

# 中国采煤沉陷区空间格局与治理模式

李佳洺<sup>1</sup>, 余建辉<sup>1</sup>, 张文忠<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 区域可持续发展与模拟重点实验室, 北京 100101;

2. 中国科学院大学, 北京 100049)

**摘要:** 大面积的采煤沉陷区引发严重的社会和环境问题, 得到政府和学术界的广泛关注。与传统以自然条件为基础的沉陷区复垦研究不同, 考虑采煤沉陷区自然生态因素和区域经济发展条件, 从综合治理的角度出发, 分析中国采煤沉陷区整体格局和面临的社会经济风险, 深入研究各地采煤沉陷区综合治理路径。结果表明: 中国采煤沉陷区面积预计超过 60000 km<sup>2</sup>, 其中与城乡建设用地和耕地叠压的面积分别达到 4500 km<sup>2</sup> 和 26000 km<sup>2</sup>, 涉及人口达 2000 万左右, 其中山西和山东两省采煤沉陷区的影响最为严重; 从区域特征来看, 中国采煤沉陷区有开发利用、环境修复、民生保障、异地搬迁四大主要治理导向, 进一步结合社会经济和空间特征, 可以将沉陷区分为环境适应发展型、基础设施完善型、特色产业带动型、环境修复型、民生保障型、异地搬迁型六个治理类型。

**关键词:** 采煤沉陷区; 空间格局; 综合治理; 中国

煤炭作为中国的主要能源产品, 其产量随着经济高速发展不断提高。根据《中国统计年鉴》煤炭年产量从 1990 年的 10.80 亿 t 到 2013 年已经接近 40 亿 t, 尽管此后产量略有下降, 但在中国能源生产中的占比常年维持在 70% 以上 (2016 年为 69.6%); 煤炭在能源消费中的比例也接近或超过 70%, 尽管自 2012 年来比例持续降低, 但占比也依然在 60% 以上 (2016 年为 62.0%)。由于中国煤炭以地下开采为主, 约占煤炭总产量的 96%。多年的地下开采导致出现大规模的采空区和大面积的地表沉陷, 而且随着煤炭的持续开采, 沉陷区面积将进一步扩大。

大面积的采煤沉陷导致土地破碎裸露、植被破坏、基础设施受损以及农田被毁, 使得居民无法正常生活, 失地农民生计无以维持<sup>[1-3]</sup>。采煤沉陷所造成的严重社会民生问题引起党和国家领导人的高度重视。2015 年 3 月, 李克强总理在两会期间参加黑龙江代表团审议时提出“三年内, 一定要坚决解决采煤沉陷区民众的生活难题”。2017 年 6 月和 12 月, 习近平总书记分别在山西省和江苏省贾汪区考察了资源型城市采煤沉陷区情况, 并指示“沉陷区要坚持走符合国情的转型发展之路, 打造绿水青山, 并把绿水青山变成金山银山。对采煤沉陷区治理的有益经验, 要注意总结推广。”但是目前中国还没有开展采煤沉陷区普查等工作, 对于全国采煤沉陷区的整体状况及影响范围等缺乏全面客观的认识, 因而难以形成系统性、有针对性的政策措施。

收稿日期: 2018-04-25; 修订日期: 2018-08-11

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41701128, 41671166); 中国科学院重点部署项目 (KFZD-SW-314)

作者简介: 李佳洺 (1984-), 男, 山西晋城人, 博士, 助理研究员, 研究方向为经济地理与区域发展。

E-mail: lijn@igsnrr.ac.cn

通讯作者: 张文忠 (1966-), 男, 内蒙古呼和浩特人, 博士, 研究员, 研究方向为区域发展与资源型城市转型。

E-mail: zhangwz@igsnrr.ac.cn

采煤沉陷区治理很早就引起学术界的关注。20世纪80年代初期,沉陷区治理的研究主要是服务于矿区的生产建设<sup>[4-5]</sup>。20世纪80年代中期开始,一些学者开始关注采煤沉陷区的土地复垦和综合治理问题,如刘天泉<sup>[6]</sup>总结了影响土地复垦的主要因素,严志才<sup>[7]</sup>对美国、波兰、德国等沉陷区复垦经验及中国复垦实践进行总结,提出沉陷区治理的政策建议。此后,大批学者对沉陷区土地复田复垦技术、管理模式及经济环境效益等进行研究<sup>[8-12]</sup>,目标主要以恢复农业生产为主。2000年以后,沉陷区治理更加注重生态环境的修复,如王振龙等<sup>[2]</sup>针对淮北平原大面积积水的沉陷区,提出以蓄水为主和湿地、景观等多种功能开发的模式。刘飞等<sup>[13]</sup>对国内外沉陷区生态修复进行梳理,认为中国沉陷区治理应遵循生态优先、兼顾经济的原则。总体来看,随着社会的发展,沉陷区治理的目标已经不仅限于农业生产活动,生态修复、景观构建等多样化的治理模式不断涌现。因此,对中国采煤沉陷区进行类型划分,以明确各类区域治理的导向和重点,是十分必要的。

但是目前以沉陷区物理属性及自然特征为主的分类体系,难以满足综合治理的需要。如卞正富<sup>[14]</sup>对中国矿区土地复垦条件的分区是以自然综合区划为基础,主要考虑了地貌、温湿条件、煤层赋存状况等。从土地复垦角度而言,以自然要素为主的分类体系是合适的,但是要有效推进沉陷区综合治理则需要综合考虑区域人口、用地、经济发展等社会经济要素的特点,一些研究开始关注沉陷区治理过程中不同主体的利益分配及优化<sup>[15]</sup>。同时,虽然近年来数值模拟和遥感、雷达等高科技手段被应用于沉陷区监测预警<sup>[16-18]</sup>,一定程度上具备宏观尺度监测的条件,但是目前的研究都是围绕单个案例区展开<sup>[19-21]</sup>,依然缺乏对中国采煤沉陷区整体格局及其对社会经济发展影响的全面分析。

本文将煤炭矿权范围与人口分布、土地利用类型等数据相结合,对中国采煤沉陷区整体格局及潜在社会经济风险进行分析,并从综合治理的角度对沉陷区进行类型划分,明确不同区域治理的导向和重点,为相关政策的制定提供科学依据。

## 1 研究方法与数据来源

研究数据主要包括两大类:(1)截至2013年底全国煤炭采矿权空间范围数据;(2)来源于中国科学院资源环境科学数据中心(<http://www.resdc.cn>)的2010年全国人口空间分布公里网格数据和土地利用现状遥感监测数据,以及全国的干燥度数据。其中,全国土地利用数据包括7大类26个小类土地利用类型,由于研究关注沉陷对耕地产生的影响,不需要区分耕地是旱地还是水田,因此对这两类用地进行了合并;但是城镇和农村居民在综合治理模式等方面有较大差异,因而依然保留建设用地的3个小类,即城镇用地、农村居民点用地以及其他建设用地(厂矿、大型工业区、油田、盐场、采石场等用地以及交通道路、机场及特殊用地)。

