

# Comprehensive Geological Exploration of Coal Mine Goaf

Feng Li

Jizhong Energy Han Mining Group Mine Management Branch, Handan, Hebei, 056000, China

## Abstract

This paper comprehensively explores the geological exploration issues of coal mine goaf, with a focus on analyzing the formation and characteristics of goaf, as well as the methods and techniques of comprehensive geological exploration. Firstly, this paper introduces the impact of mining methods on the formation of goafs, their geological characteristics, and their potential impact on the surface and environment. Secondly, the application of geophysical exploration methods, geological drilling, remote sensing and GIS technologies, as well as 3D modeling in goaf exploration were discussed. Once again, the stability of goaf was also introduced, including geological structure, hydrogeological conditions, and numerical simulation of goaf stability. Finally, this paper explores the treatment and governance methods of goaf, including filling and sealing techniques, reuse of goaf, ecological restoration, and environmental protection measures.

## Keywords

coal mine goaf; geological exploration; geophysical exploration; stability assessment

## 煤矿采空区综合地质勘查

李峰

冀中能源邯矿集团矿山管理分公司, 中国·河北 邯郸 056000

## 摘要

论文综合探讨了煤矿采空区的地质勘查问题, 着重分析了采空区的形成、特点以及综合地质勘查的方法和技术。首先, 论文介绍了采矿方式对采空区形成的影响, 其地质特征以及其对地表和环境的潜在影响。其次, 探讨了地球物理勘探方法、地质钻探、遥感和GIS技术以及3D建模在采空区勘查中的应用。再次, 还介绍了采空区的稳定性, 包括地质结构、水文地质条件以及采空区稳定性的数值模拟。最后, 论文探讨了采空区的处理和治理方法, 包括填充和封闭技术、采空区的再利用及生态恢复和环境保护措施。

## 关键词

煤矿采空区; 地质勘查; 地球物理勘探; 稳定性评估

## 1 引言

煤炭作为传统能源的主要来源, 其开采活动伴随着大量采空区的产生。这些采空区不仅影响了地下水系统和地表稳定性, 还可能引发诸如地面塌陷等灾害。因此, 对采空区进行科学的地质勘查和稳定性评估, 已成为煤炭开采后环境保护与利用的重要课题。

## 2 煤矿采空区的形成与特点

### 2.1 采矿方式对采空区形成的影响

煤矿采空区的形成与采矿方法紧密相关, 在地下开采中, 采用的方法取决于多种因素, 如煤层的厚度、地质条件和周围岩石的稳定性。房柱式开采法在煤层中留下支撑煤柱, 以减少采空区对地表的影响, 这种方法更适用于地质条

件复杂或煤层厚度不均的情况, 虽然它可以减少地表沉降的风险, 但留下的煤柱可能导致资源的不完全开采, 同时煤柱的长期稳定性也是一个问题。此外, 顶煤放顶法适用于较厚的煤层, 它通过先采顶煤再使顶板崩塌来形成采空区, 这种方法可以减少地面沉降, 但对地质结构的影响较大, 可能引起地震或其他地质灾害<sup>[1]</sup>。

### 2.2 采空区的地质特征

采空区的地质特征复杂且多变, 这些区域的岩石结构通常不稳定, 因为原本支撑岩层的煤层被移除后, 剩余的岩石承受了更大的压力。这可能导致岩层的变形甚至坍塌, 特别是在没有适当支撑措施的情况下。采空区的空间内部可能存在大量裂缝和空洞, 使得岩石强度大幅降低; 地下水位的变化也是采空区的重要地质特征之一, 采矿活动可能改变地下水流动的路径, 导致水位的升降。这不仅影响到采空区的稳定性, 还可能对周边区域的水资源造成影响。此外, 采空区成为地下水与地表水交换的通道, 这可能导致地下水污染。

【作者简介】李峰(1987-), 男, 中国河北保定人, 硕士, 工程师, 从事地质工程研究。

## 2.3 采空区对地表和环境的影响

采空区对地表的主要影响是地表沉降,由于采矿活动导致地下支撑结构的消失,地表岩层失去支撑而下沉。这种沉降可能导致地面出现裂缝,甚至引发较大范围的地面坍塌。地表沉降不仅影响地表景观,还可能对建筑物、交通基础设施和农业产生严重影响。在环境方面,采空区可能导致两方面的影响:水体污染和生态系统破坏。采空区与地下水系统相连,可能成为污染物质扩散的渠道,包括采矿过程中产生的有害物质以及后期可能进入采空区的工业废物,这些污染物通过裂缝和空洞扩散到地下水中,可能对周围的水源造成严重污染。此外,采空区还可能对周边生态系统产生影响。地表沉降和地形变化可能破坏原有的生态平衡,影响植物和动物的生存环境。在一些情况下,采空区可能被用作垃圾填埋场或其他工业用途,这进一步加剧了对环境的负面影响。

