

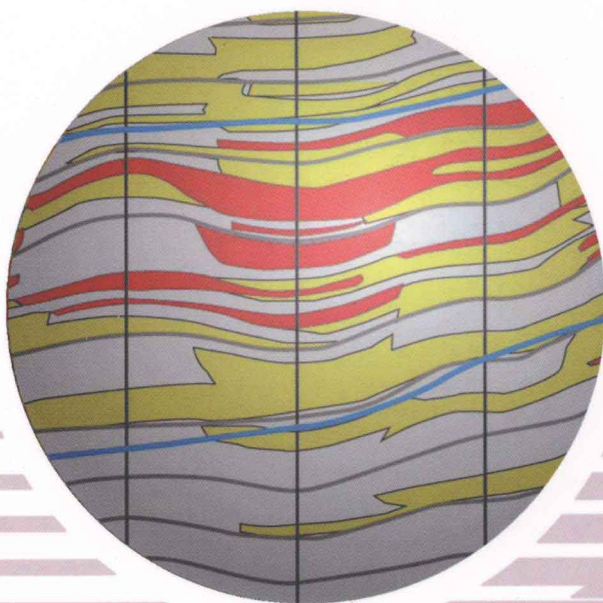


中国石油勘探工程技术攻关丛书

ZHONGGUO SHIYOU KANTAN GONGCHENG JISHU GONGGUAN CONGSHU

低渗透砂岩气藏地震勘探 关键技术及应用

○ 中国石油勘探与生产分公司 著



石油工业出版社

中国石油勘探工程技术攻关丛书

低渗透砂岩气藏地震勘探 关键技术及应用

中国石油勘探与生产分公司 著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书以中国石油天然气股份有限公司物探技术攻关项目成果为主,围绕我国中部碎屑岩低渗透气藏的勘探问题,从地震资料的采集、处理及有效储层预测三个方面,详尽地阐述了碎屑岩低渗透气藏地震勘探的关键技术,并从实践上系统展示了地震勘探技术在碎屑岩低渗透气藏勘探中的应用效果。

该书可作为低渗透气藏地震勘探的技术人员和高等院校相关专业师生学习、参考的资料。

图书在版编目(CIP)数据

低渗透砂岩气藏地震勘探关键技术及应用 / 中国石油勘探与生产分公司著 .
北京:石油工业出版社,2009.11

(中国石油勘探工程技术攻关丛书)

ISBN 978-7-5021-7479-8

I. 低…

II. 中…

III. 低渗透油层—砂岩油气田—油气勘探:地震勘探—研究—中国

IV. P618.130.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 200356 号

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址:www.petropub.com.cn

发行部:(010) 64523620

经 销:全国新华书店

印 刷:石油工业出版社印刷厂

2009 年 11 月第 1 版 2009 年 11 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:13.25

字数:338 千字 印数:1—1200 册

定价:65.00 元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究·

《中国石油勘探工程技术攻关丛书》

编 委 会

主 任：周吉平

副主任：赵政璋 贾承造

委 员：（按姓氏笔画排序）

马新华	王元基	王玉华	王招明	付锁堂	冯志强
匡立春	孙 宁	孙龙德	杨 华	杜金虎	吴 枚
吴 奇	吴永平	吴国干	何江川	邹才能	张 玮
张国珍	陈建军	周明春	周海民	周家尧	周新源
郑新权	孟卫工	赵文智	赵邦六	赵志魁	赵贤正
袁士义	贾 东	夏义平	徐凤银	徐春春	梁世君
董月霞	董焕忠	魏顶民			

