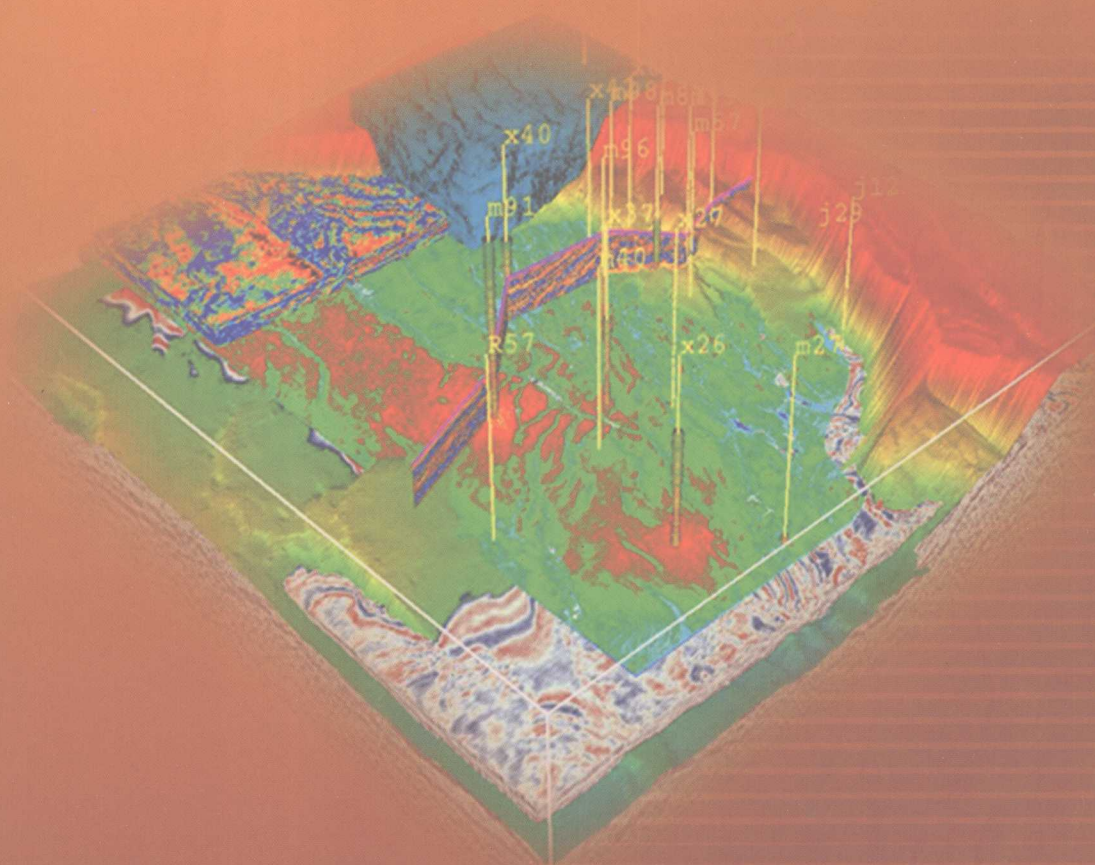


富油凹陷 精细地震勘探技术

赵贤正 张 玮 邓志文 白旭明 晏 丰 洪月英 等编著



石油工业出版社

富油凹陷精细地震勘探技术

赵贤正 张 玮 邓志文 白旭明 晏 丰 洪月英 等编著

石油工业出版社

内 容 提 要

该书针对富油凹陷的地震地质特点,开展了精细地震勘探技术研究。主要内容包括高分辨率、二次高精度三维、城矿区三维地震勘探采集技术,高分辨率地震资料处理技术,地层岩性、潜山及复杂断块勘探目标综合评价技术等。

本书可供从事地球物理勘探技术研究的专业人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

富油凹陷精细地震勘探技术 / 赵贤正等编著

北京:石油工业出版社,2009.2

ISBN 978-7-5021-6970-1

I . 富…

II . 赵…

III . 坳陷—油气勘探:地震勘探—研究

IV . P618.130.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 020122 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 2 月第 1 版 2009 年 2 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本: 1/16 印张: 13

字数: 360 千字 印数: 1—2000 册

定价: 128.00 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

《富油凹陷精细地震勘探技术》

作者名单

赵贤正	张 玮	邓志文	白旭明
晏 丰	洪月英	崔士天	唐传章
袁胜辉	周 赏	王玉柱	李海东
王瑞贞	邹雪峰	张万福	贾福宗

石油工业出版社

序

近年来的油气勘探开发实践证明,60% 以上的新增储量主要来自富油凹陷区的深化勘探。东部富油凹陷经过 40 多年的勘探,中、浅目的层的构造格局、油源、储层物性等已经基本清楚,油田建设及油气运输管网建设已有规模。然而中国陆相叠合盆地油气聚集规律复杂、圈闭类型多,富油凹陷的深化勘探潜力仍然很大。因此,进行新一轮的勘探就有了方向,寻找新储量的经济效益将更明显。

