



# 柴达木盆地 石油天然气 勘探开发技术

付锁堂 李永 张祥 薛西武 梅洪◎编

卷二



CHAIDAMUPENDI  
SHIYOU TIANRANQI  
KANTAN KAIFA JISHU

石油工业出版社

# 柴达木盆地石油天然气勘探开发技术

## (卷二)

付锁堂 李永 张祥 薛西武 梅洪 编

石油工业出版社

## 内 容 提 要

本书收集了2011年以来在柴达木盆地石油、天然气勘探和开发方面的优秀论文50篇,是青海石油科技工作者,尤其是中青年科技工作者在近期所取得的研究成果及经验总结,主要包括油气地质勘探、油气田开发、石油工程等方面的内容。

本书适合从事石油勘探、开发工作的科研及管理人员、大专院校师生阅读、参考使用。

### 图书在版编目(CIP)数据

柴达木盆地石油天然气勘探开发技术. 第2卷/付锁堂等编.  
北京:石油工业出版社,2011.12

ISBN 978-7-5021-8751-4

I. 柴…

II. 付…

III. 柴达木盆地-油气勘探-文集

IV. P618.130.8-53

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第213906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](http://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

---

2011年12月第1版 2011年12月第1次印刷

787×1092毫米 开本:1/16 印张:20

字数:512千字

---

定价:150.00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

# 目 录

## 地质勘探

|                                     |                    |
|-------------------------------------|--------------------|
| 柴达木盆地英东地区地质综合评价及勘探目标优选·····         | 李元奎 奎万仓 王 波 等 (3)  |
| 柴达木盆地北缘油气成藏研究 ·····                 | 薛建勤 赵明君 杜培志 等 (13) |
| 柴达木盆地露头油藏的勘探研究 ·····                | 魏学斌 徐 峰 龙国辉 (21)   |
| 环英雄岭山地地震勘探技术进展 ·····                | 李国顺 尹吴海 张立军 等 (29) |
| 速度研究在昆北三维地震资料解释中的应用 ·····           | 张子成 王海峰 吴剑锋 等 (36) |
| 昆北断阶带断裂特征 ·····                     | 张勤学 张 霞 (42)       |
| 大风山地区沉积相及储层评价研究 ·····               | 铁占元 李元奎 王国颜 等 (46) |
| 南翼山构造主要地质特征及油气成藏模式 ·····            | 郭 璞 潘洪峰 侯安平 等 (53) |
| 柴达木盆地跃东地层格架划分方案 ·····               | 赵为永 严焕德 史玉成 等 (64) |
| 近地表异常和地下低速异常识别技术及应用 ·····           | 翟俊伟 王海立 于宝华 等 (70) |
| 高分辨率地震勘探在三湖气区的特征和认识 ·····           | 壮春龙 黄 鹏 (77)       |
| 井控技术在马北地区地震资料处理中的应用 ·····           | 王伟莲 冯云发 王 海 等 (82) |
| 柴达木盆地红柳泉地区 $E_3^1$ 油藏地震资料目标处理 ····· | 李武胜 陈 杰 莫志庭 等 (87) |
| 青海油田核磁共振录井技术的研究与应用 ·····            | 郑永仙 孙 玺 陈晓冬 等 (94) |

## 油气田开发

|                                            |                     |
|--------------------------------------------|---------------------|
| 台南气田水平井开发技术研究与应用·····                      | 奎明清 孙 勇 冯晓东 等 (103) |
| 多层疏松砂岩气藏压降特征及储量计算方法·····                   | 毛凤华 李 清 奎明清 等 (111) |
| 高含水油田开发效果评价方法探讨及应用研究 ·····                 | 李志军 王青梅 (116)       |
| 尕斯库勒 $N_1-N_2^1$ 油藏深部调驱体系室内实验研究 ·····      | 巨邦庆 施晓雯 杨中建 (122)   |
| 尕斯库勒油田 $E_3^1$ 油藏剩余油分布特征影响因素与挖潜对策<br>····· | 廖 春 史玉成 许姗姗 等 (129) |
| 涩北气田水平井合理配产技术研究·····                       | 柴小颖 谈志伟 毛凤华 等 (134) |
| 涩北气田稳产措施研究·····                            | 李进秀 何长瑾 赵生孝 等 (141) |
| 涩北一号气田气井出水特征及判定方法 ·····                    | 杨新划 王 青 (148)       |
| 泡沫排水采气工艺在涩北气田的试验研究·····                    | 邓创国 许吉瑞 郑俊枬 等 (152) |
| 昆北油田切 12 井区试采效果分析 ·····                    | 杨 梅 史 磊 周 燕 等 (157) |
| 分流量曲线分析法在尕斯油田的认识和实践·····                   | 潘静君 王志亮 宋 辉 等 (162) |
| 尕斯库勒油田 $E_3^1$ 油藏水淹层物性变化特征 ·····           | 徐荣伍 王 伟 余华文 (169)   |

压力指数决策技术在青海油田调驱中的应用..... 陈 君 李 薇 郭利霞等 (173)

井下双作用泵在油田开采中的作用 ..... 曲 涛 杨振国 (180)

上天为害 入地为宝

——浅议 CO<sub>2</sub>捕获技术与资源化利用 ..... 赵连峰 张永高 李 馨 (185)

石油工程

柴达木盆地复杂地区探井面临的难点与对策探讨 ..... 张顺世 杨启恩 邢政才 (193)

低密高强度水泥浆体系在天然气井的推广应用 ..... 康世柱 王翔飞 沈 勇 (196)

涩北气田储层潜在损害因素分析..... 陈泽勇 譙世均 窦红梅等 (203)

XC 低滤失、暂堵压井液在涩北气田的应用 ..... 杨春燕 胡海敏 许承阳 (208)

水力喷射泵排液和气举排液在涩北气田的应用..... 王青梅 李江涛 吴学安等 (215)

半透膜钻井液技术 ..... 吴金星 王丰明 郑铁军 (219)

青海油田五大试验区钻采工艺技术研究..... 林 海 窦红梅 陈泽勇等 (227)

新型改性聚胺聚合物钻井液体系室内研究..... 陈 杰 吴 军 刘 康等 (230)

青海油田延长油井免修期工艺配套技术..... 贾碧霞 周 燕 李 杰等 (236)

