

毛乌素沙地煤矿开采对植被景观的影响

钱者东, 秦卫华, 沈明霞, 杨昉婧

(环境保护部 南京环境科学研究所, 江苏 南京 210042)

摘要: 毛乌素沙地气候干燥, 水资源短缺, 生态环境十分脆弱, 对各种人为扰动极为敏感。该地区煤炭资源的开采势必会增加当地环境负担, 使得生态环境恶化。以陕西省神木县大保当煤矿为例, 通过实地调查, 在查明自然植被种类、类型和分布的基础上, 借助地理信息系统技术与地表沉陷预测模型, 对煤矿开采造成的植被景观格局变化进行了预测, 并分析了斑块数、形状指数、多样性指数等指标。结果表明, 煤矿开采后矿区景观破碎度上升, 斑块形状复杂化, 景观异质性降低, 植被生物量减少。矿区植被类型发生变化, 原先以叉子圆柏(*Sabina vulgaris*)、北沙柳(*Salix psammophila*)、斜茎黄耆(*Astragalus adsurgens*)为优势种的灌木丛向以黑沙蒿(*Artemisia ordosica*)为优势种的灌草丛转化。从矿区整体变化程度来看, 煤矿开采对区域自然生态系统存在一定的干扰, 但未造成其根本性改变, 自然生态系统仍存在一定的恢复和调控能力, 应采取一系列生物与工程措施引导矿区生态环境向可持续方向发展。

关键词: 煤矿开采; 植被; 景观格局; 生物量; 毛乌素沙地

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2014)05-0299-05

中图分类号: X826

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2014.05.062

Impacts of Coal Mining on Vegetation Landscape in Mu Us Sandland

QIAN Zhe-dong, QIN Wei-hua, SHEN Ming-xia, YANG Fang-jing

(Nanjing Institute of Environmental Sciences, Ministry of Environmental Protection, Nanjing, Jiangsu 210042, China)

Abstract: Mu Us sandland with dry climate, scarce water, and fragile ecological environment, is very sensitive to all kinds of anthropogenic disturbances. Coal Mining resources in this region is bound to increase the burden on local environment, and make the ecological environment worse. Taking Dabaodang coal mine as an example, the number of patches, shape index, diversity index and other indicators were analyzed through field investigation, to find out the type and distribution of natural vegetation, using geographic information system technology and surface subsidence prediction model, and vegetation landscape pattern change caused by coal mining was predicted. The results showed that after coal mining, the landscape fragmentation increased, patch shape was complexified, the landscape heterogeneity decreased, and the vegetation biomass reduced. The vegetation types changed. Bushes originally had *Sabina vulgaris*, *Salix psammophila*, *Astragalus adsurgens* as the dominant species of succeed to shrubs which was dominated by species *Artemisia ordosica*. From the change of whole mining area, there are some disturbance of coal mining to the natural ecological system, but was not cause the radical change, the natural ecological system still had certain recovery and control ability. A series of biological and engineering measures should be taken to promote ecological environment of the mining area to the direction of sustainable development.

Keywords: coal mining; vegetation; landscape pattern; biomass; Mu Us sandland

随着经济的发展, 中国能源需求增长迅速, 21 世纪初能源重点开发地区为毛乌素沙地外围与河西走廊两端。毛乌素沙地气候干燥, 水资源缺乏, 地表植

被不良, 水土流失和荒漠化严重, 对各种自然和人为扰动极为敏感, 植被对当地的生态环境尤为重要。因此, 科学地预测煤矿开采对当地植被景观的影响显得

收稿日期: 2013-10-18

修回日期: 2013-11-19

资助项目: 环境保护部公益性行业科研专项“国家级自然保护区保护成效评估与规范化建设关键技术研究”(201209028); 环境保护部公益性行业科研专项“坝上地区自然保护区有机食品开发和生物多样性保护耦合研究”(201209036); 江苏省自然科学基金项目“盐城湿地自然保护区资源利用的阈值管理研究”(BK2011079)

作者简介: 钱者东(1986—), 男(汉族), 江苏省海安县人, 硕士, 助理研究员, 主要从事资源与环境方面的研究。E-mail: zhedongqian@sina.com。

