

国内外石油技术进展 (十五)

地质与开发

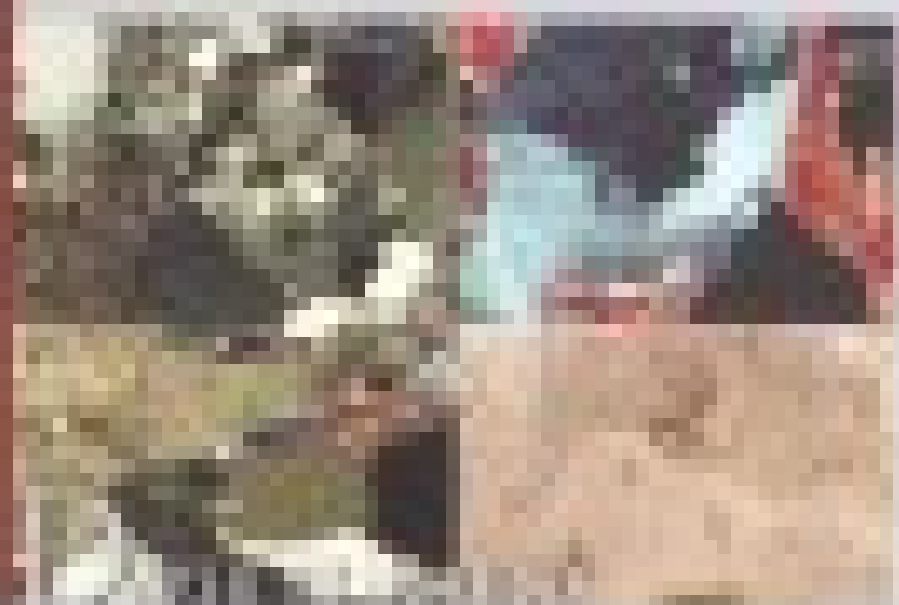
张绍东 等主编



中国石化出版社
[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

图说水利灌溉水利用(1+1)

——节水与节水工程



中国水利水电出版社

CHINA WATER & ELECTRICITY PRESS

国内外石油技术进展(十一五)

——地质与开发

张绍东 等主编

中国石化出版社

图书在版编目(CIP)数据

国内外石油技术进展.“十一五”地质与开发/张绍东
等主编. —北京:中国石化出版社,2012.12
ISBN 978-7-5114-1775-6

I. ①国… II. ①张… III. ①石油开采-世界-文集
IV. ①TE35-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 292613 号

未经本社书面授权,本书任何部分不得被复制、抄袭,或者以任何形式或任何方式传播。版权所有,侵权必究。

中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编:100011 电话:(010)84271850

读者服务部电话:(010)84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail:press@sinopec.com

北京科信印刷有限公司印刷

全国各地新华书店经销

*

787×1092 毫米 16 开本 17.25 印张 430 千字

2013 年 6 月第 1 版 2013 年 6 月第 1 次印刷

定价:76.00 元

前 言

《国内外石油技术进展(十一五)》是在对“十一五”期间国内外石油专业技术研究动态、前沿技术以及发展趋势进行了系统性地跟踪调研,并结合国内油田勘探开发的难点、热点问题进行分析的基础上总结编写的一部反映国内外石油技术现状和进展的图书。本套图书以国内外六大石油技术系列为主,有所侧重地介绍了“十一五”期间石油物探、石油地质、石油测井、石油钻井、采油工程、地面工程等专业的技术现状和发展趋势。

本套图书分为《国内外石油技术进展(十一五)——石油物探》、《国内外石油技术进展(十一五)——地质与开发》、《国内外石油技术进展(十一五)——钻井与测井》、《国内外石油技术进展(十一五)——采油工程》、《国内外石油技术进展(十一五)——地面工程》五册。

本套图书涉及面广,技术内容丰富。希望能为油田企业今后的科技工作和生产发展提供参考依据,为广大石油科技工作者及高校师生了解和掌握最新石油技术和动态提供借鉴和参考。

出版本套图书的目的是希望通过交流学习,实现信息共享、资源共享、成果共享,从而有效避免重复研究,提高研究起点,整体提升我国油气勘探开发技术水平。石油开采技术日新月异,书中涉及内容及观点或许有不当之处,敬请广大科技工作者提出宝贵意见。

目 录

第一章 深层特低渗透油藏储层预测技术	(1)
一、概述	(1)
二、深层地震资料的采集	(2)
三、深层地震资料的处理	(9)
四、深层地震资料的解释	(16)
五、深层低渗透砂岩油藏储层预测的方法	(17)
第二章 特低渗透油藏开发方式研究	(27)
一、国外特低渗透油藏开发现状	(27)
二、国外特低渗透油田主要特点	(27)
三、特低渗透油藏开发技术方法	(29)
四、典型实例分析	(46)
第三章 滩坝砂油藏研究技术	(53)
一、高分辨率砂泥岩薄互层储层综合预测技术	(53)
二、开发技术政策界限研究实例	(58)
第四章 砂砾岩油藏研究技术	(63)
一、深层巨厚砾岩油藏划分开发层系的隔夹层研究	(63)
二、大港油田官 142 断块巨厚砂岩的流动单元划分	(64)
第五章 成岩演化新技术及在石油地质中的应用	(66)
一、砂岩侵入	(66)
二、热对流成岩作用	(71)
第六章 提高采收率技术新进展	(76)
一、提高采收率技术应用概况	(76)
二、提高采收率技术发展趋势及相关技术	(78)
第七章 泡沫驱提高采收率技术	(88)
一、泡沫驱油体系研究	(88)
二、泡沫流体渗流规律	(90)
三、泡沫驱油体系提高采收率机理研究	(91)
四、泡沫驱乳化、破乳问题的研究	(93)
五、国内外矿场应用实例	(96)
第八章 稠油油藏蒸汽辅助重力泄油技术	(98)
一、蒸汽辅助重力泄油技术研究进展及最新研究	(98)
二、蒸汽辅助重力泄油的适应性分析	(101)
三、蒸汽辅助重力泄油技术的类型	(104)
四、蒸汽辅助重力泄油技术现场应用实例分析	(106)