青海油田低渗透油藏深层举升工艺技术研究与应用..... 张立会 贾碧霞 郭 燕等 (242)

涩北气田井下节流工艺技术探讨..... 宋维春 奎明清 赵 举等 (247)

青海油田套损预防及修复技术..... 譙世均 杨国辉 徐海涛等 (252)

涩北一号气田防砂工艺效果分析 ..... 阿雪庆 冯胜利 康瑞鑫 (258)

不压井作业在涩北气田的应用 ..... 张永斌 吴学安 杨 伟 (263)

不动管柱酸化技术在乌南油田的研究与应用..... 郭培培 孟 媛 黄 斌等 (268)

钻井设计思路探讨及现状分析..... 杨启恩 姜双奎 张顺世等 (273)

高效混凝技术在青海尕斯油田回注污水处理中的研究与应用 ..... 江 林 窦红梅 (277)

其他

以对标管理为手段提升油田精细化管理水平..... 李 斌 王志亮 王海红等 (291)

浅谈地区公司后评价管理机制的完善 ..... 许予勛 李 斌 王志亮 (296)

基于油气田效益评价的精细成本管理探讨..... 王志亮 许予勛 王彩艳等 (302)

基于 RMAN 技术的 Oracle 数据库在企业数据容灾备份中的应用

..... 董智昆 武丽萍 (308)







# 柴达木盆地英东地区 地质综合评价及勘探目标优选

李元奎<sup>1</sup> 奎万仓<sup>2</sup> 王波<sup>1</sup> 铁成文<sup>3</sup> 郑晓英<sup>1</sup> 刘海珍<sup>1</sup> 吴明生<sup>1</sup> 张霞<sup>1</sup>

(1. 青海油田公司勘探开发研究院;2. 青海油田井下作业公司;3. 青海油田天然气开发公司)

**摘 要** 本文通过柴达木盆地英东地区构造断裂特征、烃源岩条件、沉积储层的地层发育特征、生储盖组合等地质条件综合分析、评价认为,英东地区油砂山、英东一号构造等中浅层圈闭落实,油源充足,且具有良好的生储盖组合,同时砂33井、砂34井试油已获得油气流,说明油气层有东扩的趋势。因此通过目标优选评价认为,该区具有良好的勘探前景,目前通过砂37井、砂40井等井钻探已发现英东一号油气田。

**关键词** 构造断裂特征 沉积储层 生储盖组合 勘探部署

## 1. 引言

英东地区位于柴达木盆地西部茫崖坳陷区油砂山—大乌斯构造带油砂山地面构造东段,南邻尕斯库勒、乌南油田区。油砂山地面构造整体为一由南东向北西方向抬升的北西向大型鼻隆构造,构造面积约220km<sup>2</sup>,圈闭面积116km<sup>2</sup>,闭合度2100m,自西向东在鼻隆背景上依次发育油砂沟、七一沟和大乌斯三个高点,出露地层则由老变新,依次为N<sub>2</sub><sup>1</sup>、N<sub>2</sub><sup>2</sup>、N<sub>2</sub><sup>3</sup>。英东地区各构造均受断裂的控制呈北西向展布。油砂山—大乌斯构造带各浅层构造均受油砂山断裂控制而形成,圈闭依附于油砂山断裂展布。英东一号构造位于油砂山构造带东段的七一沟高点上。

1954年通过1:25000地面细测,落实了油砂山地面构造。1966年对英东地区油砂山构造带进行1:20万重磁力详查工作,初步查明构造深部存在重力高。2000年该区部署了240.5km的CEMP(三维电磁阵列剖面)、473km<sup>2</sup>的高精度重磁及两条(031、1029)山地攻关测线。2006年在油砂山构造开展宽线地震攻关,采集完成主测线8条、联络测线4条,全长410.69km,测网密度4km×4km。2007年在以前工作的基础上,对该区的地震测网进行加密,共采集完成地震测线15条,其中主测线9条、联络测线6条,使油砂山—大乌斯构造带测网密度达到2km×3km~1km×2km。

1956年10月在油砂山构造高部位首钻浅1井,发现油砂山油田,探明N<sub>2</sub><sup>1</sup>—N<sub>2</sub><sup>2</sup>油藏含油面积8.56km<sup>2</sup>,石油地质储量2365.6×10<sup>4</sup>t。英东地区目前共钻各类探井十余口,均见到不同程度油气显示,其中砂33井、砂34井在浅层获得工业气流。

2010年通过二维地震重新处理解释,落实了英东一号断背斜构造圈闭,并部署钻探砂37井。砂37井钻进过程中油气显示极为活跃,测井解释出210m与油气相关的层,经测试于N<sub>2</sub><sup>1</sup>及N<sub>2</sub><sup>2</sup>多个层组获得高产工业油气流,揭示英东一号构造具备很好的含油气性,英东地区油气



勘探前景良好。

2. 构造特征

1) 断裂特征

本区断层极其发育,发育了深、浅两套断裂系统,分别对应于两期喜马拉雅运动。深部断裂系统形成于  $N_1$  末期的喜马拉雅 II 幕运动,浅部断裂系统形成于新近纪末期的喜马拉雅 V 幕运动。在早期构造运动和后期构造运动影响下,本区浅层和中深层在构造形态和断裂特征上差异明显。断裂要素见表 1。

表 1 英东地区主要断裂要素表

| 断裂名称 | 性质 | 倾向 | 走向 | 级别  | 断达层位         | 最大断距<br>(m) | 延伸长度<br>(km) | 主控地震剖面        |
|------|----|----|----|-----|--------------|-------------|--------------|---------------|
| 油砂山  | 逆  | NE | NW | II  | $T'_2 - T_3$ | 2500        | 58.46        | 06029 - 97054 |
| XI   | 逆  | SW | NW | II  | $T'_2 - T_6$ | 3500        | 57.72        | 06035 - 97054 |
| ①    | 逆  | SW | NW | III | $T'_2 - T_3$ | 100         | 20.58        | 02034 - 96052 |
| ②    | 逆  | NE | NW | III | $T'_2 - T_3$ | 100         | 5            | 02034 - 02038 |

在剖面上滑脱断层倾向 NE,断层产状上陡下缓。滑脱断层与其反冲派生的断层在剖面上呈 y 形,形成背冲构造样式。主要断层描述如下:

(1) 油砂山断层:为一条浅层滑脱逆断层,倾向 NE,是一条区域大断层,控制了油砂山—大乌斯浅层构造的形成(II 级断层),为本区最重要的断层之一;分布于构造南翼,走向 NW - NWW,平行于油砂山构造带的轴线,贯穿整个工区,区内延伸长度为 58.46km;断开层位  $T_1 - T_3$ ,纵向上断距上小下大,横向上从浅到深由小变大,说明其活动的长期性;断距最大为 2500m,在全区所有地震测线上都有显示;地震剖面上反映该断裂已出露地表,只是被第四系覆盖,致使油砂山构造带发育了深、浅两套构造圈闭系统,该断层较落实。

(2) XI 号断层:位于工区的中南部,油砂山构造带的北翼,为一条倾向 SW 的逆断层。该断层也是一条区域性大断层(II 级断层),对油砂山构造带的形成、油砂山油藏的形成和上下盘地层的沉积都起一定的控制作用;走向 NW,贯穿整个工区,断开层位  $T'_2 - T_6$ ,深层延伸较长。纵向上 XI 号断裂在  $E_3^2$  地层中被油砂山滑脱断层分为深、浅两截(东段),断面位置稍有错动。其中,浅层断达层位  $T'_2 - T_3$ ,最大断距 1200m,在  $T'_2 - T_3$  构造图上区内长度为 57.72km;深层断达层位  $T_4 - T_6$ ,最大断距 3500m。XI 号断层在工区内由浅到深从东向西延伸,横向上断距从东到西逐渐变小,纵向上断距从下到上逐渐变小,说明其活动的长期性。从其发育史来看,该断层活动较早,一直持续到中新世晚期。深层在  $T_4$  构造图上表现为:从工区西面开始,以 NW 走向,平行于油砂山构造带的轴线,连续穿过工区,一直延伸到大乌斯,相对于浅层,断面位置普遍向南偏。

2) 构造特征

本区构造在浅层和深层存在明显差异,深层构造类型主要为基底卷入断褶式构造圈闭;浅层构造受浅层滑脱断层控制,形成滑脱型构造样式(图 1)。

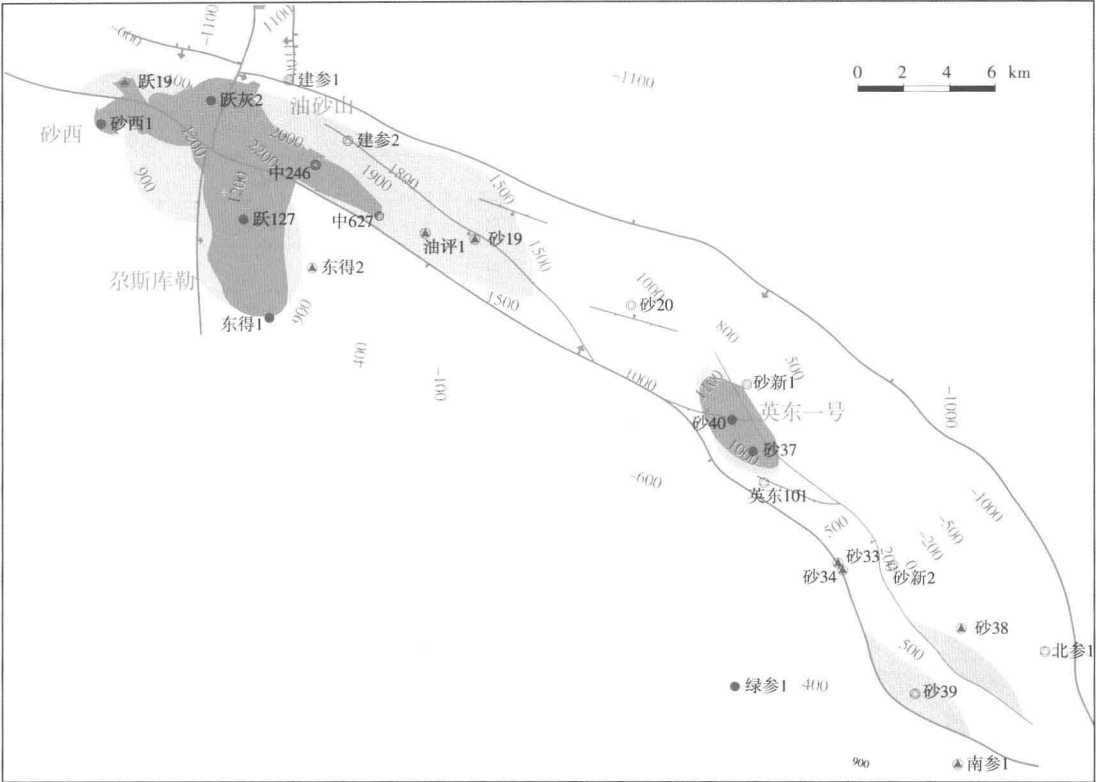


图1 英雄岭地区油砂山构造带地震T<sub>2</sub>等深度图

浅层构造层主要是油砂山断层上盘受晚期滑脱型断层控制的背斜,其构造轴线与地面构造轴线基本一致,为NW向,基本不受基底形态影响。

通过地震资料重新解释,共发现和落实构造6个:油砂山西断块、油砂山构造一号高点、油砂山构造二号高点、英东一号高点、英东二号高点、英东三号断鼻。圈闭要素见表2。

表2 英东地区构造圈闭要素表

| 序号 | 圈闭名称      | 层位              | 圈闭类型 | 高点埋深<br>(m) | 幅度<br>(m) | 面积<br>(km <sup>2</sup> ) | 主控地震测线                       |
|----|-----------|-----------------|------|-------------|-----------|--------------------------|------------------------------|
| 1  | 油砂山西断块    | T' <sub>2</sub> | 断块   | 1000        | 500       | 11.6                     | 06033、06035                  |
|    |           | T <sub>2</sub>  |      | 1200        | 500       | 6.8                      |                              |
|    |           | T <sub>3</sub>  |      | 2100        | 500       | 5.1                      |                              |
| 2  | 油砂山构造一号高点 | T <sub>2</sub>  | 断背斜  | 800         | 300       | 8.5                      | 07038、071027                 |
|    |           | T <sub>3</sub>  |      | 1700        | 200       | 4.8                      |                              |
| 3  | 油砂山构造二号高点 | T <sub>2</sub>  | 背斜   | 900         | 200       | 15.4                     | 07045、07047、<br>07049、071029 |
|    |           | T <sub>3</sub>  | 断背斜  | 1600        | 300       | 14.2                     |                              |
| 4  | 英东一号高点    | T' <sub>2</sub> | 背斜   | 1200        | 100       | 11.8                     | 05035、05036、<br>051025       |
|    |           | T <sub>2</sub>  |      | 1900        | 100       | 5.7                      |                              |
|    |           | T <sub>3</sub>  |      | 2800        | 50        | 1.3                      |                              |

