

复杂地质条件 地震勘探技术与实践

——以准噶尔盆地和吐哈盆地为例

FUZA DIZHI TIAOJIAN
DIZHEN KANTAN JISHU YU SHIJIAN

冉建斌 黄永平 唐东磊 等著

石油工业出版社

复杂地质条件地震勘探技术与实践

——以准噶尔盆地和吐哈盆地为例

冉建斌 黄永平 唐东磊 等著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书重点介绍了中国石油天然气股份有限公司重大科技专项“新疆和吐哈油田油气持续上产勘探开发关键技术研究”在“十二五”期间针对准噶尔盆地和吐哈盆地岩性地层圈闭勘探、致密油储层甜点识别及评价、复杂冲断带及深层地震成像三大研究领域的地震勘探技术取得的主要创新成果,包括宽频、宽方位和高密度“两宽一高”地震采集、处理技术及应用“两宽一高”地震资料所形成的地质解释技术系列和核心配套技术,并对技术应用效果和获得的成果进行了较为深入的分析。

本书可供石油物探专业技术人员参考使用,也可作为大专院校相关专业的辅助教材。

图书在版编目(CIP)数据

复杂地质条件地震勘探技术与实践:以准噶尔盆地和吐哈盆地为例/冉建斌等著. —北京:石油工业出版社,2017.4

ISBN 978-7-5183-1820-9

I. ①复… II. ①冉… III. ①盆地-地震勘探-研究-新疆 IV. ①P631.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第052281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

编辑部:(010)64523543 图书营销中心:(010)64523633

经 销:全国新华书店

印 刷:北京中石油彩色印刷有限责任公司

2017年4月第1版 2017年4月第1次印刷

787×1092毫米 开本:1/16 印张:25.75

字数:650千字

定价:200.00元

(如出现印装质量问题,我社图书营销中心负责调换)

版权所有,翻印必究

《复杂地质条件地震勘探技术与实践 ——以准噶尔盆地和吐哈盆地为例》

编写人员

冉建斌	黄永平	唐东磊	于宝利	王新全
温铁民	张明玉	夏建军	王晓辉	赵小辉
王兆磊	周丽萍	李文阁	吴建学	邓 勇
郭 翔	王科朋	安树杰	陈 鹏	闫 杰
刘亚峰	苏卫民	秦 鑫	刘世文	彭 晓
张晓丽	张丽娟			

序

准噶尔盆地玛湖凹陷及阜康凹陷东环带岩性地层圈闭、准噶尔盆地东部吉木萨尔凹陷致密油、吐哈盆地火焰山复杂冲断带和台北凹陷深层及天山南北缘复杂构造带是准噶尔盆地、吐哈盆地几个主要的油气勘探领域,蕴藏着丰富的石油资源。随着油气勘探开发的不断深入,这些领域的油气勘探越来越困难,面对的主要技术挑战:一是断块破碎、储层薄,对地震资料纵、横向分辨率的要求越来越高;二是地表条件越来越复杂,如油田设施等地震工程障碍越来越多,形成更多地震干扰源,导致地震信噪比越来越低;三是地层、岩性、断块油气藏的勘探任务越来越重,要求地震资料有更高的保真度。针对这些勘探难题,在中国石油天然气股份有限公司(以下简称中国石油股份公司)“新疆和吐哈油田油气持续上产勘探开发关键技术研究”重大科技专项的支持下,在中国石油股份公司、新疆油田公司和吐哈油田公司的组织领导下,东方地球物理公司在“十二五”期间开展了“复杂地质条件物探关键技术研究与应用”课题攻关研究,形成针对性的配套技术,取得了高品质的地震资料,为这些领域的油气发现和落实奠定了基础。

