

文章编号: 1009-3850(2013)04-0074-06

鄂尔多斯盆地南部黄土塬区三维地震激发关键技术研究

朱丹, 李邦

(中国石化华北分公司工程监督中心, 河南 郑州 450000)

摘要: 鄂尔多斯盆地南部黄土塬区是中国特有的地形地貌, 巨厚黄土层弱弹性介质地震激发能量下传问题是地震数据采集的难题。中石化华北分公司经过多年的攻关与试验, 对影响黄土塬地震资料品质的主要因素进行了深入分析, 形成了一套黄土塬区激发关键技术——选取合理的激发点位、尽可能减少干燥疏松黄土对地震有效信息的吸收与衰减、选择合理的激发药型和激发参数增加子波的能量及拓展子波频带宽度、利用组合效应压制部分侧面干扰等。鄂尔多斯盆地南部黄土塬区三维地震采集关键技术的突破, 结束了黄土塬区地震数据采集只能进行沿沟、谷进行二维弯线勘探的历史, 使黄土塬区三维地震勘探成为可能。

关键词: 黄土塬; 激发; 优化设计; 多井组合; 三维地震勘探

中图分类号: P631.4⁺2

文献标识码: A

鄂尔多斯盆地南部的黄土塬地区发育中生界成油体系, 油气成藏条件良好, 主要油气藏类型为岩性和岩性构造复合圈闭油气藏。鄂尔多斯盆地南部大部分地区位于陕甘宁接壤的黄土塬地区, 地形、地貌十分复杂, 巨厚的黄土经长期的风化、侵蚀、冲刷、切割, 形成了密集树枝状水系和形态各异的塬、梁、峁、坡、沟等复杂地貌。黄土塬厚度的剧烈变化及地形的大幅度起伏, 使得黄土塬区的地震资料品质在横向上呈不一致性(沟底较好、斜坡较差), 对岩性油气藏勘探极为不利。

1 地震地质条件

1.1 表层地震地质条件

镇原-泾川区块是中石化华北分公司目前在鄂尔多斯盆地南部的石油勘探区块之一, 位于鄂尔多斯盆地天环拗陷南端, 面积 2515.603 km²。镇泾区块地形属典型的黄土塬丘陵沟壑区, 地形起伏剧烈, 高差变化大, 一般高差在几十米到上百米, 最大高差达 400 m, 形成了树枝状水系(沟)及塬、梁、峁、坡、沟并存的独特地貌, 表层结构极其复杂。黄土塬区黄土厚度一般在 300 m 左右, 最厚可达 400 m 以

上; 黄土塬半坡区黄土厚度一般为 150 ~ 200 m; 冲沟区黄土厚度一般 50 ~ 100 m。因此, 区内横向激发、接收条件差异大。黄土塬区含水率低, 土质疏松, 地震波能量衰减快。虽然塬上黄土巨厚, 潜水面较深, 但只要在含水性较好的胶泥层中激发, 地震记录品质中等; 而沟谷中特别是有水冲刷的沟谷由于基岩出露, 激发条件最好; 半坡上由于雨水冲刷程度差异较大, 浅层地震地质条件变化剧烈, 普遍难以得到理想的地震记录。由于黄土层与下伏低、降速层间速度差异大, 折射波能量强, 多次折射干扰严重, 能量透射窗面积小, 下传有效能量弱, 影响地震记录质量。

1.2 深层地震地质条件

镇泾区块位于鄂尔多斯盆地西南部, 构造区划上属于天环向斜南段。该区深部地震地质条件整体上较为稳定。地层展布平缓, 断层不发育, 延长组上部及其以上地层之间存在有明显的密度差和速度差, 形成多个波阻抗界面, 相应的地震波反射较强; 而延长组长 7 之下地层在地震剖面上振幅弱, 连续性差。

