

地质与测量



移动扫码阅读

赵 帝,杜文凤,勾精为,等.煤田三分量地震勘探观测系统设计方法研究[J].煤炭科学技术,2019,47(3):182-187.doi:10.13199/j.cnki.cst.2019.03.027

ZHAO Di, DU Wenfeng, GOU Jingwei, et al. Study on design method of three-component seismic exploration & observation system in coalfield [J]. Coal Science and Technology, 2019, 47 (3): 182 - 187. doi: 10.13199/j.cnki.cst.2019.03.027

煤田三分量地震勘探观测系统设计方法研究

赵 帝,杜文凤,勾精为,何登科

(中国矿业大学(北京) 煤炭资源与安全开采国家重点实验室,北京 100083)

摘要:以炸药为震源、联合接收纵波和转换波是目前最为流行的一种三分量地震勘探观测方式。由于纵波和转换波在波的传播路径、最佳接收窗口以及反射点位置与界面深度关系等方面有所不同,因此,设计一种同时兼顾接收纵波和转换波的观测系统有一定难度。针对转换波传播路径不对称的特点,参考纵波观测系统综合平面图示方法,提出了转换波观测系统综合平面图示方法。利用转换波综合平面图示法,可以将转换波激发点和接收点的相对位置关系和转换波勘探所观测到的地段直观地表达出来。为了实现纵波和转换波在不同的最佳接收窗口、不同的面元大小条件下,覆盖次数均能达到均匀,提出了一种兼顾接收纵波和转换波的观测系统设计方法,即在设计时,首先要保证转换波满足在最佳接收窗口的前提下,共转换点面元内覆盖次数均匀,然后对纵波偏移距进行适当编辑,使纵波在满足最佳接收窗口的条件下,共反射点面元内实现均匀覆盖次数。利用这种纵波和转换波的观测系统设计方法,不仅可以解决纵波和转换波覆盖次数的均匀性问题,而且可以使纵波和转换波数据均处于最佳的接收窗口之内,取得一举两得的效果。

关键词:三分量;地震勘探;观测系统;接收波;转换波

中图分类号:TD166;P631.4 **文献标志码:**A **文章编号:**0253-2336(2019)03-0182-06

Study on design method of three-component seismic exploration & observation system in coalfield

ZHAO Di, DU Wenfeng, GOU Jingwei, HE Dengke

(State Key Laboratory of Coal Resources and Safe Mining, China University of Mining and Technology (Beijing), Beijing 100083, China)

Abstract: Combined receiving longitudinal waves and converted wave on the basis of dynamite source method is currently the most prevalent way of three-component seismic exploration & observation method. Since the longitudinal wave and the converted wave differ in wave propagation path optimal image area and the relationship with reflection spot position and interfacial depth, it is difficult to design an observation system that simultaneously accepts both waves. Based on the asymmetry feature of the converted wave propagation path, the integrated planar graphic method of the converted wave observation system is proposed with reference to the integrated planar mapping method of the longitudinal wave observation system. By using this method, the relative positional relationship between the shot point and the receiving point of the converted wave and the section observed by the converted wave exploration can be visually expressed. Moreover, in order to achieve uniformity of the number of times of the longitudinal wave and the converted wave under different optimal receiving windows and different bin sizes, an observation system design method that takes into consideration both the received longitudinal wave and the converted wave is proposed. In this plan, it is necessary to ensure that the converted wave satisfies the optimal receiving window, and the number of times of coverage in the conversion point bin is uniform, and then the longitudinal wave offset is properly edited so that the longitudinal

收稿日期:2018-11-22;责任编辑:曾康生

基金项目:国家重大专项资助项目(2016ZX05066001)

作者简介:赵 帝(1992—),男,山东泰安人,硕士研究生。E-mail:zhaodi911222@gmail.com

通讯作者:杜文凤(1963—),女,吉林扶余人,教授。E-mail:duwf66@126.com

wave satisfies the optimal receiving window and the common reflection point in order to achieve the uniform number of coverage within the bin. By using the observation system design method, the number of times of the longitudinal wave and the converted wave can be unified, and the longitudinal wave and the converted wave data can be both within the optimal receiving window.

