

Research Progress of Geological Disasters in Open-Pit Coal Mines

Hengcai Liu, He Huang, Bowen Shuai, Yu Feng

School of Earth and Environment, Anhui University of Science and Technology, Huai'nan Anhui
Email: 1030154808@qq.com

Received: Jun. 15th, 2020; accepted: Jun. 30th, 2020; published: Jul. 7th, 2020

Abstract

Open-pit mining is an important way of mining coal resources, and it is often accompanied by serious geological hazards. Based on large amount of literature, the types, mechanism and research methods of geological disasters in open-pit coal mines were summarized, and the main prevention measures of geological disasters in open-pit coal mines were analyzed in this paper, which can provides a reference for comprehensive treatment of geological disasters in open-pit coal mines.

Keywords

Open-Pit Coal Mine, Geological Disaster, Occurrence Mechanism, Prevention Measures

露天煤矿地质灾害防治研究进展

刘恒材, 黄河, 帅博文, 冯宇

安徽理工大学地球与环境学院, 安徽 淮南
Email: 1030154808@qq.com

收稿日期: 2020年6月15日; 录用日期: 2020年6月30日; 发布日期: 2020年7月7日

摘要

露天开采是煤炭资源开采的重要方式, 也常常伴随严重的地质灾害危害。本文通过大量文献分析, 对露天煤矿常见地质灾害类型、发生机理、研究方法进行了总结, 并对露天煤矿常见地质灾害的主要防治措施进行了分析, 为开展露天煤矿地质灾害的综合分析与治理提供参考。

关键词

露天煤矿, 地质灾害, 发生机理, 防治措施

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

露天煤矿开采在我国已有 200 多年的历史，分布较为广泛，是煤炭资源开采的重要方式[1]，但近年来露天煤矿开采引发地质环境问题变得越来越严峻。目前，国外利用先进技术对地质灾害的形成机理，防治措施进行综合分析、治理，对地质灾害的预警研究也较为成熟，相比之下我国露天煤矿地质灾害的研究开展较晚，且我国幅员辽阔，不同地区的地质条件也不尽相同，在此基础上我国积极引进国外先进技术，目前已经建立了集超前勘探、综合治理、长期监测为一体的防治体系。露天煤矿常见地质灾害主要包括变形、边坡失稳和涌水等，相较于城市地质灾害，由于成本控制、治理难度较大等诸多因素，往往得不到及时、有效治理，以至于最后酿成严重祸患，例如，李皎[2]总结了海州露天矿 1953 年投产以来发生了 70 余起滑坡，最大的滑坡量达 31 万 m³、2 条长度超过 1000 m 的地裂缝，地裂缝演化至今最大宽度达 0.5 m，最大缝深近 3 m；迟国铭[3]分析了呼和乌素露天采坑与小窑巷道贯通，导致大量巷道被淹没，累计突水量约 340 万 m³，造成重大经济损失；聂国印[4]研究的白音华一号露天煤矿在 2004 年底发生小规模崩塌。因此对露天煤矿地质灾害的形成机理、影响因素、稳定性评价及防治措施进行分析、总结，对于指导露天煤矿安全开采具有十分重要的现实意义。

2. 露天煤矿常见地质灾害类型

露天煤矿边坡坡角较大、岩土体风化严重，在自然因素和人为因素的综合作用下，边坡自身稳定性遭到破坏，如果没有及时处理，容易产生变形(塌陷、地面沉降、地裂缝等)、边坡失稳(崩塌、滑坡、泥石流等)、涌水等地质灾害[5]。各类地质灾害具有以下特点：

2.1. 露天煤矿地面变形

地面变形存在于整个露天开采过程中，同时引起的后果也较严重，因此是露天煤矿地质灾害研究首先要研究的问题。地面变形主要包括地裂缝、塌陷、地面沉降等，侯恩科[6]认为采煤诱发的地裂缝是露天矿区最为常见的一种土地破坏形式，也是矿区土地复垦、生态环境修复所直面的一种常见地质灾害类型，地裂缝的产生往往引起煤矿附近农田和居民住宅的损坏，从而引发各种社会矛盾，因此应该重点考虑。