## 3 综合地质勘查的方法和技术

### 3.1 地球物理勘探方法

地震勘探是一种广泛应用的技术,它通过测量地震波在地下介质中的传播特性来揭示地下结构。在采空区勘查中,地震波的反射和折射特性可以帮助确定采空区的位置和大小。由于采空区中空气或水的存在,它们与固体岩石相比具有不同的声波传播速度,从而在地震记录中形成明显的信号异常。

电磁勘探则依赖于地下不同岩石和矿物的电磁特性差异来进行探测。这种方法特别适用于探测地下水和裂缝系统,因为水和矿物质的存在会改变地下材料的电导率和磁化率。在采空区勘查中,电磁勘探可以用来检测由于采矿活动而产生的裂缝和空洞。

重力勘探则利用地球重力场的微小变化来探测地下结构。由于采空区内部缺乏物质,导致其重力信号较周围岩石低,因此重力勘探可以用于辨识采空区的位置。尽管这种方法对小范围的采空区敏感度较低,但它对于大型采空区的探测非常有效。

这些地球物理勘探方法各有优势和局限,通常在实际应用中会相互结合使用,以获取更全面和准确的地下信息。例如,地震勘探可以提供关于采空区深度和形状的详细信息,而电磁勘探则有助于识别采空区内的水和裂缝分布,重力勘探则适用于大规模的区域性探测。通过这些方法的综合应用,可以更有效地评估采空区的地质风险,为后续的处理和治理提供科学依据。

### 3.2 地质钻探和取样分析

地质钻探提供了一种直接观察和采集地下岩层信息的手段,通过钻探,可以获得从地表到采空区的岩心样本,这些样本能够揭示地层的确切组成、岩石类型、结构变化和裂缝的存在。特别是对于采空区的精确定位和大小评估,

地质钻探是一种不可或缺的方法。此外,钻探过程中记录的钻进速度、钻压和扭矩等参数也能提供关于地下条件的间接信息。

取样分析则是地质钻探的重要补充,从钻探中获得的岩石和土壤样本可以在实验室中进行详细的化学和物理分析,以识别矿物成分、化学污染物和水文地质特征。例如,通过分析岩石样本中的矿物成分和结构,可以判断采空区的稳定性和坍塌风险。同样,对地下水样本的化学分析可以揭示采空区是否影响了周围地下水的质量<sup>[2]</sup>。

地质钻探和取样分析在采空区勘查中的应用不仅限于识别和评估现有的采空区,还可以用于预测未来的地质变化和環境风险,这些信息对于制定采空区治理策略、环境恢复计划以及未来采矿活动的规划至关重要。

### 3.3 遥感和 GIS 技术在采空区勘查中的应用

遥感和地理信息系统(GIS)技术能够提供大范围、高分辨率的地表和地下信息,对于识别、监测和管理采空区至关重要。

遥感技术利用航空或卫星平台上的传感器来收集关于地球表面的信息,通过分析从不同波段(如可见光、红外线、雷达等)收集的数据,遥感技术可以揭示地表的变化,如地表沉降、裂缝形成和植被变化。在采空区勘查中,尤其是合成孔径雷达(SAR)技术,因其能穿透云层和植被覆盖,提供准确的地表沉降信息,成为一种极为有用的工具。SAR干涉测量技术(InSAR)能够检测到极其微小的地表变化,从而用于监测采空区引起的地表沉降。

GIS技术则是一种强大的空间数据管理和分析工具,通过GIS,可以集成和分析来自遥感、地球物理勘探、地质钻探等多种来源的数据。这些数据被用来创建详细的采空区地图和三维模型,有助于理解采空区的分布、大小和潜在影响。GIS还能用于模拟和预测采空区的发展趋势,为决策提供科学依据。

在实际应用中,遥感和GIS技术常常被结合使用,遥感提供的大范围监测数据可以被导入GIS中,与其他地理和地质数据一起分析。这样的综合分析不仅可以提高勘查的精度,还可以在更大范围和更长时间尺度上监测采空区的影响,为采空区管理和环境恢复规划提供支持。

### 3.4 3D 建模和可视化技术

3D建模和可视化技术能够将复杂的地质数据转化为直观的三维模型,极大地提升了对采空区特征和 risk 的理解和表达能力。

3D建模技术允许研究人员创建采空区的精确三维表示,这些模型基于从地球物理勘探、地质钻探、遥感和GIS分析等多种来源收集的数据。这种多维度数据的集成,使得3D模型能够反映采空区的实际情况,包括其大小、形状、深度和与周围地质结构的关系。

