

# 西北干旱荒漠区煤炭基地生态安全保障技术

赵廷宁<sup>1</sup>, 张玉秀<sup>2</sup>, 曹 兵<sup>3</sup>, 肖辉杰<sup>1</sup>, 张成梁<sup>4</sup>, 赵淑银<sup>5</sup>, 郭小平<sup>1</sup>

(1. 北京林业大学水土保持学院, 水土保持与荒漠化防治教育部重点实验室, 北京 100083;

2. 中国矿业大学(北京), 化学与环境工程学院, 北京 100083; 3. 宁夏大学农学院, 银川 750021;

4. 轻工业环境保护研究所, 北京 100089; 5. 水利部牧区水利科学研究所, 呼和浩特 010020)

**摘要:**“西北干旱荒漠区煤炭基地生态安全保障技术”项目(2017YFC0504400)是国家重点研发计划项目, 贯彻包括《中共中央国务院关于加快推进生态文明建设的意见》(2015)、《全国造林绿化规划纲要(2011—2020 年)》以及国家“十三五规划”一煤炭清洁高效工程等有关于矿区生态修复的各项国家相关政策, 加强项目实施与创新发展战略、“一带一路”战略的密切结合。项目从基础理论研究、关键技术研发、工程示范等多个层面出发, 明确西北干旱荒漠区煤炭基地生态退化机制, 研发水土资源保护与高效利用、沙尘防控、植被恢复关键技术, 并进行煤炭基地生态恢复工程示范, 旨在为西北干旱荒漠区煤炭基地生态恢复与生态保障提供技术支撑。

**关键词:** 西北干旱荒漠区; 煤炭基地; 植被恢复; 沙尘防控; 迹地新土体构建; 水资源保护; 示范工程

中图分类号: TD88

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2018)01-0001-05

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcbx.2018.01.001

## Eco-security Technology for Coal Mining Bases in The Northwestern Arid Desert Regions in China

ZHAO Tingning<sup>1</sup>, ZHANG Yuxiu<sup>2</sup>, CAO Bing<sup>3</sup>, XIAO Huijie<sup>1</sup>,

ZHANG Chengliang<sup>4</sup>, ZHAO Shuyin<sup>5</sup>, GUO Xiaoping<sup>1</sup>

(1. Beijing Forestry University, College of Soil and Water Conservation, Key Laboratory of Soil and Water Conservation and Desertification Control of Ministry of Education, Beijing 100083; 2. China University of Mining and Technology (Beijing), School of Chemistry and Environmental Engineering, Beijing 100083;

3. Ningxia University, College of Agronomy, Yinchuan 750021; 4. Institute of Light Industry Environmental Protection, Beijing 100089; 5. Institute of Water Resources Science, Ministry of Water Resources, Hohhot 010020)

**Abstract:** The National Key R&D Program of “Eco-security technology for coal mining bases in the Northwestern arid desert regions in China” obeys the “CPC Central Committee and State Council on Accelerating the Construction of Ecological Civilization” (2015), National Afforestation Plan (2011—2020 ) and the National “13th Five-Year Plan” – relevant policies on coal clean and efficient engineering to closely integrate the implementation of project , with innovation and development strategy, and also the “Belt and Road” strategy. The project is applied based on the basic theory research, the key technology research and so on. Also the content is aimed at clarifying the ecological degradation mechanism of the coal base in the arid desert area of Northwest China, developing the key technologies of water and soil conservation and utilization, dust control and vegetation restoration. The project will also establish demonstration area on ecological restoration. Above all, the project is aimed at providing technologies in coal mining base ecological restoration and security in the Northwestern arid desert regions in China .

