

4 波速图像在采空区判识中的应用

地震散射勘探提供两类图像，一类是地震偏移图像，另一类是速度分布图像。偏移图像主要反映地质界面的形态与地质构造的特征，波速图像主要反映地下岩层波速的分布，特别是低速区往往与断裂构造、强风化带、采空区、岩溶等地质条件有关。

煤矿采空区由于上覆岩层的崩塌、开裂与变形，会形成大范围的低波速区，这是采空区最显著的特点。采空区及坍塌区将导致煤层界面的缺失、上覆地层界面错断。地震散射勘探通过地质界面的断续形态、与低速区的分布特征来综合判识采空区的位置。在兴县苏家吉煤矿的采空区勘察中。波速剖面在采空区的判识中发挥了重要作用。

4.1 苏家吉矿区的地质概况

山西兴县苏家吉煤矿的含煤地层为石炭二叠系。二叠系山西组 8 号煤层埋深在 20-30m，石炭系太原组煤层埋深在 60m-100m 范围。矿区内原有 15 处民采区，其中立井 3 处，斜(平) 硐 12 处。由于无序开采，无开采资料可查。根据有限的地质钻孔，只能作粗略估计。ZK2001、ZK2400、ZK1600、ZK3200 等钻孔揭露 8 号煤层采空区埋深在 20-30m；ZK26A08、ZK2808 等钻孔揭露 13 号煤层采空区埋深约 100m 左右。为确保矿山生产安全，决定对采空区的分布进行物探勘查，以便采取有效的治理措施。

4.2 地震勘探布置与采集系统

本次勘探采用地震散射技术，布置 1 条测线，长 240m。测线经过 4 个已知钻孔，中间的 2 个钻孔发现了采空区，两端的钻孔未发现采空区。物探勘查的目的是查清采空区的分布范围、深度，并与钻孔资料进行对比。测线位置见图 6。

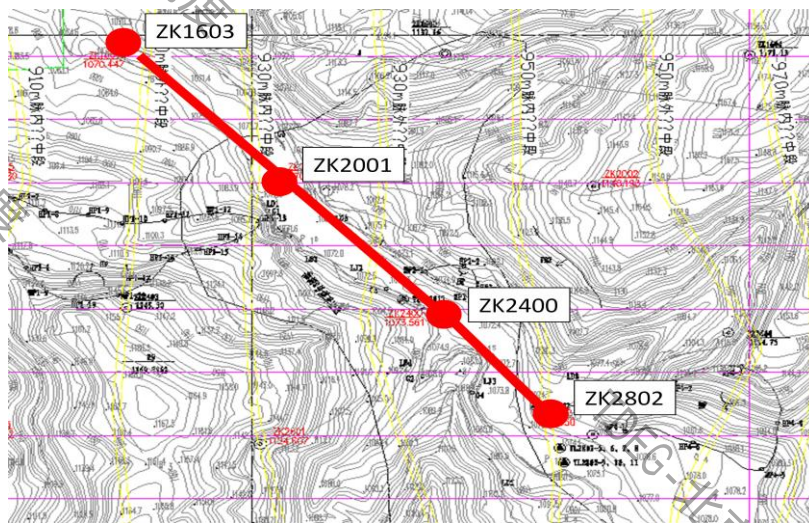


图 6 地震测线位置

地震勘探使用 24 道工程地震仪，锤击震源。采用滚动观测系统，检波器间距 2m，炮间距 4m，共得到 60 个地震记录。炮点位于排列中点，以提高波速分析精度。设计勘探深度 120m。

4.3 地震数据处理流程与结果

数据处理的第一步是进行方向滤波，滤除面波、声波，取出地下的散射波，为波速分析和偏移图像做好准备。

数据处理的第二步是进行速度分析，应用 Radon 积分变换对每个炮点记录进行速度分析，并经过极值滤波确定反射界面的位置和波速，建立炮点的一维垂直速度结构。由 60 个炮点的速度结构组成二维速度剖面（图 7a），用于偏移成像的时深转换。由偏移速度剖面经（4）

