

煤矿地表沉陷及其环境影响： 研究进展与防治对策

王莹

辽宁大学环境学院，辽宁 沈阳

收稿日期：2025年1月15日；录用日期：2025年2月12日；发布日期：2025年2月27日

摘要

煤矿地表沉陷是矿区及周边地区遭遇的重大环境问题，本文回顾了煤矿开采导致地表沉陷的成因、生态环境影响及监测与防治技术。采煤产生的采空区和上覆岩层的失稳，造成地表沉降，进而引发裂缝、滑坡等地质灾害，并对土壤、地下水和生态系统产生长期负面影响。沉陷引起的水文变化和土壤损害，往往导致农田破坏、植被退化和水资源流失。在监测技术方面，现代遥感技术与地面监测手段的结合显著提高了沉陷监测的精度与时效性，为矿区沉陷的预警和防治提供了重要数据支持。防治策略包括强化沉陷预警系统、采用工程加固措施以及实施生态修复和土地恢复，以减少煤矿开采对环境的负面影响。未来研究应聚焦于如何平衡煤矿开采与生态环境保护，特别是在开采持续性与生态修复之间的协调，推动煤矿地区的可持续发展。

关键词

煤矿开采，地表沉陷，环境影响，生态修复

Surface Subsidence Induced by Underground Coal Mining and Its Environmental Impacts: Research Progress and Mitigation Measures

Ying Wang

School of Environment, Liaoning University, Shenyang Liaoning

Received: Jan. 15th, 2025; accepted: Feb. 12th, 2025; published: Feb. 27th, 2025

Abstract

Surface subsidence induced by underground coal mining is a major environmental issue in mining

文章引用：王莹. 煤矿地表沉陷及其环境影响：研究进展与防治对策[J]. 环境保护前沿, 2025, 15(2): 176-180.
DOI: 10.12677/aep.2025.152022

areas and their surrounding regions. This paper reviews the causes of surface subsidence due to coal mining, its ecological and environmental impacts, as well as monitoring and mitigation technologies. The creation of goafs and the instability of overlying strata resulting from coal extraction lead to surface subsidence, which can trigger geological hazards such as cracks and landslides, and cause long-term negative effects on soil, groundwater, and ecosystems. Hydrological changes and soil degradation caused by subsidence often result in the destruction of farmland, vegetation degradation, and water loss. In terms of monitoring technologies, the integration of modern remote sensing techniques with ground-based monitoring methods has significantly enhanced the precision and timeliness of subsidence monitoring, providing vital data support for early warning and mitigation of mining-induced subsidence. Mitigation strategies include strengthening early warning systems for subsidence, implementing engineering reinforcement measures, and carrying out ecological restoration and land reclamation to reduce the environmental impacts of coal mining. Future research should focus on balancing coal mining with ecological protection, especially in terms of coordinating mining sustainability with ecological restoration, to promote the sustainable development of mining regions.

Keywords

Coal Mining, Surface Subsidence, Environmental Impacts, Ecological Restoration

Copyright © 2025 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

煤矿是全球能源供应的关键组成部分，尤其在中国等煤炭资源丰富的国家，对经济发展起到了至关重要的作用[1]。然而，随着煤矿开采深度与强度的增加，开采过程中对地下岩层及地表的影响日益加剧，尤其是加剧了地表沉陷现象的发生。煤矿开采通常引起地下煤层及上覆岩层的结构破坏，支撑力丧失，从而引发地表沉陷、裂缝及滑坡等地质灾害。这些沉陷现象不仅影响矿区的安全性和稳定性，也严重破坏了周围的土地、生态环境以及基础设施。

随着矿区的不断扩展，地表沉陷的产生成为煤矿开采过程中一个不可忽视的问题。特别是在单一煤层的集中开采或多层煤矿重复开采的情况下，地表沉陷往往会扩展到矿区外，影响范围和程度逐步加剧。沉陷不仅破坏土地资源，还影响地下水流动，进一步加剧了矿区及周边生态环境的破坏，导致水土流失、耕地面积减少及生态系统退化等一系列问题[2]。

