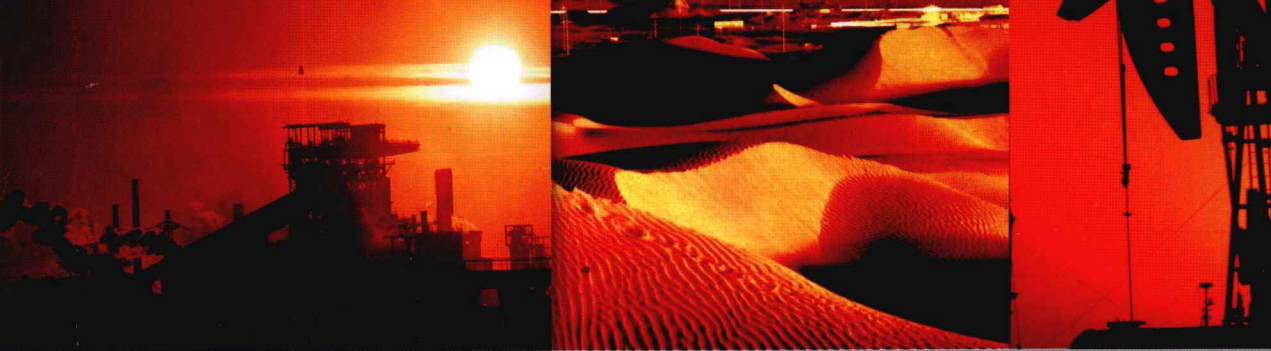




松南腰英台油田低渗透裂缝性 油藏压裂技术研究与实践

SONGNAN YAOYINGTAIYOUTIAN DISHENTOU
LIEFENGXING YOUCANG
YALIE JISHU YANJIYOU YU SHIJIAN

张奉东 著



石油工业出版社

松南腰英台油田低渗透裂缝性 油藏压裂技术与实践

张奉东 著

江苏工业学院图书馆
藏书章

石油工业出版社

内 容 提 要

本书通过对松南长岭凹陷腰英台油田地质特征的分析研究,结合低渗透裂缝性储层的压裂改造工艺技术实践,提出了低渗透裂缝性储层压裂改造的分析方法、实验研究和配套的工艺技术,确定了适合于腰英台油田薄层、特低渗透、裂缝发育、油水层间互等储层特点的压裂工艺技术方法,为该油田的勘探开发提供了工程技术保障,对正确评价油气藏、合理有效地开发低渗透油藏有着重要的指导意义。

本书可供油田开发工程技术人员、科研人员和石油院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

松南腰英台油田低渗透裂缝性油藏压裂技术研究与实践/张奉东著.
北京:石油工业出版社,2009.2

ISBN 978-7-5021-6959-6

I.松…

II.张…

III.低渗透油层-裂隙油气藏-油层酸化-技术

IV.TE 357.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 210888 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: 山东东营石大博雅印务有限公司

2009 年 2 月第 1 版 2009 年 2 月第 1 次印刷

787×960 毫米 开本: 1/16 印张: 7.25

字数: 113 千字 印数: 1—350 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

低渗透油气藏广泛分布于中国各大油气田或主要盆地,在中国石油工业中占有重要地位,这类油藏在今后相当长一段时期内将是中国石油工业增储上产的重要资源基础。

随着石油地质理论的发展,对复杂圈闭和以岩性因素起主导作用的隐蔽性油藏的认识在不断深入。然而,要掌握油气藏的分布规律,正确评价油气藏,储层改造工艺技术的进步和提高至关重要。

低渗透储层中,由于岩石致密程度增加,岩石的强度和脆性加大,因而在构造应力场的作用下,岩石会不同程度地产生裂缝,常常使裂缝和低渗透储层相伴生,形成低渗透裂缝性储层。由于裂缝发育及分布的复杂性,使低渗透油田开发困难。目前,这类油田储量动用程度低,开发效果不理想,经济效益差。因此,研究如何进一步经济有效地开发好这类油田,对中国石油工业持续稳定发展具有重要的现实意义。

