

# 基于时间序列分析的可持续城市化 综合评价模型及其应用

李崇明

(华中师范大学 管理学院,湖北 武汉 430079)

**摘要:**基于复合生态系统的思想,对城市化从发展度、持续性与协调性3个方面进行了分析;利用多元统计分析分析与时间序列分析,建立了基于发展、持续与协调的三维可持续城市化综合评价模型;利用评价模型对厦门市2000—2007年的城市化发展进行了评价。结果表明,厦门市2000—2007年的城市化水平是不断提高的,但从持续性和协调性看,这种城市化状态是不持续的,不持续的原因主要是由于厦门市突出的城乡二元结构导致资源环境发展与社会经济发展不相协调,在社会经济保持快速平稳发展的同时,资源环境的发展却呈衰退趋势。

**关键词:**可持续城市化;发展性;持续性;协调性

**DOI:**10.3969/j.issn.1001-7348.2010.24.012

**中图分类号:** F291.1; F222

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1001-7348(2010)24-0049-04

## 0 引言

城市化作为社会、经济、资源与环境的复合生态系统<sup>[1]</sup>,每个子系统的变化都会引起其它子系统的变化。城市化复合生态系统的可持续发展作为由多个子系统所集成的具有特定目标的大系统,各子系统之间势必相互关联,相互作用。因此,在评价城市化发展状态时,只有充分考虑4个子系统之间的相互影响,建立一个能够体现出所有子系统之间相互关系的模型,才能正确地多个子系统之间的发展协调性进行分析。同时,子系统之间的协调发展最终体现为整个区域的持续发展,因而可持续城市化作为一种状态表明各子系统或各因素之间,子系统的结构、功能及目标之间的融合关系,需要在协调、持续的基础上对系统整体的发展进行描述。本文在分析城市化特点的基础上,建立了可持续城市化的综合评价模型,并对厦门市的城市化发展进行了综合评价,验证了模型的科学性。

## 1 可持续城市化综合评价模型

### 1.1 可持续城市化的发展度

从时间序列看,可持续城市化是一个多因素动态演化

的过程,反映可持续城市化的时间序列指标如下:

$$x_i(t) = \{x_{i1}(t), x_{i2}, \dots, x_{ij}(t)\}$$

$i=SC, EC, RE, EN$ ,分别为社会、经济、资源和环境子系统; $i=k, l, m, n$ ,分别为社会、经济、资源与环境4个子系统的指标数。

利用公式

$$X_i(t) = \sum_{j=1}^n \omega_j x_{ij}(t) \quad (1)$$

构造各子系统的状态综合指数序列  $X_i(t)$ ,  $\omega_j$  为  $i$  子系统的第  $j$  个指标的权重。

根据  $X_i(t)$  的分布情况构造函数:

$$S_i(t) = f_i(X_i(t)) \quad (2)$$

$i=SC, EC, RE, EN$ ,  $f_i$  是关于  $X_i(t)$  的某种测度(如将子系统的指标全部统一为正向指标,则  $S_i(t)$  是描述  $i$  子系统发展状态的度量序列),可以得到反映城市化4个子系统的状态综合指数序列,利用这4个序列,用相同的方法构造出城市化系统的综合描述函数:

$$U(t) = F(\omega_{SC} X_{SC}(t), \omega_{EC} X_{EC}(t), \omega_{RE} X_{RE}(t), \omega_{EN} X_{EN}(t)) \quad (3)$$

$\omega_i$  为  $i$  子系统在城市化中的权重,  $0 < \omega_i \leq 1$ ,  $\sum_{i=1}^4 \omega_i = 1$ ;

$U(t)$  为城市化状态的综合指数序列。

显然,利用  $U(t)$  可以描述  $t$  时刻城市化的发展水平。

收稿日期:2010-07-15

基金项目:教育部人文社会科学研究项目(09YJA630046)