续表

| 序号 | 圈闭名称   | 层位              | 圈闭类型 | 高点埋深<br>(m) | 幅度<br>(m) | 面积<br>(km <sup>2</sup> ) | 主控地震测线                     |
|----|--------|-----------------|------|-------------|-----------|--------------------------|----------------------------|
| 5  | 英东二号高点 | T' <sub>2</sub> | 断鼻   | 1000        | 300       | 17.2                     | 05046 - 05050、<br>821025.5 |
|    |        | T <sub>2</sub>  | 断块   | 1500        | 400       | 10.4                     |                            |
| 6  | 英东三号断鼻 | T' <sub>2</sub> | 断鼻   | 1500        | 200       | 8.2                      | 05046 - 05050、<br>821025.5 |
|    |        | T <sub>2</sub>  |      | 2000        | 200       | 7.6                      |                            |
|    |        | T <sub>3</sub>  |      | 3200        | 100       | 2.7                      |                            |

(1) 油砂山西断块:位于工区的西部,油砂山断裂上盘,是受油砂山断层控制的断块构造,主控地震测线 06033、06035。在 T<sub>2</sub> 构造图上,高点埋深 1200m,幅度 500m,圈闭面积 6.8km<sup>2</sup>。由于受工区范围内资料限制,构造落实程度低。

(2) 油砂山构造一号高点:位于工区的西南部,为油砂山断裂上盘的一个浅层断背斜,形成于 N<sub>2</sub><sup>1</sup> 沉积以后,属于晚期构造。构造轴向 NW,与油砂山断裂走向一致;地面和地下构造位置不一致,地下构造相对地面构造轴线向北偏移。开发证实其为背斜构造,因此该圈闭可靠,主控地震测线 07038、071027。T<sub>2</sub> 层圈闭面积 8.5km<sup>2</sup>,高点埋深 800m,幅度 300m。

(3) 油砂山构造二号高点:与油砂山构造一号高点同属一个构造,为油砂山断裂上盘的一个浅层断背斜,形成于 N<sub>2</sub><sup>1</sup> 沉积以后,属于晚期构造。构造轴向 NW,与油砂山断裂走向一致;主控地震测线 07045、07047、07049、071029。T<sub>2</sub> 层圈闭面积 15.4km<sup>2</sup>,高点埋深 900m,幅度 200m。

(4) 英东一号高点:位于油砂山一大乌斯工区的中部,呈断背斜形态,受油砂山断层控制。构造轴向 NW,2 号断层将其分割成东、西两个断鼻。主控地震测线 05035、05036、051025。构造面积从浅向深呈变小趋势。T'<sub>2</sub> 层圈闭面积 11.8km<sup>2</sup>,幅度 100m,高点埋深小于 1200m;在 05035、05036 测线上,呈小幅度背斜,地层产状较为平缓,南翼回倾较弱,北翼回倾明显。

(5) 英东二号高点:是南乌斯地面的高点,位于油砂山断层上盘,受油砂山断层控制,在 T'<sub>2</sub>、T<sub>2</sub>、T<sub>3</sub> 构造图上都有显示。构造形态为断鼻,向东倾伏,构造轴向 NNW。在 T'<sub>2</sub> 构造图上圈闭面积 17.2km<sup>2</sup>,幅度 300m,高点埋深 1000m。主控地震测线 05046、05047、05048、05049、05050、821025.5。

### 3. 烃源岩条件分析

英雄岭地区处于柴达木盆地古近—新近纪沉积中心边缘,渐新世中期(E<sub>3</sub><sup>2</sup>)区域上的湖进使本区 E<sub>3</sub><sup>2</sup> - N<sub>1</sub> 沉积了一套较深湖相的暗色生油岩,生油岩累计厚度大于 1500m。

油砂山构造 N<sub>1</sub> 有机碳平均含量在 0.5% 左右,氯仿沥青“A”含量在 1100μg/g 左右,总烃含量在 500μg/g 左右,以 I 类生油岩为主。E<sub>3</sub><sup>2</sup> 有机碳含量在 0.6% 左右,氯仿沥青“A”含量在 1400μg/g 左右,总烃含量在 300μg/g 左右。也就是说,本区 N<sub>1</sub> - E<sub>3</sub><sup>2</sup> 烃源岩达到了盆地的 I 类标准,说明该区本身具有生油能力。

同时,红狮凹陷的热演化史分析表明,E<sub>3</sub><sup>2</sup> - N<sub>1</sub> 烃源岩于 N<sub>2</sub><sup>1</sup> 沉积末期进入成熟阶段(埋深 3100m 左右进入成熟门限),N<sub>2</sub><sup>2</sup> 末期大面积成熟。三次资源评价预测狮子沟—油砂山构造带总资源量 2.64 × 10<sup>8</sup>t。

总之,英东地区处于英雄岭、扎哈泉和茫崖生油凹陷之间,属凹中之隆,具有非常优越的油源条件。

## 4. 沉积储层条件

### 1) 地层沉积条件

英东地区目前通过钻探共揭示出  $N_2^3$ 、 $N_2^2$ 、 $N_2^1$ 、 $N_1$ 、 $E_3^2$ 、 $E_3^1$  六套地层,其中主要含油气层为  $N_2^2$  -  $N_1$ 。各地层岩性简述如下:

(1) 狮子沟组( $N_2^3$ ): 岩性以棕黄色泥岩、砂质泥岩为主,夹浅黄色泥岩、砂质泥岩、粉砂岩、细砾岩、砾状砂岩及灰黄色泥岩、棕黄色粉砂岩、泥质粉砂岩等。厚度 0 ~ 810m。