本书从研究低渗透裂缝性储层特征入手,运用地质基础理论,结合油藏实际,制定合理的分析评价方法。针对腰英台油田储层层薄、渗透率低、天然微裂缝发育、油水层间互等特征,通过室内实验和矿场试验研究,优化压裂工艺技术方案,提出配套的压裂工艺技术。

本书是作者在工作中的一点体会和认识,由于理论水平和经验有限,错误之处在所难免,敬请专家、读者批评指正。

作 者

2008. 10. 12

目 录

绪论	1
第一章 腰英台油田概况	3
第一节 区域地质特征	3
第二节 储层特征	8
第三节 常规敏感性及应力敏感性评价	10
第四节 区块改造工艺难点分析及技术措施	16
第二章 构造应力场及天然裂缝研究	19
第一节 构造应力场研究	19
第二节 储层天然裂缝描述	37
第三节 分析及认识	49
第三章 双重介质水力裂缝扩展规律研究	51
第一节 水力裂缝与天然裂缝相互作用机理	51
第二节 水力裂缝的扩展准则	54
第三节 双重介质水力裂缝扩展模型	56
第四节 裂缝扩展示例分析	61
第五节 分析及认识	64
第四章 腰英台油田压裂工艺研究	65
第一节 压裂压力诊断分析技术	65
第二节 裂缝型油藏的降滤工艺技术	78
第三节 裂缝性油藏整体压裂改造方案优化技术	80
第四节 裂缝型油藏压裂工艺技术	92
第五节 压裂效果及工艺技术综合评价	108
参考文献	110

绪 论

低渗透是一个相对的概念,不同国家、不同时期对其的限定也有所不同。近 20 年来,我国低渗透油田的勘探开发取得了很大的进展,根据我国的生产实践和理论研究,对于低渗透储层范围和界限已有了比较一致的认识。我国一般采用李道品(1997)的定义,即渗透率低于 50mD 的储层为低渗透储层,因为渗透率低于 50mD 的储层必须经过压裂施工改造才能有效地投入正常开发。低渗透储层渗透率的下限值为 0.1mD。

低渗透的内在原因是孔隙喉道小。低渗透储层按渗透率大小及开采方式亦可分为 3 类:一类储层渗透率为 10~50mD;二类储层渗透率为 1~10mD;三类储层渗透率为 0.1~1mD。按地质成因分为 3 种类型:即原生低渗透储层(沉积型低渗透储层)、次生低渗透储层(成岩型低渗透储层)和低渗透裂缝性储层(构造型低渗透储层)。

天然裂缝的定义分广义和狭义两种。按岩石力学的观点,所谓裂缝是指岩石中失去结合力的一种地质界面。因为岩石的破裂是导致其失去结合力的过程,于是裂缝被视为破裂作用的结果。油藏工程上的裂缝是指破裂面两侧岩体未发生明显位移时的情况,可以由构造变形作用或物理成岩作用形成,因此它不包括断层在内。裂缝的分类有多种:按成因分为构造裂缝和非构造裂缝;按力学性质分为张性缝、剪性缝和张剪性缝;按裂缝面的形态分为开启裂缝、闭合裂缝、变形裂缝和充填裂缝;按裂缝的规模分为大裂缝、小裂缝和微细裂缝;按裂缝的产状分为水平缝、垂直缝、斜交缝和网状缝。

低渗透油藏储层岩石致密,脆性较强,在地应力的作用下容易产生裂缝。大多数低渗透油田不同程度地存在构造裂缝、微裂缝和人工裂缝。构造裂缝主要方位受地应力分布状况的控制,具有明显的方向性,常常与主断层方向平行;构造裂缝在地层条件下通常处于闭合状态,缝宽约在 10~50 μm ,基本

上表现为孔隙渗流特征,在未经压裂状态下对油井产能影响不大,压裂后则能大幅度提高油井产量。低渗透储层中的微裂缝很细小,在储层中分布比较均匀,由非构造应力作用形成,没有明确的方向性,微裂缝在储层中起孔隙空间的连通作用,使储层渗透率提高,具有一定的生产能力。

裂缝—孔隙性储层是介于裂缝性、孔隙性储层之间的一种储集类型,油气主要储存于孔隙空间中,裂缝起渗流通道的作用。裂缝性低渗透油藏具有以下特点:

