

基于集对分析的鞍山市人地系统脆弱性评估

韩瑞玲^{1,2}, 佟连军¹, 佟伟铭³, 于建辉⁴

(1. 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 长春 130012; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049;

3. 东北师范大学城市与环境学院, 长春 130024; 4. 国家开发银行河北省分行, 石家庄 050051)

摘 要:脆弱性评估是当前脆弱性研究的一项重要内容,其已成为分析人地系统相互作用的过程与机理的有效工具之一。应用集对分析方法和熵权法,根据鞍山市经济发展的资源依赖特征、社会就业的不稳定特征、资源型城市生态环境破坏相对严重的特征,评估了1990-2009年鞍山市经济系统、社会就业系统、生态环境系统3个系统各自的敏感性、应对能力和脆弱性,进而对鞍山市人地关系的脆弱性程度进行了评估。文章发现,鞍山市人地系统作用关系属于低敏感型、高应对能力型,其相对于其他东北地区资源型城市具有较好的可持续发展基础,未来发展应注重降低经济系统的敏感性,并积极提高其应对能力。

关 键 词:集对分析;人地系统;敏感性;应对能力;脆弱性;鞍山市

1 引言

自20世纪80年代以来,随着全球环境变化研究的兴起,脆弱性逐渐成为全球环境变化与可持续性科学研究的热点与前沿领域之一,也是许多国际性科学计划的重要研究内容^[1]。脆弱性这一概念起源于对自然灾害的研究。在地学领域,Timmerman在1981年首先提出了脆弱性的概念^[2]。

目前,“脆弱性”的内涵不断丰富,逐渐演变成包含“风险”、“敏感性”、“适应性”、“恢复力”^[3]、“暴露程度”^[4]等一系列相关概念在内的概念集合,且已经被应用到生态学^[5]、环境评价^[6-7]、环境与经济动态关系衡量^[8]、可持续性科学^[9-11]等很多研究领域。但是表达涵义有所不同^[12],主要包含3种类型^[13]:①暴露状况,即使人或地区陷入危险的自然条件;②各种社会因素对灾害的抵御能力;③特定地区的暴露状况与社会恢复力的结合。脆弱性是一个相对概念,具有不确定性^[14],其主要表现在由于系统对系统内外扰动的敏感性以及缺乏应对能力从而使系统向不利于区域可持续发展方向演变的一种状态,只有当系统遭受扰动时才表现出来^[3]。系统的内部特征是系统脆弱性产生的主要、直接原因,而外界

扰动是系统脆弱性发生变化的驱动因素,且这种驱动因素的作用是通过影响系统内部特征而使其脆弱性发生变化,并最终通过系统的敏感性以及应对能力表现出来^[15]。进行脆弱性评估能有效测度人地系统在不利扰动影响下的脆弱性程度和分析系统对内外所受到各种扰动的反应能力。因此,脆弱性评估是当前脆弱性研究的一项重要内容,也是脆弱性研究面临的重要挑战之一^[16]。

由于“脆弱性”这一概念能够全面、准确地反映资源型城市发展问题的复杂性、多元性和动态性,且系统脆弱性是阻碍资源型城市可持续发展的重要因素^[3]。如在处理资源型城市的环境改善问题上,脆弱性更表现出区域的环境突出特征,即环境敏感性强、环境退化趋势明显^[9]。因此,本文选择“脆弱性”作为研究鞍山市人地系统可持续发展的切入点,尝试引入重在解决系统中存在确定性与不确定性问题的集对分析方法以评估鞍山市人地系统脆弱性。区域人地系统主要包括经济系统、社会就业系统、生态环境系统,本文主要通过评估3个子系统的敏感性、应对能力与脆弱性程度,来揭示各系统脆弱性特征及主要影响因素,进而探究鞍山市人地系统相互作用的脆弱性表现和程度,为鞍山

收稿日期:2011-03; 修订日期:2011-10.

基金项目:国家自然科学基金项目(41071086);国家自然科学基金青年科学基金项目(40901065)。

作者简介:韩瑞玲(1984-),女,博士研究生,河北廊坊人,主要从事经济地理与区域发展方面的研究。

E-mail: hanruiling@neigae.ac.cn

通讯作者:佟连军(1960-),男,研究员,博士生导师。E-mail: tonglj@neigae.ac.cn

市总体发展提供科学建议,并对其他资源型城市发展提供案例参考。

2 研究对象

2.1 研究对象概况

鞍山市是东北地区最大的钢铁工业城市,也是中国第一钢铁工业城市,“钢铁之都”的称号享誉国内外。钢铁是人类赖以生存的物质基础,是社会发展与国家安全必不可少的重要战略资源。鞍山境内铁矿探明储量占全国的1/4,居全国首位。鞍山是依托当地铁矿资源开采而兴起发展起来的,其目前已形成了以钢铁为主,门类相对比较齐全的产业体系。

