

# 中国煤矿城市经济系统脆弱性评价

苏 飞<sup>1,2</sup>, 张平宇<sup>1,\*</sup>, 李 鹤<sup>1,2</sup>

(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)

**摘要:**在对经济系统脆弱性概念进行界定的基础上,从煤矿城市经济系统对区域可采煤炭资源储量的暴露—敏感性和应对能力两个方面构建了脆弱性评估模型,并对全国 25 个地级以上煤矿城市进行了评估;在综合考虑不同煤矿城市经济系统脆弱性特征的基础上,根据脆弱性得分运用聚类分析法划分为 3 种类型。结果表明:(1)我国煤矿城市经济系统脆弱性总体上随着城市发展阶段的不断演进而增大;(2)不同地域的煤矿城市经济系统脆弱性平均得分呈现出东北>中部>西部>东部的趋势,脆弱性高的煤矿城市主要集中在东北地区;(3)不同规模的煤矿城市经济系统脆弱性平均得分呈现出大城市>中等城市>特大城市>小城市的变化趋势。

**关键词:**煤矿城市;脆弱性;经济系统;主成分分析

**文章编号:** 1000-0585(2008)04-0907-10

## 1 引言

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<sup>[1~3]</sup>,也是许多国际性科学计划的重要研究内容<sup>[4~6]</sup>。由于研究对象和学科视角的不同,不同领域的学者对脆弱性概念的界定还不一致,如自然灾害、气候变化等自然科学工作者<sup>[7]</sup>认为脆弱性是系统由于受到灾害等不利影响而遭受损害的程度;食物安全、可持续生计等社会科学工作者<sup>[8]</sup>认为脆弱性是系统的内在属性,是系统容易受到灾害等不利影响或损害的一种状态。近年来,随着脆弱性研究的不断深入和频繁的国际学术交流,学术界对脆弱性概念的认识日趋统一。脆弱性研究也由最初单纯的自然系统脆弱性向人文系统脆弱性<sup>[9]</sup>、人类—环境耦合系统脆弱性<sup>[2,10]</sup>研究的方向转变,研究框架也在不断完善<sup>[2,11]</sup>,并逐渐发展成为一门新兴学科<sup>[12]</sup>。基于全球环境变化背景下的脆弱性研究框架所具有的多尺度、多要素、多流向、多重循环的特性<sup>[2]</sup>,为地理学的研究核心——人地关系地域系统的耦合研究提供了一个新的研究范式,具有重要的理论和方法论价值。目前,城市系统脆弱性已经成为国际全球变化人文因素计划(IHDP)的一项重要研究内容<sup>[4]</sup>。国内也在积极开展脆弱性相关研究<sup>[13~16]</sup>,并取得了重要进展。但是,在社会、经济系统脆弱性以及人类—环境耦合系统脆弱性研究方面明显不

收稿日期: 2007-10-14; 修订日期: 2008-02-23

基金项目: 国家自然科学基金重点项目“东北地区矿业城市人地系统脆弱性与可持续性研究”(40635030); 中国科学院知识创新工程重要方向项目课题“城镇密集区协调发展与支撑体系构建”(KZCX2-YW-321-04); 中国科学院东北地理与农业生态研究所前沿领域项目“辽中南城市群集聚扩散机制与空间优化对策研究”(KZCX3-SW-NA3-04)资助。

作者简介: 苏飞(1982-),男,安徽颍上人,博士研究生。主要从事城市与区域发展研究。

\* 通讯作者: 张平宇,研究员,博士,博士生导师。E-mail: zhangpy@neigae.ac.cn

足。因此,选取典型地区进行脆弱性综合研究具有重要的理论与现实意义。

煤炭是我国最重要的能源<sup>[17]</sup>。煤矿城市是指依托当地煤炭资源的开发而形成或发展起来的,并且煤炭产业在城市工业结构中占有重要地位的城市<sup>[18]</sup>。由于煤炭资源是不可再生资源,加之其赋存条件与布局具有很大的差异性,随着煤炭资源的不断开采、开采成本的上升以及城市发展的周期性带来的影响,煤矿城市中存在的经济社会与生态环境问题(如支柱产业单一、失业率高、环境污染与生态破坏等)逐渐显现出来,并有不断恶化的趋势,具有明显的经济、社会和生态环境脆弱性特征,是典型的脆弱系统。煤矿城市严重的社会、经济和生态环境问题已经影响到我国区域经济的健康发展,业已引起社会各界的广泛关注。相关学科已经开展了大量研究,这些研究主要集中在煤矿城市概念界定标准、产业结构调整、矿城布局及规划建设、生态环境治理、社会问题(就业、教育和社保等)以及城市可持续发展等方面<sup>[19~24]</sup>,研究核心是煤矿城市经济转型问题,却很少从自然—经济—社会耦合系统的角度进行研究。本文拟从脆弱性视角对煤矿城市经济系统进行研究,探讨其脆弱性特征及演变规律,为煤矿城市及其他类型矿业城市制定城市可持续发展相关政策提供科学依据。