(1)埋藏深,一般大于 2000m;(2)储层渗透性差,渗透率小于 50mD,非均质性严重,油层更易污染,产能低而且递减速度快;(3)能量不足,提液难度较大,存在启动生产压差现象,渗流阻力和压力消耗特别大;(4)储集空间变化大,油层顶面深度难以预测准确;(5)油藏的产能受裂缝发育程度控制;(6)裂缝多以大于 70° 的垂直缝为主;(7)裂缝发育在平面和纵向上非均质性严重等等。

1995—2003 年,中国石油化工集团公司低渗透油藏平均年新增探明储量为 4655×10^4 t, 占中国石油化工集团公司年探明储量的 20%。2000 年后,低渗透油藏年产量稳定在 500×10^4 t 以上,占中国石油化工集团公司年产油量的 13%~14%。2003 年,低渗透油藏探明石油地质储量为 11.15×10^8 t, 占中国石油化工集团公司总探明石油地质储量的 18.7%;动用储量为 7.45×10^8 t, 占 15.6%;而剩余可采储量占 20%,说明低渗透油藏开发潜力较大,低渗透油藏开发地位也越来越重要。因此,如何有效动用低渗透储量对于中国石油化工集团公司的稳定发展有着重要的意义。结合低渗透储层特点,大致可分为特低渗透油藏、薄互层油藏、砂岩裂缝性油藏 3 种类型。

腰英台油田为典型的砂岩裂缝性油藏,该油藏主要特点与改造难点为:

(1)天然微裂缝较发育,易造成施工过程中高砂比阶段的脱砂;(2)储层应力敏感性强,导致压裂液滤失大;(3)多层、薄层,物性极差,同时上下均存在水层,压裂缝高较难控制。针对这几个方面的改造难点,从 2002 年开始中国石化华东分公司组织了攻关试验,开展了岩石力学参数评价、应力敏感性分析、压裂液体系的优选、降滤控缝技术、控制缝高、限流压裂、优化射孔、斜线加砂及控水支撑剂等多项工艺技术的研究应用,成功地突破了试采难关,使得区块压裂施工成功率达到 96.0%,有效率达到 90.0%,压裂后初期平均单井日产量达到 4.9 t,成功建设完成两个 30×10^4 t 产能建设,使特低渗透难动用储量获得整体动用,也为同类型油藏的有效动用提供了借鉴。

第一章 腰英台油田概况

第一节 区域地质特征

一、区域构造特征

长岭凹陷位于松辽盆地中央坳陷南部，是一断拗叠置的中生代盆地。断陷层面积约为 8000km^2 ，坳陷层面积超过 20000km^2 。坳陷层中沉积实体由白垩系组成，坳陷层的构造区划为：西部斜坡区、中部深凹带、东部陡坡带和华字井阶地，其中中部深凹带由北往南分为乾安次凹、大情字井低凸起和黑帝庙次凹（图 1-1），大情字井低凸起为两个次凹之间的相对隆起部位，即处于大情字井低凸起的南部，是油气运移的有利地区。

二、区域背景

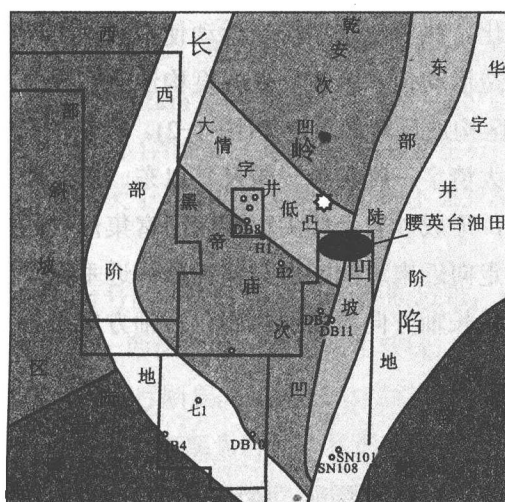


图 1-1 长岭凹陷腰英台油田构造位置示意图

长岭凹陷经历了两次大的湖水扩张—兴盛—衰退演变史。第一次为青山

口组沉积早期—姚家组沉积晚期，第二次为嫩江组沉积早期—嫩江组二段沉积时期。这两次大的湖水扩张—兴盛期，广泛沉积了青山口组、嫩江组两套半深湖—深湖相的暗色泥岩，此暗色泥岩既是生油岩，又是良好的区域盖层。