该区块西部地表黄土之下的下伏地层为下白

丕统泾川组,东部为下白丕统罗汉洞组。除这两套地层层速度在 2500 ~ 3500m/s 外,罗汉洞组以下地层除个别特殊岩性(煤层、页岩、膏盐岩)外,砂岩、泥岩层速度均在 4000 ~ 4500m/s 之间,且砂岩、泥岩层速度差异不大。这种条件决定了镇泾区块砂、泥岩界面形成的反射主要以弱反射为主,抵抗噪音能力较差。除此之外,延长组长 7 底部发育一套平均厚度约 10m 的张家滩页岩,层速度在 2800 ~ 3200m/s 之间,与上下围岩形成很强的波阻抗差,从而形成较强的地震反射(T6c)。张家滩页岩距长 8 主力储层仅 10 ~ 20m。长 8 储层与围岩形成的弱反射被掩盖于张家滩页岩所形成的强反射之中,产生

严重干涉,影响长 8 储层的预测。

延安组为煤系地层,煤层层数 2 ~ 9 层,单层厚度 0.2 ~ 8m,平均累计厚度约 14.3m,其地震波传播速度在 2800 ~ 3200m/s 之间,与围岩具有很强的波阻抗差,垂向上形成一系列很强的反射(T4、T5b)。延 9、延 10 等主要储层均夹于煤层之间或距离煤层很近,与围岩形成的弱反射被掩盖于煤层强反射之中(图 1)。

