

东北地区矿业城市产业生态系统适应性评价

仇方道¹, 佟连军^{2*}, 姜 萌¹

(1. 徐州师范大学城市与环境学院, 徐州 221116; 2. 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 长春 130012)

摘要: 在对矿业城市产业生态系统适应性内涵进行界定的基础上, 基于易损性、敏感性、稳定性和弹性等适应性要素构建了矿业城市产业生态系统适应性评价指标体系和评价模型, 并据此对东北地区矿业城市产业生态系统适应性分异特征、类型及影响因素进行了深入探讨, 发现: 东北矿业城市产业生态系统适应能力呈正态分布; 从资源类型看, 东北矿业城市产业生态系统适应性呈现冶金类>综合类>煤炭类>石油类的特征; 从空间格局看, 呈现辽宁省>吉林省>黑龙江省的变化趋势; 从发展阶段看, 呈现老年期>中年期>幼年期的递变规律; 从城市规模看, 呈现特大城市>大城市>中等城市的递变规律。据此, 采用聚类分析方法, 将东北矿业城市产业生态系统分为4种类型, 即高适应能力、协调发展类型; 高适应能力、环境优先类型; 低适应能力、协调发展类型; 低适应能力、环境优先类型。

关键词: 适应性; 产业生态系统; 矿业城市; 东北地区

文章编号: 1000-0585(2011)02-0243-13

近年来, 适应性研究已成为全球环境变化尤其是气候变化研究领域关注的热点问题^[1~3], 也是全球环境变化人文要素研究的主题之一^[4], 为全球环境变化及区域可持续发展研究提供了新的有效分析工具和框架。目前适应性研究正呈现由关注物种对全球环境变化的适应性研究转向更加关注人地系统特别是产业生态系统适应性的综合研究, 这为探讨产业生态系统的耦合作用机理从理论和方法论方面提供了一个新的研究范式^[5]。20世纪90年代以来学者们主要开展了不同尺度下自然环境和社会经济系统对气候变化的适应问题研究, 主要包括对气候变化的适应内涵^[6]、适应性分析框架^[1]、适应能力评价^[7]、适应战略与对策^[8]等方面的探讨, 但对于生态经济耦合系统如何从整体上适应发展环境变化的研究不仅需要更多基于区域尺度的案例充实, 更需要理论和方法的深入探讨。产业生态系统作为产业与生态环境反馈、耦合而成的复合系统, 是人地系统的核心, 高度关注全球化与产业在时空两个方面转型的生态环境效应, 实现产业与环境的协同发展, 是实现区域可持续发展的关键过程。基于全球环境变化背景下的适应性研究框架所具有的空间多样性、时间多变性、要素复杂性等特征, 从城市尺度上探讨产业生态系统应对不可避免的发展环境变化的适应能力、机制, 为保持产业系统的可持续发展提供新理念。

矿业城市是以矿产资源开发利用为依托、以矿业为主导形成、发展起来的特殊类型城市, 在促进我国经济发展、城市化、优化区域经济空间格局以及增加就业等方面发挥着重要作用。经过建国以来, 近60年的高强度掠夺式开发, 优势矿产资源趋于枯竭, 再加上

收稿日期: 2010-07-21; 修订日期: 2010-11-15

基金项目: 国家自然科学基金项目(40635030、41071086); 江苏省高校哲学社会科学基金项目(08SJB7900024)

作者简介: 仇方道(1970-), 男, 江苏丰县人, 副教授, 博士, 主要从事区域可持续发展方面的研究。

E-mail: qiufangdao@163.com

* 通讯作者: 佟连军, 研究员, 博士生导师, 主要从事生态经济方面的研究。E-mail: tonglj@neigae.ac.cn

市场化改革日趋深化,由此导致矿业城市矿业衰退、资源环境恶化、失业加剧等经济社会问题大量涌现,特别是东北地区(文中仅包括辽宁、吉林、黑龙江3省)作为我国矿业城市的集中分布区域,问题与矛盾更为突出,可以说振兴东北的关键在于矿业城市的转型、再生,核心在于产业生态系统适应能力的提升。虽然学者们已从城市转型^[9]、产业转型^[10,11]、城市贫困^[12]、脆弱性^[13,14]等视角开展了东北矿业城市研究,但基于适应性分析框架的研究成果尚鲜有报道。本文拟以产业生态系统为切入点,按照适应性分析框架,开展东北地区矿业城市生态系统适应性评价,并揭示其影响因素。

1 矿业城市产业生态系统适应性内涵

适应性概念最早出自生物学家达尔文的进化论,其后逐渐应用到企业、社会以及全球环境变化等众多学科领域中,不同的学科因研究视角不同,对适应性的理解也各不相同。从企业角度看,适应性是指使企业能够建立起与不断变化的市场环境相适应的组织结构与战略^[15]。从社会学角度看,适应性是指个体在与社会生存环境交互作用中的心理适应,即对社会文化、价值观念和生活方式的应对,是一种动态的、不断变化的结构^[16]。从全球环境变化看,适应是为响应某种压力或驱动作用而采取或经历的一种偏离原来状态的行为,是对区域内外驱动力条件变化的整体性和系统性适应^[17],其核心是适应能力,即社会生态系统中的成员(人类与非人类物种)应对异常情况而不至于丧失未来机会的能力。综合不同学者对适应性概念的理解,可以认为地理学视角的适应性内涵包括3个方面:(1)适应性是一个过程,是根据整体环境的现状、未来可能出现的状况及满足发展目标等方面的新信息来不断调整行动和方向的过程^[18];(2)适应性是一种目标,是在生态系统功能和社会需要两方面建立可测定的目标,通过控制性的科学管理、监测和调控管理活动来提高当前数据收集水平,以满足生态系统容量和社会需求方面的变化^[19];(3)适应性是一种行动,是对生态、社会和经济系统对现实和预期的环境变化驱动及其作用和影响而进行的调整,为趋利避害而在过程、实践和结构上进行的改变^[6]。

