

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/stxb201308092052

吴钢,魏东,周政达,唐明方,付晓.我国大型煤炭基地建设的生态恢复技术研究综述.生态学报,2014,34(11):2812-2820.

Wu G., Wei D., Zhou Z. D., Tang M. F., Fu X. A summary of study on ecological restoration technology of large coal bases construction in China. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(11): 2812-2820.

## 我国大型煤炭基地建设的生态恢复技术研究综述

吴 钢<sup>1,\*</sup>, 魏 东<sup>2,3</sup>, 周政达<sup>1,3</sup>, 唐明方<sup>1</sup>, 付 晓<sup>1</sup>

(1. 中国科学院生态环境研究中心, 城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085;

2. 中国科学院城市环境研究所, 厦门 361021; 3. 中国科学院大学, 北京 100049)

**摘要:**煤炭能源是我国的主体能源,在我国经济社会发展中具有重要的战略地位。煤炭工业是关系我国经济发展和能源供应安全的重要基础产业。由于受传统发展观的影响,煤炭工业一直存在生产粗放、安全事故频发、资源浪费严重、环境治理和管理滞后等问题。我国大型煤炭基地的建设对提高煤炭供应保障能力起到了关键支撑作用。因此,从区域可持续发展的角度出发,加强矿区的生态恢复,深化煤炭资源的开发利用和环境保护,对促进国家和区域生态环境与社会经济的可持续发展,构建和谐矿区,确保区域乃至全国的生态安全特别是能源安全具有重要的意义。介绍了国家大型煤炭基地的发展历程、分布和开发现状,以及煤炭开采利用带来的一系列生态环境问题,重点阐述了当前我国煤炭基地建设的关键生态恢复技术体系,并从生态恢复与环境管理的角度提出我国大型煤炭基地的可持续发展建议。

**关键词:**煤炭工业;大型煤炭基地;生态恢复;可持续发展

## A summary of study on ecological restoration technology of large coal bases construction in China

WU Gang<sup>1,\*</sup>, WEI Dong<sup>2,3</sup>, ZHOU Zhengda<sup>1,3</sup>, TANG Mingfang<sup>1</sup>, FU Xiao<sup>1</sup>

1 State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

2 Institute of Urban Environment, Chinese Academy of Sciences, Xiamen 361021, China

3 University of Chinese Academy Sciences, Beijing 100049, China

**Abstract:** Coal is the main source of energy in China and has a crucial strategic position in the economic and social development of the country. The coal industry, as an important basic industry, affects the economic development of China, and the construction of large coal bases has played a major supporting role in improving the security of China's coal supply. Traditional coal industry development have resulted in numerous problems and raised issues that demand attention, including over-extended production, frequent accidents and other safety concerns, serious depletion of resources, environmental degradation, pollution, and inadequate environmental management training. The coal industry significantly promotes national and regional ecological and socio-economic sustainable development through the creation and management of attractive and healthy mining areas, and by ensuring regional and national ecological capacity to strengthen mine ecological restoration. This then helps to extract and use coal resources while concomitantly promoting environmental protection. The conceptual framework of large-scale, coal base construction is essentially as follows: (1) a mining area is developed by a business entity that promotes annexation and reorganization of allied enterprises; (2) a large-scale coal enterprise group is established as the main development body; and (3) the integration of upstream and downstream

基金项目:国家科技支撑计划课题(2012BAC10B01)

收稿日期:2013-08-09; 网络出版日期:2014-02-24

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: Wug@rcees.ac.cn



industrial development is encouraged, with the aim to nurture, develop and maintain the industry through a focus on circular economic development. This study briefly outlines the development processes of 14 large coal bases from the 1950s, and based on the resource conditions, development status and location aspects, these large coal bases were examined under six themes: key construction, strength and growth, control and growth, coal-electricity integration, dramatic improvement, and orderly growth. We present a series of ecological problems that were brought about by coal extraction, including surface subsidence, soil salinization, vegetation degradation, groundwater pollution, groundwater recession, and emissions from coal exploitation. As a result of land degradation, structural ecological defects and other issues caused by coal base operations, major integrated technology systems are required to promote ecological restoration on large coal bases. The goal is to recover and improve the function of the ecosystem by using measures such as comprehensive technology and engineering and biological intervention. Traditional mining methods have been based on principles of “exploitation first and control after” or “exploitation only without control”. This has been harmful to the function and subsequent restoration of the ecosystems of large coal bases. Therefore, ecological restoration should accompany the entire process of coal mining, with tracking and restoration during coal mine setup, construction and operation periods, through to the mining area governance period. From the perspective of ecological restoration and environmental management, this paper expounds key ecological restoration technology systems, including land reclamation technologies (engineering reclamation and biological reclamation), surface water repair methodologies, groundwater remediation practices, and atmospheric environmental recovery techniques. Finally, this paper puts forward recommendations under six themes for achieving coordinated and sustainable development of large coal bases in China.

