

# 城市环境保护规划与生态建设指标体系实证

罗上华, 马蔚纯\*, 王祥荣, 雍 怡, 余 琦

(复旦大学环境科学与工程系, 上海 200433)

**摘要:**在回顾分析各类环境指标体系的基础上, 将环境指标体系分为 3 类: (1) 综合性的可持续发展指标体系; (2) 区域环境规划与管理指标体系; (3) 面向某一领域或专题研究的指标体系。结合案例研究提出了一种面向规划与管理的城市环境保护与生态建设指标体系。该体系综合考虑环境保护与污染控制、生态保护与建设、生态环境管理以及经济发展、城市与社会发展 5 个专题要素, 前 3 个专题要素组成主体指标系统, 后 2 个组成扩展指标系统。根据规划管理不同层次的需要, 设置了核心指标和辅助指标两个复杂程度不同的指标集, 分别对应宏观与中观层次的规划要求, 并使用灰色关联法对指标体系进行评价。在实例研究中, 通过专家咨询法, 选择了 39 项核心指标, 31 项辅助指标组成上海浦东新区环境保护规划与生态建设指标体系, 在计算各项指标现状的基础上, 确立了各指标 2005 年、2010 年和 2020 年的规划值, 结合多级灰色关联法, 提出了 CIEE 指数 (Comprehensive Index for Environmental Protection and Ecological Construction) 对各项指标的现状和变化趋势进行了评价。

**关键词:**环境规划与管理; 指标体系; 灰关联; 上海浦东新区

## A case study on indicator system of urban environmental protection and ecological construction

LUO Shang-Hua, MA Wei-Chun\*, WANG Xiang-Rong, YONG Yi, YU Qi (Department of Environmental Science and Engineering, Fudan University, Shanghai 200433, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23 (1): 45~55.

**Abstract:** The research on environmental indicators has become an important field in environmental management. This paper reviewed the evolution of environmental indicators and classified them into three categories for specific purposes, namely (1) for sustainable development; (2) for regional environmental planning and management; and (3) for special issues and problem. The authors also elaborated on the necessity for constructing indicator systems, and using the P-S-R model, developed an indicator system for urban environmental protection and ecological construction. The framework of this system comprises five components: (1) environmental protection and pollution control; (2) ecological protection and construction; (3) environmental management; (4) economic development; and, (5) urban and social development. The first three components form the 'main' indicator system, while the last two components constitute an 'extended' system. Two sets of indicators, with different degrees of complexity, were designed for each component - the 'core' set and the 'auxiliary' set. The core set

**基金项目:**国家自然科学基金重点资助项目(39930040)

**收稿日期:**2002-01-29; **修订日期:**2002-10-22

**作者简介:**罗上华(1978~), 男, 江西赣州人, 硕士生。主要从事城市生态学研究。

\* 通信作者 Author for correspondence, E-mail: wcma@fudan.edu.cn

**Foundation item:** The project was financially supported by National Natural Science Foundation of China(39930040)

**Received date:**2002-01-29; **Accepted date:**2002-10-22

**Biography:** LUO Shang-Hua, Master candidate. Research field: urban ecology

provides a general image of environmental protection and ecological construction in a city, while the auxiliary set gives more specific details. The integration of the two indicators sets can give an integrative and systematic view of the city. The authors then reported on the application of grey relation analysis to evaluate the use of the eco-environmental indicator system described above in a pilot case study of the environmental status of and trends in Shanghai Pudong New Area. In this pilot study, the Comprehensive Index for Environmental Protection and Ecological Construction (CIEE) was introduced to evaluate the status and trend of each component and also to evaluate the integrative status and its trend in the research area. The pilot study is considered to have satisfactorily demonstrated the applicability of the CIEE system and its assessment methods. Based on this research, the authors conclude that an indicator system for environmental planning can provide important policy guidance for decision-making and a means for tracking urban and regional sustainable development.

**Key words:** environmental planning and management; indicator systems; grey relation analysis; Shanghai Pudong New Area

文章编号:1000-0933(2003)01-0045-11 中图分类号:X171.X32 文献标识码:A

20 世纪 90 年代以来,环境指标体系研究日益成为人们关注的热点领域。环境指标已经从单一层次、单要素向多层次、综合性的方向发展;从仅考虑狭义的环境保护与污染控制转向全面考虑环境、经济、社会和人口所构成的复合生态系统,并越来越多地引入了生态建设与可持续发展的思想和理念。

### 1 环境指标体系

20 世纪 80 年代末以来,尤其是在可持续发展思想逐渐成为全人类的共识以后,人们认识到单纯的环境污染指标已经不能准确地反映环境、经济、社会和人口所构成的复合生态系统的状态,更不能为可持续发展的规划与决策提供必要的信息支持。因此,必须在可持续发展的理念和框架下,对环境指标体系进行全面、系统地研究,为可持续发展的综合决策,为区域环境保护与生态建设规划和管理提供信息支持和科学依据,为环境科学的相关研究提供可借鉴的衡量尺度。

20 世纪 80 年代末,在加拿大政府组织力量研究的基础上,经济合作和开发组织(OECD)与联合国环境规划署(UNEP)共同提出了环境指标的 P-S-R 概念模型,即压力(Pressure)-状态(State)-响应(Response)模型<sup>[1,2]</sup>。在 PSR 框架内,某一类环境问题,可以由 3 个不同但又相互联系的指标类型来表达:压力指标反映人类活动给环境造成的负荷;状态指标表征环境质量、自然资源与生态系统的状况;响应指标表征人类面临环境问题所采取的对策与措施。PSR 概念模型从人类与环境系统的相互作用与影响出发,对环境指标进行组织分类,具有较强的系统性<sup>[1]</sup>。许多研究机构与学者在这一框架下,开展了许多有关环境指标的研究。

朱启贵归纳和分析了国内外可持续发展的指标体系,并提出了可持续发展指标体系的研究方向<sup>[3]</sup>。牛文元、Jonathan 和 Abdullah 等共同提出了“可持续发展度”模型<sup>[4]</sup>。叶文虎提出根据某一时刻资源、经济、社会与环境 4 个系统的发展状况与协调度求可持续发展微分,进而得到可持续发展函数来评估可持续发展能力<sup>1</sup>。宋永昌、王祥荣等提出了上海生态城市生态可持续发展的调控指标体系<sup>[5]</sup>。Gustarson 等以加拿大 Fraser 河流域为例,研究了可持续发展指标的选择与模拟<sup>[6]</sup>。曲福田对可持续发展的衡量指标与评价进行了讨论<sup>2</sup>。刘慧讨论了区域农业可持续发展指标体系的基本框架,并提出了“多目标线性加权函数”评估方法<sup>8</sup>。李莉等根据 PSR 概念模型提出了基于可持续发展的城市发展综合评价指标体系<sup>[9]</sup>。