Key words: component; seismic exploration; observing system; receiving longitudinal wave; converted wave

0 引言

三分量地震勘探是一种纵、横波联合勘探技术,这种勘探技术在提高构造勘探、岩性勘探、裂缝勘探及油气藏识别精度和成功率方面具有明显优势,因此近年来倍受人们关注,并得到了快速发展,赵波等^[1]从多分量地震数据的采集等角度总结了近几年来国内多分量地震技术的新进展。转换波三维三分量地震勘探能够获得比纵波勘探更加丰富的岩性、裂缝和流体信息,因而有利于复杂或隐蔽油气藏的勘探,唐建明等^[2]对转换波三维三分量地震资料采集技术进行了研究,并建立了先进、实用的转换波三维三分量地震资料采集参数论证和观测系统设计分析方法。李志军等^[3]以沁水煤田为例,介绍了三分量地震勘探在的采集效果、处理技术和解释成果。李海英等^[4]对比研究了塔河油田常规三维(3D)地震数据和三分量数字检波器接收的三分量三维(3D3C)地震数据纵波波场及其成像能力的差异,验证了三分量地震资料具有更好的横向分辨率和更强的小规模缝洞体识别能力。

和纵波相比,转换波传播具有自己的特点,刘洋等^[5]对此作了详细介绍:①当纵波震源激发时,在反射界面处产生向上传播的反射纵波和转换横波,因此造成了转换波传播路径不对称;②由于纵波垂直入射到分界面时不产生转换波,因此转换波只是在中等偏移距会有较大能量;③由于横波速度小于纵波速度,因此转换波的视速度小于纵波视速度。

基于转换波的上述传播特点,在三分量观测系统设计时,必须兼顾纵波和转换波的传播特点,根据工区的地质情况,确定纵波和转换波观测系统参数,如面元大小、接收时窗、偏移距和覆盖次数等,同时满足纵波勘探和转换波勘探的要求。

1 二维三分量观测系统综合平面图示法

地震勘探观测系统通常可用综合平面图示法来表示,即利用平面图将激发点和接收点的相对位置关系和地震勘探所观测到的地段表示出来。这种综合平面图示法由于绘制简单,能明确表示出激发点和接收段的相对位置关系,因此在观测系统设计中得到广泛应用。

针对转换波射线传播路径不对称和共转换点的特点,转换波观测系统可借助纵波观测系统综合平面图的作图思路来实现。设地下界面为水平面,二维三分量观测系统采用中点激发方式^[6],观测参数见表1。

表1 中点激发二维三分量观测系统参数

Table 1 Parameters of 2D 3C midpoint shooting geometry

| 观测系统参数 | 纵波 | 转换波 |
|---------|-----|-----|
| 检波点/个 | 10 | 10 |
| 道间距/m | 100 | 100 |
| 炮间距/m | 100 | 100 |
| 最小偏移距/m | 50 | 50 |
| 最大偏移距/m | 450 | 450 |
| 面元/m | 50 | 100 |
| 覆盖次数/次 | 5 | 10 |

1.1 纵波观测系统综合平面图

纵波观测系统综合平面图的作法是:首先将炮点和检波点按一定比例尺标画在一条直线上(图1),然后从炮点出发向接收排列两侧作与测线成45°角的斜线。当在测线上某点激发而在某一地段接收,则可将测线上的接收段投影到通过炮点的45°斜线上,用这段投影(斜线)来表示接收段。当观测段所反映的界面是水平面时,观测段向水平线段作投影便是所反映的界面。对于多次观测,如5次覆盖观测系统(图2),滚动距(即炮点距)为100 m,共滚动10次,则可按照排列的滚动距离,重复10次上述1次观测过程即可,此时接收线与炮线的交点为共反射点(或共中心点)。在垂直测线方向以等间距大小进行面元划分,面元内共反射点的总个数即为覆盖次数。可以看出:该观测系统面元为50 m时,最高覆盖次数达到5次。