(2) 上油砂山组( $N_2^2$ ): 岩性以棕灰色泥岩、棕褐色泥岩、棕黄色泥岩、灰色泥岩、砂质泥岩、棕灰色泥岩和灰色粉砂岩、细砂岩、含砾不等粒砂岩互层为主,夹灰黄色泥岩、砂质泥岩、灰色粗砂岩、含砾粗砂岩、中砂岩、含砾细砂岩、砾状砂岩、泥质粉砂岩和棕黄色砾状砂岩、粉砂岩及棕灰色含砾不等粒砂岩、细砂岩。厚度 600 ~ 1200m。

(3) 下油砂山组( $N_2^1$ ): 岩性以灰色细砂岩、砂质泥岩、棕褐色砂质泥岩、粉砂岩及棕灰色泥岩、砂质泥岩、泥质粉砂岩互层为主,夹灰色泥岩、泥质粉砂岩、细砂岩和棕褐色泥质粉砂岩及棕灰色含砾不等粒砂岩、含砾细砂岩。一般厚度 1000 ~ 1300m。

(4) 上干柴沟组( $N_1$ ): 岩性为深灰色泥岩、灰色泥岩、褐灰色泥岩、钙质泥岩、砂质泥岩、泥质粉砂岩。厚度 1000 ~ 1300m。

(5) 下干柴沟组上段( $E_3^2$ ): 岩性为深灰色泥岩、灰色泥岩、钙质泥岩、砂质泥岩、泥质粉砂岩,夹少量褐灰色泥岩。厚度一般 1300m。

(6) 下干柴沟组下段( $E_3^1$ ): 岩性以灰色泥岩、棕褐色泥岩、砂质泥岩、灰白色细砂岩及钙质泥岩为主,夹浅灰色粉砂岩、棕褐色粉砂岩、砂质泥岩、钙质粉砂岩、灰色泥质粉砂岩、钙质粉砂岩、棕灰色泥岩和灰白色粉砂岩等。厚度 400 ~ 600m。

综合研究表明,英东地区发育多种沉积成因的碎屑岩储层,即冲积成因的砂砾岩储层、浊积成因的砂质岩储层、三角洲沉积的砂岩储层和滨浅湖沉积的粉—细砂岩储层,其中英东一号构造  $N_2^1$ 、 $N_2^2$  储层主要为辫状河三角洲前缘及滨浅湖相沉积的中—粉砂岩。

### 2) 储层特征

#### (1) 储层岩性。

##### ① 上油砂山组( $N_2^2$ )。

储层具有成分成熟度中等、结构成熟度较高、杂基含量相对较低、碎屑颗粒粒度细、胶结物含量中、成岩作用整体较弱等基本特征。

砂 37 井岩心分析表明,储层岩性主要为中—粉砂岩(图 2),碎屑颗粒直径主要区间为粉砂—中砂(0.02 ~ 0.4mm),细粉砂含量较高。岩石类型分布相对稳定,成分成熟度中等,主要为岩屑长石砂岩。砂岩的结构成熟度中—高,整体上分选性以好为主,长石风化程度较深,磨圆度为次棱角—次圆状,碎屑颗粒接触关系以点状接触为主,杂基含量较少,分布于粒间,岩石胶结类型为孔隙型。

岩屑成分主要为酸性喷出岩、花岗岩和少量的浅变质岩(千枚岩、板岩、少量石英片岩)及碳酸盐岩,局部分布云母碎片。石英含量分布范围 34% ~ 52%,平均含量 43%;长石含量分布

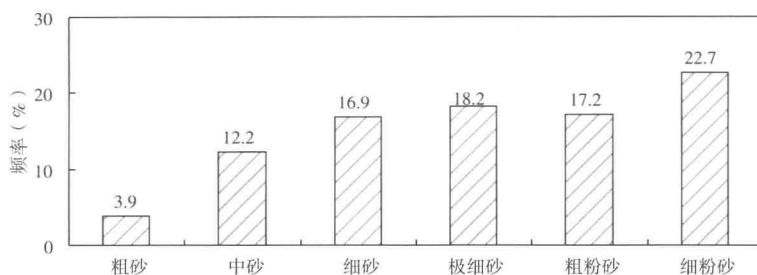


图2 英东地区砂37井上油砂山组( $N_2^2$ )储层粒度分布频率图

范围33%~44%,平均含量38%;岩屑含量分布范围13%~29%,平均含量19%;砂岩的矿物成分成熟度指数值分布范围0.52~1.1,平均值0.77。从岩屑成分比例看,火山岩和变质岩平均约7%左右,碳酸盐岩仅为3.6%,岩石骨架颗粒相对偏刚性,结构较稳定抗压实能力相对较强。

杂基含量较低,胶结物含量中等,局部含量高,分布不均匀,主要分布于粒间孔和孔隙喉道中,或分布于碎屑颗粒表面呈黏土膜状,特别是喉道中的分布,对渗透率的影响比较大。杂基主要为云母绿泥石质黏土和灰泥质,含量较低,平均含量仅为0.6%,说明搬运距离远,淘洗比较充分。

## ②下油砂山组( $N_2^1$ )。

英东一号构造 $N_2^1$ 储层具有成分成熟度中等、结构成熟度较高、杂基含量相对较低、碎屑颗粒粒度细、胶结物含量中—低、成岩作用整体较弱等基本特征。

根据油砂山 $N_2^1$ 储层特征分析,英东地区储层岩性有两种:砂岩和石灰岩(鲕粒灰岩、藻灰岩)。以砂岩为主,石灰岩主要为夹层。砂岩粒度较细,主要为中—粉砂岩,少量粗砂岩(图3),碎屑颗粒直径主要区间为粉砂—中砂(0.02~0.5mm),细砂岩含量最高。岩石类型分布相对稳定,成分成熟度中等,主要为岩屑长石砂岩。砂岩的结构成熟度中—高,整体上分选性以好为主,长石风化程度较深,磨圆度为次棱角—次圆状,碎屑颗粒接触关系以点状接触为主,杂基含量较少,分布于粒间,岩石胶结类型为孔隙型。