**Keywords:** arid desert area in northwest China; coal mining base; vegetation restoration; dust control; site construction of new soil; water resources protection; demonstration project

西北干旱荒漠区位于国家生态安全格局“两屏三带”的北方防沙带, 是国家“一带一路”的重点建设区域, 该区干旱风大、植被退化、土地沙化严重, 生态系统极其脆弱。国家规划的 14 个大型煤炭基地中的神东和

宁东煤炭基地位于该区域, 占地 4.2 万 km<sup>2</sup>, 煤炭产能超过 2.7 亿 t。随着区域内煤炭开采规模和强度不断增大, 生态安全问题日益严重。煤炭开采导致生态系统结构变异、生态过程阻断、生态功能退化、生态稳定性减

弱,对区域协调发展产生不利影响。目前干旱荒漠区煤炭开发对区域生态影响规律研究尚不系统,矿区生态恢复技术研发相对滞后,已有的生态恢复技术和模式难以支撑煤炭基地的生态修复与综合整治。

因此,研究西北干旱荒漠区煤炭开发对区域生态影响规律,构建矿区受损生态系统恢复与重建技术体系,在典型区域进行规模化研究示范,为西北干旱荒漠区煤炭基地生态安全保障提供科技支撑,对于实现矿区生态恢复、改善生态环境质量、保障“两屏三带”区域生态安全具有重大意义。

## 1 项目研究内容、研究思路及技术路线

### 1.1 项目研究内容

项目旨在阐明煤炭开发对区域生态的影响规律,提出生态安全阈值,建立生态红线预警及调控机制。研究以水土资源保护利用、沙尘防控、植被恢复为核心的生态保护、恢复、重建与保育技术体系。系统研发矿区生态安全评价与监测预警技术、近自然地形重塑与新土体构建技术、沙尘“固—阻—输”综合防控技术、近自然植被恢复与保育技术、水土资源保护与高效利用及固废资源化利用技术,并进行集成示范。

项目设计了 6 个课题,课题 1 针对煤炭开发对区域影响,从生态安全角度分析,研究其对区域生态的影响规律、范围、边界,并进行风险识别,建立生态红线预警<sup>[1-4]</sup>;课题 2 针对采煤迹地植被重建与保育技术,从立地条件、植物类型、生态景观、水肥耦合规律进行研究<sup>[5-7]</sup>;课题 3 对矿区沙尘发生规律及防控技术体系进行研究,对沙尘来源、规律进行分析,建立预警系统,研究生物、工程措施相结合的矿区沙尘控制综合技术体系<sup>[8-14]</sup>;课题 4 针对采煤迹地地形与新土体近自然构建技术,研究采煤迹地地形与新土体近自然构建技术<sup>[15-16]</sup>;课题 5 针对矿区水资源保护与综合利用关键技术<sup>[17]</sup>;课题 6 对矿区生态修复与生态安全保障技术集成示范进行研究<sup>[18-20]</sup>。

1.1.1 煤炭开发对区域生态安全影响途径和机制研究 针对西北干旱荒漠生态脆弱区煤炭开发引发的土地质量降低、植被退化或死亡、地表水流失及沙尘活化等生态问题,研究煤炭开发对区域生态安全的影响机制。一是研究煤炭开发对区域生态的影响规律,明晰该地区的生态环境特征信息,理清煤炭开发对区域土壤、植被、地表水等不同生态要素的作用途径和机制<sup>[1]</sup>;二是界定煤炭开发对区域生态的影响范围和影响边界,筛选能够反映生态变化的典型特征,分析地表生态变化的光谱特征与空间几何特征,建立基于多因素、多数据源的识别模型,提出基于遥感和 GIS 的生态影响范围划定技术;三是研究煤炭开发生态风险识别与预警技术,明晰威胁区域生态系统健康和稳

定的生态风险类型,构建煤炭开发生态风险危险度评价指标体系,研究生态风险的稳定性维持机制及预警技术<sup>[2-4]</sup>;四是研究煤炭开发对区域生态损毁累积效应,在生态风险范围内,研究煤炭开采活动对矿区生态系统要素的扰动机理,计算生态安全阈值,建立生态红线预警及区域生态系统调控机制<sup>[21-24]</sup>。

