

对我国生态安全的若干科学思考^{*}

王如松 欧阳志云

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

摘要 本文从分析生态安全的共轭内涵、系统框架、动力学机制和控制论方法入手,探讨区域、城乡和人口生态安全的战略管理和建设方法。认为生态安全的内涵不只是生存稳定性还有发展的支撑能力,不只是环境结构的安全还有生态关系的健全,生态安全不能只用自然生态风险和人类生态胁迫的负面威胁来测度,还要用自然生态服务的正面调节来测度,生态安全不仅可以通过防护修复来保障,还可以通过人工建设来强化。

关键词 生态安全,生态风险,生态服务,生态建设



王如松研究员

高速的城市化、工业化过程在显著提高人民生活水平的同时,也给区域和人类生态带来了一定的负面影响。生态安全已经与

类生态胁迫的负面威胁来测度,还要用自然生态服务和人工生态建设的正面调节来测度。

生态安全是对包括人在内的生物与环境关系稳定程度和生态系统可持续支撑能力的测度。一个安全的生态系统其结构、功能和过程处在良好的生存和发展状态并能支撑社会经济的持续发展。本文所讨论的生态安全主要指人类生态安全,是在自然生态(从个体、种群、群落到生态系统)和人类生态(从个人、集体、地区到国家甚至全球)双重意义上一定尺度人类生态系统生存和发展的风险与机会的大小,是对人与自然关系稳定程度和可持续支撑能力的测度,包括资源承载能力、环境容纳能力、灾害应变能力以及支持、缓冲、孕育、净化、调节等基本生态服务和建设能力。生态安全的主体是人,目标是人的生存和发展,范围是一定尺度的自然和人文生态关系,内涵则是负面的风险和正面的机遇。

发展总要改造环境、酝酿风险、破坏旧秩序、建设新秩序、不断地胁迫或强化安全。没有风险就没有发展,没有发展也就没有安

国防安全、经济安全共同成为国家安全的重要基石^[1]。

1 生态安全的共轭内涵与测度

生态安全的概念有多种阐释,国内外学者对其有过不同的定义^[1-3]。本文认为,生态安全的内涵不只是生存稳定性还有发展的支撑能力,不只是环境结构的安全还有生态关系的健全,不能只用自然生态风险和人类生态胁迫的负面威胁来测度,还要用自然生态服务和人工生态建设的正面调节来测度。

^{*} 本研究得到国家自然科学基金重点项目(70433001)的资助
收稿日期:2006年9月3日

全。贫困也是对生态安全的威胁,我国 80% 以上的贫困县都属风沙区或生态脆弱带。风险越过一定的阈值,系统就会发生不可逆的变化,经济的繁荣和社会的稳定就会功亏一篑。问题在于如何在发展中掌握阈值、驾驭风险、化解风险。

生态安全具有强烈的目的性:安全是对生物主体而言的,涉及主体与其物理、生物和社会环境的关系;系统性:生态安全不等于环境安全,不是简单的因果关系,不由环境状态来唯一决定,而是生物与多维环境因子组成的关系网链的系统功能状态;层次性:生态安全是一定尺度生态系统的安全,从全球及区域生态安全、城市及人居生态安全、工矿及农场生态安全,到人群及人体生态安全;以及相对性:生态安全的程度由主体的主观满足程度和参照系来决定。

生态安全具有时间上的累积性(历史的开发行为决定现时的安全状态,而现时的开发行为又影响着未来的生态安全)、空间上的耦合性(流域上下游之间、上下风向之间以及城乡、水陆、山区和平原之间都是相互影响、交叉作用的,一个地区的生态安全与邻近地区戚戚相关)、数量上的临界性(超过一定的临界值,系统就会发生不可逆的结构性变化和功能性退化)、结构上的多维复合性(由社会、经济、自然等多方面的生态关系交织而成)以及序理上的共轭性(人为与自然、风险与机会、生存与发展)。

生态安全的动力学机制有客观和主观两方面。瘠薄脆弱的生态环境、僧多粥少的自然资源、积重难返的历史问题和超常规的经济增长是生态安全失衡的客观原因;还原论的思想方法和科学技术、条块分割的管理体制和考核指标、资本积累早期的暴发投机心理和社会主义初级阶段的口号文化是生态风险经久不下的人文土壤。

