



社会-经济-自然复合生态系统 与可持续发展*

王如松 欧阳志云

(中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室 北京 100085)

摘要 人类社会是一类以人的行为为主导、自然环境为依托、资源流动为命脉、社会文化为经络的社会-经济-自然复合生态系统,自然子系统是由水、土、气、生、矿及其间的相互关系来构成的人类赖以生存、繁衍的生存环境;经济子系统是指人类主动地为自身生存和发展组织有目的的生产、流通、消费、还原和调控活动;社会生态子系统是人的观念、体制及文化构成。这三个子系统是相生相克,相辅相成的。三个子系统之间在时间、空间、数量、结构、秩序方面的生态耦合关系和相互作用机制决定了复合生态系统的发展与演替方向。复合生态系统理论的核心是生态整合,通过结构整合和功能整合,协调三个子系统及其内部组分的关系,使三个子系统的耦合关系和谐有序,实现人类社会、经济与环境间复合生态关系的可持续发展。

关键词 复合生态系统,可持续发展,生态整合

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3045.2012.03.012



王如松院士

1 文明演化的生态观

2007年北京世界生态高峰会,来自世界20多个国际和地区与生态相关的学术团体、70多个国家的1400余名代表忧心忡忡,呼吁世界各族民众和各

国政府紧急行动起来,用人类的智慧和行动呵护自然、保育环境、绿化经济、拯救人类,发表了弘扬“生态”这一“认识世界、改善环境、美化生活的强力工具”的北京生态宣言。会上人们关注的焦点集中在以下3个尺度的生态问题上:以气候变化、经济振荡和社会冲突为标志的全球生态安全问题;以资源耗竭、环境污染和生态胁迫为特征的区域生态服务问题;以及以贫穷落后、过度消费和文化荒芜为诱因的人群身心健康和社会生态和谐问题。其核心都是时空量构序范畴上的可持续发展问题。

1.1 发展的生态观

自走出丛林以来,人类经历了原始文明、农耕文明、工商文明。原始文明以采摘狩猎为特征,以水

* 基金项目:国家自然科学基金重点项目(项目编号:71033005)
收稿日期:2012年4月25日



火生态因子为依托,以发明用火和工具为标志,是一种自生式的社会形态;农耕文明以种植养殖为特征,以土地与生物生态为依托,以发明灌溉和施肥育种为标志,是一种再生式的社会形态;工商文明以市场经济为特征,以矿产与金融为依托,以大规模使用化石能源和机械化工产品为标志,是一种竞生式的社会形态;社会文明分两阶段:其中社会主义是其初级阶段,以社会公平为目标,是一种共生式的社会形态;社会文明的高级阶段以可持续发展为特征,以知识经济和生态系统服务为依托,以高效的生态技术、和谐的生态体制、持续的生态服务及健康的社会生活为标志,集竞生、共生、再生、自生功能为一体的高级生态文明形态。

环境污染和生态退化是工业文明的副产品。随着大工业的发展,专业化分工越来越细,经济效益成为企业生产的唯一目标。企业从遍布全球的自然生态系统中无偿或低偿地索取资源,并将生产和消费过程中未被有效利用的大量副产品以污染物或废弃物的形式排出厂外,形成环境问题。其生态学实质是资源代谢在时空尺度上的滞留和耗竭,系统耦合在结构关系上的破碎和板结,生态功能在演化过程中的退化和灾变,社会管理在局整关系上的短视和馈缺。人们只看到产业的物理过程,而忽视其生态过程;只重视产品的社会服务功能,而忽视其生态服务功能;只注意企业的经济成本而无视其生态成本;只看到污染物质的环境负价值而忽视其资源可再生利用的正价值。社会的生产、生活与生态管理职能条块分割,以产量产值为主的政绩考核指标和短期行为,以还原论为主导的传统科技,以及生态意识低下、生态教育落后的国民素质,是整体环境持续恶化的根本原因。

发展应该是一种渐进有序的系统发育和功能完善的过程,包括经济、人口和环境的协调发展。发展自然就要改变环境、适应环境、积累资产、调节关系。可持续发展是向传统生产方式、价值观念和科学方法挑战的一场生态革命,其内涵包括了经济的持续增长、资源的永续利用、体制的公平合理、社会的和谐共生、传统文化的延续及自然活力的维系。

