

Application of Transient Electromagnetic Method in Detecting Goaf in Coal Mine

Jingwei Wang Yongtao Hu

Kuqa Kexin Coal Industry Co., Ltd., Kuqa, Xinjiang, 842000, China

Abstract

Coal mine goaf refers to the hollow area left behind during the coal mining process, which has strong concealment and poor spatial distribution regularity, bringing huge hidden dangers to coal mine safety production. Accurately detecting the location and scope of goaf is of great significance for preventing catastrophic accidents such as coal dust spontaneous combustion, underground water inrush, and ground collapse. Traditional detection methods have problems such as low efficiency and low accuracy, while transient electromagnetic law has become the preferred method for detecting coal mine goaf due to its high construction efficiency and sensitivity to low resistance geological bodies. The paper aims to explore the application strategy of transient electromagnetic method in detecting coal mine goaf, such as selecting appropriate devices, data acquisition, data processing, etc., in order to provide technical support for coal mine safety production.

Keywords

coal mine; transient electromagnetic method; goaf

瞬变电磁法在探测煤矿采空区中的应用

王经纬 胡永涛

库车市科兴煤炭实业有限责任公司，中国·新疆 库车 842000

摘 要

煤矿采空区是指煤矿开采过程中留下的空洞区域，其潜伏性强、空间分布规律性差，给煤矿安全生产带来了巨大隐患，准确探测采空区的位置和范围对于预防煤尘自燃、井下突水和地面塌陷等灾害性事故具有重要意义，传统的探测方法存在效率低、精度不高等问题，而瞬变电磁法则因其施工效率高、对低阻地质体反应灵敏等优点，成为当前探测煤矿采空区的首选方法。论文旨在探讨瞬变电磁法在探测煤矿采空区中的应用策略，如选择合适的装置、数据采集、数据处理等，以期煤矿安全生产提供技术支持。

关键词

煤矿；瞬变电磁法；采空区

1 引言

瞬变电磁法是一种高效的地球物理勘探技术，特别适用于探测煤矿采空区及其富水性。在具体的应用中，应选择合适的装置，根据探测目标的深度和地质条件选择合适的发射电流大小，同时合理设置采样时间间隔，确保能够准确记录瞬变电磁场的变化。此外，瞬变电磁法应用中还应对采集到的瞬变电磁数据进行预处理，包括去除噪声、校正误差等，采用数值反演方法，将采集到的瞬变电磁数据转换为地下介质的电性分布图像，根据反演结果识别出采空区的电性异常特征，准确探测出地下采空区的分布情况。

2 应用案例

中国山西省孟县某矿，在探测煤矿采空区中企业采取了瞬变电磁法，成功圈定了多个采空区及其富水情况，通过综合分析视电阻率断面图和顺层切片平面图，判断了 9 号和 15 号煤层的采空区分布规律和范围，以下是具体的应用要点。

3 瞬变电磁法在探测煤矿采空区中的应用策略

3.1 选择合适的装置

瞬变电磁法是一种利用电磁感应原理探测地下地质体介质电阻率的方法，在该方法的应用中需要高精度的设备来确保数据的可靠性，因此企业应基于实际情况选择合适的装置，充分考虑发射线框边长、发射频率、发射电流等因素，其中发射线框边长直接影响瞬变电磁法的勘探深度，一般来说，发射线框边长越大，探测深度越深，在选择发射线框边