全球经济发展对钢铁资源极其依赖,中国经济的快速发展也加速了对钢铁的需求总量。在一些大型钢铁企业效益不景气的情况下,鞍山的钢铁产量、成品钢材产量及铁矿石产量均保持着平稳上升,且规模以上企业成本利润率自2003年以来有较大增长(图1)。2005年,鞍钢在世界级钢铁企业竞争力的最新排名中列第8位;按产量衡量,鞍钢产量居全国第4位。在2010年《中国500最具价值品牌》排行榜榜单中,鞍钢以207.62亿元的品牌价值居排行榜第44位,在中国钢铁行业中排名第二。2010年底,因为企业进行重组,鞍钢的铁产量和钢产量双双突破3000万t。如此大规模的资源型产品的开采与生产,加剧了资源的消耗和对环境的破坏,影响了区域发展的可持续性以及对复杂经济形势的表现力。按照物质流的衡量方法,钢铁生

产的生态包袱为2.61,即每开采1t钢铁需消耗2.61t物质^[17]。因此,对于鞍山市因资源开采和资源依赖而影响的人地关系脆弱性研究非常必要。

2.2 鞍山市人地关系脆弱性基本特征

鞍山在经济发展过程中,与其他资源型城市一样面临资源枯竭、公有制改革、市场需求波动的扰动,因而其人地关系系统也表现出比较普遍的脆弱性特征^[1]。具体表现在:

(1) 以资源产业为主导,生态环境压力较大,接续替代产业发展只初具规模。1990-2009年,鞍山第一产业GDP比重由9.38%降到4.78%;第二产业比重由73.52%降到52.79%,仍占到半数以上,钢铁生产仍然占绝对主导地位,且主导产业的发展还主要依靠资源的消耗和外延型扩张模式,节能降耗、治理污染的任务艰巨;第三产业比重由17.31%增长至42.44%,其以高新技术产业、旅游业、物流业等作为主体,但是产业规模相对较小,发展尚处于的初期阶段。

(2) 产业内部结构不协调。主要表现在:①在所有制结构上,国有和集体工业所占比重较大,非国有经济特别是民营和个体经济发展缓慢;②在技术结构上,技术装备更新较慢,技术创新能力不强,高新技术产业和新型产业发展缓慢。③在产品结构上,名牌拳头产品所占比重小,粗加工产品和初级产品较多,产品市场上竞争力不强;④在投资结构上,资金投放过于分散,重点不突出。

(3) 经济总量小,经济结构性矛盾仍然突出。1990-2009年,鞍山市经济年均增长15.25%,虽然快于辽宁省年均增速1个百分点,但由于基数小的限

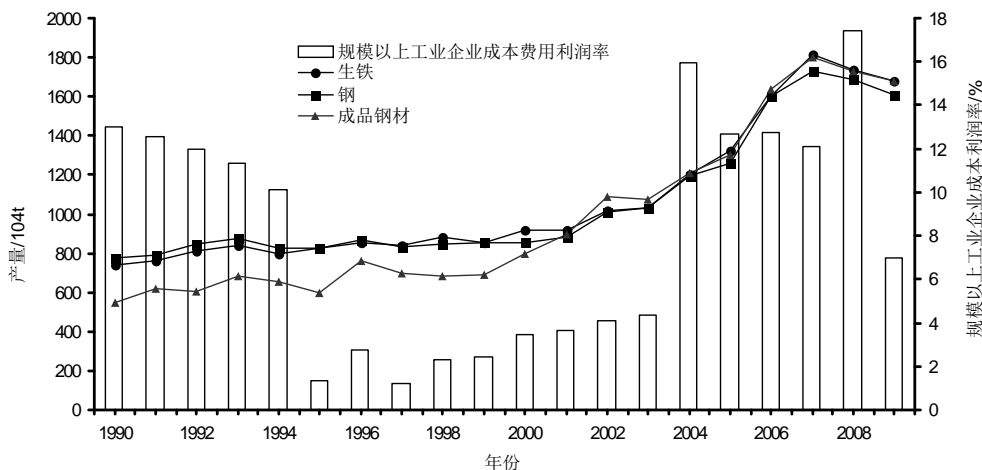


图1 鞍山主要产品产量及规模以上企业成本费用利润率变化

Fig.1 Changing trends of main products and ratio of profits to industrial cost above designated size of Anshan city

制,使得鞍山经济总量占辽宁省全省的份额由1990年的9.52%上升到11.38%,平均值仅为11.89%,其占沈阳市的平均份额也仅为50%。鞍山市战略性和牵动性的重大项目少,新兴产业项目不多,特别是节能减排任务艰巨,经济结构性矛盾比较突出。

(4) 外部条件不确定性为资源型城市发展带来了不利条件:①矿产品、钢铁等原材料价格的波动,对鞍山市经济发展增加不确定因素;②地处内陆,且处于沈大两个大型城市之间,特别是与沿海城市相比,缺少港口交通优势,周边城市对项目、资金等分流加大,加之土地成本相对较高,使城市未来引进和发展特大型项目难度加大。

3 研究方法与指标体系构建

3.1 研究方法

脆弱性评估的定性方法已经较为成熟,近年来,国内外开始重视脆弱性定量评估方法研究^[14]。薛纪渝探索了脆弱环境敏感性评价方法,提出敏感度的计算公式^[6]。刘燕华等采用主因素分析、承载背景分析和区域脆弱承受能力等3要素结合,进行脆弱度的分析^[9]。本文尝试引用集对分析方法来评估其经济系统脆弱性程度,并选择熵权法对指标体系进行赋权。