根据以上阐释,可以看出适应性这一概念能够全面、准确地表征矿业城市产业生态系统的复杂性和动态性。对矿业城市产业生态系统而言,适应性是指根据矿业城市中矿产资源可开发储量、发展阶段以及所处的市场、体制、政策等发展环境的变化对产业生态系统在发展战略或结构等方面的改变,以降低或抵消这些环境变化所造成的产业系统衰退,或者利用这些环境变化所带来的机会。实际上是应对预期或实际发生的环境变化,产业系统所具有的重组能力、学习能力,其目的在于通过对产业系统有计划、有步骤的调整,降低产业系统脆弱性,规避产业转型风险,特别是要降低矿产资源枯竭所带来的产业衰退。从发展效益讲,适应就是以有限的人力、物力、财力投入,换取最大的收益或最小损失。

2 研究区概况

东北地区现有矿业城市33座^[20],占该地区城市总数的1/3强。2006年矿业城市人口达 3639.24×10^4 人,GDP为 7784.69×10^8 元,分别占东北地区的33.64%和39.54%。矿业城市的发展加速了东北地区的工业化和城市化进程,为国家提供了大量的能源原材料。但长期的高强度开发,使原有资源优势逐渐减弱。1995~2006年东北地区原煤、原油产量占全国的比重由11.83%和49.96%下降到8.72%和33.81%。导致多数矿业城市出现资源型产业衰退,并引发生态、社会问题日益显性化。因此,加快发展接续产业,增强产

业系统的生态适应性，已成为东北矿业城市可持续发展面临的迫在眉睫的任务。鞍山、抚顺、本溪、阜新、盘锦、葫芦岛、辽源、松原、白山、鸡西、鹤岗、双鸭山、大庆、七台河等 14 个地级市人口、GDP 分别占东北矿业城市总量的 73.22% 和 78.58%，是东北矿业城市的主体，本文以此 14 个城市（图 1）为案例开展东北矿业城市产业生态系统适应性评价研究，具有显著的典型性和代表性。

3 研究方法

3.1 评价指标体系构建

构建科学、合理的评价指标体系是对矿业城市产业生态系统适应性做出客观评价的基础和前提。遵循系统性、典型性、可比性和可获得性等原则，以系统内部结构和效益优化为立足点，设计出东北矿业城市产业生态系统适应性评价指标体系（表 1）。该评价指标体系共分 4 个层次，其中第一层次反映产业生态系统适应性总体状况；第二层次反映各子系统的适应性水平，包括产业和环境 2 个子系统适应性指数指标。第三层次反映系统适应性的影响因素，包括易损性、敏感性、稳定性和弹性 4 个因素指标。其中易损性主要反映系统在内外环境变动下遭受损失的可能性或损失的程度^[21]，易损性程度越高，适应能力越低；敏感性系指系统对内外环境变化反应的敏感程度，一般而言，敏感性越大，系统的适应能力越弱；稳定性是指系统在内外环境变化时，保持原有状态能力^[22]，是系统本身所固有的一种属性。稳定性越高，系统的适应能力越强；弹性是指系统在承受变化压力的过程中吸收干扰、进行结构重组的一种能力^[23]。反映了系统在承受环境变化时所表现出的学习能力、转换能力、创新能力^[24]，弹性越强，系统的适应能力越高。第四层次为基础指标层，共有 48 个具体指标组成，绝大多数指标可以直接通过统计资料和实地调研获取，部分指标经过简单计算获取，主要包括：（1）产业系统结构熵反映产业系统的结构发育程度。计算公式为： $X_6 = -\sum_{i=1}^n P_i \cdot \ln P_i$ ，式中， P_i 为第 i 种产业的比重； n 为第 n 种产业；（2）产业系统发育程度指数反映产业系统的整体发育状况，采用张雷^[25]提出的计算方法求得；（3）产业结构转换速率反映产业系统对环境变化的调整能力，计算公式为： $X_{18} = [\sum (A_i - A_j)^2 k_i / A_j]^{1/2}$ ，式中， A_i 和 A_j 为 i 产业和 GDP 年均增长速度； K_i 为 i 产业占 GDP 的比重；（4）优势矿产资源占资源利用的比例反映自然资源的开发结构，结构越单一，造成生态破坏风险的可能性也就越大。用优势矿产资源产量占直接物质投入量的比重表示，其中直接物质

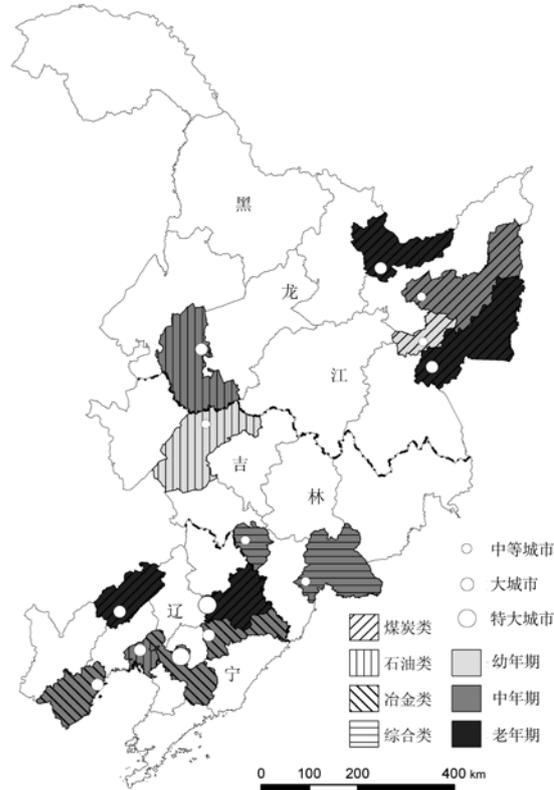


图 1 研究区位置及类型

Fig. 1 Resource types and location of research area

表 1 东北矿业城市产业生态系统适应性评价指标体系

Tab. 1 Indicators system for the industrial ecosystem adaptation of mining cities in Northeast China