通信作者: 秦卫华(1979—), 男(汉族), 安徽省郎溪县人, 博士, 副研究员, 主要从事自然保护区与生物多样性研究。E-mail: qinweihua2002@sina.com。

非常必要。毛乌素沙地煤炭资源开采以地下开采为主。地下开采对植被的影响表现在两方面:一是地面建设造成的直接破坏;另一方面是煤矿开采造成地表塌陷从而破坏植被。相比而言后者产生的影响范围大,持续时间长,更能反映煤矿地下开采的特征。因此,地表沉陷对植被景观的影响是煤矿开采项目生态环境影响评价的核心内容。关于煤矿地下开采,苏联学者^[1]最早提出台阶下沉假说,为煤矿开采沉陷预测提供了理论支持。近年来,国外学者^[2]以 3S 技术为基础,预测评价煤矿开采项目对生态环境影响的研究也日益增多。长期以来,中国煤矿开采生态影响预测采用较多的是类比分析^[3]。近年来,随着 3S 技术的发展,地表沉陷预测得以实现,为预测煤矿开采造成的生态影响提供了可能^[4]。

本文以神木大保当煤矿为例,借助 MSPS 程序,对矿区采煤后地面沉陷状况进行预测,然后在 GIS 技术的支持下,对采矿后的植被景观格局进行分析,以期为这一地区煤矿开采的生态影响评价提供有益的参考。

1 研究区概况

大保当矿井位于陕西省榆林市榆神矿区一期规划区的东北部,行政区划隶属榆林市神木县大保当镇,井田东北以榆神矿区水源保护区边界为界,东南以神延铁路为界,西南和曹家滩井田毗邻,西北以榆神矿区一期规划区西北边界为界,井田走向长 12 km,倾向宽 9.2 km,面积约 112.54 km²,设计可采储量为 1 300.95 Mt,生产能力 13.00 Mt/a。考虑到井田开采后,地表变形的范围往往超过井田边界,对于煤层埋藏较深的矿井更是如此,因此本文的研究范围确

定为井田边界外延 2 km(局部地段外延 4.5 km),共 231.18 km² 的区域。

研究区域位于毛乌素沙漠东南缘,地表大部分区域被第四系风积半固定和固定沙地所覆盖,以风蚀风积沙漠丘陵地貌为主。地形总的趋势为西高东低,海拔多在 1 200~1 300 m。项目区为典型的中温带半干旱大陆性气候。冬季寒冷,春季风沙频繁,夏季炎热,秋季凉爽;年平均降雨量 434.1 mm,蒸发量 1 712.0 mm。研究区域属黄河 II 级支流秃尾河流域,井田内地表水系主要为东北角的黑龙沟和南端的季节性河流——野鸡河。区内土壤类型为风沙土、潮土、淤土、草甸土、沼泽土。

2 研究方法

2.1 植被调查

选用空间分辨率 30 m 的 Landsat 7 ETM 卫星影像,1:25 000 大保当矿井地面总布置图,1:10 000 项目区地形图作为基础资料。首先对遥感影像进行辐射纠正和几何纠正,然后在 GIS 软件的支持下,结合现场调查与已有资料,对遥感影像进行解译判读,编制项目区植被类型图。

项目区植被调查于 2009 和 2012 年分两次进行。植被实地调查主要采用样方法,首先根据遥感影像大致判别出项目区植被类型种类,在每一植被类型中选择有代表性的地段设置样方,详细记录样方中的植物种类、株数、盖度、高度、建群种等信息,并记录生境特征。两次调查共设置了 15 个样方,其中 1 m×1 m 的草本样方 4 个,2 m×2 m 的灌木样方 10 个,15 m×15 m 的乔木样方 1 个,基本包括了评价区内的各种植被类型。植被样方调查结果见表 1。