**Key Words:** coal industry; large coal bases; ecological restoration; sustainable development

由能源资源结构所决定,我国是世界煤炭生产和消费量最大的国家。2012年,我国煤炭产量达到38.6亿t,占全球煤炭产量的一半以上<sup>[1]</sup>。现阶段,煤炭资源仍是我国的主体能源,在一次能源结构中占70%左右。可以说,在未来相当长时期内,煤炭作为我国主体能源的地位不会改变。因而,煤炭工业是关系国家经济命脉和能源安全的重要基础产业。我国煤炭资源分布广泛但不均匀,全国除上海外,其他省(区)、市均有探明储量。从地区分布看,储量主要集中在分布在山西、内蒙古、陕西、云南、贵州、河南和安徽,七省储量占全国储量的81.8%,分布呈现出“北多南少”、“西多东少”的特点。

由于社会经济发展需要安全稳定的煤炭供应,从建国初期我国就提出了建设煤炭基地的概念。煤炭基地是我国对增强煤炭资源保障能力,在煤炭资源相对富集的地区,以大型煤炭企业为主体,综合开发煤炭及共生或伴生资源,实现上下游产业联营和集聚,最终建成煤炭调出、电力供应、煤化工和资源综合利用基地<sup>[2]</sup>。煤炭工业发展“十二五”规划指出,国家大型煤炭基地现已成为综合能源基地的主体。基地对提高煤炭供应保障能力和促进煤炭工业

现代化具有重要的引领作用。1952年,我国年产100万t的矿区仅有18个,总产量为4160万t;而到2010年,14个大型煤炭基地产量高达28亿t,约占全国煤炭总产量的87%<sup>[3]</sup>。

煤炭的生产开发,在为经济社会发展和人民生活水平提高提供能源的同时,也会带来一系列的生态环境问题。由煤炭开采引发的水资源破坏、瓦斯排放、煤矸石堆存、地表沉陷等,对矿区生态环境破坏严重;同时,煤炭利用过程中排放出二氧化硫、氮氧化物等有害气体,影响空气质量,化石燃料燃烧释放大二氧化碳气体,导致应对气候变化的巨大压力。

因此,在当前大型煤炭基地开发建设中,积极实施和推广生态恢复规划和技术,对协调经济、社会发展与生态环境和生态系统的关系,促进国家和区域生态环境与社会经济的可持续发展,引导我国未来能源资源的合理开发、利用都有着举足轻重的意义。

## 1 我国大型煤炭基地概况

50年代初期,由于受技术水平、生产能力制约,我国年产100万t的矿区较少,总产量仅为4160万

t,多主要集中在东北、华北地区;到1993年底,全国核定生产能力在200万t以上的国有煤矿大中小基地达到69个,产量达到4.26亿t,多集中在华北、东北、华东、中南、西北等地区;2003年,国务院做出“利用国债资金重点支持大型煤炭基地建设、促进煤电联营,形成若干个亿吨级煤炭企业”的决策;2004年,国务院专门成立大型煤炭基地建设领导小组,由国家能源局实施具体工作。从煤炭资源、区位和外部条件综合考虑,规划建设神东、陕北、黄陇、晋北、晋中、晋东、鲁西、两淮、冀中、河南、云贵、蒙东(东北)、宁东共13个大型煤炭基地<sup>[4]</sup>;2011年,全国能

源工作会议上,中央把新疆从煤炭储备基地正式列为“十二五”国家重点建设的第14个大型煤炭基地<sup>[5]</sup>(图1)。大基地规划矿区也由2003年的98个发展到2010年206个,新增矿区规模18亿t,主要集中在神东、陕北、宁东、黄陇、蒙东、云贵和新疆基地。2010年比2003年大型煤炭基地建设之初的13.1亿t增加14.9亿t,10个煤炭基地产量超过亿吨,其中神东基地6.3亿t,蒙东基地超过3.8亿t,晋北、云贵、晋东、河南基地超过2亿t,黄陇、鲁西、两淮、晋中超过1亿t<sup>[3]</sup>。

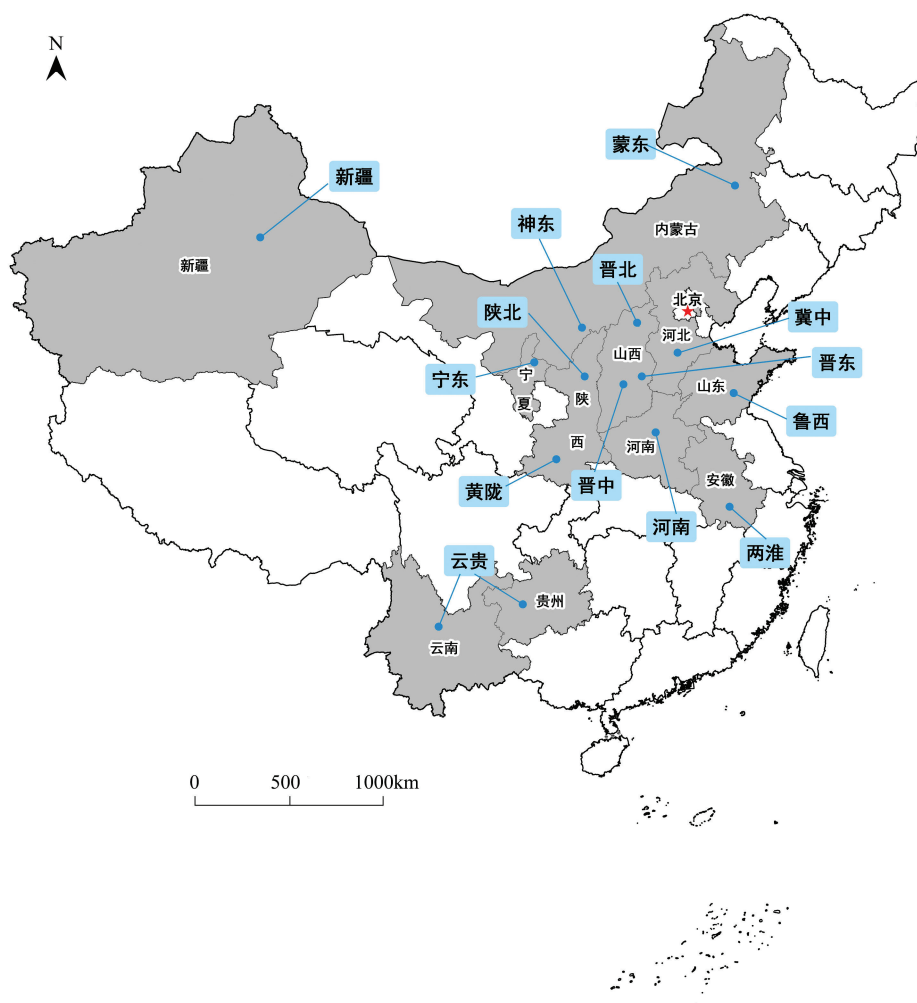


图1 我国14个大型煤炭基地分布图(审图号:GS(2014)872号)

