

黄土丘陵沟壑区煤炭井下开采对生态影响及修复

何晓东, 岳喜能*, 安博文, 郭利东, 范绍山

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: 2024年7月25日; 录用日期: 2024年8月28日; 发布日期: 2024年9月5日

摘要

随着我国现代化经济建设的快速发展, 在未来长时间之内, 煤炭的开发规模会逐渐扩大, 能源主体地位不会改变。煤炭的开采会促进社会经济、区域发展的同时, 也对区域生态环境造成严重的破坏。井工煤炭开采引起的地面沉降是地质和环境问题的主要原因, 给煤矿区及矿区周边带来了地质灾害、生态环境破坏、生物多样性减少、地下水位下降、水土流失增加等一系列问题。本文以准格尔旗为例, 开展了煤炭矿集区采空塌陷调查, 查明了全旗采煤塌陷区的特征, 分析了黄土丘陵沟壑区井下开采扰动对生态的影响及恢复机理, 并提出黄土高原丘陵沟壑区地面塌陷修复方法建议。

关键词

井下开采, 采空塌陷, 生态环境, 生态修复

Ecological Impact and Restoration of Underground Coal Mining in Loess Hilly and Gully Region

Xiaodong He, Xineng Yue*, Bowen An, Lidong Guo, Shaoshan Fan

Langfang Center for General Survey of Natural Resources, CGS, Langfang Hebei

Received: Jul. 25th, 2024; accepted: Aug. 28th, 2024; published: Sep. 5th, 2024

Abstract

Along with the rapid development of China's modern economic construction, in the future for a long time, the scale of coal development will gradually expand, the main position of energy will not

*通讯作者。

文章引用: 何晓东, 岳喜能, 安博文, 郭利东, 范绍山. 黄土丘陵沟壑区煤炭井下开采对生态影响及修复[J]. 自然科学, 2024, 12(5): 1006-1012. DOI: 10.12677/ojns.2024.125110

change. Coal mining will not only promote social economy and regional development, but also cause serious damage to regional ecological environment. The ground subsidence caused by coal mining is the main cause of geological and environmental problems. It brings a series of problems such as geological disasters, ecological environment destruction, biodiversity reduction, groundwater level decrease, soil erosion increase, etc. Taking Junge Banner as an example, this paper investigates the subsidence of mining gob in coal mining areas, identifies the characteristics of coal mining subsidence areas in the whole banner, analyzes the influence of underground mining disturbance on ecology and restoration mechanism in loess hilly and gully region, and puts forward suggestions on the restoration methods of ground subsidence in loess Plateau hilly and gully region.

Keywords

Underground Mining, Goaf Collapse, Ecological Environment, Ecological Restoration

Copyright © 2024 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. 引言

煤炭被人们誉为黑色的金子 and 工业的粮食，是我国乃至世界上消耗量最高的能源资源，是保障社会稳定，人民生活和经济发展的基础，在我国的能源结构中占据长期的主导性地位[1]。露天开采和井工开采是我国目前煤炭开采的两种主要开采方式。开采煤炭无论是露天开采还是井工开采都会给生态环境带来严重的破坏，我国煤炭的贮存主要以地下埋藏为主，因此煤炭的开采主要以井工开采为主。井工开采引起的地质生态环境问题日益突出，如土壤侵蚀、地面沉降、采空塌陷、植被破坏、地下水及地表水污染等[2]。黄土丘陵沟壑区的植被覆盖率较低，水土流失严重，构成了一个极其脆弱的生态系统。而大规模的煤炭开采，更是加剧了这种状况，使得生态破坏的持续性和不可逆转性变得更加明显[3]。因此解决煤炭开采引发生态环境问题刻不容缓，需要人类加大修复治理力度，合理利用土地资源。

2. 研究区概况

2.1. 地理位置

准格尔旗位于鄂尔多斯市东部，毛乌素沙漠东南端。北与包头市、东与呼和浩特市隔黄河相望，东南、南部与山西省的偏关县与河曲县以河为界，西南与陕西省的府谷县接壤，西部与伊金霍洛旗、东胜区、达拉特旗搭界。其地理位置如图 1 所示。

