

Research Status of Comprehensive Treatment of Open-Pit Abandoned Mine Geological Environment

Bowen Shuai, He Huang, Hengcai Liu, Yu Feng

School of Earth and Environment, Anhui University of Science and Technology, Huainan Anhui
Email: 2741187889@qq.com

Received: May 13th, 2020; accepted: May 28th, 2020; published: Jun. 4th, 2020

Abstract

This paper summarizes and analyzes a large number of documents to analyze the main environmental geological problems and hazards of open-air abandoned mine pits, focusing on the research progress of open-pit abandoned mine pit slope stability assessment methods, monitoring technology, treatment measures and ecological restoration technology, provide references for carrying out mine geological environmental protection and green mine construction.

Keywords

Open-Pit Abandoned Mine Pit, Slope Stability, Geological Environment, Comprehensive Treatment

露天废弃矿坑地质环境综合治理研究现状

帅博文, 黄河, 刘恒材, 冯宇

安徽理工大学地球与环境学院, 安徽 淮南
Email: 2741187889@qq.com

收稿日期: 2020年5月13日; 录用日期: 2020年5月28日; 发布日期: 2020年6月4日

摘要

本文通过大量文献总结、分析, 对于露天废弃矿坑主要环境地质问题及危害进行了分析, 重点对露天废弃矿坑边坡稳定性评价方法、监测技术、治理措施及生态修复技术研究进展进行了总结, 为开展矿山地质环境保护与绿色矿山建设提供参考。

关键词

露天废弃矿坑, 边坡稳定性, 地质环境, 综合治理

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

近年来我国经济发展迅速, 对矿产资源的需求增大, 矿产资源开发规模不断加大, 其中露天开采在资源开发中占有重要比重。露天矿山停采后, 会遗留很多地质环境问题: 一是在矿山开采过程中挖损大量土地, 使得地表发生严重塌陷或者错动, 形成地裂缝或者矿坑, 坑内土壤的理化性质遭到严重破坏, 矿坑内土壤结构不再适合植物的生长和发展[1]; 二是露天开采矿山形成的坡面坡度普遍较大, 遗留下了很多陡坡, 由于受构造、风化及爆破采动等因素的影响, 存在崩塌地质灾害隐患[2]; 三是矿山开采过程中, 由于矿渣及尾矿的长期堆放, 易引起矿渣堆泥石流, 对周边道路和良田造成危害[3]; 此外还有含水层的破坏与地形地貌景观的破坏等[4]。

上个世纪初, 国外逐渐针对开采矿山带来的地质环境问题进行调查与研究, 各个国家针对本国的情况, 出台了相应的法规。到上世纪七十年代, 一些发达国家对矿山地质环境的保护已经建立了健全的管理措施。近年来, 很多国家也都完善了本国的矿山环境影响评价制度, 矿山环境恢复治理计划等。美国是世界上最早开展矿山地质环境治理的国家, 先后颁布了《垃圾法》、《矿山租赁法》、《露天采矿控制与复垦法案》、《国家生态可持续发展战略》等[5]。

由于我国起步较晚, 我国对于露天废弃矿坑地质环境综合治理相对于国外有不少差距, 但是随着我国矿山地质环境问题调查的不断开展, 国土资源发展规划也提出了矿山环境保护管理基础、矿山环境保护法规、矿山环境保护规划、矿山环境保护评价方法等多个方向的发展。虽然发展较快, 但是仍然需要不断的对矿山地质环境治理进行研究[6]。

废弃矿坑带来的地质环境问题是我們面临的严峻生态环境问题, 根据生态环境部部长谈 2020 年生态环境保护工作形势, 2020 年是打赢污染防治攻坚战决胜之年, 据此我们应采取积极应对措施, 尽可能避免露天废弃矿坑地质灾害的发生和地质环境的恶化, 有效地保护土地资源和生态环境, 实现矿产资源开发的科学管理和可持续发展。

2. 露天废弃矿山边坡稳定性分析方法研究

矿坑边坡的稳定性问题一直是露天废弃矿坑环境地质问题研究中的热点问题。露天废弃矿坑边坡通常裂隙比较发育, 存在着很多软弱结构面, 并且边坡的坡度很大, 常沿不稳定的结构面发生滑塌。因此分析矿坑边坡的稳定性, 并采取一系列相应的监测及支护措施, 对于露天废弃矿坑边坡的稳定及废弃矿坑地质环境的综合治理具有重要意义。