实践证明,高密度宽方位地震勘探技术是提高地震勘探资料分辨率行之有效的技术,但这项技术需要大量的地震勘探仪器道数和大量的激发工作量,这给地震数据野外采集带来了高成本。为改善高密度宽方位地震勘探技术的经济可行性,“十二五”期间东方地球物理公司在中国石油股份公司专项的支持下,组织了120名采集、处理和解释一体化研究人员的团队开展了地震勘探仪器、可控震源、高效采集等技术攻关,《复杂地质条件地震勘探技术与实践——以准噶尔盆地和吐哈盆地为例》一书就是这些创新成果的集中体现。该书内容包括宽频、宽方位和高密度“两宽一高”采集配套技术系列,特别是在地震数据处理和解释方面,全面系统地讲述了高密度宽方位三维地震数据处理技术,并针对岩性地层圈闭识别及储层评价、复杂冲断带及深层成像和致密油储层甜点及工程参数预测等勘探难题,阐述了多信息融合断层识别、叠前裂缝发育带预测、砂砾岩优质储层预测和致密油“六性”预测等技术,其中大部分地震数据采集、处理和解释配套技术是国内首次投入应用。

中国陆上西部复杂区地震地质条件异常复杂,随着勘探开发的不断深入,新的难题和更高

的要求也会不断提出来,进一步的攻关需要借鉴当前比较成熟的经验和做法。而本书正是全面总结了西部复杂区岩性地层圈闭、致密油、深层和山地山前带等几个关键油气勘探领域配套的地震勘探技术和行之有效的经验。

我相信,本书将成为石油地震勘探技术工作者有价值的参考书。

A handwritten signature in black ink, consisting of two characters, '张伟' (Zhang Wei), written in a cursive style.

2016年5月

前言

中国石油股份公司重大科技专项“新疆和吐哈油田油气持续上产勘探开发关键技术研究”针对准噶尔盆地南缘、吐哈盆地火焰山冲断带及台北凹陷深层复杂构造成像,准噶尔盆地环玛湖三叠系、阜康富烃凹陷东环带侏罗系岩性地层圈闭识别,以及储层预测和准噶尔盆地东部吉木萨尔凹陷二叠系致密油储层甜点识别及评价三大领域开展了技术攻关。通过地震采集、地震资料处理和地质解释三大研究团队在6个试验区进行“两宽一高”(宽频、宽方位和高密度)三维地震、复杂构造高密度三维和宽线低频二维采集、处理和解释一体化技术研究,在岩性地层圈闭识别及评价、复杂构造及深层成像及致密油储层甜点评价三个方面取得突破,形成了“两宽一高”地震勘探特色技术系列,其中可控震源高效采集单炮成本下降了20%;地震的有效频带由原来的2~3个倍频程提高到5~6个倍频程;地震资料由原来的几万到几十万炮道覆盖密度提高到180万炮道覆盖密度以上,地震资料处理由原来的统一基准面偏移到起伏地表各向异性和OVT域偏移,地震资料信噪比、成像精度和分辨率明显提高;地震层位深度误差由原来的3%~5%提高到1%;岩性地层圈闭识别由单一的大套地层的沉积相预测到单一砂体和优质储层预测;致密油储层评价由单一的叠后波阻抗反演甜点预测发展到在复杂岩性多矿物组分岩石物理建模和力学参数表征研究的基础上,形成了以叠后地质统计学反演和叠前弹性参数反演为核心的致密油储层甜点识别及评价技术系列,实现了找物性相对好、总有机碳含量高、地层压力大、脆性好、水平应力差异小和裂缝发育的地震“六性”甜点综合评价。

“两宽一高”地震勘探特色技术系列于2013—2015年已经在准噶尔盆地环玛湖地区岩性地层勘探、准噶尔盆地吉木萨尔凹陷致密油储层评价、吐哈盆地火焰山冲断带稠油及深层勘探等领域得到推广,共部署“两宽一高”三维地震5000km²,形成了满足叠前偏移的空间采样确定方法、基于有效带宽的地震采集观测系统优化方法、静校正方法和“两宽一高”地震处理技术等6项发明专利、技术秘密2项、地震采集标准规范2项、软件著作权3件,发表论文25篇,相应技术获得中国石油天然气集团公司科学技术进步二等奖1项和油田公司级科技进步一等奖5项。为玛湖百里油区的发现、吉木萨尔凹陷12亿吨致密油井控储量的落实及吐哈油田火焰山冲断带二叠系亿吨级稠油储量的落实提供了强有力的技术支撑。