一层	二层	三层	具体指标	单位	权重
产业生态系统适应能力综合评价指数	产业子系统适应能力指数 (0.5392)	易损性 (0.2953)	X ₁ : 采矿业增加值占 GDP 比重	%	0.0219
			X ₂ : 资源型加工业产值占制造业产值比重	%	0.0243
			X ₃ : 国有及国有控股工业产值占工业总产值比重	%	0.0187
			X ₄ : 亏损企业数比例	%	0.0208
			X ₅ : 外贸依存度	%	0.0247
			X ₆ : 产业系统结构熵		0.0188
		X ₇ : 采矿业增长弹性系数		0.0183	
		敏感性 (0.1696)	X ₈ : 制造业和农业增长弹性系数		0.0152
			X ₉ : 矿产品产量增长率	%	0.0200
			X ₁₀ : 规模以上工业企业资产利润率	%	0.0168
			X ₁₁ : 规模以上工业企业资产负债率	%	0.0189
			X ₁₂ : 产业系统发育程度指数		0.0233
		稳定性 (0.2757)	X ₁₃ : 外商及港澳台企业工业产值占工业总产值比重	%	0.0208
			X ₁₄ : 非资源型产业产值占工业总产值比例	%	0.0196
			X ₁₅ : 第三产业和建筑业产值比重	%	0.0209
			X ₁₆ : 物质利用效率	元/t	0.0228
			X ₁₇ : 三废综合利用产值占 GDP 比重	%	0.0190
	弹性 (0.2594)	X ₁₈ : 产业结构转换速率		0.0184	
		X ₁₉ : 人均 GDP	元/人	0.0193	
		X ₂₀ : 人均固定资产投资额	元/人	0.0172	
		X ₂₁ : 人均地方财政收入	元/人	0.0257	
		X ₂₂ : 科技\教育支出占 GDP 比重	%	0.0208	
		X ₂₃ : 人均实际利用外资	美元/人	0.0218	
		X ₂₄ : 个体私营从业人员占全部从业人员比例	%	0.0222	
		X ₂₅ : 优势矿产资源占资源利用的比例	%	0.0206	
		X ₂₆ : 土地利用程度指数	%	0.0246	
		X ₂₇ : 单位 GDP 资源消耗量	t/10 ⁴ 元	0.0254	
		易损性 (0.3356)	X ₂₈ : 工业废水排放密度	t/km ²	0.0186
	X ₂₉ : 工业 SO ₂ 排放密度		t/km ²	0.0193	
	X ₃₀ : 化肥施用强度		kg/hm ²	0.0245	
	X ₃₁ : 人均耕地面积		hm ² /人	0.0225	
	X ₃₂ : 人均水资源量		m ³ /人	0.0191	
	敏感性 (0.1666)	X ₃₃ : 单位 GDP 资源消耗量变化率	%	0.0180	
		X ₃₄ : 废水排放密度变化率	%	0.0193	
		X ₃₅ : SO ₂ 排放密度变化率	%	0.0195	
		X ₃₆ : 化肥施用强度变化率	%	0.0204	
		X ₃₇ : 人均耕地面积变化率	%	0.0180	
		X ₃₈ : 万元 GDP 占地面积	hm ² /10 ⁴ 元	0.0229	
	稳定性 (0.1831)	X ₃₉ : 可再生资源利用程度	%	0.0179	
		X ₄₀ : 森林覆盖率	%	0.0211	
		X ₄₁ : 建成区绿化覆盖率	%	0.0194	
		X ₄₂ : 全年降水量	mm	0.0207	
		X ₄₃ : 人均绿地面积	m ² /人	0.0171	
	弹性 (0.3147)	X ₄₄ : 环境治理投资占 GDP 的比重	%	0.0204	
		X ₄₅ : 工业废水达标排放率	%	0.0258	
		X ₄₆ : 工业 SO ₂ 去除率	%	0.0215	
		X ₄₇ : 工业固体废物综合利用率	%	0.0199	
		X ₄₈ : 市外支持力度		0.0331	

投入量计算见参考文献 [26]；(5) 可再生资源利用程度用可再生资源利用量占直接物质投入量的比重表示，反映资源开发多元化程度，其值越高生态环境系统的稳定性越强；(6) 市外支持力度主要依据各矿业城市受国家和所在省份的重视程度对各矿业城市接受的市外援助力度进行定性打分，对国家级试点城市、省级重点城市、一般城市分别赋予 3、2、1 的分值^[21]，以近似反映各矿业城市所接受的市外援助力度。

3.2 数据标准化及权重确定

3.2.1 数据标准化 为消除因各指标量纲不同、属性不同、大小不一等给计算结果带来的“噪音”，需要对各指标数据进行标准化处理。考虑到各指标的效益不同，采用模糊隶属度方法对数据标准化处理。计算公式为：

$$X'_{ij} = (x_{ij} - x_{jmin}) / (x_{jmax} - x_{jmin}) \quad (1)$$

$$X'_{ij} = (x_{jmax} - x_{ij}) / (x_{jmax} - x_{jmin}) \quad (2)$$

当指标为越大越好型指标时，采用公式 (1) 进行处理；当指标为越小越好型指标时，采用公式 (2) 进行处理。式中， X_{ij} 为指标的观测值； X_{jmax} 、 X_{jmin} 分别为同一指标的最大值和最小值； i 为样本数； j 为指标数。

3.2.2 权重确定 为避免主观性因素带来的偏差，增强研究结论的客观性，本文采用均方差赋权方法确定矿业城市产业生态系统适应性评价指标体系中各层次具体指标的权重。计算步骤如下：

3.2.2.1 基础指标权重的确定 均方差赋权方法以各具体指标为随机变量，各指标的标准化值为随机变量的取值。其基本思路是：首先求出这些随机变量的均方差，然后将这些均方差进行归一化处理，其结果即为各指标的权重系数。具体计算步骤见参考文献 [27]。

3.2.2.2 要素层指标权重的确定 在矿业城市产业生态系统适应性评价中，不仅具体指标权重对评价结果正确与否起着重要作用，而且第二层次 (B_k) 和第三层次 (C_r) 指标的权重也起着较为重要的作用。为提高评价结果的客观性，本文采用客观赋权方法计算较高层次指标的权重。计算步骤如下：

