

Preliminary Study on Matrix Improvement Technology of Gangue Hill

Caojiang Chai^{1*}, Jingmin Sun², Guoyin Wei², Jin Qin², Xiaomeng Yu², Guangjuan Zeng^{2#}

¹Fengfeng Co. Ltd. of Jizhong Energy Group, Handan Hebei

²Hebei University of Environmental Engineering, Qinhuangdao Hebei

Email: 530851772@qq.com, #358763416@qq.com

Received: Jul. 24th, 2020; accepted: Aug. 10th, 2020; published: Aug. 17th, 2020

Abstract

It is necessary to construct "soil conditions" for plant growth in ecological treatment of coal waste piles. Soil construction is the core content of ecological restoration of coal gangue. The successful restoration of coal gangue needs to solve the matrix problem first. Therefore, this paper explores the matrix improvement technology of coal gangue dump from the aspects of spray seeding, geocell slope restoration technology, and foreign soil filling. The results show that the three methods can significantly improve the vegetation coverage rate and speed up the vegetation recovery speed, which provides a model reference for the basic material improvement of various gangue hills.

Keywords

Gangue Hill, Matrix Improvement, External-Soil Spray Seeding, Geocell, Foreign Soil Amelioration

矸石山基质改良技术初探

柴曹江^{1*}, 孙京敏², 魏国印², 秦津², 于晓萌², 曾广娟^{2#}

¹冀中能源峰峰集团有限公司, 河北 邯郸

²河北环境工程学院, 河北 秦皇岛

Email: 530851772@qq.com, #358763416@qq.com

收稿日期: 2020年7月24日; 录用日期: 2020年8月10日; 发布日期: 2020年8月17日

摘要

在矸石山生态修复工作中最为主要的内容是土壤构建, 确保矸石山能够成功修复的第一步是解决基质问

*第一作者。

#通讯作者。

题。为此, 本文从客土喷播、土工格室坡面恢复技术、客土改良等方面对河北峰峰集团煤矸石山基质改良进行了探究, 结果表明3种方法均可以明显提高植被的覆盖率, 加快植被恢复速度, 为各类矸石山的基质改良提供了模式参考。

关键词

矸石山, 基质改良, 客土喷播, 土工格室, 客土改良

Copyright © 2020 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

中国是全球范围内最大的煤炭生产以及消费国, 长时间的大规模煤炭开采活动使得地表上沉积了大量的伴生矿物煤矸石。截止到目前, 我国不同类型的工业废渣之中积累储存量最大、占地最大且排放量最大的固体废弃物就是煤矸石, 这对于周围的环境造成了巨大的影响[1]。煤矸石山治理成为环境治理工作中的一大难题, 一直困扰着矿山企业。有关数据显示, 对矸石山进行生态利用, 完成其植被恢复, 是解决矸石山环境问题最为主要的途径[2]-[7]。然而, 煤矸石山本身属于极端生境, 其本质是极端裸地, 由于其没有正常土壤所拥有的营养和结构, 植物的自然定居和生态系统的原生演替过程极其缓慢, 因此限制矸石山植被恢复的重要因素涵盖了: 首先, 基质物理结构没有达到合理的状态、缺少水分、自身的保肥能力并不强。其次, 极端贫瘠, 没有具备充分且必要的养元素, P、N 以及含有的有机质含量并不高, 其养分也并不均衡。再次, 本身含有较高的重金属含量, 这会对植物不同代谢途径产生很大的影响; 同时限制植物根系对营养元素的吸收和对植物生长产生影响[8]。基于此, 对于矸石山进行生态治理, 一定要将植物生长需要的立地条件构建出来, 也就是“土壤环境”, 在矸石山生态修复工作中核心内容就是土壤构建。本论文主要是对于矸石山植被修复的有关案例和成功经验进行参考, 同时分析峰峰集团矸石山限制植物生长的要素: 煤矸石累计区域 pH 值偏酸性[9]、植物生长的必须营养元素极端缺乏等影响因素, 充分考虑峰峰矿区现有条件, 对煤矸石山基质改良技术进行了探究, 以期对矸石山基质改良提供一定的参考。

