

DOI: 10.12401/j.nwg.2023087

新时期榆林煤矿区生态保护修复与 综合治理策略及路径探索

冯立¹, 张鹏飞², 张茂省^{1,*}, 刘颢¹, 王耀^{1,2}

(1. 西安交通大学人居环境与建筑工程学院, 陕西 西安 712000; 2. 榆林市自然资源和规划局 陕西 榆林 719000)

摘要: 榆林作为陕北地区国家能源基地的重要组成部分, 在过去 30 余年为中国经济社会发展作出了重要贡献。然而, 煤炭资源开发不可避免地给当地生态环境带来了采空区塌陷、土地与水资源破坏、生态退化等诸多问题, 且目前因煤炭规模开发的负面效应持续加剧着矿区水资源、土地资源的破坏以及生态系统韧性的下降, 已然威胁到榆林经济社会的可持续发展及国家能源资源的长远安全。多年来, 榆林煤矿区在地质环境治理方面形成了一批可复制、可推广的经验 and 模式, 但目前仍然呈现出整体效果不显著、基金使用率低、实施阻力大、系统设计受限、顶层规划缺乏等“五个问题”的困境, 多元化治理模式和相应的政策机制也尚未形成合力。为解决这一实际, 本研究在剖析煤矿区生态问题现状及生态修复工作面临问题及原因的基础上, 结合煤矿区治理现状及乡村高质量发展需求, 创新形成了“1 个目标、2 个底线、3 个空间、4 种模式”的榆林市煤矿区综合治理系统性解决策略, 建议了 3 项创新机制以及“三步走战略”的具体实践路径, 总结了适用于榆林煤矿区生态修复+N 的综合治理模式清单, 最后从政策、技术、管理等方面提出了对策建议。研究结果有助于为下一步系统性、整体性指导榆林市各煤矿企业开展矿山生态保护修复工作提供借鉴, 切实促进煤矿区生态保护修复走向多元化综合治理模式、走向社会-经济-生态协调的绿色发展新格局。

关键词: 生态环境; 煤矿区; 调查与评价; 生态保护修复; 策略与路径

中图分类号: P69; F205

文献标志码: A

文章编号: 1009-6248(2023)03-0019-11

Strategies and Practical Paths for Ecological Restoration and Comprehensive Management in Yulin Coal Mining Area in the New Era

FENG Li¹, ZHANG Pengfei², ZHANG Maosheng^{1,*}, LIU Hao¹, WANG Yao^{1,2}

(1. School of Human Settlements and Civil Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 712000, Shaanxi, China; 2. Yulin Bureau of Natural Resources and Planning, Yulin 719000, Shaanxi, China)

Abstract: Yulin city, as an important part of the Northern Shaanxi National Energy and Chemical Industry Base, has made tremendous contributions to the economic and social development of China in the past thirty years. However, the exploitation of coal resources inevitably brought mined-out area collapse, land and water

收稿日期: 2023-02-03; 修回日期: 2023-04-13; 责任编辑: 曹佰迪

基金项目: 榆林市自然资源和规划局榆阳分局项目“榆阳区煤矿区生态保护修复与综合治理规划(20220179)”, 国家自然科学基金青年项目(42107209)联合资助。

作者简介: 冯立(1990-), 男, 博士, 讲师, 从事生态安全与灾害风险防控研究工作。E-mail: fengli726@xjtu.edu.cn。

* 通讯作者: 张茂省(1962-), 男, 博士, 教授, 长期从事地质调查、灾害防治与生态修复研究工作。E-mail: xjtzms@xjtu.edu.cn。

resources destruction, ecological degradation, and other problems to the local eco-environment. At present, the negative effects of coal scale development continue to aggravate the destruction of water and land resources in mining areas and the decline of ecosystem toughness, which has threatened the sustainable development of Yulin's economy and society and the long-term security of national energy resources. Over the years, Yulin coal mine area has formed a number of replicable and popularizing experiences and patterns in geological environment governance, but it still presents "five problems" predicament, such as insignificant overall effect, low fund utilization rate, high implementation resistance, limited system design, lack of top-level planning, and the diversified governance modes and the corresponding policy mechanism have not yet formed a joint force. Following this case, combining the current governance situation of coal mining area and the needs of high-quality development in rural areas, this study innovatively formed a systematic solution strategy for comprehensive treatment of Yulin coal mining area, which includes "one goal, two lines, three spaces, four patterns", considering of analyzing the current situation of ecological problems in Yulin coal mining area and the predicament and reason of ecological restoration work. Then three innovation regulations and the concrete practice path of "three-step strategy" were proposed, and a list of comprehensive treatment modes (i.e., ecological restoration +N) applicable to Yulin coal mine area was summarized. Finally, countermeasures and suggestions were put forward from the aspects of policy, technology, and management. The outcome can provide reference for the next step of systematic and overall guidance for coal mining enterprises in Yulin to carry out mine ecological protection and restoration work, and effectively promote the ecological restoration of coal mining areas to a diversified comprehensive governance direction and to a new green development pattern of social, economic, and ecological coordination.

Keywords: ecological environment; coal mining area; geological survey and evaluation; ecological protection and restoration; strategy and path

煤炭作为中国的主要能源在国家经济建设和社会发展中发挥着重要作用,被誉为保障国家能源安全的“定海神针”,是中国可持续发展战略实施的资源保障。近些年来,随着中国生态环境约束不断强化,碳达峰和碳中和战略深入实施,非化石能源替代步伐加快,生态环保、安全生产和保障能源安全的压力进一步加大,世界百年未有之大变局进入加速演变期,能源供需格局深刻变化,煤炭工业发展面临一系列的新问题、新挑战(观研报告网, 2022)。实现煤炭资源全生命周期安全绿色开发、清洁低碳利用、产业链现代化,促进煤炭生产与环境保护的协调发展,推动形成以“数字化引领、智能化生产、专业化服务、定制化营销、集群化建设、绿色化发展”为特征的高质量发展新格局,是当前中国煤炭工业面临的关键挑战(王双明, 2020; 康红普等, 2021)。其中,构建符合“生态保护与高质量发展”理念的中国煤矿区生态保护修复系统性解决方案,对于推动煤矿区综合治理及走向可持续生态系统综合管理具有重要的科学与现实意义,也是新时期中国煤矿区实现绿色转型发展

的重大需求。

榆林是国家重要能源基地,为国家经济社会发展作出了重要贡献。然而过去几十年,榆林在支撑国家经济高速发展的背后,也给煤矿区生态环境带来了采空区塌陷、土地与水资源破坏、生态退化等诸多问题,人类活动的贡献率和生态承载能力已与地区资源环境承载力产生尖锐的冲突(Feng et al., 2019; 杨晶羽等, 2020)。资源开发与生态保护矛盾日益突出,已对榆林经济社会的可持续发展及国家能源基地的绿色高质量发展产生深刻影响,甚至威胁到国家能源资源的长远安全(李妍林等, 2022)。多年来,榆林市积极推进煤矿区生态保护修复工作,如累计治理恢复矿山地质环境与塌陷区面积约为 596.13 km², 历史遗留矿山修复面积为 4 527.31 hm², 水土流失治理面积达到 18 016.10 km², 沙化土地治理面积为 31.5 万 hm²(治理率达到 93.24%), 形成了一批可复制可推广的生态修复经验和模式, 总体治理成效突出(榆林市自然资源和规划局, 2022a, 2022b)。然而, 榆林市煤矿区地质环境治理恢复工作仍然存在旧账压力较大、新的生态问