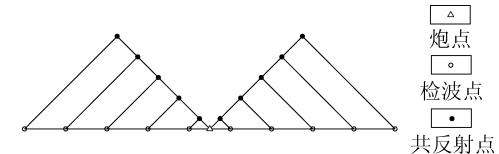


图1 纵波单次观测综合平面图

Fig. 1 Single fold with P-wave synthetic plan of seismic geometry

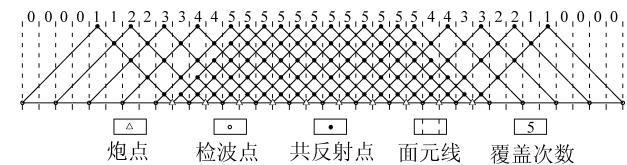


图2 纵波5次覆盖观测系统综合平面图

Fig. 2 Five folds with P-wave synthetic plan of seismic geometry

1.2 转换波观测系统综合平面图

由于转换波传播路径不对称,对于水平反射层而言,转换波的共中心点不再是共转换点,因此纵波观测系统综合平面图示法不能直接应用于转换波观测系统设计上^[7-8]。

对于转换波勘探,在炮检距 X 比较小(图 3),即入射角 α 和反射角 β 均较小的情况下,转换点(CP)的地表投影点到炮点的距离 X_p 与转换点的地表投影点到接收点的距离 X_s 的比值可以近似地用纵波速度 V_p 和横波速度 V_s 的比值表示^[9],即

$$\frac{X_p}{X_s} = \frac{V_p}{V_s} \quad (1)$$

由于 $X = X_p + X_s$,所以

$$X_p = \frac{V_p}{V_p + V_s} X = \frac{1}{1 + \gamma} X \quad (2)$$

$$X_s = \frac{V_s}{V_p + V_s} X = \frac{\gamma}{1 + \gamma} X \quad (3)$$

式中: γ 为纵横波速度比,即 $\gamma = V_p/V_s$ 。假设纵横波速度比 $\gamma = 3$,则 $X_p = X/4$, $X_s = 3X/4$,这说明转换点到炮点的距离与转换点到检波点的距离之比为 3:1。

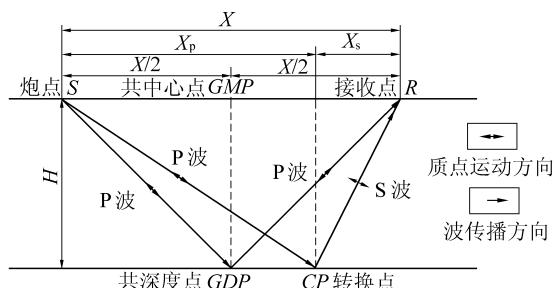


图 3 转换波射线传播路径

Fig. 3 Propagation path of converted wave

转换波观测系统综合平面图的作法是:假设地下介质的纵横波速度比为 3,水平界面的深度为 H ,首先将炮点和检波点按一定比例尺标画在一条直线上(图 4),从炮点出发向接收排列两侧作与测线成 45°角的斜线,然后将最远端的检波点以 45°角投影到通过炮点的 45°斜线上,此时炮线和接收线的交点为共中心点。当观测深度 H 不变时,将共中心点向最远端的检波点方向移动,移动后使 $X_p = X/4$, $X_s = 3X/4$,就得到共转换点在地表的投影点,将共转换点、炮点和最远端的检波点相连接形成一个不对称的三角形,将观测线上余下的检波点按三角形短边的角度,投影到通过炮点的长边斜线上,此时炮线和接收线的交点为共转换点。对于多次观测,如 5 次覆盖观测系统(图 5),滚动距为 100 m,若滚动 10 次,可按滚动距重复上述 1 次观测过程 10 次即可,此时接收线和炮线的交点为共转换点。在垂直测线