1.1.2 采煤迹地植被重建与保育技术研究 针对西北干旱荒漠区采煤迹地立地条件差、生境干扰严重、植被退化等问题,研究采煤迹地植被重建与保育技术。一是开展采煤迹地立地条件类型划分与评价,研究植被演替规律,明确立地条件特征与适生植物类型<sup>[25]</sup>;二是根据采煤迹地的土壤、水分、气候特点,筛选耐旱、耐贫瘠、抗污染的适生乔灌木(草)种<sup>[5]</sup>;三是基于植物生态适应性和种间关系理论,研究采煤迹地生态型、生态景观型植被配置模式与快速营建技术<sup>[26]</sup>;四是研究不同植物种水分利用效率以及不同植被配置模式的水肥耦合规律,研究干旱荒漠区采煤迹地近自然植被的保育技术<sup>[27]</sup>。

1.1.3 矿区沙尘发生规律及防控技术体系研究 针对目前西北干旱荒漠区煤炭基地沙尘危害的问题,研究沙尘发生规律和矿区沙尘“固—阻—输”防控技术体系。一是开展矿区沙尘来源和发生规律研究,辨析沙尘源特点,评估沙尘对矿区环境的影响,揭示沙尘形成的物理过程与扩散规律<sup>[8-9]</sup>;二是开发近地面沙尘智能监测平台,确定沙尘浓度阈值,建立沙尘监测预警系统<sup>[12]</sup>;三是筛选滞尘效果良好的植物,按沙尘特性划分植物功能群,建立应对不同沙尘特性的优势滞尘植物功能性状配比体系;四是针对煤炭开发过程中各尘源特点,研发环境友好型抑尘材料与装置<sup>[13]</sup>;五是在沙尘来源和发生规律研究以及抑尘材料与装置研发的基础上,研究生物、工程措施相结合的矿区沙尘控制综合技术体系<sup>[14]</sup>。

1.1.4 采煤迹地地形与新土体近自然构建技术研究 针对矿区堆场坡体不稳、土壤肥力条件差、矸石自燃等问题,研究采煤迹地地形与新土体近自然构建技术。一是研究采煤迹地地形近自然设计方法,构建地形整理装备智能化系统;二是分析重塑地形水文特征,研究采煤迹地近自然地形坡体土壤水分集蓄和高效利用技术<sup>[16]</sup>;三是评价堆场土体土壤肥力条件,制备优势真菌纯种或复合菌剂,研究采煤迹地土壤微生物改良技术;四是研究引发煤矸石自燃发生的条件和因素,基于源头控制原则,研发煤矸石自燃防控灭技术;五是研究矸土颗粒的宏观特性,基于坡体稳定和植被恢复要求,给合土壤水分集蓄与高效利用和微生物改土技术,研究采煤迹地新土体构建的综合技术<sup>[28-29]</sup>。

### 1.1.5 矿区水资源保护与综合利用关键技术研究

针对西北干旱荒漠区煤炭基地生态恢复过程中亟需解决的水资源短缺现状以及矿区水资源保护与综合利用技术需求,对煤炭矿区生态恢复过程中水资源平衡、配置、开发和利用技术开展研究<sup>[17]</sup>。一是确定矿区可用于生态恢复的生态用水总量,研究生态恢复过程中不同类型人工植被建植群落在营建和保育阶段的需水规律,确定基于生态恢复植被优化配置的临界生态需水量与最适生态需水量限值;二是确定矿区再生水水资源的水质提升方案,研发以高效絮凝和高效沉淀为核心的煤炭开采废水物化处理技术和以生物膜适度去除有机污染物的生物处理技术,明确再生水资源化的生态利用风险;三是建立不同植被配置条件下的灌溉制度,提出适宜不同类型植被的节水灌溉技术,明确适于植被有效生长的现代化节水灌溉方案和地表覆盖节水灌溉方案,以及保障边坡稳定的灌水方案;四是评价矿区地表水系的现状和作用,建立地表水水系和地表、地表植被稳定性的关系,提出矿区地表水水系恢复和构建技术方案;五是评价矿区现状水资源承载力,预测生态恢复的水资源需求,构建能够满足生态恢复主要要素水资源需求的水资源优化配置系统,形成西北干旱荒漠区煤炭基地的水资源优化配置方案<sup>[30]</sup>。