Fig.1 The distribution map of 14 large coal bases in China

资料来自国家能源局网站 全国重点建设14个大型煤炭基地(2012-11-05)

我国大型煤炭基地建设的整体思路是坚持一个矿区由一个主体开发,一个主体可以开发多个矿区,大力推进企业兼并重组和矿业权整合;坚持以大型

煤炭企业集团为主体开发,大力推进上下游产业一体化发展;坚持开发与保护并重,大力推进循环经济产业发展和生态环境保护工程建设。如表1,因资源

条件、开发现状、区位条件等因素不同,14 个大型煤炭基地可以分为重点建设、巩固发展、控制发展、煤电一体化、大力提高和有序开发六大类。

## 2 煤炭基地建设带来的主要生态环境问题

### 2.1 对土地资源的影响

煤炭的开采主要分为井工和露天两大方式<sup>[6]</sup>。井工开采对土地资源的影响以地表塌陷和矸石山压占为主,据测算,平均万吨煤引起地表沉陷为 0.2hm<sup>2</sup>,截止到 2005 年,我国因采煤破坏的土地共

40 万 hm<sup>2</sup>,目前仍以每年 3.3 万—4.7 万 hm<sup>2</sup>的速度增加<sup>[7]</sup>。采煤沉陷不仅破坏地形地貌,同时也改变了矿区水文地质条件,生态环境使得土地生产力严重下降,经济效益大幅度降低<sup>[8]</sup>。地表沉陷导致地处平原地区的鲁西与两淮矿区大量耕地受损,土地盐碱化严重,从而加剧了煤炭开采与农业发展的矛盾。地处山区、丘陵地区的云贵基地,由于煤炭开采加速植被退化,引起的地表塌陷更易诱发滑坡、崩塌、地裂缝等地质灾害<sup>[2]</sup>。

表 1 全国 14 个煤炭基地分类  
Table 1 The classification of 14 coal bases in China

类型 Type	重点建设 Key construction	巩固发展 Strength and growth	控制发展 Control and growth	煤电一体化 Coal-electricity integration	大力提高 Dramatic improvement	有序开发 Orderly growth
基 地 Base	神东、陕北、黄陇、宁东基地	晋北、晋中、晋东基地	冀中、鲁西、河南、两淮基地	蒙东(东北)基地	云贵基地	新疆基地
特点 Characteristic	资源丰富,煤质优良,开发条件好,保障全国煤炭供应的关键	多年高强度开发,规模较大,仍是煤炭工业建设重点	地区优势突出,煤质优良,资源储量有限,耕地矛盾突出	主要为褐煤,不适宜远距离运输,东北基地开发有限	南方唯一大型煤炭基地,资源丰富,优化煤炭开发布局	新规划基地,能源战略具有重要地位
生态环境问题 Eco-environmental problems	地下水径流破坏,地下潜水位下降和地表水减少	长期开采导致地面塌陷严重,水资源供需矛盾突出	地表沉陷严重,大量耕地受损,土地盐碱化严重,土壤肥力降低	煤矸石对大气环境污染严重,地表沉陷,沙漠化、草原生态破坏	植被退化,引起的地表塌陷诱发滑坡、崩塌、地裂缝等地质灾害	地表水和地下水污染,天然草场生态破坏
生态环境特征 Eco-environmental characteristics	生态环境承载力低、生态系统不稳定、生态平衡遭到破坏、区域生态系统服务功能较弱、生物多样性受损、系统自我恢复能力下降					
开发原则 Development principles	推进矿权整合、有序建设现代化矿井,形成世界先进水平的千万吨级煤矿群	坚持适度发展,整合为主,新建为辅,建设接续型大型现代化煤矿	做好深部接续资源勘查,限制 1000 米深新井建设,加强沉陷区治理和土地复垦	煤电一体化开发模式,优先建设大型现代化露天煤矿,注重保护草原生态	以大中型煤矿为重点,新井建设和小煤矿退出结合,大力提高安全生产	做好煤炭基地规划,促进资源有序勘查,加强能源输送通道建设,适度加大煤炭外调量

露天开采对土地资源的影响以直接挖损和外排土场压占为主。露天开采必须把煤层上覆盖的表土和岩石剥离,对土地资源的破坏十分严重。到 2010 年,全国露天采煤挖损土地总面积 3 万 hm<sup>2</sup> 以上;我国露天开采大多使用外排土场方式,其压占面积是挖损土地量的 1.5—2.0 倍,全国累计占用土地约 5.6 万 hm<sup>2</sup><sup>[9]</sup>。

### 2.2 对水资源的影响

我国北方煤炭基地大多位于水资源缺乏地区,且都属于资源型缺水 and 工程型缺水并存地区。煤炭资源丰富的地区往往水资源匮乏,形成了“煤多水少”的局面。其中,山西、陕西、宁夏、内蒙古和新疆