## 2 研究对象与研究方法

### 2.1 研究对象

对煤矿城市的界定不应该仅仅以城市的某种职能来进行分类,从发生学的角度来理解

表 1 样本城市特征分类

Tab. 1 The characteristic classification of typical coal-mining cities

城市名称	发展阶段	城市区域	城市规模	所属省区	城市名称	发展阶段	城市区域	城市规模	所属省区
唐山市	老年	东部	特大城市	河北	六盘水市	中年	西部	中等城市	贵州
枣庄市	中年	东部	中等城市	山东	铜川市	中年	西部	中等城市	陕西
徐州市	中年	东部	特大城市	江苏	石嘴山市	中年	西部	中等城市	宁夏
大同市	老年	中部	大城市	山西	乌海市	中年	西部	中等城市	内蒙古
阳泉市	中年	中部	中等城市	山西	赤峰市	中年	西部	中等城市	内蒙古
晋城市	中年	中部	小城市	山西	抚顺市	老年	东北	特大城市	辽宁
朔州市	幼年	中部	小城市	山西	阜新市	老年	东北	大城市	辽宁
平顶山市	中年	中部	大城市	河南	辽源市	老年	东北	中等城市	吉林
鹤壁市	老年	中部	中等城市	河南	鸡西市	老年	东北	大城市	黑龙江
焦作市	老年	中部	中等城市	河南	鹤岗市	老年	东北	大城市	黑龙江
淮南市	中年	中部	大城市	安徽	双鸭山市	中年	东北	中等城市	黑龙江
淮北市	中年	中部	大城市	安徽	七台河市	幼年	东北	中等城市	黑龙江
萍乡市	中年	中部	中等城市	江西					

总计

东部: 3 个 中部: 10 个  
西部: 5 个 东北: 7 个

南部地区: 3 个  
北部地区: 22 个

中年: 14 个  
老年: 9 个  
幼年: 2 个

注: 秦岭—淮河线作为南北方划分依据。区域划分主要是东部、中部、西部和东北,东部地区包括北京、天津、河北、山东、江苏、上海、浙江、福建、广东和海南 10 省市;中部地区包括山西、河南、安徽、湖北、湖南、江西 6 省;西部地区包括重庆、四川、贵州、云南、西藏、陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆、内蒙古和广西 12 个省区。东北地区包括辽宁、吉林和黑龙江 3 个省区。城市规模根据《2005 年中国城市统计年鉴》市区非农业人口计算得出。城市发展阶段资料来源于中国矿业网。

更为准确。虽然很多城市目前的产业结构、人口结构等方面已经不具备煤矿城市的一些表面特征，但是这类城市仍然是煤矿城市，只是在城市职能结构上发生了变化。我们对煤矿城市的概念界定和研究对象的选择遵循以下几个标准<sup>[25]</sup>：（1）大规模的煤炭资源开发在城市设置之前就已经在城市所在地开始进行，城市一般建立在大型矿区的基础上。（2）城市兴起依托的是煤炭资源开发企业，在城市设置时，除了资源开发该城市基本上没有其他规模经济活动。煤矿城市一般都存在一个或几个大型的资源开发企业；煤炭产品是城市设置时主要对外输出产品。（3）对于新中国成立时即认定的城市（历史城市），之后资源开发是城市再兴的主要原因。我国煤矿城市数量较多，但是地级以上城市无论在城市规模还是经济总量上占据较大的优势，这些煤矿城市的发展具有典型性和代表性。基于上述标准，本文选取了 25 个地级以上煤矿城市作为研究对象，基本情况见表 1。

## 2.2 研究方法

城市系统是一个复杂、开放的巨系统，由社会、经济和生态环境 3 个子系统构成。经济子系统作为一个开放系统受到区域内外多种扰动或压力的影响和作用。本文认为城市经济系统脆弱性是指经济系统在各种扰动因素作用下的暴露—敏感性以及缺乏应对不利扰动的能力而使系统向不利于实现可持续发展方向演变的一种状态，是系统的本质属性。经济系统的结构特征是脆弱性产生的根本原因，扰动或压力及其与经济系统之间的交互作用起到放大或缩小脆弱性的作用，是经济系统脆弱性变化的驱动因素，并通过系统的暴露—敏感性和应对能力反映出来。

