i x_i \quad i=1, 2, 3, \dots, n$$

$$E_n = \sum_{i=1}^n l_j y_i \quad j=1, 2, 3, \dots, n$$

其中, $x, y$ 分别为两系统的元素, $l_i, l_j$ 为各自元素的权重。按照一般系统理论<sup>[10-11]</sup>,徐州市生态环境系统与社会经济系统可以耦合成的复合系统,即生态环境—社会经济系统。在受自身以及外部条件的影响下,徐州市生态环境系统和社会经济系统的演化方程、演化速度可分别表示为:

$$A = \frac{d(E_l)}{dt} = f_1(E_l, E_n) \quad V_A = \frac{dA}{dt}$$

$$B = \frac{d(E_n)}{dt} = f_2(E_l, E_n) \quad V_B = \frac{dB}{dt}$$

而复合系统的演化速度( $V$ )可看作  $V_A$  与  $V_B$  的函数,即: $V = f(V_A, V_B)$ 。

通过分析  $V$  的变化,可以研究整个系统以及两个子系统之间的演化态势。徐州市生态环境—社会经济系统的动力来自两个子系统,若二者之间的动态关系具有周期性,把徐州市生态环境与社会经济系统的耦合关系放在二维平面上分析,整个系统  $V$  的演化轨迹则表现为一椭圆形(图 1)。因而有:

$$\tan\theta = \frac{V_B}{V_A} \quad \theta = \arctan \frac{V_B}{V_A}$$

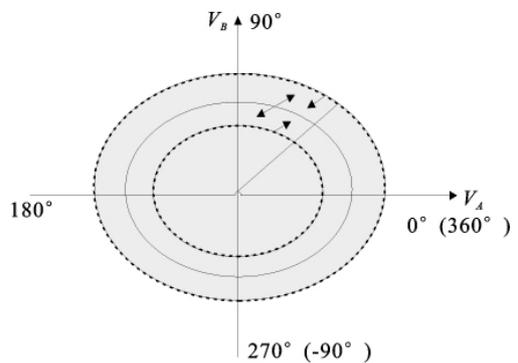


图 1 生态环境系统—社会经济系统耦合关系示意图

$\theta$  的变化是由  $V_A, V_B$  以及它们的相互关系确定的,通过对  $\theta$  变化的观察可以确定徐州市生态环境—社会经济系统的演化态势,因此可以把  $\theta$  称之为徐州市生态环境系统与社会经济系统的耦合度。

#### 2.2 指标体系

尽管生态环境与社会经济分属于两个系统,但因人类活动的物质性以及多样性,生态环境与社会经济很难客观区分,它们及其子系统、要素之间已经形成了相互作用、相互连接、相互影响的复杂关系。Wolf-

gang Lutz 认为基于生物主体的生态环境由水、能源、空气和土地 4 个要素组成<sup>[12]</sup>。其中能源要素是广义的,包括如矿产资源等<sup>[13]</sup>。本文按照科学性、层次性、系统性、可行性的原则,分别构建了生态环境系统与社会经济系统的指标体系,并采用频度统计法、理论分析法、专家咨询法进行指标的筛选及其权重的设置。首先,采用频度统计,对 CNKI 数据库 2001—2010 年有关生态环境质量评定以及相关社会发展指标设计的大量文献<sup>[14-16]</sup>进行频度统计,从中选取近年来研究者使用频度较高的指标;其次,依据对生态环境系统与社会经济系统的理论分析,初步确定从生态环境、自然资源、产业态势和社会文化 4 个方面对生态环境和社会经济进行指标分解和特征细化;最后,在提出评价指标体系的基础上,征询有关专家意见,对指标进行调整,并采用德尔菲法确定指标权重,详见表 1。

表 1 徐州市生态环境—社会经济系统综合评价指标体系

子系统	一级指标	权重	二级指标	权重
生态环境系统	生态环境	0.4	降雨量	0.25
			人口密度	0.43
			自然灾害频度	0.22
			绿地覆盖率	0.10
			土地利用结构	0.21
	自然资源	0.6	人均耕地面积	0.25
			全社会用电量	0.28
			水资源总量	0.26
			用水普及率	0.25
			中小学在校学生	0.18
社会经济系统	社会文化	0.5	卫生设施	0.28
			专业技术人员	0.29
			人均 GDP	0.40
	产业态势	0.5	第二、三产业比重	0.38
			非农人口比	0.11
			投入产出比	0.11