式换算得到了二维层速度剖面（图 7b），用于采空区的解释。层波度图像中红色、黄色表示高波速区，蓝色表示低波速区。

数据处理的第三步是进行合成孔径偏移成像。成像中使用方向滤波后的地震资料和二维偏移速度剖面。成像的物理量是散射强度 α ，它反应地质介质波阻抗差异的大小，可以展现地质界面形态和构造的分布特征。偏移成像结果示于图 7c，图中红色为正散射，为波阻抗增加的界面；深蓝与淡蓝色为负散射，是波阻抗降低的界面。波阻抗差异大时，散射能量强。图中纵坐标为深度，横坐标为里程。

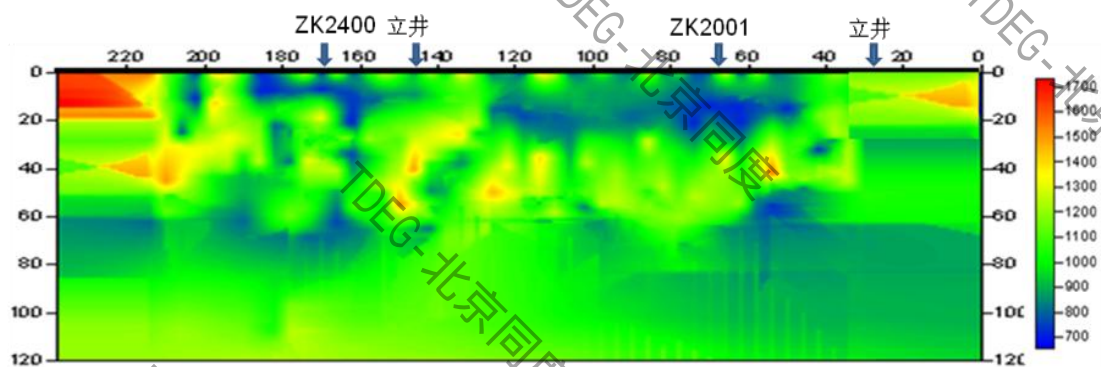


图 7a 二维偏移速度剖面

Fig 7a Stack velocity profile

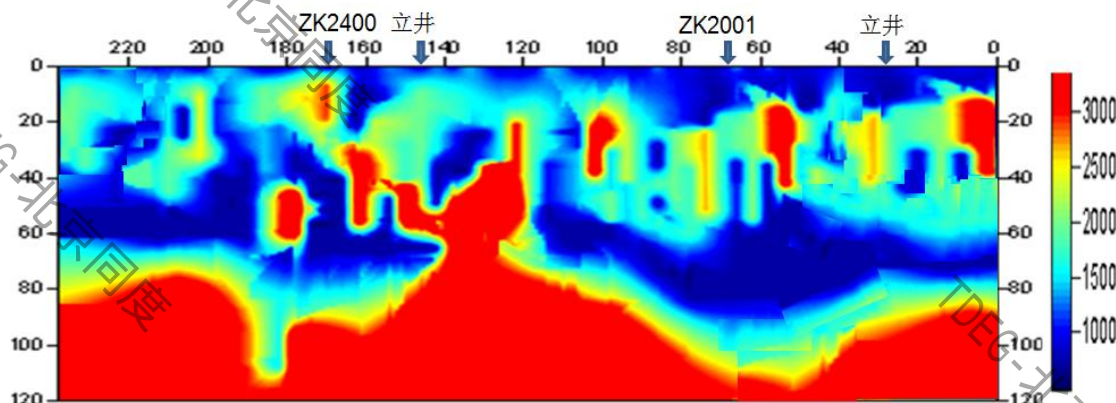


图 7b 二维层速度剖面

Fig 7b Layer velocity profile

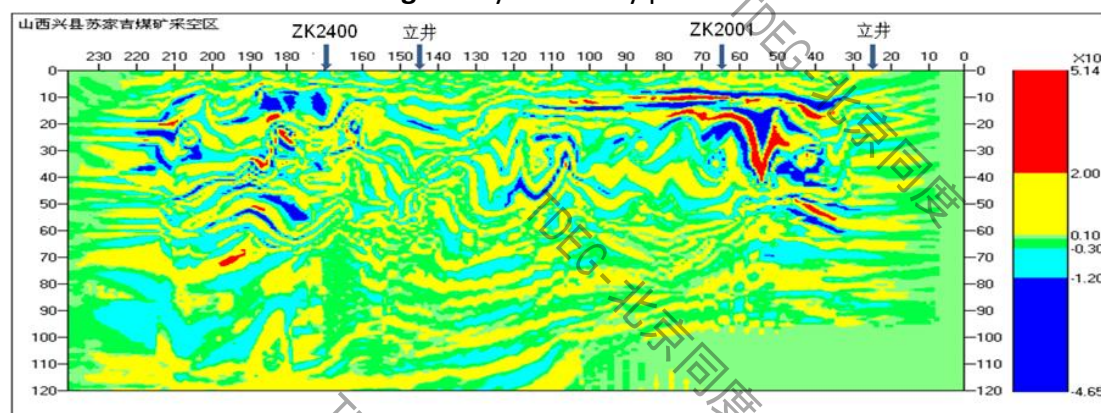


图 7c 地震偏移剖面

Fig 7c. Seismic migration profile

4.4 苏家吉煤矿采空区的勘探结果

地震散射勘探提供地震偏移图像和波速分布图像。地震偏移图像主要反映地层界面的分布形态和构造特征。图 7c 中黄色层位对应强度较高的砂岩与煤层。图像显示这些地层的形态十分复杂，折曲严重，说明该地区地处构造发育地带。在偏移图像中采空区的特点是以深蓝色为主的强负散射区与淡蓝色的负散射区。这些采空与坍塌区主要分布在两段区域，一个是里程 35m-100m、深度 10-70m 的范围内；另一个是 170m-220m、深度 10m-80m 的范围内。

