

DOI: 10.5846/stxb201503050430

肖武, 李素萃, 王铮, 杨耀淇, 王涛. 高潜水位煤矿区生态风险识别与评价. 生态学报, 2016, 36(17): - .

Xiao W, Li S C, Wang Z, Yang Y Q, Wang T. Ecological risk identification and assessment for a coal mine with a high groundwater table. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(17): - .

高潜水位煤矿区生态风险识别与评价

肖 武^{1,2,*}, 李素萃², 王 铮², 杨耀淇³, 王 涛²

1 中国矿业大学(北京) 煤炭资源与安全开采国家重点实验室, 北京 100083

2 中国矿业大学(北京) 土地复垦与生态重建研究所, 北京 100083

3 北京大学经济学院, 北 100083

摘要:生态风险评价是生态环境保护与管理的重要研究内容,并广泛运用于流域与较大范围的区域尺度的研究。以区域生态风险评价理论为基础,结合高潜水位煤矿区生态环境以及煤炭开采对生态系统造成的危害的特点,通过分析风险源、风险受体、生态终点以及暴露—响应过程,对高潜水位煤矿区生态风险的识别与评价方法进行了研究,构建了典型高潜水位煤矿区的生态风险识别与评价概念模型与空间分析框架,分析了煤矿区生态风险识别的主要技术手段与方法,并构建了以缓冲为主要手段的综合生态风险评价方法。选择山东东滩煤矿作为研究对象,针对研究区内存在的采煤塌陷、洪涝、污染、景观及社会等生态风险类型,定量评价其空间差异,并提出相应的风险防范措施。案例分析结果表明,研究区综合生态风险重度、中度、一般、轻度分别占到研究区的 4.70%, 64.00%, 24.09%, 7.20%。生态风险较高的区域主要位于矿区中西部,为煤矸石山、裸露煤炭堆积与发电厂分布区域;中度风险是研究区主要的风险类型。从降低生态风险保障矿区生态安全角度,在未来矿区规划与生态治理过程中,提出了具体的应对措施,包括:(1)注重源头控制;(2)建立高生态风险区域阻隔带;(3)加强污染的监测与控制;(4)采用边开采边治理技术。特别建议加强生态风险高区域的阻隔,建立生态缓冲带,减缓对整个矿区的综合影响,构建东滩煤矿生态风险防范的空间结构。

关键词:生态风险;高潜水位煤矿区;风险识别;风险防范;Landsat-8

Ecological risk identification and assessment for a coal mine with a high groundwater table

XIAO Wu^{1,2,*}, LI Suci², WANG Zheng², YANG Yaoqi³, WANG Tao²

1 State Key Laboratory of Coal Resources and Safe Mining, China University of Mining & Technology Beijing 100083, China

2 Institute of Land Reclamation and Ecological Restoration, China University of Mining and Technology (Beijing), Beijing 100083, China

3 School of Economics, Peking University, Beijing 100083, China

Abstract: Ecological risk assessment is one of the most important subdivisions in eco-environmental protection and management, and it is widely used to evaluate ecological risks on both watershed and regional scales. In this study, we conducted identification and ecological assessment by analyzing risk sources, bearer, ecological endpoints, and the exposure-response process on the basis of regional ecological risk assessment coupled with the unique characteristics of mining ecosystems in high groundwater table areas. The identification and evaluation method for ecological risk was studied, and an ecological assessment conceptual model and spatial analysis framework for a coal mine with high ground water were proposed. Furthermore, a comprehensive ecological risk assessment method was proposed on the basis of the spatial buffering theory. The proposed model identifies and assesses mining-induced ecological risks. The Dongtan coal mine in

基金项目:国家自然科学基金项目资助(41401609);中国矿业大学煤炭资源与安全开采国家重点实验室开放基金项目(SKLCRSM13KFB07)

收稿日期:2015-03-05; **修订日期:**2015-07-29

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xiaowuwx@126.com

Shandong Province was selected to test this model and framework. The major ecological risks in this mine include land subsidence, floods, water pollution, landscape, and social issues. The degrees of single and comprehensive ecological risk were evaluated. On the basis of the analysis, ecological risk was quantitatively analyzed and spatial strategies for ecological planning in the coal mine were broached. Severe, moderate, general, and mild comprehensive ecological risks were 4.7%, 64%, 24.09%, and 7.2%, respectively. The high ecological risk was located mid-west of the coal mine with sites for coal waste piles, exposed coal, and power plants. Despite the small area occupied, enough attention should be paid to high ecological-risk areas because of their high potential of air, water, and soil pollution. The moderate ecological risk was the dominant risk-type and was present in 64% of the whole region, where most of the mining subsidence is distributed. Mining subsidence triggers flood, farmland loss, and related social issues. The general and low ecological risks were located in the mining industry square area and coal mine edges (where coal pillars protect the ground infrastructure), and were kept at a distance from pollution sources. On the basis of quantitative and spatial ecological risk assessment, specific recommendations were proposed after considering reduced ecological risk and protection from an ecological security perspective for the mine. The countermeasures and suggestions include: (1) Source control. Coal waste piles, exposed coal, and power plants are the main causes of pollution and are considered as point-source pollution; therefore, we recommend that the coal company should focus on source control, improve the comprehensive utilization of coal waste, eliminate exposed coal, and implement monitoring of water and air emissions in power plants. (2) Establishment of barriers for high ecological-risk areas. High ecological-risk areas were established over a long period and cannot be eliminated immediately; therefore, establishment of ecological buffer zones and barriers for mitigating the effects of high ecological risks is strongly recommended. Specific measures include shelterbelt construction and utilization of geotextiles. (3) Improved monitoring and pollution control. Field sampling was not conducted in this study; the coal company should build a monitoring system to assess high pollution levels and spatial distribution of ecological risk areas and consider the dominant wind direction. (4) Concurrent mining and reclamation, filling materials in high groundwater and plain coal mines, and concurrent mining and reclamation technology are recommended to protect the topsoil and improve land reclamation efficiency.