题凸显(如采空塌陷区、煤层火烧区、水土污染区不断扩大)、整体效果不明显、多元化投入和科技支撑能力较弱等问题,导致煤矿区生态修复特色不鲜明、基金沉淀冗余的困境。因此,如何协调好国家能源安全与生态环境保护这对“双刃剑”,创新推进煤矿区生态保护修复和综合治理,是新时期生态文明思想背景下榆林市“十四五”经济社会发展和实现绿色发展转型的全局性、战略性需求。

近年来,为了有效解决榆林长期大规模煤炭资源开发带来的生态环境地质问题,省市级政府通过联合行业协会、煤炭企业、高校及科研院所等分别从政策制定引导、基础理论创新、修复策略模式、技术研发应用等多层面开展了一系列工作与研究实践。取得的成果与成功案例可总结为4个方面:①制定出台了一系列煤矿区地质环境保护与土地复垦管理条例、办法以及政策性文件,全力保障矿山生态保护与高质量发展步伐的稳步推进(王雁林等, 2021)。②在煤岩层结构及采动裂隙演化规律(王双明等, 2010; 范立民等, 2015)、煤-水协调开发的水资源保护理论方法(顾大钊, 2012a, 2012b)、煤炭开发的生态环境效应(彭苏萍, 2012; 顾大钊, 2012a, 2012b)等方面取得了一系列原始创新,为矿区安全运营和生态保护提供了强有力的理论支撑。③结合矿区实际推行实践了以生态修复+土地整治、示范产业、文旅融合、多元化公园等多种煤矿区综合治理的策略与模式,为探索建立矿区生态修复与社会经济协调发展新格局提供了可借鉴的成功案例(马增辉, 2020; 李成等, 2020)。④提出了煤炭开采与生态修复协同一体化技术体系,建立了多个生态修复技术集成示范区,研发搭建了集物联网、大数据和人工智能的煤矿安全生产与管理、生态安全风险评价与预测等智能化综合管控系统及平台,有效促进了矿区国土空间安全治理体系和治理能力的现代化水平(李爽等, 2022; 尤文顺, 2022)。但是目前仍然呈现出三大现状,①生态环境脆弱、水资源短缺的本底与榆林煤炭规模开发产生的负面效应持续加剧着矿区生态系统稳定性和韧性的下降(Luo et al., 2021)。②林地-草地-耕地的土地利用破碎化现状极大程度上阻碍了煤矿区生态保护修复整体效果的呈现以及系统化、综合化治理进程(Yang et al., 2021)。③现有方法和技术还不足以支撑榆林北部风沙滩地区煤炭开采与生态协调发展,多元化治理模式和相应的政策支撑尚未形成合力(彭苏萍等, 2020; 冯靖仪等, 2021)。

因此,如何从新的角度和理念提出榆林煤矿区生态保护修复创新途径以及行之有效的解决方案,是未来系统性、整体性指导榆林市各煤矿企业开展矿山生态保护修复与综合治理工作的基础。

目前,榆林煤矿区生态保护修复面临的困境整体表现为开采历史复杂、问题最严重、实施阻力大,同时缺乏科学统筹、综合治理工作滞后、整体效果不突出,已无法满足榆林市矿区生态环境与经济高质量发展的新要求,亟须探索矿区生态治理新型模式。为解决这一实际问题与需求,笔者探索建立新时期榆林煤矿区生态保护修复与综合治理的创新策略,探讨榆林煤矿区生态保护修复与综合治理的具体实践路径以及对策建议,切实盘活矿山基金,打造生态环境整体效果,推动榆林“一煤独大”绿色转型发展升级,走出一条生态和经济协调发展、人与自然和谐共生之路。

1 榆林煤矿区主要生态问题现状

榆林地处黄土高原与沙漠高原接壤地带、农牧交错带,地形地貌复杂,生态类型多样,生态环境脆弱;属于典型的大陆性季风气候,区内降水稀少(多年平均为402.6 mm),水资源短缺(水资源可利用量仅占水资源总量的32.22%)。域内有皇甫川、清水川、秃尾河、无定河等多条重要黄河一级支流,贡献了黄河流域入黄泥沙河龙区间输沙量的54%,是黄河中游粗泥沙的主要源区(冉大川等, 2006; 穆兴民等, 2014)。同时,榆林矿产资源富集,潜在价值超过46万亿元,特别是煤、气、油、盐资源富集一地,组合配置好,国内外罕见,开发潜力巨大,是国家级陕北能源化工基地的重要组成部分,是西气东输、西电东送、西煤东运的重要源头(张茂省等, 2014)。另外,生态区位极为重要,是国家“两屏三带”和“三北防护林”生态安全屏障中的重要节点,是黄土高原水土流失综合治理与黄河重点生态区矿山生态修复2个重点工程实施的核心区域,是全国重要的防风固沙和土壤保持生态功能区及整体绿色发展生态轮廓中的关键一环。重要的生态区位和富集的资源禀赋,决定了榆林地区在构筑国家区域生态安全屏障、保障国家能源资源安全中的政治责任和现实担当。

然而,榆林作为中国的能源大市,频繁的资源开发与利用不可避免地会对土地、生态、地质安全带来负面影响,如采空塌陷、水土流失、林草退化、水土污

染等一系列生态问题,威胁矿区人民群众的正常生产和生命财产安全。随着榆林经济的快速发展和能源化工基地持续建设,能源开发利用与生态环境承载力约束的矛盾日益突出,煤矿区生态问题现状主要表现为矿山地质安全隐患突出、土地资源损毁问题严重、水资源破坏有所加剧、生态退化风险显现。

1.1 矿山地质安全隐患突出

煤矿开采产生的地质安全隐患包括3个方面。

①废弃煤矿煤层自燃安全隐患(图1a),引起地面塌陷、矿震频发、大气污染、植被退化等一系列问题,严重威胁矿区群众人居安全。如2020年府谷县已查明的火烧隐患和明火点达81处,着火区面积约为8.79 km²,直接影响区域面积达113.5 km²,影响82个自然村、2958户、9736人、5000余间房屋;且目前着火点数量和火区面积仍在逐年增加。②煤矿开采产生的地面塌陷及悬顶隐患(图1b)。据最新统计结果,目前全市煤矿采空区面积为1286.32 km²,其中地面塌陷面积为1001.25 km²,采空区悬顶面积为285.07 km²;且采空区正在以每年约100 km²的面积递增。由采空塌陷引起的地质安全隐患影响面积大、危害严重,修复难度较大。③煤炭开采产生的崩塌、滑坡、不稳定边坡等地质灾害隐患,主要分布于无定河上游、窟野河中游以及孤山川流域等主要产煤矿区。据调查统计,2021年煤矿区内发育崩塌57处、滑坡49处、泥石流10处,由于生产矿山开采引起的矿山地质灾害在榆林地区直接经济损失达到352.3万元。

