

朝阳沟油田 注水开发技术研究

CHAO YANG GOU
YOU TIAN
ZHU SHUI KAI FA
JI SHU YAN JIU

石波 编著



石油工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

朝阳沟油田注水开发技术研究 / 石波编著.

北京: 石油工业出版社, 2007.11

ISBN 978-7-5021-6311-2

I. 朝…

II. 石…

III. 油田注水-油田开发-研究-大庆市

IV. TE357.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 166685 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.cn

发行部: (010) 64210392

经 销: 全国新华书店

印 刷: 河北天普润印刷厂

2007 年 11 月第 1 版 2007 年 11 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本: 1/16 印张: 10

字数: 256 千字 印数: 1—900 册

定价: 30.00 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

前 言

朝阳沟油田是一个受断层、构造、岩性多种因素控制的复合型特低渗透率油田。经过 22 年的开发,在油田地质研究和油田分类开发技术研究方面积累了丰富的实践经验,总结了一整套的油田地质研究方法和三低(低渗、低产、低丰度)油田的注水开发技术,对朝阳沟油田的持续稳产起到了重要的保证作用。

在油田地质研究方面,针对油田开发的主要目的层——扶余油层的沉积特征、油层发育史、油田构造和断层特征等进行了细致的研究,明确了扶余油层为陆相河流相为主、砂体不稳定、非均质性强的特低渗透率油田。其断层大部分为同生断层,断层封闭性较好,相邻断块的油水界面高度相差悬殊,具多水动力系统,具有大面积的油水过渡带,局部地区存在气层,说明了朝阳沟油田的油、气、水分布在构造因素控制下,主要受砂体分布和断层制约。

朝阳沟油田裂缝比较发育,通过多种方法研究了裂缝的分布规律、人工裂缝(压裂)与天然裂缝的关系、裂缝的发育方向和几何形态等,确定了朝阳沟油田构造轴部主要裂缝的方向为近东西向,约 85° 。构造翼部(主要翻身屯地区)储层裂缝以近南北向(北东 10°)为主,东西向为辅,裂缝发育形态以垂直裂缝和斜交裂缝为主。通过对储层裂缝研究,为油田开发方案部署和注采系统调整提供了科学依据。

本书还对朝阳沟油田砂岩储集层的岩石矿物特征、储集空间、孔隙结构特征、扶余油层微相模式、典型区块的精细地质研究在油田开发中的应用及油、气、水分布规律进行了详细研究,确立了朝阳沟油田纯油区小,大部分为油水过渡带,长春岭以含气带为主,中间大榆树及薄荷台西南地区以油水同层为主的岩性油藏带,构成了朝长阶地自西北向东南的斜坡岩性过渡带、岩性一背斜、岩性断块油藏、岩性油水同层油藏带、岩性气藏带的油、气、水宏观分布特征。

朝阳沟油田从构造轴部到翼部,储层与原油物性、裂缝发育程度与断层密度都存在很大差异,不同区块开发效果明显不同。为实现区块分类管理、分类研究与分类治理,按照储层与原油物性、裂缝与断层发育程度以及注水开发状况,将开发区块划分为三类。

一类区块储层裂缝发育,基质渗透率大于 15mD,通过储层裂缝研究,实施现状注水、油井重复压裂和注水综合调整措施,同时大力开展周期注水、深度调剖、水井转抽和微生物采油技术的研究与应用,逐步形成了一套裂缝性低渗透率油藏的注水开发技术,获得了较好的开发效果,预计可将采收率提高到 25% 以上。

二类区块砂体分布面积小,在 300m 井距下井网水驱控制程度低,由于储层渗透率低,油水井间难以建立有效驱动体系;同时井排方向与裂缝走向不匹配,致使油田开发效果较差。近年来针对上述问题,开展了井网加密调整技术研究,在朝 55 区块开展了井网加密调整试验,在此基础上逐步扩大加密规模,形成了一套裂缝性低渗透油藏井网加密调整技术。同时开展了热力采油技术的研究与应用,改善了二类区块开发效果,预计通过上述技术措施,可将二类区块采收率提高到 20% 以上。

三类区块处在构造翼部,储层与原油物性较差,砂体规模小,井网水驱控制程度不到 70%,开发效果较差。为了改善三类区块的开发效果,开展了有效驱动体系与井区细分研究

工作，先后在朝 631 区块与朝 31 区块开展了不同井距井网加密效果试验。结果表明，将井距缩小到 150m 到 105m，可以使三类区块一、二类井区开发效果得到明显改善，预计可将三类区块采油速度提高到 0.4% 以上。

朝阳沟油田的开发建设为大庆油田的长期稳定作出了贡献，同时也探索总结出了一套适合油田自身特点的开发管理模式和技术经验。实践表明，这套管理模式开发技术是成功的，对提高油田开发效果和经济效益发挥了重要作用，可为同类油田的开发提供借鉴与参考。

