

文章编号: 1007-6301 (2000) 04-0351-08

# 城市快速增长长期生态与环境整合 指标体系研究

杨燕风<sup>1</sup>, 王黎明<sup>1</sup>, 王宏伟<sup>2</sup>, 许顺才<sup>2</sup>

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101;

2. 中国城市规划设计研究院, 北京 100037)

**摘要:** 我国城市化已进入快速增长时期, 同时城市的环境恶化、生态破坏也成为制约城市发展的瓶颈之一。由于在概念的理解上, “生态”与“环境”既有一定的区别, 同时也有重叠的部分, 导致城市生态指标与环境指标选取易出现一定的混淆或过于偏重某一方面, 影响对城市生态与环境总体特征的全面反映。本文从国内外生态与环境指标研究的现状出发, 提出了城市生态与环境指标整合的基本原理, 以定量化方法进行了指标体系的整合, 进而从状态、进展、能力、预警四方面设计出了城市生态与环境整合指标体系, 以图加强城市迅速发展阶段指标体系的有效性和实用性。

**关键词:** 城市发展; 生态与环境整合; 指标体系

**中图分类号:** TU 984; X144 **文献标识码:** A

伴随着 20 年来经济社会长期快速的发展, 我国城市化已进入快速增长时期, 城市发展对经济、社会各方面的贡献举足轻重。但同时, 在我国许多城市中, 环境恶化、生态破坏、资源耗竭等等, 已经成为制约城市发展、限制城市发挥更大作用的瓶颈<sup>[1-3]</sup>。而对城市生态与环境指标体系的研究是解决此类问题必不可少的一项基础性工作。较为合理、全面和有效的城市生态与环境指标体系, 能为城市开发和发展规划研究提供重要的理论基础和调控依据。

由于在概念的理解上, “生态”与“环境”既有一定的区别, 同时也有重叠的部分, 导致城市生态指标与环境指标的选取容易出现一定的混淆或对某一方面的过于偏重, 从而不易全面地反映城市生态与环境的总体特征。本文分析了生态及环境研究的发展, 及其在指标体系应用中的融合趋势, 从生态与环境指标相结合的角度, 提出城市生态与环境整合指标体系, 依据可持续发展观念和系统研究模式探讨了指标体系建立的方法, 并针对中国城市建立了一个体系框架。

**收稿日期:** 2000-09; **修订日期:** 2000-10

**基金项目:** 国家自然科学基金青年基金资助项目 (59808013), 中国科学院知识创新工程重点资助项目 (KZCX2-307), 地理科学与资源研究所知识创新项目 (CX DG-B00-04)

**作者简介:** 杨燕风 (1967-), 男, 硕士, 中国科学院地理科学与资源研究所人地系统开放研究室助理研究员。近年来主要从事区域可持续发展、人地系统机理与调控等领域研究, 发表论文多篇, 出版编著 2 本。E-mail: young9900@yahoo.com 或 young9900@sina.com

## 1 城市生态与环境指标研究现状综述

在传统上,环境科学以研究具体的自然环境要素、特别是非生物要素为主,它与生态学相交的部分(如环境生物学、污染生态学)也是以研究对生态系统造成影响的非生物因素为主。而生态学是由对生态系统的研究发展起来的。指导生态学研究理论主要有层次观、整体论、系统学说以及协同进化。它与环境科学的相交部分则是以研究非生物因素对生态系统造成的影响为主。但近来,这两类学科的研究领域都不断拓展,并在一些方面出现了融合的趋势<sup>[4~8]</sup>。

回顾国内外城市指标体系的研究与应用,也可发现生态、环境指标融合的趋势。

国外关于生态环境指标体系的研究较早、较多<sup>[6,7,9,10]</sup>。日本1974年在大阪进行了城市环境指标体系的评价应用,其指数仅由6个关键因子构成( $\text{SO}_2$ 、飘尘、 $\text{SO}_2$ 与飘尘的乘积、噪声、BOD及交通量强度)。近年出现了许多面向可持续发展的环境指标体系,典型的有1993年欧洲委员会同城市环境国际研究所制定的城市指标体系,该指标包罗范围很广,包括环境质量、绿地、资源、绿色经济、社会公正以及健康等方面<sup>[11]</sup>。