煤矿城市是依托煤炭资源开采而兴起或发展起来的资源型城市，煤炭采掘业及加工业对煤矿城市经济发展起到主导作用，一个地区煤炭资源可采储量的变化是影响煤矿城市经济发展各种扰动因素中的主要扰动因子。因此，本文对煤矿城市经济系统脆弱性评价从经济系统面对可采煤炭资源储量变化的暴露—敏感性，及其对可采煤炭资源逐渐枯竭的应对能力两个方面进行。煤矿城市经济系统对煤炭资源储量变化的暴露—敏感性越小，且面临煤炭资源逐渐枯竭时城市经济系统的应对能力越强，则其经济系统的脆弱性就越小，据此构建煤矿城市经济系统脆弱性评价模型：

$$V_i = \frac{ES_i}{R_i} \quad (1)$$

式中， $V_i$  代表煤矿城市  $i$  经济系统的脆弱程度； $ES_i$  代表煤矿城市  $i$  经济系统的暴露—敏感程度，由系统内外扰动和压力因子决定； $R_i$  代表煤矿城市  $i$  经济系统的应对能力，包括恢复力和适应能力，由系统内部条件决定。

## 3 煤矿城市经济系统脆弱性评价

### 3.1 经济系统的暴露—敏感性指数

煤矿城市经济发展对当地煤炭资源的可采储量具有高度依赖性<sup>[26]</sup>，可采煤炭资源储量对煤矿城市经济发展具有重要影响。随着城市发展阶段的不断演进，煤炭可采储量逐渐减少，煤矿城市受到可采煤炭资源逐渐枯竭的影响程度越大，即暴露程度越高。长期过度依赖煤炭资源开发而形成单一的产业结构及就业结构限制了煤矿城市建立广泛的区域经济联系，进而制约了城市经济发展。因此，煤矿城市经济系统的暴露—敏感程度主要取决于其产业结构、就业结构及当地煤炭资源的可采储量。据此，我们构建了煤矿城市经济系统的暴露—敏感性指数  $ES$ ：

$$ES_i = A_i \times \sqrt{P_i \times Q_i} \quad (2)$$

式中,  $ES_i$  表示煤矿城市  $i$  经济系统的暴露—敏感程度;  $A_i$  代表煤矿城市煤炭资源的枯竭情况, 即暴露程度, 根据煤矿城市发展阶段取不同的数值 (幼年=0.3; 中年=0.6; 老年=0.9);  $P_i$  代表煤矿城市  $i$  煤炭采掘业及相关加工业产值占该市 GDP 的比重;  $Q_i$  代表煤矿城市  $i$  煤炭采掘业及相关加工业从业人员占年末总就业人员的比重。

25 个煤矿城市经济系统的暴露—敏感性评价结果见表 4。数据主要来源于《2005 年中国城市统计年鉴》、2005 年 25 个煤矿城市国民经济和社会发展统计公报 (其中,  $P_i$  由城市  $i$  的工业增加值占 GDP 比值代替;  $Q_i$  由资源产业就业人员占年末就业人员总数的比值代替)。

### 3.2 经济系统的应对能力指数

煤炭资源是不可再生资源, 煤矿城市经济系统对区域可采煤炭资源逐渐枯竭的应对能力与城市的经济实力、产业结构综合发展水平、区位条件、基础设施状况、经济外向性等方面密切相关。本文从上述几个方面选择 18 项指标构建了煤矿城市经济系统应对能力指标体系 (表 2), 运用主成分分析法计算了 25 个煤矿城市经济系统的应对能力大小。在对

表 2 煤矿城市经济系统应对能力评价指标体系

Tab. 2 Indicators system for the response capacity of economic system of coal-mining cities

代码	指标名称及单位	注释
X1	人均 GDP (元/人)	表征城市经济实力和财政累积能力
X2	地均 GDP (万元/km <sup>2</sup> )	
X3	财政自给率 (%) <sup>①</sup>	
X4	第三产业产值占 GDP 的比重 (%)	反映城市产业结构状况
X5	产业综合发展指数 <sup>②</sup>	
X6	科教支出占地方财政支出的比重 (%)	反映经济推动力, 科教、环境改善状况
X7	环保投资占地方财政支出的比重 (%)	
X8	固定资产投资密度 (万元/km <sup>2</sup> )	
X9	客运总量 (万人)	反映区位条件、交通等基础设施状况
X10	货运总量 (万吨)	
X11	邮政业务总量 (万元)	
X12	电信业务总量 (万元)	
X13	国际互联网用户数 (户)	
X14	三废综合利用产值 (万元)	反映城市经济集约发展水平
X15	工业全员劳动生产率 (元/人·年)	
X16	城乡居民人均储蓄余额 (元)	反映城乡居民的经济应对能力水平
X17	城镇职工平均工资 (元)	
X18	实际利用外资占 GDP 的比重 (%) <sup>③</sup>	反映城市经济对外开放程度