方向以等间距大小进行面元划分,面元内共转换点的总个数即为覆盖次数,从图上可以看出,该观测系统面元为 100 m 时,覆盖次数达到 10 次。

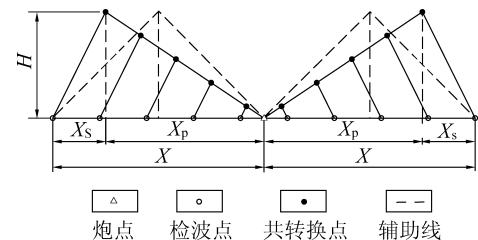


图 4 转换波单次观测综合平面图

Fig. 4 Single fold with converted wave synthetic plan of seismic geometry

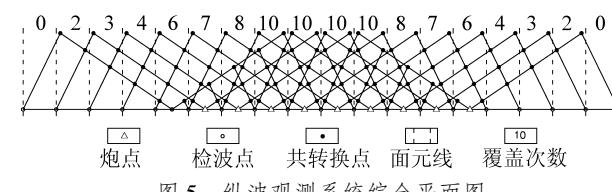


图 5 纵波观测系统综合平面图

Fig. 5 P-wave synthetic plan of seismic geometry

2 三维三分量地震观测系统设计

根据煤矿采区三维地震勘探的地质任务要求,三维三分量地震勘探必需采集到多波、宽频、保真的原始数据,所以野外采集要求满足:①多分量数据采集,需要配备开动道数更多的多道地震仪器,并需配备三分量检波器;②为保证小构造的勘探能力,使用的纵波检波器应具有性能良好的宽频特性(在低频端可适当压制面波,同时又不损伤有效波的低频成分,在高频端具有提升高频的性能);③纵波与转换波的最佳接收窗口不同(前者较近,后者较远),在选择观测系统时,需两者兼顾^[10-14]。

2.1 观测系统初步设计参数

以安徽淮南煤田为例,第四系厚度为 250~450 m,主采煤层深度为 600~900 m,煤系地层倾角为 4°~7°,据此确定的初步设计参数为:①最佳接收窗口:纵波为 20~750 m,转换波为 200 m~1 400 m;②纵横波平均速度比为 2.5~4.0;③面元大小:纵波为 10 m×10 m,转换波为 15 m×15 m;④覆盖次数:纵波 16 次,转换波 96 次。

2.2 观测系统类型选择

由于采集时要兼顾接收到足能量的纵波和转换波,其联合接收的空间窗口很长,需开动的仪器道数较多,若划分 5 m 面元,则道距应取 10 m,这时仪器道数将大幅增加,为减少道数,需设计一种道距允许大于 10 m,而又能保证划分 5 m 面元要求的观测系统,这就是面元细分(即 Flexi)观测系统。另外,由于

测区所在地为农田区,为减少青苗赔偿,设计时应尽量减少不满覆盖区的面积,使施工面积与有效面积之比 n 降到 3 以下。经计算,若采用束状观测系统,则 $n=6.84$;若采用块状观测系统,则 $n=2.6$,所以最后确定采用面元细分(即 Flexi)三维观测系统。

2.3 观测系统参数

根据上述初步设计参数,结合地质任务要求,设计了同时适合纵波勘探和转换波勘探的观测系统参数(表 2)。

表 2 观测系统参数

Table 2 Parameters of seismic geometry

| 观测系统参数 | 纵波 | 转换波 |
|---------|---------------------|----------------------|
| 检波点/个 | 24 | 24 |
| 检波线/条 | 12 | 12 |
| 检波点间距/m | 50 | 50 |
| 检波线间距/m | 50 | 50 |
| 炮点/个 | 20 | 20 |
| 炮线/条 | 10 | 10 |
| 炮点间距/m | 60 | 60 |
| 炮线间距/m | 60 | 60 |
| 面元/m | 10×10 | 15×15 |
| 覆盖次数 | 24 次(纵向 4 次,横向 6 次) | 96 次(纵向 8 次,横向 12 次) |
| 纵向滚动距/m | 900 | 900 |
| 横向滚动距/m | 150 | 150 |