其核心是调节人口、资源、环境间的生态关系。

1.2 发展的生态网

据统计,“生态”一词是近年来国内外报刊媒体、政府文件乃至街谈巷议中出现频率最高的一个与可持续发展密切相关的名词之一。这是由生态学的系统性和与人类活动密切的相关性所决定的。汉语里的生态是一个多义词,有耦合关系、整合学问与和谐状态3种内涵。

首先,生态是包括人在内的生物与环境、生命个体与整体间的一种相互作用关系,在生物世界和人类社会中无处不在,无时不有,每个人都要处理这些关系。民间泛谈的生态是生命生存、发展、繁衍、进化所依存的各种必要条件和主客体间相互作用的关系。

其次,生态是一种交叉学问和整合机理,是包括人在内的生物与环境之间关系的一门系统科学;是人们认识自然、改造环境的世界观和方法论或自然哲学;是人类塑造环境、模拟自然的一门工程技术;还是人类怡神悦目、修身养性、品味自然、感悟天工的一门自然美学。

第三,生态还是描述人类生存、发展环境的和谐或理想状态的形容词,表示生命和环境关系间的一种整体、协同、循环、自生的良好文脉、肌理、组织和秩序。比如生态城市、生态旅游、生态卫生等,实际上是偏正词组“生态合理的城市”,“生态和谐的旅游”、“生态良性循环的卫生”的简称,是约定俗成后被社会所公认的用语。

生态学自 Haeckel 1866 年给出定义以来作为一门科学才一个多世纪,但生态学的系统思维、系统方法和系统技术却源远流长 (Odum E.P. 1983)。早在 3 000 多年前,中华民族就形成了一套“观乎天文以察时变,观乎人文以化成天下”的人类生态理论体系,包括道理(即自然规律,如天文、地理、物理、生物等),事理(即对人类活动的合理规划管理,如政事、农事、军事、家事等)和情理(即人的信仰及行为准则,如心理、伦理、道德、宗教等)。中国封建社会正是靠着这些天时、地利及人和关系的正确认

识,靠着物质循环再生,社会协调共生和修身养性自我调节的生态观,维持着其数千年稳定的生态关系和社会结构,养活了近 1/4 的世界人口,形成了独特的华夏文明。

2 社会-经济-自然复合生态系统

荀子曰:“金石有形而无气,水火有气而无生,草木有生而无知,禽兽有知而无义,人有形、有气、有生、有知且有义,故最为天下贵也”。当然,从生态学角度,人只是地球上生物的一种,是不是“最为天下贵”值得商榷,但作为最有创造性和破坏性的高级动物却一点也不假。荀子在这里把整个生态系统从环境到生物到人都描述出来了:金、石、水、火、草、木、禽、兽、天、地构成绚丽多彩的生态景观,再加上人气、人生、人知、人义、人文就构成了生机盎然的生态社会。人类社会是一类以人的行为为主导、自然环境为依托、资源流动为命脉、社会文化为经络的社会-经济-自然复合生态系统,马世骏、王如松将其定义为社会-经济-自然复合生态系统(图 1)。

