

doi: 10.11720/wtyht.2020.1003

孙海川.可控震源地震采集技术在 H 探区煤炭勘查中的实验[J].物探与化探,2020,44(1):42-49.http://doi.org/10.11720/wtyht.2020.1003

Sun H C.Experimental study of vibroseis seismic acquisition technology on coal exploration in H prospecting area[J].Geophysical and Geochemical Exploration,2020,44(1):42-49.http://doi.org/10.11720/wtyht.2020.1003

可控震源地震采集技术在 H 探区 煤炭勘查中的实验

孙 海 川

(甘肃煤炭地质勘查院,甘肃兰州 730000)

摘要: H 探区位于吐鲁—驼马滩盆地东北部,地貌形态为沙漠戈壁,该区气候干燥、植被不发育、生态条件非常脆弱,地表以砂砾石、亚沙土层为主,厚度大,潜水位深,选择合理的采集技术和参数是开展地震工作的前提和保障地震勘探效果的关键。首先,结合探区地震地质条件,对该区采用可控震源的可行性进行分析;然后,对可控震源激发参数的选取进行了试验研究,确定了震动台次、扫描长度、扫描频率、震源出力等激发参数。参考邻区地震勘探经验,选择多个检波器线性组合和高覆盖次数观测系统。采用可控震源技术及所选择的采集参数经过精细施工,取得了较好的地震效果,为今后类似地区进行煤田地震勘探提供了有价值的参考。

关键词: 吐鲁—驼马滩盆地;可控震源;参数试验

中图分类号: P631.4

文献标识码: A

文章编号: 1000-8918(2020)01-0042-08



0 引言

甘肃省酒泉市肃北蒙古族自治县境内的北山地区吐鲁—驼马滩盆地内,具有煤层厚度较大、埋藏浅、资源量大,矿区水文地质及工程地质条件较简单等特点,属低瓦斯煤层。该区煤炭资源的勘查及开采将极大地缓解酒泉地区的煤炭供需矛盾,具有良好的社会意义和经济意义。

地震勘探作为找煤勘查的手段之一已在该区取得了较好的勘查效果。但该区为大陆性气候,干燥多风,植被不发育,属典型的沙漠戈壁区,生态条件极为脆弱,浅层第四系分布广泛,以砂砾石、亚沙土层覆盖,厚度大,潜水位深,给地震勘探带来极大的困难。针对该区表浅层地震地质条件复杂的状况,选择合理的地震激发技术,提高地震资料信噪比、降低环境破坏成为该区地震勘探需要解决的问题。笔者以 H 探区为研究区,将可控震源技术应用到该地区,克服了以往炸药震源对生态环境产生的不利影响,降低了施工成本。在采用可控震源技术的基础

上,结合采集参数试验分析,获得了信噪比较高的原始资料,取得了较好的地质效果,为类似地区可控震源地震勘探提供了有参考价值的范例。

1 探区概况

1.1 地层及构造

H 探区位于吐鲁—驼马滩盆地东北部,属陆相沉积地层,基本构造形态为地层向盆地中心倾伏的向斜构造,断层不发育。区内地层自下而上有:志留系(为变质岩基底)、白垩系下统老树窝群、新近系上新统苦泉组及第四系。其中白垩系下统老树窝群为主要含煤地层。

1.2 地震地质条件

H 探区地貌属戈壁平原,地形较为平缓,地表被第四系覆盖,植被稀疏。区内工电干扰少且车辆通行较为方便,有利于地震勘探野外工作。本区为典型大陆性气候,干燥少雨多风,春冬为风季,年平均风速 4.4~5.0 m/s,最大风速达 23 m/s,随机干扰严重。区内表层普遍存在的砂砾石使得地震成孔困

收稿日期: 2019-02-21; 修回日期: 2019-07-17

基金项目: 甘肃省发展和改革委员会 2010 年第一批省预算内前期费项目(甘发改投资[2010]436 号)

作者简介: 孙海川(1985-),男,宁夏银川人,工程师,现主要从事地质勘查与研究工作。Email:774617824@qq.com

难,应用传统的炸药震源激发能量散失严重,次生干扰强^[1];浅层第四系分布广泛,以砂砾石、亚沙土层覆盖,厚度大,多透水而不含水,且潜水位深。因此,探区表浅层地震地质条件复杂。

H 探区含煤地层为白垩系下统陆相碎屑含煤建造,可采煤层厚度最大 31 m,煤层埋深一般在 400 m 左右,层位稳定,全区发育。地层倾角不大,煤层与顶底板围岩速度差异较大,存在较大的波阻抗差,能形成较强的煤层反射波,具备地震勘探的前提。

利用可控震源技术可以有效避开地震激发孔成孔困难及使用炸药震源对生态环境的扰动等问题,改善地震激发、接收条件,提高施工效率,降低勘探成本,改善该区地震勘探效果^[2]。

