

基于生态承载力的城市生态调控

杨志峰 胡廷兰 苏美蓉

(水环境模拟国家重点实验室,北京师范大学环境学院,北京 100875)

摘要 城市生态系统承载力反映了城市生态支持系统对城市发展的支撑功能,它是供给与需求的统一体,社会经济发展的无限需求与生态支持系统的有限供给之间的矛盾决定了城市生态系统承载力的阈限必然存在。引入生态承载力理论,结合其阈限性,解析了导致城市生态危机的生态承载力供需失衡根源。而生态承载力的阈限特征通常在少数瓶颈要素上表现出来,因此城市生态调控最终落脚到调节生态承载力瓶颈要素的供需上。针对瓶颈要素,给出了城市生态调控的层次、方法和蓝图,即从自然、功能和人文 3 个层次,根据具体情况采取调节供给或需求的措施进行生态调控,最终实现稳定的、持续的城市发展。

关键词 生态承载力;生态支持系统;供需;城市生态调控

文章编号:1000-0933 (2007)08-3224-08 中图分类号:Q148,X32 文献标识码:A

Urban ecological regulation based on ecological carrying capacity

YANG Zhi-Feng, HU Ting-Lan, SU Mei-Rong

State Key Laboratory of Water Environmental Simulation, School of Environment, Beijing Normal University, Beijing 100875, China

Acta Ecologica Sinica 2007 27 (8) 3224 ~ 3231.

Abstract :The urban ecosystem carrying capacity (UECC) represents the sustaining function of urban ecological supporting system (UESS) on urban development. It is an unity integrating supply of UESS and demand of urban development that link, influence, and restrict each other. The conflict between the infinite demand of urban socioeconomic development and finite supply of UESS determines the threshold value of UECC. Employing the theory of ecological carrying capacity (ECC) and considering its threshold, we analyzed the situations of imbalance between supply and demand of ECC, which results in an urban ecological crisis. The imbalance, i. e. the threshold of UECC, is usually caused by a few limiting factors. Therefore, corresponding urban ecological regulation (UER) should focus on the imbalance between supply and demand of these limiting factors. Having identified the limiting factors of UECC, we gave the regulative layers, concrete measure, and the blueprint of UER. In a word, the UER is actualized from three levels including natural, functional, and human levels, by the means of regulating supply or demand of limiting factors according to actual situations. By these efforts, the steady and sustainable urban development will be obtained finally.

Key Words :ecological carrying capacity; ecological supporting system; supply and demand; urban ecological regulation

当前,城市已经无可争议地成为人类活动的中心以及物质文明和精神文明的荟萃之地。然而,传统城市发展模式产生的巨大生态环境压力及其诱发的一系列生态环境问题,已经严重阻碍了现代城市可持续发展目

基金项目:国家重点基础研究计划资助项目(2005CB724204)

收稿日期:2006-07-07;修订日期:2006-12-11

作者简介:杨志峰(1963~)男,河北辛集人,博士,教授,主要从事为水资源与水环境、生态规划与管理研究。E-mail:zfyang@bnu.edu.cn

Foundation item :The project was financially supported by State Key Basic Research and Development Plan of China (No. 2005CB724204)

Received date 2006-07-07; **Accepted date** 2006-12-11

Biography :YANG Zhi-Feng, Ph. D., Professor, mainly engaged in water resources and water environment, ecological programming and management.

E-mail:zfyang@bnu.edu.cn

标的实现。Makoto Yokohari 等在研究亚洲特大城市后指出,如果不对城市进行有效的调控,那么城市环境的未来将极不明朗^[1]。因此,基于人类生存与可持续发展的最终目的,系统地探究城市生态环境问题产生的根源,制定城市生态调控方案,具有重要的理论价值和实践意义。现有的城市生态调控研究仅对城市的发展范式、调控目标、调控原理及调控途径等内容进行了探讨。生态城市的发展范式得到世界各国的普遍认同^[2,3]。人们对于“高效、和谐”的城市生态调控目标,“胜汰、拓适、循环、反馈、生克、乘补、瓶颈、平衡、机巧、反馈”的生态调控原理^[4,5],以及“生态工艺设计与改造、共生关系的规划与协调以及生态意识的普及与提高、生态与环境的建设、生态与环境的管理”等生态调控途径^[6,7]的认识也较为一致。但总体来看,目前城市生态调控研究还处于起步阶段,尽管对城市发展模式进行了有益探讨,但大多是孤立地讨论目标模式下的城市特征,忽略了目标(模式)与问题解决过程(调控)之间有机的必然的联系,从而较少关注城市生态系统的现状及对生态环境问题的本质剖析。本文从生态承载力理念切入,解析了导致城市生态危机的生态承载力根源,并据此进一步给出了城市生态调控的层次、方法和目标。

