

地球物理勘查技术在探测煤矿采空区中的运用

武鹏飞

安徽省煤田地质局物探测量队

DOI:10.12238/ems.v6i9.8956

[摘要] 煤炭作为我国不可或缺的能源基石，其开采与勘查工作的强化，是提升煤矿产量、保障安全采煤的关键。尤为重要的是，煤矿采空区的精细勘查，直接关系到周边地质环境的稳定性与安全。随着科技的飞速发展，采空区勘查技术日益多元化，其中地球物理勘查技术以其独特的优势，在提升采空区探测精度与效率上发挥着显著作用。本文聚焦于地球物理勘查技术在煤矿采空区探测中的创新应用，深入剖析其原理与应用，以期为行业安全发展提供有力支持。

[关键词] 地球物理；勘查技术；煤炭；采空区

Application of geophysical exploration technology in detecting goaf in coal mines

Wu Pengfei

Geophysical Survey Team of Anhui Coalfield Geological Bureau

[Abstract] As an indispensable energy cornerstone in China, the strengthening of coal mining and exploration work is the key to increasing coal mine production and ensuring safe coal mining. Of particular importance is the meticulous exploration of coal mine goaf, which directly affects the stability and safety of the surrounding geological environment. With the rapid development of technology, the exploration technology of goaf is becoming increasingly diversified, among which geophysical exploration technology plays a significant role in improving the accuracy and efficiency of goaf detection with its unique advantages. This article focuses on the innovative application of geophysical exploration technology in the detection of coal mine goaf, and deeply analyzes its principles and applications, in order to provide strong support for the safe development of the industry.

[Keywords] Geophysics; Exploration technology; Coal; Goaf

前言：

煤炭作为推动社会经济发展的关键能源支柱，在我国能源消费结构中占据举足轻重的地位，是支撑工业化进程不可或缺的力量。然而，长期的煤炭开采活动，尤其是在我国煤炭资源富集的省份如山西省，其广泛的煤炭分布与相对浅表的矿藏特点，加之部分小型矿井的无序开采与过度开采，遗留下了大规模的地下采空区。这些采空区不仅破坏了地质结构的稳定性，还严重威胁到周边自然环境的生态平衡及居民的居住安全，成为亟待解决的社会问题和安全隐患。因此，深化对各类物探技术的探索与应用，通过高精度、高效率的勘查手段，精确掌握矿区地下采空区的具体分布、精确位置及影响范围，成为当务之急。同时，需制定并实施针对性的治理与修复方案，有效消除采空区带来的安全隐患，确保区

域经济的可持续发展与人民生命财产的安全。

一、地球物理勘查技术概述

地球物理勘查作为地质科学领域的重要技术手段，不仅深入探索地球本体及其近地空间物质的内在奥秘，还致力于揭示这些物质在组成、形成及演化过程中的复杂规律。它广泛涉及岩石物理性质的精确测量，如力度、密度、弹性模量等关键参数，为地质学家提供了丰富的地下信息。电法勘探通过测量地下岩层的电阻率差异来描绘地质构造；重力勘探则利用地球重力场的变化，揭示地下密度分布不均的情况；而地震勘探，作为最具代表性的方法之一，通过人工激发地震波并观测其在地下的传播与反射，能够精确成像地下岩层结构，为勘探、矿产资源寻找及地质灾害预警提供重要依据。^[1]

在实际应用中，地球物理勘查技术依托于高精尖的专业

仪器设备,针对特定勘探区域构建物理模型,进行正演模拟与反演分析,以获取准确的地质信息。然而,自然界的地质条件千变万化,不同区域间的重力、电磁场特征差异显著,为勘查工作带来了巨大挑战。尤其是在煤矿采空区等复杂地质环境中,地球物理勘查凭借其无损探测的优势,能够有效识别采空区范围及稳定性,为煤矿安全生产提供有力保障。

然而,值得注意的是,尽管地球物理勘查技术具备诸多优势,但其结果仍可能受到多种外界因素的干扰,如地下水流、地层非均质性等,导致数据解释存在不确定性或多解性。因此,专业技术人员需具备深厚的地质学基础与丰富的实践经验,能够灵活运用多种验证方法与应对策略,对勘查数据进行精细处理与科学解释,以确保勘探成果的高准确性与可靠性。^[2]

二、地球物理勘查主要进展

地球物理勘查技术自20世纪中叶以来,经历了前所未有的飞跃式发展。40年代,中国紧跟国际步伐,组建专业的重力测量与磁法勘探队伍,采用当时国际先进的仪器设备,为地质勘探事业奠定了坚实基础。50年代,随着光点地震仪的引入,勘探活动逐渐向东部地区转移,并成功发现了举世闻名的大庆油田,标志着中国勘探进入了一个崭新的时代。

进入60年代,模拟磁带记录技术的兴起,极大地提升了地震数据的采集与处理能力,为油田的进一步发现与开发提供了强有力的技术支持。70年代,数字地震技术的诞生与巨型计算机的结合,更是将地震数据处理的精度与效率推向了新的高度,为复杂地质构造的解析提供了可能。