2 可控震源可行性分析

可控震源和炸药震源是煤田地震勘探主要采用的激发震源,对于地震地质条件复杂的戈壁地区,选择合理有效的激发方式显得尤为关键。随着地震勘探技术的发展,可控震源作为一种安全、高效、环保、经济的激发方式在煤田地震勘探中已被广泛应用,特别符合当今社会安全和绿色勘查的要求^[3]。相对于传统炸药震源,可控震源激发能量、频率、振幅可控,地表激发不用成孔,受复杂浅层地震地质条件(如砂砾石层、砂土层、表层低速带、潜水面深)影响小。缺点是受地形限制大、单炮能量小、初至不易拾取等^[4]。

H 探区属沙漠戈壁区,生态条件极为脆弱,选用传统的炸药震源进行野外施工主要存在 4 点问题:一是该区位于省(市)交界处及中蒙边境线附近,地理位置极为特殊,安全限制因素多、炸药手续办理繁琐、审核周期长;二是该区远离市区、荒芜人烟、炸药运输成本太高;三是该区植被稀少、荒漠化严重、生态条件极为脆弱,应用炸药震源施工会对当地的生态环境造成破坏,不符合绿色勘查的要求;四是本区表层存在的砂砾石层使得炮井成孔困难,主要表现在成孔施工时易塌孔,施工效率低下,加之本区潜水面相对较深,炮井最佳激发深度难以达到,不利于地震波激发。因此,在该区开展地震勘探工作,在地形条件允许的前提下,优先考虑使用可控震源激发。本区地形较为平缓,适宜应用可控震源开展工作。鉴于本区复杂的表浅层地震地质条件,应用可控震源作为激发震源具有以下优势:一是可控震源地表激发时对岩石的破坏较小,主要能量用于产生弹性波,频率范围可以根据地层特性选择损耗最少、最适宜地层传播的频率作为扫描的频带,使震源能量发

挥到最大;二是受外界强风干扰严重(该区多风且风力较大),由于可控震源采用了相关技术,对风沙噪声的压制效果较好,提高了地震资料的信噪比^[5-6]。三是探区目的层深度相对较浅(小于 700 m),结合以往地震勘探经验,采用可控震源激发易实现目的层对激发能量的需求,能够取得较好的地震效果。

3 采集参数实验

在采用可控震源施工的基础上,借鉴以往地震勘探经验,进一步对可控震源激发参数进行实验。

可控震源采用小震源多次激发,以低功率在地表相对较长时间内持续向地下激发信号,然后将所得到的信号相互叠加、干涉形成了可控震源原始记录,再应用相关技术使震源反射信号从干涉信号中恢复出来,得到了可用于解释的原始记录,这种激发方式与炸药震源的常规地震记录类似。可控震源激发过程中产生的信号具有可调节性,其振幅与频率均为时间的函数。应用较为多的就是线性正弦信号,其表达式为:

$$S(t) = A(t) \sin 2\pi \int_0^t f(t) dt。$$

其中, $S(t)$ 为扫描信号, $A(t)$ 为扫描信号的振幅包络数, $f(t)$ 为扫描信号的瞬时频率, t 为时间^[7]。震源工作过程中,原始数据质量和上述参数密切相关。因此,需要结合探区地震地质条件及目的层深度进行可控震源激发参数试验,本次主要对震源台次、扫描频率、扫描长度及震源出力进行试验^[8],选择适合本区的激发参数,以保证原始数据的质量。

3.1 震源台数

可控震源工作时可以使用 1 台激发或多台同时激发,多台震源同时激发主要是加强向下传输的能量,同时也可避免单台震源出力过大使能量过多损耗在地表破碎带中,进而加强对地表干扰的压制。但不是震动台数越多越好,随着震动台数的增加,能量叠加会使反射波的主频向低频方向移动,不利于高分辨率地震勘探^[9]。震动台数的选择应以能量能满足目的层勘探深度及压制干扰为主。本次探测目的层最深为志留系变质岩基底,基底深度不超过 700 m,探测深度相对较浅。本次试验选取 1 台、2 台和 3 台震源进行震源台数试验。

图 1 为 2 次震动,扫描频率 20~130 Hz,扫描长度 14 s,震源出力 75%,震源台数 1 台、2 台和 3 台的单炮记录、信噪比、能量及频谱分析图。在测点 4590~

4965之间,震源台数 1 台、2 台和 3 台的单炮记录上均有有效反射波(如图中蓝色虚线框所示),反射波位于 0.4~0.6 s 之间,随着震源台数的增加,单炮记录能量逐渐增强,单炮记录面貌有所改善,1 台、2 台和 3 台震源激发的信噪比均较高,总体差别不大。从频谱

角度考虑,3 台震源单炮记录频带相对略窄,有向低频移动的趋势。本次勘探目的层相对较浅(小于 700 m),且地震单炮记录上均有有效反射波显示,从提高工作效率和节约成本的角度考虑,1 台震源亦能满足生产需要,正式生产选取 1 台震源进行激发。

