

50-57

16/19(7)

第16卷第1期
1996年1月生态学报
ACTA ECOLOGICA SINICAVol. 6, No. 1
Jan., 1996

城乡交错带的生态控制论分析

——天津实例研究*

胡 聃 王如松

(中国科学院生态环境研究中心, 北京, 100085)

X21

A

摘要 本文应用人类生态学原理和复合生态系统理论, 选择城市系统和乡村系统的交错过渡地域——城乡交错带为研究对象, 对城乡交错带的概念内涵作了生态学分析。借助生态控制论原理和灵敏度模型方法, 以天津城乡交错带为实例, 探讨了一个具有典型社会、经济、自然复合生态边缘效应特征的人类生态系统的生态控制论行为与机制。

关键词: 城乡交错带, 生态控制论, 灵敏度模型, 天津。

城市生态

AN ECO-CYBERNETIC ANALYSIS OF URBAN-RURAL ECOTONE——TIANJIN CASE STUDY

Hu Dan Wang Rusong

(Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing, China, 100085)

Abstract According to principles of human ecology and SENCE theory, the connotation of the concept of urban-rural ecotone is defined ecologically.

With methodology of eco-cybernetics, a sensitivity model is introduced to analyze the structure and component interactive pattern as well as eco-cybernetic features in Urban-rural ecotones with a casestudy of the urban-rural ecotone in Tianjin City.

Key words: Urban-rural ecotone, eco-cybernetics, sensitivity model, Tianjing City.

1 城乡交错带的生态学内涵及其研究方法

随着我国城市化、工业化进程的日益深入, 城市和乡村在社会、经济和环境上的相互作用已成为一类突出的生态现象。城乡在广度和深度上的相互联系虽带来了越来越大的社会经济福利, 大大改善了城乡生活质量, 但同时一系列发展与环境的矛盾也愈来愈尖锐化和复杂化, 并成为我国今后城乡可持续健康发展的主要限制动因。从生态学上看, 由于城乡社会、经济和自然是一个不可分割的相互作用整体^[1], 城乡的生态矛盾因而根源于城市与乡村的社会经济发展与其环境支持系统的不协调生态关系, 在空间上则集中表现在城市与乡村的交错过渡地域, 使其成为城乡稳定协调发展的敏感或脆弱地带。过去的城乡研究和管理实践表明, 解决城乡矛盾已不能仅仅从城市或乡村本身去获得答案, 而不得不从城乡相互作用的

* 本文是中德生态学合作研究计划《天津城市发展生态对策研究》的部分内容。该项目曾获中国科学院科技进步二等奖。因限于篇幅, 本文着重讨论城乡交错带的生态控制论研究方法, 并作简要的示例分析。

收稿日期: 1994 07 15, 修改稿收到日期: 1994 11 20。

特异时空机制上去探寻。近年来,自然生态交错带的研究越来越受到广泛重视^[3],而作为一类重要生态交错带的城乡交错带则未受到应有的注意,而这类交错过渡带又对城乡相互作用具有很高的特异性和敏感性,对城乡协同发展起着特殊作用,因此探讨这一过渡地域的社会经济与环境支持系统相互作用的发生过程和演替机理将为走向健康的城乡生态发展奠定理论、方法论及政策管理的基础。

城乡交错带从空间分布上讲可以定义为城市市区与其邻近乡村之间的交错过渡地域,它依不同城市性质和发展水平而异,其发展演化直接或间接关系到城市与其邻近乡村的社会、经济和自然 3 个不同属性系统的结构、功能及其相互作用,具有城市与乡村在时空上相互作用所形成的典型生态边缘效应,如高速的经济增长、人口密集而流动频繁、生物多样性变异大、土地利用强度很高、生态负荷重等,对城市与乡村间的物流、能流和信息流、人口流等生态流过程具有至关重要的调控作用。