1 城市生态系统承载力的阈限性

1.1 城市生态系统承载力概念再介绍

“承载力”最初是工程地质领域的概念,其本意指地基的强度对建筑物负重的能力^[8]。1921年,“承载力”一词被转引到生态学领域,以自然生态系统为研究对象,形成了种群承载力概念,指某一环境条件下承载基体所能维系的承载对象的数量阈值^[9]。其后,随着社会经济的发展、资源环境问题的日益突出,以及人们对生态环境问题认识的逐渐深入,相继出现了资源承载力、环境承载力和生态承载力的概念^[9]。直至城市复合生态系统理论被提出后,城市生态系统承载力才以一个整体性、系统性的概念被提出^[10]。与自然生态系统相比,城市生态系统中承载基体与承载对象的关系复杂且互动性强。因此,城市生态系统承载力在概念和内涵上与传统的承载力有很大差异,不仅仅局限于城市生态系统能够供养或维系多少人或经济活动,而是在满足人类一定生活水平和对生态环境质量的要求基础上,维持城市生态系统正常功能和健康水平的能力反映^[10]。

城市是一个高度复合的生态系统,其承载力的研究必须建立在包括资源、环境与人类系统在内的复杂的生态系统基础之上。一方面,作为人口聚集地和高强度经济活动的主体,城市具有旺盛的资源、能源、原料需求和严格的生态环境质量要求;另一方面,作为一个耗散结构和人工生态系统,并非所有的城市子系统都可以提供其所需的物质原料和环境基础。集高聚集性、不完整性、脆弱性、复杂性于一身的城市生态系统,要实现可持续发展,必须依靠一定的生态支撑^[11],来不断获取物质和能量、输出产品和废物,保持自身的稳定有序。发挥这种支撑作用的即为城市生态支持系统,它是城市生态系统中用以协调城市与自然的关系、维持和推动整个城市生态系统的稳定和平衡,为城市提供生态支持和调控的系统^[12]。它由一系列复杂的生态环境要素构成,不同要素具有不同功能和支撑作用,能够满足城市发展的不同要求。城市生态支持系统对城市发展的支撑作用主要包括由资源要素(如水资源、土地资源、能源等)、环境要素(如水环境、大气环境、绿地系统等)决定的资源持续供给能力、环境持续容纳能力、自然持续缓冲能力和社会持续发展能力,这种支撑作用即为城市生态系统承载力。可见,城市生态系统承载力建立在其生态环境基础(城市生态支持系统状况)之上,表征的是城市生态支持系统对城市发展的支撑功能,在一定政治、社会、经济、技术背景下决定着城市可持续发展状况、方向和规模。

1.2 城市生态系统承载力阈限性特征

城市生态系统承载力是供给与需求的统一体,供给与需求相互联系、制约和影响,构成系统演替的内在根本动因,其中需求为供给提供前提条件,而供给又为需求创造可能,只有两者处于相互调适、动态平衡状态下,才能促进系统的高效和谐发展。一方面,城市社会经济系统增长型的发展趋势决定了其对生态承载力的需求是无限的。另一方面,对特定城市生态系统而言,由于城市具有固定的物理边界,生态支持系统具有特定的空间范围和地域界限,其结构和功能趋向稳定,短期内资源禀赋和环境容量等都是常数。即城市生态支持系统

的发展是稳定型的,它寻求在发展中的平衡与协调^[13],在一定时期内,生态承载力供给不可能出现质的飞跃。因此,社会经济发展无限需求与生态支持系统有限供给之间的矛盾决定了制约城市生态系统承载力的阈限必然存在。

从城市社会经济系统和自然系统之间的供需平衡关系出发,城市生态系统承载力阈限从理论公式上可表达为:

$$C^t = \min (f(p_i, K_i, t, D)) \tag{1}$$

式中 p_i 为影响生态承载力的第 i 个要素的社会经济因素,如科技、贸易等; K_i 为组成城市生态支持系统生态承载力的第 i 个要素的生态环境特征,如更新规律、生态调控能力等; t 为时间; D 为城市生态系统对第 i 种要素的需求; f 为 T 时段由城市自然因素、社会因素和经济因素共同决定的第 i 个要素的生态承载力函数; C^t 为由各系统要素的协同作用决定的城市生态系统承载力。