研究表明，泉头组四段沉积时，在腰英台地区西南有河流流入，腰英台地区处于河流相沉积环境。青山口组沉积时，腰英台一带为东北倾的斜坡，以西南方向为主的三角洲前缘分支河道经本区延伸到北部湖盆，腰英台地区处于三角洲前缘相沉积环境。

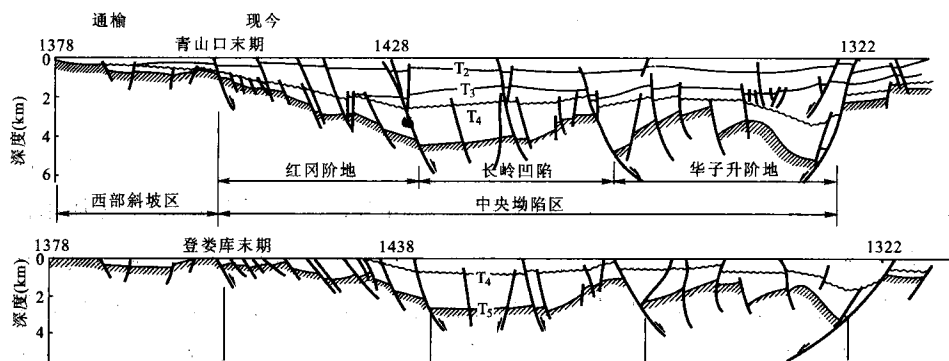


图 1-2 长岭凹陷构造演化史图

中、新生代以来，地层发育齐全，长期发育的大情字井低幅古隆起控制了该地区的沉积演化。侏罗纪末期构造运动使本区深层断陷层构造定型，青山口组沉积早期构造运动使本区浅层低幅度构造群初具雏形，明水组沉积末期的构造运动使全区构造反转最后定型(图 1-2)。构造的反转改变了原来沉积砂体的倾向，导致大情字—腰英台一带及其以东、东北和西北向的前缘砂体由下倾而转为上倾，形成砂岩上倾尖灭圈闭而富集油气；同时这一地区断层十分发育，一系列走向近南北的断层与储油砂体近垂直，这种断层与砂体配置关系，易形成砂体长轴方向靠断层封闭、短轴方向靠自身尖灭的构造—岩性油气藏。

三、油藏构造特征

本区储层的特点：一是储层薄，砂泥交互，岩性复杂；二是地层层速度大，对地震勘探的主频要求高；三是波阻抗不能很好地分辨部分储层段。在储层预测研究中，利用地震波振幅、频率、相位、相干体、波形分类，采用

ISIS 软件进行波阻抗反演及测井约束反演, 根据波阻抗数据体进行储层预测, 并在波阻抗数据体上清晰地反映出断点及断层组合, 方便、准确地识别断层; 在构造解释研究中, 运用时间切片、相干体剖面与切片辅助解释断层, 确保断层解释和平面组合的准确与合理; 运用三维体解释技术, 对目的层段进行了三维体解释, 更加清晰地反映了构造及断层特征。

三维地震及钻井资料表明, 腰英台地区青山口组和泉头组地层整体呈近南北走向、倾向近西的单斜形态, 在单斜的背景上呈现出明显的分带性。由于压扭性构造应力作用, 区块内由东往西发育 4 组北西、北北西向断层, 这些断层与地层走向呈低角度斜切, 将腰英台区块划分成 4 个油气成藏区块: 西部低幅度构造带、中部斜坡带、中部地堑带、东部地垒带(图 1-3)。目前在这 4 个油气成藏区块分别发现了腰西含油构造、1 号、2 号、3 号和 4 号含油区块。

