

## 沁水盆地黄土塬区三维地震勘探激发层位试验研究

段天柱

中煤科工集团重庆研究院有限公司,重庆 400039

**摘 要:** 沁水盆地黄土塬区地表黄土覆盖厚度不均,地震波速度差异较大,对地震勘探的激发有较大的影响. 针对区域地表地层特点,设计地震地质模型,分析不同激发层位地震正演记录. 结合试验区现场试验,对比分析了正演模拟记录. 结果表明,合理的激发层位能够有效压制干扰波,突出目的层位反射波,提高黄土塬区三维地震原始资料的品质.

**关键词:** 三维地震勘探;黄土塬;激发层位;地震资料;沁水盆地;山西省

## EXPERIMENTAL STUDY ON THE EXCITATION HORIZON OF 3D SEISMIC EXPLORATION IN THE LOESS TABLE AREA OF QINSHUI BASIN

DUAN Tian-zhu

Chongqing Research Institute, China Coal Technology and Engineering Group, Chongqing 400039, China

**Abstract:** The uneven loess cover thickness and great difference of seismic wave velocity in the loess table area of Qinshui Basin have significant influence on the excitation of seismic exploration. In view of the characteristics of regional surface strata, the seismic geological modeling is designed to analyze the forward records of different excitation horizons. Combined with the field tests, the forward modeling records are compared and analyzed. The results show that the reasonable excitation horizon can effectively suppress interference wave, enhance the reflection wave of target horizon, and improve the quality of 3D seismic primary data in loess table area.

**Key words:** 3D seismic exploration; loess table; excitation horizon; seismic data; Qinshui Basin; Shanxi Province

### 0 序言

煤炭资源的地质勘探过程中,三维地震勘探是目前应用最为广泛的一种勘探方法.其在地质构造勘探、煤层埋深及起伏形态控制、瓦斯赋存预测等方面具有独特的优势,精确的三维地震勘探能够有效保障煤炭的安全高效开采.据统计,在我国东部地震地质条件较好的地区,地震勘探成果的准确率可达 80%以

上<sup>[1]</sup>.但在煤炭资源丰富的西部地区,因地表多覆盖厚度不均的黄土层,且地表地貌条件较为复杂,地震勘探效果不甚理想<sup>[2-3]</sup>.

在黄土塬区开展三维地震勘探工作中,确定最佳的激发层位,选取有利的激发层位,能够保证在黄土覆盖区条件下激发出足够能量的地震波,保证地震采集资料的质量<sup>[4]</sup>.本文针对黄土塬区地表地层特点,进

收稿日期:2018-11-12;修回日期:2019-01-22. 编辑:张哲.

基金项目:“十三五”国家科技重大专项示范工程资助项目(2016ZX05067004-006).

作者简介:段天柱(1985—),男,硕士,助理研究员,从事煤田地球物理勘探相关研究工作,通信地址 重庆市九龙坡区科城路 6 号,E-mail//duantianzhu@163.com

行不同激发条件下地震正演模拟,并结合试验区现场试验,分析现场单炮试验记录,在黄土塬区激发层位的选择方面开展相关研究,以期为类似区域开展地震勘探试验提供借鉴<sup>[5-6]</sup>。

### 1 黄土塬区激发层位正演模拟试验

本次试验区为沁水盆地东北部的阳泉矿区。根据试验区实际地质情况,矿区内3<sup>#</sup>、15<sup>#</sup>主采煤层发育稳定,煤层与围岩之间有较大的波阻抗差异,顶、底板良好可形成较强的反射波<sup>[7]</sup>。根据地质模型参数设定原则及调查试验区黄土分层结构分析,将模型地层共划分7层,由上到下依次为表层低速松散黄土层、致密红土层、上组煤上覆基岩、上组煤、上组煤下伏基岩层、下组煤、下组煤下伏基岩(图1)。各层物性参数见表1。

