

采空区地球物理勘探技术方法

杨卫士

宁夏煤炭勘察工程有限公司 宁夏 银川 750000

摘要: 采空区地球物理勘探技术方法主要涵盖电法、重力法、地震勘探及地磁法等。这些非破坏性技术能精准评估采空区的地质结构、岩石性质、资源潜力和环境风险,为合理开发与治理提供科学依据。电法利用电流在地下传导特性;重力法根据地球重力场变化;地震勘探利用地震波在地下传播特征;地磁法则借助地球磁场变化。每种方法各具优缺点,适用于不同探测需求,为采空区的可持续发展提供技术支持。

关键词: 采空区;地球物理勘探;技术方法

引言:采空区地球物理勘探技术方法,在矿产资源开发后的空间监测与治理中占据核心地位。这些方法凭借非侵入性的优势,能够精准描绘地下空洞的结构特征,揭示其空间分布与潜在风险,为矿山安全、生态恢复及资源可持续利用提供科学依据。随着技术革新与融合,地球物理勘探在采空区领域的应用不断深化,不仅提升了探测精度与效率,还拓展了解决复杂地质问题的能力,为矿业绿色发展保驾护航。

1 采空区地质特征与地球物理特性

1.1 采空区类型及其形成机理

(1) 煤田采空区及小煤窑采空区的特征。采空区是矿产资源开采后留下的地下空洞区域,其类型多样,主要依据开采规模和方式划分。煤田采空区通常由大型煤矿机械化或半机械化开采形成,这些采空区面积大、深度深,可达几百米,对地表及上覆岩层的影响显著,常导致大面积的地表下沉、塌陷和裂缝。相比之下,小煤窑采空区则多由小型、私人煤矿无序开采造成,其特点包括地质资料精度低、开采情况复杂、开采深度较浅(多在50米以内)、采空巷道或顶底板支撑不足、预留煤柱狭窄或缺失,以及地表变形剧烈等。这些特征使得小煤窑采空区的探测和治理更加困难。(2) 采空区上方形成的“三带”。在煤层开采过程中,采空区上方会形成三个特征明显的区域,即冒落带、裂隙带和弯曲带。冒落带是采矿工作面放顶后引起的直接垮落破坏区,该带不仅透水而且透砂。裂隙带位于冒落带之上,是大量切层、离层和断裂或裂隙发育的区域,虽然不会透砂但能透水。弯曲带则是指裂隙带以上至地表的整个范围内岩体发生弯曲下沉的整体变形和沉降移动区,该带一般不具备导水能力。这三带的形成和发展对采空区的稳定性和探测工作具有重要影响。

1.2 采空区的地球物理特性

(1) 电阻率变化。采空区的电阻率变化是地球物理勘探中的重要参数之一。在煤层被采出后,短期内采空区会形成一定规模的充气空间且无填充,此时其电阻率较围岩高。然而,随着时间的推移,上覆岩层在重力作用下逐渐断裂、塌陷,地下水侵入采空区,导致其电阻率发生变化。对于充水采空区,由于地下水的流动性和电离作用,采空区呈现低电阻高极化特征;而未充水采空区则相对呈现高阻特征。通过对比区内地层的电性差异,可以寻找采空区的分布范围。(2) 波速、波阻抗等弹性波参数的变化。波速和波阻抗是反映岩石完整性和内部物理力学性质变化的重要指标。在采空区上方,由于岩体的垮落和裂隙发育,波速和波阻抗会发生变化。例如,在采空区上方,地震波的传播速度会减慢,波阻抗也会降低。这些变化为利用地震勘探等方法探测采空区提供了依据^[1]。(3) 其他地球物理参数的变化。除了电阻率和弹性波参数外,采空区还可能引起其他地球物理参数的变化。例如,放射性参数在采空区上方也会发生变化。由于采空区的形成破坏了岩体中原有的天然应力状态,导致应力重新分布,在裂隙周边易形成一个应力松动圈。这种应力变化会促使岩体内部的水分、气体等向低应力区转移,从而影响放射性元素的分布和运移。此外,电磁场参数在采空区上方也可能发生变化,这些变化为利用电磁法探测采空区提供了可能。

2 采空区地球物理勘探技术方法

2.1 地震勘探法

(1) 基本原理。地震勘探法是利用人工激发的地震波在地下不同介质中传播时发生的反射、折射等现象来探测地下地质结构的方法。通过在地表或井中激发地震波,然后观测和分析地震波的传播路径、速度、振幅和相位等参数,可以推断出地下岩层的分布、厚度和性质。(2) 地震波在采空区的传播特性。在采空区,由于