(1) 西部低幅度构造带: 腰西区块所在构造, 由 4 个低幅度的断鼻构造组成。腰英台西部腰西构造是在深部隆起背景的继承性高带上, 被东掉正断层切割形成的一个断鼻构造带, 目前共发现 4 个断鼻含油构造, 分别为 DB33 井区、DB34 井区、DB40 井区和 DB41 井区断鼻构造, 其中 DB33 井区、DB34 井区、DB41 井区断鼻圈闭面积已超出工区范围, DB33 井区断鼻闭合高度大于 25m, 闭合面积大于 4.46km^2 , 地层倾角为 $0.5^\circ\sim 1.0^\circ$; DB34 井区断鼻闭合高度为 15m, 闭合面积大于 2km^2 , 地层倾角为 $1.5^\circ\sim 2.5^\circ$; DB40 井区断鼻闭合高度为 24m, 闭合面积为 1.78km^2 , 地层倾角在 2° 左右; DB41 井区断鼻闭合高度为 35m, 闭合面积大于 4.87km^2 , 地层倾角在 2.3° 左右, 4 个油藏都为构造—岩性油藏。

(2) 中部斜坡带: 1 号区块所在构造, 为西断坡带, f4、f5、f6、f7 雁行断层以西, 构造简单, 为一西倾单斜, 地层倾角较缓, 为 $2^\circ\sim 4^\circ$, 斜坡内断层不发育。断坡带内靠东部雁行断层与地层低角度斜切构成岩性—构造圈闭, 西北部为构造线闭合, 西部及南部为岩性边界形成圈闭。

(3) 中部地堑带: 2 号区块所在构造, 由倾向相反的东倾 f4—f7 雁行断层和西倾 f3 断层切成断堑, 地堑东侧发育一低幅断鼻构造, 构造闭合高度为 30m, 圈闭面积为 1.9km^2 。中部地堑圈闭类型为构造圈闭。

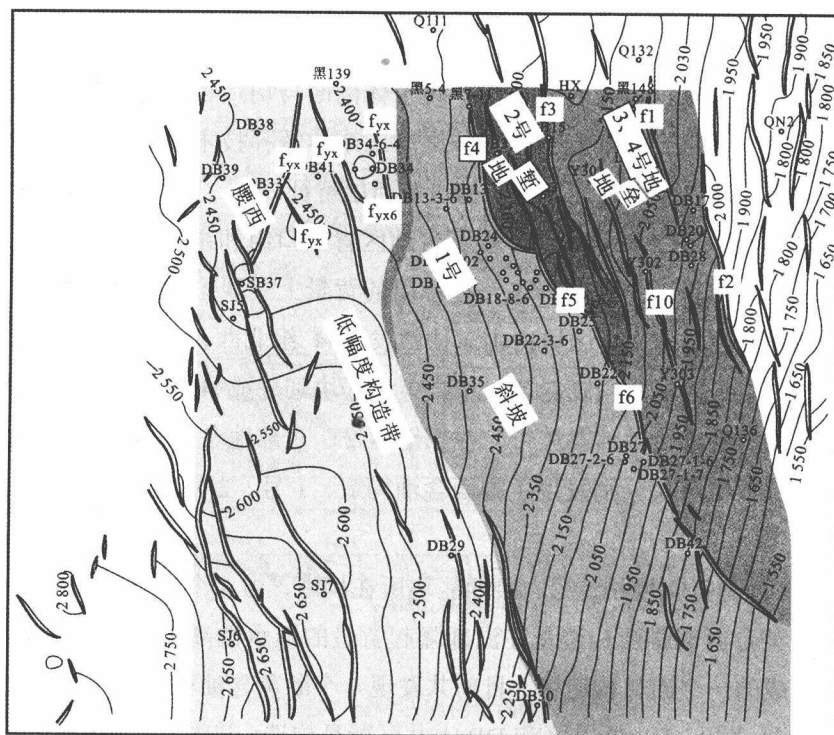


图 1-3 腰英台三维地震工区泉头组顶面 (T_2) 构造图

(4) 东部地垒带：3号、4号区块所在构造，由倾向相反的西倾f3断层和东倾f1、f2断层切成地垒，地垒内地层西倾，地层倾角较缓，为 $3^{\circ}\sim 4^{\circ}$ ，地垒东侧沿f1、f2断层各自发育构造一岩性圈闭。

