

井下摄像与测井技术融合

——在煤田采空区判断中的应用与研究

赵岩

山西省煤炭地质一四八勘查院有限公司

DOI:10.12238/gmsm.v8i1.2134

[摘要] 煤炭作为我国重要的基础能源,在经济发展中占据着举足轻重的地位。长期大规模的煤炭开采,不可避免地形成了大量的煤田采空区。这些采空区不仅对煤矿后续生产安全构成严重威胁,还对周边生态环境造成了诸多负面影响。本研究旨在深入探究井下摄像辅助测井在判断煤田采空区中的应用,通过融合井下摄像技术与测井技术,突破传统方法的局限,实现对煤田采空区更精准、全面的探测与分析,为煤矿安全生产和采空区治理提供坚实可靠的技术支撑。

[关键词] 煤田测井; 井下摄像; 采空区

中图分类号: P641.4+61 **文献标识码:** A

Integration of Underground Camera and Logging Technology

—Application and Research in the Judgment of Coalfield Goaf Areas

Yan Zhao

Shanxi Province Coal Geology 148 Exploration Institute Co., Ltd.

[Abstract] Coal, as an important basic energy source in China, plays a crucial role in economic development. Long-term large-scale coal mining has inevitably formed a large number of coalfield goaf areas. These goaf areas not only pose a serious threat to the safety of subsequent coal mine production but also have many negative impacts on the surrounding ecological environment. This study aims to deeply explore the application of underground camera-assisted logging in the judgment of coalfield goaf areas. By integrating underground camera technology with logging technology, it aims to break through the limitations of traditional methods and achieve more accurate and comprehensive detection and analysis of coalfield goaf areas, providing solid and reliable technical support for coal mine safety production and goaf area management.

[Key words] Coalfield Logging; Underground Camera; Goaf Area

引言

在煤矿生产安全中,采空区的存在使得顶板坍塌、瓦斯积聚等事故风险大幅增加。顶板失去煤层支撑后,在重力及地应力作用下,极易发生坍塌,掩埋井下作业人员和设备。而采空区内瓦斯等有害气体的积聚,一旦遇到火源,就可能引发爆炸,造成重大人员伤亡和财产损失。从生态环境角度来看,采空区会导致地下水资源的破坏。同时,地表沉陷还可能引发水土流失、土地沙化等问题,破坏植被生长,导致生物多样性减少。

本文将井下摄像与测井技术结合应用研究:一方面,利用井下摄像获取的直观图像信息,对测井数据进行定性验证和解释,帮助识别测井曲线中的异常特征与采空区的对应关系。另一方面,借助测井数据的定量分析结果,对摄像图像进行定量描述和

分析,如利用测井得到的地层厚度、岩性等信息,辅助解释摄像图像中采空区的规模和结构。通过两者的相互补充和验证,构建更完善的煤田采空区判断体系。

1 测井技术在煤田采空区判断中的作用

1.1 常规测井方法原理

1.1.1 自然伽马测井:自然伽马测井是在井中测量岩层中自然存在的放射性核素在衰变过程中放射出来的伽马射线的强度,以此来研究地质问题。岩石通常含有不同数量的放射性元素,并持续放射射线。通过自然伽马测井曲线,能够依据不同地层的自然放射性差异,划分钻孔的地质剖面,确定砂泥岩剖面中砂岩的泥质含量,并定性判断岩层的渗透性。

1.1.2 电阻率测井:电阻率测井通过供电电路将强度电流供

入电极,在地下介质中形成稳定的电流场,利用电位差计测量电极之间的电位差,进而求取地层的电阻率值。其原理基于不同岩性的地层具有不同的电阻率,当电流通过地层时,会因地层电阻率的差异产生不同的电位分布,从而通过测量电位差来反映地层电阻率的变化。

1.1.3 声波测井:声波测井是利用声波在不同地层中的传播特性来获取地层信息。其原理是,井下仪器发射声波,声波在穿过地层时,由于不同地层的弹性性质不同,声波的传播速度、幅度和频率等参数会发生变化。通过分析这些参数,可判断地层的岩性、孔隙度以及裂缝发育情况等。^[1-2]

1.2 测井数据解释与采空区判断

1.2.1 曲线特征变化:在人工伽马测井曲线上,采空区可能表现为计数率的高值异常或低值异常。高值异常表现为曲线出现明显的峰值,低值异常则表现为曲线出现低谷。异常的幅度和形态与采空区的大小、充填物性质等因素有关。

电阻率测井曲线对于采空区的判断也具有重要意义。不同的地质体具有不同的导电性,从而表现出不同的电阻率。在采空区未充水的情况下,由于采空区为空洞,电阻率通常表现为极高值,与周围正常地层的电阻率形成鲜明对比,在电阻率测井曲线上呈现出明显的高阻异常;当采空区充水时,由于水的导电性,采空区的电阻率会降低,在曲线上表现为低阻异常。此外,若采空区周围存在破碎带,岩石的破碎会导致电阻率的变化,也会在曲线上有所体现。