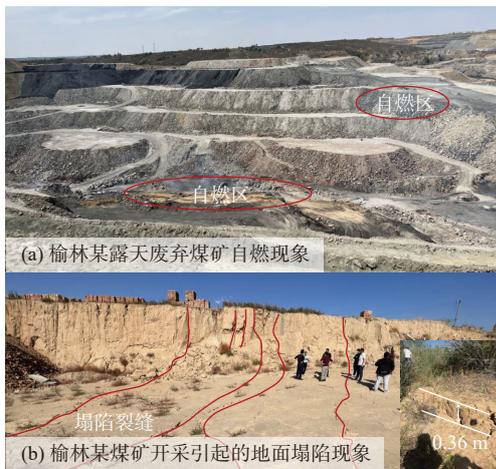


图1 榆林煤矿区矿山地质安全隐患图

Fig. 1 Photos of geological hazards of coal mine area in Yulin

1.2 土地资源损毁问题严重

煤矿开采产生的土地损毁主要包括2个类型。

①对土地的挖损和压占,主要涉及采场、排土场、排矸场、井场、固废堆放场。根据采矿权和2020年国土变更调查数据分析统计,榆林市采矿活动占用林地、草地和耕地面积较大,累计占用面积为4541.34 km²,占榆林国土总面积的10%;矿山开发造成土地资源损毁面积共计1116.48 km²,其中损毁草地资源面积为58878.73 hm²,损毁耕地面积为13520.18 hm²,损毁林地面积为26900.83 hm²,损毁建筑及其他土地面积为12340.11 hm²。②对地形地貌的破坏,截至2021年底,地形地貌景观破坏问题点多面广,矿山开发造成露天采场破坏地形地貌景观面积为1830.09 hm²,废土石渣堆和煤矸石堆破坏地形地貌景观影响面积为1573.08 hm²,工业广场破坏地形地貌景观面积为5966.72 hm²,形成裸露面413处。林草地的损毁、地形地貌景观破坏使已逆转的土地沙化面临严重的二次沙化风险。

1.3 水资源破坏持续加剧

煤矿开采对水资源的破坏主要包括3个方面。

①煤炭矿山地下开采造成的含水层破坏。矿体上覆岩层冒落裂隙带与顶部基岩贯通,含水层结构遭到破坏,地下水位出现不同程度下降。以榆-神-府矿区采煤为例,主要对烧变岩含水层和第四系潜水含水层造成影响,区域地下水水位下降5~12 m,且多数区域已经下降到基岩面以下,直接影响地下水浅埋区的植被生态,加剧二次沙化。②采动引发大面积地表塌陷和地裂缝,形成以矿井为中心的降落漏斗,破坏了原有区域水均衡状态,导致大量泉水干涸、地表径流衰减甚至断流。例如,神东、榆神矿区截止至2019年,2580个泉点仅剩余376个,泉水干涸比例高达85.6%,窟野河干流径流量衰减约70%,基流量减少了30%。③矿井疏排水造成水资源浪费和水土污染,据调查统计,榆林市矿山年产废水量为7865.32万t,年排放废水量为5287.41万t,矿山废渣年产出量为2421.71万t,年利用量为279.2万t。

从水资源供需关系角度,①水资源匮乏,资源性缺水 and 结构性缺水并存,用水矛盾突出。根据《陕西省水资源综合利用研究》《榆林市水资源规划》等相关成果显示,2020年榆林市常住人口人均水资源量为781 m³,约为全国平均的1/3,属于重度缺水地区。耕地亩均水资源占有量仅为176.2 m³,仅为全省(734 m³)和全国(1330 m³)平均水平的24%和13%。现有水利设施的供水能力在需要保证率达到75%时,缺水总量达1.1亿 m³,目前主要表现为农业灌溉缺水,缺水量

占农业灌溉需水量的 18.60%，未来工业规模的快速扩张和城镇化进程，使得水资源需求量还在持续不断增加，经济和生态净水，工业和农业净水等现象更为突出。②地下水超采问题突出。根据《榆林市供用水量统计报表(2021年)》，全市地下水供水量占总供水量的比例为 39.95%，其中府谷县的地下水供水量占比高达 64.16%，远超其他区县平均水平。高强度的地下水开采易形成地下水超采区，现状下府谷、神木、榆阳等县区的煤炭开采区地下水位均已明显下降，数十处井泉下漏，淤坝干涸，导致人畜饮水困难。③现有水利工程供水能力难以保障未来煤矿区用水需求。根据榆林市“十四五”规划和能源基地发展规划需水分析，到 2025 年，年总需水量为 6.9 亿 m^3 （其中工业生产用水为 1.3 亿 m^3 ），需新增供水 5.6 亿 m^3 。已建成的瑶镇水库和采兔沟 2 座水库，年可供水约为 1.65 亿 m^3 ；剩余水量由王圪堵水库建成后可向榆横工业园区和鱼米绥工业园区年供水 1.56 亿 m^3 ，缺水量达 2.39 亿 m^3 。由此可以看出水资源供需均无法达到平衡，供需缺口较大，且过度依赖地下水会导致水资源供需矛盾，同时煤炭开发造成的地下水污染问题也会日趋严重。

1.4 生态退化风险显现

榆林市煤矿开采造成的生态退化主要包括 3 个方面。①林草资源总量不足以及林草质量不高，生态系统依然十分脆弱。根据第 5 次全国荒漠化和沙化监测结果，目前沙区有 20 万 hm^2 残破林地亟需改造复壮，10 万 hm^2 防护林网亟待更新；全市半数以上的草地退化，其中轻度退化面积为 36 万 hm^2 ，中度退化面积为 18 万 hm^2 ，重度退化面积为 6 万 hm^2 。②土壤环境破坏造成地表植被退化趋势。地面塌陷造成土壤有效土层厚度降低与通气透水性能变差，易产生地表径流，造成水土流失、土地沙化和盐碱化；地裂缝导致土壤养分流失，矿渣淋渗液进入土壤，造成土壤污染。③地表水干涸及浅层地下水下降造成植被生态退化。榆林北部风沙草滩区是榆林市地下水资源的富集区，煤炭开采过程势必造成区域性地表水渗漏以及浅层地下水位下降，已经开始整体逆转的毛乌素沙地呈现二次沙化现象。通过对榆林全域生态系统退化程度的综合分析发现(图 2)，煤矿区不同程度出现生态退化问题，其中中度退化区占比 21.38%，全域均有所涉及，在府谷县、神木市靖边县以南，定边县东南部较多；轻度退化区占比 78.62%，主要在榆林北部、中部以及