1.1.6 矿区生态修复与生态安全保障技术集成示范研究 针对西北干旱荒漠区煤炭基地生态修复与生态安全保障技术的应用推广问题,开展矿区生态修复与生态安全保障技术集成示范研究。一是分析示范区煤炭开采方式、工艺技术特点和主要环境现状,分类提出适宜不同土地损毁类型的生态修复优化技术方案,确定典型示范工程生态修复关键技术组合、对位配置模式和主要技术参数,提出内蒙古乌海市和宁夏灵武市煤炭基地生态修复技术设计方案<sup>[19]</sup>;二是建成采矿过程与生态修复一体化技术综合示范区和示范工程,提出以干旱荒漠植被为主区域(乌海)煤炭基地的生态修复与生态安全保障典型技术方案<sup>[20]</sup>;三是建成采矿工程与生态修复一体化技术示范区和示范工程,提出以荒漠草原植被为主区域(灵武)煤炭基地生态修复与生态安全保障典型技术方案;四是对示范工程所采用的系列生态修复技术的实施效果、适用性和可推广性进行系统评价,提出西北干旱荒漠区煤炭基地采矿工程与生态修复一体化技术体系和模式<sup>[31]</sup>。

### 1.2 项目整体研究思路

项目以“西北干旱荒漠区煤炭基地生态安全保障技术”研究为主线,应用系统工程原理,按照理论研究、技术研发、集成示范一体化的原则,覆盖项目指南

规定的所有研究内容和考核指标,设置课题和分解研发任务,确保项目课题之间的关联性、协调性、整体性。研究内容设置以解决矿区生态安全保障机制和生态安全保障技术两个科学问题为突破点,以矿区生态安全评价与监测预警、近自然地形重塑与新土体构建、沙尘“固—阻—输”综合防控、近自然植被恢复与保育、水土资源保护与高效利用、固废资源化利用等关键技术开发和技术体系构建为重点,依托内蒙古乌海市和宁夏灵武市开展生态修复工程关键技术的集成和示范,为西北干旱荒漠区煤炭基地生态恢复和生态安全保障提供科技支撑。

### 1.3 项目野外实施区域

西北干旱荒漠区煤炭基地生态恢复示范区在内蒙古乌海市和宁夏灵武市分别落实,依托内蒙古乌海市和宁夏灵武市煤炭基地,针对西北干旱荒漠区煤炭开发过程中不同采矿方式、工艺流程引发的土地损毁、植被退化等生态问题。项目以典型脆弱生态修复与保护为核心,从西北干旱荒漠区煤炭基地生态恢复实际需求出发,探索西北干旱荒漠区生态恢复共性的科学原理和关键技术,基于煤炭开发对区域生态的影响规律,提出生态安全阈值,建立生态红线预警及调控机制,基于水土资源保护与利用、沙尘防控、植被恢复技术研究,形成生态保护、恢复、重建、保育技术体系,解决矿区生态安全保障技术问题。

### 1.4 项目技术路线

本项目针对西北干旱荒漠区煤炭基地生态恢复与生态安全保障问题,按照基础理论研究、关键技术研发、技术集成示范的技术路线开展研究。系统研究煤炭开发对区域生态安全影响途径和机制,研发水土资源保护利用、地形重塑、土壤重构、植被重建、生态保育等生态恢复与生态安全保障技术,构建矿区生态修复技术体系,依托内蒙古乌海市和宁夏灵武市开展技术集成与工程示范。本项目总体技术路线如图1所示。

## 2 项目总体目标、考核指标及预期成果

### 2.1 项目总体目标

针对西北干旱荒漠区煤炭基地土地损毁、水资源匮乏、植被退化、沙尘活化等生态安全问题,围绕西北干旱荒漠区煤炭基地生态安全保障机制和技术两大关键问题,研究该区煤炭基地建设的生态累积效应,阐明煤炭开发对区域生态的影响规律,建立生态红线预警及生态优化调控机制,解决矿区生态安全保障机制问题;研发矿区人工地形地貌近自然整理、地带性土壤重构、沙尘综合防控、水资源综合高效利用、近自然植被重建及保育技术,形成以水土资源保护利用、沙尘防控、植被恢复为核心的西北干旱荒漠区煤炭基地生态保护、恢复、重建、保育技术体系,解决矿区生