3.1.1 集对分析

集对分析(Set Pair Analysis, SPA)是由赵克勤^[18]提出的一种针对确定性和不确定性问题进行同异反定量分析的理论^[19]。集对分析对不确定性加以客观承认、系统刻画、具体分析,因而具有鲜明的辩证性^[5],是解决多目标决策、多属性评价^[20]的有效途径,已在评价、管理、预测和规划等研究领域得以广泛应用。

集对分析的核心思想是将确定性与不确定性作为一个系统,把具有某种联系的2个集合A、B看成1个集对H,在某个具体问题背景下,按照集对的某一特性建立这2个集合的同一、差异、对立的联系度表达式并据此展开分析。根据问题W的需要,对由集合A和集合B所组成的集对H展开分析,共得到N个特性,其中有S个特性为2个集合所共有,2个集合在另外的P个特性上相对立,在其余的F=N-S-P个特性上既不对立、又不同一。则集合A和集合B在具体问题W下的联系度 μ 可表示为:

$$\mu(W) = \frac{S}{N} + \frac{F}{N}i + \frac{P}{N}j = a + bi + cj \quad (1)$$

式中: a 、 b 、 c 分别称为集合A和集合B在问题W下同一度、差异度和对力度,且满足 $a+b+c=1$ 。 i 和 j 一方面是差异度和对立度的标记,另一方面表示差异度和对立度的系数。其中 i 取值为 $[-1, 1]$, j 的取值规定恒为-1。对于多属性评价问题,可记为 $Q=\{F, D, E, W\}$,其中,评价方案集 $F=\{f_1, f_2, \dots, f_m\}$,评价指标集 $D=\{d_1, d_2, \dots, d_n\}$,评价对象集为 $E=\{e_1, e_2, \dots, e_k\}$, e_k 为第 k 个被评价对象,评价指标权重集为 $W=\{w_1, w_2, \dots, w_n\}$ 。在同一空间内进行对比确定各评价方案中的最优评价指标构成最优评价集为 $U=\{u_1, u_2, \dots, u_n\}$,各评价指标中最劣评价指标构成最劣评价集为 $V=\{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ 。集对 $\{F_m, U\}$ 在 $[U, V]$ 上的联系度为:

$$\begin{cases} \mu(f_m, U) = a_m + b_m i + c_m j \\ a_m = \sum w_p a_{pk} \\ c_m = \sum w_p c_{pk} \end{cases} \quad p=(1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

式中: a_{pk} 和 c_{pk} 分别为评价指标 d_{pk} 与集合 $[v_p, \mu_p]$ 的同一度和对力度, w_p 为第 P 项指标的权重。

当 d_{pk} 对评价结果起正向作用时:

$$\begin{cases} a_{pk} = \frac{d_{pk}}{\mu_p + v_p} \\ c_{pk} = \frac{\mu_p v_p}{d_{pk}(\mu_p + v_p)} \end{cases} \quad (3)$$

当 d_{pk} 对评价结果起负向作用时:

$$\begin{cases} a_{pk} = \frac{\mu_p v_p}{d_{pk}(\mu_p + v_p)} \\ c_{pk} = \frac{d_{pk}}{\mu_p + v_p} \end{cases} \quad (4)$$

方案 f_m 与最优方案集 U 的相对贴近度 r_m 可定义为:

$$r_m = \frac{a_m}{a_m + c_m} \quad (5)$$

r_m 反映了被评方案 f_m 与最优方案集 U 的关联程度, r_m 值越大,表示被评价对象越接近最优方案,反之亦然。

本文运用集对分析方法,针对钢铁城市脆弱性这一具体问题,把多个集合(同一城市不同年份)组合到一起,按照城市经济系统、社会就业系统、生态环境系统脆弱状况展开具体分析,各系统的敏感性以 a_m 来表示,各系统应对能力以 c_m 表示,将城市

脆弱性的评价指标合成一个与最优评价集的相对贴近度 r_m 以反映脆弱性程度, r_m 值越大表示经济系统脆弱性程度越高, 反之亦然。

3.1.2 熵权法

由于在信息系统中的信息熵是信息无序度的度量, 所以, 信息熵越大, 信息的无序度越高, 其信息的效用值越小; 反之亦然。熵权法具体计算步骤如下:

- (1) 构建判断矩阵 $A=(a_{ij})_{m \times n}$ 。其中, i 代表敏感性与应对能力各自的指标, j 代表年份。
- (2) 对判断矩阵进行归一化处理, 得到归一化矩阵 $B=(b_{ij})_{m \times n}$ 。
- (3) 根据熵的定义, 确定评价指标的熵 H_i :

$$H_i = -\frac{1}{\ln m} \left(\sum_{j=1}^m f_{ij} \ln f_{ij} \right)$$
$$f_{ij} = \frac{b_{ij}}{\sum_{j=1}^m b_{ij}}$$