(1) 计算第二、三层次指标的属性值

第二、三层次指标属性值的确定是成功采用客观赋权方法的前提和关键，为此，首先采用线性加权求和方法来计算第二、三层次指标的属性值。计算公式为：

$$c_r = \sum x'_{ij} w_j \quad (3)$$

$$B_k = \sum C_r w_r \quad (4)$$

式中： C_r 为第三层次指标属性值； B_k 为第二层次指标属性值； W_j 为具体指标权重； W_r 为第三层次指标权重； x'_{ij} 为基础指标的标准化值。

(2) 计算第二、三层次指标权重

分别以第二、三层次指标属性值为随机变量，采用均方差赋权方法，分别计算出第二、三层次指标的权重值 W_k 和 W_r 。

3.3 评价模型

3.3.1 计算子系统适应性评价指数 按照矿业城市产业生态系统适应能力评价指标体系结构层次特征，采用递阶多层次综合评价方法对子系统适应性评价指数 (AC_k) 即第二层次评价指数进行计算，计算公式为^[28]：

$$AC_k = \prod [\sum (x'_{ij} w_j)]^{w_r} \quad (5)$$

式中： AC_k 为子系统适应性指数， k 为产业子系统、环境子系统； x'_{ij} 为各具体指标的标准

化值； W_j 为各具体指标的权重值； W_r 为第三层次指标的权重值。

3.3.2 计算系统适应性评价综合指数 矿业城市产业生态系统由产业和环境 2 个子系统复合而成，二者相互作用而表征出产业生态系统的整体特征，因此，矿业城市产业生态系统的适应能力也是产业与环境 2 个子系统适应性的“集体体现”，但由于各子系统对系统整体适应能力的贡献不同，故采用加权求和方法计算各矿业城市产业生态系统适应性综合指数。公式为：^[28]

$$AC = \sum_{k=1}^2 (AC_k W_k) \quad (6)$$

式中：AC 为矿业城市产业生态系统适应性综合指数； W_k 为第二层次（子系统）指标权重；其他指标含义同上。

3.4 数据来源

文中计算所涉及的经济、社会、生态环境等数据主要来源于 2007 年的《中国城市统计年鉴》、《辽宁统计年鉴》、《吉林统计年鉴》、《黑龙江统计年鉴》以及鞍山、抚顺、本溪、阜新、盘锦、葫芦岛、辽源、白山、松原、鸡西、鹤岗、双鸭山、大庆、七台河等 14 个矿业城市的统计年鉴，其中有关增长率（或变化率）指标的计算数据，还涉及 2001 年上述各地统计年鉴。此外，还有部分数据通过实地调研获得。

4 结果分析

采用上述研究方法，计算出东北地区 14 座矿业城市产业生态系统各子系统适应性评价指数及系统综合指数，发现该地区矿业城市产业生态系统适应性呈现如下特征。

4.1 系统整体适应性程度差异较小，产业子系统适应性差异相对较大

图 2 显示，东北矿业城市产业生态系统适应性总体差异不大，变差系数仅为 0.13，主要是由于长期以来各矿业城市均以资源型产业为主导，接续产业发展缓慢，同时生态环境建设滞后，从而使得各矿业城市产业生态系统调整、重组能力不高，差异较小。从子系统看，东北各矿业城市产业子系统适应性差异相对较大，变异系数为 0.225，原因在于各矿业城市由产业结构多元化、资源利用效率、投资能力和市场活力等差异较大而造成的产业子系统稳定性和恢复力差异较大所致，变异系数分别为 0.460 和 0.347。环境子系统差异相对较小，变异系数为 0.145，主要是各矿业城市均以优势矿产资源开发利用为主，资源利用效率不高，且技术创新能力和资金投入能力不强，由此导致环境子系统易损性、敏感性和稳定性差异较小，变异系数分别为 0.273、0.221、0.250。以上分析表明，产业子系统适应性的差异是造成东北矿业城市产业生态系统适应性的差异的主要因素。

4.2 从资源类型看，冶金类、综合类、煤炭类、石油类 4 类矿业城市产业生态系统适应性依次降低

东北地区煤炭、石油、冶金和综合 4 类矿业城市产业生态系统的适应性评价指数平均值分别为 0.056、0.055、0.060 和 0.059，呈现出冶金类 > 综合类 > 煤炭类 > 石油类的变化趋势。冶金类城市适应性之所以最强，原因在于其产业子系统和环境子系统适应性均较强，而石油类城市产业子系统的低适应性与环境子系统的高适应性的明显冲突与对立，导致了该类城市产业生态系统适应性低下（图 3）。

从产业子系统看，冶金类城市矿产品加工产业链较长，整个产业系统发育程度远高于其他资源类型城市，从而导致冶金类城市整个产业子系统稳定性和弹性相对较高（表 2）。

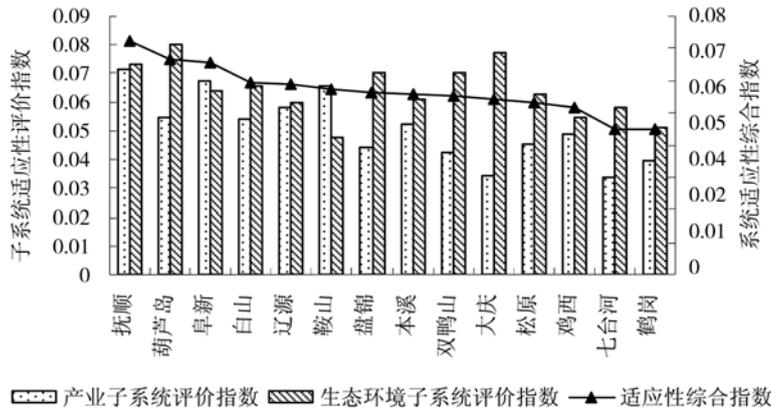


图 2 东北地区矿业城市产业生态系统适应性变化图

Fig. 2 Change of industrial ecosystem adaptation of mining cities in Northeast China

相反，石油类城市由于采矿业过于发育（大庆、盘锦、松原 3 市采矿业产值占 GDP 比重分别为 68%、53.11%、45.11%），非资源性工业发育水平较低，服务业发展缓慢，开放程度不高，使得整个产业子系统的层次结构、高级化和开放性等方面都劣于其他矿业城市，造成石油类城市产业子系统敏感性较高而稳定性较低，严重制约着其适应性程度提升。

