

The Influence of Coal Mining on Environmental Quality of Mining Area and the Research Progress of Repairing Technology

Yan Chu

Institute of Architecture and Engineering, Dianchi College of Yunnan University, Kunming Yunnan
Email: chuyan85@163.com

Received: Jan. 18th, 2016; accepted: Feb. 2nd, 2016; published: Feb. 5th, 2016

Copyright © 2016 by author and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

Analysis of the impact of coal mining on the environment quality of the mining area includes atmospheric environment, water environment, soil environment, geological environment and biodiversity. The main mine repair techniques and the ecological restoration techniques of the mining areas at home and abroad are discussed. And the results can provide a scientific basis for the protection and planning of the mining area.

Keywords

Environmental Quality of Mining Area, Remediation Techniques, Ecological Restoration

煤炭开采对矿区环境质量的影响及修复技术的研究进展

储 雁

云南大学滇池学院建筑工程学院, 云南 昆明
Email: chuyan85@163.com

收稿日期：2016年1月18日；录用日期：2016年2月2日；发布日期：2016年2月5日

摘要

分析煤炭开采对矿区环境质量的影响，包括大气环境、水环境、土壤环境、地质环境和生物多样性等多个方面。对矿区主要的修复技术进行探讨，比较国内外对于矿区生态修复的研究情况，旨在对矿区的保护、规划和整治提供科学的参考和依据。

关键词

矿区环境质量，修复技术，生态修复

1. 引言

随着全球性矿区环境问题的日益加剧，矿区的修复以及可持续发展已经成为探讨的主要方向。结合我国的能源结构来看，煤炭资源仍然占据主导地位，因此，研究矿区环境质量的影响以及修复技术有助于矿区生态环境的保护、促进矿区的可持续发展以及对矿区的规划和整治提供科学的依据。

2. 煤炭开采对矿区环境质量的影响

2.1. 对大气环境的影响

露天采场在生产过程中，往往会使用一些大型的移动式机械设备和大爆破，如爆破和采用柴油机为动力的设备等[1]。因此，使矿区内空气受到了一系列尘毒污染。常见的污染物质主要有粉尘、有害有毒气体和放射性气溶胶。由于生产工序的不同，产尘量与所用的机械设备类型、岩石性质、生产能力、作业方法及自然条件等许多因素有关。露天开采强度大，机械化程度高，受地面气象条件影响，产生的气体常具突发性，不利的气象条件及不良的自然通风方式，甚至可使局部污染扩散全矿，引起整个地区的大气污染。选矿生产过程中产生的大量粉尘和有毒物质，是引发矿区大气污染的重要因素。在自然及运输车辆产生的风流作用下，尾矿粉很可能会直接扬起，使大气中粉尘浓度增高，严重污染了矿区的空气质量。此外，矿区内繁忙的交通运输产生的富含重金属物质的废气，矿区冶炼厂、烧结厂、电厂产生的浓烟以及矿区燃煤产生的有害物质，综合构成了矿区的大气污染。

2.2. 对水环境的影响

矿区出现裂缝、发生塌陷事故、矿井疏干排水，使得矿山水文地质条件发生变化。地下水位下降、井泉干涸，形成了大面积的疏干漏斗；地表径流的变更，使得水资源枯竭，水利设施也丧失了相应的功能，严重影响了农作物的耕种[2]。

矿山开采过程中产生的矿坑水、废石淋滤水等，一般较少达到工业废水排放标准，严重影响水生生物的生存繁衍与人畜生活饮用。采矿造成的水资源污染主要是地表水资源污染和地下水资源污染。地表水资源污染是指选矿水和选矿废水排入地表水体后所造成的污染。在采矿生产过程中，露天开采或地下开采疏干排水和废石淋溶水都含有较高的悬浮物及重金属等污染物，进入水体后会增加水体的混浊度，造成地表水体的有机污染和重金属污染，严重影响水体的纳污能力。另外，在雨天时，露天堆煤场及矸石排放的大量废水容易使矿区周围的河流、湖泊变成黑色死水，污染了水体。相对地表水资源污染来说，地下水资源污染的影响深远，且更具有隐蔽性，此外还难以恢复。随着矿产资源开采强度和延伸速度的