第九章	N_2 驱提高采收率技术	(115)
一、	国内外 N_2 驱提高采收率技术的发展历程	(115)
二、	适宜注 N_2 的油气藏条件	(116)
三、	影响注采效果的因素	(117)
四、	典型实例剖析	(119)
第十章	CO_2 驱提高采收率技术	(127)
一、	CO_2 驱机理及发展概况	(127)
二、	CO_2 驱开发方式	(129)
三、	提高 CO_2 驱驱油效率技术	(147)
四、	CO_2 驱监测新技术	(158)
第十一章	纳米液驱油技术	(162)
一、	纳米液驱油机理	(162)
二、	纳米液驱油效率	(164)
三、	纳米液驱油矿场试验	(166)
第十二章	水气交替注入	(176)
一、	水气交替注入发展现状	(176)
二、	混合水气交替注入 (HYBRID - WAG)	(176)
三、	气辅助重力泄油 (GAGD) 提高采收率技术	(178)
第十三章	注水开发研究及进展	(184)
一、	注水开发油田的水驱监测与控制	(184)
二、	注水开发油藏预测研究及应用	(187)
三、	注低矿化度水提高采收率技术	(195)
第十四章	低渗透油田水平井注水技术	(208)
一、	国内外低渗透油藏水平井注水开发概况	(208)
二、	低渗透油藏水平井注采井网研究	(209)
三、	低渗透油藏水平井注水适应性研究	(213)
四、	阿曼 Marmul 油田 Haima West 低渗透油藏水平井注水开发实例	(215)
第十五章	碳酸盐岩油藏开发技术	(227)
一、	储层研究进展	(227)
二、	碳酸盐岩油藏开发技术	(232)
第十六章	边际油田开发技术	(239)
一、	概述	(239)
二、	边际油田开发技术	(243)
三、	经济政策支持对开发边际油田的影响	(260)
四、	边际油田开发面临的挑战及对策	(264)

第一章 深层特低渗透油藏储层预测技术

低渗透储层是基质渗透率较低的储层，通常指的是低渗透砂岩储层。世界上很多含油气盆地内都发现了此类储层的油藏。低渗透是一个相对的概念，在世界上并无统一固定的标准和界限，因不同国家、不同时期的资源状况和技术经济条件而划定不同，变化范围较大。

近 20 年来，我国低渗透油田的勘探和开发取得了很大的进展，根据我国的生产实践和理论研究，对于低渗透储层的范围和界限已经有了比较一致的认识。通常我们将低渗透油层上限定为 $50 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ，而它的下限定为大于或等于 $0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

从我国石油储量的构成来看，低渗油气藏已占有相当比重。截至 1994 年底，我国已探明低渗储层地质储量约为 $40 \times 10^8 \text{t}$ ，占全部地质储量的 24.5%。因此从我国现实情况来看，开发低渗油藏显得尤为重要。

一、概述

由于低渗透砂岩储层所具有的特殊地质特征及其低渗透储层的复杂性，必须寻找一些适合低渗透砂岩储层的勘探预测方法。但到目前为止，低渗透砂岩储层的勘探预测还没有一套专门、系统、成熟的方法技术。

低渗透储层的勘探是由低渗透储层的地质特征决定的，与勘探相关的主要地质特征有：

- ①岩性圈闭及岩性构造圈闭占重要位置；
- ②非均质性强；
- ③储层物性差，储层有潜在的水敏、酸敏及速敏特性；
- ④裂缝发育。

构造圈闭的寻找已相对有一套比较成熟的技术，而岩性圈闭和岩性—构造圈闭的寻找相对比较困难。目前主要通过储层描述和储层预测的方法来实现。

在勘探阶段，储层研究的重点是岩相古地理、沉积体系和有利储层段空间展布的研究，弄清有利储集相带，预测油气储层的空间分布和质量，确定勘探目标进而发现油气田。

储层的非均质性是勘探低渗透油田遇到的一个最重要也是最棘手的问题，从成因上来说，主要是由于沉积格局的复杂性、成岩作用的多样性，以及断层、裂缝的存在造成的。

研究储层非均质性的变化规律、建立储层非均质性的模式及定量表达方式，对于弄清有利储集相带、预测油气储层的空间分布和质量、优化设计开发方案、提高最终采收率无疑是非常重要的。围绕这一主题，储层研究的重点转为储层的精细描述。

作为油藏描述的核心部分，储层描述是一项以储层地质学为依据，综合应用沉积学和构造地质学方法及地震、测井、测试信息，最大限度地利用计算机技术对储层进行定性、定量综合研究的方法和技术。其主要任务是对沉积相和微相的类型及展布，储集体几何形态和大小，储层的微观特征及非均质性，以及微观孔隙结构、物性特征及孔隙流体的影响进行详细