采矿权有明确的空间边界范围,人口和土地利用数据也都是1 km×1 km栅格数据,可以通过图形叠加分析可以明确采煤沉陷影响的人口、耕地、建设用地等。值得说明的是采矿区范围与沉陷区范围的关系。首先,煤炭企业在勘探后认为具备开采价值的情况下,才申请区域的采矿权,因此在获得采矿许可的区域内进行煤炭开采的可能性极高,只是开采时间可能会延后;其次,如前所述,中国煤炭开采96%采用井工方式,这种开采方式会在地下形成一定范围的采空区,尤其是长壁式开采等现代化方式几乎必然会造成地表沉陷,即使是传统的房柱式开采也很大程度上会形成沉陷,而沉陷区范围一般会

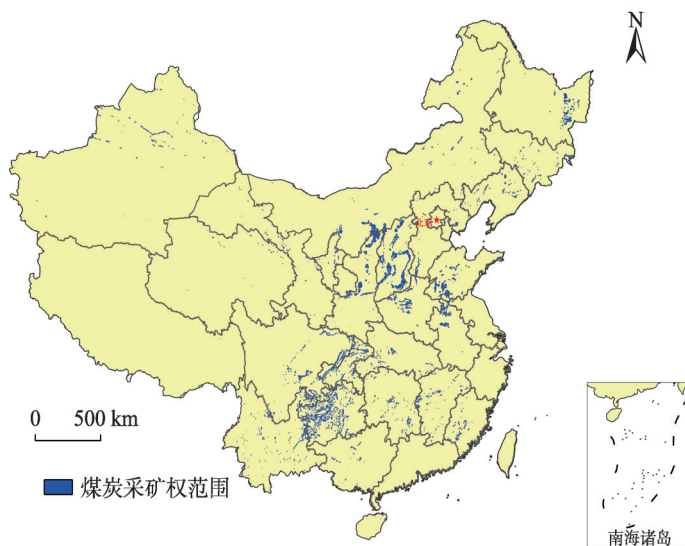
大于或等于采空区面积。因此采矿权范围很大程度上反映了现在及可预见的未来采煤沉陷区的空间范围。

## 2 中国采煤沉陷区格局与潜在风险

截止2013年底,中国已取得矿权的矿区面积超过60000 km<sup>2</sup>,涉及27个省(市、自治区),这些矿区主要集中在晋陕蒙、黄淮海、云贵川及黑吉辽等区域。其中,山西、陕西、贵州、内蒙古、山东5个省份取得采矿权的区域面积较大,均超过5000 km<sup>2</sup>,其中山西矿区面积最大,超过10000 km<sup>2</sup>。排名前五位的省份矿区面积总计接近40000 km<sup>2</sup>,约占全国取得采矿权矿区面积的60%(图1、图2)。

### 2.1 沉陷区叠压城乡建设用地范围及分布

通过对采矿权空间分布与城乡建设用地进行叠加分析,结果表明中国可能出现采煤沉陷区的城乡建设用地有4500 km<sup>2</sup>左右,采矿权范围与城乡建设用地相互叠压的区域中近50%(48.62%)是农村居民点建设



注:本图基于国家测绘地理信息服务局标准地图服务网站下载的审图号为GS(2016)1570标准地图制作,底图无修改,下同。

图1 中国煤炭采矿权空间分布及其范围

Fig. 1 The spatial distribution of mineral rights in China

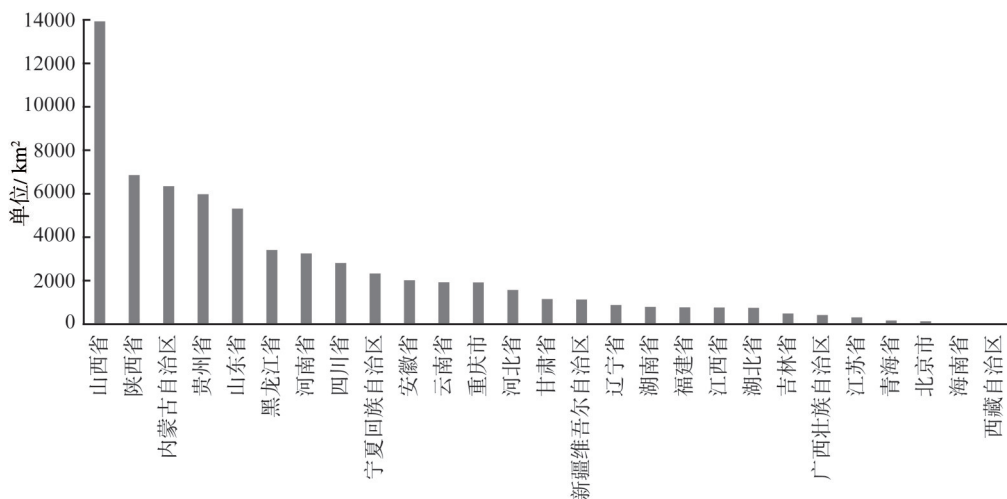


图2 中国各省(市、自治区)采矿权的区域面积

Fig. 2 The areas of mineral rights of each province in China

用地,其次大型工矿企业用地,城镇建设用地与矿区叠压区域相对较少,仅750 km<sup>2</sup>左右。

矿区与城乡建设用地叠压面积超过100 km<sup>2</sup>的省份有山东、内蒙古、山西、河南等10个省份,其中山东、内蒙古和山西的叠加面积均超过500 km<sup>2</sup>,山东省的叠加面积最大接近1000 km<sup>2</sup>。尽管贵州、重庆等地区也有大量煤矿矿区,但是这些取得采矿权的区域与城乡建设用地冲突相对较小。就城镇建设用地来看,可能的沉陷区对山东省的影响最大,其境内有接近300 km<sup>2</sup>的城镇建设用地与矿区叠压,其次是黑龙江,叠压面积接近100 km<sup>2</sup>,山西、河南、河北等城镇发展受到的影响也都较大,叠加面积均大于50 km<sup>2</sup>;就农村居民点建设用地来看,可能的沉陷区对山东的影响依然是最大的,取得采矿权的区域与农村建设用地相互叠压的面积超过600 km<sup>2</sup>,其次是山西、安徽、河南三省,叠加面积均在280 km<sup>2</sup>左右(图3)。

除贵州、重庆等采矿权与城乡建设用地交叉较少的省(市)外,内蒙古、陕西等叠压的城乡建设用地主要是大型工矿企业自身,如内蒙古85%以上的叠压区域为工矿企业的建设用地,因此对城乡发展建设影响也相对较小。总体而言,未来采煤沉陷区对城乡发展建设影响最大的区域是山东等黄淮海地区和山西、河南等中部地区。内蒙古、陕西、贵州、重庆等省尽管也有大片采煤沉陷区,但是这些沉陷区对未来城乡建设影响较小。

