

酸刺沟煤矿生态保护与恢复技术评价

马世杰, 辛 凯*, 郭 栋, 岳为栋, 柳 冰, 李朋元

中国地质调查局廊坊自然资源综合调查中心, 河北 廊坊

收稿日期: 2025年11月27日; 录用日期: 2025年12月21日; 发布日期: 2026年1月16日

摘 要

【研究目的】矿产资源开发应当与环境保护、资源保护、城乡建设相协调, 推广应用绿色开采技术, 最大限度减少对自然环境的扰动和破坏。酸刺沟煤矿作为已建成的第二批国家级绿色矿山试点单位。围绕碳达峰、碳中和目标, 抓住建设国家重要能源和战略资源基地的重大机遇, 推动能源产业实现智能化和绿色转型发展。推动煤炭安全绿色开采, 有序释放优质产能, 保障能源供应。率先成为建成智慧矿山三家单位之一, 并推广“5G+ 智慧矿山”应用模式。其绿色矿山生态修复模式已成为典范。【研究方法】本文以准格尔旗酸刺沟煤矿为主要研究对象, 探讨了其生态保护与恢复技术方法, 为该地区生态环境与地貌景观得以改善提供支撑, 促进了人与自然的和谐发展。【研究结果】矿山开采活动频繁, 管理模式落后, 粗放式和暴力开采主导, 严重影响自然生态环境, 并引发地质灾害, 如泥石流、滑坡和地面塌陷, 阻碍经济社会发展。因此, 人与自然的矛盾加剧, 生态保护形势严峻, 合理开采和绿色矿山成为关键。【结论】资源开发不能走先污染后治理的老路子, 要根据当地地理位置与地貌特征边开发边治理, 做到开发治理两不误。

关键词

绿色矿山, 生态修复, 优生基

Evaluation of Ecological Protection and Restoration Technology in Suancigou Coal Mine

Shijie Ma, Kai Xin*, Dong Guo, Weidong Yue, Bing Liu, Pengyuan Li

Langfang Comprehensive Natural Resources Survey Center, China Geological Survey, Langfang Hebei

*通讯作者。

文章引用: 马世杰, 辛凯, 郭栋, 岳为栋, 柳冰, 李朋元. 酸刺沟煤矿生态保护与恢复技术评价[J]. 矿山工程, 2026, 14(1): 151-160. DOI: 10.12677/me.2026.141016

Abstract

[Objective] Mineral resource development should be coordinated with environmental protection, resource conservation, and urban-rural construction. The application of green mining technologies should be promoted to minimize the disturbance and damage to the natural environment. Suancigou Coal Mine is one of the second-batch national green mine pilot units that have been established. Centering around the goals of carbon peaking and carbon neutrality, it seizes the major opportunity of building a nationally important energy and strategic resource base to promote the intelligent and green transformation and development of the energy industry. It promotes the safe and green mining of coal, releases high-quality production capacity in an orderly manner, and ensures energy supply. It has taken the lead in becoming one of the three units to build a smart mine and popularized the “5G + Smart Mine” application model. Its ecological restoration model for green mines has become a model. **[Method]** This paper takes Suancigou Coal Mine in Jungar Banner as the main research object, explores its ecological protection and restoration technical methods, provides support for the improvement of the ecological environment and landform landscape in this area, and promotes the harmonious development between humans and nature. **[Result]** Mining activities in mines are becoming increasingly frequent, while the management mode is relatively backward. Extensive and violent mining methods dominate, which have a huge impact on the natural ecological environment and are also the main inducing factors for geological disasters. They can easily trigger geological disasters such as mudslides, landslides, and ground collapses in mining areas, ultimately becoming an obstacle to the harmonious and stable development of the economy and society. Therefore, the contradiction between humans and nature is becoming increasingly severe, and the situation of ecological protection is grim. Rational mining and green mines have become the themes. **[Conclusion]** Resource development should not follow the old path of “pollute first, treat later”. Instead, it is necessary to carry out treatment while developing according to the local geographical location and landform characteristics, so as to achieve both development and treatment.

