

彬长地区去除煤层对储层 预测影响的方法

乔中林

(中石化华北油气分公司勘探开发研究院, 郑州 450006)

摘要:延安组煤层对延长组储层研究主要形成 2 种干扰:一是由于煤层对地震波的强反射形成了反射屏蔽作用,造成下覆延长组反射波振幅变弱;另一种是多套煤层之间形成层间多次波,给地震资料带来灾难性后果,严重影响了解释的准确性。通过已钻井资料拟合煤层厚度与振幅属性的关系,并且预测全区煤层厚度的基础上,采用子波分解和波形分解方法,通过合理的控制时窗,对比第 1、2、3、4 分量的平面特征及与已钻井的吻合率情况,寻找到一种在彬长地区消除煤层对地震资料影响的研究方法。

关键词:煤层;多次波;子波分解;波形分解

中图分类号:TE32⁺1

文献标识码:A

DOI:10.16028/j.1009-2722.2018.11010

鄂尔多斯盆地南部受浅表层复杂地震地质条件的影响,开展地震勘探难度相当大,尤其在黄土塬地表和延安组煤层发育的双复杂地区,给资料处理和解释带来很大困难。黄土塬区地表覆盖厚度几十米至几百米的黄土层,除地震波激发和接收条件差外,干燥疏松的黄土层对下行波和上行波具有强烈的吸收损耗。黄土层强烈吸收使下伏岩层地震反射能量大幅减弱,信噪比低。延安组赋存 1~3 层煤层,由于浅部强反射界面的能量屏蔽作用^[1],对下伏中生界延长组主力油气储层主要有两方面的影响:一是由于煤层对地震波的强反射形成了反射屏蔽作用,造成延长组反射波能量较弱,在储层预测时,很难提取出有效的地震属性;其次,煤层之间形成层间多次波,与有效地震反射波叠合在一起,改变了地震同相轴的振幅、相

位和频率特征,严重影响了解释的准确性和储层预测的精度。本文主要探讨在解释方面去除煤层对储层预测造成影响的解决办法。

1 彬长地区地质概况

彬长地区是鄂南双复杂区的典型区块,位于鄂尔多斯盆地伊陕斜坡与渭北隆起带的交汇处,区域构造上位于伊陕斜坡带的西南端,西邻天环坳陷。区块构造比较简单,NW 走向,地层倾角 1°左右,局部发育小型低幅度鼻状隆起。钻井揭示中生界自下而上主要发育有三叠系、侏罗系中下统、白垩系下统。上三叠统延长组上部受晚印支运动的影响而剥蚀缺失,区内主要缺失长 1、长 2、长 3、长 4+5 部分缺失;中侏罗统延安组上部受燕山构造运动的影响而剥蚀缺失。研究区中侏罗统延安组与下伏地层上三叠统延长组、上覆地层中侏罗统直罗组形成两组角度不整合地层接触。钻井钻遇延长组以上地层厚度 1 900~2 200 m,自上而下有第四系,白垩系志丹群,侏罗系安定组、直罗组、延安组,上三叠统^[2-4]。延安组和延

收稿日期:2018-08-15

基金项目:国家科技重大专项“低丰度致密低渗油气藏开发关键技术”(2016ZX05048)

作者简介:乔中林(1980—),男,硕士,工程师,主要从事石油勘探开发中的物探资料解释的研究工作。E-mail:qiaozl_186@163.com

长组地层层序如表 1。

区内属黄土塬复杂地形,海拔 920~1 390 m,相对高差一般在 200 m,塬、梁、茆、沟纵横交错。该区属典型的大陆性高原气候,日照时间长,温差大,年平均气温 6~10℃,冰冻期为每年 11 月下旬至次年 3 月上旬,年降雨量为 190~500 mm,降雨多集中在 7—8 月。区内水系主要为黄河、泾河水系,主要的河流有泾河、马莲河等,呈放射状或树枝状穿越整个工区。西(安)兰(州)公路贯穿工区,县城之间、县乡之间有公路贯穿,区内

