

巨厚新生界地层下煤炭高精度地震勘探方法

胡小鹏 李哲 李杨

江苏煤炭地质物测队

DOI:10.32629/gmsm.v3i2.616

[摘要] 巨厚覆盖地层下地震勘探一直是高精度勘探较大的难题和攻坚技术。三维地震在山东曹县青岗集勘探区进行的方法研究,通过宽方位角的三维观测系统和高密度采集,有效减轻了“采集脚印”;对采集参数进行充分论证,保证了巨厚新生界地层下获得高品质地震资料;采用层析静校正和叠前时间偏移等有效处理手段来提高了地质构造体准确成像问题;并利用波动力学地震属性构造岩性解释等特殊手段提高了对地质构造的有效分辨。从而解决了该勘探区煤炭变焦、剥蚀区范围固定及构造展布等地质问题。为同类型地质勘探积累了经验。

[关键词] 巨厚覆盖地层; 高精度; 宽方位角; 层析静校正; 叠前时间偏移; 地震属性

引言

利用三维地震勘探在一千多米的巨厚新生界盖层下进行煤炭地层构造高精度探测,主要面临着巨厚新生界内部反射层多,高频衰减较大,深层反射波能量弱,多次波发育等。另外,滚动线间距较大容易引起“采集脚印”问题,接收排列较大造成主频偏低影响分辨率等一系列问题。要克服以上深层地震不利因素对分辨率的影响,必需在观测系统、激发层位及能量,资料处理和解释上采取有效技术措施,才能获得高精度地震勘探地质成果。本文通过一巨厚新生界地层下高精度地震勘探研究实例,提出了“两宽一高”的深层地震数据采集、高保真度保幅准确成像处理技术等具体技术、精细解释方法,并介绍了获得的高精度地质成果。

1 地质概况

青岗集勘查区位于曹县境内,地层隶属华北一柴达木地层大区,华北地层区,鲁西地层分区。

该区地处鲁西南黄泛冲积平原,被一千多米的巨厚古近纪官庄群、新近纪黄骅群及第四系等新地层所覆盖。煤系的沉积基底为奥陶纪马家沟群,含煤地层为月门沟群太原组和山西组。主要可采煤层为3上和3下煤层,赋存深度标高在-1020~-2040m之间。

2 数据采集

针对深层反射能量较弱、频率偏低、干扰严重的特点,通过较宽的激发、接收频带,较宽的接收方位及高覆盖次数(即“两宽一高”地震勘探方法)来提高深层地震资料的信噪比及资料精确度,保护并识别深层弱信号,利用充分的试验资料分析表层岩性和干扰波特征,选取最佳的激发因素和接收方式。从而获得了高品质地震基础资料。

2.1 观测系统

三维地震采集是一种面积采集技术,其特点是利用炮点网格和检波点网格的合理组合而获得分布均匀的地下数据点网格及所要求的覆盖次数。三维观测系统综合考虑勘查区的地质任务、地形地貌、目的层的赋存深度、构造情况,并根据仪器设备状况等情况来确定的。

(1) 针对深层地震反射波传播路径长,信号弱这些特点,在观测系统设计时应充分考虑采用高叠加次数来增强反射波能量,有效压制随机干扰,提高资料高信噪比;采用较大纵横比(一般纵横比大于0.5)即宽方位角观测系统可接收到各个方向的地震信号,减轻三维地震“采集脚印”问题,同时通过增加纵向炮检距,可压制随机干扰及声波、面波干扰。可以提高速度分析精度,保证地质体反射层位成像精确度。

通过以上论证,确定本次三维地震勘探观测系统为10L16S96P,纵向观测系统960-20-20-20-960(如图1),线间距80m,横向滚动距离400m。本次选择的观测系统具有炮检距分布均匀,方位角分布较宽等特点,有利于速度

分析,多次波衰减和静校正求解。

(2) 覆盖次数的确定。为保证深层反射波能量,获得反射波信噪比S/N大于2的三维数据体,采用高覆盖次数观测系统较适合本区地震资料,但覆盖次数过高反而会降低资料分辨能力。根据该区地震地质条件,最终确定本次勘探选择24次(4次×6次)高覆盖次数。