中国环境监测总站在世行 JGP 项目的支持下,开展了“城市环境质量综合评价指标体系的研究”<sup>[10-13]</sup>,为“城市环境综合整治定量考核指标体系”的进一步完善提供了科学依据。张明顺等以秦皇岛环

1. 《中国可持续发展指标体系研究》课题组,可持续发展指标体系研究参考资料,1997 年 3 月

境规划指标体系研究为例,讨论了层次分析法在城市环境规划指标体系研究中的应用<sup>[14]</sup>。广州市在新一轮的环境保护规划中提出了城市生态可持续发展指标体系<sup>①</sup>。

Merkle 和 Kaupanjohann 提出了生态系统效应指标体系(eco-systematic effect indicators, EEI),以评价人类活动综合性系统层面的生态效应<sup>[15]</sup>。Halberg 提出了一套面向资源利用和环境影响的指标体系用于丹麦畜牧场的辅助决策<sup>[16]</sup>。Marshall 等提出了生态系统健康评价的指标体系<sup>[17]</sup>。我国学者冷疏影等讨论了土地质量指标体系的源起、概念框架及最新进展<sup>[18]</sup>。左东启、戴树声等提出了包括自然、人文、经济、管理等方面的水资源评价指标体系<sup>[19]</sup>。

综上所述,就目前的研究来看,可以将环境指标体系分为 3 类:(1)综合性的可持续发展指标体系;(2)区域环境规划与管理指标体系;(3)面向某一领域或专题研究的指标体系。

## 2 面向规划与管理的城市环境保护与生态建设指标体系

### 2.1 目的和意义

许多文献对建立环境指标体系的意义进行了论述<sup>[20,21]</sup>,本文认为将可持续发展与生态城市建设的思想从理论阶段推进到可操作的应用阶段必须有一系列的指标作为支撑,即落实到指标体系上。对于每一个区域系统,总有一系列可被观测到的属性(指标),一组属性往往只能反映系统某个方面的性质<sup>[21]</sup>,因此,在城市的环境保护与生态建设中,必须建立相应的指标体系:①通过建立指标体系,构建评估信息系统,对城市生态环境状况和规划的落实进行评价。②通过建立指标体系,动态监测城市生态环境的变化趋势,揭示社会、经济、人口和生态环境之间的相互关系和矛盾,分析矛盾产生的原因,为政府部门制定今后的城市总体发展战略,调整产业结构等相关的宏观管理和决策提供信息支持。③利用指标体系,引导政府贯彻落实可持续发展和建设生态城市的思想,督促生态环境保护规划的实施。④建立指标体系,有利于进行国际间和地区间的比较,尤其是有助于借鉴国际上生态城市建设的先进思想和理念。

### 2.2 基本原则

(1) 科学性 指标体系必须建立在科学的基础上,能充分反映城市生态环境保护与建设的内在机制,指标的物理意义明确,测算统计方法科学规范,保证评估结果的真实性与客观性。

(2) 代表性 城市生态系统的结构复杂,具有多种功能,要求选用的指标最能反映城市生态环境保护的主要状态与特征,同时,定性指标与定量指标相结合。

(3) 层次性 即根据不同的评价需要和详尽程度分层分级。

(4) 阶段性 充分考虑城市发展的阶段性,对于各指标确定分阶段实施的目标值。

(5) 可操作性与可比性 考虑数据的可获得性,建立的指标体系简明清晰,容易操作并易于理解;指标尽可能采用国际上通用的名称、概念与计算方法,有利于和国内外相似城市或地区的比较。

(6) 动态性 城市的生态环境保护与建设是一个长期和动态的过程,所建立的指标体系应该能反映这一过程,指标体系应具有一定的灵活性,为将来增加或改变某些单项指标提供“接口”。

(7) 规划目标与指标体系相结合 即将总体目标分解,形成分目标与子目标,与相应的指标集对应。

### 2.3 指标体系的基本框架

**2.3.1 基本思想** (1)建立主体指标系统与扩展指标系统 主体指标系统包括 3 个专题要素(一级指标),即环境保护与污染控制、生态保护与建设、生态环境管理。主体指标系统是与城市生态环境保护与建设具有直接关系的指标集,它直接反映城市人类活动对生态环境造成的压力、生态环境的现状以及相应的管理措施,直接指出城市未来生态环境建设的方向,构成了本指标系统的主体内容。

扩展指标系统包括 2 个专题要素(一级指标),即经济发展,城市与社会发展。城市的生态环境保护与建设与城市经济和社会发展有着密切的关系。因此,要完整地反映城市的生态环境状况,规划未来的生态环境目标,还应充分考虑区域社会与经济的发展。扩展指标系统不是对区域经济与社会发展作全面的描

① 北京市师范大学环境科学研究所,《广州市城市生态可持续发展规划咨询报告》,2001 年

述,而是选择与主体指标系统有着密切联系的相关指标作为对主体指标系统的必要补充。

(2)建立核心指标和辅助指标两个不同复杂程度的指标集 城市环境规划是在宏观、中观层次上对城市未来的生态环境保护与建设进行总体设计,与之相应的指标体系必须反映不同层次上的规划要求。为此,本文建立核心指标和辅助指标两个指标集,分别对应宏观、中观层次的规划要求。

通过核心指标集可从整体上对区域作概括性了解,并可以作为任务控制指标。辅助指标集是中观层次上城市生态环境保护与建设及相关的经济与社会发展的指标,辅助指标集与核心指标集相结合,可以更为全面,更为具体和细致地反映城市生态环境保护与建设的情况,反映城市的规划设计要求。

(3)借鉴 PSR 概念模型 在环境保护与污染控制指标中,本文借鉴 PSR 概念模型,在环境保护与污染控制的三级指标中设置了压力指标、状态指标和响应指标,力求对指标做出明确分类。

2.3.2 基本框架 整个指标系统的结构见表 1、表 2。1 级、2 级指标与分目标、子目标的关系见表 3。

以上指标体系各项,在对不同区域研究时,应根据当地特定的生态环境条件和面临的主要环境问题,在采用专家咨询或层次分析计算的基础上,对指标进行进一步的筛选,最终确定特定的指标体系。

## 2.4 指标体系的评价方法——多级灰色关联法

2.4.1 基本思想 关联度作为一种技术方法,用于分析系统中各因素关联程度,其基本思想是根据曲线间相似程度来判断关联程度<sup>[22]</sup>。将灰色关联度用于指标体系的评价,其基本思想是,首先确定目标序列和若干比较序列之间的关联系数,在此基础上,结合相对重要性权重,逐层计算各序列与目标序列的关联度。如果比较序列与目标序列的关联度大,则认为两者的相对变化基本一致,反之,则认为两者变化差异较大。

灰色关联法在环境指标体系的评价中已经得到了应用。左东启等在水资源评价指标体系的研究中采用了该方法,并将评价结果与专家系统评价法相比较,认为 2 种评价方法的结果非常一致<sup>[19]</sup>。夏军等也提出了生态环境质量评价指标体系的灰色关联评价法<sup>[23]</sup>。

