

· 采集技术 ·

# 可控震源地震数据初至时间拾取方法

倪宇东\*<sup>①②</sup> 祖云飞<sup>②</sup> 李海翔<sup>②</sup> 雷云山<sup>②</sup>

(①中国地质大学,湖北武汉 430074; ②东方地球物理公司采集技术支持部,河北涿州 072751)

倪宇东, 祖云飞, 李海翔, 雷云山. 可控震源地震数据初至时间拾取方法. 石油地球物理勘探, 2010, 45(6): 793~796

**摘要** 如今中国境内可控震源勘探作业大多采用扫描信号与地震仪器接收信号进行互相关方式获取共炮点道集数据,这一过程通常在野外地震仪器系统上通过硬件完成。对于互相关单炮记录,相关噪声的存在降低了初至波的信噪比,需对单炮记录进行最小相位化处理拾取初至时间;采用扫描信号或地面力信号对振动记录做反褶积处理,能改善初至波信噪比,使初至起跳更加干脆,从而可提高初至时间拾取精度和静校正精度。在低信噪比地区,宜采用人机交互方式拾取初至,通过改变显示方式等改善初至起跳效果,以提高初至拾取精度和静校正精度。

**关键词** 初至拾取 可控震源 扫描信号 互相关 地面力信号 信噪比 反褶积 人机交互方式

## 1 引言

可控震源和炸药震源激发所得地震资料通常使用相同的静校正处理方法,例如应用单炮初至时间通过不同的反演方法实现静校正量的计算。二者的不同之处在于使用的初至时间精度存在差异:炸药震源单炮初至通常起跳干脆,初至时间拾取精度高;而可控震源初至时间拾取精度低,因为通常采用互相关处理技术获得的可控震源单炮记录理论上应是零相位,但考虑到大地滤波作用及地震仪器响应,可控震源单炮记录实际上是混合相位的<sup>[1]</sup>,其初至波信噪比往往较低,加大了直接拾取初至时间的难度。如今国内可控震源作业大多采用这种互相关方法获取共炮点道集数据。

扫描信号是技术人员设计的由可控震源系统产生的理论激发信号;振动信号是指扫描信号激发地下介质引起的振动被地震仪器接收的信号。扫描信号与振动信号互相关运算获得的单炮记录中主要有互相关旁瓣噪声、线性及随机干扰。这些噪声不仅污染有效反射信息,同样也模糊了单炮初至波。为恢复地层的脉冲响应,需对可控震源单炮做最小相位化和反褶积处理。经过小相位化处理通常会降低

互相关噪声水平,提高单炮初至波信噪比。小相位化处理也是一个反滤波过程,采用扫描信号计算最小相位谱的反褶积可认为是确定性的反褶积。“可控震源—大地”系统会对扫描信号进行改造,改造后的扫描信号被业界称为地面力信号,若采用地面力信号处理相关前的振动信号,可避开互相关引起的噪声,获取信噪比更高的最小相位单炮记录,从而提高初至时间拾取精度。

## 2 互相关记录反褶积

在处理可控震源扫描信号与原始振动信号互相关产生的单炮资料时,为恢复地层的脉冲响应,一般采用两种反褶积方法<sup>[1]</sup>。方法一是采用零相位反滤波器消除扫描信号互相关处理产生的零相位 Klauder 子波,随后用最小相位反褶积消除与大地滤波及地震仪器有关的最小相位响应。由于大地滤波及地震仪器响应子波难以估算,因此该方法未被广泛应用。方法二(图 1a)<sup>[1]</sup>是设计一个滤波器将零相位 Klauder 子波转化为最小相位,这是一种由给定振幅谱求取最小相位谱的方法<sup>[2]</sup>。可控震源单炮记录转化为最小相位后,才能使用脉冲反褶积以获得近似真实地层的脉冲响应。单炮记录通过