的描述,并为油气藏的数学模拟提供一个可靠、准确的储层地质模型。

储层地质模型是建立在对地质现象普遍规律的认识和对学科知识的总结之上的,但又是一般化的(抽象的)地质规律。因此,一个好的储层地质模型应具备以下三方面的条件(裘怿楠,1997):一是能够为油气开发决策提供有关储层特征方面的定量描述;二是具有充分的有关成因理论的依据;三是具有在现有技术条件下可供预测的有效指标。

因此,低渗透砂岩储层预测主要采用储层精细描述技术、储层预测技术及储层建模技术,以及裂缝的描述、探测和预测技术。其中,储层描述包括沉积相分析。孔隙结构与储层敏感性分析、非均质性分析。储层预测包括地震相分析、储层横向预测、储层参数预测。储层地质模型主要针对低渗透砂岩复杂储层的建模问题。这里重点讲述深层低渗透砂岩油藏的储层预测。

该类油藏的储层预测主要运用地震解释和预测技术,综合运用地震、地质、测井资料进行地震资料的精细解释,建立区域地层格架,阐明沉积体系的成因和展布,预测储层分布及储集参数。通常以地震、地质方法为主要手段,其中地震资料是关键。因此本文将从地震资料的采集、处理、解释、描述以及几种常规(特殊)预测方法等方面进行论述。

二、深层地震资料的采集

对于深层地震勘探来讲,由于地震波在地层介质中传播时间长、传播路径长以及构造复杂等因素的影响,造成深层反射回来的地震波与中浅层地震信号相比具有能量弱、频率低、信噪比低等特点。在地震采集中,需要解决的核心问题是能量和信噪比。

从深层地震波的传播规律可知,提高深层地震资料信噪比的途径主要有三条:①通过激发因素来提高入射波的能量;②通过优化采集面元和超面元叠加技术,增加共反射面元的覆盖次数,增强有效波的能量;③采用合理的技术,压制噪声。

1. 观测系统

(1)宽方位、长排列三维地震采集设计

宽方位、长排列三维地震采集设计技术较新颖,它利用扩展排列技术采集地震数据。复杂构造条件下(复杂速度场、复杂地形、静校正不准、波的强绕和散射、强多次波……)常规方法获得的地震资料信噪比不高。宽方位、长排列三维地震采集技术,即在与常规设计地震采集的同时在整个有效偏移距范围内布置独立的3C检波点,这些检波器与其他检波器同时进行采集。常规排列三维设计正常滚动,3C检波器固定不动。这种方法能够接收到大偏移距回转波和广角反射,同时还不丢失常规近偏移距垂直反射信息。处理阶段利用透射波和反射波的层析成像技术能够确定详细的速度模型,由广角反射提供的高信噪比资料使得叠前深度偏移能利用所有有效偏移距范围内的数据,提高了深度成像的能力。

2000年在意大利Apermines南部的一个探区应用这种设计方法。该区主要地震地质特点是推覆构造、页岩泥岩互层等导致速度反转。常规资料表现为强交混回响、强散射和强多次波。采集设计时利用Golbal offset设计方法进行设计,达到取得包含回转波、首波、广角反射及近垂直反射的地震资料。有两种设计同时体现在施工中,宽方位排列设计(3C检波器)和常规三维排列设计,两种排列的记录系统由GPS进行同步(图1-1~图1-3)。