《低渗透砂岩气藏地震勘探关键技术及应用》

编 写 组

主 编：张国珍

副 主 编：杜金虎 杨 华 王西文 王大兴 沈 平

主要成员：高建虎 赵玉华 邓述全 胡自多 王宇超

张盟勃 郭亚斌 曹 宏 熊 艳 赵路子

何海清 汪恩华

顾 问：刘雯林 阎世信

序

中国石油作为我国能源行业的特大型骨干企业，在保障国家能源安全方面具有义不容辞的光荣使命。经过半个多世纪的大规模勘探开发，国内油气勘探已进入一个新的发展阶段，特别是随着勘探开发的不断深入，勘探领域发生了很大变化。从地面条件看，勘探对象已从平原向山地、沙漠、滩海大幅度延伸；从地质条件看，低渗透、复杂碳酸盐岩、火山岩等复杂储层和稠油等复杂油藏所占比例大幅度增加。在这种情况下，如何继续大幅度增加储量以满足油气产量持续增长的需要成了摆在我们面前的迫切问题。

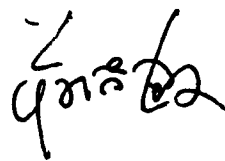
为了积极应对这种挑战，2005 年我们明确提出了“油气勘探必须走技术发展之路”的要求，并按照“突出重点探区、依托重点项目、注重实际效果”的思路，设立专项投资，发挥中国石油整体优势，分物探、钻井、测井、试油四个专业，重点在塔里木、四川、准噶尔、渤海湾、柴达木、松辽、鄂尔多斯等盆地组织了以现场为主体的工程技术攻关。通过几年的不懈努力，一大批制约油气勘探的瓶颈技术得以攻克，针对复杂地表和高陡构造的地震采集、处理和解释一体化技术取得明显突破，发现了一批具有战略意义的勘探目标；以欠平衡钻井、垂直钻井等为主的低压储层保护和高陡构造防斜打快技术极大地提升了钻井能力，保障了勘探发现；以成像测井为主的采集技术和以复杂油气藏饱和度研究为主的解释技术研发成功，较好地保障了火山岩、低渗透等复杂储层识别与评价的需要；以大型酸化和压裂改造为主的增产技术，提升了低渗透油气层的商业价值。一大批工程技术的突破不仅提高了其在油气勘探中的保障能力，也增长了工程技术服务队伍的竞争能力，更为重要的是拓展了新的油气勘探领域，开阔了找油找气的视野，进一步坚定了我们不断寻找大油气田的信心和决心。

伴随着工程技术的进步，近年来我们已经进入新的油气储量增长高峰期，连续六年探明石油地质储量大于 5 亿吨，连续三年探明天然气地质储量大于 3000 亿立方米。新发现并落实了长庆苏里格、塔里木库车等储量规模万亿立

方米的气田和目标区，发现并落实了长庆姬塬和西峰、塔里木塔北、准噶尔西北缘等一批储量规模 5 至 10 亿吨的规模储量区。由于勘探的快速发展，油气资源基础不断夯实，油气田开发也进入了快速发展的新阶段，原油产量从 2006 年开始连续三年创历史新高，天然气产量从 2005 年开始连续五年换“百”字头。

《中国石油勘探工程技术攻关丛书》系统总结了这几年来技术攻关的丰硕成果，凝聚了参战单位数百名科技工作者的辛勤劳动。相信这套《丛书》的出版，必将对提高技术人员的业务素质和管理人员的驾驭能力、提升勘探技术应用水平起到带动和促进作用，也必将为推动中国石油上游业务的发展起到重要作用。

认识没有止境，攻关永不停步。随着勘探难度的增加，许多新的问题需要解决，大量技术难题有待攻克。我们必须继续坚定走技术发展之路不动摇，继续狠抓技术攻关不松劲。只有这样，才能持续推动工程技术进步，才能更好地为“储量增长高峰期工程”和“稳定并提高单井日产量工程”提供技术保障。

A handwritten signature in black ink, appearing to be '陈光' (Chen Guang), written in a cursive style.

