

文章编号:1001-5132 (2008) 02-0263-06

沿海城市生态环境质量动态评价系统研究

——以宁波市为例

李加林

(宁波大学 海岸带资源与环境研究中心, 浙江 宁波 315211)

摘要:城市生态环境质量评价是制定城市社会经济发展规划和建设生态城市的重要依据。文章以宁波为例,用层次分析法建立沿海城市生态环境质量动态评价系统,并对宁波市 1995~2004 年的城市生态环境质量进行动态评价。结果表明,在研究时段内,宁波市生态环境质量综合评价指数有一定的波动,但总体上表现为不断上升趋势,生态环境质量状态也相应地由较差变为良好。

关键词:城市生态环境;评价指标体系;动态变化;综合评价

中图分类号:X821

文献标识码:A

随着城市化过程的深入,城市生态问题日显突出,并影响着城市的可持续发展。因此,及时、准确地了解和分析城市生态环境质量状况及人类活动对城市生态环境质量的影响,对促进城市的可持续发展具有十分重要的意义。20 世纪 90 年代以来,随着城市生态环境问题的加剧,城市生态环境质量研究逐渐引起我国学者的重视^[1-3],并提出一系列评价指标体系^[4]。但已有研究较多地局限在静态层面,涉及动态评价的较少^[5]。本文拟对沿海城市生态环境质量动态评价进行有益探讨。

宁波地处东海之滨,是长江三角洲南翼重要的经济中心城市和重化工业基地。全市陆域面积 9 365 km²,总人口 560.4 万人,2006 年全市实现国内生产总值 2 864.5 亿元,人均 GDP 达 51 285 元,成为国内最具竞争力城市之一。但是,在社会经济快速发展过程中也存在着自然资源短缺、生态环境恶化等问题,并成为制约宁波城市进一步发展的

“瓶颈”。加强城市生态环境质量评价及其动态监测,可为宁波城市可持续发展战略的实施提供科学依据,同时也可为浙江其他沿海城市生态环境质量评价研究提供借鉴。

1 研究方法 with 评价程序

本研究运用运筹学家 Saaty T L 于 20 世纪 70 年代提出的多层次分析决策方法(AHP法)进行沿海城市生态环境质量动态评价^[6]。其基本思路是将所评价的沿海城市生态环境质量特征视做一个大系统,通过对该系统全部组成因素的分析,划分出各因素之间相互联系的有序层次,然后请专家对各层次各个因素的重要性进行定量评分,进而根据数学模型,计算出每一层次全部因素的相对重要性权重。

生态环境质量动态评价的基本程序首先是确

收稿日期:2007-07-03.

宁波大学学报(理工版)网址:<http://3xb.nbu.edu.cn>

基金项目:浙江省社科联基金(05Z12);宁波市自然科学基金(2006A610077);宁波大学重点学科课题(XK0611036)。

作者简介:李加林(1973-),男,浙江台州人,博士后/副教授,主要研究方向:海岸带环境演变与资源开发。E-mail: nbnj2001@163.com

定宁波城市系统为主体生态系统,分析制约城市生态环境质量的限制因素,并根据其相互关系、影响力、信息量与可行性等来确定主导因素;再通过对主导因素相关性的分析,确定评价指标体系,赋予权重,再用模糊综合评判和线性加权求和法进行评价。

2 沿海城市生态环境质量评价指标体系构建

评价指标选取的合适与否,直接影响到评价结果的准确性和可靠性。在构建沿海城市生态环境

质量评价指标体系时,以科学性、主导性、可比性、实用性、可量化性和动态导向性等原则,选取最能反映当地生态环境质量及变化状况的环境因素。

指标体系的层次结构设计,以反映城市生态系统中社会、经济和环境协调发展现状和趋势,为城市发展决策提供参考为目的。结合宁波市生态环境质量现状、经济和社会发展水平,参考国内外相关评价指标体系,建立沿海城市生态环境质量评价指标体系。该指标体系是一个由目标层、准则层、要素层和指标层构成的递阶层次结构(表 1)。