不断加大，矿区地下水位大面积地下降，导致缺水地区供水更加紧张，影响当地居民的正常生活和生产。例如，甘肃省石羊河下游的民勤县，因连年矿产超采，地下水位的下降速度达到每年 0.5m~0.8m，地下咸淡水层串通，水的矿化度也不断增大，甚至有高达每升 3 克，既不能作为饮用水，也不适宜于农田灌溉，造成地表生态系统非常严重的破坏，致使 28 万亩人工育林、73 万亩天然林枯死，2528.5 km² 土地盐碱渍化[3]。

此外，露天矿坑和井工矿抽排地下水使得矿区地下水位不断下降，矿山开采直接破坏地表植被，导致植被退化，造成土地贫瘠，最终矿区形成了大面积的人工裸地，极易被雨水冲刷。排土场和尾矿的占地导致地面的起伏及沟槽的分布，增加了地表水的流速，使水土更易移动，加上雨季雨水的冲刷，土壤大量地流失，加剧了水土流失。

2.3. 对土壤环境的影响

采矿后留下的大多是新土或矿渣，由于表层土被清除，加上大型采矿设备的重压，使得土壤坚硬、板结，有机质、养分与水分流失。地面的塌陷直接导致地下水位下降、土壤裂隙的产生。土壤中的营养元素也随着裂隙、地表径流流入采空区或洼地，造成许多地方土壤养分短缺，土壤承载力下降。经过雨水冲刷、淋溶，矿山固体废渣中的有毒有害成分极易渗入土壤中，造成土壤的酸碱污染、有机毒物污染与重金属污染。当污染物超过土壤的纳污和自净能力时，其自身的组成结构与功能发生变化，土壤开始向外界环境输出污染物，最终导致土壤资源的枯竭和水体功能的丧失。并且，土壤污染在地表径流和生物地球化学作用下还会发生迁移，危害毗邻地区的环境质量，受污染的农作物则会通过食物链危害动植物和人体的健康。

2.4. 对地质环境的影响

由于地下被采空，地面及边坡开挖影响了山体、斜坡的稳定，水文和地质条件都发生改变，加剧了地面塌陷、开裂、崩塌和滑坡等事故的发生。此外，矿山排放的废渣和外排土堆积在山坡或沟谷，废石与泥土混合堆放，使废石的摩擦力减小，透水性变小而出现渍水，在暴雨来临时也极易诱发泥石流等灾害[4]。

2.5. 对生物多样性的影响

废渣排放、植被清除、水土流失、土壤污染与土地退化都严重影响着矿区动植物的生存，对矿区生物多样性的维持都是不可逆和致命的，严重威胁到动植物生存和发展。一些耐性物种能在矿区实现植物的自然定居，但是由于生物多样性的丧失，植被质量的形成也相对低劣，加上矿山废弃土地的土层薄、土壤不肥沃、生物活性差，受损的生态系统恢复非常缓慢，往往要 50~100 年，所以，矿山开采对生物多样性的影响是不可逆的。

3. 矿区主要的修复技术

生态重建与土地复垦一直以来都为经济发达国家所重视。最早开始进行生态重建与土地复垦的国家是德国和美国。德国早在 20 世纪 20 年代初就开始进行露天开采褐煤区的绿化工作；美国 Indiana 煤炭生产协会在 1918 年就自发地开展实验，并在煤矸石堆上进行种植试验，后来的《1920 年矿山租赁法》又明确要求保护土地与自然环境[5]。

矿区生态重建主要是按照采矿的时空发展顺序和最终符合人类需求和价值取向，重新建立一个高水平、可持续的支持系统；矿区生态重建不是一项单纯的治理项目、工程技术，而是从矿区的整个社会形态、经济结构、产业布局、价值伦理、人类行为等进行区域综合规划、评价、管理和整治；矿区生态重