表1 黄土塬区正演地质模型的物性参数表

Table 1 Physical parameters of forward modeling in loess table area

序号	地层分层	厚度/m	纵波速度/(m/s)	横波速度/(m/s)	密度/(g/cm <sup>3</sup> )
1	松散黄土层	20	400	175	1.20
2	致密红土层	20	1800	1050	2.0
3	上组煤上覆基岩层	590	4000	2310	2.35
4	上组煤	3	2200	1270	1.50
5	上组煤下伏基岩层	117	4150	2340	2.46
6	下组煤	4	2200	1270	1.50
7	下组煤下伏基岩层	246	4300	2487	2.45

震源药柱爆炸时产生地震波的频谱,主要取决于激发层位的岩石物理性质。在松散、干燥的岩层,如表层黄土层中,激发的地震波能量大部分会被松散岩层所吸收,传播的地震波频率相对偏低,转化有效波的能量偏低;但若激发的岩层硬度过大,则激发的地震波频率会很高,在传播过程中衰减较快。因此,理想的激发层位应选择可在塑性层位,保证震源药柱的爆炸能量最大化地转化为弹性震动能量<sup>[8-9]</sup>。依据上述模型,采用基弹性波动方程的正演算法进行地震记录正演模拟。设定激发震源为主频70 Hz的雷克子波,采样间隔0.1 ms,记录长度1 s。接收道间距10 m,中间放炮,101道全排列接收。设计激发层位分别为松散黄土层、致密红土层。图2所示为黄土覆盖区不同激发井深模拟记录。通过对比黄土塬区地质模型下的不同激发井深的单炮模拟记录,可以看出在低速松散黄土层内激发时资料品质较低,面波等干扰较为严重,资料信噪比相对较差。而在相对高速的致密红土层内激发时,煤层反射波同向轴连续性较好,上下组煤反射波均清晰可见,单炮记录的信噪比较高。对比分析可见,在激发点进入红土层,即激发位置在25 m时,单炮记录品质即有明显改善。在致密红土层内继续加大激发井深时,单炮记录面貌变化不大,下组煤反射波同向轴连续性变差。对比3个井深模拟记录,综合考虑生产成本、资料质量等因素,选用25 m激发井深较为合理。因此,综合考虑,在黄土覆盖区,激发点应选在进入致密红土层中即可,通过激发层位有