中国东部油区的勘探程度较高,要在这样高勘探程度的油区,发现新的有利地质目标,需要有新的勘探思维、新的理论和技术,尤其需要高精度的三维地震资料。

本书作者针对富油凹陷的地震地质特点,经过长期不懈的研究和攻关,取得了富油凹陷勘探技术的系列研究成果和多项创新,主要包括针对大型城矿区的地震资料采集技术设计、井口时间值静校正方法、城矿区多种震源联合激发技术、三维数据体整体能量均衡处理技术、各向异性介质叠前时间偏移和叠前深度偏移等采集、处理技术;地层岩性油气藏形成的主导控制因素、四种地层岩性油气藏成藏模式等新的理论认识;高分辨率层序地层和虚拟现实解释技术、古潜山内幕油气藏模式和古潜山油气田储集特征理论等。形成了大型城矿区的地震勘探技术系列,并且完成了工农业发达的东部地区 10 多个大型城矿区的规模化地震勘探。上述技术完善和提升了我国富油凹陷勘探的理论和方法。

富油凹陷勘探理论和技术在东部油区已经成功应用,取得的地震资料品质有了极大的提高,获得了区域地质上新的认识,发现了大量的勘探目标,促进了富油凹陷储量的又一次新的增长高峰,同时也促进了油气勘探地质理论的进一步发展。

本书作者均是具有先进的理论素养和丰富实际经验的年青一代地质和地球物理工作者,他们在承担繁重生产任务的同时,利用业余时间总结了近年来的研究成果,提炼出了富油凹陷的高精度三维地震勘

探完整的方法和理论系统，并编写成此书。我相信这些方法和理论对我国的富油凹陷的深化勘探具有重大的借鉴作用，将对我国的油气勘探开发发挥更重要的作用。

中国科学院院士
王德林
2008年12月

前言

东部油田从 20 世纪 70 年代初开始二维数字地震勘探, 80 年代初开始三维地震试验, 90 年代中期开始大规模三维地震勘探, 至 90 年代后期大部分有利构造完成了三维地震勘探。利用这些地震资料进行综合研究发现了大量的油气田, 使中国进入了世界产油大国的行列。

但是, 随着油田勘探开发程度的不断提高, 勘探目标也由常规的中、浅层构造油气藏扩展到地层岩性、薄互层、小断块、低幅度构造和深潜山及内幕等油气藏。受当时的地质认识、物探技术方法、仪器装备和计算机运算能力等客观条件的限制, 地震资料本身就存在缺陷。因此, 20 世纪 80 年代至 90 年代期间采集的三维地震资料难以满足目前油气藏精细描述的要求。进入 21 世纪以来, 国外油气田成熟区新增储量仍占储量增长的重要位置。这也给我们启示, 中国的富油凹陷仍然具有相当大的勘探潜力, 在东部一些勘探程度较高、地质条件复杂的富油凹陷开展新一轮的高精度地震勘探是十分必要的。

东部油田的勘探工作已近 40 年, 新一轮勘探面临着两方面的难题。首先是勘探地区城市、油田地面建设越来越多, 这些地区由于地面条件非常复杂, 以往受到勘探技术和设备的限制, 大多是地震资料空白区; 其次是较易识别的大中型地质构造已基本查明, 新一轮的高精度地震勘探目标将扩大到地层岩性、复杂断块、深潜山及内幕和特殊岩类(火山岩、泥灰岩等)油气藏。因此, 富油凹陷的勘探迫切需要新的、高精度和精细的物探技术提供保障才能实现成熟区油气勘探不断取得大发现和新突破。

针对富油凹陷的地层岩性、复杂断块、潜山及内幕和火山岩油气藏的地质与地球物理特点, 开展了精细勘探技术攻关研究。通过不断的探索和创新, 系统的提炼和总结, 形成了富油凹陷精细地震勘探技术和理论。这套技术和理论在国内富油凹陷的深化勘探中得到了进一步的推广应用和完善, 已经促进了储量增长的新高峰。这些研究成果主要包括: 高分辨率、二次高精度三维、城矿区三维地震勘探采集技术, 高分辨率地震资料处理技术、高精度叠前时间和深度偏移技术, 地层岩性、潜山及复杂断块勘探目标综合评价技术等。本书共分九章进行论述。