2. 研究区概况

2.1. 自然地理概况

冀中能源峰峰集团有限公司位于河北省西南部, 是河北、山东和山西以及河南省份的交接地带, 同北京的距离大约为 500 公里, 西部是山间盆地, 东部以倾斜平原为主。该区域属于暖温带, 年总降水量平均 627 毫米。南北长 22.2 公里, 东西宽 18 公里, 全区总面积 353 平方公里。

2.2. 研究区范围

研究区位于河北省邯郸市峰峰矿区、武安市及磁县界内, 该区是河北省区域内最为核心的煤炭生产基地, 该矿区本身属于老矿区, 拥有的煤炭资源非常丰富, 是邯邢煤田之中最为核心的构成部分。峰峰集团目前有大小矸石山 18 座, 见图 1 标记的红色四边形范围, 其中峰峰矿区辖区内共有 13 座煤矸石山(图中橙色标记)、武安界内 2 座矸石山(图中黄色标记)、磁县界内 3 座矸石山(图中绿色标记)。矸石山总堆存量约 5077.4 万吨, 占地面积约 147.2 公顷, 各矸石山均为非自然矸石山。

2.3. 峰峰矿区矸石山成分分析

通过对峰峰矿区进行了解发现,其煤矸石成分可以参照表 1~2 的内容显示。通过对空气干燥基水分进行了解其数值介于 0.17% 以及 4.83% 区间范围内,其灰分含量的数值介于 27% 以及 90% 区间范围内,其中不仅涵盖了低灰煤矸石,同时也包含了中灰煤矸石,除此之外也涵盖了高灰煤矸石。

煤矸石主要由无机质和少量有机质组成,成分非常复杂,峰峰矿区矸石山无机成分以 SiO_2 、 Al_2O_3 、 CaO 为主,而 Fe_2O_3 和 MgO 含量较低,为明显的铝硅型煤矸石。

Table 1. Industrial analysis results of coal gangue

表 1. 煤矸石工业分析结果

组成部分	M_{ad}	A_d	F_{ed}	焦渣特点	$S_{t,d}$	$Q_{net,ar}/\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$
含量/%	0.17~4.83	27~90	1~53	1	0.01~6.7	0.33~21.43

Table 2. Analysis results of chemical composition of coal gangue

表 2. 煤矸石化学成分分析结果

成分	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_2	$\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$
含量%	39~64	17~26	1.4~6.3	0.1~20.4	0.4~3.4	0.2~4.7	0.4~3.4