在图1-1中,3C检波器布设在炮能量能够达到的有效偏移距范围内。

从图1-2可以看出,Golbal offset比常规设计方法排列要大、方位角分布广。

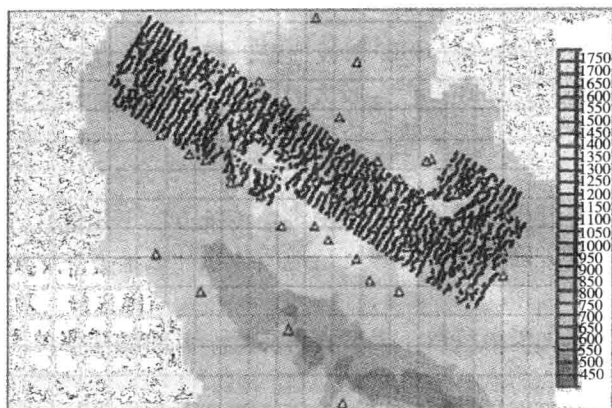


图 1-1 记录点和炮点分布

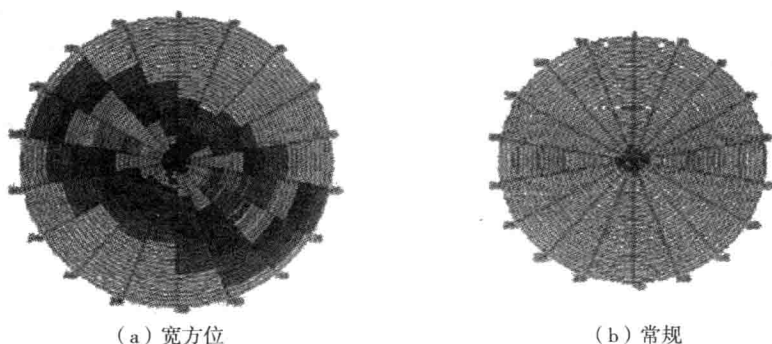


图 1-2 Gollbal offset 设计玫瑰图

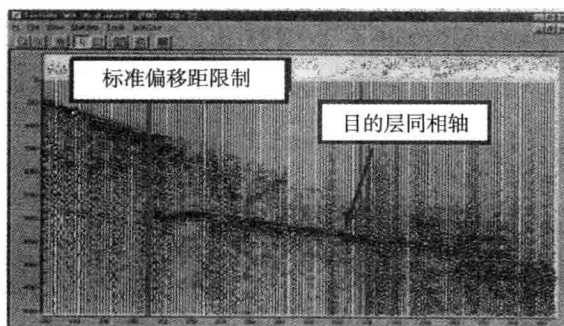


图 1-3 Gollbal offset 设计方法取得的包含广角反向轴的单炮资料

从图 1-3 上可以看出明显的广角反射，而在近道由于高速层的屏蔽，看不到该反射层。由此可以看出，如果用常规设计方法，将得不到该层的反射资料。

从观测系统的玫瑰图上看，常规设计获得了小偏移距的反射，宽方位长排列法的方位角分布广、排列范围宽。在远排列资料上明显看到了广角反射，并且其信噪比远比近道资料高。此外，在资料处理上与常规资料处理方法也是不同的。

实践表明，这种观测系统比常规观测系统需要增加约 5% 的投资，但却得到了更广的方位角、更宽的偏移距范围的地震数据，并且在特定地质条件下这是唯一可用于解释的数据。

(2) 基于 CRP 的优化采集设计技术

传统采集设计都是基于共炮集(CSP)射线追踪,但对向斜、底辟构造以及其他一些深层复杂构造来讲,其地质体与围岩速度差异较大时,传统方法设计的采集参数有可能使这些部位成为反射盲区,不能对这些地质体进行有效成像(图 1-4),而根据 CRP 模型设计可以很好地设计采集参数。

对于复杂构造来说,分析波场特征非常困难,传统方法不是最佳方案。这里的方法是通过共反射理论模型的计算,确定针对这些复杂地质体在什么地方布设炮点和检波点才能得到最强的反射信息。

利用这种方法可以优化采集参数,提高资料质量,节约勘探费用,同时还可以控制资料处理质量。

图 1-5 为图 1-4 对应的一个 CRP 点产生的振幅分布图。

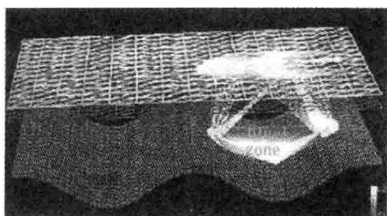


图 1-4 利用 CSP 模型方法将在某些部位产生反射盲区

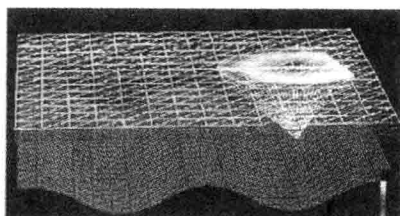


图 1-5 与 1-4 对应的 CRP 点在地表产生的振幅分布图

从图 1-4 向斜构造的 CSP 模型图上可以看到, CSP 模拟放炮在向斜位置出现反射盲区,常规观测系统设计在该区域将得不到向斜区域的地震信息。图 1-6 为所有 CRP 点产生的地表及地下振幅分布图,可以看出,只要合理布置炮、检点位置就可以避免盲区,达到优化采集设计的目的。

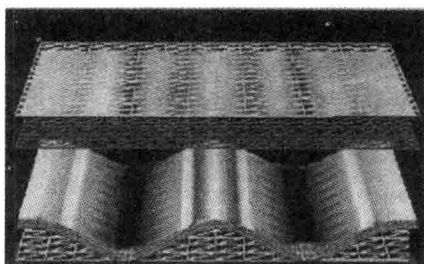


图 1-6 CRP 点产生的地表及地下振幅分布图

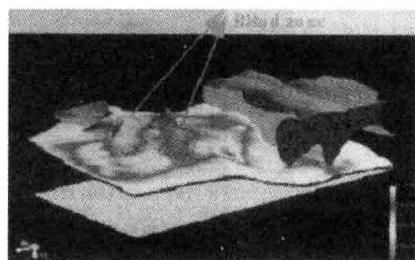


图 1-7 目标层上基于 CSP 放炮的振幅分布图

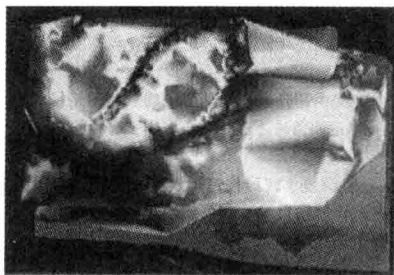


图 1-8 基于 CRP 叠加的地表振幅分布图

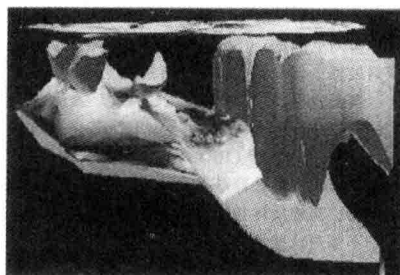


图 1-9 基于 CRP 叠加的目的层振幅分布图

图 1-7 ~ 图 1-9 为墨西哥湾的盐体模型 CSP 及 CRP 模拟放炮在地表及目的层上的振幅分布图。该地质模型是 10 层沉积层含 4 个盐体。首先按 CSP 放炮设计了 4 条检波线，检波线长 6km，道距为 100m，共设计 2250 炮。从图 1-7 上看到在盐体部位产生盲区，得不到有关盐体部位的好资料。

在相同的模型上进行 CRP 叠加，得到了 CRP 叠加的地表及目的层的振幅分布图(图 1-8、图 1-9)。从图 1-9 上看，在 CRP 叠加模拟下，几个盐体的反射盲区消失。从图 1-9 可以分析设计如何布置检波器点和炮点。同时从这两个振幅分布图还可以调整拖缆长度及面元大小。