本书针对准噶尔盆地和吐哈盆地的山前复杂构造成像、岩性地层圈闭识别及储层预测和致密油甜点及工程参数预测三大研究领域分三部分进行了编写,每一部分相对独立,以方便不同需求的读者进行选择阅读。第一部分岩性地层圈闭地震勘探技术与应用,包括六个章节内容。第二部分致密油地震勘探技术与应用,包括五个章节内容。第三部分复杂冲断带及深层地震成像技术与应用,包括六个章节内容。每一部分都包括了勘探概况、前期地震勘探技术现状,面临的主要技术问题,试验区采集方法论证及参数优化,地震资料处理关键技术,地震资料地质解释关键技术,资料的品质评价,主要的地质成果和今后研究工作建议等内容。

第一部分岩性地层圈闭地震勘探技术与应用的地质解释技术内容由冉建斌、王晓辉、赵小辉和王科朋编写,地震勘探资料处理技术由温铁民、王兆磊、柴伟、孙政编写,地震勘探资料的采集技术由唐东磊、夏建军、闫杰、刘亚峰和苏卫民编写,这一部分统稿由冉建斌、唐东磊和黄永平完成。第二部分致密油地震勘探技术与应用的地质解释技术内容由于宝利、周丽萍编写,地震资料处理技术内容由张晓丽和张丽娟编写,地震勘探资料的采集技术内容由黄永平和秦鑫编写,这一部分统稿由于宝利、冉建斌和黄永平完成。第三部分复杂冲断带及深层地震成像技术与应用的地质解释技术相关内容由冉建斌、吴建学、邓勇、陈鹏和郭翔编写,地震勘探资料的处理技术相关内容由李文阁和罗晓霞编写,地震勘探资料采集部分由王新全、安树杰、彭晓和刘世文编写,这一部分统稿由冉建斌和王新全完成。全书最后由冉建斌和张明玉统稿和统编。

本书在编写的过程中,得到东方地球物理公司副总经理兼总地质师张玮教授的亲切指导和大力支持并为本书作序。东方地球物理公司地质总监康南昌教授和东方地球物理公司物探总监曹孟起教授对本书也提出了许多宝贵意见,东方地球物理公司西部前线总指挥、总经理助理杨文军教授、东方地球物理公司研究院乌鲁木齐分院何开泉院长、处理中心常德双主任、新疆地调处史建民处长和吐哈油田物探处王琪处长在专著编写的过程中给予了大力支持,对于参加重大专项的研究人员所做出的创造性的贡献,在此一并表示诚挚的谢忱!

本书难免有不足之处,敬请各位读者批评指正。

第一部分 岩性地层圈闭地震勘探技术与应用

——以准噶尔盆地玛湖凹陷环带三叠系与阜康凹陷东环带侏罗系为例

第一章 准噶尔盆地岩性地层油气藏勘探概况	(3)
第一节 油气勘探历程及成藏规律的认识	(3)
第二节 前期地震勘探技术现状	(11)
第二章 岩性地层圈闭识别及储层预测面临的技术问题	(18)
第一节 地震勘探资料存在的问题	(18)
第二节 岩性地层圈闭识别及储层评价问题	(21)
第三章 试验区“两宽一高”三维地震勘探采集技术	(24)
第一节 高密度宽方位观测系统设计技术	(24)
第二节 地震数据高效采集技术	(28)
第三节 地震数据采集方案论证	(32)
第四节 地震数据资料品质评价	(43)
第四章 高密度宽方位地震勘探资料处理技术	(47)
第一节 综合静校正技术	(47)
第二节 地震保幅处理技术	(54)
第三节 井控提高分辨率处理技术	(60)
第四节 地震 OVT 域处理技术	(63)
第五节 基于 GPU 的叠前偏移技术	(68)
第六节 地震勘探资料地质评价	(75)
第五章 地层岩性圈闭识别及储层评价技术	(84)
第一节 扇三角洲沉积相刻画配套技术	(84)
第二节 地震多属性融合微小断层解释技术	(91)
第三节 基于地震多属性的地质统计学反演技术	(95)
第四节 叠前砂砾岩优质储层预测技术	(99)
第五节 各向异性裂缝检测技术	(110)