为确保纵波和转换波在同一观测系统中覆盖次数都能实现均匀化,提出了一种接收窗口兼顾的多分量观测系统设计方法。该方法的设计思想是基于纵波和转换波的最佳接收窗口不同,前者较近,后者较远,因此在设计时,首先要保证转换波满足在最佳接收窗口的前提下,共转换点面元内覆盖次数均匀,然后根据煤层埋深范围,共反射点面元内覆盖次数均匀分布的原则,对纵波偏移距进行适当编辑,使纵波在满足最佳接收窗口的条件下,共反射点面元内实现均匀覆盖次数。按照这种方法所设计的观测系统,纵波和转换波可在不同的最佳接收窗口、不同的面元大小条件下,各自实现均匀覆盖次数。三维三分量转换波观测系统综合平面图如图 6 所示,当炮检距为 0~1 249 m 时,15 m×15 m 面元覆盖次数达到 96 次。三维三分量纵波观测系统综合平面图如图 7 所示,当炮检距为 0~1 268 m,10 m×10 m 面元覆盖次数并不均匀,但是如果将纵向最大偏移距和横向最大偏移距

进行适当的限制。

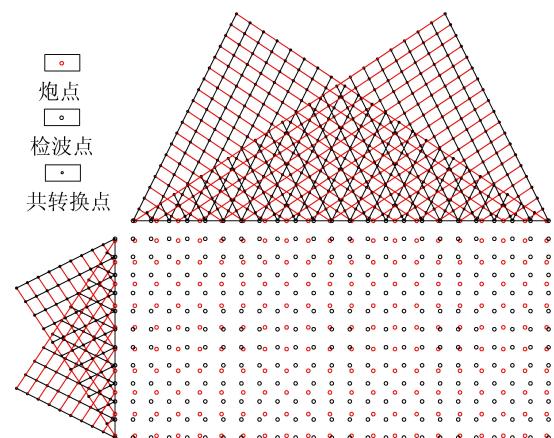


图 6 转换波观测系统综合平面图

Fig. 6 Converted wave synthetic plan of seismic geometry

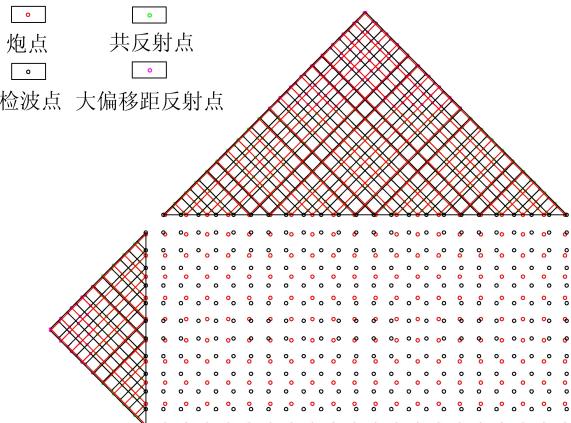


图 7 纵波观测系统综合平面

Fig. 7 P-wave synthetic plan of seismic geometry

将大偏移距的反射点去掉(图 8),偏移距在 0~660 m,10 m×10 m 面元覆盖次数为 24 次。