Keywords

Green Mine, Ecological Restoration, Eugenic Base

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

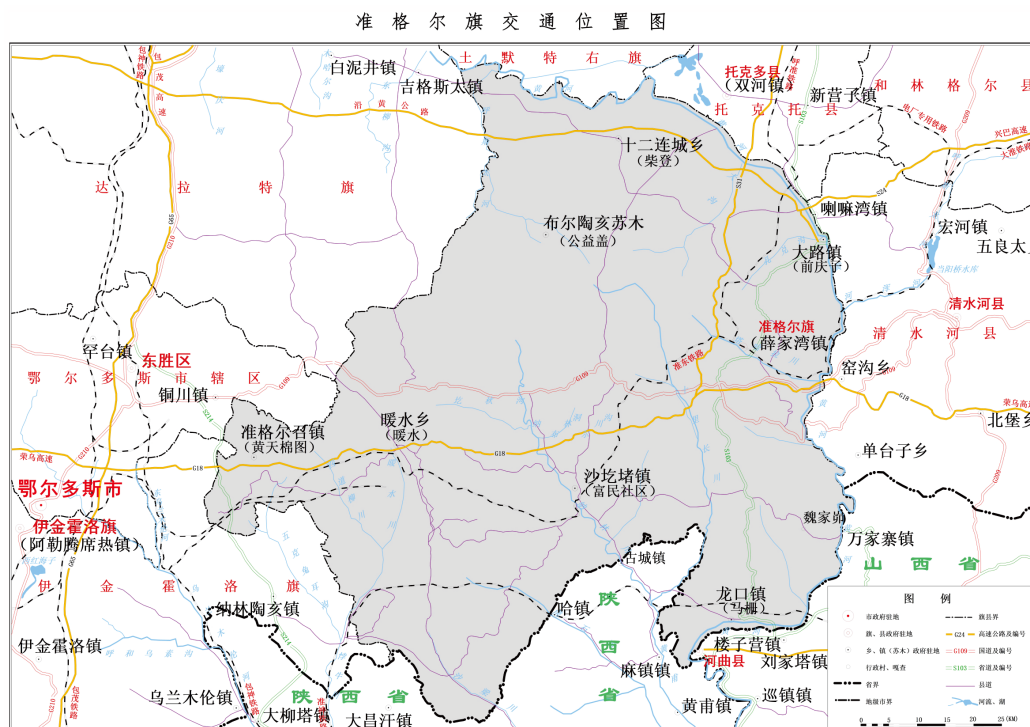
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 研究背景及意义

准格尔旗东部位于黄土高原的边缘山麓地区，丘陵低洼山峦起伏，沟壑纵横，南部部分属于灰色黄土高原丘陵山区，西部部分属于灰色土石山区，北部部分属于灰色沙质高原丘陵区[1]。全旗行政辖区区域面积七千六百六十多平方公里，人口 22.8 万，民族主要地区包括有内蒙古、汉、回、满、藏(图 1)。煤炭资源丰富，已经深入勘探发掘出来的准格尔三大煤田的煤炭总面积大约为 1723 平方公里，其中准格尔煤田煤炭储量约 362 亿吨。国家非常重视准格尔石油煤田的资源综合利用开发和保护利用，已被国家列入了新的国家第六个五年长期行动计划，并将其作为一项国家重点项目建设工程对其进行了区别对待。酸刺沟煤矿位于内蒙古准格尔煤田中央区域，酸刺沟煤矿面积为 49.8178 平方公里。



注：该图基于自然资源部标准底图服务网站下载的审图号为 GS(2023)2762 号的标准地图制作，底图无修改。

Figure 1. Traffic location map of Jungar Banner

图 1. 准格尔旗交通位置图

2. 研究现状及内容

2.1. 国内外生态修复研究现状

矿山生态修复最早开始于美国和德国，工业发达国家已经自发地在矿区进行种植试验和土壤改良研究[2]，开始了矿区生态环境修复的历程。有悠久采矿历史的发达国家也很早就开始恢复生态学相关研究，如澳大利亚在矿区生态修复方面取得了很大的成绩，人与自然关系越来越密切，人类采矿活动对自然的破坏日益严重，随着科技的发展，大型超大型的采矿设备的出现，对环境的影响也越来越严重，所以生态修复已成为采矿后续产业的重要组成部分。

