

# Selection and Optimization of Parameters of High-density 3D Seismic Exploration and Observation System in Coal Field

Qing Pu Xiaohu Fu

Comprehensive Geological Exploration Team of Coal Geology Bureau of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi, Xinjiang, 830009, China

## Abstract

In recent years, with the country's strong support and investment in Xinjiang energy industry, coal related industries such as: Xinjiang coal to the east, coal to power, coal to gas, oil, coal to oil and other coal chemical projects have been also rapidly developed, and related coal, coal bed methane exploration accuracy requirements are becoming higher and higher. As one of the important means of coal and coal-bed methane exploration, three-dimensional seismic exploration has gradually changed from the traditional exploration to high-density and high-precision seismic exploration. Therefore, from seismic exploration design to data collection, processing, interpretation and other aspects need to be further refined, multi-parameter optimization. This paper expounds the purpose and requirements of high-density 3D seismic design in detail, aiming to provide reasonable parameter selection principles for the seismic exploration of coal and coalbed methane.

## Keywords

coal bed methane; three high density dimensional seismic exploration; design; optimization

## 煤田高密度三维地震勘探观测系统参数的选择与优化

蒲青 付小虎

新疆维吾尔自治区煤田地质局综合地质勘查队, 中国·新疆 乌鲁木齐 830009

## 摘要

近年来,随着国家对新疆能源行业的大力支持与投入,与煤相关的产业,如疆煤东运、煤转电、煤制气、煤制油等煤化工项目也得到了较快发展,而与之相关的煤炭、煤层气勘探的精度要求也越来越高。三维地震勘探作为煤炭、煤层气勘探的重要手段之一,也由传统的勘探逐渐转变为高密度、高精度地震勘探。因此,从地震勘探设计到数据采集、处理、解释等方面都需要进一步精细化,进行多参数的优化。论文从多个角度入手,详细阐明了高密度三维地震设计的目的和要求,旨在为煤炭、煤层气的地震勘探提供合理的参数选择原则。

## 关键词

煤层气; 三高密度维地震勘探; 设计; 优化

## 1 引言

新疆煤炭资源丰富,特别是准噶尔盆地、三塘湖—淖毛湖盆地区域尤为丰富。论文在三塘湖—淖毛湖盆地某矿三维地震勘探的基础上,研究优化采集参数,旨在获得高分辨率、高保真度、高信噪比的地震勘探数据,为下一步煤矿开采建井设计、煤层气靶区优选提供精准的地质资料。

## 2 地质情况

测区整体为一石炭—二叠系为基底的中—新生代沉积

盆地,地层自下而上主要有石炭系(C)、二叠系(P)、侏罗系(J)、古近系(E)、新近系(N)。侏罗系为本区含煤地层,其中八道湾组含煤0~2层,三工河组夹煤线或薄煤层,西山窑组含煤1~18层,头屯河组不含煤。测区主要煤层有三层:2煤平均厚5.13m,9煤平均厚16.62m,18煤平均厚3.64m。

测区主体构造为一NWW走向的宽缓的向斜。北翼倾角较陡,一般为 $20^{\circ}$ ~ $30^{\circ}$ ,南翼倾角较缓,一般为 $10^{\circ}$ ~ $18^{\circ}$ 。

## 3 以前地震资料的收集与研究

根据以往区内地震资料,区内共需解释目的层位5层,分别命名为 $t_0$ 、 $t_1$ 、 $t_2$ 、 $t_3$ 、 $t_4$ 。通过以往资料分析,直

【作者简介】蒲青(1987-),男,中国四川西充人,本科,高级工程师,从事煤田勘探、煤炭/煤层气地震勘探、地震勘探研究。

达波速度为 1687m/s, 折射波速度为 2147m/s, 通过计算干扰波切除量, 要求最大炮检距小于 3879m; 主反射层  $T_2$  在 2400m 排列长度内反射系数比较稳定,  $T_3$  在 2800m 排列长度内反射系数比较稳定, 没有进入能量突变区, 因此, 排列长尽量限定在 2800 以内; 速度拾取: 若使主要目的速度精度小于 5% 时, 最大偏移距大于 1500m, 若使主要目的速度精度小于 10% 时, 最大偏移距大于 1000m; 动校拉伸: 若使主要目的层动校拉伸率小于 5% 时, 兼顾各勘探目的层动校拉伸畸变的最大偏移距大于 1100m, 若使主要目的层的动校拉伸率小于 10% 时, 兼顾各勘探目的层动校拉伸畸变的最大偏移距大于 1900m。