国内生态、环境指标体系的研究起步较晚,但近年有大量研究涌现<sup>[12~16]</sup>。其特点也是针对城市生态的研究相对薄弱。典型的城市生态指标体系有近年沈清基的研究,提出了城市生产生态位和生活生态位等概念<sup>[10]</sup>。近年我国也已开始进行大范围的城市环境指标体系的应用尝试。1999年张坤民结合世界银行“真实储蓄率”方法在三明市和烟台市进行的城市环境指标体系研究和应用具有很好的系统性和方向性<sup>[15]</sup>。

90年代以来国内外可持续发展指标体系的研究逐年增多,其中都包含了一些生态、环境方面的内容,并常将其称作“环境指标”或“环境、资源指标”<sup>[16~29]</sup>。1996年由联合国可持续发展委员会(CSD)与联合国政策协调和可持续发展部(DPCSD)牵头提出的可持续发展核心指标初步框架中,以驱动力-状态-响应(DSR)为基本框架,环境方面则以淡水和大气所占比重较大,提出了水文网密度、消减大气污染物的支出等指标。

总体来看,近年国内外涉及城市生态、环境指标体系的研究与应用都在增多,并出现了注重综合、向社会经济方面扩展的趋势;在可持续发展指标体系的研究中,出现了注重价值化手段和治理能力的倾向。但其中仍存在一些有待改进之处,如城市专项指标体系研究以单一的生态或环境专业为背景的设计为主,特别是以环境污染为主体;而近来较多见于可持续发展指标体系中的生态环境指标则较为粗略;研究中对于预警指标的考虑也较为薄弱。

本研究尝试借鉴生态学和环境科学的学科基础,将二者放于同等重要的地位,并将它们整合成一个综合的指标体系。在这一初步研究的指标分类中,仍可见到将“生态”和“环境”分列的印记,这既是因为本文有意以此表示对二者的并重,也是为了顾及二者传统概念的区别。

## 2 城市生态与环境指标整合的基本原理探讨及指标的初选

城市生态环境的可选指标较为复杂。此次指标体系的研究,除了基于通常的系统性、代

表性、层次性等原则之外, 还探讨了下述 5 种方法, 并以此为依据进行了评价中国城市生态与环境的指标初选。

## 2.1 生态与环境整合

研究中把生态和环境因素统一考虑, 进行了整合。在二者并重的前提下, 结合中国发展的特点, 本文认为在时序上二者的重要程度应略有倾斜。在我国城市现阶段条件下, 有许多环境问题急迫而严重, 并直接危及城市生态和社会经济。生态环境保护和建设的重点应侧重于污染防治, 因此环保方面的指标较为重要; 但随着未来环境条件的改善和生活水准的提高, 生态建设的需求将日益增大。本研究以此依据预选的 60 多个指标中, 涉及环境的指标稍多一些, 在最后形成指标体系(图 1)的 49 个指标中, 偏向于生态的指标有 23 个, 偏向于环境的指标有 26 个。

## 2.2 相关性同独立性结合

在较多备选指标的初选及其后的复选中, 相关性考察和独立性分析都是进行指标筛选的重要手段。本文根据近年一些可得的城市生态环境数据, 计算各指标之间的相关系数, 以各指标间的总体平均相关系数为标准, 将相关性低的指标作为独立性指标, 高的作为相关性指标。再以尽量剔除相关性指标中重叠因素和追求指标的独立性为原则, 对相关性指标进行合并, 合并中优先保留同其它独立性指标重叠少且要素综合性强的指标, 具体方法见下文。

## 2.3 现状和动态配合

城市的生态环境不仅具有明显的空间差异性, 在时间维度上也是一类变化较大的过程, 因此不能仅用静态的状态指标测度。尽管用不同时期的现状指标相比较, 能够看出指标的变化, 但指标变化的程度、加速度和变化特点, 以及各城市间变化趋势的差别却难以发现。而这些有时更能反映迅速变化的生态环境进展, 如大气年  $\text{SO}_2$  浓度变化等。因此, 指标体系的选取注重选择了一些反映变化、趋势的指标, 并在后来把静态的状态和动态的进展列为两类功能团。