第一章论述了富油凹陷的表层地震地质特点和二次高精度三维地震勘

探技术中的资料分析与评价、采集技术的进步、精细勘探目标的观测系统设计、近地表结构调查、干扰源的监控及干扰波压制、采集资料品质分析和采集效果。

第二章论述了城矿区地震勘探采集技术中地理信息系统的应用、城矿区隐蔽障碍物调查、城矿区特殊观测系统设计、城矿区井震联合激发等技术及采集效果。

第三章论述了富油凹陷地震勘探的高精度静校正表层调查及模型建立、模型法静校正、初至折射法静校正和静校正误差分析与控制技术。

第四章论述了高分辨率地震资料处理关键技术及效果。

第五章论述了地震资料叠前时间偏移技术原理、关键技术及效果。

第六章论述了地震资料叠前深度偏移技术原理、主要技术及实例。

第七章论述了地层岩性圈闭的特点、类型及发育模式和地层岩性油气藏的主要控制因素、地层岩性勘探目标识别的关键技术和评价流程。

第八章论述了古潜山油气田的构造演化、油源特征、储集特征、油气聚集特征和潜山勘探目标识别的关键技术与评价流程。

第九章论述了复杂断块油气藏的类型、特点、发育模式和复杂断块勘探目标识别技术与评价流程。

中国科学院院士刘光鼎先生对东部富油凹陷的高精度勘探非常关注和重视，并且多次提出富油凹陷增储上产的勘探方向。衷心感谢刘院士在百忙之中抽出时间对本书的编写给予指导并为本书作序。

本书由赵贤正、张玮、邓志文提出编写思路并组织编写。具体分工为：前言和绪论由赵贤正、张玮、邓志文编写；第一章由白旭明、袁胜辉、李海东和王瑞贞编写；第二章由唐传章、袁胜辉、白旭明和邹雪峰编写；第三章由崔士天、邓志文和邹雪峰编写；第四章至第六章由晏丰、邓志文、张玮和贾福宗编写；第七章由洪月英、赵贤正和张万福编写；第八章由王玉柱、赵贤正和张玮编写；第九章由周赏、赵贤正和洪月英编写；统稿和审稿由赵贤正、邓志文、牛毓荃、金凤鸣完成；最后由赵贤正、张玮、邓志文定稿。在本书内容的研究与编写过程中，中国石油华北油田分公司和东方地球物理勘探有限责任公司各级领导和专家给予了大力的支持。冯许魁、张延庆等对本书的编写提出了宝贵的建议并提供了许多素材。本书的编写还得到了郝会民、李建雄、苏振华、常学军、刘旺等领导的大力支持与帮助，笔者对他们表示衷心的感谢！

对于书中存在的不足之处，欢迎读者批评指正。

目 录

绪论.....	1
---------	---

第一部分 地震资料采集技术

第一章 二次高精度三维地震采集技术.....	15
第一节 富油凹陷表层地震地质条件	15
第二节 资料品质分析与评价系统	20
第三节 二次三维地震勘探采集技术进展	22
第四节 针对精细勘探目标的观测系统设计技术	25
第五节 多方法动态联合近地表结构调查技术	30
第六节 干扰源的监控及干扰波压制技术	33
第七节 网格化资料品质分析技术	34
第八节 二次三维地震采集效果分析	36
参考文献	38
第二章 城矿区三维地震勘探采集技术.....	39
第一节 城矿区地震勘探对采集技术的要求	39
第二节 地理信息系统的应用	40
第三节 城矿区隐蔽障碍物调查技术	42
第四节 城矿区特殊观测系统设计技术	44
第五节 城矿区炸药与可控震源联合激发技术	47
第六节 城矿区地震勘探采集效果分析	50
参考文献	52
第三章 高精度静校正技术.....	53
第一节 表层调查及建模技术	53
第二节 模型法静校正技术	57
第三节 初至折射波法静校正技术	59
第四节 静校正误差分析与控制技术	63
参考文献	66

第二部分 地震资料处理技术

第四章 高分辨率地震资料处理技术.....	69
第一节 高分辨率地震资料处理思路	69
第二节 高分辨率地震资料处理关键技术	70
第三节 高分辨率地震资料处理效果分析	84
参考文献	86
第五章 叠前时间偏移技术.....	87
第一节 叠前时间偏移技术原理	87
第二节 叠前时间偏移关键技术	90
第三节 叠前时间偏移效果分析	97
参考文献	99
第六章 叠前深度偏移技术.....	100
第一节 叠前深度偏移技术原理	100
第二节 叠前深度偏移处理主要技术	104
第三节 叠前深度偏移应用实例	106
参考文献	109

第三部分 地震资料综合评价技术

第七章 地层岩性勘探目标综合评价技术.....	113
第一节 地层岩性油气藏的研究现状和特征	113
第二节 地层岩性勘探目标识别的关键技术	123
第三节 地层岩性勘探目标的评价流程	144
参考文献	152
第八章 古潜山勘探目标综合评价技术.....	153
第一节 古潜山油气田的形成和分布特征	153
第二节 潜山勘探目标识别的关键技术	166
第三节 潜山勘探目标评价流程	170
参考文献	175
第九章 复杂断块勘探目标综合评价技术.....	176
第一节 复杂断块油气藏研究现状和特征	176
第二节 复杂断块勘探目标识别的关键技术	185
第三节 复杂断块勘探目标的评价流程	194
参考文献	197