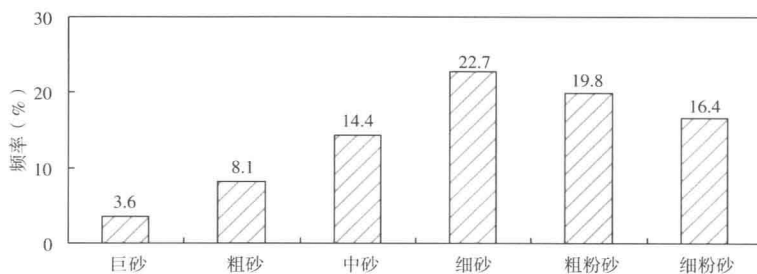


图3 英东地区下油砂山组( $N_2^1$ )储层粒度分布频率图

杂基含量较低,胶结物含量中等,局部含量高,分布不均匀,主要分布于粒间孔和孔隙喉道中,或分布于碎屑颗粒表面呈黏土膜状,特别是喉道中的分布,对渗透率的影响比较大。杂基主要为云母绿泥石质黏土和灰泥质,含量较低,平均含量仅为1%,说明搬运距离较远。

## (2) 储集空间类型及分布。

### ①上油砂山组( $N_2^2$ )。

英东地区 $N_2^2$ 碎屑岩储层孔隙较发育且分布相对较均匀,孔隙连通性较好。砂岩储集空

间以原生粒间孔为主,占 81.5%;其次为溶蚀孔,占 15.5%;有少量裂隙孔,占 2.8%。

②下油砂山组( $N_2^1$ )。

英东地区下油砂山组储层孔隙较发育且分布相对较均匀,孔隙连通性较好。砂岩储集空间以原生粒间孔为主,占 73.4%;其次为次生溶蚀孔,占 25.3%;有少量裂隙孔,占 1.3%。

(3)储层孔隙结构与物性特征。

①上油砂山组( $N_2^2$ )。

英东地区上油砂山组储层砂岩沉积微相为三角洲前缘水下分流河道和河口坝,砂体厚度相对较厚且分布稳定,粒度细,分选好,孔隙结构好。根据砂岩毛管压力曲线特征和渗透率最大汞饱和度与物性的相关性(图 4),将本区  $N_2^2$  储层孔隙结构分四类:

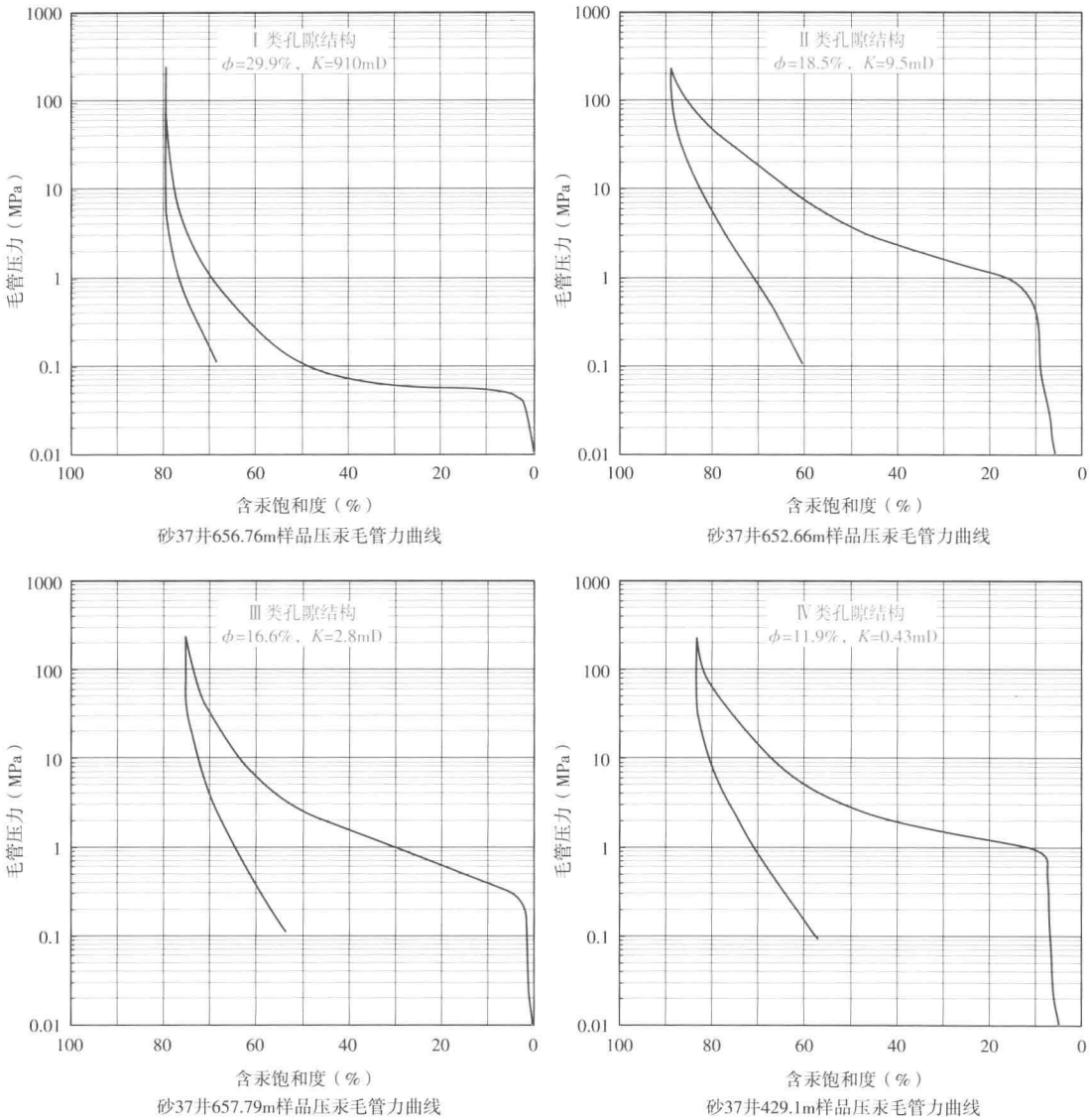


图 4 英东地区上油砂山组( $N_2^2$ )储层典型毛管压力曲线图

I 类孔隙结构:此类曲线形态以偏粗歪度为主,并且出现明显的平台,分选好,以粗孔隙为主,孔喉大小相对集中,具有较低的排驱压力、较低的中值压力、大的主流孔喉半径。

Ⅱ类孔隙结构:此类曲线以偏粗歪度为主,并且出现一近似平台,平台角度比Ⅰ类曲线大,说明分选相对较好,孔喉大小出现相对集中段,但特征参数为低排驱压力、低—中等的中值压力、中等中值半径、中等主流孔喉半径。此种类型曲线反映的储层储渗性能较好。