表 1 植被样方调查统计结果

编号	纬度(北纬)	经度(东经)	海拔/m	多度	总盖度/%	植被类型
1	38°36'59"	109°57'55"	1 271	8	70	沙柳(<i>Salix psammophila</i>)灌丛
2	38°37'17"	109°57'50"	1 255	7	45	黑沙蒿(<i>Artemisia ordosica</i>)灌丛
3	38°37'52"	109°58'23"	1 219	2	80	小叶杨(<i>Populus simonii</i>)林
4	38°37'55"	109°58'53"	1 220	5	25	冰草(<i>Agropyron cristatum</i>)灌草丛
5	38°39'41"	109°57'07"	1 236	8	35	沙柳灌丛
6	38°41'41"	109°58'23"	1 237	7	30	黑沙蒿灌草丛
7	38°42'00"	109°59'18"	1 212	7	65	沙打旺(<i>Astragalus adsurgens</i>)灌丛
8	38°41'42"	110°03'39"	1 145	3	70	沙地柏(<i>Sabina vulgaris</i>)灌丛
9	38°42'31"	110°04'03"	1 171	6	80	沙地柏灌丛
10	38°43'29"	110°04'11"	1 175	4	70	沙地柏灌丛
11	38°39'48"	110°01'06"	1 100	1	45	沙柳灌丛
12	38°40'20"	110°03'32"	1 120	2	80	黑沙蒿灌丛
13	38°41'38"	110°04'46"	1 150	1	90	黑沙蒿灌丛
14	38°44'14"	110°03'36"	1 155	1	70	黑沙蒿灌丛
15	38°44'46"	109°57'09"	1 100	2	99	三穗薹草(<i>Carex tristachya</i>)草丛

2.2 地面沉陷预测

中国实际应用的 地表岩移预测方法有典型曲线法、负指数函数法、概率积分法和数值计算法等,其中概率积分法是 国内地表变形理论计算模式中较为成熟的一种模式^[5]。该模式全面考虑了影响地表移动变形的各项主要因素,计算结果较为准确可信,本文采用中国矿业大学基于概率积分法开发的 MSPS 程序进行地面沉陷预测。

目前大保当煤矿尚未开采,本次地表沉陷预测参数选取与井田相邻的神东矿区长期积累的实测参数,结合大保当井田开采设计情况来确定,将参数带入预测软件,对全井田开采后的地表沉陷情况进行预测。根据全占军等^[6]研究经验,将采空区上方,基岩整体下沉,地形几乎无变化,植被生境受破坏程度小的区域划为轻度影响区;采空区边缘,由于塌陷、裂缝和滑坡等地质灾害频繁,地表植被受破坏严重的区域划为重度影响区。

2.3 井田开采对植被景观格局影响分析

井田开采对植被的影响主要分为两部分,一是地面设施建设造成的直接破坏,二是地面沉陷造成的间接影响。对于直接破坏采用 ArcGIS 软件进行图形叠置,得出其影响位置和范围。地面沉陷造成的影响根据预测结果通过 AutoCAD 和 ArcGIS 软件进行空间叠加和统计分析得出地表沉陷影响范围和破坏程度。通过叠加井田开采影响区域划分图和开采前植被景观类型图,统计重度和轻度影响区内植被类型面积,分析植被破坏程度,从而得到开采后植被景观类型预测图。使用 Fragstats 软件对采煤前后研究区景观格局进行分析,本次评价所用的景观指数如下:

2.3.1 斑块数(number of patches, NP) 各类景观的斑块数量。其值的大小与景观破碎度有很好的正相关性。计算公式:

$$NP = N_i \quad (1)$$

式中: N_i ——景观类型 i 中的斑块总个数。

2.3.2 景观形状指数(landscape shape index, LSI)

各景观类型在总面积一定的情况下,聚集成一个简单紧凑的景观斑块后其最小的边缘长度。该指数表示景观空间的聚集程度,也可以表示景观形状的复杂程度。计算公式:

$$LSI = e_i / \min(e_i) \quad (2)$$

式中: e_i ——景观中类型 i 的总边缘长度。

2.3.3 景观多样性指数(landscape diversity index, LDI) 景观类型及其在景观中所占面积比例。描述景观元素或生态系统在结构、功能以及随时间变化的多样性,反映了景观的复杂性。本文采用 Shannon 多