由于作者水平所限，文中难免会存在某些不足之处，恳请读者批评指正。

作 者

二〇〇七年元月

目 录

第一章 朝阳沟油田概况	(1)
第二章 朝阳沟油田地质特征	(3)
第一节 油层沉积特征	(3)
第二节 油田构造特征	(4)
一、构造形态特征	(4)
二、断层分布特征	(4)
三、储层裂缝发育特征	(10)
第三节 油田砂岩储集层特征	(20)
一、岩石矿物特征	(20)
二、储集空间	(25)
三、孔隙结构特征	(30)
四、砂岩矿物特征及影响因素	(39)
第四节 储层精细描述	(49)
一、扶余油层相模式分析	(49)
二、典型区块研究	(53)
第五节 油水分布特征研究	(67)
一、油水分布研究	(67)
二、大榆树地区油水分布研究	(68)
三、扩边区块优选评价	(69)
第三章 油田区块分类开发技术研究	(77)
第一节 开发区块的分类	(77)
一、油田地质与开发特征	(77)
二、油田区块分类标准与划分结果	(78)
三、各类区块开发中存在的问题	(80)
第二节 一类区块开发技术研究	(83)
一、剩余油分布与挖潜方法研究	(83)
二、周期注水技术研究与应用	(87)

三、深度调剖技术研究与应用	(91)
四、注水井转抽技术	(98)
五、微生物吞吐采油技术.....	(112)
第三节 二类区块开发技术研究.....	(121)
一、井网加密技术研究.....	(121)
二、注采系统调整技术.....	(133)
三、蒸汽吞吐采油技术.....	(135)
第四节 三类区块开发技术研究.....	(145)
一、三类区块开发技术研究.....	(145)
二、三类区块加密潜力研究.....	(149)
三、提捞采油技术.....	(150)
参考文献.....	(154)

第一章 朝阳沟油田概况

朝阳沟油田位于松辽盆地中央坳陷区朝阳沟阶地及长春岭背斜带上，油田中心距大庆市 100km，距哈尔滨 70km（图 1-1）。油田由朝阳沟背斜、翻身屯背斜、薄荷台和大榆树两个鼻状构造组成，构成了长约 50km，宽 5~20km 的油田主体，含油面积 234.6km²，地质储量 1.6483×10^8 t。

朝阳沟油田是一个受断层、构造、岩性多种因素控制的复合型特低渗透率油藏，具有大面积的油水过渡带，局部地区还存在气层。

在 300 多平方千米的含油面积内构造圈闭面积仅有 106.6km²，占含油面积的 32.5%，其他 67.5% 的含油范围主要受岩性和断层控制，纯油区小，大部分为油水过渡带。

油田内断层密布，在 T₂ 地震构造图上发现断层 242 条，断层平面延伸方向主要为南北向的正断层，断距一般为 60~80m，最大可达 150m，延伸长度一般 5~7km，最长可达 10~15km。

朝阳沟油田开发的主要目的层为扶余油层，属白垩系松花江群泉头组泉三段中上部和泉四段。顶界埋藏深度约 800~1260m，地层厚度 240~260m。扶余油层属于特低渗透性储层，井点平均空气渗透率只有 5.0~30.1mD，平均有效孔隙度为 14.77%~17.77%。朝阳沟油田扶余油田是大庆长垣东部扶余、杨大城子油层特低渗透性储层的典型代表。其开发效果的好坏，无疑影响着大庆长垣东部其他油田的开发。因此，深入研究朝阳沟油田扶余油层的开发地质特征及油水运动规律具有重要的实际意义。

扶余油层为一套不等粒混杂型碎屑硬砂质长石砂岩，平均粒度中值 0.107mm，其中石英占 30%、长石占 34%、岩屑占 25%，胶结物以泥质为主，含量平均为 14.08%，黏土矿物中蒙脱石—绿泥石混合层占 40.7%，有的地区高达 60%~70%。

室内实验表明，储层的润湿性属中性，吸油量和吸水量都不超过 5%。油层原油物性较差，而且在不同构造部位，不同的区块有着明显的差异。地面原油密度 0.85~0.88g/cm³，黏度 20~120mPa·s，凝固点 25~43℃，含蜡量 15.5%~29.8%，含胶量 10.8%~27.7%，沥青质 1.6%~9.7%，有效厚度的物性下限为 0.5mD，饱和压力为 6.8MPa，原始地层压力 8.4MPa，平均有效厚度 8.8m、5.14 层，油井的自然产能每天只有几十至几百千克，必须经压裂抽油投产。

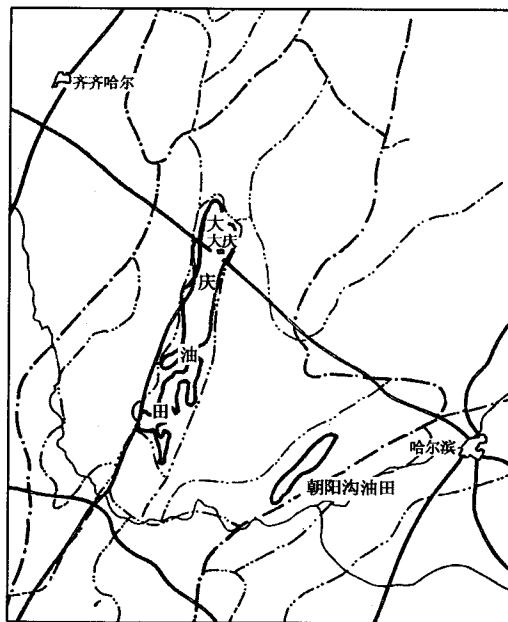


图 1-1 朝阳沟油田区域位置图

朝阳沟油田在勘探过程中发现，储层中发育近似水平延伸的大量微细层理缝、层面缝。在 37 口井的 870m 岩心中发现 113 条构造缝，分布密度达到 0.13 条/m，这种发育程度在大庆油区已开发油田中是没有先例的。这些构造缝或与层面斜交、或在岩心中直劈多层、或成组平行出现，或网状交叉，一般缝长 20~40cm，最长 160cm。裂缝分布受区域性地应力的控制具有明显的方向性。