### 2.3 数据来源与处理方法

数据跨度 28 年(1978—2005),社会经济数据源自《徐州市 2008 统计年鉴》<sup>[6]</sup>、《徐州市 2009 统计年鉴》<sup>[17]</sup>,生态环境数据主要来自《沂沭泗河道志》<sup>[18]</sup>、《徐州水利志》<sup>[19]</sup>。为了使数据更具有可比性,更符合生态环境—社会经济系统演变的实际状况,对指标体系进行主成分和独立性分析,进行数据标准化与归一化,形成信息丰富而又相对独立的指标评价体系。首先采用极差标准化的方法对数据进行无量纲化处理,计算公式为:

$$x'_i = (x_i - x_{\min}) / (x_{\max} - x_{\min})$$

$$y'_i = (y_i - y_{\min}) / (y_{\max} - y_{\min})$$

然后,计算各指标间的相关系数,结合空间变异度公式:  $C_V = (y_{\max} - y_{\min}) / y_i$

分析指标主成份性与独立性,找出相关性小于临界值的独立指标,并利用上一节的公式进行耦合度计算。

## 3 结果分析与讨论

### 3.1 综合指数变化趋势

计算徐州市生态环境—社会经济系统综合指数,利用演化方程,通过 Matlab 进行非线性拟合,得到:

$$V_A = \frac{dA}{dt} = 1.055E - 6t^5 - 7.979E - 5t^4 + 0.0022t^3 - 0.02633t^2 + 0.01444t + 0.05059$$

$$V_B = \frac{dB}{dt} = 1.162E - 6t^5 - 7.777E - 5t^4 + 0.00183t^3 - 0.01926t^2 + 0.1113t + 0.1561$$

上述两式中  $t$  的取值范围为 1—28,对应年份为 1978—2005 年。

从图 2 可以看出,徐州市生态环境系统综合指数经历了一个先下降再上升的阶段,而社会经济综合指数虽然在 20 世纪 80 年代初波动剧烈,但时间较为短暂,总的看来是稳步上升的;1997 年之前,生态环境系统波动,但整体为上升趋势,这一时期,社会经济系统变化大于生态环境系统;在 1997—2002 年,生态环境系统变化剧烈,综合指数迅速下降,远远低于社会经济综合指数;直到 2002 年后,生态环境指数才逐渐回升,生态环境系统发展速度加快。

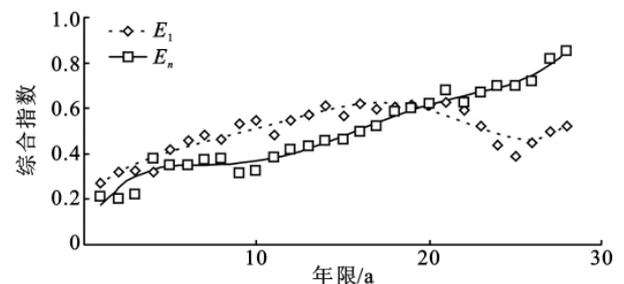


图 2 徐州市生态环境—社会经济系统综合指数变化情况

### 3.2 各年份耦合度分析

根据拟合曲线以及耦合度计算公式得到各个年份的耦合度(表 2)。从表 2 中可以看出,28 a 的徐州市生态环境系统与社会经济系统的耦合度分布在  $-90^\circ \sim 90^\circ$ 。

(1) 当  $\theta \in (0^\circ, 90^\circ)$  时,社会经济系统与生态环境系统处于协调化发展阶段。其中,  $\theta$  接近  $0^\circ$  时,社会经济发展滞后,生态环境资源利用不足;当  $\theta$  接近或等于  $90^\circ$  时,社会经济系统对生态环境的利用超过了生态环境的承载力,或对生态环境资源利用结构不合

理,系统进一步发展潜在危机;当 $\theta=45^\circ$ 时,复合系统均衡发展。基于这种情况,这一阶段又可以进一步划分为 3 个阶段:当 $\theta\in(0^\circ,30^\circ)$ 时,社会经济发展缓慢;当 $\theta\in(30^\circ,60^\circ)$ 时,生态环境—社会经济系统发展较为均衡;当 $\theta\in(60^\circ,90^\circ)$ 时,生态环境—社会经济系统处于危机潜伏期。