从环境子系统看，石油类城市环境子系统适应性最高，但与其他资源类型矿业城市差距较小，优势并不明显（图 3）。表 2 表明，石油类、冶金类城市的环境子系统具有较高的稳定性和弹性，是此两类城市环境子系统适应性较强的主要表征。主要因为此两类城市生态系统结构和功能均比较完善，环境治理投资能力及环境修复能力较强。2006 年石油、冶金 2 类城市环境治理投资占 GDP 比重分别为 2.44% 和 2.39%，高于综合（1.76%）和煤炭（1.64%）2 类城市。煤炭类、综合类城市因矿产的大规模开发，引发土地塌陷等较为严重的生态破坏和环境污染，推高了环境子系统的易损性，降低了适应性。

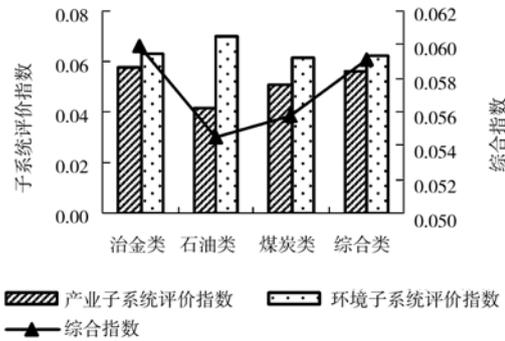


图 3 不同资源类型矿业城市产业生态系统适应性比较

Fig. 3 Change of industrial ecosystem adaptation of mining cities in different resource types in Northeast China

表 2 不同资源类型矿业城市产业生态系统适应性要素比较

Tab. 2 Change of adaptation factors of mining cities in different resource types in Northeast China

	产业子系统				环境子系统			
	易损性	敏感性	稳定性	弹性	易损性	敏感性	稳定性	弹性
冶金类	0.076	0.043	0.055	0.060	0.068	0.061	0.071	0.059
石油类	0.047	0.063	0.024	0.059	0.098	0.052	0.057	0.074
煤炭类	0.077	0.047	0.042	0.044	0.100	0.055	0.048	0.053
综合类	0.092	0.032	0.049	0.055	0.095	0.059	0.048	0.050

4.3 从空间格局看，矿业城市产业生态系统适应性呈现从沿海向内陆递减的变化趋势

图 4 可知，辽、吉、黑 3 省矿业城市产业生态系统适应性综合指数平均值分别为 0.062、0.057 和 0.050，表明东北地区矿业城市产业生态系统适应性呈现辽>吉>黑的变化特征。原因在于辽宁矿业城市依靠临海的区位优势，获得了比吉、黑 2 省矿业城市更多的发展机遇，从而显示出较强的适应性，使整个东北地区矿业城市产业生态系统适应性显示出明显地由沿海到内陆的递减态势。

从产业子系统看，辽宁各矿业城市产业子系统适应性普遍偏高（图 4）。除盘锦外，鞍山、抚顺、本溪、阜新、葫芦岛等 5 市的产业子系统适应性指数均超过东北地区平均水平，主要因为：（1）辽宁矿业城市产业子系统稳定性和弹性高于吉、黑 2 省（表 3）。主要表现为辽宁矿业城市产业结构调整与转型的战略、政策实施比较早，产业结构多元化程度相对较高，第三产业和建筑业产值占 GDP 的比重平均为 39.27%，高于吉林（36.73%）、黑龙江（34.01%），其中阜新高达到 47.18%。同时，还表现为辽宁矿业城市的经济基础支撑能力比较雄厚，投资拉动能力强，财政支持力度大，开放度高，使之具有比吉、黑 2 省矿业城市更强的弹性。（2）易损性和敏感性是抑制矿业城市产业子系统适应性提升的主要制约因素。表 3 显示，东北矿业城市产业子系统易损性呈现吉林 > 辽宁 > 黑龙江的空间递变趋势，而敏感性则呈现黑龙江 > 辽宁 > 吉林的空间变化特征，其中，辽宁省矿业城市产业子系统的易损性和敏感性始终处于中等地位。主要表现为：辽宁矿业城市产业子系统对矿产资源的依赖性（采掘业产值占 GDP 比重 21.97%）高于吉林（20.62%），但低于黑龙江（28.31%）；市场化进程缓慢，开放程度较低，使矿业城市从区外获取经济要素的能力低下；从工业企业经营风险看，辽、吉、黑 3 省矿业城市规模以上工业企业资产利润率平均值分别为 2.97%、8.22%和 14.01%，而资产负债率分别为 57.18%、54.75%和 64.64%，表明黑龙江矿城工业盈利能力与经营风险均较高，而辽宁矿城工业盈利能力最低，而经营风险却较高。

从环境子系统看，辽、吉、黑 3 省环境子系统适应性指数平均值分别为 0.066、0.063 和 0.062（表 3），呈现由辽宁>吉林>黑龙江的变化规律。主要因为：（1）辽宁矿城环境子系统的稳定性和弹性高于吉、黑 2 省。表现为辽宁矿城土地资源开发强度较大，而黑龙江相对较小；辽宁矿城环境治理投资能力较强，环境治理投资占 GDP 的比重平均值为 2.33%，高于吉（1.89%）、黑（1.63%）2 省。（2）辽宁矿城环境子系统易损性和敏感性低于吉、黑 2 省。表现为：辽宁矿城资源集约化程度高于吉、黑 2 省，辽宁矿城工业废水排放密度呈减少趋势，而吉、黑 2 省呈增加趋势。可见，资源利用粗放、环境污染加剧是导致吉、黑 2 省矿城环境子系统敏感性较强的主要因素。

4.4 从发展阶段看，矿业城市产业生态系统适应性呈现老年>中年>幼年的变化态势

图 5 表明，老年矿业城市产业生态系统适应性指数平均为 0.059，高于中年（0.058）和幼年（0.049），表明老年矿业城市产业生态系统适应性最强，而幼年最弱。与中、老年