(3) CDP网格的确定。为提高对探测细微构造和小幅度起伏的横向分辨能力,保护高频成份,宜采取较小网格面元。在选取面元大小时,主要考虑保证同相叠加且每个主频的波长保证至少有2个采样点。通过计算确定本区CDP面元网格为Dx×Dy=10m×10m。

(4) 最大炮检距X_{max}。最大炮检距的确定应遵循宽方位角观测系统要求的原则: I、X_{max}应尽量小于主要目的层的深度。II、X_{max}应小于浅层折射波干扰的距离。III、为保证速度求解的精度,X_{max}应尽可能的大。

综合上述三条原则,考虑到下组煤层,决定采用中间激发双边接收的方式,减少最大炮检距X_{max}量,同时也避免了动校正引起的拉伸畸变、界面曲率变化引

起的反射点弥散现象,计算式为: $X_{max} = \sqrt{X_{纵}^2 + Y_{横}^2}$ 式中X_纵=L_z+(B-1)ΔX。

L_z为纵向最小炮检距20m,B为纵向接收道数96,ΔX为纵向接收道距20m,Y_横为最大非纵距510m。

根据上述数据,并选择合适的偏移距,按上式进行计算,最大炮检距X_{max}=1087.06m,能够较好地保证高分辨地震勘探效果。

(5) 垂向分辨率分析。本次勘探要求查明落差大于或等于8m的断层。从理论上分析,在无相关干扰的情况下,地震勘探最大的分辨率为1/8主波长,取V_{平均}=3200m/s,据此所需达到的主频:

$$f_m = \frac{V}{8\Delta Z} = \frac{3200m/s}{8 \times 8m} = 50Hz \text{ 根据式: } f_{max} = 1.43 \times f_m = 71.5Hz$$

可计算出要求保护的最高频率为71.5Hz。

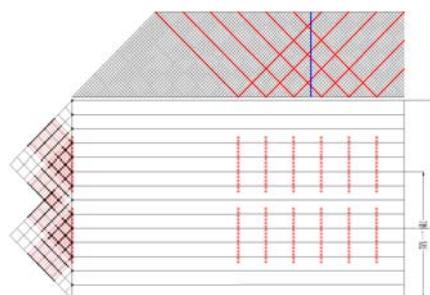


图1 10线16炮观测系统图

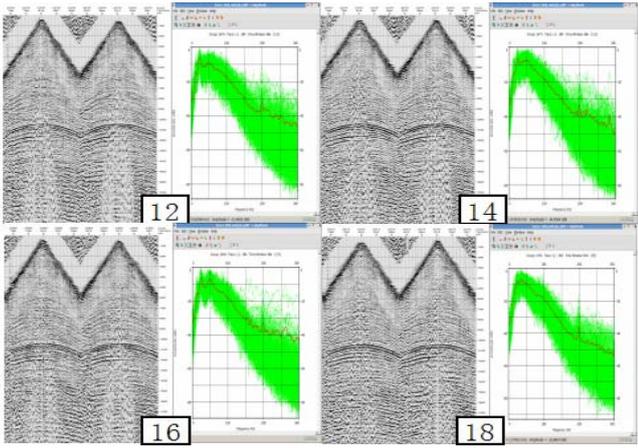


图2 S1试验点井深试验记录及频谱分析 (井深12~18m, 药量2.0kg)

因此, 本区施工要求主频达到50Hz以上, 同时需保护的高频段的高切频率为71.5Hz。

(6) 空间采样率的分析。从满足地震记录或地震剖面的相邻道上可靠地追踪同一相位考虑, 道距的选择为:

$$\Delta X_x \leq \frac{V_x^*}{2f_m} \text{ 其中 } V_x^* = \frac{V(x^2 + 4h^2 - 4hx \sin \phi_x)^{\frac{1}{2}}}{x - 2h \sin \phi_x} \text{ 取}$$

$$x=h=400m, V_{平均}=2000m/s, \phi_x = 8^\circ \text{ 得 } \Delta x \leq 52m$$

从横向分辨率考虑, 每个优势频率的波长应有两个样点, 即CDP间隔 $\delta x = v / (2 \times f_{dom})$

假设目的层优势频率 f_{dom} 为50Hz, 目的层以上的层平均速度为 $V=3500m/s$, 道距为CDP间隔的两倍, 即: $\Delta X \leq 30m$