Key Words: ecological risk; high ground water; coal mine; risk identification; risk prevention; Landsat-8

煤炭是我国的最主要能源,占一次能源消费的 70%左右。由于我国 90%以上的煤炭产量来自于井工开采,且多采用走向长壁全部垮落法开采,土地不可避免地产生下沉,造成大量土地的损毁^[1]。其开采对自然环境造成的破坏显著,所引起的生态环境问题已经成为各煤炭大省所面临的重要生态环境问题之一,生态风险的产生不断增强已经影响到当地居民的生活质量甚至生命财产的安全,各地政府及相关领域学者已开始广泛重视。特别是我国东部高潜水位矿区由于地下煤炭资源和地面耕地、村庄的复合面积巨大^[2-3],煤炭开采所引起的土地、生态、环境问题尤为严重,也成为了中国最具特色、难度最大的问题之一,在国际上都具有典型性^[4]。

生态风险是指生态系统及其组分所承受的风险,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作用^[5]。生态风险评价是评估由于一种或多种外界因素导致可能发生或正在发生的不利生态影响的过程,生态风险评价由于能定量的评估发生生态环境灾害的几率,自上世纪 70 年代开始,逐步得到各方重视^[6],研究领域涉及农业^[7]、矿产^[8]、旅游^[9]等开发等多个方面。但总体而言,自生态风险提出,其应用范围主要为流域^[10]与较大范围的区域尺度^[11]的研究。而对于矿区方面的研究,研究主要侧重于单一污染源所引起的环境方面的风险,如王莹等与樊华文分别选择了井工开采^[12]与露天开采煤矿区^[13]复垦土壤的重金属污染所引起的生态风险进行了评价。近年来,陆续有学者提出了矿区生态风险评价的理论与方法^[14],并对煤矿区生态风险的识别、评价方法开展了研究,韩忆楠提出了煤炭矿区生态风险的识别步骤与方

法^[15],常青基于土地破坏提出了矿区生态风险评价的理论与方法^[14],程建龙对露天的生态风险评价方法进行了研究^[16],张小飞采用格网单元对煤炭城市的综合生态风险进行了定量评价^[17]。但对于井工煤矿区,特别是高潜水位煤矿区煤矿建设及煤炭开采所引起的生态风险研究较少,高潜水位煤矿区煤炭开采所引起的主要表征为地面开采沉陷与煤矸石山压占^[18],地面开采沉陷导致地面地形地貌改变、农田积水、村庄搬迁、河流改道;煤矸石山压占则引起大气与水体污染;而煤矿建设的附属设施,如矿区铁路、公路、发电厂等也导致矿区原本的稳定生态系统受到外来胁迫影响,由此带来一系列的生态环境风险。

本文以区域生态风险评价理论为基础,结合高潜水位煤矿区生态环境以及煤炭开采对生态系统造成的危害的特点,通过分析风险源、风险受体、生态终点以及暴露—响应过程,对高潜水位煤矿区生态风险的识别与评价方法进行了研究,构建了典型高潜水位煤矿区的生态风险识别与评价概念模型与空间分析框架,选择山东东滩煤矿作为研究对象,针对研究区内存在的采煤塌陷、洪涝、污染及村庄搬迁移民社会风等生态环境风险类型,定量评价其空间差异,计算出研究区空间各点的综合生态风险值。最终,基于矿区综合生态风险值分布图,对研究区内综合生态风险进行分级分类,通过 GIS 实现矿区生态风险评价结果的可视化。在此基础上,并提出相应的风险防范措施。

1 研究区概况

东滩煤矿位于山东省济宁市境内,跨兖州、邹城、曲阜三市(县),地理位置 $116^{\circ}50'49''$ — $116^{\circ}56'56''$ E, $35^{\circ}24'11''$ — $35^{\circ}31'25''$ N,矿区南北向约 14 km,东西向约 10 km(如图 1 所示)。地处鲁中低山丘陵到平原洼地的过渡地带,为第四系山前倾斜冲积—洪积平原,整体地势由东北向西南逐渐降低,坡度极为平缓,地面标高 +42.46—+54.58 m,潜水埋深为 2 m 左右。历年平均降水量 715.54 mm,年平均气温 14.4°C ,矿区内土壤质地以粘壤土和砂质粘壤土为主,土质较好,耕性良好,矿区内主要以耕地和农村住宅用地为主,为典型的华北平原农田景观。矿区内主要河流有白马河与泥河,向南流入南阳湖,均为季节性河流。东滩矿自 1989 年投产以来,对于 3 煤层的开采,地面已经形成了大面积的沉陷区,加之潜水位较高而汇集为大水面。此外,矿区建设附属的铁路、发电厂、煤矸石与煤炭的露天裸露堆积,给矿区内的生态环境带来了很大的生态风险。本文生态风险评价的范围为东滩煤矿矿区范围内,总面积约 60 km^2 。