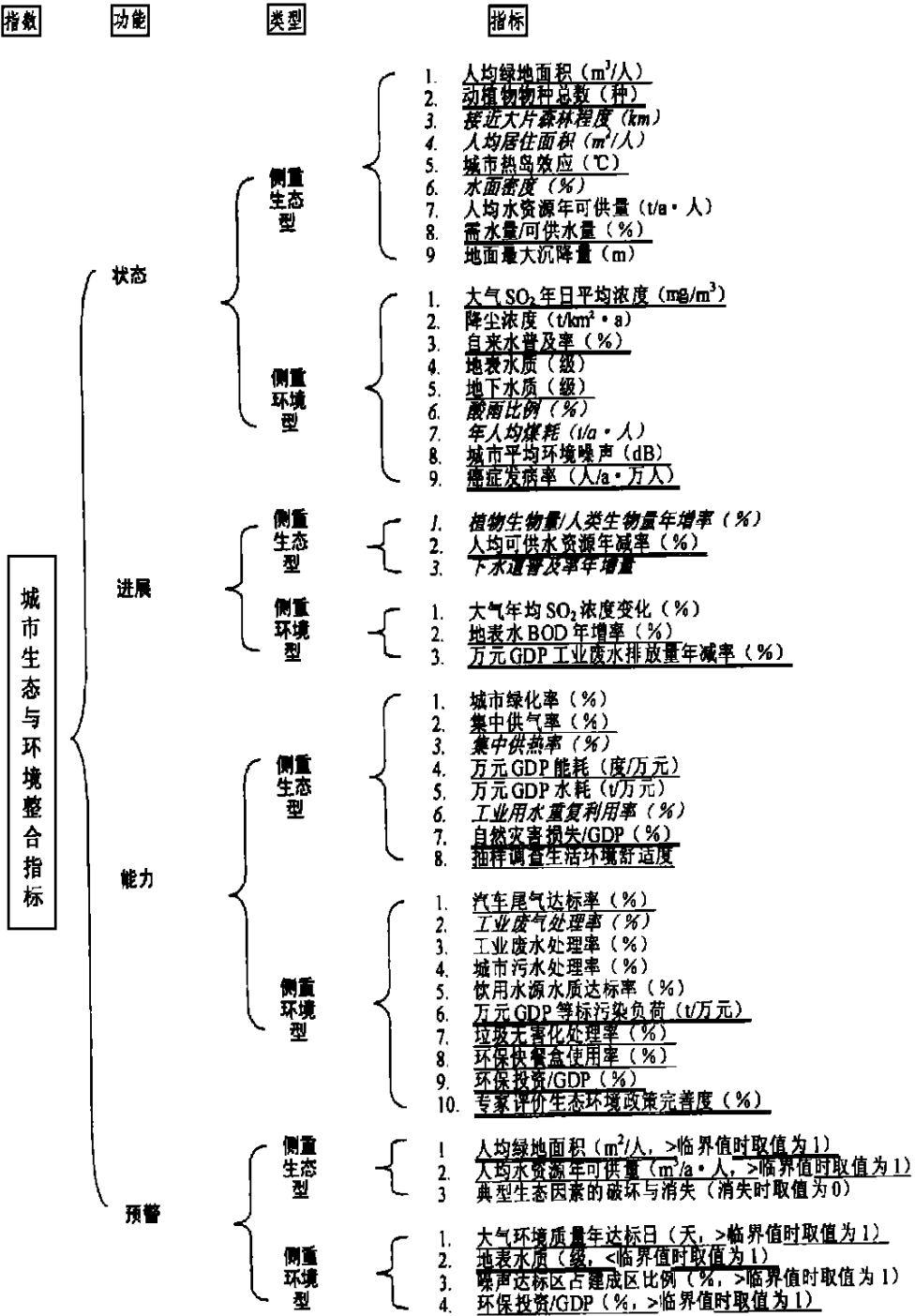
## 2.4 状态同能力缝合

生态环境的建设及维护能力是城市生态环境协调和可持续发展的关键保障, 这方面能力若有缺失, 那么今日再好的状态在未来也迟早面临瓦解。因此, 城市生态环境建设的重点应放在能力的培育上。本研究选择了许多量度生态环境功能的改善、反映其能力建设的指标, 如集中供气率和环保投资/GDP 等, 并将能力建设列为指标体系的 4 个功能团之一。