2.1. 赤平投影法

赤平极射投影法能把优势结构面的产状与重点结构面的产状以及空间组合关系很好的表达出来, 并且计算方法比较简单, 处理起来容易[7]。常用于岩质矿坑边坡的稳定性分析, 对岩质边坡的稳定性分析

有很好的指导意义。

2.2. 极限平衡法

极限平衡法是最早的边坡稳定性分析方法，是根据静力平衡的原理，分析边坡在各种破坏模式下的受力状态。根据抗剪力与剪切力之比，确定安全系数。常见的极限平衡法有瑞典条分法、普通条分法和毕恩肖普法等[8]。在工程实践中得到了大量的应用。

2.3. 工程地质类比法

这类方法主要应用于缺乏详细地质资料并且地质条件复杂的矿坑边坡稳定性分析，将要研究的边坡和已有边坡进行对比，找出相同点和不相同的地方。具有普遍性，缺乏自身的特性。

2.4. 数值分析法

数值分析方法主要包括有限元法、边界元法、离散单元法以及快速拉格朗日分析法等。数值分析法通过运用计算机对露天废弃矿坑边坡的模拟，能够得到边坡岩土体应力应变关系。可用于各种复杂矿坑边坡。随着计算机技术的发展，数值分析方法在边坡稳定性分析中得到了越来越多的发展[9]。张菊莲、梁志荣[10][11]对佛顶宫矿坑边坡进行了二维和三维的静动力有限元模拟，分析了国内首个矿坑边坡在静力和地震工况下的位移场、应力场、加速度响应和极限状态下的安全系数，为露天矿山边坡的稳定性分析提供了不错的借鉴和参考。

2.5. 综合分析法

因为采用单一的分析方法分析矿坑边坡稳定性往往会存在一些缺陷，我们可以把各种边坡稳定性方法结合在一起进行运用，来对露天废弃矿坑边坡的稳定性进行分析。李耀楠[12]通过综合分析的方法对露天矿坑边坡的稳定性进行了分析，首先通过调查边坡产状与优势结构面的产状，再利用赤平投影法寻找可能受到破坏或者存在破坏威胁的位置。然后在测点附近选取典型剖面，利用极限平衡法和数值分析的方法，对露天废弃矿坑边坡的稳定性做出分析，通过多种方法相互结合，互相对比，提高了分析结果的可靠性与真实性。

除此之外，也可以通过人工神经网络和遗传算法等新方法[13]进行矿坑边坡稳定性的分析。

3. 露天废弃矿坑边坡监测

矿坑边坡地质条件的复杂性和影响因素的多样性决定了边坡的稳定性分析必须要依靠各种各样的监测手段来进行监控。目前常采用的监控方法有大地测量、GPS 监测、红外遥感监测、合成孔径雷达干涉测量、AE 法监测技术等。

托马索·卡拉[14][15]等基于地面雷达和卫星 InSAR 数据，对废弃露天矿边坡的稳定性进行了分析。认为不稳定边坡的治理是露天矿安全生产中最关键的问题之一。通常会实施综合边坡监测和预警系统。但是，通常情况下它们的调优缺乏系统的程序，而且经常忽略几个关键因素。克劳迪奥·范内斯基[16]和乔治[17]则用遥感和卫星观测技术对边坡问题就行了实时监测，为制定有效的边坡监测和风险管理方案提供全面的数据。韦家兴、徐茂林、修红玲[18]提出了以测量机器人选取的特定边坡监测点位移数据和三维激光扫描仪选取的边坡特定监测面位移数据的多源信息融合的边坡监测方法，弥补了以往用单数据源进行监测的不足，使得我们在监测的时候可以同时进行点监测和面监测，对露天废弃矿坑边坡的稳定性进行实时监控。杜明启[19]使用 IBIS-M 露天边坡稳定监测系统对露天采场边坡实时监测，对露天废弃矿坑边坡稳定性的监测工作具有一定的借鉴意义。由于采用人工监测的数据更新的非常缓慢，史冠军[20]