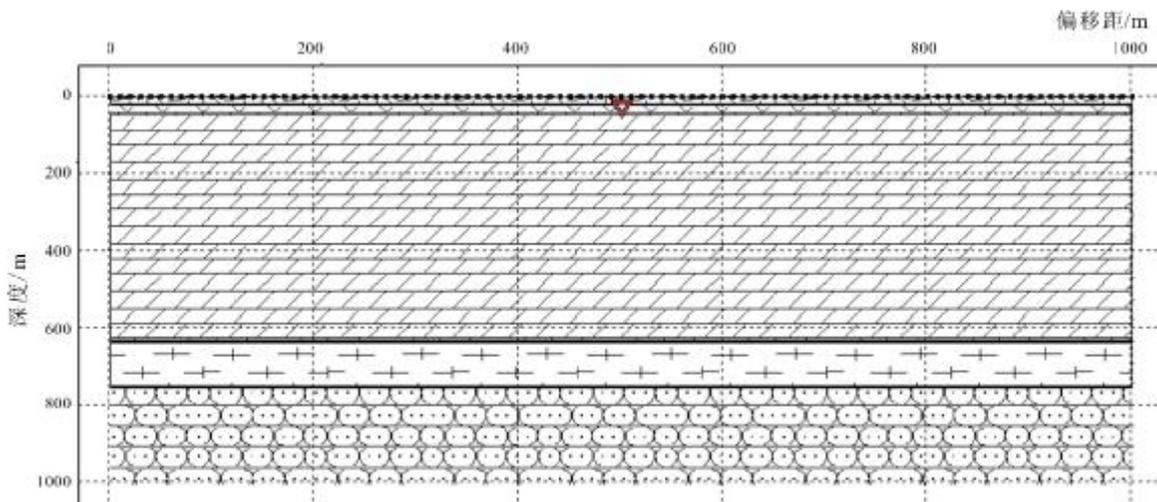


图1 正演模型地层示意图

Fig. 1 Stratigraphic sketch of forward model

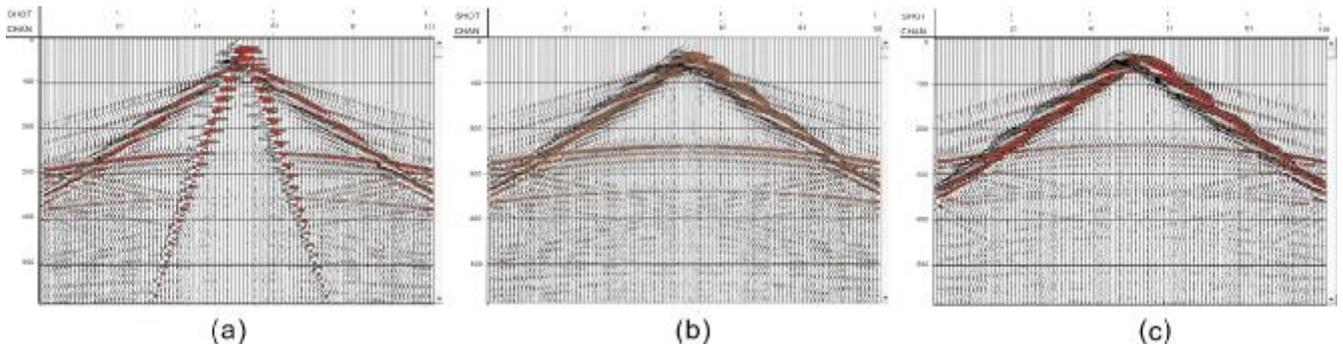


图 2 黄土覆盖区激发不同井深模拟记录

Fig. 2 Seismic modeling records of different excitation well depths in loess covered area

a—井深 15 m,黄土层(loess layer at the well depth of 15 m); b—井深 25 m,红土层(red soil layer at the well depth of 25 m); c—井深 35 m,红土层 (red soil layer at the well depth of 35 m)

效的控制,能够进一步提高地震勘探野外采集资料的品质.

### 2 黄土塬区激发层位野外现场试验分析

#### 2.1 试验区概况

野外现场试验区位于沁水煤田的北部,地貌形态属中低山地貌.地表均被第四系松散层覆盖,经长期风化剥蚀,沟谷纵横,地形复杂.据现场踏勘及钻探资料可知,勘探区地表均为第四系松散黄土,厚度为 0~22 m,梁上相对较厚,沟谷中相对较薄.地震反射波在

松散的黄土层中传播速度小,且松散的黄土层对地震反射波的能量吸收衰减极为强烈,造成目的层反射波能量衰减快,高频成分的损失严重,对高分辨率地震勘探工作不利.黄土层下为红色古土壤层,该地层相对致密,地震波传播速度较大.

#### 2.2 低速带调查

根据踏勘和相关地质资料,试验区近地表岩性由上到下依次为:第四系马兰黄土、第四系红土、新近系红土、基岩.厚黄土区地表结构及速度变化对地震勘探高质量原始资料的获取及最终勘查成果都有较大的