2009 年 11 月 2 日

前 言

低渗透砂岩和致密砂岩是石油天然气勘探的重要领域。我国低渗透砂岩储层广泛发育,在这些低渗透砂岩储层中蕴藏着丰富的石油天然气资源。长庆油田勘探的突破和快速发展,充分展示了低渗透砂岩的巨大勘探潜力,仅苏里格地区二叠系山西组和下石盒子组天然气地质资源量就达 $3.8 \times 10^{12} \text{m}^3$ 。但由于低渗透储层厚度薄、横向变化大,物性差、储量丰度低,在地球物理勘探中,如何提高资料的保真度和分辨率,提高储层预测和烃类检测的精度,成为制约低渗透砂岩储层提高勘探成效的技术瓶颈。

为了实现低渗透砂岩油气藏勘探的快速发展,不断提高勘探成效,在 2005 年勘探年会上,中国石油天然气集团公司蒋洁敏总经理从公司发展战略的高度提出了“油气勘探必须走技术发展之路”的重要指示。为此,股份公司设立专项资金开展工程技术攻关。

通过三年的持续攻关,形成了三项针对低渗透砂岩气藏地震勘探的关键技术:一是针对地质目标的全数字地震采集技术,采用小道距、单点数字检波器或小基距组合模拟检波器长排列接收,提高地震资料采集频宽和接收足够的叠前反演需要的信息;二是提高资料分辨率的地震保幅处理关键技术,采用叠前多维去噪,利用 VSP 或声波测井资料提取子波进行井控子波一致性振幅处理和最小相位反褶积等;三是低渗透储层叠前地震描述技术,采用岩石物理分析研究物性、含油气性与地震响应的相关性,通过 AVO 等叠前反演方法预测有效储层,进行烃类检测。

应用上述关键技术及相关配套技术,在四川川中和鄂尔多斯苏里格地区取得了明显的地质效果。累计预测有利叠合含气面积 20978km^2 ,建议井位 194 口、采纳 154 口,获工业气流 21 口,召 35 井获高产气流。广安地区有效储层符合率 85%、探井成功率 78%。苏里格地区实钻 I+II 类井占 70%,探井成功率 65.6%。先进技术的应用大大地加快了广安须家河、苏里格地区的勘探进程,提高了勘探成效。

为了推广应用攻关技术成果,促进物探技术的发展,进一步攻克低渗透气藏勘探中存在的难题,中国石油天然气股份有限公司勘探与生产分公司组织专家对三年来低渗透砂岩气藏的攻关成果进行了深入分析、系统研究和全面总结,专门成立编写组编写此书。

本书的编写由勘探与生产分公司统一组织,参加单位有:东方地球物理勘探有

限责任公司、川庆地球物理勘探公司、塔里木油田分公司、西南油气田分公司、北京石油勘探开发研究院，历时一年完成。

本书第一章由王西文、汪恩华、赵路子、高建虎执笔；第二章由赵玉华、王大兴、杨华执笔；第三章由赵邦六、胡自多执笔；第四章由高建虎、何海清、沈平、王西文执笔；第五章第一节由王大兴、张盟勃执笔，第二节由曹宏、熊艳执笔。全书先后共进行过 6 次修改，最后由张国珍、杜金虎负责统稿。

本书在编写过程中，得到了中国石油天然气股份有限公司贾承造院士和赵政璋副总裁的大力支持，刘雯林、阎世信等专家对书稿提出了具体修改意见，石油工业出版社相关人员对出版样稿进行了详细的审查与修改。值此本书正式出版之际，谨向他们表示衷心的感谢！