建不仅要对采矿造成的污染进行限制、赔偿和投资，而且还应该从社会 - 经济 - 自然的复合生态系统的角度，突出人地关系，追求整体协调、共生协调和发展协调。

3.1. 物理性修复

物理性修复是利用机械力把弃渣堆和废弃的尾矿“削高垫低”，恢复地貌、改善土壤环境与生物措施相结合的措施。加强护坡岸工程，即矿区采场台阶、边坡以及公路等附属工程的边坡，应全部规划护坡工程，以防止采场及公路等出现滑坡、崩塌。此外，矿区的下游河道也应当进行河坝、河堤等加固、加高，经常清理河床淤积的泥沙石，以防洪水。覆盖、培育与维持表土，改善土壤结构，建立植被覆盖，有效控制土壤侵蚀。改进矿区退化土地的物理特性的方法有粉碎压实、剥离、分级、排放等技术，实际的操作包括排流水道、梯田种植、稳定塘设置、覆盖物或者有机肥得施用等。植物残体余物可作为覆盖物将土表层与极端气候变化隔开，减少土壤侵蚀和增加土壤的持水量。除此客土、排土法也是一种有效的措施。由于重金属污染大多集中于地表数厘米或较浅层。挖去污染层，用无污染客土覆盖于原污染层的位置可以很好地解决重金属污染问题。但此法需要耗用大量的劳动力，并且需要有丰富的客土资源，因此实施起来也有一定的困难。

3.2. 化学改良法

根据对许多矿山的资料发现，矿山尾矿及废弃矿中均缺少植被生长所需的氮、磷、钾等物质以及有机质。所以首先要恢复土壤的肥力，提高土壤的生产力，方可将修复后的土地用于农业生产。因此，对矿山土壤进行化学改良是必要的前提。有机废弃物如垃圾、污水污泥或熟堆肥可以作为土壤的添加剂或者改良剂，并且在某种程度上可以充当一种缓慢释放的营养源，同时也可通过螯合有毒金属而降低其毒性。有机肥对土壤中的多种污染物存在明显的影响效果。另外，尾矿的治理与综合利用也是相当重要的一个环节，因此可采用以下几种措施：① 从废弃物中进一步回收有用元素；比如说德兴铜矿，该矿厂于 1978 年研制出了旋流器，将铜矿尾矿中含有的大量硫等污染物进行了回收与综合利用，大大地提高了矿山的经济效益，并且减少了环境的污染[6]。② 用尾矿与废石作为井下采空区的充填材料；③ 开发建筑材料(如：空心砖、瓦等)；④ 填沟造地。

3.3. 植被修复

植被修复是一种非常有效并且十分常见的生态修复技术，而且适用条件广泛，很容易被大多数矿山企业采纳。土壤覆盖厚度一般 50 cm 以上，以满足植物的萌发和生长。无论是污泥或是其他客土，其与尾矿砂的比例为 1:1 时对植物的生长最有利[7]。进行基质改良是使植被恢复获得成功的必要前提。进行植被恢复是首先应对污染元素进行分析，然后再对土壤的物理化学、生物化学性质进行分析，查明土壤的 pH 值、土壤通气性、含水量、土壤氮素及土壤温度等，进而选择植被品种。由于豆科植物可积累氮，所以在选择过程中，最为简便和经济的方法就是种植豆科植物或者其他的固氮植物。选择植被品种应该遵循的原则：① 优先选择固氮树种；② 选择生长快、适应性强、抗逆性好的树种；③ 尽量选择当地优良的乡土树种和先锋树种，也可以引进外来速生树种；选择树种时不仅要考虑经济价值高，更主要是树种的多功能效益，如根系发达、培肥矿土和保持水土效果好的树种。另外，由于不同植物对不同污染物有一定的适应性，进行植被重建时应考虑污染物。选择出既具备良好的生态适应性，又具有较好适宜性的物种。此外，微生物在恢复一个受干扰的生态系统中的作用也是不可忽视的。成功选择树种后，还应注重栽植和播种技术，选择优良的苗木和种子，栽植时可用生根粉或相关产品浸根，促进生根成活。秋季栽大苗应考虑水分条件，雨季栽植针叶树必须在透雨后进行。应当主要在春季进行造林，秋季应作为