2.2. 矿山资源情况

准格尔旗拥有丰富的矿产资源，其中包括 582 亿吨的煤炭，并且还拥有 1000 亿吨以上的未开采的潜力。“绿色煤炭”杂志将其称为具备较低的灰分、磷、硫和较高的发热量的优质原料。此外，还拥有大量的高岭土、石灰岩、铝矾土、白云岩、石英砂和煤层气。准格尔旗的煤炭资源储量及品质均处于全国领先地位，目前共发现了 544 亿 t 的潜藏储量，而未来的潜藏潜力更高达 1000 亿 t。目前，该旗拥有 56 座井工煤矿，每年的设计生产能力达到 17,906 万 t/a，而且拥有 868.25 km² 的井田，预期的可开发潜力达到 98.8 亿 t。煤矿主要分布在西部的准格尔召镇，西南部的纳日松镇、沙圪堵镇以及东部的薛家湾镇、龙口镇等[4]。

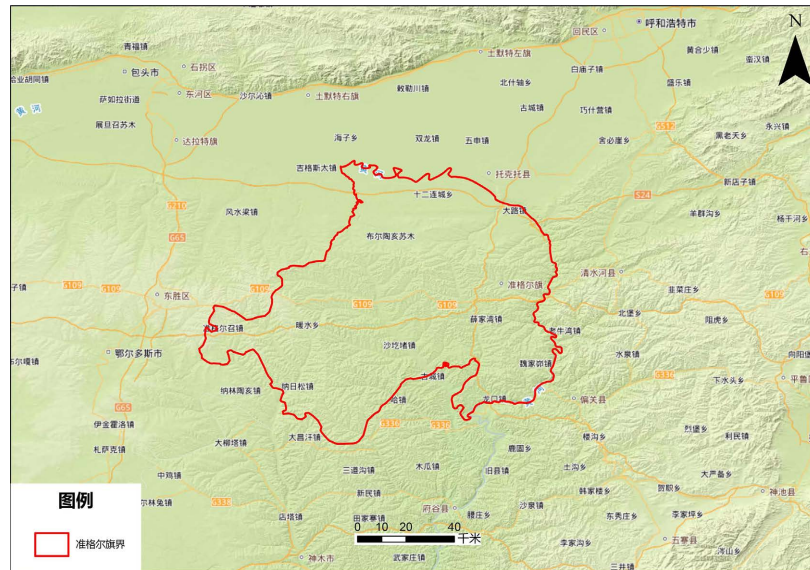


Figure 1. Geographical location map of the research area
图 1. 研究区地理位置图

3. 塌陷分布现状、特征及危害

3.1. 分布现状

煤炭资源的开采使得煤层周围的岩体中的原始应力平衡状态遭到破坏，在应力重新分布达到新的平衡过程中，导致地面塌陷[5]。采煤引发的地面塌陷是准格尔旗最典型的地质灾害。调查发现地面塌陷主要分布在西部准格尔召 - 纳日松一带、东部薛家湾 - 魏家峁 - 龙口一带，规模为大中型、危害等级为轻型为主。其变形特征主要表现为塌陷裂缝。

3.2. 塌陷特征

地裂缝是准格尔旗最常见的采煤塌陷表现形式。主要分为直线裂缝、弧形裂缝、折线裂缝、不规则裂缝[6]。后两种裂缝是前两种裂缝在地表拉裂、变形、下错过程中因地质条件的不同组合而成的。

弧线型裂缝(图 2)：裂缝呈弧形弯曲，这种裂缝主要发育在采空区与沟谷的过渡的斜坡体或冲沟沟脑发育。斜坡体上裂缝一般沿等高线呈同心圆或等间距排列，裂缝由坡顶至坡脚深度逐渐变浅，呈阶梯状下降，尤其当工作面走向与山坡走向相互平行时，由于塌陷裂缝与地形产生的附加裂缝叠加，容易产生滑坡；沟脑裂缝沿沟边呈环状密集展布，裂缝将沟脑切割的支离破碎，常常形成崩塌、滑坡。根据裂缝与采空区的空间位置关系，又分为闭合裂缝和张开裂缝。前者位于采空区上方，又称暂时裂缝；后者位于采空区边缘，又称永久裂缝。

直线型裂缝(图 3)：裂缝平直，延伸方向稳定，整条裂缝未发生转折，通常发生在黄土采空区顶部和斜坡的初始阶段。一般采空区的顶端的裂缝会以相同的间隔分散，并且其走向会和工程的施工方向垂直，也会和施工的边缘保持平行，其宽度较大，有时会出现较为严重的偏移；斜坡的初始阶段，裂纹会以“爪”字的形式分散，尤其是对于黄土较为丰富的地带，其分布更加集中。裂缝深而宽。