绪 论

东部探区的地震勘探工作已近 40 年,大部分地区已经完成了二维地震勘探和第一次三维地震勘探,取得了许多油气勘探的重大发现,为中国的能源工业做出了巨大的贡献。但是由于受到当时的物探技术、计算技术、装备技术及地质认识等方面的限制,早期的第一次三维地震勘探资料现在难以用于储层的精细描述。

近几年,针对富油凹陷开展了新一轮的高精度地震勘探。由于地表复杂及地质目标的隐蔽给地震勘探带来了许多挑战和难题。针对这些难题需要开展复杂地表条件下的地震资料采集技术、高精度资料成像技术和储层预测技术的研究,以此来提高储层预测精度和钻探成功率。

本书的大量素材主要取自渤海湾盆地冀中坳陷的高精度地震勘探技术研究成果,特别是城矿区的高精度地震勘探实践,带动了富油凹陷精细地震勘探技术的发展。

一、富油凹陷的勘探概况

邱中建、龚再升^[1]在 1997 年提出了“富生油凹陷”的概念:资源量大,具备形成大、中型油气田的物质基础;源岩生油(气)能力强(生烃量大于 $500 \times 10^4 \text{t/km}^3$),排聚系数(大于 7%)和油气资源丰度(大于 $15 \times 10^4 \text{t/km}^2$)高。同时,关于富生油凹陷及烃源岩的形成问题,认为基本上形成主动热事件的叠加或侧加。第一种情况是,气源岩是裂陷期的陆相源岩,晚期叠(侧)加主动热事件,埋深达到成熟高峰期之后,直接进入大量生气阶段($R_o > 1\%$);第二种情况是,主动热事件形成的碟形坳陷或断陷,沉积了海相或海陆交互相偏气型源岩(Ⅲ型或Ⅱ型),由于快速沉降,进入大量生气阶段($R_o > 1\%$),提供气源。袁选俊等^[2]认为“富油气凹陷”是指那些面积较大,曾经发生过持续沉降并接受和保存了较厚暗色泥岩,具有良好地化指标,已经发生大规模油气生成、运移、聚集,并且具有较高勘探程度和已经探明较多油气储量而仍具有较大勘探潜力的凹陷;将资源丰度大于 $20 \times 10^4 \text{t/km}^2$,资源规模在 $3 \times 10^8 \text{t}$ 以上的凹陷称之为“富油气凹陷”。“富油气凹陷”主要特征:(1)发育多套(一般 2~3 套)受构造、沉积控制的生油层;(2)发育多种类型储层和圈闭,如同生或后生的构造圈闭,自生自储的地层岩性圈闭,基岩潜山圈闭等;(3)多种类型油气藏围绕主力生烃洼陷叠合连片;(4)油气藏分布复杂隐蔽,勘探难度越来越大。考虑到东部地区渤海湾盆地的发现是以富油凹陷为主,将本书所研究范围定为“富油凹陷”,如已发现的渤海湾盆地的南堡、饶阳、歧口、东营、大民屯等均为富油凹陷。

已发现的富油凹陷的勘探可分为早期的二维模拟和数字地震勘探阶段、第一次三维地震勘探阶段和第二次高精度三维地震勘探阶段。

(一)早期的二维模拟和数字地震勘探阶段

此阶段为 20 世纪 50 年代至 80 年代中期,是凹陷区域结构探索阶段,与其他勘探方法配合,发现了许多油田。

20 世纪 50 年代初至 60 年代初,地震勘探所用的是“五一型”光点记录仪器、用手工整理资料。该时期以重力、磁法、电法为主进行大面积普查和局部地区细测,地震队伍及工作量都较少。此阶段石油物探方法在克拉玛依油田、大庆油田、胜利油田、大港油田及江汉油田的发现中作出了重要贡献。

20 世纪 60 年代中期至 70 年代初中期,地震勘探的特点是以模拟磁带地震仪记录、二维多次覆盖观测,以及模拟计算机处理资料,这是地震勘探技术的一次重大的飞跃。此阶段石油物探方法配合钻探,在渤海湾盆地相继发现和开发了胜利油田、大港油田、辽河油田、江汉油田、南阳油田、江苏油田和长庆油田。

20 世纪 70 年代中后期至 80 年代中期,地震勘探以数字磁带记录、二维高次覆盖观测、数字计算机处理资料为特点,中国石油物探发展到了采集、处理、解释全面数字化阶段。此阶段石油物探方法在二连油田、吐哈油田及塔里木油田的发现中作出了重要贡献。