交通较为便利。由于长期雨水切割,形成了树枝状水系及塬、梁、茆、坡并存的独特地貌,表层结构极其复杂。其中,塬上(梁和茆)地层以黄土层为主,结构疏松,含水层较深水量较少;沟谷多为冲积砾石区,含水层较浅水量较多,部份沟谷基岩外露。工区西部延安组煤层较发育,东部煤层不发育,且在西部煤层较发育地区,煤层的厚度变化较大,延安组的煤层厚度较大的区域 T6c 能量较弱,煤层厚度较小的区域 T6c 能量较强,故使得在工区的西部利用振幅信息进行砂体预测较困难。

表 1 鄂尔多斯盆地地层层序表(局部)
Table 1 Stratigraphic sequence table in Ordos Basin(partial)

地 层 系 统						地震波组	埋深/m	厚度/m	岩 性 简 述				
界	系	统	组	段(层)	油层组								
侏罗系			延安组 (J ₁₋₂ Y)	延五段 (J ₁₋₂ Y ₅)	延1~3	T _{sb}	534~952	188~326	上部厚层状灰色泥岩与浅灰、灰色细砂岩、粉砂岩不等厚互层,夹多层炭质泥岩及煤层;下部灰白色中砂岩夹薄层灰色泥岩;底部灰色含砾中砂岩。下部发育河流相砂岩储集体				
				延四段 (J ₁₋₂ Y ₄)	延4								
					延5								
				延三段 (J ₁₋₂ Y ₃)	延6								
					延7								
				延二段 (J ₁₋₂ Y ₂)	延8								
					延9								
				富县组 (J ₁ F)	延10								
					延一段 (J ₁₋₂ Y ₁)					延11	T ₅		
				三叠系						上统	延长组 (T ₃ Y)	长五段 (T ₃ Y ₅)	长1
长四段 (T ₃ Y ₄)	长2	T _{ef}											
长三段 (T ₃ Y ₃)	长3	T _{ee}											
	长4+5	T _{ed}											
长二段 (T ₃ Y ₂)	长6	T _{ec}											
	长7	T _{eb}											
长一段 (T ₃ Y ₁)	长8	T _{ea}											
	长9	T ₆											
	长10												

2 煤层影响的形成机制

2.1 煤层能量屏蔽作用形成机制

由于煤层纵横波速度、密度皆比正常压实砂泥岩小,形成强波阻抗界面,引起下行地震波产生强烈的透射损失,对煤层下伏所有储层预测构成陷阱^[5]。

根据能量守恒定律,反射系数 R 与透射系数 T 存在能量消长关系,即 $T=1-R$,因此,反射系数值 R 越大,透过能量越弱,界面的能量屏蔽作用越强^[6]。

在彬长地区主要目的层段存在的 3 种主要岩性为砂岩、泥岩和煤层,根据统计分析,砂岩阻抗为 11 900 ($\text{m/s} \cdot \text{g/cm}^3$),泥岩阻抗为 10 900 ($\text{m/s} \cdot \text{g/cm}^3$),煤层阻抗为 3 000 ($\text{m/s} \cdot \text{g/cm}^3$),砂泥岩波阻抗差异并不大,反射系数约 0.04;但是煤层阻抗和围岩就会因为波阻抗差异大形成强反射系数,约为 0.57,其大小近乎 10 倍于砂泥岩的反射系数。因此,该区煤层的界面往往构成强反射界面,从而透射系数减小,造成透射能量减弱。

2.2 煤层层间多次形成机制

含 1 套煤层的波场含有多次波,但能有效区分有效波与多次波;含 2 套煤层的波场所含的多

次波逐渐增多,难以识辨,和有效波不能清晰的区分;当煤层达到 3 套时,所得到的波场极其复杂,有效层位完全被多次反射淹没。因此,随着煤层的增多,通过模型正演得出的波场越来越复杂,将会严重影响有效反射信号^[6]。

层间多次波产生于地下强反射界面产生的多次反射,在彬长地区的实际地层中,煤层与砂泥岩形成的强波阻抗界面,地震波在该地层中传播时会产生全程或层间多次反射波,它们与一次反射波相互干涉叠加,使强反射层下方岩层反射波的信息变弱或发生畸变,而且改变了目标层反射波频谱,造成一次反射波解释的困难,甚至造成地震资料解释错误。层间多次波主要有以下 3 个特点:①在无其他反射波干涉情况下多次波之间等距离间隔;②多次波反映第 2 界面信息,故与第 2 界面平行;③多次波会掩盖下层界面的一次反射,产生干涉(图 1)。