【作者简介】王经纬（1995-），男，中国河南洛阳人，本科，助理工程师，从事长距离物探、长距离精准钻探研究。

长时,应综合考虑勘探深度要求和工作效率,通常发射线圈边长应为勘探深度的1~1.5倍,同时发射频率的选择也会影响瞬变电磁法的分辨率和勘探深度,较高的发射频率可以提高浅层分辨率,而较低的发射频率则有助于增加勘探深度,企业应根据实际需求选择多个发射频率进行探测,以获取不同深度层次的信息,如可以在时间轴上观测多个门或在不同量级上观测,以解决勘探深度和浅层分辨率之间的矛盾。此外,发射电流的大小直接影响到瞬变电磁法的信噪比和激励磁场的强度,较大的发射电流可以产生更强的激励磁场,从而提高信噪比,有利于探测低阻地质体,企业在选择发射电流时,应考虑到设备的供电能力和地层的导电性,一般来说,发射电流应足够大,以确保能够产生足够的激励磁场,但同时也要避免过大的电流导致设备过载或损坏。瞬变电磁法的接收装置通常分为分离回线、中心回线和重叠回线三种类型,中心回线装置适用于探测较深的地层结构,其信号覆盖范围广,能够穿透更深的地层,这种装置适合于大范围的勘探工作,但会受到地表不均匀性的影响;重叠回线装置提供更详细的近地表信息,适合探测浅层结构,能够减少地表不均匀性对测量结果的影响,但探测深度相对较浅;分离回线装置适合于特定方向上的探测,可以更好地分辨地下结构的横向变化,这种装置适合于需要精确定位特定方向上地质结构的情况,因此企业应掌握这三种装置的特点进行选择,并保证接收装置具有良好的抗干扰能力,进而减少外界电磁场或其他人文电磁场对测量结果的影响。企业在选择装置时,还需要考虑测区的地形条件,对于地形起伏较大的地区,可能需要采用特殊设计的装置或调整装置参数以适应地形变化,除了技术因素外还应考虑装置的成本和工作效率,综合考虑其性价比和使用效率,以确保在满足探测需求的同时降低施工成本并提高工作效率^[1]。

3.2 数据采集

瞬变电磁法应用在煤矿采空区探测中,为了获得施工中所需要的一些待定参数,使生产更加合理有效,施工前选择测区内具有代表性的地段进行一定量的试验工作,此次物探工作的主要任务是查清测区内的9号和15号煤层的采空区及其富水情况,根据地质资料和地形情况,在该矿C1线1380~1440号点进行了瞬变电磁法试验,因该测线地形起伏相对较小,试验效果较理想。发射线圈边长会直接影响勘探深度,在其他参数相同的情况下,发射线圈的边长越大探测深度越深,从常规生产经验上判断,其探测深度大约是发射线圈边长的1~1.5倍,通常在满足勘探深度的前提下选择合适的线圈,进而提高工作效率,最终综合分析确定:发射线圈大小选为300×320m,发射频率25Hz,发射电流9A。企业在数据采集过程中应根据勘探目标和地形条件,制定详细的测量计划,包括测线布置、测量点间隔等,确保测量计划能够全面覆盖勘探区域,避免遗漏重要信息。企业应根据测区的地形和已知的采空区分布情况,合理布置测线,测线的

间距应适中,既要保证数据的连续性,又要避免不必要的重复测量,在测量过程中,使用发射线圈发送脉冲磁场,并通过接收线圈观测二次场的变化,记录每个测点的视电阻率值,掌握反映地下介质电性特征的重要参数。企业应从测区采集的大量数据里分别筛选出每条测线的数据,绘制出各条测线的视电阻率断面图,在此基础上,绘制出各类综合性图件,依据各测点曲线及测线视电阻率断面图,对测区内存在的异常区域进行断面解释。企业对目的层的顺层视电阻率切片图进行分析,主要看异常区的分布是否符合地质规律,根据视电阻率断面图、顺层切片平面图,与地质资料进行比较,判断采空区的分布规律和分布范围,从而绘制出目的层的采空区分布图,并由已知到未知、由点到面、由简单到复杂、由局部到全局,根据地质规律,并结合钻探资料和地质资料,分析判断出地质断面和物性断面之间的内在关系^[2-4]。

3.3 数据处理

在煤矿采空区的探测中,瞬变电磁法具有高分辨率、对低阻地质体反应灵敏等特点,在进行正式的数据分析之前,企业应对采集到的数据进行预处理,包括去除噪声、校正仪器漂移和误差等,噪声去除中采用高通或低通滤波器对原始数据进行滤波处理,以消除高频或低频噪声,可以使用巴特沃斯滤波器来平滑数据,提高数据的信噪比;可以利用时域门控技术抑制早期和晚期的强电磁干扰,保留中期有用的信号,这种方法可以有效减少由于环境因素引起的电磁干扰,提高数据的准确性;对于高压线等强电磁干扰源的影响,应采取相应的措施进行屏蔽或滤波处理,以提高数据的质量。数据校正中可以采用几何校正的方法,对采集的数据进行几何校正,确保数据的空间位置准确无误,包括对测点的坐标进行修正,以及对测量过程中产生的偏差进行调整,而且还可以采用仪器校正,检查并调整仪器的参数设置,确保其工作状态稳定可靠,对发射线圈和接收线圈的校准,以及对数据采集系统的检查和维护。瞬变电磁法的核心是计算地下介质的视电阻率,是反映地下介质电性特征的重要参数,它与地下介质的电阻率分布有关,相关人员应根据采集到的数据,利用相关的算法计算出每个测点的视电阻率值,并绘制出各条测线的视电阻率断面图,在视电阻率断面图的基础上,对存在的异常区域进行识别和解释,异常通常表现为视电阻率的显著变化或异常分布。此外,还应结合地质资料和已知的采空区信息,对异常区域进行定性分析,判断其是否为采空区或含水体等。企业应根据地质情况建立合适的二维或三维模型,需要考虑地下介质的分布情况以及可能存在的异常体等因素,应用反演算法(如有限元法、有限差分法等)对模型进行求解,模拟地下介质的电性结构,从而推断出采空区的分布情况,并结合地质资料和其他物探方法的结果对反演结果进行解释,确定采空区的位置和范围。数据处理后,企业应编制详细的数据处理报告,包括数据处理步骤、结果分析等内容,报告中应详细记录数据处理过程中的每一个步