由于城乡交错带系统动态的复杂性及其过程的显著变异性,不能简单地通过物理方法去“解析”或“剖析”它,而需要应用生态系统的理论与方法对其作整体研究,该理论方法重要部分的生态控制论为人们提供了科学的研究方法。基于生态控制论理论的灵敏度模型方法正是对复杂人类生态系统作整体研究的成功探索^[4]。该模型运用生态控制论思想,克服传统的系统研究方法中只偏重系统个别特征和支配行为,忽视系统整体协调,不考虑系统调控的多重负反馈作用的线性因果链思维模式,着眼于系统内部所有水平上各组分量间的相互作用与相互依赖模式,并对其进行生态控制论解释评价,及时了解系统结构的稳定性,适应能力的变化,以因势利导地操纵系统向有利方向变化。以下应用改进的灵敏度模型通过天津城乡交错带系统边界的界定,系统组分辨识,相互作用模式建立,控制论解释等几个步骤,以期获得其系统行为特征和生态控制论机制的整体了解。

2 基于灵敏度模型方法的生态控制论分析

2.1 系统结构与边界辨识

天津城乡交错带系统辨认包括:系统结构(边界、组分)的确立与筛选;系统变量关系(组分的作用性质与方式)的辨析。

2.1.1 系统范围界定 城乡交错带的边界确立受研究目的,数据可获得性,区域社会经济多样性的影响。在考虑这些因素的同时,我们原则上可以该区域在时空上社会、经济、自然三方面相互作用的性质、强度与功能关联程度来确立合适的边界。在考虑天津城乡交错带系统边界时,发现天津 4 区(东丽区、西青区、津南区和北辰区)在行政区划,土地利用,自然地理,社会经济活动等方面同城区和远郊区相互关联的特异性,因此将其界定为天津城乡交错带。其总面积 1920 km²,1992 年末总人口数为 125.69 万人,其中城镇人口 92.42 万人。工业总产值为市中心区的 44.32%,而为远郊 5 县的 240%(按 1990 年不变价计算)。

2.1.2 系统组分及其关系辨析 天津城乡交错带的系统组分性质包括了社会、经济和自然 3 方面,其组分关系建立在由它们构成的 3 个子系统的相互作用及其与外部(市区与远郊区)的相互关联上,全系统组分涉及经济、人口、土地利用、自然生态与环境污染、社会结构与生活质量、文化、行为与人口意识等 6 大方面,共 167 个关系变量。表 1 简要地列出了其系统结构与组分关系的 6 大变量类型。

2.2 相互作用模式的建立

从生态系统控制论观点看,天津城乡交错带的系统动态行为一般只受少数的主导反馈

表 1 天津城乡交错带的系统结构与组分关系变量类型

Table 1 Types of variables for the structure and components in the urban-rural ecotone of Tianjin city

项 目 Items	变量类型 Variables
1 经济 Economy	产业结构与规模 Industrial structure and size 经济发展水平 Level of economy 资源与能源 Resources and energy 生产技术与效益 Benefits and technologies of production 资本与投资 Capital and investment 劳力与就业 Labour and employment 经济立法 Economic legislation 城乡经济关系 Urban-rural economic relations
2 人口 Population	人口动态(出生、死亡、迁移等) Population dynamics(Birth, Death, Migration, etc.) 人口结构(年龄、性别等) Population structure (Age, Sex, etc.) 劳动人口动态 Dynamics of labours 人口政策 Population policies 人口素质 Quality of people 城乡人口关系 Urban-rural population relations
3 土地利用 Land use	城区与乡镇发展用地 Urban & Suburban Lands 农业用地 Agricultural lands 土地开发投资 Investment of landresources development 土地管理与政策 Management and policies of landuse 城乡土地生态关系 Ecological relations of urban-rural landuse
4 自然生态平衡 Natural ecological balance	自然地理条件(大气、水文、土壤等) Physical geographic status (Air, Hydrology, Soil, etc.) 城市景观过程与格局 Process and pattern in urban landscape 自然净化 Natural purification 污染排放 Pollution emission 生物多样性 Biodiversity 城乡环境管理与政策 Urban-rural environmental management & policies
5 社会组织结构与生活质量 Social organization and living quality	物质生活质量 Material quality of life 社会生活质量 Social quality of life 社会结构与组织 Social structure and organizations 社会管理体制 Social administrative system 社会立法 Social legislation
6 文化、意识与行为 Culture, awareness and individual behaviors	社会文化与地方习俗 Social culture and local customs 环境意识 Environmental awareness 社会文化价值观 Social and cultural value 社会伦理 Social ethics 个人行为 Individual behaviors