\* 河北省涿州市范阳中路 307 号东方地球物理公司采集技术支持部,072751

本文于 2009 年 10 月 11 日收到,第一次修改稿于 2010 年 4 月 26 日收到,第二次修改稿于 2010 年 8 月 27 日收到。

小相位化处理,初至波信噪比得到提高,从而也提高了可控震源初至时间的拾取精度。应用这两种方法的假设条件是可控震源传播到地下的信号即为扫描信号,这样利用扫描信号反褶积的过程是确定性<sup>[3]</sup>的,结果是正确的。同时,这种方法还起到提高初至波信噪比的作用(图2)。

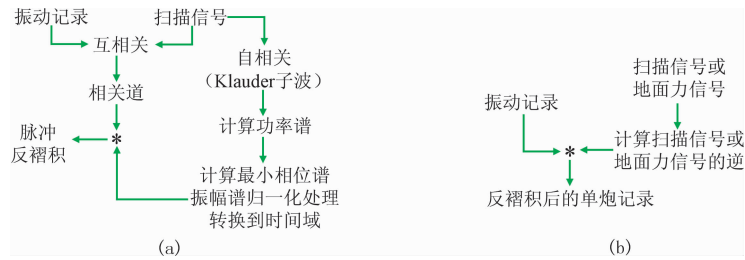


图1 可控震源互相关记录反褶积流程图<sup>[1]</sup>(a)和振动记录反褶积流程图<sup>[2]</sup>(b)

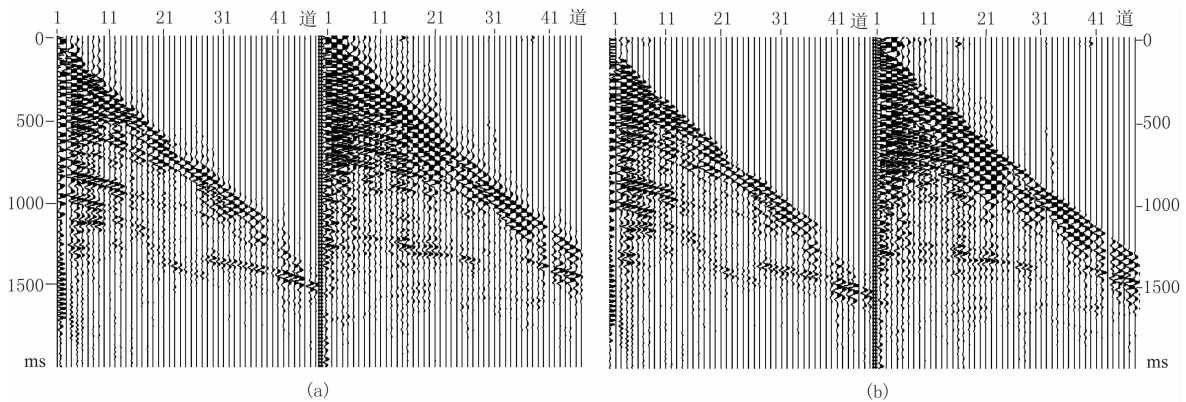


图2 小相位化处理前的互相关单炮记录(a)及处理后的单炮记录(b)

### 3 振动信号反褶积

Ristow等早年提出利用扫描信号对振动记录进行反褶积的处理方法<sup>[2]</sup>(图1b)。Brittle等<sup>[4]</sup>和Lines等<sup>[5]</sup>用理论模型正演模拟方法并通过对实际数据的处理分析,进一步验证该方法可获得比互相关方法更精确的振幅和相位信息。

1998年以来,Allen等<sup>[6]</sup>纷纷发表文章介绍高保真地震采集技术(HFVS)。HFVS技术与传统互相关技术有两点不同:一是使用可控震源地面力信号计算反褶积算子;二是使用地面力信号对振动信号进行反滤波处理(图1b),进而提高单炮记录的保真度,获得真实反映地层脉冲响应的数据体。HFVS技术的应用可以直接获得最小相位单炮记录,其初至起跳信噪比高,初至时间拾取精度高,从而也提高了静校正的精度。对比图1a和图1b可看