## 2.5 一般量度与质变预警聚合

生态系统的基本原理表明, 系统在某些因子变化超过临界阈值时会发生失调和突变, 破坏生态平衡。在我国经济社会迅速转型、城市快速发展的情况下, 我国下一阶段城市的生态环境必将经历较大的变化。因而, 在作为评价和监控工具的指标体系中急需建立预警机制。本研究对一些关键指标初步设定了预警值, 如人均绿地面积、地表水质等。这些指标如果低于或高于某一临界区间, 就有可能给城市生态环境带来严重的损害。因此, 这里对预警指标采用布尔代数方式处理: 在未达到阈值时, 这些指标不对指标体系带来影响, 即取满分 1 分; 而在超过阈值时, 则直接取最严重的影响值, 即取 0 分。在指标体系中专门建立了预警功能团。

在这些原则指导下, 研究中初步选出了 60 多个生态与环境评价指标。



核心指标以双下划线表示, 重要指标以单下划线表示, 一般指标以无下划线的一般字体表示, 参考指标以无下划线的斜体字表示。

图 1 城市生态与环境整合指标体系

Fig. 1 The integrated index system of urban ecology and environment

## 3 城市生态与环境指标整合的主要方法

### 3.1 指标的重要性模拟及筛选

在初步选取了量度中国城市生态与环境指标体系的 60 多个指标后, 需要分析指标的合理性、重要性及完整性, 从而对指标进行筛选, 并分出不同的指标重要级别, 以适用于不同要求和程度的应用。

本文利用因子分析法, 根据选取的初步评价指标之间的相关性对其进行分析和降维处理, 从而帮助得到能较充分反映原始评价指标信息的不同重要程度的指标。通过对一些城市的生态与环境数据进行因子分析, 得到了 4 个最大的公因子, 其累计贡献率 (即包含原始指标信息的程度) 达到了 80% 以上, 已可以认为它们基本上反映了原指标的信息。这些公因子不是哪一些初选指标本身, 而是包含了许多指标中的最主要的 4 大方面信息。

第一个公因子同环境污染的关系最为密切, 所涉及的指标也最多, 可称为环境污染因子。其余 3 个公因子是分别以生态、水资源及能源效率为主要信息的因子。

在此基础上, 根据前述相关性同独立性关系的处理等原则, 即可对指标进行精简。精简时兼顾数据的易得性、专家的综合平衡判断, 同时顾及指标在反映生态与环境状态、进展、能力和预警等功能中的均衡分布, 将相关性过高的一些指标剔除, 同时保留一些相对独立又较为重要的指标, 筛选出不同重要程度的 4 个级别指标:

核心指标共 13 个 (图 1 中以双下划线表示), 重要指标共 14 个 (图 1 中以单下划线表示), 一般指标共 13 个 (图 1 中以无下划线的一般字体表示), 参考指标共 9 个 (图 1 中以无下划线的斜体字表示)。

这 4 级重要性程度不同的指标合起来, 就成为本项城市生态与环境指标体系中的基本评价指标, 共 49 个。

### 3.2 指标体系的功能、层次框架构筑

以指标体系评价事物时, 最终要有一个评价结果。量化最高、可比性最强的结果是单值、标量型的数据, 即众多指标要合成一个综合性的指标。

研究中以指标本身所含的功能属性将指标分为 4 大类, 即 4 个功能团。它们分别反映城市生态环境的状态水平、变化进展、治理能力以及临界预警。

此后再以多层结构细化指标分类, 将每个功能团分成侧重于生态方面的指标类型和侧重于环境方面的指标类型。在每个类型中所包含的就是最基层的指标。

这个 4 层指标体系的顶端, 就是最终的综合性指标, 这里称之为“城市生态与环境整合指标”。

### 3.3 指标的标准化与综合

在求取最终的综合指标前, 需要对各基本指标进行标准化处理。其中最直接有效的方法是对每个指标作无量纲化处理。在众多的无量纲化处理方法中, 本文采用一种非负值的  $[0, 1]$  区间的处理法:

对于某一指标 ( $X$ ), 某城市的标准化指标值 ( $D_i$ ), 由其真实值 ( $X_i$ ), 各城市中该指标的最大值 ( $X_{\max}$ ) 和最小值 ( $X_{\min}$ ) 求得。

本指标体系既可用于单一城市各时期生态环境的动态比较, 也可用于多城市某一时期

静态横向比较及多城市多时期动态综合比较。对于单一城市动态比较而言, 参照的最大值和最小值取自各参照基年中的最大值和最小值; 对多城市动态比较而言, 参照的最大值和最小值取自参照的基年内所有城市中的最大值和最小值。