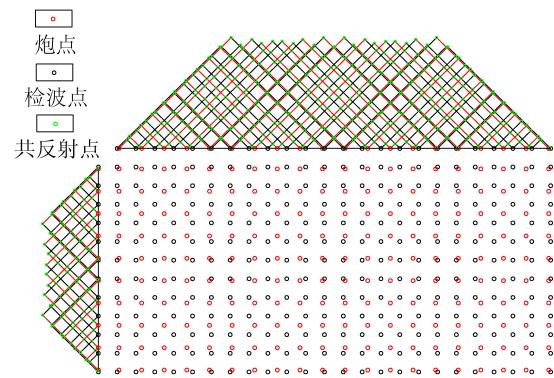


图 8 纵波观测系统综合平面图

Fig. 8 P-wave synthetic plan of seismic geometry

该三维三分量观测系统的覆盖次数(图 9)、炮检距和方位角分布(图 10)较为均匀,可满足精细构造勘探和岩性勘探要求。

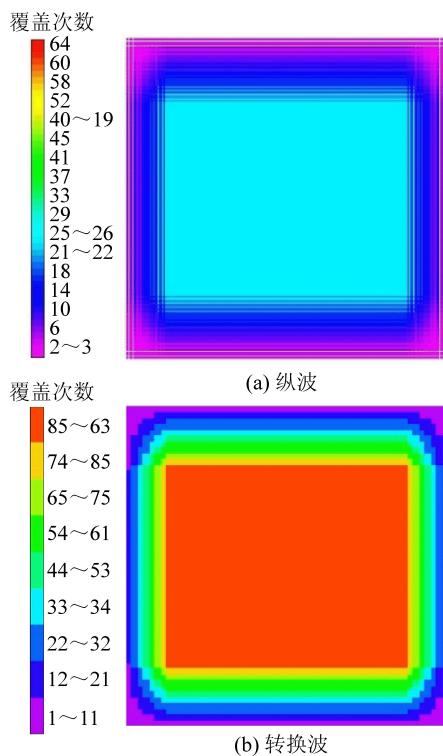


图9 覆盖次数分布

Fig. 9 Fold distribution chart

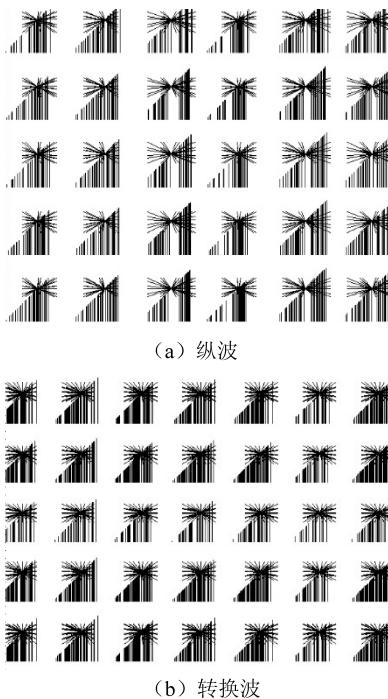


图10 炮检距和方位角分布

Fig. 10 Offset and azimuth distribution chart

3 结 论

1) 和单纯的纵波地震勘探相比,三分量地震勘探由于既包含有纵波,又包含有转换波,因此在观测系统设计时,需要兼顾纵波和转换波的传播特点来进行。

2) 参考纵波观测系统综合平面图示方法,针对转换波传播路径不对称的特点,提出了转换波观测系统综合平面图示方法。利用转换波综合平面图示法,可以直观表达转换波激发点和接收点的相对位置关系和转换波勘探所观测到的地段。

3) 纵波和转换波的最佳接收窗口不同,前者较近,后者较远,为确保纵波和转换波在同一观测系统中覆盖次数都能实现均匀化,提出了一种接收窗口兼顾的多分量观测系统设计方法。按照这种方法所设计的观测系统,纵波和转换波可在不同的最佳接收窗口、不同的面元大小条件下,各自实现均匀覆盖次数。

参考文献(References) :