五省区煤炭保有储量约占全国的 76%,但水资源总量仅占全国的 6.14%。煤炭资源分布和水资源配置形成呈显著的逆向性。14 个大型煤炭基地中,仅云贵基地、两淮基地和蒙东(东北)基地的部分矿区水资源相对丰富,其余煤炭基地均严重缺水,生态环境先天不足<sup>[10]</sup>。煤炭资源的开采一般对地表水资源以及地下水资源造成重大影响。对地表水资源的影响主要是对水质产生污染,而对地下水资源的影响主要是导致地下水位的下降和地面沉降等<sup>[11]</sup>。

煤炭开采产生的矿井水、洗煤水和矸石淋溶水若处置不当,废水中的少量重金属、有害有毒物质会对矿区地下水、地表河流造成严重污染,改变水质酸

碱度。开采 1t 煤排水量为 1.75—2.15t,2010 年全国采煤排水量为 61 亿 t<sup>[12]</sup>,而煤矿每年产生的各种废污水约占全国总废污水量的 25%<sup>[13]</sup>。大量水资源的流失和破坏,会加重矿区地下水位的下降,促使风蚀和水土流失加剧,引起土地沙漠化。对水资源影响较为严重的区域主要位于我国的干旱和半干旱地区,以神东、陕北、宁东、山西的晋北、晋中基地为代表,该区域的年均降水量大多在 350mm 以下,且蒸发系数较高,供水量与基地需水量矛盾呈加剧趋势。

### 2.3 对大气环境的影响

煤炭开采中形成的大气污染物主要是煤炭开采形成的废气,有矿井瓦斯、矸石山和煤堆自燃释放的烟尘、露天爆破和排土场扬尘等。

矿井瓦斯中的主要成分甲烷,是一种重要的温室气体,其温室效应为二氧化碳的 21 倍。2010 年,我国每年从矿井开采中排放甲烷 7—9Gm<sup>3</sup>,约占世界甲烷总排放量的 30%,除 5% 左右集中回收利用外,其余全部排放到大气中<sup>[14]</sup>。

矸石山长期露天堆放,在外力作用下,会发生氧化、风化和自燃,产生大量的扬尘和 SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CO、H<sub>2</sub>S 等有毒有害气体,严重污染环境并直接损害周边居民的身体健康。运输中产生的煤尘飞扬,既对煤炭运输产生损失,又污染沿线周围的生态环境。扬尘含有很多对人体有害的元素,一旦被吸入人体,也会导致各种疾病甚至癌症的发生,其污染影响面将远远超过堆置场的地域和空间<sup>[15]</sup>。

## 3 煤炭基地的生态恢复技术

生态恢复是指对生态系统停止人为干扰,以减轻负荷压力,依靠生态系统的自我调节能力与自组织能力使其向有序的方向进行演化,或者利用生态系统的这种自我恢复能力,辅以人工措施,使遭到破坏的生态系统逐步恢复或使生态系统向良性循环方向发展<sup>[16]</sup>。生态恢复技术则是运用生态学原理和科学系统的方法,把现代化技术与传统的方法通过合理的投入和时空的巧妙结合,使生态系统保持良性的物质、能量循环,从而达到人与自然的协调发展的恢复治理技术。煤炭基地是以大型煤炭企业为中心,包含社会、经济领域的一个特殊的“区域”,是一个复杂的“自然-社会-经济”的综合体。煤炭基地生态恢复主要指对煤炭基地引起的土地功能退化、生

态结构缺损、功能失调等问题,通过工程、生物及其他综合技术和措施来恢复和提高生态系统的功能<sup>[17]</sup>。对于煤炭基地,传统的开采方式通常是先开采再治理,但这往往不利于大型煤炭基地生态系统和功能的修复。因此,在对大型煤炭基地进行生态修复活动时,应伴随煤炭开采的全过程、整个区域,并且在时空尺度上实施全程动态跟踪修复,并自建设期、运营期、直到后续的矿区关闭治理期的全部开发过程进行全面系统的生态修复工作。

### 3.1 土地资源恢复技术

采煤塌陷是我国煤炭基地量大面广的生态环境问题,土地复垦是解决煤炭基地环境问题和综合治理的最有效途径。土地复垦是指通过采取一些列整治措施,对煤矿开采等受到人为破坏的土地进行综合整治,使其恢复到受破坏前的自然状态的人类干扰活动,它是一个长时期、多学科、多工序的复杂系统工程。国外对沉陷区环境的影响和土地复垦和改良技术等方面展开大量的研究。德国政府对煤矿废弃地的土地复垦及环保问题十分重视,主要将农林复垦转向复合型土地复垦模式,即农林用地、水域及许多微生态循环体协调、统一地设立在一起<sup>[18]</sup>,从而为人和动、植物提供较大的生存空间;美国实现严格的土地复垦政策和完善的管理体制,主要是在生物复垦和改良土壤方面成绩显著;澳大利亚十分重视边开采,边复垦,重视复垦措施和技术的应用,实行土地复垦保证金制度,全程注重公众参与<sup>[19]</sup>。

土地复垦分为工程复垦技术与生物复垦技术(包括微生物复垦)。

(1)工程复垦也称工程措施、工程技术,是根据当地条件、塌陷情况,按照复垦土地的利用方向采用工程设备和手段对塌陷破坏土地进行的回填、复土、挖垫与平整处理。包含煤矸石充填复垦技术,电厂粉煤灰充填复垦技术,河、湖淤泥充填复垦技术,挖深垫浅复垦技术,疏干法复垦技术,梯田法复垦技术等<sup>[20]</sup>。

(2)生物复垦是工程复垦结束后所进行的工作,是恢复土壤肥力与生物生产能力的活动,它是实现废弃土地有效复垦的关键环节。主要内容包括土壤改良技术,污染土壤恢复技术、植物品种筛选与植被工艺。