2.4.2 分析模型 假设最低层指标序列为:

$$X_j = \{x_j(1), x_j(2), x_j(3), \dots, x_j(k)\} \quad j = 1, 2, 3, \dots, m$$

式中,  $k$  表示指标数,当  $j$  表示某个时段时,  $X_j$  表示相应时段评价指标统计值序列;当  $j$  表示某个地区时,  $X_j$  表示相应地区评价指标统计值序列。

(1)确定目标序列 在建立的不同时段或不同地区的若干序列中,根据所设定的原则构成一个目标序列。如在进行不同地区横向评价时,可选定各项指标中最优值组成目标序列。

(2)无量纲化 对于某一指标序列值  $x_j(k)$ ,令:  $T_{\max} = \max_j x_j(k)$ ,  $T_{\min} = \min_j x_j(k)$

则,无量纲变换关系:  $y_j(k) = (x_j(k) - T_{\min}) / (T_{\max} - T_{\min})$

(3)指标关联系数 各子序列  $X_j$  的每一指标相对目标序列  $X_0$  对应指标的关联系数:

$$\xi_j(k) = (\Delta_{\min} + \rho \Delta_{\max}) / (\Delta_j(k) + \rho \Delta_{\max})$$

其中,  $\Delta_j(k) = |y_0(k) - y_j(k)|$  表示在目标序列和子序列中指标  $k$  绝对差值;  $\Delta_{\min} = \min_j \min_k |y_0(k) - y_j(k)|$  表示在目标序列与所有子序列每个指标绝对差值中的最小值;  $\Delta_{\max} = \max_j \max_k |y_0(k) - y_j(k)|$  表示在目标序列与所有子序列每个指标绝对差值中的最大值;  $\rho$  为分辨系数,其作用是提高关联系数之间的差异显著性,  $\rho \in [0 \sim 1]$ ,一般取  $\rho = 0.1 \sim 0.5$ 。

(4)构造指标权重值 假设指标体系共有  $L$  层,显然下一层对于上一层目标的重要程度不同,一般可采用德尔斐法和变量分析法相结合的方法来计算权值,确定  $l$  层指标对  $l-1$  层相应指标的权重值  $W^{(l)}$ 。在本项研究中共有 4 层(即 4 级指标,分别记为 0 级、1 级、2 级、3 级指标)。

(5)关联度及关联向量 考虑各层对上一层相应指标的重要性,进行加权逐层关联度计算,则目标序列对各子序列的加权关联度为:

$$r_j = \sum_{k=1}^K \prod_{l=1}^{L-1} W^{(l)}(k) \xi_j(k)$$

表 1 城市环境保护与生态建设指标体系主体指标\*

Table 1 Main indicator system for urban environmental protection and ecological construction

| I 级指标<br>1st level<br>indicator                                      | 2 级指标<br>2nd level<br>indicator                           | 3 级指标<br>3rd level indicator                                                                                                             |
|----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 保护与污<br>染控制<br>Environmental<br>protection &<br>pollution<br>control | 水环境<br>Water<br>environment                               | 压力指标 核心指标:人均生活污水排放量、万元 GDP 工业废水排放量<br>辅助指标:主要污染物年排放量(COD <sub>cr</sub> 、BOD <sub>5</sub> 、石油类、氨氮、挥发酚)                                    |
|                                                                      |                                                           | 状态指标 核心指标:水质综合指数、城市水功能区水质达标率<br>辅助指标:主要水环境污染物年平均浓度(COD <sub>cr</sub> 、BOD <sub>5</sub> 、石油类、氨氮)、DO 年<br>平均值、集中式饮用水源地水质达标率                |
|                                                                      |                                                           | 响应指标 核心指标:城市污水纳管率<br>辅助指标:城市生活污水处理率、工业废水达标排放率、工业废水处理率、用于<br>水环境污染控制的财政支出占整个环保支出的比重                                                       |
|                                                                      |                                                           | 压力指标 核心指标:万元工业净产值工业废气年排放量、人均 SO <sub>2</sub> 年排放量、人均 NO <sub>x</sub><br>年排放量<br>辅助指标:人均 CO <sub>2</sub> 年排放量、人均损耗 O <sub>3</sub> 层物质年排放量 |
|                                                                      |                                                           | 状态指标 核心指标:城市空气污染指数(API)<br>辅助指标:主要空气污染物年日均浓度(SO <sub>2</sub> 、NO <sub>x</sub> 、TSP(PM <sub>10</sub> )、O <sub>3</sub> (1h 平均))            |
|                                                                      |                                                           | 响应指标 核心指标:城市烟尘控制区覆盖率、路检汽车尾气达标排放率<br>辅助指标:用于空气环境污染控制的财政支出占整个环保支出的比重                                                                       |
|                                                                      | 空气环境<br>Atmospheric<br>environment                        | 压力指标 核心指标:人均生活垃圾年产生量、万元 GDP 工业固体废物产生量<br>辅助指标:危险固体废物年产生量                                                                                 |
|                                                                      |                                                           | 响应指标 核心指标:工业固体废物的综合利用率、生活垃圾无害化处理率<br>辅助指标:用于固废处理的财政支出占整个环保支出的比重                                                                          |
|                                                                      | 固体废物<br>Solid waste                                       | 状态指标 核心指标:区域环境噪声平均值(昼/夜)、城市交通干线两侧噪声平均值(昼/<br>夜)                                                                                          |
|                                                                      |                                                           | 响应指标 核心指标:城市化地区噪声达标区覆盖率<br>辅助指标:用于噪声控制的财政支出占整个环保支出的比重                                                                                    |
|                                                                      | 噪声<br>Noise                                               | 压力指标 核心指标:单位耕地面积农药使用量、单位耕地面积化肥使用量                                                                                                        |
|                                                                      |                                                           | 状态指标 核心指标:表层土中的重金属含量                                                                                                                     |
|                                                                      | 土壤<br>Soil                                                | 响应指标 辅助指标:用于土壤污染控制的财政支出占整个环保支出的比重                                                                                                        |
|                                                                      |                                                           | 压力指标 核心指标:排入近海海域的废水年排放量、排入近海海域的主要污染物(油类物<br>质、COD、N、P 等)年排放量                                                                             |
|                                                                      | 近海环境<br>Offshore                                          | 状态指标 核心指标:近海海域水质综合指数<br>辅助指标:近海海域主要污染物年平均浓度(油类物质、COD、无机氮等)、DO 年<br>均值                                                                    |
|                                                                      |                                                           | 响应指标 辅助指标:用于海洋环境控制的财政支出占整个环保支出的比重                                                                                                        |
|                                                                      | 土地利用与<br>土地资源<br>Land use                                 | 核心指标:城市化地区绿化覆盖率、自然保护区面积占区域总面积的比率<br>辅助指标:人均绿地面积、人均公共绿地面积、林地面积占总面积百分比                                                                     |
|                                                                      |                                                           | 水资源<br>Water<br>resource                                                                                                                 |
|                                                                      | 生态保护<br>与建设<br>Ecological<br>protection &<br>construction | 核心指标:工业用水循环利用率、年水资源的供需平衡比<br>辅助指标:水体面积占区域总面积的比例、水资源循环利用率                                                                                 |
|                                                                      |                                                           | 酸雨<br>Acid rain                                                                                                                          |
|                                                                      | 野生动植物及<br>生物多样性<br>Biologic<br>diversity                  | 核心指标:酸雨发生频率、酸雨平均 pH 值                                                                                                                    |
|                                                                      |                                                           | 核心指标:生物多样性指数<br>辅助指标:濒危物种占区域全部物种的百分比、受保护的野生动植物占区域总物种数的比<br>例                                                                             |
| 生态环境管理<br>Environmental<br>management                                |                                                           | 核心指标:环境保护投资占 GDP 的比例、公众对城市环境的满意率、建设项目环境影响评<br>价实施率                                                                                       |
|                                                                      |                                                           | 辅助指标:城市环境综合整治定量考核成绩、卫生城市、通过 ISO14001 认证企业占全部工<br>业企业的百分比、政府规划战略环境影响评价实施率                                                                 |