由于编写者水平有限，书中一定存在不妥之处，诚恳希望广大读者提出批评和指正。

目 录

序

前言

第一章 概述	1
第一节 低渗透砂岩气藏地震勘探意义	1
第二节 低渗透砂岩气藏地震勘探存在的问题和技术难点	3
第三节 低渗透砂岩气藏地震勘探成果	5
第二章 数字地震采集关键技术	8
第一节 苏里格地区地震地质条件概况	8
第二节 苏里格地区数字地震采集技术	11
第三章 低渗透砂岩气藏地震处理关键技术	31
第一节 复杂地表静校正	31
第二节 多域噪声压制	40
第三节 地表一致性处理	53
第四节 道集处理	64
第四章 有效储层预测关键技术	69
第一节 低渗透砂岩地震岩石物理分析	69
第二节 叠前弹性参数反演及交会技术	81
第三节 AVO 分析及交会技术	91
第四节 叠前角度域衰减技术	101
第五章 典型实例	112
第一节 鄂尔多斯盆地苏里格地区低渗透砂岩气藏地震勘探实例	112
第二节 四川盆地川中广安地区低渗透砂岩气藏地震勘探实例	153
参考文献	199

第一章 概述

第一节 低渗透砂岩气藏地震勘探意义

一、低渗透砂岩气藏的定义

世界上对低渗透砂岩气藏的定义并无统一的标准和界限,不同的国家是根据不同时期的石油资源状况和技术经济条件来制定其标准和界限的,变化范围较大。而在同一国家、同一地区,随着认识程度的提高,低渗透砂岩气藏的概念也在不断的发展和完善,并且油藏和气藏的划分标准也不相同。

有关致密含气砂岩(低渗透砂岩气藏)的概念最早出现于美国。Stephen A. Holditch (1978)认为致密含气砂岩是指不经过大型改造措施(压裂)或者是不采用水平井、多分支井,就不能产出工业性气流的砂岩层。致密含气砂岩可以埋藏很深,也可以埋藏很浅;无论是在高温、高压,还是低温、低压的环境中均可存在;可以是单一层,也可以是多个层;储层的性质有均质的,也有非均质的。

我国低渗透气藏(储层)既有碳酸盐岩类型,也有碎屑岩类型。本书主要涉及碎屑岩(砂岩)低渗透气藏,主要指有效渗透率小于和等于 $0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ (绝对渗透率小于和等于 $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$)、孔隙度小于和等于 10% 的气藏。

二、低渗透砂岩气藏勘探历程

鄂尔多斯盆地苏里格地区、四川盆地广安地区的低渗透砂岩气藏勘探总体上经历过三个阶段,即早期初步发现、技术引进与规模发现、瓶颈技术攻关与加快勘探阶段。

1. 早期初步发现阶段

1999 年底,苏里格地区桃 5 井钻探成功正式揭开了苏里格地区天然气勘探的序幕。

广安地区 1967 年发现了广安须家河组气藏,但在随后的勘探开发中一直处于有气无田的局面;虽然于 1986—1989 年、1995 年、1997—1998 年开展过多轮地震详查和加密详查勘探,其成果也仅限于主要构造和地层特征的初步落实,在该地区须家河组勘探没有取得突破,因此在 1999—2003 年未开展任何勘探工作。

2. 技术引进与规模发现阶段

苏里格地区 2000—2002 年首次作为天然气勘探的重点,开展了高分辨率勘探,先后

部署了苏6和桃5井均获成功,使该区盒8段气藏勘探真正实现了历史性的突破,苏里格11000km²范围内大面积、多层系含气的局面基本形成;2003—2005年开展了多波多分量地震勘探尝试,引进了全数字地震勘探技术并在苏14井区和苏里格气田东区开展全数字地震先导性实验后,储层预测取得初步效果,但仍不理想。

四川广安地区在2004年通过对川中—川南过渡带二维地震老资料连片重新处理解释,构造圈闭得到进一步落实;2005年广安2井在须家河组须六段射孔即获得日产 $4.21 \times 10^8 \text{m}^3$ 工业气流,拉开了广安地区上三叠统须家河组勘探序幕,同年在广安地区实施了总长度4106km二维地震勘探,为广安构造主体须六段探明天然气储量 $788.67 \times 10^{12} \text{m}^3$ 做出了贡献。