2. 地震波激发与接收技术

M. S. Craing 介绍了一种检波器组合试验方案，在 130m × 130m 范围内均匀分布 506 个单点检波器，沿着一个方向按一定的间距激发，每个检波器单独记录，最终形成一个单炮记录。然后根据不同的组合形式分别形成单炮记录，从理论和实际数据分析哪种组合形式对消除干扰有利。该组合试验方式比目前采用几种固定组合形式的试验更加灵活。

3. 采集实例

(1) 实例 1

沙特国家石油公司提出新型稀疏三维采集排列设计方法，其效果在 2001 年 SEG 会议上受到好评。这种新型稀疏三维采集排列设计(图 1-10、图 1-11)使用的组合排列由十字排列加部分并行排列组成，其中十字排列采用沿激发测线方向全宽带滚动方式进行采集，产生针对深层目标的数据体，而部分并行排列是针对浅层目标的，这两部分采用相同的接收排列，但有独立的激发点。

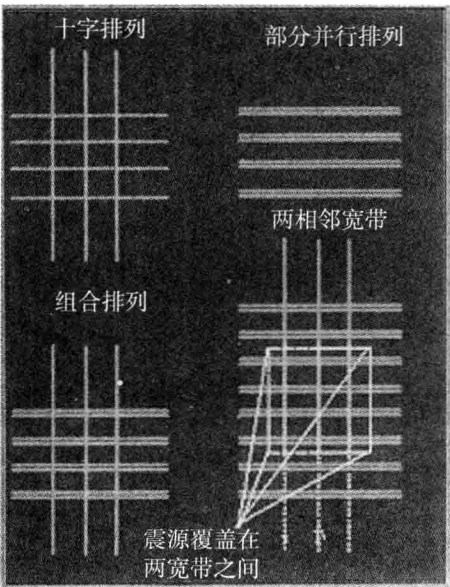


图 1-10 新型稀疏三维设计排列

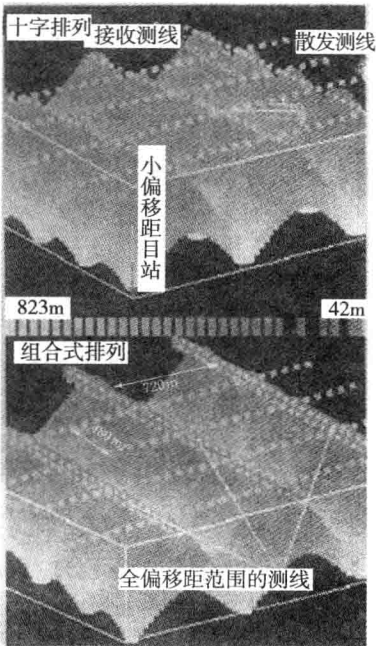


图 1-11 组合式排列的三维视图

在十字排列部分设计中，需要了解纵测线偏移距分量的非对称性关系。为了实现纵测线偏移距和方位的均匀分布，需要假设有限的模板宽度以及让每条远端接收测线对应的有效震

源激发程度等于偏移距，随后在处理中通过切除预定偏移距以外纵测线偏移距，实现观测属性的均匀分布。以往的经验表明，成像质量对纵测线的非对称性并不敏感，所以为了减少重复炮点位置和增加炮点密度，排列将牺牲方位对称性而形成均匀的覆盖分布，这需要有相对平缓的地质环境和不同方向纵波速度的稳定性条件。

部分并行排列的设计要求是提供能够成像浅层目标的信息，由于在该排列的激发采集接收测线是活动的，所以每条宽带的相邻测线覆盖次数是变化的(图 1-11)，其结果不仅可以成像浅层目标，还能服务于速度分析。由于这种双排列组合形式采用共同的接收测线，所以仅通过增加部分激发测线成本，就可以解决常规排列无法兼顾深、浅层目标的问题。

沙特国家石油公司采用一种新型稀疏组合排列方式采集了 2600km² 全覆盖地震数据，其中接收组合为 72 个埋藏式 10Hz 检波器，5 台可控震源在每个 VP 上进行 12s 长 8~80Hz 扫描，记录模板包括对称中间激发的 4 条接收测线，接收器组与炮点组间距为 60m，通过部署 960 道获得沿测线最大偏移距 7200m，接收测线间距 720m，而正交的激发测线间距 480m。组合排列采集数据的目标位于 1.6s 和 2.5s 深度，其中十字排列部分的各激发测线连续激发 96 个 VP，产生的覆盖次数为 60。图 1-12 比较了新旧排列产生的叠加剖面(二者采用相同的速度并经过一步反射波静校正)，两者在 200~500ms 范围内关键的浅层目标显示上有明显的差别，而新排列获得的深层资料也有较大的改进。