由于可控震源系统本身及大地与可控震源系统间存在非线性畸变,因此上述反褶积过程使用的扫描信号与振动信号中的地面力信号是有差别的。可见,扫描信号与振动记录互相关处理以及在互相关处理的单炮上使用扫描信号进行反褶积都是不够精确的。

到,反褶积处理与互相关处理相比,前者减少了处理环节、减小了处理累计误差、提高了运算效率,但要求野外采集现场配备更大容量的存储设备,以满足记录海量地震数据的需要。

图3展示了分别利用不同方法获得的单炮记录。其中图3a是扫描信号与振动记录互相关后的单炮记录,其初至波信噪比最低,原因是受相关噪声影响,远道干扰最严重,在自动拾取初至时间时,往往会串相位,图中红色点线对应位置是合理的拾取位置,绿色点线表示位置是错误位置;图3b是利用扫描信号对振动记录进行反褶积处理的单炮记录,其初至波信噪比有所提高,但初至起跳不干脆,自动拾取初至时间时,也会出现串相位的现象;图3c是直接利用地面力信号对振动记录进行反褶积处理的单炮记录,图3d是地面力信号求导后对振动记录进行反褶积处理的单炮记录,这两幅图初至波信噪比基本相当,均高于图3a和图3b,但图3c初至起跳能量相对稍弱,而



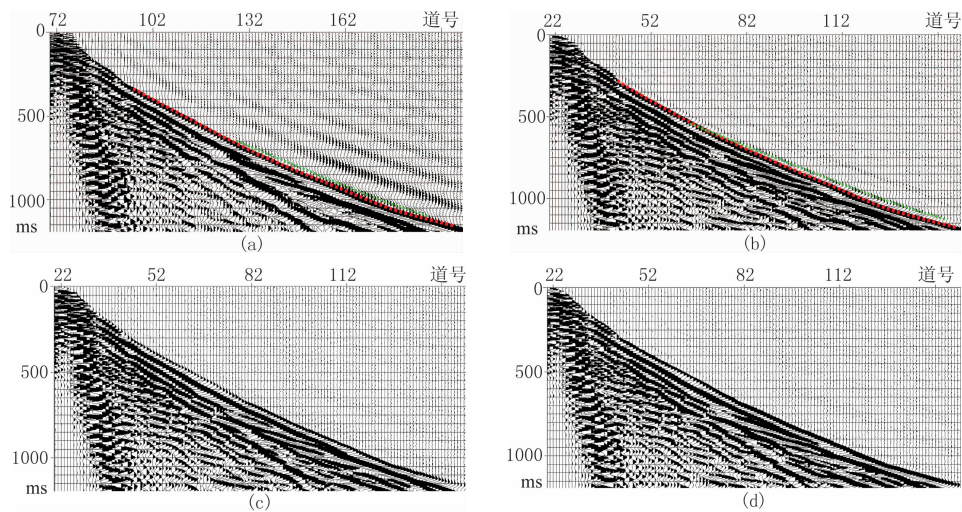


图 3 不同方法获得的单炮记录

(a)互相关处理;(b)用扫描信号对振动记录做反褶积处理;(c)利用地面力信号对振动记录做反褶积处理;(d)利用地面力信号求导后对振动记录做反褶积处理

图 3d 初至起跳能量最强,为最小相位。图 3c 和图 3d 在自动拾取初至时,能够快速而准确地拾取起跳时间;图 3a 和图 3b 显示的单炮记录也能快速拾取起跳时间,但需花费一定时间不断修正串相位的影响。

#### 4 低信噪比区初至起跳时间的拾取方法

互相关记录反褶积和振动信号反褶积效果的好坏直接受原始资料信噪比的影响。一般地,原始资料信噪比的高低取决于环境干扰的强弱、近地表地球物理结构特征、面波发育情况以及地层的地球物理参数特征等。这些影响信噪比的因素往往是客观存在、不可避免的,且其影响作用巨大。在信噪比低的原始资料上进行互相关记录反褶积、振动记录反褶积处理后,单炮记录信噪比也是很低的,其初至起