目标层是反映城市生态环境质量的综合指标,用城市生态环境质量综合指数 A 表示。它由用来衡

表 1 宁波城市生态环境质量评价指标体系及其权重

目标层	准则层		要素层		指标层	
	权重	内容	权重	内容	权重	内容
生态环境 质量综合 指数 A	0.35	经济发展 B_1	0.60	经济总量指数 C_1	0.35	人均国内生产总值 D_1
					0.15	人均粮食产量 D_2
					0.25	人均社会消费品零售总额 D_3
					0.25	实际利用外资 D_4
					0.40	GDP 年均增长率 D_5
					0.30	社会消费品零售总额年均增长率 D_6
	0.20	社会进步 B_2	0.40	经济增长指数 C_2	0.30	地方财政收入年均增长率 D_7
					0.30	人口自然增长率 D_8
					0.35	非农人口比重 D_9
					0.35	从业人口比重 D_{10}
					0.20	职工平均工资 D_{11}
					0.20	农民人均纯收入 D_{12}
	0.20	环境支撑 B_3	0.60	生活质量指数 C_4	0.15	恩格尔系数 D_{13}
					0.15	电话普及率 D_{14}
					0.15	人均生活用电量 D_{15}
					0.15	每千人拥有医生数 D_{16}
					0.40	工业废水排放量 D_{17}
					0.30	SO ₂ 排放量 D_{18}
	0.25	可持续发展能力 B_4	0.40	环境污染指数 C_5	0.30	固体废物生产量 D_{19}
					0.25	工业废水排放达标率 D_{20}
0.25					固体废物综合利用率 D_{21}	
0.20					城市垃圾无害化处理率 D_{22}	
0.30					城市人均绿地面积 D_{23}	
0.40					水环境协调系数 D_{24}	
0.30					大气环境协调系数 D_{25}	
0.30					固废环境协调系数 D_{26}	
0.50	经济持续指数 C_8	0.50	环境协调系数 C_7	0.30	工业化系数 D_{27}	
				0.30	第三产业化系数 D_{28}	
				0.40	经济结构协调指数 D_{29}	
				0.30		

量经济发展 B_1 、社会进步 B_2 、环境支撑 B_3 和可持续发展能力 B_4 这 4 个指标构成。即

$$A = \{B_1, B_2, B_3, B_4\}.$$

准则层 B_1 为经济发展指标, 由经济总量指数 C_1 和经济增长指数 C_2 组成, 主要反映宁波市的经济水平, 即 $B_1 = \{C_1, C_2\}$. 其中经济总量指数 C_1 包括人均国内生产总值 D_1 、人均粮食产量 D_2 、人均社会消费品零售总额 D_3 和实际利用外资 D_4 这 4 项具体指标. 经济增长指数 C_2 包括 GDP 年均增长率 D_5 、社会消费品零售总额年均增长率 D_6 、地方财政收入年均增长率 D_7 .

准则层 B_2 为社会进步指标, 由人口指数 C_3 、生活质量指数 C_4 组成, 主要反映宁波城市社会进步情况, 即 $B_2 = \{C_3, C_4\}$. 其中人口指数 C_3 包括人口自然增长率 D_8 、非农人口比重 D_9 、从业人口比重 D_{10} ; 生活质量指数 C_4 包括职工平均工资 D_{11} 、农民人均纯收入 D_{12} 、恩格尔系数 D_{13} 、电话普及率 D_{14} 、人均生活用电量 D_{15} 、每千人拥有医生数 D_{16} .

准则层 B_3 为环境支撑指标, 由环境污染指数 C_5 和环保及质量指数 C_6 构成, 主要反映宁波城市生态系统发展的环境支撑问题, 即 $B_3 = \{C_5, C_6\}$.