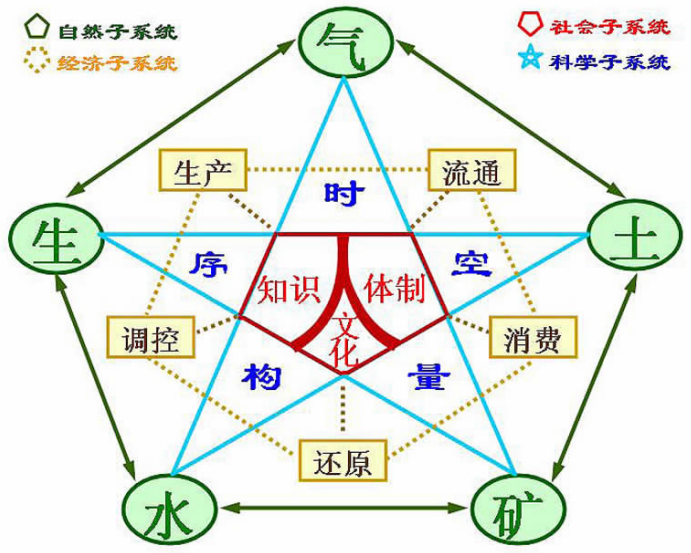


图 1 社会-经济-自然复合生态系统示意图

2.1 复合生态系统结构与功能

人的生存环境,可以用水、土、气、生、矿及其间的相互关系来描述,是人类赖以生存、繁衍的自然

子系统。首先是水,水资源、水环境、水生境、水景观和水安全,有利有弊,既能成灾,也能造福;第二是土,人类依靠土壤、土地、地形、地景、区位等提供食物、纤维,支持社会经济活动,土是人类生存之本;第三是气和能,人类活动需要利用太阳能以及太阳能转化成的化石能,由于能的驱动导致了一系列空气流动和气候变化,提供了生命生存的气候条件,也造成了各种气象灾害、环境灾害;第四是生物,即植物、动物、微生物,特别是我们赖以生存的农作物,还有灾害性生物,比如病虫害甚至流行病毒,与我们的生产和生活都戚戚相关;最后是矿,即生物地球化学循环,人类活动从地下、山里、海洋开采大量的建材、冶金、化工原料以及对生命活动至关重要的各种微量元素,但我们开采、加工、使用过程中只用了其中很少一部分,大多数以废弃物的形式出现,产品用完了又都返回自然中造成污染。这些生态因子数量的过多或过少都会发生问题,比如水多、水少、水浑、水脏就会发生水旱灾害和环境事故。

第二个子系统是以人类的物质能量代谢活动为主体的经济生态子系统。人类能主动地为自身生存和发展组织有目的的生产、流通、消费、还原和调控活动。人们将自然界的物质和能量变成人类所需要的产品,满足眼前和长远发展的需要,就形成了生产系统;生产规模大了,就会出现交换和流通,包括金融流通、商贸物质流通以及信息和人员流通,形成流通系统;接下来是消费系统,包括物质的消费,精神的享受,以及固定资产的耗费;再就是还原系统,城市和人类社会的物质总是不断地从有用的东西变成“没用”的东西,再还原到自然生态系统中进入生态循环,也包括我们生命的循环以及人的康复;最后是调控系统,调控有几种途径,包括政府的行政调控、市场的经济调控、自然调节以及人的行为调控。

社会的核心是人,人的观念、体制和文化构成复合生态系统的第三个子系统即社会生态子系统。



首先是人的认知系统,包括哲学、科学、技术等;第二是体制,是由社会组织、法规、政策等形成的;第三是文化,是人在长期进化过程中形成的观念、伦理、信仰和文脉等。三足鼎立,构成社会生态子系统中的核心控制系统。

这三个子系统相互之间是相生相克,相辅相成的。研究、规划和管理人员的职责就是要了解每一个子系统内部以及三个子系统之间在时间、空间、数量、结构、秩序方面的生态耦合关系。其中时间关系包括地质演化、地理变迁、生物进化、文化传承、城市建设和经济发展等不同尺度;空间关系包括大的区域、流域、政域直至小街区;数量关系包括规模、速度、密度、容量、足迹、承载力等量化关系;结构关系包括人口结构、产业结构、景观结构、资源结构、社会结构等;还有很重要的序,每个子系统都有它自己的序,包括竞争序、共生序、自生序、再生序和进化序。

2.2 复合生态动力学与控制论

复合生态系统的动力学机制来源于自然和社会两种作用力。自然力的源泉是太阳能,包括太阳能及其转化而成的化石能源,它们流经系统的结果导致各种物理、化学、生物过程和自然变迁。社会力的源泉有三:一是经济杠杆——资金;二是社会杠杆——权力;三是文化杠杆——精神。资金刺激竞争,权力诱导共生,而精神孕育自生。三者相辅相成构成社会系统的原动力。自然力和社会力的耦合导致不同层次复合生态系统特殊的运动规律。

复合生态系统的演替受多种生态因子所影响,其中主要有两类因子在起作用:一类是利导因子,一类是限制因子。当利导因子起主要作用时,各物种竞相占用有利生态位,系统近乎指数式增长;但随着生态位的迅速被占用,一些短缺性生态因子逐渐成为限制因子。优势种的发展受到抑制,系统趋于平稳,呈 S 型增长。但生态系统有其能动的适应环境、改造环境、突破限制因子束缚的潜力。通过改变优势种、调整内部结构或改善环境条件等措施拓展生态位,系统旧的利导因子和限制因子逐渐让给新的利导因子和限制因子,出现新一轮的 S 型增