注: ① 财政自给率=地方财政收入/地方财政支出 (%); ② 产业综合发展指数 =  $1/\sum |Y_{im} - Y_{in}|$ , 式中  $Y_{im}$  是煤矿城市  $i$  第  $m$  产业的产值比重,  $Y_{in}$  是城市  $i$  第  $n$  产业的产值比重;  $m$ 、 $n$  取值为 1, 2, 3; ③ 人民币对美元平均汇价采用 2005 年中国统计年鉴公布的数值。表中数据主要来源于《2005 年中国城市统计年鉴》。

原始数据进行标准化后，提取特征值大于 1 的 6 个主成分（表 3）作为分析煤矿城市经济系统应对能力新的评价指标。

表 3 主成分载荷

Tab. 3 The loadings of each principal component

	F1	F2	F3	F4	F5	F6
X1			0.671			
X2		0.652				
X3		0.837				
X4					-0.947	
X5		-0.836				
X6			-0.663			
X7						0.928
X8		0.740				
X9	0.547					
X10				0.877		
X11	0.915					
X12	0.789					
X13	0.891					
X14	0.851					
X15	0.522					
X16			0.849			
X17		0.786				
X18	0.730					
特征值	5.037	3.767	2.189	1.524	1.360	1.274
贡献率 (%)	27.985	20.927	12.161	8.466	7.554	7.078
累积贡献率 (%)	27.985	48.912	61.073	69.539	77.093	84.171

注：小于 0.5 的因子载荷表中未有列出

主成分载荷反映各主成分与原始变量的相关性。F1 中载荷较大的因子是 X9、X11、X12、X13、X14、X15、X18，分别反映城市区位条件、基础设施完善程度以及利用外资情况，可称为煤矿城市区位条件及利用外资能力；X2、X3、X5、X8、X17 在 F2 中的载荷较大，该主成分主要反映煤矿城市的财政累积能力和经济推动力，故可称为煤矿城市财政累积能力和经济推动能力；F3 中 X1、X6、X16 具有较高的载荷，主要反映城市经济实力 and 城乡居民的经济水平，该主成分可称为煤矿城市的经济应对能力；F4、F6 分别与 X10、X7 高度相关，则这两个主成分可分别称为城市交通等基础设施完善程度和城市环境改善能力。F5 与 X4 高度负相关，说明 X5 对煤矿城市经济系统应对能力的作用方向和其他主成分不同，可称为煤矿城市产业综合发展能力。

由于每个主成分的重要程度不同，故以调整后的特征值贡献率作为权重，计算每个煤矿城市的应对能力的综合得分。把每个城市的应对能力指数得分和暴露—敏感性指数得分带入公式（1）中，计算各个城市经济系统脆弱性得分。根据脆弱性得分，并结合煤矿城市经济系统脆弱性特征运用聚类分析法把 25 个煤矿城市划分为 3 种类型（表 4），该分类结果通过了显著性检验（表 5）。

表 4 25 个煤矿城市经济系统的暴露—敏感性指数、应对能力指数与脆弱性指数

Tab. 4 The assessments results of economic sensitivity, response adaptability and vulnerability of coal-mining cities of China