2 城市生态危机的生态承载力解析

不考虑其他因素,社会经济发展与环境质量之间的库兹尼茨曲线^[14]毫无疑问地为人类社会的发展包括城市的发展描绘了美好的前景,它表明在社会经济得到良好发展的同时,最终生态环境质量也将得到完好的恢复。然而单从此曲线(图1)看城市发展的演变机制显得有些片面,因为曲线所展示的社会经济发展与环境质量之间的关系隐含着一个假设前提:即社会经济系统与自然系统的联动发展到达拐点之时,环境质量的退化尚未触及城市生态系统承载力阈限。如果在城市发展机制中引入生态承载力理论,考虑到生态承载力阈限,则城市发展可能出现多种情况(图2)。图2揭示了在人类社会的发展过程中,人与自然关系的4种经典模式,同时也代表了人类社会发展的4种层次。

(1) OKD 型发展 这是一种理想的发展模式,在社会经济系统与自然系统的联动发展到达拐点时,环境质量退化被控制在生态承载力警戒线范围内,通过拐点后由于环保意识增强、环保投入增加等原因,社会经济发展对生态环境的胁迫逐步减小,实现社会经济与自然的同步良性发展。

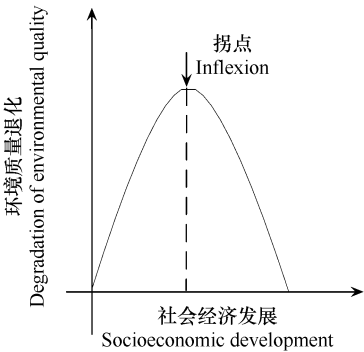


图1 社会经济发展与环境质量的库兹尼茨曲线示意图
Fig. 1 The Kuznets Curve of socioeconomic development and environmental quality

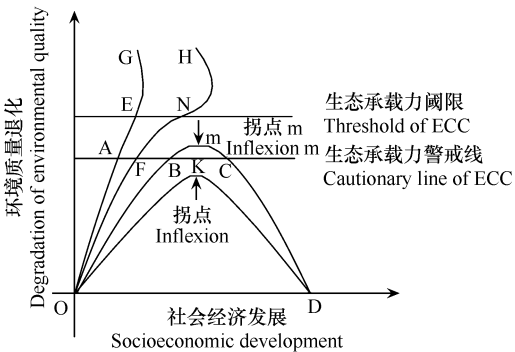


图2 基于生态承载力的城市社会经济发展与生态环境耦合机制
Fig. 2 Coupling mechanism between urban economic development and environment based on ecological carrying capacity

(2) OBMCD 型发展 这是一种先发展、后治理的模式,在社会经济系统与自然系统的联动发展到达拐点时,突破了生态承载力的警戒线,但其胁迫尚在自然生态系统的耐受范围(生态承载力阈限)之内,因此通过生态调控,生态环境退化的趋势得到有效遏制,生态环境质量逐步得到改善,最终实现人与自然的协调发展。

(3) OFNH 型发展 这同样是一种先发展、后治理的模式。与 OBMCD 型发展所不同的是,在社会经济系统发展到达拐点时,其对自然系统的干扰不仅突破了生态承载力的警戒线,而且突破了生态承载力阈限。由于在人工调控下也难以遏制生态恶化或者自然生态系统严重退化,使得治理环境污染和生态退化的技术难度大,其经济成本和社会成本超出了人类社会所能够承受的范围,使得经济效益、社会效益和环境效益都无法达

到预期目的,最终城市生态系统发展停滞。

(4)OAEG 型“发展”这是传统发展模式,它以牺牲生态环境为代价实现社会经济的增长。在早期阶段,由于人类对自然的开发能力有限,以及环境本身的自净能力还较强,所以人类活动对环境的影响不太明显。其后随着工业的发展、生产规模的扩大和人口的增长,社会经济对生态环境的干扰不仅突破了生态承载力的安全警戒线,而且使自然生态系统退化程度超出了其能够自动调节恢复的弹性范围,导致城市生态危机日益严重,最终将导致自然生态系统的崩溃及生态承载力的衰竭,同时也终结了城市生态系统的发展。这种发展模式,人类犹如环境的寄生虫,索取想要的一切,而很少考虑寄主(即城市生态支持系统)的健康,由于这种发展模式不存在拐点,自然系统与社会经济系统始终无法实现联动发展,是一种毁灭式“发展”。