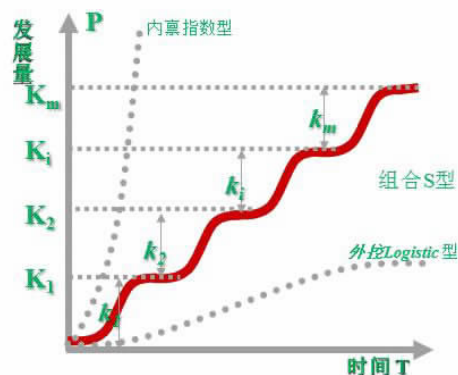


图2 复合生态系统演替的不同方式比较

长。复合生态系统就是在这种组合 S 型的交替增长中不断演替进化,不断打破旧的平衡,出现新的平衡(图 2)。

从稳定性的传统定义看,这种过程是发散、不稳定的。但从生态演替趋势看,它却可以视为一种发展过程的定向稳定性,是对生态系统跟踪环境、适应环境、改造环境发展过程的平稳程度的测度。它包括发展进化的速度和波动程度两方面的含义。图 2 中 logistic 增长型系统只有平衡而无发展,是一种没有生命力的发展过程,迟早会被新的过程所取代;指数增长型系统只有发展而无平衡机制,是一种不能持久的过程,迟早也会由于限制因子的作用受阻或崩溃。这两种系统都是可持续性较差的系统。组合 logistic 增长型系统具有持续的螺旋式发展能力,又具备一定的自我调节功能,能自动跟踪其不断演变着的生态环境,实现组合 S 型增长,因而其过程稳定性较好。其二维动力学方程可用下式表述:

$$\begin{aligned} dP/dt_i &= r_i(P-K_{i-1})(k_i-P)/k_i, K_i = \sum_{j=1}^i k_j \\ dr_i/dt &= r_i \quad (i=1, 2, \dots, m) \end{aligned}$$

$$I = \sqrt{\sum_{i=1}^m (k_i - \bar{k})^2 / (m-1)} / \bar{k}, \bar{k} = \sum_{i=1}^m k_i / m$$

内禀增长活力 R:包括生产竞争力、消费购买力、科技推动力、政策激励力。其功效是拉动系统快速增长,在环境约束很小的状态下呈指数增长,主要作用在图 2 中 logistic 曲线中段。

环境承载能力 K_i : 包括自然生态的资源承载力、环境容量、经济生态的资产存量、技术水平、融资能力、市场消纳能力; 社会生态的人力资源、文化素质、社会关系、政策空间、体制包容性等; 其功效是稳定系统, 使其尽量避开风险, 主要作用在图 2 中 logistic 曲线的前后两段, 在发展启动期以利导因子为主导, 正向拉动系统发展, 在发展成熟期以限制因子为主, 逆向抑制系统过度发展。

环境支持能力从 K_{i-1} 向 K_i 的扩展取决于新的利导因子的开发, 老的限制因子的拓展, 系统结构及其耦合关系的转型。其核心是系统协同进化能力 I 的强化。

系统协同进化能力 I : 包括环境开拓适应能力(开发新的利导因子, 拓宽老的限制因子、培育新兴优势组分的能力)和系统整合能力(体制整合力、科技整合力、产业整合力、景观整合力、文化整合力)。解决环境污染及其造成的生态破坏问题, 需要技术、体制、行为和景观层次上的生态整合, 包括循环疏浚的闭合能力、外引内联的整合能力以及斟时酌空的调和能力。 R 、 K 、 I 的辨识、模拟和优化是系统能否持续发展的关键。

复合生态系统的生态控制论包括开拓适应原理、竞争共生原理、连锁反馈原理、乘补协同原理、循环再生原理、多样性主导性管理、功能发育原理、最小风险原理等, 可以用 4 个字概括, 就是拓、适、馈、整 4 类机理。这里的拓包括开拓、利用、营建和竞争一切可以利用的生态位, 保持各种物理、化学、生物过程的持续运转、有机发育和协同进化; 适即适应, 包括生物改变自己以适应外部的生态条件, 以及调节环境以适应内部的生存发展需求, 推进与环境的协同共生; 馈即反馈、循环, 包括系统生产、流通、消费、还原整个生命周期过程的物质循环再生、可再生能源的永续利用, 以及信息从行为主体经过环境再回到行为主体的灵敏反馈, 即时间、空间、结构、功能范畴的有机复合、融合、综合与整合, 包括结构整合、过程整合、功能整合和方法整合, 以及对象复合、学科复合、体制复合与人才复合。

