

Application of Background Noise Imaging Technology in Coal Mine Fault Structure Detection

Youding Shi¹ Dewen Hu¹ Huasheng Zha² Jinguo Xuan²

1. Fuyuan County Xiongda Coal Industry Co., Ltd. Xiongda Coal Mine, Qujing, Yunnan, 655500, China
2. Anhui Wantai Geophysical Technology Co., Ltd., Hefei, Anhui, 230601, China

Abstract

3D seismic exploration technology can effectively detect the occurrence state and location of underground fault structures in coal mines, but it is limited by the use conditions of the source and the increasingly strict environmental protection and safety requirements, resulting in the detection of blind areas. In this paper, the background noise imaging technology is used to invert the seismic shear wave velocity of underground media, depict the shape and position of fault structures, and effectively make up for the defects of 3D seismic exploration technology in detecting blind areas. In today's growing development, technology is very important, so we must pay attention to it. I hope to provide reference or suggestions for the relevant technical personnel of similar projects in the future work.

Keywords

coal mine; fault structure; background noise imaging; shear wave velocity of earthquake

背景噪声成像技术在煤矿断层构造探测中的应用

施有丁¹ 胡德文¹ 查华胜² 宣金国²

1. 富源县雄达煤业有限公司雄达煤矿, 中国·云南 曲靖 655500
2. 安徽万泰地球物理技术有限公司, 中国·安徽 合肥 230601

摘要

三维地震勘探技术可以有效探测煤矿地下断层构造的赋存状态和位置,但受限于震源的使用条件和日趋严格的环保、安全要求,导致出现探测盲区。论文利用背景噪声成像技术,对地下介质的地震横波速度进行成像反演,刻画断层构造的形态和位置,有效弥补了三维地震勘探技术探测盲区的缺陷,是一种“绿色”被动源地震勘探技术。在日益发展的今天,技术是非常重要的,所以必须重视。希望对以后的工作中类似项目行业相关技术人员提供借鉴或建议。

关键词

煤矿; 断层构造; 背景噪声成像; 地震横波速度

1 引言

煤矿开采过程中,需提前对井田内的断层构造进行精细探测,掌握其赋存状态和空间位置,为矿井采掘作业的安全提供科学的技术支撑。目前,在中国内陆地区,人们主要是采用以炸药为主动激发震源的三维地震勘探技术,从地表探测地下断层构造的分布^[1,2]。当前,随着社会环保和安全要求不断提高,炸药的使用条件日趋严格,导致该技术在应用中存在探测盲区,如居民区、地层稳定性条件差的地区等,从而出现断层构造探测遗漏现象。

近年来,背景噪声成像技术逐渐从大尺度区域的地壳深部结构探测,发展到小尺度区域的浅地表地下空间探查,

如盐矿溶腔、煤矿采空区等^[3-5]。与三维地震勘探技术相比,该技术属于被动源地震探测,是以环境背景噪声为场源(如人类生产活动、地震活动以及海洋脉动等),对地下介质的地震横波速度进行成像反演。然后基于钻孔数据,建立地下介质与地震横波速度之间的对应关系,从而对地质构造进行解析。由于该技术不需要主动激发的地震场源,有效解决了探测盲区的限制。笔者以云南省富源县雄达煤业有限公司大山脚煤矿为例,介绍该方法的实际应用效果。

2 背景噪声成像技术

背景噪声成像技术的核心是通过不同间距的两个台站之间的连续背景噪声信号,进行互相关函数计算,得到台站间的经验格林函数。其中经验格林函数是背景噪声互相关函数在时间上的一阶偏微分,是真实格林函数中的面波信息。从地球物理学的角度分析,经验格林函数是将一个地震

【作者简介】施有丁(1988-),男,中国云南曲靖人,工程师,从事矿井地质研究。

台站的地震记录作为虚拟震源，另一个地震台站的地震记录作为该虚拟震源的地球物理响应，它包含着丰富的地下介质的地震面波和体波信息。论文以 X 和 Y 作为两个背景噪声监测台站点，则 X-Y 台站对间的经验格林函数 $\hat{G}_Y(t)$ 如式 (1)、式 (2) 所示^[6]。

$$\frac{dC_{XY}(t)}{dt} = -\hat{G}_{XY}(t) + \hat{G}_{YX}(-t) \approx -G_{XY}(t) + G_{YX}(-t), 0 \leq T \leq \infty \quad 1-1$$

$$\hat{G}_Y(t) = -\frac{d}{dt} \left[\frac{C_Y(t) + C_Y(-t)}{2} \right], 0 \leq t \leq \infty \quad 1-2$$