在 OKD 和 OBMCD 模式下,由于社会经济系统与自然系统的联动发展到达拐点时,尚未突破城市生态系统承载力阈限,此后通过及时合理的调控,都可使生态环境质量逐步改善,最终实现社会、经济、环境的协调发展。然而在 OFNH 和 OAEG 模式下,一旦突破了城市生态系统承载力阈限,生态环境恶化的趋势无法得到遏制,城市生态危机难以缓解。可见,是否会爆发城市生态危机以及能否消除危机,取决于城市社会经济系统与自然系统的联动发展是否超越了城市生态系统承载力阈限。如前分析所述,城市生态系统承载力的阈限是由承载力的供需关系决定的。因此,可以说,城市生态危机产生的本质是由城市社会经济发展无限需求与生态支持系统有限供给之间的矛盾所决定的生态承载力的供需失衡。当城市社会经济发展的需求与生态支持系统的供给之间的矛盾与缺口不可调和时,即将爆发城市生态危机。辩证地从生态承载力的供求来看,城市生态危机主要源于两方面原因 ①生态支持系统的支撑功能(生态承载力供给)未能完全发挥效用;②社会经济系统对生态承载力的无序、过度利用。显然,OAEG 和 OFNH 模式由于无法根除生态危机而不能实现发展目的,是不可取的发展模式;我们应力争实现最优的在生态承载力警戒线范围内的 OKD 发展,或者次优的 OBMCD 发展,在消除和避免城市生态危机、保障城市生态安全基础上促进人类社会进步。

3 基于生态承载力的城市生态调控

城市生态调控的意义在于通过必要的措施,实现城市生态系统承载力的供需在时空尺度上的平衡,从而缓解和根治城市生态危机。

3.1 调控对象——城市生态系统承载力瓶颈要素

城市生态系统承载力受多重因素影响,如同适用于自然生态系统的生态因子作用规律和最小因子法则所描述的“各种生态因子总是综合地起作用,但具体情况下总是由一个或少数几个生态因子起着主导作用”^[15]一样,城市生态系统承载力的阈限特征通常在少数瓶颈要素上表现出来,这些瓶颈要素是一定条件下阻碍和制约城市社会经济系统发展速度和规模、主导城市发展方向的关键要素。

3.1.1 瓶颈要素供需关系分析

瓶颈要素可以通过经济学意义上的供需关系来表达,特定时段商品供给与需求有 3 种情况:商品过剩的供大于求状态、商品短缺的供小于求状态和市场出清的供求平衡状态(图 3)。

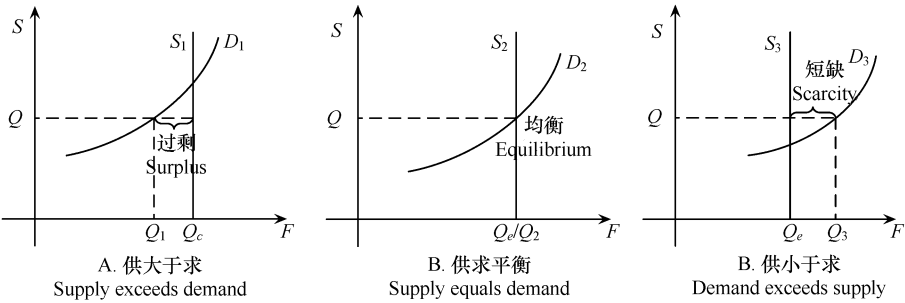


图 3 城市生态支持系统要素供给与需求关系

Fig. 3 The relationship between factor's supply and demand of urban ecological supporting system

图 3 中 纵轴 S 为社会经济规模 横轴 F 代表构成城市生态支持系统的要素或者要素所产生的生态承载力 (此处的生态承载力为生态承载力分力)。A、B、C 分别表示要素所处的不同供需状态 S_1 、 S_2 、 S_3 分别为由城市生态支持系统状态决定的要素或生态承载力供给曲线 Q 为现实社会经济规模量 D_1 、 D_2 、 D_3 分别为要素或生态承载力需求曲线。 Q_e 为由供给曲线和需求曲线共同决定的均衡数量,也即要素或者生态承载力分力可持续最大供给量 Q_1 、 Q_2 和 Q_3 分别为由现实社会经济规模决定的要素或生态承载力需求量。