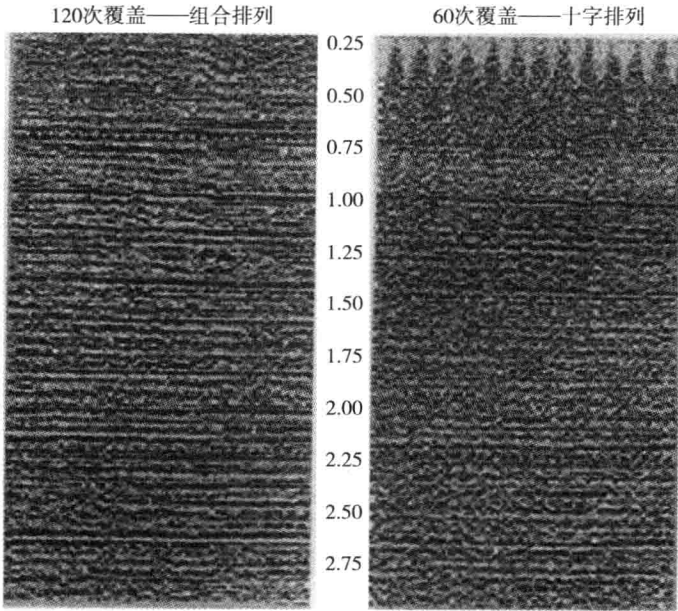


图 1-12 新旧排列的叠加剖面比较

(2)实例 2

自 20 世纪 90 年代以来，分别在大庆长垣东、西部地区开展了一系列深层地震采集方法试验攻关工作。目的是试验出一套适合于大庆探区的深层地震资料采集方法，在不断提高其信噪比的基础上，努力提高其分辨率，尽量满足构造、岩性解释等勘探开发的需要，为今后进一步的深层勘探提供可靠的地震技术保证。重点开展了地震波激发、接收和仪器因素等试验工作。

地震波激发试验包括激发深度、激发药量、炸药类型对比等试验。

地震波接收试验包括检波器组合、检波器类型、检波器下井深度、检波器与大地耦合效果等试验。

经不断的试验攻关,取得了一些可喜的成果。从现场处理剖面上看,深层资料的信噪比和分辨率较以往均有很大提高,侏罗系采集资料视频率基本可达 35Hz 左右,比老资料至少提高 10Hz 以上(图 1-13)。为此,初步总结出了一套深层地震采集的系列方法:

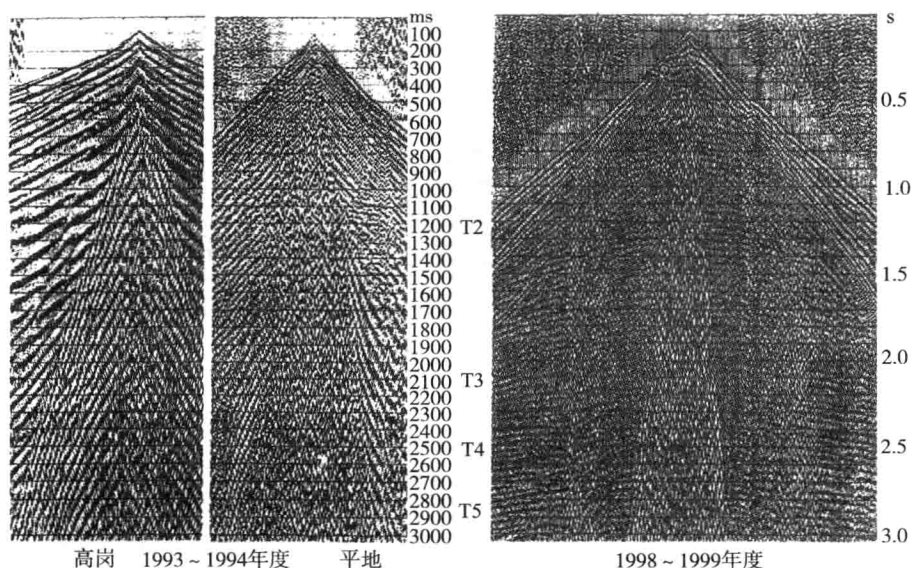


图 1-13 新老野外原始单炮对比图

接收因素:采取“一长二宽一高一低”的接收方式。即长排列(>6000m),宽线接收、宽频录制,高覆盖次数(60次),低检波器自然频率(10~40Hz)。

激发因素:使用“一深一大”的激发手段。即井深(15~30m)、大药量(6~8kg)、多组合并激发。

以上这些试验研究的技术在 1996~1998 年度的深层地震采集中收到了良好的效果。地震记录中, T_3 、 T_4 、 T_5 反射波信噪比较高,连续性较好,地质现象丰富、清晰;而且反射波视频率有了较大提高, T_3 层视频率为 40Hz, $T_4 \sim T_5$ 层视频率为 30~40Hz(图 1-14)。尤其是松深大剖面对古生代地层、深部地壳及莫霍面等深部信息展示得十分清楚。

(3) 实例 3

白家海地区位于准噶尔盆地东部,构造上属准噶尔盆地中央隆起带的二级构造单元白家海凸起。该地区属沙漠巨厚区,地表相对高差超过 40m,低降速层厚达 100~250m,目的层 T、P、C 埋深 3000~7500m。使用的采集方法为:①高覆盖次数(150次)、长排列(最大炮检距达 7575m)、大炮检距、大组合基距(45~92m);②经实地踏勘,发现该工区沙梁大都垂直测线分产,即使用弯线施工也很难避开不利地形,因此决定采用直测线施工;③强化检波器组合,增加组合并数(12~24口组合)、加大单井井深,选择合适药量以增强深层反射能量,通过试验段对比来确定最佳激发参数。使用 SYSTEM-II 数字地震仪、WT-300 型气水两用钻机和 SN4 型 10Hz 检波器。试验点和试验段选在 W9903 线南段,该段二叠系埋深超过 5000m,经综合对比选取了 8m×12口×2kg 组合。