1) 煤矿开采过程中，在不同开采条件下应力分布的状况不同，一般可以将地裂缝分为张性地裂缝、压性地裂缝、扭性地裂缝三种[7]。陈雪然[8]认为地裂缝的产生对建筑物、工农业生产和交通都有一定的危害，不同的地裂缝在露天煤矿开采全过程中频频出现，导致附近农田大量化学元素被雨水淋滤、土壤流失，土地不再肥沃，严重的地裂缝甚至会引起居民住宅承重墙撕裂，以致存在安全隐患。

2) 池江[9]通过对广西煤矿山地面塌陷的细致研究，发现地面塌陷会导致矿区地面断裂，逐渐改变矿区水文地质条件，矿山两侧道路出现多处裂缝。煤矿地面塌陷对煤矿生产威胁较大，当坍塌岩土体堆入矿坑，会导致煤炭资源遭到掩埋，从而需要组织大量人力和设备进行清除，严重者甚至会导致人员伤亡，对煤矿开采造成重大损失。

3) 地面沉降的发生，会导致煤矿运输体系遭到破坏。露天煤矿采用台阶式道路将开采的煤炭资源运出，地面沉降会使道路破坏，运输条件恶化，从而影响开采的煤炭资源运出，大量堆积在矿底，迫使开采停滞。

2.2. 露天煤矿边坡失稳

边坡失稳是露天煤矿危害最严重的地质灾害，规模较大的边坡失稳往往会导致经济损失、采煤中断、人员伤亡等严重后果，因此对露天煤矿边坡稳定性的研究是保证生产活动安全有序进行的必要过程[10]。边坡失稳包括：崩塌、滑坡、泥石流等，这三种失稳现象的发生主要受岩性和降雨影响。

边坡岩石坚硬、所处区域降雨较少的露天煤矿边坡易发生崩塌灾害，崩塌具有规模小、速度快等特点；边坡主要为松散土体、所处区域降雨丰富的露天煤矿边坡则易发生滑坡或泥石流等地质灾害，滑坡和泥石流具有规模大、速度快、影响范围广、处理复杂等特点，是露天煤矿边坡失稳主要关注的问题。

2.3. 露天煤矿边坡涌水

露天煤矿采煤活动进行到中后期时，其内排土场规模庞大，此时水体将对边坡和内排土场的稳定性产生重要的影响[11]。边坡涌水发生后，能在短时间内降低岩土体性质，随着时间推移对坡脚的静水压力迅速增高，从而形成淹没机具、边坡失稳等灾害。

3. 露天煤矿地质灾害的研究方法及发生机理

不同地质灾害有其独特的发生机理，因此研究方法也不同，只有选择正确的研究方法、准确分析发生机理，才能制定恰当有效的防治措施。

3.1. 露天煤矿地质灾害的研究方法

地质灾害研究方法种类多样，主要包括：现场勘测、理论分析、数值模拟及遥感技术等，随着露天煤矿开采的进行，针对露天煤矿经常发生的地质灾害，研究人员探索出相应的研究方法。

地面变形主要发生在煤矿表面，孙凤娜[12]认为遥感技术为矿山生态环境治理中的监测环节提供了理论依据，利用遥感技术可以从宏观上观察地面变化情况，能够做到持续、准确监测，一旦发现地面变形，能够快速确定其规模，给出治理建议，有效提高了监测结果的精准度。地面变形研究的主要因素是地面沉降量测定，在此基础上，我们可以将露天煤矿地面分成若干个小区域，通过统一评估各区域发生地面变形的概率，将煤矿地面分为：高风险区、中风险区和低风险区，从而能够集中精力对高风险区采取防治措施。

李巧玲[13]认为通过理论分析对边坡稳定性进行研究，基于分析结果对边坡角进行优化可以有效的计算出边坡保持稳定的最大应力值，以此作为预防边坡失稳的极限值；张永贵[14]利用 FLAC3D 数值模拟软件建立工程地质模型，然后对边坡进行数值分析，选择边坡位移指标作为监测的切入点，对比边坡岩土体的云图，对煤矿边坡失稳情况进行分析，能够准确地分析边坡稳定性情况，指导煤矿边坡治理。对边坡稳定性分析的主要因素是安全系数的求解，一般先测定边坡岩土体的物理力学性质，然后通过数值软件建立边坡模型，最后求解安全系数和潜在滑移面。

对于涌水灾害的研究，主要通过理论公式计算其涌水量大小，针对某些煤矿难以用仪表测定水量的情况，利用容积法对涌水量进行计算能够得到较为准确的结果，为排水井的布设提供参考依据。对涌水灾害的研究过程较为复杂，应主要分析降雨量和渗流速度等主要因素，然后先分析其地层含水情况和该地区降雨情况，在此基础上通过数值软件模拟斜坡水体渗流情况，采取合适的措施。

