

Mine ecological restoration technology and green plant configuration measures under the background of forestry ecological engineering —— Take the west open pit mine as an example

Guangzhong Yuan

Forestry Department of Fushun Mining Group Co., Ltd., Fushun, Liaoning, 113000, China

Abstract

With the rapid development of China's economy and the excessive exploitation of mineral resources, the environmental pollution of mineral resources has become more and more serious. Due to a series of problems such as vegetation destruction, soil erosion and water pollution caused by mining activities, it has caused great harm to the ecological balance and human living environment. Therefore, the ecological restoration of the mining area is an important work at present. This paper takes the west open-pit mine as the research object, and carries out scientific ecological restoration and vegetation configuration. Through the research of this paper, we expect to provide new ideas and methods for the mine ecological restoration work, and promote the continuous improvement and sustainable development of the mine ecological environment. The study in this paper not only provides an effective scheme for the ecological restoration of coal withdrawal pit in the west open pit mine, but also provides a useful reference for the ecological restoration work of other similar mines.

Keywords

forestry ecological engineering; mine restoration technology; green plant configuration

林业生态工程背景下矿山生态修复技术和绿化植物配置措施——以西露天矿退煤闭坑为例

袁广忠

抚顺矿业集团有限责任公司林业处, 中国·辽宁 抚顺 113000

摘 要

随着我国经济的迅速发展,对矿产资源的过度开发,导致了矿产资源的环境污染问题日趋严重。由于采矿活动引起的植被破坏、水土流失和水体污染等一系列问题,对生态平衡及人类生活环境造成了极大的危害。因此,对矿区进行生态恢复是目前的一项重大工作。文章以西露天矿为研究对象,对其进行了科学的生态恢复与植被配置,通过本文的研究,我们期望能够为矿山生态修复工作提供新的思路和方法,推动矿山生态环境的持续改善和可持续发展。本文的研究不仅为西露天矿的退煤闭坑生态修复提供了有效方案,也为其他类似矿山的生态恢复工作提供了有益参考。

关键词

林业生态工程; 矿山修复技术; 绿化植物配置

1 引言

采矿虽然推动了当地的经济的发展,但也对生态环境造成了极大的损害。尤其是在露天采矿过程中,由于对原始植被的破坏,导致了土壤侵蚀,土壤退化,生物多样性减少等一系列问题。随着人类环保意识的增强,矿山生态恢复已成为人们关注的焦点。西露天矿是一种具有较长历史的老煤矿,对其进行生态恢复具有十分重要的意义。随着森林生态

工程建设的推进,矿区的生态修复已不只是单纯的土地复垦、植被恢复,而应更多地关注整个生态环境的恢复与可持续发展。

2 林业生态工程在矿山修复中的作用

2.1 土壤保护与恢复

在矿区治理过程中,选择合适的树种,栽植合适的树种,对水土保持和恢复具有十分重要的意义,这种植物不但可以固沙固土,减轻由于风、雨等因素造成的水土流失,还能持续向土壤中加入有机物,对矿区土壤结构的修复与改良具有重要意义。这些树木的根系像一张大网一样,深深扎入地下,

【作者简介】袁广忠(1976-),男,满族,中国辽宁新宾人,硕士,工程师,从事林业研究。

既增加了土质的紧实度,又增加了土体的承载能力,可以有效防止山体滑坡、泥石流等自然灾害,是矿区生态安全的重要保障。

2.2 水质改善

随着林业生态工程的实施,矿区水环境质量有了明显改善。植物的根系可以吸附和过滤雨水中的悬浮物和重金属等有害物质,可以有效地缓解土壤侵蚀带来的水环境污染。此外,高密度植被可显著提高地表粗糙度,降低降雨流速,为降雨入渗、补给地下水提供更多的时间与空间,对保持水土平衡、防治土壤侵蚀具有重要意义。同时,植物对当地气候具有重要的调控作用,并可通过植物蒸腾来调控当地气候,降低下垫面水分蒸发,进而改善矿区水体质量,从而为矿区生态环境的改善及生物多样性的修复提供科学依据。