3. 瓶颈技术攻关与加快勘探阶段

苏里格地区通过对苏6井区加密井解剖表明,该区沉积相带复杂多变、有效砂岩储层厚度薄且含气后与围岩的波阻抗差异小,常规地震预测难度大。

四川广安地区继广安构造须六段获得突破后,面临着需要加快天然气勘探进程和储量升级的压力。

由此,2006—2008年连续三年在两个地区开展了物探技术攻关。通过攻关,苏里格地区全数字地震勘探技术、有效储层预测及烃类检测技术方面取得突破,广安地区在高精度地震勘探技术、储层预测及烃类检测技术方面取得了突破,均获得了显著的地质效果,加快了低渗透砂岩气藏勘探进展。

三、低渗透砂岩气藏勘探的意义

随着全世界对天然气能源需求量的不断增大,常规天然气藏的产量和储采比都显示出日益降低的趋势,非常规天然气资源被认为是最有希望的能源补充,因而低渗透砂岩气藏的勘探开发越来越受到人们的重视。据第十四届世界石油大会有关统计资料表明,目前世界范围内已经勘探的400个盆地中,已经发现的常规天然气资源量为 $328 \times 10^{12} \text{m}^3$,非常规天然气资源量为 $849 \times 10^{12} \text{m}^3$,因此加快低渗透气藏的勘探开发是本世纪能源工业发展的必然趋势。

国外所开发的大型致密砂岩气藏主要以深盆地气藏为主,主要集中在加拿大西部和美国西部,例如早在1927年发现于年美国圣—胡安盆地的深盆地气藏,以及1976年在加拿大的阿尔伯达盆地西部深拗陷区北部发现的埃尔木沃斯致密砂岩气田。而俄罗斯低渗透油藏最初平衡表内储量约为 $150 \times 10^8 \text{t}$,其中65%集中在西西伯利亚地区。目前俄罗斯低渗透油藏的可采储量已占原油平衡表储量的25%以上,西西伯利亚占20%左右。低渗透储层中天然气含量达 $600 \times 10^{12} \sim 3300 \times 10^{12} \text{m}^3$ 。我国低渗透砂岩气藏分布领域广泛,类型多样,陆上主要集中在松辽、渤海湾、四川、长庆、塔里木、吐哈、柴达木等中西部盆地以及南方等10个地区的深部地层中。典型的4大含气区为鄂尔多斯深盆地含气区、川西超致密砂岩含气区、松辽断陷致密砂岩含气区和淮南深层致密砂岩含气区。

在我国，特别是在中西部盆地中生界地层中，发育有大量低渗透砂岩气藏，在这些低渗透砂岩气藏中蕴藏着丰富的天然气资源。苏里格气田在二叠系山西组和下石盒子组天然气地质资源量为 $3.8 \times 10^{12} \text{m}^3$ ，截至 2005 年底，探明天然气储量达到 $5336 \times 10^8 \text{m}^3$ ，天然气资源探明率仅 14%，勘探后备资源充足；四川盆地川中地区上三叠统须家河组天然气总资源量为 $7134 \times 10^8 \text{m}^3$ ，截至 2005 年底，获得天然气三级储量总计为 $3474 \times 10^8 \text{m}^3$ ，还有 $3660 \times 10^8 \text{m}^3$ 资源量没有探明。随着勘探程度逐渐加深，低渗透砂岩气藏中的油气资源在我国油气资源中的比例还将不断扩大，但是由于我国对这类气藏的开采技术不成熟、单井控制的储量和可采储量小、供气范围小、产量低而递减快，其中大部分处于低产低效的状态。因此，开发好这类气藏对石油工业的持续稳定发展具有十分重要的意义（贾承造，2008；赵政璋，赵贤正等，2005；王道富，付金华，2007；杨华，窦伟坦等，2003；杨华，席胜利等，2006；马新华，2005）。