另外,美国、英国、加拿大、澳大利亚等国家都通过制定矿山环境保护法规理顺矿山环境管理体制、建立矿山环境评价制度、实施矿山许可证制度、保证金制度,严格执行矿山监督检查制度等措施来保证矿山生态修复的成效。

国内矿山修复治理起步相当晚,我国于 20 世纪 50 年代末开始废弃矿山的治理工作[3],但一直到 20 世纪 80 年代,矿区的生态恢复工作还处于分散、小范围、不成熟的阶段。尽管我国矿区废弃地生态修复相当缓慢,但其比例在逐年提高。特别是 1988 年我国颁布《土地复垦规定》后,矿山废弃地的生态修复工作开始步入法治化轨道,生态修复速度和质量有了较大的提升,并取得了一定的成效,如大型煤矿区生态重建与金属尾矿区的植被恢复。

中国虽然矿山环境治理起步较晚，近年来，随着国家绿色矿山建设的推进与习近平总书记“绿水青山就是金山银山”理念的提出[4]，中国煤矿企业对矿山后续的生态修复与治理工作尤为重视，当前正处在矿山绿色发展的关键时期。

2.2. 矿集区生态修复主要研究内容

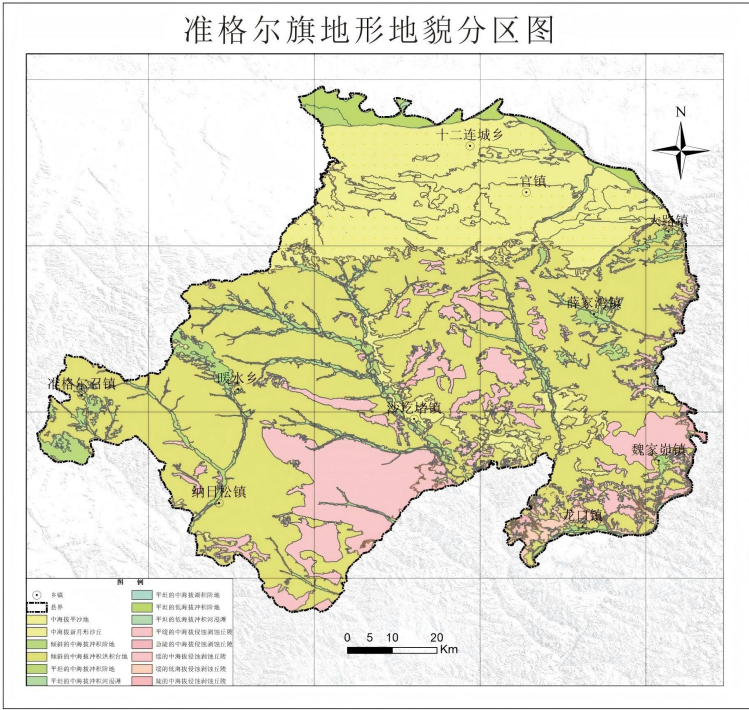
矿山生产过后，对于整体环境破坏较为严重[5]，矿山生态修复主要包括治理因矿山开采所引起的自然环境问题，如水土流失、土壤污染、山体滑坡、植被退化，大气污染，通过治理修复实现自然平衡，如果不加以工程手段需要花费大量时间，甚至不可能恢复，所以矿山生态修复是为实现环境自然和谐。常用措施如：边坡修复、生态复垦、矿山废弃地治理、矿区水污染治理、土壤治理、尾矿治理等。

生态修复的每一个项目都经过了专业技术人员在实地进行勘察了解当地情况和对需要修复的地方进行数据监测，实地去了解当地人文及自然地理条件，对矿山开采造成的生态环境破坏，进行深入调研和数据检测[6]。深入了解矿山开采对周边环境的影响，针对性地提出方案设计。采用对应的技术进行修复，提供适宜的养护措施等。对矿山进行有序修复，可以实现矿山可持续发展[7]。