跳基本湮没于噪声之中,初至起跳时间拾取精度也很低。针对这类资料,宜采用人机交互拾取方式确保初至拾取精度。

人机交互拾取初至时间的方法就是利用处理系统可以同时显示不同域数据体的功能,在拾取初至起跳时间的同时,检查拾取的初至时间是否合理,如果认为不合理,那么适时修改拾取的起跳时间。这一“拾取—检查—修改—拾取”的过程就是人机交互的过程。在交互拾取过程中,针对单炮记录信噪比低的特点,往往需采用调整显示方式、调整增益(图 4)等方法提高识别初至起跳的准确度,然后通过手工追踪方式拾取初至时间。一般采用两种方式监控拾取精度:一是通过对比相同炮检距是否具有相同的初至起跳时间(具有相同初至起跳时间意味着拾取合理)来判别(图 5);二是利用表层调查资料判断初至时间是否合理(图 6)。

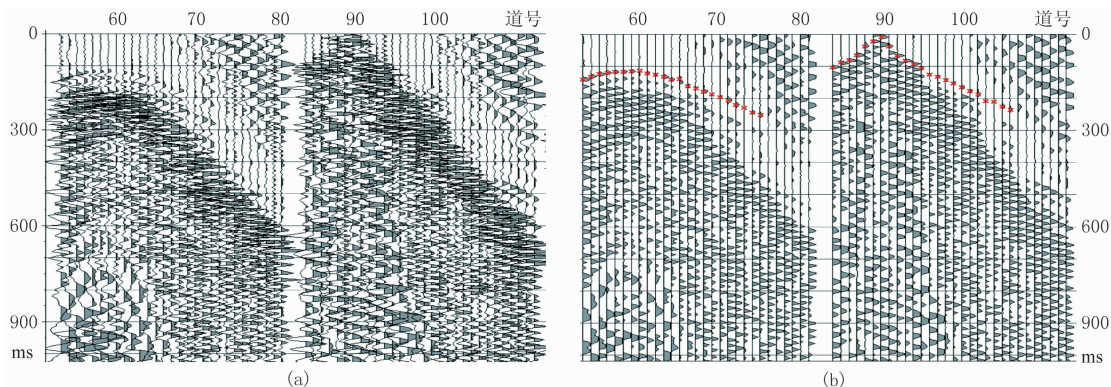


图 4 增益参数调整前(a)、后(b)的单炮记录

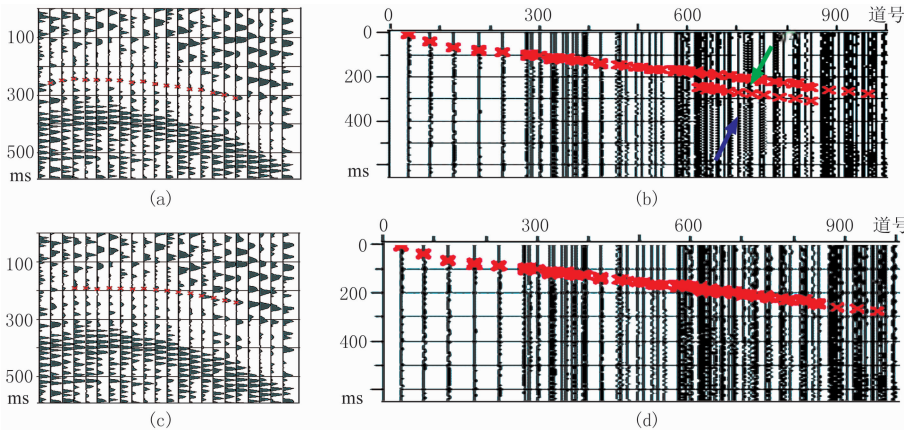


图5 人机交互控制拾取时间示意图

(a),(c)是炮检距为600~850m的单炮记录;(b),(d)分别是第一次、第二次拾取初至时间对应的“炮检距—初至时间”散点图

图4a是增益参数调整前的单炮记录,初至区域信噪比很低,无法拾取初至时间;图4b是增益参数调整后的单炮记录,初至区域信噪比明显提高,初至起跳时间拾取较容易。图5b中蓝色箭头指示的是图5a中拾取的初至时间(红色点线),其时间值比相邻炮、相同炮检距道的初至拾取时间值(绿色箭头)大,因此判断图5a拾取的时间存在问题;图5c是重新拾取初至起跳时间示意图,图5d、图5c拾取的时间与相邻炮、相同炮检距道拾取时间基本相同,因此第二次拾取是准确的。

在实际应用中,可基于表层调查资料用正演模拟方式确定某一位置的初至形态特征,也可根据常识和经验确定正确的初至位置,如低降速带厚度仅有2m的区域,拾取如图6红色点线所示的初至起跳位置显然是错误的,因为实际采集中道距一般在10m以上,近炮点初至不能反映2m厚的低降速层,而直接反映高速顶界面,因此正确位置应该是绿色点线。

## 5 结论与建议

(1)可控震源激发原始记录的信噪比始终影响反褶积和互相关处理后的单炮记录信噪比,当然也决定了初至波的信噪比;

(2)利用扫描信号或地面力信号与地震记录进行反褶积处理后的单炮记录(反褶积单炮记录)与互相关单炮记录相比,其初至波信噪比更高、起跳更干脆,初至时间拾取精度更高;

(3)在海量数据情形下,自动拾取反褶积单炮记录初至起跳时间的耗时远小于自动拾取互相关单炮

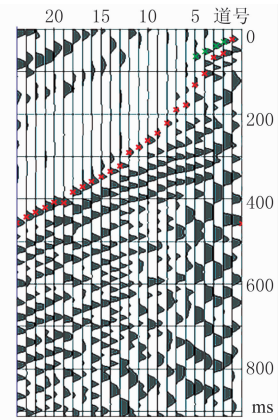