采煤沉陷已成为两淮煤炭基地当前最突出、最



紧迫的生态环境问题。目前,挖深垫浅复垦技术是两淮基地治理采煤塌陷区重要的生态恢复技术,其在两淮矿区推广范围较广,经挖深垫浅工程处理后的塌陷区,形成“深层采煤沉陷区水产养殖模式”、“浅层采煤沉陷区种植和水产养殖相结合模式”,使淮北市获得显著的经济生态效益。另外“粉煤灰充填覆土造林模式”和“煤矸石充填作为建设用地模式”的应用不仅改善了基地生态环境,并且取得了良好的经济效益。淮南市把生态恢复同发展三产结合起来,形成集废旧物资加工、储存、物流为一体的皖西北最大再生资源集散中心<sup>[21]</sup>。

### 3.2 水资源恢复技术

由于煤炭的开采、运输、转化及利用以及农业生产、生活等人为原因,使得煤炭开采区域水体的水质超过一定水质标准,产生煤炭基地污水。煤炭基地污水特征是污染区范围大、污染时间跨度长、污染垂向空间广和影响因素多<sup>[22]</sup>。

在煤炭基地水资源恢复中,通常要由污染治理逐步转入生态恢复阶段。利用环境友好的生态修复技术,通过人工辅助手段,创造有利于水生植物、动物生存的环境,对水体污染就地净化、就地修复,减少污染对水体生态系统的影响,逐步恢复水生生物,再借助物种自然恢复,恢复水体生物多样性,构建稳定、健康的生态系统。

#### (1) 煤炭基地地表水修复技术

对煤炭基地地表水修复技术主要有物理方法、化学方法、生物方法三种。目前国内外所采用的主要物理措施有引水冲刷/稀释、曝气、机械/人工除藻、底泥疏浚等;化学方法主要有钝化法、化学沉淀法、酸碱中和法、化学除藻法;根据污染物的特点,地表水生物处理技术分为生物操纵法、植被群落法、生物除藻等类型<sup>[23]</sup>。

#### (2) 煤炭基地地下水修复技术

相比地表水污染处理和修复,地下水污染处理难度更大,主要有抽提处理、气提技术、空气吹脱技术、生物恢复技术、渗透反应墙等<sup>[24]</sup>。抽提处理是用水泵将污染的地下水抽取,在地表进行处理,可以防止受污染的水体向周围扩散;气提技术的基础是污染物的挥发特性,能够原位操作,对周围干扰小,有效去除挥发性有机物;空气吹脱技术是在一定压力下,将压缩空气注入受污染区域,将溶解在地下水

中的挥发性化合物去除;生物恢复技术分为原位生物恢复和异位生物处理两种,是利用微生物降解地下水中的污染物,最终转化为无机物;渗透反应墙是在污染区下游设置具有渗透性的障碍墙,污染物被截流并得到处理,使地下水得以净化<sup>[23]</sup>。

神东煤炭基地位于我国生态环境脆弱的西部区域,主要环境影响是地下水径流破坏、地下潜水位下降和地表水减少,引起地表干旱、荒漠化和植被枯萎。基地采用薄基岩浅埋煤层保水开采技术,充分利用其进行井下治理,使水资源得到有效保护,避免了矸石地面排放、消除了矿井水污染<sup>[25]</sup>。利用煤矿井下采空区蓄水并通过采空区矸石过滤净化井下废水的技术,把采空区变为具有净化功能的蓄水库,复用水除供生产外,补充到生活用水和生态建设用水,消除了地下水引起的地表水体污染,减少了对地表水的利用,缓解了干旱地区的用水矛盾,取得了经济效益和社会效益<sup>[26]</sup>。

### 3.3 大气环境恢复技术

煤炭开采中形成的大气污染物主要是煤炭开采形成的废气,露天矿的粉尘,其防治技术主要是采用密闭抽尘,湿式凿岩、钻孔,干湿联合除尘防尘,水封爆破等技术。煤炭基地道路面积和堆场粉尘飞扬,可采取如下措施:向路面撒水,喷洒钙、镁盐吸湿溶液,喷洒抑尘剂等技术。同时积极开展煤矸石的资源化,例如煤矸石发电,目前全国已建成煤矸石电厂将近 200 座,每年发电实际消耗煤矸石约 2000 万 t;另外可从煤矸石中富集提取有用矿产和用以生产建材,以减少煤矸石自燃产生的有毒有害气体污染<sup>[27]</sup>。

煤炭基地矿井瓦斯中的主要成分甲烷采用多种技术综合抽放:

(1) 地面钻孔抽放技术,该技术从地面垂直钻孔进入煤层或采空区,抽放未采动煤层或采空区瓦斯。淮北基地采用这种技术抽出率高达 64%,浓度高达 90% 以上;(2) 顺煤层预抽技术,顺煤层预抽是一种主流发展技术,抽放成本低。山西大宁煤矿其抽放浓度大于 60%,抽出率可达 65% 以上;(3) 采空区抽放技术,从瓦斯巷钻孔到采空区上部的裂隙带进行抽放。通过这种技术抽放的瓦斯浓度一般较高,有的可以达到 75% 以上。

我国在煤层气利用方面已经有很广泛的尝试,

领域包括民用、工业燃料、发电、化工等,主要有(1)煤层气提纯技术,包含变压吸附技术和低温分离技术;(2)发电技术,包含燃气发动机技术,燃气轮机技术以及煤与煤层气混烧技术;(3)低浓度甲烷利用技术,浓度 30%以下的煤层气利用方法包括发电技术和辅助燃料技术;(4)矿井乏风利用技术<sup>[28]</sup>。