80年代初,人机联作系统的引入,极大地加速了地震数据的解释进程,实现了人机互动的智能化发展,使得地震解释工作更加高效、准确。而到了90年代,随着计算机系统的全面更新换代,高性能工作站的引入,以及高分辨率三维地震、时间推移地震、三维偏移成像等核心技术的不断突破,中国勘探领域迎来了前所未有的繁荣景象。国内自主研发的Grisys、Gristation等系统相继崛起,不仅满足了国内勘探的迫切需求,更在国际舞台上展现了中国地球物理勘查技术的强大实力。

三、地球物理勘查技术在煤矿采空区的应用

(一) 声波速度测量技术的应用

声波速度探测技术,作为地球物理勘查领域的璀璨明珠,其在煤矿采空区探测中的应用尤为关键。这项技术不仅极大地提升了探测的精准度与效率,还为深入理解地下岩层的物理特性及地质结构提供了强有力的支持。在煤矿开采活动中,准确探测采空区的分布与规模,对于预防地表塌陷、保障矿工安全及合理规划开采布局具有不可估量的价值。

在实际应用中,声波速度探测技术依托于先进的声波仪系统,通过精密布置声波发射与接收装置,确保声波能够按

预设路径准确发射并穿透岩层。这一过程中,耦合液的巧妙应用有效减少了声波在孔壁上的能量损失,保证了信号的质量与强度。当声波遇到不同密度的岩层或采空区时,会发生复杂的透射、折射与反射现象,尤其是滑行波的形成,为提供了分析岩层内部结构的重要线索。

尤为重要的是,声波在岩层中的传播速度不仅反映了岩体的物理状态,还与岩体的应力状况紧密相关。例如,当岩体处于较高的应力水平时,声波的传播速度会相应增加,反之,若岩体遭受破坏或存在采空区,声波速度则会显著降低。这一特性使能够通过分析声波传播速度的变化,间接评估岩体的稳定性及采空区的存在情况。

此外,声波速度与岩体弹性模量、单轴压力及单轴抗压强度等参数的内在联系,也为深入理解岩体性质提供了宝贵的数据支持。例如,纵波的传播速度可以揭示岩体的压缩性,而声波速度随单轴压力的变化规律,则能帮助判断岩体的承载能力。结合这些参数的综合分析,能够更加全面地描绘出煤矿采空区的空间形态与物理状态,为后续的开采与治理工作提供科学依据。

(二) 高密度电阻率测量技术的应用

高密度电法探测技术,作为现代地球物理勘探领域的一项重要创新,其基本原理虽根植于传统电阻率法,但在实际应用中展现出了前所未有的优势与灵活性。该技术通过大幅增加测点密度,实现了对地质体更为精细的电性参数测量。在煤矿采空区探测中,高密度电法凭借其独特的优势,成为了提升勘探精度与效率的关键工具。具体而言,高密度电法探测在煤矿采空区的应用,不仅限于简单的电阻率测量,更在于其能够构建出复杂地质结构的电性图像。通过一次性布置大量电极,并借助先进的自动化数据采集系统,该技术能够迅速收集到海量的电性数据,进而通过复杂的反演算法,还原出地下采空区的三维形态、规模及分布特征。这一过程极大地缩短了勘探周期,降低了人力成本,同时提高了探测结果的准确性和可靠性。

例如,在某市陶瓷产业聚集区的勘查实践中,高密度电法探测技术展现出了卓越的性能。该地区由于长期开采活动,地下形成了众多复杂的采空区,对地面建筑及生产安全构成了严重威胁。通过高密度电法探测,成功识别并定位了多处潜在的采空区,为后续的治理与规划提供了详实的数据支持。此外,该技术还帮助评估了采空区的稳定性,为陶瓷产业的可持续发展奠定了坚实的基础。值得一提的是,高密度电法探测技术在应用过程中,还充分结合了现代信息处理与智能分析技术,实现了数据的实时处理与可视化展示。这不仅提高了勘探工作的智能化水平,还使得勘探成果更加直观易懂,便于决策者快速做出科学判断。

(三) 多道瞬态面波技术的应用

多道瞬态面波法探测技术, 作为现代地球物理勘探领域的技术, 其重要性不言而喻。该技术不仅融合了声波速度与高密度电法的精髓, 更在煤矿采空区的精确探测中展现出无可替代的优势。其核心在于对瑞雷波的深入分析, 这种特殊类型的面波, 通过其独特的传播特性, 成为了多道瞬态面波分析中的关键研究对象。在实际应用中, 该技术通过调整探测频率, 能够灵活穿透不同深度的地层, 直击煤矿采空区的核心区域。面波探测所生成的曲线, 通常呈现为连续且完整的形态, 然而, 一旦遭遇采空区, 这些曲线在低速度段便会出现显著的转折现象, 这一特征成为了识别采空区的重要标志。同时, 采空区的存在还会延长面波的周期, 为进一步的地质分析提供了宝贵的数据支持。为了进一步提升探测精度与全面性, 多道瞬态面波法常与声波速度探测法相结合, 两者相辅相成, 能够实现对采空区更为精细化的分析与判断。此外, 当与高密度电法联合使用时, 该技术还能有效揭示采空区的富水状况, 为煤矿安全生产及地下水资源的合理开发提供科学依据。^[3]