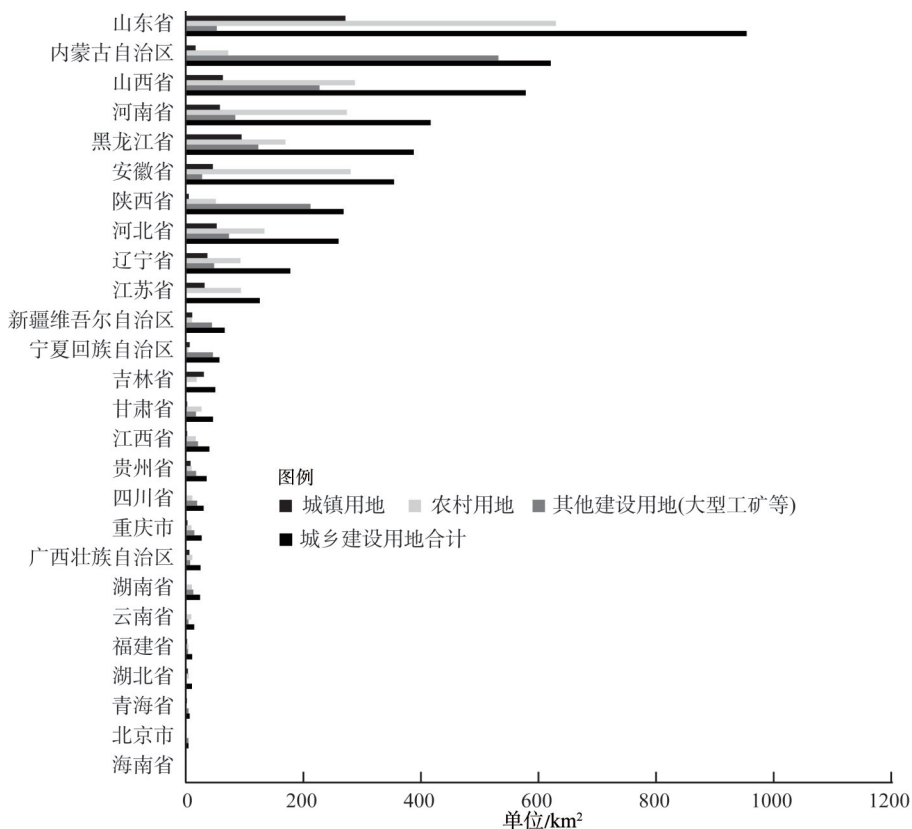


图3 中国各省(市、自治区)矿区与城乡建设用地相互叠压区域空间范围

Fig. 3 The areas of mining and construction land overlaying in China

## 2.2 沉陷区叠压耕地数量及分布

将取得采矿权的区域数据与全国耕地空间分布数据进行叠加分析的结果表明,可能的采煤沉陷对中国耕地的影响很大,超过40%的矿区与耕地重叠。因此,在未来煤炭开采和采煤沉陷区治理过程中要充分认识到开采活动对中国耕地产生的严重影响。

黄淮海地区、晋陕蒙及云贵川地区都有大片的耕地与取得采矿权的矿区相互叠压,因此这些区域沉陷区对耕地影响较大。山西、山东、黑龙江等8个省份矿区与耕地叠压面积超过1000 km<sup>2</sup>,其中山西省叠压耕地面积最大超过5000 km<sup>2</sup>,山东省叠压的耕地面积占全省耕地的17.64%,是各省中占比最高的,其次是安徽省,叠压耕地的占全省耕地比例接近9%。贵州、河南、陕西也是受沉陷区影响较大的省份,不仅叠压的耕地面积较大,均超过2000 km<sup>2</sup>,而且在全省耕地中的比例也较高(图4)。

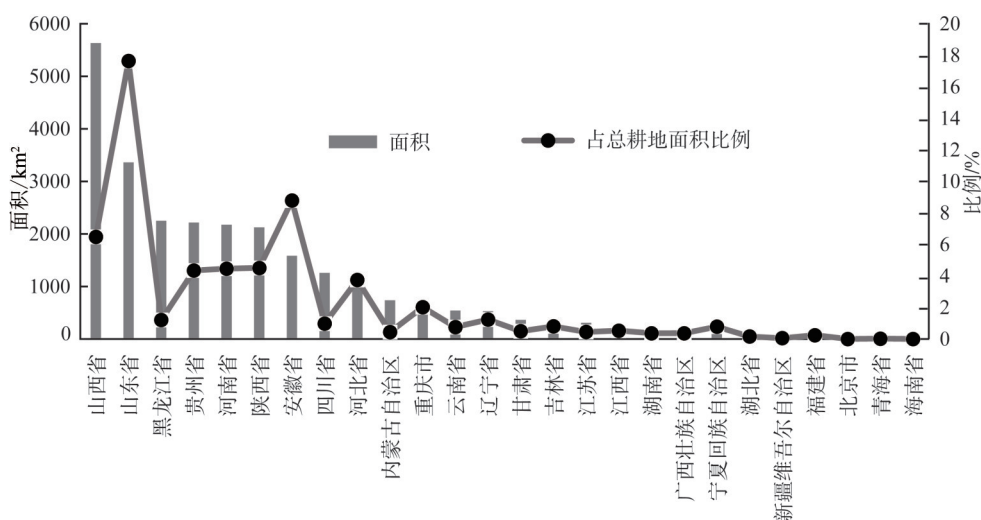


图4 中国各省(市、自治区)矿区与耕地相互叠压区域空间范围

Fig. 4 The areas of mining and cultivated land overlaying in China

除山东、安徽等,耕地受采煤沉陷区影响最为严重的省份大多并非中国产粮大省,如山西、贵州、陕西三个省份2016年粮食产量在全国占比较低,分别为2.14%、1.93%和1.99%。因此可能没有对全国粮食总体安全构成巨大威胁,但是对于地区粮食生产来说还是有较大影响,应该引起足够的重视。

## 2.3 采煤沉陷区影响的人口规模估算

采煤沉陷区涉及的人口规模主要采用取得采矿权矿区与2010年人口栅格数据叠加分析的方法进行估算,并根据人口增长情况对涉估算各地区2015年受影响的人口规模。具体方法如下:首先将2010年第六次人口普查为基础的中国人口栅格数据转变为全国人口密度矢量图,人口密度分为<100人/km<sup>2</sup>、100~500人/km<sup>2</sup>、500~1000人/km<sup>2</sup>、1000~10000人/km<sup>2</sup>以及≥10000人/km<sup>2</sup>五个等级,尽管人口密度分类并不是十分细致,但是从结果来看已经能够满足本文的精度需求,同时也便于分析计算;其次,与已取得采矿权的矿区进行空间叠加,确定各矿区的人口密度,以各矿区的人口密度和矿区面积为基础,对各矿区人口进行估算;最后,根据国家统计局发布的《中国统计年鉴2016》,中国2015年人口规模是2010年的1.03倍,各矿区人口在2010年基础上乘以1.03,对2015