3.2. 露天煤矿地质灾害的发生机理

地面变形的发生由内因和外因共同作用形成，内因主要为构造运动；外因主要为人为因素[15]。采煤活动进行到一定规模后，斜坡天然应力平衡状态遭到破坏，当斜坡岩土体出现部分滑移时，煤矿周边地

层产生张拉应力，从而导致地面裂缝的产生[16]。

边坡失稳的最典型方式是滑坡，露天采场边坡的滑动力大于岩土体的抗滑力时就会导致滑坡的发生，边坡岩土体的抗剪强度决定了抗滑力的大小[17]。抗剪强度受岩土体的性质和外界因素的变化影响，因此坡度的大小、地层构造、降雨、地震、照晒等因素都会影响边坡的稳定性，其中岩土体性质尤为重要。露天煤矿的边坡为多级台阶状，经过长期暴露风化，边坡岩土体的力学性质变差，当遇到强降雨时，边坡遭受强烈冲刷，容易发生滑坡。

露天煤矿边坡涌水形成的主要原因是地下水的动水压力较大，边坡岩土体被水流冲破，随时间推移逐渐扩大。地下水循环系统是一个整体，当露天煤矿不断向下开挖，就会形成多级台阶状的陡峭边坡，当附近地下水的动水压力超过边坡岩土体的强度时，地下水会快速向矿坑内部流动，此时水体会软化边坡岩土体，降低其力学性质，最后导致崩塌、滑坡等边坡失稳灾害。

4. 露天煤矿地质灾害的防治措施

针对本文前述露天煤矿常见地质灾害，对地面变形、边坡失稳、涌水等地质灾害的防治措施应从社会效益、资金投入、技术手段、治理范围等方面综合考虑[18]。此外，还可以分析相类似的地质灾害治理案例，从中吸取经验教训也能够很好地指导露天煤矿地质灾害的治理。地质灾害防治措施包括综合治理和长期监测。

4.1. 露天煤矿地质灾害的综合治理

综合治理就是分析地质灾害形成机理，并充分考虑地质灾害的影响因素，从而消除地质灾害发生的可能性或降低地质灾害的危害性。

首先应对露天煤矿的区域气候特征、地层分布情况、岩土体力学性质、地下水体流动及采煤历史进行仔细调研，通过调研，掌握年降雨时期和降雨量的大小、场区存在的地质构造、地下水抽排情况，同时还应探明已存在的地面变形、边坡稳定性和涌水情况。在研究结果基础上进行实验，建立数值模型分析地质灾害发生的概率。综合治理的重点应包括：地面变形处理、增强边坡稳定性、水体处理等。

1) 李莲花[19]提出为避免和减少地面塌陷和地裂缝所造成的损失，地面工程如工作、生活用房等应尽量远离开采区，并合理规划布局。当煤矿地面出现裂缝时，可以采用裂缝充填和人工搬迁的方式解决，在充分调查地裂缝的几何特征和成因之后，应尽量通过充填注浆的方法恢复农田生产和居民住宅的修复，当无法治理时应采取异地搬迁的方法避开地质灾害影响区域。

2) 大部分露天煤矿的边坡岩土体具有一定的稳定性，因此应该综合分析影响边坡稳定性的主要因素以及运输方式、开采设备等因素，在此基础上计算出工作台阶采掘的最终边坡状态，将边坡坡脚控制在合理的范围之内。杨永健[20]通过对神宝矿区边坡稳定性的研究，认为如果经过分析发现矿坑边坡稳定性不足时，可以采取控制合理的边坡角、留置安全煤壁、统筹安排采区、排土场使用合理的安全距离、降低动载荷、预应力锚索、格构、锚杆注浆、边坡植草、排水沟疏导地表水等方法。增强边坡稳定性工程耗资较大，因此应遵循“安全第一、节约成本”的原则，采用新理念、新技术、新材料，从根本上降低工程造价。同时，边坡治理的过程还应考虑到环境保护，尽量利用边坡植草的方法改善露天煤矿扬尘污染环境的问题。