作者简介:李崇明(1971—),男,山东淄博人,博士,华中师范大学管理学院副教授,中科院城市环境研究所博士后,研究方向为土地资源管理与城镇化建设。

由于可持续城市化是一种过程,而不是一个状态,因而需要建立一个能够反映可持续城市化过程的时间序列  $SU(t)$ :

$$SU(t) = G(U(t)) \tag{4}$$

$G$  是  $U(t)$  的一种均值函数,反映所描述阶段城市化的状态趋势。

对于任意时刻  $t$ , 若有

$$SU(t+1) > SU(t) \tag{5}$$

则认为城市化状态在  $t$  时刻是发展的。

### 1.2 可持续城市化的协调度

对城市化而言,协调度表示城市经济子系统、社会子系统、环境子系统在发展中相互和谐的程度。可持续城市化的协调则是一种长久的相互促进的关系,这种关系在城市化过程中表现为各子系统的加和性,也就是当各系统间相互协调时,可持续城市化复合系统发展状态大于各子系统发展状态累加之和。因此,对于城市化各子系统的状态与城市化系统状态,若有

$$SU(t) - \sum_{i=1}^4 \omega_i S_i(t) > 0 \tag{6}$$

则其发展在  $t$  时刻是协调的,  $\omega_i$  为社会、经济、资源与环境在城市化中的权重。

协调性主要度量各子系统之间的协调程度及其相互关系在城市化过程中的综合体现,利用公式(6)可以明确城市化过程中的总体协调情况以及变化趋势,只要总体协调趋势满足公式(6),则认为城市化中的协调性是单调递增的,若对于任意  $\epsilon$ , 有

$$SU(t+\epsilon) - \sum_{i=1}^4 \omega_i S_i(t+\epsilon) > SU(t) - \sum_{i=1}^4 \omega_i S_i(t) \tag{7}$$

则表明协调趋势是持续的。

由于城市化系统状态  $SU(t)$  难以直接获得,因此通常用城市化某一段时间内样本数据的拟合方程来替代状态演化方程。

### 1.3 可持续城市化的持续度

持续性是指某种状态的延续。对可持续城市化而言,持续性则是指城市发展状态的延续,对于城市化发展演化状态  $SU(t)$ , 持续发展则意味着对任意时刻  $t$ , 都有

$$\frac{d(SU(t))}{dt} > 0 \tag{8}$$

因此,公式(8)既体现了持续性,也体现了发展性。

公式(8)所描述的持续是指城市化的发展不会发生“中断”。“中断”的含义并不是指城市化的状态不发生变化,而是指城市化的状态不能在原来的基础上继续增长。在城市化过程中,出现中断的情况有两种:一是外界环境发生较大的变化,城市化系统的自组织作用无法抵抗环境变化对结构有序性的破坏,导致系统不能向更加有序的状态发展;二是城市化内部的复杂关系发生变化,随时间推移,子系统之间的协调性不断变化,当内部关系变化导致子系统间的发展不协调时,城市化系统的发展出现停滞。因此,在可持续城市化的过程中,若在某时刻,存在

$\frac{d(SU(t))}{dt} \leq 0$ , 则意味着  $t$  时刻城市化的发展状态有所波动,其长期趋势是不持续的。

### 1.4 可持续城市化的综合评价

由持续性描述可知

$$\frac{d(SU(t))}{dt} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{SU(t+\Delta t) - SU(t)}{\Delta t} > 0 \tag{9}$$

由于  $\Delta t > 0$ , 因此

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} (SU(t+\Delta t) - SU(t)) > 0 \tag{10}$$

将其代入协调性公式得到,可持续城市化综合评价指数

$$SD = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} (SU(t+\Delta t) - \sum_{i=1}^4 \omega_i S_i(t)) > 0 \tag{11}$$

$SD$  在评价可持续城市化时没有绝对数值的意义,但当  $SD > 0$  时,城市化是可持续的,而且  $SD$  数值的上升或降低代表着城市化可持续性的增强或减弱。

$SD$  描述的是整个城市化过程的状态,即使城市化的过程是不持续的,在城市化的实际过程中也难以控制  $SD$ , 而是需要从子系统及其相互关系中找到导致城市化不可持续的原因。对于子系统讲,只要子系统间的发展是协调的,城市化的过程就是可持续的。因此,若有:

$$\frac{dx(t)}{dt} - \sum_{j=1}^{n-1} \frac{d(S_j(t))}{dt} \geq \frac{dS_i(t)}{dt}, (i \neq j) \tag{12}$$