本区断裂较发育,断裂带内地层遭受严重改造,断面多、地层破碎,对地震波有很强的吸收和散射作用,使地震波反射能量进一步削弱。

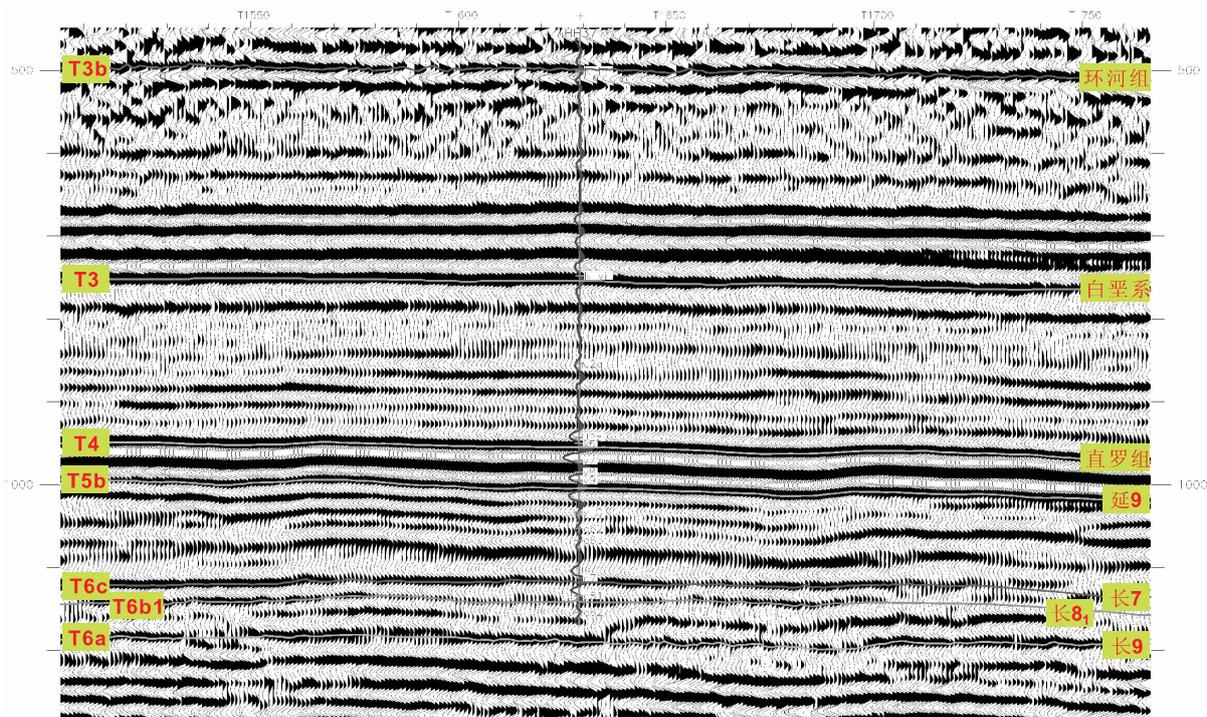


图 1 镇泾区块三维地震剖面

Fig. 1 3D seismic profile through the Zhenyuan-Jingchuan region

2 激发技术难点

(1) 工区内黄土巨厚且疏松、干燥,对地震波吸收衰减严重,导致激发、接收条件差。由于黄土塬区复杂的地表结构和低降速层厚度、含水性等各种因素纵、横向变化剧烈,各种面波、折射波和多次折射波及次生干扰波非常发育,这些干扰波频带宽、能量强,使得地震资料信噪比低。

(2) 工区内障碍物较多,主要有城镇、村庄、文物保护单位、旅游风景区、水资源保护区、各种公路及油田采、集、输等油气田设施。这些障碍物的分布,

造成激发点布设困难,也会影响覆盖次数的均匀性。

3 激发关键技术

在黄土中激发的关键问题是如何选取合理的激发点位、如何尽可能地减少干燥疏松黄土对地震有效信息的吸收与衰减、如何选择合理的激发药型和激发参数增加子波的能量、拓展子波频带宽度、如何利用组合效应压制部分侧面干扰。

3.1 激发点位选取

通过前期攻关试验,总结出黄土塬表层地震地质条件以沟中最好,沿沟布设测线可以获得良好的

地震资料;其次是大面积塬上,有较稳定的胶泥层,通过多井组合激发亦可获得地震资料;最困难的地区为狭窄的峁、梁、斜坡地区,激发条件很差,干扰波发育,因此如何合理的布设激发点位非常关键:

(1)对收集到的卫星遥感影像、数字高程模型(DEM)数据进行编辑整理,深入细致的分析对比,确定黄土塬地形、地貌矢量化方法。

(2)根据黄土塬密集的树枝状水系和形态各异的塬、梁、峁、坡、沟等复杂地貌,对其进行分类定义:沟—首布设区;汇流沟—首布设区;陡坡—缓布调整区;山脊—避高区;塬—可布设调整区。

(3)基于黄土塬特征地貌地理信息数字模型的地震勘探观测系统优化设计原则:

①首先进行冲沟和汇流沟中理论空间位置激发点布设;

②对理论空间位置在陡坡缓布设调整区内的激发点进行纵向、横向双向空间地理信息分析,将其优化调整到冲沟和汇流沟中布设。如果在保证观测系统采集属性和浅目的层覆盖次数的限定条件下,没有可调整的冲沟和汇流沟,则直接布设该陡坡激发点;

③对理论空间位置在山脊避高区内的激发点进行纵向、横向双向空间地理信息分析,将其优化调整到冲沟和汇流沟中布设。如果在保证观测系统采集属性和浅目的层覆盖次数的限定条件下,没有可调整冲沟和汇流沟,则调整布设该激发点到塬上或陡坡上;

④对理论空间位置在塬上的激发点进行纵向、横向双向空间地理信息分析,优化调整到冲沟和汇流沟中布设。如果在保证观测系统采集属性和浅目的层覆盖次数的限定条件下,没有可调整冲沟和汇流沟,该激发点不调整;

⑤对避高、避陡优化调整和跨地表障碍造成的CMP采集属性的不完整性进行分析判断,优化调整增加弥补属性不足的炮点,完成采集观测系统设计。

(4)密点实测,以道补炮或以炮补道。遇大型障碍物时,采用加炮、加线的方式,保证目的层叠加次数。以最新卫星遥感影像为基础,完成局部黄土塬特征地形地貌和地表障碍矢量化,进行基于地理信息的观测系统优化设计。

