

# 胜利油田滩浅海地区地震勘探技术

崔汝国<sup>1,2</sup>, 王彦春<sup>1</sup>, 曹国滨<sup>1,2</sup>, 皮金云<sup>1</sup>

(1. 中国地质大学, 北京 100083; 2. 胜利石油管理局 物探公司, 山东 东营 257100)

**摘要:** 滩浅海地区由于特殊的地表条件和复杂多变的表层结构, 既不同于陆上勘探也不同于海上勘探, 尤其在两栖地带存在海陆2种施工方式。笔者对滩浅海地区地震勘探的激发震源、检波器和观测系统等野外采集各环节进行了系统研究, 提出解决滩浅海地区野外难以采集到高品质地震资料问题的方法, 开展了地震记录上的干扰波压制、差异校正等方面的深入研究, 形成一整套适用于滩浅海地区油气资源探查的高精度实用性的特色技术, 取得了较好的地质效果。

**关键词:** 滩浅海; 表层结构; 观测系统; 二次定位; 差异校正; 干扰波压制

中图分类号: P631.4

文献标识码: A

文章编号: 1000-8918(2006)05-0441-05

滩浅海是指包括滩涂、潮间带至海平面10 m以下浅海区域, 胜利油田滩浅海地区的勘探范围较为广泛, 西起四女寺河口, 东至潍河口, 有利勘探面积约为5 500 km<sup>2</sup>。从1974年开始, 经过近30 a的滩浅海地震勘探, 开辟了以埕岛构造带为主的海上勘探阵地, 发现了14个油田, 为胜利油田增储上产和可持续发展作出了巨大的贡献。

滩浅海地区有丰富的油气资源, 但滩浅海地区的地震勘探方法一直是一个世界性难题。它不仅表现在地表条件复杂, 而且地震勘探方法具备陆地勘探和海洋勘探的两重性。该区域是陆地方法向海洋延伸和海洋方法向陆地延伸的连接部位(图1), 同时具有了2种不同特点的地震勘探技术, 它们无论在设备方面, 还是在技术方法方面都存在较大的差异, 因此, 滩浅海区勘探难度大, 勘探程度相对于陆上勘探程度低, 其发展前景十分广阔。经过多年的滩浅海地震勘探技术研究, 形成了专门应用于滩浅海施工的地震勘探技术。采用这些技术, 使滩浅海

地区地震资料的品质有了很大的改进和提高, 具备滩海、潮间带、极浅海、浅海环境下全方位地震勘探的能力, 可以很好地完成滩浅海地区地震勘探任务。

## 1 滩浅海地震勘探特点及难点

### 1.1 特点

胜利滩浅海地区内, 极浅海近海水域底部平缓, 水深一般在数米范围内, 但由于黄河入海的影响, 还在河口形成了沿海滩涂和潮间带。这里, 淤泥分布较广, 为黄河泥沙最新淤积而成, 烂泥较深, 厚度大约在0.21 m不等, 激发、接收条件很差, 随着黄河的延伸, 其地表与沼泽地带无异。另外大大小小的潮沟纵横交错, 随着潮汐的变化, 潮间带水深变化在0.15 m。潮间带水深受潮汐变化影响, 施工因素必须根据潮涨潮落来做出调整。