3) 为防止涌水灾害的发生，应修建、完善排水设施[21]，在查明地下赋存情况后，设置排水井疏排地下水，在坡脚修建排水沟收集坡面水流；在坡面可以植草降低雨水对岩土体的软化作用。龙文天[22]通过对郴长矿区裂隙导水通道的研究，认为在裂隙通道涌水量较大时，可以采用注浆的方法封堵地下水。

采用上述防治措施能够有效的避免地质灾害的发生，从根本上保护国民生命财产安全。

4.2. 露天煤矿地质灾害的长期监测

为了研究治理效果和地质灾害的监测，需要在布置监测系统，得益于信息技术的快速发展，煤矿工程的地质灾害预警技术也得到了长足的发展[23]。煤矿地质灾害预警技术是一个集边坡结构分析计算、计算机处理技术、光纤通信技术、网络技术、传感器技术、大数据分析等高科技技术于一体的高效率信息系统[24]，该技术具有安全可靠、响应速度快、全周期监测的优点，因此广泛运用于露天煤矿中[25]。预警系统主要包括：固定式自动监测测斜仪、传感器、GPS 自动监测系统、电缆、终端接收系统[26]。

1) 固定式自动监测测斜仪

相较于传统移动式测斜仪，固定式自动监测测斜仪利用安置在测控内的测斜传感器不间断监测边坡的倾角值，通过电缆将数据传送至终端接收仪，从而达到数据快速整合分析处理的目的[27]。固定式自动监测测斜仪解决了重要矿坑边坡长期监测的问题，具有时效强、精度高、省力、数据记录全面的优点。

2) GPS 自动监测系统

GPS 自动监测系统优点较为显著，包括：选点限制小、受天气影响小、持续稳定、精度高、地质灾害演变速度等[28]。其主要目的是监测露天矿坑的地表形态，通过实时监测矿坑表面地形，能够达到“此刻相较之前，连续反馈”的效果，针对地表形态发生变化的部位，可以针对该部位现场勘测，及时解决地质灾害可能发生的隐患[29]。利用该系统，不仅可以对整个煤矿场地全覆盖监测，而且很大程度上节约了技术人员的精力和项目成本，从而达到“精兵精用”的目的[30]。

3) 终端接收系统

终端接收系统是煤矿地质灾害预警系统的核心，负责收集测斜仪传回的大量数据，并通过该系统整理分析，提醒监测人员对可能发生地质灾害的部位作进一步研究，寻求解决方案。随着大数据时代的来临，为了进一步提高监测结果的可靠性，监测数据数量激增[31]，传统人工记录的方式已经不符合发展的潮流，终端接收系统能够完美的替代人工记录的方式，效率高、容量大、响应快等优点使其在露天矿坑地质灾害预警领域迅速铺开。

在改进露天煤矿的长期监测措施后，能够有效地预防地质灾害，节约煤矿防灾投资，提高效益。

5. 结论

露天煤矿地质灾害类型主要表现为地面变形、边坡失稳、边坡涌水三种。目前的研究方法主要有现场勘测、理论分析、数值模拟以及遥感技术等。针对露天煤矿常见的几类地质灾害，对其形成机理、影响因素、防治措施等进行了总结，将对露天煤矿地质灾害综合治理和减灾防灾提供参考，指导绿色矿山建设。

参考文献

- [1] 王来贵, 刘向峰, 姚再兴, 等. 大中型露天煤矿闭坑地质灾害浅析[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2001, 2(3): 53-56.
- [2] 李皎, 陈晋, 耿宝军. 海州露天矿环境地质灾害演化趋势及对策[J]. 辽宁工程技术大学学报, 2005(4): 520-523.
- [3] 迟国铭, 张立辉. 呼和浩特乌素煤矿特大突水事故应急处理及后续治理方案[J]. 煤炭工程, 2015, 47(1): 71-73.
- [4] 聂国印, 刘大野. 白音华一号露天煤矿不良地质现象调查[J]. 中国煤炭地质, 2009, 21(8): 48-50.
- [5] 周文琴, 王宝玉. 徐州潘安湖煤矿塌陷地湿地景观生态修复[J]. 江苏建设, 2016(4): 57-61.
- [6] 侯恩科, 谢晓深, 等. 羊场湾煤矿采动地裂缝发育特征及规律研究[J/OL]. 采矿与岩层控制工程学报, 2020(3): 1-8.
- [7] 冯宇, 黄河, 唐文武. 采空区地裂缝对地质环境影响的研究进展[J]. 江西化工, 2019(4): 205-208.