生态安全问题的科学实质是资源代谢

在时间、空间尺度上的滞留和耗竭,系统耦合在结构、功能关系上的破碎和板结,社会行为在局部和整体关系上的短见和调控机制上的缺损。生态安全管理的宗旨不是单纯头痛医头地治理污染、强化控制,而是从深入了解风险的生态动力学机制出发,运用生态控制论方法调理系统结构、功能,诱导健康的物质代谢和信息反馈过程,建设和强化生态服务功能,把生态风险降到最低。生态安全是动态、进取的而不是回归、保守的。生态安全不仅需要环境本身有一定的刚性和柔性,还需要生物主体有一定的开拓性、适应性和自组织性。生态安全要求环境的稳定与系统的发展,要求环境与经济的协同进化或可持续发展。其科学内涵,一是生态系统结构、功能和过程对外界干扰的稳定程度(刚性);二是生境受破坏后恢复平衡的能力(弹性);三是生态系统与外部环境协同进化的能力(进化性);四是生态系统内部的自调节自组织能力(自组织性)(图 1)。

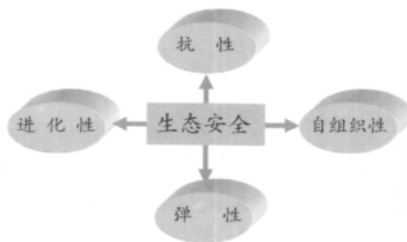


图 1 生态安全的科学内涵

人类生态安全 = 资源承载能力(刚性)
+ 环境恢复能力(柔性) + 协同进化能力
(开拓性) + 社会自调节能力(适应性)

2 生态安全与生态服务

生态风险是对生态安全危及程度的逆向测度,由自然退化和人工胁迫两部分原因造成。但生态安全不等同于生态风险,它还有正向测度,由自然进化和人工建设两部分结果组成,可以用生态服务和生态建设效果来衡量。

联合国秘书长安南 2001- 2005 年发起组织了一个新千年全球生态系统评估研究, 在世界范围首次开展了生态系统与人类福祉关系的现状与发展趋势、情景分析以及响应机制的系统研究。该研究报告指出, 自然生态系统为人类提供生态服务, 人类生产生活活动对自然生态系统的胁迫, 同时生态系统在人类胁迫超过它的承载能力以后, 往往以灾难的形式, 对人类行为做出反馈和响应, 人类又通过各种有意识的活动保育、恢复和建设生态系统, 维系天人关系的持续发展 (图 2)。

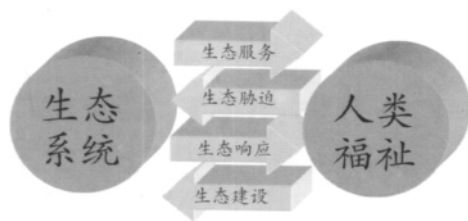


图2 人与自然关系的生态安全状态

生态安全的核心正是对自然生态系统与人类福祉之间的胁迫、响应、服务、建设关系的评价。包括人工生态胁迫和自然生态响应的负面威胁, 以及自然生态服务和人工生态建设的正面发展。

生态服务功能是指自然生态系统为人类社会的生产、消费、流通、还原和调控活动提供有形或无形的自然产品、直接或间接地支撑生境以及缓冲或调节环境条件的能力。新千年全球生态系统评估报告 (MEA, 2005) 定义生态系统服务为: “人类从生态系统获得的效益, 包括供给、调节、文化以及支持功能”。

相应地, 生态安全也包括稀缺性的生态资产供给安全 (如淡水、能源、矿产、生物质等), 由资源过载程度表达; 环境污染容纳净化和生境的支撑安全 (如水体、大气、土地、景观等), 由环境负荷与恢复能力来表达; 以及维系生态过程平衡的缓冲调节安

全, 包括自然调节 (如碳氧平衡、气候调节、水文循环等) 和社会调节 (经济的开拓发展和社会自调节能力), 由生态服务功能 (自然对人和人对自然的双向服务) 来表达。

3 生态安全的系统框架

人类生态安全是人与自然、经济、社会环境组成的复合生态系统安全 (图 3)。如淮河污染不止是沿河工厂偷排污水的法制问题, 滇池污染也不是只靠户户截污、村村建污水处理厂就能见效的问题, 而是流域社会经济环境的综合发展问题, 点、线、面源和内源复合污染的科学技术问题, 以及区域生态系统中地理、水文、物理、化学、生物以及社会经济关系的综合规划管理问题。