3.3. 塌陷危害

3.3.1. 对土地的影响

煤炭开采造成的土地形变包括地表连续移动变形和非连续移动变形。准格尔旗地下水位较深，井下



Figure 2. Curved crack
图 2. 弧线型裂缝

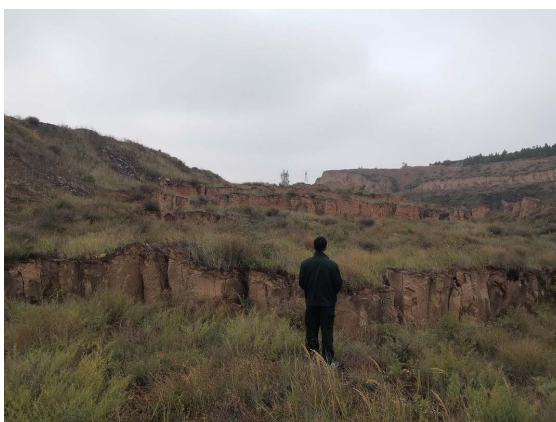


Figure 3. Linear crack
图 3. 直线型裂缝

开采后地表一般出现无积水沉陷盆地，地表非连续移动变形主要表现为采煤沉陷地裂缝。在黄土丘陵沟壑特殊采矿地质条件下，该区域地表移动变形特征呈现出一定的特殊性。地表移动变形呈现典型的盆地状。盆地中心区域大范围在采后可恢复至采前地形并实现自修复，而盆地边缘的非均匀沉陷区则需重点修复，表现出“分区”特征。

3.3.2. 对植被的影响

基于采矿时序的遥感解译研究(图 4)，1990 年北部和东南部植被覆盖占比较大，至 2000 年北部植被覆盖更加集中，东南部植被至 2010 年逐渐减少，到 2020 年植被覆盖度呈指数增加。南部植被在 1990 和 2000 年左右增加不明显，至 2010 年南部地区已成为准格尔旗全境植被覆盖度最高的地方了，且大部分是高植被覆盖。2020 年东北和西南方向已被中植被、中高植被和高植被所覆盖，准格尔旗全境植被覆盖率大幅增加，该地区生态环境明显改善。

3.3.3. 对地面建(构)筑物的威胁破坏

自煤炭开采以来，采煤塌陷及地裂缝区内的地面建(构)筑物就时有开裂损毁的情况发生，好在采煤塌陷及地裂缝区内一般人口稀少，村庄、地面建(构)筑物少，且人员已搬离，损失并不大。但途经采煤塌陷及地裂缝区内的公路开裂影响交通安全。如哈尔乌素煤矿开采引发地裂缝，严重破坏公路，影响交通。

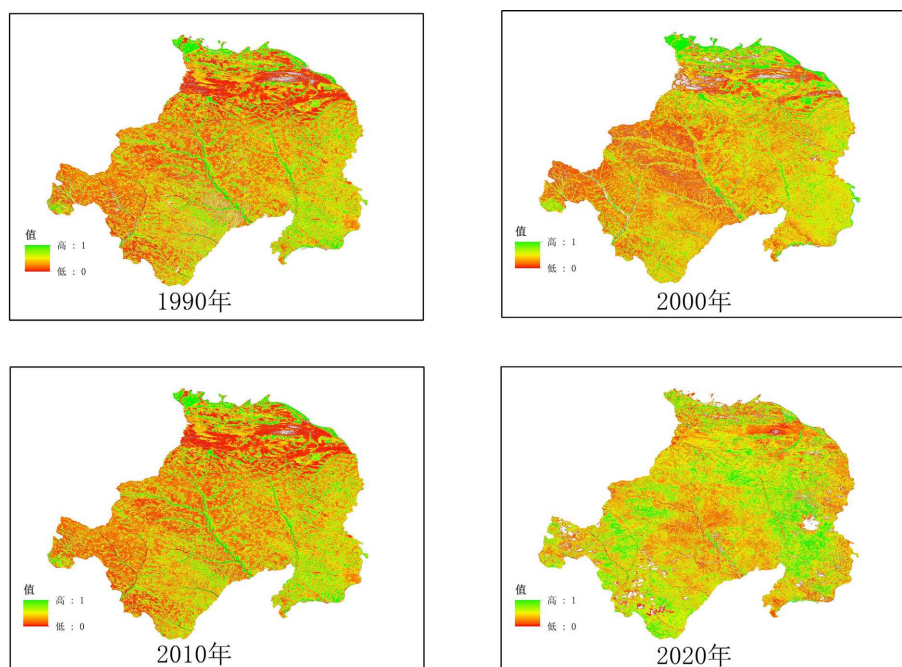


Figure 4. Remote sensing interpretation map of vegetation cover in Zhungeer Banner from 1990 to 2020