第六章 地层岩性圈闭评价及下步工作建议 (115)

第一节 地层岩性圈闭区带评价 (115)

第二节 地层岩性圈闭评价及井位部署 (121)

第三节 地质效果分析及下步工作建议 (143)

第二部分 致密油地震勘探技术与应用

——以准噶尔盆地东部吉木萨尔凹陷为例

第七章 吉木萨尔凹陷致密油勘探概况 (149)

第一节 致密油定义及现状 (149)

第二节 吉木萨尔凹陷油气勘探概况及沉积构造特征 (151)

第三节 致密油勘探面临的主要技术问题 (154)

第八章 致密油实验区地震采集参数论证 (158)

第一节 试验区地表特征 (158)

第二节 观测系统优化 (159)

第九章 全方位三维地震处理技术 (169)

第一节 地震叠前保幅处理技术 (169)

第二节 提高分辨率处理技术 (184)

第三节 地震各向异性叠前偏移技术 (191)

第四节 地震分方位处理技术 (195)

第五节 地震勘探资料地质评价 (200)

第十章 致密油储层地球物理特征及预测关键技术 (205)

第一节 储层分类评价标准及地球物理响应特征 (205)

第二节 复杂矿物组分岩石物理建模 (208)

第三节 致密油储层及工程参数预测关键技术 (214)

第十一章 致密油“六性”预测及综合评价 (223)

第一节 储层物性预测 (223)

第二节 总有机碳含量预测 (226)

第三节 地层压力预测 (230)

第四节 储层脆性预测 (233)

第五节 水平应力差异预测 (238)

第六节 裂缝发育形态预测 (243)

第七节 致密油有利区带优选及开发部署建议 (249)

第三部分 复杂冲断带及深层地震成像技术与应用

——以吐哈盆地吐鲁番坳陷火焰山冲断带、台北凹陷深层及准噶尔盆地南缘为例

第十二章	复杂冲断带及深层勘探概况	(255)
第一节	地质概况	(255)
第二节	前期地震勘探技术现状	(264)
第十三章	制约冲断带及深层成像主要技术问题	(276)
第一节	近地表结构建模及静校正问题	(276)
第二节	震源能量激发及深度偏移速度建模问题	(279)
第十四章	试验区地震采集方法及关键参数优化	(284)
第一节	试验区的选取	(284)
第二节	火焰山冲断带高密度三维地震采集关键参数优选	(286)
第三节	准噶尔南缘冲断带井炮宽线采集关键参数优选	(296)
第四节	台北凹陷深层可控震源高密度宽线关键参数优选	(307)
第五节	表层调查及静校正方法	(316)
第六节	地震勘探资料品质评价	(324)
第十五章	复杂冲断带及深层地震成像处理技术	(336)
第一节	静校正技术	(336)
第二节	低信噪比资料叠前去噪技术	(342)
第三节	震源子波约束低频补偿技术	(346)
第四节	多信息约束网格层析速度建模技术	(348)
第五节	TTI 叠前深度偏移技术	(352)
第十六章	复杂冲断带及深层关键解释技术	(358)
第一节	复杂构造建模技术	(358)
第二节	断裂及小断裂识别技术	(369)
第三节	构造变速成图技术	(372)
第十七章	地质成果及下步工作建议	(377)
第一节	山前复杂构造及深层主要地质成果	(377)
第二节	山前复杂构造及深层成像下步工作建议	(390)
参考文献		(393)

第一部分

岩性地层圈闭地震勘探技术与应用

——以准噶尔盆地玛湖凹陷环带三叠系
与阜康凹陷东环带侏罗系为例



第一章 准噶尔盆地岩性地层油气藏勘探概况

准噶尔盆地大规模地震油气勘探始于 20 世纪 80 年代。地震勘探经历了从二维到三维，再到“两宽一高”地震的两次技术进步。对油气藏的认识也经历了由构造类型向岩性地层圈闭类型的转变。经 30 年采集、处理和解释的一体化不懈攻关，终于较好解决了准噶尔盆地岩性地层圈闭油气藏勘探这一世界级难题。