3.2 多井组合激发技术

试验证明,爆炸后产生的弹性波振动幅度与爆炸产生的等效空洞的形状有关,曲率半径越大,向

外传播的振动越强,所以药量的选择要使爆炸空洞接近球形为宜,药柱不宜过长。根据药量和产生的弹性波振幅关系来看:药柱过长对激发有效能量不利,大药量将产生较大的爆炸半径,能量损失也大。

在地震勘探中,弱弹性介质密度低,波的传播速度也低。如果在不同弹性介质中包含有相同的有效激发能量,那么低密低速介质中质点位移量必然大。组合激发就是利用组合优势,使得黄土塬弱弹性介质中波的位移量增大。因此利用小炸药量中、高频成分相对大和下传能量利用率高的特点,依靠小药量组合激发可以提高地震记录中、高频段的信号幅度和信噪比;利用多井组合,保证总药量(图2)。

3.3 激发岩性优选技术

(1)胶泥层:黄土塬上以及斜坡不同高度的胶泥层便是高速夹层(700~800m/s,厚度2~4m),它能够起到“聚能”的作用。

在斜坡区,不同高度的胶泥层埋藏深度变化较大。埋藏浅时,致密程度和含水性变差、裂隙发育,需要在较深部位寻找参照层,其原则是“就深、就湿、就速度”。

(2)潜水层:黄土塬区潜水层也是高速夹层,也能够起到聚能作用。有时除了聚能效果外,也避免了潜水面反射和“八字胡”折射能量的损失。黄土塬区塬上潜水面埋藏深度变化较大,潜水层厚度变化也较大。斜坡区一般没有潜水面。

(3)“正梯度”或巨厚高速层:黄土塬区发育有10%~15%的沟,还有厚度小于40m的黄土区域。这些区域需要在基岩中激发。工区发育厚度可达1000m的灰岩台地出露区,深井激发不会提高有效波下传能量,相反增加了钻井成本。要改善该区的效果,必须从聚能组合、方向接收及射线模型等方面做工作(图3)。

3.4 聚能装置激发技术

目前增强黄土塬区地震波能量下传只能通过多井组合的方式来实现。但是野外采集时由于受成本、观测系统、地形限制及村庄、公路、工厂等障碍物影响,组合井数并不能无限增加,如果能够增加单井激发能量的下传(聚能),同样可以提高黄土塬区地震资料的品质。