对比图 3 中供需状态 A 中,由现实社会经济规模决定的需求量 Q_1 小于供给量 Q_e ,产生剩余;B 中,供给量 Q_e 与需求量 Q_2 相等,此时既不存在过剩,也不存在短缺;C 中,供给量 Q_e 小于现实社会经济规模需求量 Q_3 ,短缺现象产生。与经济学中商品供给与需求不同,城市生态支持系统要素或生态承载力供大于求时,并没有额外的社会成本支出,即处于 A 状态和 B 状态的要素不会对城市生态系统发展有太大影响,而当要素或生态承载力的供给不能满足社会经济的需求时,将会影响城市生态系统的正常发展,因此处于 C 状态的瓶颈要素的状况是需要重点关注的。

3.1.2 瓶颈要素评价方法

通过瓶颈要素评价,找出处于供小于求状态、有可能对城市生态系统产生重大影响的城市生态支持系统瓶颈要素,进而才能制定相宜的生态调控措施。胡廷兰等^[6]根据城市生态支持系统要素的不同性质及供需特征,将要素分为资源要素和环境要素,采用分别针对两类要素的瓶颈指数来明确要素需求与要素供给之间的缺口,从而表征要素对城市发展的阻碍和制约程度^①:

资源要素 $R_i = \frac{L_i}{D_i} \times 100\% = \frac{D_i - B_i}{D_i} \times 100\% \quad (D_i \geq B_i)$ (2)

环境要素 $R_i = \begin{cases} \frac{H_i - H_i^s}{H_i^s} & (\text{适用要素: 林地、绿地、能源结构}) \\ \frac{H_i - H_i^s}{H_i^s} & (\text{适用要素: 大气环境、水环境}) \end{cases}$ (3)

式中 R_i 为要素 i 的短缺指数, B_i 为要素 B_i 为要素供给量,即供需均衡状况下要素 i 的需求量, D_i 为社会经济系统对瓶颈要素 i 的实际需求量, L_i 为对瓶颈要素 i 的实际需求量与均衡需求量之差, H_i 为要素 i 的环境质量状况, H_i^s 为要素 i 的环境质量标准。

3.2 调控层次

城市生态调控具有显著的层次性特征,借鉴学者们提出的生态城市设计与实施层次和行动阶段理论^[7,18],将基于生态承载力的城市生态调控分为 3 个层次(图 4)。

3.3 调控方法

为解决城市生态系统承载力瓶颈要素的供需失衡问题,城市生态调控主要从两方面入手。一方面是调节供给,通过贸易、技术等手段开发新的供给源,提升瓶颈要素的供给能力,表现在供给曲线上就是供给曲线向右平移。尤其是对于资源短缺型城市,更应下意识地广开供给源,降低式(1)中 p_i 的制约作用。另一方面就是调节需求,这种调节又分两种情况:一种是当前社会经济发展速度过快,与城市生态支持系统的支撑能力不相适应,此种情况下,生态调控的任务是提高资源利用效率以减少要素需求(减小式(1)中 D 取值),使要素供给与需求趋向平衡;另一种情况是当前的社会经济规模合理,但由于配套设施不健全、技术工艺落后、要素利用不合理而导致瓶颈问题出现,此时生态调控的任务是通过工程建设、技术革新、加强管理等措施提高要素的有效供容能力(改善式(1)中 K_i 状况)。调节需求的这两种情况表现在需求曲线上就是需求曲线的上移。生态调控与瓶颈因素供需关系变化用图解简略表示如图 5,其中 S_0 、 D_0 为瓶颈要素实施生态调控前的供给需求状况, S' 、 D' 为实施生态调控后要素供给需求状况, S_{F0} 为实施生态调控前的瓶颈要素短缺量, S_{F1} 、 S_{F2} 分别为调节需求和调节供给后的瓶颈要素短缺量。