第一节 油气勘探历程及成藏规律的认识

一、勘探历程

研究区位于准噶尔盆地西北缘的玛湖凹陷及盆地中东部的阜康凹陷东环带(图 1-1)。玛湖凹陷位于准噶尔盆地中央坳陷的西北缘，西北部紧邻乌夏断裂带—克百断裂带，南部接中拐凸起，东南紧邻达巴松凸起—夏盐凸起，东北角与英西凹陷相接，轮廓面积约 5000km²。阜康凹陷东环带位于准噶尔盆地阜康凹陷东部，包括北三台凸起西斜坡，白家海凸起南斜坡，阜康断裂带北斜坡，轮廓面积约 3000km²。玛湖凹陷和阜康凹陷是准噶尔盆地两个重要的富烃凹陷及油气富聚区。

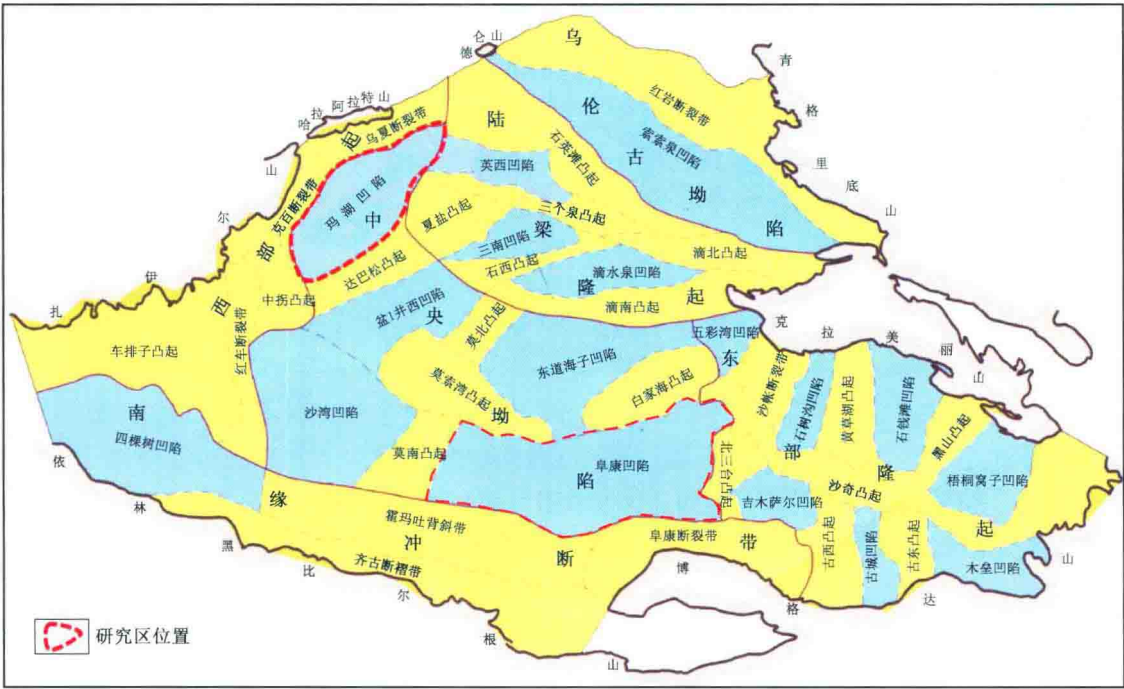


图 1-1 研究区构造位置图

(一)环玛湖凹陷环带

玛湖凹陷三叠系百口泉组的勘探经历了四个阶段,即勘探初期阶段、勘探徘徊阶段、勘探转折阶段和勘探高峰阶段。

1. 勘探初期阶段

该阶段主要为20世纪80年代—90年代初期,地震勘探部署以二维测线为主,大规模的二维地震勘探阶段主要集中在1982年、1989年、1990年和1994年,二维地震测网分布不均,测网密度为 $2\text{km} \times 3\text{km} \sim 1.5\text{km} \times 2\text{km}$,集中分布在玛湖凹陷西北部的断裂带及断裂带下盘构造发育区,通过多轮次的地震地质研究,相继在克百断裂带下盘发现百21井、百31井三叠系百口泉组油藏,形成了百口泉油田。2009年,在滚动扩边过程中发现百113井三叠系百口泉组油藏。

