

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第34卷 第11期 Vol.34 No.11 **2014**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 34 卷 第 11 期 2014 年 6 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

土壤大孔隙流研究现状与发展趋势..... 高朝侠,徐学选,赵娇娜,等 (2801)

能源基地生态修复

我国大型煤炭基地建设的生态恢复技术研究综述..... 吴 钢,魏 东,周政达,等 (2812)

国家大型煤电基地生态环境监测技术体系研究——以内蒙古锡林郭勒盟煤电基地为例.....

..... 魏 东,全 元,王辰星,等 (2821)

基于 DPSIR 模型的国家大型煤电基地生态效应评估指标体系 周政达,王辰星,付 晓,等 (2830)

西部干旱区煤炭开采环境影响研究..... 雷少刚,卞正富 (2837)

露天煤矿区生态风险受体分析——以内蒙古平庄西露天煤矿为例..... 高 雅,陆兆华,魏振宽,等 (2844)

草原区矿产开发对景观格局和初级生产力的影响——以黑岱沟露天煤矿为例.....

..... 康萨如拉,牛建明,张 庆,等 (2855)

三七对土壤中镉、铬、铜、铅的累积特征及健康风险评价 林龙勇,阎秀兰,廖晓勇,等 (2868)

某焦化场地土壤中多环芳烃分布的三维空间插值研究..... 刘 庚,毕如田,权 腾,等 (2876)

个体与基础生态

杉木人工混交林对土壤铝毒害的缓解作用 雷 波,刘 彬,罗承德,等 (2884)

基于 $\delta^{15}\text{N}$ 稳定同位素分析的人工防护林大型土壤动物营养级研究 张淑花,张雪萍 (2892)

铅镉抗性菌株 JB11 强化植物对污染土壤中铅镉的吸收 金忠民,沙 伟,刘丽杰,等 (2900)

陕北地区石油污染土壤中不动杆菌属的筛选、鉴定及降解性能 王 虎,吴玲玲,周立辉,等 (2907)

祁连山高山植物根际土放线菌生物多样性..... 马爱爱,徐世健,敏玉霞,等 (2916)

新疆沙冬青 AM 和 DSE 真菌的空间分布 姜 桥,贺学礼,陈伟燕,等 (2929)

聚糠茶水剂对不同积温带玉米花后叶片氮同化的影响..... 高 娇,董志强,徐田军,等 (2938)

内蒙古河套灌区玉米与向日葵霜冻的关键温度..... 王海梅,侯 琼,云文丽,等 (2948)

四种类型栓皮栎栲胶含量..... 尹艺凝,张文辉,何景峰,等 (2954)

食物胁迫对翅二型丽斗蟋飞行肌和繁殖发育的影响..... 吴红军,赵吕权,曾 杨,等 (2963)

颜色对梨小食心虫产卵选择性的影响..... 杨小凡,马春森,范 凡,等 (2971)

缓释单萜类挥发物对落叶松毛虫行为及落叶松主要防御蛋白的影响..... 林 健,刘文波,孟昭军,等 (2978)

种群、群落和生态系统

黄土丘陵沟壑区不同植被恢复格局下土壤微生物群落结构 胡婵娟,郭 雷,刘国华 (2986)

刺参池塘底质微生物群落功能多样性的季节变化..... 闫法军,田相利,董双林,等 (2996)

基于 DGGE 技术的茯砖茶发花过程细菌群变化分析 刘石泉,胡治远,赵运林 (3007)

景观、区域和全球生态

中国区域间隐含碳排放转移..... 刘红光,范晓梅 (3016)

西南地区退耕还林工程主要林分 50 年碳汇潜力 姚 平,陈先刚,周永锋,等 (3025)

青海湖流域草地植被动态变化趋势下的物候时空特征..... 李广泳,李小雁,赵国琴,等 (3038)

黑龙江省温带森林火灾碳排放的计量估算..... 魏书精,罗碧珍,孙 龙,等 (3048)

三峡库区森林植被气候生产力模拟..... 潘 磊,肖文发,唐万鹏,等 (3064)

三峡水库支流拟多甲藻水华的形成机制..... 朱爱民,李嗣新,胡 俊,等 (3071)

流域库坝工程开发的生物多样性敏感度分区..... 李亦秋,鲁春霞,邓 欧,等 (3081)

城乡与社会生态

基于集对分析的京津冀区域可持续发展协调能力评价..... 檀菲菲,张 萌,李浩然,等 (3090)

江西省自然保护区发展布局空缺分析 黄志强,陆 林,戴年华,等 (3099)

鄱阳湖生态经济区生态经济指数评价 黄和平,彭小琳 ,孔凡斌,等 (3107)

基于有害干扰的中国省域森林生态安全评价..... 刘心竹,米 锋,张 爽,等 (3115)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 328 * zh * P * ￥90.00 * 1510 * 35 * 2014-06



封面图说：三峡库区森林植被——三峡地区属亚热带区域,山高坡陡、地形复杂、物种丰富,森林是其最重要的自然资源之一,其面积占到库区总面积的 37%左右,库区内现有森林可初步分为 2 个植被型组,8 个植被型,18 个群系组,44 个群系,102 个群丛,主要树种有马尾松、杉树、柏树等,低海拔处多为落叶阔叶林、常绿阔叶林,较高海拔分布有针阔混交林、针叶混交林、灌木林等,人工林主要有经济林、竹林等。对三峡库区森林气候生产力进行模拟,分析库区森林植被的生产力并进行预测,可以为三峡库区的生态建设决策提供科学依据。

彩图及图说提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@ 163.com

DOI: 10.5846/stxb201307281968

雷少刚, 卞正富. 西部干旱区煤炭开采环境影响研究. 生态学报, 2014, 34(11): 2837-2843.