① 胡廷兰. 基于生态规划的城市生态调控研究. 北京师范大学博士学位论文, 2005: 56-57

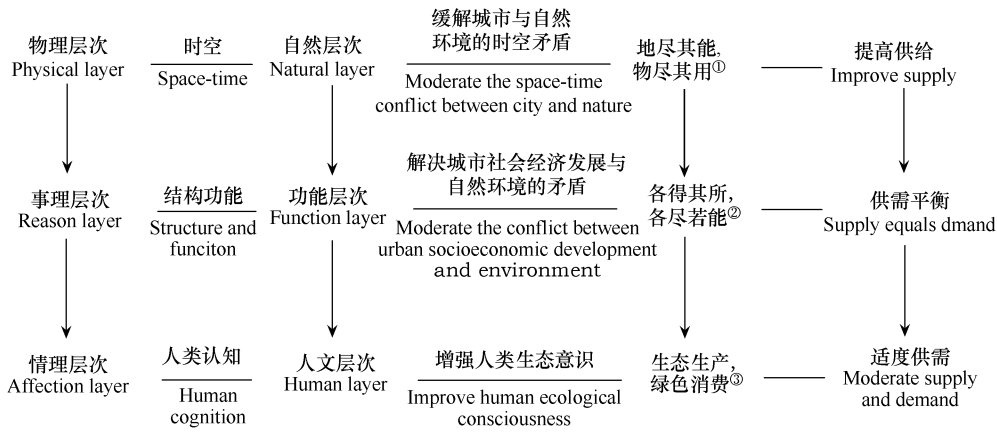


图 4 基于生态承载力的城市生态调控层次

Fig. 4 Layers of urban ecological regulation based on ecological carrying capacity

① material is used adequately ; ② everything stands at suitable place and play its role ; ③ ecological production and green consumption

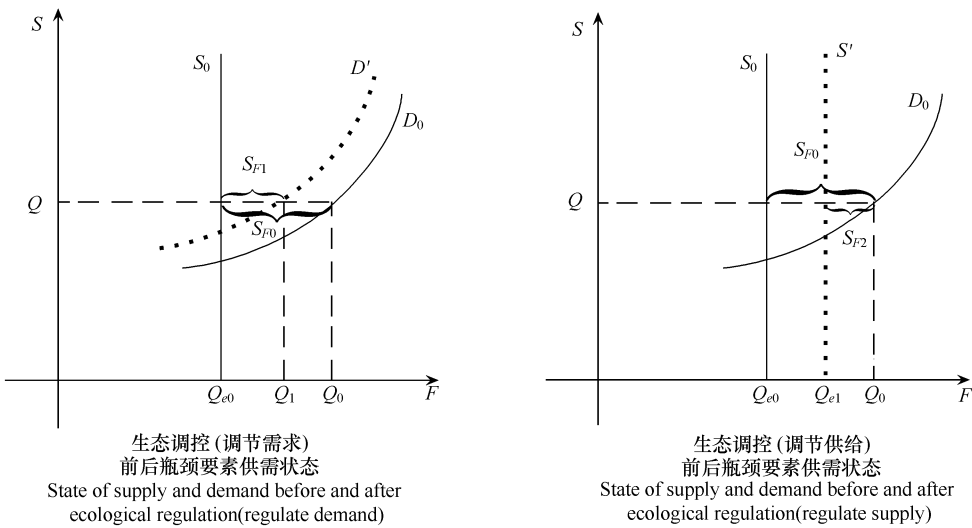


图 5 城市生态系统承载力瓶颈要素生态调控方法

Fig. 5 Urban ecological regulation for limiting factors of urban ecological carrying capacity

3.4 调控蓝图

城市发展与生态承载力利用具有指数型关系 ,这种关系可用 Logistic 曲线表示 (图 6)。图中 P 为城市生态系统发展状态 , CC 为生态承载力 , T 为时间 , T_i 为第 i 个时段 ,为第 T_{ij} 个时段内第 j 个时间点 , K_i 为第 i 个时段内的生态承载力水平 , K_{ij} 为第 i 个时段内第 j 个时间点的生态承载力水平。当城市发展对生态承载力利用在其供给范围之内时 ,构成生态承载力的各项生态环境因子作为城市发展的利导因子而存在 ,对其无阻滞作用 ,城市发展呈指数增长 ,而随着生态位的迅速被占用 ,一些生态因子逐渐成长为限制因子 ,系统状态趋于稳定 [15 ,19 20]。

基于城市生态系统承载力的生态调控旨在改善生态承载力瓶颈要素供需关系 ,保障要素供需平衡 ,将城市发展对生态承载力的需求控制在生态承载力供给水平范围内。当生态承载力需求接近生态承载力供给水平时 ,通过调控区域内部结构和改善外部环境条件等措施 ,改善生态承载力供需关系 ,克服旧的限制因子的束缚 ,从而使城市发展从较低层次跃到较高层次 ,实现下一次的 Logistic 发展 ,通过对生态环境的跟踪、适应和改造 [20] ,促使城市生态系统不断的演替进化 ,形成如图 7 所示的城市发展与生态承载力利用的组合 Logistic 曲