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	R	ES	V	脆弱性等级
辽源	-0.485	-0.836	0.483	-0.933	-1.894	-0.355	0.923	35.645	38.577	高
鹤壁	-0.199	0.011	-0.024	-1.495	1.221	-0.742	1.345	47.677	35.421	高
阜新	-0.098	-0.824	0.233	-0.755	-1.615	-0.569	1.043	35.564	34.065	高
鹤岗	-0.551	-1.342	0.165	0.029	0.419	0.209	1.080	36.760	34.006	高
铜川	-0.798	-0.314	-0.256	-0.304	-1.423	0.031	0.979	30.980	31.644	高
鸡西	0.481	-2.098	-0.622	-0.250	1.038	0.276	1.155	35.180	30.459	高
大同	0.385	-0.411	0.712	2.122	-0.794	-0.122	1.775	46.641	26.262	中
六盘水	-0.683	0.561	-2.293	1.153	0.711	0.377	1.307	32.910	25.199	中
焦作	0.227	0.972	0.309	-0.988	1.168	-0.624	1.830	45.890	25.063	中
淮北	-0.312	0.829	-0.782	-0.529	0.172	-0.452	1.429	35.358	24.743	中
抚顺	0.109	0.347	1.799	0.032	-0.586	0.378	1.880	46.245	24.572	中
阳泉	-0.666	0.501	0.353	1.332	-0.712	0.293	1.564	35.233	22.527	中
萍乡	-0.448	0.688	-0.079	-1.069	0.104	-0.634	1.375	30.232	21.987	中
双鸭山	0.076	-2.185	-0.318	-0.532	1.308	-0.299	0.990	20.588	20.796	中
淮南	-0.381	1.407	-0.091	-0.437	-1.251	-0.339	1.540	31.340	20.338	中
晋城	-0.404	0.755	-1.502	1.812	0.194	0.005	1.551	31.461	20.284	中
平顶山	0.396	0.253	-0.787	-0.020	0.339	-0.343	1.595	31.620	19.924	中
乌海	-1.039	0.844	2.683	0.498	1.529	-0.659	1.900	37.577	19.767	中
赤峰	0.056	-1.433	-0.663	0.275	-0.422	-0.081	1.064	18.659	17.536	低
石嘴山	-0.429	0.075	0.412	-0.914	0.465	4.481	1.777	31.078	16.845	低
枣庄	0.406	1.361	-0.543	-0.733	1.047	-0.727	1.869	31.416	16.800	低
七台河	-0.515	-0.371	0.476	-0.274	-0.471	-0.424	1.215	17.947	14.759	低
唐山	3.726	-0.045	1.011	0.923	0.439	0.115	3.031	43.915	14.489	低
徐州	2.062	1.021	-0.984	-0.713	-1.358	0.343	2.147	24.698	11.504	低
朔州	-0.896	-0.096	0.323	1.798	0.383	-0.115	1.445	13.677	9.465	低

注：F1、F2、F3、F4、F5、F6 分别代表提取的 6 个主成分；ES、R、V 分别代表暴露—敏感性指数、应对能力指数和脆弱性指数。

表 5 方差分析结果

Tab. 5 The results of ANOVA

	Cluster		Error		F	Sig.
	Mean Square	df	Mean Square	df		
脆弱性指数	10.631	2	0.124	22	85.454	0.000

注：对于脆弱性指数这一变量，它的平均组间平方和为 10.631，平均组内平方和为 0.124，F 统计量为 85.454，F 统计量的相伴概率为 0.000，小于显著性水平 0.01，组间存在着显著性差异，因此，把 25 个城市划分为 3 个等级是理想的。

### 3.3 经济系统脆弱性评价结果及分析

首先,从不同发展阶段上看,煤矿城市经济系统脆弱性总体上呈现随着城市生命周期的不断演进而增大的趋势。幼年期的2个煤矿城市(七台河市和朔州市)经济系统脆弱性均较低;处于老年期的唐山市和中年期的徐州市的经济系统脆弱程度也较低。幼年期的煤矿城市处于煤炭资源开采的前中期阶段,由于煤炭开采造成的生态环境破坏与污染问题以及社会经济问题还不十分严重,对可采煤炭资源储量变化的暴露—敏感性较低( $ES=15.812$ ),加之近年来煤炭市场的好转,城市经济发展较快、应对能力较高,所以其经济系统呈现较低的脆弱性特征。如果按照矿业产值的比例来划分煤矿城市,唐山市和徐州市已经发展成为综合性工业城市,对煤炭资源依赖度大大降低。由于两者处于煤炭资源开采的中后期阶段,对煤炭资源储量变化的暴露—敏感性较高,但是两者的综合经济实力较强、应对能力在25个煤矿城市中居前两位(分别为3.031与2.147),所以两者经济系统的脆弱程度较低。