本区施工选择道距为20m, 完全满足上述要求, 且不会出现空间假频。

(7) 时间分辨率分析。为保证信号在时间方向上不产生假频, 要求时间采样间隔满足采样定理:

$$\Delta t \leq \frac{1}{2f_{max}}$$

采样间隔不得大于7ms, 本区采样间隔为0.5ms完全满足该要求。

2.2 激发参数确定

根据勘查区具体地质情况, 确定了本次地震勘探应在高速粘土层中, 选择大药量进行激发, 但药量过大又会造成面波等干扰波增强、地震子波频率降低。因此, 需通过试验和低(降)速带调查来确定全区激发粘土层深度及适中的激发药量。

(1) 激发井深确定。药量一定(2.0kg), 井深分别选择了12m、14m、16m、18m等4种激发深度进行对比试验。从图2可看出, 各单炮记录上1.2s以浅目的层反射波频率在50Hz以上, 1.2s以深主频在50Hz以下。但随着井深的加深, 深部反射波能量逐渐加强, 面波等干扰波也有所减弱, 但18m以后, 浅部高频能量减弱较快。因此, 最终选择16m作为本次激发井深。

(2) 激发药量试验。井深一定(16m), 主要选择了0.5kg、1.0kg、1.5kg、2.0kg、2.5kg等药量进行激发对比试验。从图3可看出, 各记录上1.2s以浅反射波能量强弱变化不大, 但随着药量的增加, 深部主要反射波的能量有所加强, 面波等干扰波明显得到压制, 但药量大于2.5kg后, 反射波主频有所降低, 因此, 兼顾信噪比与分辨率两方面, 最终选择了2.0kg作为本次三维地震激发药量。

由地震勘探原理可知, 一般选择在高速层中激发, 获得的地震资料品质较佳。最终通过理论计算论证, 并经试验资料分析, 采用宽频带录制, 宽

方位角观测系统, 采样间隔0.5ms, 前放增益12dB, 检波器PS-60A型检波器, 3串组合。

通过单炮监视记录(如图4)可以看出, 本次三维地震获得的波组齐全, 主要目的层反射波能量强, 连续性好, 主要干扰波为面波及背景噪音。剖面上构造反映清晰, 品质较高。

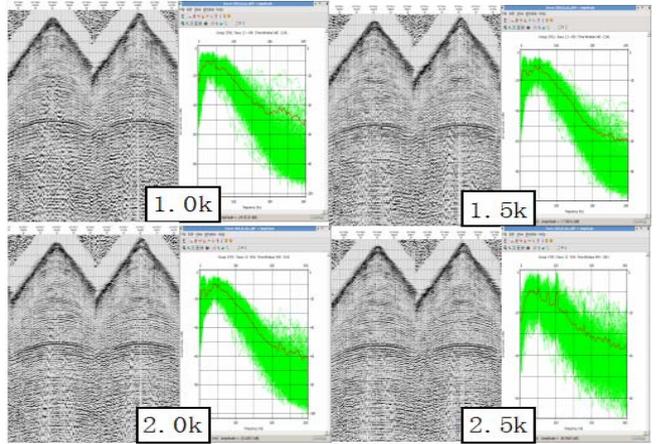


图3 S2试验点药量试验单炮记录及频谱分析 (井深16m, 药量0.5-2.5kg)