线^[9]。在这种发展模式下,城市演变的不同时段均表现出“S”型增长过程,城市生态系统具有持续的发展能力和一定的平衡机制,表现出良好的稳定性。

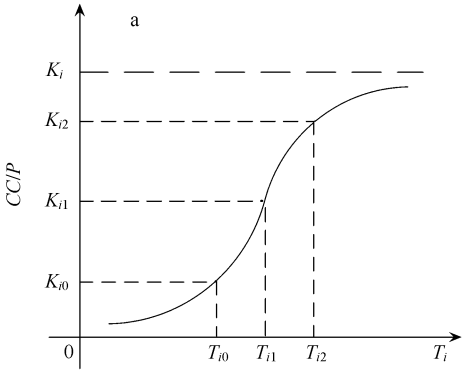


图6 城市发展与生态承载力利用状况

Fig. 6 Sketch of urban development and using of ecological carrying capacity

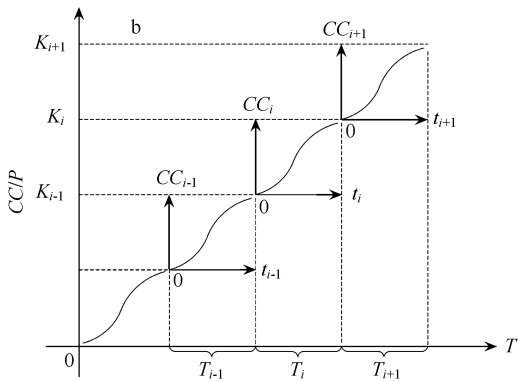


图7 城市发展与生态承载力利用的组合 Logistic 曲线

Fig. 7 Combining Logistic Curve of urban development and using of ecological carrying capacity

4 结论

(1)生态承载力是供给与需求的统一体。城市社会经济发 展的无限需求与生态支持系统的有限供给之间的矛盾决定了制约城市生态系统承载力的阈限必然存在。

(2)在城市发展机制中引入生态承载力理论,则城市发展会因社会经济发展需求是否超出生态承载力阈限而出现不同的模式。这也揭示了城市生态危机产生的本质为生态承载力的供需失衡,这种失衡主要源于生态支持系统的支撑功能(生态承载力供给)未能完全发挥效用以及社会经济系统对生态承载力的无序、过度利用。

(3)城市生态系统承载力的阈限特征通常在少数瓶颈要素上表现出来。应通过瓶颈要素评价,找出处于供小于求状态、有可能对城市生态系统产生重大影响的城市生态支持系统瓶颈要素,进而制定相宜的生态调控措施。可以从自然(物理)、功能(事理)和人文(情理)3个层次入手,根据具体情况通过贸易、工程建设、技术革新、加强管理等措施来调节生态承载力瓶颈要素的供给或需求,最终实现城市发展不同时间段的 Logistic 增长,即实现稳定的、持续的城市发展。

References :

[1] Yokohari M, Takeuchi K, Watanabe T, *et al.* Beyond greenbelts and zoning : A new planning concept for the environment of Asian mega-cities. *Landscape and Urban Planning*, 2000, 47 : 159 – 171.

[2] Shen Q J. *Urban Ecology and Urban Environment*. Shanghai : Tongji University Press, 1998.

[3] Yang Z F, He M C, Mao X Q, *et al.* *Programming for Urban Ecological Sustainable Development*. Beijing : Science Press, 2004 : 3 – 4.

[4] Wang R S, Zhou Q X, Hu R. *Method of Urban Ecological Adjustment*. Beijing : Meteorologic Press, 2000.

[5] Wang X R. *Ecology and Environment-New Theory for Urban Sustainable Development and Ecological Adjustment*. Nanjing : Southeast University Press, 2000.

[6] Li Y F, Zhu X D. Conceptual Model of Ecological Cybernetics for Qiansan Islets. *Marine Science Bulletin*. 2003, 22 (6) : 36 – 42.

[7] Yi W J. Urban Environmental Problem and Ecological Adjustment. *Safety and Environmental Engineering*, 2005, 12 (1) : 1 – 4.

[8] Chen D L, Dong M H, Peng B F. A Summary of the Research on Ecological Carrying Power. *Journal of Hunan University of Arts and Science (Social Science Edition)*, 2005, 30 (5) : 70 – 73.

[9] Gao J X. Theory and Method of Eco-Environmental Management in New Century. *Environmental Protection*, 2002, (7) : 9 – 14.

[10] Xu L Y, Yang Z F, Li W. Theory and evaluation of urban ecosystem carrying capacity. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25 (4) : 771 – 777.