四、地层层序

腰英台地区地层发育较为齐全，从上至下依次发育有第四系(Q)，新近系泰康组(Nt)，白垩系明水组(K_2m)、四方台组(K_2s)、嫩江组(K_2n)、姚家组(K_2y)、青山口组(K_2qn)、泉头组(K_1q)。泉头组四段及其以上地层累计厚度达1900~2300m。其中，青山口组一段、二段是该油田的主要目的层段。另外，泉头组四段也是含油层段。依据钻井资料，本区从上至下岩性特征见表1-1。

表 1-1 腰英台地区坳陷层地层简表

地 层			视厚度 (m)	岩 性
系	组	代号		
第四系		Q	60~80	黄土、黄色粉砂层, 杂色砾岩层
新近系	泰康组	Nt	170~200	灰绿色粘土、杂色砂砾层
上 白 垩 统	明水组	K ₂ m	90~210	灰、灰绿、棕红色泥岩, 粉砂质泥岩, 含钙泥岩, 灰色含钙粉砂质泥岩
	四方台组	K ₂ s	360~380	灰、灰绿、棕红色泥岩, 粉砂质泥岩, 泥质粉砂岩及杂色砾岩
	嫩江组	K ₂ n ⁴⁺⁵	630~690	灰、棕红色泥岩, 粉砂质泥岩, 粉砂岩
		K ₂ n ³		灰黑、灰绿色泥岩夹灰色粉砂质泥岩, 粉砂岩
		K ₂ n ²		大套灰黑色泥岩
		K ₂ n ¹		灰黑色泥岩为主, 夹灰色粉砂质泥岩, 顶部为一套褐色劣质油页岩
	姚家组	K ₂ y	130~150	中上部为棕红色泥岩夹棕色粉砂岩, 下部为棕红色泥岩及棕色、灰白色细砂岩、粉砂岩、粉砂质泥岩
	青山口组	K ₂ qn ³	130~160	上部棕红、灰绿色泥岩夹灰、灰白色粉砂岩, 下部为灰、灰白色粉砂岩、细砂岩夹棕红色粉砂质泥岩
		K ₂ qn ²	280~310	上部为棕红、灰绿色泥岩夹灰、灰白色粉砂岩、细砂岩, 下部为灰色粉砂岩、细砂岩与深灰、灰黑色泥岩互层, 由西向东略有增厚
		K ₂ qn ¹	140~170	灰色细砂岩、粉砂岩与深灰、灰黑、灰绿色泥岩互层, 由西向东有减薄趋势
下白垩统	泉头组	K ₁ q ³⁻⁴	110~130	灰、浅灰色细砂岩、紫红色泥岩为主, 夹浅灰色细砂岩、紫红色含钙质泥岩, 灰色含钙质粉砂岩

五、沉积类型

长岭凹陷经历了两次大的湖水扩张—兴盛—衰退演变史。青山口组沉积早期是湖盆的第一次兴盛期开始, 青山口组沉积中期至姚家组沉积晚期, 湖盆开始逐渐衰退萎缩。这一时期, 西南保康—通榆水系和东南怀德水系携带大量碎屑物质进入本区, 在该区沉积了一套河流—三角洲砂岩体。其中青山口组一段、二段沉积时期, 多次振荡性的水进和水退, 沉积了深湖—半深湖相的暗色泥岩, 尤其在青山口组一段沉积末期和青山口组二段沉积早期, 大情字井至腰英台及以北地区处于半深湖环境。至嫩江组沉积早期湖盆开始第二次扩张, 嫩江组一段、二段沉积时期, 湖盆进入第二次兴盛期, 此时, 湖盆范围最大, 之后逐渐退缩。这两次大的湖水扩张—兴盛期, 广泛沉积了青

山口组、嫩江组两套半深湖—深湖相的暗色泥岩，此暗色泥岩既是生油岩，又是良好的区域盖层。

区域沉积研究表明，泉四段沉积时，在腰英台工区西南有河流流入，腰英台地区处于扇缘和三角洲相环境的分流河部位。青山口组沉积时期，长岭凹陷东北部腰英台一带为东北倾的斜坡。在青山口组一段和青山口组二段沉积时期，处于河流—三角洲前缘沉积环境，以西南方向为主的三角洲前缘砂体分支河道经本区延伸到湖盆中心，该区距物源区越远，储层的厚度越薄，单砂层厚度均不超过 6m，砂体自西南向东北在该地区减薄，甚至尖灭，钻井剖面上表现为大套泥岩夹砂岩的特征；砂体之间的连通性变差，物性也变差，从而为形成岩性圈闭或构造—岩性复合圈闭奠定了岩相基础。