年人口进行推算。结果如表1所示,就各省份来看,矿区影响人口规模最大的省份依然是山东省,受影响的人口规模在500万人左右,山西、河南、安徽、黑龙江、河北、贵州等省份受影响的人口规模也都在100万左右及以上。

此外,以矿区影响的城乡建设用地范围为基础,对采煤沉陷区可能影响的人口规模进行估算,从而对以人口密度为基础的人口规模进行交叉验证。中国煤矿矿区与城镇建设用地相互叠压的区域范围大致为750 km<sup>2</sup>,与农村建设用地叠压交叉的区域范围内大致为2200 km<sup>2</sup>,由于在大型工矿区生活的常驻人口相对较少,因此不考虑大型工矿区的人口。根据《城市用地分类与规划建设用地标准》人均建设用地85~105 m<sup>2</sup>/人的标准,认为城市建成区的人口密度大致为10000人/km<sup>2</sup>,农村地区人口密度按500人/km<sup>2</sup>计算。据以上条件估算结果表明,采煤沉陷区在中国影响的人口规模在1860万人。

综合两种估算方法,中国采煤沉陷区影响的人口规模在2000万左右。由于所收集的矿区都是目前所有权主体存在且明确的煤矿,没有考虑那些责任主体已经灭失的煤矿所

表1 中国采煤沉陷区涉及人口估算结果  
Table 1 Population in coal-mine subsidence in China

省份	2010年		2015年	
	最小人口规模/万人	最大人口规模/万人	最小人口规模/万人	最大人口规模/万人
山东省	426	508	436	521
山西省	233	329	239	337
河南省	171	209	176	214
安徽省	143	176	147	181
黑龙江省	135	169	139	173
河北省	126	157	129	161
贵州省	95	133	97	136
辽宁省	69	89	71	91
陕西省	47	82	49	84
四川省	63	82	65	84
内蒙古自治区	45	76	46	78
重庆市	44	58	46	60
江苏省	46	58	47	59
湖南省	42	56	43	57
广西壮族自治区	39	49	40	50
吉林省	37	47	38	48
云南省	34	45	34	46
江西省	25	32	26	33
湖北省	12	18	13	19
甘肃省	12	18	13	18
福建省	6	10	6	10
新疆维吾尔自治区	4	8	4	8
宁夏回族自治区	5	8	5	8
青海省	3	4	3	4
北京市	0	1	0	1
总人口规模	1862	2422	1912	2481

影响的人口规模,因此估算结果可能偏小。但是2009年左右山西等开始煤炭资源整合,此后的煤矿责任主体基本是明确的,而在此之前采煤形成的采煤沉陷区的人口,大部分都已经搬迁完毕,遗留的人口相对较少。而且与一些省份初步统计结果也较为接近,如山西省初步调查结果表明,采煤沉陷区受灾人口为230万人左右,我们估算沉陷区影响的最小人口规模为233万。

### 3 中国采煤沉陷区综合治理的导向与路径

采煤沉陷区综合治理并不是简单的土地复垦,而是要从经济产业发展、生态环境保护、社会民生保障等多个角度综合解决沉陷区面临的发展短板,最终实现区域的可持续发展。由于中国地域类型多样且地区发展阶段差异显著,使得各地区采煤沉陷区面临的突出矛盾也各不相同,因此从综合治理角度对沉陷区类型的划分是科学制定相关政策的重要支撑,也是因地制宜推进沉陷区治理的重要基础。

#### 3.1 采煤沉陷区综合治理分析框架

采煤沉陷区综合治理不仅是多因素,而且是多尺度问题。因为沉陷区的治理不仅要进行土地复垦等,需要考虑沉陷区自身的属性特征,而且可能涉及房屋改造、异地搬迁、居民再就业、植被恢复等,这就需要考虑周边地区的经济支撑能力和大尺度自然气候条件等区域尺度特征。因此,沉陷区综合治理要从宏观区域和微观区块两个尺度考虑,综合区域自然和经济条件、沉陷区属性特征以及沉陷区潜在风险三个方面进行研究。

采煤沉陷区主要面临生态环境和社会民生两个方面的突出问题,从综合治理的角度来看对应区域的自然气候条件和经济支撑能力,这两个区域尺度的治理条件很大程度上决定了整个区域采煤沉陷区治理的主要导向。以区域综合治理的导向为基础,结合沉陷区空间属性特征和潜在社会经济风险,从而明确沉陷区治理的类型、重点和途径(图5)。

#### 3.2 区域自然和经济条件

采煤沉陷区造成的生态和民生两大问题对应了自然气候和经济发展两个区域特征。沉陷区生态问题主要是煤炭地下开采破坏地下水系,从而导致地表植被和农作物无法生长,因此生态修复很大程度上是地表自然植被和耕地的恢复。这主要受到降雨等气候条件的影响,区域降水充足、气候湿润则沉陷区生态环境容易恢复,而气候干燥则生态修复较为困难。采煤沉陷导致的生态环境问题十分突出,因此区域尺度的自然气候特征主要考虑干湿条件,如图6a所示。

区域尺度经济支撑能力考虑两个方面的因素:一是区域经济增长的动力,二是区域煤炭资源支撑能力。沉陷区周边区域整体经济增速较快,表明区域发展动力充足,能够为沉陷区居民提供充足的就业岗位,解决生计和民生保障问题;区域煤炭资源储量丰富,煤炭企业的生产经营活动同样可以为沉陷区居民提供生活保障。但是如果沉陷区周边区域经济增长乏力,且煤炭资源趋于枯竭,无法为沉陷区居民提供就业和生活保障,则社会民生问题就会十分突出。具体指标确定方法如下:区域增长动力以各省“十二五”期间以不变价格计算的GDP年平均增长率表征,区域煤炭资源支撑能力以2015年各省煤炭储量占全国的比例表征,两个指标经过标准化处理后综合计算得到各省区的社会经济条件,如图6b所示。