提出可以将 GNSS 用于边坡变形监测, 并且以尚处于匀速变形的抚顺西露天矿北坡为监测对象, 对测点的布设、数据的采集、数据处理的方法以及监测结果的分析进行了深入研究。并且通过三年的监测研究结果。得出了该露天废弃矿北边坡沉陷变形速率和变形范围, 对我们用 GNSS 在露天废弃矿坑边坡监测中的广泛应用具有非常重要的指导意义。任月龙, 李如仁等[21]将测量机器人监测、GPS 监测、地质雷达监测三者有效结合, 以内蒙古锡林浩特胜利煤田中东部的胜利东 2 号露天煤矿为例, 提出了面向露天废弃矿坑边坡变形的多传感器自动化监测系统。实现 GPS 数据、探地雷达数据以及测量机器人监测数据的优势互补, 提高监测系统的准确性。为边坡变形的监测工作提供了一种好的方法。代朵[22]提出可以利用北斗卫星监测系统来实现对露天矿边坡的监测, 着重介绍了监测系统的设计与实现。可以对露天废弃矿坑边坡的位移进行动态监测与预警预报。相比于传统的人工、半人工监测方式效率更高。李健[23]等利用声发射技术, 通过与现有矿坑边坡监测技术进行对比。突出地阐述了声发射技术的独特优势。详细论述了该技术在边坡监测领域方面的发展和现状, 并指出当前微地震边坡监测技术应用过程中存在的问题。刘军[24]为了对露天废弃矿坑边坡稳定性进行分析, 用无人机获取了废弃露天矿坑边坡区域高分辨率影像, 并且通过影像处理及数据分析与相关解释。完成了露天废弃矿坑边坡体三维模型的制作, 为后续露天废弃矿坑边坡区域的稳定性分析、预测预报提供了可靠的数据支持。

4. 矿坑边坡支护

边坡支护技术从上个世纪中叶开始发展, 一开始主要是用于岩质矿坑边坡的支护, 后来逐渐被应用到土质矿坑边坡加固及支护。

4.1. 锚固支护技术

锚固支护技术是采用锚杆作为岩土工程支护手段的技术总称。锚固支护技术能提高岩土的自身强度和自稳能力, 减轻结构自重, 节约工程材料, 并确保施工安全, 可以带来很大的经济效益和社会效益。适用于坡高不大, 整体性比较好的边坡[25]。

4.2. 放坡法

在有些情况下, 露天废弃矿坑边坡本身没有很明显的结构面, 一般来讲本身的稳定性不是很差, 不需要做过多的支护措施, 只需要进行简单的放坡处理即可满足安全要求[26]。

4.3. 采用挡土墙支护结构

挡土墙支护也是用于边坡支护常见的一种支护方法。何奔、李双宝[27]等通过对场地地质条件和平面布置进行分析, 再结合一些数值计算, 确定将桩板式挡土墙用于泸州市某产业园西北段高填方边坡的支护, 很好的保证了边坡的稳定与安全。为我们对露天废弃矿坑的边坡支护提供了一条很好的思路。

4.4. 钢筋网铺设技术

我们在对露天废弃矿坑的边坡进行支护时, 也可以使用钢筋网铺设技术, 这项技术适用于存在有较大坚硬岩石的岩质边坡。因为钢筋长期暴露在空气中, 我们必须要做好钢筋的防锈工作, 这样我们才能长期保证钢筋网的稳定性, 从而使我们用钢筋网铺设进行护坡达到很好的效果[28]。

5. 露天废弃矿坑综合治理研究

目前对于露天废弃矿坑的复垦与生态修复研究较多。露天废弃矿坑的微生物修复技术优点是成本比较低, 适用性非常强, 而且没有二次污染, 有利于废弃矿坑土壤的修复[29]。植被修复技术使露天废弃矿

坑的生态系统得到稳定,但面临的主要问题是表面土层缺乏必要的营养元素,土地肥力贫瘠,土中含有大量的污染物。废弃矿坑生态边坡修复技术是近年来新发展起来的一项新兴技术,国内外目前生态边坡修复的方法主要有植被混凝土绿化、边坡植被护坡、液压喷播、厚层集采喷射等[30]。

