

露天煤矿开采损毁国土空间的生态修复技术路径研究

付红磊, 刘志强

内蒙古锡林郭勒盟西乌珠穆沁旗白音华蒙东露天煤业有限公司, 内蒙古 锡林郭勒盟 026200

DOI:10.61369/ERA.2026100019

摘 要 : 露天煤矿的大规模开采, 即便可带来理想的经济效益, 但在开发过程中破坏了地表形态, 导致土壤结构破坏以及水资源失衡, 情况下导致国土空间大面积受损。本文分析了露天煤矿开采损毁国土空间的生态特征, 从土壤重构、地貌重塑、水资源调控、植被恢复、生物多样性等角度提出切实可行的生态修复技术, 切实提升生态国土空间的生态修复水平。结果表明, 通过多要素协同治理露天煤矿生态系统, 有助于实现矿区国土空间的系统化治理, 为实际工作提供借鉴与参考。

关 键 词 : 露天煤矿; 生态修复技术; 国土空间; 地貌重塑技术

Research on Ecological Restoration Technical Path of Land Space Damaged by Open-pit Coal Mining

Fu Honglei, Liu Zhiqiang

Baiyinhua Mengdong Open-pit Coal Industry Co., Ltd., West Ujimqin Banner, Xilingol League, Inner Mongolia 026200

Abstract : Although large-scale open-pit coal mining can bring desirable economic benefits, it destroys surface morphology in the development process, resulting in damaged soil structure and unbalanced water resources, and even large-scale damage to land space in severe cases. This paper analyzes the ecological characteristics of land space damaged by open-pit coal mining, and puts forward feasible ecological restoration technologies from the perspectives of soil reconstruction, landform remodeling, water resource regulation, vegetation restoration and biodiversity, so as to effectively improve the ecological restoration level of ecological land space. The results show that the collaborative governance of multiple elements for open-pit coal mine ecosystems is conducive to realizing systematic governance of land space in mining areas and providing reference for practical work.

Keywords : open-pit coal mine; ecological restoration technology; land space; landform remodeling technology

引言

露天煤矿是目前我国最重要的能源基地之一, 对国家经济发展的贡献功不可没。相比于井工开采, 露天开采剥离量大、扰动强烈、影响范围广。在“挖高填低、剥离表土、采掘煤层”这一生产模式下, 原有地形地貌被彻底改变, 地表植被被大量清除, 土壤结构被摧毁, 区域水文循环系统被破坏。很多矿区的修复工作只是注重“复绿”的表面功夫, 并没有真正实现土壤质量的根本改善、生物多样性的真实恢复及生态系统自我维持功能的有效增强, 使得修复后生态系统非常脆弱, 很容易出现退化现象。所以针对露天煤矿开采带来的多维度国土空间损毁特点, 亟需研究出一套科学、系统、可行的生态修复技术路径。

一、露天煤矿开采对国土空间的损毁特征

(一) 土壤结构与肥力破坏

土壤是生态系统物质循环的基础, 露天开采对土壤的破坏是根本性的、长久的。

1. 表土资源丧失与错位。矿山开采之初, 有些矿山会执行表土剥离, 不过剥离, 运输及堆置过程中管理失误致使富含腐殖质和微生物的表土时常会和深层生土, 岩渣混淆, 造成优质表土资源的浪费与错位。没有开展剥离就着手开采的地方, 表土层便遭

到了完全破坏^[1]。

2. 土壤物理结构变坏。采矿机械的压力加上排土场上重型车的碾压, 使得土壤容重大幅度上升, 孔隙度急剧缩减。这种过度被压实的土壤通气透水能力很差, 很不利于植物根系往下生长和向外扩展。而且排土场上那些松散堆起来的泥土, 在重力影响之下会自行发生下沉, 很容易造成土壤出现裂纹, 从而致使水分迅速流失。