样性指数(SHDI)。计算公式:

$$SHDI = - \sum_{i=1}^m P_i \ln P_i \quad (3)$$

式中: m ——区域中景观类型的总数; P_i ——第 i 种景观类型在总景观中所占的面积比例。

3 结果分析

3.1 植被类型划分

研究区位于毛乌素沙地东南缘,属于严重沙化草原区。地表大部分被半固定和固定沙丘所覆盖,植被以沙生植被、草原草甸植被、盐生植被和农田植被为主,间有少量的低洼湿地。植物区系的地理成分主要包括华北成分、达乌里—蒙古成分、古北极成分、东亚成分和西伯利亚成分等。

根据遥感影像和样方调查结果,将研究区植被划分为 9 个景观类型:落叶阔叶林、常绿针叶灌丛、落叶阔叶灌丛、灌草丛、草本沼泽、农田、荒漠、水域和建设用地。

根据植被地带性规律,研究区阔叶林属于落叶阔叶林,主要有杨树、旱柳(*Salix matsudana* var. *matsudana*)、榆树(*Ulmus pumila*)等,均为人工种植;常绿针叶灌丛主要为沙地柏;落叶阔叶灌丛以沙柳、沙打旺为主;灌草丛多以黑沙蒿为优势种;草本沼泽以莎草科苔草属和菊科紫菀属为优势种;农田种植玉蜀黍(*Zea mays*)、阳芋(*Solanum tuberosum*)、稷(*Panicum miliaceum*)、梁(*Setaria italica*)等作物。

3.2 植被景观格局影响分析

井田开采后,地面设施建设将直接清除部分地表植被,使自然植被转变成建设用地,本工程地面设施永久占地面积为 0.36 km²,永久占地范围内均为重度影响区。同时,根据预测结果,大保当井田采矿造成地表沉陷面积 84.12 km²,其中轻度影响区 50.05 km²,重度影响区 34.07 km²。重度影响区为采空区边缘,裂缝密集,植被景观破坏严重;轻度影响区为采空区上方,由于地面整体下沉,植被破坏程度相对较轻,原有的景观类型基本不会发生改变。井田开采前后植被类型面积变化见表 2。

分析可知,井田开采后地面用地范围内的植被完全破坏,采空区边缘植被破坏严重,景观格局将发生明显改变。

由表 3 可知开采前后景观斑块总数由 150 增加到 208,灌草丛、荒漠、建设用地斑块数显著增加,其余景观类型变化不大。斑块数增加是由于矿井建设使原有土地变为工业场地和交通用地,建设用地数量和面积增加;同时,地表沉陷产生的裂隙、陷坑、塌方

等,使土地分割破碎,斑块变小。斑块数增加的同时,矿区整体景观形状指数由 11.36 增加至 12.34。形状指数越大斑块的形状越复杂。形状指数增加表明建设用地扩张、地面沉陷对景观内部生境产生扰动,导致斑块边缘效应增强,内部生境质量下降。

表 2 采矿前后植被类型面积变化

植被类型	采矿前		采矿后	
	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%
落叶阔叶林	14.39	6.22	11.59	5.01
常绿针叶灌丛	61.52	26.61	58.29	25.21
落叶阔叶灌丛	24.09	10.42	22.39	9.69
灌草丛	23.52	10.17	27.92	12.08
草本沼泽	0.22	0.10	0.22	0.10
农田	22.13	9.57	17.73	7.67
荒漠	82.12	35.52	89.51	38.72
水域	0.38	0.16	0.38	0.16
建设用地	2.81	1.22	3.16	1.37
合计	231.18	100.00	231.18	100.00

表 3 采矿前后景观格局指数变化

植被类型	采矿前			采矿后		
	NP	LSI	SHDI	NP	LSI	SHDI
落叶阔叶林	43	11.50	0.17	42	11.42	0.15
常绿针叶灌丛	10	5.49	0.35	11	5.84	0.35
落叶阔叶灌丛	11	6.08	0.23	14	6.42	0.23
灌草丛	6	5.20	0.23	29	10.32	0.24
草本沼泽	2	2.37	0.01	2	2.37	0.01
农田	49	13.45	0.23	49	13.10	0.20
荒漠	11	8.61	0.37	37	9.57	0.37
水域	1	10.95	0.01	1	10.95	0.01
建设用地	17	18.5	0.05	23	18.05	0.06
整体景观	150	11.36	1.65	208	12.34	1.62