西部的部分区域集中连片分布(榆林市自然资源和规划局, 2022b)。据统计，由于煤炭资源开采导致植被生态明显恶化和轻度恶化的面积较之 2018 年分别增加 0.65% 和 17.51%，使得植被生态本应好转的区域减少了 18.42%。因此，遏制植被生态退化趋势是煤矿区生态保护修复的重点任务。

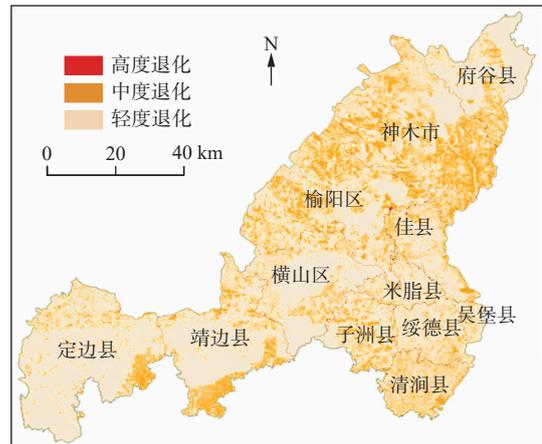


图 2 榆林市生态系统综合退化评价图

Fig. 2 Comprehensive assessment map of ecosystem degradation in Yulin City

2 榆林煤矿区生态修复面临的问题及原因

为解决矿山地质环境问题，2018 年 7 月，陕西省自然资源厅、财政厅、环保厅联合印发了《陕西省矿山地质环境治理恢复与土地复垦基金实施方法(2018[92])》，该办法中明确了矿山地质环境治理恢复与土地复垦基金(简称“矿山基金”)专项用于矿山建设和开采范围内的生态保护修复工作，使用方向上规定专项用于矿山地质环境治理恢复与土地复垦、监测和管护工程、开发式治理等 5 项内容，适用于陕西省行政范围内的新建、生产等有责任主体的煤矿矿山。该办法的制定目的在于规范陕西省矿山地质环境治理恢复与土地复垦基金的提取、使用和监管，保障矿山地质环境治理恢复与土地复垦经费，推进煤矿区地质环境保护与高质量绿色发展。但是，近年来榆林煤矿区的生态保护修复工作整体上呈现出“五个问题”的困境：即矿山地质环境问题突出，治理效果不显著；基金实际使用率低，资金效益见效慢；群众利益诉求多元化，实施过程中阻力大；矿区农用地呈现碎片化，系统治理设计受限；顶层规划引导缺乏、政府主导作

用不强;综合导致煤矿区生态保护修复面临“肠梗阻”,整体进展缓慢。因此,亟需从新的角度和新的理念提出榆林煤矿区生态保护修复“五个问题”困境的破解途径以及行之有效的解决方案,是系统性、整体性规范和指导榆林各煤矿企业开展矿山生态保护修复与综合治理工作亟需解决的关键难题。

2.1 矿山地质环境问题突出,治理成效不显著

目前,榆林煤矿区矿山地质安全隐患、土地损毁严重等地质环境问题突出,水资源破坏、生态植被退化等生态环境问题显现。针对这些问题,煤矿企业开展了大量的生态修复工作,但各煤矿企业仅结合本矿区开采情况在扰动区域内开展生态修复治理,且治理模式单一及技术含量低,缺乏对生态环境整体性、关联性、系统性的综合考虑,基本为“撒胡椒面式”治理,整体效果比较差,与新时期新理念要求还有距离。

2.2 矿山基金使用率低,资金效益见效慢

截止2022年9月,全市持证煤矿建立矿山基金专业账户累计提取矿山基金约212.27亿元,累积返还、预支矿山基金约为41.86亿元,账户结余170.41亿元,矿山基金使用率仅为19.72%。造成矿山基金冗余的原因主要包括3个方面:①矿山基金使用方向大多用于矿山地质环境修复和土地复垦,矿区群众实际收益少,对镇、村可持续发展认识不到位,项目落地阻力大。②矿山基金使用范围仅限于开采范围,且治理模式单一,加之部分矿企投资和治理意识淡薄,无法统筹生态要素的系统性和整体性。③政企站位不充分,碳达峰后榆林社会经济何去何从,未能考虑到后化石能源时代榆林转型发展的迫切需求,矿山基金使用面临较大政策限制。

2.3 群众利益诉求多元化,实施过程中阻力大

当前矿山生态修复思维模式受限,矿山基金大都用于植树造林、复垦复绿、裂缝回填等,未能切实考虑到矿区群众实际需求,矿山生态修复产生的经济和社会效益不高,矿群矛盾较为突出,项目落地难度大,生态建设与经济发展(如乡村振兴)协同推进不足。

2.4 矿区农用地呈现碎片化,系统治理设计受限

目前煤矿区林地-草地-耕地斑块镶嵌格局,总体呈现出林地细碎化、耕地碎片化、草地空间布局无序化的特征,致使土地资源利用低效化。在以提升耕地集中连片化、林地集中规模化、草地连片经济化为核心的系统治理方面受到极大限制,同时也阻碍了煤矿

进行系统性、综合性治理的进程。

2.5 顶层规划引导缺乏,政府主导作用不强

从当前的矿山生态修复实际情况来看,呈现出实施随意性大、治理程度低、治理效益差、矿群矛盾突出的局面。原因有以下3个方面,①在于缺少政府的主导和统筹,往往造成政府相关规划和企业规划“两张皮”,难协调。②缺少政府顶层规划,导致对区域、流域、矿山生态系统整体性的考量不足,难以形成整体效果。③缺少相关部门协调协同,矿政、矿群矛盾突出,项目难落地。另外,目前政府主导+企业主体+社会+公众参与的多元化治理模式尚未完全建立。

3 榆林煤矿区生态修复与综合治理策略与路径

3.1 新时期煤矿区生态保护修复的整体策略

3.1.1 建立“1个目标、2个底线、3个空间、4种模式”的总体策略

瞄准榆林煤矿区生态修复存在“五个问题”的困境,通过调查研究,创新提出“1个目标、2个底线、3个空间、4类模式”的榆林市煤矿区生态保护修复与综合治理系统性解决方案(图3)。“1个目标”是指以实现人与自然和谐共生的中国式现代化为目标,有效串联政府-企业-社会-公众四要素,建立政府主导+企业主体+社会投入+公众参与的多元化治理新模式。“2个底线”是指以矿区地质环境治理恢复与土地复垦为基本底线,在井田及影响范围内开展裂缝回填、植树造林、土地复垦等基本矿山环境治理恢复工作。“3个空间”是指优化井田及影响范围内的生态、生产和生活空间,开展全域土地综合整治,按照进出平衡原则实现林地、草地及耕地的碎片化整理,按照以人为本原则考虑矿区群众利益及生产、生活空间协调发展。“4类模式”是指推行具有实际效益的生态农业、生态文旅、生态公园、生态服务等综合治理模式(综合式开发治理)。同时,这也是榆林矿山基金困局的破解思路。