偏移速度与层速度剖面主要反映岩体波速的分布特征，特别是低速区的分布与采空与坍塌区有密切关系。层速度图像中红色、黄色为高波速区，对应未受开采影响的岩层，包括砂岩和煤层，波速在 2500m/s 以上；绿色淡蓝色为中波速区，波速在 1500-2500m/s 范围内，对应受开采影响较小的卸荷区，岩体结构变化不大；蓝色为低波速区，波速在 1500m/s 以下，为采空区及坍塌、开裂区，岩体结构已遭受严重破坏。图 7a、b 显示，除地表风化岩体为低波速区外，地下隐伏的低速区分为深、浅两层，每层又分左右两支。浅部的低速区深度在 10-30m 范围内，比较分散，规模不大，右支里程 50-120m，左支 150-190m，对应着二叠系山西组煤层的采空区。深层的低速层深度在 60-80m 范围内，采空规模大，低速区联通性好。右支里程 40-110m，左支 150-220m，对应石炭系太原组煤层的采空区。

波速图像中低速区的分布与偏移图像中强负反射区的分布位置基本一致。地震散射探测表明剖面内存在深浅两层分别对应山西组、太原组煤层，后者的开采强度更大。左、右分为两支，可能是由两个立井分别开采的。这些勘探结果与已知的钻孔资料相吻合。

5 结论

地震散射勘探技术以偏移图像的界面形态、负散射强度与波速图像的低速区分布特征联合判定采空区的位置，可大大提高采空区勘探的可靠性和精度。应用实践表明依据低速区的分布特征判定采空区的位置更加直观、可靠。