中年期的煤矿城市经济系统脆弱性在高、中、低三个脆弱等级均有分布,但主要集中在中度脆弱性等级,14个中年期的煤矿城市中有9个经济系统处于中度脆弱状态,占中年期煤矿城市总数的64.29%。对大部分中年期的煤矿城市来说,煤炭资源已经处于开采中后期阶段,可采煤炭资源储量逐渐减少,同时煤矿城市所具有的城市病(经济增长乏力、失业率较高、环境破坏与污染等)日益严重,对煤炭可采储量变化的暴露—敏感性逐渐增大( $ES=30.225$ ),应对能力却变化不大,所以大部分中年期的煤矿城市经济系统呈现中度脆弱状态。大部分老年期的煤矿城市经济系统脆弱性最高,6个脆弱性最高的煤矿城市中有5个处于老年期。这些老年期的煤矿城市大多煤炭资源已经或面临枯竭,对煤炭资源储量变化具有很高的暴露—敏感性( $ES=41.502$ ),但是城市中存在着就业形势日益严峻、城市贫困人口比例过高、经济发展相对滞后、环境污染与破坏严重等社会、经济和生态环境问题仍没有得到有效的解决,城市应对能力很低,导致这些城市经济系统的脆弱性很高。

其次,从煤矿城市所处的区域角度来看,①按照东部、中部、西部、东北地区划分,不同地区煤矿城市经济系统脆弱性平均得分呈现出东北( $V=27.478$ )>中部( $V=22.597$ )>西部( $V=21.315$ )>东部( $V=14.195$ )的趋势。经济系统脆弱性高的煤矿城市主要集中在东北地区,6个经济系统脆弱性最高的煤矿城市中就有4个在东北地区。东北地区作为我国老煤炭工业基地和能源、矿产资源输出基地,煤炭资源开发历史较长、开采强度较大,大部分煤矿城市煤炭资源已经处于开采中后期,煤炭资源接近枯竭,抚顺、辽源的煤矿资源几近枯竭。随着煤炭资源的不断开采,煤矿城市的暴露—敏感性指数平均得分呈现幼年期( $ES=15.812$ )<中年期( $ES=30.225$ )<老年期( $ES=41.502$ )的趋势,应对能力指数平均得分却没有很大的差异(幼年期( $R=1.331$ )<中年期( $R=1.511$ )<老年期( $R=1.563$ )),使得这些地区煤矿城市经济系统呈现高度脆弱状态。经济系统呈现中度脆弱的煤矿城市在中、西部以及东北地区均有分布,但以中、西部地区较为集中,12个经济系统脆弱程度中等的煤矿城市中有10个分布在中、西部地区。中、西部地区的很多煤矿城市是建国后由于煤炭资源的开采而兴起或发展起来的,开采历史较短,与东北地区的煤矿城市相比,存在的各种问题还不是十分严重,加之煤炭储量还比较丰富,所以经济系统处于中等脆弱状态。经济系统脆弱性较低的城市在东、中、西部以及东北地区均有分布,但主要集中在东部沿海地区,7个脆弱程度较低的煤矿城市中就有3个分布在东

部沿海地区。3个经济系统脆弱性较低的东部煤矿城市虽然已经处于煤炭资源开采的中后期阶段,对煤炭资源储量变化的敏感性较高,具有较强的应对能力。交通优势是矿业城市形成的主要区位因子。徐州地处苏鲁豫皖4省交界,京沪、陇海两大铁路在此交会、公路四通八达,为全国重要的交通枢纽,具有独特的区位优势。唐山、枣庄的区位优势也十分明显,加之东部地区煤矿城市综合经济实力雄厚,产业结构多元化,应对能力较强,所以经济系统脆弱性较低。②按照南北地域划分(以秦岭—淮河为界),南部地区的3个煤矿城市(淮南、萍乡和六盘水)经济系统均为中等脆弱,这与三者均处于煤炭资源开采中期阶段密切相关。而北部地区煤矿城市经济系统的脆弱程度在3个脆弱等级均有分布,并且经济发展脆弱程度高的煤矿城市均分布在北方地区,尤其是东北地区,这与我国煤炭资源的自然分布相对集中密切相关。昆仑山—秦岭—大别山以北的北方地区,已发现的煤炭资源占全国的90.8%。而北方的地区的煤炭资源又集中在太行山—贺兰山之间地区,占北方地区的65.0%左右,形成了包括山西、陕西、宁夏、河南和内蒙古中南部的富煤地区。秦岭—大别山以南的南方地区,已发现的煤炭资源只占全国的9.2%,而其中的90.4%集中在贵、川、云三省,形成以贵州西部、四川南部和云南东部为主的富煤地区<sup>[27]</sup>。