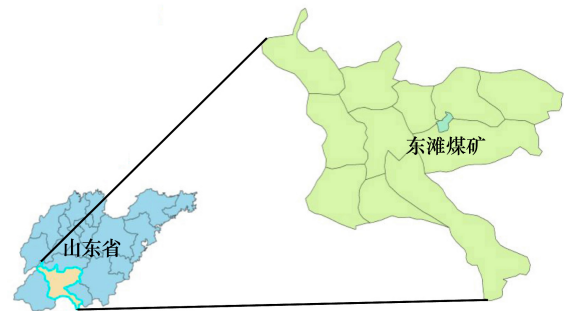


图 1 研究区位置及范围示意图

Fig.1 Study area: DT coal mine, Shandong province, China, with county boundaries

2 高潜水位煤矿区生态风险识别与评价

2.1 高潜水位煤矿区生态风险分析与概念模型建立

目前,对于高潜水位矿区尚无统一明确的界定,一般而言指潜水埋深 1—3m 且煤炭地下开采后地面会形成塌陷积水的地区。我国十四大煤炭基地中有 5 个为平原高潜水位地区,包括了两淮基地、鲁西(兖州)基地、河南基地、冀中基地、蒙东基地(东北部分),据估算,这 5 个煤炭基地采煤最终造成的沉陷面积将达到 31813.33 km^2 ,其中最终造成的积水面积超过 19088 km^2 ^[4]。这一地区由于煤矿建设与煤炭开采所带来的生态风险主要包括四个方面:

2.1.1 地形地貌

地下煤炭资源的开采从采空区的形成到最终的地面稳定是一个漫长的过程,时间跨度可从 6 个月到 5 年^[19]。地表从开始受到影响到影响基本结束持续的时间就要经历更长的过程,在如此长的跨度内,地表受采矿的影响经历着持续的渐变,地面土地与附属设施在开采过程中受到下沉、拉伸变形、倾斜变形、曲率变形的持

续影响^[20-21]。由于地下煤炭开采多导致的地形地貌的改变是造成高潜水位井工煤矿区的主要原因,由于塌陷的不确定性和不同受体的可承受性差异,其带来的塌陷风险在空间分布上也具有差异,带来房屋受损、道路破坏、排水设施紊乱、土地退化等一系列的生态风险。

2.1.2 土地与水

煤矿建设与煤炭开采导致原有土地利用方式、类型、强度都发生了彻底的改变,同时,由于沉陷改变了矿区内的地形,导致原有的流域系统破坏,耕地积水、河水倒灌、土地盐碱化等现象随之发生。高潜水位煤矿区由于其特殊的自然与地质条件,具有煤层厚度大、煤层数量多以及地面相对平坦、潜水埋深小的特点^[22]。而煤炭开采后引起地面下沉,潜水出露地面形成积水;另外,现有的河流与排灌设施由于下沉后地形发生了改变,导致水流倒灌,引起排灌系统紊乱。这些由开采沉陷导致的地面积水与河道破坏诱发洪涝灾害,这一特点在中国乃至世界范围都具有典型性,世界范围内也只有波兰与德国等部分地区有相同类似的情况。

2.1.3 三废

废水、废气、废渣被称为工业三废,伴随着工业化而产生。煤矿区中煤矸石山的堆积与发电厂的生产是产生三废的主要源头。煤矸石是在煤炭生产过程中成为废弃物,包括岩石巷道掘进时产生的掘进矸石和洗煤厂生产过程中排出的矸石^[23]。早期的煤矿生产的煤矸石主要采用露天堆积的形式排放,在平原地区形成人造的高耸山,近年来随着煤矸石的综合利用加强,也被广泛的用于充填塌陷区、造砖、发电。煤矸石堆积与利用导致的生态环境问题主要包括:(1)矿区大气环境的污染;(2)水环境的影响;(3)土壤的损害;(4)矿区景观的破坏;(5)人身安全危害;(6)辐射污染。已有研究发现,露天堆存的煤矸石与综合利用(充填塌陷区、修建道路)都带来一定程度的污染,充填积水塌陷区浸泡行为占主要作用,而露天堆存在矸石山上的矸石,淋溶行为占主要作用^[24]。也有学者对本文所在研究区煤矸石的污染进行了定量研究,认为煤矸石堆积对附近农田土壤与水体的污染主要以 Zn、Pb 和 Cr 为主^[25],随着距离煤矸石堆由近而远,土壤中微量元素的浓度明显降低^[26]。发电厂的重金属污染主要来自煤的燃烧。煤炭燃烧过程中,会有多种易挥发的重金属元素通过烟气、灰渣、废水等介质最终污染周边土壤环境。通过对发电厂周边土壤的调查发现,汞^[27]和砷^[28]污染最为普遍。很多发电厂周边土壤都存在重金属含量超标的现象,存在潜在的生态环境风险。