Lei S G, Bian Z F. Research progress on the environment impacts from underground coal mining in arid western area of China. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(11): 2837-2843.

西部干旱区煤炭开采环境影响研究

雷少刚*, 卞正富

(中国矿业大学环境与测绘学院, 徐州 221116)

摘要:大规模煤炭资源开采与干旱脆弱生态环境的空间耦合将会诱发日益严峻的社会、环境问题。分析了我国西部干旱区煤炭地下开采对植被、土壤水、地下水、土壤等关键环境要素影响的研究进展与不足;指出现有研究主要以单一环境要素、局部尺度为主,缺乏多尺度综合的环境要素协同损伤规律与井上下联动响应机理等基础研究。因此,现有成果还无法满足指导煤炭开采技术改进与控制环境损伤的需要。建议从井下到井上,从工作面、矿井、矿区、流域多尺度综合实现地空一体化同步监测,加强对西部干旱矿区各关键环境要素的协同损伤规律研究;加强对井上下环境要素对开采地质条件响应机理研究;建立不同开采条件、不同评价尺度下,矿区开采环境损伤的评价与预测模型。

关键词:煤炭开采;干旱区;环境要素;环境扰动

Research progress on the environment impacts from underground coal mining in arid western area of China

LEI Shaogang*, BIAN Zhengfu

School of Environment Science and Spatial Informatics, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China

Abstract: It is more and more urgent that large scale coal mining is expanding in western area of China, where is of arid and fragile environment. The research progress of environment impacts on the key environmental elements, such as vegetation, soil moisture, underground water and soil from underground coal mining has been analyzed. The research deficiency is that the existing studies mostly focused on single environmental element within local scale without consideration of mining geology condition. The existing research results could not be applied to instruct the mining technology and reduce the environment impacts. Therefore, it is proposed to study the synergies disturbance between the key environmental elements under the influence of coal mining under multi-scales, e. g. working face, mining area, watershed etc. Furthermore, the response mechanism of the environment elements induced by different underground geological conditions has to be discovered, which is significant to develop the environment impact assessment and prediction model for optimizing the mining technology and protecting the arid fragile environment.

Key Words: coal mining; arid area; environment elements; environmental disturbance

近年来,煤炭在我国一次能源结构中煤炭生产与消费一直在 70%左右。随着我国东部矿区煤炭资源的逐渐枯竭,煤炭资源开发的重心逐步向西部转

移。“十二五”期间,我国重点建设的 14 个大型煤炭基地主要集中在生态环境脆弱,水土流失严重的晋、陕、蒙、宁、青、新地区。目前西部探明储量达

基金项目:“十二五”科技支撑计划课题(2012BAC10B03);国家自然科学基金项目(51004100);中国博士后科学基金特别资助(201104543)

收稿日期:2013-07-28; 网络出版日期:2014-02-24

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

10627.7 亿 t, 占全国已探明储量的 81.2%。根据我国能源中长期发展战略规划预测, 到“十二五”末煤炭需求可能突破 40 亿 t/a, 其中西部 6 省年产能预计达到 30 亿 t, 达到 75%^[1-2]。由此可见, 西部煤炭开采将在我国未来能源发展中处于不可或缺的重要地位。

但是由于深居内陆, 我国西部地区水资源占有量仅占全国的 8.3%, 大多属于干旱半干旱地区^[3]。规模日益扩大的煤炭开采不可避免地引起水土环境变化、植被衰退、地表荒漠化, 使原本脆弱的生态环境日趋恶化。当地居民与煤炭企业关于环境问题的争端频频发生^[4], 社会生态环境问题加剧。干旱区煤炭开采引发的环境问题已成为社会各界关注热点^[4-10]。相对东部矿区来讲, 西部煤炭资源赋存条件较好, 以机械化综放开采为主, 具有明显的高产、高效、高强度开采特点。因此, 西部地区煤炭地下开采对岩层与地表的扰动程度较一般的采煤工作面更为剧烈, 由此产生的生态环境问题也与传统采煤方法不同^[11-12]。

由于西部煤矿区开发历史较短, 现有研究成果还无法满足指导该地区煤炭资源高强度开采与脆弱生态环境保护协调发展的需求。必需深入研究煤炭开采对矿区植被、水、土壤等关键环境要素与脆弱环境系统的影响机理, 预测开采对生态环境损伤程度, 为优化采矿工艺、保护与修复生态环境提供理论依据。鉴于此, 本文通过分析干旱区煤炭地下开采的环境影响研究进展, 探讨现有研究不足与有待突破的研究内容。

1 干旱区地下开采环境影响问题研究进展

干旱矿区生态环境是由地质、地貌、气候、水、植物、土壤以及微生物等共同组成的环境综合体; 其中植被是干旱区地表的主要生物与景观, 植被生长的限制因素主要是土壤水, 而地下水位的高低对土壤水含量大小起着决定性作用。因此, 水(地下水、土壤水)与植被分别是干旱矿区尤为关键的“外在”与“内在”环境要素。不少学者对干旱区煤炭资源地下开采引起的系列环境问题进行过研究报道, 主要涉及以下几个方面。