第三,从城市规模上看,不同规模煤矿城市经济系统脆弱性平均得分呈现出大城市( $V=25.086$ )>中等城市( $V=23.609$ )>特大城市( $V=16.855$ )>小城市( $V=14.875$ )的趋势。这可以从不同规模煤矿城市暴露—敏感性指数平均得分和应对能力指数平均得分看出。对于小城市(晋城和朔州)来说,两者均处于煤炭资源开采前中期阶段,还没有面临其他许多老年煤矿城市严重的社会、经济与生态环境问题,暴露—敏感性指数较小,加之具有较高的应对能力,因此两者经济系统的脆弱程度最低。特大城市唐山市、徐州市和抚顺市,虽然三者暴露—敏感性指数较高,但是三者经济规模很大,产业多元化程度较高,其应对能力很高,因此三者经济系统脆弱性水平较低。许多大中煤矿城市已经处于煤炭资源开采中后期阶段,许多煤矿城市的煤炭资源几近枯竭,但是还没有形成稳定的接续产业,经济发展乏力,煤炭开采产生大量的社会、经济与生态环境问题得不到及时、有效的解决,城市经济发展呈现出较高的脆弱性特征。

## 4 结论

经济系统脆弱性指标体系与评价研究是深刻认识煤矿城市经济发展制约因素的重要手段,对找出矿业城市经济发展中存在的主要制约因子和实现城市经济转型具有十分重要的意义。区域经济系统脆弱性是该系统对内外各种扰动的暴露—敏感性和对不利扰动影响的应对能力的函数,本文在构建煤矿城市经济系统脆弱性评价模型的基础上对全国25个典型煤矿城市经济系统脆弱性进行了评价,初步揭示了我国煤矿城市经济系统脆弱性分异特征,主要表现在随着城市发展阶段的演进煤矿城市经济系统脆弱性不断升高;从地域角度上看,经济系统脆弱性高的煤矿城市主要集中在东北地区;从城市规模上看,经济系统脆弱性平均得分呈现出大城市>中等城市>特大城市>小城市的趋势,可以为相关政府部门制定煤矿城市经济转型政策提供科学参考。

煤矿城市经济发展中面临着多重扰动的影响,本文仅针对可采煤炭资源逐渐枯竭这一主要扰动因素进行脆弱性评价,并得出了初步结果。同时,煤矿城市经济系统脆弱性还具有动态变化性,并与社会和生态环境子系统之间存在着紧密的关系。因此,探讨煤矿城市经济系统对多重扰动的脆弱性、经济子系统与其他子系统脆弱性的动态耦合特征及相互作

用机制等方面还有待进一步研究。

### 参考文献：

- [ 1 ] Kates R W, Clark W C, Corell R, *et al.* Environment and development; Sustainability science. *Science*, 2001, 292: 641~642.
- [ 2 ] Turner II B L, Kasperson R E, Matsone P A, *et al.* A framework for vulnerability analysis in sustainability science. *PNAS*, 2003, 100(14):8074~8079.
- [ 3 ] Janssen M A, Schoon M L, Ke W M, *et al.* Scholarly networks on resilience, vulnerability and adaptation within the human dimensions of global environmental change. *Global Environmental Change*, 2006, (16): 240~252.
- [ 4 ] Roberto Sánchez-Rodriguez, Karen C Seto, David Simon, *et al.* Science Plan; Urbanization and Global Environmental Change. IHDP Report No. 15, Bonn, Germany, 2005.
- [ 5 ] Buchman Nina, Canadell Jossep, Graumlich Lisa, *et al.* Global land project; Science plan and implementation strategy. IGBP Report No. 53/IHDP Report No. 19, 2005.
- [ 6 ] Young Oran R, Agrawal A, King L A, *et al.* Science plan; Institutional dimensions of global environmental change. IHDP Report No. 16, 2005.
- [ 7 ] Hans-Martin Füssel. Vulnerability: A generally applicable conceptual framework for climatic change research. *Global Environmental Change*, 2007, (17): 155~167.
- [ 8 ] Fraser E D G, Mabee W, Figue F. A framework for assessing the vulnerability of food system to future shocks. *Future*, 2005, (37): 465~479.
- [ 9 ] Cutter S L, Boruff B J, Shirley W L. Social vulnerability to environmental hazards. *Social Science Quarterly*, 2003, 84(2): 242~261.
- [ 10 ] Eakin H, Luers A L. Assessing the vulnerability of social-environmental systems. *Annual Review of Environment and Resources*, 2006, (31): 365~394.
- [ 11 ] Brooks N. Vulnerability, risk and adaptation: A conceptual framework. Tyndall Center for Climate Change Research, working paper 38, 2003.
- [ 12 ] Cutter S L. The vulnerability of science and the science of vulnerability. *Annals of the Association of American Geographers*, 2003, 93(1): 1~12.
- [ 13 ] 李克让, 曹明奎, 於利, 等. 中国自然生态系统对气候变化的脆弱性评估. *地理研究*, 2005, 24(5): 653~663.
- [ 14 ] 吕晓芳, 王仰麟, 等. 宁夏中部生态脆弱区土地利用变化及沙漠化响应——以宁夏盐池县为例. *地理研究*, 2007, 26(6): 1156~1165.
- [ 15 ] 刘燕华, 李秀彬. 脆弱性生态环境与可持续发展. 北京: 商务印书馆, 2001.
- [ 16 ] 史培军, 杜鹃, 冀萌新, 等. 中国城市主要自然灾害风险评价研究. *地球科学进展*, 2006, 21(2): 170~177.
- [ 17 ] 张雷, 蔡国田. 中国能源消费增长趋势分析. *中国软科学*, 2006, (11): 1~6.
- [ 18 ] 王青云. 资源型城市经济转型研究. 北京: 中国经济出版社, 2003.
- [ 19 ] 张以诚. 矿业城市概论. *中国矿业*, 2005, 14(7): 5~9.
- [ 20 ] 樊杰, 孙威, 傅小锋. 我国矿业城市持续发展的问题、成因与策略. *自然资源学报*, 2005, 20(1): 68~77.
- [ 21 ] 张平宇. 阜新市经济转型的战略问题及对策. *矿业研究与开发*, 2005, 25(1): 1~5.
- [ 22 ] 朱讯. 21世纪中国矿业城市形式与发展战略思考. *中国矿业*, 2002, 11(1): 1~9.
- [ 23 ] 沈镭, 程静. 矿业城市可持续发展的机理探讨. *资源科学*, 1999, 21(1): 44~50.
- [ 24 ] 徐友宁. 解决煤矿塌陷区社会矛盾的对策建议. *中国矿业*, 2006, 15(8): 14~16.
- [ 25 ] 李新春, 李贤功, 赵晶. 中国煤炭资源型城市化剖析. *中国矿业*, 2006, 15(11): 20~23.
- [ 26 ] 汤建影, 周德群. 基于 DEA 模型的矿业城市经济发展效率评价. *煤炭学报*, 2003, 28(4): 342~347.
- [ 27 ] 毛节华, 许惠龙. 中国煤炭资源分析现状和远景预测. *煤田地质与勘探*, 1999, 27(3): 1~4.