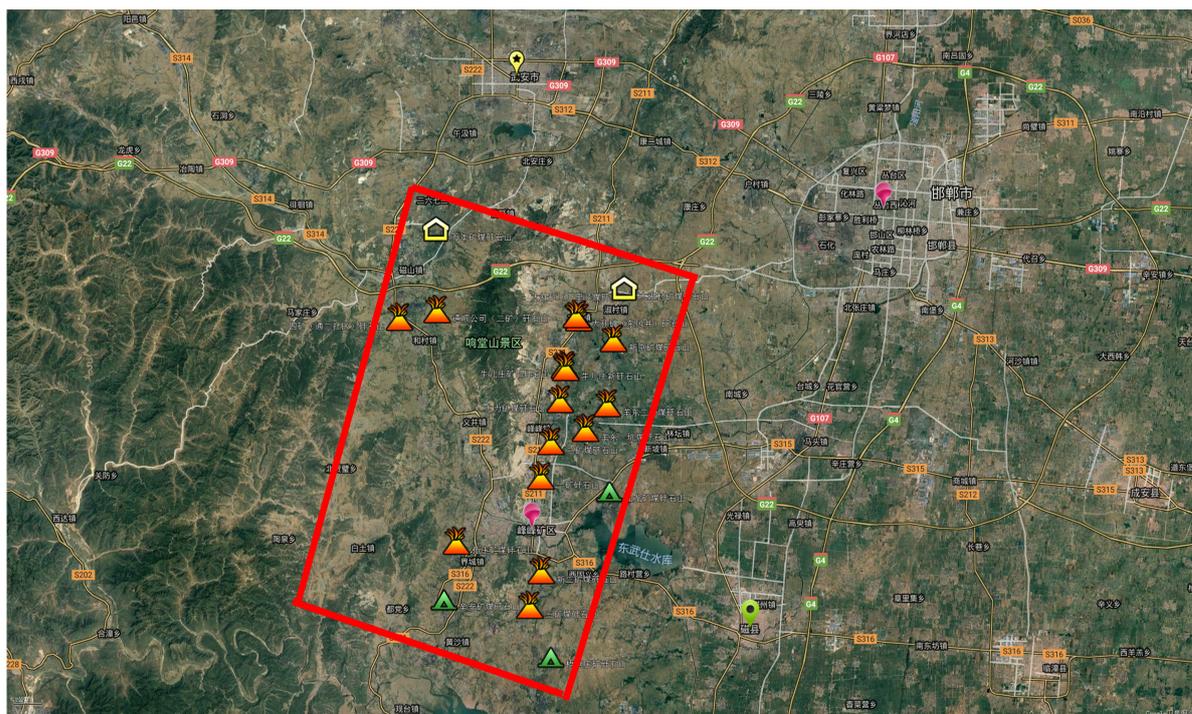


Figure 1. Distribution diagram of Gangue stone mountain of Fengfeng Group

图 1. 峰峰集团矸石山分布图

3. 煤矸石山基质改良技术初探

3.1. 表面固结与分区固结技术

表面固结用金属网、土工格栅等平面网,三维网等立体网进行锚筋挂网,也可用植物纤维毯(垫)等。

分区固结通常为土工格室的采用。

适用范围选择:

陡坡: 25°~35°适用毯垫;

急坡: 35°~45°适用格室、平面网;

险坡: 45°~55°适用立体网。

毯垫: 利用天然或化学纤维质材料制成的, 用于固土护坡、保墒、植物种植的多孔隙片状制品。

3.1.1. 表面固结技术

1、锚筋挂网, 具体施工工艺包括坡面平整、安装锚杆和挂网。

1) 坡面平整。坡面平整的主要目的是为挂网和客土喷播做准备, 要求平面平整, 不得有较大的突起和凹陷。

清理平整坡面, 去除松散的和明显突出的煤矸石碎块以及表面杂物。对坡面转角处及坡顶的棱角进行修整, 使之成为弧形, 尽可能将作业面平整, 以利于客土喷播施工, 同时增加作业面绿化效果, 对于特别凸的地方进行修整, 保证边坡的稳定性和施工的可操作性。

由于峰峰集团各矸石山现场限制, 采用人工修整坡面, 修整顺序为自上而下, 分区跳段的方式进行, 每段施工长度为 15 m, 为保证施工安全, 不允许上下同时作业。清理的残渣就近消化, 采用高挖低填的方式。

2) 安装锚杆。锚杆的核心作用是将基材喷射的铁丝网进行固定, 使基材紧贴坡面, 同时与铁丝网一起对坡面进行防护以及增加附着力。其中主锚杆为直径 12 mm 的螺纹钢, 钻孔深度 1.00 m, 间距 4.0 m; 次锚杆使用的是直径 12 mm 的螺纹钢, 钻孔深度 0.5 m, 间距 4.0 m。孔眼垂直坡面, 交错排列。

3) 挂网。挂网采用正四边形、HDPE 塑料材质的柔性三维网; 铺设时拉紧网, 将网挂在锚杆上, 铁丝网孔 5 cm × 5 cm, 三维网宽度 4.0 m。挂网施工时自上而下放卷三维网进行挂网施工, 相邻两卷三维网分别用直径 2.2 mm 的丝绑扎连接固定, 三维网与坡面保持距离 4~5 cm。在坡顶处, 三维伸出坡 30 cm, 用锚杆紧埋土下。