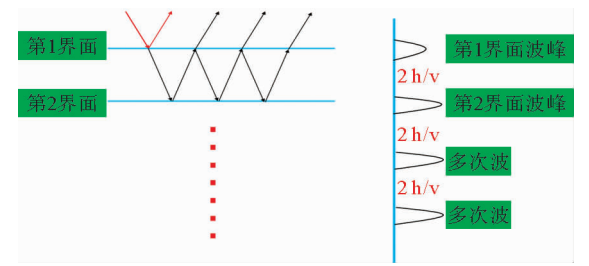


图 1 多次波形成机理图

Fig. 1 Forming mechanism of multiple waves

3 研究解决煤层影响的办法

3.1 预测煤层厚度

在地震勘探中,根据薄层的理论研究认为,当

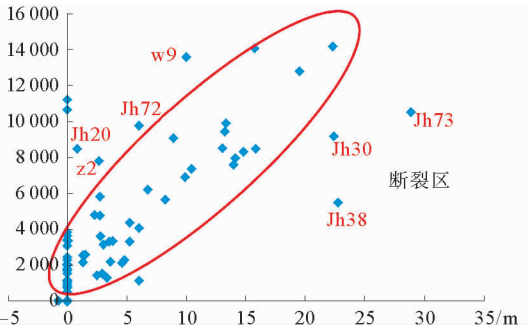


图 2 钻井煤层厚度与 Tsb 振幅交会图(左图未排除异常值,右图排除异常值)

Fig. 2 Relationship between thickness of coal seam and amplitude of Tsb

薄层厚度等于 $\lambda/4$ 时,反射波振幅为最大,称 $\lambda/4$ 为薄层调谐厚度;当夹层厚度 $>\lambda/4$ 时,顶、底反射可以分辨,夹层厚度与顶、底反射时差成正比;当夹层厚度 $<\lambda/4$ 时,顶、底反射不能分辨,成为一个复合波形,其夹层厚度与反射波振幅近似正比^[7]。根据煤层屏蔽的原理,很大一部分能量被反射,在调谐厚度之内,煤层顶界最大振幅与厚度基本呈线性相关关系^[5]。

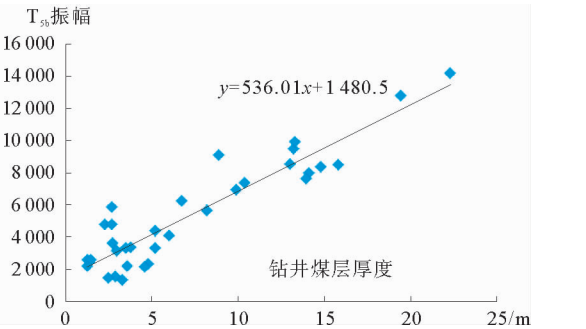
在彬长地区通过对 70 口钻井钻遇的煤层厚度及煤层层数做了详细统计分析,然后提取钻井处煤层反射界面的振幅值(T_{sb} 波峰振幅),统计并作交会分析,煤层厚度和振幅关系也呈现出正比关系(图 2)。

在图 2 左图中,由于一些井点位于断裂处,这些点的振幅受到断裂的影响不能反应煤层厚度,归于异常点。因此在排除断裂区影响的一些非点后,相关关系更加明显(图 2 右图),拟合出了煤层厚度和 T_{sb} 振幅的相关关系 $y = 536.01x + 1\,480.5$ 。通过拟合这种相关关系把 T_{sb} 的振幅转化为煤层厚度,预测了全区煤层厚度图(图 3),根据厚度图分析:西部煤层较厚,中部次之,东部煤层基本不发育的认识完全符合彬长的地质认识,也进一步验证了此预测方法的可靠性。

3.2 子波分解和波形分解原理

通过调研发资料,Geocyber 软件的子波分解和波形分解模块具有解决强能量屏蔽下储层预测和多次波消除这方面问题的能力,且有成功案例可以借鉴。本次研究在此软件模块中开展工作。

软件先对原始地震数据体做子波分解,然后对分解后的结果开展重构和波形分解研究,所使用的方法技术原理如下:



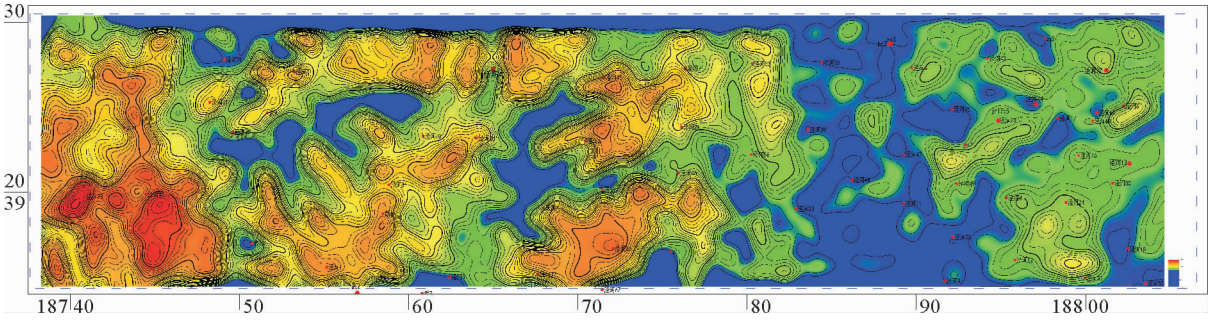


图 3 彬长地区煤层厚度预测图

Fig. 3 Predicted coal seam thickness in Binchang area

多子波地震道分解是完全基于多子波地震道模型,把一个地震道转换成不同形状的子波的叠加(图 4)。其分解过程完全是在时间域进行的,分解方法也与富里叶变换完全不同。多子波地震道分解所得到的子波是有限长度的复合波,与富里叶变换得到的无限长的谐波完全不同。多子波地震道分解技术突破了许多常规的地震信号处理和解释中的单一地震子波的假设,它可以将一个地震道分解成多个不同形状,不同主频率的地震子波。用这些子波重新组合,就可以精确地重构出分解前的地震道。实践中对多子波地震道分解和重构技术的应用分做两步:首先是对叠后数据的分解处理,将地震数据中目标层段分解成不同主频的雷克子波的序列或集合;其次是重构分析,用所有子波重构就可以得到原始的地震道或数据体,用部分子波重构可以得到新的数据体,满足特定的研究目的使用。

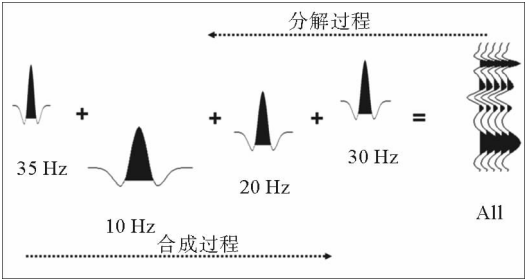


图 4 子波分解与合成示意图

Fig. 4 Schematic diagram of wavelet decomposition and synthesis

波形分解是基于子波分解数据体的后续技术,其分解是一种提取线性相似地震波形状的分解与合成的方法。这一方法把输入地震数据段分

解成若干个分量。第 1 分量的波形代表在所有输入的地震数据段中具有最大共性,最大能量的波形;第 2 分量则是去掉第 1 分量后的地震数据段中具有最大共性,最大能量的波形;第 3 分量则是去掉第 1 和第 2 分量后的地震数据段中具有最大共性,最大能量的波形……,以此类推。一般高阶分量很少具有共性,大多数为噪音。

相似振幅的同一地震分量反映相应地质层段相似的物理和地震岩相特征,即相似地震响应的地质岩性或岩相特征。因此,第 1 分量反映该地区最大一级的地质岩性或岩相分类。第 2 分量则反映该地区次一级的地质岩性或岩相分类……,以此类推。因此,地震体分解提供了一个有效的识别不同等级中不同地震响应的地质岩性和岩相块体的有效方法。

3.3 彬长地区应用效果分析

彬长地区煤层分布广泛且层数基本多于 1 层,厚度最大 22 m,在工区中西部较厚,东部较薄,广泛的煤层分布成为强屏蔽和多次波的条件。为了消除煤层对地震资料的影响,主要应用子波分解和波形分解技术展开了一系列分析研究。