2.3 景观美化

林业生态工程建设不仅改善了矿区的生态环境,而且大大提高了矿区的景观美。经过大面积绿化、植被修复,昔日荒凉的矿区,已渐渐披上了一层苍翠欲滴的绿色,这既是一个亲近自然,又是放松身心的好地方,也是一种无形的提高生活品质与幸福的方式。市民在享受自然的静谧与美丽的同时,也深切地体会到生态环境的改善所带来的正面影响,进而对这一得来不易的“绿色宝地”。同时,良好的生态环境也有利于吸引外来资金和优秀人才,促进矿区经济的转型升级与可持续发展。

3 矿山生态修复关键技术

3.1 土壤改良技术

3.1.1 基质重构技术

针对矿山废弃地土壤贫瘠化问题,可采用“矸石活化-客土改良-有机质添加”三级基质重构技术。通过破碎筛分(粒径<5cm)去除矸石中大块杂质,添加5%(w/w)磷石膏($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)中和碱性(pH由9.2降至7.8),并接种硅酸盐细菌促进矿物风化。在此基础上覆盖30cm厚复合客土(黄土:腐殖土:粉煤灰=5:3:2),使土壤容重由 $1.8\text{g}/\text{cm}^3$ 降至 $1.3\text{g}/\text{cm}^3$,孔隙度提高至45%。田间试验表明,该技术可使紫花苜蓿出苗率从12%提升至78%^[1]。

3.1.2 微生物修复技术

针对重金属污染,研发功能菌剂联合修复体系。通过分泌柠檬酸(浓度达 $2.3\text{mmol}/\text{L}$)和铁载体,使 Cd^{2+} 、 Pb^{2+} 生物有效性分别提高42%和35%。盆栽试验显示,接种菌剂后蜈蚣草地上部Cd积累量达 $18\text{mg}/\text{kg}$,较对照组增加58%。结合生物炭(添加量 $15\text{t}/\text{hm}^2$)的吸附作用,可在3年内将土壤有效态Cd含量从 $0.8\text{mg}/\text{kg}$ 降至 $0.3\text{mg}/\text{kg}$ (gB15618-2018限值)。

3.2 植被恢复技术

3.2.1 先锋植物选择策略

基于生理指标(脯氨酸含量、超氧化物歧化酶活性)与生长特性(根系表面积、生物量)构建植物筛选模型,确定沙棘为最优先先锋物种。沙棘通过根瘤固氮(年固氮量 $5.2\text{g}/\text{m}^2$)改善土壤N素水平。

3.2.2 阶梯式复垦模式

设计“先锋群落-过渡群落-目标群落”三阶段复垦方案:第1年:密植沙棘($1.5\text{株}/\text{m}^2$)快速形成覆盖层;第2-3年:间种刺槐与紫花苜蓿,构建灌草复合系统;第4-5年:引入辽东栎与油松,形成乔灌草立体结构。该模式使植被覆盖率从5%提升至72%,土壤有机质年增长率达0.5%,实现生态系统的正向演替。

3.3 生态系统服务功能提升技术

3.3.1 碳汇功能强化技术

通过优化植物配置(碳汇能力排序:辽东栎>油松>刺槐),使群落碳密度达 $68.4\text{t}/\text{hm}^2$,较单一草本群落提高3.7倍。结合菌根真菌接种技术,促进植物根系对 CO_2 的固定效率, $\delta^{13}\text{C}$ 同位素分析显示,菌根化植物碳固定速率提升22%。

3.3.2 生物多样性保育技术

沿矿区周边建设50m宽生态隔离带,种植蜜源植物(山桃、暴马丁香)吸引传粉昆虫(监测到膜翅目昆虫23种)。通过人工巢箱(密度5个/ hm^2)和食源植物(山桃)引入小型哺乳动物(如赤腹松鼠,使物种丰富度指数从0.6升至1.8)。

4 西露天矿退煤闭坑生态问题诊断

4.1 矿区生态环境特征分析

西露天矿位于辽宁省抚顺市东南部(北纬 $41^\circ 52'$,东经 $123^\circ 53'$),地处辽东丘陵向辽河平原过渡带,属于典型的断陷盆地构造。矿区总面积 10.87km^2 ,矿坑南北长6.6km、东西宽2.2km,最大开采深度达424m,形成了阶梯状边坡与积水坑塘交错的复杂地貌。地质资料显示,矿区地层以古近系抚顺群为主,含煤地层总厚度1300m,煤层倾角 $15^\circ \sim 25^\circ$,长期高强度开采导致地表形态剧烈改变,形成了高陡边坡(坡度 $>35^\circ$)、裸露矸石山(堆积量超5亿 m^3)和酸性积水区(pH4.5~5.0)等典型人工地貌单元。