聚能装置是底部带有聚能凹槽的炸药爆炸后,在高温高压下会出现一股汇聚的速度和压强都很高的爆炸产物流沿凹槽轴线向外飞散,这种在一定

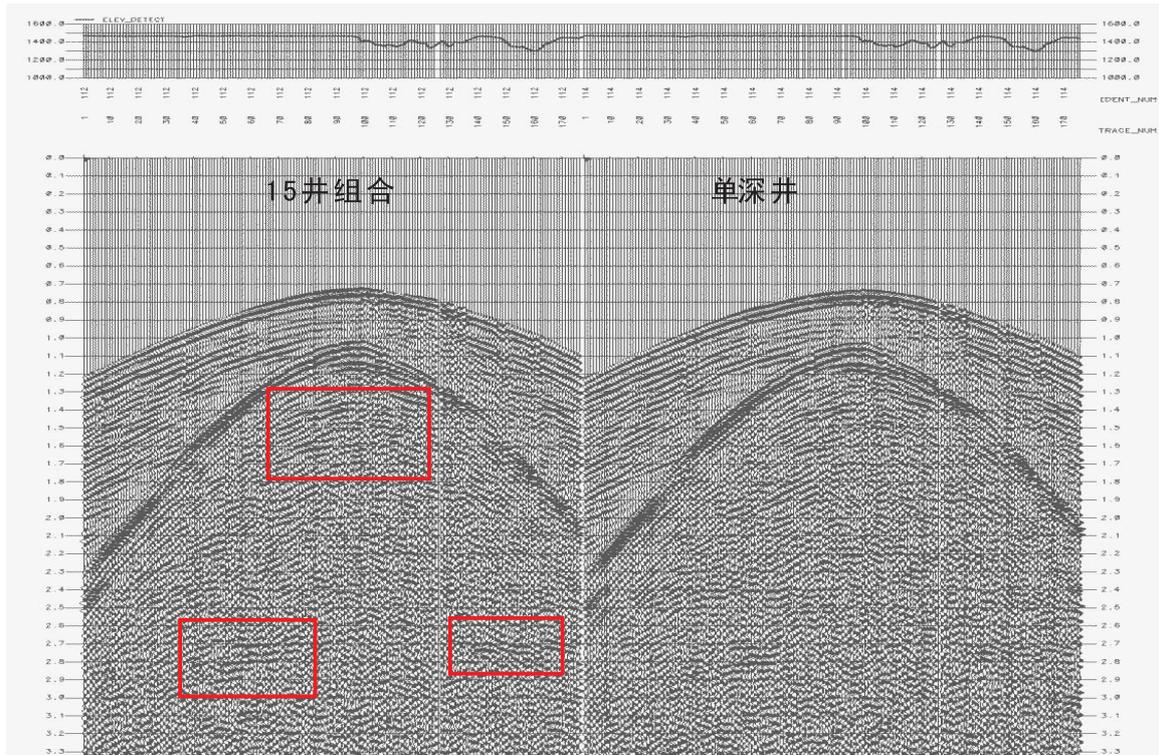


图2 15井组合和单深井对比(20~40Hz)

Fig.2 Correlation of the 15 wells association and one single well (20~40 Hz)

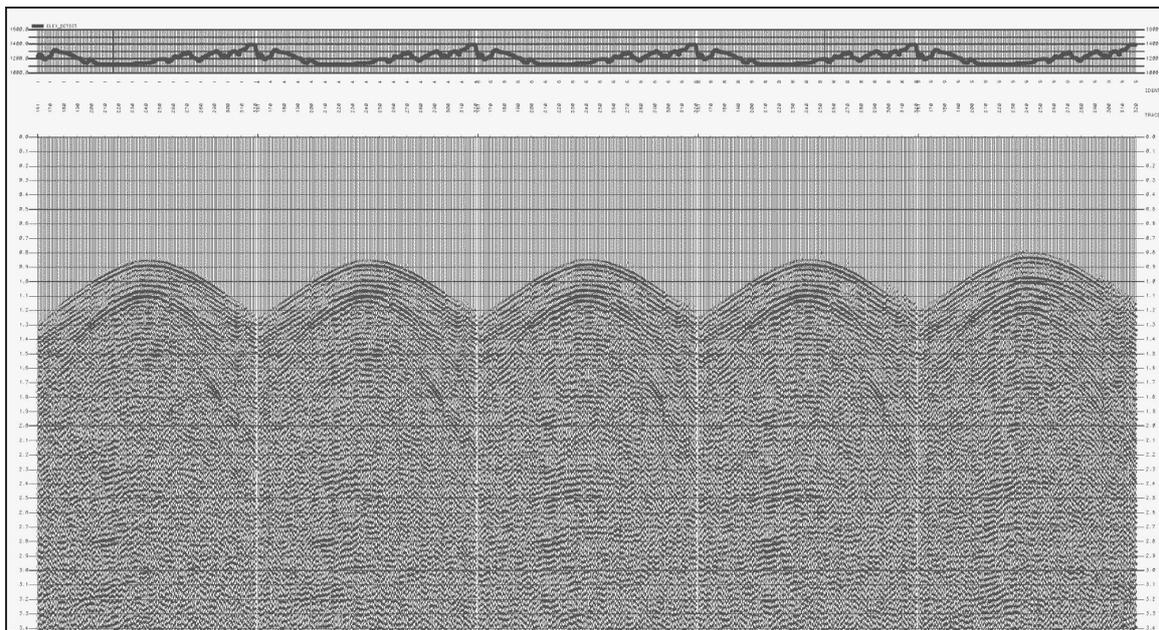


图3 不同激发层位对比(20~40Hz)