2、客土喷播及后期管理

1) 分层喷播基层客土

针对部分矸石山坡度较大、坡长较长、种植树木绿化时间较长, 不能达到矸石山全覆盖和有效抑尘的要求, 选择了客土喷播技术。经过多次尝试, 成功运用“客土喷播”技术, 解决了矸石山“土难铺、树难种、花难活, 可持续”的问题, 实现了“四季常青、三季有花”的治理目标。“客土喷播”关键在于植被选择、固土保水、后期养护。在喷播过程中, 根据峰峰矿区矸石山的特性, 采取了一系列的具体措施。一是结合对土质特殊要求, 为保证泥浆的稳固性和泥浆中草籽存活率, 特地从武安调运无杂质、无大颗粒的优质粘性黄土。二是结合坡度大现状, 采取钢筋锚杆固定铁丝网, 使用加密加粗镀锌铁丝网, 整片挂网, 保证坡面稳定和强度。三是结合客土松散不稳定特性, 采取控制每次喷播厚度, 增加喷播次数, 泥浆中掺加保水剂、粘合剂、木纤维、有机肥等, 有利于客土粘合坡面。四是结合矸石山易滑坡、空隙大、含化学物质等特性, 选取了具有抗腐蚀、耐干旱、易成活、能护坡的高羊茅、黑麦草、狗牙根等草种, 同时也栽种了紫穗槐、沙打旺、胡枝子、刺槐、椿树等灌木种子, 以及波斯菊等花种。五是养护到位。

具体技术流程为: 基材喷射、喷播草籽、覆盖无纺布、养护管理。

1) 基材喷射工艺施工工序为: 中性客土层 - 种植客土层 - 种子泥浆层。

中性客土层在矸石层表面, 采用喷播技术实施覆盖, 厚度 5 cm; 在中性客土层上方是种植客土层,

其主要使用的技术以喷播技术为主，厚度数值是 10 cm；种子泥浆层覆盖于种植客土层之上，采用喷播技术施工，厚度 2 cm。客土基质的构成是草炭土和当地土以及保水剂等，其中当地土 350~400 kg，草炭土 200~400 kg，木纤维 10~20 kg，有机肥 5~10 kg，复合肥 0.1~0.3 kg，保水剂 0.2~0.6 kg，粘合剂 0.3~0.6 kg，如表 3 所示。

将草炭土、当地土等混合材料加粘合剂、保水剂、木质纤维和水按一定配比搅拌均匀，经过喷播机喷播到坡面上，配制建议表如表 4 所示。

Table 3. Suggestions for adjustment of base dosage of spray seeding soil materials (unit: kg)

表 3. 喷播客土材料基础用量调整配比建议表(单位: kg)

当地土	草炭土	木纤维	有机肥	复合肥	保水剂	粘合剂
350~400	200~400	10~20	5~10	0.1~.3	0.2~0.6	0.3~0.6

Table 4. Suggestions for matrix configuration of foreign soil

表 4. 客土基质配置建议表

物料品种	规格	说明
当地土	粘壤土	选表层当地土用孔径 20 mm 筛过筛
草炭土	微酸性，含水量低于 20%	富含 N、P、K 等多种微量元素
有机肥	腐熟的粪便，含水量低于 20%	就近购买动物粪便经过腐熟后
植物纤维	纤维长 < 15 cm	用稻草纤维或阔叶树的腐熟木屑
保水剂	吸水倍率 ≥ 400 g	钾 - 聚丙烯酸酯 - 聚丙烯酰胺共聚体
粘结剂	粘度 > 1500 CPS	聚乙烯醚

2) 喷播草籽。在完成基材的喷射之后，需要 4~12 个小时的自然风干时间，就可喷播面层的草籽。喷播草籽常用液压喷播技术，在已经处理好的坡面上进行混合液的喷洒，混合液主要涵盖如下：首先是纸浆纤维和土壤改良剂，还有保湿剂和复合肥料，以及水与草种的有机整体，这个整体涵盖了机械能和生物能以及化学能，其优势不但具备较高的效率，而且成本和劳动强度较低以及成坪快等。

3) 覆盖无纺布。在喷播层表面会有一层 14 g/m² 的丙纶长丝无纺布的覆盖，这样可以规避由于强降水冲刷种子，与此同时对于边坡表面水分的蒸发也可以起到抑制的作用，有利于种子的发芽和生长环境的改善。