(二) 第一次三维地震勘探阶段

20 世纪 80 年代中期至 90 年代末期为第一次三维地震勘探阶段,也是大规模推广应用三维地震勘探的阶段。

20 世纪 80 年代以前为三维地震勘探早期试验阶段,共完成了两个试验区块:第一块是 1966—1969 年在胜利油田东辛地区进行的小三角测网简易的三维地震勘探试验工作,使用光点记录、手工进行三维归位;另一块是 1974 年胜利油田在广利地区用模拟仪器采集了 30km² 束状观测系统的三维数据。1982 年中原油田文留地区的三维地震勘探中已掌握了三维数据采集、处理、解释等完整的技术,为三维地震在我国迅速推广打下了基础。从此以后,三维地震勘探得以在国内全面应用。

三维地震勘探的作用之一是能更详细地查明早期发现油田的盆地结构、断裂系统及油气运移系统等,提供科学的开发方案。因此许多油田都成功地打出了大量的高产油井,使钻探的效益大大提高。作用之二是在已发现油田的周边继续扩大勘探范围,探明了更多的油气区域。三维地震勘探技术的应用为储量的持续增长提供了技术保障。

(三) 第二次高精度三维地震勘探阶段

该阶段从 21 世纪初开始,主要特征为地层岩性、潜山及内幕、复杂断块和特殊岩类(火山岩、泥灰岩等)等地质目标精细勘探阶段。

由于受当时的技术和装备条件的限制,第一次三维地震勘探的资料品质差,难以满足构造精细解释和地层岩性目标识别的需求。同时,随着国内工农业的快速增长,油田所在地域城市建设速度非常快,许多地区为地震资料的空白区,影响了区域地质整体评价与认识。为了深化认识东部地区的地质结构,精细落实各类圈闭,解决地质目标识别难、评价难的问题,需要有新的技术手段和高精度的地震资料。

渤海湾盆地黄骅拗陷南堡凹陷老爷庙油田第一次三维地震勘探资料由于受当时采集参数等因素的影响,存在新近系馆陶组以下未能见到好的地震反射、对构造格局认识不清、圈闭不落实等问题,导致钻探屡屡失败。1996 年在老爷庙地区率先实施了二次三维地震勘探试验,获得的资料经钻井证实,构造落实,断点清晰。随后,东部探区相继进行了大量的试验工作,资料品质和地质效果均取得了明显的改进。因此,从 21 世纪初在东部的富油凹陷开始了大规模的第二次高精度三维地震勘探。

通过实施二次高精度三维地震采集,原始资料品质有较大幅度的提高,得到了高精度

成像的三维数据体。二次高精度三维地震目的层包含了浅、中、深目的层，油气藏类型包括了地层岩性、复杂断块、潜山及内幕和特殊岩类（火山岩、泥灰岩等）油气藏等。除在上述领域深化研究外，还扩大了盆地之间及外围的勘探，均获得了重大突破。同时，高精度的地震资料为新的物探、地质技术应用提供了基础，为促进储量快速增长发挥了重要作用。

新一轮的资源评价结果表明，富油凹陷地质储量的探明率一般在 50% 左右，这说明富油凹陷仍具有相当大的剩余资源勘探潜力，因此高精度的二次三维地震勘探还将发挥更重要的作用。

二、富油凹陷的勘探领域及地震勘探难点

（一）富油凹陷的勘探领域

经过 40 多年勘探，富油凹陷中浅层面积大、形态好的构造和潜山圈闭都已钻探，基本实现了不同层系的含油连片，勘探程度整体上处于较高阶段。但是根据新一轮的资源评估显示，富油凹陷还有 50% 的剩余地质资源量，具备勘探大发现的物质基础，具有良好的勘探潜力。同时各层系探明储量有较大差异，受当时地质认识、勘探领域选择、技术水平等条件的制约，不同区带、层系之间勘探程度明显不均衡，仍有勘探程度相对较低的领域和层系。

1. 地层岩性油气藏勘探领域

国外有超过 50% 的储量来自这一领域。目前，国内地层岩性油气藏勘探处于发现的初期，是发现规模整装储量的重要勘探领域。从近年发现的储量来看，地层岩性油气藏已经成为富油凹陷储量增长的现实勘探领域。油气盆地构造油气藏与地层岩性油气藏形成的构造沉积背景和成藏条件的相似和差异，造成它们的分布既有“互补性”，也有“共生性”。尽管目前大部分地区发现的储量仍以构造油气藏为主，但也已经在许多构造带上发现了与构造油气藏规模相当的岩性油气藏，表明随着勘探的不断深入，这一领域将具有较大勘探潜力。

洼陷带主力生油层系中广泛分布的浊积岩体（湖底扇、浊积透镜体）、陡坡带水进层系中广泛分布的近岸水下扇体，由于它们近油源，直接与生油岩接触或被生油岩包裹，具有优越的成藏条件和储盖组合，因此随着砂体描述精度的提高，必将成为重要的勘探领域和目标。水进期在缓坡带形成的超覆三角洲砂体，具有形成地层超覆油气藏的良好地质条件，因此在缓坡带分布的三角洲砂体将是寻找地层岩性油气藏的主要方向。