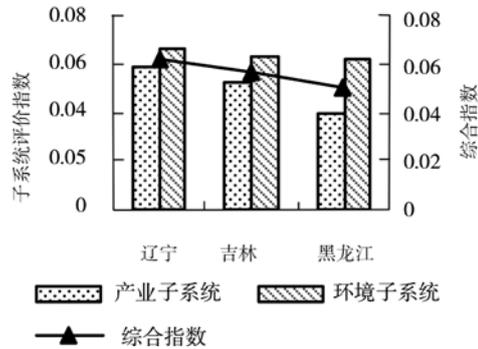


图 4 不同地区矿业城市产业生态系统适应性比较
Fig. 4 Change of industrial ecosystem adaptation of mining cities in different regions of Northeast China

表 3 不同地区矿业城市产业生态系统适应性要素比较

Tab. 3 Change of adaptation factors of mining cities in different regions of Northeast China

	产业子系统				环境子系统			
	易损性	敏感性	稳定性	弹性	易损性	敏感性	稳定性	弹性
辽宁	0.075	0.048	0.054	0.063	0.069	0.062	0.064	0.071
吉林	0.086	0.039	0.041	0.052	0.105	0.056	0.051	0.045
黑龙江	0.061	0.051	0.028	0.040	0.111	0.050	0.046	0.051

矿业城市相比, 幼年矿业城市产业和环境 2 个子系统的适应性都是最低的, 从而使其整体适应性较低。

从产业子系统看, 幼年、中年、老年 3 个阶段矿业城市产业子系统适应性指数平均值分别为 0.040、0.051 和 0.057, 表明幼年矿业城市产业子系统适应性相对较弱, 而老年矿业城市相对较强。主要因为幼年矿业城市正处于资源型产业扩张期, 如松原市矿产品年增长率达 9.36%, 导致产业子系统敏感性较强, 而非资源型产业不发达, 第三产业发育程度较低, 再加上经济实力弱, 科技创新能力不强, 从而导致幼年矿业城市产业子系统稳定性和弹性最弱。老年矿业城市则随着近年来经济转型战略

的实施, 非矿产业发展较快, 非国有经济比重大大提高, 产业结构高级化、多元化不断推进, 从而使老年矿业城市产业子系统的敏感性不断下降, 稳定性和弹性持续增强 (表 4)。

从环境子系统看, 中年矿业城市环境子系统适应性强于老年和幼年 (图 5)。究其原因, 中年矿业城市环境子系统的稳定性和弹性高于老年及幼年矿业城市, 而其易损性却低于老年、幼年矿业城市, 敏感性低于老年矿业城市 (表 4), 从而使中年矿业城市环境子系统显示出较强的适应能力。主要表现为: 中年矿业城市资源开发正处于相对稳定期, 矿业稳步发展, 且随着科学发展观的贯彻和落实, 生态修复和环境治理力度进一步加大; 老年矿业城市则因资源型产业衰退, 生态环境整治资金短缺, 使得生态修复和环境治理能力弱化; 幼年矿业城市则由于矿业规模快速扩大, 对环境的影响也在加剧。正因环境治理能力的低下, 使得老年、幼年矿业城市环境子系统稳定性和弹性较弱, 限制了其适应能力的提升。

表 4 不同发展阶段矿业城市产业生态系统适应性要素比较

Tab. 4 Change of adaptation factors of mining cities in different development phases in Northeast China

	产业子系统				环境子系统			
	易损性	敏感性	稳定性	弹性	易损性	敏感性	稳定性	弹性
老年阶段	0.081	0.045	0.051	0.052	0.095	0.064	0.051	0.048
中年阶段	0.071	0.047	0.042	0.056	0.086	0.057	0.057	0.066
幼年阶段	0.059	0.052	0.023	0.038	0.107	0.040	0.053	0.046

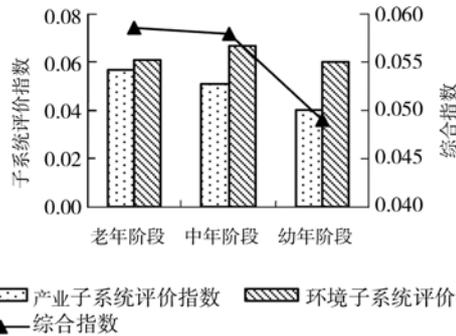


图 5 不同发展阶段矿业城市产业生态系统适应性比较

Fig. 5 Change of industrial ecosystem adaptation of mining cities in different development phases in Northeast China

4.5 从城市规模看，矿业城市产业生态系统适应性呈现特大城市 > 大城市 > 中等城市的趋势

图 6 表明，特大城市产业生态系统适应性最高，适应性指数平均为 0.065，而大型和中等城市的适应性指数平均值分别为 0.056 和 0.054，说明城市规模越大，其产业生态系统适应性越强。从产业子系统看，特大、大型、中等 3 类矿业城市产业子系统适应性指数平均值分别为 0.068、0.049 和 0.047，也呈现适应性随城市规模扩大而递增的趋势。主要因为特大城市产业子系统具有很强的稳定性和弹性，而其易损性和敏感性与其他规模城市相近（表 5）。表现为，特大城市中采矿业的作用和地位逐渐被制造业和第三产业所取代，经济外向化程度高，以产品、副产品互为原料的产业系统网络正逐步形成，大大降低了产业子系统的易损性和敏感性，提高了其稳定性和弹性，增强了产业转型重组能力。

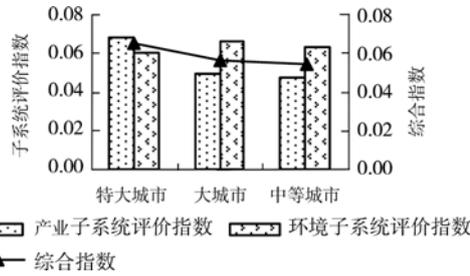


图 6 不同规模矿业城市产业生态系统适应性比较
Fig. 6 Change of industrial ecosystem adaptation in different sizes of mining cities in Northeast China

表 5 不同规模矿业城市产业生态子系统适应性要素比较

Tab. 5 Change of adaptation factors in different sizes of mining cities in Northeast China

	产业子系统				环境子系统			
	易损性	敏感性	稳定性	弹性	易损性	敏感性	稳定性	弹性
特大城市	0.080	0.049	0.070	0.070	0.063	0.057	0.073	0.055
大城市	0.066	0.049	0.040	0.054	0.090	0.062	0.055	0.063
中等城市	0.078	0.044	0.034	0.043	0.106	0.049	0.047	0.052