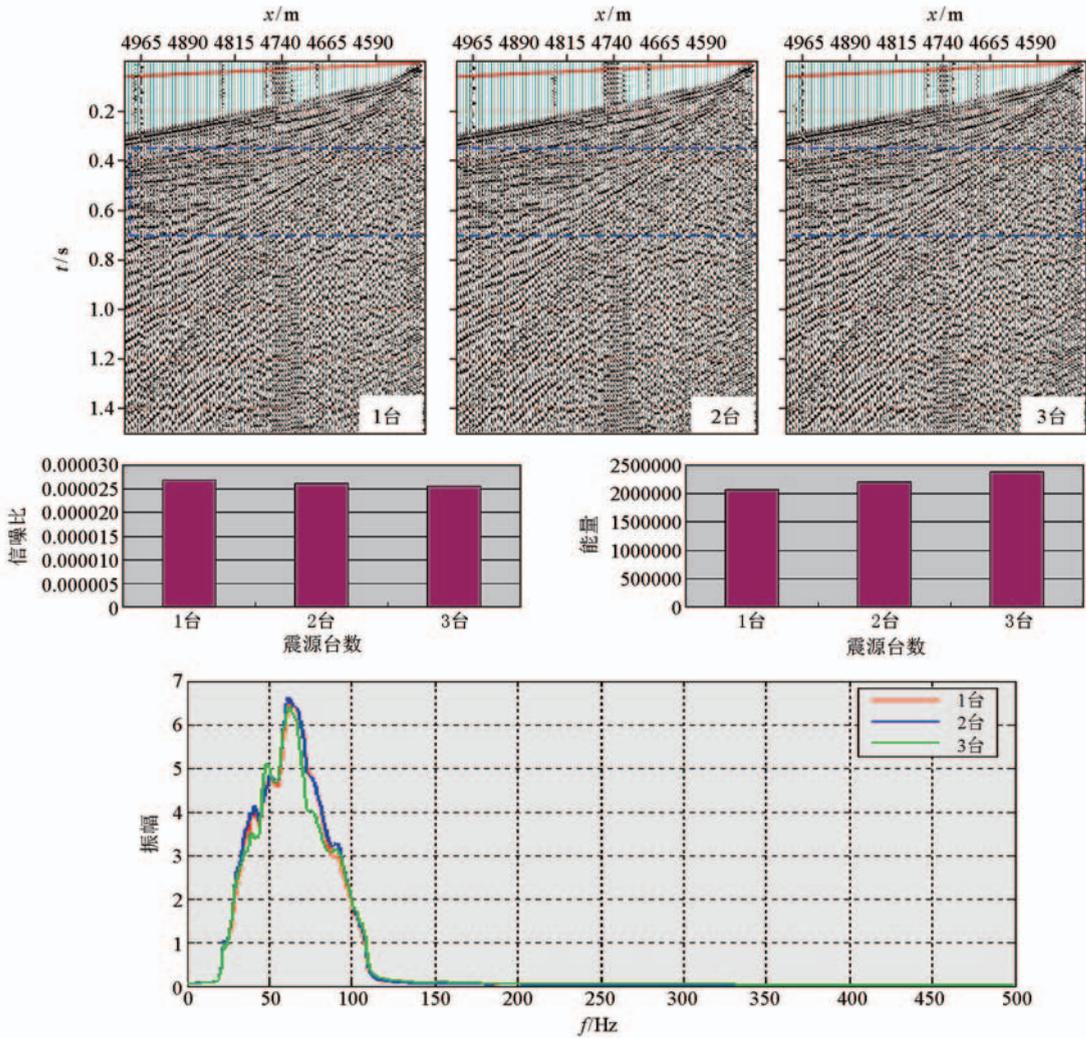


图 1 震源台数实验单炮记录对比(上)、信噪比和能量分析(中)与频谱分析(下)

Fig.1 Contrast of vibration number test single-shot record (above), SNR,energy analysis(middle) and spectrum analysis(below)

3.2 震动次数

可控震源震动次数相当于垂直叠加次数, n 次震动对随机干扰的压制能力提高 \sqrt{n} 倍,从能量角度看, n 次震动有效波相对于随机噪声来说补偿量为 $W=20\lg n$, n 为震动次数^[10]。可控震源激发时多次震动主要是增强有效波能量并压制随机干扰,提高原始资料信噪比,同时保证地震记录分辨率。但是随着震动次数的增加,与有效波频带相近的干扰信号也会增强,甚至有可能改变地震记录的相位,降低分辨率。因此,震源激发过程中,选择合适的震动次数,增加一次性激发的有效能量至关重要。本次实