通过从构造、断层与裂缝生成关系的理论分析认为，主要裂缝的分布方向为近东西向，约 85°。朝阳沟油田从 1985 年开辟注水开发试验区，1987 年开始分区块投入开发，到目前已经投产 4144 口油水井，动用面积 234.6km²，动用储量 16483.62×10⁴t，年产能力达到百万吨水平，是大庆油田稳产的重要战略补给地区。

第二章 朝阳沟油田地质特征

第一节 油层沉积特征

本区所处的构造位置决定了其沉积特点，而构造的演化特点又决定了其沉积演化特征。扶余油层沉积时期正处于松辽盆地由断陷向坳陷发展的过渡时期，即盆地大规模沉降的前期，在以沉降为背景的振荡运动控制下，具有较快的沉积速率，视沉积速率约为 71.2m/106 年（程学儒，1981）。此时期该地区具有独特的古地貌、古地形，东南高、西北低，地层厚度由东南至西北由薄变厚。同时区内出现 3 个古地形高区，从而形成东西两支河流系统。在两支水流流经地带，砂岩相对发育，沉积了一套以河流—三角洲为主的沉积。

扶余油层沉积时期，盆地周边剥蚀区发育的六大水系向盆地中心汇聚形成六个沉积体系，其砂岩发育状况、延伸方向、影响范围及重矿物组合特征均有所差异（表 2-1）。本区扶余油层沉积时期东南怀德—九台地区上升幅度增强，剥蚀强烈，成为朝长地区的主要物源区。重矿物组合：石榴子石（30%~50%）—锆石（20%~30%），与怀德—九台沉积体系一致。

表 2-1 松辽盆地扶余油层沉积体系特征表

序号	体系名称	向盆地中心 延伸方向	主砂岩带厚度 (m)	重矿物组合类型	影响范围
I	北部沉积体系	南	20~40	磁铁矿—绿帘石	长垣及古龙地区
II	齐齐哈尔沉积体系	东南	20~35	锆石—磁铁矿	西部斜坡区
III	英台沉积体系	东	20~30	锆石—磁铁矿	古龙及以西地区
IV	保康沉积体系	东北	40~60	磁铁矿—锆石	乾安新立扶余地区
V	怀德九台沉积体系	偏西北	15~20	石榴子石—锆石	朝长—三肇地区
VI	望奎青岗沉积体系	西南	20~40	锆石—磁铁矿	三肇地区

本区扶余油层沉积环境在早、中期为干旱性、季节性河流沉积，晚期为三角洲相—滨浅湖相沉积。通过对朝 45 等井的岩心观察，证实扶余油层沉积早、中期砂岩为具有正韵律组合的多个小正旋回组成的一个稳定的正旋回。每个旋回层中滞流层（泥砾）和河流相层理为递变序列（高角度直线斜层理或槽状交错层理—低角度直线斜层理—水平层理或微细交错层理），可重复出现；泥岩中普遍见有钙质团块、钙砾等钙积物，从 C—M 图和概率累计曲线特征，可进一步证实为曲流河相沉积。扶余油层沉积中、晚期为以正旋回为主的一套灰绿色杂紫红色泥岩与砂岩组合，砂岩具有微细交错层理，泥岩中见结晶黄铁矿、钙质团块，为三角洲分流平原相沉积。扶余油层顶部为一套黑色、灰绿色泥岩和薄层砂岩的组合，含有介形虫、叶肢介、碎屑，为湖沼相及滨浅湖相沉积。经探井、资料井以及开发井资料证实，扶余油层砂岩呈带状、透镜状富集，平均单层有效厚度约为 9m。其分布受古地形影响，总趋势

是在构造轴部厚，翼部薄，砂体宽度在 600m 左右，延伸长度为 2000~12500m。

第二节 油田构造特征

一、构造形态特征

朝阳沟油田位于松辽盆地中央坳陷区东部朝阳沟阶地及长春岭背斜带上，地跨黑龙江省肇东、肇州及肇源三（市）县。

朝阳沟油田由 4 个三级正向构造组成。它们是位于朝阳沟阶地上的朝阳沟背斜、翻身屯背斜、薄荷台鼻状构造和位于长春岭背斜带上的大榆树鼻状构造。朝阳沟、翻身屯、薄荷台 3 个主要构造自东北向西南依次相连，构成了油田主体。整个构造东北高而西南低，西北陡而东南缓。薄荷台和大榆树分别是西南和东南单斜上的一个不明显的鼻状构造。

朝阳沟背斜为轴向东北—西南的短轴背斜，西翼陡，东翼缓，构造闭合高度为 175m，闭合等高线为海拔 -800m。地震精查表明，在含油层面积内的 T_2 地震标准层（相当于泉四段顶面，即扶余油层顶面）上共发现断层 166 条，这些断层切割构造，形成了 67 个局部高点及多个断块。断块面积大小不等，最大的朝 4 和朝 44 井断块，面积达 10 多平方千米；最小的朝 2 井东侧断块，面积仅 0.2km²。翻身屯背斜位于朝阳沟背斜的西南部，实际上是朝阳沟背斜的延伸部分，只是由于断裂作用使其降低，单独形成一个三级构造。构造闭合高度为 75m，闭合等高线为 -875m。在闭合面积内共有断层 11 条，被切割成 5 个近南北展布的断块，形成地垒、地堑、断阶，是一个被断层复杂化的短轴背斜。