研究煤矿开采对地表沉陷的成因及其发展趋势，有助于揭示沉陷过程中的复杂物理机制，评估其对环境的影响，并为相应的防治对策提供理论依据。此外，随着开采深度的加大和采矿方式的复杂化，研究如何实现开采活动与生态环境的协同进步发展，将对推动煤矿开采行业的可持续发展提供重要支持。

本文梳理了煤矿开采引起的地表沉陷的相关研究，分析其成因、环境影响、监测技术和防治措施，并对地表沉陷研究的未来方向进行了展望，为煤矿开采与生态保护提供理论支撑。

2. 煤矿开采导致的地表沉陷及其机理

2.1. 煤矿开采方式与地表沉陷

煤矿的开采方式是造成地表沉陷发生和演变的直接因素。地下煤层开采通常会导致上覆岩层的破坏和位移。地下煤层的开采会造成上覆岩层的运动，这种相互作用在一定条件下使得局部区域的支撑力丧

失, 引发大规模的地表沉降[3]。特别是当煤矿开采深度加大, 岩层受力变化加剧时, 沉降的程度和范围往往呈现出更复杂的特征。一般而言, 单一煤层的集中开采通常会导致沉降的范围超出矿区的边界, 向外延伸, 甚至影响周围的农田、居民区和基础设施[4]。

此外, 随着煤矿开采需求增加以及技术的进步, 多数矿区采用多层重复开采的方式, 进一步加深了沉降的复杂性。Xie 等[5]和 Qiao 等[6]认为多层开采不仅对单一煤层产生影响, 还可能引发不同层位之间的相互作用, 导致岩层的结构进一步复杂化。这种情况通常会加剧地表变形的发生, 增加沉降的范围和深度。Tan 等[7]强调多层开采过程中, 开采强度与岩层间隙的变化会导致地表的持续沉降, 形成更为严重的沉降地质灾害。

2.2. 沉降盆地的形成与地表裂缝、滑坡

随着矿区沉降盆地的形成, 地表沉降的影响逐渐向外扩展, 进而影响到周围的基础设施、住宅楼和耕地等。Yang 等[2]指出, 在沉降盆地, 地表沉降通常伴随着裂缝和滑坡的发生, 进而破坏矿区周边的建筑物和农田。沉降不仅对土地资源造成严重影响, 还可能导致地下水流动的变化, 导致水资源短缺、生态环境恶化等问题。地表沉降的区域性扩展不仅威胁到矿区的安全, 还对生态系统的稳定性产生显著的破坏。

3. 煤矿开采对生态环境的影响

3.1. 土壤和水文条件的变化

煤矿开采引起的地表沉降不仅对地质结构产生直接影响, 还会导致土壤的物理和化学性质发生变化。Wu 等[8]研究表明, 矿区塌陷后, 土壤的水分保持能力、透水性及土壤结构均受到影响。由于上覆岩层的移位和沉降, 表层土壤结构被破坏, 导致土壤的通气性和水分渗透性下降, 影响植物的生长条件和生态系统的稳定性。开采后的沉降区土地暴露, 可能导致土壤盐分和有害物质的积累, 这对周围生态环境造成长期的不良影响。

矿区开采后也会影响水文条件, 尤其是在地下水渗漏、降水和蒸发等因素的作用下, 矿区水文系统可能发生根本性变化。Hu 等[9]指出, 煤矿开采活动会改变地下水的流动路径, 导致地下水位的波动, 这威胁到区域水资源的可持续性, 还可能引发区域性水土流失, 加剧地表水流的侵蚀作用, 进而破坏水土的平衡。