2. 古潜山及内幕油气藏勘探领域

古潜山内幕油气藏实质上是基岩地层不整合油气藏，古潜山顶部是长期剥蚀夷平的不整合面，不整合之上覆盖古近系湖相泥岩形成良好盖层。对于潜山内幕油气藏还需要发育有好的顶、底板隔层（以泥岩和泥灰岩为主）。如在饶阳凹陷发现了两种潜山内幕油气藏，一种是顺倾向山坡（不整合面）潜山内幕油气藏；另一种是逆倾向山坡（不整合面）潜山内幕油气藏。

潜山油气藏的类型可分为潜山顶、潜山坡、潜山内幕；按深度可分为中、浅潜山与深潜山。潜山顶油藏和中、浅潜山油藏的勘探程度很高。但受当时设备和技术条件限制，深层地震资料品质差，信噪比低，波组特征不清楚，断层断点和位置难以落实。因此深潜山、潜山坡和潜山内幕油藏勘探程度低，是潜山勘探领域突破的重要方向。

3. 复杂断块油气藏勘探领域

陆地盆地都经历了多期构造运动，发育多期次、多组断裂体系，构造破碎，断裂复杂，

断块发育。过去采集三维资料面元大、纵横向分辨率低,使落实复杂断块有一定难度。随着设备、技术进步,三维采集和处理资料的品质得到不断改善,为复杂断块落实创造了条件。同时,复杂断块勘探年年有新发现,表明复杂断块确实具有勘探潜力。

三维地震的二次采集和连片处理使重新梳理断裂结构成为可能,对新、老目的层分砂组进行构造解释以及不同三维区结合部位的精细构造解释使不断发现新目标成为可能,构造油藏仍是保持储量稳定增长的重要勘探领域。

4. 火山岩油气藏勘探领域

渤海湾盆地主力生烃层系中分布的火山岩和主力生油洼陷之中的中生代潜山披覆层火山岩是火山岩油气藏勘探的主要方向。火山岩的成藏关键是充足的油源和储集空间,分布在沙河街组三段的火山岩油源条件好,如有良好的储集条件就成为勘探的有利目标。中生代火山岩一般经过了风化淋滤和断裂作用改造,储集条件较好,且一般分布在古生代潜山上,具有良好的构造背景。因此一旦有良好的油源条件,就能形成火山岩油藏,其油藏规模相对较大。

饶阳凹陷古近系地层火山岩中见到了油气显示、廊固凹陷古近系地层火山岩中见到了天然气显示;南堡凹陷古近系地层火山岩中获得了工业天然气气流;松辽盆地长岭断陷白垩系、准噶尔盆地石炭系等火山岩分布非常广泛,且具备天然气规模储量的条件。

近几年来随着地震勘探精度的提高,在多个盆地已经揭示了天然气富集区的存在。因此,我国的深层火山岩具有规模天然气储量勘探的潜力。

(二) 富油凹陷的地震勘探难点

东部探区第一次三维地震勘探工作基本上是在 20 世纪 90 年代完成的,利用这些地震资料发现了众多的油气构造,对油气勘探开发起到了重要的作用。但是,在油气富集的东部探区进行新一轮的油气藏精细描述时,第一次地震勘探获得的资料在用于油气藏开发中存在以下问题:

(1) 受当时勘探技术、勘探设备、计算方法及计算机速度等条件的限制及地质任务的针对性不强的影响,主要是解决构造落实和储量任务,以中、浅目的层勘探为主,导致采集的资料覆盖次数低,中、深层反射能量弱、信噪比和分辨率低等问题。因此采集的地震资料不能满足构造精细解释和储层预测的要求,制约了油田的滚动勘探和向新层系的扩展。

(2) 在城市、油田矿区等特殊地表条件区,受当时技术及装备的限制、特别是地震波激发设备、仪器等的限制,没有取得地震资料,出现了大量的资料空白区域,影响了对地下构造及油藏的整体认识。

(3) 以往构造成图和沉积体系研究均以单个工区为单元,缺乏区域整体概念,导致圈闭形态难以准确落实、构造之间接触关系不清、沉积体系发育期次难以确定。

因此,富油凹陷的勘探迫切需要新的、高精度和精细的物探技术才能不断取得油气勘探的大发现和新突破。为此,针对东部地区的地质问题,从 21 世纪初开始大规模的高精度二次三维地震勘探工作,取得的地震资料品质大幅度提高,对认识区域地质构造起到了重要作用,由此带来了老油区储量的新发现。