薄荷台鼻状构造在翻身屯构造的西南部，是朝阳沟阶地向三肇凹陷倾没的斜坡上一个宽缓的鼻状构造。它由东南向西北倾没，构造隆起幅度很小，但是面积较大，构造的主体部位被 10 条近南北向断层切割，形成地垒、地堑相间的断裂鼻状构造。

大榆树鼻状构造发育在朝阳沟构造的南部，与朝阳沟构造的东南翼以鞍部相连接，是长春岭背斜带西北翼向鞍部倾没的斜坡上一鼻状构造。区内有 12 条断层，构造顶部断裂发育，因断裂切割而形成断裂鼻状构造。

二、断层分布特征

1. 总体特征

在朝阳沟油田 T_2 反射层的含油面积内，地震共发现 242 条断层，是大庆油区已发现的 20 多个油气田中，断层分布密度最高的油田，平均 0.74 条/km²。这些断层中除少数几条是从基底（ T_5 ）通过扶余油层一直断裂到浅部（ T_1 ）的继承大断裂外，多数是在 T_3 、 T_2-2 、 T_2 同时发育的，部分可追溯到 T_1 ，大部分只在 T_2-2 和 T_2 层发育，即扶余油层内发育。断层平面延伸方向主要为南北向，北西向和北东向的依次减少。断层的性质均为正断层，断距一般 60~70m，最大可达 150m。延伸长度一般 5~7km，最长可达 10~15km。延伸较长的断层纵向上也多为可以向下延伸到 T_3 的较深断层，一般深部断距大，浅部断距小，因此，又具同沉积性质。整个构造被这些南北向断裂带横切成了一个个相间排列的地堑、地垒。地堑内断层大多呈反“S”形左行排列，延伸长度一般 3~4km，地垒上的断层则较稀少。区内这些断层或交叉切割，或相互平行，形成了多个断块，油田地质情况十分复杂。

首先表现在全油田没有统一的油气、油水界面，界面深度最大相差约 500m（朝 87 井—

1250m, 朝 35 井 - 735m)。具体特点为:

(1) 相邻断块油水界面不同, 随断块埋藏深度加深, 其油水界面加深。

(2) 同一断块构造两翼油水界面不同, 东翼高、西翼低; 同一断块同一翼, 油水界面随油层埋藏深度加深而加深。

(3) 朝阳沟、翻身屯两个背斜构造区内, 油水界面深度大大超过构造圈闭深度 - 800 ~ - 875m。在有些地方若将断层下降盘恢复到断开以前, 则可发现其油水界面大体一致, 证明在这些地方, 界面的差异是由于油气聚集之后, 构造又被断开, 上下盘之间产生落差造成的。

其次表现在油藏圈闭类型多样。由于构造、断层、岩性 3 种圈闭条件在不同地方的不同组合, 整个油田共可划分为 4 种复合圈闭的油藏:

(1) 岩性一构造油藏。朝阳沟区扶余油层顶面构造图上, - 800m 构造闭合面积内的大部分探井、资料井, 纯含油底界都深于 - 800m, 超出构造溢出点的油气则被岩性圈闭在较低的部位。朝阳沟区的主体及翻身屯区属此类型。

(2) 断块油藏。朝阳沟油田东北部, 断裂将构造切割成地堑、地垒, 形成一些封闭较好的阶梯状断块, 在断块的高部位聚集油气, 形成各自独立的断块油藏, 朝 55、朝 53 井断块属此类型。

(3) 岩性一断层遮挡油藏: 薄荷台区为一单斜构造, 该区处于朝长地区西支水系砂岩富集带上, 东北一西南向的条带状砂体与北西一南东向的断裂配合, 形成岩性一断层遮挡油气藏。

(4) 岩性上倾尖灭油藏: 在构造的翼部或西斜坡地带, 处于油气运移通道上的窄条状砂体向着油源延伸, 捕集条件优于构造轴部, 形成了岩性油藏。如朝 39、朝 32、朝 65 井区。

综上所述, 朝阳沟油田扶余油层的断层是十分发育的。这些断层对控制油气聚集起着重要作用, 尤其是南北向延伸较长的断层因具同沉积性质, 因此又控制着扶余油层的沉积和砂体分布。详细研究这些断层的性质、井下识别方法和封闭性对于提高油层对比的准确性、搞清砂体分布及其连通性, 以及油水分布规律具有重要的理论和实际意义。

2. 井下断层识别方法

断裂活动将引起一系列地层与构造的变化, 也将改变油气层的埋藏条件, 引起流体性质和压力的变异。下面叙述几种井下断层的识别方法。

1) 井下地层的重复与缺失

将单井综合解释的地层剖面与该区的综合柱状剖面对比, 可以确定井剖面上地层的重复或缺失, 以及同层厚度的急剧增厚或减薄。在地层倾角小于断层面倾角的情况下, 钻遇正断层地层缺失, 钻遇逆断层地层重复 (图 2-1)。反之, 当断层面倾向与地层倾向一致, 且地层倾角大于断层面倾角的情况下, 穿过正断层地层重复, 穿过逆断层地层缺失。如图 2-1 所示, 在地层倾角小于断层面倾角的情况下, 2 井是钻遇全部 1~8 层的正常地层剖面, 1 井与正常剖面相比, 缺失 6 层下部、5 层及 4 层上部, 可判断 1 井钻遇了正断层。3 井与正常剖面相比, 从正常剖面 1 层