辅助造林的季节，还需因地制宜地进行。结合种植可以使土壤有机质含量得到增加，从而提高土壤中微生物的数量，使得养分循环得以顺利进行[8]。

4. 目前国内外矿区生态修复的研究进展

4.1. 国内矿区生态修复的研究

中国近 50 年以来对矿区进行的生态修复工作可分为 4 个阶段[9]：

① 上世纪 50 年代，主要进行的土壤修复工作是为了达到矿区土地可进行农业耕种的目标，矿区土地修复沿用传统的修复思路：即通过填埋、刮土、复土等措施将退化的土地改造为可耕种的土地；

② 上世纪 70 到 80 年代，土地修复开始系统化，矿区土地资源的稳定利用以及相关的一些基本环境工程配套问题也得到了高度的重视；

③ 上世纪 90 年代，在矿区土地修复问题的基础上，生态学方面的一些内容得到充分补充。其中包括：a) 选用适宜的表土、植物和肥料；b) 研究先锋植物根的生长模式及根系分布结构；c) 研究重金属的迁移模式；d) 优化回填肥料的性质，例如利用粉煤灰或煤炭垃圾回填或促进植物的生长；e) 在生态恢复的过程中综合考虑景观美化、可持续性发展和人与自然的和谐等问题。在这个时期，矿区土地修复研究与应用已融入了生态学的观点。

④ 21 世纪以来，生物修复技术得到重视，该项技术是以矿区的生态系统健康与环境安全为目标。其中包含了金属矿区土壤的植物修复、动物修复、微生物修复及其联合协同修复等多项生物与环境的高新技术。随着研究的逐步深入、时代的发展，很多新的技术与方法，以及创新理念会不断出现在矿山生态修复的工作中。

4.2. 国外矿区生态修复的研究

据美国矿务局的调查，美国被废矿所占土地中约占 47% 的废弃地恢复了生态环境[10]。美国在沙漠及废弃矿地用原产于北美东南部的短叶松，通过实生苗接种豆马勃根瘤菌，在立地条件差的废弃物、荒原、沙漠造林，成活率可提高 4 倍，并抗旱、抗病和抗反常气候变化。

德国著名的莱茵褐煤矿区，在大量的科研工作的指引下，经过几十年的林业复垦，也取得了很大的成效[11]。

俄罗斯的米哈伊洛夫卡采选公司的选矿用水采用的是露天矿的排水，减少了露天矿的排水对地面水体的污染。

英国采用表面覆盖法对露天煤矿进行复垦、种植耐锌牧草，成功地处理了锌冶炼厂废弃物，并改善了生态环境。

前苏联施用石灰和肥料等，降低了土壤酸度，在露天煤矿采矿场的强毒土堆造林(其毒性主要是硫化物，pH 值 2.8)，促进了林木的生长[8]。

由于含有大量的硼元素，新西兰著名的 Wangaloa 煤矿在恢复植被时引进了喜硼植被，使复垦工作也取得了显著的成效[12]。

印度通过施用石膏、有机肥，改良了土壤盐碱化地问题，结合考虑排水，并选择适当的树种，主要采用麻黄和银合欢等，对废弃物地进行造林，取得了明显的效果[13]。

综上，目前国内外生物修复技术应用最为广泛的主要有下列三种：

① 生态农业复垦技术。这种方法是根据生态学、生态经济学的原理，应用生态工程技术和复垦工程技术，通过合理地调配植物、动物、微生物等，进行立体种植、养殖和加工。植物修复技术可分为植物提取、植物挥发、植物过滤、植物钝化等[14]。这项复垦技术在我国的应用十分广泛，效果也相对明显[15]。

② 生物复垦技术。这项技术是指利用生物的措施来恢复土壤肥力和生物生产能力的措施。生物复垦技术的作用在于改良土壤耕作层的理化特性，为植物的生长提供有利条件[16]。