露天废弃矿坑治理与景观规划、历史与文化建设相结合成为一种潮流。梁有山[31]针对淮南舜耕山南坡废弃矿坑,提出可以在废弃矿坑上建广场,建水库岸堤作为护坡,做成亲水平台,对矿坑内大部分面积实施绿化种花种草,供游客玩耍,发挥其最大的价值。徐春[32]从工程治理与生态修复两个方面入手,实施地质环境治理,生态重建,对淮南老龙眼废弃矿坑地质环境进行了生态修复。程涵宇[33]提出利用废弃矿坑沿高度差建设一个一整套的城市生活垃圾和建设垃圾综合处理设施,同时解决掉城市垃圾填埋场的选址问题和矿坑处理问题,既经济又环保。吴琴琴[34]针对沿海废弃矿坑,构建了因地制宜的藻-虾-梭鱼-海参立体养殖手段,不仅修复了沿海废弃矿坑的生态环境,还给当地居民提供了一些就业机会。刘子春[35]针对扎尼河露天矿客观条件,通过条带式控制开采技术的实施,成功抑制了边坡变形速率的上升,避免了滑坡灾害的发生,边坡治理初期效果明显。王宁等[36]在废弃矿坑复垦过程中,充分考虑到了地下水源的污染问题。提出并且建立了防渗监控以及一系列地下水保护措施,确保了地下水安全干净,防止露天废弃矿坑对水资源的污染。赖兰萍[37]在针对废弃钨矿山的治理的过程中,加入絮凝剂,混凝剂对废水中的重金属离子进行吸收,然后进行PH值分析,通过一定的工艺,将那些可利用的重金属进行回收,防止污染水源污染土壤。加拿大布查特花园,在建设处理之前就是一个废弃矿坑,通过对这个废弃矿坑的综合治理,发展成为了现在各种各样的主题公园,每年都有很多游客慕名前去参观[38]。

6. 结论

对于露天废弃矿坑环境地质问题,重点应开展矿坑边坡稳定性评价及生态修复。通过大量文献总结分析,对露天废弃矿坑边坡稳定性评价方法、监测技术、治理措施及生态修复技术研究进展进行了总结,为今后开展矿山地质环境保护与绿色矿山建设提供参考。

参考文献

- [1] 王晓东. 我国矿产资源勘查开发的若干问题分析[J]. 低碳世界, 2016(8): 96-97.
- [2] 刘艳华. 江西某露天矿废弃地主要地质环境问题及综合治理探讨[J]. 世界有色金属, 2019(2): 282+284.
- [3] 曾贞, 胡文惠. 肖家沟 9#矿渣堆泥泥石流基本特征及防治建议[J]. 四川地质学报, 2018, 38(4): 618-623.
- [4] 周春山. 海州露天矿南帮主要矿山环境问题分析[J]. 世界有色金属, 2018(4): 179-180.
- [5] 赵晓苗. 非煤露天开采矿山环境治理措施研究与实践[D]: [硕士学位论文]. 秦皇岛: 华北理工大学, 2019.
- [6] 王梦然. 废弃灰岩矿山地质环境恢复治理研究[D]: [硕士学位论文]. 石家庄: 河北地质大学, 2018.
- [7] 向国泽, 杨淑萍. 赤平投影分析法在边坡工程中的应用[J]. 西部资源, 2018(3): 135+137.
- [8] 王恒涛, 王怀勇. 运动学和极限平衡法相结合边坡稳定性分析[J]. 有色设备, 2020(1): 38-41.
- [9] 李春辉, 刘天鹏, 王洪洋, 等. 边坡稳定性分析方法研究进展及展望[J]. 东北水利水电, 2020, 38(2): 63-65.
- [10] 梁志荣, 张菊连, 李伟, 等. 佛顶宫矿坑边坡的二维静动力有限元模拟分析研究[J]. 土木工程学报, 2015(S2): 208-213.
- [11] 张菊连, 梁志荣, 李伟. 佛顶宫矿坑边坡三维静动力有限元模拟分析研究[J]. 重庆交通大学学报: 自然科学版, 2016, 35(4): 13-19.
- [12] 李耀楠, 侯克鹏, 苗雨心, 等. 基于综合分析法露天矿边坡稳定性分析[J]. 化工矿物与加工, 2020, 49(2): 30-33.
- [13] 刘芮彤. 边坡稳定性分析方法文献综述[J]. 城市地理, 2016(14): 144.
- [14] Carlà, T., Farina, P. and Intrieri, E. (2017) On the Monitoring and Early-Warning of Brittle Slope Failures in Hard Rock Masses: Examples from an Open-Pit Mine. *Engineering Geology*, **228**, 71-81. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2017.08.007>