声波测井曲线在采空区的表现也较为明显。当采空区顶板垮落或岩体破碎时,声波在其中传播的速度会降低,声波时差增大,同时声波能量衰减加剧,声幅降低。通过分析声波时差和声幅的变化,可以判断采空区的存在以及顶板的完整性。

2 井下摄像技术原理与设备

2.1 井下摄像技术原理

井下摄像技术的核心是井下电视成像仪,其光学成像原理基于光的传播与转换。当仪器被下放到井下时,光学镜头会捕捉来自井壁、采空区内部物体等反射或散射的光线。这些光线在镜头的作用下,被聚焦到图像传感器上。图像传感器是成像仪的关键部件,常见的有电荷耦合器件(CCD)和互补金属氧化物半导体(CMOS)传感器。

传输电缆不仅要具备良好的导电性,还能满足井下恶劣环境的要求,如防水、耐压、抗拉等。在地面接收装置中,数字信号经过进一步的解码和处理,最终在显示器上显示出清晰的井下图像。操作人员可以通过显示器实时观察井下的情况,如井壁的完整性、裂缝的分布、采空区的空洞形态等。^[1]

2.2 井下摄像设备类型与特点

全景式井下电视成像仪是一种具备独特观测能力的设备,其探头可实现圆周旋转360°以及俯仰旋转180°。这一特性赋予了它全方位的观测视角,能够全方位的捕捉孔内情况。

双摄像机井下电视成像仪配备了两个摄像机,通常一个摄像机用于前视,另一个用于侧视。这种独特的设计使其能够提供

更为全面的井下视角。前视摄像机,可以清晰地观测到设备下放方向的前方情况,包括井壁的平整度、前方是否存在障碍物等。侧视摄像机则主要负责观测井壁的侧面情况,能够弥补前视摄像机视角的局限性。这种全面的视角有助于提高对煤田采空区判断的准确性,为制定合理的开采方案和采空区治理措施提供了更丰富、可靠的信息。

2.3 井下摄像在煤田采空区探测中的应用优势

井下摄像技术最大的优势是能够直观地展示井下情况。在煤田采空区探测中,通过井下摄像设备,操作人员可以直接获取采空区内部的图像信息,这些图像如同井下的“现场照片”,将采空区的真实状况清晰地呈现在眼前。^[3-5]

3 基于融合数据的采空区判断准则

基于融合数据建立采空区判断准则时,需要综合考虑测井数据的异常变化和井下摄像图像的直观特征。在测井数据方面,当采空区充填物为密度较小、对伽马射线吸收能力较弱的物质时,人工伽马测井得到的计数率会相对较低。若采空区充填物含有较多放射性物质,计数率会变高。

电阻率测井曲线的异常也具有重要指示作用。若采空区未被充填或充填物为空气、干燥的松散岩石等,电阻率往往很高,可能是正常地层电阻率的数倍甚至更高。例如,正常煤系地层电阻率可能在几十 $\Omega \cdot m$,而未充填采空区可能达到几百 $\Omega \cdot m$ 甚至上千 $\Omega \cdot m$ 。若采空区被水或富含导电矿物质的流体充填,则电阻率会显著降低。

声波测井曲线的变化同样关键。一般来说,采空区的声波时差会明显增大。因为空气或松散充填物的弹性性质与固体煤岩不同,声波在其中传播速度慢,使得声波时差比正常煤岩层大。比如,正常煤层的声波时差可能在180 $\mu s/m$ -220 $\mu s/m$,而采空区可能达到300 $\mu s/m$ 以上。

在实际应用中,若测井数据显示人工伽马值异常、电阻率为高阻异常、声波时差增大,同时井下摄像图像显示存在明显的空洞和顶板垮落迹象,则可以确定该区域为采空区。通过这种综合判断方法,能够有效提高采空区判断的准确性和可靠性,为煤矿安全生产和采空区治理提供科学依据。

4 案例分析

4.1 背景

在山西省某井田范围内,由于过往的开采活动,存在着一定规模的采空区。这些采空区犹如隐藏在地下的“定时炸弹”,给当前及后续的生产作业带来诸多潜在风险。为能探明井田内采空区的位置,我们运用井下摄像和测井曲线相结合的方法,展开对勘探区的地质勘探。

4.2 井下摄像与测井数据采集与分析

在测井数据采集方面,采用了自然伽马测井、电阻率测井和声波测井等多种测井方法。自然伽马测井数据显示,在部分深度段,人工伽马值出现明显异常,如在245-251米处,人工伽马值从正常数值突然升高至正常值数倍幅值,这可能是由于采空区上覆岩层垮落,导致富含放射性矿物的岩层破碎,放射性物质重新