首先对全区做了 0~80 Hz 子波分解,为后续研究打下基础。全子波重构剖面 and 原始剖面完全一致,也证明了子波分解的可靠性和可逆性。

其次为了验证波形分解的效果,选了一块区域做了大时窗波形分解,再把全分量重构和原始剖面做对比(图 5),在肉眼识别情况下几乎完全一致,达到了印证波形分解的效果。由于此步分解计算量相当庞大,在计算机可承受的范围内只能做全区小时窗的研究。针对目的层长 81,为了

准确确定开时窗的参数,对区内钻井开展了统计分析。最终通过井上统计分析保证研究时窗能包括长 81 段,得到时窗大小为 $T_{6c} + 2\text{ ms}$ 到 $T_{6c} + 25\text{ ms}$ (图 6)。

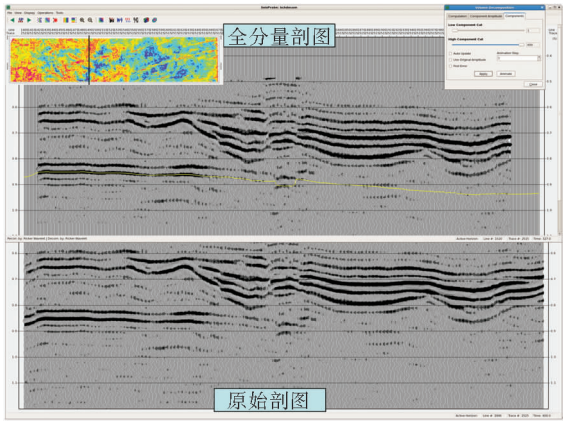


图 5 全分量剖面和原始剖面对比研究图

Fig. 5 Comparison of full component and original section

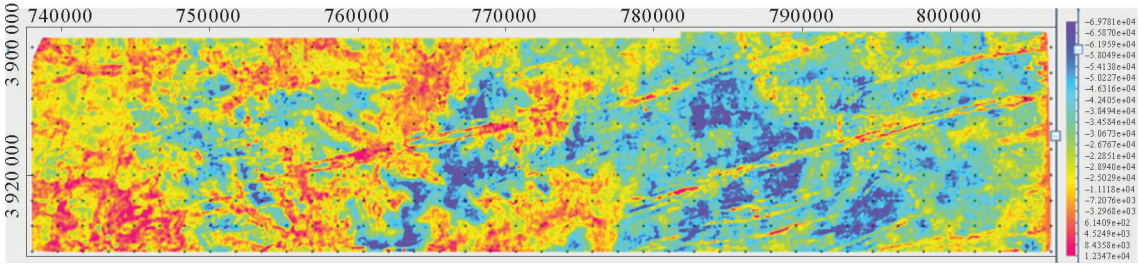


图 7 第 1 分量平面图

Fig. 7 Spatial distribution of the first component

(图 8),认为第 4 分量能反应长 81 砂体展布的平面分布情况,并总结了几种反射剖面特征:①上波谷下波峰能量中等或偏弱(橘黄或红);②上波谷下波峰能量强(黄);③上波峰下波谷(绿、青)。其中第 1 类为有利波形,第 2、3 类为不利波形。通

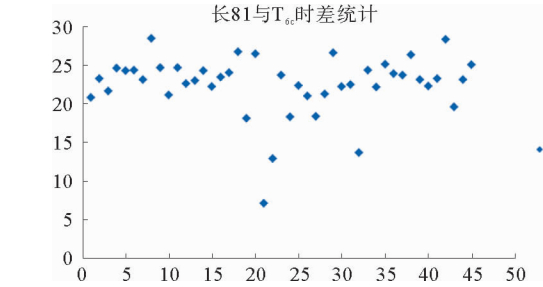


图 6 计算时窗的选取分析图

Fig. 6 Window selection analysis

通过计算时窗内波形分解,得到第 1 分量的平面分布和煤层分布存在极大相似性,尤其在煤层较厚的区域几乎和煤层厚度图完全重合,因此,认为第 1 分量为煤层的反应(图 7)。