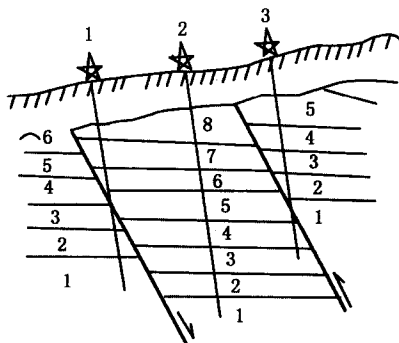


图 2-1 断层产生的地层重复与缺失示意图

上部开始重复5层下部、4层、3层、2层和1层上部地层，可以判断3井钻遇了逆断层。

利用井下地层重复或缺失来识别断层时，首先必须详细研究该区的地质综合柱状剖面，搞清各层的厚度变化范围及其在平面上的变化趋势，其次搞清研究区的区域构造背景，利用地震资料研究断层的性质、断层面的倾向、倾角与地层倾角、倾角之间的关系。朝阳沟油田扶余油层虽然断层十分发育，但断层性质均为正断层，且断层面倾角较大，远大于地层倾角，因此，钻遇断层的井均有地层缺失。另外，由于南北向延伸较长，发育时期也较长的断层具有同生性质，因此，同层厚度上盘要比下盘大，如朝78-56井~朝78-64井油层对比剖面横过两条同生断层，分别位于朝78-58井与朝78-60井之间和朝78-62井与朝78-64井之间，朝78-60井与朝78-64井分别位于两条同生断层的下降盘，其扶余油层地层厚度明显大于上升盘地层厚度（朝78-58井和朝78-62井）。在进行细致的油层对比之前掌握断层的这些特征，对于识别断层、搞清油层对比的精度具有重要的意义。

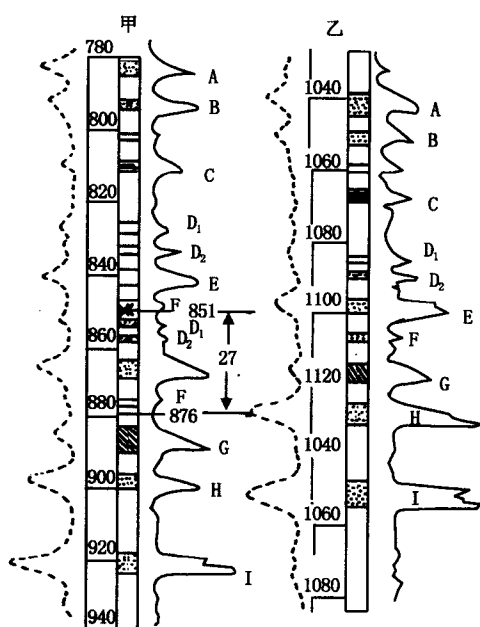


图2-2 断点的确定

确定了井下断层性质之后，还要进一步确定断点井深及断距大小。如图2-2所示，乙井是正常剖面，甲井剖面中的D₁、D₂、E、F地层重复，表明它钻遇了逆断层，断点在第一次出现的F层底界，井深为851m。两次出现的F层底界之差（878~851m），是重复地层的钻厚，为27m。如果是铅直井，此厚度就是地层铅直断距。正断层断点确定方法与此相同，缺失层段的起始点即为断点。如果是铅直井，缺失层段的厚度为铅直断距。

值得注意的是，在油田进入开发阶段以后，随着油层划分和对比精细程度的提高，再与该区的综合柱状剖面对比已不能满足油气田开发的需要。实际上，此时的油层对比，是利用一条或几条有代表性的测井曲线，先在全区统层进行油层划分，然后将统好层的小层界限划到一口或几口标准井上，在利用标准层控制大层段的厚度变化趋势后，从标准井出发进行

对比。因此，在识别出断点和断层性质之后，其断距确定是与邻井对比得来的。因为各层厚度在各井是变化的，同一口钻遇断层的井与周围邻井对比时将得出同一断点深度而断距不同的结论。因此，在确定出断点深度后还要注明与××井对比断距多少。

2) 在短距离内，同层厚度突变

地层部分重复或缺失造成的同层厚度突变，如图2-3所示。这种因断层造成的同层厚度突变常常发生在断距较小，使同一层地层没有完全错开的情况下，利用这种方法识别断层时还要注意区分沉积条件的突然变化造成的同层厚度突变，尤其是位于同生断层两盘的井更要慎重识别在油层对比层段内有无断点存在，以及断距的大小。