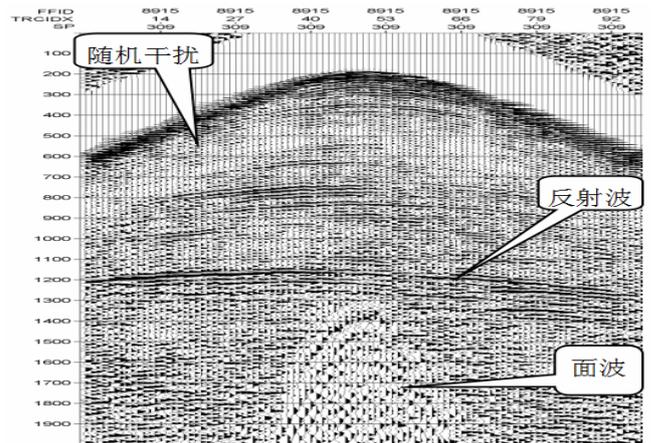


图4 单炮中一条线记录

3 资料处理

为了达到进一步提高资料品质, 使地震资料的信噪比得到提高, 目的层反射同相轴连续性好、波组特征明显、断点清楚并尽可能提高分辨率的处理目标, 主要采取如下主要技术措施:

(1) 静校正。静校正的目的是消除低速带厚度、速度、地形变化引起的波场畸变, 无论为了常规处理的叠加成像效果还是叠前时间偏移处理的数据准备, 静校正问题和静校正技术的应用都是成败的关键, 因此做好静校正工作是至关重要的。

首先对观测系统进行质量检测, 校正明显的炮偏, 对工区所有单炮拾取初至, 利用初至波层析成像技术反演近地表速度模型(如图5), 设定基准面高程为50m, 替换速度为1750m/s, 即可计算炮点和检波点地表一致性层析静校正量。对该静校正进行长短波长分离, 将短波长分量应用后, 即可进行叠前处理、速度分析等操作, 叠加后应用长波长分量, 消除地表起伏对区域构造的影响。

(2) 叠前噪音衰减。叠前保幅综合去噪主要技术有: 自适应面波衰减, 线性干扰波压制, 手工剔除坏道、坏炮。原则是: 分离减法, 不损失有效信息。

通过对本区有效波和干扰波频谱分析,有效波频带为(10-120Hz),面波频带为(3-25Hz),有效波与面波频带有重叠,为确保压制面波时不损伤有效波,特别是低频端有效波,本次处理使用自适应面波衰减技术,取得了较好效果(如图6)。最终确定的滤波参数为:面波压制带H(3, 25)。相干道数12道,衰减百分比0.33。

(3)反褶积。地表一致性反褶积方法基于地表同一位置的滤波作用与地震波的入射角无关,无论深、中、浅层反射,其滤波作用均相同理论。在做好静校正、叠前去噪和能量补偿等处理环节的基础上,选用地表一致性反褶积来进一步消除因地表激发和接收等因素差异而带来的横向上的波形不一致问题,此反褶积可以从共炮点,共检波点,共偏移距,共CMP道集四个分量进行统计,计算反褶积算子,使子波的形态与能量分布更趋于一致。

在实际处理中,一般将地表一致性反褶积与预测反褶积组合应用,达到既消除地表影响,又压制多次波及鸣震等可预测干扰波,同时提高分辨率的效果。

由图7频谱分析图可知,反褶积后频带宽度明显大于反褶积前,说明反褶积达到了拓展频带宽度,提高垂向分辨率的作用。

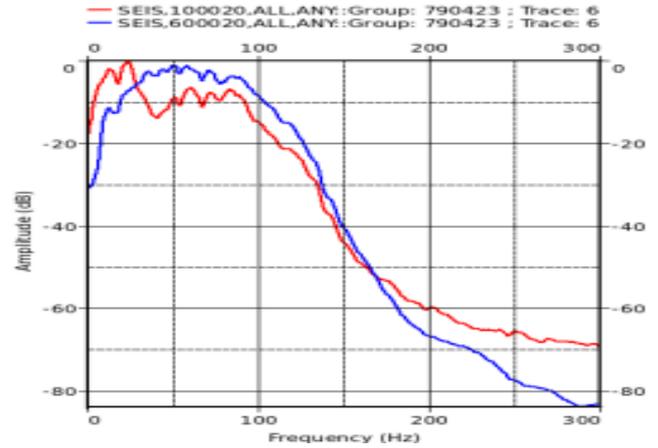


图7 反褶积前后频谱对比 (红色为反褶积前,蓝色为反褶积后)