第二节 低渗透砂岩气藏地震勘探存在的问题和技术难点

在过去几十年的油气勘探开发中，地震勘探技术发挥了非常重要的作用。但我国大多数低渗透砂岩气藏为岩性圈闭或岩性—构造圈闭，分布隐蔽。为了适应油气勘探领域不断向岩性油气藏的拓展，无论是地质学家还是地球物理学家，都一直渴望利用地震资料来解决岩性或者物性问题。但实际上，在人们的不断探索和实践过程中，利用地震资料解决地质问题的能力是有限的。如何更多地获得和利用地震资料中包含的流体和岩性的敏感性等多种地质信息，是地震勘探成功的关键（中国石油勘探与生产分公司，2007；赵政璋，赵贤正等，2005；杜金虎，2003；杨华，窦伟坦等，2003；王西文，2004；曾忠，阎世信等，2003）。

一、地质问题

以长庆苏里格和四川川中须家河低渗透砂岩气藏研究为例，低渗透砂岩气藏普遍存在以下地质问题：

- (1) 气藏受岩性和构造双重控制，具有典型的岩性圈闭或岩性—构造复合圈闭气藏特点。
- (2) 具有典型的低孔低渗及含水饱和度较高的特征。储集层孔隙度多为 3% ~ 15%，渗透率多小于 $0.1 \times 10^{-3} \mu \text{m}^2$ 。有效储层与非有效储层难以区分。
- (3) 储层一般为三角洲河湖相沉积，砂体广泛分布，但储层纵向和横向非均质性强烈。砂体横向上极不连续，纵向上分布层次多，且相互叠置。有效储层以单层厚度纵横向变化显著的薄互层为特征，单层厚度一般为 2 ~ 10m，累积厚度 30 ~ 40m。
- (4) 含气砂岩识别困难，储层分布范围局限，单井控制范围小，含气范围定量标准不易确定。

由于这些地质问题的存在，给低渗透砂岩气藏的勘探与开发带来了很大的难度，大大影

响了低渗透砂岩气藏的勘探开发进程。

二、地震勘探技术难点

1. 地震采集难点

(1) 表层受风化作用形成很疏松的风化带，地震纵波速度显著变低，在有些地区，低速带很厚且岩性横向变化大，对地震资料影响较大。

(2) 鄂尔多斯盆地低渗透砂岩气藏区地表复杂，以沙漠、草地、沼泽、戈壁、丘陵、风蚀残丘和硬碱壳的复合性地表为主。沙漠区地表激发接收条件较差、施工难度大，表层吸收衰减强烈，单炮品质横向变化大、目的层段信噪比低。沼泽、戈壁区钻井非常困难，井壁容易垮塌，严重影响施工效率与激发质量。风蚀残丘区内沟壑纵横、断壁残丘林立、施工难度大，独立残丘产生的散射干扰会在横向上对资料造成侧面干扰。硬碱壳会对检波器的埋置造成很大困难，直接影响了接收效果。

(3) 四川盆地低渗透砂岩气藏区地表起伏大，表层结构复杂，老地层出露，交通条件差，导致野外施工困难和静校正问题非常突出，激发、接收条件普遍较差。原始单炮记录上多次折射干扰、面波、随机干扰和高频干扰等非常发育且复杂多变，有效反射能量相对较弱，资料信噪比低。

2. 资料处理难点

(1) 针对地形起伏相对高差大，且变化剧烈以及低降速带速度、厚度纵横向变化剧烈所造成的地震波延迟变化大问题，解决好静校正问题非常重要。

(2) 针对叠前反演对振幅保真度高的要求，如何做好叠前道集相对保持振幅处理是难点。

(3) 针对低渗透砂岩气藏的薄互层特点，如何提高分辨率非常重要。

(4) 针对叠前的储层预测，噪声可以使小入射角范围的梯度项不确定性增加，同样将影响后续反演的横波和泊松比精度。针对地震资料主要受地形、河滩砾石、碱滩、草地、湖沼、场镇、人文活动等因素引起的低频面波、强能量干扰、工业干扰、声波、浅层多次折射以及随机干扰等发育，如何提高信噪比难度大。