2.1.4 社会经济

东部地区经济发达人口稠密,村庄布局密集。煤炭开采引起地面下沉,虽然在“三下”采煤中对地表建筑物保护等进行了相关规定,但目前煤炭开采的方式仍然是“地面服从地下”的方式,由于村庄压煤量巨大,矿山企业在综合考虑经济成本后往往都选择村庄整体搬迁进行地下煤炭资源开采。据目前统计,东部平原煤炭基地中的鲁西基地共有压煤村庄及重要建筑物 1100 多处。据测算,其中仅济宁市在 2020 年以前,已经和将要搬迁的村庄就有 225 个,人数约 70 多万人^[29]。如此大的村庄搬迁与人口迁移,带来的社会风险巨大。

不难发现高潜水位煤矿区的风险源主要包括:开采导致的土地塌陷、煤矸石与煤的露天堆积与压占、附属设施建设等带来的污染。而风险受体包含了地形地貌、植被、土壤、大气、水环境。风险源通过地面下沉积水、煤矸石山的风化、自燃以及水循环等过程进行暴露-响应,最终形成了地面裂缝、农田积水、村庄搬迁、洪涝灾害、土壤污染、水污染、河流改道等综合的生态终点,通过分析构建了典型高潜水位煤矿区的生态风险识别与评价概念模型与空间分析框架,如图 2 所示。

2.2 生态风险识别

在进行矿区生态风险识别之前,需要先对该矿区进行综合调查,认识矿区生态环境特征及采矿活动的特点和扰动方式。内容包括地形地貌、地质条件、水文条件、气象气候、植被、土壤以及矿业生产活动等。通过资料收集、遥感影像分析、现场调研、实地测量与监测、问卷调查、入户访谈等方式获取数据,并了解矿区自身特点,为后续的风险源识别工作奠定理论依据和数据基础。遥感(RS)、地理信息系统(GIS)、全球定位系统(GPS)目前广泛应用于不同尺度的生态风险评价研究,尤其是在大尺度的土地利用变化研究方面,利用航片或不同分辨率影像结合 GIS、GPS 等工具对区域生态风险进行识别与评价已经成为主要的研究手段。