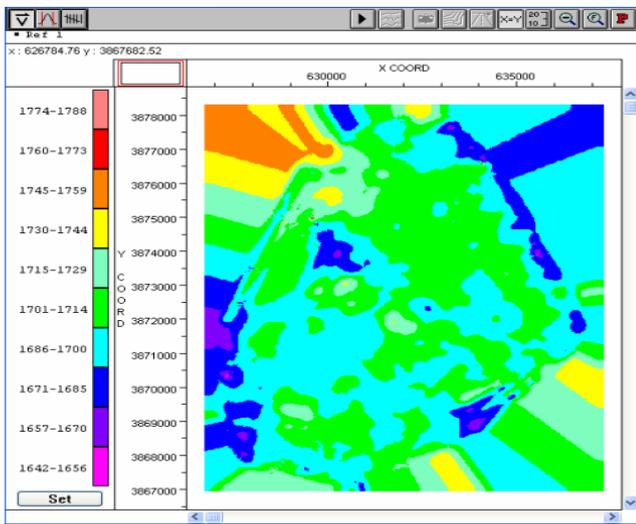


图5 层析静校正反演速度模型

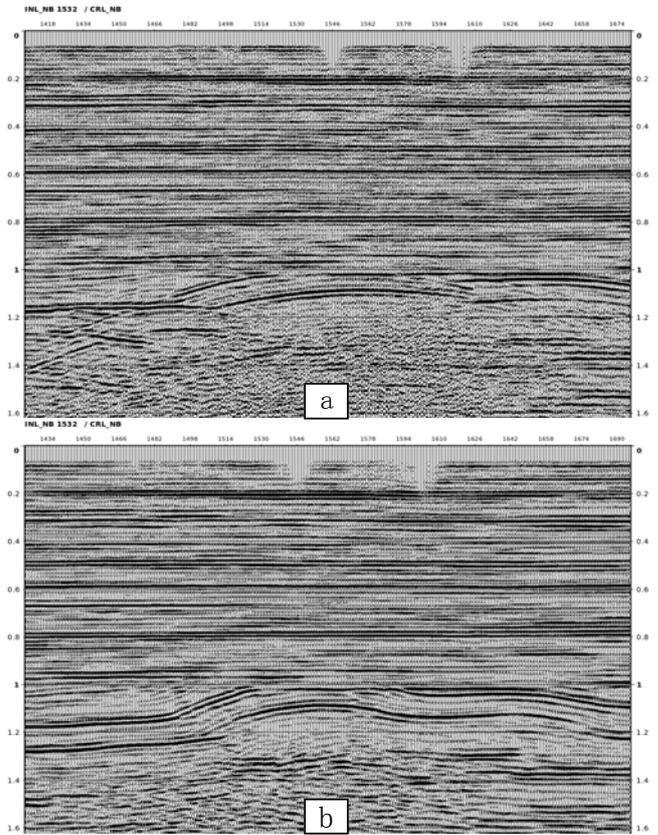


图8 偏移处理结果示意图

(a、偏移前叠加剖面 b、偏移后叠加剖面)

本次采用叠前时间偏移方法,大大提高了成像精度。偏移效果的好坏主要决定于偏移速度场,为此对偏移中的速度参数进行测试,首先应用拾取的叠加速度转换为均方根层速度作为初始的偏移速度场;其次对偏移速度场进行平滑处理并求取不同的百分比速度,对输入的叠加剖面进行时间偏移。仔细比较不同的百分比速度偏移剖面的归位情况,参考叠加剖面的特殊波在偏移剖面上的收敛程度,根据实际偏移成像效果,对偏移速度场的百分比进行时空变处理,检查偏移速度的准确性,进行局部调整,形成新的偏移速度场,再对叠加剖面进行时间偏移,重复迭代,直至偏移剖面中断面波,绕射波收敛干净、断点清晰等现象,确定出准确的偏移速度场,对输