第二节 储层特征

腰英台油田工区面积为 4544km^2 ，预测石油资源量为 $27380 \times 10^4\text{t}$ ，到 2006 年年底已探明石油地质储量 $1711 \times 10^4\text{t}$ ，控制石油地质储量 $2983 \times 10^4\text{t}$ ，资源基础丰厚，开采前景广阔。油田内断层较发育，断层展布方向大都为北北西向，且以反向正断层为主，呈雁行排列，在剖面上呈 y 字形及反 y 字形，延伸距离较短，一般不能贯穿全油田；断层具有明显的分带性，分为东、西两组，在东侧形成 1 号区块腰英台地堑带，在西部形成腰西断裂构造带工区。

青山口组属松辽盆地南部的永康沉积体系，位于盆地西南端，水系自西南流向东北，与盆地长轴斜交，基底坡度较缓，流域长，为远物源缓坡河流—三角洲沉积体系。

腰英台油田发育多套含油层组，以青山口组二段、一段储层为主。两套层组分别划分为 I 至 V 5 个砂组，主力储层为青山口组一段 II 砂组和青山口组二段 III、IV 砂组，非主力或后备储层为青山口组二段 V 砂组和青山口组一段 III、IV 砂组。目前投入全面开发的主力储层是青山口组一段 II 砂组。

一、岩性细

腰英台油田青山口组储层岩性以粉砂岩为主，含少量细砂岩和泥质粉砂岩。粉砂岩、细砂岩中砂岩陆屑含量占 70%~94%，其成分以长石为主，占

65%~70%，石英占 15%~20%，岩屑占 15%~20%，主要粒径一般为 0.03~0.25mm，颗粒分选好—中等，磨圆程度为次棱角—次圆状。杂基含量小于 5%，成分为黏土矿物。胶结物含量为 7%~27%，以方解石、白云石和泥质为主，含少量硅质。方解石含量在 1%~12%，最高可达 25%；白云石含量在 2%~12%，最高可达 15%；泥质含量一般为 1%~5%。硅质含量在 1%~2%。青山口组一段 II 砂组胶结物含量相对较低，为 7%~15%，其中白云石含量较高，一般在 4%~10%，成分是铁白云石；方解石含量较低，在 1%~3%。青山口组二段 IV 砂组胶结物含量相对较高，为 14%~27%，其中方解石和白云石含量都较高，含量分别为 2%~15%、8%~12%。胶结类型以孔隙式和镶嵌式胶结为主。

二、低孔特低渗

对青山口组一段储层岩心进行分析，孔隙度主要分布在 8%~16%，平均值为 11.22%；渗透率为 0.1~2mD，平均为 1.95mD。纵向上除青山口组一段 I 砂组为泥岩段非储层外，青山口组一段 II—V 砂组为较好的储层，且物性基本接近，各砂层组孔隙度平均值为 10.21%~14.38%，渗透率纵向上有些差异，青山口组一段 II 砂组有高渗带发育（渗透率大于 10mD，甚至有的能达到 100mD 以上），平均值一般为 1.51~4.02mD，个别达到 17.19mD。青山口组二段储层孔隙度主要分布在 8%~18%，平均值为 13.51%；渗透率主要分布在 0.1~5mD，平均为 1.68mD。纵向上青山口组二段 I 和砂组青山口组二段 II 砂组储层不发育，下部的青山口组二段 III—V 砂组储层较为发育，物性差别不大，砂层孔隙度平均值为 12.01%~16.42%，渗透率纵向上也有些差异，平均值一般为 2.7mD，个别达到 25.36mD。

三、天然微裂缝发育

对岩心进行观察，青山口组一段天然微裂缝发育，多为成组的剪裂缝，缝面光滑，一般无充填物，有的缝为方解石未完全充填，裂缝密度为 0.312 条/m。DB15 井高角度裂缝发育明显（图 1-4）。图 1-5 为 BHTV 超声成像测井结果。