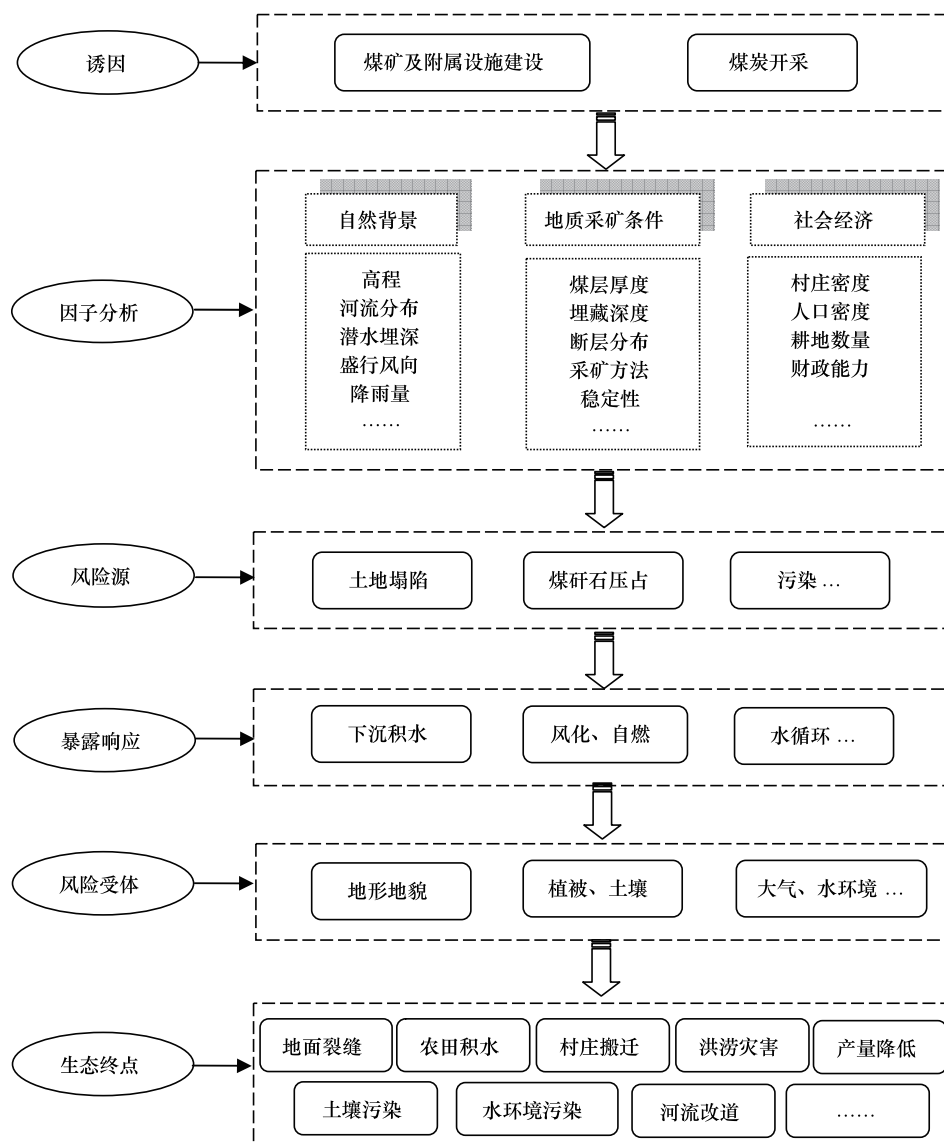


图2 高潜水位煤矿区的生态风险评价概念模型与空间分析框架

Fig.2 Conceptual Model and framework of comprehensive coal mine ecological risk assessment in high groundwater area

研究中主要采用了2012年济宁市统计年鉴数据,东滩煤矿的土地复垦方案、开发利用方案等资料。统计年鉴主要用于提取人口密度等社会经济指标,土地复垦方案与开发利用方案用于提取地下采矿与采空区等指标。此外,还采用了最新的Landsat8卫星数据^[30]。为了较好的辨识地物,选取了2013年5月21日的Landsat8数据(行/列号:122/36),影像包含了9个波段,空间分辨率为30 m,其中包括一个15米的全色波段,经过几何精校正与图像融合后,利用地形地貌数据图等辅助数据,应用ENVI5.1为平台进行研究,采用人工神经网络法进行监督分类,将矿区内的土地划分为耕地、建设用地、水域、湿地、未利用土地5种类型,并利用2014年8月实地考察所获得的地表覆被数据与土地利用现状图进行了精度检核,满足研究需要。通过实地调研与遥感影像提取,对东滩煤矿矿区内的生态风险源(关键要素)进行了提取,这些关键要素主要包括河流、铁路、开采沉陷积水区、电厂、裸露煤堆、煤矸石山6类,如图3所示。

2.3 生态风险评价

生态风险评价通常广泛的应用于流域与大尺度区域范围内,尺度是景观生态学研究中的一个基本概念,通常人们认为尺度所代表研究对象在空间或时间上的量度^[31]。从本质上来说,尺度是自然界所固有的特征,然而,基于不同的研究目的和兴趣,生态学家对尺度的理解确不尽相同,如尺度还可以是用于信息收集和处理

的时间和空间单位,或者是由时间和空间范围决定的一种格局变化^[32-33]。对于煤矿区而言,与传统的风险评价(区域生态风险与流域生态风险)尺度相比,其范围和尺度要小了很多,如此小范围的区域的生态风险评价,评价单元与风险小区的划分与精确计算将很大程度影响最终的结果。

在本研究中,煤炭矿区生态风险识别在空间范围上覆盖了采矿活动所能影响和扰动到的区域,在这一区域内采矿活动对生态系统具有直接作用。为体现区域差异,首先划分风险小区,每一个风险小区均为面积 100m×100m 的方格,对应着不同的风险源和风险受体,针对风险源,评估各类风险源的强度,针对风险受体,引入景观格局指数评估其易损性,最终用综合生态风险值表征区域生态风险的相对大小,每一个风险小区对应一个综合生态风险值,综合生态风险 (Comprehensive Ecological Risk,CER),发生概率则为标准化后单一生态风险发生概率的总和,计算公式为:

$$CER = \sum_{i=1,j=1}^{i=n,j=m} A_{ij} \times E_f$$

式中, A_{ij} 为不同 i 类风险受体(土地利用类型)在第 j 类风险影响下的脆弱程度,取值越高其生态风险(脆弱性)越大,本文中取值为 1—10,采用专家打分法获取; E_f 为不同风险源下的程度分化(风险发生概率),取值在 0—1 之间。可以看出采煤风险与社会风险为正向指标,洪涝灾害、环境污染风险、景观风险为负向指标,正向指标说明值越大生态风险越严重,反之为负向风险。整合单一风险发生概率的计算结果可获得研究区综合风险的空间分布差异分析,判断矿区的高风险区域,并针对其原因制定风险防范方案,为矿区的可持续发展提供保障。本研究中,将土地利用分为 5 类,脆弱度最高者为 10,最低者为 1,程度分化为 4 级,最低者为 0.3,最高者为 1.0。不同风险下主要用地类型的脆弱程度见表 1,不同风险源的影响半径及程度分化表见表 2。

表 1 东滩煤矿不同风险下主要用地类型的脆弱程度

Table 1 Vulnerability degree of major land use type under different risk types in Dongtan coal mine					
风险类型 Risk type	耕地 Farmland	建设用地 Construction land	水域 Water	湿地 Wetland	未利用土地 Bare land
采煤塌陷风险 Mining subsidence	8	10	5	3	2
洪涝风险 Flood	7	10	1	3	2
环境污染风险 Contamination risk	9	3	10	8	1
景观风险 Landscape risk	7	2	8	9	1
社会风险 Social risk	5	8	3	2	1