3. 土壤肥力及化学性质衰减。剥离出的土壤大多为生土或者深层母质, 有机质含量极少, 氮、磷、钾等速效养分严重不足。

排土场内硫化物矿物被氧化后形成酸性矿山废水,致使周围土壤酸化;有些地方因为蒸发厉害,地下盐分会随着毛管水上升,造成土壤次生盐碱化,这样就更加快了土壤生产能力的丧失^[2]。

(二) 地貌景观损毁

露天开采使得整个区域地貌发生了改变,出现了以“挖损”、“压占”为特点的人工地貌。大面积的剥离工作使平原上出现了一个个巨大的凹陷采坑,丘陵地区则出现了陡峭的高陡边坡^[3]。这些人工采坑有的深达几十到几百米,完全破坏了原有的地表高低变化,并且很容易诱发滑坡、崩塌、泥石流等自然灾害,而且很难恢复原状。剥离出来的废石土被运往排土场堆积成一座座人工山丘。排土场地形破碎,坡面不稳定,在雨水冲刷下容易造成水土流失。大面积的排土场占用了原有土地,使土地资源永远消失^[4]。

(三) 水文系统扰动

露天开采对于区域水循环系统的影响是隐形且深刻的,其主要体现为对地表水系的破坏以及地下水位的降低。为了保证采场的干燥作业,需要不断地进行疏干排水工作。长时间的抽排会使得采区周围形成一个巨大的降落漏斗,从而引起周围地区的地下水位迅速降低。这样就造成了矿区周围井泉干涸、依靠地下水生存的植物因缺水而死亡,进而加重了生态退化程度。露天采坑与排土场的建立直接覆盖或者切断了原有地表径流通道,改变了地表水系自然形态^[5]。

(四) 植被与生物多样性丧失

植被作为生态系统中的初级生产者,露天开采对植被造成的破坏是毁灭性的,从而引发一系列生态灾难。

1. 原生植被的全部清除。在剥离表土、采掘的过程中,矿区范围内原有的森林、草地、灌丛等原生植被被全部铲除,植被覆盖率在短时间内迅速降至零。直接造成植物生物量的大量减少,也中断了生态系统中的能量流动与物质循环^[6]。

2. 植物群落结构简单化。即使进行了后期的复垦绿化,在土壤条件的制约下,初期恢复的植被也都是一个单一类型的先锋群落,没有乔、灌、草的立体层次。这样的群落结构简单,物种单一,稳定性差,抗病虫害能力低,不能形成自我维持的生态系统。

3. 动物栖息地破碎,生物多样减少。随着原生植被消失,景观破碎,野生动物失去食物与栖身之地,造成鸟类、小型哺乳类、昆虫以及土壤微生物等种类骤降乃至局部消失,生态系统食物链断开,生物多样性达到最低值,其自我修复能力几近消逝^[7]。

二、国土空间的生态修复技术原则

1. 因地制宜。因地制宜是生态修复的前提条件,修复措施要与当地的立地条件、自然环境特点和社会经济发展需要高度契合。露天煤矿的破坏形式多种多样,主要有深凹采坑、高陡边坡、松散排土场、塌陷区等。不同类型的破坏区域需要采取完全不同的修复手段,对深度很大的采坑可以因地制宜建设成蓄水池或者工业景观湖,而对于坡度相对平缓的排土场则适合做土地平整进行农耕复垦,而对高陡的边坡应该主要采用柔性生态护坡的

方式,不宜大面积硬化^[8]。

2. 系统性。系统性原则把露天矿区当作“山水林田湖草沙”的生命共同体,摆脱以往单要素治理的束缚,开展全要素、全流程的统筹修复。土壤重构、地貌重塑、植被更新以及水资源调节这四个技术环节不是彼此独立的,而是互相关联、互相制约的。

3. 仿自然修复。仿自然修复主张减少过多的人为干预,模仿自然生态系统结构及演替规律,激发生态系统自身的设计能力和维持能力。放弃传统“一刀切”的直线化、几何化工程改造方式,采取近自然曲线设计。仿自然修复主要是恢复物质循环和能量流动。建立人工湿地处理矿山废水,放置昆虫旅馆、鸟巢等吸引授粉昆虫和鸟类,逐渐恢复食物链,让修复后生态系统可以依靠自身调节抵抗外部干扰。