区域自然气候条件和经济支撑能力交叉分析确定了区域沉陷区综合治理的基本导

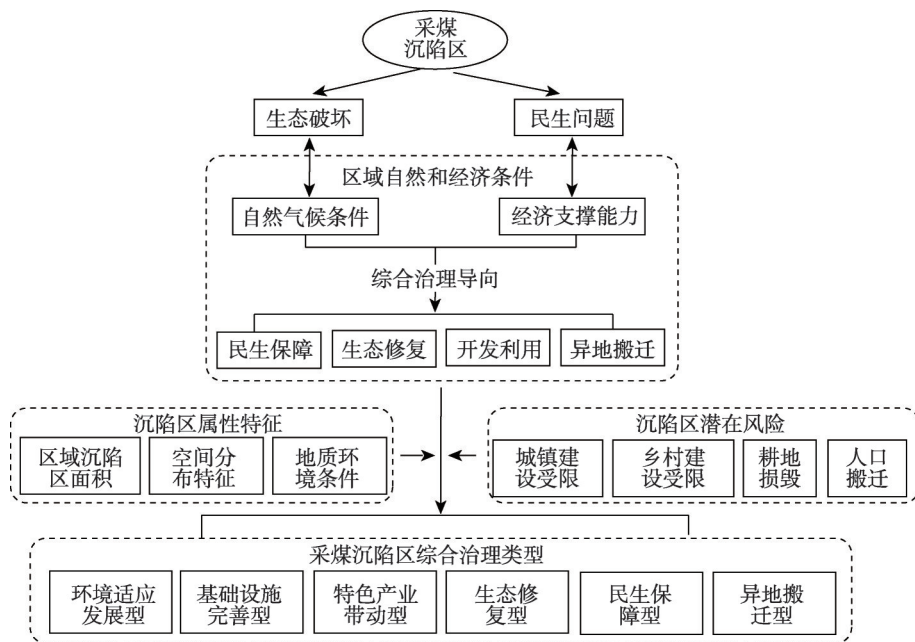


图5 采煤沉陷区综合治理分析框架

Fig. 5 Analysis framework of comprehensive management for coal-mine subsidence

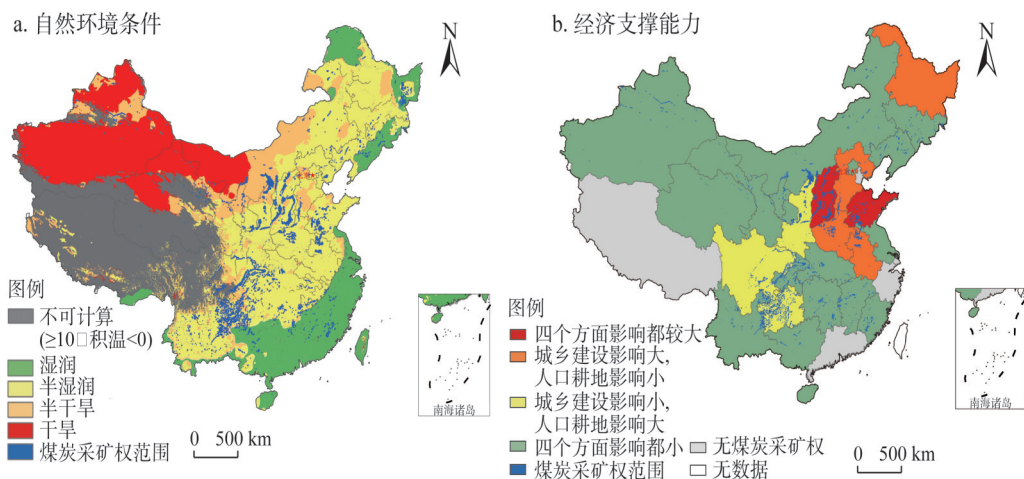


图6 中国采煤沉陷区区域尺度自然和经济条件

Fig. 6 Natural and economic conditions of coal-mine subsidence in China

向, 自然气候条件差、生态脆弱, 但经济支撑能力较强的内蒙古、新疆等西北地区省份无疑是以生态修复为治理的主要导向; 自然气候条件较好, 但增长动力不足且煤炭资源枯竭的黑龙江等东北地区省份, 则是以民生保障为沉陷区综合治理的主导方向; 自然气候条件较好且经济支撑能力较强的山东等中部、东部及西南地区省份应以沉陷区开发利用为主导方向 (表2)。尽管理论上存在自然气候条件和经济支撑能力都较差的区域, 但是在中国目前没有大的区域属于这种情况, 一些省份的局部地区存在这种情况, 可以结合扶贫等推进沉陷区居民进行异地搬迁。

表2 中国采煤沉陷区区域综合治理的导向分析

Table 2 The orientation of management of coal-mine subsidence in China

区域综合治理主导方向	自然和经济特征	主要区域
开发利用	自然气候条件和经济支撑能力都较好	北京、安徽、山东、江苏、山西、河南、福建、广西、四川、重庆、贵州、湖北、湖南、江西、云南
生态修复	自然气候条件差,经济支撑能力弱	内蒙古、陕西、宁夏、甘肃、青海、新疆、西藏
民生保障	自然气候条件好,经济支撑能力较强	黑龙江、吉林、辽宁、河北、海南
异地搬迁	自然气候条件和经济支撑能力都差	

3.3 沉陷区属性特征和潜在风险类型

尽管从区域自然气候条件和经济支撑能力的综合分析,已经能够明确沉陷区四个主要治理导向,但是为了使分类结果对治理工作具有更强的指导性和针对性,需要结合沉陷区内部的社会经济特征和自身的空间特征,对沉陷区类型进一步细化。

3.3.1 沉陷区属性特征

沉陷区属性特征主要考虑沉陷区范围、空间分布以及地质环境条件,对综合治理的方式和路径有较大影响。从可能出现采煤沉陷区的面积来看,主要分布在山西、陕西、内蒙古等五个省(自治区),而东南部的江苏、湖北、福建等地区面积都相对较小。

其次,对沉陷区治理影响较大的是沉陷区空间分布的集中程度,沉陷区集中连片分布适合通过大型工程项目推进沉陷区的整治和再利用,而分散分布则适合结合城市建设、扶贫开发等其他项目进行治理。从空间分布特征来看,晋陕蒙地区和黄淮海地区取得采矿权的矿区相对集中,矿区面积也相对较大,如山西省矿区平均面积在12 km<sup>2</sup>左右,而安徽矿区面积的平均值近23 km<sup>2</sup>;而云贵川地区矿区则较为分散,矿区面积也相对较小,如四川、贵州、重庆矿区面积的平均值都在3 km<sup>2</sup>左右。矿区分布的差异决定了不同区域采煤沉陷区的分布特征,从而影响综合治理的方式和措施等。

最后,从已有的研究来看,地质环境条件中对沉陷区治理影响较大的是地貌和潜水位<sup>[14]</sup>,前者很大程度上在空间分布的集中程度上得以体现,平原区沉陷区较为集中,而山区则较为分散;后者对沉陷区治理方式也有较大影响,如果潜水位较高,沉陷区很容易出现常年积水,难以恢复为耕地等原有用途,这种情况主要出现在在山东西部、安徽北部以及江苏北部的两淮地区。

3.3.2 沉陷区潜在风险类型

现实情况来看,采煤沉陷区内部涉及社会经济发展的主要是城乡建设、农业生产以及居民生活,通过将煤炭采矿权范围与全国土地利用和人口分布数据结合,对各省区沉陷区的社会经济特征进行分析。