利用提出的生态风险综合指数,对研究区的生态风险进行计算与分析。采煤塌陷风险主要根据地质采矿资料中采区划分与是否开采,分为稳定、基本稳定、不稳定与极不稳定 4 类;洪涝灾害风险利用 Landsat8 遥感影像数据提取的河流与塌陷积水坑进行缓冲,缓冲半径分别为 100m,500m,1000m,大于 1000m;环境污染风险以影像提取的发电厂、煤矸石山、裸露煤堆为缓冲源,缓冲半径分别为 100m,500m,1000m,大于 1000m;景观风险主要以铁路进行缓冲,缓冲半径分别为 100m,200m,500m,大于 500m;社会风险主要根据所在行政区人口密度进行划分。各级别所对应的程度分化(风险发生概率)见表 2。在 ArcGIS 平台的支持下,将处理后

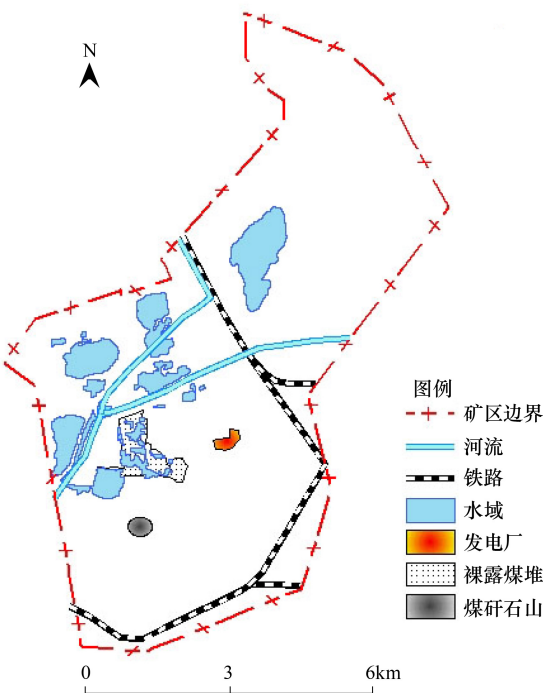


图 3 东滩煤矿关键要素空间位置

Fig.3 Position of key features in Dongtan coal mine

的矢量数据文件转换为分类栅格图,利用栅格数据进行叠加等运算,然后进行统计分析,得到各个风险小区的生态风险综合指数,根据综合生态风险数值大小,将东滩煤矿综合生态风险划分为重度、中度、一般、轻度 4 类,如图 4 所示,其统计数据见表 3。

可以看出,东滩煤矿主要的生态风险集中在矿区中西部区域,这与是发电厂、煤矸石山堆积、煤炭堆积区域的分布基本符合,这一区域主要的生态风险为污染诱发的系列影响,虽然面积较少,只占到整个矿区的 4.70%,但由于其危害性大,应该引起足够的重视;中度风险是本研究区主要的风险类型,占整个矿区的 64.00%,这部分区域主要为塌陷引起的洪涝灾害与社会风险;一般与低度生态风险区主要分布在矿井工业广场周边以及矿区边缘,矿井工业广场由于留设了保护煤柱,且远离污染源,其生态风险较小。

3 结论与讨论

生态风险评价主要应用于流域与区域性的大范围区域,矿区生态风险的评价也往往侧重于单一灾害或者风险,且主要以重金属污染所引起的生态风险与土地利用变化导致的景观风险分析为主。本研究分析了高潜水位煤矿区生态系统特性,针对煤矿区面临的各种生态风险类型,构建多风险的煤矿区综合生态风险评价框架

体系。研究获取了煤矿建设与生产过程中的风险源,通过分析其暴露与响应过程,构建了综合风险评价体系,采用 Landsat-8 与多种地质采矿与年鉴数据,基于 ENVI5.0 与 Arcgis10 等软件平台构建了风险小区,定量的分析了各风险小区生态风险的空间分布位置与强度,根据评价结果,从空间风险防范的角度出发,建议矿区在后续煤炭开采与土地复垦过程中注重以下措施:

表 2 东滩煤矿不同风险源的影响半径及程度分化表
Table 2 Influence radius and the degree of different risk source in Dongtan coal mine

风险类型 Risk type	分级 Classification	取值 Value
采煤塌陷风险 Mining subsidence	稳定	0.3
	基本稳定	0.5
	不稳定	0.7
	极不稳定	1.0
洪涝风险 Flood	0—100m	1.0
	100—500m	0.7
	500—1000m	0.5
	>1000m	0.3
环境污染风险 Contamination Risk	0—100m	1.0
	100—500m	0.7
	500—1000m	0.5
	>1000m	0.3
景观风险 Landscape risk	0—100m	1.0
	100—200m	0.7
	200—500m	0.5
	>500m	0.3
社会风险 Social Risk	兖州(人口密度 979/km ²)	1.0
	曲阜(人口密度 785/km ²)	0.7
	邹城(人口密度 716/km ²)	0.5

表 3 东滩煤矿不同生态风险程度

Table 3 Degree of different Comprehensive Ecological Risk in Dongtan coal mine

生态风险程度 Ecological risk degree	风险小区数量 Counts	比例 Percentage
重度 Severe	293	4.70
中度 Moderate	3990	64.00
一般 General	1502	24.09
轻度 Mild	449	7.20
小计 Total	6234	100.00