## Vulnerability assessment of coal-mining cities' economic systems in China

SU Fei<sup>1,2</sup>, ZHANG Ping-yu<sup>1</sup>, LI He<sup>1,2</sup>

(1. Northeast Institute of Geography and Agricultural Ecology, CAS, Changchun 130012, China;

2. Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract:** Coal-mining cities are confronted with a lot of serious social, economic and eco-environmental problems. Though extensive research on coal-mining cities are from many relevant disciplines, few are from the coupled human-environment system. There are obvious socio-economic and eco-environmental vulnerability characteristics on coal-mining cities. Vulnerability analysis framework in sustainability science has many properties of multi-scale, multi-element, multi-flow and multi-cycle, which presents a new research paradigm for coal-mining city. Based on a detailed discussion about the conception of economic system vulnerability (ESV), the essay establishes an economic vulnerability assessment model of coal-mining cities from the aspects of exposure-sensitive to and response capacity for the gradual depletion of the regional minable coal resources. The conditions of minable resources, industrial and employment structures, which determine their exposure-sensitivity to the depletion of regional minable coal resources, create an exposure-sensitivity index. From the angles of urban economic strength, industrial state, regional and infrastructure conditions, the degree to open up and economic conditions of urban and rural residents, it constructs a coping capacity index. According to the model, the economic system vulnerability of 25 typical coal-mining cities is evaluated and divided into three categories by principal components analysis. The results show that economic system vulnerability of coal-mining cities differs significantly in different development stages, city sizes and regions. The ESV of old coal-mining cities is generally high; the ESV of middle-aged is almost in 3 vulnerability grades, especially concentrated on medium grade; the ESV of young is low. The ESV of coal-mining cities presents obvious regional differences, including north to south and east to west. The high economic system vulnerability of coal-mining cities mainly concentrates on Northeast China. The average score of ESV shows a trend of Northeast > Central > West > East. The ESV of southern coal-mining cities is medium, while the northern region is distributed in three grades. The ESV of different size coal-mining cities shows a trend of big cities > medium-sized cities > mega-cities > small cities. The study provides some lessons for the vulnerability assessment of other subsystems and human-environment coupled system, and also gives a basis for relevant departments to adopt some policies for economic transformation.

**Key words:** coal-mining city; vulnerability; economic system; principal components analysis