表 2 各年份徐州市生态环境系统与 socioeconomic 系统的耦合度

年份	$E_i$ 演化 速度 $V_A$	$E_n$ 演化 速度 $V_B$	$\tan\theta$	$\theta/(^\circ)$
1978	0.0980	0.0780	0.7960	38.54
1979	0.0630	0.0540	0.8571	40.62
1980	0.0376	0.0372	0.9894	44.72
1981	0.0203	0.0266	1.3103	52.68
1982	0.0095	0.0207	2.1790	65.38
1983	0.0039	0.0182	4.6667	77.94
1984	0.0024	0.0180	7.5000	82.45
1985	0.0037	0.0190	5.1351	79.02
1986	0.0070	0.0207	2.9571	71.35
1987	0.0114	0.0221	1.9386	62.75
1988	0.0162	0.0229	1.4136	54.75
1989	0.0208	0.0225	1.0817	47.27
1990	0.0247	0.0208	0.8421	40.12
1991	0.0276	0.0177	0.6413	32.69
1992	0.0294	0.0130	0.4422	23.87
1993	0.0297	0.0007	0.0236	1.35
1994	0.0291	-0.0001	-0.0034	-0.20
1995	0.0273	-0.0076	-0.2784	-15.56
1996	0.0248	-0.0152	-0.6129	-31.52
1997	0.0220	-0.0221	-1.0046	-45.15
1998	0.0019	-0.0275	-14.474	-86.09
1999	0.0018	-0.0303	-16.833	-86.64
2000	0.0018	-0.0295	-16.389	-86.55
2001	0.0202	-0.0237	-1.1733	-49.58
2002	0.0266	-0.0115	-0.4323	-23.39
2003	0.0378	0.0085	0.2247	12.68
2004	0.0553	0.0382	0.6908	34.65
2005	0.0804	0.0792	0.9851	44.59

据表 2 显示,1978—1981 年、1988—1991 年、2004—2005 年三个时期,徐州市生态环境—社会经济系统发展较为均衡,1982—1987 年为徐州市生态环境—社会经济系统危机潜伏期,1992—1993 年以及 2003 年为徐州市社会经济低速发展时期,这其中与 1982 年、1983 年和 1991 年发生的洪水灾害不无关系。1992—1993 年是全国经济飞速发展的时期,而徐州市社会经济发展速度低于全国水平,社会经济发展起步慢,生态环境资源尚未得到充分利用。

(2) 当 $\theta\in(-90^\circ,0^\circ)$ 时,人为地控制经济增长速度,社会经济发展速度降低,促使生态环境重建与修复,重建濒临崩溃的生态环境系统。

从表 2 中可知,1994—2000 年,徐州市生态环境迅速恶化,然而过度的开发、生态资源超量利用并未带来高速、协调的发展,生态环境—社会经济系统濒临崩溃。从 1995 年开始社会经济系统发展速度减缓,通过几年的不懈努力,直到 2001—2002 年,生态环境—社会经济系统恶化的趋势才被逆转,这可能与政策落实有一定的滞后性有关。此后的几年,生态环境—社会经济系统逐步趋向协调、均衡发展。

## 4 结论

(1) 改革开放初期,社会经济尚未得到充分发展,生态资源尚未得到充分利用,因而社会经济与生态环境综合指标表现出共同上升的态势是符合实际情况的;进入 20 世纪 90 年代后期,尤其是新世纪后,社会经济高速发展,生态环境恶化严重。之后,徐州市为创建生态城市、文明城市,大力治理环境,生态环境恶化趋势得到了有效遏制,每年空气良好以上的天数逐年增加。据统计,徐州市区环境空气质量近年呈现连续攀升的趋势:空气质量良好以上天数分别为 2003 年 109 d、2004 年 220 d、2005 年跃升至 310 d、2009 年徐州市市区全年空气优良天数达 322 d,空气优良天数占全年的 88.2%<sup>[20]</sup>。至此,徐州空气优良天数已连续 5 a 超过 300 d。这一统计数据与生态环境综合指数在经历一段下降后又逐步回升的趋势是相吻合的。

(2) 由于历史数据的收集与获取困难,且统计年鉴年际间统计指标也不尽相同,本文只选取了徐州市改革开放以后至 2005 年间的逐年份数据构建模型,如果能有更多年份、更详尽的相关数据,相信拟合曲线与综合指数的计算与分析结果更能如实地反映耦合系统的演变过程。

(3) 28 a 的综合指数分析,并没有反映更大时间尺度上的动态变迁,综合指标波动的情况是可能出现的。且从时间大尺度上来看,历史上徐州的生态环境总体表现为:近代不如古代,明清后不如明清前。但 1855 年黄河改道北行后,徐州乃至徐淮地区生态环境相对稳定;建国以后,特别是改革开放以来,许多保护生态环境政策出台,水利设施的兴建,该地区生态环境得到了进一步的修复。因而,总体上呈“协调发展—恶化—修复”的过程。