③ 微生物复垦技术。是指利用微生物与有机物的混合剂或微生物活化剂，对复垦后的贫瘠土地进行改良和熟化，提高土壤活性和恢复土壤的有机肥力，以促进农业的生产。有研究发现[17]，抗汞的微生物(假单胞菌属等)能把甲基汞还原成元素汞；氧化亚铁硫杆菌在 pH 为 3 时能将 Fe^{2+} 氧化成 Fe^{3+} ；土生假丝酵母、粉红粘帚霉和青霉等能使砷酸盐形成甲基砷；光合紫细菌则能使氧化元素硒转化为硒酸盐。不少细菌产生的特殊酶能还原重金属，且对不少重金属如 Cu、Cd、Mn、Pb 等有亲和力。微生物复垦技术的科技含量很高，并且环保无污染，但是在目前我国还未引进该项技术[18]。

5. 结论

对于矿区环境的影响主要集中在大气、水、土壤、地质和生物多样性等多个方面。通过对矿区的物理、化学以及生态修复技术的探究和探讨，可以在一定程度上为解决矿区的环境问题提供指导和依据，以便逐渐改善矿区的环境问题。

参考文献 (References)

- [1] 华玉鑫. 露天采矿对环境的影响与对策[J]. 中国新技术新产品, 2011(2): 169.
- [2] 冯明飞. 试论露天采矿对环境的影响与对策[J]. 城市建设理论研究, 2012(13): 1-4.
- [3] 戴莉萍. 矿山开采对生态环境的影响及矿区生态修复——以煤矿为例[J]. 学理论, 2010, 18(1): 109-110.
- [4] 张晋伟, 闫国杰. 露天采矿对地质环境的影响及防治对策[J]. 露天采矿技术, 2004(4): 4-5.
- [5] Marts, R. and Miao, Z. (2000) Ecological Restoration and Land Reclamation in Open-Cast Mines in Shanxi Province, China. *Journal of Environmental Management*, **59**, 205-215.
- [6] 朱利东, 林丽, 付修根, 等. 矿区生态重建[J]. 成都理工学院学报, 2001, 28(3): 310-314.
- [7] 谭绿贵, 陆三明, 王本伟, 等. 矿山生态环境破坏与生态修复[J]. 皖西学院学报, 2004, 20(2): 45-48.
- [8] 阮昭. 建平县矿区土地复垦与生态修复研究[J]. 中国园艺文摘, 2011(2): 84-87.
- [9] 黄铭洪, 骆永明. 矿区土地修复与生态恢复[J]. 土壤学报, 2003, 40(2): 161-169.
- [10] Craw, D., Rufaut, G., Haffert, L., et al. (2006) Mobilisation and Attenuation of Boron during Coal Mine Rehabilitation, Wangaloa, New Zealand. *Science of the Total Environment*, **368**, 444-455.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2006.04.020>
- [11] Trettin, R., Glaser, H.R., Schultze, M., et al. (2007) Sulfur isotope Studies to Quantify Sulfate Components in Water of Flooded Lignite Open Pits-Lake Goitsche, Germany. *Applied Geochemistry*, **22**, 69-89.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeochem.2006.07.020>
- [12] 张幼蒂, 申闰春, 才庆祥, 等. 露天矿区分类及生态重建结构设计[J]. 化工矿物与加工, 2002(8): 22-24.
- [13] 夏既胜, 刘晓芳, 谈树成, 等. 露天矿区生态问题及生态重建方法探讨[J]. 金属矿山, 2009(6): 163-166.
- [14] 范英宏, 陆兆华, 程建龙, 等. 中国煤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): 2144-2152.
- [15] 武每尊. 中国煤炭高精度地震勘探技术的应用和发展[J]. 物探装备, 2008(3): 244-246.
- [16] 张合兵, 王庆林, 刘文锴. 永城矿区生物复垦技术应用浅析[J]. 中州煤炭, 2005(4): 11-12.
- [17] 张禾裕, 赵艳玲, 王煜琴, 等. 生态艺术公园——我国废弃矿山治理模式研究[J]. 金属矿山, 2007(12): 122-125.
- [18] 李杰颖, 韩放, 梁成华, 等. 浅谈矿区土地的生态复垦[J]. 采矿技术, 2009, 9(3): 76-78.