#### 4 展望和建议

“十二五”期间是构建新型煤炭工业体系,实现煤炭工业健康发展的重要时期。到 2015 年,我国要形成 10 个亿吨级、10 个 5000 万吨级特大型煤炭企业<sup>[3]</sup>,大型煤炭基地煤炭量达到 36 亿 t,占全国比重的比例超过 90%,以大型煤炭基地为主体的煤炭稳定供应基本形成。大力推进生态恢复技术实施,把国家大型煤炭基地建设成为资源节约型、环境友好型及具有可持续发展能力的大型煤矿区,对资源整合与协调发展、环境保护等具有重要的战略意义。

围绕大型能源基地的生态恢复与环境管理体系建设,提出建议如下:

(1)国家大型煤炭基地要全面规划,因地制宜地进行生态恢复

生态恢复规划必须遵照待恢复区域自然规律和经济规律,开展符合区域总体规划,作到统筹兼顾,协调发展。注重生态恢复工程的整体性与综合性,合理进行平面、空间及时序上的统筹与配置,使其达到最佳的恢复效果和效益。不同类型煤炭基地,除自然条件的地域性差异之外,社会经济、生产技术条件与矿区开发的历史等都不尽相同。生态恢复规划要根据当地的现实基础,从实际出发,因地制宜合理制定规划目标和技术措施,达到社会效益,经济效益和生态效益的统一,促进区域的可持续发展<sup>[17]</sup>。

(2)重点加强采煤沉陷区综合治理,建设绿色生态基地

煤炭工业“十二五”规划指出,我国矿区土地复垦率指标应超过 60%<sup>[3]</sup>。我国两淮、鲁西、陕北、宁东等基地是加强采煤沉陷区综合治理、土地复垦的重点区域,应切实解决因采煤塌陷带来的居民搬迁安置、就业和社会保障等问题,给予政策倾斜,保护失地农民的实际利益。生态恢复技术上应在土壤质量调控,矸石山绿化污染治理、微生物复垦等方面取

得进一步发展,使沉陷破坏区植被绿化率达到 80%以上<sup>[3]</sup>。另外,应对塌陷区的农林复垦、生态农业、生态工业园区、生态休闲旅游区、湿地型运动休闲等土地利用模式进行有益的探索<sup>[8,18]</sup>。

(3)完善水污染防治监督机制,推进保水采煤和节水技术

加快主要煤炭基地的地下水功能区划定,制定不同分区煤炭基地地下水保护细则。加强基地水质监测力度,严格煤炭企业排水监管<sup>[29]</sup>。加强对已破坏地下水的管理和利用,提高矿井水的利用率和污染治理率,东部、中部、西部区域的矿井水利用率到 2015 年目标应分别达到 80%、68%和 80%<sup>[3]</sup>。建立矿井水利用工艺生产质量监督体系,将部分治理水回归生态用途或用于煤电开发用水。在陕北、宁东、神东、晋中、晋北等基地大力推广应用保水采煤和节水技术,使水资源得到有效保护。

(4)推广煤炭清洁利用技术,加快循环经济发展

大型煤炭基地应严格限制高硫份煤炭的开采,提高煤炭洗选比例。加大煤电基地的建设力度,加强煤炭就地能源转化,着重推广煤炭清洁、高效利用技术,推广煤炭清洁能源运输。在大中型矿区内,以煤矸石发电为龙头,利用矿井水、瓦斯等资源,发展优势生产要素资源综合利用产业,按照煤-电-建材-化、煤-焦-电-建材等多种模式建设煤矿循环经济园区。加强矿区环境全过程管理体制建设,体现预防为主的原则,减少污染物排放总量,实现矿区环境保护从点到面、从末端治理向污染防治的方向转化<sup>[30]</sup>。

(5)探索生态补偿机制,建立创新的生态补偿税费制度

确立以土地复垦合理利用为核心,区际、上下游产业之间的生态环境补偿机制。积极推进煤炭资源生态补偿立法工作,加强和完善生态补偿监管机制的建设。尝试建立起政府与企业之间的煤炭开发技术、相关环境治理与保护技术,实现许可证、购买专利、产学研合作、技术联盟和技术合作等多样化的生态补偿方式。设立煤炭可持续发展金,实现环境利益的合理化分配,调整煤炭资源税费使用方向。建立面向生态补偿的税费制度的创新机制,提高生态补偿费用征收标准,保证我国矿区生态环境保护和生态补偿长期有效的实施<sup>[31]</sup>。

(6)完善现有生态恢复法律制度,实现生态环境恢复与治理法治化

在已有的例如《土地复垦规定》、《清洁生产促进法》、《环境保护法》等法律法规的基础上,紧密结合煤炭基地环境的特点,结合保护矿区生态环境和经济发展的要求,加强环境管理机构在环境监管中的职能,健全生态恢复法律和法规体系。对不符合建设条件和对生态环境破坏严重,实行“环保一票否决制”;限制在地质灾害易发区开采矿产资源,禁止在地质灾害危险区、自然保护区等区域开采矿产资源<sup>[32]</sup>。