骤及其对应的结果,以便后续审查和参考,此外还应在报告中插入相关的图表和图像,增强报告的可读性和说服力,直观地展示数据处理的结果,帮助解释人员更好地理解地下介质的分布情况。瞬变电磁采空区探测电阻率等值线图如图1所示。



图1 瞬变电磁采空区探测电阻率等值线图

3.4 现场验证与调整

现场验证中,企业应合理选择验证方法,可以通过地面钻探或井下钻探,直接获取煤层及采空区的地质信息,可以利用直流激电测深、活性炭测氡等其他地球物理勘探方法,对瞬变电磁法探测结果进行交叉验证,在具体的验证中应在瞬变电磁法探测结果中选取异常区域作为验证点,在验证点进行钻探作业,获取岩芯样品和地下水样本,分析岩芯样品的矿物成分、结构和构造特征,以及地下水样本的化学成分和物理性质,此外对比瞬变电磁法探测结果与钻探结果,评估探测的准确性和可靠性。验证标准包括高阻电性异常区域应与采空区分布相符,低阻电性异常区域应与含水水体分布相符,同时钻探结果应能够证实瞬变电磁法探测的采空区位置、范围和富水性。企业应根据现场验证结果,调整

瞬变电磁法的发射电流、发射频率等参数,以提高探测精度和分辨率,同时优化接收线圈的配置和观测时间窗口,以适应不同深度和电阻率的探测需求,在方法改进中可以结合其他地球物理勘探方法的优点,如地震波探测、重力勘探等,形成多方法联合探测体系,提高探测结果的可靠性,并引入先进的数据处理算法和技术,如深度学习、机器学习等,对瞬变电磁法数据进行更深入的解释。施工调整中应根据现场地形和地质条件的变化,及时调整测线布置和测量方式,确保探测工作的顺利进行,并加强施工现场的安全管理和质量控制,确保数据采集的准确性和完整性,根据探测难度和重要性的不同,合理分配人力物力资源,确保重点区域得到充分探测,确保探测结果的真实性和可靠性。

4 结语

综上所述,瞬变电磁法通过向地下发射一次脉冲磁场,在一次脉冲磁场间歇期间利用线圈或接地电极观测地下介质中引起的二次感应涡流场,从而探测介质电阻率的一种方法,在探测煤矿采空区中展现出了巨大的潜力和应用价值,通过合理的设备选择、参数设定以及数据处理流程,可以准确探测出采空区的位置和范围,并评估其富水情况。为了进一步提高探测精度和可靠性,企业在未来的研究中结合其他地球物理勘探方法进行联合验证,并不断优化数据处理算法和技术手段。此外,还应加强现场验证工作,确保探测结果的真实性和有效性。

参考文献

- [1] 吴俊林.瞬变电磁法和高密度电法在煤矿采空区勘查中的综合应用[J].科学技术创新,2024(11):64-67.
- [2] 谢孔金,谢一鸣,钟欣,等.瞬变电磁法在煤矿采空区勘察中的应用[J].地下水,2024,46(1):148-150.
- [3] 李菊红,孙彦良,娄佰信.瞬变电磁法在某场地煤矿采空区调查中的应用[J].世界核地质科学,2023,40(2):376-387.
- [4] 王蒙,赵志营,邢永.瞬变电磁法在煤矿采空区积水探测中的应用[J].能源与环保,2023,45(3):45-49.