岩层的断裂、破碎和垮落，地震波的传播特性会发生显著变化。首先，采空区内部往往充满空气或水体，这些介质的声阻抗与周围岩石相差较大，导致地震波在采空区界面处发生强烈的反射和散射。其次，采空区上方的岩层因失去支撑而可能发生弯曲变形，形成所谓的“三带”结构，即冒落带、裂隙带和弯曲带。这些区域的岩石物理性质变化明显，也会影响地震波的传播速度和振幅。（3）三维地震数据处理与解释。三维地震勘探通过在地面布设密集的检波器阵列，并沿多个方向进行地震波激发和接收，从而获得地下三维空间内的地震数据。数据处理包括噪声压制、速度分析、偏移归位和属性提取等多个步骤，旨在提高地震图像的分辨率和信噪比。解释过程中，通过分析地震剖面上的反射波特征、同相轴形态和振幅变化等信息，可以识别出采空区的位置和形态^[2]。（4）实际应用案例与效果分析。某金属矿区在开采过程中发现多处不明采空区，威胁到矿区生产和人员安全。为准确掌握采空区的分布范围，该矿区采用了三维地震勘探技术进行探测。通过对采集到的地震数据进行精细处理和解释，成功揭示了矿区地下采空区的三维空间形态，为后续的开采规划和安全防范措施提供了重要依据。

2.2 高密度电阻率法

（1）基本原理与电极装置类型。高密度电阻率法是基于地下介质导电性差异进行勘探的一种地球物理方法。通过在地表布设密集的电极阵列，并测量不同电极组间的电阻率值，可以反映地下岩层的电性结构。电极装置类型多样，包括温纳装置、偶极装置、微分装置和施伦贝尔装置等，每种装置具有不同的探测深度和分辨率。（2）观测方式与数据处理。观测时，通常采用自动或半自动数据采集系统记录电极间的电位差和电流值，然后计算出电阻率值。数据处理包括数据预处理（如滤波、去噪等）、反演成像等步骤。反演过程中，通过选择合适的反演算法和参数设置，可以得到地下电阻率的三维分布图像。（3）技术特点与优势。高密度电阻率法具有点距小、数据采集密度大、信息丰富、解释方便等优点。与常规电阻率法相比，其勘探能力显著提高，能够更准确地反映地下岩层的电性结构和地质异常。（4）应用实例与效果评估。在某煤矿采空区的探测中，高密度电阻率法得到了成功应用。由于煤矿采空区内部往往填充了空气、水或松散煤矸石等导电性较差的物质，这些物质与周围完整岩层的电性差异明显。通过高密度电阻率法，研究人员在矿区地表布设了电极阵列，并进行了精细的数据采集和处理。结果显示，采空

区在电阻率分布图像上呈现为明显的低阻异常区，与周围高阻的完整岩层形成鲜明对比。这些低阻异常区的形态、规模和位置与已知的开采资料和地质调查结果相吻合，验证了高密度电阻率法在采空区探测中的准确性和有效性。此外，高密度电阻率法还适用于复杂地形和覆盖层较厚的地区。在一些地表条件恶劣、传统勘探方法难以实施的区域，高密度电阻率法凭借其灵活多变的电极装置类型和较高的分辨率，仍能够实现地下采空区的有效探测。

2.3 瞬变电磁法

（1）物理基础与勘探原理。瞬变电磁法（TEM）是一种利用电磁感应原理进行地球物理勘探的方法。该方法通过向地下发送一次电流脉冲，激发出一个瞬态电磁场，并观测和分析由该电磁场在地下介质中产生的二次场随时间变化的规律。由于不同介质的导电性和磁性差异，二次场的衰减特性和形态也会有所不同，从而可以推断出地下介质的性质和结构。（2）方法特点与探测深度。瞬变电磁法具有对低阻体敏感、探测深度大、分辨能力强等特点。通过调整发射电流的频率和强度，可以实现对不同深度地层的勘探。在采空区探测中，瞬变电磁法能够有效地识别出采空区内部的低阻异常体，如水体或松散煤矸石等^[3]。（3）数据采集与处理流程。数据采集时，通常使用专门的瞬变电磁仪在地面或井中发送和接收电磁信号。接收到的信号经过放大、滤波和数字化处理后，得到二次场的时间序列数据。处理过程中，通过时频转换、反演成像等技术手段，可以提取出地下电导率分布的信息。（4）在采空区探测中的应用效果。瞬变电磁法在采空区探测中表现出了良好的应用效果。在多个煤矿和金属矿区的实际应用中，瞬变电磁法成功揭示了采空区的位置和规模，并对采空区的充水情况进行了初步判断。该方法不仅提高了勘探的精度和效率，还为矿区的安全生产和环境治理提供了重要依据。