## References:

- [ 1 ] The gate-way website of the Central People Government; The coal economy operation of China in 2012; Decline in output growth. [http://www.gov.cn/gzdt/2013-03/11/content\\_2351235.htm](http://www.gov.cn/gzdt/2013-03/11/content_2351235.htm), 2013-03-11/2013-06-09.
- [ 2 ] Ma L, Li Y, Jin F J. Evaluation and types analysis on ecologic fragility of Chinese coal. *Energy Environmental Protection*, 2009, 23(4): 56-60.
- [ 3 ] National Development and Reform Commission. The National Development and Reform Commission informed about the 12th five-year plan issued by the coal industry development. [http://www.ndrc.gov.cn/zcfb/zcfbtz/2012tz/t20120322\\_468769.htm](http://www.ndrc.gov.cn/zcfb/zcfbtz/2012tz/t20120322_468769.htm), 2012-03-18/2013-06-09.
- [ 4 ] Ding Y. A study on a planning outline of the large-scale coal bases in China. *Coal Engineering*, 2007, (2): 12-14.
- [ 5 ] Hu J Q. Study on the construction strategy of large coal base in Xinjiang. *Coal Economic Research*, 2011, 31(3): 8-12.
- [ 6 ] Geng D M, Jiang F X. Analyzed on ecological environment problems of coal mining area in China. *Coal Mine Environmental Protection*, 2002, (6): 5-9.
- [ 7 ] Hu Z Q, Zhao Y L, Wang F J. A study on the current situation and prospect of our country's coal mine area land reclamation. The seventh coal science and technology conference corpus (Vol.2), 2011: 1075-1079.
- [ 8 ] Ma L Q. Research on coal mining subsidence land reclamation and recycling; the development tendency at home and abroad. *China Forestry Economy*, 2013, (1): 47-50.
- [ 9 ] Wen J C. Research on ecological environment problems and ecological restoration of mining area. Hohhot: Master dissertation of Inner Mongolia University, 2012.
- [ 10 ] Nan L J, Zhu J M. Problems and its solution in the construction of large coal producing bases. *China Coal*, 2010, 36(8): 30-36.
- [ 11 ] Deng G C, Zhu J X. Discussion on planning of ecological restoration for coal mining area. *Resources Environment & Engineering*, 2008, 22(2): 254-256.
- [ 12 ] National Development and Reform Commission, National Energy Administration. National Development and Reform Commission, National Energy Administration notice about printing development plans for the utilization of mine water. [http://www.gov.cn/gzdt/2013-01/29/content\\_2321810.htm](http://www.gov.cn/gzdt/2013-01/29/content_2321810.htm), 2013-01-21/2013-06-11.
- [ 13 ] Yang Y R, Lu J, Zhang Y Z, Li Z H. Coal industry and environmental protection in China. *Coal Mine Environmental Protection*, 2001, 15(3): 5-9.
- [ 14 ] Liu Y, Zhou S L. Discussion on energy saving and discharge reducing in coal industry of China. *Modern Mining*, 2009, (11): 70-73.
- [ 15 ] Jiang J, Cheng J G. Ecological recovery in coal mining area and sustainable development. *Coal Geology & Exploration*, 2001, 29(4): 7-9.
- [ 16 ] Ren X Y. Study progress and prospect of ecology restoration. *World Sci-Tech R&D*, 2005, 27(5): 79-83.
- [ 17 ] Wang L L, Hu Z Q, Zhao Y L, Zhang H Y, Li X J. Planning methods of ecological restoration for coal mining area in china and its case study. *Metal Mine*, 2007, (5): 17-20.
- [ 18 ] Liang L K, Chang J, Wu C F, Klaus B. Study on the ecological restoration of landscape in Germany mining regions and reference to China. *Economic Geography*, 2002, 22(6): 711-715.
- [ 19 ] Jin D, Bian Z F. Policies, laws and regulations on land reclamation and the implications; comparing China with other countries. *China Land Science*, 2009, 23(10): 66-73.
- [ 20 ] Li S Z. A study on land reclamation technology and the development trend of coal mining subsidence. *Coal Mine Environmental Protection*, 1993, 7(4): 6-9.
- [ 21 ] Zhang W. The coal mines collapse area land reclamation pattern and the project technical standard research of HuaiNan and HuaiBei cities. Hefei: Master dissertation of Anhui Agricultural University, 2008.
- [ 22 ] Feng J G, Li Y F, Qu H, Zhang M S. Research on Water Pollution in the Coal Base. *Ground Water*, 2012, 32(6): 76-78.
- [ 23 ] Feng J G. Study on coal base water pollution and its control-a case study of north of Shaanxi province coal base. Xi'an: Doctoral dissertation of Chang'an University, 2007.
- [ 24 ] Yang M, Fei Y H. Research summary on ground water pollution remediation technology. *Site Investigation Science and Technology*, 2008, (4): 12-16.
- [ 25 ] Ma L Q, Zhang D S, Liu Y D, Wang A, Zhao Y F, Zheng T B. Aquifer-protective mining technology in shallow coal seam with thin bed rock. *Journal of Hunan University of Science & Technology (Natural Science Edition)*, 2008, 23(1): 1-5.
- [ 26 ] Chen S S, Ju J F. Utilization technology of mine water resources in Daliuta mine. *Coal Science and Technology*, 2011, 39(2): 125-128.
- [ 27 ] Zhang S L, Wang Z N, Jia Y M, Li C, Xue H, Shu X Q. Study



on resource utilization of coal gangue. Clean Coal Technology, 2011, 17(4): 97-100.

- [28] Liu W G, Zhang B C, Liu X, Sun Q G, Dou X D. Zero emission of coal mine methane in China. China Coal bed Methane, 2005, 2(2): 6-9.
- [29] Yin J, Wang J H, He F, Wang D S, Liao W G. Study on water resources restriction and strategy to coal base construction in upper and middle reaches of yellow river. Water Resources and Power, 2012, 30(10): 12-15.
- [30] Wu L. Innovative development of environmental management in coal mining areas. Academic Exchange, 2007, (5): 127-130.
- [31] Dong Z Q. Research on ecological compensation of coal resource development -Taking Lvliang area for example [D]. Taiyuan: Master dissertation of Taiyuan University of Technology, 2012.
- [32] Wang J. Research on ecological restoration technology and system of coal mining area. The first Beijing international BBS corpus of ecological construction, 2005: 336-340.