变量关系控制,因此,只要选择系统的主要变量,就能全面地描述系统整体轮廓。经过分析筛选,确定了由 43 个基本变量组成的工作变量集,它们同系统中其它变量有交联关系,同整个系统行为有较大相关或对系统行为变化较为敏感,分析每个变量同其它变量的可能相互关系,建立其基本反馈回路关系,将它们集结起来形成启发式相互作用模式,再经过天津地方政府部门和有关专家修正补充,最后确定了天津城乡交错带系统的相互作用模式(图 1)。该模式包含了 83 个变量,相互交联关系达 142 种。可以从中看到:该系统涉及 5 大基本领域,即人口与生活、自然生态、土地利用、经济与劳力以及体制、文化与人口意识 5 个子系统。在 5 个子系统的相互作用过程中,农业剩余劳力流动、城镇土地开发利用、环境污染、水资源开发、生物多样性变化、管理体制、地方文化以及经济增长水平之间已经形成了很强的相互作用格局,成为全系统协调稳定发展的主导作用组分,也是系统发展可持续性调控的基点。人们可从其中任一重要组分开始,沿不同反馈回路来分析与其他组分的控制论关系。在系统面临问题时,并可从与该问题有关的变量入手,寻求原因,找到解决问题的调控途径。

2.3 生态控制论解释

2.3.1 基本反馈关系分析 分析天津城乡交错带系统的相互作用模式,可以看到,该系统的行为是由系统组分的正负反馈作用格局所确定的,其中负反馈相互作用是系统健康稳定运转的主要因素,也是该系统实现自我调节的控制论基础。从总体上看,该系统有6大主要反馈调节类型。即经济发展-自然资源反馈关系、人口-经济-劳力相互作用反馈关系、人口-经济-生活质量反馈关系、社会经济发展-土地利用-土地政策法规反馈关系、城乡交错带发展-城区发展-环境污染-环境净化反馈关系和城乡交错带发展-城乡体制-文化-人口意识反馈关系。这里仅以第五类反馈关系为例加以分析。天津城乡交错带发展-城区发展-环境污染-环境净化之间存在5个基本反馈环,即:城乡发展-城乡投资-总产值-城乡发展;总产值-发展投资-总污染水平-环境质量-总产值;总产值-污染治理投资-污染治理能力-总污染水平-环境质量-总产值;城乡发展-环境排放标准实施率-总污染排放量-总污染水平-环境质量-总产值;总产值-绿化造林投资-生物多样性-自然净化水平-总污染水平-环境质量-总产值,其中,第一个是正反馈环,其余是带有负相互作用的反馈环(图2)。这一反馈类型的总体关系是:城区发展将环境污染排放转嫁于交错带,再加上带内自身产业发展带来的污染排放,大大加重了其环境总污染水平,降低了自然净化能力。在人工治理投资有限的情况下,而城区与交错带发展强度大,因此,污染排放超过了自净能力和人工处理能力,其环境质量在降低,这构成了一个经济发展与环境污染的负反馈相互作用。目前,由于环境政策法规(如环境排放标准)的部分调控作用,带内增加了污染排放限制和绿化造林投资,通过增加生物多样性等来提高环境自净水平,在一定程度上缓解了环境污染状况。当城区和交错带经济水平上升到一定阶段时,这一负反馈环会促进城区和带内扩大污染治理及绿化造林投资,以提高人工及自然净化能力,并有效控制污染总排放,以降低带内污染水平来改进带域内环境质量。

2.3.2 影响指数分析 影响指数反映了城乡交错带系统变量对其行为影响程度以及变量在系统中作用的特点。在研究中,把变量分为4类:关键元素、主动元素、被动与惰性元素;关键元素本身受到系统变化的很大影响,同时也主动影响整个系统;惰性元素对系统结构变化反应迟缓,对外部因子的影响具有缓冲作用;主动元素对外部干扰反应敏感,它的变化对整个系统会产生强烈作用,被动元素只受其它元素影响,其本身对系统作用甚弱。

通过专家咨询,先确定各变量的相互影响强度(分别以5,3,1,0表示影响很强、强、不强、无影响)建立影响指数矩阵,然后分别计算其Q指数和P指数(表2)。Q指数最大者为主动元素,最小者为被动元素;P指数最大者为关键元素,最小者为惰性元素。P指数和Q指数的计算公式为: $P_w = \sum A_i$; $A_w = \sum A_i$; $Q_i = A_{w_i} / P_{w_i}$; $P_i = A_{w_i} \cdot P_{w_i}$ 。值得注意的是,影响指数的计算只是反映系统在相对时段内的组分相互作用强度与性质,它只是系统变量相互作用的静态度量。