3. 酸刺沟矿区主要情况

3.1. 地形地貌

酸刺沟煤矿位于准格尔旗，而准格尔旗地区位于中国鄂尔多斯高原东南部，总体上其西部地势基本上大致是西北高，东南低，中部边缘稍微有一定的高原隆起，为一道高原分水岭，东部西北边缘稍微翘起并形成一道被称为噶尔盆地的西部边缘。境内大部分丘陵山区大小沟谷均已开始发育，沟谷间的上下坡路纵横交错，地表被多条山脉不断切割得支离破碎。海拔高于海平面 820~1585 m，最高点位于西北部准格尔召镇乌拉哈达一带，最低点位于东南部龙口镇马棚一带。按照成因类型与形态类型结合的分类方式，全旗地貌可分为四种类型。其中以黄土丘陵、基岩丘陵为主，约占总面积的 76%；沙地次之，约占总面积的 21.7%；其余为黄河冲积平原，约占总面积的 2.3% (图 2)。



注：该图基于自然资源部标准底图服务网站下载的审图号为 GS(2016)1609 号的标准地图制作，底图无修改。

Figure 2. Landform Zoning Map of Jungar Banner
图 2. 准格尔旗地形地貌分区图

3.2. 气象与水文特征

准格尔旗属半干旱大陆性季风气候, 具有冬季漫长而寒冷; 夏季温热而短促, 降雨集中; 春秋季气温变化剧烈, 日温差较大; 全年日照充足, 年降水量少, 蒸发量大的气候特征。据阿鲁准格尔旗人民气象站 1959~2004 年一月气象观测数据分析统计, 年 1 月平均气温 7.2℃, 极端最低气温为-32.8℃。极端最高气温为 39.1℃。历年平均降水量 393.7 mm, 降水量自东南向西北递减(降水量 420~379 mm 之间), 但年际间降水不均, 年最大达 636.5 mm (1961 年), 年最少 142.5 mm (1965 年)。日最大降水量 86.5 mm (1972 年 7 月 19 日), 小时最大降水量 40.2 mm (1994 年 7 月 25 日 17 时 05 分), 10 分钟最大降水量 24.2 mm (1994 年 7 月 25 日 17 时 53 分)。降水总量分布较多的集中 6~9 月份, 占到了我省全年总平均降水量的 76%。年平均的月蒸发物水平含有总热量 1993.5 mm, 其中 5~6 月最大, 年最高的月蒸发物平均含有总热量 2436.6 mm (1973 年)。平均相对湿度大约控制在 53%~56%之间, 年平均湿润度大约控制为 0.3~0.34。

准格尔旗境内的河流均属黄河水系。黄河流经本区北、东、东南三面, 流程 197 km, 从龙口镇马栅出境。境内的河流主要有“三川一河”, 即纳林川、十里长川、饽牛川和虎斯太河, 其次较大的沟谷有 195 条, 总流域面积 5395 km², 沟壑密度为 3~7 km/km²。除虎斯太河常年都残留有大量雨水外, 其余皆已成为一条具有一定季节性的干旱河流。河流的主要形态特点大致如下: 上游狭窄, 下游较为开阔; 下游河源段, 比降水流量大, 每年汛期暴雨出现时段水流湍急, 冲淤变化较大, 主流左右摆动, 不够稳定。两岸支流汇入, 多为短小洪沟。由于干流河道所经之处的地区土壤土质分布疏松, 植被和原始森林的覆盖率较少, 地表所受侵蚀物的冲刷较为强烈, 水土流失严重, 河流河道中的土壤含沙和砂物释放大。例如准格尔旗境内的黄甫川流域, 多年平均年输沙量达 0.53 亿 m³, 其面积仅占整个黄河中游流域的 1%, 但入黄河泥沙却占 4%, 其中 70%以上为粒径 0.5 mm 以上的粗砂。