3. 储层预测难点

(1) 叠后地震资料反映属性规律性差，难以刻画储层特征。叠后地震属性与储集层参数的关系并非一一对应，预测储集层的参数难免产生多解性。

(2) 含气砂岩的地球物理特征表现为明显的“三降低”特性，即砂岩含气后其速度、密度、波阻抗明显降低，含气砂岩和泥岩的波阻抗差异小，很难用叠后波阻抗反演区分含气砂岩和泥岩。

(3) 储层气水关系复杂，含气性识别难度大。

(4) 岩性和流体的基本地球物理响应基础研究才刚刚起步。如地震岩石物理、储层地球

物理特征、反射模式和 AVO 特征等。

(5) 气藏多为致密砂岩储层。当储层较致密时,低孔隙度储层与非储层的相对变化较小,地震探测的敏感性不高,有利储层的地震响应不能较好识别。类似地,地震探测流体的基本信息来自孔隙流体对储层体积模量(骨架+流体)的改变,气层具有很低的体积模量。而孔隙度越高,流体模量对地层总模量的贡献就越大,异常的地震敏感性也越强。对于致密砂岩储层,流体模量所占的相对比例较小,地震检测的难度相应增大。

此外,致密砂岩的地质含意还包括了储层的成岩压实作用较强,导致岩石骨架的声波速度迅速增加。在孔隙度相近的情况下,越深的储层层速度越高,地震识别的难度也越大。

三、技术思路与对策

以高精度(全数字)地震资料和岩石物理机理分析为基础,进行叠前道集高保真处理和有效储层的敏感性参数分析,在此基础上开展储层叠前、叠后联合预测方法研究,进行含气有利面积预测和井位优选,为储量提交提供依据。

(1) 在测井资料环境校正、标准化处理的基础上,建立精细的岩石物理模型,分析含不同流体的储层与地震响应之间关系,为选择合理的反演方案提供依据。

(2) 在认真分析全数字地震资料特点的基础上,以提高地震资料的分辨率和信噪比、改善聚焦成像的效果为基本要求,加强叠前道集保真处理研究,为后期储层预测和油气检测提供可靠的资料基础。

(3) 在岩石物理机理分析和高品质全数字地震资料处理的基础上,开展叠前、叠后储层预测方法研究。应用 AVO 属性分析、叠前弹性反演、叠前角度域衰减等方法进行储层预测,利用统计、交会等手段进一步预测气层的空间分布。

(4) 将预测成果与生产动态相结合,最终准确描述储层天然气发育规律。系统分析本区保幅处理、储层预测、油气检测的研究成果,总结归纳出适用于本区的地震目标处理及含气性预测一体化解决方案,形成有效的储层预测技术系列,指导下一步储层预测和井位部署,为储量提交提供技术支撑。

第三节 低渗透砂岩气藏地震勘探成果

低渗透砂岩气藏物探技术研究目标主要是鄂尔多斯盆地苏里格地区下古生界二叠系石盒子组盒 8 段和山西组山 1 段、四川盆地川中地区须家河组须四段和须六段地层。经三年的研究,取得如下成果。

一、核心技术

(1) 建立了一套针对地质目标的数字地震采集关键技术,其中包括 3 项技术。

①通过激发岩性、激发井深、激发药量、炸药爆速等的分析研究,提出了全数字地震采集激发原则;通过全数字检波器与模拟检波器性能对比、全数字检波器与模拟检波器实际采集效果对比、检波器组合效果分析,提出了优化接收系统方案。