3.1.2 建立煤矿区生态保护修复的3项创新机制

为加快推进新时期煤矿区生态保护修复与综合治理策略的落地,必须以政策作保障、以规划作基础、以科技作支撑、以严管作保证。基于此,本研究从政策服务角度为全面统筹煤矿区生态保护修复与综合治理工作提出了3项创新机制建议(图4)。①政府主

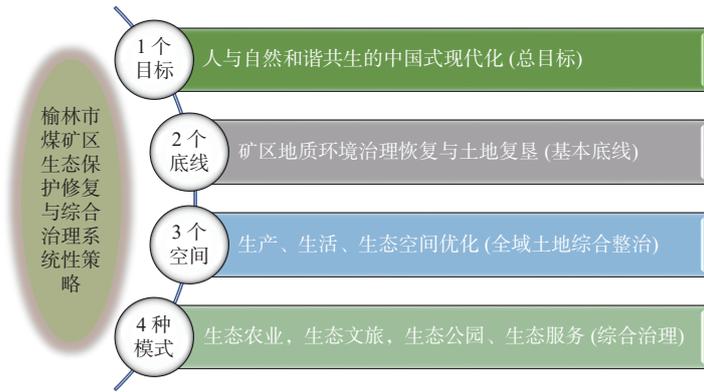


图 3 榆林市煤矿区生态保护修复与综合治理的总体策略图

Fig. 3 Specific strategy of ecological restoration and comprehensive management in Yulin coal mine area

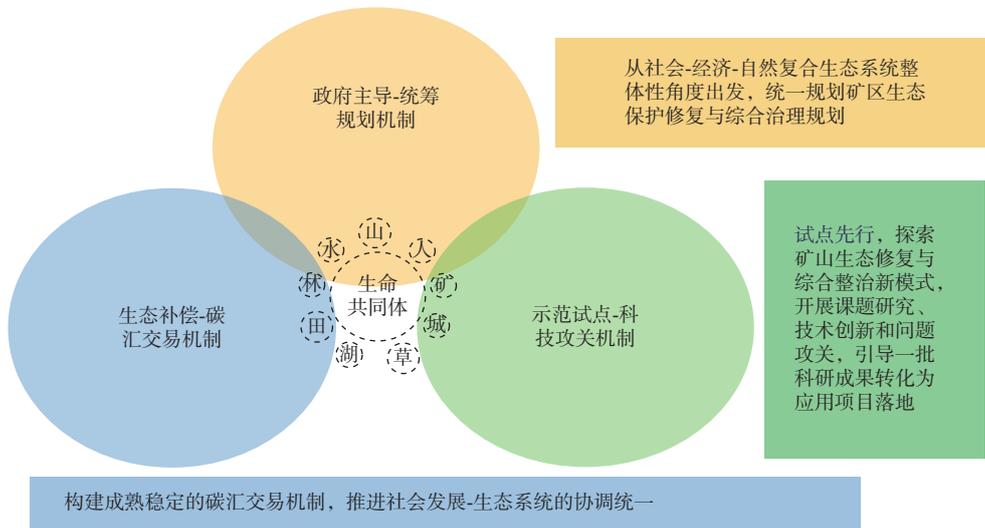


图 4 榆林市煤矿区生态保护修复与综合治理的 3 项创新机制图

Fig. 4 Three innovative patterns of ecological restoration and comprehensive management in Yulin coal mine area

导-统筹规划机制,从社会-经济-自然复合生态系统整体性角度出发,统一进行矿区生态保护修复与综合治理规划,规划的深度做到修建性规划。②生态补偿-碳汇交易机制,开展市域北部资源开采区域与南部生态保护区域和水资源利用保护区域的生态横向补偿,构建成熟稳定的碳汇交易方式,推进社会发展-生态系统的协调统一。③示范试点-科技攻关机制,试点先行,探索矿山生态修复与综合整治新模式,开展专题研究、技术创新和问题攻关,提高煤矿区资源开发利用与生态保护修复的科技支撑能力,引导一批科研成果转化为应用项目落地。

3.2 新时期煤矿区生态保护修复的实践路径

在上述煤矿区生态保护修复策略及 3 项创新机制的基础上,新时期榆林煤矿区生态保护修复和综合治理的总体实践路径可以总结为 3 个方面(图 5): ①修编 1 个办法,即《榆林市矿山地质环境治理恢复

与土地复垦基金管理办法》,明确矿山地质环境治理恢复和土地复垦及推行综合治理的具体内容,从政策和管理层面为系统性、整体性开展煤矿区生态文明建设指明工作方向和重点。②组织编制 4 个县(市)区的煤矿区生态保护修复与综合治理修建性规划,按照“坚持政府主导、顶层统筹设计;坚持两案底线、确保矿区安全;打好全域基础、优化空间格局;推行综合治理、助力乡村振兴”的技术流程进行系统性规划和布局。③打造 6~10 个不同主题特色的市级矿山生态修复与综合治理示范基地(试点),从示范点辐射各煤矿区,合力统筹,打造煤矿区社会-经济-生态协调的绿色发展新格局及取得整体生态效果。但需要明确的是,工业用水、农业用水和生态用水存在结构性矛盾是制约煤矿区生态保护修复的关键因素之一,在开展修编办法以及开展总体规划之前,需要开展榆林煤矿区基于水的生态安全大核查,摸清