2. 勘探徘徊阶段

该阶段主要为20世纪90年代—21世纪初期,主要进行了大规模三维地震勘探。截止到2010年相继部署了夏21井区、黄羊泉、玛2井区、艾里克湖、玛6井区、八区南、克80井区、百58井区、风城南、黄羊泉北、检乌26井区、玛9井区、夏40井区、130井区、艾参1井区、红旗坝等16块三维地震勘探,主要分布在乌夏断裂带—克百断裂带及玛湖西斜坡(图1-2a),部署目的以落实断裂带构造为主,兼顾探索斜坡区岩性地层领域的勘探潜力。

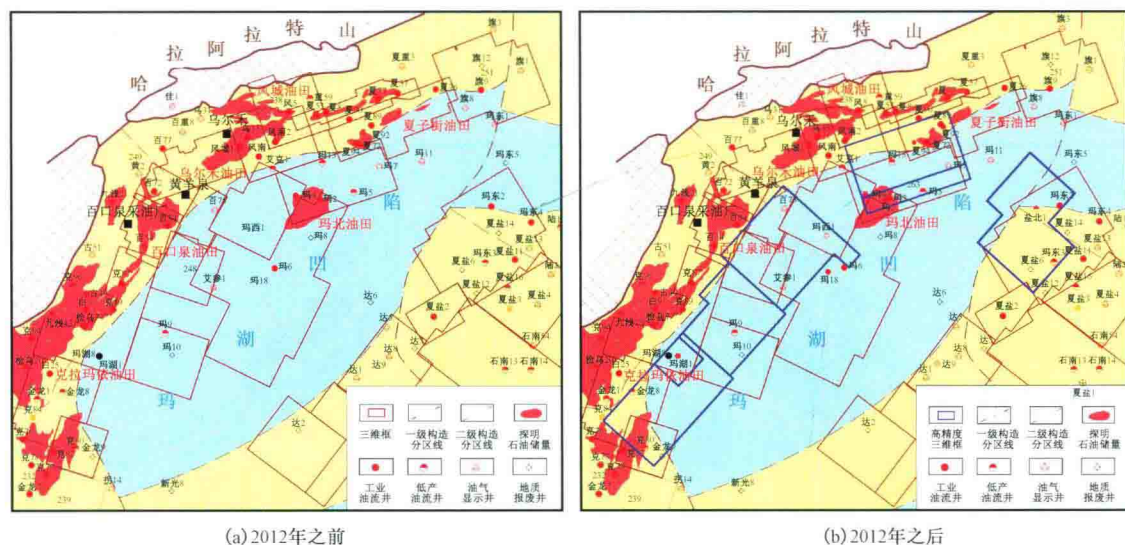


图1-2 玛湖凹陷地震勘探部署图

通过三维资料综合研究相继在西北缘断裂带发现了夏子街油田、乌尔禾油田,其中夏子街油田,在探索斜坡区的过程中,于1994年发现了玛北油田,该油田是玛湖凹陷第一个以岩性油藏类型为主的油田。之后,针对玛北油田周缘三叠系百口泉组的岩性地层油气藏开展了大规模的勘探,甩开部署的玛3井、玛4井及玛101井等5口预探井均告失利,限于当时的低渗透储层改造技术,玛北油田未能有效开发,储量难以动用,此后玛湖凹陷岩性地层油气藏的勘探沉寂了近20年。