\* 在指标体系的构建中,本文主要参考了以下几方面的资料:联合国可持续发展委员会(UNCED)的可持续发展指标体系;联合国统计局(UNSTAT)的可持续发展指标体系;SCOPE 和 UNEP 合作提出的可持续发展指标体系;英国可持续发展指标体系;中国可持续发展指标体系研究课题组的研究报告:“城市环境综合整治定量考核指标体系”等 Materials referenced; United Nations. Indicators of Sustainable Development Framework and Methodologies. New York; United Nations, 1996; UNSTAT. Framework for Indicators of Sustainable Development; SCOPE & UNEP. Indicators of Sustainable Development. Department of the Environment of UK. Indicators of Sustainable Development for United Kingdom. London; HMSO Publications Centro, 1994; The Report of Research Group on Indicator System of Sustainable Development for China; Quantitative Examination of the Comprehensive Improvement of Urban Environment *et al.*

表 2 城市环境保护与生态建设指标体系扩展指标<sup>\*</sup>

Table 2 Extended indicator system for urban environmental protection and ecological construction

| 1 级指标<br>1st level indicator            | 2 级指标<br>2nd level indicator   | 3 级指标<br>3rd level indicator                                                                             |
|-----------------------------------------|--------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 经济发展<br>Economy                         | 经济发展水平<br>Economic development | 核心指标: 人均 GDP<br>辅助指标: GDP、GDP 的年增长率                                                                      |
|                                         | 经济效益<br>Economic benefit       | 核心指标: 经济密度、单位用水量的 GDP 产出、单位能源消耗的 GDP 产出、工业经济效益综合指数<br>辅助指标: 人均能源年消费量、清洁能源占一次能源消耗量的比例、电力占终端能源消费的比例、人均水消耗量 |
|                                         | 经济结构<br>Economic structure     | 核心指标: 第三产业占 GDP 的比重、高新技术产业占工业总产值的比重、科技进步贡献率                                                              |
| 城市与社会发展<br>Urban and social development | 人口<br>Population               | 核心指标: 人口密度、人口年机械增长率、人口期望寿命、万人中大专以上学历人口数                                                                  |
|                                         | 城市交通<br>Urban communication    | 核心指标: 公交出行比例                                                                                             |
|                                         | 城市发展<br>Urban development      | 核心指标: 城市化水平                                                                                              |
|                                         | 人民生活<br>Standard of living     | 核心指标: 城镇人均居住面积、居民人均年收入<br>辅助指标: 全社会恩格尔系数、基尼系数                                                            |

\* 同表 1 same as table 1

最后可形成关联向量  $R, R = (r_1, r_2, r_3, \dots, r_m)$ 。

利用上述分析模型,既可以对不同时段城市环境保护与生态建设的总体状况进行动态综合对比分析,例如随着时间的推移,关联度越来越大,则表明变化越来越接近目标序列;也可以对不同区域环境保护与生态建设的状况进行相对比较评价,进而分析不同结果的具体原因,为科学决策提供依据。

### 3 实证研究

上海浦东新区是目前我国产业转型期经济体系中最具实力、活力和最富开发性的增长核。近年被评为“国家园林城区”后,浦东新区在振兴城市经济、加速生态城市建设、增强城区综合竞争力方面不断努力,正在朝着“国家环保模范城区”和“国际生态型花园城区”的目标迈进,进一步发展的前景十分广阔。

浦东新区城市生态环境建设的快速发展要求将传统的或狭义的“环境保护”观念向生态领域拓展,既考虑新区各类污染源的控制和治理、保护大气、水、声和土壤环境,又注意保持和维护生态系统的平衡,保护包括滩涂湿地、林地等在内的各种自然资源,通过一系列生态建设措施,优化浦东新区生态系统的结构和功能,使其成为浦东新区可持续发展和建设生态城区的重要支持系统。本研究采用灰色关联分析法,结合本文建立的指标体系,对浦东新区环境保护与生态建设的现状和未来规划进行评价。

#### 3.1 浦东新区环境保护规划指标体系的确立

在现状调查基础上,结合浦东新区生态环境特征以及今后的主要环境问题,通过讨论会和专家咨询,同时考虑数据可获得性和可靠性,最终选取了 39 项核心指标,31 项辅助指标,并确定了各级指标之间的权重,1 级、2 级指标权重见表 4。

#### 3.2 浦东新区环境保护与生态建设规划评价

**3.2.1 现状评价** 在《上海市浦东新区环境保护与生态建设规划》课题组的支持下,结合上述指标体系,对相关数据进行了收集整理<sup>[1]</sup>。采用上述灰色关联模型对浦东新区环境保护与生态建设的现状(2000 年)

[1] 2000 年现状指标值主要数据来源:《2001 年浦东新区统计年鉴》、《浦东新区第五次人口普查公报》、《浦东新区土地利用规划》、《2000 年浦东新区社会报告》、《上海市浦东新区环境质量报告书 2000 年》、《上海市浦东新区创建国家环境保护模范城区技术报告(2000)》、《上海市浦东新区环境年报(2000 年度)》、《上海市浦东新区排放污染物申报登记与变更申报技术报告(2000 年度)》、《生态型城市与上海生态环境建设-2001 年上海环境建设蓝皮书》,及相关职能部门统计数据。数据基准年为 2000 年