态安全保障技术问题,研发和集成煤炭基地采矿工程与生态修复一体化技术体系,形成西北干旱荒漠区煤炭基地生态安全保障技术方案,在内蒙古乌海市和宁

夏灵武市进行集成示范,为保障西北干旱荒漠区煤炭基地可持续开发和区域生态安全提供科技支撑。

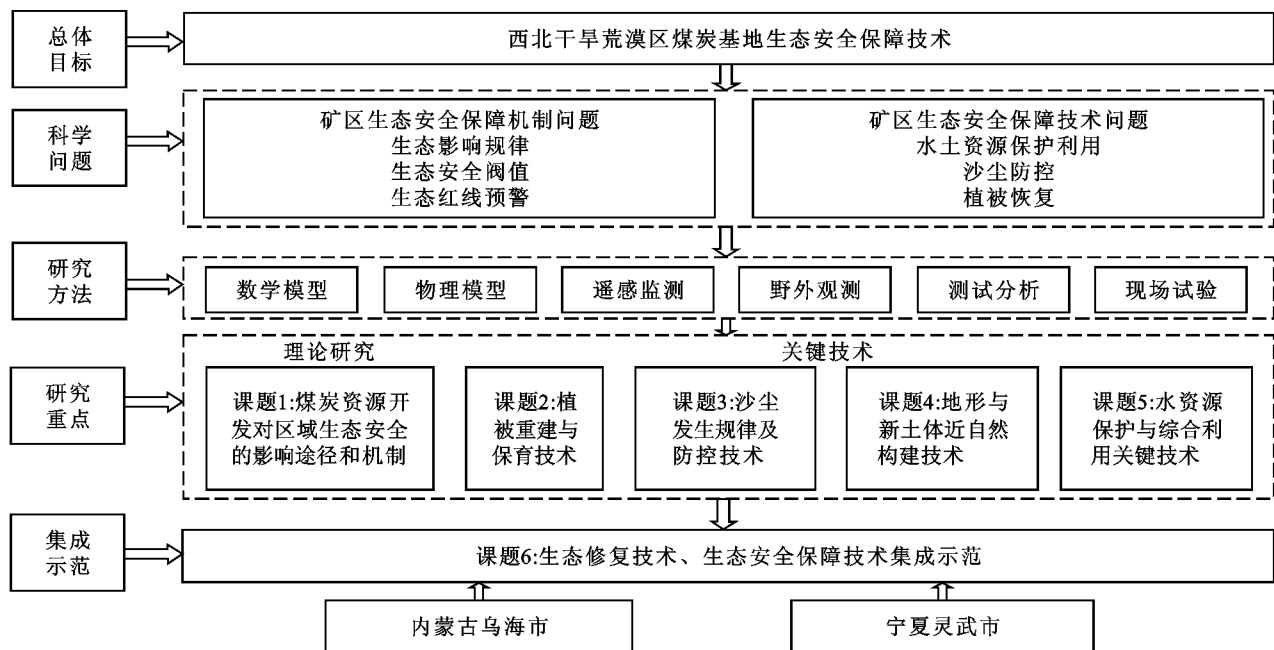


图 1 项目技术路线

## 2.2 项目考核指标

2.2.1 基础研究方面 揭示一个规律,建立一套评价体系,形成一套技术方案。主要包括:揭示西北干旱荒漠区煤炭开发对生态的影响规律和累积效应,构建生态累积效应评价模型;形成西北干旱荒漠区煤炭基地生态安全保障技术方案。

2.2.2 技术研发方面 研发矿区生态安全评价与监测预警技术、近自然地形重塑技术、新土体重构技术、煤矸石自燃防控灭技术、土壤生物联合修复技术、沙尘“固—阻—输”综合防控技术、近自然植被快速营建技术、植被保育技术、生态用水处理技术、边坡稳定性保障灌溉技术、基于水资源平衡的矿区水资源保护与合理配置技术、固废资源化利用技术、采矿工程与生态修复一体化技术等 10~12 项关键技术。

2.2.3 示范工程方面 本项目将在西北干旱荒漠区的内蒙古乌海市和宁夏灵武市建立示范区 2 处,植被覆盖度较本底值提高 20% 以上,废弃迹地治理率达到 95% 以上。