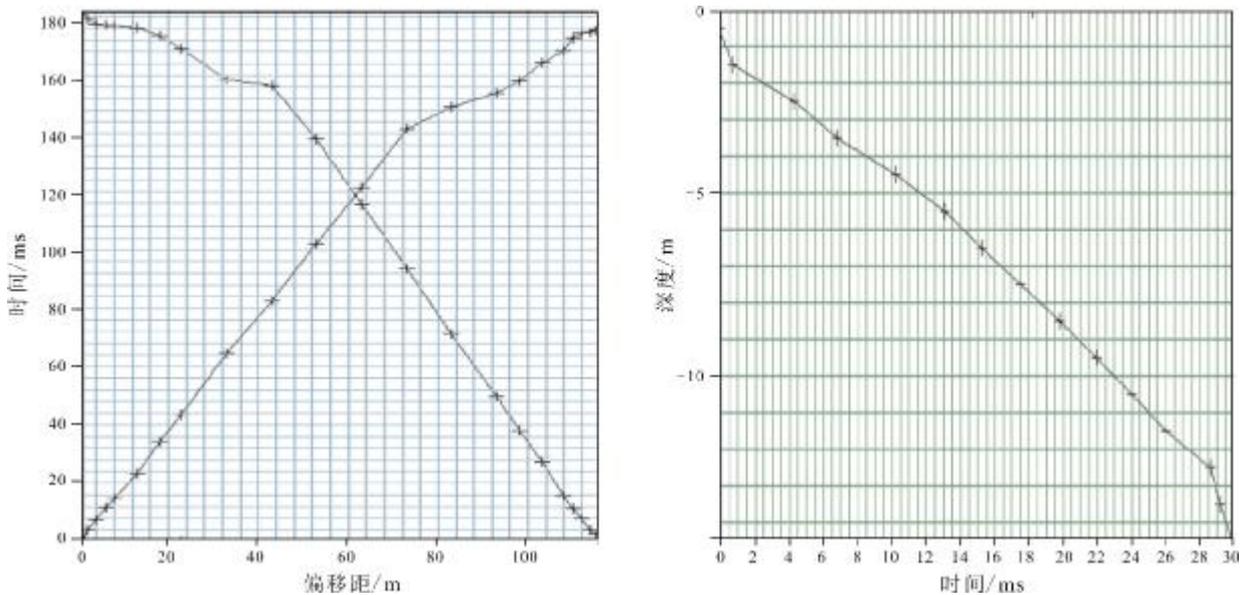


图 3 低速带调查时距曲线

Fig. 3 Time-distance curves of low-velocity zone survey

a—小折射法(short refraction survey); b—微测井法(micro-logging)

影响. 因此勘探工作开始前, 需要对勘探区内低速带的厚度、速度进行测定, 用以指导激发井深的选择, 同时为后期资料处理中静校正量的求取提供依据<sup>[10]</sup>. 试验区低速带调查采用小折射和微测井两种方法同时进行. 根据试验区实际条件, 布置小折射调查点及微测井各 4 个. 小折射记录综合分析(图 3a)表明, 测区内低速带厚度为 15~22 m, 低速带的速度在 422~568 m/s 之间, 高速层速度在 2008~2431 m/s 之间; 微测井资料综合分析(图 3b)表明, 测区低速层厚度在 12~20 m, 低速带速度变化相对较大, 一般在 445~555 m/s, 之下

为较高速度层位, 速度在 920~2030 m/s.

### 2.3 激发井深参数试验方案

黄土塬区因潜水面深, 激发孔很难打到潜水面以下, 且因土质松散, 地震波能量衰减快, 地震记录面貌通常较差<sup>[11]</sup>. 因此需要通过激发试验, 确定最佳激发参数, 保证激发效果. 针对黄土塬区激发层位的问题, 在试验区开展了激发井深参数试验, 结果如表 2 所示. 试验仪器为 428XL 数字地震仪, 前放增益 12 dB, 全频段接收, 采样率 0.5 ms, 120 道接收, 道距 10 m. 采用风钻、洛阳铲联合成孔, 激发药量 2 kg.