3) 在近距离内，标准层海拔高程相差悬殊

断层从井间通过时常造成相邻两井的同一标准层海拔高程相差悬殊（图2-4），利用此特点即可间接推断井下断层的存在。再结合地震研究成果（构造图等），并注意区分单斜

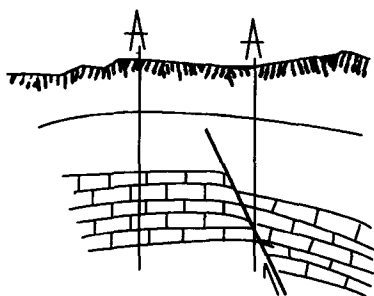


图 2-3 因断层而出现的同层厚度异常示意图

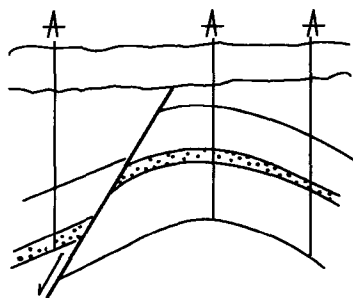


图 2-4 因断层引起的标准层标高相差悬殊示意图

地层挠曲造成的这种现象，就可以准确地将井下断层判断出来。

4) 石油性质的变异

由于断层的切割，同一油层成为互不连通的断块。各断块中的油气是在不同地球化学条件下聚集并保存起来的，因而石油性质常出现明显差异。利用此特点即可间接推断井下断层的存在。如图 2-5 所示，同一油层的石油相对密度、含胶量和含蜡量曲线在断层两侧有明显的差异。

5) 折算压力和油水界面的差异

由于断层的切割作用，使其两侧的油层处于不同深度，互不连通，各自形成独立的压力系统。同一压力系统中，压力互相传导，直至平衡。因此，各井油层折算压力相等；而不同压力系统，其折算压力完全不同（图 2-6）。同理，油水界面的高程在断层两侧也是完全不同的。

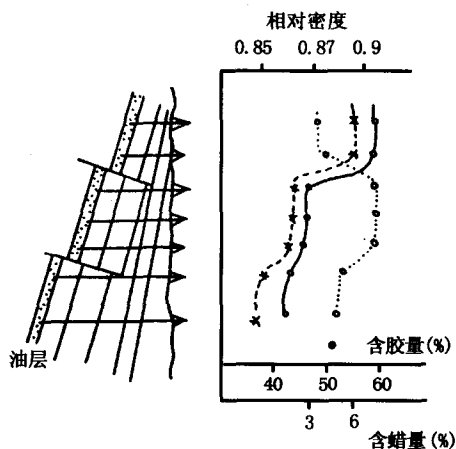


图 2-5 断层引起石油性质变异示意图

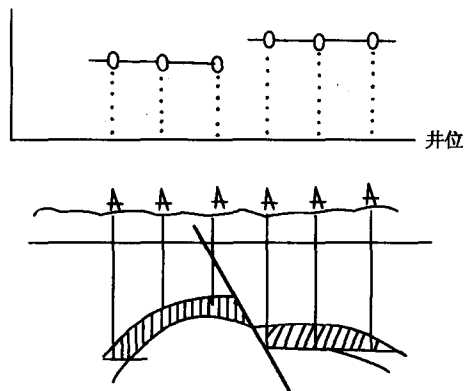


图 2-6 断层造成折算压力差异示意图

6) 利用地层倾斜测井矢量图识别断层

由于断裂作用，使断层上、下盘地层产状变异，在倾斜矢量图上表现出明显的差异。构造力使岩石破裂，在断层面附近形成破碎带，在倾斜矢量图上呈现杂乱模式或空白带；构造应力的作用，通常在断层附近发生牵引现象，使局部地层变陡或变缓。根据倾斜矢量图的变异特征，可以比较准确地确定断点位置、断层走向及断面产状（图 2-7）。