1.1 对地下水的影响

煤炭地下开采对地下水的影响: 李连娟就榆神

矿区矿山开发对水环境的影响主要归结为地下水位下降、地下水补排平衡状态的破坏和水质污染的问题^[13]。王力等分析了榆神煤田开采对地下水和植被的影响, 认为采煤对地下水的破坏会严重影响矿区植被的恢复与重建^[14]。薛强等采用数学模型和 DRASIC 评价指标体系法对矿区地下水脆弱性进行初步分析和研究, 给出了相应评价因子, 并提出了采煤区地下水水环境脆弱性评价指标体系^[15]。范立民以神木北部矿区为例, 论述了采煤引起的地下水位下降及由此产生的泉水流量衰减、河流干涸及生态环境等问题^[16]。张发旺从地表水、包气带水、地下水等方面, 研究了采煤塌陷对水环境的影响效应^[17]。归纳起来, 煤炭开采对地下水的影响主要表现在: 改变含水层结构。当煤层开采后, 覆岩失去支撑, 引起采空区顶板岩层的变形和塌陷, 从而导致上部含水层结构的破坏。降低地下水位。煤层开采使上覆岩层不断发生冒落, 形成冒落带及导水裂隙带, 并在地表产生裂隙和塌陷区, 造成含水层结构和地下水径流、排泄条件发生变化。减少水资源。对地下水的影响必将导致区域地表水、地下水资源的枯竭, 水资源短缺问题加重。

1.2 对土壤水的影响

开采沉陷引起的土体移动与变形将直接改变包气带土体结构特性与土壤水分布。李惠娣等^[18]根据现场实验数据, 利用包气带土壤水分布的特征讨论了采矿塌陷引起的土壤结构变化对当地环境造成的不利影响。魏江生等研究表明, 塌陷区的土壤含水量一般小于非塌陷区, 主要是因为塌陷形成的裂缝增大了土壤蒸发的表面积, 进一步降低了土壤水分^[19]。宋亚新^[20]、赵红梅^[21]针对采煤塌陷区包气带土壤水分的变化规律进行了野外调查与实验模拟, 认为开采沉陷将会降低土壤持水能力和土壤含水量。何金军等研究发现, 相对沙土采煤塌陷对黄土丘陵区土壤含水量影响最大^[22]。干旱区煤炭地下开采对土壤水的影响可概括为^[20-22]: ①改变土壤水贮存条件。当煤层开采后, 采空区顶板岩层的变形和塌陷, 从而破坏上部土壤水贮存条件; ②减少对土壤水补给。随着塌陷区内上覆含水层水位下降范围扩大, 降低地下水对土壤水的补给能力, 导致区域地表水、土壤水的枯竭, 水资源短缺问题加重。

1.3 对植被的影响

煤矿区剧烈的开采活动, 改变了矿区以及周边

地区水体、土壤等生境的初始条件,并将对矿区地表植被造成不同程度地影响。全占军等发现煤炭开采造成的地表沉陷,使得矿区土壤养分流失,地表植被景观破碎及隔离程度严重。此外,浅层地下水位的下降,也将造成一些植被死亡^[23]。杨选民等研究发现塌陷区灌木沙蒿的死亡率比非塌陷区高出16%^[24]。赵国平等对补连塔风沙区植被调查表明,采煤塌陷直接导致植被的死亡率增大,降低了塌陷区植被防风固沙的作用^[25]。丁玉龙等定量分析了塌陷过程中土壤的拉伸和压缩变形对植物根系产生的破断损伤影响^[26]。周莹等对神东矿区6个矿3种不同地貌下2个不同沉陷年份及对照区地表植被进行了调查,结果表明沉陷后植物群落组成成分较沉陷前增多,且沉陷1年区比沉陷当年区物种数多,它们之间具有明显的相关性^[27]。这一方面说明煤炭开采地表沉陷对植物群落组成产生了干扰影响,另一方面需要利用 Connell 提出的“中度干扰假说”来解释在特定的沉陷强度范围,适度的干扰有利于植物群落达到较高的多样性水平^[28]。

1.4 对土壤的影响

地表沉陷将会破坏土壤结构、改变土壤的理化性质。王健等通过测定发现在干旱和半干旱风沙采煤塌陷地与非塌陷区相比,塌陷沙丘物理性粘粒含量明显减少;沙丘底部和丘间低地土壤容重明显降低;塌陷沙丘40—100 cm内土壤容重明显减少;0—100 cm内的全氮、全磷和全钾含量无明显变化^[29]。何金军等对干旱塌陷黄土丘陵区土壤进行了研究,发现塌陷对土壤密度影响很小;与对照区相比较,塌陷使土壤总孔隙度明显变小;塌陷区土壤物理性砂粒含量增加,有砂化趋势;塌陷对黄土丘陵区土壤含水量影响最大,其次是物理性砂粒含量,再次是土壤密度和孔隙度^[30]。陈士超等认为由于土壤机械组成粗,物理性粘粒少,导致土壤比表面积较小,持水保肥能力弱,矿质养分低,抗蚀能力差,从而严重影响肥料的有效性发挥,加之采矿引起地表沉陷,使肥分从土壤表层向深层渗漏、流失,土壤肥力赋存特征发生了明显改变,因此不利于植物生长和植被恢复^[31]。栗丽等研究表明塌陷坡耕地土壤物理性黏粒含量随塌陷时间的延长而逐渐减少。土壤毛管孔隙度则随塌陷年限的增加而减小,非毛管孔隙度则增加。土壤容重随塌陷年限的增加而减小,随土层

深度的增加而增加。土壤田间持水量随塌陷年限的延长而逐渐减少。土壤有机质、碱解氮、速效磷含量随塌陷时间的延长而逐渐降低。这反映出采煤塌陷破坏了土壤结构,促进了土壤淋溶侵蚀,使得土壤理化性质恶化^[32]。