2.2.4 知识产权与人才培养方面 发表高水平学术论文 50~60 篇(其中 SCI/EI 收录 30 篇),出版专著 2~3 部;申请专利 10~12 项,编制申报企业或行业标准(规程)3~5 项;培养研究生 50~60 人,10~15 人晋升职称,培养 5~6 名优势学科带头人。

## 2.3 项目预期成果

研发矿区生态安全评价与监测预警技术、近自然

地形重塑与新土体构建技术、沙尘“固—阻—输”综合防控技术、近自然植被恢复与保育技术、水土资源保护与高效利用及固废资源化利用技术等关键技术 10~12 项;制订技术规程(标准)3~5 项,筛选适生草树种 8~10 种,优化配置模式 5~8 个,申请专利 10~12 项,出版专著 2~3 部,发表高水平论文 50~60 篇,其中 SCI/EI 收录 30 篇,培养研究生 50 人以上,10~15 人晋升职称,培养 5~6 名优势学科带头人,在内蒙古乌海市和宁夏灵武市建设示范区 2 处,共 333.3 hm<sup>2</sup>,示范区治理率达到 95% 以上,预期创造效益 10 亿元,促进西北干旱荒漠区生态与社会经济的和谐发展。

## 3 项目研究展望及可能存在问题

本项目针对煤炭开采造成矿区水、土、植被损毁破坏以及沙尘灾害等问题,研究以水土资源保护利用、沙尘防控、植被恢复为核心的生态保护、恢复、重建、保育技术体系,解决矿区生态安全保障技术问题。项目将研发矿区生态安全评价与监测预警技术、近自然地形重塑与新土体构建技术、沙尘“固—阻—输”综合防控技术、近自然植被快速恢复与保育技术、水土资源保护与高效利用及固废资源化技术等关键技术 10~12 项。

预期在技术层面上将有效提高矿区生态恢复治理水平,技术研发结合“采排复一体化”“近自然”“循环利用”等理念,实现煤炭开发的边开采、边保护、边恢复,减少对资源环境的破坏,节约后期土地复垦和环境保护费用。矿区生态修复在考虑减少水土流失、

恢复土地生态功能,促进植被演替的同时兼顾矿区景观质量以及废弃物的综合利用,可以提高煤炭企业开展区域生态保护与综合治理能力,生态、经济和社会综合效益显著。

项目可能会存在以下3方面的问题:

(1)虽然在试验点层面上沙尘“固—阻—输”综合防控技术耦合性较强,但在区域层面上研究示范的系统性和整合性较弱。项目需要加强西北干旱荒漠区煤炭基地系统生产与生态功能合理配置的研究。

(2)西北干旱荒漠区煤炭基地水资源稀缺,且地下水资源情况不一,近自然植被恢复与保育技术需要试验地区提供气象、水文数据资料,并提出节水灌溉措施。

(3)研究示范与社会科学的结合较弱,需要对西北干旱荒漠区煤炭基地生态系统在利用方式、人口变迁、保护生态及感知观念提升、宗教观念、恩格尔系数波动、国家政策和奖补机制等结合起来,分析对植被演替、生态承载力、管理应对策略等的影响,以恢复西北干旱荒漠区煤炭基地生态为前提,以人为本,因地制宜制定西北干旱荒漠区煤炭基地生态保护与可持续发展的策略和模式。