三、露天煤矿开采损毁国土空间的生态修复技术路径

(一) 土壤重构技术

土壤重构是露天矿区生态修复的物质前提,就是迅速形成适合植物生长的土壤剖面结构及肥力状态,其关键点是“表土保存、分层堆放、定向改善”。

1. 表土保护性剥离与资源化利用。在开采之前要对矿区范围内具有肥力的表土,实施细致地剥离工作。剥离时,依据当地的土壤发展情况,剥离深度大约维持在30~50厘米之间。剥离出来的表土不能同废弃物混杂在一起,须要在专门的地方堆放,并且采取临时遮盖、周围设置排水沟等办法来防范水土流失以及养分流失现象发生。

2. 分层填筑与土壤剖面再造。对排土场或者采坑回填区域来说,要模仿自然土壤的垂直剖面构造做分层填筑。一般的分层方式是“表土层-改良层-过渡层-母质层”。底层最好铺些大块岩石或者低污染废弃物来保证排水和地基稳固;中间过渡层可以用粉煤灰、煤矸石这些经稳定性处理过的固体废弃物;上层改良层就混合表土和有机物料;最上面再覆盖回去被挖掘掉的表土。这样“生土在下、熟土在上”的结构既给予土壤物理支撑,又给植物根系生长预留了养分空间。

3. 物理结构改善及抗蚀加强。排弃场地的土壤一般会表现出板结现象,并且容重大。可以借助深度耕翻来消除犁底层,提升土壤孔隙的比例,针对坡度过大的地方,则可以使用等高垄种植法,修建反坡梯田或者构建植物篱来进行水土保持工作,从而有效地拦截地表径流水分,减缓土壤被冲刷的速度。

(二) 地貌重塑技术

地貌重塑是生态修复的空间载体,其目标在于去除地质灾害隐患,并创建出接近自然状态的地形地貌,从而为后续的土壤以及植被恢复赋予稳固的基础。

1. 采坑治理及综合利用。对深度大、边坡陡的凹陷采坑,若地下水位高且水质好,则根据当地水资源情况将其改造成人工湖或蓄水池,用作农业灌溉、消防或观赏用水;若采坑较深但没有积水条件,则利用周围排土场的废石按阶梯形式回填,使台地变得较为平坦,可用于植树造林或建设用地。对于存在边坡不稳定

问题的采坑，要对其进行削坡升级处理，把高而陡峭的边坡改为若干个台阶，台阶的宽度以及坡度必须符合植物生长和机械作业的要求。

2. 排土场整形及坡面保护。排土场属于地貌重塑重点区。先要对松散堆积物执行压实操作来改进地基承受能力，接着依照排土场高度以及周围环境条件，规划合适的边坡角度，一般介于 $25^{\circ} \sim 35^{\circ}$ 。利用“削高补低”的方法去整理地面，塑造反向斜坡梯田或者水平阶梯，以此来阻挡雨水。坡面保护主要采用生态化的手段，在坡脚处安排干砌石挡墙或者石笼网稳固根基；坡面上铺设生态植被毯、植生袋或者喷播基材，并且配合攀援植物做垂直绿化，做到工程固定坡面同生物固定坡面相融合。

（三）水资源调控与修复技术

水是生态系统的命脉，露天矿区内水资源调节要协调好“截、蓄、渗、净、用”等环节，恢复矿区范围内的水循环体系。

1. 地表水系连通及径流调控。对被采矿所截断的自然水系进行恢复，利用原有的冲沟或者新建生态渠道把矿区周围清洁径流引到修复区域。在排土场上空设置截水沟来阻挡外部洪峰，并且在场地内部构筑起蓄水池、涝池或者小型塘坝等设施以汇集雨水以及坡面径流，从而营造出“截-蓄-排”的水网系统，做到预防水土流失的目的并给干旱季节的植被浇灌供给水资源。