此外,矸石堆、煤泥和浅部煤层自燃放出有害气体,污染大气。矿区基础设施建设,如运输道路,洗煤厂等都不可避免地影响矿区的环境,脆弱的干旱区由于人类对该区资源的开采可能将变得更加脆弱。

2 尚待研究的问题

现有关于干旱矿区煤炭开采环境扰动影响规律的研究多是面向单一地表环境要素研究为主,缺乏植被、水土多环境要素间协同损伤演变关系研究;缺乏工作面、矿区、流域等多尺度空间异质分析。

2.1 缺少开采扰动下环境要素之间协同损伤规律的研究

地下水、土壤水、植被作为干旱区的关键环境要素,他们之间存在着复杂的动态平衡关系。相关研究表明,土壤含水量是限制植物生长发育的重要生态因子,植物群落的生长发育及其适宜生产力是由土壤水分供给状况决定。在相同的立地条件下,土壤水分补给量越大,愈有利于承载更多的植物。地下水位的不断下降和土壤含水减少是引起下游植被退化的主导因子^[33]。徐海量等对土质潜水蒸发实验研究表明,地下水位的高低直接影响植被长势的好坏和现有植物种类的多少,但是这种影响在很大程度上是通过影响土壤含水率来实现的^[34]。雷少刚采用遥感、探地雷达、现场观测等多种手段,以神东干旱矿区为例进行了土壤水、地下水、植被指数(NDVI)关键环境要素之间相互作用关系的推导分析^[35],如图1所示。

煤炭开采对地下水的破坏则直接打破了这种平衡关系,这势必将影响到其他环境要素,引起协同损伤。因此,煤炭开采对地下水、土壤水、植被等关键环境要素的扰动损伤具有并发性、协同性。其主要协同关系有:开采区地下水位下降与采空区上方土壤水、植被的协同损伤关系;局部采区地下水的损失与区域尺度土壤水、植被变化规律的协同关系;无潜水区采空区上方土壤水与植被损伤协同关系。研究关键环境要素的协同损伤规律有助于深入认识煤

炭开采与干旱脆弱环境的关系基础及其扰动机制, 从而建立干旱矿区环境损伤评价预测模型。

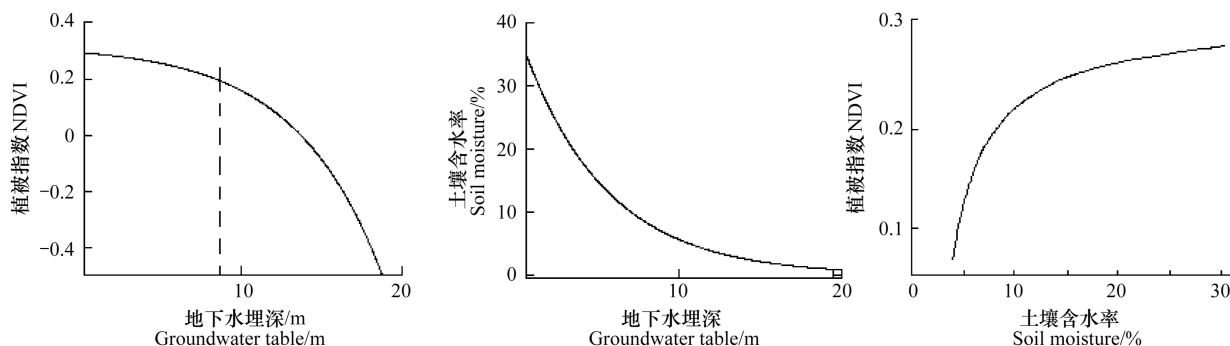


图1 干旱矿区植被(NDVI)、土壤水、地下水关键环境要素相互作用关系

Fig.1 Relationship between the NDVI, soil water and underground water at arid mining area

2.2 缺乏多尺度下环境要素演变的空间异质性研究

事实表明煤炭开采引起的环境问题具有不可避免的空间扩散性,并将对矿区周边区域产生环境扰动影响。因此,研究煤矿开采的生态环境问题不应局限于煤矿开采区,还应向外扩散至其对区域生态环境产生影响的范围。由于受流域水文地质条件、土壤、地形等众多因素影响,这种环境扰动的分布范围、表现形态与强度又具有明显空间异质性^[7]。现有研究多大多仅限于某一工作面、沉陷区或矿区尺度范围;而对于煤炭开采可能造成更大范围的环境扰动缺乏区域、流域等大尺度研究。加强这方面的研究将有利于全面认识评价重大人类工程活动对区域环境的影响,为控制改善区域环境质量奠定理论基础。

多尺度主要是指研究范围涉及工作面、盘区、矿井、矿区、流域等多种空间尺度。损伤演变监测是指煤炭地下开采对矿区关键环境要素的扰动形式与破坏强度的空间演变监测。由于研究尺度的差异,往往可能导致对矿区环境要素扰动影响的评价认识不一致,因此需要多尺度综合分析。例如:在神东矿区,当地采矿企业认为他们投入了大量的资金用于植树绿化、环境治理,使得近些年矿区大范围植被覆盖度有了较大的提高,该企业因此还获得了2005年的“中华环境大奖”;然而当地居民则认为采矿导致地水位下降、草木枯死、生活环境受到破坏^[4]。基于遥感监测的植被覆盖分析表明,神东矿区植被覆盖近些年有明显好转^[36-37]。但是,基于现场调查与理论分析的小尺度研究则认为,煤矿开采造成了区域植被的衰减与荒漠化加剧^[24-25]。导致这些认识差异的原因在于:煤矿开采对生态环境的扰动与水文地