图3 生态安全的复合生态系统框架

生态安全首先是自然子系统为人类活动提供的承载、缓冲、孕育、支持、供给能力的安全, 主要是人与水、土、能、生物、地球化学循环等 5 类生态因子耦合形成的生态过程的安全。包括环境容量是否溢出、战略性自然资源承载力是否超载、重大生态灾害是否得到防范等。其中第一是水, 水资源、水环境、水生境、水景观, 水灾害, 有利有弊, 既能造福, 也能成灾; 尤其是水多造成的洪灾、水少造成的旱灾、水脏造成的污染和水资源枯竭造成的一系列地质、生物和荒漠化等灾害以及对工农业生产和城乡建设的制约; 第二是能, 包括太阳能以及太阳能转化成的化学能, 由于能的流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,

也导致了各种气象和环境灾害,有限的化石能储备及其开采利用对环境的破坏是影响生态安全的重要因素;第三是土,我们依靠土壤、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,但土壤侵蚀、湿地衰竭、荒漠化、盐渍化也给人类社会带来灾害;第四是生物,即植物、动物、微生物,特别是人与生物赖以生存的森林、草地、海岸带生态系统的退化,还有灾害性生物和生物入侵,比如病虫害甚至人畜禽流行病的爆发,与我们的生产和生活都密切相关;最后是矿物质,即生物地球化学循环,人类活动从地下、山区、海洋开采大量的建材、冶金、化工原料,在开采、加工、使用过程中只用了其中很少一部分,大部分成为废弃物,产品用完了也大都随意弃置造成污染。以上这些都是人类赖以生存的生态因子,其数量的过多或过少、过程的滞留和耗竭都会危及生态安全。

其次是作为人类生存发展基础的经济子系统为人类提供的生产、流通、消费、还原和调控5类生态功能的安全,它们组成以物质能量代谢活动为主体的经济生态子系统。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,对自然资源产生耗竭并对周边环境产生污染效应;生产规模大了、剩余产品多了,就会出现交换和流通,包括金融、商贸物资以及信息和人员的流通,形成流通系统,交换流通的结果把盈利赚给了企业,亏损留给了环境;三是消费系统包括物资消费、精神享受以及固定资产耗费,由于一般产品不计环境成本,企业为追求最大利润而大批量单功能生产、廉价倾销,结果产品只有一小部分有用,大多数物质以不可降解的形态弃置在环境中形成污染;四是还原系统,城市和人类社会的物资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去为生态循环所用,污水、垃圾处理和大气环境治理都是这种行为,但大多是被动的、义务的、循环不完全的;五是调控系统,经济调控有几种途径:

政府的行政和法规调控,市场的经济杠杆调控,自然的响应和灾害,自然能通过各种正负反馈来进行强制性调控,个体和群体的行为调控。由于人的短期行为和局部利益导向,调控是经济子系统中发育最不完全和最不和谐的功能。

第三是社会生态关系的安全,涉及个体和群体的生理、心理、生殖、发育以及社会关系健康的人口生态安全。社会的核心是人,人口、体制和文化构成社会生态子系统。首先是人口的数量、素质、结构、分布等;二是体制,是由社会组织、法规、政策等形成生态安全的基础;三是文化,是人在长期进化过程中形成的知识、伦理、信仰和文脉等,决定了生态安全的刚度,构成社会生态安全的核心控制系统。

这三个子系统相生相克,相辅相成。生态安全管理的目的就是要掌握和调节好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、甚至小街区;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;还有很重要的序理关系,包括竞争序,共生序,自生序,再生序和进化序,其序理关系决定了生态安全的态势^[9]。

4 区域生态安全与生态系统管理

区域生态安全是国家安全和社会安全的基础。区域生态安全的客观属性有三个方面,一是生态风险,二是生态脆弱性,三是

生态服务功能。生态风险是指在一定区域内,具有不确定性的事故或灾害对生态系统及其组分可能产生的不利作用,包括生态系统结构和功能的损害,从而危及生态系统的健康和健康。生态脆弱性是指一定社会政治、经济、文化背景下,某一系统对环境变化和自然灾害表现出的易于受到伤害和损失的性质,这种性质是系统自然环境与各种人类活动相互作用的综合产物。对于生态安全来说,生态风险表征了环境压力造成危害的概率和可能后果;而通过脆弱性分析和生态服务功能评价,可以知道生态安全的威胁因子有哪些,他们是怎样起作用的,以及人类可以采取怎样的应对和适应战略。

环境污染与经济贫困交织,资源枯竭与发展滞后共轭,生态脆弱与素质低下孪生,这是所有生态退化地区的共同特征。淮河流域污染的反弹说明区域生态安全不能只从单个环境因子或单项控制措施出发去治标,而要同时从经济建设和社会调控出发实施复合生态管理,从根子上铲除生态破坏的土壤。