其中， $C_{XY}(t)$ 为台站 X 和台站 Y 之间的连续背景噪声的互相关函数； $G_{XY}(t)$ 为以台站 X 的地震记录为虚拟震源，台站 Y 的精确格林函数； $G_{YX}(-t)$ 为以台站 Y 的地震记录为虚拟震源，台站 X 的精确格林函数； $\hat{G}_{XY}(t)$ 和 $\hat{G}_{YX}(-t)$ 分别为台站 Y 和台站 X 的精确格林函数的估计值。

3 研究区概况

大山脚煤矿构造上位于华南褶皱系滇东南褶皱带的罗平至师宗褶皱束南侧的老厂背斜北西翼，区内主要发育北东向构造、南北向构造。井田地层（表 1）由老到新有二叠系下统茅口组（ P_1m ）、上统龙潭组（ P_2l ），三叠系下统卡以头组（ T_1k ）、飞仙关组（ T_1f ）、永宁镇组（ T_1y ）和第四系（Q）。含煤地层为上二叠统龙潭组（ P_2l ），煤系地层总厚 347.45~479.07m，平均 400.90m，主采煤层为 $C_2 \sim C_{15}$ 。

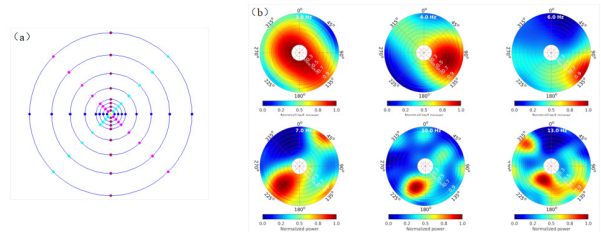
表 1 井田地层简表

界	系	统	组	段	地层代号	厚度 (m)	基本岩性
新生界	第四系	全新统			Q	0~10	砾（碎）石土、粘土
					永宁镇组	T_{1y}	> 100
中生界	三叠系	下统	飞仙关组		T_{1f}	373~436	紫~紫灰色粉砂岩、细砂岩夹紫红色泥岩
			卡以头组		T_{1k}	> 19.40	黄绿色、灰绿色薄~中厚层状细砂岩、粉砂岩、泥质岩，底部见有厚 0.05m，长 1.00~3.00m 的小透镜状钙质结核
				第三段	P_3l^3	173.91	灰色、深灰色粉砂岩、细砂岩、上部粒度较粗，下部粒度较细，夹粘土岩及透镜状菱铁岩，含 $C_1 \sim C_{14}$ 煤层
上古生界	二叠系	上统	龙潭组	第二段	P_2l^2	181.61	灰色、深灰色细砂岩、粉砂岩夹炭质页岩及煤层，底部具 0.12~1.20m 凝灰质砂砾岩。含 C_{15} 、 C_{17} 、 C_{23} 煤层
				第一段	P_2l^1	57.16	灰、深灰色白云质灰岩、粉砂岩、下部含 0.10~2.33m 的凝灰质砂砾岩，与下伏茅口组呈假整合接触
		下统	茅口组		P_1m	未见底	灰、浅灰色厚层状石灰岩，富产蜓科、腕足类化石

4 噪声源实验及观测台网设计

针对煤矿断层构造探测尺度，有效的背景噪声场源主要是大于 1Hz 的高频面波信息^[7]。对于全新区域，如何有效获取高频面波场源数据，观测台网起到了关键作用。论文利用 65 台节点式地震仪构成同心圆式的背景噪声采集装置（图 1a），对研究区域内的背景噪声源分布特征进行分析。其中，圆环半径分别为 5m、10m、15m、20m、35m、55m、80m 和 100m，连续采集时间为 24h，采样频率为 500Hz。

根据噪声源实验结果（图 1b）：2~6Hz 频率范围内的背景噪声源主要来自东南方向，7~15Hz 频率范围内的背景噪声源主要来自西南方向。参考研究区 2~6Hz 频率范围内的背景噪声源方向，观测台网设计为直线型（图 2a），方向为北偏西 $45^\circ 39' 14.6''$ ，测线间距约 20m、测点间距约 10m。通过对该观测台网的背景噪声数据进行质量分析：高频面波（频率范围：2~15Hz，图 2b）频散能量整体趋势平滑，数据整体质量较高。