验选取 1 次、2 次和 3 次震动进行震动次数实验。

图 2 为 1 台震源,扫描频率 20~130 Hz,扫描长度 14 s,震源出力 75%,震动次数 1 次、2 次和 3 次的单炮记录、信噪比、能量及频谱分析图。在测点 2465~2915 之间,震动 1 次、2 次和 3 次单炮记录面貌差别不大,背景干扰均小,从信噪比、能量及频谱角度考虑,随着震动次数的增加,能量逐渐增强,但整体差别不大,2 次震动信噪比相对高,3 次震动地震子波主频向低频移动,不利于高分辨率地震勘探。综合考虑,本次可控震源激发选取 2 次震动。

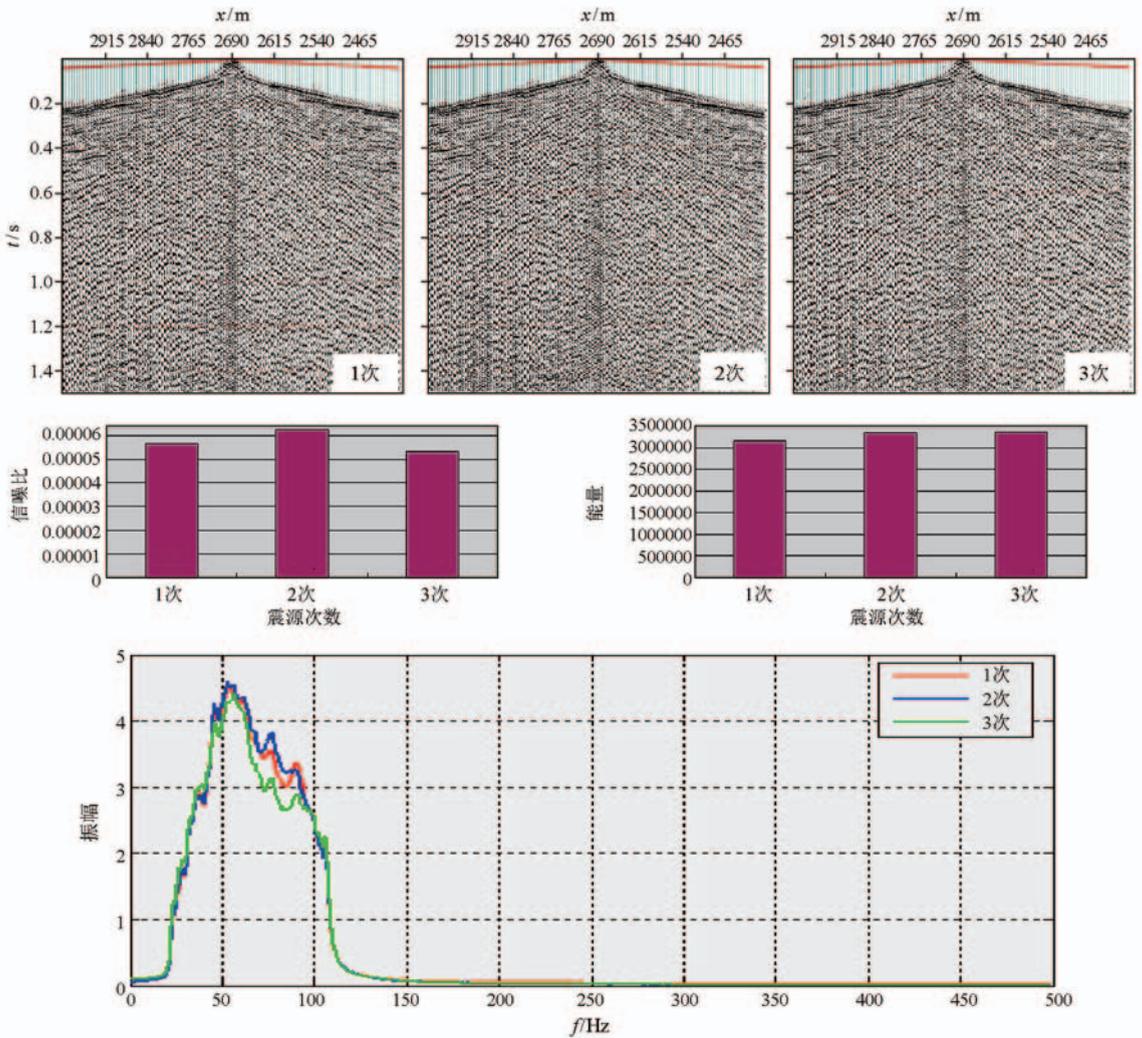


图 2 震动次数实验单炮记录对比(上)、信噪比和能量分析(中)与频谱分析(下)

Fig.2 Contrast of vibration times test single-shot record (above), SNR, energy analysis (middle) and spectrum analysis (below)