“生态系统方法”是近年来国际可持续发展领域大力提倡的一种人与自然复合的战略管理和系统综合方法,强调环境问题的各组成要素与人、社会、经济的关系,要求在资源环境管理中应更多地关注该生态因子所在的系统而不是单个的因子和因果链关系。新千年生态系统评估的主要特征就是采用了人与自然复合的生态系统分析方法:广泛分析人类对生态系统功能及产出能力的影响;重点分析整个生态系统,而不是依照传统方法局限于部门或管辖范围;以长期意义上的生态健康为出发点;考察的是一个生态系统的整体生产潜力;强调各组成部分之间的相互联系,而不是单一部门或单一的产出。把人类作为生态系统的一部分来考虑。“生态系统方法”提供了对生态

安全进行综合管理的生态策略,在该策略中保护与可持续利用同等重要。

生态安全管理涉及生态资产管理、生态服务功能管理、生态代谢过程管理、生态健康状态管理以及复合生态关系的综合管理。生态建设模式应遵循资产的正向积累、经济的持续增长、环境的稳步改善、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。要处理好生态资产与经济资产、自然服务与社会服务、生存能力与发展能力、工程建设与生态建设、硬件开发与软件开发和心件管理的生态控制论关系。

区域生态安全评价可以为区域生态环境管理、决策提供科学的依据。常用的区域生态安全评价方法有:比较法、部门产出法、最优综合评价法、千年生态系统评价等。由于对区域生态安全涵义理解的差异,不同学者通常采用的评价方法、指标体系也各有不同,大都基于区域生态条件和空间格局或压力-状态-响应等框架建立评价指标模型。如林彰平等利用土壤类型、风力、农药施用量、植被覆盖率、生物多样性指数、保护区面积率、水域面积率、农田灌溉率等作为镇赉县生态安全评估指标体系,并建立相应的生态安全模式决策分析模型,得出该区土地利用生态安全模式^[6]。

5 城市生态安全与人口生态健康

经过 20 余年的快速发展,中国经济已到了事故高发、生态响应和环境还债阶段。进入“十一五”第一年的头 6 个月,我国环境污染总量不仅未按计划削减 1%,主要污染物 COD 和 SO₂ 总量反而增加了 3.7% 和 4.2%。

现代城市的物理结构和生态过程是脆弱的,对外界的依赖性过大,现代工业的生态代谢链过长,危险环节过多,抵御各种自然和人为灾害的能力低下,而系统操作、管理者的风险意识、技术水平和应变能力又很

弱,一旦系统链的某个环节失灵,整个系统就会无序甚至崩溃。以城市生态风险为例,城市是生态胁迫始作俑者的源和生态响应归宿报应的汇。当前我国大多数城市普遍遭遇水体富营养化的“绿”、气候热岛效应的“红”、沙尘暴或酸雨的“黄”、城市灰霾的“灰”四色效应的现实生态尴尬和水资源枯竭、化石能源短缺、气候变暖和海平面上升的长期生态威胁。

自然和人为灾难既是偶然的,也是必然的。灾难发生的具体时间和地点是随机的,但灾难迟早总会发生及其连环后果却是确定性的。现代技术在给人类带来福利的同时,也埋下了生态风险的定时炸弹。生态风险是各种自然和人为灾害导致人居环境和人类赖以生存的生态支持系统(水文、土壤、空气、气候、生物、地质)及人群生态健康损害的连锁反应型风险。这种风险引起的生态灾难是各类生态因子从量变到质变长期积累、集中爆发或慢性释放的结果,不只是直接的单因单果关系,它能跨越大的时间尺度(累积性)、空间尺度(区域性)、管理尺度(行业、部门),产生多种复合的生态效应(化学的、物理的、生物的、生理的、心理的、社会的、经济的)和多环节的链式反应,打破正常的生态平衡,最终导致生物和人致病、致残、致畸、致癌,给区域、部门和行业的社会经济发展带来直接和间接的负面影响。其中作为人类活动密集区的城市和工矿的生态风险尤其令人担忧:

(1) 有毒、有害、易燃、易爆化学物质生产、运输、储存、处置过程中突发事件引发的化学生态风险;(2) 城市水、电、油、气、热开采、供应和动力系统失灵等突发事件引发的动脉生态风险;(3) 城市垃圾、污水、废气和工业固体废弃物排放、弃置和处理引发的静脉生态风险;(4) 重金属、持久性有机化学品、农药及各类激素在生物和人体富集的食物链生态风险;