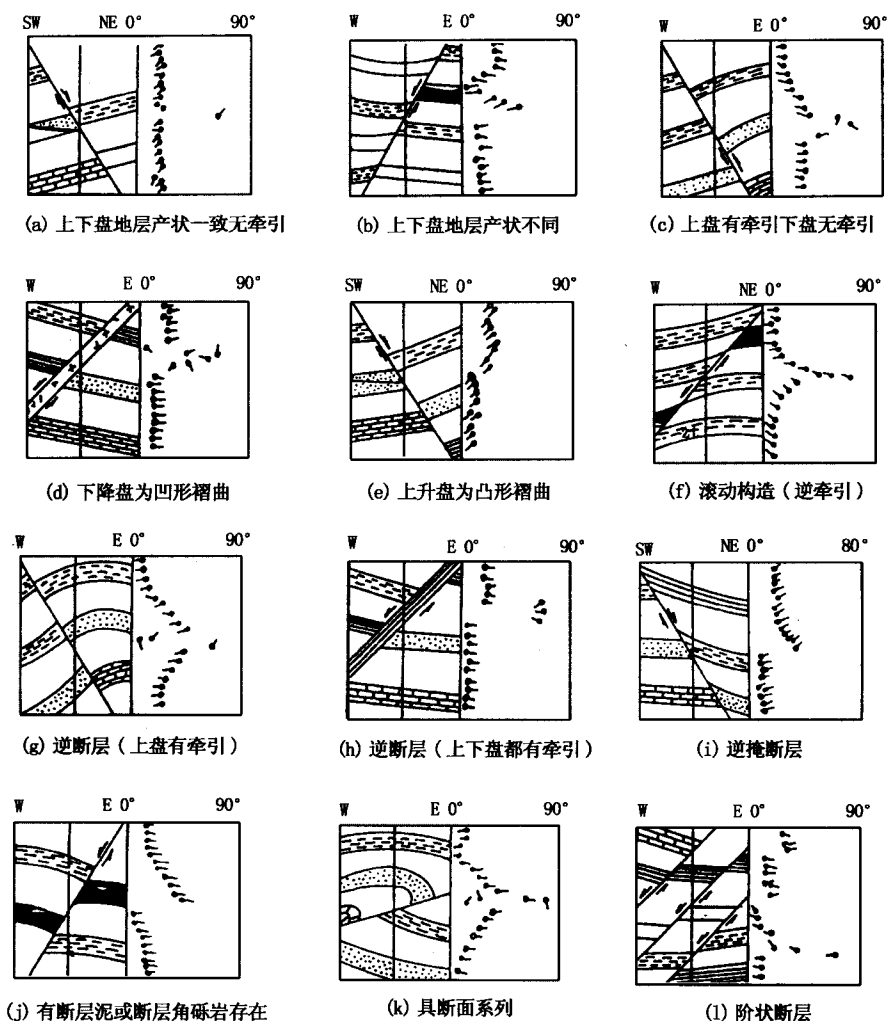


图 2-7 不同类型断层的倾斜矢量特征图
(据 Schlumberger, 1970; 引自陈碧珏, 1987)

在利用地层倾斜矢量图判断断层时，通常把断层走向看成与被牵引部分地层倾向相垂直。断层倾向可根据地质特点予以推断。一般同生断层按逆牵引解释，非同生断层按正牵引处理。一般正牵引的地层倾向与断层面倾向一致，牵引处的最大倾角接近于断层面的倾角。

综上所述可以看出，在油田进入开发阶段后，利用测井资料识别井下断层最常用的是前三种方法，尤其是井下地层重复或缺失是判断断层存在的最直接、最可靠的方法。

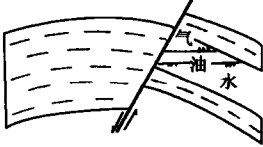
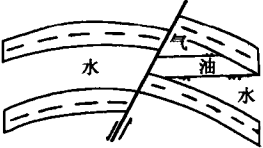
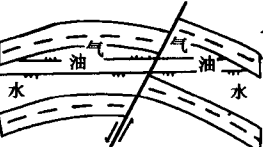
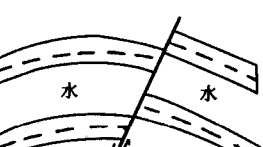
3. 断层封闭性的研究

断层是控制油气分布的重要因素之一。有些断层能阻挡油气运移，成为油气圈闭与保存的条件，成为开发区的天然边界；有些可成为油气运移的通道，或注水开发时的水窜通路。即使是同一条断层在它形成的早期是开启性的，在其后期由于上覆地层的压实或其他作用而转化为封闭性的了。因此，研究断层的封闭性，无论在理论上还是在油气勘探开发的实践中都是十分重要的。

断层面两侧的岩石条件是断层具封闭性的基础。断层两侧为渗透性层与非渗透性层接触，通常认为是封闭性断层。

Smith(1980)曾根据断面两侧相对应的岩性、油气水的分布状况,对断层的封闭性做了比较概括的分析,讨论了垂向上和侧向上的封闭特点以及造成封闭或不封闭的原因(表2-2)。

表 2-2 正断层两侧封闭和不封闭的条件 (据 Smith, 1980; 引自王燮培等, 1990)

假想条件	垂直运移	侧向运移	示意图
断层处砂岩和页岩相对, 油气和页岩对接	封闭	封闭储集层和断层相邻接的物质, 可能是页岩层或者断裂带上的物质 (断层左侧为页岩)	
砂岩和砂岩相对, 油气和水相接	封闭	封闭可能是由于两侧砂岩的排替压力差, 或者是由于新断裂带物质的排替压力高于砂岩的排替压力所致	
砂岩和砂岩相对, 统一含油, 具有统一的油水界面	封闭	不封闭, 断层很可能是不封闭的, 储集性能不同的含油层被运移者的油气充满恰到同一个高度	
砂岩对着砂岩, 油水界面高程不同	封闭	不肯定, 如果油水界面的高程差是由于对接的砂岩毛细管性质上的差异造成的, 则断层是不封闭的, 否则是封闭性的	
砂岩对着砂岩, 具有统一的油水界面, 但油水界面不统一	封闭	不封闭, 断层很少有可能是封闭的, 储集性能不同的油层被运移者的天然气充满恰到同一高度	
砂岩和砂岩相对, 断层两侧油气和油水界面的高程都不相同	封闭	封闭, 油—水、气—水界面都不相同说明沿断层存在着边界的断裂带物质	
砂岩和砂岩相对, 水和水相接	不肯定	不肯定	

从表 2-2 中可以看出,在有盖层存在的条件下,垂向上断层基本上都是封闭的,问题主要在于侧向封闭性,“砂岩不见面”固然是最优越的条件,但是即使砂岩和砂岩相对,当两盘砂岩排替压力差异或者砂岩和断裂带上的物质排替压力,则断层是封闭的;反之,断层就不封闭了。

同生断层常常具有良好的封闭性,这是因为沉积和断裂同时发生,断裂活动使尚未压实固结的半塑性状态的泥质层沿断面或破裂带发生塑性流动,在断面处形成不渗透的天然屏障。

M.A.Jackson 根据墨西哥湾某些油藏的分析认为:断裂活动中,强烈的剪切可使砂、页岩受挤压而嵌入断层泥岩中,使断层面的不均一性增强,封闭性提高。如果断裂带下降盘上地层页岩含量超过 25%,所产生的不均一性可能提高断层的封闭性,阻止流体穿过断裂带。