3.3 扫描频率

可控震源激发时,在一定的扫描长度内,扫描频率输出由低到高进行,因此,选择扫描频率时,主要对最低频率 f_1 及最高频率 f_0 进行选择。 f_1 太低时低频段振幅衰减强烈,震源在这一频率段扫描时间增加,无形中浪费了部分能量,同时 f_1 的选择应有助于压制低频干扰。本区的低频干扰主要为面波干扰,频带在15~20 Hz,为压制低频面波干扰,从保证地震资料信噪比的角度考虑,该区最低频率选择20 Hz。 f_0 的选择应不高于目的层反射波的最高频率(本区目的层反射波的频率为15~150 Hz),同时还应考虑可控源的最高截止频率(通常为160 Hz),以保证设备的安全施工^[10]。本次扫描频率实验主要对扫描高频进行选择。

高频选择实验,可控震源其他参数分别为:低频20 Hz,震源1台,2次震动,扫描长度14 s,震源出力75%,高频选择110、130 Hz进行实验。图3为110、

130 Hz 单炮记录频谱对比,可以看出,高频130 Hz 频带宽度相对于110 Hz的要宽,且在50~100 Hz 频段振幅较强,有效地提高了地震资料的分辨率,野外数据采集中,在仪器安全运行的前提下,应尽量增大高频信号振幅,本次实验选取高频为130 Hz,能够拓宽有效波频宽,进而提高地震勘探分辨率。

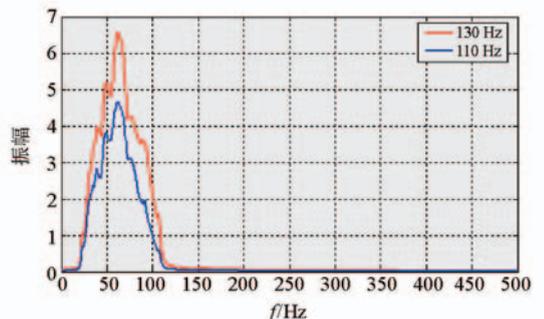


图 3 扫描高频 130 Hz 与 110 Hz 单炮记录频谱对比
Fig.3 Comparison single-shot record spectrum analysis of scanning high frequency 130 Hz and 110 Hz

3.4 扫描长度

扫描长度为可控震源工作时,扫描信号由低频到高频向下传播的时间。通常来讲,扫描长度决定了激发能量,与炸药震源的炸药量相当。扫描长度越长激发能量越强,信噪比越高^[11]。但并非越长越好,可控震源在震动过程中,扫描长度过长,若超出了弹性形变的范围,有可能在地震记录中产生二次谐波虚像或“多初至”虚像,同时还要考虑目的层反

射波对激发能量的需求^[12]。图4为1台震源,震动次数2次,扫描频率20~130 Hz,震源出力75%,扫描长度12、14、16 s的单炮记录与信噪比、能量及频谱分析图。在测点4590~4965之间,扫描长度12、14、16 s的单炮记录上均有有效反射波(如图中蓝色虚线框所示),反射波位于0.4~0.6 s之间,扫描长度14、16 s的单炮记录能量相当且强于12 s,扫描长度14 s单炮记录信噪比最高,频带相对宽。