纵观徐州市生态经济系统的演变历程,都是以人类的需求为出发点干预、安排经济生产,进行区域资源的配置。在不同的历史时期,人口数量、需求总量不同,所处的经济条件也不同,人们对生态系统遭受的破坏程度也不尽相同,社会经济系统与生态环境系

统的矛盾也相应地加剧或缓解。通过对徐州市生态环境—社会经济系统耦合态势的研究分析,我们可以总结出一些经验教训:

生态环境与社会经济结构之间有着密切关系,两者相互依存,共同发展。合理的社会结构是生态环境得以有序发展的保证,不合理的社会结构会进一步加剧人们对自然资源的破坏和生态环境的污染。社会经济的发展必须遵循生态环境结构变化的规律,不能以牺牲生态环境为代价换取,从生态环境整体考虑,建立起一种良好的生态环境结构,维持良性循环的物质、能量转换系统,把人类活动对自然的扰动控制在生态环境结构变动所能承受的范围内。

此外,生态环境的保护需要稳定的社会环境与国家政策的引导保护。促进或制约徐州市社会经济发展的因素主要来自两个方面:一是社会环境因素;一是自然环境因素。其中社会环境因素往往起着决定性的作用。政府的权利是社会公共权力的让位,应制定有效政策,积极引导,将生态环境保护纳入法制化、规范化的发展轨道。同时,应充分利用民间力量改善生态环境,树立生态环境保护的理念,与社会力量共同努力,协作解决生态环境问题。

#### 参考文献:

- [1] Roberto C, Roberta C, Peter N. Towards Sustainable City Policy: An Economy-environment Technology Nexus[J]. *Ecological Economics*, 1998, 24(1):103-118.
- [2] 牛文元. 中国新型城市化报告 2011[R]. 北京:科学出版社, 2011.
- [3] Valerie Illingworth. *The Penguin Dictionary of Physics* [M]. Beijing: Foreign Language Press, 1996: 92-93.
- [4] 乔标, 方创琳. 城市与生态环境协调发展的动态耦合模型及其在干旱区的应用[J]. *生态学报*, 2005, 25(11): 3003-3009.
- [5] 李崇明, 丁烈云. 小城镇资源环境与社会经济协调发展评价模型及应用研究[J]. *系统工程理论与实践*, 2004, 24(11): 134-139.
- [6] 徐州市统计局. 2008 徐州统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2008.
- [7] Li Gaojin, Han Baoping, Qian Chen. Effects of Southward flow of Yellow River on eco-environment of Xu-Huai River Basin[J]. *Agricultural Science & Technology*, 2010, 11(1): 15-18.
- [8] 吴跃明, 张之珩, 朗东锋. 新型环境经济协调度预测模型及应用[J]. *南京大学学报: 自然科学版*, 1996(3): 32-37.
- [9] 黄金川, 方创琳. 城市化与生态环境交互耦合机制与规律性分析[J]. *地理研究*, 2003, 22(2): 211-220.
- [10] Bertalanffy L V. *General System Theory—Foundation, Development, Application (Reversion edition)* [M]. New York: George Beazitler, 1987.
- [11] Thomas B F. Policy, plan and programmed environmental assessment in England, the Netherlands, and Germany: practice and prospects[J]. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 2002, 29(2): 159-172.
- [12] Gayl D N, Michael M L. *Five Cities: Modeling Asian Urban Population-Environment Dynamics* [M]. Oxford, UK: Oxford University Press, 2000.
- [13] 方创琳, 杨玉梅. 城市化与生态环境交互耦合系统的基本定律[J]. *干旱区地理*, 2006, 29(1): 1-8.
- [14] 毕其格, 宝音, 李百岁. 内蒙古人口结构与区域经济耦合的关联分析[J]. *地理研究*, 2007, 26(5): 995-1003.
- [15] 刘耀彬, 宋学锋. 区域城市化与生态环境耦合性分析[J]. *中国矿业大学学报*, 2006, 35(2): 182-187.
- [16] 李芬, 王继军. 黄土丘陵区纸坊沟流域近 70 年农业生态安全评价[J]. *生态学报*, 2008, 28(5): 2380-2387.
- [17] 徐州市统计局. 2009 徐州统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2009.
- [18] 水利部管理局. *沂沭泗河道志* [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1996.
- [19] 滕雅元, 王开林, 王保乾. *徐州水利志* [M]. 北京: 中国矿业大学出版社, 2004.
- [20] 甘晓妹. 徐州日报[EB/OL]. [2010-12-03] [http://sqtg.cnxz.com.cn/xzrb/html/2010-01/01/content\\_360353.htm](http://sqtg.cnxz.com.cn/xzrb/html/2010-01/01/content_360353.htm), 2010.