当 f_{ij} 为 0 或 1 时, $f_{ij} \ln f_{ij} = 0$, 不切合实际, 需要对 f_{ij} 加以修正, 故将其定义为:

$$f_{ij} = 1 + \frac{b_{ij}}{\sum_{j=1}^m (1 + b_{ij})}$$

- (4) 计算评价指标的熵权 W :

$$W = (\omega_i)_{1 \times n}$$
$$\omega_i = 1 - H_i / n - \sum_{i=1}^n H_i$$

- (5) 求出各指标权重集 $R=(r_{ij})_{m \times n}$:

$$R = B \times W$$

3.2 指标体系构建

鞍山市人地系统脆弱性主要通过经济系统、社

会就业系统、生态环境系统 3 个子系统脆弱性评价指标体系来反映的, 具体又由各系统的敏感性和系统应对能力 2 个次级指标组成。根据资源型城市经济系统脆弱性评价模型: $V_i = S_i/R_i$, V_i 为系统脆弱性; S_i 为系统面对扰动的响应程度, 即敏感性; R_i 为系统面对扰动影响的恢复力和适应能力, 由系统内部条件所决定^[3]。因此, 系统对不利扰动影响的敏感性程度越高, 且系统对不利扰动的应对能力越低, 则系统的脆弱性就越高, 反之亦然。系统脆弱性过高则不利于系统的可持续发展。

理想的对系统脆弱性评价应该是对经济系统进行全面综合的考虑, 但是受到现实数据获取以及其他方面的限制, 理想状态的脆弱性评价很难实现。同时, 如果全面考虑系统受到的各种扰动, 使得分析因素过多, 抓不住重点, 从而使得研究无法深入^[14]。因此, 在建立指标体系时, 3 个系统的主要扰动因子有所不同: ①经济敏感性主要考虑鞍山可采钢铁资源逐渐枯竭对城市经济发展造成了极大的影响; 应对指标主要考虑鞍山市产业多样化发展的能力。②社会敏感性主要考虑资源性城市产业结构老化而造成的就业能力不足问题。鞍山市长期依赖钢铁资源开采形成了高度单一的产业结构以及相应的就业结构, 而就业结构的单一性使其对各种不利扰动影响的缓冲能力较差, 导致城市就业具有较高的敏感性; 应对能力指标主要是对就业形式的发展趋势做出判断。③生态环境敏感性较重视城市重工业突出而造成的环境污染及对生态环境的改善, 主要考虑鞍山市作为人类活动与自然环境强烈交互作用的典型生态脆弱区, 钢铁资源开采及加工是生态环境系统最主要的人类扰动因素; 应对能力指标主要是选择能够反映鞍山市对工业废

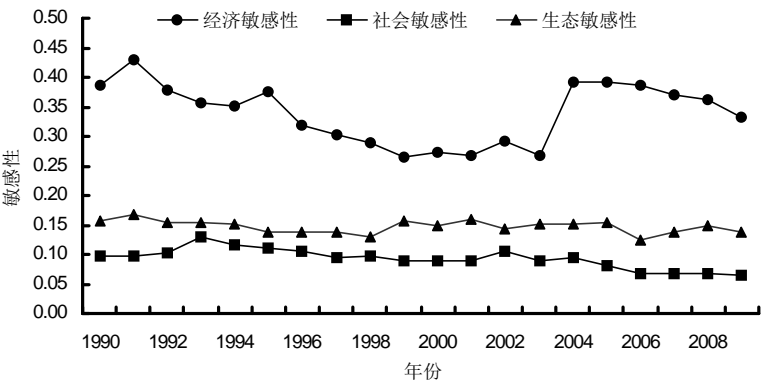


图2 鞍山市各系统敏感性指数比较分析

Fig.2 Comparative analysis of the economic, social and ecological sensitivity of Anshan city

水、固体废弃物等污染物的处理能力,以及城市绿化、城市环境治理和生态保护的能力等指标。

本文在借鉴相关耦合系统脆弱性评价指标^[3,14]的基础上,初步构建了指标体系,并对初选指标进行相关分析后的筛选,再基于评价指标选择的科学性、典型性、动态性等原则,最终确定了鞍山市各子系统脆弱性评价指标体系(表1)。

4 鞍山人地系统脆弱性综合评价

4.1 敏感性分析

敏感性是指在系统内部、系统与系统之间、耦合系统之间相互作用的关系中,用来表征某个系统应对其内部或外部因素变化的响应程度^[14]。在实际研究中,逐渐把敏感性纳入到脆弱性研究框架之中,使之成为脆弱性的核心组成要素之一。但在脆弱性分析框架中,敏感性评价只评价系统受到各种不利扰动的潜在影响。另外,还需要结合系统自身的适应能力和恢复力,才能够得到系统脆弱性的评

价结果。敏感度越高,敏感性越强,环境越脆弱^[9]。

1990-2009年,鞍山敏感性总体呈现下降趋势(图2)。其中,经济系统的敏感性与最优值的贴近距离 $a_{m\text{经济}}$ 呈现波动下降趋势,由1990年的0.39下降到0.33,曲线变异系数为0.52;社会系统的敏感性指数与最优值的贴近距离 $a_{m\text{社会}}$ 在3个系统中最为微弱,由0.10下降到0.07,曲线变异系数为0.74;生态环境系统的敏感性指数与最优值的贴近距离 $a_{m\text{生态}}$ 变化不大,由0.16降到0.14,曲线变异系数为0.33。变异系数高低反映了曲线的年际变化情况,变异系数大说明敏感性的年际变化较大,反之亦然。