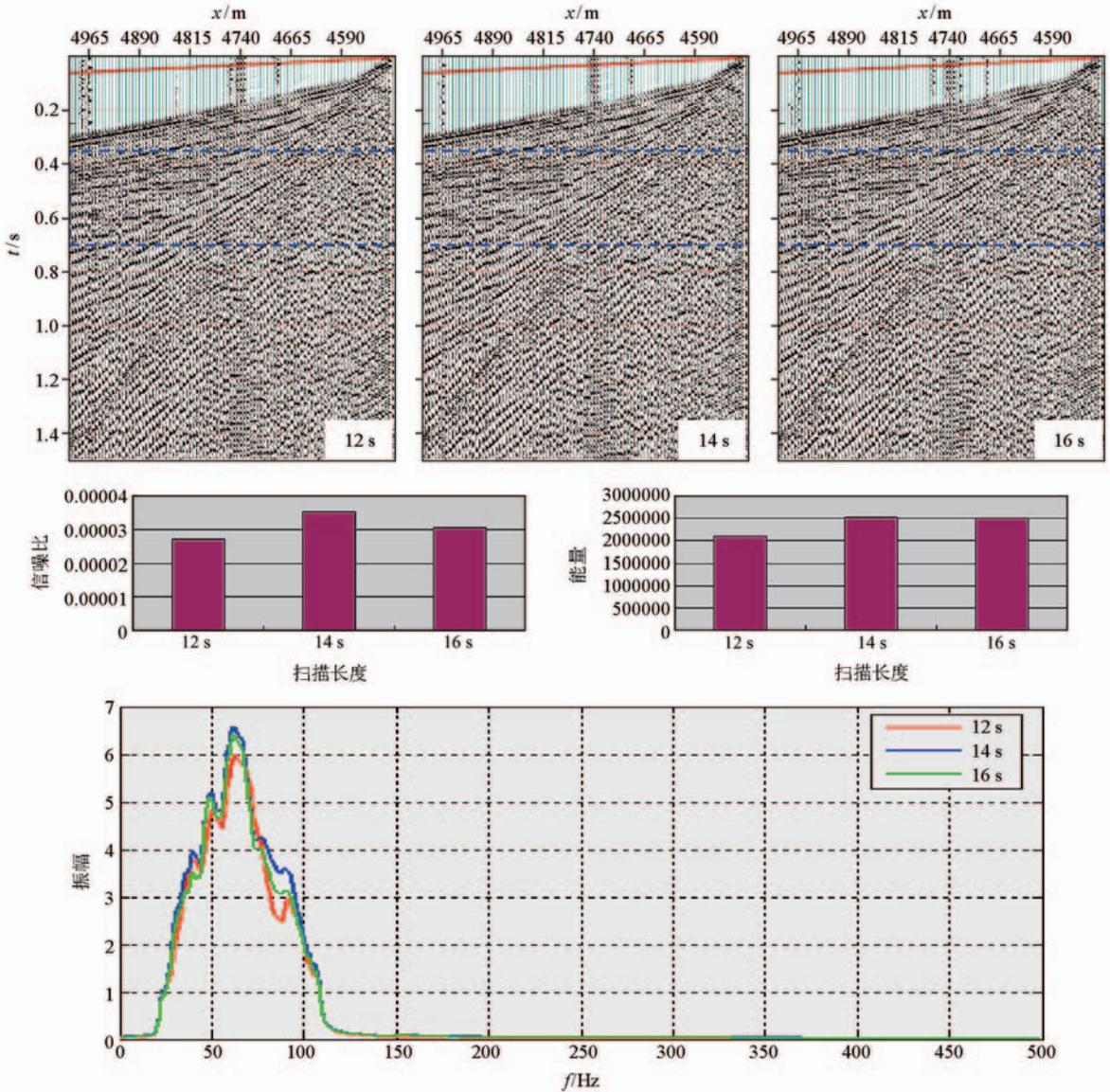


图4 扫描长度实验单炮记录对比(上)、信噪比和能量分析(中)与频谱分析(下)

Fig.4 Contrast of scanning length test single-shot record (above), SNR, energy analysis (middle) and spectrum analysis (below)

3.5 震源出力

震源出力的选择主要考虑震源底板与地表的耦合情况。当震源底板与地表的耦合较好时,可适当增加震源出力,以增加激发能量;震源底板与地表的耦合较差时(如地表凹凸不平或有基岩出露等情况),可适当降低震源出力,以避免地震记录中

可能产生的假象^[13-14]。本区表层主要以砂砾石、亚砂土为主,无基岩出露,地表相对平坦,震源底板与地表的耦合较好,在地震记录未失真的前提下,应尽量提高震源出力,增加下传能量,提高地震资料信噪比。考虑到本区目的层埋深及激发能量的需要,结合以往勘探经验,本区震源出力选择75%。

4 采集技术

通过借鉴邻区地震勘探经验,可控震源可行性分析及激发参数实验对比后,本区采用可控震源技术并确定了以下采集参数:

- 1) 激发:采用可控震源 1 台 2 次震动,震源出力 75%, 扫面频率 20~130 Hz, 扫描长度 14 s。
- 2) 接收:5 个 60 Hz 检波器串联纵向线性组合埋置,组内距 1 m。
- 3) 仪器:采用可控震源 M26, Aries II 型数字地震仪,采样间隔 1 ms,记录长度 2 s,全波段接收。
- 4) 观测系统:96 道接收,24 次叠加,道距 5 m,炮点距 10 m,偏移距 0 m,中点激发或单边激发(向斜轴部采用中点激发两端对称接收,向斜两翼采用单边激发,下倾方向震动上倾方向接收^[15])。

5 效果分析

采用可控震源技术及以上采集参数,经过精细施工取得了较好的地震成果(图 5)。测线上由浅至深主要发育 2 组反射波(T_3 、 T_4),其中 T_3 反射波位于时间剖面 0.3 s 附近,多以复合波出现(表现为 2~3 强相位),波组能量强,可连续追踪解释。 T_4 反射波位于时间剖面 0.5~0.6 s 之间,以 1~2 个强相位形式出现,基本可连续追踪。结合本区地质资料,认为 T_3 波为煤层反射波, T_4 波为基底反射波,经钻孔(位于时间剖面 CDP900 位置)验证,地震解释成果与钻探成果基本吻合(见表 1)。钻孔在 380~417 m 钻遇 7 层煤,煤层厚度 0.3~3.2 m,煤层平均间距 5m,地震时间剖面上通常以复合波特征出现,该特征与本次地震时间剖面上 T_3 煤层反射波特征吻合