- [8] 陈雪然, 孟冲. 豫北平原地裂缝形成及灾害特征分析[J]. 地下水, 2019, 41(1): 139-141.
- [9] 池江. 广西某矿山地面塌陷地质灾害特征研究[J]. 中国金属通报, 2019(7): 221+223.
- [10] 周伟. 露天煤矿抛掷爆破拉斗铲倒堆与时效边坡多参数耦合机理[D]: [博士学位论文]. 徐州: 中国矿业大学, 2010.
- [11] 赵宇, 肖兵. 胜利露天煤矿边坡涌水对内排土场稳定性影响[J]. 露天采矿技术, 2018, 33(1): 50-54.
- [12] 孙凤娜. 遥感影像空间分辨率对矿山地面形变监测信息提取的影响研究[J]. 世界有色金属, 2020(1): 263-264.
- [13] 李巧玲, 夏冬. 白砾滩露天煤矿东帮顺层边坡稳定性分析与边坡角优化[J]. 采矿技术, 2020, 20(1): 83-86.
- [14] 张永贵, 等. 基于 FLAC~(3D)软件的魏家峁露天煤矿边坡稳定性破坏模式分析[J]. 露天采矿技术, 2019, 34(4): 55-58.
- [15] 孙兆涛. 抚顺西露天矿北帮地质灾害发展规律及其环境影响[D]: [硕士学位论文]. 长春: 吉林大学, 2015.
- [16] 李军. 煤矿地裂缝形成机理及原因探讨[J]. 山东煤炭科技, 2015(9): 138-139.
- [17] 杨清. 海州露天矿地质灾害隐患监测研究[D]: [硕士学位论文]. 阜新: 辽宁工程技术大学, 2012.
- [18] 段铁管, 孟景凤. 义马北露天矿北帮地质灾害治理方案[J]. 露天采矿技术, 2006(3): 18-21.
- [19] 李莲花, 王小青. 马岭山煤矿矿山地质灾害危险性评估及防治措施分析[J]. 煤炭技术, 2014, 33(11): 59-61.
- [20] 杨永健. 神宝矿区露天煤矿采场边坡失稳原因及治理措施研究[J]. 山西建筑, 2019, 45(19): 64-66.
- [21] 殷智武, 徐丁宁. 海州露天矿矿山地质灾害成因及主要治理措施探讨[J]. 辽宁科技学院学报, 2008(3): 37-38.
- [22] 龙天文. 彬长矿区东北部矿井导水裂隙带发育高度及涌水量预测研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西安科技大学, 2019.
- [23] Cao, A.-Y., Dou, L.-M., et al. (2016) Microseismic Precursory Characteristics of Rock Burst Hazard in Mining Areas near a Large Residual Coal Pillar: A Case Study from Xuzhuang Coal Mine, Xuzhou, China. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, **49**, 4407-4422. <https://doi.org/10.1007/s00603-016-1036-7>
- [24] 陈路良, 古玉葵, 何梅方, 等. 小龙潭矿区露天矿边坡地质灾害预警监测系统[J]. 露天采矿技术, 2013(6): 79-80.
- [25] 李存有. 煤矿井下重大危险源监测及预警系统[J]. 电子技术与软件工程, 2019(2): 139.
- [26] 王相人. IBIS-M 边坡监测预警系统在哈乌素露天煤矿的应用[J]. 露天采矿技术, 2018, 33(4): 71-74.
- [27] 钮景付. 哈尔乌素露天矿地质灾害在线监测技术[J]. 煤矿安全, 2014, 45(9): 89-91.
- [28] 李爱陈, 池恩安, 马建军, 钟冬望. GPS 实时监测系统在露天边坡变形监测中的应用[J]. 采矿技术, 2020, 20(1): 140-144.
- [29] 肖欢, 何杰华, 刘银, 孙华芬. 某金矿边坡监测方法选用[J]. 云南冶金, 2019, 48(5): 13-17+23.
- [30] 赵谨. 关于 GPS 在变形监测中的应用研究[J]. 建材与装饰, 2019(24): 239-240.
- [31] Hower, J.C. (2005) Geologic Hazards in Coal Mining: Prediction and Prevention. *International Journal of Coal Geology*, **64**, 1-2. [https://doi.org/10.1016/S0166-5162\(05\)00166-7](https://doi.org/10.1016/S0166-5162(05)00166-7)