(1) 注重源头控制

通过本文分析,煤矸石山、裸露煤堆与发电厂是导致矿区高生态风险分布的主要原因,由于这些都是点源污染,建议矿山后续应当注重源头控制,加强煤矸石山的综合利用以消灭其露天堆积;煤堆建议不要露天堆放,以煤仓的方式存储;进一步加强发电厂的水、气排放的监控。

(2) 建立高生态风险区域阻隔带

由于高生态风险区已形成且短时间内难以直接消除,在未来矿区规划与生态治理过程中,建议加强生态

风险高区域的阻隔,建立生态缓冲带,减缓对整个矿区的综合影响,构建东滩煤矿生态风险防范的空间结构。具体措施包括:防护林建设,土工布阻隔。通过这些措施防止风险的扩散与传播。

(3) 加强污染的监测与控制

本文未进行实地采样,获取高生态风险区域的污染程度与空间分布规律,矿山企业应当加强监测与控制,对于具体而言,需要进一步分析当地的主导风向,获得实地污染风险的空间分布规律。

(4) 采用边开采边治理技术

平原矿区充填物缺乏,大量珍贵的表土沉入水中。此外,沉陷盆地的坡地区与季节性积水区域土壤养分流失严重。建议在后续可根据开采计划与接续,提前采取措施进行变开采边治理修复工作,真正做到源头控制,过程精细管理。

本研究所提的风险评价方法,在计算操作上仍存在深化改善的空间。首先,关于不同土地利用的脆弱程度,目前采用专家打分方法进行定量评估,未来可结合多方意见进行进一步的修正;其次,由于对风险发生概率主要通过以缓冲区的方式获得,缓冲半径的设置有必要进行实地的验证,并进行修正,在后期的研究中,可实地测试高生态风险区中土壤与水体中重金属污染的程度,对模型进行修正;最后,由于煤矿区生态风险的特殊性,煤炭矿区的风险属于持久型、累进型风险,因此其危险性不是对应时间“点”的风险发生概率,而是时间“轴”上的风险累积概率,如何动态的获取煤矿在不同阶段的生态风险与空间分布,将更加有效的指导煤矿区的生态环境保护与生态风险防范,构建相对合理的生态风险防范的空间结构。

参考文献 (References):

- [1] Xiao W, Hu Z Q, Chugh Y P, Zhao Y L. Dynamic subsidence simulation and topsoil removal strategy in high groundwater table and underground coal mining area: a case study in Shandong Province. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, 2014, 28(4): 250-263.
- [2] Hu Z Q, Yang G H, Xiao W, Li J, Yang Y Q, Yu Y. Farmland damage and its impact on the overlapped areas of cropland and coal resources in the eastern plains of China. *Resources, Conservation and Recycling*, 2014, 86: 1-8.
- [3] 胡振琪, 李晶, 赵艳玲. 矿产与粮食复合主产区环境质量和粮食安全的问题、成因与对策. *科技导报*, 2006, 24(3): 21-24.
- [4] 胡振琪, 肖武, 王培俊, 赵艳玲. 试论井工煤矿边开采边复垦技术. *煤炭学报*, 2013, 38(2): 301-307.
- [5] 张思锋, 刘晗梦. 生态风险评价方法述评. *生态学报*, 2010, 30(10): 2735-2744.
- [6] USEPA(US Environmental protection Agency Risk Assessment Forum). *Generic Ecological Assessment Endpoints (GEAEs) for Ecological Risk Assessment*. Washington, DC: Risk Assessment Forum U S Environmental Protection Agency 2003.
- [7] Schriever C A, Liess M. Mapping ecological risk of agricultural pesticide runoff. *Science of the Total Environment*, 2007, 384(1/3): 264-279.
- [8] 李泽琴, 侯佳渝, 王奖臻. 矿山环境土壤重金属污染潜在生态风险评价模型探讨. *地理科学进展*, 2008, 23(5): 509-516.
- [9] Petrosillo I, Zurlini G, Grato E, Zaccarelli N. Indicating fragility of socio-ecological tourism-based systems. *Ecological Indicators*, 2006, 6(1): 104-113.
- [10] 许妍, 高俊峰, 赵家虎, 陈炯锋. 流域生态风险评价研究进展. *生态学报*, 2012, 32(1): 284-292.