进行评价。

表 3 1 级、2 级指标与分目标子目标的关系

| Table 3 Relationships between the 1st-2nd level indicators and their corresponding objectives |                                                                                                                 |                                     |                                                                                        |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 级指标<br>1st level indicator                                                                  | 分目标<br>Objective                                                                                                | 2 级指标<br>2nd level indicator        | 子目标<br>Objective                                                                       |
| 经济发展<br>Economy                                                                               | 促进经济健康、高效与可持续的发展,不但满足人们的需求,还要改善环境质量,保护人类健康和自然资源。                                                                | 经济发展水平<br>Economic development      | 促进城市经济的总体水平和人均水平不断提高,促进经济持续稳定增长。                                                       |
|                                                                                               |                                                                                                                 | 经济效益<br>Economic benefit            | 提高经济效益,促进企业采用最佳实用技术,使用最少的能耗、水耗产生最大的经济效益,促进清洁能源推广应用。                                    |
|                                                                                               |                                                                                                                 | 经济结构<br>Economic structure          | 大力发展第三产业和高新技术产业,使城市的经济增长主要依靠科技进步。                                                      |
| 城市与社会发展<br>Urban and social development                                                       | 立足于城市生态支撑系统,规划与城市地域空间的自然资源和生态环境相适应的适度增长的城市人口规模,使城市与社会的发展有利于提高经济发展能力,在保护生态环境与提高和维护人民生活质量之间取得适当的均衡。               | 人口<br>Population                    | 保障与城市地域空间的自然资源和生态环境相适应的适度增长的城市人口规模。                                                    |
|                                                                                               |                                                                                                                 | 城市交通<br>Urban communication         | 引导使用污染最小且实用的运输方式,使运输工具得到有效利用。                                                          |
|                                                                                               |                                                                                                                 | 城市发展<br>Urban development           | 保持适度的城市化水平和城市规模的的增长。                                                                   |
|                                                                                               |                                                                                                                 | 人民生活<br>Standard of living          | 在经济获得持续发展并与生态环境取得和谐均衡的前提下,保障人民收入水平和生活质量稳步提高,保障国民收入的差距控制在合理的范围内。                        |
| 环境保护与<br>污染控制<br>Environmental protection & pollution control                                 | 在经济发展,人民生活水平不断提高的背景下,保障区域环境质量持续改善,引导政府在政策、规划和计划的制定程序中充分考虑其可能给环境带来的负面效应,引导政府、企业各类社会团体加强环境保护与污染控制的工程性措施与非工程性管理措施。 | 水环境<br>Water environment            | 维持和改善水体水质及水生环境,引导有效利用水资源,确保可获得充足的符合环境标准的水资源,以满足城市社会、经济、城市发展和消费者的需求。                    |
|                                                                                               |                                                                                                                 | 空气环境<br>Atmospheric environment     | 控制空气污染,减少对自然生态系统、人类健康和生活质量产生的负面效应,限制可能导致全球气候变化的温室气体和臭氧层破坏物质的排放。                        |
|                                                                                               |                                                                                                                 | 固体废物<br>Solid waste                 | 使固体废物的生成量达到最小化或减量化及资源化,使固废得到最有效的综合利用,从而使固废造成的污染最小化。                                    |
|                                                                                               |                                                                                                                 | 噪声<br>Noise                         | 控制区域环境噪声水平和城市交通干线附近的噪声水平,保障居民住宅等噪声敏感点的声环境达标。                                           |
|                                                                                               |                                                                                                                 | 土壤<br>Soil                          | 将土壤作为一种用于食品和其他产品生产的有效资源,保护改善土壤的质地和肥力,控制土壤污染,避免土壤退化。                                    |
| 生态保护与建设<br>Ecological protection & construction                                               | 健全城乡生态系统的结构,优化城市生态系统的功能,保护生物多样性,引导系统的各种关系协调发展,提高系统的自我调节能力,引导政府采取生态保育、生态建设的调控措施。                                 | 近海环境<br>Offshore                    | 控制人为向海洋倾倒各种污染物,保护近海海域环境,从而保障各类海洋资源的永续利用。                                               |
|                                                                                               |                                                                                                                 | 土地利用与土地资源<br>Land use               | 保护城乡的自然景观和具有环境价值的栖息地,引导优化城市土地利用的结构,保持生态平衡。                                             |
|                                                                                               |                                                                                                                 | 水资源<br>Water resource               | 保护水系,保持城市水生生态系统的结构和功能,使城市建设和经济发展可以获得充足的水资源以满足需求,同时保障城市水生生态系统在改善城市小气候、保持城市生态平衡等方面的重要作用。 |
|                                                                                               |                                                                                                                 | 酸雨<br>Acid rain                     | 控制酸排放,控制其对城市生态系统的影响。                                                                   |
| 生态环境管理<br>Environmental management                                                            | 强化政府生态环境管理的职能,引导政府采取有效措施加强生态环境保护与建设,强化决策者和各政府职能部门的生态环境意识。                                                       | 野生动植物及生物多样性<br>Biological diversity | 引导政府加强生物物种保护和自然保护区建设,维护和提高生物多样性。                                                       |

表 4 上海浦东新区环境保护规划与生态建设指标权重  
Table 4 Weights of indicators for environmental planning of Shanghai Pudong New Area

| 1 级指标<br>1st level<br>indicator                                    | 权重<br>Weight | 2 级指标<br>2nd level<br>indicator       | 权重<br>Weight |
|--------------------------------------------------------------------|--------------|---------------------------------------|--------------|
| 经济发展<br>Economy                                                    | 0.2          | 经济发展水平<br>Economic development        | 0.3          |
|                                                                    |              | 经济效益<br>Economic benefit              | 0.4          |
|                                                                    |              | 经济结构<br>Economic structure            | 0.3          |
|                                                                    |              | 人口<br>Population                      | 0.25         |
| 城市与社会发展<br>Urban and social<br>development                         | 0.15         | 城市交通<br>Urban communication           | 0.25         |
|                                                                    |              | 城市发展<br>Urban development             | 0.25         |
|                                                                    |              | 人民生活<br>Standard of living            | 0.25         |
|                                                                    |              | 水环境<br>Water environment              | 0.25         |
| 环境保护与污染控制<br>Environmental<br>protection &<br>pollution<br>control | 0.3          | 空气环境<br>Atmospheric<br>Environment    | 0.2          |
|                                                                    |              | 固体废物<br>Solid waste                   | 0.2          |
|                                                                    |              | 噪声<br>Noise                           | 0.15         |
|                                                                    |              | 土壤<br>Soil                            | 0.1          |
| 生态保护与建设<br>Ecological<br>protection &<br>construction              | 0.2          | 近海环境<br>Offshore                      | 0.1          |
|                                                                    |              | 土地利用与土地资源<br>Land use                 | 0.5          |
|                                                                    |              | 水资源<br>Water resource                 | 0.5          |
|                                                                    |              | 生态环境管理<br>Environmental<br>management | 0.15         |