Fig.3 Correlation of different excitation horizons (20~40 Hz)

的范围内使炸药爆炸能量集中在某一方向上进行释放的效应就是聚能效应。在特定方向上,相同药量的聚能炸药比常规炸药的爆轰能力大很多。利用这一特性,将聚能炸药应用于黄土塬区地震激

发,理论上可以极大地提高炸药震源对围岩垂直向下的正应力,减小药柱侧面对围岩的切应力,从而增加了下传能量,有利于提高记录的能量和信噪比(图4)。

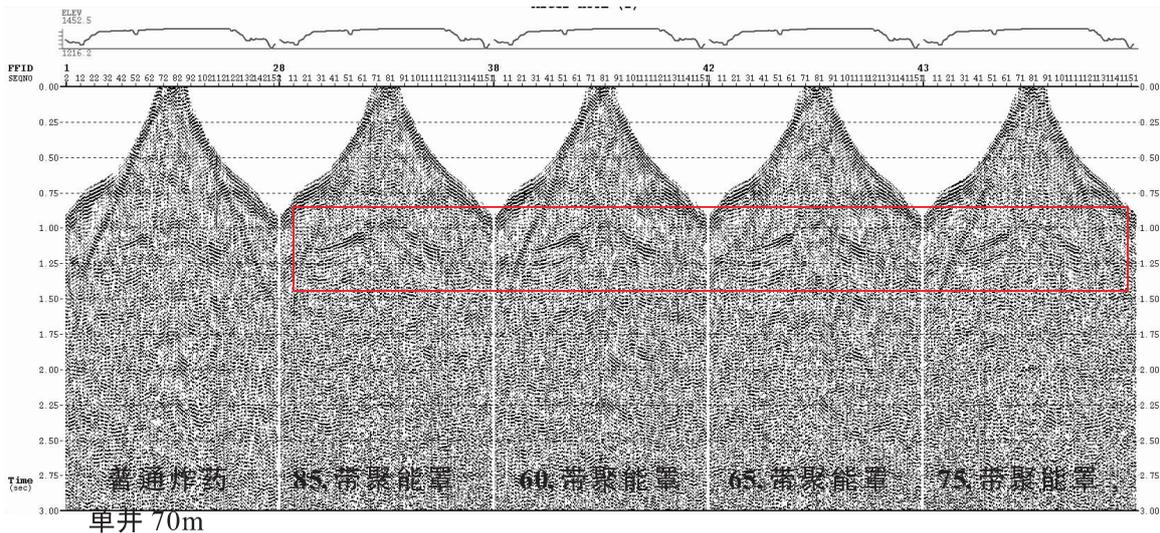


图4 普通炸药和带聚能装置炸药激发对比

Fig. 4 Correlation of the excitation of the common explosives and shaped-charge explosives

4 结论

(1) 黄土塬三维地震资料采集过程中, 塬上、半坡、沟底、河道单炮的地震资料品质差异巨大, 如何合理布设激发点非常关键, 沟底、河道是首选布设区, 其次是平坦的塬上, 半坡激发单炮资料品质最差。

(2) 沟底、河道采用单井激发就可以得到较好资料, 巨厚黄土区采用多井组合是获取好资料的最佳选择。黄土厚度大于 250m, 采用 19 井组合; 黄土厚度在 150 ~ 250m, 采用 17 井组合; 黄土厚度在 100 ~ 150m, 采用 15 井组合; 黄土厚度在 40 ~ 100m, 采用 13 井组合。