### 1.2 难点

由以上环境特点给滩浅海施工带来很多难点: 由于地表松软, 烂泥滩广布, 地表变化大, 激发、接收

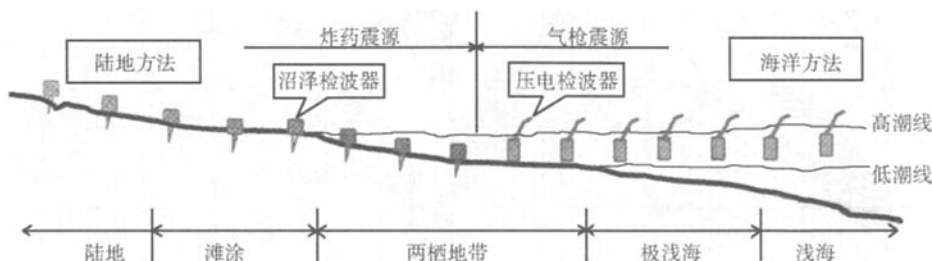


图1 滩浅海地区地震勘探示意

条件差,难以获得高品质地震波资料;由于潮汐和海水的影响,因而检波器定位困难,影响处理精度;由于自然条件的影响,过渡带施工会存在多种观测方式,所以影响过渡带资料的无缝拼接;由于表层结构复杂多变,易形成多个虚反射界面,会引起多种干扰波,影响了地震资料的品质;由于水域中采用气枪震源激发、水中压电检波器接受的方法,而陆滩区采用炸药震源激发、沼泽机电检波器接收的方法,造成地震波能量、频率和相位的较大差异。

## 2 地震采集技术

### 2.1 表层结构调查技术

海底表层结构复杂多变引起:①激发介质不清,影响激发接收效果;②表层速度不稳定,影响静校正精度;③表层多次波干扰发育。为解决以上问题,用浅层剖面仪对海底浅层结构进行了调查,建立了准确的表层结构数据库,掌握了地震波的衰减规律。通过对浅层剖面进行处理解释,建立了相应的近地表和海底沉积结构速度模型,合理选取激发方式,抑制虚反射,压制干扰波,并对表层速度进行调查以指导处理技术,确保剖面质量。

### 2.2 地震波激发技术

#### 2.2.1 炸药激发方法

滩浅海地区是一种泥沙互层的表层结构,易形成很强的虚反射界面,这些虚反射界面将对地震波激发和传播产生各种各样的影响。通过小折射、微测井以及岩性取芯相结合的方法能准确确定表层结构。通过考虑虚反射界面深度、要保护的地震信号频率、炸药爆炸半径和激发岩性,合理确定激发井深,这样有利于减少虚反射对地震子波的影响,并能压制表层2个强波阻抗界面之间的多次波。

#### 2.2.2 新型震源技术

滩浅海地震勘探中,过渡带的激发使用的都是常规炸药震源,在淤泥中激发产生的地震波存在着信号频率低,激发噪声强的弱点<sup>[1]</sup>,与气枪震源激发产生的地震波存在明显差异,无法满足高精度地震勘探的需要。针对这些问题,从爆炸冲击波形成地震波能量、频率的转换机理的规律性认识入手,通过对炸药震源装药结构的改进,研制了延迟叠加震源、共心聚能震源、聚能弹等新型激发震源,提高了激发信号频率,降低了激发产生的噪声,减弱了与气枪震源之间的差异,从而有效地提高了过渡带资料的信噪比和分辨率。