图 4. 准格尔旗 1990~2020 年植被覆盖遥感解译图

3.3.4. 对地下水的影响

因现开采区内无较厚的、大面积连续分布的、富水性较强的、有供水意义的含水层，煤矿开采仅对个别农田灌溉、区内村民饮用水造成一些影响。煤炭集中开采区地下水位均不同程度的下降，导致地表水干枯，农田无法浇灌，产量下降，甚至群众吃水发生困难等问题。采煤塌陷及地裂缝区地下水位普遍比开矿前下降 3~5 m，区内的民用水井除雨季外，多已干枯。

3.3.5. 诱发加剧水土流失、土地沙漠化

采煤塌陷及地裂缝一方面直接破坏了地表的完整性，另一方面对含水层的破坏使地下水位下降，地表水干枯，局部地形低凹处的植被、树木枯死或长势变差，从而诱发或加剧了水土流失与土地沙化的程度。

3.3.6. 对人畜等生命的危害

该区现有煤矿采深均不大，产生的地裂缝个别宽度达几十厘米至一米以上，特别小煤矿的无序开采，产生裂缝的地点、时间的不确定性、突然性对居民，牲畜具有一定的危险。如东胜煤田就曾发生过村民掉入地裂缝死亡事件。应引起高度重视，加强监测、预防、治理，采空区树立标志等措施。

4. 井工开采塌陷修复模式

根据现场调查和理论研究，黄土高原丘陵沟壑区的井下开采活动会对土地生态造成严重的破坏，而且这种破坏是有规律的。因此，在这一区域，我们应该将生态恢复作为重点，充分利用自然修复的效果，尽量减少二次或多次破坏，采取低成本、可持续的方法进行修复，而不是进行大型工程或高额投资。建议采取两种有效的修复措施和策略，以期达到最佳的效果。

4.1. 分区修复法

基于地表裂缝的分区特性，有针对性的开展分区修复(图 5)。在动态裂缝区域主要以自然恢复为主要

措施,实现自封闭修复模式。工作面停采后,在塌陷区域设置警示牌、架设拦网等简易措施,严禁放牧、严禁动用大工程平整、削坡处理。在土地裸露或者植被覆盖度非常低的地区,可以适当的种植紫花苜蓿、沙打旺等物种。在边缘裂缝区域,裂缝密集分布,土壤含水量散失程度增大,短时间裂缝也难以自然充填,应采取裂缝回填,回填时禁止使用大型的机器,以人工铁锹就地回填平整。该回填方式的工程量小,基本保持了土壤理化性质;对于宽、长、深的地裂缝,应采取机械推平的方式。土壤改良:在边缘区域裂缝发育导致土地受损,土壤含水量散失较快,植物存活难度大,自我修复难度就大,为保证植被成活率,在原有土壤的基础上进行土壤重构,改良土壤成分,促进植物根系快速生长。植物配种:在人工干预工程之后,原有的植被不复存在,为保证优势物种生长,应先种植先锋物种,采取适合研究区生长的植被,以灌草结合,优选沙棘、锦鸡儿等灌木物种,草本以草木樨、沙打旺、紫花苜蓿为主。适当种植油松、旱柳、白扦等乔木。

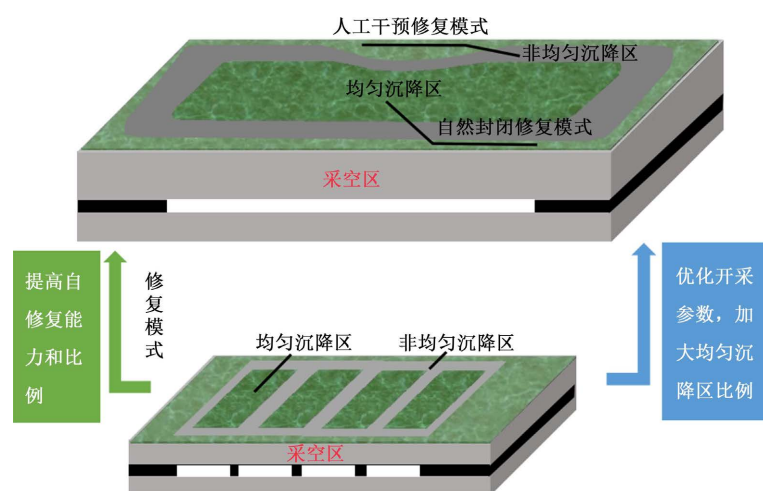


Figure 5. Zone repair model of ground fractures (Zhenqi Hu, 2016, slightly modified)
图 5. 地裂缝分区修复模式(胡振琪, 2016, 略做修改)