2. 矿山废水处理与水体净化。针对酸矿排水以及排土场淋滤液，采取“源头控制-过程阻断-末端净化”的技术途径。从源头上，用覆盖密封或者植被隔离来削减氧气同水分接触硫化物矿物，在过程中，用碱性物质去中和酸性，在末端，创建人工湿地或者生态塘，栽种芦苇，香蒲之类的水生植物，依靠基质吸附，微生物分解以及植物汲取，把水里的重金属和悬浮物给去除掉，从而完成水体的生态改善。

（四）植被恢复与生物多样性提升技术

植被恢复是生态复建的外观体现和功能载体，从单一一种绿向

群落组建发展，最后达成系统服务功能的全面提升。

1. 乡土植物筛选以及种苗繁育。以“适地适树、乡土优先”为原则，在矿区周围调查当地自然植被群落，从中挑选出耐旱、耐贫瘠、抗逆性较强的乡土植物作为建群种。建立苗圃基地，提前培育本地乔木、灌木以及草本植物的种苗，保证植被恢复的基因本土化。

2. 乔灌木立体配置与群落构建。摒弃单一种植草本或者纯林的方式，选择“灌木为主、草本为辅、乔木点缀”这种立体配置结构。前期先用一年生草本植物，比如草木樨、苜蓿来迅速占领地面，防止水土流失，再种一些紫穗槐、胡枝子这类豆科灌木进行固氮改土。后期慢慢加入当地的乔木，最终达到“草-灌-乔”的演替过程。在配置比例方面，灌木要占据主要位置，这样可以提高群落稳定性和抗逆能力。

3. 近自然造林及微生境种植。按照微地形情况选取合适的植物种类，在阴坡、半阴坡处种植耐阴植物，在阳坡、陡坡处种植耐旱的先锋草种和灌木，在洼地或者湿地边缘种植耐湿植物。以不规则的丛植或群植形式，模仿自然界植物群落分布状态，防止整齐划一的“兵营式”种植。

四、结论

综上所述，露天煤矿开采对土壤、地貌、水文、植被造成不可逆损毁，要以表土保护和分层填筑来恢复土壤生产力，用近自然地形整治来消除地灾隐患，依靠截蓄净化技术来修复水循环，借助乡土物种立体配置和动物生境营造来提升生物多样性。未来，应持续加大“基于自然的解决方案”的力度，将修复与新能源、碳汇等产业结合起来，做到生态效益和经济效益相统一，为同一类矿山国土空间生态修复赋予可模仿的范例。

参考文献

- [1] 王瑞芳, 吕宝奇. 露天煤矿开采对植被扰动空间梯度的定量分析 [J]. 中国矿业, 2026, 35(7): 131-140.
- [2] 刘金朝. 露天煤矿开采生态环境保护防治关键技术研究 [J]. 内蒙古煤炭经济, 2026, (6): 49-51.
- [3] 张泽. 露天煤矿开采过程中生态环境影响与综合治理技术研究 [J]. 中国资源综合利用, 2025, 43(11): 67-69.
- [4] 任天柱. 露天煤矿减损开采及生态环境修复治理技术方法研究 [J]. 环境科学与管理, 2025, 50(8): 152-156.
- [5] 王丽. 露天煤矿开采区生态环境污染微生物修复技术研究 [J]. 环境科学与管理, 2025, 50(2): 150-154.
- [6] 张笑成. 露天煤矿开采中的资源综合利用理论探讨 [J]. 新疆钢铁, 2024, (4): 26-28.
- [7] 苗晓东, 刘力川, 沈毅, 等. 草甸草原地区煤矿露天开采生态恢复措施分析——以扎尼河露天煤矿恢复过程为例 [J]. 内蒙古科技与经济, 2024, (4): 114-116+125.
- [8] 康红普, 李全生, 张玉军, 等. 我国煤矿绿色开采与生态修复技术发展现状及展望 [J]. 绿色矿山, 2023, 1(1): 1-24.