- [1] 赵波,王赟,芦俊.多分量地震勘探技术新进展及关键问题探讨[J].石油地球物理勘探,2012,47(3):506-516.
ZHAO Bo, WANG Yun, LU Jun. New progress and key problems of multi-component seismic exploration technology [J]. Oil Geophysical Prospecting, 2012, 47(3): 506-516.
- [2] 唐建明.转换波三维三分量地震勘探方法技术研究[D].成都:成都理工大学,2010.
- [3] 李志军,杨德义,童继强.二维三分量勘探在沁水盆地的应用效果[J].煤矿安全,2018.
LI Zhijun, YANG Deyi, TONG Jiqiang. Application effect of two-dimensional three-component exploration in Qinshui Basin [J]. Safety in Coal Mines, 2018, 49(2): 124-127.
- [4] 李海英,白志钊,于光明,等.塔河常规三维与三分量三维纵波成像能力对比[J].石油物探,2018,57(5):717-725.
LI Haiying, BAI Zhizhao, YU Guangming, et al. Comparison of the P-wave imaging capability from conventional 3D and 3D3C seismic data in the Tahe Oilfield [J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2018, 57(5): 717-725.
- [5] 刘洋,王长春.三维三分量地震勘探观测系统设计方法[J].石油地球物理勘探,2002,37(6):551-555.
LIU Yang, WANG Changchun. Three-dimensional three-component seismic exploration observation system design method [J]. Oil Geophysical Prospecting, 2002, 37(6): 551-555.
- [6] 陆基孟.地震勘探原理[M].北京:石油大学出版社,2009.
- [7] 林朋,彭苏萍,卢勇旭,等.基于旋转交错网格的双相各向异性介质二维三分量波场模拟[J].煤炭学报,2016,41(5):1203-1211.
LIN Peng, PENG Suping, LU Yongxu, et al. Two-dimensional three-component wave field simulation of two-phase anisotropic media based on rotating staggered grids [J]. Journal of China Coal Society, 2016, 41(5): 1203-1211.
- [8] 何登科.多波地震勘探中观测系统设计与数据处理关键技术研究[D].北京:中国矿业大学(北京),2011.
- [9] 杜文凤,彭苏萍,勾精伟,等.煤田地震勘探转换波观测系统设计与评价[J].煤炭学报,2015,40(6):1428-1434.
DU Wenfeng, PENG Suping, GOU Jingwei, et al. Design and evaluation of converted wave observation system for seismic exploration

- in coal fields [J]. Journal of China Coal Society, 2015, 40 (6): 1428-1434.
- [10] 彭苏萍,何登科,勾精伟,等.观测系统的面元划分与覆盖次数计算 [J].煤炭学报,2008,33(1):55-58.
- PENG Suping, HE Dengke, GOU Jingwei, *et al.* Surface element division and coverage calculation of observing system [J]. Journal of China Coal Society, 2008,33(1):55-58.
- [11] 李录明,罗省贤.多波多分量地震勘探原理及数据处理方法 [M].成都:成都科技大学出版社,1997.
- [12] 霍全明,程增庆,彭苏萍,等.一种经济高效的三维三分量观测系统设计方法 [J].石油地球物理勘探,2004,39 (5): 501-504.
- HUO Quanming, CHENG Zengqing, PENG Suping, *et al.* A cost-effective design method for three-dimensional three-component observation system [J]. Oil Geophysical Prospecting, 2004, 39 (5): 501-504.
- [13] 唐建明.转换波三维三分量地震勘探方法技术研究 [D].成都:成都理工大学,2010.
- [14] 王云宏,董蕊静.煤层气井水力压裂微地震正演模拟研究 [J].煤炭科学技术,2016,44(S1):137-141.
- WANG Yunhong, DONG Ruijing. Research on forward modeling of microfracture for hydraulic fracturing in CBM wells [J]. Coal Science and Technology, 2016,44(S1):137-141.
- [15] 林 宁,姜 飞,孙卫东.宽方位三维观测系统在沙漠区地震勘探中的应用 [J].煤炭科学技术,2013,41(S2):353-355.
- LING Ning, JIANG Fei, SUN Weidong. Application of wide azimuth 3D observation system in seismological exploration in desert area [J]. Coal Science and Technology, 2013,41(S2):353-355.