(a) 同心圆式的背景噪声采集装置 (b) 研究区环境背景噪声源分布特征

图 1 研究区环境背景噪声源实验图

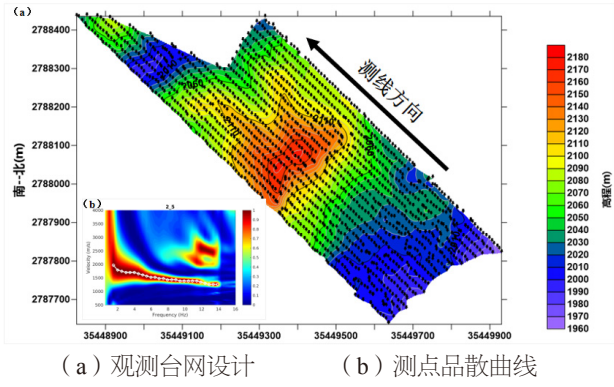


图2 研究区野外地面密集台阵观测台网设计与测点品散曲线图

5 背景噪声成像应用效果分析

煤层未开采且不含地质异常体时（断层、陷落柱等地质构造），地层的地震横波速度在横向上表现为连续性，当煤层存在地质异常体时，横向上沿地层的地震横波速度将出现扭曲、降低等异常变化。论文通过对背景噪声数据进行波形预处理（去仪器响应、去均值、去倾斜等）、切割（每小时一段数据）、面波经验格林函数计算以及采用CPS程序包对背景噪声频散数据进行反演，获得地下介质的地层横波速度信息（图3，反演测线Line26）。结合ZK102勘探钻孔地层信息进行分析，可以看出：

①由上到下，地层的地震横波速度在增大，地表下方50~100m范围内地层的地震横波速度小于1400m/s，为第四系砾（碎）石土、粘土地层影响；地表下方100~420m范围内地层的地震横波速度为1400~1900m/s，主要是受三叠系砂泥岩和二叠系细砂岩、煤层的影响；相对于上覆地层，地表下方420m及深处范围内地层的地震横波速度在减小，约小于1800m/s，推测为断层构造影响。

②结合ZK102勘探钻孔地层信息分析，研究区内的C₂~C₁₅煤层的地震横波速度约在1600~1900m/s范围内（图中黑色线为C₂煤层底板高程位置）。

③地震横波速度对地下断层构造具有较好的地球物理响应特征。当C₂~C₁₅煤层存在断层构造时（DF6、DF7，图中红色线表征断层），地震横波速度在横向上呈现不连续性，且断层上/下盘的地震横波速度差异性较大。从图中可以看出，

DF6、DF7断层均为正断层，且可以计算出断层的倾向和落差。

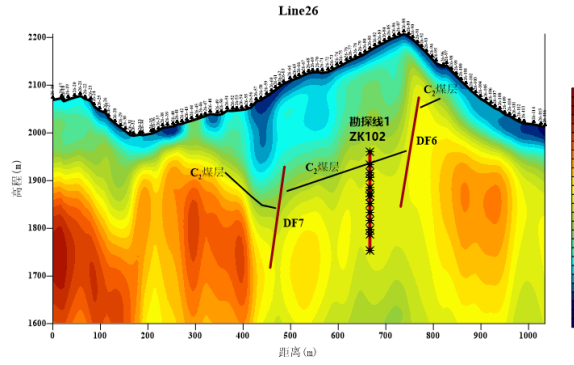


图3 研究区测线Line26地下横波速度反演剖面图

6 结论

环境背景噪声中的面波信号蕴含着丰富的地下介质信息，对地下断层构造有着较好的地球物理响应。论文基于地面密集地震台阵，采用背景噪声成像技术，对地下介质进行地震横波速度成像反演，并基于地质勘探钻孔信息，获得了研究区地下断层构造的分布位置以及倾向等赋存特征。该方法在一定程度上弥补了三维地震勘探技术的探测盲区的缺陷，是一种“绿色”被动源地震勘探技术。

参考文献

- [1] 董守华,黄亚平,金学良,等.煤田高密度三维地震勘探技术的发展现状及趋势[J].煤田地质与勘探,2023,51(2):273-282.
- [2] 李金刚,李伟.三维地震技术在布尔台煤矿四盘区中的勘探应用[J].煤炭科学技术,2021,49(S2):247-251.
- [3] 高级,张海江,查华胜,等.台阵和噪声源分布对微动成像的影响及其在盐矿溶腔探测中的应用[J].地球物理学报,2023,66(6):2489-2506.
- [4] 黄宇奇,查华胜,高级,等.基于密集台阵地震背景噪声成像预测煤矿瓦斯分布[J].地球物理学报,2021,64(11):3997-4011.
- [5] 张文文,张永谦,黄跃鹏,等.地震背景噪声成像技术研究进展与展望[J].地球物理学进展,2022,37(1):125-141.
- [6] 敬嘉良,陈国雄,程飞,等.超短时线性台阵背景噪声成像技术在浅层地质结构探测中的应用[J].地球物理学进展,2024,39(1):63-76.
- [7] 张泽奇,高级,刘梁,等.基于三角和线性台阵的煤矿背景噪声成像技术适用性研究[J].物探与化探,2023,47(6):1528-1537.