3. 勘探转折阶段

该阶段主要为 21 世纪初期到 2012 年末,为了满足整体地质研究的需求,玛湖凹陷的地震勘探步入了大规模老资料连片处理阶段,自 2005 年以来先后对中拐五八区连片、克百连片、乌夏连片、玛 2—风南连片、玛湖连片、玛北连片等 6 块重新处理,并依托重新处理资料,坚持探索斜坡区三叠系百口泉组岩性地层油气藏的勘探潜力,于 2010 年在玛北油田以北部署上钻玛 13 井,该井在三叠系百口泉组获得油流,日产油 2.34t,日产气 5210m³。2011 年为评价玛 13 井三叠系百口泉组油藏部署上钻玛 131 评价井,该井在三叠系百口泉组试油,并采用了新的大规模压裂技术,突破了产量关,成为了继玛北油田之后在斜坡区发现的第一口工业油流井,从此揭开了玛湖斜坡区新一轮的大规模勘探的序幕。

4. 勘探高峰阶段

该阶段主要为 2012 年末至今,为了精细油藏解剖的地质需求,先后在玛湖斜坡区部署了玛西 1 井区三维、玛 10 井区三维、玛湖 1 井先导试验区三维、玛湖 1 井三维、玛 131 井区三维、玛 5 井区三维以及盐北 1 井区三维等 7 块高密度宽方位三维地震(图 1-2b),从此玛湖斜坡区的岩性地层圈闭地震勘探步入了大规模高密度宽方位地震勘探阶段。

由于高密度宽方位三维地震勘探资料具有较高空间分辨率和信噪比、保幅性好、成像精度高的特点,对岩性地层油气藏的勘探具有其独特的优势,能够很好地解决玛湖斜坡区小断裂识别、沉积相刻画、岩性目标落实及优质储层预测的地质需求,并在油气勘探实践中发挥了巨大的作用,落实了数亿吨规模的石油地质储量,使得玛湖斜坡区三叠系百口泉组的油气勘探达到了空前的高峰期。

(二)阜康凹陷东环带

阜康凹陷东环带勘探始于 20 世纪 50 年代,早期主要完成了 1:20 万重磁力普查,20 世纪 80 年代开始大规模地震勘探,完成了二维地震详查工作,目前该区二维地震测网密度已达 1km×2km,局部地区达到 1km×1km、0.5km×1km。20 世纪 90 年代开始陆续实施三维地震勘探。到 2012 年,工区已被三维地震勘探覆盖,主要包括北 80 井区、北 82 井区、北 34 井西、北 27 井西及北 27 井区 5 块三维地震勘探。2013 年采集了西地 2 井区三维,该三维覆盖次数 336~588 次,面元 12.5m×12.5m,满覆盖面积 131.534km²,是该区覆盖次数最高的一块评价三维。

阜康凹陷东环带的岩性地层圈闭油气藏勘探经历了以下三个阶段。

1. 探索阶段

阜康凹陷东环带油气勘探始于 20 世纪 50 年代。2007 年前,侏罗系已发现北 27 井头屯河组油藏、北 34 井区三工河组油藏及数个出油气点,但以低产为主,大部分为油水同层、含油层和水层,只有个别井获得了较高的油气产量,如北 34 井、台 30 井的三工河组、台 10 井的齐古组、北 14 井和台 15 井的头屯河组。

2. 发现阶段

2010 年,针对西泉鼻隆带上的侏罗系头屯河组河道型砂体部署实施了阜东 2 井,该井试油获自喷工业油气流,打开了阜东斜坡岩性勘探新领域。阜东 2 井钻探成功后,为了扩大侏罗系头屯河组勘探成果。2011 年,在西泉大型鼻状构造翼部的头屯河组岩性圈闭上钻探阜东 5 井,在头屯河组试油获高产工业油气流,预示阜东斜坡头屯河组油气勘探将获得重大突破。之

后,针对同类型的岩性圈闭,陆续部署了阜东6、阜东7等13口井,其中阜东052井、阜东7井、阜东8井、阜东9井获得工业油流,发现了阜东9井区块、阜东7井区块侏罗系头屯河组二段油藏、阜东8井区块侏罗系头屯河一段油藏,阜东071、阜东081、阜东10井等见到良好显示。2012年,陆续上钻了以侏罗系头屯河组、齐古组为主要目的层的预探井阜北1、阜北2、阜东13等10口井,其中阜东053、阜东054、阜东082等7口井取心见良好油气显示。