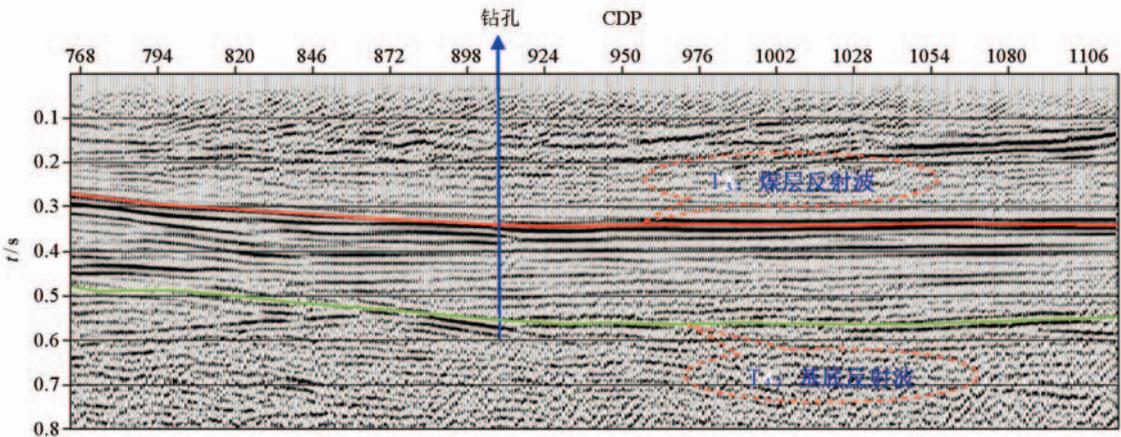


图 5 H 探区地震时间剖面

Fig.5 Seismic time section of H exploration area

表 1 钻孔验证情况统计

Table 1 Statistical table for borehole validation

地震			钻探		
反射波	波组认识	解释深度/m	地层	钻孔揭露深度/m	误差/%
T_3	煤层反射波	400	煤层	380~417	±5
T_4	基底反射波	660	志留系变质岩	683.5	3.4

较好。地震解释煤层及基底深度满足规范要求中深度解释误差不大于 9%的要求^[16],充分证明本区采用可控震源技术可行、选取的采集参数合理。

6 结论与认识

通过本次地震勘探采集工作,有以下几点认识:

- 1) 对于炮井成孔困难地区,在地形条件允许的条件下,可以考虑采用可控震源技术,当然可控震源

技术的可行性,还要结合地震地质条件,目的层勘探深度等因素进行综合判定。

- 2) 可控震源激发时震源台数及震动次数增加主要目的提高地震原始记录信噪比,但其效果通常不如多次覆盖技术,在野外数据采集中从提高施工效率的角度考虑,可以适当减少震源台次,应用多次覆盖技术进一步提高地震资料信噪比。
- 3) 采用多台震源同时激发,各台震源的扫描信号参数、相位应保持一致,为此,在震源工作前,应对

各台震源的一致性进行检查。

4) 与传统炸药震源相比,可控震源技术在提高施工效率,节约成本方面优势明显,同时可降低 HSE 风险,符合当前绿色勘查的要求。

5) 可控震源采集参数的选取,不仅要进行单炮记录(地震记录面貌或有效反射波)对比、还应对影响地震记录品质的能量、信噪比及频谱等进行定量分析,综合判定采集参数。尽量避免凭经验或采用单一手段而带来的随机性、盲目性。

6) 本区受风的影响随机干扰严重,尽管采用可控震源技术对干扰进行了压制,但野外数据采集应尽量选择无风时段或避开风力较大的时段,以进一步提高地震资料信噪比。

参考文献(References):