应用K-means聚类分析的方法,以各省(市、自治区)为基本单元,对沉陷区涉及城镇建设用地、农村居民点建设用地、耕地以及人口规模等四个方面的分析结果进行聚类分析,结果表明中国采煤沉陷区总体分为四大类:四个方面影响都较大区域,主要包括山东和山西;城乡建设影响相对较大,而人口和耕地影响相对较小的区域,包括黑龙江、河北、河南、安徽四个省区;城乡建设影响相对较小,而人口和耕地影响相对较大的区域,包括陕西、四川和贵州三个省区;四个方面影响都较小的区域,包括北京、内蒙古、新疆等18个省(市、自治区)。

社会经济风险的特征差异,将影响沉陷区治理的区域和重点,如对于城乡建设影响

较大的区域治理主要区域是城镇和乡村居民点,加强沉陷区整治利用以及基础设施建设等就是治理的重点;而耕地和人口较多的区域,则土地复垦和居民生计等就成为治理的重点(图7)。

### 3.4 中国采煤沉陷区类型和综合治理路径

从采煤沉陷区综合治理导向的角度,综合区域尺度的自然气候条件和经济支撑能力以及沉陷区自身的空间和社会经济特征,可以将中国采煤沉陷区分为开发利用主导型、环境修复主导型、民生保障主导型及异地搬迁主导型四大类。其中开发利用主导性可继续划分为环境适应发展型、基础设施完善型和特色产业带动型三个亚类,各类治理区的特征和主要空间范围如表3所示。

需要说明的是,沉陷区对社会经济影响较小且没有特殊地质环境限制的省份,治理工作基本可以依据区域整体的治理导向进行推进,因此沉陷区类型不需要进一步细分;而沉陷区对社会经济影响较大时,则需要在宏观治理导向下,根据沉陷区自身的特征,对治理内容和路径进一步细化。

(1) 环境适应发展型沉陷治理区重点是要积极适应因采煤沉陷导致生产生活环境的重大改变。该类沉陷区最大的特点是地下水位较高,地表沉陷后会形成大片常年积水的区域,无法恢复原先的耕地等功能,这很大程度上改变了沉陷区居民的生产生活环境。同时,由于区域自然气候条件较好,周边区域经济支撑能力较强,能够为转型或变迁居民提供充足的就业岗位,不会引起严重的环境污染问题和民生问题。因此,该类沉陷区可以通过环境景观整治作为公园绿地等城市公共设施甚至旅游景区,或转变经营模式发展水产养殖等,对沉陷区土地进行开发利用,并通过就业培训等促进沉陷区居民适应新的发展环境。

(2) 基础设施完善型沉陷治理区重点是积极修复和完善城乡基础设施修复,保障区域社会经济发展。该类沉陷区处于半湿润地区,经济增长动力较强或煤炭资源没有枯

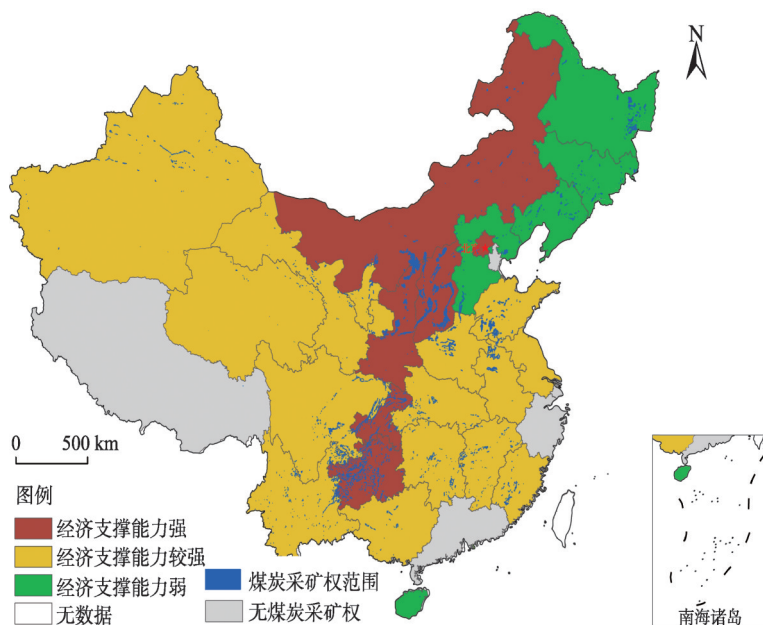


图7 中国采煤沉陷区社会经济风险

Fig. 7 Social and economic risks of coal-mine subsidence in China

表3 采煤沉陷治理区分类体系

Table 3 Classification systems of coal-mine subsidence in China

大类		开发利用主导型			环境修复主导型	民生保障主导型	异地搬迁主导型
亚类		环境适应 发展型	基础设施 完善型	特色产业 带动型	环境修复型	民生保障型	异地搬迁型
主要特征	区域特征 区块社会经济特征	气候湿润,经济支撑能力强 叠压城乡建设用地较多	气候湿润,经济支撑能力强 叠压城乡建设用地较多	气候湿润,经济支撑能力强 涉及人口和耕地较多	气候干旱,经济支撑能力强 社会经济影响小	气候湿润,经济支撑能力弱 社会经济影响小,或仅叠压城乡建设用地较多	生态环境和经济支撑能都较差,或居民生命财产受到威胁
	区块空间特征	地下水位较高,沉陷区空间集中	沉陷区空间集中	以山地为主,沉陷区较为分散	沉陷区空间集中	沉陷区空间集中	
治理方式		整治沉陷区景观环境,积极适应发展环境变化	完善基础设施,保障居民基本生活	结合旅游等特色产业或扶贫项目等促进沉陷区治理	以生态环境修复为主,结合发展环境友好型产业	推进棚户区改造,加强土地复垦	
主要区域		山东西部、安徽北部、江苏北部等两淮地区	山西、河南等中部地区	贵州、陕西、四川、云南、重庆等西南地区	内蒙古、新疆、甘肃、宁夏等西北地区	黑龙江、吉林、辽宁、河北等地区	

竭,在区域中仍具有较强的发展活力和人口集聚能力,而且沉陷区较为集中,经过治理后仍然可以作为人口和经济的主要承载区。因此,在尽可能耕地复垦的前提下,积极对沉陷区基础设施进行修复和完善,保障居民日常的生产生活,促进地区转型发展。

(3) 特色产业带动型沉陷区治理重点是结合旅游等特色产业和扶贫项目等,推进沉陷区综合治理。该类沉陷区最大的特点是沉陷区相对分散,这使得受沉陷区影响的人口尽管较多但是在空间上较为分散且地处山区,同时该类沉陷区与城乡建设用地叠压较少,对城乡建设影响较小,这些都使得沉陷区治理难以通过少数大型工程项目集中推进。事实上,该类区域尽管近年来发展动力较强,但依然面临贫困问题,因此,积极发展乡村旅游的特色产业,或结合国家扶贫项目,分散化的推进沉陷区治理更为合理。