可视化技术则进一步提高了这些模型的应用价值,通

过高级的图形渲染和交互式界面，可视化技术使得研究人员和决策者能够直观地查看和分析采空区的三维模型。这不仅有助于更好地理解采空区的地质特征，还能有效地进行风险评估和治理策略规划<sup>[3]</sup>。

此外，3D建模和可视化技术在时间维度上的应用同样重要。通过模拟采空区随时间的变化，如地表沉降或裂缝的扩展，可以预测未来的风险和影响，为及时干预和治理提供依据。并且，3D建模和可视化技术在提供直观理解的同时，也为更精确的工程规划和决策提供了支持。

## 4 采空区稳定性评估

### 4.1 地质结构对稳定性的影响

地质结构的复杂性、岩石的力学特性以及地层的布局和倾斜程度，都直接影响采空区的稳定性。例如，存在大量断层、节理或软弱岩层的地质条件可能增加采空区坍塌的风险。同样，不均匀的地层分布和不规则的岩层倾斜也可能导致应力分布不均，从而影响采空区的稳定性。因此，在评估采空区的稳定性时，深入分析地质结构的特点是必不可少的。

### 4.2 水文地质条件分析

地下水的存在和流动可以改变岩石的力学性质，特别是在含有可溶盐类或软弱岩石的地区。地下水的流动可能导致岩石溶解、侵蚀，甚至改变采空区周围的应力状态，这些都可能增加采空区发生坍塌或其他类型地质灾害的风险。因此，评估采空区稳定性时，考察地下水的分布、流向和质量是关键环节。

### 4.3 采空区稳定性的数值模拟

通过建立数学模型来模拟采空区及其周围岩石的力学行为，可以预测不同条件下的稳定性。这些模型通常基于岩石力学、流体力学和地质工程原理，能够模拟应力分布、岩石变形以及水文地质条件变化对采空区稳定性的影响。通过这些模拟，可以预测采空区在不同情况下的行为，识别潜在的危险区域，从而为采空区的管理和治理提供科学依据。

## 5 采空区的处理和治理

### 5.1 填充和封闭技术

填充和封闭技术是处理和治理采空区的常用方法之一。这些技术的目的是通过物理手段稳定采空区，减少地表沉降和环境影响的风险。填充技术涉及将固体物质（如沙子、粘土、矿渣或混凝土）注入采空区，以支撑地下空间并减少坍塌

风险。封闭技术则包括使用隔离材料（如混凝土板或合成材料）封闭采空区入口，以防止外部物质进入并保持区域稳定。这些技术不仅能增强地质结构的稳定性，还能减少水和空气的渗透，从而保护地下水免受污染。

### 5.2 采空区的再利用

采空区的再利用是一种创新的处理方法，它不仅解决了安全问题，还提供了额外的经济和社会价值。例如，采空区可以转化为地下储存设施，用于储存天然气、油或其他资源。这种应用在能源储备和资源管理方面具有重要意义。此外，采空区还可以开发为旅游景点，如地下博物馆或探险公园，为当地带来新的旅游资源和经济收入。这些再利用项目需要详细的规划和安全评估，以确保既符合经济目标，又保障了公众和环境的安全<sup>[4]</sup>。

### 5.3 生态恢复和环境保护措施

生态恢复和环境保护是采空区治理的重要方面，旨在修复由采矿活动引起的环境损害，并恢复生态系统的健康和多样性。这包括重新植被覆盖、改善土壤质量、恢复水体系统等措施。通过这些措施，不仅可以改善受损的自然景观，还可以提高生物多样性，促进生态平衡。此外，采空区周边地区的环境监测和保护措施也是至关重要的，包括监测地下水水质、空气质量和土壤条件，以确保环境安全和可持续发展。

## 6 结语

论文通过综合分析煤矿采空区的形成、特点以及对地表和环境的影响，提出了一系列地质勘查的方法和技术。通过对采空区稳定性的评估和处理策略的探讨，论文为采空区的有效管理和环境保护提供了科学依据。未来，随着技术的进步和环保意识的提高，采空区的治理将更加注重生态恢复和可持续发展，为煤矿地区的长期稳定和繁荣提供支撑。

### 参考文献

- [1] 苗春雨.煤矿采空区高速公路路基填筑施工技术[J].科学技术创新,2024(2):147-150.
- [2] 李金文,杨清云,韩桂武,等.采空区地表沉降监测对在役管道影响分析[J].石油工业技术监督,2023,39(12):5-8.
- [3] 孟树杰.煤矿采空区下薄煤层沿空留巷关键技术与应用分析[J].山西化工,2023,43(11):184-185+190.
- [4] 程超峰.小保当煤矿采空区“三带”危险区域研究[J].内蒙古煤炭经济,2023(22):54-56.