4) 养护管理。其养护时期一共有三个时期，分别是苗期养护、出苗养护和后期养护。

苗期养护。应始终保持种植土壤湿润，保证植物种子发芽和幼苗发根期间不断水。展叶后，待苗长至 8 cm 左右或 2~3 片叶时应及时解除无纺布，以保证充足的光合作用。

出苗养护。最为主要的是每天都要浇水，一天两次即早一次晚一次，不允许在阳光下进行喷水养护，否则会直接导致病虫害的发生以及造成生理性缺水。同时注意拔除杂草，发现有害物种及时清除，出苗差的坡面应及时进行补播。

后期养护。待苗木长到 40~50 cm 形成稳定灌草群落后，可免人工养护，遇到特殊天气情况采取适当的植物养护措施。

峰峰集团矸石山客土喷播面积近 20 万 m²，30 天后植被覆盖率达 90% 以上，矸石山基本没有裸露情况，满足了生态修复和绿化防护的双重需要(图 2)。



Figure 2. Vegetation coverage of Fengfeng mining area after spraying soil
图 2. 峰峰矿区客土喷播后植被覆盖状况

3.1.2. 土工格室坡面植被恢复技术

土工格室作为一种新型的生态挡墙，在矸石山治理工程上应用意义重大。2018 年开始峰峰集团对所属 18 座矿山的矸石山结合设计对矸石山坡度较大及无法实施放坡的区域开展了土工格室边坡防护技术。采用 $50\text{ mm} \times 250\text{ mm} \times 250\text{ mm}$ 的格室，在土工格室中填充改良土，将其展开并固定在坡面上，之后在其上挂三维植被网，均匀撒(喷)播草种。使用土工格室植草可以在贫瘠的矸石山上充分绿化斜坡，绿化植草在坡面长势良好，植被覆盖率均超过 80%；且根系特别发达，在矸石缝隙以及边坡土体里都有草根的扎入，这样就形成了一个浅层致密的坡面复合保护层，其抗冲蚀能力不但较强而且其整体效果良好，很好的保护了矸石的山坡面。同时带孔的格室可以增加坡面的排水性能，具有较高的抗冲蚀能力，能够有效防止侵蚀沟的形成，消除和控制了集中冲蚀和坡面的冲蚀，将集中水流分散成均匀、舒缓的薄层水流，具有良好的水土保持功能(图 3)。

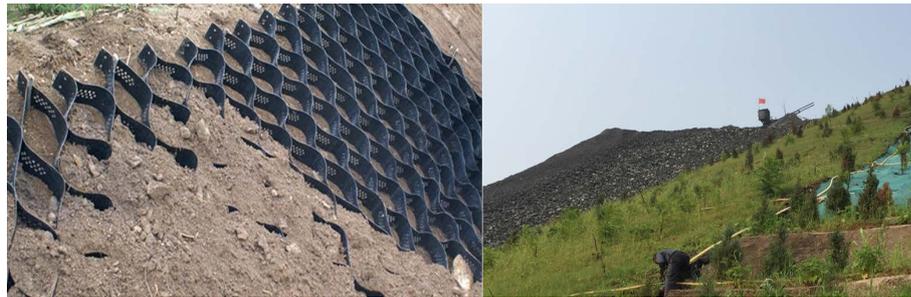


Figure 3. Vegetation restoration of geocell slope in Fengfeng mining area
图 3. 峰峰矿区土工格室坡面植被恢复状况

3.2. 客土改良

邯郸地区拥有丰富的黄土资源，黄土是未被掺杂其它污染物的本地原土，是一种优质的土壤，不仅具备土壤腐殖层、淋溶层、淀积层三层的分布特征，还有其他土壤所不具备的独特品质，即具有明显改善表层矸石介质温度和水分条件等物理特性的优势，还可以有效的规避黑色矸石介质表面由于过高的温度而导致出现的烧苗问题，可促进幼苗的生长，与此同时该土壤的土层肥沃，具备丰富的营养元素如氮磷钾以及有机质等，非常有利于植被的生长以及农业的生产[7]。峰峰集团各矿充分利用当地的黄土资源作为基土用于改良土壤，既有利于植被快速覆盖和生长，又可以就地取材，节约成本。在矸石山坡面及平台覆土 200 mm 厚，其中：客土层 50 mm，种植土层 100 mm，种子土层 50 mm。在配置客土前过筛，石块、杂质含量不超过 1%，含水量不低于 15%。栽植植被的根系能深入到矸石深层吸收水分和养分，使植物能够快速成活和发育，达到了绿化效果；同时植被的根系与土壤有机结合，起到了加筋作用，可以