## 4 地震参数设计与优选

### 4.1 分辨率

分辨率直接影响地震数据的精度。纵向分辨率可根据以下公式计算:

$$R_h = V_c / 4f_{\max}$$

其中,  $R_h$  为纵向分辨率;  $V_c$  为目的层层速度;  $f_{\max}$  为目的层最高频率。当各个位置的反射波到达同一个接收点(检波器)时, 它们具有相位差且相互间具有相干影响, 这样就产生了第一菲涅尔带, 在地震勘探中, 往往把第一菲涅尔带的半径确定为横向分辨率, 横向分辨率的计算公式为:

$$R_x \approx (v/2)\sqrt{t_0/f_{\max}}$$

其中,  $R_x$  为横向分辨率;  $v$  为地层平均速度;  $f_{\max}$  为目的层最高频率;  $t_0$  为地震波双程履行时间。

### 4.2 面元

面元大小的选择既要保证横向分辨率(即横向分辨率要大于所要求解释地质体的横向长度), 又要保证各面元叠加时的反射信息具有真实性, 空间上不可以出现假频, 还要考虑断点绕射的收敛。横向分辨率在上文中已经说明。一般地层都有一定的倾角, 而要保证反射信息具有较高真实性, 就要使目的层主频低于最高无混叠频值, 最高无混叠频一般计算公式为:

$$b \leq \frac{V_{\text{rms}}}{4 \times F_{\max} \times \sin \theta}$$

其中,  $b$  为面元边长;  $V_{\text{rms}}$  为均方根速度;  $F_{\max}$  为最高无混叠频(最高频率的 1.2 倍),  $\theta$  为目的层倾角。

在煤田、煤层气地震勘探中, 查明特殊地质体是其主要任务之一, 为了使特殊地质体清晰成像, 偏移时要充分考虑特殊地质体绕射波收敛的问题, 根据经验要使特殊地质体绕射波充分收敛, 面元尺寸一般不超过 6.5m。所以, 由上所述, 面元的大小跟道距有道距、炮距有直接关系。

### 4.3 炮检距的选取

在确定炮检距时, 方位角大小、目的层深、动校拉伸量、速度分析、反射系数等都是确定炮检距的重要因素。

最大炮检距  $X_{\max}$  的选择应遵循以下原则:

- ①最大炮检距应近似于或略大于最深目的层的深度, 宜为最深目的层深度的 1~1.2 倍, 最大不超过 1.5 倍。
- ②满足速度分析精度要求。在后期资料处理及资料解释时, 需要对速度做精确分析, 包括叠加速度和均方根速度。速度分析时正常时差需要大一些。炮检距与正常时差的关系, 如下式:

$$x \geq \sqrt{\frac{2t_0}{f[(v-\Delta v)^{-2} - v^{-2}]}}$$

其中,  $x$  为排列长度;  $t_0$  为目的层反射波双程履行时间;  $f$  为反射波主频;  $v$  为叠加速度;  $\Delta v$  为速度误差。