#### 参考文献:

- [1] Feng J J, Zhang C L, Zhao T N. Rapid revegetation by sowing seed mixtures of shrub and herbaceous species [J]. *Solid Earth Discussions*, 2015, 6(2): 369-391.
- [2] 史沛丽,张玉秀,胡振琪,等.采煤塌陷对中国西部风沙区土壤质量的影响机制及修复措施[J].*中国科学院大学学报*,2017,34(3):318-328.
- [3] 牛蒙,张玉秀,王扬军,等.煤矿生态环境影响评价分析[J].*金属矿山*,2010,39(3):129-133.
- [4] 孙琦,白中科,曹贵银,等.特大型露天煤矿土地损毁生态风险评价[J].*农业工程学报*,2015,31(17):278-288.
- [5] 王仰麟.矿区生态风险评估与防范研究[M].北京:科学出版社,2016.
- [6] 郭克贞,王宝林.内蒙古牧区水资源分布特征与可持续开发利用对策[C]//自然之友杂志社,环境运动联合组织.中韩荒漠化防治与草原保护研讨会论文集.北京,2006.
- [7] Dong J H, Jiang D H. The patterns of management and utilization of landslips and corresponding landscape ecological reconstruction in the coal mine area in China [J]. *Advanced Materials Research*,2014, 838/841: 1981.
- [8] 汤万钧.露天矿剥离工作面粉尘分布与运移规律模拟研究[D].北京:中国矿业大学,2014.
- [9] 张永亮.从乌海风口入手加速乌兰布和沙漠治理步伐[J].*林业经济*,2008(12):40-42.
- [10] 王素平.乌海市区绿洲生态系统的保护与建设[C]//中国科协2002年学术年会.加入WTO和中国科技与可持续发展:挑战与机遇、责任和对策.成都,2002.
- [11] 高峰.草原区露天煤矿大气环境影响后评[D].呼和浩特:内蒙古大学,2011.
- [12] Gao T Z, He F G. Research of geological environment remediation and reconstruction of coal mining area in Western of Shijiazhuang City, China [J]. *Advanced Materials Research*, 2013, 726/731: 1628-1631.
- [13] 曹文洁.荒漠区典型露天煤矿粉尘扩散模拟研究[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2014.
- [14] 范一大,史培军,李素菊.沙尘灾害遥感监测方法研究与比较[J].*自然灾害学报*,2007,16(5):160-165.
- [15] 王兴东,马宝山,杨学勇,等.毛乌素沙地大泉项目区防沙治沙建设现状及发展对策[J].*宁夏农林科技*,2010(5):41-42.
- [16] 苏人琼,刘俊民.宁夏平原水资源的开发利用[J].*资源科学*,1989,11(2):28-33.
- [17] 李姝蕊.矿区环境空气污染的防治措施探析[J].*山西煤炭*,2013,33(12):73-74.
- [18] 朱成剑.采矿废弃地生态恢复的主要措施和技术[J].*江西建材*,2015(21):226-226.
- [19] 王洁,周跃.矿区废弃地的恢复生态学研究[J].*安全与环境工程*,2005,12(1):5-8.
- [20] 丁志平.矿区地质环境的破坏与恢复:以乌海地区为例[J].*国土资源*,2002(12):32-33.
- [21] 任钊.乌海矿业废弃地景观再生设计研究[D].陕西杨凌:西北农林科技大学,2012.
- [22] 丁志平.乌海煤炭资源开发与矿区环保问题[J].*矿业工程*,2004,2(4):47-49.
- [23] 韩风玲.乌海煤炭资源开发与矿区环保问题探讨[J].*西部资源*,2012(6):120.
- [24] 雷春梅.乌海市矿区环境综合治理和生态恢复初探[J].*内蒙古林业*,2016(12):14-15.
- [25] Leistner T, Peuker U A, Rudolph M. How gangue particle size can affect the recovery of ultrafine and fine particles during froth flotation [J]. *Minerals Engineering*, 2017, 109: 1-9.
- [26] Mun M, Cho H, Kwon J. Study on characteristics of various extractants for mineral carbonation of industrial wastes [J]. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2017, 5(4): 3803-3821.
- [27] 郝威铎.煤矸石堆放对土壤、水体和植物的环境影响:案例研究[D].北京:中国矿业大学,2015.
- [28] 马宝山,杨晓芸,杨艳萍.抗旱节水与造林技术研究[J].*农技服务*,2016,33(13):116.
- [29] 陈英义,李道亮.北方农牧交错带沙尘源植被恢复潜力评价模型研究[J].*农业工程学报*,2008,24(3):130-134.
- [30] 陈志彪,涂宏章,谢跟踪.采矿迹地生态重建研究实例[J].*水土保持研究*,2002,9(4):31-32,35.
- [31] 李富平,夏冬.采矿迹地生态重建模式研究[J].*化工矿物与加工*,2010,39(5):25-28.