表 2 宁波市城市生态环境质量评价指标层评价结果

项目	2004年	2003年	2002年	2001年	2000年	1999年	1998年	1997年	1996年	1995年
人均国内生产总值 D_1	1.00	1.00	0.92	0.81	0.73	0.65	0.61	0.56	0.50	0.39
人均粮食产量 D_2	0.74	0.46	0.58	0.82	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
人均社会消费品零售总额 D_3	1.00	0.95	0.84	0.72	0.72	0.64	0.59	0.54	0.49	0.43
实际利用外资 D_4	0.84	0.69	0.50	0.35	0.25	0.23	0.20	0.22	0.20	0.18
GDP 年均增长率 D_5	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.70	0.85	1.00	1.00	1.00
社会消费品零售总额年均增长率 D_6	0.95	0.85	0.65	0.55	0.84	0.69	0.57	0.76	0.95	0.73
地方财政收入年均增长率 D_7	1.00	1.00	0.61	1.00	1.00	0.89	1.00	0.78	1.00	0.94
人口自然增长率 D_8	1.00	1.00	1.00	1.00	0.97	0.79	1.00	0.67	0.57	0.58
非农人口比重 D_9	0.91	0.88	0.85	0.79	0.75	0.73	0.70	0.66	0.64	0.63
从业人口比重 D_{10}	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
职工平均工资 D_{11}	1.00	1.00	1.00	1.00	0.82	0.70	0.60	0.54	0.45	0.41
农民人均纯收入 D_{12}	0.88	0.78	0.72	0.67	0.63	0.60	0.59	0.57	0.53	0.44
恩格尔系数 D_{13}	0.98	1.00	0.93	0.92	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
电话普及率 D_{14}	1.00	1.00	0.98	0.90	0.76	0.32	0.27	0.21	0.17	0.13
人均生活用电量 D_{15}	0.81	0.87	0.68	0.61	0.57	0.51	0.49	0.46	0.45	0.39
每千人拥有医生数 D_{16}	0.68	0.65	0.61	0.59	0.58	0.58	0.56	0.57	0.55	1.10
工业废水排放量 D_{17}	0.87	0.85	0.88	0.94	0.95	1.00	0.92	0.92	1.00	1.00
SO ₂ 排放量 D_{18}	0.90	0.95	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
固体废物生产量 D_{19}	0.93	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
工业废水排放达标率 D_{20}	0.96	0.97	0.99	0.85	0.72	0.67	0.47	0.38	0.28	0.22
固体废物综合利用率 D_{21}	0.97	0.97	0.92	1.22	0.99	0.99	0.91	0.88	0.85	0.81
城市垃圾无害化处理率 D_{22}	0.92	0.91	0.88	0.85	0.85	0.82	0.77	0.74	0.71	0.68
城市人均绿地面积 D_{23}	0.95	0.84	0.72	0.57	0.67	0.51	0.48	0.40	0.06	0.05
水环境协调系数 D_{24}	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.68	1.00	1.00
大气环境协调系数 D_{25}	1.00	0.96	1.00	0.76	0.64	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
固废环境协调系数 D_{26}	0.96	1.00	1.00	0.35	0.80	0.66	1.00	1.00	1.00	1.00
工业化系数 D_{27}	1.00	0.99	0.75	0.40	0.56	0.32	0.28	0.60	1.24	5.22
第三产业化系数 D_{28}	0.88	0.77	0.58	0.69	0.61	0.31	0.54	0.62	0.93	3.22
经济结构协调指数 D_{29}	0.93	0.96	0.98	0.98	0.91	0.90	0.90	0.84	0.80	0.77