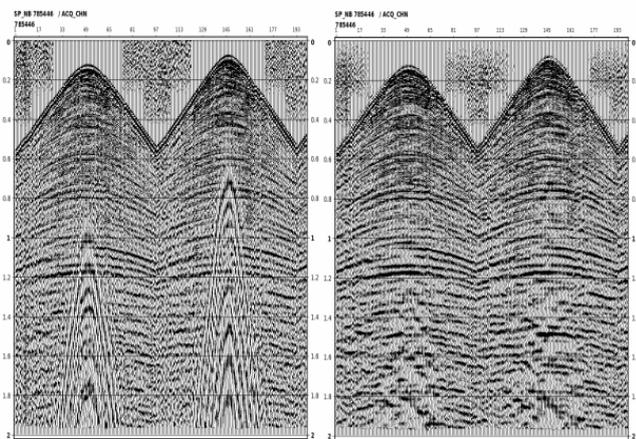


图6 面波衰减前后单炮对比

(a、面波衰减前的单炮记录 b、面波衰减后的单炮记录)

(4)偏移处理。在地震勘探中,偏移处理不但可以校正反射界面的空间位置,瓦解干涉波,收敛绕射波,校正不正确的波振幅,而且还可以提高地震记录的横向分辨率。

入的叠加剖面进行时间偏移,得到最终的偏移结果。

经偏移归位处理后,时间剖面能量强、信噪比高、断层及各种地质现象明显,大断层清楚,细小地质异常成像清晰明朗,真实地反映了目的层形态,在该区获得了较好的三维偏移效果。如图8所示。

4 地质效果分析

采用全三维可视化软件,并通过测井曲线合成记录进行标定,对青岗集勘查区三维地震资料进行精细解释。从解释成果可看出,深部目的层反射波能量强,分辨率也较高。

(1)时间剖面上地质信息丰富,各种地质现象(如岩层剥蚀、岩性尖灭及变焦区)显示清楚(图9)。

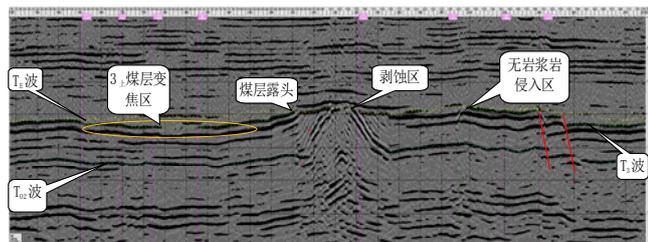


图9 各目的层反射波及地质现象在时间剖面上显示

(2)可以清楚地识别小断层。查明了煤层赋存区落差 $\geq 8\text{m}$ 的断层性质、产状及落差大小,对落差 $< 8\text{m}$ 的断点予以解释,共解释断层92条。

(3)查明了3_上煤层的赋存形态,3_上煤层赋存形态因煤层剥蚀,形成两个区块,即一组向背斜组成的中部区块为马鞍状、东北部区块为一北北西向和北东东向组成的复式栅栏状向背斜赋存形态,同时,在东北部区块北部还发育有一次一级向斜褶曲构造(如图10)。地层倾角 $5^{\circ} \sim 11^{\circ}$,赋存标高 $-1030 \sim -1330\text{m}$ 。

另外,在中部区块和东北部区块内部各发育有一冲刷带和剥蚀区,面积分别约 1.8km^2 和 0.13km^2 ;东北部区块北部的变焦区面积约 1.69km^2 (如图11)。圈定的各地质现象范围经后期钻孔(QK-8、QK-11等)验证吻合较好。