研究中对天津城乡交错带人口-经济子系统、经济-资源子系统、城区-城乡交错带土地利用子系统、自然环境子系统、环境污染-环境治理子系统、社会经济调控子系统及天津城乡交错带系统作了影响指数分析,现以环境污染-环境净化子系统为例加以分析。从该系统内部看,环境排放标准为主动元素,尽管带内已有相应的排放标准等环境政策法规来调节,但强劲的工业发展带来过大的污染排放,加上目前带内环境标准实施与管理方面的一些不足,使其负反馈调节作用未能有效发挥,因此带来环境污染排放水平过大。自然净化是系统的被动元素,受产业发展和城区污染转嫁的严重影响,它只能对污染产生微弱净化作用。由于目

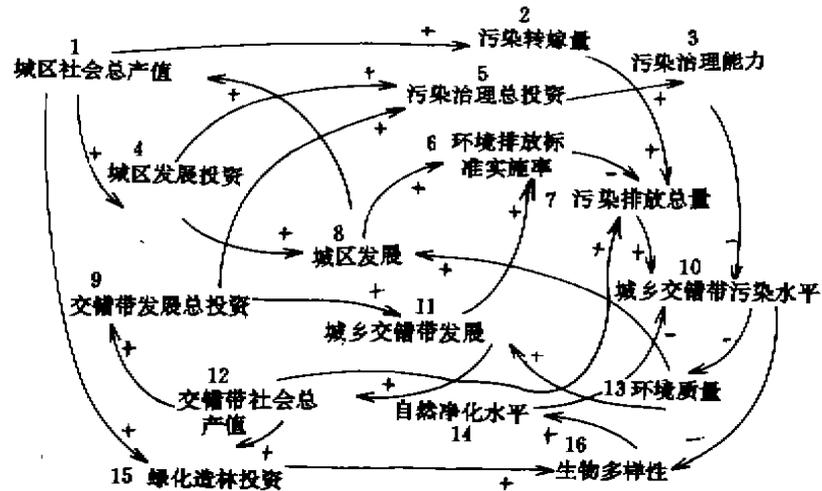


图 2 城乡交错带发展-城区发展-环境污染-环境净化反馈关系

Fig. 2 Feedback relationships of environmental pollution and purification between the urban-rural ecotone and the inner area of Tianjin

- 1. Total social output value in the inner area
- 2. The amount of pollution transfers
- 3. The capacity of pollution treatment
- 4. Investment of the inner area development
- 5. The total investment of pollution treatment
- 6. The validated rate of environmental standards
- 7. The total amount of pollution emission
- 8. Development of the inner area
- 9. Total investment in the urban-rural ecotone development
- 10. Level of the environmental pollution in the urban-rural ecotone
- 11. Development of the urban-rural ecotone
- 12. Total social output value in the urban-rural ecotone
- 13. Environmental quality of the urban-rural ecotone
- 14. Rate of natural purification
- 15. Investment in the reforestation and genery
- 16. Biodiversity

前污染排放过大, 尽管带内增加了有限的绿化投资, 但不足以大幅度地恢复或提高自净能力。总污染排放(包括城区污染转嫁)是这一系统的关键元素, 它是交错带内环境退化的主要因素, 也受到自然净化、人工治理等的较弱的负反馈作用。自然净化在该系统中也作为惰性元素(表 2)。

表 2 环境污染-自然净化-人工治理子系统影响指数

Table 2 Impact index for the interactions among the environmental pollution, natural purification and artificial treatments

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A _w	Q
A1 社会经济发展(城区和带城内) Soci-economic development	—	5	3	0	4	3	15	1.36
A2 总污染排放(包括城区转嫁) Total Emissions and transfers of pollution	4	—	3	5	1	3	16	0.73
A3 环境排放标准 Standard of pollution emissions	4	4	—	3	2	1	14	2.33
A4 自净能力 Natural self-purification	0	4	0	—	0	1	5	0.38
A5 人工处理能力 Artificial treatments	0	5	0	2	—	4	11	1.00
A6 治理及绿化投资 Investment of treatment & forestaton	3	4	0	3	4	—	14	1.17
P _w	11	22	6	13	11	12	—	—
P	165	352	84	65	121	168	—	—