该方法取得的效果十分明显(图 1-15、图 1-16)，具体表现在以下三个方面：

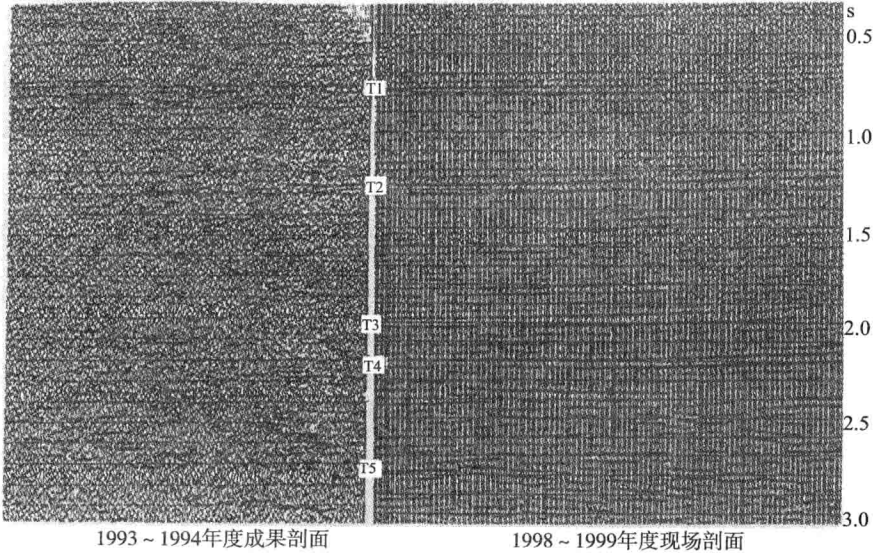


图 1-14 新老剖面对比图

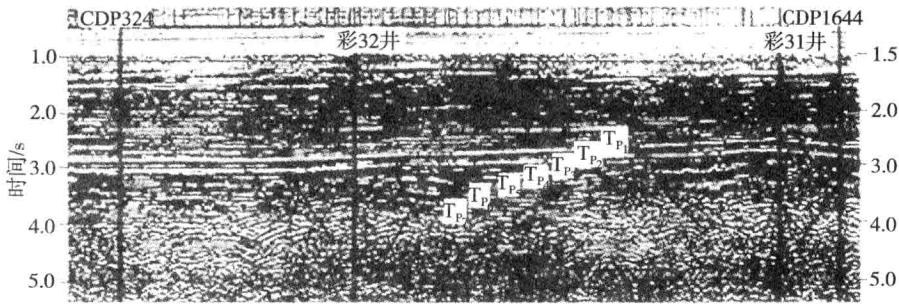


图 1-15 W9003 地震剖面

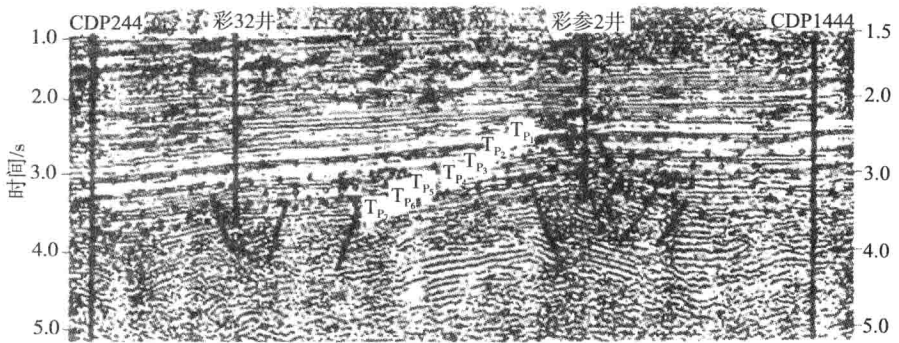


图 1-16 W9902 地震剖面

- ①深层资料品质有明显改观；
- ②分辨率提高，层间关系清楚；
- ③与钻井资料符合程度高。

试验的三条测线均为联井线，过井地震剖面与钻井地质层位经 VSP 和合成记录标定吻合较好。

(4)实例4

东濮深层由于地震资料信噪比及分辨率较低,深层油气藏的特征难以落实。因此,如果不在采集技术和方法上有所突破,提高地震资料质量,处理工作就发挥不了作用,也很难得到真实可靠的解释结果,影响对油气藏的正确认识和评价,从而影响勘探开发进程。

针对东濮凹陷以往地震数据采集中存在的问题,数据采集主要采用以下技术:

①基于模型的三维观测系统设计方法研究;

②采用高精度卫星照片进行设计,更加科学合理地控制野外激发点的位置;

③采集向全三维靠拢,增加仪器的接收道数,增大观测系统的非纵距,为深层的正确成像创造条件;

④采用小折射、微测井、双井微测等方法对表层结构和虚反射界面进行调查,在虚反射界面以下1~2m激发,加强下传能量;

⑤加大炮检距,增加覆盖次数,根据地质体的埋深和复杂程度合理确定反射面元的大小,保证速度分析精度并使深层叠加有足够多的道数,提高深层资料信噪比;

⑥采集时采用宽频挡接收,保护深层的低频信号;

⑦改变检波器的连接方式,使得检波器的阻抗与仪器输入阻抗更匹配;

⑧采用中继站过黄河新方法,避免以往相遇法过河造成覆盖次数不合理弊端;

