

## 波阻抗约束反演技术探测煤厚方法初探

孙英杰, 胡小鹏

(江苏煤炭地质物测队, 江苏 南京 210046)

**摘要:**现代化矿井生产技术日新月异,尤其对煤层厚度的探明程度要求越来越高。综合利用地质钻探和测井等资料,与地震资料有机结合而产生的具有高分辨率的新方法,发挥了钻探、测井和地震勘探技术各自的优势,实现了不同技术之间取长补短并提取地震属性参数,通过波阻抗约束反演可获得煤层厚度参数,达到对煤层厚度进行预测的目的。

**关键词:**约束波阻抗反演技术;地震属性参数;煤层厚度

**中图分类号:**P631.4

**文献标识码:**B

## 0 引言

地震反演技术是综合运用地震、测井、地质等资料以揭示地下目标层(如煤层等)的空间几何形态(包括目标层厚度、顶底构造形态、延伸方向、延伸范围、尖灭位置等)和目标层微观特征,将大面积的连续分布的地震资料与具有高分辨率的井点测井资料进行匹配、转换和结合<sup>[1-3]</sup>。

煤矿勘探区分布有数量较多的钻孔资料,它可以作为已知的边界条件,从而减少反演问题固有的多解性。因此,可以将纵向高分辨率的钻孔资料与横向稳定的地震高分辨率资料结合,来预测煤层空间变化及分布。

从常规叠加剖面与反演地震剖面的对比结果,可以得出,利用常规地震剖面难以准确确定煤层的顶底板位置,因此,如果不进行地震资料的高分辨率反演,就难以进行煤层厚度的预测。

## 1 技术理论

约束波阻抗反演技术的原理是根据测井信息(主要是声波时差和密度)反演井旁地震道及附近介质的绝对阻抗等其他一些物性参数,并通过联井的地震数据将井上的信息进行横向递推。由于测井资

料有很高的垂向分辨率;地震勘探的分辨率虽不高,但是具有线上和面上的数据,可做控制。把2种资料结合起来,取长补短,可以获得对地下岩性分布情况较为详细的了解。宽带约束(BCI)反演方法的基本思想即是在上述井震联合的基础上,利用地震资料(带限)建立宏观模型,在测井数据建立的微观模型(宽带)的约束下,求最小二乘意义下的最佳地质模型。

约束反演在煤田地震勘探中的应用,主要是反演煤层的厚度和煤层的顶底板的岩性变化,提供有关储层的一些物性参数,包括孔隙度、渗透率、裂隙发育状况等。从反演角度来看,煤层与围岩之间波阻抗存在较大差异是进行反演的地球物理基础,而煤层厚度、煤层层位的稳定性、煤层之间层间距的大小以及围岩在工区内稳定性是影响反演效果的重要因素。

波阻抗反演法求取煤层厚度方法是,将时间域的地震数据转换为深度域的地震数据,与测井资料联合反演,得到深度域的拟波阻抗数据体。煤层的拟波阻抗值大约介于一定幅值之间,以这一区间作为某煤层的拟波阻抗阈值,对全区进行追踪,得到煤层的顶底板数据,二者相减即可得到该煤层的初始厚度值。然后,将利用克立格法预测的结果与实际钻井结果进行匹配,即可得到煤层厚度预测结果<sup>[4]</sup>。

\* 收稿日期:2013-05-14;修订日期:2013-05-17;编辑:陶卫卫

作者简介:孙英杰(1980—),女,山东莱阳人,工程师,主要从事地震勘探技术工作;E-mail:ldh5265@163.com。

## 2 应用的地区地质背景

山东金桥煤矿位于山东省金乡县城北约 5 km 处,该煤矿为隐蔽式煤田。大地构造位于华北地台山东地块背斜的西南部,即在鲁西南断块内。区域构造上北面为汶泗断层,南面为丰沛断层,东面为峰山断层,西面为聊考断层。钻探揭露的地层自下而上分别为古生界奥陶系、石炭系、二叠系,中生界侏罗系及新生界新近系、第四系。