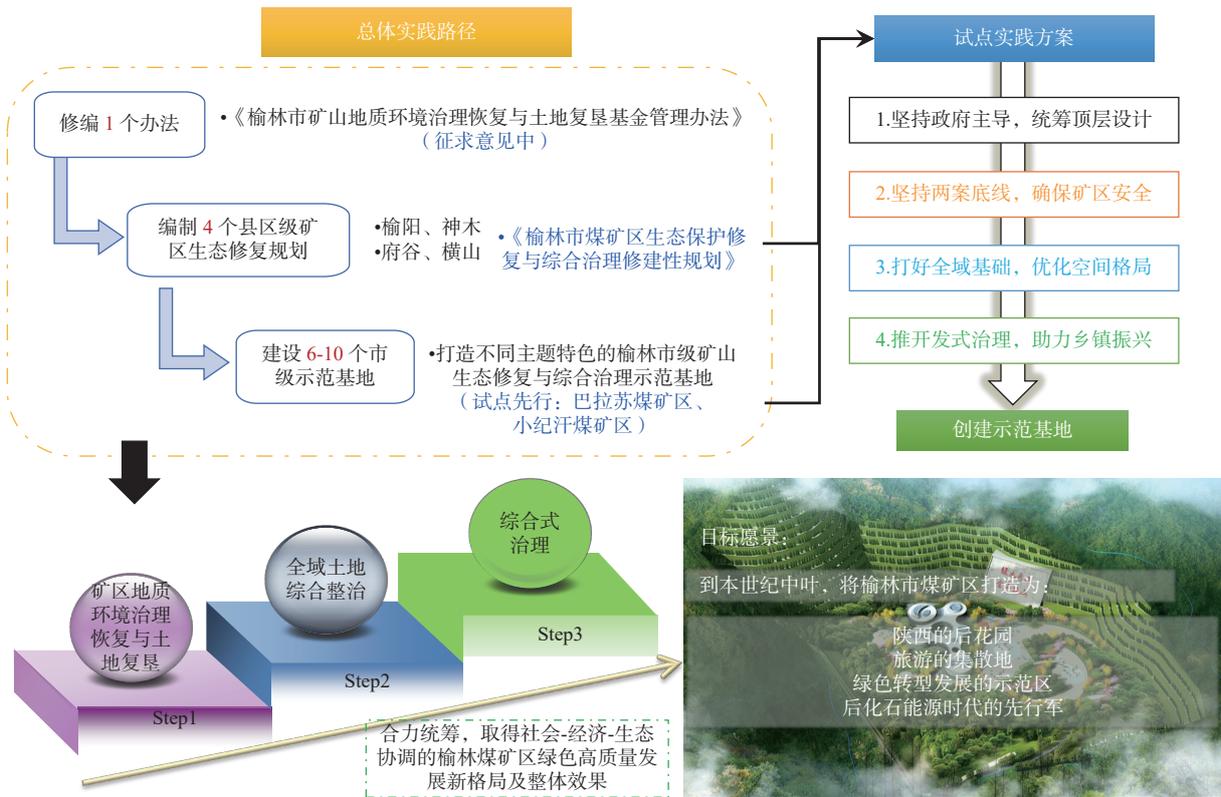


图 5 榆林煤矿区生态保护修复与综合治理的实践路径图

Fig. 5 Practice paths of ecological restoration and comprehensive management in Yulin coal mine area

水资源本底与开发利用情况以及由此带来的水环境问题, 针对性开展采动区生态保护修复与综合治理工作。

具体实践路径可按照“三步走战略”逐步落实:

①坚持政府统筹, 以优化三生空间格局和全域土地综合整治为纲领, 以榆阳区为先行区科学编制《榆阳区煤矿区生态保护修复与综合治理修建性规划》, 并以巴拉素煤矿区、小纪汗煤矿区为试点进行生态修复与综合治理实践。②在榆阳区取得显著效果后, 编制府谷县、神木市、横山区煤矿区生态保护修复与综合治理修建性规划, 并选择典型矿区开展试点建设。③申请创建以市、县、矿区为单元的相关示范区(试点)建设, 如矿区全域土地综合整治试点、矿区生态保护修复示范区(试点)、矿区生态保护修复信息化与数字化管理示范区(试点)等, 有效推进陕西省煤矿区生态保护修复与高质量发展步伐。整体上倒逼煤矿区生态修复从“两案”基本动作逐渐向以农、林、路、矿山公园等多元化综合治理模式转换, 从单一生态修复向社会-生态-经济客观规律转换, 从矿山企业各自为政向整体性、系统性生态保护修复转换, 切实盘活基金、激发群众热情、打造整体效果, 真正走出一条生态和

经济协调发展、人与自然和谐共生之路, 力争到本世纪中叶, 将榆林煤矿区打造为“陕西的后花园、旅游的集散地、绿色转型发展的示范区、后化石能源时代的先行军”。

3.3 新时期煤矿区综合治理的模式建议

从社会-经济-生态整体效果出发, 按照“系统化、生态化、产业化”要求及因地制宜原则, 推行矿区生态修复与多产业融合发展的综合治理模式。该模式是指在矿区生态环境治理同时, 结合当地矿区地形地貌、社会环境、生态敏感性、地理位置、交通及资金条件等因素, 进行综合分析, 选择适宜的产业配套发展, 即“生态修复+N”的综合治理体系。人的参与是该综合治理模式的重要前提, 产业融合发展是该模式的核心。矿区产业融入意味着修复后的土地不仅仅是自然要素, 更包含社会资本, 是“生态修复+生态产业”的有机结合, 既要考虑生态适宜性, 还要综合考虑经济、社会目标, 包括文化功能、美学功能和公众感受等。因此, 通过实践调研, 结合榆林煤矿区开发治理现状及矿区乡村高质量发展需求, 多方位、多层次、多要素总结了适用于榆林煤矿区生态保护修复+N的模式清单(表 1), 可为各煤矿企业及乡镇开展综合治

表1 榆林煤矿区清单式综合治理模式建议菜单表

Tab. 1 The list-typed comprehensive management suggested patterns in Yulin coal mine area

生态修复+N模式	修复对象	修复方式	主要措施及工程建议
生态修复+土地整治	采空塌陷区		1.消除采空塌陷区灾害隐患,将土地复垦为耕地、林地、园地等多类型用地
	耕地碎片化	因地制宜,以土地	2.通过小田并大田、宜种化和宜机化改造等措施,将碎片耕地整合连片
	土地盐碱化	高效、高质量利用	3.过排水、灌水洗盐、增施有机肥或土壤调理剂、深耕深松、客土压碱、合理种植等方式,改善盐碱地
	土地低效利用	为目标,对未利用	4.整理低效用地和未利用地,提升土地利用效率
	煤矸石堆放区	地、地表破坏区、盐碱地、碎片耕地、及村庄建设用地进行土地综合整治	5.将煤矸石重新利用为工程填料、能源发电、化工产品、农业有机肥等,并对煤矸石山植被进行恢复
	采矿区建设用地		6.对矿区内建设用地进行整合,采取集中安置方式,保障居民点建筑安全及用水安全,对腾挪出的建设用地重新复垦利用
生态修复+示范产业	采空塌陷区	选取土地环境、交通位置等具备潜力的地区,作为示范	1.对于有条件的采空塌陷区,实施开发式治理方案,种植以蛋白桑、沙漠水稻、蔬菜大棚及光伏田园综合体等
	低效耕地	产业,如农业示范、畜牧示范、伙场经济示范、沙地光伏示范等	2.提升耕地效能,打造以种植为基础,集观光体验、加工、科普于一体的农业示范基地
	伙场盘子		3.整合伙场盘子,改造利用为经济种植、生态养殖等示范项目,打造伙场经济
	土地沙化		4.有条件的土地沙化区采取光伏结合牧草种植的形式,形成产业治沙
生态修复+文旅融合	文物、遗址地区		1.文物、遗址地区生态修复应以保护文物、遗址为前提,并发扬其文化价值,打造成为旅游景点、研学基地等
	特色废弃矿山	长城文化、红色文化旅游;废弃矿山文旅开发;特色乡村旅游休闲	2.对有条件的废弃矿山,采取文旅开发的形式,重新活化利用,如建设为矿山主题公园、地质公园、游乐园、酒店等
	特色村庄		3.整治村庄环境,特色建筑、历史街区活化,增加村庄绿化和景观美化,完善村庄设施,美化人居环境
生态修复+绿色公园	废弃矿山绿地	矿山生态/湿地公园;重要交通线路防风固沙及景观美化;城镇绿地、乡村游园	1.交通条件差或本身特色不明显的废弃矿山采取复绿为主,打造生态型郊野公园
	重要交通线路		2.重要交通线路两侧,种植以防风固沙功能为主兼具景观美化的生态绿带,打造绿色通廊
	城镇、村庄空间		3.城镇、村庄公共空间增加绿化,打造公园绿地和乡村游园,美化人居环境