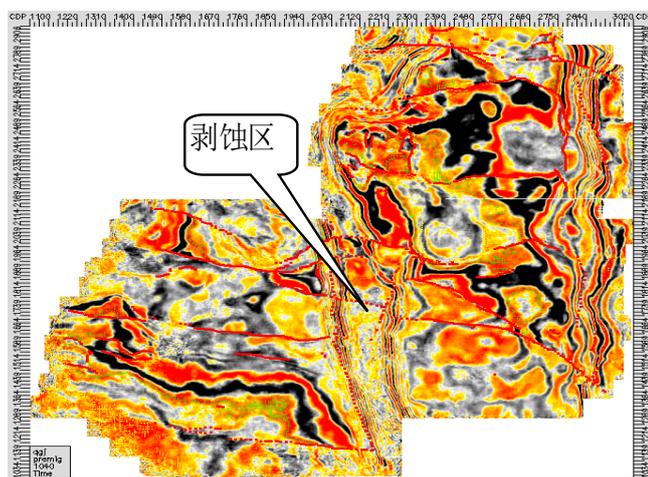


图10 褶曲形态在时间1040ms等时切片上显示

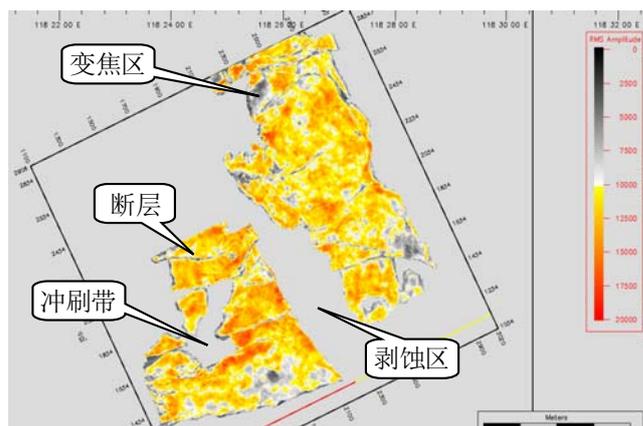


图11 T_1 波均方根属性沿层切片解释构造示意图

5 结论

通过对巨厚覆盖层下煤炭高精度地震勘探资料采集、处理解释的攻关研究,获得了以下几点认识:

(1)观测系统设计时,采用宽频接收、宽方位角观测、高覆盖次数的“两宽一高”观测系统及高密度“小面元”采集,有利于速度分析,减轻“采集脚印”,大大提高了资料的信噪比和分辨率。

(2)在深层地震采集前,通过低(降)速带调查和试验,对工区表层地震地质条件和干扰波进行调查是做好采集方案的基础。通过对表层岩性的调查和分析,可以了解激发层分布及深部地震波的发育规律,对激发参数的确定起到重要作用;通过对干扰波的调查和分析,可以识别工区内主要的干扰波特征,确定合理的观测方式,有利于提高资料信噪比和分辨率。

(3)资料处理时,采用层析静校正、适度的叠前叠后去噪、反褶积、精细的速度分析及叠前偏移等处理模块,通过试处理来选择模块参数,并利用已知地质资料进行参数确定控制是高精度成像的关键。

(4)资料解释时,利用地震波多属性参数的解释可提高深部弱信号的分辨能力,对岩性分析和细微构造解释非常有利。

总之,本次针对巨厚新生界地层下高精度地震勘探研究,总结出的一套适合深层地震勘探的采集观测系统设计及资料处理解释方法,取得了较好的地质效果,为同类地震勘探提供了借鉴。

【参考文献】

- [1]俞寿朋.高分辨率地震勘探[S].北京:石油工业出版社,1993.
- [2]李庆忠.走向精确勘探的道路[S].北京:石油工业出版社,1993.
- [3]何黄生,付金生.山东省曹县煤田青岗集勘查区煤炭三维地震勘查[S].南京:江苏煤炭地质物测队,2019.
- [4]刘洋,王典,刘财,等.《勘探地震学》类比法教学探讨[J].中国多媒体与网络教学学报(上旬刊),2020(05):128-129.

作者简介:

胡小鹏(1980—),男,江苏南通人,汉族,本科,高级工程师,主要研究方向:地质勘探数据采集与处理解释。