分布所致。电阻率测井数据则表明,在245-251米处,电阻率呈现出极低值,低于正常地层的电阻率范围,初步判断该区域可能存在充水的采空区。声波时差曲线在245-251米处,由图1显示声波曲线幅值明显增大,并且是井内正常幅值的数倍,也可以判断该区域可能存在充水的采空区。这表明该区域岩体破碎,完整性遭到破坏,与采空区的特征相符。

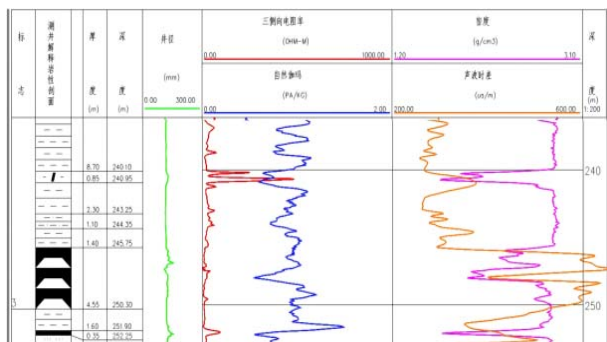


图1 测井曲线



图2 井下摄像图像

井下摄像数据采集过程中,使用了全景式井下电视成像仪,全方位拍摄井下情况,清晰地观察到钻孔的内部形态。由图2显示在245-251米处,摄像图像显示钻孔内出现垮落,顶板上还存在多条裂缝,走向不规则。同时,还观察到钻孔内存在积水,积水在图像中呈现出明显的反光特征,积水液面深度为206米。

将测井数据与井下摄像图像进行融合分析后,进一步明确了采空区的位置、特征。在245-251米范围内,测井数据的异常变化与井下摄像图像中采空区的特征相互印证,确定该区域为采空区。

在对比其他勘探方法结果方面,收集了该煤田采空区的地面物探资料,如瞬变电磁法勘探结果。瞬变电磁法通过探测地下介质的导电性差异来识别采空区,其结果显示在245-251米层位存在低阻异常区,与井下摄像辅助测井判断的采空区位置基本一致。通过对两种方法结果的对比分析,发现井下摄像辅助测井

技术能够更详细地揭示采空区的内部特征,如顶板垮落情况、积水位置等,而地面物探方法则在大面积快速探测采空区分布范围方面具有优势。两者相互补充,能够更全面、准确地判断采空区。

5 结论

本文针对煤田采空区判定这一关键问题,提出井下摄像辅助测井曲线的创新方法。通过深入研究测井曲线的物理响应机制和井下摄像技术的关键参数,构建一套判断采空区的方法。在技术原理方面,明确电阻率测井、声波时差测井和自然伽马测井在煤田采空区探测中的物理响应特征,以及井下摄像技术的硬件配置和图像处理流程,为后续的数据采集和分析奠定坚实的理论基础。运用特征提取的方法,对测井曲线和井下摄像图像进行综合分析,有效提高采空区判定的准确性和可靠性。

通过山西某煤矿井田的实际应用案例,充分验证本文方法的有效性。在该案例中,准确判定采空区的范围、类型和稳定性状况,证明本文方法具有更高的准确率,能够有效避免传统方法的误判问题。

本文方法具有显著的技术优势,不仅提高采空区判定的精度,减少多解性问题,还在成本效益方面表现出色,较三维地震勘探节约费用约70%。然而,该方法也存在一些局限性,如探测深度限制、图像清晰度以及对复杂充填类型判别的不足。本文提出的井下摄像和测井曲线融合的方法,通过综合分析,为煤田采空区判定提供了一种切实可行的技术方案,对矿山安全开采与灾害防控具有重要意义,有望在煤炭行业中得到广泛应用和推广。

【参考文献】

- [1]唐杰生,黄韬.综合地球物理方法在成都地铁站异常沉降勘察中的应用[J].工程地球物理学报,2023,20(6):741-752.
- [2]王永文.煤矿井下钻孔综合测井技术及应用[J].煤炭与化工,2017,40(5):95-98+102.
- [3]张家田,严正国,胡长岭,等.井下视频成像测井技术[J].仪器仪表学报,2007,28(4):714-717.
- [4]严正国,樊亦洲.VideoLog可视化测井技术在油气田套损检测中的应用分析[J].云南化工,2019,46(9):194-195.
- [5]汤清源,杜宇成,叶胜,等.基于局部特征匹配的井下管柱图像智能拼接融合技术[J].天然气工业,2024,44(9):190-198.

作者简介:

赵岩(1980—),男,汉族,山西太原人,工程师,本科,山西省煤炭地质一四八勘查院有限公司,研究方向:物探与遥感。