质条件具有空间异质性,加上监测尺度的差异,出现了不同的认识。

2.3 地表环境演变与煤矿开采参数井上下联动机理不明

矿区地表生态环境扰动的根源在于地下煤炭开采引起的系列水文、岩土环境条件改变。因此研究地下煤炭开采对地表生态环境的影响机理,就必需需要井上下联动分析。也就是说需要将各评价单元植被、土壤水、地下水的时序变化与地下开采规模、开采强度、覆岩运动、地表沉陷的时序变化等进行空间关联分析,才能找出关键环境要素的变化地特定开采地质条件的响应机理。例如,岩层及地表移动与地下水位下降的关系,土壤侵蚀强度与土壤质量的空间分布与采动岩体空间结构形态,地表移动变形与渗流场时空演化之间的关系,水位下降与物种多样性、陆地生物量之间的关系。这些基础问题涉及采矿、水文、地质、生态、植被等多个学科领域。但是,由于受专业背景的限制,一方面,井下开采更多注重生产的安全、高产、高效,并未过多地考虑优化开采技术与控制地表生态环境的损伤;另一方面,在研究地表生态环境要素的演变规律时,则多是进行采前与采后、采区与非采区的环境要素变化对比,很少考虑是在什么样的地质开采条件下将会产生什么样的生态环境扰动损伤。

3 结语

本文分析了我国西部干旱区煤炭地下开采对植被、土壤水、地下水、土壤质量等关键环境要素影响的研究进展。总体而言,西部煤炭开采的环境影响已有较多的研究,但是环境要素在开采扰动下的响

应机理、多尺度空间异质特征等方面的研究很不系统、很不深入,现有研究成果也就无法用于指导煤炭开采技术改进与生态环境损伤控制。鉴于此,建议今后围绕以下关键点,寻求突破。

(1)加强对西部干旱矿区各关键环境要素的同步监测方法与协同损伤规律的研究。科学设计实验方案,通过集成现场跟踪调查、多源多时相多尺度遥感监测、现代地球物理探测技术,对开采扰动前、中、后各阶段的地下水、土壤水、植被各关键环境要素的空间演变特征,从工作面、矿井、矿区、流域等多尺度进行地空一体化监测;并利用 GIS 空间分析技术找出各环境要素的协同损伤规律。

(2)加强对井上下环境要素对开采地质条件响应机理研究。需要选择多种开采地质条件的采煤工作面,从采前、采中、采后连续对井下开采厚度、深度、速度、岩移、地表变形等与环境要素变化进行同步跟踪,才能深入揭示地下开采对环境要素的影响与控制机理。

(3)加强煤炭开采对环境系统影响的预测与控制模型研究。通过以上两点的深入研究,建立不同开采条件、不同空间尺度下各环境要素的开采影响评价与预测模型;并在此基础上,优化煤炭开采技术,减轻开采的环境影响损伤。

References:

- [1] Qian M G. On sustainable coal mining in China. *Journal of China coal society*, 2010, 35(4):529-535.
- [2] Qian M G. The coal capacity expansion triggered Midwest environmental worries. *Technology Times*, 2011-2-20 [2012-11-23]. http://www.cas.cn/xw/zjsd/201102/t20110221_3073269.shtml.
- [3] Ye G J. *Coal Geology & Exploration Statue of Coal, Water resources and ecologic environment in five provinces, northwestern China*, 2000,6(1):39-42.
- [4] Wang L, Du H G, Ding J. Ecological destruction, compensation deductions, some farmers to change the "three noes", *Xinhua Shaanxi channels*. 2011-02-20 [2012-06-11], http://news.xinhuanet.com/focus/2004-04/23/content_1432006.htm.
- [5] Charles H. Gardner and James D. Simons. N. C. Department of Natural Resources & Community Development. www.p2pays.org/ref/19/18793.pdf.
- [6] Diana M F, Raina M M, Margarita O V. The impact of unconfined mine tailings in residential areas from a mining town in a semi-arid environment: Nacozari, Sonora, Mexico, 2009,77(1):140-147.
- [7] Wang Y J, Zhang D C, Lian D J, Li Y F, Wang X F. Cumulative Effects of Coal Mine Development on Resources and Environment. *Science and Technology Review*, 2010, 28(10):61-67.
- [8] Zhang D S, Fan G W, Ma L Q, Wang A, Liu Y D. Harmony of large-scale underground mining and surface ecological environment protection in desert district-a case study in Shendong mining area, northwest of China. *Procedia Earth and Planetary Science*, 2009(1):1114-1120.
- [9] Otto F. Aspects of surface and environment protection in German mining areas. *Mining Science and Technology*, 2009, 19(5):615-619.
- [10] Elisabeth B, Marina H, Joachim L, Yvonne K, Alois U, Klaus O. The impact of mining activities on the environment reflected by pollen, charcoal and geochemical analyses. *Journal of Archaeological Science*, 2010,37(7):1458-1467.
- [11] Liu G Q, Tan Z X, Yue Z C, Deng K Z. Field survey study on surface subsidence and deformation law of longer fully mechanized coal face with sublevel caving. *Mining Safety and Environmental Protection*, 2007,34(2):7-9.
- [12] Peng Y W, Qi Q X, Li H Y, Deng Z G. Numerical simulation and analysis on influencing factors of fractured zone height of high strength underground mining. *Journal of China Coal Society*, 2009,3(2):145-149.
- [13] Li L J. Influence of mine development on the aquatic environment and control measures in Yulin-shenmu mining area. *Coal Geology of China*, 2005, 17(5):47-49.
- [14] Wang L, Wei S P, Wang Q J. Effect of coal exploitation on groundwater and vegetation in the yushenfu coal mine, *Journal of China Coal Society*,2008,33(12):1409-1413.
- [15] Xue Q, Wang H Y. Study on groundwater vulnerability assessment in coal mining area. *Journal of Liaoning Technical University*, 2005,24(1):8-11.
- [16] Fan L M. The analysis of northern Shaanxi coal caused by groundwater seepage and its counter measures. *Mining Safety and Environmental Protection*, 2007, 34(5):62-64.
- [17] Zhang F W, Zhao H M, Song Y X, Cheng L. The effect of coal-mining subsidence on water environment in the shenfu-dongsheng mining area. *Acta Geoscietica Sinica*, 2007, 28(6):521-527.
- [18] Li H D, Yang Q, Nie Z Q, Influences and Environmental Effects on Different Soil Structure to Parameters of Vadose Zone. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2002(6):100-104.
- [19] Wei J S, He X, Hu C Y, Influence of Ground Collapse Caused by Coal Mining Activities on the Water Characteristics of Sandy Soil in Arid and Semi- arid Area, *Journal of Arid Land Resources and Environment*. 2006, 20(5):84-88.
- [20] Song Y X. Soil Water Migration & Environment Effect in Shenfu-Dongsheng Subsidence Area. *Chinese Academy of Geological Sciences*, 2007.
- [21] Zhao H M, Research of Soil Water Distribution and Dynamic