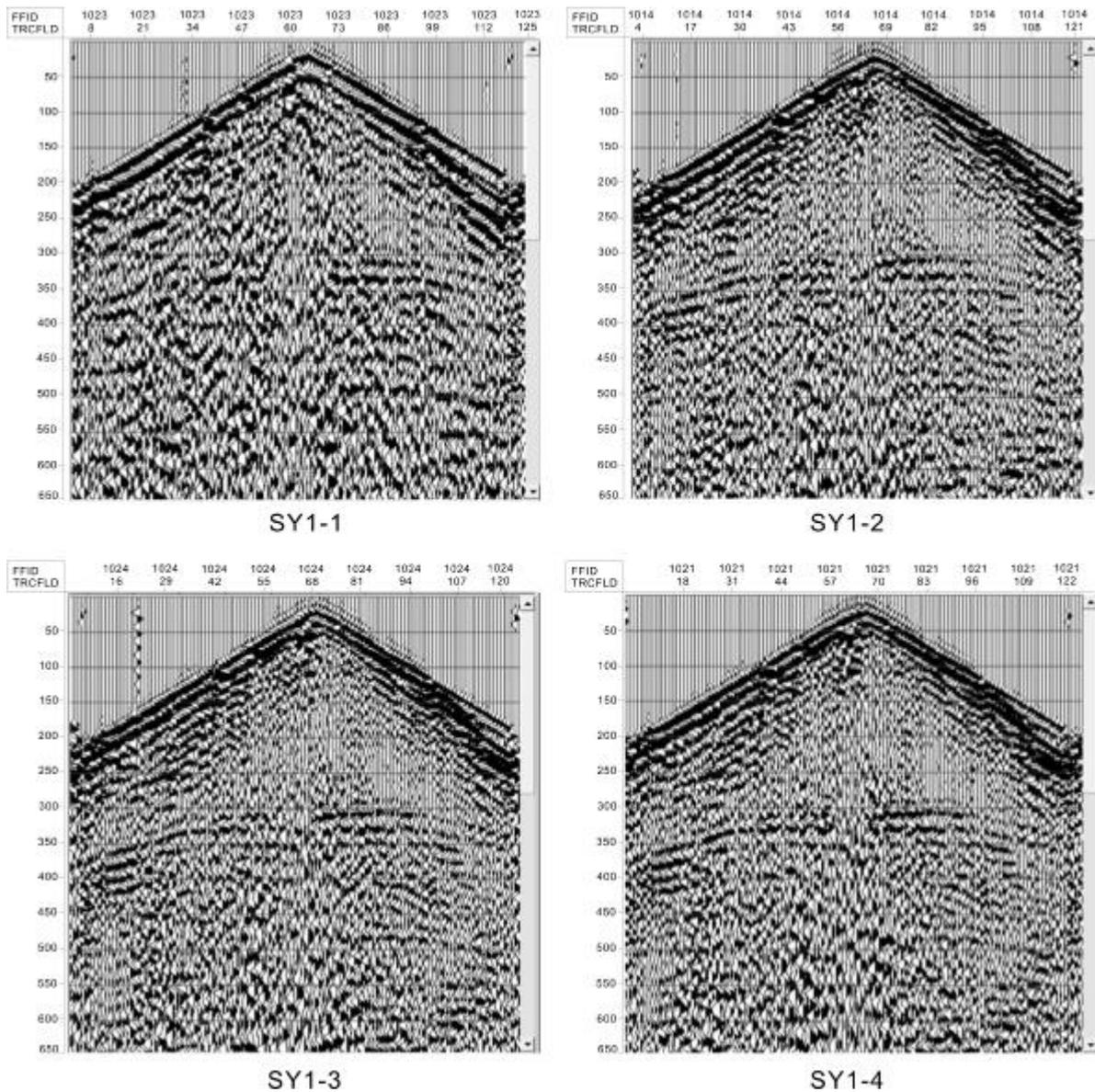


图 4 SY1 号试验点单炮记录  
Fig. 4 Single shot records of SY1 test site

表 2 井深试验参数表

Table 2 Parameters of well depth test

序号	试验点号	井深/m	地层层位	黄土分层
1	SY1	8	第四系马兰黄土	松散黄土层
2	SY1	18	第四系马兰黄土	入红土层
3	SY1	20	新近系红土	致密红土层
4	SY1	22	新近系红土	
5	SY2	10	第四系马兰黄土	松散黄土层
6	SY2	15	第四系马兰黄土	入红土层
7	SY2	18	新近系红土	致密红土层(入红土层 3 m)
8	SY2	25	新近系红土	

### 2.4 试验记录分析

图 4 为 SY1 号试验点单炮记录图。从试验记录中,可以看出当激发层位于松散黄土层时(SY1-1 号记录),单炮记录面貌品质相对较差,面波等干扰波干扰严重,目的层反射波能量较低,连续性较差;当激发点穿过表层黄土,进入红土层时(SY1-2 号记录),所获记录面貌品质有明显改善,目的层反射波相对清晰;加大井深,但激发层位仍位于致密红土层时(SY1-3 号记录),所获记录面貌品质较好,目的层反射波能量较强,连续性相对较好;继续加大井深(SY1-4 号记录),单炮记录品质上看,提升效果不明显。