则称  $i$  子系统与其它子系统间是协调发展的。

因此,对于实际城市化系统,按李雅普诺夫第一近似定理,可以在各指标样本数据点附近对其可持续性进行评价,于是可持续城市化满足

$$\frac{d(SU(t))}{dt} > 0 \text{ 且 } SU(t) - \sum_{i=1}^4 \omega_i S_i(t) > 0 \tag{13}$$

$SU(t), S_i(t)$  为利用各指标样本数据得到的城市化系统与各子系统满足一定拟合精度的拟合函数。

## 2 实证研究

本文结合前面的分析,对厦门市可持续城市化进行综合指数评价。依据前面所建立的可持续城市化综合评价体系,结合厦门市城市化发展的特点与现状,建立厦门市可持续城市化综合评价指标体系。通过查阅厦门市统计年鉴、调研等方式得到各指标 2000—2007 年的数据,如表 1。

### 2.1 数据处理

为消除各指标的量纲,采用初值化的方式将各指标数据标准化(所有数据除以基年数据),同时为得到各子系统的发展状态,采用综合指数来描述各子系统及厦门市 2000—2007 年的发展状态。由于对可持续城市化来讲,居民消费价格指数、万元产值用水量与万元产值耗电量为负效指标,在描述可持续城市化时需要将其正效化(取倒数),在各指标与各子系统等权重的前提下,由公式(1)得到各子系统的发展指数与厦门城市化综合指数如表 2。

表 1 厦门可持续城市化综合评价体系及数据

	指标	年份								
		2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	
经济子系统	经济总量	人均 GDP(元)	24 481	26 460	30 297	35 008	40 350	44 737	50 129	57 113
	经济结构	第二产业产值占 GDP 比例(%)	52.8	53.13	55.83	55.5	55.75	54.86	53.87	53.1
		第三产业产值占 GDP 比例(%)	42.96	42.92	40.73	42.07	41.97	43.05	44.53	45.57
城市基础设施	人均道路面积(m <sup>2</sup> )	15.06	8.39	8.36	13.79	13.79	15	16.18	16.23	
	城市燃气普及率(%)	97.1	74.12	84.17	96.93	100	100	100	100	
	自来水普及率(%)	99.12	59.75	59.12	96.93	93.37	100	100	99.96	
社会保障	每万人口卫生技术人员(人)	34	38	39	40	44	47	55	56	
	就业率(%)	50.64	50.44	49.77	51.75	54.77	62.01	65	61.95	
	城市居民人均可支配收入(元)	10 812	11 364	11 767	12 915	14 442	16 402	18 513	21 502	
社会子系统	居民生活水平	居民消费价格指数(%)	106.3	98.5	98.4	100.4	103.1	101	100.8	104.6
	科技教育水平	人均居住面积(m <sup>2</sup> )	14.52	18.5	18.5	19.95	19.6	21.36	22.93	23.94
		财政性教育经费支出占 GDP 比重(%)	1.56	1.7	1.45	1.46	1.29	1.06	1.4	1.95
人口规模	科技活动经费占 GDP 比重(%)	0.47	0.32	0.29	0.29	0.31	0.35	0.36	0.46	
	常住人口(万人)	205	211	214	217	220	225	233	243	
	人口自然增长率(%)	3.68	5.15	4.92	4.37	5.7	5.59	7.52	8.45	
人口结构	非农人口比例	32.3	33.04	45	38.59	41.38	42.74	46.88	46.98	
	建成区绿化覆盖率(%)	35.77	34.94	34.43	36.06	36.9	36.82	36.59	36.34	
	人均公共绿地面积(m <sup>2</sup> )	9.89	5.05	5.39	13.35	13.68	13.53	13.57	13.56	
环境子系统	污染控制	污水处理率(%)	62.63	59.74	60.86	92.11	76.55	77.03	82.89	84.71
	资源存量	人均耕地面积(m <sup>2</sup> )	254.1	248.2	232.1	213.6	209.4	195	154.1	142.5
资源子系统	利用效率	万元产值用水量(t)	38.52	36.95	32.87	27.05	22.28	23.59	22.07	21.11
		万元产值耗电量(KWH)	863.4	892.6	910.4	906.0	855.2	893.8	883.8	856.6