3个系统中,经济系统敏感性最高,社会系统敏感性次之,生态环境系统敏感性最低。鞍山经济发展多年来主要依靠自身的钢铁资源,多年来形成了以重工业为主,经济结构比较单一的体系。在资源型城市转型的背景下,鞍山经济结构虽有所改善,但鞍钢产值占全市工业总产值的比重依然保持在50%左右,所以,经济系统敏感性在3个系统中最高。由于钢铁产量2008年以来有所下降,以及钢、

表1 鞍山市经济系统、社会系统、生态环境系统脆弱性评价指标体系

Tab. 1 Indicator system for the economic, social and ecological vulnerability of Anshan city

目标层	代码	敏感性指标名称及单位	代码	应对能力指标名称及单位
经济脆弱性	ES ₁	钢与铁产量年增长率/%	ER ₁	人均GDP/元
	ES ₂	钢与铁生产增长弹性系数/%	ER ₂	固定资产投资密度/(万元/km ²)
	ES ₃	鞍钢产值占工业总产值比重/%	ER ₃	第三产业增加值占全市GDP比重/%
	ES ₄	城镇居民人均可支配收入增长率/%	ER ₄	产业结构多样化指数H
	ES ₅	地方财政收入增长率/%	ER ₅	工业全员劳动生产率/(元/人)
	ES ₆	外贸依存度/%	ER ₆	地方财政自给率/%
	ES ₇	城市居民恩格尔系数/%	ER ₇	人均社会商品零售额/元
社会脆弱性	SS ₁	规模以上工业企业资产负债率/%	SR ₁	城镇居民人均可支配收入/元
	SS ₂	采掘业、制造业、地质勘探业从业人员比重/%	SR ₂	就业弹性系数/%
	SS ₃	国有与城镇集体经济从业人员比重/%	SR ₃	第三产业从业人员比重/%
	SS ₄	城镇登记失业率/%	SR ₄	个体经济从业人员比重/%
	SS ₅	第二产业相对劳动生产率增加值/%	SR ₅	教育投入占地方财政支出比重/%
	SS ₆	产业结构变化程度	SR ₆	职工平均工资/元
生态环境脆弱性	NS ₁	工业废水排放强度/(10 ⁴ t/km ²)	NR ₁	工业废水排放达标率/%
	NS ₂	工业SO ₂ 排放强度/(t/km ²)	NR ₂	工业固体废弃物综合利用率/%
	NS ₃	工业烟尘排放强度/(t/km ²)	NR ₃	鞍钢污染物综合排放合格率/%
	NS ₄	工业固体废弃物排放强度/(10 ⁴ t/km ²)	NR ₄	建成区绿化覆盖率/%
	NS ₅	鞍钢工业废水排放所占比重/%	NR ₅	有效灌溉面积比重/%
	NS ₆	鞍钢工业粉尘排放所占比重/%	NR ₆	当年造林面积/万hm ²
	NS ₇	人均年供水量/(m ³ /人)	NR ₇	人均地方财政收入/元
	NS ₈	人均公共绿地面积/(m ² /人)	NR ₈	三废综合利用产值/10 ⁴ 元

资料来源:鞍山统计年鉴(2003-2009)、鞍山年鉴、鞍钢年鉴(1991-2009)、鞍山辉煌五十年1949-1999、中国城市统计年鉴(1991-2009)、辽宁城市统计年鉴(2003-2004)、辽宁统计调查年鉴(2001-2002,2006-2009)、辽宁统计年鉴(1991-2009)。

铁生产增长弹性系数的下降,直接影响了经济系统的敏感性程度,致使其总体处于下降趋势。3个系统中,社会系统的敏感性20年变化最大,主要是规模以上工业企业资产负债率、国有企业从业人员以及重工业从业人员比重不断下降,城市失业率下降,使社会就业结构日趋合理,社会就业系统的敏感性不断减小。生态环境系统敏感性减小的原因主要在于在经济发展过程中,不断重视对环境的治理和保护,减少污染排放、增加环境治理、积极改善环境质量;如“九五”期间,鞍钢集团相继实施了炼钢平炉改转炉、模铸改连铸等近20项重大技改项目,通过技术改造,鞍钢废气排放量削减634万标 m^3 ,烟尘削减756 t,粉尘削减1.43万 t。同时,由于区域生态环境敏感性整体较弱,生态环境较少存有退化趋势。

4.2 应对能力分析

应对能力反映了系统对内外条件变化所做出调整的过程和目标,是系统的一种自我发展能力,目的是降低系统的脆弱性,增强系统的可持续性。一般而言,系统的脆弱性越强,其应对能力就越差,反之亦然^[21]。

1990-2009年,鞍山各子系统应对能力总体呈现上升趋势(图3),且应对能力都高于0.82,属于较强的应对能力等级。其中,经济系统的应对能力指数与最优值的贴进度 $c_{m\text{经济}}$ 呈现波动下降趋势,由1990年的0.86增长为0.93,曲线变异系数为0.98;社会系统的应对能力与最优值贴进度 $c_{m\text{社会}}$,由0.85增长至0.94,曲线变异系数为0.93;生态环境系统的应对能力与最优值的贴进度 $c_{m\text{生态}}$,由0.84增长到0.93,曲线变异系数为0.89。