理提供多种方案比选。

4 结语

多年来榆林市高度重视煤矿区生态保护修复与高质量发展工作,当前榆林市生态空间稳中向好,入黄泥沙显著减少,水土流失状况得到逐渐改善;生物多样性提高,防风固沙能力加强;水资源综合利用效率提升、农业生产条件提高;城乡生态环境质量有所提升;矿山生态修复初见成效。形成了一批可复制可推广的生态修复经验和模式,总体治理成效突出。然而,榆林煤矿区生态问题仍然较为严重,主要表现为矿山地质安全隐患突出、土地损毁严重及二次沙化风险大、水资源破坏持续加剧、生态退化趋势显现。另外,榆林煤矿区生态修复工作存在“五个问题”困境:

即矿山地质环境问题突出,治理效果不显著;矿山基金实际使用率低;群众利益考虑协调不足、实施过程中阻力大;各类农用地碎片化制约、系统性治理设计受限;顶层设计缺乏、政府主导作用有待提升。基于此,笔者从新的角度和理念提出了榆林煤矿区生态保护修复与综合治理的系统性解决方案与实践路径,为未来系统性、整体性规范和指导榆林各煤矿企业开展矿山生态保护修复与综合治理工作提供了支撑。研究结果不仅对于实现矿区绿色转型升级意义重大,更是矿区摆脱经济衰退、生态环境破坏、高失业率等困境,打造煤矿区社会-经济-生态协调的绿色发展新格局及取得整体生态效果,实现区域经济可持续发展的重要探索尝试。

榆林煤矿区生态保护修复与综合治理工作可按照“1个目标、2个底线、3个空间、4种模式”的总

体策略,按照“坚持政府主导,统筹顶层设计;坚持两案底线,确保矿区安全;打好全域基础,优化空间格局;推行综合治理,助力乡村振兴”的技术流程落实,系统性、整体性、综合性推进榆林煤矿区生态保护修复工作。另外,探索建立矿区生态保护修复试点(试验区),大力推进矿区生态治理力度,可参照国家经济建设和改革试验区的做法和经验,相关部门可以对一些能源开发重点地区给予矿区生态保护修复试点(试验区)的可行性政策,先行先试,积极探索,以促进榆林甚至是全国各能源化工基地生态文明建设的步伐。

榆林煤矿区生态保护修复与综合治理的对策建议:①大力发挥政府主导作用,加强立法保障。建议加快修编省级矿山基金管理办法,制定和出台榆林市级矿山基金管理办法,扩大矿山基金使用范围,突破矿山基金使用的瓶颈,显著提升矿山基金使用率和修复效果;加强各级层面立法,制定《矿山生态环境保护修复条例》,统筹各级政府和各部门的生态保护和治理职责,形成保护治理合力;积极鼓励探索“开发式治理”产权、运营权、管理模式和农村集体土地产权制度改革,有效破解相关产权制度瓶颈。②促进损毁土地差异性政策出台,确保工作任务落地落实。建议部省制定出台相关政策规定,允许煤矿区按照“地类面积不减、质量等级不降、数量进出平衡”的原则,合理调整土地利用现状,优化生产、生活、生态“三生”空间布局,破解乡村耕地碎片化、空间布局无序化、土地资源利用低效化、生态质量退化、土地整治要素手段单一等难题。矿区建设用地整理为耕地的,纳入增减挂指标;采矿用地整理为耕地的,纳入占补平衡指标;使矿区生态治理走上可持续发展系统化管理。③加强矿区生态数字化建设,提升各级部门管理能力。重点建设矿区生态保护修复的信息化、数字化、智能化系统及平台,以新手段、新技术为矿区生态保护修复与综合治理赋能;加快构建煤矿区以天、空、地、深“四位一体”,全天候、实时性、全自动化监测系统为基础的生态保护监管智能化管控平台,提升生态环境治理体系和治理能力现代化水平,为矿区生态保护修复决策部署提供技术和数据支撑,实现矿区生态保护修复革命性的转变。

致谢: 本文撰写过程中得到了榆林市自然资源和规划局及其生态修复中心、榆林市自然资源和规划局榆阳分局领导们的大力支持和帮助,同时感谢榆林市自然资源和规划局提供的《榆林市矿区生态

保护修复规划(2020~2035)》《榆林市国土空间生态保护修复规划(2020~2035)》等成果,为本文的撰写提供了强有力的支撑。煤矿区生态保护修复与综合治理内容是一项多学科、多技术、多专业融合的实践性工作,尚处于业内专家学者及煤矿企业的综合探索与尝试阶段,因此本文撰写内容难免存在着诸多的疏漏和错误,敬请各位同行批评指正!

参考文献(References):

- 范立民, 张晓团, 向茂西, 等. 浅埋煤层高强度开采区地裂缝发育特征—以陕西榆神府矿区为例[J]. 煤炭学报, 2015, 40(6): 1442-1447.
- FAN Limin, ZHANG Xiaotuan, XIANG Maoxi, et al. Characteristics of ground fracture development in high strength mining area of shallow coal seam-Taking Yushenfu mining area in Shaanxi Province as an example[J]. Journal of China Coal Society, 2015, 40(6): 1442-1447.
- 冯靖仪, 李晓晖, 代欣召, 等. 资源型城市国土空间生态修复规划思路与方法研究—以榆林市为例[A]. 2020/2021中国城市规划年会暨2021中国城市规划学术季, 面向高质量发展的空间治理—2021中国城市规划年会论文集(08城市生态规划)[C]. 成都: 中国城市规划学会, 2021: 500-508.
- FENG Jingyi, LI Xiaohui, DAI Xinzhaoh, et al. Research on planning ideas and methods of territorial ecological restoration in resource-based cities: A case study of Yulin City [A]. 2020/2021 China Urban Planning Annual Conference and 2021 China Urban Planning Academic Season, Spatial Governance for High-quality Development--Proceedings of 2021 China Urban Planning Annual Conference (08 Urban Ecological Planning)[C]. Chengdu: China Society for Urban Planning, 2021: 500-508.
- 顾大钊, 张建民. 西部矿区现代煤炭开采对地下水赋存环境的影响[J]. 煤炭科学技术, 2012a, 40(12): 114-117.
- GU Dazhao, ZHANG Jianmin. The influence of modern coal mining on groundwater environment in western mining area[J]. Coal Science and Technology, 2012a, 40(12): 114-117.
- 顾大钊. 能源“金三角”煤炭开发水资源保护与利用[M]. 北京: 科学出版社, 2012b, 205-208.
- GU Dazhao. Energy "Golden Triangle" coal development water resources protection and utilization [M]. Beijing: Science Press, 2012b, 205-208.
- 观研报告网. 中国煤炭行业现状深度研究发展战略研究报告(2022-2029)[OL]. 观研天下, 2022, 14-17. <https://www.chinabaogao.com/baogao/202207/604934.html>.
- Insight and Info. Research report of the in-depth status quo of China's coal industry development strategy (2022-2029) [OL]. View of the World, 2022, 14-17. <https://www.chinabaogao.com/baogao/202207/604934.html>.
- 康红普, 王国法, 王双明, 等. 煤炭行业高质量发展研究[J]. 中