数据来源:厦门市统计年鉴(注:每万人口卫生技术人员=卫生技术人员/常住人口总量;就业率=劳动人口/常住人口总量;水耗、能耗用当年消耗量/GDP 得到)。

表 2 厦门各子系统的发展指数与城市化综合指数

指标	年份							
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
经济指数	1	1.028 7	1.081 0	1.153 5	1.227 0	1.289 5	1.368 2	1.466 5
社会指数	1	0.954 7	0.968 3	1.018 4	1.055 5	1.083 5	1.186 2	1.252 8
资源指数	1	0.995 5	1.011 2	1.072 6	1.187 5	1.122 1	1.109 6	1.131 2
环境指数	1	0.813 8	0.826 4	1.276 2	1.212 4	1.209 1	1.239 5	1.246 5
城市化指数	1	0.948 2	0.971 7	1.130 2	1.170 6	1.176 1	1.225 9	1.274 2

2.2 曲线拟合

本文利用最小二乘法对厦门市 2000—2007 年城市化及各子系统的发展趋势进行拟合,并用拟合有效度 R(各个点的拟合精度的平均值)来衡量拟合曲线的精度:

$$R = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(1 - \frac{|\hat{y}_i - y_i|}{|y_i|}\right); \quad (14)$$

其中  $\hat{y}_i = X_i(t) = \sum_{j=1}^n \tau w_j x_{ij}(t)$ ,  $y_i$  为拟合值,当拟合精度 R 达到一定要求时,认为拟合方程曲线可代表系统总体演化曲线,可用拟合曲线来代替实际变化曲线描述发展演化趋势。

由表 2 看出,厦门市 2000—2007 年城市化大致呈现出立方曲线变化规律,经济子系统呈直线规律发展,社会子系统的发展大致呈指数曲线,资源呈抛物线趋势,环境则为立方曲线趋势,利用最小二乘法分别按其变化规律进行曲线拟合,得到拟合方程及拟合精度如下:

经济子系统发展趋势为直线  $X_{EC}$ ,拟合方程为:

$$X_{EC} = 0.072T + 0.942$$

(拟合精度为 R=0.996)

社会子系统的发展大致呈指数曲线  $X_{SC}$ ,拟合方程为:

$$X_{SC} = 0.89t^{0.046} \text{ (拟合精度为 0.979)}$$

资源变化趋势为抛物线  $X_{RE}$ ,拟合方程为:

$$X_{RE} = 0.897 + 0.09t - 0.008t^2 \text{ (拟合精度为 0.867)}$$

环境发展趋势服从立方曲线  $X_{EN}$ ,拟合方程为:

$$X_{EN} = 0.451 + 0.363T - 0.053t^2 + 0.002t^3$$

(拟合精度为 0.893)

厦门市城市化趋势  $SU(t)$ ,拟合方程为:

$$SU(t) = 0.813 + 0.131t - 0.014t^2 + 0.001t^3$$

(拟合精度为 0.972)

2.3 厦门可持续城市化综合评价

利用拟合方程得到各子系统以及厦门城市化系统总体演化趋势值(拟合方程值,作为系统演化的理想值),如表 3。

由于本文对各指标与各子系统所作的是等权重处理,公式(11)变形为:

$$SD = SU(t) - \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 S_i(t) > 0 \quad (15)$$

表3 厦门各子系统演化发展指数与城市化综合指数

年份	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
经济指数	1	1.014 0	1.086 0	1.158 0	1.230 0	1.302 0	1.374 0	1.446 0
社会指数	1	0.890 0	0.918 8	0.936 1	0.948 6	0.958 4	0.966 5	0.973 3
资源指数	1	0.979 0	1.045 0	1.095 0	1.129 0	1.147 0	1.149 0	1.135 0
环境指数	1	0.763 0	0.981 0	1.117 0	1.183 0	1.191 0	1.153 0	1.081 0
城市化指数	1	0.931 0	1.027 0	1.107 0	1.177 0	1.243 0	1.311 0	1.387 0