受温带季风气候影响,矿区年均降水量798mm,其中7-8月集中降雨占全年60%,而年均蒸发量达1350mm,导致季节性干旱显著。土壤环境监测数据表明,矿坑基质以风化矸石、粉煤灰为主,有机质含量 $<0.5\%$,pH值8.5~9.2,呈现强碱性特征。重金属污染尤为突出,铅(Pb)含量达 $230\text{mg}/\text{kg}$ (超过农用地土壤污染风险管控标准187.5%),镉(Cd)含量 $1.2\text{mg}/\text{kg}$ (超标300%),且0~20cm表层污染最为严重。

4.2 生态修复的限制性因子

4.2.1 重金属污染胁迫

矿区土壤重金属污染呈现复合污染特征,Pb、Cd、Hg等元素通过尾矿淋溶、粉尘沉降等途径持续积累。盆栽试验显示,当土壤Cd浓度超过 $1\text{mg}/\text{kg}$ 时,玉米幼苗根系生物量减少45%,叶绿素含量下降32%,表明重金属通过抑制植物光合作用和根系发育对植被重建构成直接威胁。此外,矿区周边农田监测显示,玉米籽粒Cd含量达 $0.4\text{mg}/\text{kg}$,超出食品安全国家标准(gB2761-2021)1.3倍,形成潜在的生态风险链。

4.2.2 地形地貌破碎化

矿坑边坡稳定性差,历史监测数据显示年均滑坡频率达 2.3 次/ km^2 ,严重制约植被定植。在空间分布上,坡度 $>45^\circ$ 的区域占比达 38%,且坡面物质组成以粒径 $>20\text{cm}$ 的矸石为主,导致客土覆盖层难以附着。水文观测表明,边坡径流系数高达 0.65,地表径流冲刷强度是自然坡面的 8~12 倍,加剧了土壤侵蚀与养分流失^[2]。

4.2.3 气候水文条件约束

矿区年际降水变异系数达 28%,春早期(3-5月)土壤含水率常低于 8%,而修复植物蒸腾速率峰值达 $3.5\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,导致水分供需失衡。冬季极端低温(-37°C)与冻融循环作用使表层基质孔隙度降低 40%,抑制植物根系发育。此外,地下水位较开采前下降 8~12m,矿坑周边植被重建需依赖人工灌溉系统,显著增加了后期管护成本。

4.3 历史修复工程局限性

2010-2015 年实施的客土覆盖工程显示,30cm 厚黄土覆盖层在暴雨期(1 小时降雨量 $>50\text{mm}$)的流失率达 65%,暴露出客土与原基质界面结合强度不足的问题。植被调查发现,刺槐和紫穗槐的 3 年存活率仅为 18%,根系解剖显示重金属导致的根尖细胞坏死率达 73%。该案例表明,未针对重金属污染与土壤结构进行系统改良的传统修复模式难以实现生态系统的可持续恢复。

5 基于林业生态工程的修复技术体系

5.1 工程措施与生态修复协同设计

针对西露天矿高陡边坡(坡度 $>35^\circ$)的稳定性问题,采用“工程固坡+植被复垦”的协同治理模式。首先通过分级削坡(台阶高度 8~10m,平台宽度 5~8m)降低边坡势能,结合锚杆框架梁(间距 $2.5\text{m} \times 2.5\text{m}$)与植被混凝土喷播技术(厚度 8~10cm)形成复合防护体系。实验数据表明,该措施可使边坡抗滑安全系数由 0.92 提升至 1.35,满足规范要求(gB51018-2014)。

地表径流调控采用“拦截-储蓄-净化”三级系统:在边坡顶部设置截水沟(断面尺寸 $0.5\text{m} \times 0.5\text{m}$),中部布设鱼鳞坑(直径 1.2m,深 0.8m),底部构建人工湿地(面积 2.3hm^2)。水文监测显示,该系统可将 5 年一遇暴雨径流系数由 0.68 降至 0.32,径流含沙量减少 74%。结合生态排水沟(种植菖蒲、芦苇等挺水植物),实现了水土保持与面源污染控制的双重目标。