注:NP 指斑块数;LSI 指景观形状指数;SHDI 指 Shannon 多样性指数。

采矿前大保当井田整体景观的多样性指数为 1.65,采矿后为 1.62。多样性指数减少,这说明景观异质性在降低,景观类型所占比例差异在增大。表 3 中落叶阔叶林、农田的多样性指数分别由采矿前的 0.17,0.23,下降为 0.15,0.2;而建设用地、灌草丛多样性指数由 0.05,0.23 上升到 0.06,0.24,这由于煤矿开采过程中地面设施建设导致建设用地面积增加,采煤造成的地表沉陷破坏植被,致使落叶阔叶林、农田退化为灌草丛,使得整体景观各组分分配差异增大。

3.3 植被生物量影响分析

大保当煤矿地面设施占地面积为 0.36 km²,煤矿开采地表沉陷重度干扰区面积为 34.07 km²。煤

矿开采后研究区域部分植被类型将发生变化,利用 ArcGIS 软件的 tabulate area 功能计算各植被类型转化面积,再根据野外样方实测数据进行估算,见表 4。

表 4 研究区植被生物量损失情况

植被类型变化	面积/km ²	生物量减少/t
落叶阔叶灌丛→建设用地	0.09	79.20
灌草丛→建设用地	0.05	17.00
荒漠→建设用地	0.18	9.00
常绿针叶灌丛→建设用地	0.04	40.80
落叶阔叶灌丛→灌草丛	1.61	869.40
落叶阔叶林→灌草丛	2.81	104 925.40
常绿针叶灌丛→灌草丛	3.19	2 169.20
农田→灌草丛	4.40	14 784.00
灌草丛→荒漠	7.58	2 198.20
合计	19.95	125 092.20

由表 4 得出,采矿后,研究区内植被生物量将减少 125 092.2 t,下降幅度约占采矿前水平的 17.37%,表明煤矿开采对研究区自然生态系统存在一定的干扰,但生物量下降幅度小于 50%,说明未造成根本性改变^[7],自然生态系统还存在一定的恢复和调控能力。

3.4 植被变化趋势预测

近年来,毛乌素沙地气温和降水量上升,蒸发量下降,气候变化趋向于好的方向发展;同时国家致力于毛乌素沙地生态环境建设,实施了退耕还林还草及封山禁牧等一系列工程,植被在一定程度上得到恢复^[8]。红雨等^[9]研究表明,该地区植被正向演替的基本过程为:沙鞭(*Psammochloa villosa*) + 沙蒿群落→沙蒿 + 沙地柏群落→沙地柏 + 硬质早熟禾(*Poa sphondylodes*)群落→沙地柏群落→沙地柏 + 苔藓群落,最后可能发展成为地带性的本氏针茅(*Stipa burgeana*)草原。煤矿开采将对现有植被演替过程造成干扰。

首先煤矿开采会造成该地区建设用地面积扩大,使原有土地变为建设用地,地表植被遭到严重破坏,建设用地内的自然植被被人工绿化植被所代替。由表 4 可知井田开采后将有 0.04 km² 常绿针叶灌丛,0.09 km² 落叶阔叶灌丛,0.05 km² 灌草丛,0.18 km² 荒漠转变为建设用地。此外,煤矿开采造成的地面塌陷、地裂缝将对植被生长造成影响。地面塌陷后,裂缝增多,从而增加地表蒸发面,导致土壤含水量下降,降低了土壤抗旱能力,危及塌陷区植物生长;同时,塌陷还引起裂缝处植物位移,根系拉断,植株撕裂,从而使植被退化、枯萎。根据地表沉陷预测,井田开采后扰动剧烈区域面积达 34.07 km²,其中落叶阔叶灌丛 1.61 km²,常绿针叶灌丛 3.19 km²,落叶阔叶林

2.81 km², 农田 4.4 km², 灌草丛 7.58 km², 荒漠 14.48 km²。采矿后这一区域内原先以沙地柏、沙柳、沙打旺为优势种的灌木丛将向以黑沙蒿为优势种的灌草丛转化, 部分地段甚至退化为荒漠。