### 3.3 指数分级

本文在专家咨询的基础上,对各级指数(即指标关联度)和综合指数进行分级(表 7)。分指数及综合指数的变化趋势参见图 1 ~ 图 6。

3.4 讨论 (1)灰关联分析法是一种相对排序评价,在运用时必须确定目标序列。实际上,目标序列就成为衡量评价结果优劣的尺度。目前,无论是在理论上或是实践中,关于城市环境保护与生态建设理想指标值的确定尚缺乏统一的标准,本文在实证研究中借鉴了我国大连、深圳和新加坡等在生态环境保护与建设中较为领先的城市的经验,结合浦东新区的实际确定 2020 年各项指标的规划值,并以此作为目标序列。

(2)根据指数分级,从图 1 ~ 图 6 中可以清晰地看到上海市浦东新区生态环境保护建设相关各要素的变化趋势。以“环境保护与污染控制”和“生态保护与建设”为例,对评价结果作一定的分析。2000 年,上述两项分指数(即关联度)分别为 0.308 和 0.286,分别处于中等发展水平和相对低的发展水平;至 2005 年,则分别达到 0.629(较高发展水平)和 0.394(中等发展水平);到 2010 年,上述两项指数继续增长,分别达到

3.2.2 规划评价 在参考国内外环境保护与生态建设较为先进的城市,例如国内的大连、深圳,国外的新加坡等相应指标值与规划值的基础上,结合浦东新区的实际,确定了新区各项指标的 2020 年规划值,并将规划值作为新区环境保护与生态建设的相对理想值,即目标值,各项目标值构成目标序列  $X_0$ 。

采用上述灰色关联模型对浦东新区环境保护与生态建设近期(2005 年)、中期(2010 年)规划进行评价。计算得出第 2 层和第 1 层关联度(即各指标分指数与综合指数)分别见表 5 和表 6。

表 5 第 2 层各分指数关联度

Table 5 Relation values of the second index sequence

| 1 级指标(指数编码)<br>1st level indicator (indicator coding)            | 年度 Year |       |       |
|------------------------------------------------------------------|---------|-------|-------|
|                                                                  | 2000    | 2005  | 2010  |
| 经济发展(CIEE1)<br>Economic development                              | 0.286   | 0.337 | 0.438 |
| 城市与社会发展(CIEE2)<br>Urban and social development                   | 0.286   | 0.392 | 0.563 |
| 环境保护与污染控制(CIEE3)<br>Environmental protection & pollution control | 0.308   | 0.629 | 0.794 |
| 生态保护与建设(CIEE4)<br>Ecological protection & construction           | 0.286   | 0.394 | 0.549 |
| 生态环境管理(CIEE5)<br>Environmental management                        | 0.546   | 0.707 | 0.820 |

\* CIEE: Comprehensive Indicator for Environmental protection and Ecological construction

“生态环境管理”一栏所列的关联度为 3 级指标相对于 1 级指标的关联度

表 6 环境保护与生态建设综合指数(第 1 层关联度)

Table 6 Comprehensive index for environmental protection and ecological construction

| 年 Year | 2000  | 2005  | 2010  |
|--------|-------|-------|-------|
|        | 0.332 | 0.500 | 0.643 |