表3 宁波市城市生态环境质量评价要素层评价结果

	2004年	2003年	2002年	2001年	2000年	1999年	1998年	1997年	1996年	1995年
经济总量指数 C1	0.74	0.66	0.61	0.57	0.55	0.51	0.48	0.46	0.43	0.38
经济增长指数 C2	0.54	0.46	0.44	0.43	0.45	0.39	0.4	0.41	0.4	0.39
人口指数 C3	0.57	0.52	0.45	0.39	0.42	0.34	0.33	0.38	0.4	0.35
生活质量指数 C4	0.57	0.53	0.41	0.44	0.46	0.38	0.39	0.41	0.47	0.43
环境污染指数 C5	0.59	0.58	0.49	0.53	0.57	0.46	0.51	0.48	0.53	0.49
环保及质量指数 C6	0.58	0.56	0.47	0.5	0.53	0.47	0.49	0.43	0.48	0.43
环境协调系数 C7	0.59	0.58	0.52	0.57	0.56	0.51	0.55	0.47	0.48	0.47
经济持续指数 C8	0.59	0.58	0.58	0.57	0.53	0.48	0.49	0.43	0.4	0.39

表4 宁波市城市生态环境质量评价准则层评价结果

	2004年	2003年	2002年	2001年	2000年	1999年	1998年	1997年	1996年	1995年
经济发展 B1	0.66	0.58	0.54	0.51	0.51	0.46	0.45	0.44	0.42	0.38
社会进步 B2	0.57	0.53	0.43	0.42	0.45	0.36	0.37	0.4	0.44	0.4
环境支撑 B3	0.58	0.57	0.48	0.51	0.55	0.46	0.5	0.45	0.5	0.45
可持续发展能力 B4	0.59	0.58	0.55	0.57	0.54	0.5	0.52	0.45	0.44	0.43

表5 宁波市城市生态环境质量评价目标层评价结果

	2004年	2003年	2002年	2001年	2000年	1999年	1998年	1997年	1996年	1995年
综合指数	0.61	0.57	0.51	0.51	0.51	0.45	0.46	0.44	0.44	0.41

其中环境污染指数C5由工业废水排放量D17、SO₂排放量D18、固体废物生产量D19等3个指标构成,环保及质量指数C6由工业废水排放达标率D20、固体废物综合利用率D21、城市垃圾无害化处理率D22、城市人均绿地面积D23等指标构成。

准则层B4为可持续发展能力指标,由环境协调系数C7、经济持续指数C8构成,主要反映宁波城市发展的可持续发展能力,即 $B4 = \{C7, C8\}$ 。其中环境协调系数C7包括水环境协调系数D24、大气环境协调系数D25和固废环境协调系数D26,经济持续指数C8包括工业化系数D27、第三产业化系数D28和经济结构协调指数D29。

3 沿海城市生态环境质量评价模型的建立

3.1 构造判断矩阵

根据建立的层次结构模型,对于每一层次各因素的相对重要性进行逐对比较,按照规定的标度定

量化后,即形成判断矩阵。所谓标度是指在进行多因子、多目标的生态环境质量评价过程中,对各个评价因子彼此间重要程度的量度。一般都引用Saaty提出的1~9标度方法。

3.2 层次单排序及一致性检验

层次单排序是求解单目标判断矩阵的权数,即根据某层次的某些因素对上一层某因素的判断矩阵,计算出最大特征值及特征向量,由此计算出某层次因素相对于上一层中某一因素的相对重要性数值,最大特征值及其对应的特征向量可用方根法求出。

一致性检验是对构造的判断矩阵是否具有的一致性进行检验。当一致性指标 < 0.1 时,认为判断矩阵具有满意的一致性,否则必须重新进行各因素的相对重要性对比,产生新的判断矩阵,直至达到满意的一致性为止。