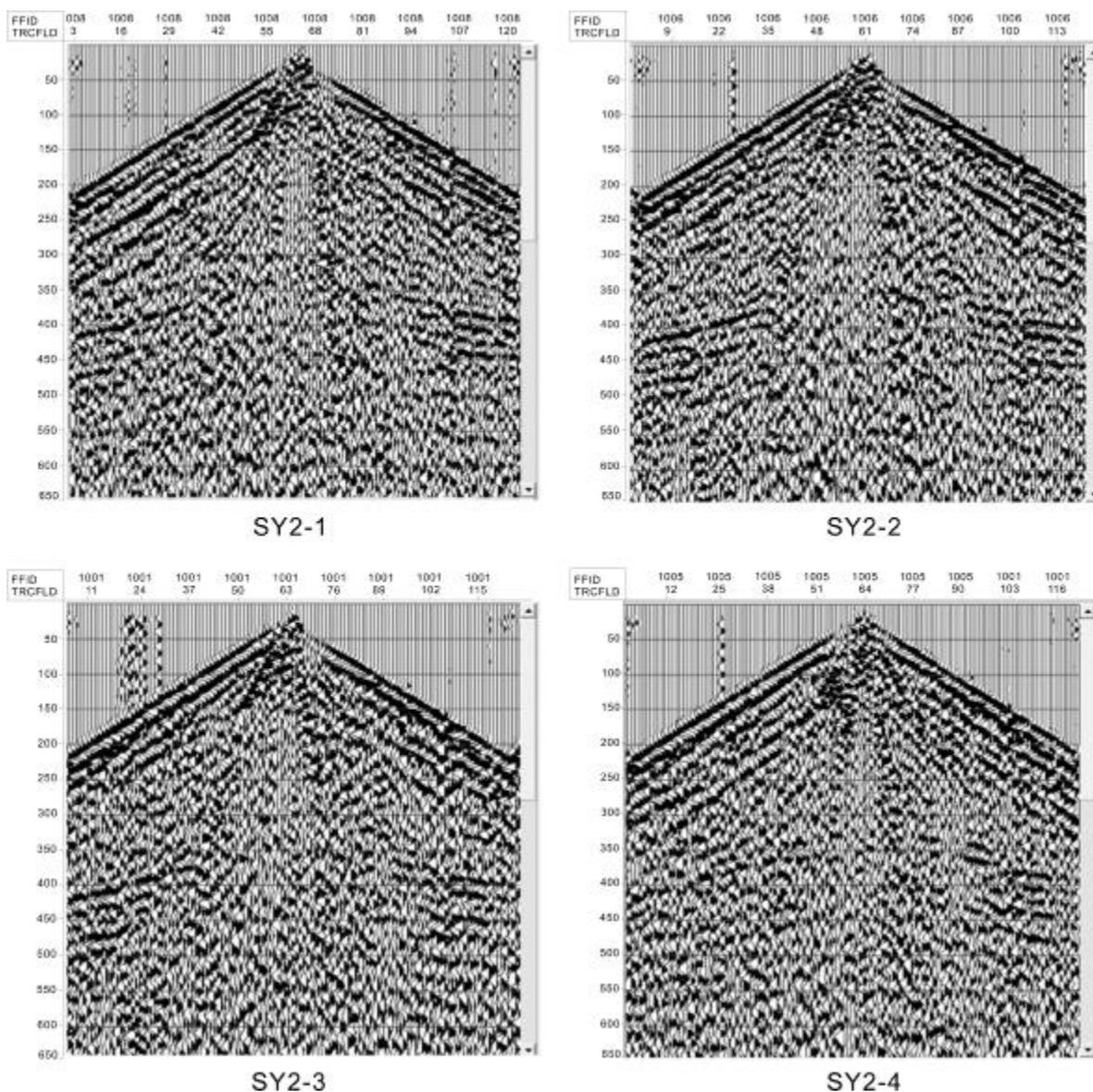


图 5 SY2 号试验点单炮记录

Fig. 5 Single shot records of SY2 test site

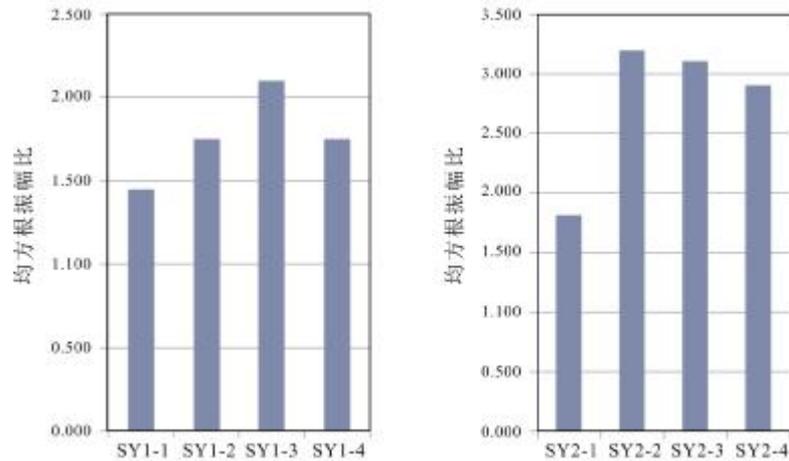


图6 信噪比对比分析图

Fig. 6 Comparative analysis of signal-to-noise ratios between two test sites

图5为SY2号试验点单炮记录图。对比分析可知,在致密黄土层中激发效果优于松散黄土层。需要说明的是,当激发层位穿过致密黄土层时进入下覆低速层(SY2-4号记录),目的层反射波连续性变差。

信噪比是地震记录的一个重要指标。针对井深试验记录进行了信噪比分析,选定时窗280~520 ms,选定频率段30~70 Hz。用该频率段进行滤波,剩下的为噪音,信噪比的计算方法采用均方根振幅比。图6所示为各试验参数信噪比对比分析图。从选定的频率段计算结果来看,在致密红土层内激发时,地震记录信噪比相对较高,过浅与过深(穿过高速红土层)的激发层位均会导致信噪比的降低。

### 3 结论

(1)正演模拟及现场试验分析表明,黄土塬区地震勘探过程中,激发层位的选择将直接影响到地震资料的质量,特别是在松散黄土、致密红土交替分布的区域,选取致密的红土高速激发层位是获取高质量地震资料的关键。

(2)黄土塬区的地震勘探仍属勘探的困难区。获取高质量地震勘探资料,要选取合理井深、药量等激发参数。此外,观测系统的设计、现场地震地质条件等因素都会对地震资料的获取有较大的影响。充分分析各