2.3.3 系统多样性分析 多样性分析,有助于揭示其系统演替过程的稳态机制和系统演替发展中结构和组分的分化动态。系统多样性变化具有层次性,在一定时间范围内,各层次多样性逐渐增长,不同层次上的多样性动态,可以从一个侧面反映系统的演替水平。我们可以从系统不同部门和层次上,应用香农指数分析其多样性,如经济多样性、人口多样性和环境多样性等等。现以环境多样性为例加以剖析。

环境多样性是经济活动、自然开发、自然演化等多方面相互作用所形成的环境变异性的度量。在城乡交错带演替中,有两大类环境在发生逆向变异,一是人工环境多样性增加,自然环境多样性降低。环境多样性的这一变化,反映了人类活动对环境所产生的负影响。我们以土地利用多样性为例加以说明。在不同层次上,还应使用不同的多样性指标度量(如绿地多样性、水体多样性等等)。根据城乡交错带边缘特点,将土地利用类型分为6大类:农田绿地(包括农地、林地、城镇绿地)、城乡建筑用地、人工硬裸地、道路交通用地、水域、自然裸露地等,其土地利用多样性指数为0.83,这一指数高于5个远郊区土地多样性指数(0.67)。

2.3.4 系统开放度分析 天津城乡交错带的系统开放度指其对城区、远郊、市外的农产品、工业产品、原材料、水资源、土地、人口、劳力等的供需生态流关系。它可以用系统的流通量变化特征反映,即系统与其外部的物、能、信息、人口、资金等的输入输出特点来衡量。

仅以人口、土地、农业产品为例分别加以分析,这三者可用人口流动比(迁出+迁入/年平均人口)、城乡土地变更率(年土地变更量/总土地面积,注:年土地变更量=年纳入土地+年城市化土地占用量)和农业商品率3个指标来衡量。60年代末人口流动比为0.04,70年代末上升到0.14,到1987年又下降到0.07。从土地利用开放状况来看,其总土地面积基本无变化,但近年国家建设占地频繁,其土地利用开放度较远郊区为高。1965年城乡土地变更率0.06%,1975年下降到0.01%,到1988年大幅度回升至0.24%,可见土地利用开放度呈波动上升趋势。再从农业商品率来看,1984年为68.10%,1988年为86.0%,呈上升态势。从系统总体来看,其开放度在日趋扩大。

2.3.5 自我调节能力 城乡交错带的系统自我调节能力,包括3个方面:自然系统、经济系统和社会系统的自我调节能力,自我调节能力是系统持续稳定发展的内在机制。从全系统的总体状况看,自我调节能力还包括上述3个系统间的相互反馈平衡与协调,竞争与共生的调节能力。从经济系统来看,高速的经济增长是其重要的演化动力,由于发展初期,环境和经济体制对经济活动的自我调节能力甚弱,从而出现了资源(尤其水资源的严重缺乏)、能源供给不足、就业人口的过剩,产业结构和产品结构不合理等问题。从环境系统来讲,城乡发展带来了土地质量、景观、生物多样性的退化、破碎或损失;未开发区域在日益缩小,开发区成倍膨胀,加上城区严重的污染排放与转嫁,使环境系统本身就很脆弱的自我调节(如自净缓冲等)受到进一步威胁。从社会系统看,管理体制的自我调节很弱,由于受传统文化的强烈束缚,交错带基本上是遵循旧有的计划与指令的调节方式,它是乡村为主导的城乡两种体制的综合,以自上而下的纵向调节机制为主导,自下而上和横向水平间的反馈作用较弱,体制运转活力低下,而社会经济活动比邻近的远郊地区都剧烈得多,这就形成了发展与体制之间矛盾。下面从所建立的相互作用模式来作总体分析,可以使用2个指数来衡量其自调节能力的大小。一是系统结构交联指数 V_B , $V_B = V_N - V_O$, 这里, V_N = 系统关系数(n_B /系统变量数(n_V)), $V_O = 1.5 - 1/(n_V)^{1/2}$, 为系统最优交联程度; V_B 若为正,则表示系统结构交联关系过多,反之,交联过少; V_B 的绝对值愈小,则系统自调节力愈强。第二个是系统反馈相互作用平衡