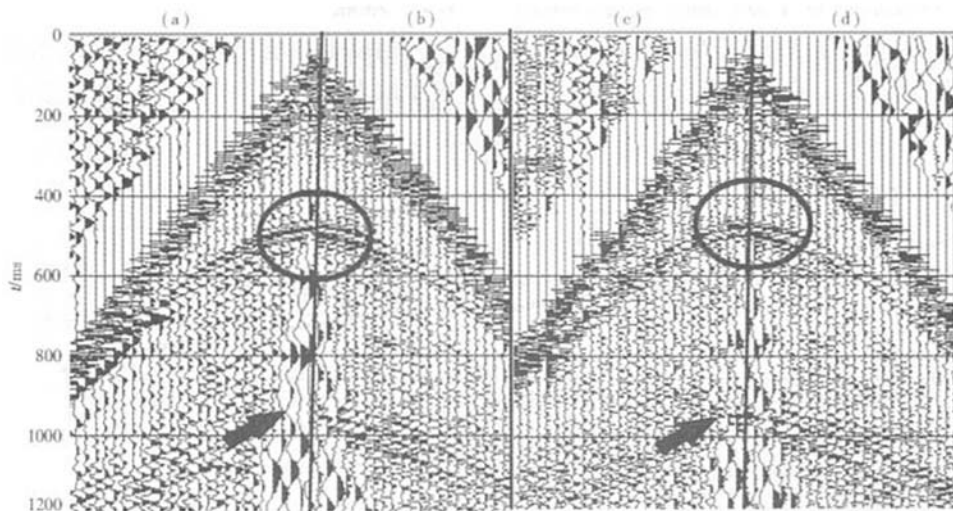
#### 2.2.3 气枪激发方法

海上施工时,如果水深超过3 m,通常选用气枪激发。由于海水表面和海底的影响,海上勘探中经常观测到重复冲击、交混回响、鸣震等特有的干扰波。为了获得更深目的层的高品质地震资料,采取了以下措施以提高激发能量:增大单枪的容积、压力,增加能量;合理调整气枪震源的沉放深度,以控制气泡效应、抑制虚反射;提高初泡比;通过气枪组合及适合组合方式来消除干扰。

### 2.3 地震波接收技术

由于普通陆用检波器与水中压电检波器工作原理不同,对地震波的响应存在灵敏度、频率和相位差异<sup>[2]</sup>,为此,应用压电检波器工作原理研制沼泽压电检波器,可保证从水中到陆地上连续地使用相同感应机制的检波器,还可保证地震波频率和相位的一致性,有利于资料处理及提高整个勘探的精度(图2)。

为同时针对提高滩浅海地区检波器与地表的耦合度,对长尾锥检波器进行试验,结果表明,原始记



a—普通陆用检波器 b—水中压电检波器 c—沼泽压电检波器 d—水中压电检波器

万方数据

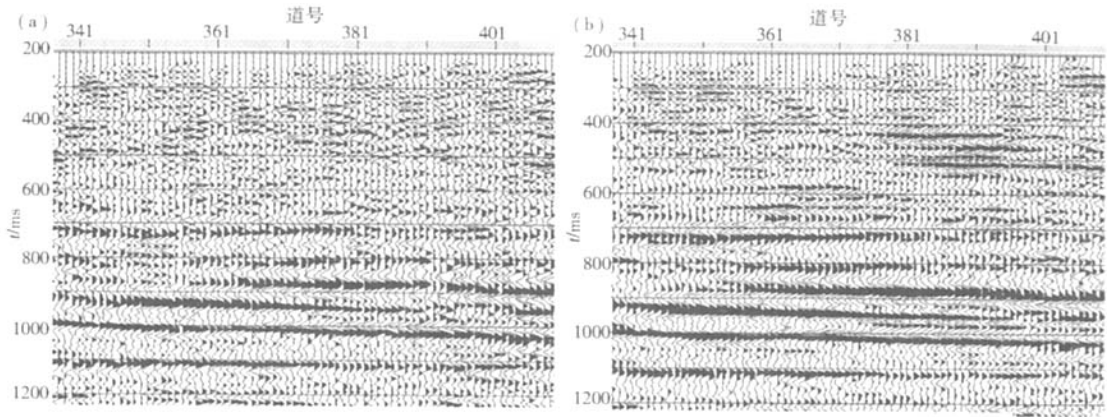
图2 压电检波器与普通陆用检波器的记录对比

录和剖面同相轴的连续性及其可靠性均有明显提高,非常适应滩浅海地区淤泥较厚地带的数据采集。

2.4 检波器精确定位技术

施工中放置检波器时,由于受风浪、潮汐和海流的影响,检波器的位置会发生移动,利用测量标定的检波器位置往往是不准确的,检波器位置不准造成的时差<sup>[3]</sup>,在资料处理中无法通过静校正或动校

正来消除,影响地震资料的成像精度。因此,在浅海地震勘探中,有必要检测检波器的实际位置,为此采用了初至波测量技术、声纳测量技术和检波器水中定位技术。在处理数据时,利用上述定位技术获得的数据对检波器实际坐标进行校正,使地下反射同相轴能精确叠加,提高了地震剖面质量(图3)。



a—精确定位前的叠加剖面 b—精确定位后的叠加剖面

图3 精确定位前后的叠加剖面对比

2.5 观测系统设计技术

滩浅海地区的观测系统设计和论证技术与陆地不同之处是受滩浅海地表条件和滩浅海设备条件限制较大。滩浅海观测系统设计要考虑:

(1) 满足地下构造需要的观测系统。根据地下构造的情况,采用多种观测系统,同一地区采用2种观测方式,同一测线采用不同观测系统,但观测系统属性不要相差太大。

(2) 适应地表需要的观测系统。在过渡带地区施工时,退潮用速度检波器,涨潮用压电检波器。由于检波器的布设相当困难,所以滩浅海地区施工常采用较少检波器道数,较多炮数的观测系统。具体方法有减少接收线、增加炮线法,排列渐减法,过障碍物变观测系统法和块状观测系统法。

3 地震处理技术

3.1 差异校正技术

在滩浅海地区进行地震勘探时,因激发震源、检波器以及表层岩性不同会引起地震子波有较大的差异,采集到的地震资料在振幅、能量、频率等方面有较大的差异,其结果是在叠加处理中降低了地震资料的品质。为此,针对气枪震源和炸药震源间存在差异,我们开发了子波差异校正技术,用匹配滤波来达到消除反射时差、整形地震子波的目的。此方法不需要地震子波已知,不需要子波最小相位假设,也不需要反射系数是白色的假设。匹配滤波是

将一种震源的地震记录转换成另一种震源的地震记录,因此,经过叠前和叠后匹配滤波处理后,不同震源的地震记录的振幅、频率和相位都能得到较好匹配,深浅层的反射波都能较好地拼接,针对检波器空间位置的剩余差异问题,开发了直达波和折射波联合空间位置校正技术。应用后使2种地震数据在能量、频率和相位上达到或接近一致(图4),使差异校正后的地震资料能够较好地叠加成像。

匹配滤波的要求 ①输入道集是炮集,即同一地面激发接收不同震源的试验炮集或是相邻的不同震源的2个炮集;②2个单炮都具有较高信噪比。

假设2个炮集为气枪震源 $x_i(t)$  ( $i=1, \dots, N$ )和炸药震源 $z_i(t)$  ( $i=1, \dots, N$ ),其中 $i$ 为道号, $N$ 为炮集中的道数。假定 $x_i(t)$ 和 $z_i(t)$ 的炮检距相同。在上述假定条件下, $x_i(t)$ 和 $z_i(t)$ 则表示不同震源在同一地面位置激发和接收的2个地震记录。

设计一个匹配滤波算子 $m_i(t)$ 作用于地震道 $x_i(t)$ ,使 $x_i(t)$ 经匹配滤波后逼近地震道 $z_i(t)$ 。假设匹配滤波器的实际输出 $x_i(t) * m_i(t)$ 与期望输出 $z_i(t)$ 的误差为 $e_i(t)$ ,则有