指标值提高对城市生态环境有促进作用的, 其标准化指标值的计算公式为:

$$D_i = (X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}) \quad 0 \leq d_i \leq 1$$

指标值提高对城市生态环境有制约作用的, 其标准化指标值的计算公式为

$$D_i = (X_{\max} - X_i) / (X_{\max} - X_{\min}) \quad 0 \leq d_i \leq 1$$

属于预警类的指标, 其标准化指标值以布尔代数方法计算, 如前所述在 0 或 1 二者中取值。

这样, 对每一指标, 各城市 (或城市各时期) 中最好者的标准化值为 1, 最坏者值为 0。于是各指标加权后的总指数取值便在 [0, 1] 之间。标准化值越大, 表明城市的生态环境水平越好 (而国外较好的城市以此法计算, 其值可能会大于 1)。在首次应用此法的基年之后, 仍可用基年的标准化值为基准来计算各城市 (或城市各时期) 的生态环境指数。这样, 基年后各城市的总指数和各指标的标准值可能会大于 1——表明其比基年最好的城市还好, 但也可能会小于 0——表明比基年最差的城市还差。

由于各个基本指标及各层指标的重要性不同, 指标合成时需进行综合处理。本研究采取了常用的加权处理。功能团和类型的权重最终以层次分析法确定。基本指标的权重则由特尔斐法确定。但由于评估专家在数量及范围上的局限, 得到的权重只是很初步的结果, 这里没有作为结果列出。最后通过加权求和法, 即可得到城市生态与环境指标的综合值。

## 4 讨论

(1) 生态与环境是两个既有区别又相互重叠的概念, 研究二者的学科都在朝着更加丰富、全面的方向发展, 并有部分融合的趋势; 而这两个概念在实际的应用中更具有相近的指代。这是本研究将二者指标整合的基础。

(2) 在以往的城市指标体系应用研究中, 专项的指标体系常以环境或生态单学科为主来发展, 这同既有的学科体系和管理体系有关<sup>[14]</sup>, 如在我国城市建设与管理中, 生态建设主要由园林、建设等部门管理, 而环境主要由环保部门管理。而近年迅速发展的综合型可持续发展指标体系, 已常将生态同环境因素一起分析, 但它们是作为整体指标的一个部分, 不要求其具有完备性。因此, 有必要进行生态与环境指标体系的整合研究。

(3) 本研究为加强城市发展中指标体系的有效性和实用性, 结合可持续发展的要求和系统的观点, 着重运用了一些方法, 如在分析城市生态环境态势基础上重视生态环境恢复能力, 在量度一般变化基础上强调系统预警机制的建立, 在定量分析的基础上适当结合定性评价等。研究中发现, 这些方法的运用并不必然同指标体系要求的定量化、指标易得性等发生矛盾。