2.4 可控源音频大地电磁法（CSAMT）

（1）方法特点与工作原理。可控源音频大地电磁法（CSAMT）是一种利用人工可控频率的电磁场源进行勘探的方法。该方法通过在地表或井中布设发射源并发送一定频率的电磁波，然后在地表或井中观测由该电磁波在地下介质中产生的电场和磁场的变化情况。由于不同介质的电阻率和磁导率差异，电磁波在地下传播时会发生衰减、相位偏移等现象，通过分析这些变化，可以推断出地下地质结构的信息。（2）探测深度与横向分辨率。CSAMT方法的一个显著优势是其能够同时实现较大的探测深度和较高的横向分辨率。通过调节发射源的

频率,可以控制电磁波的穿透深度,从而实现对不同深度地质体的勘探。高频信号适用于浅部地层探测,而低频信号则能够穿透到更深的地层。此外,CSAMT方法还具有较好的横向分辨能力,能够清晰地揭示地下介质的横向变化特征。(3)数据处理与解释。CSAMT数据处理包括数据的预处理、反演成像等关键步骤。预处理主要是去除噪声和干扰信号,提高数据的信噪比。反演成像则是将观测到的电场和磁场数据转化为地下电阻率或电导率分布图像。这一过程中需要选择合适的反演算法和参数设置,以确保反演结果的准确性和可靠性。在解释阶段,需要综合考虑地质背景、物性参数等因素对反演结果的影响,进行科学合理的地质解释^[4]。(4)与其他方法的比较及应用场景。与其他地球物理勘探方法相比,CSAMT方法在探测深度和横向分辨率方面具有独特优势。特别是在覆盖层较厚、地形复杂或电磁干扰较大的地区,CSAMT方法能够克服传统方法的局限性,实现对地下地质结构的有效探测。在采空区探测中,CSAMT方法通常与地震勘探法、高密度电阻率法等方法联合使用,以提高勘探结果的准确性和全面性。通过综合分析各种勘探方法的数据和结果,可以更准确地揭示采空区的空间分布、规模和形态特征等信息。

2.5 高分辨反射系数法

(1)方法原理与数据采集方式。高分辨反射系数法是一种基于地震波反射原理的高精度勘探方法。该方法通过记录和分析地震波在地下岩层界面上的反射系数变化来推断地下地质结构。数据采集时,通常使用高精度的地震仪器在地面或井中激发和接收地震波信号。通过对反射波进行精细处理和分析,可以提取出反映地下岩层物性和结构特征的反射系数信息。(2)分辨率与解释精度。高分辨反射系数法的优势在于其高分辨率和高解

释精度。通过优化数据采集和处理流程,可以实现对地下岩层微小结构和物性变化的高精度探测。这种方法特别适用于电性差异较小但结构复杂的层段探测,能够揭示出地下岩层的精细结构和物性参数分布。(3)在电性差异较小层段的探测效果。在电性差异较小但结构复杂的层段中,传统方法往往难以区分岩层的细微变化。而高分辨反射系数法则能够通过分析反射波的时差、振幅和相位等参数变化来揭示岩层的精细结构。这种方法在油气勘探、地质构造分析等领域具有广泛的应用前景,也为采空区探测提供了一种新的技术手段。通过与其他勘探方法的联合应用,可以实现对采空区的全面、准确探测和评估。

结束语

采空区地球物理勘探技术方法,作为现代矿业安全与环保的重要手段,其发展与应用展现了人类对自然界的深刻洞察与精准干预。通过这些技术,我们能够透视地下的未知,评估风险,确保安全,同时为矿区的生态修复与资源再利用铺平道路。展望未来,随着技术的不断创新与融合,采空区地球物理勘探必将迎来更加广阔的发展空间,为实现矿业可持续发展与环境和谐共存贡献力量。

参考文献

- [1]赵学明.采空区地球物理勘探技术及应用[J].物探与化探,2019,(04):36-37.
- [2]董建华.基于地球物理方法的采空区水文地质勘测[J].环境地质学报,2019,(03):32-33.
- [3]陈继鹏.采空区地震地质勘探技术与应用[J].地震工程与工程振动,2020,(12):108-109.
- [4]姜兴龙.采空区地球物理勘探技术在矿山水资源勘查中的应用[J].环境科学与管理,2021,(09):105-106.