从上式可看出, 为求准均方根速度, 最大炮检距不应过大。但相关的速度谱是通过大量的统计得来, 道数越多、炮检距越大, 统计效果越好。所以在选择最大炮检距可根据以下公式, 给出速度与排列长度曲线, 以确定最佳排列长度。

$$x = \sqrt{\frac{2t_0 \Delta t}{(v-\Delta v)^{-2} - v^{-2}}}$$

- ③对于动校拉伸的要求, 为得到更多的相对较深的有效波, 使动校对其影响、畸变控制在限定的范围内, 且使动校拉伸对有效波信号的影响相对小, 炮检距与动校拉伸的关系为:

$$D = \frac{x^2}{2t_0^2 v^2} \times 100\%$$

其中,  $D$  为动校正拉伸量;  $x$  为炮检距;  $t_0$  为目的层双程履行时间;  $V$  为平均速度。

- ④最大炮检距与反射波系数的关系: 要求反射波最大入射角要小于临界角, 因为当反射波入射角接近于临界角时, 会出现异常值, 导致反射系数不稳定; 且反射波的能量随入射角而变化, 入射角越大能量越弱, 最大炮检距与入射角的关系为:

$$x \leq 2 \sum_{i=1}^n h_i \tan \theta_{i0}$$

其中,  $x$  为最大炮检距;  $h_i$  为第  $i$  层地层厚度;  $\theta_{i0}$  为第  $i$  层的反射临界角。

- ⑤道距必须满足空间采样条件, 即道距小于最小有效波的视波长的一半。

$$\Delta x = \frac{\lambda_a}{2} = \frac{V_{\text{int}}}{2f_{\max} \sin \theta}$$

其中,  $\Delta x$  为道距;  $\lambda_a$  为有效波的最小视波长;  $\theta$  为目的层的倾角;  $V_{\text{int}}$  为上一层的地层速度;  $f_{\max}$  为有效波的最大频率。

- ⑥要求 CMP 道集内的离散距相对较小:

$$D \leq \frac{x^2}{4t_0 v_a} \sin \theta$$

其中,  $D$  为离散距;  $x$  为炮检距;  $t_0$  为相应炮检距的反

射时间； $V_a$ 为叠加速度； $\theta$ 为地层倾角。

⑦对于压制、剔除多次波的要求。

#### 4.4 最大非纵距

一般定义排列中垂直于接收线方向的最大炮检距即为最大非纵距。在 seismic 勘探中，地层倾角和非纵距的增大会使观测系统非纵方向的观测误差增大，在设计观测系统时，需要将非纵距控制在一定的范围内，使得观测误差在可控范围内，保证后期处理时叠加效果更好。最大非纵距一般计算公式为：

$$Y_{\max} \leq \frac{v}{\sin \theta} \sqrt{2t_0 \Delta t}$$

其中， $Y_{\max}$ 为最大非纵距； $v$ 为平均速度； $\Delta t$ 为非纵误差； $t_0$ 为地震波在目的层的旅行时； $\theta$ 为地层倾角。

#### 4.5 偏移量

在地震资料处理时，一般要求地震资料中的特殊地质体（如断点、侵入体等）偏移归位，正确成像。在设计观测系统时，就要考虑偏移量的问题，根据确定的偏移量扩大覆盖面积。偏移量主要考虑收集  $30^\circ$  范围内的绕射能量归位所需要的距离： $d=Z \tan \theta$ ，其中， $d$ 为绕射能量归位的距离， $Z$ 为绕射点的深度， $\theta$ 为绕射能量归位的角度<sup>[1]</sup>。

#### 4.6 宽窄方位角

在三维地震观测系统中，一般把接收线与正北方向的夹角定义为方位角。单排列之内纵向测线方向的长度与横向宽度与之比称为纵横比。一般定义纵横比小于 0.5 的为窄方位角，纵横比大于 0.5 的为宽方位角。但往往在设计时宽方位角纵横比在 0.8~1。窄方位角观测系统反射信息主要来自纵向，横向反射信息不足；宽方位角观测系统纵横向反射信息基本一致，在纵横比等于 1 时，排列内方位角在  $0^\circ \sim 360^\circ$  范围内均匀分布，宽方位角有利于压制散射干扰、提高陡倾角地层成像能力、增强对特殊地质体（如断层、裂隙等）的识别能力、增强地层岩性变化刻画能力、提高地震资料信噪比、分辨率和保真度。