3个系统中,生态环境系统的应对能力最强,社

会系统应对能力次之,经济系统应对能力最低。在此,本文引入障碍度分析来判定各个子系统应对能力的主要障碍因素。其计算公式如下:

$$A_i = w_i d_i / \sum_{i=1}^n w_i d_i \times 100\% \quad (7)$$

式中:障碍度 A_i 是单项评价指标对各个系统应对能力的影响程度; w_i 为单项评价指标的权重值; d_i 为单项评价指标的标准化值; n 为各个系统的指标个数。为找出主要障碍因素,确定障碍度 $A_i > 5\%$ 为划分各年度障碍因素标准,并根据各年度障碍因素出现的频率来判定,并规定所有大于90%的出现频率为主要影响指标。

经济系统应对能力各主要影响指标中,按频率大小依次排列为人均GDP、人均社会商品零售额、固定置产投资密度、第三产业增加值占全市GDP比重。这些主要经济指标的快速增长,增强了区域经济总体实力,带动鞍山经济复杂化发展的应对能力,但是经济结构的转变才是提高应对能力根本。

社会就业系统各主要影响指标中,按频率大小依次排列为城镇居民人均可支配收入、第三产业从业人员比重、个体经济从业人员比重、职工平均工资、教育投入占地方财政支出比重。鞍山国有、集体单位以及采掘业和制造业就业比重高的特点较为突出,就业结构单一。据统计,1990-2009年,鞍山第二产业比重虽然由66.51%下降到31.42%,但20a的平均比重也达到45.94%。其中,采掘业、制造业、地质勘探业从业人员比重20年平均为55.85%;国有与城镇集体经济从业人员比重20年平均值为43.93%。第三产业以及个体从业人员的增加,以及居民素质的提高都增强了就业系统的应对能力。

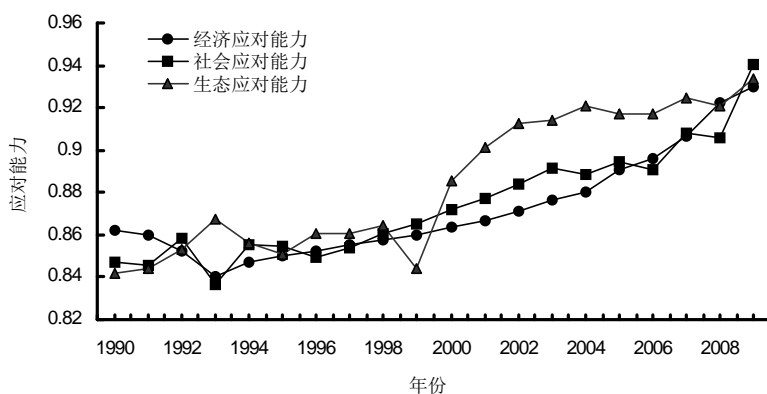


图3 鞍山市各系统应对能力指数比较分析

Fig.3 Comparative analysis of the economic, social and ecological response capacity of Anshan city

生态环境系统各主要影响指标中,按频率大小依次排列为工业废水排放达标率、鞍钢污染物综合排放合格率、建成区绿化覆盖率、有效灌溉面积比重。鞍山工业污染物排放量的减少、排放合格率的增加,以及对于环境投资力度的加大都有助于区域生态环境的恢复和改善。

3个系统应对能力的曲线变异系数均较高,根据曲线走势可以判断曲线均呈现明显上升趋势,属于比较理想的增长态势。

4.3 脆弱性分析

1990-2009年,鞍山脆弱性指数总体呈现上升趋势(图4)。其中,经济系统的脆弱性与最优值贴近度 $r_{m\text{经济}}$ 由1990年的0.61增长为0.63,曲线变异系数为0.79;社会系统的脆弱性与最优值贴近度 $r_{m\text{社会}}$ 由0.37增长至0.43,曲线变异系数为0.21;生态环境系统的脆弱性与最优值贴近度 $r_{m\text{生态}}$ 由0.43增长至0.52,曲线变异系数为0.83。

3个系统中,经济系统脆弱性最高、生态环境系统脆弱性次之、就业系统脆弱性最低。综合各子系统敏感性和应对能力水平,可分析如下:

(1) 经济系统脆弱性波动状况

经济系统脆弱性波动状况可分为2个阶段:①1990-2003年缓慢下降阶段,主要源于经济系统敏感性的总体下降,虽然经济系统的应对能力总体呈上升阶段,但是整体较微弱,导致经济系统脆弱程度总体下降。②2004-2009年为上升阶段。经济敏感性的轻微下降和经济应对能力的集聚上升影响了经济脆弱性的明显走高,使得鞍山经济系统的脆弱性有所提高。

(2) 社会就业系统脆弱性

社会就业系统脆弱性20年波动最小,基本处于0.35~0.45。说明鞍山社会就业系统在20年受到外界不利扰动影响较小,在其应对能力不断提高的带动下,促使就业系统的脆弱性不断提高。