$$e_i(t) = x_i(t) * m_i(t) - z_i(t)$$

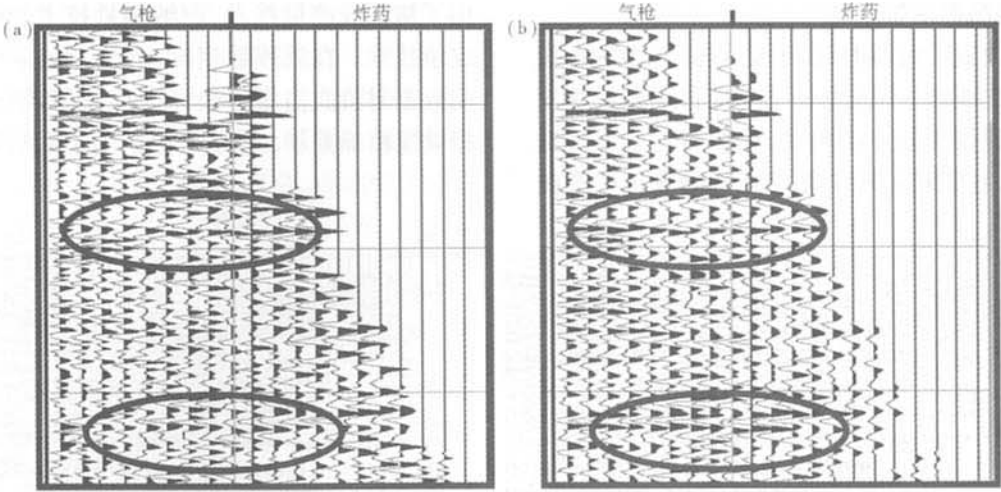
用 $E$ 表示总误差能量

$$E = \sum_i e_i^2(t) = \sum_i [x_i(t) * m_i(t) - z_i(t)]^2$$

应用最小二乘法原理,令总误差能量 $E$ 对 $m_i(t)$ 的偏导数等于零,求解相应的方程组,即可得到

匹配滤波算子  $m_i(t)$  ,用  $m_i(t)$ 与  $x_i(t)$ 相褶积  $x_i(t)$ 经匹配滤波后逼近地震道  $z_i(t)$  ,将匹配滤波算

子作用于气枪震源所有地震道 ,完成匹配滤波处理。



a—校正前 b—校正后  
图 4 消除震源剩余差异效果

3.2 虚反射和变周期海底鸣震压制技术

在浅海施工时需要使用气枪震源 ,由于海水与空气的界面、海底是 2 个强反射界面 ,造成了海底鸣震现象 ,严重影响了地震资料的成像质量。在滩涂地带 ,由于表层结构复杂多变 ,易形成多个虚反射界面引起多种干扰波。为压制多次波 ,在较精确的近地表模型调查的基础上 ,利用模型参数扫描方法求取每个点的预测步长 ,然后在共炮点域和共检波点域用变步长预测反褶积消除变周期的海底鸣震 ,取得较好的效果。

4 应用实例

垦东地区位于黄河入海口附近 ,淤泥面积大 ,烂泥较厚 ,严重影响了地震波激发和接收 ,但烂泥下为硬沙板地。水深变化范围在 020 m ,从南向北从西向东逐渐变深。

施工中根据地表特征合理制定生产方案 ,采取低潮打井 ,高潮放炮 ,潮稳深水作业 ,潮高浅水作业 ;风平浪静潮间带施工的方法。采用以上新技术 ,使垦东地区的地震资料质量有明显的提高( 图 5 )。