- [15] Carlà, T., Farina, P. and Intrieri, E. (2018) Integration of Ground-Based Radar and Satellite InSAR Data for the Analysis of an Unexpected Slope Failure in an Open-Pit Mine. *Engineering Geology*, **235**, 39-52. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2018.01.021>
- [16] Vanneschi, C., Eyre, M. and Francioni, M. (2017) The Use of Remote Sensing Techniques for Monitoring and Characterization of Slope Instability. *Procedia Engineering*, **191**, 150-157. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.05.166>
- [17] Drakatos, G., Paradissis, D. and Anastasiou, D. (2013) Joint Approach Using Satellite Techniques for Slope Instability Detection and Monitoring. *International Journal of Remote Sensing*, **34**, 1879-1892. <https://doi.org/10.1080/2150704X.2012.731089>
- [18] 韦家兴, 徐茂林, 修红玲. 多源信息融合的露天矿边坡监测方法研究[J]. 矿业研究与开发, 2018, 38(10): 29-33.
- [19] 杜明启. 边坡监测预警系统在露天矿地质测量中的应用[J]. 内蒙古煤炭经济, 2019(3): 93-94.
- [20] 史冠军. 基于 GNSS 的抚顺西露天矿北边坡变形监测方法研究[J]. 矿山测量, 2014(3): 56-58.
- [21] 任月龙, 李如仁, 张信. 基于多传感器网的露天矿边坡形变监测[J]. 煤炭学报, 2014, 39(5): 868-873.
- [22] 代朵, 卢才武, 顾清华, 等. 露天矿边坡北斗卫星位移监测系统设计与实现[J]. 金属矿山, 2015(9): 112-115.
- [23] 李健, 吴顺川, 高永涛, 等. 露天矿边坡微地震监测研究综述[J]. 岩石力学与工程学报, 2014, 33(S2): 3998-4013.
- [24] 刘军, 王鹤, 王秋玲, 等. 无人机遥感技术在露天矿边坡测绘中的应用[J]. 红外与激光工程, 2016, 45(S1): 118-121.
- [25] 熊朋, 龚福初, 卢艺伟. 废弃矿坑坑壁岩质高边坡支护治理[J]. 中国金属通报, 2019(2): 218+220.
- [26] 杨业, 李浩. 浅谈边坡支护中的放坡处理[J]. 科学之友, 2013(5): 23-24.
- [27] 何奔, 李双宝, 鲁宏. 桩板式挡土墙在高回填边坡支护工程的应用[J]. 工程技术研究, 2019, 4(17): 174-175.
- [28] 周桂龙. 水利水电工程边坡开挖支护施工技术探究[J]. 科技创新与应用, 2020(12): 152-153.
- [29] 崔树军, 谷立坤, 廉有轩, 等. 煤矿废弃地的微生物修复技术[J]. 金属矿山, 2010(4): 176-179+182.
- [30] 牛峰. 基于美丽乡村的矿山废弃地植被恢复——评《矿山废弃地植被恢复的实践与发展》[J]. 矿业研究与开发, 2020, 40(3): 167-168.
- [31] 梁有山. 舜耕山南坡废弃矿坑综合环境治理综述[J]. 现代园艺, 2011(13): 140.
- [32] 徐春. 淮南老龙眼废弃矿坑地质环境生态修复浅谈[J]. 黑龙江科技信息, 2010(22): 2+234.
- [33] 程涵宇, 栾慧君. 露天煤矿矿坑治理技术展望[J]. 内蒙古煤炭经济, 2017(12): 90-91.
- [34] 吴琴琴, 黄仕英, 欧亮, 等. 合浦采石场矿坑环境现状及生态修复治理对策[J]. 价值工程, 2018, 37(14): 55-56.
- [35] 刘子春, 韩猛. 扎尼河露天矿边坡治理措施与效果[J]. 煤炭科学技术, 2017, 45(S1): 174-176+188.
- [36] 王宁, 程磊, 陈郁. 工业废渣填埋废弃矿坑复垦过程中的地下水环保措施研究[J]. 环境影响评价, 2018, 40(6): 94-96.
- [37] 赖兰萍, 杨新华, 陈后兴, 等. 某钨矿山矿坑废水治理试验研究[J]. 中国钨业, 2013, 28(1): 45-47.
- [38] 田娅玲. 从废弃矿坑到精致花园——加拿大布查特花园[J]. 园林, 2019(4): 32-35.