Ⅲ类孔隙结构:曲线向右上方靠拢,倾斜角度较大,基本无平台,为细歪度,分选一般,特征参数中排驱压力和中值压力变化相对较大,中值半径相对较小,主流孔喉半径相对较小。储层储渗性能中等。

Ⅳ类孔隙结构:曲线更向右上方靠拢,倾斜,无平台,为细歪度,分选较一般,曲线特征参数表现为排驱压力相对较大,中值半径较小,主流孔喉半径较小。储层储渗性能相对较差。

根据毛管压力曲线分布特征参数统计(表3),排驱压力0.03~4.3MPa,平均0.8MPa;饱和度中值压力0.08~30.2MPa,平均6.7MPa;最大连通孔喉半径0.2~21.3 $\mu\text{m}$ ,平均5.1 $\mu\text{m}$ ;饱和度中值半径0.1~8.9 $\mu\text{m}$ ,平均1.05 $\mu\text{m}$ ;退汞效率11.5%~49.2%,平均29.9%。整体上反映了孔隙喉道以中、细喉道为主,退汞效率中等。从各类储层孔隙结构的分布频率看,各类储层分布均匀,Ⅲ类孔隙结构储层最多,占31.6%,表明英东地区 $\text{N}_2^1$ 储层孔隙结构整体较好。

表3 英东地区上油砂山组( $\text{N}_2^1$ )储层孔隙结构分类参数统计表

| 分类 |    | 样品 | 孔隙度<br>(%) | 渗透率<br>(mD) | 排驱压力<br>(MPa) | $R_d$<br>( $\mu\text{m}$ ) | $S_{\text{Hgm}}$<br>(%) | $p_{50}$<br>(MPa) | $R_{50}$<br>( $\mu\text{m}$ ) | $W_e$<br>(%) |
|----|----|----|------------|-------------|---------------|----------------------------|-------------------------|-------------------|-------------------------------|--------------|
| Ⅰ  | 最大 | 4  | 29.9       | 1018        | 0.25          | 21.3                       | 84.1                    | 7.6               | 8.9                           | 24.4         |
|    | 最小 |    | 22         | 19.1        | 0.03          | 2.9                        | 66.7                    | 0.08              | 0.1                           | 11.5         |
|    | 平均 |    | 26.9       | 586         | 0.09          | 14.6                       | 73.6                    | 2.1               | 3.6                           | 18.4         |
| Ⅱ  | 最大 | 4  | 21         | 242         | 1.2           | 20.5                       | 89.6                    | 5.7               | 2.9                           | 34.2         |
|    | 最小 |    | 18.5       | 9.5         | 0.04          | 0.6                        | 77.2                    | 0.2               | 0.13                          | 15.7         |
|    | 平均 |    | 19.8       | 72          | 0.56          | 6.2                        | 83.9                    | 3.6               | 0.9                           | 27.6         |
| Ⅲ  | 最大 | 6  | 17.7       | 18.9        | 1.1           | 4                          | 94.1                    | 9.1               | 0.6                           | 35.5         |
|    | 最小 |    | 14.2       | 1.3         | 0.18          | 0.7                        | 74.6                    | 1.2               | 0.1                           | 21.8         |
|    | 平均 |    | 16.4       | 6.2         | 0.66          | 1.9                        | 84                      | 4.5               | 0.3                           | 31.6         |
| Ⅳ  | 最大 | 5  | 13.5       | 2.5         | 4.3           | 1.3                        | 85.6                    | 30.2              | 0.2                           | 49.2         |
|    | 最小 |    | 10         | 0.04        | 0.6           | 0.2                        | 69.9                    | 3.9               | 0.02                          | 31.8         |
|    | 平均 |    | 12         | 0.8         | 1.9           | 0.7                        | 78.2                    | 15.5              | 0.08                          | 39.3         |
| 平均 |    |    | 18.1       | 140         | 0.8           | 5.1                        | 80.3                    | 6.7               | 1.05                          | 29.9         |

注: $R_d$ 为最大连通孔喉半径, $S_{\text{Hgm}}$ 为最大进汞饱和度, $p_{50}$ 为饱和度中值压力, $R_{50}$ 为饱和度中值半径, $W_e$ 为退汞效率。

据砂37井 $\text{N}_2^1$ 岩心样品分析统计,孔隙度范围10.2%~32.8%,平均21.4%;岩心分析渗透率范围0.11~1501.6mD,平均210.02mD。

②下油砂山组( $\text{N}_2^1$ )。

根据油砂山油田下油砂山组储层毛管压力曲线特征来看,英东地区 $\text{N}_2^1$ 储层具有以下特征:

孔隙半径大小及分布:孔隙半径一般在0.1~225 $\mu\text{m}$ 之间,孔喉半径一般在0.59~4.8 $\mu\text{m}$ 之间,孔喉半径中值在0.4~0.3 $\mu\text{m}$ 之间,主要流动半径在0.4~10 $\mu\text{m}$ 之间。

油层孔喉的均质程度:孔隙分选系数为1.01~7.61之间,一般3~4;油层孔喉均质系数



0.37~0.67,平均0.52;歪度0.59~0.707,表示孔喉均为粗歪度,孔喉弯曲程度较小,对油田开发有利。

根据毛管压力曲线分布特征参数统计,整体上英东 $N_2^1$ 储层的排驱压力较低,一般小于1MPa,饱和度中值压力相对较低—中等,最大连通半径较粗,中值半径中等,退汞效率较好,整体上反映了孔隙喉道以微细、细喉道为主,孔隙结构整体好,分布均匀,属优质储层。

从油砂山油田下油砂山组( $N_2^1$ )储层孔隙度和渗透率分布直方图中可以看出,160块样品孔隙度变化范围4%~25%,峰值集中在14%~18%,平均为15.1%;渗透率变化范围0.1~1940mD,峰值集中在1~100mD,平均为66.4mD(图5)。