竞争、共生、再生和自生机制的结合、整合与复

合, 就是坚持有中国特色的社会主义市场经济下资源节约、环境友好、人口健康型的可持续发展。其中, 中国特色是再生, 社会主义是共生, 市场经济是竞生, 可持续发展是自生。

2.3 复合生态系统的整合框架

复合生态系统的整合框架包括一维基本原理、二维共轭关系、三维系统构架、四维动力学与控制论机制、五维耦合过程与能力建设五个层次, 从而可以阐释复合生态系统的科学内涵与社会内涵, 学术目标和国家目标(表 1)。

复合生态系统理论的核心在于生态整合, 包括结构整合: 城乡各种自然生态因素, 技术及物理因素和社会文化因素耦合体的等级性、异质性和多样性; 过程整合: 城乡物质代谢、能量转换、信息反馈、生态演替和社会经济过程的畅达、健康程度; 功能整合: 城市的生产、流通、消费、还原和调控功能的效率及和谐程度。复合生态系统理论的复合包括对象的复合、学科的复合、方法的复合、体制的复合、人员的复合, 强调物质、能量和信息 3 类关系的综合, 系统的时(届际、代际、世际)、空(地域、流域、区域)、量(各种物质、能量、人口、资金代谢过程)、构(产业、体制、文化))及序(竞争、共生与自生序)关系的统筹规划和系统关联是生态整合的精髓。

3 复合生态建设与适应性生态管理

复合生态系统理论在城乡建设上的应用就是要通过生态规划、生态工程与生态管理, 将单一的生物环节、物理环节、经济环节和社会环节组装成一个具有强生命力的生态经济系统, 运用系统生态学原理去调节系统的主导性与多样性, 开放性与自主性, 灵活性与稳定性, 发展的力度与稳度, 促进竞争、共生、再生和自生能力的综合; 生产、消费与还原功能的协调; 社会、经济与环境目标的耦合; 使资源得以高效利用, 人与自然和谐共生。

城乡建设是一个复杂的生态耦合体, 其社会、经济、自然子系统间是相互耦合而非从属关系, 虽功能不同, 却缺一不可。一个走向可持续发展的社会应是市场竞争能力强, 社会共生关系好, 环境自



表 1 复合生态系统的科学与社会整合框架

	科学整合与学术目标	社会整合与应用目标
一维		
基本目标	复杂性的生态辨识、模拟和调控	可持续能力的规划建设与管理
二维	人与自然的共轭生态博弈；	环境与经济的共轭生态管理；
基本任务	局部与整体 分析与综合	眼前与长远 效益与代价
三维	自然-经济-社会生态关系的耦合	循环经济-和谐社会-安全生态
基础构架	关系辨识-过程模拟-系统调控 物(硬件)-事(软件)-人(心件)融合	生态规划-生态工程-生态管理 观念更新-体制革新-技术创新
四维	资源-资金-权法-精神	自然环境-经济环境-体制环境-社会环境
动力学与控	竞生-共生-再生-自生	身心健康-人居健康-产业健康-区域健康
制论	开拓-适应-反馈-整合 胁迫-服务-响应-建设	横向联合-纵向闭合-区域整合-社会融合 认知文化-体制文化-物态文化-心态文化
五维	水-土-气-生-矿	净化、绿化、活化、美化、进化的景观生态
耦合方法与	元-链-环-网-场	污染治理-清洁生产-生态产业-生态政区-生态文明
能力建设	物质-能量-信息-人口-资金 时间-空间-数量-结构-功序 生产-流通-消费-还原-调控	城乡统筹-区域统筹-人与自然-社会与经济-内涵与外延 生态服务-生态效率-生态安全-生态健康-生态福祉 温饱境界-功利境界-道德境界-信仰境界-天地境界

生活力高的和谐的、进化的社会。自 20 世纪 80 年代以来我们运用复合生态系统理论和适应性共轭生态管理方法,探讨了省市县等不同尺度行政区域的生态建设模式,开展了不同生态系统工程集成技术的实证研究,在创建有中国特色的可持续发展生态学,将传统生物生态研究拓展为人与自然复合生态关系研究中取得了一定的进展,为复合生态规划和城乡生态建设提供了系统方法和科技支撑。