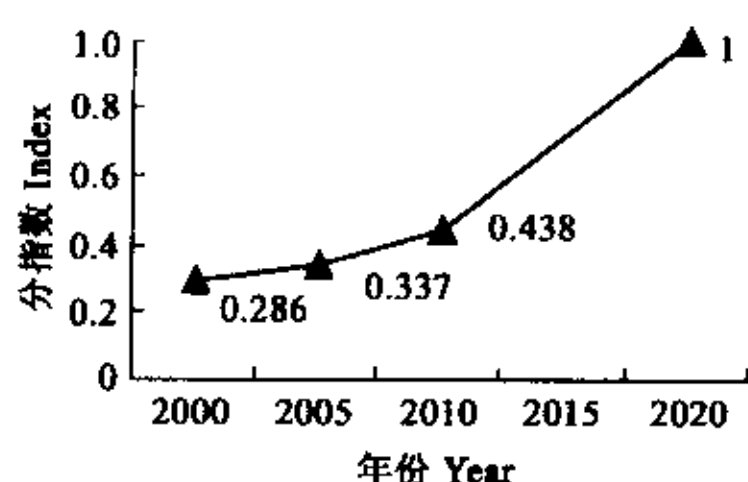


图1 经济发展分指数

Fig. 1 Index of economical development

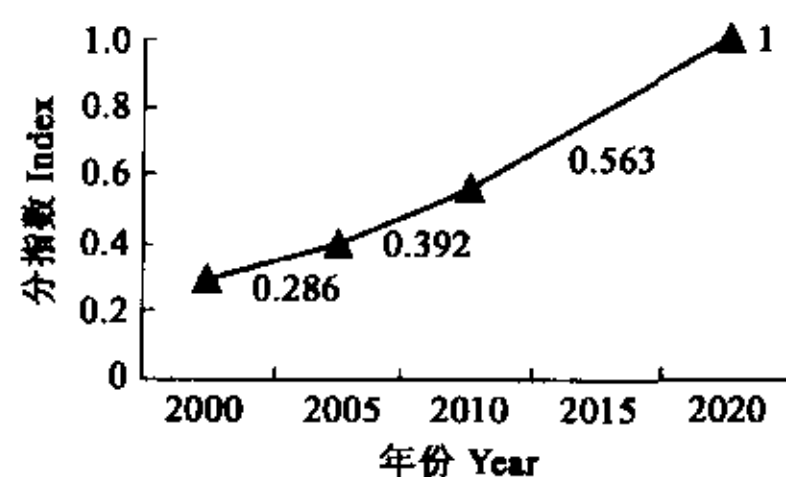


图2 城市与社会发展分指数

Fig. 2 Index of urban and social development

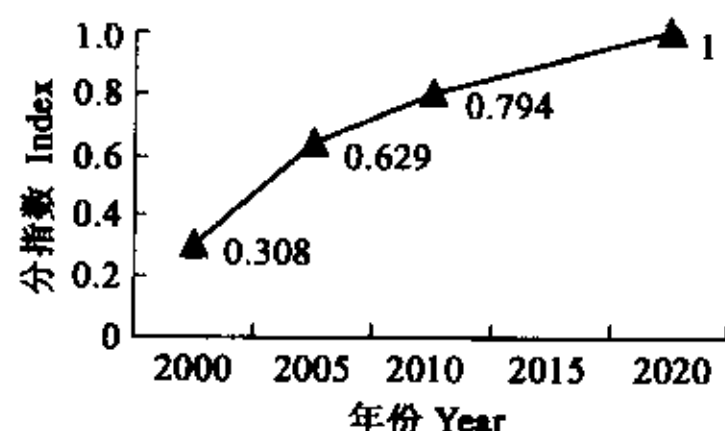


图3 环境保护与污染控制分指数

Fig. 3 Index of environmental protection and pollution control

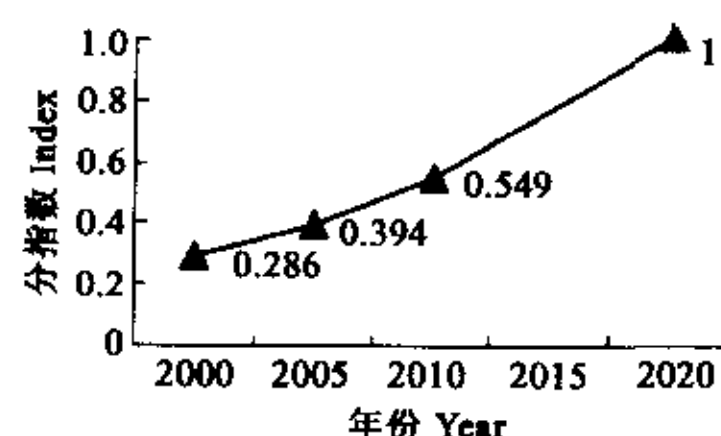


图4 生态保护与建设分指数

Fig. 4 Index of ecological protection

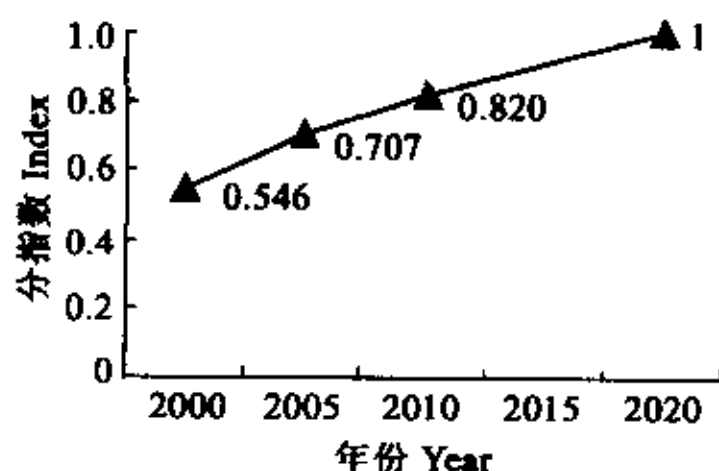


图5 环境管理分指数

Fig. 5 Index of environmental management

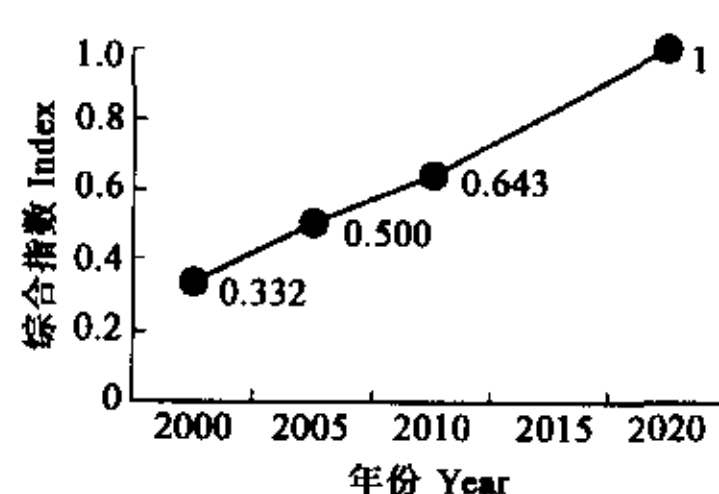


图6 环境保护与生态建设综合指数

Fig. 6 Comprehensive index

0.794 和 0.549, 分别接近高发展水平和较高发展水平。同时, 从 2000 年到 2005 年, 分指数增量  $\Delta CIEE3 = 0.321$ ,  $\Delta CIEE4 = 0.108$ , 而从 2005~2010 年,  $\Delta CIEE3 = 0.165$ ,  $\Delta CIEE4 = 0.155$ 。这表明从 2000 年到 2005 年, “环境保护与污染控制”分指数将增长 0.321, “生态保护与建设”分指数将增长 0.108, 意味着在这一阶段, 浦东新区整个生态环境改善仍将以污染控制为主; 从 2005 到 2010 年, 上述两项指数增长分别为 0.165 和 0.155, 这意味着在这一阶段, 浦东新区生态环境的改善将开始转向污染控制与生态建设并重, 并逐步以生态建设为重点。

(3) 在实证研究中, 建立综合指数并对各级分指数与综合指数进行分级, 是体现面向规划与管理的思想。即采用分指数与综合指数从各个方面(各级分指标)和总体宏观层面反映城市环境保护与生态建设的现状与动态, 反映不同规划年限(时间段)所实现的阶段目标与理想值的贴近程度。这将给管理者和决策者提供直观定量化的参考。

#### 4 结语

建立面向规划与管理的环境保护与生态建设指标体系是环境保护规划实践所提出的要求, 它有利于对区域生态环境现状和规划的落实进行评价, 有利于进行国际间和地区间的比较, 尤其是有助于借鉴国际

上生态城市建设的先进思想和理念,为政府部门的宏观管理和决策提供信息支持。

本文所构建的指标体系是在借鉴了国内外各类环境指标体系的基础上,结合我国目前城市环境保护规划的实际提出的。在上海浦东新区的应用表明,该指标系统能够较为准确地反映区域生态环境保护的现状与规划,具有实际意义。

本文选用多级灰关联法评价指标体系,不仅能对同一地区不同时段的环境保护与生态建设状况进行评价,还可以用于多个地区的相对评价排序。具有较广的适用性。由于灰关联法考虑的是评价序列与目标序列在总体上的相似性和贴近程度,因此,结合该方法所提出的 CIEE 指数,具有综合性。实际应用表明,它能够较为准确地反映指标体系各专题要素及区域综合特征的变化趋势。

运用上述指标体系及评价方法,对上海市浦东新区的环境保护与生态建设的现状和规划进行

了评价。结果表明,浦东新区在经济和社会发展的同时,生态环境质量及管理将获得持续改善,并且逐步由以污染控制为重点转向以污染控制与生态建设并重。环境指标体系的研究是一项综合性、系统性很强的工作,又具有明显的区域特征,还有许多问题有待于进一步探索研究。例如如何引进考虑环境效应的绿色国民经济帐户、建立环境指标体系所需的信息保障与支持系统等。