[11] Yang Y, Zhu L B. Design and Case Analysis on Index System of Urban Ecological Supporting System. *Shanghai Environmental Science*, 2001, 20 (5) : 237 – 240, 256.

[12] Yang Y ,Zhu L B. Seeking Ecological Supporting on Urban Sustainable Development-Theories on Urban Ecological Supporting System. *Ecologic Science* ,1999 ,18 (4) :48 —52.

[13] Zhang X X ,Wu Z Q. Sustainable Development Strategies and Environmental Protection Research for Guangzhou City. Guangzhou :Guangzhou Press ,1999.

[14] Yandle B ,Vijayaraghavan M ,Bhattatai M. The Environmental Kuznets Curve ,2002.

[15] Sun R Y ,Li B ,Zhuge Y ,*et al.* General Ecology. Beijing :Higher Education Press ,1993.

[16] Hu T L ,He M C ,Yang Z F. Method and Applied Research for Bottle-neck Analysis of Urban Ecological Supporting System. *Acta Ecologica Sinica* ,2004 ,24 (7) :1493 —1499.

[17] Wang R S. High Efficiency and Harmony Principle for Urban Ecological Adjustment. Changsha :Hunan Education Press ,1988.

[18] Wang X R. On the Theories ,Ways and Countermeasures for the Construction of Eco-city — A Case Study of Shanghai ,China. *Journal of Fudan University (Natural Science)* ,2001 ,40 (4) :349 —354.

[19] Cao L J. Theory and Method for Evaluation of Sustainable Development. Beijing :Science Press ,1999.

[20] Wang R S ,Chi J ,Ouyang Z Y. Ecological Integration Method for Sustainable Development of Middle and Small Town. Beijing :Meteorologic Press 2001.

参考文献：

[2] 沈清基. 城市生态与城市环境. 上海 :同济大学出版社 ,1998.

[3] 杨志峰 ,何孟常 ,毛显强 ,等. 城市生态可持续发展规划. 北京 :科学出版社 ,2004 3 ~4.

[4] 王如松 ,周启星 ,胡聃. 城市生态调控方法. 北京 :气象出版社 ,2000.

[5] 王祥荣. 生态与环境——城市可持续发展与生态环境调控新论. 南京 :东南大学出版社 ,2000.

[6] 李杨帆 ,朱晓东. 海州湾前三岛生态调控概念模型的设计. *海洋通报* ,2003 ,22 (6) :36 ~42.

[7] 伊武军. 城市环境问题与生态调控. *安全与环境工程* 2005 ,12 (1) :1 ~4.

[8] 陈端吕 ,董明辉 ,彭保发. 生态承载力研究综述. *湖南文理学院学报 (社会科学版)* 2005 ,30 (5) :70 ~73.

[9] 高吉喜. 新世纪生态环境管理的理论与方法. *环境保护* 2002 , (7) 9 ~14.

[10] 徐琳瑜 ,杨志峰 ,李巍. 城市生态系统承载力理论与评价方法. *生态学报* 2005 25 (4) :771 ~777.

[11] 杨芸 ,祝龙彪. 城市生态支持系统的指标体系设计及实例分析. *上海环境科学* ,2001 ,20 (5) :237 ~240 ,256.

[12] 杨芸 ,祝龙彪. 寻求城市可持续发展的生态支撑-城市生态支持系统理论初探. *生态科学* ,1999 ,18 (4) :48 ~52.

[13] 张先贤 ,吴政齐. 可持续发展战略与广州市环境保护研究. 广州 :广州出版社 ,1999.

[15] 孙濡泳 ,李博 ,诸葛阳 等. 普通生态学. 北京 :高等教育出版社 ,1993.

[16] 胡廷兰 ,何孟常 ,杨志峰. 城市生态支持系统瓶颈分析方法及应用研究. *生态学报* ,2004 ,24 (7) :1493 ~1499.

[17] 王如松. 高效 · 和谐——城市生态调控原理. 长沙 :湖南教育出版社 ,1988.

[18] 王祥荣. 论生态城市建设的理论、途径与措施——以上海为例. *复旦学报 (自然科学版)* ,2001 ,40 (4) :349 ~354.

[19] 曹利军. 可持续发展评价理论与方法. 北京 :科学出版社 ,1999.

[20] 王如松 ,迟计 ,欧阳志云. 中小城镇可持续发展的生态整合方法. 北京 :气象出版社 ,2001.