图6 单炮记录

绿色是正确起跳位置,红色是错误起跳位置

记录初至起跳时间的耗时(实际上自动拾取互相关单炮记录初至起跳时间的耗时并不长,只是由于需不断手工修改串相位的问题,工作周期相对大幅度增加);

(4)低信噪比地区可采用文中提到的人机交互方式提高初至时间的拾取精度,但应灵活应用;

(5)建议今后采用可控震源激发施工时要摒弃记录野外互相关单炮的习惯做法,而单独记录振动记录和地面力信号;若无条件记录地面力信号,则须单独记录振动信号;后续处理中须利用扫描信号对振动记录进行反褶积以获取单炮记录。

## 参考文献

- [1] Yilmaz Ö. *Seismic Data Analysis: Processing, Inversion and Interpretation of seismic Data*. Second Edition, SEG, 2001, 219~222
- [2] Ristow D and Jurczyk D. Vibroseis deconvolution. *Geophysical Prospecting*, 1975, 23(2): 363~379
- [3] 黄绪德. 反褶积与地震道反演. 北京:石油工业出版社, 1992, 1~10
- [4] Brittle K F, Lines L R and Dey A K. Vibroseis deconvolution: a synthetic comparison of cross correlation and frequency domain sweep deconvolution. CREWES Research Report, Department of Geology and Geophysics, University of Calgary, 2000, Vol 12: 257~266
- [5] Brittle K F, Lines L R and Dey A K. Vibroseis deconvolution: an example from pikes peak, saskatchewan. CSEG Recorder, May issue, 2001, 29~35
- [6] Allen K P, Johnson M L, May J S. High fidelity vibratory seismic (HFVS) method for acquiring seismic data. *SEG Technical Program Expanded Abstracts*, 1998, 17: 140~143

(本文编辑:朱汉东)