## References

- [1] Tong C. Review on environmental indicator research. *Research On Environmental Science*, 2000, **13**(4):53~55.
- [2] Allen Hammond. Environmental indicators: a systematic approach to measuring and reporting on environmental policy performance in the context of sustainable development. Washington D C, USA: World Resource Institute, 1995.
- [3] Zhu Q G. Review of the domestic and overseas systems for sustainable development. *Journal of Hefei Union University*, 2000, **10**(1):11~23.
- [4] Niu W Y. An introduction to sustainable development. Beijing: Science Press, 1997.
- [5] Song Y C, Qi R H, You W H, et al. A study on indices system and assessment criterion of eco-city. *Urban Environment & Urban Ecology*, 1999, **12**(5):16~19.
- [6] Gustarson, Kant R, Lonergam, Stephan C, et al. Selection an modeling of sustainable development indicators. *Ecological Economics*, 1999, **28**,117~132.
- [7] Qu F T. Evaluation of sustainable development: some theoretical approaches. *China Population, Resources and Environment*, 1997, **7**(1):50~53.
- [8] Liu H. Indicator system and appraisal method of regional agricultural sustainable development. *Progress in Geography*, 1997, **16**(2):21~25.
- [9] Li L, Wu J, Yue C Y. Studies on the index system and compressive evaluation of urban sustainable development (1). *Journal of Wuhan Urban Construction Institute*, 2000, **17**(2): 30~35.
- [10] Cheng C M, Zhu J P, et al. A study on indicator system and compressive assessment of urban environmental quality (1) - indicator system of compressive assessment. *Environmental Monitoring in China*, 1995, **11**(2): 2~9.
- [11] Cheng C M. A study on indicator system and compressive assessment of urban environmental quality (2)--- Indicators of atmospheric environmental assessment. *Environmental Monitoring in China*, 1995, **11**(3): 36~41.
- [12] Zhao Y H. A study on indicator system and compressive assessment of urban environmental quality (3)--- Indicators of biological assessment. *Environmental Monitoring in China*, 1995, **11**(4):51~53.

表 7 关联度分级

Table 7 Classification of relation values

| 关联度<br>Relation values | 评价描述<br>Classification            | 意义<br>Description               |
|------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| 0~0.3                  | 低关联度<br>Low<br>correspondence     | 表明该指标所描述的专题要素与目标值有较大偏离,处于低发展水平  |
| 0.3~0.6                | 中等关联度<br>Middle<br>correspondence | 表明该指标所描述的专题要素与目标值有一定偏离,处于中等发展水平 |
| 0.6~0.8                | 较高关联度<br>High<br>correspondence   | 表明该指标所描述的专题要素接近目标值,处于相对较高的发展水平  |
| 0.8~1                  | 高关联度<br>Higher<br>correspondence  | 表明该指标所描述的专题要素逼近目标值,处于相对高的发展水平   |

- [13] Zhu J P, Cheng C M, Zhao Y H, *et al.* A study on indicator system and compressive assessment of urban environmental quality (4) — Indicators of noise assessment. *Environmental Monitoring in China*, 1995, **11**(5): 47~49.
- [14] Zhang M S, Zhong J M. Application of AFH in index Study of urban Environmental planning. *Research On Environmental Science*, 1995, **11**(5): 13~19.
- [15] Andrea Merkle, Martin Kaupanjohann. Derivation of eco-systemic effect indicators-method. *Ecological Modeling*, 2000, **130**: 39~46.
- [16] Halberg N. Indicators of resource use and environmental impact for use in decision and for danish livestock farmers. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 1999, **76**: 17~30.
- [17] Marshall I B, Hirvonen H and Wiken E. National and regional scale measures of Canada's ecosystem health. In: Woodley S, Kay J and Francis G eds, *Ecological Integrity and the Management of Ecosystems*, Publisher; St Lucie Press, Boca Raton, FL (USA), 1993. 117~129.
- [18] Leng S Y, Li X B. New progress of international study on land quality indicators (LQIs). *Acta Geographical Sinica*, 1999, **54**(2): 177~185.
- [19] Zuo D Q, Dai S S, *et al.* Studies on evaluation indicator system of water recourses. *Advance in Water Science*, 1996, **7**(4): 367~383.
- [20] Zhu Q G. Evaluations on sustainable development. Shanghai; Shanghai University of finance and Economics Press, 1999.
- [21] Wu R J, Wang X R, Dai L F. *Theories and methods of building of eco-city*. Shanghai; Fudan Univitisny Press, 2000.
- [22] Deng J L. *Gray forecast and decision making*. Wuhan; Huazhong University of Science and Technology Press, 1988.
- [23] Xia J, Wang Z G. Indicator system of quality of ecological environment and gray system rhetoric method. *Research on Ecology*, 1998, **4**(2): 8~11.

#### 参考文献

- [1] 全川. 环境指标研究进展与分析. 环境科学研究, 2000, **13**(4): 53~55.
- [3] 朱启贵. 国内外可持续发展指标体系评论. 合肥联合大学学报, 2000, **10**(1): 11~23.
- [4] 牛文元. 持续发展导论. 北京; 科学出版社, 1997.
- [5] 宋永昌, 戚仁海, 由文辉, 等. 生态城市的指标体系与评价方法. 城市环境与城市生态, 1999, **12**(5): 16~29.
- [7] 曲福田. 可持续发展的衡量与评价. 中国人口·资源与环境, 1997, **7**(1): 50~53.
- [8] 刘慧. 区域农业可持续发展指标体系与评估方法. 地理科学进展, 1997, **16**(2): 21~25.
- [9] 李莉, 吴洁, 岳超源. 城市可持续发展指标体系及综合评价研究(1). 武汉城市建设学院学报, 2000, **17**(2): 30~35.
- [10] 程春明, 朱建平, 周泓, 等. 城市环境质量综合评价指标体系研究之一 —— 综合评价指标体系总报告. 中国环境监测, 1995, **11**(2): 2~9.
- [11] 程春明. 城市环境质量综合评价指标体系研究之二 —— 大气指标体系. 中国环境监测, 1995, **11**(3): 36~41.
- [12] 赵银慧. 城市环境质量综合评价指标体系研究之三 —— 生物指标体系. 中国环境监测, 1995, **11**(4): 51~53.
- [13] 朱建平, 程春明, 赵银慧, 等. 城市环境质量综合评价指标体系研究之四 —— 噪声评价指标. 中国环境监测, 1995, **11**(5): 47~49.
- [14] 张明顺, 钟杰明. 层次分析法在城市环境规划指标体系研究中的应用. 环境科学研究, 1995, **11**(5): 13~19.
- [18] 冷疏影, 李秀彬. 土地质量指标体系国际研究的新进展. 地理学报, 1999, **54**(2): 177~185.
- [19] 左东启, 戴树声, 等. 水资源评价指标体系研究. 水科学研究, 1996, **7**(4): 367~383.
- [20] 朱启贵. 可持续发展评估. 上海; 上海财经大学出版社, 1999.
- [21] 吴人坚, 王祥荣, 戴流芳. 生态城市建设的原理和途径. 上海; 复旦大学出版社, 2000.
- [22] 邓聚龙. 灰色预测与决策. 华中理工大学出版社, 1988.
- [23] 夏军, 王中根. 生态环境质量评价指标体系及多级灰关联评价方法. 生态学研究, 1998, **4**(2): 8~11.