从环境子系统看，特大、大型和中等城市环境子系统适应性指数平均值分别为 0.060、0.066 和 0.063（图 6）。特大城市环境子系统适应性最弱，而大城市相对较高。主要因为特大城市土地开发程度高，生态环境累积效应显著，环境子系统易损性明显，同时环境整治能力较强，从而使其环境子系统稳定性相对较高，弹性仅次于大城市。中等城市产业规模快速扩大，工业污染物排放增多，导致环境子系统敏感性较高；而环境基础设施建设滞后，环境防治能力较低，使环境子系统抵御外界干扰能力较弱。大城市环境治理能力相对较强，环境子系统具有较强修复与抗干扰能力，即具有较强的稳定性和弹性。

5 东北地区矿业城市产业生态系统适应性类型划分

在上述分析的基础上，根据各矿业城市产业、环境 2 子系统的适应性属性值，采用系统聚类法，将东北矿业城市产业生态系统适应性划分为 4 种类型。

5.1 高适应能力、协调发展型

包括抚顺、阜新、鞍山 3 市，面积占东北矿业城市的 16.73%，人口占 28.74%，GDP 占 28.65%。该类城市：(1) 资源开发历史较长，由于资源型产业的挤出效应和沉淀效应，造成大量人力、资本、技术等生产要素在采矿业、资源加工业等行业过度集中。

(2) 产业结构多元化、网络化正在形成。近年来随着经济转型战略实施, 依托当地资源优势, 以经济开发区建设为载体, 以接续产业为重点, 大力发展资源深加工业, 积极延长产业链, 如鞍山已形成铁矿开采—炼钢—一般机械—精密机械的产业链条, 增大了产业系统的稳定性和弹性。(3) 大力推进资源性企业的循环经济试点, 加大煤炭塌陷地等生态建设力度, 增强环境污染防治能力, 从而提高了环境子系统的适应能力。

5.2 高适应能力、环境优先类型

包括葫芦岛、盘锦、双鸭山、大庆 4 市, 面积占东北矿业城市的 31.52%, 人口占 30.85%, GDP 占 43.27%, 人均 GDP 为 32200 元/人, 是东北矿业城市平均水平的 1.4 倍。该类城市: (1) 处于中年阶段, 资源型产业稳步扩张, 产业结构单一, 产业子系统易损性高。(2) 工业经营效益低, 经营风险较高, 产业子系统敏感性增大, 同时, 接续产业发展缓慢, 产业子系统稳定性不高。(3) 经济实力相对较强, 第三产业发展较快, 增强了产业子系统弹性。(4) 盘锦、大庆 2 市生态本底较差, 资源利用结构单一, 环境污染较重, 增大了环境子系统的易损性和敏感性, 但环境治理能力强, 提升了环境子系统的修复能力。(5) 双鸭山、葫芦岛 2 市水资源相对丰富, 森林覆盖率高, 可再生资源利用程度较高, 环境子系统稳定性与弹性较高。

5.3 低适应能力、协调发展型

包括白山、本溪、辽源、松原、鸡西 5 市, 面积占东北矿业城市的 40.4%, 人口占 32.97%, GDP 占 24.09%, 人均 GDP 16777 元/人, 是东北矿业城市平均水平的 73.1%。该类城市: (1) 经济基础薄弱, 发展资金短缺, 高素质人才匮乏, 降低了产业子系统适应性。(2) 产业结构畸形, 资源型产业已呈衰退迹象 (松原除外), 非矿业发展较快, 增强了产业子系统的重构能力。如辽源市以新材料等为主导的接续产业发展迅速。(3) 开放程度较低, 从区外获得资金、技术、人才等资源要素的能力低。(4) 森林覆盖率高, 工业污染较低, 稳定性和弹性相对较高 (松原除外)。(5) 松原市处于幼年阶段, 矿业居于支配地位, 产业结构单一, 系统易损性和敏感性较高; 同时自然本底脆弱, 环境治理能力不高, 降低了环境子系统的稳定性和弹性。

5.4 低适应能力、环境优先类型

包括七台河、鹤岗 2 市, 面积占东北矿业城市的 11.31%, 人口占 7.44%, GDP 占 3.99%, 人均 GDP 12311 元/人, 约为东北矿业城市平均水平的 53.63%。该类城市: (1) 水资源丰富、森林覆盖率高, 生态本底易损性和敏感性较低, 弹性相对较高, 增大环境子系统适应性。(2) 七台河处于幼年阶段, 资源型产业是产业系统的主体, 资源加工业产值占制造业比重达 77.56%, 规模以上工业企业资产利润率和负债率分别为 2.35% 和 71.88%, 产业子系统易损性和敏感性较高, 适应性较低; (3) 鹤岗处于老年阶段, 采矿业比重较大, 国有经济占主导地位, 加快非资源型产业和非国有经济发展, 是提高产业子系统适应能力的主要途径。

6 结论

(1) 矿业城市产业生态系统适应性是其面对矿产资源储量日趋减少或枯竭等不可避免的发展环境变化所必须的选择。在界定矿业城市产业生态系统适应性内涵的基础上, 基于易损性、敏感性、稳定性和弹性等要素构建了适应性评价指标体系和评价模型, 为揭示矿业城市产业转型的驱动因素, 推进可持续发展拓展了新思路。

(2) 东北有一半矿业城市产业生态系统适应能力处于中等水平, 呈正态分布。从资源类型看, 产业生态系统适应性呈冶金类>综合类>煤炭类>石油类的演变特征; 从空间格局看, 呈辽宁省>吉林省>黑龙江省的变化趋势; 从发展阶段看, 呈老年期>中年期>幼年期的递变规律; 从城市规模看, 呈特大城市>大城市>中等城市的递变规律。

(3) 采用聚类分析方法, 将东北矿业城市产业生态系统适应性分为 4 种类型, 即高适应能力、协调发展类型; 高适应能力、环境优先类型; 低适应能力、协调发展类型; 低适应能力、环境优先类型。

参考文献:

- [1] 史培军, 王静爱, 陈婧, 等. 当代地理学之人地相互作用研究的趋向. 地理学报, 2006, 61(2): 115~126.
- [2] Smit B, Wandel J. Adaptation, adaptive capacity and vulnerability. *Global Environmental Change*, 2006, 16(3): 282~292.
- [3] 方一平, 秦大河, 丁永建. 气候变化适应性研究综述. 干旱区研究, 2009, 26(3): 299~305.
- [4] 方修琦, 殷培红. 弹性、脆弱性和适应——IHDP 三个核心概念综述. 地理科学进展, 2007, 26(5): 11~22.
- [5] Brooks N. Vulnerability, risk, and adaptation: A conceptual framework. Tyndall Center for Climate Change Research, Working Paper, 2003. 38.
- [6] Mc Carthy J J, Canziani O F, Leary N A, *et al.* IPCC. Climate change 2001: Impacts, adaptation and vulnerability, contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press, 2001.
- [7] Books N, Adegere W N, and Kelly P M. The determinants of vulnerability and adaptive capacity at the national level and the implications for adaptation. *Global Environmental Change*, 2005, 15: 151~163.
- [8] Adegere W N, Arnell N W, Tompkins E L. Successful adaptation to climate change across scales. *Global Environmental Change*, 2005, 15(2): 75~76.
- [9] 梅林, 孙春暖. 东北地区煤炭资源型城市空间结构的重构. 经济地理, 2006, 26(6): 949~952.
- [10] 安树伟, 魏后凯. 东北资源型城市的产业结构转型. 经济管理, 2006, (3): 6~9.
- [11] 余延双. 东北资源型城市产业结构转换比较研究. 中国矿业, 2006, 15(8): 4~7.
- [12] 丁四保. 东北地区资源型城市贫困问题的调查与分析. 开放导报, 2005, (6): 28~32.
- [13] 李鹤, 张平宇. 东北地区矿业城市社会就业脆弱性分析. 地理研究, 2009, 28(3): 751~760.
- [14] 李博, 佟连军, 韩增林. 东北地区煤炭城市脆弱性与可持续发展模式. 地理研究, 2010, 29(2): 361~372.
- [15] 程雪婷. 基于 CAS 理论的石油企业适应性机制研究. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学博士学位论文, 2006. 27~28.
- [16] 杨彦平, 金瑜. 社会适应性研究述评. 心理科学, 2006, 29(5): 1171~1173.
- [17] 符超峰, 安芷生, 强小科, 等. 全球变化研究进展和面临的挑战及应对策略. 干旱区研究, 2006, 23(1): 1~7.
- [18] Lessard G. An adaptive approach to planning and decision making. *Landscape and Urban Planning*, 1998, 40(1-3): 81~87.
- [19] Vogt KA, Gordon JC, Wargo J P, *et al.* *Ecosystems: Balancing Science with Management*. New York: Springer, 1997.
- [20] 朱训. 矿业城市的可持续发展是振兴东北老工业基地的基础. 资源·产业, 2004, 6(5): 1~4.
- [21] 李鹤. 东北地区矿业城市人地系统脆弱性评价与调控研究. 长春: 中国科学院东北地理与农业生态研究所博士学位论文, 2009. 81~82.
- [22] 王广成, 闫旭骞. 矿区生态系统健康评价理论及其实证研究. 北京: 经济科学出版社, 2006. 64~65.
- [23] Walker B, Holling C S, Carpenter S R, *et al.* Resilience, adaptability and transformability in social-ecological systems. *Ecology and Society*, 2004, 9(2): 5.
- [24] Folke C. Resilience: The emergence of a perspective for social-ecological systems analyses. *Global Environmental Change*, 2006, 16: 253~267.
- [25] 张雷. 能源生态系统. 北京: 科学出版社, 2007. 49.

- [26] Qiu Fangdao, Tong Lianjun, Zhang Huimin, *et al.* Decomposition analysis on direct material input and dematerialization of mining cities in Northeast China. *Chinese Geographical Science*, 2009, 19(2):104~112.
- [27] 王明涛. 多指标综合评价中权数确定的离差、均方差决策方法. *中国软科学*, 1999, 8(8):100~107.
- [28] 戴全厚, 刘国彬, 刘明, 等. 小流域生态经济系统可持续发展评价. *地理学报*, 2005, 60(2):209~218.

Adaptability assessment of industrial ecological system of mining cities in Northeast China

QIU Fang-dao¹, TONG Lian-jun², JIANG Meng¹

(1. School of Urban and Environmental Sciences, Xuzhou Normal University, Xuzhou 221116, Jiangsu, China; 2. Northeast Institute of Geography and Agricultural Ecology, CAS, Changchun 130012, China)

Abstract: Adaptation is a wise choice for industrial ecosystem to face up the inevitable environment changes. It also provides a new paradigm for the study of interaction mechanisms and processes of coupled industrial ecosystem. There are a lot of mining cities in Northeast China, which approach their middle-age or old-age of resources exploitation. Faced with their disappearing superior status in resources problems, the subject on how to adjust the industrial ecosystem to the possible changes in the future, has become urgent in revitalizing the old industrial base of Northeast China. Based on a detailed discussion about the conception of industrial ecosystem adaptation of mining cities, the essay establishes an industrial adaptability assessment index system and model of mining cities from the aspects of adaptation factors of vulnerability, sensitivity, stability and resilience. According to the model, the industrial ecosystem adaptability, including regional differentiation, types and influencing factors of mining cities is evaluated. From a view of different resource types, the average score of industrial ecosystem adaptation shows a trend of metallurgical cities > multi-resources cities > coal cities > petroleum cities. From a view of regional differences, it shows a trend of Liaoning > Jilin > Heilongjiang; from a view of development stages, it has a trend of old-aged > middle-aged > juvenile-aged; from a view of mining city size, it shows a trend of mega-cities > big cities > medium-sized cities. Then a cluster analysis method is applied to categorize the industrial ecosystems into four types: high adaptability and harmonious development between industry and ecology, high adaptable capacity and environmental development first, low adaptability and harmonious development between industry and ecology, low adaptable capacity and environmental development first.

Key words: adaptation; industrial ecosystem; mining cities; Northeast China