固持土壤、维系矸石山山体表层基础，增加了稳定性；最后，对于土壤微生物环境来说不论是植物的根系分泌物还是枯落物都可以起到优化的作用，同时还可以促进土壤的熟化。

需要客土改良的土壤在对其进行覆土之前，将改良基材如复合肥和保水剂，以及植物胶和木纤维直接加入到改良的土壤中，给植物提供足够的养分以便其更好的生长，对土壤的熟化起到促进的作用。对于木纤维来说：长度不能大于 12 mm，含水率的范围是 $12 \pm 3.0\%$ ，持水率 $\geq 8 \text{ g/g}$ 。复合肥选用 N-16、P-16、K-16 或者选用城镇污泥生产的营养土代替复合肥，营养土品质满足“城镇污水处理厂污泥处置园林绿化用泥质(GB/T 23486-2009)”的要求。

早在上世纪 90 年代末峰峰集团万年矿和新三矿就开始了矸石山客土改良及覆土绿化的探索，栽植了常绿针叶树、火炬树、紫穗槐、苜蓿及黑麦草等，目前植被长势良好，覆盖率在 90%以上。之后其他矿山矸石山陆续开展了相关工作，截止目前 18 个矿区的矸石山客土改良和全面复绿工作已完成，人工覆土量近 20 万 m^3 ，绿化面积超过 100 万 m^2 ，植被均保持良好的生长状态(图 4)。



Figure 4. Vegetation restoration effect of improved soil in Fengfeng mining area
图 4. 峰峰矿区客土改良植被恢复效果

4. 结论

运用客土喷播、土工格室坡面植被恢复及客土改良 3 种方法对峰峰集团矸石山进行了基质改良技术的探索，3 种方法均具有施工速度快、工程周期短、能满足植物的快速成活和发育的需要、植被覆盖效果好等优势，极大改善了矸石山的生态环境，取得了集绿化、美化、观赏于一体的治理效果，证明是有效的表层土壤环境构建方式，具有广阔的应用前景。

参考文献

- [1] 黄齐, 高德彬, 杨永辉. 韩城市西山废弃采石矿山环境恢复治理的途径[J]. 水土保持报, 2018, 38(4): 215-219.
- [2] 胡振琪. 我国土地复垦与生态修复 30 年: 回顾、反思与展望[J]. 煤炭科学技术, 2019, 47(1): 25-35.
- [3] 范英宏, 陆兆华, 程建龙, 等. 中国矿区主要生态环境问题及生态重建技术[J]. 生态学报, 2003, 23(10): 2144-2151.
- [4] 王晓春, 蔡体久, 谷金锋. 鸡西煤矿矸石山植被自然恢复规律及其环境解释[J]. 生态学报, 2007, 27(9): 3744-3751.
- [5] 成婷. 寺河矿植被恢复对矸石山土壤改良效应及居民环境感知研究[D]: [硕士学位论文]. 晋中: 山西农业大学, 2018.
- [6] 王艳, 王敏超, 代保清. 东北煤矸石矿山生态恢复的植物选择探析[J]. 沈阳师范大学学报(自然科学版), 2017, 35(2): 170-174.
- [7] 廖怡斐, 康乔煜, 达峰, 等. 古交西山矿区煤矸石山生态修复模式研究与探讨[J]. 山西煤炭, 2009, 29(3): 9-10, 40.

- [8] 李楠. 煤矸石山植被恢复模式对土壤理化性质的影响[D]: [硕士学位论文]. 晋中: 山西农业大学, 2014.
- [9] 李宏, 郭粤莲, 李连娟. 峰峰矿区煤矸石淋滤与水环境污染分析[J]. 中国煤炭地质, 2011, 23(1): 40-42.