⑨使用新型SSS2000爆炸机,准确确定爆炸时间以及精确获取井口时间。

4. 结论与建议

目前,国内深层采集的进展主要集中在激发和观测系统设计两个方面。其中,在激发震源方面研制的深层多级延迟爆炸震源获得较好效果;在检波器接收技术方面对提高耦合作了大量研究并取得较好效果;在干扰波认识和压制方面,形成一套成熟的技术;在观测系统设计方面,形成了一套综合设计技术。这几个方面已经形成了配套的生产技术。但在高性能检波器方面,国内研究水平还是低于国外地球物理勘探开发公司,设计软件以引进为主,不能针对特殊的地质目标进行特殊分析。因此,今后在采集方法上继续围绕着精细面元窄束头和线状可变面元观测方式的总体思路,进行深入细致的采集方法研究,以提高深层反射信号能量、提高深层信噪比和提高深层分辨率为目标的激发与接收方式研究,根据深层复杂地震波场传播规律开展观测系统方式的研究。加强深层采集参数量化分析,系统地总结适应深层地震勘探的最佳方案。同时开展深层目标三维地震采集方法研究,优化三维地震设计,降低生产成本,提高采集质量。

通过上述调研,提出如下建议:

①研究深层三维地震勘探观测系统设计方法,解决地下深层复杂地质所带来的观测系统优化问题,提高深层地质目标的成像精度。

②结合爆炸理论,对深层激发震源和激发方式展开研究。

③对其他的地震勘探方法进行试验(如多波多分量采集技术等),利用综合地震勘探方法来分析深层构造特征。

三、深层地震资料的处理

由于受深层地震地质条件和大地滤波吸收衰减作用等方面的影响,野外原始资料深层有效波的能量较弱、干扰强、信噪比低;此外,深层构造较为复杂,地层倾角陡,断面波、绕射波较为发育,速度纵横向变化大,速度分析和叠加偏移成像较为困难。对此,开展了一系

列的深层地震资料处理技术的研究和攻关，主要从提高叠前资料的信噪比和提高叠加及偏移的成像精度入手，重点发展了适应于深层地震资料处理的叠前去噪技术，分层剩余静校正技术，DMO 速度分析和叠加，相关幅值叠加以及陡倾角、小构造的偏移处理技术，这些技术的日益完善使深层地震资料的信噪比及叠加偏移的成像精度得到了根本性的提高。

1. 静校正技术

对于地表条件比较复杂的深层勘探区块，采用常规的井深 T 值的高程静校正方法不能很好的解决长波长静校正问题，为此，采用了交互初至折射静校正和自己开发研制的波动方程基准面静校正方法，较好地解决了长波长静校正问题，使资料的信噪比得到了很大的改善，在深层资料处理中见到明显的效果(图 1-17)。

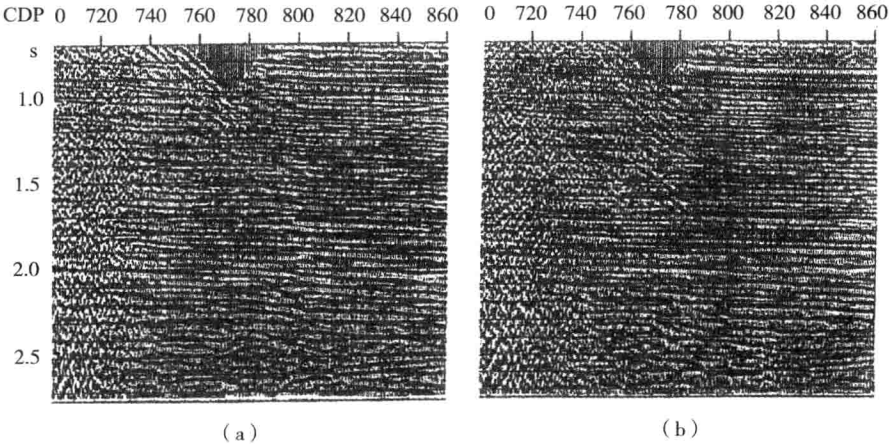


图 1-17 高程静校正剖面(a)和初至折射静校正剖面(b)

2. 球面扩散补偿和道集均衡联合使用技术

球面扩散补偿可以使深层有效波的能量得到一定的恢复，从而消除大地滤波的吸收作用对深层能量衰减的影响，但是由于深层受炮检距影响较大，而造成横向和纵向的能量差异，这对后续的资料处理，特别是对于偏移归位是相当不利的。为了解决这种问题，在球面扩散补偿的基础上，再对资料进行道集均衡处理。道集均衡处理是根据振幅的强弱变化计算出一动态加权系数，对不同的反射振幅进行加权处理获得归一化输出。因此，通过这种方法既可以使深层有效波的能量得到较好的恢复，同时又消除了道集内因受炮检距的影响而造成的横向和纵向能量的不均现象(图 1-18)。

3. 叠前去噪技术

叠前去噪是提高深层资料信噪比的有效手段。在地震勘探资料中常见的干扰波类型主要有三种：面波、折射波和高频干扰。由于深层有效波的频率相对较低，因此面波和折射波是深层资料处理的主要障碍，对于这两种干扰，主要采取如下的处理方法进行压制。

(1) 采用零相位谱均衡压制面波和低频干扰

面波去除方法是充分利用面波分布的区域性(三角形分布)以及视速度、振幅与有效波之间的差异，通过程序控制时窗，只在面波的分布区域进行面波去除，而面波区以外的有效波不受影响，从而达到有针对性地去除面波的作用。同时为了更进一步压制低频干扰和面波的剩余部分，在此基础上又采取零相位谱均衡技术。通过对不同频率段能量的调整均衡，使面波和低频干扰得到了较好的压制和均衡，从而在压制噪声的同时，又有效地保护了低频的有效信息(图 1-19)。