- Characteristics under the Coal Mining Condition. Chinese Academy of Geological Sciences, 2006.
- [22] He J J, Wei J S, He X. Ground subsidence caused by mining affected to soil physics features in loess hills. *Coal Science and Technology*, 2007, 35(12):92-96.
- [23] Quan Z J, Cheng H, Yu Y J. Assesment of subsidence impact on vegetation landscape in coal mining area: A case study of Dongda mine in JIN CHENG city. Shanxi province. *Journal of Plant Ecology*, 2006, 30(3):414-420.
- [24] Yang X M, Ding C Y. Ecological environmental problems and countermeasures in Shenfu dongsheng mining area. *COAL Mine Environmental Protection*, 2000, 14(1):69-72.
- [25] Zhao G P, Feng B, Xu L X, Zuo H J, Zhang J P, Hu C Y. Effects of coal mining subsidence on the changes of vegetation community in semiarid and storm area. *Journal of Northwest Forestry University*, 2010, 25(1):52-56.
- [26] Ding Y L, Lei S G, Bian Z F, Qie C L. Distortion-resistant ability of *Tetraena mongolica* root at the mining subsidence area. *Journal of China University of Mining & technology*, 2013, 42(6):970-974.
- [27] Zhou Y, He X, Xu J. Effects of coal mining subsidence on vegetation composition and plant diversity in Semi-Arid Region. *Journal of Ecology*, 2010, (29)8:4517-4128.
- [28] Connell J H. Diversity in tropical rain forest and coral reefs. *Science*, 1978, 4335(199):1302-1310.
- [29] Wang J, Gao Y, Wei J S, Dai H Y, Fang B. Influence of Mining Subsidence on Physical and Chemical Properties of Soil in Windy Desert Area. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2006, 20(5):52-55.
- [30] He J J, Wei J S, He X, Lu L, Niu X. Ground subsidence caused by mining affected to soil physics features in loess hills. *Coal Science and Technology*, 2007, 35(12):92-96.
- [31] Chen S C, Zuo H J, Hu C Y, Wang Y X, Qiao B J. Study on soil fertility characteristics of huojitu excavated coal pits of Shendong diggings. *Journal of Inner Mongolia Agricultural University*, 2009, 30(2):115-120.
- [32] Li L, Wang Y X, Wang W B. Effects of Mining subsidence on physical and chemical properties of soil in slope land in hilly-gully region of loess plateau. *Chinese Journal of Soil Science*, 2010, 41(5):1237-1240.
- [33] Chen Y N, Li W H, Xu H L, Liu J Z, Zhang H F, Chen Y P. The Influence of Groundwater oil vegetation in the lower reaches of Tarim river, China. *The Geographical Journal*, 2003, 58(4):542-549.
- [34] Xu H L, Song Y D, Wang Q, Komti A. The effect of groundwater level on vegetation in the middle and lower reaches of the Tarim river, Xinjiang, China. *Journal of Plant Ecology*, 2004, 28(3):400-405.
- [35] Lei S G. Study on Influence of water shortages mine monitoring of key environmental factors and mining. Xuzhou: China University of Mining and Technology press, 2012.
- [36] Wu L X, Ma B D, Liu S J. Analysis to vegetation coverage change in Shendong mining area with SPOT NDVI data. *Journal of China Coal Society*, 2009, 34(9):1217-1222.
- [37] Lei S G, Bian Z F, Daniel J, He X. The Spatio-temporal variation of vegetation in an arid and vulnerable coal mining region. *Mining Science and Technology*, 2010, 20(3):485-490.