## 参考文献:

- [1] 徐巨洲 理性看待中国 21 世纪城市发展[J]. 城市规划, 1998, 22(2): 17~ 21.
- [2] 陈雪明 市场规划学研究势在必行[J]. 城市规划, 1998, 22(5): 38~ 42.
- [3] 张庭伟 控制城市用地蔓延: 一个全球的问题[J]. 城市规划, 1999, 23(8): 44~ 48 [4] Werner H, Tappeiner G. Some remarks on the 'system of integrated environmental and economic accounting' of the united nations[J]. *Ecological Economics*, 1999, 29: 89~ 109.
- [5] 中国大百科全书总编辑委员会《环境科学》编辑委员会 中国大百科全书·环境科学[M]. 北京: 中国大百科全书出版社, 1983 12.
- [6] Wackernagel M, Onisto L. National capital accounting with the ecological footprint concept[J]. *Ecological Economics*, 1999, 29: 375~ 390.
- [7] Wackernagel M. Why sustainability analyses include biophysical assessments[J]. *Ecological Economics*, 1999, 29: 13~ 15.
- [8] 章家恩, 徐琪 现代生态研究的几大热点问题透视[J]. 地理科学进展, 1997, 16(3): 29~ 37.
- [9] World Bank. Monitoring Environmental Progress: a Report on Work in Progress[M]. Washington D C: World Bank, 1995.
- [10] 沈清基 城市生态与城市环境[M]. 上海: 同济大学出版社, 1998 12.
- [11] European Commission. Indicators of Sustainable Development[M]. European Commission, 1997.
- [12] 赵跃龙, 张玲娟 脆弱生态环境定量评价方法的研究[J]. 地理科学进展, 1998, 17(1): 67~ 72.
- [13] 牛新国, 李月彬 城市可持续发展评价指标体系初探[J]. 环境保护, 1998(8): 21~ 23.
- [14] 方 从可持续发展角度对环境影响评价制度的思考[J]. 中国人口、资源与环境, 1998, 8(3): 59~ 62.
- [15] 陈亚宁, 杨思全 自然灾害的灰色关联灾情评估模型及应用研究[J]. 地理科学进展, 1999, 18(2): 158~ 163.
- [16] 张军涛, 李哲 中国半湿润/半干旱类型及区域划分指标的研究[J]. 地理科学进展, 1999, 18(3): 230~ 237.
- [17] 可持续发展指标体系 课题组 中国城市环境可持续发展指标体系研究手册——以三明市、烟台市为例[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1999 6.
- [18] DPCSD. Indicators of Sustainable Development: Framework and Methodologies[M]. N. Y.: United Nations, 1996.
- [19] Hamilton K, Clemens M. Genuine Saving Rates in Developing Countries[M]. World Bank, 1997 10.
- [20] 王海燕 论社界银行衡量可持续发展的最新指标体系[J]. 中国人口、资源与环境, 1996, 6(1): 39~ 44.
- [21] 毛汉英 山东省可持续发展指标体系初步研究[J]. 地理研究, 1996, 16(4): 16~ 22.
- [22] 叶文虎, 仝川 联合国可持续发展指标体系述评[J]. 中国人口、资源与环境, 1997, 7(3): 83~ 87.
- [23] 薛东辉, 窦贻俭 仪征市可持续发展指标体系研究[J]. 城市环境与城市生态, 1998, 11(1): 32~ 35.
- [24] 姚永玲 国际可持续发展指标及评估系统研究的进展[J]. 中国人口、资源与环境, 1998, 8(2): 90~ 93.
- [25] 曹利军, 王华东 可持续发展评价指标体系原理与方法研究[J]. 环境科学学报, 1998, 18(5): 526~ 532.
- [26] 郝晓辉 中国可持续发展指标体系探讨[J]. 科技导报, 1998(11): 42~ 46.
- [27] 王伟中 地方可持续发展导论[M]. 北京: 商务印书馆, 1999 5.
- [28] 王黎明, 毛汉英 我国沿海地区可持续发展能力的定量研究[J]. 地理研究, 2000, 19(2): 157~ 164.
- [29] 李春晖, 杨勤业 环境代际公平判别模型及其应用研究[J]. 地理科学进展, 2000, 19(3): 220~ 226.

## A Study on Urban Ecology and Environment Integrating Index System in the Period of Rapid Urban Growth

YANG Yan-feng<sup>1</sup>, WANG Liming<sup>1</sup>, WANG Hongwei<sup>2</sup>, XU Shun-cai<sup>2</sup>

(1. Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;

2. China Academic of Urban Planning and Design, Beijing 100037, China)

**Abstract:** China is now experiencing the process of rapid urbanization, while environmental deterioration and ecological destruction in urban areas are becoming bottlenecks of urban growth at the same time. On account of the disparity and overlapping of the concepts between ecology and environment, the selection of urban ecological indices and environmental indices often contains problems of confusing the two aspects or overweighting one of the aspect, thus impairing the overall reflection of urban ecological and environmental characteristics.

From the status in quo and discipline currents of ecology and environmental science, and the combining trend of ecological indices and environmental indices in China and abroad, this paper bring forward the basic principles of integrating urban ecological and environmental indices, and integrate them into a united index system using quantitative methods. Finally, the integrated index system is designed bearing fore functional aspects, namely condition, progress, capability, and alertness.

Basing on the methodologies of sustainable development and systematic studies, some attempts are taken during the research, such as attaching the importance of recovery ability of environment and ecosystem, emphasizing the necessity for building the mechanism of system alertness, combining some quantitative analysis in the qualitative analysis, etc., so as to improve the practicability and controllability of index system in the dramatic urban development.

**Key words:** urban development; ecology and environment; integrating index system