3.3. 矿山开采历史及现状

酸刺沟煤矿由原小酸刺沟煤矿和酸刺沟矿井改扩建而成, 开采方式为井工开采, 设计生产规模由原来的 30 万吨/年增加到 1200 万吨/年, 矿区内共含可采煤层 5 层, 即 4、5、6 上、6、9 号煤层, 4 号煤层厚度 0.86~3.79 m, 平均厚度 2.44 m。6 上号煤层厚度 5.73~16.82 m, 平均厚度 11.09 m。6 号煤层厚度 2.70~8.80 m, 平均厚度 5.88 m。5 号煤层厚度 0.80~4.17 m, 平均厚度 1.64 m。9 号煤层厚度 0.80~2.56 m, 平均厚度 1.19 m。属于大型矿山, 经济类型为个体, 矿山位于内蒙古自治区鄂尔多斯市准格尔旗哈岱高勒乡马家塔村, 矿山中心位置坐标为东经: 111 度 12 分 27 秒, 北纬: 39 度 42 分 24 秒。

矿工业广场, 占地 76.60 公顷, 主要毁坏植被为草地, 该矿目前正在生产, 工业场地内包括办公楼、主井口、副井口、生产设备等。北方向为内蒙古伊泰京粤酸刺沟矿业有限责任公司, 由内蒙古伊泰煤炭股份有限公司、北京京能电力股份有限公司、山西粤电能源有限公司以 52%、24%、24% 的股比共同出资组建, 注册资本金 10.8 亿元人民币。项目由国家发展和改革委员会于 2007 年 8 月 7 日核准建设, 核增产能后生产规模为 1800 万吨/年, 井口选煤厂采用全重介选煤工艺, 26.85 千米的铁路专用线全线实现电气化。

矿排矸场与排土场, 主要毁坏植被为草地, 约 4.3 公顷, 实现土地复垦, 土地复垦项目分为三个区域, 面积约为 116.9 公顷, 含已封场完成绿化复垦区、现复垦作业区、远景规划复垦区。土地复垦项目依据国家发展改革委下发的《煤矸石综合利用管理办法》实施, 利用当地山区沟壑交汇地貌, 有效地将煤矸石作为综合利用资源进行土地复垦。

4. 酸刺沟煤矿生态保护与恢复技术方法

4.1. 边坡改良

酸刺沟矿山建设过程中, 经常伴有大量的开挖土石方, 而这些工程毁坏了原有地表植被, 造成大量

的裸露边坡,导致水土流失严重和生态环境失衡[8]。由于这些工程所形成的边坡靠自然界本身的力量恢复生态平衡往往需要较长的时间,甚至根本无法恢复,因而需要采取工程措施对边坡进行工程防护与生态绿化处理,以防止边坡破坏、水土流失,并涵养水源、净化空气、美化环境。

酸刺沟在选择植物种类时,注意保持了生物多样性,营建乔、灌、草、花、藤结合的多树种、多结构、多功能的复层生态景观群落[9],有效增加绿量和绿叶面积,挖掘单位面积上的潜在生态力,提高叶面积指数[10]。整个绿化沿线立体空间上有了线条变化和节奏感,这有利于提升整体的观感。

但是边坡绿化以种植草本地被为主[11],一般应选择耐干旱、抗瘠薄、根系发达、覆盖度好、易于成活、便于管理、同时兼顾景观效果的草本或木本植物,一味地为了绿化有时可能适得其反。也可用微生物手段改良边坡土质,例如在边坡中适量饲养蚯蚓,有助于植物生长[12](图3)。

边坡生态防护植物配置的技术原则是:以水土保持为主,兼具生态景观效果。边坡防护要考虑对整个植被进行逐步恢复,应以林草植物为主进行生态模式配置,有利于固土护坡、防止水土流失、改善边坡景观和护坡效果[13]。



Figure 3. Slope
图 3. 边坡

4.2. 煤矸石综合利用

煤炭开采量的增加,造成煤矸石大量堆放(图4),不仅浪费了宝贵的国土资源,而且部分煤矸石排放出的 SO_2 、 H_2S 等有害气体[14],在暴雨的冲刷下,容易污染河流、毁坏农田,对环境存在较大威胁。因此,煤矸石的处理及处置受到了广泛关注。

1) 发电

酸刺沟煤矿建成了酸刺沟电厂,位于内蒙古鄂尔多斯准格尔旗薛家湾大塔村境内,是依托紧邻的年产量 1200 万吨的内蒙古伊泰酸刺沟煤矿的项目,按照煤电一体化和坑口电厂的运行模式进行规划建设煤矸石发电一般利用热值在 1000 大卡左右的煤矸石做燃料,辅以适量的煤或煤泥,通过沸腾炉或循环流化床带动发电机组发电,而酸刺沟电厂也是依托酸刺沟煤矿建成,实现了煤矸石发电的高效利用[15]。