- [1] 郝云兰,徐东晶,梁明星,等.可控震源在淮南地区煤田三维集中的应用[J].煤炭技术,2017,36(7):121-122.
Hao Y L, Xu D J, Liang M X, et al. Application of vibroseis in 3D seismic acquisition of coalfield in southern junggar basin[J]. Coal Technology, 2017, 36(7): 121-122.
- [2] 丁伟,胡立新,何京国,等.可控震源高效地震采集技术研究及应用[J].石油物探,2014,53(3):338-343.
Ding W, Hu L X, He J G, et al. The research on vibrator high efficient simulation technology and its application[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2014, 53(3): 338-343.
- [3] 倪宇东,王井富,马涛,等.可控震源地震采集技术的进展[J].石油地球物理勘探,2011,46(3):349-356.
Ni Y D, Wang J F, Ma T, et al. Advances in seismic acquisition technology of vibroseis[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2011, 46(3): 349-356.
- [4] 李忠雄,卫红伟,马龙,等.羌塘盆地可控震源采集试验分析[J].石油地球物理勘探,2017,52(2):199-207.
Li Z X, Wei H W, Ma L, et al. Experimental analysis of vibroseis acquisition in Qiangtang basin[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2017, 52(2): 199-207.
- [5] 张玉军,田雪丰,冷迺昇.可控震源在地震勘探激发条件复杂地区的应用[J].煤田地质与勘探,2015,43(5):108-112.
Zhang Y J, Tian X F, Leng G S. Application of vibrator in the region with complex seismic excitation conditions[J]. Coal Geology & Exploration, 2015, 43(5): 108-112.
- [6] 刘建勋,张保卫,王小江,等.羌塘盆地浅层地震探测方法技术[J].物探与化探,2015,39(4):678-685.
Liu J X, Zhang B W, Wang X J, et al. The method for shallow seismic exploration in Qiangtang basin[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2015, 39(4): 678-685.
- [7] 柴童,韩文功,毕明波.一种可控震源非线性扫描信号设计方法及应用[J].物探与化探,2018,42(4):753-755.
Chai T, Han W G, Bi M B. A vibrator nonlinear sweeping signal design method and its application[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2018, 42(4): 753-755.
- [8] 汪长辉,周恒,张幕刚,等.可控震源高效采集技术在利比亚的应用[J].石油地球物理勘探,2008,43(2):106-107.
Wang C H, Zhou H, Zhang M G, et al. Application of high efficiency vibroseis acquisition in Libya[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2008, 43(2): 106-107.
- [9] 郭彦民.利用可控震源进行高分辨率地震勘探[J].中国煤炭地质,1996,8(3):72.
Guo Y M. Vibroseis is used for high resolution seismic exploration[J]. Coal Geology of China, 1996, 8(3): 72.
- [10] 薛海飞,董守华,陶文朋.可控震源地震勘探中参数的选择[J].物探与化探,2010,34(2):185-190.
Xue H F, Dong S H, Tao W P. Parameter selection in vibroseis seismic exploration[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2010, 34(2): 185-190.
- [11] 安学勇,李六五,于培峰.二连盆地火成岩地区地震勘探采集方法研究与应用[J].石油物探,2004,43(2):171-175.
An X Y, Li L W, Yu P F. Study and application of seismic and acquisition methods in igneous area of Erlian basin[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2004, 43(2): 171-175.
- [12] 吴华,张保卫,王凯,等.哈拉湖地区浅层地震勘探可控震源激发参数对比试验[J].物探与化探,2018,42(5):1033-1035.
Wu H, Zhang B W, Wang K, et al. Comparative test of vibroseis excitation parameters for shallow seismic exploration in Hra Hu area[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2018, 42(5): 1033-1035.
- [13] 刘冠军.改善可控震源地震记录质量的方法[J].物探与化探,2011,35(4):521-523.
Liu G J. The improvement of the quality of seismic signal in vibroseis[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2011, 35(4): 521-523.
- [14] 徐建宇,姜春香,张保卫,等.浅层地震技术在陆域天然气水合物勘探中存在的问题及对策[J].物探与化探,2017,41(6):1127-1132.
Xu J Y, Jiang C X, Zhang B W, et al. Existent problems and countermeasures in application of shallow seismic technology to exploring natural gas hydrate in land area[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2017, 41(6): 1127-1132.
- [15] 陆基孟,王永刚.地震勘探原理[M].东营:中国石油大学出版社,2011:172-180.
Lu J M, Wang Y G. Principles of seismic exploration[M]. Dongying: China University of Petroleum Press, 2011: 172-180.
- [16] 中华人民共和国地质矿产行业标准.DZ/T 0300—2017 煤田地震勘探规范[S].中华人民共和国国土资源部,2017.
People's Republic of China geological and mineral industry standards. DZ/T 0300—2017 specification for seismic exploration in coal field[S]. People's Republic of China Ministry of Land and Resources, 2017.

Experimental study of vibroseis seismic acquisition technology on coal exploration in H prospecting area

SUN Hai-Chuan

(*Gansu Coal Geological Prospecting Institute, Lanzhou 730000, China*)

Abstract: The H exploration area is located in the northeast of the Tulu-Tuomatan basin. Its geomorphology is desert and gobi. The climate in the area is dry, the plants are poorly developed, and the ecological conditions are very fragile. The surface is dominated by gravel and sub-sand layers, its thickness is large and the latent water level is deep. The choice of reasonable acquisition technology and parameters is the premise of seismic work and the key to ensuring seismic exploration results. Firstly, the feasibility of using vibroseis in this area was analyzed according to the seismic and geological conditions of the exploration area. Then, the selection of the vibrating parameters of the vibrator was tested, and the excitation parameters such as vibration number, scanning length, scanning frequency, and source output were determined. Referring to the experience of seismic exploration in adjacent areas, the authors chose the linear combination of multiple geophones and the observation system with high coverage times. The vibroseis technology was adopted, the selected acquisition parameters were finely constructed, and the better seismic effect was obtained, which provides valuable reference for the future seismic exploration of coal fields in similar areas.

Key words: Tulu-Tuomatan basin; vibroseis; parameter test

(本文编辑:叶佩)