4.2. 边采边复法

作为矿山损毁的土地复垦新技术边采边复是绿色的发展理念,绿色的修复手段,也是绿色矿山建设的必然[7][8]。

如果条件允许,应加大开采工作面,从而增加因塌陷产生动态裂缝的比例。相邻工作面尽量规格保持一致,计算好边缘裂缝的影响范围,控制相邻工作面的距离,来做到边缘裂缝的相互抵消,减少非均匀沉降区的比例。

边缘裂缝边出现、边填充,尽可能的使土地保持相对完整,减轻土壤含水量的蒸发。边缘裂缝治理尽量采用扰动小的流动人工充填、平整和压实的方法。目前高水材料用于井下采空区或其他岩石区域的充填比较热门[9],但不建议采用该方法,该方法改变了土壤原有物质成分,不利于本土植被的生长和生态系统的修复。

5. 结论

1) 经野外实地调查研究,地面塌陷主要分布在准格尔旗东西部,以准格尔召-纳日松一带、薛家湾-魏家峁-龙口一带为主,规模为大中型、危害等级为轻型。其变形特征主要表现为地表塌陷裂缝,裂缝主要以弧线型和直线型,裂缝宽约 10~100 cm,裂缝在地表破坏严重区域形成下错,错台高度 5~100 cm

不等, 地表植被破坏严重。

2) 地面塌陷造成的破坏主要以土地、植被、房屋建筑、地下水源等为主。煤炭的开采造成耕地和草地面积的减少, 地表土地发生变形; 植被大面积的减少, 尤其是 2000 年到 2010 年, 十年期间煤炭大面积的开采, 致使植被覆盖度急剧下降。煤炭集中使得开采区地下水位均不同程度的下降, 导致地表水干枯, 农田无法浇灌, 产量下降, 采煤塌陷及地裂缝区地下水位普遍比开矿前下降 3~5 m, 极易诱发或加剧水土流失与土地沙化的程度。

3) 根据现场调查和理论研究, 黄土高原丘陵沟壑区的井下开采活动会对土地生态造成严重的破坏, 而且这种破坏是有规律可循的。因此提出两种生态修复模式分别为分区修复法和边采边复法, 来加快生态修复治理的进程。

矿山生态的修复不是一朝一夕能完成的, 这需要投入大量的人力、物力、精力时间及技术来支撑矿山的生态修复, 提出科学合理的方案, 统筹协调相关单位共同参与、通力合作, 推动准格尔旗矿山科学生态修复工作, 实现经济社会可持续发展, 支撑黄河流域生态保护和高质量发展。

基金项目

中国地质调查局项目《鄂尔多斯市准格尔旗煤炭矿集区生态修复支撑调查》(编号: DD20208078)。

参考文献

- [1] 王双明, 杜华栋, 王生全. 神木北部采煤塌陷区土壤与植被损害过程及机理分析[J]. 煤炭学报, 2017, 42(1): 17-26.
- [2] 梁蕙. 煤炭资源开发环境影响因素及污染因子探讨分析研究[J]. 环境科学与管理, 2019, 44(7): 191-194.
- [3] 朱松丽. 我国煤炭开采生态环境保护相关政策措施评述[J]. 煤, 2007, 16(12): 1-4.
- [4] 赵方莹, 袁志琼, 叶振魁, 等. 准格尔旗矿山生态保护和修复技术问题分析与对策研究[J]. 中国水土保持, 2022(11): 12-14.
- [5] 秦越强, 王志民, 周业泽, 等. 准格尔旗煤炭矿集区生态环境问题与修复措施[J]. 现代矿业, 2021, 37(6): 169-174.
- [6] 李永红, 刘海南, 范立民, 等. 陕西榆神府生态环境脆弱区地质灾害分布规律[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2016, 27(3): 116-121.
- [7] 胡振琪, 肖武. 矿山土地复垦的新理念与新技术——边采边复[J]. 煤炭科学技术, 2013, 41(9): 178-181.
- [8] Hu, Z. and Xiao, W. (2012) Optimization of Concurrent Mining and Reclamation Plans for Single Coal Seam: A Case Study in Northern Anhui, China. *Environmental Earth Sciences*, **68**, 1247-1254. <https://doi.org/10.1007/s12665-012-1822-9>
- [9] 刘辉, 雷少刚, 邓喀中, 等. 超高水材料地裂缝充填治理技术[J]. 煤炭学报, 2014, 39(1): 72-77.