②通过道距与面元、炮检距、覆盖次数、最大允许变观范围的分析研究,提出了全数字高密度地震观测系统设计原则。

③通过近地表结构调查、野外静校正技术分析研究、干扰波调查与分析,提出了数字地震采集测线优化部署原则。

(2) 形成了一套针对地质目标的低渗透砂岩气藏地震处理关键技术,其中包括 4 项技术。

①由于地表复杂多变,高差变化剧烈,低降速带厚度、速度纵横向变化大,导致静校正问题严重。复杂地表静校正技术就是根据地表高差和表层低降速带复杂多变的特点,提出了进行多信息约束、多种静校正方法综合的复杂地表静校正技术。

②针对低渗透砂岩气藏勘探中的规则干扰,叠前采用了灵活的去噪方法。同一噪声在不同的域(共炮点域、共检波点域、共炮检距域、共中心点域、频率—波数域、 $\tau-p$ 域等)中表现特征不同,因此,根据噪声在不同的域中不同的特征和规律,提出多域噪音压制技术

③针对低渗透砂岩气藏的地震保真处理形成了地表一致性处理技术,其包括地表一致性振幅补偿(保幅)、地表一致性区域异常处理(保幅)、地表一致性反褶积(保幅、保频、保相位)、地表一致性相位校正(保相位)、地表一致性剩余静校正(保真)。地表一致性处理技术能最大限度消除近地表的影响,具有良好的保真效果,实现地震子波能量、频率、相位、时差的一致性。

④为了满足叠前反演的 CDP (CRP) 道集的需求,形成了道集处理技术。道集处理是在做好静校正、叠前去噪、振幅补偿、反褶积、地表一致性剩余静校正后的数据基础上进一步对 CDP (CRP) 道集的处理。主要是对 CDP (CRP) 道集进行高次项动校正、CDP (CRP) 道集剩余振幅补偿、分时剩余静校正和地表一致性相位校正以及去噪处理。

(3) 形成了一套针对地质目标解释的有效储层地震叠前预测关键技术,其中包括 4 项技术。

①为了充分、有效地使用地震资料预测储层岩性与流体性质,综合岩心分析数据、测井数据和地震资料,提出了低渗透砂岩储层岩石物理分析方法。

②为了应用各种地震叠前弹性参数及交会可以进行岩性、储层和含气性预测,形成了叠前弹性参数反演及交会技术。叠前同时反演是指利用多个(至少 3 个)不同角度的部分叠加地震数据体来同时(或同步)直接反演各种弹性参数,如纵波阻抗(AI)、横波阻抗(SI)、密度和泊松比等。

③为了进行岩性、储层和含气性地震叠前预测,开展了 AVO 分析及交会技术研究。AVO 技术是通过分析叠前地震信息随炮检距的变化特征,建立储层含流体性质与 AVO 的关系,应用 AVO 的属性参数及交会可以进行岩性、储层和含气性预测。

④为了有效地检测气层,甚至较可靠地评价储层的含气性,提出了叠前角度域衰减方法,利用不同角度叠加的地震资料对含气储层的敏感性不同,通过小波尺度、振幅谱、中心频率等气层敏感性地震属性随入射角的变化特征,检测气层。

二、地质效果

(1) 在长庆苏里格地区,2007 年提供建议井位 54 口,完钻 43 口,测井综合评价 I + II 类井成功率为 71.8%,获得工业气流 27 口,成功率 62.7%,上古生界二叠系下石盒子组盒 8 段、山西组山 1 段等气藏新增基本探明地质储量 $5652.23 \times 10^8 \text{m}^3$ 。2008 年部署完钻的探井 100 口,盒 8 段地震预测符合率达到 77%、山 1 段地震预测符合率达到 75.8%,为苏里格地区新增基本探明储量 $5803.94 \times 10^8 \text{m}^3$ 提供了可靠的依据。

(2) 在四川川中地区,提供建议井位 26 口、完钻 10 口、测试 7 口、产气井 5 口,气井符合率达 70%。

上述关键技术成果与地质成果的取得不仅对今后中石油低渗透砂岩气藏领域,而且对整个低渗透砂岩气藏领域都具有重要的借鉴和指导意义。