有利有弊,电厂发电之后的煤灰处理也是重中之重[16]。而排灰场的建设比排土场的建设难度与对当地环境的污染更为严重,推荐与建材,建工,水利,等部门或公司合作,发展到水泥原料,混凝土制品,

高级填料等处理方式，而不是建设排灰场处理重金属污染后掩埋。



Figure 4. Rows of ash fields

图 4. 排土场

2) 煤矸石优生基技术

煤矸石中含有多种农作物生长所需的微生物肥料成分，为开辟煤矸石的综合利用新途径，酸刺沟以煤矸石为基质生产生物肥料的菌种，并达到较好预期效果，产出的肥料具有无毒、无害、优质、高效等优点。并且在酸刺沟生态园中大规模使用，效果良好。

3) 煤矸石填充工艺

酸刺沟严格按照国家煤矸石综合利用标准，对煤矸石采取分区作业、分层充填、碾压、覆土、复垦还田流程工艺。填充顺序从上游向下作业，分层厚度不超过 8 米，工作面宽度不超过 40 米、长度不超过 30 米、路面宽度不超过 9 米，每一平面形成后及时覆土，每层覆土厚度大于 1 米。工作面形成后沿平面边缘留 25 米退台，并在平面边缘修建高度和上顶宽度均不小于 1 米的挡水堰，顶层覆土厚度大于 2 米且为黄土覆盖。建成排土场。

4.3. 土壤恢复技术

利用煤矸石培育优生基，通过把煤矸石分解，活化，钝化等加工处理，使煤矸石中所含的有机质、腐殖酸、氮、磷、钾以及其他微量元素得到有效释放[17]并且容易被植物生长所吸收；同时控制煤矸石的分解粒径比例来保证土壤的保水性和透气性，从而形成具有最适宜植物生长环境的高品质土壤[18]。

优生基产品通过对煤矸石进行处理加工，生产出一种自带肥性的生态种植栽培介质有机生态种植土，特点如下：发挥了煤矸石的特性、充分利用其有益成分(腐殖酸、Zn、B、Cu、Mn、Mo、Mn、Co 等)，通过活化处理后，其含有可促进植物生长的微量元素及氮、磷、钾等这些植物所需的基本元素是普通土壤中数倍以上。

优生基产品的密度及结构与普通土壤非常接近，可以和普通土壤(包括地下深层土、沙地、盐碱地、荒漠等)完美融合，快速实现有机物循环及微生物循环，从而形成高品质的植物生长土壤环境(图 5)。

随着泥炭资源的枯竭和国家对该类资源开采的控制，有机生态土会长期呈现出市场严重紧缺的现象，而我国的煤矸石存量及新增量巨大，煤矸石基有机生态种植土在填补市场空缺的同时，还能确保供应能力，具有市场不可替代性。



Figure 5. Eugenics demonstration field

图 5. 优生基示范田

缺点在于处理费用过高，技术手段尚不成熟，造价太高，不能大规模推广使用。

4.4. 复垦绿化

遵循生态优先、绿色发展理念[19]，对覆土后的填充区域及时进行绿化复垦，复垦区全部安设自动喷淋系统[20]，依势应时种植果树、松树、灌木及宿根类植物，搭建生态环境修复屏障，实现绿化全覆盖[21]。复垦区域的东部已种植了紫花苜蓿、草苜蓿、松树等；中部种植了玉米、蔬果等农作物，实现现场看护人员的自给自足；西侧建设了观景区域，进口道路两侧种植了薰衣草，并种植了梨树、李子树、富士苹果树[22]。