去除第 1 分量后,再进一步研究分析第 2 分量、第 3 分量、第 4 分量。通过与钻井砂岩厚度对比分析,第 4 分量平面图较符合目前的地质认识

过这种认识,分类统计了与实钻井吻合率情况。其中第 1 类有利区直井吻合率为 85%,第 2、3 类不利区直井吻合率为 75%,基本满足了一定认识条件下的砂体预测工作。

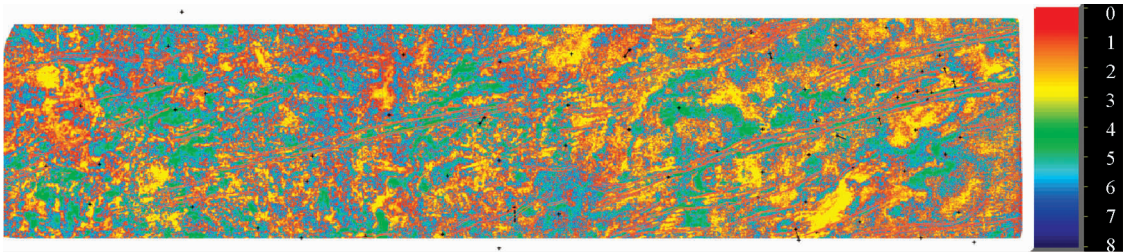


图 8 第 4 分量平面图

Fig. 8 Spatial distribution of the 4th component

4 结论

(1)利用钻井处煤层反射波振幅属性和煤层厚度的交会关系,预测了全区煤层厚度,并得到了新钻井的验证。

(2)子波和波形分解技术的应用从一定程度上削弱了煤层对下伏地层反射波的屏蔽作用和层间多次波干扰,遴选出代表砂岩厚度分布地震波分量属性,达到了在煤层干扰下预测砂体的效果。

(3)煤层多次波对地震资料的影响十分复杂,如何彻底消除仍在探索之中。

参考文献:

[1] 王建华,李庆忠,邱 睿. 浅层强反射界面的能量屏蔽作用

[J]. 石油地球物理勘探,2003,38(6):589-596.

[2] 黎小伟,范久霄,刘明汐,等. 相干体解释断层方法测试及泾河油田的应用[J]. 海洋地质前沿,2015,31(12):65-70.

[3] 乔中林,杜立筠. 约束稀疏脉冲波阻抗正反演参数研究[J]. 海洋地质前沿,2016,32(8):52-58.

[4] 齐 颖,范久霄,黎小伟,等. 振幅属性在 M 气田盒 1 段储层预测中的应用[J]. 海洋地质前沿,2017,33(6):65-70.

[5] 莫亮台,唐德林,高久灵. 高速屏蔽层下煤层反射波能量正演模拟[J]. 中国煤炭地质,2008,20(增刊):77-78,86.

[6] 高 远,张华清,陈昌武,等. 强反射层屏蔽下薄煤层三维地震勘探应用研究[J]. 山东科技大学:自然科学版,2002,21(1):54-58.

[7] 杨庆道,王伟锋,尹以东,等. 能量屏蔽作用的类型、形成机制及应对方法[J]. 中国石油大学学报:自然科学版,2011,35(5):44-50.

THE METHOD TO REMOVE COAL SEAM’S INFLUENCE ON
OIL RESERVOIR PREDICTION: A CASE FROM
THE BINCHANG AREA

QIAO Zhonglin

(Exploration and Development Institute of North China Branch of Sinopec, Zhengzhou 450006, China)

Abstract: Two kinds of interference are observed in the study of the Yanan Formation coal seam and its influence on the Yanchang Formation reservoir. One is the reflection shielding of seismic waves caused by the strong reflection of coal seams, which made the amplitude of the reflection wave in the deeper sequences weaker; the other is the multiple waves caused by the multiple sets of coal seams, which seriously affect the accuracy of data interpretation and bring catastrophic consequences to the seismic data. By fitting the thickness of the coal seam with the amplitude attribute of the coal seam and predicting the thickness of the coal seam in the whole area, this paper used the wavelet decomposition and the waveform decomposition method, and compared the plane characteristics of the first, second, third and forth components and their coincidence with the drilling wells through a reasonable control of time window. Results confirm that the method seems quite effective to eliminate the influence of coal seams to seismic data in the Binchang area.

Key words: coal seam; multiple wave; wavelet decomposition; waveform decomposition