主采 3 煤层平均厚 5.35 m,是区内的主采煤层。该煤层也是约束波阻抗反演技术探测煤厚的对象。从波阻抗剖面中的波阻抗层与煤层厚度关系对比中可以发现,与煤层对应的波阻抗层与大多数较厚煤层厚度近一致,因此将代表某一煤层波阻抗层的底和顶的时差之半与该煤层平均速度乘积(据全部煤层平均速度统计,研究区煤层平均速度约 2 210 m/s),即为该煤层厚度值。受反演纵向分辨率的限制,反演成果对于较薄煤层厚度的定量计算仍然存在下限值。理论上,当纵向采样率为 0.5 m,煤层速度 2 000~2 400 m/s,平均速度 2 200 m/s 时,波阻抗顶底极限时差为 0.5 ms,按此时差计算反演计算煤厚的最小值约为 0.55 m。实际上,由于地震资料信噪比限制、同一剖面不同段噪声水平的不同、反演剖面色标的精度和读取波阻抗层底和顶的时差存在误差,同时煤层速度的精度等都是影响计算煤厚的因素。

### 2.1 波阻抗层顶底界面时差的读取

从反演波阻抗时间剖面中读取波阻抗层时差的方法是采用波阻抗值门槛值法。首先用井中煤层的厚度在波阻抗剖面上标定对应煤层的波阻抗层顶和底的界线并确定波阻抗值,井的位置不同波阻抗剖面不同,确定煤层的波阻抗值的范围有微小差异,需要对所有井进行统计分析,确定一个合适的能代表煤层厚度范围的波阻抗值。然后根据设置波阻抗值的色标,调节和控制颜色范围使之与井的煤层厚度对应起来。此时为与煤层厚有关的波阻抗值  $G$  值。该研究区  $G$  值为  $3.7 \times 10^6 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{m/s}$ 。

### 2.2 波阻抗体剖面与煤岩(层)体剖面转换

为突显波阻抗所反映的煤岩层在剖面中状态,将大于  $G$  值的波阻抗值重置为 0 值,将小于  $G$  值的波阻抗值重置为 1 值。重置波阻抗值后的剖面波阻

抗值为 0 或 1,其地质含义变成为围岩与煤岩层的简单关系, $G$  值为 0 时代表围岩, $G$  值为 1 时代表煤岩。如图 2 所示,由 L13 线地震波阻抗剖面转换为煤岩剖面示意图,图 1 中,浅色  $G$  值为 0 的围岩区,黑色  $G$  值为 1 的煤岩层。

波阻抗剖面转换为煤岩层剖面的好处在于不仅直观了解煤岩层的分布,而且对目标煤层设置时窗,可更方便地获取每道关于目标层的样点数,通过垂向样点数与采样率的乘积,可快速准确得到目标层顶界与底界面的时差。目标“煤层”厚度可根据下式计算:

$$h = \frac{1}{2} A s \nu$$

式中: $h$  为计算煤厚; $A$  为采样点数; $s$  为采样率(间隔); $\nu$  为煤层平均速度。

## 3 实际应用情况

为研究波阻抗反演成果定量计算煤层厚度的精度,将研究区厚度较大、稳定较好的 3 煤作为厚度计算对象。方法是:用 4 个已知钻孔煤厚数据标定 3 煤层平均速度和 3 煤波阻抗层顶、底界面波阻抗值,以获取煤厚在波阻抗剖面中的顶底界面“时差”值来计算钻孔处 3 煤层厚度,如表 1 所示。

表 1 3 煤层实际厚度与预测厚度对比

孔号	预测厚度(m)	实际揭露厚度(m)
D2	7.3	8.1
D7	2.2	2.5
D9	4.9	5.4
D12	3.6	3.9

按钻孔揭露 3 煤层钻孔厚度统计,该煤厚度范围 0~8.42 m,平均 5.35 m。反演计算煤厚最大差值为 3.40 m,最小差绝对值 0.02 m,平均绝对误差为 1.01 m;最大相对误差值为 29.56%,最小相对误差为 0.24%,平均误差 2.67%。从误差分布分析图中可知,厚度差值范围总体分布于 0~2.5 m 范围。由于反演剖面所反演的平均误差小于 3%,这表明用反演所得的煤层厚度可作为煤矿储量计算的依据。