3. 持续研究阶段

近年来,针对齐古组及头屯河组钻4口井,阜东16井在侏罗系齐古组2022~2040m井段试油,4mm油嘴,日产油21.0t。阜东16井在阜东斜坡区齐古组获得突破后,阜东022、阜东162和阜东17等井在齐古组获得了工业油流。展示了阜东斜坡侏罗系各层段较大勘探前景。

二、岩性地层油气藏形成的基本条件

(一)玛湖凹陷环带三叠系

玛湖凹陷是准噶尔盆地的最富生烃凹陷,经过30多年时断时续的探索,特别是通过近几年的整体研究认识到玛湖凹陷斜坡区处于油气运移优势指向区,具备形成大型岩性地层油气藏的五大有利地质条件,即充足的烃源岩、规模有效的扇三角洲储层、稳定的区域盖层、网毯式断裂系统及油气的多期充注(图1-3)。

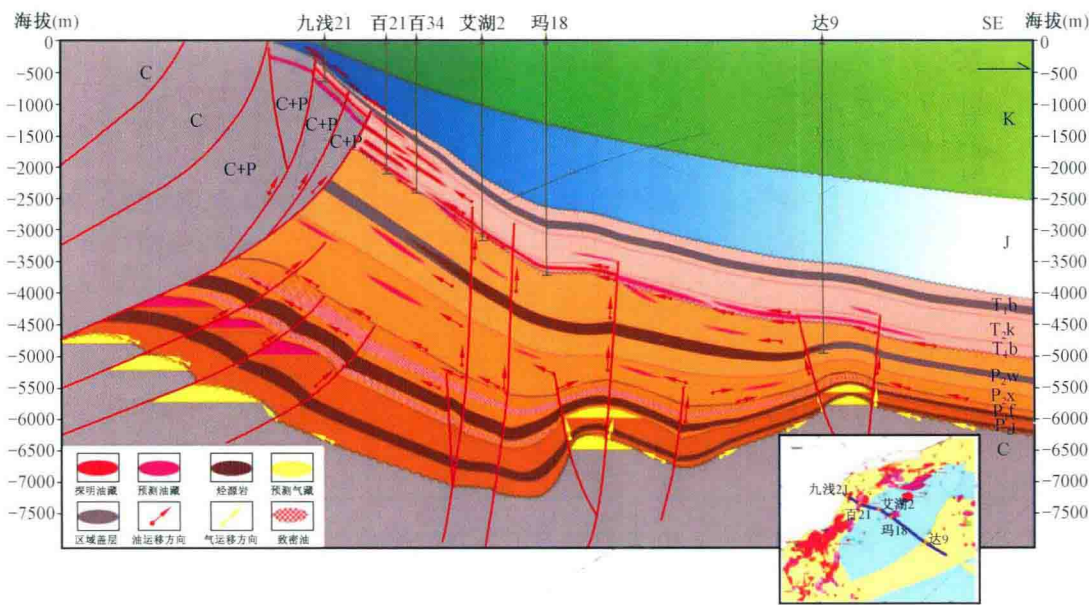


图1-3 玛湖斜坡区油气成藏模式图

1. 多套成熟—高熟烃源岩为玛湖凹陷奠定了雄厚的资源基础

玛湖凹陷主要发育二叠系佳木河组、风城组和下乌尔禾组三套烃源岩。根据准噶尔盆地第三次资评报告,玛湖凹陷二叠系佳木河组烃源岩为暗色泥岩,烃源岩有效厚度为50~225m,有利面积4550km²,有机碳含量(TOC)为0.37%,镜质组反射率(R_o)为1.67%,有机质类型为Ⅱ型、Ⅲ型干酪根,为一套高熟的烃源岩;二叠系风城组烃源岩为云质泥岩,烃源岩有效厚度为