参考文献:

- [1] 钱鸣高.煤炭的科学开采.煤炭学报,2010,35(4):529-535.
- [2] 钱鸣高.煤炭产能扩张引发中西部环境隐忧.科技时报,2011-02-20 [2012-11-23]. http://www.cas.cn/xw/zjzd/201102/t20110221_3073269.shtml.
- [3] 叶贵均.西北五省(区)煤炭资源水资源及生态环境.煤田地质与勘探,2000,6(1):39-42.
- [4] 王利,都红刚,丁静.生态遭破坏,补偿被克扣,部分农民变“三无”.新华网陕西频道,2004-04-23 [2012-06-11]. http://news.xinhuanet.com/focus/2004-04/23/content_1432006.htm.
- [7] 汪云甲,张大超,连达军,李永峰,王行风.煤炭开发的资源环境累积效应.科技导报(北京),2010,28(10):61-67
- [11] 刘光庆,谭志祥,岳尊彩,邓喀中.超长综放面开采地表移动变形规律的实测研究.矿业安全与环保,2007,34(2):7-9.
- [12] 彭永伟,齐庆新,李宏艳,邓志刚.高强度地下开采对岩体断裂带高度影响因素的数值模拟分析.煤炭学报,2009,3(2):145-149.
- [13] 李连娟.榆神矿区矿山开发对水环境的影响及防治措施探讨.中国煤田地质,2005,17(5):47-49.
- [14] 王力,卫三平,王全九.榆神府煤田开采对地下水和植被的影响.煤炭学报,2008,33(12):1409-1413.
- [15] 薛强,王惠芸.采煤矿区地下水脆弱性评价.辽宁工程技术大学学报,2005,24(1):8-11.
- [16] 范立民.陕北地区采煤造成的地下水渗漏及其防治对策分析.矿业安全与环保,2007,34(05):62-64.
- [17] 张发旺,赵红梅,宋亚新,陈立.神府东胜矿区采煤塌陷对水环境影响效应研究.地球学报,2007,28(6):521-527.
- [18] 李惠娣,杨琦,聂振龙,张光辉,尚海涛.土壤结构变化对包气带土壤水分参数的影响及环境效应.水土保持学报,2002(6):100-104.
- [19] 魏江生,贺晓,胡春元,王健.干旱半干旱地区采煤塌陷对沙质土壤水分特性的影响.干旱区资源与环境,2006,20(5):84-88.
- [20] 宋亚新.神府-东胜采煤塌陷区包气带水分运移及生态环境效应研究[D].中国地质科学院,2007.
- [21] 赵红梅.采煤塌陷条件下包气带土壤水分分布与动态变化特征研究[D].中国地质科学院,2006.
- [22] 何金军,魏江生,贺晓,卢立娜,牛香.采煤塌陷对黄土丘陵区土壤物理特性的影响.煤炭科学技术,2007,35(12):92-96.
- [23] 全占军,程宏,于云江,邹学勇.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.植物生态学报,

- 2006,30(3):414-420.
- [24] 杨选民,丁长印.神府东胜矿区生态环境问题及对策.煤炭环境保护,2000,14(1):69-72.
- [25] 赵国平,封斌,徐连秀,左合君,张继平,胡春元.半干旱风沙区采煤塌陷对植被群落变化影响研究.西北林学院学报,2010,25(1):52-56.
- [26] 丁玉龙,雷少刚,卞正富,郗晨龙.开采沉陷区四合木根系抗变形能力分析.中国矿业大学学报,2013,42(6):970-974.
- [27] 周莹,贺晓,徐军.半干旱区采煤沉陷对地表植被组成及多样性影响.生态学报,2010,29(8):4517-4128.
- [29] 王健,高永,魏江生,代海燕,方彪.采煤塌陷对风沙区土壤理化性质影响的研究.水土保持学报,2006,20(5):52-55.
- [30] 何金军,魏江生,贺晓,卢立娜,牛香.采煤塌陷对黄土丘陵区土壤物理特性的影响.煤炭科学技术,2007,35(12):92-96.
- [31] 陈士超,左合君,胡春元,王懿霞,乔保军.神东矿区活鸡兔采煤塌陷区土壤肥力特征研究.内蒙古农业大学学报,2009,30(2):115-120.
- [32] 栗丽,王日鑫,王卫斌.采煤塌陷对黄土丘陵区坡耕地土壤理化性质的影响.土壤通报,2010,41(5):1237-1240.
- [33] 陈亚宁,李卫红,徐海量,刘加珍,张宏峰,陈亚鹏.塔里木河下游地下水位对植被的影响.地理学报,2003,58(4):542-549.
- [34] 徐海量,宋郁东,王强,艾合买提.塔里木河中下游地区不同地下水位对植被的影响.植物生态学报,2004,28(3):400-405.
- [35] 雷少刚.缺水矿区关键环境要素的监测与采动影响规律研究.徐州:中国矿业大学出版社,2012.
- [36] 吴立新,马保东,刘善军.基于 SPOT 卫星 NDVI 数据的神东矿区植被覆盖动态变化分析.煤炭学报,2009,34(9):1217-1222.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.34, No.11 June, 2014 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

Review on macropore flow in soil GAO Zhaoxia, XU Xuexuan, ZHAO Jiaona, et al (2801)

Ecological Restoration

A summary of study on ecological restoration technology of large coal bases construction in China
..... WU Gang, WEI Dong, ZHOU Zhengda, et al (2812)

The ecology and environment monitoring technical systems in national large-scale coal-fired power base: a case study in Xilingol
League, Inner Mongolia WEI Dong, QUAN Yuan, WANG Chenxing, et al (2821)

Evaluation index system on ecological effect of national large-scale coal-fired power base based on the dpsir conceptual model
..... ZHOU Zhengda, WANG Chenxing, FU Xiao, et al (2830)

Research progress on the environment impacts from underground coal mining in arid western area of China
..... LEI Shaogang, BIAN Zhengfu (2837)

Ecological risk receptors analysis of pingzhuang western open-cut coal mining area in inner mongolia
..... GAO Ya, LU Zhaohua, WEI Zhenkuan, et al (2844)

Impacts of mining on landscape pattern and primary productivity in the grassland of Inner Mongolia: a case study of Heidaigou
open pit coal mining KANG Sarula, NIU Jianming, ZHANG Qing, et al (2855)