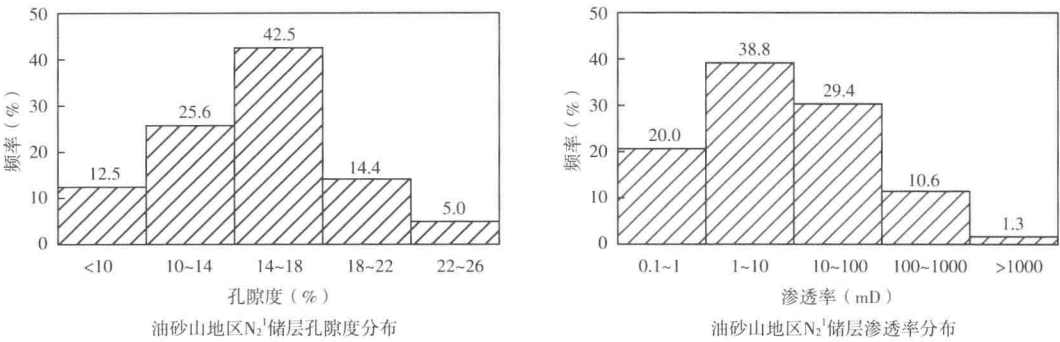


图5 英东地区下油砂山组( $N_2^1$ )孔隙度和渗透率分布直方图

据砂40井 $N_2^1$ 岩心样品分析统计,孔隙度在12.8%~25.1%之间,平均18.3%;渗透率范围1.5~54mD,平均13.8mD,储层物性好。

5. 生储盖组合条件

根据砂37井油气水分布关系,结合储层与盖层组合特征,将上油砂山组( $N_2^2$ )油气藏划分为7个油层组,下油砂山组( $N_2^1$ )油藏划分为5个油层组。

综合各方面资料分析,英东一号存在 $N_2^2$ 气藏、 $N_2^2$ 油藏及 $N_2^1$ 油藏,皆为受构造圈闭条件控制的层状构造油(气)藏(表4)。

表4 英东一号构造油气藏类型表

| 构造   | 层位      | 油气藏类型 | 油层组 |
|------|---------|-------|-----|
| 英东一号 | $N_2^2$ | 层状构造  | Ⅲ-Ⅶ |
|      |         | 层状构造  | Ⅲ-Ⅶ |
|      | $N_2^1$ | 层状构造  | I-V |

英东一号构造紧邻英雄岭生油凹陷,属凹中之隆,油源条件充足,具有非常优越的油源条件。该区主要发育上油砂山组( $N_2^2$ )、下油砂山组( $N_2^1$ )和上干柴沟组( $N_1$ )多套碎屑岩储层;储层总的特点是呈上粗下细,上红下灰反旋回沉积。 $N_2^2$ 和 $N_2^1$ 发育多套盖层,岩性以棕黄色、棕红色泥岩为主。 $N_1$ 以下主要发育暗色泥岩,为生油层。上中下形成一套完整的生储盖组合,具有良好的成藏条件,是勘探的有利目标。

## 6. 勘探目标优选及勘探部署

### 1) 勘探目标优选

经过英东地区地质条件综合分析、评价、论证认为,英东地区油砂山、英东一号构造等中浅层圈闭较落实,油源充足且具有良好的生储盖组合。同时通过对该区油评1井、砂深19井、砂33井、砂34井、砂新1井、砂新2井、北参1井等老井复查分析认为,这些老井钻探中见到良好油气显示,测井解释出油气层,其中砂33井、砂34井试油获得油气流,说明油气层有东扩的趋势。评价认为,该带具有良好的勘探前景,因此通过目标优选,认为英东一号高点背斜、二号断背斜、三号断鼻构造为中浅层下步勘探较为有利的目标。

### 2) 勘探部署及英东油气田的发现

为开辟英东地区中浅层勘探的新领域,2010年4月建议在英东一号高点背斜、二号断背斜、三号断鼻构造较高部位部署钻探砂37井、砂38井、砂39井三口探井。

砂37井完钻井深1251m,钻探中油气显示极为活跃,共见气测异常136层,全烃最高60.2%。井段1185~1187m,  $N_2^1$ ,槽面见20%针孔状气泡、5%星点状油花。岩性:灰色荧光细砂岩。含油试验:湿干照暗黄色、正己烷浸泡无色、灯下浅乳白色。取心进尺84.13m,心长80.66m,收获率97.05%,含油岩心长19.3m。其中富含油2.59m,油浸4.74m,油斑5.04m,油迹4.81m,荧光1.45m。

砂37井测井共解释79个油层(171.5m),7个油水层(19.8m),1个含油水层(4.5m)。

砂37井完井后经测试于  $N_2^1$  及  $N_2^2$  多个层组获得高产工业油气流,揭示英东一号构造具有很好的含油气性,英东地区油气勘探前景良好。

在构造较高部位部署钻探的砂40井完钻井深2010m;钻探中油气显示良好,共见气测异常216层(577.1m),全烃最高78.53%。井段1299~1308.5m,  $N_2^1$ ,槽面见20%针孔状气泡、10%条带状油花。岩性:棕黄色油斑细砂岩。取心进尺120.10m,心长112.24m,收获率93.5%,含油岩心长47.96m。其中油浸24.92m,油斑11.26m,油迹6.39m,荧光5.39m。砂40井测井共解释出与油气有关的157层(309.98m)。

2010年10月已申报英雄岭油田英东一号  $N_2^1 - N_2^2$  油气藏,预测叠合含油气面积  $8.1\text{km}^2$ ,预测石油地质储量  $10641 \times 10^4\text{t}$ ,预测天然气地质储量  $103 \times 10^8\text{m}^3$ 。

砂37井、砂40井成为青海油田历史上钻遇油层最多、油层最厚的井。砂37井、砂40井的成功钻探,为青海油田进一步探明柴达木盆地西部坳陷区油砂山一大乌斯构造带的含油气性提供了可靠依据,即英东一号构造油气预测地质储量已经达到亿吨级以上,更重要的是砂37井、砂40井的钻探成功发现了英东一号油气田,实现了英雄岭地区勘探的大突破,也为青海油田实现千万吨级大油田的目标打下了坚实的基础。