3.3 层次总排序及其一致性检验

层次总排序是利用层次单排序的结果计算各层次的组合权重。同样在进行层次总排序过程中,

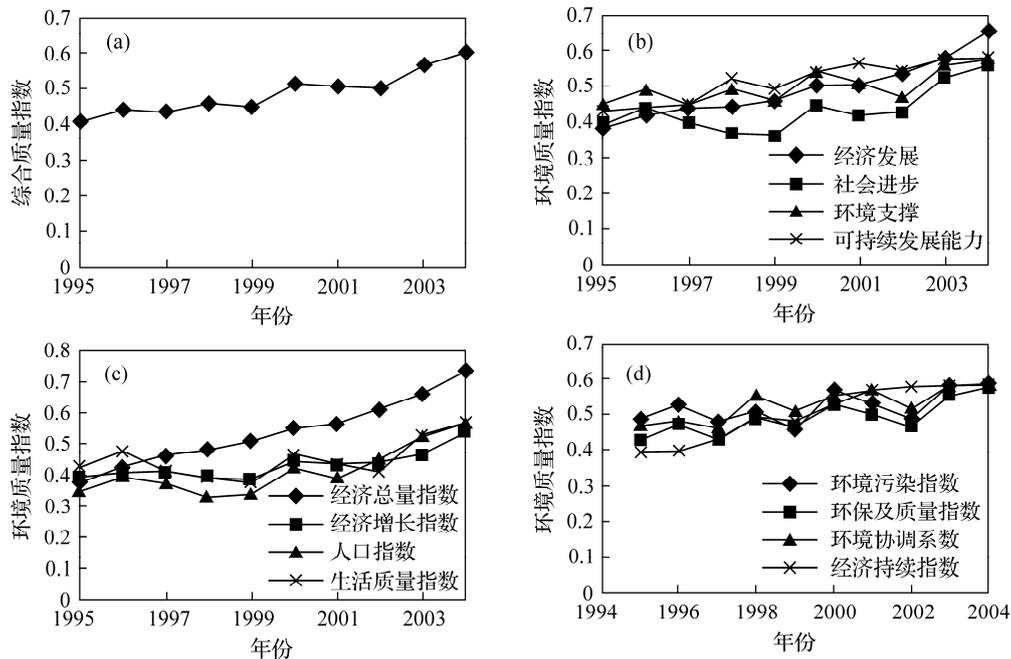


图 1 宁波城市生态环境质量评价指数变化

也要对其结果进行一致性检验,当一致性指标 <0.1 时,则认为层次总排序的计算结果是可以接受的.由此,得到生态环境质量评价因子的权重值(表 1).

3.4 评价指标的无量纲化与标准值的选取

评价指标标准化是一个由下而上的过程,主要是对各指标赋予 $0 \sim 1$ 的无量纲数字化评价.其中 1 为最好值代表, 0 为最差值代表.评价标准的选取参考国家标准、国际上发达国家现代化城市的量化指标值、国内外生态化程度较高的城市现状值.

4 评价结果及分析

4.1 沿海城市生态环境质量动态变化评判结果

应用层次分析法,运用上述评价模型,根据 1995~2004 年《宁波统计年鉴》相关数据,通过分级收敛的方法对各个指标的标准数据进行收敛计算,得到宁波市 1995~2004 年生态环境质量综合指数及各评价因子的分指数值(表 2~表 5).

4.2 沿海城市生态环境质量动态变化评判分析

4.2.1 生态环境质量类型动态变化判别标准

生态环境质量是城市经济社会和自然生态环

境质量的综合体现,从某种意义上讲也是生态风险的大小,生态风险大,生态环境质量就低.为评价宁波市 1995~2004 年城市生态环境质量综合指数的变化情况,将城市生态环境质量等级及安全度划分为 6 个等级(表 6).