(3) 有稳定的潜水面和基岩出露的区域, 在潜水面和基岩里激发能保证获取高品质资料; 巨厚黄土区需找准胶泥层, 在胶泥层顶界面下 1m 激发为最佳; 无稳定胶泥层的区域应选择速度较高的潮湿黄土中激发。

(4) 采用普通高密度炸药分别与聚能不同类型炸药进行对比试验, 通过试验资料可以看出, 采用聚能炸药激发有效增加了能量下传, 改善了资料品质, 半球腔带罩聚能炸药资料品质明显优于普通炸药资料品质。

镇泾区块三维地震资料研究成果在红河油田发挥了重要作用, 深化了油藏地质认识, 为勘探、开发井位部署提供了技术支撑, 极大地降低了勘探开发风险, 已经成为鄂南石油勘探开发关键技术之一。鄂南黄土塬区大面积三维地震的首战告捷, 向

世人展示了其广阔的应用前景, 结束了黄土塬区地震采集只能沿沟进行二维弯线勘探的历史, 使三维地震勘探成为可能。它的突破意味着鄂尔多斯盆地南部这块曾经被视为地震勘探禁区的地方从此解开禁锢、获得新生, 三维地震将为鄂南致密油气资源的解放发挥越来越重要的作用。

参考文献:

- [1] 陈娟, 胡剑, 王永刚, 李美, 等. 鄂尔多斯盆地黄土塬区地震资料处理方法及应用[J]. 石油天然气学报, 2012, 34(5): 65-69.
- [2] 蒋杰兵. 黄土塬规则三维地震采集技术研究[J]. 科技与生活, 2011(14): 180.
- [3] 孙景旺, 杜中东, 任文军, 等. 鄂尔多斯盆地黄土塬区多线地震采集技术[J]. 石油物探, 2003, 42(4): 505-509.
- [4] 程建远, 张广忠, 胡继武, 等. 黄土塬区的三维地震勘探技术[J]. 中国煤田地质, 2004, 16(06): 40-43.
- [5] 商昌亮, 付守献, 等. 黄土塬山地三维地震勘探应用实例[J]. 岩性油气藏, 2007, 19(3): 106-110.
- [6] 夏青, 袁媛, 等. 三维地震勘探在山地黄土塬区的技术难题和解决办法[J]. 西部探矿工程, 2013, 1: 136-141.
- [7] 郭子华, 田伟, 李新程, 等. 巨厚黄土塬地区三维地震勘探试验方法探讨[J]. 西部探矿工程, 2012(8): 108-113.
- [8] 郑莉, 冀连胜, 何展翔, 等. 鄂尔多斯盆地西缘黄土塬区综合物探技术的应用效果[J]. 石油地球物理勘探, 2008, 43(2): 229-232.
- [9] 高雪侠, 彭朝全, 付守献, 等. 提高黄土塬地震资料信噪比的方法研究[J]. 西安石油大学学报(自然科学版), 2011, 26(6): 37-41.

The 3D seismic excitation techniques for the loess tableland areas in southern Ordos Basin

ZHU Dan , LI Bang

(*Engineering Supervision Center , North China Branch , SINOPEC , Zhengzhou 450000 , Henan , China*)

Abstract: The loess tableland areas in southern Ordos Basin are unique in topography and morphology in China. The downward propagation of earthquake-induced energy in the weakly elastic thick loess is believed to be one of the global problems in processing seismic information collections. The highlights in the present paper are placed upon the key 3D seismic excitation techniques such as the selection of the excitation sites , decrease of the effects of dry and loose loess on the absorption and attenuation of seismic information , selection of reasonable excitation explosives and excitation parameters in order to increase the wavelet energy and expand the width of the wavelet frequency band widths , and suppression of the local lateral interference with the aid of combination effects. The progress in the key techniques of the 3D seismic collection makes it possible to carry out the 3D seismic exploration in the loess tableland area in southern Ordos Basin.

Key words: loess tableland; excitation; optimal design; multi-well association; 3D seismic exploration