由公式(15)得到厦门市可持续城市化的评价指数SD, 见表4。

表4 厦门市可持续城市化评价指数

年份	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
城市化指数	1	0.931 0	1.0270	1.107 0	1.177 0	1.243 0	1.311 0	1.387 0
子系统综合指数	1	0.948 2	0.971 7	1.130 2	1.170 6	1.176 1	1.225 9	1.274 2
SD	1	-0.017 2	0.055 3	-0.023 2	0.006 4	0.067 0	0.085 1	0.112 8

\* 系统综合指数为实际指数值,城市化指数为拟合方程值

对各子系统及城市化演化规律函数求导,得到各子系统及城市化发展演化速度如表5。

表5 各子系统及城市化发展演化速度

年份	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
经济	1	0.072	0.072	0.072	0.072	0.072	0.072	0.072
社会	1	0.040 9	0.021 1	0.014 4	0.010 9	0.008 8	0.007 4	0.006 4
资源	1	0.074 0	0.058 0	0.042 0	0.026 0	0.010 0	-0.006	-0.022
环境	1	0.263 0	0.175 0	0.099 0	0.035 0	-0.017	-0.057	-0.085
城市化	1	-0.146	-0.417	-0.682	-0.941	-1.194	-1.441	-1.682

由公式(12)得到各子系统的协调发展指数如表6。

表6 厦门市各子系统发展协调指数

指标	年份							
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
经济	-0.272 0	-0.501 7	-0.733 8	-0.965 0	-1.194 6	-1.422 5	-1.648 5	-0.272 0
社会	-0.282 3	-0.518 7	-0.753 0	-0.985 3	-1.215 7	-1.444 0	-1.670 3	-0.282 3
资源	-0.271 3	-0.506 4	-0.743 8	-0.980 3	-1.215 3	-1.448 5	-1.679 8	-0.271 3
环境	-0.208 3	-0.467 4	-0.724 8	-0.977 3	-1.224 3	-1.465 5	-1.700 8	-0.208 3

### 3 结语

由表4看出,厦门市城市化状态在2000—2007年的总体趋势是在波动中上升,但这种评价是一种宏观层面上的长期趋势评价,是对城市化可持续性的相对评价,其标准是无论城市化基础现状是否符合可持续标准,只要其发展趋势是可持续的,其评价结果就是持续的。对于复杂系统来讲,其演化规律是在长期变化中体现出来的,在短时间内难以显现,因而用短期数据来描述长期趋势也是不科学的,但短期状态能决定和改变复合系统的演化方向,因而对于可持续城市化复合生态系统,要对其状态进行准确评价,不仅要考虑其长期变化趋势,还要结合其现状与特点。由于城市化状态是由各子系统的状态及其关系决定的,当城市化状态为可持续时,子系统之间是协调的,满足公式(12)。由表3、表4、表5及表6看出,厦门市2000—2007年的城市化水平是不断提高的,但从持续性和协调性看,这种城市化状态是不持续的。不持续的原因主要是由于厦门市独特的地理环境,岛内与岛外城乡二元结构矛盾突出,导致整个厦门市的资源环境发展与社会经济发展不相

协调,在社会经济保持快速平稳发展的同时,资源环境的发展却出现了衰退趋势。

### 参考文献:

- [1] 中国科学院可持续发展研究组. 中国可持续发展战略报告[M]. 北京: 科学出版社, 2002.
- [2] 李崇明, 丁烈云. 小城镇可持续发展研究: 内涵与评价[J]. 华中科技大学学报, 2004(2): 43-46.
- [3] 周敏, 吴瑞明. 可持续发展系统的协调性特征及其描述[J]. 科学管理研究, 2000(1): 59-61.
- [4] 袁旭梅, 韩文秀. 复合系统协调及其判定研究[J]. 天津纺织工学院学报, 1998(1): 16-21.
- [5] 邱东. 多指标综合评价方法的系统分析[M]. 北京: 中国统计出版社, 1991.
- [6] 曾珍香, 傅慧敏. 发展系统的持续性研究[J]. 河北工业大学学报, 1999(3): 6-10.
- [7] 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(11): 134-139.

(责任编辑: 高建平)