实现土地复垦，土地复垦项目分为三个区域，面积约为 116.9 公顷，含已封场完成绿化复垦区、现复垦作业区、远景规划复垦区(图 6)。

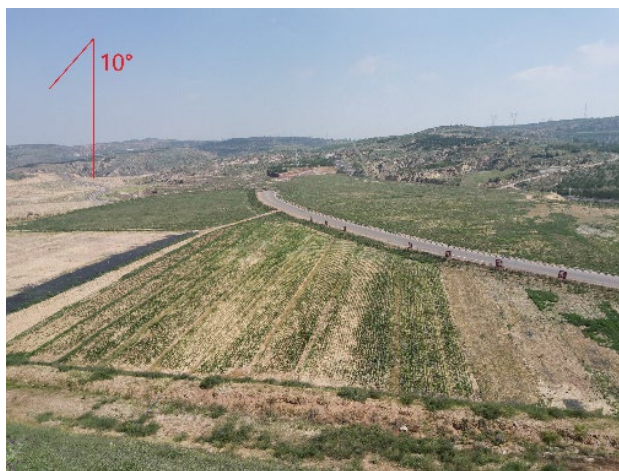


Figure 6. Reclamation and greening

图 6. 复垦绿化

4.5. 建设生态园林

矿山生态环境恢复治理中的工程绿化模式主要侧重于植被恢复[23]，通过对矿产资源开采完成后的裸露山坡、土地及废弃矿山等进行绿化种植，提高绿色植被覆盖率，最终形成一个整体性的绿化系统，

使原来缺乏生命力的荒芜地区转变成为富有生机与活力的绿化生态系统。工程绿化模式的实施过程相对简单,技术方法要求较低,无需过多经济投资,所形成的绿化效果相对稳定[24]。该种模式应根据矿山所处区域自然气候等客观条件,合理选择绿化植被种类,提高绿植生长适应性[25]。

在绿化完成之后可建成生态园林,将矿山开采区域打造成为具有欣赏价值的现代化园林(图 7),用现代园林艺术的先进理念与造景手法对矿区进行整体改造与提升,使最终效果具有园林特质。需要投入大量经费以及合理地规划分区。而酸刺沟利用土壤优生基技术合理规划建成了酸刺沟生态园,实现了绿色矿山,达成了矿石 + 农业 + 旅游模式,值得借鉴学习。但成本过高中小型小企业难以承受,技术手段要求过高,其他企业难以效仿。



Figure 7. Ecological gardens
图 7. 生态园林

5. 结论

针对准格尔旗区域地理特征和酸刺沟煤矿生态修复治理措施得出:

矿山开采活动日趋频繁,管理模式相对低下,粗放式开采及暴力开采的方式占据着主流,对自然生态环境影响巨大,并且也是地质灾害的主要诱导因素,极易在矿区引发泥石流、滑坡及地面塌陷的地质灾害,最终成为经济社会和谐稳定发展的阻碍要素。所以人与自然的矛盾日益严峻,生态保护形势严峻,合理开采,绿色矿山成为主题。

必须在矿产资源开发全过程中,实施科学有序开采,对矿区及周边生态环境扰动控制在可控制范围内,实现环境生态化、开采方式科学化、资源利用高效化、管理信息数字化和矿区社区和谐化的矿山。提升采矿技术,降低对自然环境的影响。

资源开发不能走先污染后治理的老路子,要根据当地地理位置与地貌特征边开发边治理,做到开发治理两不误。

将生态优先、绿色发展理念运用于矿业生产建设全过程:对一些矿业排土场土壤结构差,植物生长困难,生态优先、绿色发展理念应运用于矿业生产建设全过程,酸刺沟煤矿在生态修复过程中采用排土场优生基生态重建方法、形成了产业开发技术集成示范,可进行推广。并且在治理重金属污染大的矿山必须对土壤进行降解。

建立养护成本预算。在绿色矿山建设时,应考虑管护工作成本及可行性。在绿色矿山建设时需考虑后期养护成本,形成生态循环;运行期管护应坚持生态、绿色、环保的理念,建立健全监管机制,对修复