种不利因素,综合利用各种有效手段,是在黄土塬区获取较高质量地震资料的关键。

### 参考文献:

- [1]程建远. 中国煤矿采区地震勘探技术的回顾与展望[C]//中国地质学会、中国煤炭学会煤田地质专业委员会2004年学术交流会,2004:30-36.
- [2]吕公河,张庆淮,段卫星,等. 黄土塬地区地震勘探采集技术[J]. 石油物探,2001,40(2):84-91.
- [3]唐汉平. 复杂地震地质条件下煤矿采空区三维地震勘探技术[J]. 中国煤炭,2013(12):35-37.
- [4]李金花,解团结,刘原英. 黄土山区煤田三维地震勘探应用实例[J]. 中国煤炭地质,2006,18(3):54-56.
- [5]任宇泽. 巨厚黄土地区地震勘探激发参数分析[D]. 太原:太原理工大学,2010.
- [6]程建远,张广忠,胡继武. 黄土塬区的三维地震勘探技术[J]. 中国煤炭地质,2004,16(6):40-43.
- [7]田忠斌,王建青,张胤彬. 三维地震勘探在干厚黄土浅煤层地区的应用[J]. 中国煤炭地质,2004,16(3):54-56.
- [8]郭子华. 巨厚黄土塬区激发问题正演研究——以襄汾某煤矿采区为例[D]. 太原:太原理工大学,2012.
- [9]罗建峰. 巨厚黄土塬矿区三维地震勘探的关键技术及其应用研究[D]. 西安:西安科技大学,2013.
- [10]杨德义,彭苏萍,常锁亮. 地震勘探常规低速带调查方法应用中的问题探讨[J]. 物探与化探,2003,27(5):387-390.
- [11]王中锋,冯西会,朱芳香. 黄土塬梁峁区三维地震采集方法研究[J]. 中国煤炭地质,2008,20(6):24-26.