3.1 城市复合生态规划与管理

规划的科学性在于系统化、定量化和最优化。我们从 20 世纪 80 年代初开始,研究和发展了一套定量与定性相结合、优化和模拟相结合,从测量到测序、从优化到进化,从柔化到刚化,面向系统功能的进化式泛目标生态规划和适应性共轭生态管理方法。泛目标生态规划方法于 1988 年在国际应用系统分析研究院 (IIASA) 报告和发表,开拓了 IIASA 适应性生态管理的新视野。利用泛目标生态

规划方法,我们从时间、空间、阈值、结构和功能序 5 个方面对不同尺度、不同时段的天津城市复合生态系统的结构、功能、过程进行了辨识、模拟和政策实验,提出了由机理学习、过程模拟、政策调控、发展管理组成的复合生态系统组合模型。所提出的生态经济区划、城市经济重心东移、塘-汉-大滨海区统筹开发、哑铃状城市格局、水生态建设、老租界区改造、海河滨岸改造等研究建议都得到了实施并取得显著效益。利用复合生态管理方法,天津连续 11 年荣获全国城市环境综合定量考核十佳城市,全国唯一省域环保模范城市,为滨海区开发战略确立、天津城市发展和生态城建设奠定了科学基础。

共轭生态管理是指协调人与自然、资源与环境、生产与生活间共轭关系的复合生态系统管理。这里的共轭指矛盾的双方相反相成、协同共生,特别是社会经济发展和自然生态服务的平衡、人工基础设施建设和自然基础设施建设的平衡、空间生态

关联与时间生态关联的协调、物态环境和心态环境的和谐;而管理则指从时间、空间、数量、结构、序理5方面去调控共轭组分间的整合、协同和循环机制,协调决策多边形中机会和风险、环境 and 经济、绿韵与红脉、产品服务 and 生态服务、眼前和长远的博弈关系。利用共轭生态管理方法,我们研究了北京市生态建设中的建设用地和生态服务用地,生产生活用水和生态系统用水,人口承载力和生态服务关系,明确了西部生态涵养区的经济发展和东部经济发展区的生态建设战略,提出了破解摊大饼格局的生态工程措施和共轭生态管理对策。

3.2 区域生态建设示范模式

上世纪80年代以来,我们运用复合生态系统方法开展了我国第一个生态县大丰,第一个生态省海南,第一批地级生态市扬州的生态规划与建设的长期跟踪研究,创建了以发展生态产业、保育生态环境和建设生态文化为特征,融污染防治、清洁生产、产业生态、生态社区和生态文明五位一体的生态省、市、县建设模式(表2)。

1987年起,我们在大丰生态县规划和建设研究中,建立了以生态农业为基础的规模化农业循环经济、链网型生态工业、生态社区和能力建设体系。创建了县级行政区强化生态资产保育和生态经济建设,寓环境保护于复合生态建设之中的大丰生态县建设模式。其特色是以淤涨型滩涂的保护性开发和快速近自然演替;风、光、生物质等可再生能源的规模化开发;传承张骞屯垦文化,发展农工商复合生态产业;以麋鹿、丹顶鹤为基础的生态旅游拉动区域生态休闲产业;与上海、苏州等市资源优势互补、

产业协同共生。大丰先后实施了生态农业、生态型工业、自然保护、资源综合利用等22项生态示范工程,从一个中等水平的农业县跨入国家百强县行列,环境质量良好,自然生态保护地占全县面积28%,成为首批全国生态示范县(见封二)。2004年,我们系统总结了15年大丰生态县建设的经验和教训,编制了第二阶段的生态建设规划,先后完成了国家级麋鹿自然保护区、绿色食品基地县、可持续发展综合实验区、生态经济开发区、生态环境监测等108项生态工程项目。获首批国家可持续发展先进示范区(2008),国家卫生城市等32项国家级荣誉称号。