(4) 环境修复型沉陷区治理重点是煤矿开采和地表沉陷造成的生态环境问题。该类沉陷区面临的主要问题是区域气候干燥,生态环境较为脆弱,煤炭开采后植被恢复较为困难,同时采煤沉陷容易出现煤层自燃等严重的环境问题。同时,沉陷区对城乡建设、耕地、人口等社会经济发展影响较小,因此生态环境修复是综合治理的主要内容。当然,由于该类沉陷区在空间上较为集中,治理后适合利用大片沉陷区发展光伏发电、风力发电等项目,促进沉陷区环境治理和转型发展。

(5) 民生保障型沉陷治理区重点是解决沉陷区居民民生保障和耕地复垦问题。该类沉陷区自然气候条件较好,植被恢复等相对容易,但是由于经济增长动力不足,加之煤炭资源濒临枯竭,难以为沉陷区居民提供充足就业岗位,使得民生保障成为该类区域面临的首要问题。进一步从与城乡建设用地叠压较多,但涉及人口和耕地较少的特征来看,该类沉陷区民生保障的问题主要集中在城镇地区。因此,城镇地区政府要加强民生保障,同时积极推进转型发展,为居民提供就业岗位;而农村地区可以通过积极复垦土地,解决农村地区居民的生计问题。

(6) 异地搬迁型沉陷治理区即是通过搬迁移民解决沉陷区面临的问题。全国目前没有大的区域因采煤沉陷需要进行大规模异地搬迁,但在局部区域存在生态环境和经济支撑都较弱或沉陷导致居民生命财产受到严重威胁的地区需要进行异地搬迁。两淮地区地下水位较高,产生的沉陷区积水导致居民房屋被淹,西南地区沉陷可能引发山体滑坡灾害或地面沉陷导致房屋无法居住等,都需要通过异地搬迁的方式进行综合治理。

## 4 结论与讨论

(1) 中国现在及可预计的未来采煤沉陷区面积将达到 60000 km<sup>2</sup>,涉及 27 个省(市、自治区),主要集中在山西、陕西、贵州、内蒙古、山东。沉陷区预计影响的城乡建设用地在 4500 km<sup>2</sup>左右,耕地面积超过 20000 km<sup>2</sup>,涉及人口在 2000 万左右,总体上对农村地区的影响大于城镇地区。

(2) 分地区来看,山西、山东、黑龙江、河南、安徽等省份沉陷区与城乡建设用地、耕地相互叠压范围较大,涉及人口也较多,因此沉陷区造成的影响也较为严重;而内蒙古、贵州、新疆等地尽管沉陷区面积较大,但是涉及的人口及城乡建设用地等相对较少,因此影响也较小。

(3) 综合区域自然气候条件、经济支撑能力以及沉陷区涉及的城乡建设、耕地、人口和沉陷区属性特征等多种因素,将中国沉陷区治理导向分为开发利用、环境修复、民生保障、异地搬迁四大类型,在此基础上进一步划分为环境适应发展型、基础设施完善型、特色产业带动型、环境修复型、民生保障型、异地搬迁型六个小类,并进一步明确各类综合治理区的特征、主要区域及治理路径等。

尽管本文已经较为清晰地刻画了中国采煤沉陷区的整体格局,明确了不同区域综合治理的导向和重点,为沉陷区综合治理的实践提供了一定支撑,但是未来治理仍有一些关键问题需要深入研究。① 受数据限制,本研究仅对取得矿权的区域进行了分析,未考虑未取得矿权开采行为的影响,但私开滥采行为确实存在,未来需要通过遥感等手段对沉陷区的范围即影响等进行更为准确的监测;② 采煤沉陷综合治理区的界定,尽管本文初步分析了沉陷可能出现的区域和范围,学界也对采煤沉陷区的界定标准有一定共识,即以 10 mm 作为沉陷区的界定标准,但这些都不能作为进行大规模治理的依据,综合治理区应该是对生态环境或居民生产生活造成严重影响的区域;③ 中央政府、地方政府以及企业的权责划分,美国是以 1997 年《露天采矿管理及复垦法》实施为界,之前有联邦政府负责治理,之后由企业负责,但中国采煤沉陷遗留问题较多,中央政府难以承担全部治理责任,因此治理主体权责划分及其依据值得学术界进一步探讨。

## 参考文献(References):

- [1] 刘景双,王金达,张学林,等. 煤矿塌陷地复垦还田生态重建研究:以抚顺煤矿为例. 地理科学, 2000, 20(2): 189-192. [LIU J S, WANG J D, ZHANG X L, et al. A study on the reclamation and ecological reconstruction in collapse sites in coal mine area: A case of Fushun coal mine. Scientia Geographica Sinica, 2000, 20(2): 189-192.]
- [2] 王振龙,章启兵,李瑞. 采煤沉陷区雨洪利用与生态修复技术研究. 自然资源学报, 2009, 24(7): 1155-1162. [WANG Z L, ZHANG Q B, LI R. Study on rain-flood resources comprehensive utilization and ecological restoration technology of coal mining depressed area. Journal of Natural Resources, 2009, 24(7): 1155-1162.]
- [3] 唐孝辉. 山西采煤沉陷区现状、危害及治理. 生态经济, 2016, 32(2): 6-9. [TANG X H. Status, harm and control of coal