4 结论与讨论

大保当煤矿开采后将改变研究区域部分地段植被类型, 从而对该地区植被景观格局产生影响。从研究区煤矿开采后景观格局指标变化分析来看, 景观破碎度增加, 建设用地、荒漠及灌草丛斑块数量面积均增加; 景观异质性降低, 景观类型所占比例差异在增大。植被景观格局发生变化的同时, 采矿造成区域生态系统质量下降, 矿区植被生物量减少。随着煤矿的开采, 原有的植被演替过程将被打破, 原先以沙地柏、沙柳、沙打旺为优势种的灌木丛向以黑沙蒿为优势种的灌草丛、荒漠转化。从矿区整体变化程度来看, 煤矿开采对区域自然生态系统存在一定的干扰, 但未造成其根本性改变, 自然生态系统还存在一定的恢复和调控能力, 应采取一系列生物与工程措施引导矿区生态环境向可持续方向发展。

首先, 本次研究中植被景观格局影响分析完全依据地表沉陷预测结果进行, 由于复杂的丘陵地形与风沙区土壤的特殊性质, 地表沉陷不会完全依照沉陷等值线发生^[10], 如何表征实际情况的地表沉陷需要进一步讨论。

其次, 植被的形成受土壤及地形地貌影响。煤矿开采改变了地表形态, 并造成土壤稳定性、渗透性、养分循环状况改变, 由此造成的植被群落种类组成和数量变化仍待研究。

最后, 该地区植被对浅层地下水具有较强的依赖性, 只有少部分沙生植被依靠大气降水和凝结水维系^[11-13]。煤矿开采会引起地下水位下降, 甚至疏干, 继而造成地表植被退化。因此, 在以后的研究中需进

一步考虑不同植被对地下水的依赖程度以及地表沉陷对地下水水位的影响。

[参 考 文 献]

- [1] 秦巴列维奇. 矿井支护[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1953: 98-106.
- [2] Kim K D, Lee S, Oh H J, et al. Assessment of ground subsidence hazard near an abandoned underground coal mine using GIS [J]. *Environmental Geology*, 2006, 50(8): 1183-1191.
- [3] 马祥爱, 白中科, 邵月红, 等. 黄土丘陵采煤塌陷地非污染生态影响评价[J]. *山西农业大学学报*, 2004, 24(1): 47-51.
- [4] 赵扬锋, 张华兴, 潘一山. 条带开采中上覆岩层岩性对地表沉陷影响的数值模拟研究[J]. *煤矿开采*, 2004, 9(3): 1-3.
- [5] 贾晓娟. 平顶山某煤矿生态环境影响评价[J]. *环境科学导刊*, 2008, 27(5): 91-94.
- [6] 全占军, 程宏, 于云江, 等. 煤矿井田区地表沉陷对植被景观的影响: 以山西省晋城市东大煤矿为例[J]. *植物生态学报*, 2006, 30(3): 414-420.
- [7] 国家环境保护局. HJ/T 19-1997 环境影响评价技术导则: 非污染生态影响[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 1998.
- [8] 钱者东, 蒋明康, 刘鲁君, 等. 陕北榆神矿区景观变化及其驱动力分析[J]. *水土保持研究*, 2011, 18(2): 90-93.
- [9] 红雨, 王林和. 臭柏群落不同演替阶段某些群落特征的研究[J]. *植物研究*, 2008, 28(1): 109-113, 128.
- [10] 毛汉英, 方创琳. 兖滕两淮地区采煤塌陷地的类型与综合开发生态模式[J]. *生态学报*, 1998, 18(5): 449-454.
- [11] 杨泽元, 王文科, 黄金廷, 等. 陕北风沙滩地区生态安全地下水位埋深研究[J]. *西北农林科技大学学报: 自然科学版*, 2006(8): 73-80.
- [12] 董英, 张茂省, 卢娜, 等. 陕北能源化工基地资源开发引起的植被生态风险[J]. *地质通报*, 2008, 27(8): 1313-1322.
- [13] 温国胜, 王林和, 吉川贤. 毛乌素沙地臭柏群落地下水位的变化[J]. *自然资源学报*, 2005, 20(2): 266-271.