1999年起,我们在扬州生态市规划与管理研究中,从区域水生态保育、乡村面源污染防治、城镇人居环境的生态改造和循环经济建设切入,形成生态绿地与河网湿地有机交融、疏密有致的组团式城市生态格局,构建规划区地表和下垫面的冷桥体系。创建了以生态基础设施和生态文化建设为突破口,通过能力建设去净化、绿化、活化、美化城乡生态环境,推进产业、自然和人文生态的渐进协调发展的扬州地级生态市建设模式。扬州古城的生态改造以生态基础设施的配套与生态活力、历史街区文脉肌理的生态整合性、旧厂坊的转型开发与混合街区职能,住宅外貌修复和内生态品质改造,便利安全、外畅内幽的生态交通,净化活化、谨慎节俭的生态复兴为宗旨,得到各界的好评,2006年扬州市获联合国人居奖,在全省综合实力排名从第七跃升第二,所辖区县全部建成国家级生态示范区,成为我国地级生态市建设的典范(见封三)。

表2 环境问题的复合生态调控技术与对策

	调控目标	调控方式	核心生态技术	发展趋势
环境防治	污染最小化	综合防治	总量控制和工程治理	从单因子走向复合污染防治
清洁生产	过程优化	节能减排	产品、工艺和环境的生态设计	从末端治理走向过程减排
产业生态整合	产业共生	合纵连横	产业生态转型与孵化	从链环、网络 到园区
生态政区	区域统筹	系统优化	复合生态规划与管理	从产业、社区 到区域
生态文明	文明提升	规范与激励	观念更新-体制革新-技术创新	从硬件、软件 到心件



1995年起,从海南自然保护区体系建设,中部山区重要生态功能区及四大水系流域生态系统管理研究切入,以胶-农-文-旅产业生态管理等为契机,创建了通过生态资产的优化、生态经济的整合和生态文明的提升,构建经济发展、社会进步和环境保护三赢的省级行政区可持续发展模式。博鳌亚洲论坛园区生态建设规划研究了园区基础设施建设与海岸带保护、人工构筑物与自然景观协调关系,提出万泉河口、岛屿生态建设和玉带滩保护、太阳能与地热利用等工程措施,编制土地利用、景观格局和生态建设规划,成为亚洲地区旅游园区生态建设的典范(见封底)。

15年来,海南环境质量在保持全国领先基础上持续改善,人均GDP和人均收入分别增长了3.7和2.6倍,资源消耗和环境排放大幅度降低,自然生态服务功能稳步提升。2004年国家环保总局专题调研报告指出:“海南生态省建设为现阶段我国实施可持续发展找到了一种最佳实现形式”。

3.3 生态系统工程技术集成

将复合生态系统方法用到城市生态建设中去,我们重点在城市生态基础设施、社区生活环境和厂区生产环境3方面规划设计和推进了一批复合生态系统的建设。垃圾问题是一类典型的复合生态系统管理问题,需要物理的、化学的、生物的、生态的、社会的、经济的联合手段和技术集成,以及适应性的管理体制。1996年以来我们先后在广汉,北京、桐庐等地探索和试验基于复合生态系统的生活垃圾减量化、无害化、资源化、产业化和社会化的生态工程管理方法、技术集成体系、产业孵化途径和社会整合等方面的适应性管理研究。

广汉生活垃圾五化生态工程研究将生活垃圾单部门管理、单技术处理模式革新为社区减量化、堆肥资源化、焚烧填埋一体化的城市垃圾综合管理模式,由国家六部委召开现场会向全国推广。北京市主要领导在我们的建议上批示开展垃圾“五化”综合管理研究,国务院主要领导也对我们的工作给予了高度关注。两年来,通过与政府主管部门、大型

企业、典型社区和拾荒民工的合作研究,取得了垃圾资源化和产业化关键参数,形成系统化的工程规划方案,北京2010年垃圾出现历史上首次负增长(-0.48%),垃圾分拣服务网络提供了1400个就业岗位,4个试点社区垃圾减量50%。在北京全面实施我们规划的“五化”工程,有望振兴北京的静脉产业,垃圾清运量减少50%,提供就业机会21.9万个。

人类社会的发展史是一个人与自然关系从必然王国向自然王国过渡的生态进化史,这里的“自然”包括自由和必然两层含义,人类对其赖以生存和发展的生态环境和生态关系的认识是逐步深化又不可能穷尽的,永远达不到自由王国的国度。复合生态系统理论的建立为人类从还原论走向整体论,从纵向科学走向交叉科学,从经院科学走向官产学研结合的建设科学打下了基础。基于生态哲学、生态科学、生态工程和生态美学的复合生态系统生态学已成为人类社会可持续发展的理论基础和应用工具。可以预见,就像数学来源于物理学又推动物理学的发展那样,复合生态系统生态学来源于生物学、社会学、环境科学,又必然会推动相关学科的长足发展和科学的新突破。