朝阳沟油田扶余油层的断层大部分为同生断层,而且在地层剖面上泥岩含量远远大于砂岩含量。因此,断层封闭性均较好。这可以从相邻断块的油水界面高度相差悬殊,具有多个水动力系统得到验证。正因为如此,决定了朝阳沟油田的油气分布主要受砂体分布控制。

三、储层裂缝发育特征

1. 朝阳沟油田轴部地区储层裂缝分布规律研究

1) 钻井过程中通过地层倾角测试研究储层裂缝方位

根据地质力学的理论,储层构造缝是受构造应力的作用产生的,不同构造部位,受力不同,因而裂缝的发育程度也不同,岩层弯曲越厉害的部位,主曲率越大,因而裂缝越发育,根据油层顶界海拔深度,在计算机上求出构造上各点的主曲率进行趋势分析,趋势的分析结果表明裂缝发育区主要在构造轴部,主曲率值在 5~15.5 之间。构造翼部主曲率值在 0~3,与轴部相比,差别很大。

为了预测裂缝发育方向,在构造轴部裂缝发育区,我们利用钻井完钻后倾角测井资料定量地研究储层裂缝的主要发育方位,获得成功。

在钻井过程中,由于钻头不规则的振动,造成井眼的不规则,一是钻头正好与裂缝相遇,使井眼沿裂缝方向扩径;二是钻头与裂缝接近时,产生次生裂缝,使井眼扩张;三是由于岩性造成的井眼垮塌。根据这一机理,我们选择构造轴部 4 口开发井进行倾角测井,目的是寻找裂缝的主要发育方向和性质,4 口井共统计 115 处扩张数据,分析得到 NE66°—NE82°之间的裂缝占统计数据的 59.1%,判断其为主要的裂缝组系发育方向,其组系走向代表方位为 NE77.5°,与横向井排方向 (NE73.35°) 相差 3.95°,基本上是一致的。另外,SE12°—SE70°之间的裂缝占 34.8%,为次要的裂缝发育方向带 (表 2-3)。

表 2-3 裂缝方位统计表

井号	裂缝组系走向 (°)	占统计扩径数据 (%)	统计 扩径数	备 注
朝 74-86	NE77	66.7	30	
	SE12	33.3		
朝 84-76	NE82	74.5	47	
	SE70	19.2		

续表

井号	裂缝组系走向 (°)	占统计扩径数据的百分比 (%)	统计扩径数	备 注
朝 78-82	SE66	38.1	21	
	SE30	61.9		
朝 90-70	NE86.5	12.5	17	本井 SW33.7°占 46.8%，钻井验证为断层延伸走向
	SE51	40.6		
扩径数	裂缝组系走向 (°)		占总统计的百分比 (%)	组系代表走向 (°)
68	NE66°—NE82°		59.1	NE77.5
40	SE12°—SE70°		34.8	

地层倾角测试资料表明储层裂缝有方向性，且有主要发育的裂缝组系方向即东西向裂缝（图 2-8）。

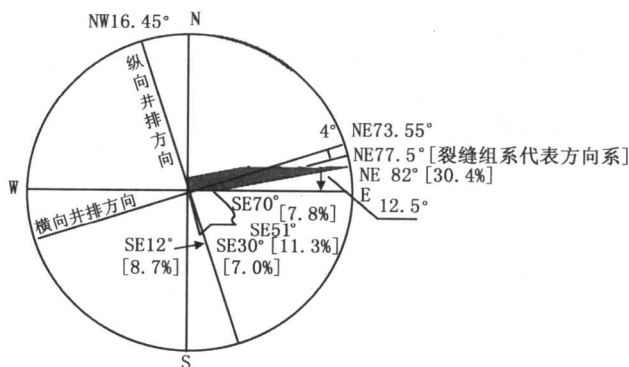


图 2-8 地层倾角测试裂缝方位玫瑰花图

2) 通过开发井压裂前后地面电位法测井，研究压裂人工裂缝与天然缝的关系

地面电位法测井是通过对压裂井压裂前后电位梯度变化的测试，其原理是压裂施工中，压裂液相对地层来说是一个良导体，电阻率与地层介质的电阻率相比差异较大，当向地层压裂液供电，压裂液可在地层中形成一个电场源，由于它的存在将使电场分布形态发生变化，相应的电位也发生变化，测量时，在压裂井周围每隔 15° 环形布置 24 对测量电极，压裂前后通过仪器分别记录下来每对电极的电位值，根据电位值的变化判断裂缝方位。

朝阳沟地区储层中裂缝密度大，从岩心资料看，每口井都有一定数量的裂缝，这样，当油井进行压裂时，压裂液和压裂砂就会沿着裂缝面突进并使裂缝的张开度有所增大。我们先后在裂缝发育带进行了 4 口地面电位测井（图 2-9）。

朝 102-68 井：在测试范围内出现了两个周期性变化。在 SE45° 有一定范围窄的低的点位显示，该处应是一较长的垂直裂缝；在 NW30°—NE30° 为另一组裂缝，电位差 ΔV_s 的范围宽广，幅度较低，该处为多条短的垂直裂缝簇。

朝 106-62 井：在 NE0°—SW45° 的 225° 范围内 ΔV_s 值大面积低异常，应为一单侧延伸的水平裂缝形态。

朝 100-68 井： ΔV_s 值均为正值，观察 ΔV_s 值得最低方位为 SW80°，此处有可能是本井的主要裂缝延伸方位。