但是,在富油凹陷的精细地震勘探中仍存在以下难点。

1. 地层岩性油气藏勘探

地层岩性油气藏具有较大勘探潜力和一定的分布规律,但由于受其区域构造和沉积相

带等多重因素控制有其复杂性和隐蔽性,勘探难度相对较大,勘探的成效较低。

1) 目标发现难度大

地层岩性圈闭一般无明确外部构造形态,加之断裂和构造运动的改造使之复杂化,用传统构造勘探方法难以识别。由于地震分辨率有限,因而识别薄砂体中的地层岩性圈闭难度更大。

2) 沉积体类型确定难度大

典型的地层岩性圈闭在地震剖面上表现为地震反射异常体。地震反射异常体具有异常或特征性内部反射结构及外部形态,往往是三角洲、水下扇体、河道砂体、浊积砂体、滑塌体、生物礁、盐丘、泥丘和火成岩侵入体等地质体在地震剖面上的反映。地震反射是沉积宏观特征的反映,而非微观特征的表现。地震反射类型在某种程度上反映沉积体类型和沉积物岩性等组合特征。同一反射类型可由不同地质作用产生,即地震反射类型具有多解性,因此准确判断和分析其地质属性和沉积类型难度大。

3) 储层岩性、物性预测难度大

目前常用地震速度和波阻抗预测储层的岩性和物性。由于地震波传播过程中,不仅包含了地层岩性,同时也包含了储层物性和流体变化的信息。不同的构造背景下同一种岩石的层速度有差异,同一构造背景不同埋深下相同岩石的层速度常常也有明显的差别,即地震速度和地层岩性并非一一对应,利用地震资料预测岩性存在多解性和不确定性。储层的非均质性和储层中所含流体性质不同,其地震响应也不同,这使得储层的岩性、物性预测更加困难。

4) 储层厚度预测难度大

我国东部探区储层薄、岩性横向变化快,单砂层厚度一般为 3 ~ 8m,并且大部分地区为砂泥岩薄互层,砂泥岩之间波阻抗值差异较小。同时在薄互层的反射波场中看不到单波特征,而是储盖组合反射的复合波形态,各界面反射彼此干涉。利用常规的、单一的地球物理方法,难以进行单个岩性体识别,预测砂体的厚度很困难。

5) 圈闭评价难度大

地层岩性油气藏的形成并不完全依赖于构造条件,而更多地取决于岩性尖灭线、地层超覆线、地层不整合面、储集层顶底界面和岩性组合等。由于现有地震技术的局限性,这些问题难以圆满解决。而且,其储集性能、生储盖组合及油源条件尤为重要,大型岩性圈闭内部是否存在次级单元体、单元体是否连通等,对圈闭精细描述和评价有重要影响。同时,也影响地层岩性油气藏勘探的成效。

2. 潜山及内幕油气藏勘探难点

明显的、埋藏浅的“新生古储”型的大型潜山油气藏在第一轮三维地震勘探中大多数已被发现,探索新类型的潜山是推动潜山油气藏勘探的重要任务。因此,在新一轮的潜山勘探中存在以下难点。

1) 潜山顶面识别难

潜山顶面识别需要有高品质的顶面反射资料,同时需要有 VSP 资料、地质及测井资料作为桥梁,标定反射界面的地质层位,以确定潜山顶面的解释方案。

地震资料较好、埋藏较浅的大型潜山在第一轮三维地震勘探中已基本被发现。由于第一轮三维地震勘探中的深层地震资料分辨率和信噪比低,埋藏较深的中、小型潜山顶面反

射弱,因此识别此类潜山顶面存在一定的难度。

2) 潜山内幕构造解释难

潜山顶面本身就是一个强反射界面,地震反射能量大部分被阻挡,难于进入潜山内部。同时潜山埋藏深,地震波经长距离传播后,在地层中衰减和吸收严重,因此进入潜山内幕的地震波能量弱。潜山内幕地层倾角大,加上埋藏深,因此难以成像。而潜山内幕构造解释的关键是要有好的地震资料,因此对潜山内幕地层进行构造解释的难度大。

3) 潜山内幕隔层有效性评价难

对于潜山内幕的勘探,隔层有效性是形成潜山内幕圈闭的重要条件。只有在潜山内幕存在隔层,才有可能形成潜山内幕圈闭。对隔层有效性评价时,主要存在以下两个方面的难点:

(1) 判断隔层的岩石物理性质难。

形成有效隔层的地层一般为膏盐层、泥页岩等;隔层要具备一定的厚度,隔层的厚度与其岩石性质有关,理论上 5m 以上的优质页岩或膏盐层就能形成有效隔层。往往是在缺乏钻井资料的情况下,难以判断隔层的岩性。

(2) 难以确定圈闭内是否发育断层。

在潜山内幕圈闭内如果发育断层,将对隔层的有效性形成影响。理论上,断层的断距小于隔层的厚度时可以形成有效隔层,即圈闭为有效圈闭;当断层大于或等于隔层厚度时,隔层为无效隔层。由于内幕反射资料分辨率低、连续性差,因此对小断层难以识别。