(5) 汽车行驶、停放和恶性交通事故引发的对车内外人体健康和交通环境影响,以及交通堵塞通道上汽车尾气和极端气候条件复合形成光化学烟雾的交通生态风险;(6) 因地质、气象、人为灾害(如火灾)和恐怖事件造成城市瘫痪间接引发的灾祸生态风险;(7) 人工环境和人体免疫功能下降导致的有害生物传播和疾病流行的生物生态风险;(8) 豆腐渣工程建设的功能性污染间接引发的人体健康伤害的工程生态风险;(9) 科研、生产、医疗单位生物试剂、辐射品和危险废弃物管理不严、处置不当间接引起的管理生态风险;(10) 以上影响通过河流输送、大气扩散、生物传播、人员流动、物资贸易、交通运输等途径波及邻近地区甚至全球的区域生态风险。

生态健康是指居民的衣食住行环境及其赖以生存的生命支持系统的代谢过程和服务功能的健康程度,包括居民的生理和心理生态健康,产业系统和城市系统代谢过程的健康;景观和区域生态系统格局和生态服务功能的健康;以及人类生态意识、理念、伦理和文化的健康。生态健康失调到一定阈值就危及生态安全。

生态健康是人与环境关系的健康,不仅包括个体的生理和心理健康,还包括人居环境、生物环境和代谢环境的健康,以及产业、城市和区域生态系统的健康。人居环境健康威胁主要来自室外和室内的空气污染、饮用水和食物的污染、过分拥挤和不安全的住房等。室内环境污染已经引起全球35.7%的呼吸道疾病,22%的慢性肺病和15%的气管炎、支气管炎和肺癌。全世界涂料和装修工业每年把1100万吨有机溶剂排到大气中,是空气中仅次于汽车尾气的第二大污染源。美国对建筑涂料的有机挥发物的限制做出了更为明确的限制,其有关法规

从 66 项发展到现在的 1 133 项。汽车排放是城市主要空气污染源之一, 研究表明, 城市平均污染水平与路边行人、骑自行车的人、公交车乘客和坐轿车的人对于接受挥发性有机污染物的比例为 1 2 4 6, 车内污染物浓度可以比车外高 2—10 倍。

人类社会是一个不断改造环境、适应环境、与环境协同进化, 从必然王国走向自由王国的发展过程。风险并不可怕, 生态也不神秘。可怕的是对生态风险和系统反馈的麻痹、无知和失措。生态安全的强化需要全社会的观念转型、体制改革、技术创新和科学的生态系统管理。

主要参考文献

- 1 曲格平. 关注生态安全之一: 生态环境问题已经成为国家安全的热门话题[J]. 环境保护, 2002, (5):3-5.

- 2 肖笃宁, 陈文波, 郭福良. 论生态安全的基本概念和研究内容[J]. 应用生态学报, 2002, 13(3): 354-358.
- 3 Westing, Arthur. The Environmental Component of Comprehensive Security. Bulletin of Peace Proposals, 1989, 20(2):129-134.
- 4 Rogers, Katrina S. Ecological Security and Multinational Corporations. Environmental Change and Security Project Report, Issue 3. 1997, 29-36.
- 5 王如松. 城乡生态建设的三大理论支柱: 复合生态、循环经济、生态文化. 李文华、王如松主编. 生态安全与生态建设. 北京: 气象出版社, 2002, 139-144.
- 6 林彰平, 刘湘南. 东北农牧交错带土地利用生态安全模式案例研究[J]. 生态学杂志, 2002, 21(6): 15-19.

Some Considerations with Scientific Views on Ecological Security in China

Wang Rusong Ouyang Zhiyun

(Research Center for Eco-Environmental Sciences, CAS, 100085 Beijing)

By analyzing the conjugate concept, system framework, dynamic mechanism and cybernetics of the ecological security, this paper discusses the research approach on strategic management and construction of regional, urban and rural, and population ecological security. It argues that ecological security means not only the survival stability but also development sustainability, not only the safety of environmental structure but also the harmony of ecological relationship. Besides the measurement through natural ecological risk and negative threat from human ecological stress, ecological security should also be measured by positive regulation of natural ecological service. Eco-security could also be enhanced through human construction besides safeguarding by natural restoration and conservation.

Keywords ecological security, ecological risk, ecological service, ecological construction

王如松 中科院生态环境研究中心研究员, 博士生导师。江苏南京人。现任国际科联环境问题科学委员会(SCOPE)副主席, 中国生态学会理事长, 全国人大代表。1981 年以来一直从事城市及区域系统生态理论及产业生态工程集成技术研究, 先后获国家及省部级科技进步奖 15 次及国际人类生态学突出贡献奖等荣誉称号。在国内外发表论文 150 余篇, 撰编论著 16 部。