3.2. 水文变化与内涝

煤矿开采导致的地表沉降往往会使矿区内积水严重, 尤其是在地下水位较高的地区[10]。随着沉降区的逐步扩大, 雨水和地下水的汇集导致局部地区水体的滞留, 水分过度积累不仅影响土地使用和植被生长, 还容易形成淤泥沉积, 降低土地的生产能力和土壤质量。

煤矿塌陷区积水长期得不到有效排除, 会导致内涝现象, 尤其是在农业和林业资源密集的区域[11]。不仅造成水体污染, 还破坏了原有的水文生态系统, 影响动植物栖息地。长期积水会改变水体的化学特性, 导致水质的恶化, 并为有害物质的积累提供条件。

3.3. 煤矿开采对农用地的影响

矿区开采引发的地表沉降, 使得原本平坦的农田发生变形, 容易导致局部地区出现积水现象, 不仅导致农田的暂时性无法耕作, 还可能因土壤的水分失衡、盐分堆积等因素, 造成土壤质量下降。部分地区的土壤压实和结构破坏, 使得恢复耕作条件变得异常困难, 严重区域甚至彻底失去耕作功能。

在保证煤矿资源开采的同时，采取有效措施保护周边环境，成为煤矿开采亟需解决的难题。现有的修复技术和政策面临着土地利用效率与生态保护之间的平衡问题，在此背景下，针对煤矿开采引起的沉陷区进行精准监测、评估和科学修复显得尤为重要。

4. 地表沉陷的监测与防治措施

4.1. 地表沉陷的监测技术

利用遥感技术与地面监测相结合的方式，可以极大的提高地表沉陷监测的精度和时效性。通过卫星影像、无人机航拍等手段，结合分析模型处理影像信息，可以获得开采区域及周边范围的地表形变数据。结合历史影像，能够识别沉陷区域，量化沉陷程度并预测沉陷演变趋势，具有高效性、非接触性等优点，适用于范围大、难接近的矿区。

地面沉陷监测仪器的使用可以实现煤矿地表沉陷的实时监控。常见的监测仪器包括地表沉降点监测、地下水位监测等。通过布设地表沉降监测点，实时记录地表的垂直变化，能够精确量化沉陷的程度和速度。矿区地下水的变化则可采用地下水监测仪器，评估矿区开采对水文条件的影响。通过多种仪器的联合使用，能够更全面分析煤矿开采对地表沉降、地下水及周边环境的影响，为防治工作提供科学依据。

4.2. 防治措施

采取有效的防治策略防治地表沉陷至关重要。建立和完善地表沉陷的预警系统是防治的重要前提。通过实时监测和数据分析，及时识别潜在风险，提供预警信息，可以在一定程度上避免或减少沉陷带来的危害。将监测数据与模型模拟相结合，预警系统可以预测沉陷的发生时间、范围及严重程度，可为矿区管理者提供决策支持。

工程防护措施也是开采过程中的必要环节。通过注浆加固和支护结构等措施可增强地表稳定性，减缓沉陷发生。此外，管理矿区的水体同样重要，合理规划管理水资源，有助于避免积水，减少积水，降低环境影响。

开采后的生态修复与土地恢复是避免环境进一步恶化的措施。有助于减轻采矿带来的环境压力，恢复矿区的原生生态功能。单一修复措施往往效果不佳，多措并举则有更好的生态修复效果，主要采取土壤改良、植被恢复、水土保持等多措施结合的方式。土壤改良方面，则注重于平整土地、施肥等，增加土壤肥力，改善土壤条件，是植被恢复的前提，此后则依据当地自然条件选择耐干旱、抗逆性强的植物，种植并做好抚育管理；水土保持方面，在沉陷严重区域修建挡土墙、护坡、开挖截水沟、排水沟等设施，引导地表径流，防止坡面坍塌和土壤侵蚀。此外，建立长期生态监测体系，依靠法律法规与政策保障修复工作顺利推进。