指数 R_B , 这里, $R_B = R_N - R_E$, $R_E = (n_- \cdot n_+)^{1/2} / n_T$, 其中, R_N 是系统中某类(正或负)反馈相互作用强度系数($R_N = n_+ / n_T$ 或 n_- / n_T), R_E 是系统最优反馈相互作用强度系数, n_T 是系统总相互作用数, n_- 和 n_+ 分别为负和正相互作用关系数, 若 R_B 为正, 则表示系统内该类反馈作用过强, 反之则过弱; 其绝对值愈大, 则系统反馈相互作用越不平衡, 反之则越平衡或越稳定。由上述公式, 算得 $R_B = 0.32$, 表示该时期系统的结构交联关系过剩, 应调整到相对较少的交联水平, 减少一些不必要的结构关系。同样, 我们算得系统的负反馈相互作用平衡指数 $R_B = -0.14$ (对退化的或衰老的系统, 可计算其正反馈相互作用平衡指数来分析), 表明该系统负反馈作用强度较弱, 对于一个处于迅速发展期的系统来讲, 常常表现出弱度负反馈作用, 这样有利于某些组分(如经济)的迅速增长, 但若不加强负反馈作用组分的调节力(对交错带而言, 环境是这一类组分), 长期发展将是不可能持续的。当然, 还可以对各个子系统或亚子系统来做深入分析, 此处从略。

3 结论

天津城乡交错带在社会发展、经济开发和自然生态方面已经在其系统内部和城区、远郊县间形成了多层次、多尺度的正负反馈关系。这表现在: 土地和水资源同经济发展; 经济增长与劳力供需; 物质生活质量与环境景观质量; 污染、净化与治理; 社会经济体制与文化、人口意识的正负反馈机制正在其系统内外构成, 但系统内部社会、经济、自然之间较脆弱的负反馈调节机制还不足以缓冲自身和城区强大的经济发展带来的生态负效应, 生物多样性破坏、土地利用的不合理格局、环境污染、水资源缺乏、农业剩余劳力、管理体制调整和文化滞后及人口生态意识低已成为突出生态问题, 使系统持续发展活力受到制约。

调控天津城乡交错带朝着社会经济持续协调、生态过程健康的方向发展应作为其今后开发与建设的基本出发点。因此应当从两个基本层次加以考虑: 城区、交错带及远郊县之间; 交错带内部社会、经济、自然子系统之间。调控的基点在于增强系统自我调节能力和大力促进人口能力建设(它的文化质量, 行为质量和生态意识)。据此, 需要将未来带域的发展战略由经济开发的单一目标向经济发展与系统能力建设协同并进的整体目标转变。其具体建设途径是: 在经济适度稳定增长的前提下, 合理调节土地开发、水资源利用、人口发展与生活质量改进在城区与交错带等不同时空范围上的相互作用格局, 有效保护自然景观、生物和环境多样性, 并结合生态技术途径优化水资源、能源利用方式, 寻求废物资源化利用及污染治理途径, 以此来增强环境资源系统的持续支持能力, 同时, 推进带域生态文化、生态法制和体制建设以及人口生态教育, 以保证系统社会经济活动合理性、公平性与健康性。

参 考 文 献

- 1 马世骏、王如松. 社会-经济-自然复合生态系统. 生态学报, 1984, 4(1): 1-9
- 2 Gosz, James R. Ecotone Hierarchies. *Ecological Application*, 1993, 3(3): 369-376
- 3 Di Castri F et al. (eds.). A new look at ecotones — Emerging international projects on landscape boundaries; *Biology International*, IUBS, Special Issue 17, 1988
- 4 Marjorie M H. Report of a SCOPE/MAB Workshop on Ecotones, Paris, 1987
- 5 Hansen A J and Di Castri F. A new SCOPE project, Ecotones in a changing environment: The theory and management of landscape boundaries. In: *Biology International*, Special Issue 17, 1988
- 6 Vester F and Hesler A V. Sensitivitätsmodell. Regional Planungsgemeinschaft Untermann, Frankfurt, 1980