表 6 生态环境质量等级及安全度划分

等级	评价值	状态	安全度	颜色
I	0~0.15	恶劣	严重危险	红
II	0.15~0.3	差	危险	橙
III	0.3~0.45	较差	较危险	黄
IV	0.45~0.6	一般	预警	蓝
V	0.6~0.75	良好	较安全	紫
VI	0.75~1.0	理想	安全	绿

4.2.2 沿海城市生态环境质量动态变化综合评判

从总体上看,宁波市城市生态环境质量综合评价指数从 1995~2004 年表现为不断上升趋势,城市生态环境质量不断得到改善.其值由 1995 年的 0.41 逐渐上升至 2004 年的 0.61.城市生态环境质量状况也相应地由较差到良好,预警等级由较危险升至较安全,颜色识别由黄至紫.当然,在研究时段内,宁波市的生态环境质量综合评价指数也有一定的波动(图 1(a)).1997 年、1999 年、2001 年、2002

年宁波市生态环境质量分别较前一年有小幅下降。

宁波市城市生态环境质量的二级指标从总体上看也表现为上升趋势。经济发展指标由 1995 年的 0.38 上升到 2004 年的 0.66, 社会进步指标由 1995 年的 0.40 上升到 2004 年的 0.57, 环境支撑指标由 1995 年的 0.45 上升到 2004 年的 0.58, 可持续发展能力指标由 1995 年的 0.43 上升到 2004 年的 0.59。与一级指标类似, 期间城市生态环境质量的二级指标也略有波动(图 1(b))。

宁波市城市生态环境质量的三级指标也表现为变好趋势(图 1(c)、图 1(d))。经济总量指标由 1995 年的 0.38 上升到 2004 年的 0.74, 并成为所有三级指标中评价值最高的指标。经济增长指数由 1995 年的 0.39 上升至 2004 年的 0.54, 人口指数由 1995 年的 0.35 上升至 2004 年的 0.57, 生活质量指数由 1995 年的 0.43 上升至 2004 年的 0.57, 环境污染指数由 1995 年的 0.49 上升至 2004 年的 0.59, 环保及质量指数由 1995 年的 0.43 上升至 2004 年的

0.58, 环境协调系数由 1995 年的 0.47 上升至 2004 年的 0.59, 经济持续指数由 1995 年的 0.39 上升至 2004 年的 0.59。

参考文献:

- [1] 范常忠, 姚奕生. Fuzzy 综合多级评价模型在城市生态环境质量评价中的应用[J]. 城市环境与城市生态, 1995, 8(2):37-44.
- [2] 芦彩梅, 郝永红. 山西省区域生态环境质量综合评价研究[J]. 水土保持通报, 2004, 24(5):71-73.
- [3] 曹慧, 胡锋, 李辉信, 等. 南京市城市生态系统可持续发展评价研究[J]. 生态学报, 2002, 22(5):787-792.
- [4] 叶亚平, 刘鲁君. 中国省域生态环境质量评价指标体系研究[J]. 环境科学研究, 2000, 13(3):33-36.
- [5] 朱晓华, 杨秀春, 刘天科. 江苏省生态环境质量动态变化驱动机制研究[J]. 经济地理, 2004, 24(4):473-476.
- [6] 朱晓华, 杨秀春. 层次分析法在区域生态环境质量评价中的应用研究[J]. 国土资源科技管理, 2001, 18(5):43-46.

Dynamic Eco-environment Quality Evaluation for Coastal Cities

——Ningbo City as a Case study

LI Jia-lin

(Coastal Resources and Environment Research Center, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

Abstract: Urban ecological environment assessment provides an important foundation for drafting urban sustainable development plans and constructing ecological city. Taking Ningbo city as an example in case study, the Analytical Hierarchy Process (AHP) method is applied to set up dynamic assessment system of urban ecological environment, and the eco-environment quality of the city from 1995 to 2004 is appraised. The result shows that comprehensive assessment index is on the rise as a whole, though it had been fluctuating in the past years. The eco-environment quality of the city is found to have improved in contrast with that over the past several years.

Key words: urban ecosystem; index system; dynamic change; comprehensive assessment

CLC number: X821

Document code: A

(责任编辑 史小丽)