四、地球物理探测技术在煤矿采空区应用的未来趋势

(一) 多传感器数据融合

在煤矿采空区探测的未来发展蓝图中, 多传感器融合技术无疑将扮演核心角色, 引领行业迈向更加精准、高效与安全的新阶段。这项技术不仅局限于传统地震、电磁、地电、地磁及重力传感器的综合运用, 更将广泛吸纳摄像头、激光扫描仪、声纳乃至高精度气象传感器等多元化数据采集手段, 构建起一个全方位、立体化的信息感知网络。通过这些传感器协同工作, 矿山企业能够获取到更为丰富、详尽且多维度的采空区数据, 为决策制定提供坚实的数据支撑。

在数据整合与模型建立层面, 随着计算能力的飞跃与算法的不断优化, 未来的多传感器融合系统将实现更高层次的数据融合与解析。这意味着, 不同来源、不同格式的数据能够被无缝整合, 通过高级算法提炼出关键信息, 并据此构建出更加精细、逼真的地下三维模型。这些模型不仅能够精准反映地质结构的复杂细节, 还能动态模拟采空区的演变过程, 为矿山规划、安全生产及灾害预防提供科学依据。进一步地, 多传感器融合技术还将赋能实时监测与预警系统, 使之具备更强的前瞻性和响应速度。通过实时分析传感器数据, 系统能够即时捕捉到地下环境的变化迹象, 如微弱的地震前兆、水位异常波动或地质应力变化等, 从而提前发出预警信号。这不仅有助于矿山企业迅速采取应对措施, 降低灾害发生的风险和损失, 还能在保障人员安全的同时, 优化生产效率, 推动煤矿行业的可持续发展。^[4]

(二) 高分辨率成像技术的发展

随着科技的飞速发展, 高分辨率成像技术在煤矿采空区探测领域的应用日益广泛且深入, 其在未来几年内不仅将持

续受到行业的高度重视, 更将迎来一系列的技术革新与性能提升。地震成像技术作为其中的佼佼者, 正逐步向更高精度迈进。通过引入更高频率的地震源, 能够激发更为精细的地震波信号, 而配合更敏感的接收器, 则能捕捉到这些微弱但富含信息的波动, 从而显著提升地下结构的成像分辨率。此外, 结合先进的反演算法与数值模拟技术, 能够更加精准地还原地下复杂的地质构造, 为煤矿采空区的精确探测提供坚实的技术支撑。

电磁成像技术同样展现出巨大的发展潜力。该技术利用电磁场在地下介质中的传播与变化特性, 实现对地下物质分布的探测。未来, 随着高频电磁场源及高灵敏度接收器的研发与应用, 电磁成像的分辨率将得到质的飞跃。同时, 针对复杂多变的地质条件, 科研人员将不断优化电磁建模与反演方法, 确保在复杂环境下也能获得准确可靠的探测结果。

更为引人注目的是多模态成像技术的兴起。这一技术通过整合地震成像、电磁成像等多种成像手段, 实现了对地下地质信息的全方位、多角度获取。例如, 将地震成像的速度信息与电磁成像的电导率信息相结合, 能够构建出更为立体、详尽的地下结构模型, 为煤矿采空区的识别与评估提供前所未有的精度与深度。这种多模态融合的策略, 不仅提升了探测效率, 更增强了探测结果的可靠性与实用性, 为煤矿安全生产与资源高效利用提供了强有力的技术保障。^[5]

结语

综上所述, 地球物理勘查技术在煤矿采空区探测领域的应用展现出了其不可替代的现实价值与深远意义。面对复杂多变的地形地质条件, 该技术不仅能够精准穿透覆盖层, 深入探测到采空区的具体形态、规模及空间分布, 有效弥补了传统勘测手段在探测深度、分辨率及环境适应性方面的不足。通过获取更高质量、更为详尽的采空区地质信息, 该技术为煤矿企业的安全高效开采提供了科学决策支持, 同时也为环境保护策略的制定、周边建筑物安全性的评估以及采空区地质灾害的预警与防治工作奠定了坚实基础, 促进了煤炭开采与生态环境保护的和谐共生。

[参考文献]

- [1]陈强强, 雷薪雍, 黄相岩, 陈拓其, 王金东. 基于地球物理勘查技术的煤矿采空区探测研究[J]. 煤炭技术, 2024, 43 (04): 95-101
- [2]杨华荣. 地球物理勘查技术在探测煤矿采空区中的运用[J]. 内蒙古煤炭经济, 2024, (02): 184-186.
- [3]刘帅飞. 物探技术在煤矿地质探测中的应用研究[J]. 山西冶金, 2022, 45 (07): 186-187.
- [4]郑亚迪, 殷伟伟, 李峰, 丁学文, 赵向佳, 霍魁, 任力伟. 微动探测在煤矿断层勘查中的应用[J]. 山西地震, 2022, (03): 47-51.