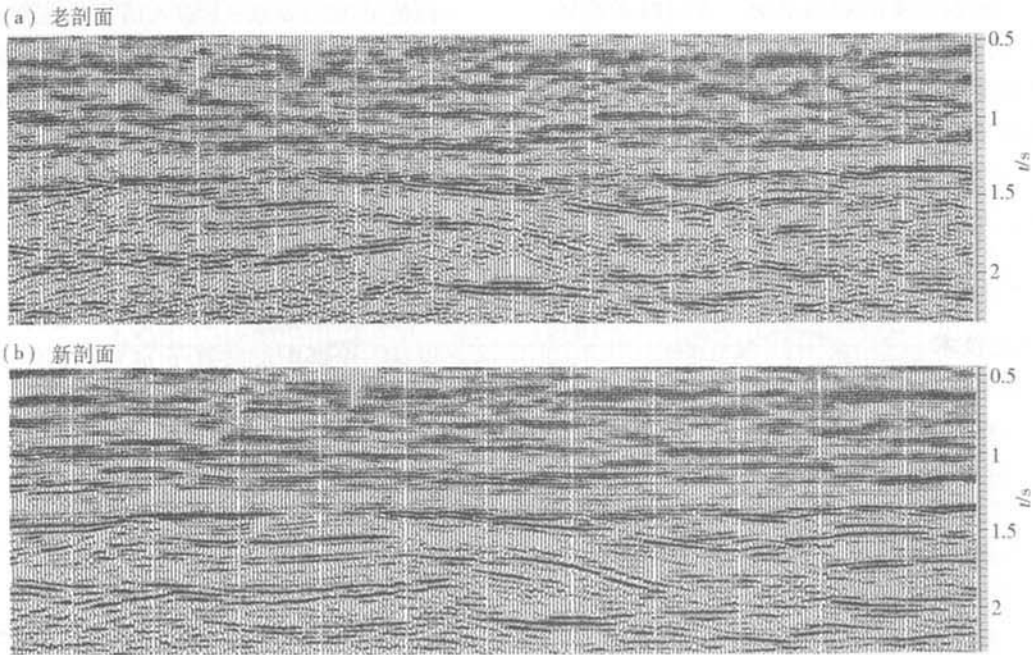


图 5 垦东地区新老剖面对比

5 结束语

滩浅海地区由于特殊的地表条件和复杂多变的表层结构,既不同于陆上勘探也不同于海上勘探,尤其在两栖地带存在海陆 2 种施工方式。我们在滩浅海地区地震波激发、接收、观测系统设计、测量及施工技术、差异校正、压制多次波等方面进行大量研究,形成了一套适应胜利滩浅海并可推广到环渤海湾地区的滩浅海地震勘探技术。通过应用这些技术,可使滩浅海地区地震资料的品质有了较大的改进和提高,具备滩海、潮间带、极浅海、浅海环境下全

方位地震勘探的能力,可以较好地完成滩浅海地区地震勘探任务。

参考文献:

[1] 李庆忠. 走向精确勘探的道路[M]. 北京:石油工业出版社, 1994.  
[2] 吴三灵. 实用振动试验技术[M]. 北京:兵器工业出版社, 1993.  
[3] 杨惊涛,朱伟强,秦豹. 海上二次定位技术的研究与应用[J]. 石油物探, 2002, 41(增刊): 67.

THE APPLICATION OF SEISMIC EXPLORATION TECHNIQUE TO THE BEACH AND SHALLOW SEA AREA OF THE SHENGLI OILFIELD

CUI Ru-guo<sup>1,2</sup>, WANG Yan-chun<sup>1</sup>, CAO Guo-bing<sup>1,2</sup>, Pi Jin-yun<sup>1</sup>

(1. China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. Shengli Petroleum Administration, Dongying 257100, China)

**Abstract:** Due to the specific surface conditions as well as the complex and varied surface structure of the beach and shallow sea area, the exploration work in such an area is different from both continental exploration and sea exploration. In the amphibian zone, in particular, there exist two working means (sea and continental means). Based on a systematic study of such field collection links in the field as the excitation seismic source, the detector and the observational system, the authors put forward the method for solving the difficult problem of collecting high-quality seismic data. On the basis of a thorough investigation into the interference wave suppression and the difference correction, a complete set of high-precision and practical special techniques for oil and gas exploration in the beach and shallow sea area was developed, and the results show that its geological effect is satisfactory.

**Key words:** beach and shallow sea; surface structure; seismic observational system; re-locating; difference correction; interference wave suppression

作者简介:崔汝国(1969-)男,高级工程师,1991年毕业于成都地质学院石油地质专业,2003年获得浙江大学硕士学位。一直从事地震勘探技术研究工作,参加了国家“863”项目“滩浅海地区高精度地震勘探技术”的研究工作,现为中国地质大学(北京)在读博士生,公开发表学术论文数篇。

上接 440 页

time-lapse seismic monitoring data obtained in the development of continental heavy oil thin-interbedding reservoir with the use of thermal recovery, it is shown that the cross-equalization processing is helpful to recognizing time-lapse seismic anomaly and determining the position of thermal front. Nevertheless, when the repeatability of original seismic data is very bad, such a processing can only improve the repeatability of time-lapse seismic data, but with no good seismic anomaly detected. The key to the successful performance of time-lapse seismic monitoring for the continental thin-interbedding reservoir is the enhancement of the repeatability of seismic wavelets and seismic data. The amplitude attribute seems to be one of the major criteria for the thinner reservoir.

**Key words:** time-lapse seismism; cross-equalization processing; continental thin-interbedding reservoir; heavy oil thermal recovery; consistency; amplitude attribute

作者简介:云美厚(1965-)男,教授,1988年毕业于大庆石油学院勘探系物探专业,1993年于北京石油勘探开发科学研究院获硕士学位,2001年毕业于中国地质大学获博士学位,2002年进入胜利油田博士后工作站工作,主要从事时移地震、高分辨率勘探、岩石物理以及地震基础理论研究,出版著作 2 部,发表论文近 50 篇,现为《石油地球物理勘探》杂志编委。