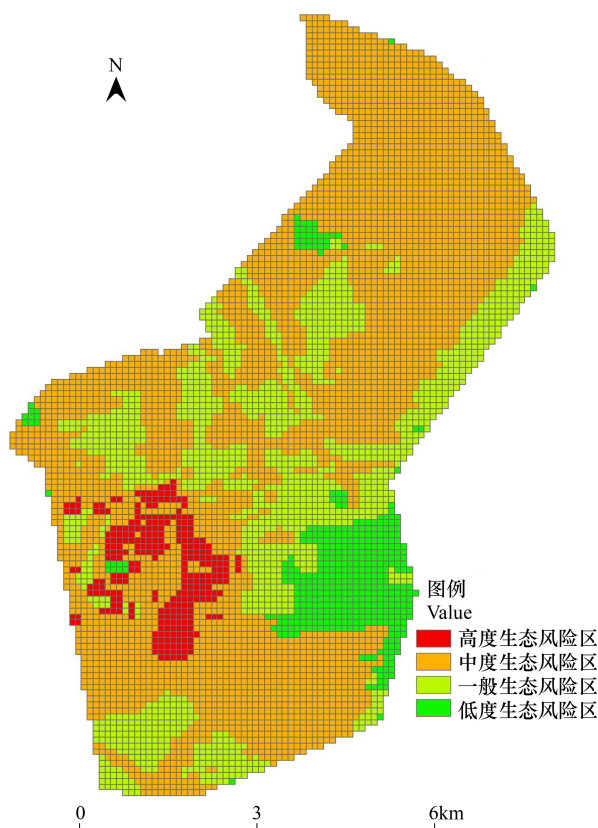


图4 东滩煤矿综合生态风险程度空间分布

Fig. 4 Spatial distribution of comprehensive ecological risk degree of Dongtan

- [11] 陈春丽, 吕永龙, 王铁宇, 史雅娟, 胡文友, 李静, 张翔, 耿静. 区域生态风险评价的关键问题与展望. 生态学报, 2010, 30(3): 808-816.
- [12] 王莹, 董霁红. 徐州矿区充填复垦地重金属污染的潜在生态风险评价. 煤炭学报, 2009, 34(5): 650-655.
- [13] 樊文华, 白中科, 李慧峰, 乔俊耀, 许建伟, 李霞. 复垦土壤重金属污染潜在生态风险评价. 农业工程学报, 2011, 27(1): 348-354.
- [14] 常青, 邱瑶, 谢苗苗, 彭建. 基于土地破坏的矿区生态风险评价: 理论与方法. 生态学报, 2012, 32(16): 5164-5174.
- [15] 韩忆楠, 刘小茜, 彭建. 煤炭矿区生态风险识别研究. 资源与产业, 2013, 15(3): 78-85.
- [16] 程建龙, 陆兆华, 范英宏. 露天煤矿区生态风险评价方法. 生态学报, 2004, 24(12): 2945-2950.
- [17] 张小飞, 王如松, 李正国, 李锋, 吴健生, 黄锦楼, 于盈盈. 城市综合生态风险评价——以淮北市城区为例. 生态学报, 2011, 31(20): 6204-6214.
- [18] 肖武, 王培俊, 王新静, 余洋, 陈超. 基于 GIS 的高潜水位煤矿区边采边复表土剥离策略. 中国矿业, 2014, 23(4): 97-100.
- [19] Kratzsch H. Mining Subsidence Engineering. Berlin: Springer-Verlag, 1983.
- [20] 肖武, 胡振琪, 许献磊, 付艳华. 煤矿区土地复垦成本确定方法. 煤炭学报, 2010, 35(增刊): 175-179.
- [21] 肖武, 胡振琪, 杨耀淇, 苗慧玲, 周祥勃. 井工煤矿边采边复施工敏感区域的确定方法. 中国煤炭, 2013, 39(9): 107-111.
- [22] 肖武, 胡振琪, 李太启, 王凤娇, 李慧, 刘坤坤. 采区地表动态沉陷模拟与复垦耕地率分析. 煤炭科学技术, 2013, 41(8): 126-128.
- [23] 胡振琪, 张光灿, 毕银丽, 魏忠义. 煤矸石山刺槐林分生产力及生态效应的研究. 生态学报, 2002, 22(5): 621-628.
- [24] 王晖, 郝启勇, 尹儿琴. 煤矸石的淋溶、浸泡对水环境的污染研究——以兖济滕矿区塌陷区充填的煤矸石为例. 中国煤炭地质, 2006, 18(2): 43-45.
- [25] 秦胜, 田莉雅, 张剑. 兖州矿区矸石山与周围土壤中微量元素形态分析. 中国煤炭, 2010, 26(10): 125-127, 140.
- [26] 冯启言, 刘桂建. 兖州煤田矸石中的微量有害元素及其对土壤环境的影响. 中国矿业, 2002, 11(1): 67-69.
- [27] 王凌青, 卢新卫, 王利军, 贾晓丹, 王峰凌. 宝鸡燃煤电厂周围土壤环境 Hg 污染及其评价. 土壤通报, 2007, 38(3): 622-624.
- [28] 方凤满, 杨丁, 汪琳琳, 蒋炳言. 芜湖燃煤电厂周边土壤中砷汞的分布特征研究. 水土保持学报, 2010, 24(1): 109-113.
- [29] 胡振琪, 李文彬, 杨耀淇. 压煤村庄用地问题探路. 中国土地, 2013, (11): 49-50.
- [30] 徐涵秋, 唐菲. 新一代 Landsat 系列卫星: Landsat 8 遥感影像新增特征及其生态环境意义. 生态学报, 2013, 33(11): 3249-3257.
- [31] Wu J G, Marceat D. Modeling complex ecological systems: an introduction. Ecological Modelling, 2002, 153(1/2): 1-6.
- [32] Farina A. Principles and Methods in Landscape Ecology. London: Chapman & Hall, 1998: 35-49.
- [33] Peterson D L, Parker V T. Ecological Scale: Theory and Application. Columbia: Columbia University Press, 1998.