3. 复杂断块油气藏勘探难点

复杂断块油气田的复杂性主要来源于众多而密集的断层,这是复杂断块油气田的共性,也是最突出的地质特点,断裂系统的复杂性造成了断层解释、层位追踪和封堵性分析困难。

1) 断层解释难度大

复杂断块油气田内部一般发育多组走向不同的断层,其中一组断层占优势,控制主要含油气断块的延伸方向,其他走向的断层与之斜交,使油气田内含油气断块的分布进一步复杂化。

由于复杂断块区断层发育的复杂性和多期性,决定了复杂断块勘探目标断层在平面和剖面上解释困难。在断裂复杂区,受断层的影响,断面成像效果差,尤其是在背斜的核部,往往很难确定断面的位置和走向。由于多组断层在平面上相互交切,加上延伸长度短和断层的断面窄等因素的影响,断层的平面组合难度较大。

2) 地层追踪难度大

复杂断块区的资料往往品质较差,断层上下盘地层被多条断层所切割,区域或局部标志层被断缺;在背斜构造核部,由于断层和断块规模小,断层上下盘地层特征不易识别;在生长断层发育区,断层上下盘的地层厚度不同,沉积特征存在一定差异,致使地层横向追踪对比困难,层位解释难度大。

3) 复杂断块油气田的油、气、水分布类型分析难度大

东部复杂断块油气田多数断块具有多层系含油气的特点,油、气、水关系的复杂性造成复杂断块目标综合分析难度大,主要表现在油、气、水分布类型分析难度大。

根据储层流体在纵向上和平面上的分布特点,东部探区古近—新近系复杂断块油气田的油、气、水分布大致有三种类型:

(1) 整个油田具有相对统一的油、气、水系统;

(2) 每个油层组都有各自独立、大体一致的油水界面；

(3) 各断块油气藏的油、气、水层相互独立，无统一油、气、水边界。

然而，由于断层多、断距小、构造复杂，地震资料的分辨率有限，因此，要准确地分析断块区油、气、水分布关系及类型难度大。

4) 复杂断块目标断层封堵性分析难度大

断块油气藏是受断层封堵而形成的油气藏。古近—新近系断块油田油气分布较为分散，多为小型断块油气藏。主要原因是断块破碎、储层变化快，以及断层的封堵性质复杂。

一个断块内能否聚集成藏，含油面积的大小，油气高度的高低，乃至成藏规模的大小，均受断层封堵性控制。复杂断块油气藏地层一般是砂泥岩互层，其单层厚度薄，地震资料无法分辨，因此断层封堵性的研究难度大。

4. 火山岩油气藏勘探难点

国内油气勘探开发中火山岩的研究有近 30 年的历史，积累了一定的实际资料和经验。但是，火山岩储层较常规沉积岩储层更加复杂，故在火山岩的岩性、岩相、储层物性等的预测方面还有许多问题有待解决。因此，火山岩油气藏勘探方面的难点也比较突出。

1) 地震资料采集困难

火山岩发育的地区地震资料采集难度大。火山岩的速度高，能形成强地震反射界面，阻挡地震波能量继续向下传播，因此难以获得火山岩体之下的地震反射资料。尤其是火山岩分布于浅层时，地震资料的采集难度更大。火山岩体内部成层性差，因此其内幕反射资料也是多种地震波相互干涉的结果，难以用于描述构造。

2) 识别火山岩难度大

火山岩在区域分布上不稳定，且随机性大。其一是地震剖面上不能较大范围地追踪，与标准地层无法对比；其二是火山岩体在地震剖面上的表现形式多种多样，因此与钻井资料也难以对比。

3) 识别有利储集相带较为困难

有关研究表明，有效火山岩储层的储集空间的 70% ~ 95% 由孔隙构成，30% ~ 5% 由裂隙构成，原始喷发岩相及其亚相是孔隙的主控因素，从而有效火山岩储层主要受岩相和亚相控制。由于火山岩常常是由多期次、多个火山口喷发形成的，造成火山岩岩相分布复杂，与围岩之间相互交错接触。受地震资料分辨率的局限，分别识别每一期火山岩岩相较为困难。

三、富油凹陷的地震勘探技术成效

(一) 城矿区复杂地表地震勘探填补资料空白、实现富油凹陷整体解剖

东部富油凹陷油气勘探程度较高，已经过一轮系统的地震勘探和钻探评价工作，并且由于油气富集程度较高，油气勘探仍不断取得新的重大发现。但是随着勘探工作重点扩展到地面地震条件复杂的城市网、管网、水网和公路铁路网等地区，迫切需要新的、高精度和精细的物探技术才能实现成熟区油气勘探不断取得大发现和新突破。

近几年来，针对东部探区大型城矿区的地质与地球物理特点，开展了精细勘探技术攻关，创新地形成了城矿区复杂地表条件下的油气勘探关键技术：应用基于复杂城区地表条件和深层构造的特（殊）观（测系统）设计技术，解决城区难以实施规则观测系统的问题；利用高精度卫星照片进行炮点、检波点布设，提高了城区炮点、检波点放样的合理性