(3) 生态环境系统的脆弱性

生态环境系统的脆弱性在1999年之前低于0.45,在1999年之后逐渐走高。主要是因为生态环境系统应对能力在1999年前后出现了较为突出的波动,而生态环境系统敏感性总体上稳中有降,二者共同影响了生态环境系统敏感程度的提高。

4.4 人地系统脆弱性分析

借鉴已有研究^[14],分别对鞍山给经济系统、社会系统和生态环境系统赋予0.4、0.3和0.3的权重

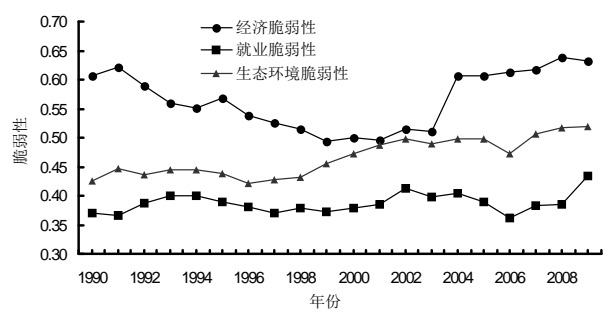


图4 鞍山各系统脆弱性指数变化

Fig.4 Changing trends of the vulnerability of Anshan city

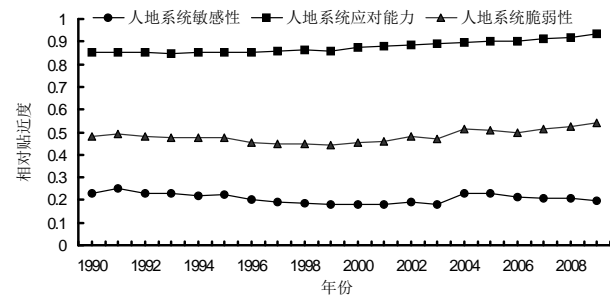


图5 鞍山市人地系统脆弱性指数变化趋势

Fig.5 The vulnerability of human-land system of Anshan city

值,运用状态空间法计算得出大庆市人地系统脆弱性,计算公式为:

$$V_i = |M| = \sqrt{W_1OE_i^2 + W_2OS_i^2 + W_3ON_i^2} \quad (8)$$

式中: W_1 、 W_2 、 W_3 分别是经济、社会、生态子系统脆弱性的权重, OE_i 、 OS_i 、 ON_i 分别是3个子系统的脆弱性指数值,并可按同样的方法得到人地系统敏感性和人地系统应对能力的指数值。

鞍山属于低敏感型、高应对能力型资源型城市(图5)。鞍山市人地系统敏感性处于波动下降趋势,由0.27下降到0.23。鞍山市人地系统应对能力处于缓慢上升趋势,且其相对贴近度一直保持在0.8以上的高应对能力状态;人地系统脆弱性处于波动上升趋势,但经过敏感性与脆弱性的共同作用,其波动区间在0.4~0.6范围内,属于中等脆弱性水平。未来的目标是,继续降低经济系统的敏感性水平,并提高经济系统的应对能力,以适应资源枯竭、经济结构转型的现实条件。

5 结论与分析

根据矿业城市经济发展固有的资源依赖特性,

本文以冶金城市——鞍山市做为研究对象,评估了其人地系统的脆弱性程度。文章利用集对分析方法评估了鞍山市经济系统、社会就业系统、生态环境系统的敏感性和应对扰动的能力,以及各个系统的脆弱性程度,进而对鞍山市人地系统的相互作用脆弱性程度展开了研究。

1990-2009年,鞍山市人地系统各子系统敏感性总体呈现下降趋势,且经济敏感性>生态环境敏感性>社会敏感性;鞍山市各子系统应对能力呈现上升趋势,且生态环境系统的应对能力>社会系统应对能力>经济系统应对能力;鞍山市脆弱性指数总体呈现上升趋势,且经济脆弱性>生态脆弱性>社会脆弱性。

鞍山市属于人地系统低敏感型、高应对能力型资源型城市。即,鞍山市应对复杂人地系统关系的敏感性比较弱,而应对复杂系统的能力又比较强,属于相对可持续的发展状态。面对鞍山市的资源枯竭现状,本文提出如下几点建议:

(1) 升级产业结构,做强现代工业强市。发展战略性新兴产业,推进精特钢及钢铁深加工、装备制造及工业自动化、化工新材料、菱镁特色新材料、广电光伏等五大主导产业集群建设;积极推进服务业态现代化水平的提高,重点发展连锁经营、辐射面广的商业项目,完善就业环境和创业环境,引进国际国内知名连锁企业;注重资源合理配置与自主品牌优势建立,扩大资源配置的空间。

(2) 依托千山、温泉、岫玉、钢都旅游资源等优势,建设优秀旅游名市。优化旅游产品结构,加快重点景区建设;促进旅游要素均衡发展,推进旅游文化娱乐项目;强化旅游对外宣传促销,拓展客源市场。

(3) 进行生态修复与整治。进行矿山生态恢复工程,改善矿山土地和生态环境;控制工业废弃物排放,加大扬尘整治力度;开展清洁生产和循环经济,从源头控制污染,促进形成资源节约、环境友好的生产生活方式。

参考文献

[1] 孙平军, 修春亮. 东北地区中老年矿业城市经济系统脆弱性. 地理科学进展, 2010, 29(8): 935-942.
[2] Timmerman P. Vulnerability, resilience and the collapse of society: A review of models and possible climatic applications. Toronto: Institute for Environmental Studies,

University of Toronto, 1981.