在地震精细解释和测井处理的基础上,运用 JASON 反演软件进行岩性预测,为了保证反演精度和准确性,在层位标定及子波提取、地质模型的

建立、约束稀疏脉冲反演、道合并、煤层厚度追踪等环节上应保障数据的可靠。在煤层厚度相当于 1/2 ~ 1/4 波长时，可利用波阻抗剖面求取厚度。首先对煤层顶底界进行标定并追踪对比，求取层速度，对煤层厚度按下式求取：

$$h = kV(T_1W - TUP) / 2$$

式中： $k$  为层速度与测井层速度差异的校验因子； $V$  为层速度； $TUP$  为煤层顶界反射时间； $T_1W$  为煤层底界反射时间<sup>[5-6]</sup>。

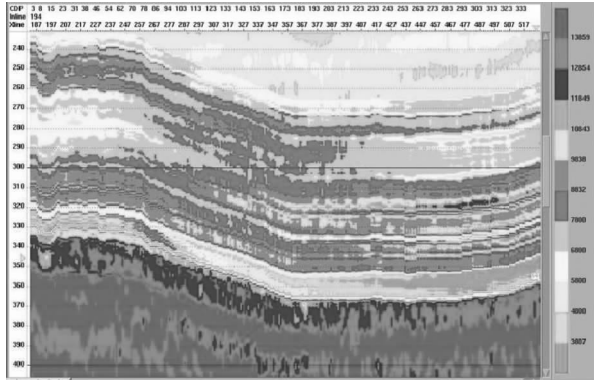


图 1 联井反演地震剖面示意图

从图 1 中可以看出 3 煤层的变薄缺失情况，在振幅切片上能量明显变弱(绿色)，蓝色增多，也是 3 煤层的变薄的特征显示。当然，在相位切片上也存在较大差异。

## 4 结语

利用约束波阻抗反演技术，并提取地震属性参数，结合煤层厚度勘探的特点，通过波阻抗反演可获

得煤层厚度、裂隙发育状况等诸多储层参数，达到对煤层厚度进行预测的目的。

(1)子波的提取一定要与测井、地震数据相匹配。

(2)在反演中不可避免地存在多解性，分析时应与地质、地震和测井相互结合，才能合理利用反演结果。

(3)煤层呈现为低波阻抗值，范围一般为 3 000 ~ 8 000 kg/ s · m<sup>2</sup>。

(4)视电阻率曲线对砂、泥岩变化反映敏感，用多井约束下的视电阻率曲线进行的电阻率反演可对煤层顶板的岩性预测发挥作用。伽码曲线则能反映出煤层变化，因此，利用多井约束下的伽码曲线转换成声波曲线后进行波阻抗反演即能反映煤厚的变化规律。利用约束波阻抗反演技术预测煤层厚度将在煤矿生产实际中得到广泛利用。

## 参考文献：

[1] 李庆忠. 走向精确勘探的道路[M]. 北京:石油工业出版社, 1993:139-140.  
 [2] 陆基孟. 地震勘探原理[M]. 北京:石油大学出版社,1993:244-245.  
 [3] 崔若飞. 煤田岩性地震勘探技术进展[D]. 中国矿业大学, 2010.  
 [4] 蔺素仙. 煤炭资源勘探新技术探索[J]. 山西科技,2012,(4):29-30.  
 [5] 黄绪德. 反褶积与地震道反演[M]. 北京:石油工业出版社, 1992:154-191.  
 [6] 李庆忠. 论地震约束反演的策略[J]. 石油地球物理勘探,1998, 33(4):423-438.

# Primary Study on Constrained Inversion Techniques in Detecting Coal Thickness

SUN Yingjie, HU Xiaopeng

(Jiangsu Coal Geological and Geophysical Surveying Team, Jiangsu Nanjing 210046, China)

**Abstract:** Modern mine production technology has gained many achievements. Precision of proved degree of coal strata thickness has become increasingly highly. Through comprehensive utilization geological drilling and well logging and other information, combing with seismic data, a new method with high resolution has formed. It has played respective advantages in drilling, well logging and seismic exploration technology, reduced different technical errors, and extracted the earthquake attribute parameters. Through the wave impedance constrained inversion, coal strata thickness parameters can be gained, and coal strata thickness can be predicated.

**Key words:** Constrained impedance inversion technique; seismic attributes; strata thickness