5. 总结与展望

5.1. 研究总结

本文梳理了煤矿开采引起地表沉陷的成因、环境影响、监测与防治技术。煤矿开采引起地下支撑力丧失、岩层破坏和地表变形，进而引发裂缝、滑坡等地质灾害，影响土壤、地下水和生态环境，特别是周边农田和居住区。遥感技术与地面监测手段结合，可提供精确的沉陷监测；卫星影像和无人机航拍技术可大范围监控地表变形。加强预警系统、实施工程加固和采后生态修复，有助于减缓沉陷对环境的影响。

5.2. 未来研究方向

在煤矿开采需求加剧和技术变化的背景下，地表沉陷影响更加复杂，保障资源开发的同时减少环境

破坏, 探索可持续开采与生态保护平衡的路径, 是重要研究方向。在技术方面, 应积极探索基于人工智能和大数据的预测模型, 以期提高沉陷预测的精度和时效性。

参考文献

- [1] Svobodova, K., Owen, J.R. and Harris, J. (2021) The Global Energy Transition and Place Attachment in Coal Mining Communities: Implications for Heavily Industrialized Landscapes. *Energy Research & Social Science*, **71**, Article ID: 101831. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101831>
- [2] Yang, D., Qiu, H., Ma, S., Liu, Z., Du, C., Zhu, Y., *et al.* (2022) Slow Surface Subsidence and Its Impact on Shallow Loess Landslides in a Coal Mining Area. *Catena*, **209**, Article ID: 105830. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105830>
- [3] He, M. and Wang, Q. (2023) Rock Dynamics in Deep Mining. *International Journal of Mining Science and Technology*, **33**, 1065-1082. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2023.07.006>
- [4] 李卉. 井工煤矿地表沉陷预测及土地复垦修复研究[D]: [硕士学位论文]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2019.
- [5] Xie, H., Ju, Y., Gao, F., Gao, M. and Zhang, R. (2017) Groundbreaking Theoretical and Technical Conceptualization of Fluidized Mining of Deep Underground Solid Mineral Resources. *Tunnelling and Underground Space Technology*, **67**, 68-70. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2017.04.021>
- [6] Qiao, Z., Li, C., Wang, Q. and Xu, X. (2024) Principles of Formulating Measures Regarding Preventing Coal and Gas Outbursts in Deep Mining: Based on Stress Distribution and Failure Characteristics. *Fuel*, **356**, Article ID: 129578. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2023.129578>
- [7] Tan, Y.L., Liu, X.S., Ning, J.G. and Lu, Y.W. (2017) *In Situ* Investigations on Failure Evolution of Overlying Strata Induced by Mining Multiple Coal Seams. *Geotechnical Testing Journal*, **40**, Article ID: 20160090. <https://doi.org/10.1520/gtj20160090>
- [8] Wu, Y., Gao, X., Zhou, D. and Zhou, R. (2022) Changes in Soil Physical and Chemical Properties after a Coal Mine Subsidence Event in a Semi-Arid Climate Region. *Polish Journal of Environmental Studies*, **31**, 2329-2340. <https://doi.org/10.15244/pjoes/143274>
- [9] Hu, Z., Zhang, R., Chugh, Y.P. and Jia, N.A. (2016) Mitigating Mine Subsidence Dynamically to Minimise Impacts on Farmland and Water Resources: A Case Study. *International Journal of Environment and Pollution*, **59**, 169. <https://doi.org/10.1504/ijep.2016.079897>
- [10] Jiang, Y., Chen, S., Hu, B., Zhou, Y., Liang, Z., Jia, X., *et al.* (2020) A Comprehensive Framework for Assessing the Impact of Potential Agricultural Pollution on Grain Security and Human Health in Economically Developed Areas. *Environmental Pollution*, **263**, Article ID: 114653. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114653>
- [11] Zhao, J.H., *et al.* (2018) The Effects of Mining Subsidence and Drainage Improvements on a Waterlogged Area. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, **78**, 3815-3831. <https://doi.org/10.1007/s10064-018-1356-9>