矿山及时评估维护, 本文主要对酸刺沟煤矿修复治理措施进行了剖析, 对现阶段存在的问题提出看法。希望逐步探索出一条适合中国的矿山修复治理评价体系。

基金项目

中国地质调查局“西藏雄梅地区 1: 5 万区域地质调查(编号: DD20250102610)”项目资助。

参考文献

- [1] 倪绍祥, 姜永清, 池宏康. 内蒙古准格尔旗资源遥感研究[J]. 北京: 中国科学技术出版社, 1992.
- [2] 张雅丽, 陈丽萍, 陈静. 中国绿色矿山建设政策、挑战及建议[J]. 国土资源情报, 2018(10): 48-60+67.
- [3] 司芴, 张应红, 刘立, 等. 新时代我国绿色矿山建设与发展的思考[J]. 中国矿业, 2020, 29(2): 59-64.
- [4] 盛世博. 我国绿色矿山生态建设展望[J]. 露天采矿技术, 2019, 34(3): 8-10.
- [5] 刘建功, 张克育, 谢国强, 等. 煤矿立体生态矿山建设技术研究[J]. 中国煤炭, 2025, 51(1): 2-11.
- [6] 彭苏萍, 毕银丽. 黄河流域煤矿区生态环境修复关键技术及战略思考[J]. 煤炭学报, 2020, 45(4): 1211-1221.
- [7] 王敏利, 雷方隼. 露天煤矿生态环境综合修复与治理研究[J]. 环境科学与管理, 2023, 48(10): 178-182.
- [8] 陶贵鑫. 我国重点煤矿区生态修复现状评价及规划策略研究[D]: [硕士学位论文]. 徐州: 中国矿业大学, 2022.
- [9] 郝文萍. 浅谈矿山生态恢复措施[J]. 山西化工, 2021, 41(6): 246-248.
- [10] 张立, 罗岐恩, 徐辉, 等. 牡丹沟煤矿地质环境问题及恢复治理研究[J]. 能源与环保, 2024, 46(6): 154-159.
- [11] 段策升. 矿山恢复治理和土地复垦分析[J]. 冶金与材料, 2023, 43(6): 70-72.
- [12] 李心慧. 露天煤矿区生态稳定性测度及其维持方法研究[D]: [博士学位论文]. 徐州: 中国矿业大学, 2022.
- [13] 邱加林. 煤矿矸石生态场生态恢复与治理措施分析[J]. 资源节约与环保, 2021(2): 36-37.
- [14] 王战社. 绿色矿山生态恢复治理方法的探索与应用[J]. 内蒙古煤炭经济, 2020(12): 158-159.
- [15] 闫晓明, 徐国俊, 韩鹏. 露天煤矿开采对生态的影响及生态修复[J]. 内蒙古煤炭经济, 2019(21): 6-9.
- [16] 柴晨晖, 秦越强, 王志民, 等. 基于 AHP-TOPSIS 方法的薛家湾——龙口镇露天煤矿大型排土场生态修复效果评价[J]. 中国地质调查, 2023, 10(5): 118-127.
- [17] 郎军, 辛学铭, 郝金刚. 煤电联营模式在鄂尔多斯东部地区的实践[J]. 选煤技术, 2018(6): 91-94.
- [18] 蓝超. 煤矸石资源化综合利用研究进展[J]. 内蒙古煤炭经济, 2024(17): 32-34.
- [19] 贾建慧, 马宁, 董阳, 等. 煤矸石综合利用研究进展[J]. 洁净煤技术, 2024, 30(S1): 36-45.
- [20] 董玉锟. 内蒙露天煤矿排土场边坡抗冲性及减水减沙效益研究[D]: [硕士学位论文]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2015.
- [21] 多鑫, 徐占军, 杨璐, 等. 露天煤矿复垦土壤活性有机碳影响因素及管控策略[J]. 自然资源学报, 2024, 39(11): 2735-2752.
- [22] 郭马磊. 露天煤矿土地复垦与生态修复技术的思考研究[J]. 内蒙古煤炭经济, 2025(3): 165-167.
- [23] 张莹. 矿山生态修复技术和生态保护措施[J]. 林业勘查设计, 2024, 53(5): 42-45.
- [24] 韩伶俐. 统筹生态保护治理视域下的绿色智慧矿山建设[J]. 世界有色金属, 2024(16): 127-129.
- [25] 李全生, 李淋, 方杰, 等. 北方防沙带大型露天煤矿区生态保护与修复技术[J]. 煤炭科学技术, 2024, 52(1): 323-333.