Accumulation of soil Cd, Cr, Cu, Pb by *Panax notoginseng* and its associated health risk
..... LIN Longyong, YAN Xiulan, LIAO Xiaoyong, et al (2868)

3D interpolation of soil PAHs distribution in a coking contaminated site of China ... LIU Geng, BI Rutian, QUAN Teng, et al (2876)

Autecology & Fundamentals

Catabatic effect from artificial mixed plantation of *Cunninghamia lanceolata* on soil aluminum toxicity
..... LEI Bo, LIU Bin, LUO Chengde, et al (2884)

Study on the trophic levels of soil macrofauna in artificial protection forests by means of stable nitrogen isotopes
..... ZHANG Shuhua, ZHANG Xueping (2892)

Lead- and cadmium-resistant bacterial strain JB11 enhances lead and cadmium uptake in the phytoremediation of soils
..... JIN Zhongmin, SHA Wei, LIU Lijie, et al (2900)

Identification and oil-degrading performance of *Acinetobacter* sp. isolated from North Shaanxi oil-contaminated soil
..... WANG Hu, WU Lingling, ZHOU Lihui, et al (2907)

Phylogenetic and physiological diversity of actinomycetes isolated from plant rhizosphere soils in the Qilian Mountains
..... MA Aiai, XU Shijian, MIN Yuxia, et al (2916)

Spatial distribution of AM and DSE fungi in the rhizosphere of *Ammopiptanthus nanus*
..... JIANG Qiao, HE Xueli, CHEN Weiyan, et al (2929)

Effects of PASP-KT-NAA on maize leaf nitrogen assimilation after florescence over different temperature gradients
..... GAO Jiao, DONG Zhiqiang, XU Tianjun, et al (2938)

Key temperatures of corn and sunflower during cooling process in Hetao irrigation district, Inner Mongolia
..... WANG Haimei, HOU Qiong, YUN Wenli, et al (2948)

The content of tannin extract in four types of *Quercus variabilis* YIN Yining, ZHANG Wenhui, HE Jingfeng, et al (2954)

Effect of food stress on flight muscle and reproduction development in a wing dimorphic cricket, *Velarifictorus ornatus*
..... WU Hongjun, ZHAO Lüquan, ZENG Yang, et al (2963)

- Effect of colours on oviposition preference of the oriental fruit moth, *Grapholita molesta* Busck
 YANG Xiaofan, MA Chunsen, FAN Fan, et al (2971)
- Monoterpene volatiles affecting host selection behavior of *Dendrolimus superans* and the activities of defense protein in larch needles
 LIN Jian, LIU Wenbo, MENG Zhaojun, et al (2978)
- Population, Community and Ecosystem**
- Soil microbial community structure under different vegetation restoration patterns in the loess hilly area
 HU Chanjuan, GUO Lei, LIU Guohua (2986)
- Seasonal variation of functional diversity of microbial communities in sediment and shelter of sea cucumber (*Apostichopus japonicus*)
 cultural ponds YAN Fajun, TIAN Xiangli, DONG Shuanglin, et al (2996)
- Analysis of bacterial flora during the fahua-fermentation process of fuzhuan brick tea production based on DGGE technology
 LIU Shiquan, HU Zhiyuan, ZHAO Yunlin (3007)
- Landscape, Regional and Global Ecology**
- CO₂ emissions transfer embedded in inter-regional trade in China LIU Hongguang, FAN Xiaomei (3016)
- Carbon sequestration potential of the major stands under the Grain for Green Program in Southwest China in the next 50 years
 YAO Ping, CHEN Xiangang, ZHOU Yongfeng, et al (3025)
- Characteristics of spatial and temporal phenology under the dynamic variation of grassland in the Qinghai Lake watershed
 LI Guangyong, LI Xiaoyan, ZHAO Guoqin, et al (3038)
- Estimates of carbon emissions caused by forest fires in the temperate climate of Heilongjiang Province, China, from 1953 to 2012 ...
 WEI Shujing, LUO Bizhen, SUN Long, et al (3048)
- Simulation of the climatic productivity of forest vegetation in Three Gorges Reservoir area
 PAN Lei, XIAO Wenfa, TANG Wanpeng, et al (3064)
- The mechanism for occurrence of *Peridiniopsis* blooms in the tributaries of Three Gorges Reservoir
 ZHU Aimin, LI Sixin, HU Jun, et al (3071)
- Biodiversity sensitivity zoning of river dam and reservoir engineering development ... LI Yiqiu, LU Chunxia, DENG Ou, et al (3081)
- Urban, Rural and Social Ecology**
- Assessment on coordinative ability of sustainable development of Beijing-Tianjin-Hebei Region based on set pair analysis
 TAN Feifei, ZHANG Meng, LI Haoran, et al (3090)
- Vacancy analysis on the development of nature reserves in Jiangxi Province
 HUANG Zhiqiang, LU Lin, DAI Nianhua, et al (3099)
- Evaluation of ecological economy index in the poyang lake ecological economic zone
 HUANG Heping, PENG Xiaolin, KONG Fanbin, et al (3107)
- Research on China's provincial forest ecological security appraisal based on the detrimental interferences
 LIU Xinzhu, MI Feng, ZHANG Shuang, et al (3115)

《生态学报》2014 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 34 卷 第 11 期 (2014 年 6 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 34 No. 11 (June, 2014)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel: (010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail: journal@ cspg. net	Distributed by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: (010)64034563 E-mail: journal@ cspg. net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add: P.O.Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发刊

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元