- mining subsidence area in Shanxi. *Ecological Economy*, 2016, 32(2): 6-9.]
- [4] 刘祥荣, 钟政. 塌陷区贮灰场的初步探讨. *环境工程*, 1982, (2): 37-41, 55. [LIU X R, ZHONG Z. Preliminary study on ash storage in subsidence area. *Environmental Engineering*, 1982, (2): 37-41, 55.]
- [5] 张宝英, 敖一明. 在塌陷区内开凿斜风井的实践. *煤炭工程*, 1983, (5): 17-18. [ZHANG B Y, AO Y M. Practice of drilling inclined shaft in subsidence area. *Coal Engineering*, 1983, (5): 17-18.]
- [6] 刘天泉. 煤矿沉陷区土地的复垦与建筑利用. *煤炭科学技术*, 1986, (10): 10-12. [LIU T Q. Land reclamation and building use in subsidence area of coal mine. *Coal Science and Technology*, 1986, (10): 10-12.]
- [7] 严志才. 煤矿塌陷区造地复田和综合治理. *煤炭科学技术*, 1986, (10): 26-28. [YAN Z C. Construction of land subsided in coal mine subsidence and comprehensive management. *Coal Science and Technology*, 1986, (10): 26-28.]
- [8] 黄仲青, 刘晓玲. 采矿塌陷区农田复耕技术的研究. *安徽农业科学*, 1995, (2): 189-190. [HUANG Z Q, LIU X L. Study on farmland reclamation technology in mining subsidence area. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 1995, (2): 189-190.]
- [9] 杜克勤. 淮北煤矿塌陷区粉煤灰复田营林生态环境体系的建立. *环境科学*, 1993, (3): 39-41. [DU K Q. Establishment of an environmental and ecological system by afforestation on the coal ash reclaimed surface subsidence areas in Huabei coal mine and an analysis for its benefits. *Chinese Journal of Environmental Science*, 1993, (3): 39-41.]
- [10] 吴本立, 刘庆年, 蒋业林, 等. 煤矿塌陷区畜牧水产结合开发利用研究. *安徽农业科学*, 1993, (4): 376-379. [WU B L, LIU Q N, JIANG Y L, et al. Research on the combined development and utilization of animal husbandry and fishery in the subsidence area of coal mine. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 1993, (4): 376-379.]
- [11] 李树志. 煤矿塌陷区土地复垦技术与发展趋势. *能源环境保护*, 1993, (4): 6-9. [LI S Z. Land reclamation technology and development trend of coal mine subsidence area. *Energy Environmental Protection*, 1993, (4): 6-9.]
- [12] 胡振琪, 陈龙乾. 采煤塌陷区土地复垦管理新模式初探. *中国土地科学*, 1994, (1): 15-19. [HU Z Q, CHEN L Q. Preliminary study on new pattern of land reclamation management in coal mining subsidence area. *China Land Science*, 1994, (1): 15-19.]
- [13] 刘飞, 陆林. 采煤塌陷区的生态恢复研究进展. *自然资源学报*, 2009, 24(4): 612-620. [LIU F, LU L. Progress in the study of ecological restoration of coal mining subsidence areas. *Journal of Natural Resources*, 2009, 24(4): 612-620.]
- [14] 卞正富. 煤矿区土地复垦条件分区研究. *中国矿业大学学报*, 1999, 28(3): 237-242. [BIAN Z F. Study on zoning coal-mine areas by considering land reclamation conditions in China. *Journal of China University of Mining & Technology*, 1999, 28(3): 237-242.]
- [15] 陈利根, 童尧, 龙开胜. 采煤塌陷区生态改造利益构成及分配研究. *中国土地科学*, 2016, 30(10): 81-89. [CHEN L G, TONG Y, LONG K S. Study on interest components and allocation of the ecological transformation in coal mining subsided areas. *China Land Sciences*, 2016, 30(10): 81-89.]
- [16] 张子月, 邹华峰, 陈俊杰, 等. 采煤塌陷区土地动态沉降预测模型. *农业工程学报*, 2016, 32(21): 246-251. [ZHANG Z Y, ZOU Y F, CHEN J J, et al. Prediction model of land dynamic settlement in coal mining subsidence area. *Transactions of the CSAE*, 2016, 32(21): 246-251.]
- [17] 卞正富, 张燕平. 徐州煤矿区土地利用格局演变分析. *地理学报*, 2006, 61(4): 349-358. [BIAN Z F, ZHANG Y P. Land use changes in Xuzhou coal mining area. *Acta Geographica Sinica*, 2006, 61(4): 349-358.]
- [18] 刘广, 郭华东, Ramon H, 等. InSAR技术在矿区沉降监测中的应用研究. *国土资源遥感*, 2008, 20(2): 51-55. [LIU G, GUO H D, RAMON H, et al. The application of InSAR technology to mining area subsidence monitoring. *Remote Sensing for Land & Resources*, 2008, 20(2): 51-55.]
- [19] 陈永春, 袁亮, 徐翀. 淮南矿区利用采煤塌陷区建设平原水库研究. *煤炭学报*, 2016, 41(11): 2830-2835. [CHEN Y C, YUAN L, XU C. Investigation on using mining subsidence area to build a reservoir in Huainan Coal Mining area. *Journal of China Coal Society*, 2016, 41(11): 2830-2835.]
- [20] 王双明, 杜华栋, 王生全. 神木北部采煤塌陷区土壤与植被损害过程及机理分析. *煤炭学报*, 2017, 42(1): 17-26. [WANG S M, DU H D, WANG S Q. Analysis of damage process and mechanism for plant community and soil properties at northern Shenmu subsidence mining area. *Journal of China Coal Society*, 2017, 42(1): 17-26.]
- [21] 王亚萍, 刘文兆. 基于Meta分析的神府榆采煤塌陷区植被变化研究. *水土保持研究*, 2017, 24(2): 278-282. [WANG Y P, LIU W Z. Meta-analysis of the characteristics of vegetation change in subsidence area of Shenfuyu coal mining. *Research of Soil and Water Conservation*, 2017, 24(2): 278-282.]

## Spatial distribution and governance of coal-mine subsidence in China

LI Jia-ming<sup>1</sup>, YU Jian-hui<sup>1</sup>, ZHANG Wen-zhong<sup>1,2</sup>

(1. Key Laboratory of Regional Sustainable Development Modeling, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China; 2. College of Resources and Environment, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract:** Coal has been China's dominant indigenous source of energy. Although the proportion of coal consumption in total (primary) energy consumption decreased steadily in recent years, China is still the world's largest coal producer and has been exporting substantial amounts of the energy. Due to a long history of underground coal mining, many more undermined areas have subsided than most people can imagine. Large coal-mine subsidence has resulted in serious structural damage to buildings, roads, irrigation ditches, underground utilities and pipelines. Besides, the consequences of ground subsidence generally consist of serious environment impact and livelihoods issues of residents. All these has drawn a lot of attention from scholars and government leaders. However, it still fails to figure out the whole picture of coal-mine subsidence and its consequences in China. The research has employed a unique dataset of mineral rights for coal in China to investigate spatial distribution of subsidence at present and foreseeable future. The damage to cities and farmland and the size of population involved in the subsidence areas has also been estimated through the comprehensive analysis of land use map and population and subsidence distribution. The results highlight the difference of potential losses of coal-mine subsidence between areas in China. For example, subsidence has significant influence on urban development in eastern China; while farmland in rural areas suffers relatively great loss in the western mountainous areas. Even so, it is not enough to answer how to govern and mitigate subsidence of those large coal-mines in China. Because governance modes and methods depend on not only characteristics of spatial distribution and potential losses but also natural conditions and the level of economic development. According to characteristics of potential losses, natural conditions and economic development, we further define six kinds of subsidence and figure out their governance directions and major works in China. The results are shown in the following: (1) The area of potential coal-mine subsidence is more than 60000 km<sup>2</sup> in China. There are 4500 km<sup>2</sup> of the urban-rural construction land and 26000 km<sup>2</sup> of farmland in these subsiding areas. There are around 20 million residents involved in the subsidence. (2) According to climatic conditions and social and economic development levels, coal-mine subsidences fall into four types of areas with different governance directions in China: Focusing on eco- environmental modification; household livelihood security; exploitation and utilization; migration and relocation. (3) According to population and construction lands impacted and hydrogeological environment, exploitation-oriented areas are further divided into three types: Some should adapt to the changing environment; some should repair the infrastructures destroyed; some should develop characteristic industries such as tourism to increase residents' income.

**Keywords:** coal-mine subsidence areas; spatial characteristics; governance; China