- 国工程科学, 2021, 23(05): 130-138.
- KANG Hongpu, WANG Guofa, WANG Shuangming, et al. High-Quality Development of China's Coal Industry[J]. Chinese Engineering Science, 2021, 23(05): 130-138.
- 李成, 孙魁, 彭捷, 等. 矿山地质环境开发式治理模式研究[J]. 灾害学, 2020, 35(04): 77-84.
- LI Cheng, SUN Kui, PENG Jie, et al. Study on development governance model of mine geological environment[J]. Journal of Catastrophology, 2020, 35(04): 77-84.
- 李爽, 贺超, 薛广哲. 以双重预防机制实现智能矿山愿景用灾害防治系统保障智能矿山安全[J]. 智能矿山, 2022, 3(06): 87-92.
- LI Shuang, HE Chao, XUE Guangzhe. Realizing the vision of intelligent mine with dual prevention mechanism, and Ensuring the safety of intelligent mine with integrated disaster prevention system[J]. Journal of Intelligent Mine, 2022, 3(06): 87-92.
- 李妍林, 阮久莉, 王艺博, 等. 煤炭工业资源-环境-经济耦合协调分析—以榆林市为例[J]. 环境工程技术学报, 2022, 12(1): 260-266.
- LI Yanlin, RUAN Jiuli, WANG Yibo, et al. Analysis on the coupling coordination of resource-environment-economy of coal industry: a case of Yulin City[J]. Journal of Environmental Engineering Technology, 2022, 12(1): 260-266.
- 马增辉. 全域土地综合整治的可行性分析—以榆林市金鸡滩镇项目为例[J]. 粮食科技与经济, 2020, 45(08): 55-57.
- MA Zenghui. Feasibility analysis of comprehensive land consolidation-Taking Jinjitan Town Project of Yulin City as an example[J]. Grain Science and Technology and Economy, 2020, 45(08): 55-57.
- 穆兴民, 王万忠, 高鹏, 等. 黄河泥沙变化研究现状与问题[J]. 人民黄河, 2014, 36(12): 1-7.
- MU Xingmin, WANG Wanzhong, GAO Peng, et al. Progress and discussion on sediment load variation research of the Yellow River[J]. Yellow River, 2014, 36(12): 1-7.
- 彭苏萍, 毕银丽. 黄河流域煤矿区生态环境修复关键技术 with 战略思考[J]. 煤炭学报, 2020, 45(4): 1211-1221.
- PENG Suping, BI Yinli. Strategic consideration and core technology about environmental ecological restoration in coal mine areas in the Yellow River basin of China[J]. Journal of China Coal Society, 2020, 45(4): 1211-1221.
- 彭苏萍. 神东矿区现代煤炭开采技术下对地下水资源和生态影响规律研究[R]. 中国矿业大学(北京), 神华集团有限责任公司研究报告, 2012, 78-81.
- 冉大川, 左仲国, 上官周平. 黄河中游多沙粗沙区淤地坝拦减粗泥沙分析[J]. 水利学报, 2006, 37(04): 443-450.
- RAN Dachuan, ZUO Zhongguo, SHANGGUAN Zhouping. Effect of check dam on retaining and reducing coarse grain sediment in middle reaches of Yellow River[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2006, 37(04): 443-450.
- 王双明, 黄庆享, 范立民, 等. 生态脆弱区煤炭开发与生态水位保护[M]. 北京: 科学出版社, 2010, 122-127.
- WANG Shuangming, HUANG Qinxiang, FAN Limin, et al. Coal development and Ecological Water Level Protection in ecologically fragile areas [M]. Beijing: Science Press, 2010, 122-127.
- 王双明. 对我国煤炭主体能源地位与绿色开采的思考[J]. 中国煤炭, 2020, 46(02): 11-16.
- WANG Shuangming. Thoughts about the main energy status of coal and green mining in China[J]. China Coal, 2020, 46(02): 11-16.
- 王雁林, 刘强, 张辉, 等. 关于构建陕西省国土空间生态修复工作体系的思考[J]. 国土资源情报, 2021, 247(07): 3-6+21.
- WANG Yanlin, LIU Qiang, ZHANG Hui, et al. Thoughts on Constructing the Work System of Territorial Ecological Restoration in Shaanxi Province [J]. 2021, 247(07): 3-6+21.
- 杨晶羽. 榆林市生态承载力现状分析与评价[J]. 环境与发展, 2020, 32(11): 19-20+22.
- YANG Jingyu. Analysis and evaluation of the ecosystem carrying capacity in Yulin[J]. Environment and Development, 2020, 32(11): 19-20+22.
- 尤文顺. 国家能源集团打造“1235”煤矿智能化建设模式 加快推进煤炭工业高质量发展[J]. 智能矿山, 2022, 3(02): 26-33.
- YOU Wenshun. National Energy Group to create "1235" coal mine intelligent construction mode, and accelerate the high-quality development of coal industry[J]. Journal of Intelligent Mine, 2022, 3(02): 26-33.
- 榆林市自然资源和规划局. 榆林市国土空间生态保护修复规划(2021-2035)[R]. 榆林: 榆林市自然资源和规划局, 2022b, 22-29.
- 榆林市自然资源和规划局. 榆林市矿区生态保护修复规划(2021-2025)[R]. 榆林: 榆林市自然资源和规划局, 2022a, 12-17.
- 张茂省, 党学亚. 干旱半干旱地区水资源及其环境问题—陕北榆林能源化工基地例析[M]. 北京: 科学出版社, 2014, 25-30.
- ZHANG Maosheng, DANG Xueya. Water resources and Environmental Problems in arid and semi-arid Area-Case study of Yulin Energy and Chemical Industry Base in Northern Shaanxi [M]. Beijing: Science Press, 2014, 25-30.
- Feng Yu, Wang Jinman, Bai Zhongke, et al. Effects of surface coal mining and land reclamation on soil properties: A review[J]. Earth-Science Reviews, 2019, 191: 12-25.
- Luo Many, Li Tuansheng. Spatial and temporal analysis of landscape ecological quality in Yulin[J]. Environ Technology Innovation, 2021, 23: 101700.
- Yang Liangyan, Shi Lei, Wei Jing, et al. Spatiotemporal evolution of ecological environment quality in arid areas based on the remote sensing ecological distance index: A case study of Yuyang district in Yulin city, China[J]. Open Geosciences, 2021, 13(1): 1701-1710.