主要参考文献

- 1 Odum E P. Basic Ecology. London: Saunders College Publishing, 1983.
- 2 马世骏,王如松. 社会-经济-自然复合生态系统. 生态学报, 1984, 4: 1-9.
- 3 王如松. 高效、和谐——城市生态调控原则与方法. 长沙: 湖南教育出版社, 1988.
- 4 王如松. 世界生态高峰会与全球高峰生态学. 中国科学院院刊, 2007, 22(4): 330-333.
- 5 Wang R S, Li F, Hu D. Understanding eco-complexity: Social-Economic-Natural Complex Ecosystem approach. Source: Ecological Complexity, 8 (2011): 15-29.
- 6 王如松, 欧阳志云. 对我国生态安全的若干科学思考, 中国科学院院刊, 2007, 22(3): 223-229.
- 7 Wang R S, Downton P, Douglas I. Towards Ecopolis, New

- technologies, new philosophies and new developments, in Ian Douglas, David Goode, Mike Houck, Rusong Wang, Handbook of Urban Ecology, Taylor & Francis Ltd, London, 2011, 636-651.
- 8 Wang R S, Yang B J, Lu Y L. 1989, Pan-Objective Ecological Programming and Its Application to Ecological Research, Multiple Criteria Decision Support, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems.
- 9 王如松, 林顺坤, 欧阳志云. 海南生态省建设的理论与实践. 北京: 化学工业出版社, 2004, 324.
- 10 王如松, 徐洪喜. 扬州生态市规划方法研究. 北京: 中国科技出版社, 2005, 232.
- 11 王如松. 中国生态学发展战略研究. 北京: 中国经济出版社, 1991, 405-466.

Social-Economic-Natural Complex Ecosystem and Sustainability

Wang Rusong Ouyang Zhiyun

(State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS 100085 Beijing)

Abstract Human society is a social-economic-natural complex ecosystem, which is dominated by human activities, supported by physical environment. In the complex ecosystem, resource flows are vital lifeline, culture is the channel and collaterals. The natural sub-system, the human-being survival and prosperous environment, is made up of water, soil, atmosphere, organisms and resources, and their inter-relationship. The economic sub-system consists of the human activities of production, circulation, consumption, and reduction for purposes of survival and development. The social sub-system includes human-being, institution, value and culture. The three sub-systems functionally act as a whole by complementarily, and promoting and constraining mutually as well. Their ecological interactions in time, space quantity, structure and order determine the succession trends of the complex ecosystems. The core of complex ecosystem integration is to coordinate the interaction between three subsystems and their components toward sustainability through adjusting their structure and function.

Keywords complex ecosystem, sustainable development, ecological concept

Wang Rusong Academician of the Chinese Academy of Engineering, professor in Research Center for Eco-Environmental Sciences, CAS, deputy to the National People's Congress, counselor of the People's Government of Beijing Municipality, honor president of Ecological Society of China, vice-president of International Council on Ecopolis Development, scientific consultant of IIASA. Since 1981, he has been engaged in the study on social-economic-natural complex ecosystem theory, methodology, and ecological engineering. He got 16 international, national and provincial academic awards, and published more than 150 peer-viewed papers and 10 books. E-mail: wangrs@rcees.ac.cn

王如松 中国工程院院士, 中科院生态环境中心研究员。全国人大代表, 北京市人民政府参事, 首届国家环境特约监察员, 中国生态学会名誉理事长, 国际生态城市建设理事会副主席, 国际应用系统分析研究院科学顾问。曾任中国生态学会理事长, 东亚生态学联合会主席, 国际生态学会、国际生态工程学会执委, 国际人类生态学会副主席。1981 年以来一直从事城市社会-经济-自然复合系统生态理论、方法及产业生态工程集成技术研究, 先后获国际人类生态学突出贡献奖和国家及省部级科技进步奖 16 次, 发表学术论文 150 余篇, 论著 10 余部。E-mail: wangrs@rcees.ac.cn