#### 参考文献:

- [1] 中央政府门户网站. 2012 年我国煤炭经济运行情况综述: 产量增速下滑. [http://www.gov.cn/gzdt/2013-03/11/content\\_2351235.htm](http://www.gov.cn/gzdt/2013-03/11/content_2351235.htm), 2013-03-11/2013-06-09.
- [2] 马丽, 李宇, 金凤君. 我国主要煤炭基地的生态脆弱性评价与类型分析. 能源环境保护, 2009, 23(4): 56-60.
- [3] 国家发展和改革委员会. 国家发展改革委关于印发煤炭工业发展“十二五”规划的通知. [http://www.ndrc.gov.cn/zcfb/zcfbtz/2012tz/t20120322\\_468769.htm](http://www.ndrc.gov.cn/zcfb/zcfbtz/2012tz/t20120322_468769.htm), 2012-03-18/2013-06-09.
- [4] 丁易. 国家大型煤炭基地规划概述. 煤炭工程, 2007, (2): 12-14.
- [5] 胡隽秋. 新疆自治区大型煤炭基地建设方略. 煤炭经济研究, 2011, 31(3): 8-12.
- [6] 耿殿明, 姜福兴. 我国煤矿区生态环境问题分析. 煤矿环境保护, 2002, (6): 5-9.
- [7] 胡振琪, 赵艳玲, 王凤娇. 我国煤矿区土地复垦的现状与展望. 第七次煤炭科学技术大会文集(下册), 2011, 1075-1079.
- [8] 马立强. 采煤塌陷区复垦与再生利用研究: 国内外研究进展与发展趋势. 中国林业经济, 2013, (1): 47-50.
- [9] 温久川. 矿区生态环境问题及生态恢复研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古大学, 2012.
- [10] 南麓峻, 朱吉茂. 大型煤炭基地建设存在的问题及对策. 中国煤炭, 2010, 36(8): 30-36.
- [11] 邓国春, 朱建新. 谈煤矿区生态修复规划. 资源环境与工程, 2008, 22(2): 254-256.
- [12] 国家发展改革委员会, 国家能源局. 国家发展改革委、国家能源局关于印发《矿井水利用发展规划》的通知. [http://www.gov.cn/gzdt/2013-01/29/content\\_2321810.htm](http://www.gov.cn/gzdt/2013-01/29/content_2321810.htm), 2013-01-21/2013-06-11.
- [13] 杨永仁, 陆军, 张运章, 李中和. 我国煤炭工业与环境保护. 煤矿环境保护, 2001, 15(3): 5-9.
- [14] 刘勇, 周仕来. 我国煤炭工业节能减排的探讨. 现代矿业, 2009, (11): 70-73.
- [15] 姜军, 程建光. 煤矿矿区生态恢复与可持续发展. 煤田地质与勘探, 2001, 29(4): 7-9.
- [16] 任宪友. 生态恢复研究进展与展望. 世界科技研究与发展, 2005, 27(5): 79-83.
- [17] 王霖琳, 胡振琪, 赵艳玲, 张禾裕, 李晓静. 中国煤矿区生态修复规划的方法与实例. 金属矿山, 2007, (5): 17-20.
- [18] 梁留科, 常江, 吴次芳, Klaus Borchard. 德国煤矿区景观生态重建/土地复垦及对中国的启示. 经济地理, 2002, 22(6): 711-715.
- [19] 金丹, 卞正富. 国内外土地复垦政策法规比较与借鉴. 中国土地科学, 2009, 23(10): 66-73.
- [20] 李树志. 煤矿塌陷区土地复垦技术与发展趋势. 煤矿环境保护, 1993, 7(4): 6-9.
- [21] 张玮. 两淮采煤塌陷区土地复垦模式及其工程技术研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2008.
- [22] 冯建国, 李云峰, 屈卉, 张茂省. 煤炭基地水污染研究. 地下水, 2012, 32(6): 76-78.
- [23] 冯建国. 煤炭基地水污染及防治对策研究——以陕北煤炭基地为例[D]. 西安: 长安大学, 2007.
- [24] 杨梅, 费宇红. 地下水污染修复技术的研究综述. 勘察科学技术, 2008, (4): 12-16.
- [25] 马立强, 张东升, 刘玉德, 王安, 赵永峰, 郑铜鏊. 薄基岩浅埋煤层保水开采技术研究. 湖南科技大学学报(自然科学版), 2008, 23(1): 1-5.
- [26] 陈苏社, 鞠金峰. 大柳塔煤矿矿井水资源化利用技术. 煤炭科学技术, 2011, 39(2): 125-128.
- [27] 张顺利, 王泽南, 贾懿曼, 李成, 薛浩, 舒新前. 煤矸石的资源化利用. 洁净煤技术, 2011, 17(4): 97-100.
- [28] 刘文革, 张斌川, 刘馨, 孙庆刚, 窦晓东. 中国煤矿区甲烷零排放. 中国煤层气, 2005, 2(2): 6-9.
- [29] 尹婧, 王建华, 何凡, 王东胜, 廖文根. 黄河上中游地区大型煤炭基地水资源约束研究. 水电能源科学, 2012, 30(10): 12-15.
- [30] 乌兰. 煤炭矿区环境管理的创新发展. 学术交流, 2007, (5): 127-130.
- [31] 董泽琼. 煤炭资源开发生态补偿机制研究——以吕梁地区为例[D]. 太原: 太原理工大学, 2012.
- [32] 王建. 煤矿区生态修复技术与制度研究. 首届北京生态建设国际论坛文集, 2005: 336-340.



# 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**
- CO<sub>2</sub> 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

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元