而宽方位角施工成本较高，在有条件的地区尽量采用宽方位角施工。

窄方位观测系统的方位角分布较差，可能在后期处理时产生静校正耦合问题，并且不利于后期处理检测与方位角有关的变化。宽方位角采用成组加密炮点设计方法，即当相邻两炮间距小于道间距时，增加 CDP 点的密度，将原来三维观测系统中横向上的炮点变为由 N 炮变为一组炮点。这组炮点沿横向布设，将横向排列炮组扩大。这样就不增加接收线数的情况下拓宽了排列的方位角宽度，改善了面元的方位角分布特性，一般宽方位角观测系统纵横比要大于 0.8。

#### 4.7 覆盖次数

在实际生产中，覆盖次数的选择应遵循能充分压制干扰波、增加目的层的反射能量的原则，在地质情况复杂、信噪比低的地区，适当地提高覆盖次数有利于对资料的改善，横向覆盖次数达到纵向覆盖次数的一半至三分之二时的信噪比

较好。纵、横向覆盖次数与接收线数、接收道数、接收线距、炮点距、炮线距以及横向滚动距离的关系计算公式如下：

$$N = N_{inline} \times N_{crossline} = \frac{M}{2r/n} \times \frac{P \times R}{2x/s}$$

其中， $N$ 为总覆盖次数； $N_{inline}$ 为纵向覆盖次数； $N_{crossline}$ 为横向覆盖次数； $M$ 为单接收线总道数； $r$ 为纵向上炮点移动距离； $n$ 为纵向道距； $P$ 为单束单排横向炮点数； $R$ 为单束线接收线数； $x$ 为横向滚动距离； $s$ 为炮点距。

#### 4.8 最大线距的选择

为了保证静校正耦合较好，接收线距一般为道距的 2~6 倍，最大线距宜小于第一菲涅尔半径<sup>[2]</sup>。

#### 4.9 采集脚印分析

观测系统中，覆盖次数随炮检距变化而变化，每一个独立的面元是不同炮检距的综合贡献结果，面元内所有道的 CMP 叠加图显示出面元间的振幅变化，这个变化就是采集脚印。采集脚印可理解为排列周期性滚动带来的炮检点接收差异，导致成像时同一位置面元内的地震波能量周期变化。采集脚印分析方法：利用射线理论，用计算机分析出目的层每个炮检对应地震反射波能量大小，对同一面元内的能量进行叠加，再进行振幅大小进行归一化处理，输出目的层相对振幅能量断面图，进而得到反射波能量分布的规律，从而对采集脚印进行定性分析。一般来说，横向滚动距离越小、线束间接收点重复越多，资料耦合程度高<sup>[3]</sup>。

### 5 观测系统的选定

根据以上观测系统定义原则、测区地质条件和区内以往地震资料分析，选定正交束状观测系统：20L6S120T1R100 次，接收道数  $120 \times 20=2400$  道，接收道距 10m，接收线距 10m，激发点距 10m，激发排距 10m，最小炮检距 10m，最大炮检距 845m，最大非纵距 595m，束间滚动距离 60m，纵向滚动距离 60m，纵横比 0.95，覆盖次数  $10 \times 10$  次，CDP 网格  $5 \times 5$ m。

### 6 结论

煤田、煤层气地震勘探高密度三维观测系统的选择应满足小面积、宽方位角、高覆盖次数、小采集脚印的原则。同时还应满足以下设计原则：①满足地质任务、地球物理参数要求、施工条件等诸方面条件的需求；②要满足分辨率、信噪比和保真度的要求，还要兼顾资料空间连续性、最浅目的层采样、主要目的层采样等问题；③应该满足处理、解释的要求；④应该满足对于成本控制节约的要求。

#### 参考文献

- [1] 尹成,吕公河,田继东,等.三维观测系统属性分析与优化设计[J].石油地球物理勘探,2005,40(5):495-498.
- [2] 许崇宝,宁方助,孙立新,等.成组加密法宽方位三维观测系统设计方法及应用[J].中国煤田地质,2000,12(4):60-62.
- [3] 秦飞.三维地震勘探中不同覆盖次数对资料的影响[J].山西焦煤科技,2014(5):29-32.