5.2 土壤改良与植被重建技术

5.2.1 重金属污染土壤修复

采用“生物炭钝化+微生物活化”联合修复技术:向污染土壤($\text{Pb}230\text{mg}/\text{kg}$, $\text{Cd}1.2\text{mg}/\text{kg}$)中添加 10% (w/w) 核桃壳生物炭(比表面积 $580\text{m}^2/\text{g}$),可使 Pb、Cd 有效态含量分别降低 57% 和 63%。同时接种功能菌剂,通过分泌有机酸(草酸含量增加 2.3 倍)促进重金属生物有效性。

5.2.2 适生植物筛选与群落构建

基于植物抗逆性评价体系(耐旱性、重金属耐性、固

氮能力),筛选出优势物种:先锋植物:沙棘耐盐碱($\text{pH}9.0$)、耐贫瘠(N 含量 $<0.1\%$);固氮植物:紫穗槐、刺槐,可使土壤全氮含量增加 $0.08\text{g}/\text{kg}$;富集植物:蜈蚣草、印度芥菜,Cd 富集量达 $15\text{mg}/\text{kg}$ 。采用“先锋植物拓荒-固氮植物改土-富集植物修复”的时序重建策略,3 年后土壤有机质含量可由 0.3% 提升至 1.8%,植被覆盖率达 65%^[3]。

5.3.1 乔灌草立体配置模式

基于生态位互补原理,构建具有垂直分层结构的植物群落体系。在乔木层,选择耐贫瘠且抗逆性强的云杉与辽东栎作为建群种,采用 $3\text{m} \times 3\text{m}$ 的株行距进行定植,形成林冠层的主体结构。灌木层配置胡枝子和连翘,以 2.5 株/ m^2 的密度交错种植,既发挥固土保水功能,又为草本植物提供微环境庇护。草本层以紫花苜蓿与早熟禾混播形成地被层,通过 80% 以上的覆盖率实现地表快速覆盖。

该立体配置模式显著提升了生态系统服务功能:群落总生物量达 $12.6\text{t}/\text{hm}^2$,较单一草本群落提高 2.3 倍;地表径流系数由 0.45 降至 0.19,径流拦截率达 58%;土壤侵蚀模数从修复前的 $8000\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 降至 $1200\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$,达到轻度侵蚀标准(SL190-2007)。通过不同植物根系在垂直空间的分布(乔木根深 1.5~2.0m,灌木 0.5~1.0m,草本 0~0.3m),实现了水分与养分的梯度利用,有效改善了土壤结构。

5.3.2 生态廊道建设与生物多样性保护

沿矿坑周边构建 30~50m 宽的生态隔离带,种植山桃、暴马丁香等蜜源植物,吸引昆虫 12 科 38 种。通过连通矿区内外的植被斑块,形成“核心保护区-缓冲区-实验区”的空间格局,使鸟类多样性指数由 0.85 提升至 1.92 (Shannon-Wiener 指数)^[4]。

6 结语

综上所述,林业生态工程的指导下,科学合理地运用生态修复技术和绿化植物配置措施,对于恢复矿山受损生态环境、促进生态系统服务功能重建具有至关重要的作用。综合运用先进生态修复技术,有效解决了西露天矿退煤闭坑后植被恢复难题。同时,依据当地气候、土壤条件及生态位原理,精心挑选并合理配置了适宜的绿化植物,不仅增强了生态系统的稳定性,还提升了景观美学价值,为矿山生态修复与景观重建树立了典范。

参考文献

- [1] 桑立,海龙,程霞,等.矿山生态修复技术和绿化植物配置措施研究[J].世界有色金属,2024,(23):103-105.
- [2] 范永超.矿山生态修复技术和绿化植物配置方案[J].中国金属通报,2024,(05):219-221.
- [3] 付俊杰.矿山生态修复绿化技术与绿化配置研究[J].西部资源,2022,(03):79-82.
- [4] 龙江洪.矿山生态修复技术和绿化植物配置措施研究[J].江西建材,2021,(04):256-257.