- [3] 李鹤, 张平宇. 东北地区矿业城市经济系统脆弱性分析. 煤炭学报, 2008, 33(1): 116-120.
[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] 苏美蓉, 杨志峰, 王红瑞, 等. 一种城市生态系统健康评价方法及其应用. 环境科学学报, 2006, 26(12): 2072-2080.
[6] 薛纪渝. 脆弱环境敏感性评价方法探讨. 北京: 科学技术出版社, 1995.
[7] Smit B, Wandel J. Adaptation, adaptive capacity and vulnerability. Global Environmental Change, 2006, 16(3): 282-292.
[8] 熊文, 吴玉鸣. 中国经济增长与环境脆弱性的因果及冲击响应分析. 资源科学, 2006, 28(5): 17-23.
[9] 刘燕华, 李秀彬. 脆弱生态环境与可持续发展. 北京: 商务印书馆, 2002.
[10] McLaughlin P, Dietz T. Structure, agency and environment: Toward an integrated perspective on vulnerability. Global Environmental Change-Human and Policy Dimensions, 2008, 18(1): 99-111.
[11] Fraser E D G, Mabee W, Slaymaker O. Mutual vulnerability, mutual dependence -The reflexive relation between human society and the environment. Global Environmental Change-Human and Policy Dimensions, 2003, 13(2): 137-144.
[12] 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): 751-758.
[13] Cutter S L. The vulnerability of science and the science of vulnerability. Annals of the Association of American Geographers, 2003, 93(1): 1-12.
[14] 苏飞. 基于集对分析的大庆市经济系统脆弱性评价. 地理学报, 2010, 65(4): 454-464.
[15] 苏飞, 张平宇. 石油城市经济系统脆弱性评价. 自然资源学报, 2009, 24(7): 1267-1274.
[16] Berry P M, Rounsevell M D A, Harrison P, et al. Assessing the vulnerability of agricultural land use and species to climate change and the role of policy in facilitating adaptation. Environmental Science & Policy, 2006, 9(2): 189-204.
[17] Li M S, Zhang H M, Li Z, et al. Economy-wide material input/output and dematerialization analysis of Jilin Province (China). Environ Monit Assess, 2010(165): 263-274..
[18] 赵克勤. 集对分析及其初步应用. 浙江科学技术出版社, 2000.
[19] 赵克勤. 联系数学的基本原理与应用. 安阳工学院学报, 2009(2): 107-110.

[20] 张斌. 多目标系统决策的模糊集对分析方法. 系统工程理论与实践, 1997(12): 108-114.

[21] 仇方道, 佟连军, 姜萌. 东北地区矿业城市产业生态系统适应性评价. 地理研究, 2011, 30(2): 243-255.

Research on Vulnerability Assessment of Human-land System of Anshan City Based on Set Pair Analysis

HAN Ruiling^{1,2}, TONG Lianjun¹, TONG Weiming³, YU Jianhui⁴

- (1. Northeast Institute of Geography and Agroecology, CAS, Changchun 130012, China;
2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;
3. College of Urban and Environmental Sciences, Northeast Norman University, Changchun 130024, China;
4. China Development Bank Hebei Branch, Shijiazhuang 050051, China)

Abstract: Vulnerability assessment framework in sustainability science has properties of multi-scale, multi-element, multi-flow and multi-cycle, so vulnerability assessment is a new research paradigm in the realms of global environmental change and sustainable development, and provides an effective tool for the study of interaction mechanisms and processes of coupled human-land system. Based on the dependence of economic development on resources, and the instability in employment, and the ecology being relatively disrupted, the vulnerability assessment indexes of Anshan city are established. By using the set pair analysis and the entropy method, the essay analyzed the sensitivity, response capacity and vulnerability level of the economic system, as well as the employment system and the ecosystem. Then the vulnerability of human-land system of Anshan city are tested and the evolution of vulnerability characteristics during 1990 to 2009 has been revealed.

The relationship of human-land system of Anshan city belongs to the lower sensitivity and higher response capacity type. In comparison with other resource-based cities in Northeast China, the human-land stability of Anshan city is stronger, and the vulnerability is relatively weak, which means that Anshan city has lower sensitivity and better response capacity to the complicated human-land system. The sensitivity of Anshan city has a declining trend, and the economic sensitivity is bigger than the environmental sensitivity and the social sensitivity. The response capacity of Anshan city shows a rising trend, and the environmental system is more evident than the social system and the economic system. There is a rising trend for vulnerability of Anshan, and economic system is most vulnerable. The paper reflects that Anshan city has better potentials to develop a sustainable economy, but attention should be paid to lowering the sensitivity of the economic system and to increasing the response capacity.

Key words: set pair analysis; human-land system; sensitivity; response capacity; vulnerability; Anshan city

本文引用格式:

韩瑞玲, 佟连军, 佟伟铭, 等. 基于集对分析的鞍山市人地系统脆弱性评估. 地理科学进展, 2012, 31(3): 344-352.