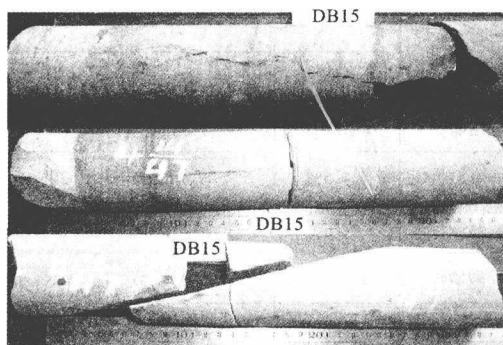


图 1-4 DB15 井高角度裂缝，垂缝，未完全充填

超声成像测井解释认为,本井段层理(层界面)较为发育,随钻井液引起的诱导缝在某些井段也较为发育,在个别井段发育有高角度张开缝。

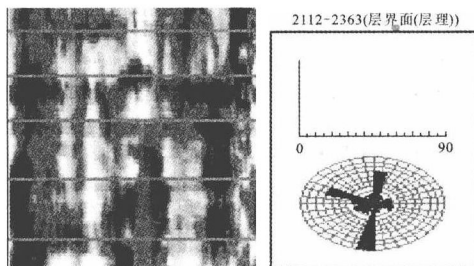


图 1-5 水平层理图像及层理倾向

结合试油和压裂资料综合分析认为,天然裂缝在地层原始状态下多数是闭合的,但在钻井或试油过程中易形成诱导缝,沟通孤立溶孔和微孔,从而改善了低渗透储层的渗流状况。

通过成像测井和地应力分析,天然裂缝方向介于 $NE85.9^{\circ}$ 至 $NE153.6^{\circ}$ 之间,基本呈东西向。人工压裂裂缝与天然裂缝方向一致,也基本呈东西向。

第三节 常规敏感性及应力敏感性评价

一、常规敏感性试验

储层岩心的常规敏感性评价包括:(1)注入速率改变引起岩心渗透率变化的速敏;(2)地层水矿化度降低引起渗透率降低的水敏;(3)外来流体和地层不配伍导致岩心渗透率降低的盐敏;(4)酸化溶液进入地层后因不配伍引起岩心渗透率下降的酸敏;(5)碱性介质导致渗透率降低的碱敏。其敏感性评价指标见表 1-2。

表 1-2 常规敏感性评价指标

项目	评价指标 (%)				
	无	弱	中等偏弱	中等偏强	强
速敏性	$D_k \leq 5\%$	$5\% < D_k \leq 30\%$	$30\% < D_k \leq 50\%$	$50\% < D_k \leq 70\%$	$D_k > 70\%$
水敏性	$I_w \leq 5\%$	$5\% < I_w \leq 30\%$	$30\% < I_w \leq 50\%$	$50\% < I_w \leq 70\%$	$I_w > 70\%$
盐敏性	找出渗透率发生明显变化时的临界矿化度				
酸敏性	$I_a \leq 5\%$	$5\% < I_a \leq 30\%$	$30\% < I_a \leq 50\%$	$50\% < I_a \leq 70\%$	$I_a > 70\%$
碱敏性	$I \leq 5\%$	$5\% < I \leq 30\%$	$30\% < I \leq 50\%$	$50\% < I \leq 70\%$	$I > 70\%$

腰英台油田青山口组储层常规敏感性评价过程和结果分析如下。

1. 速敏性评价

以不同的注入速率向岩心注入流体，注入速度应由小到大，在各个注入速度下测定岩石注入此种流体时的稳定渗透率，从注入速度和渗透率的变化曲线上，判断其临界注入速度。临界速度的确定是速敏性研究的关键。通过速敏产生机理可知，不同流体黏度不同，对岩石中地层微粒的浸润程度和携带能力也不同。因此注入不同的流体时，其临界速度应不一样。采用标准盐水为注入流体，矿化度为 8000mg/L，试验温度为 90℃，对两口井青山口组储层岩心进行速敏性评价实验，结果见图 1-6。

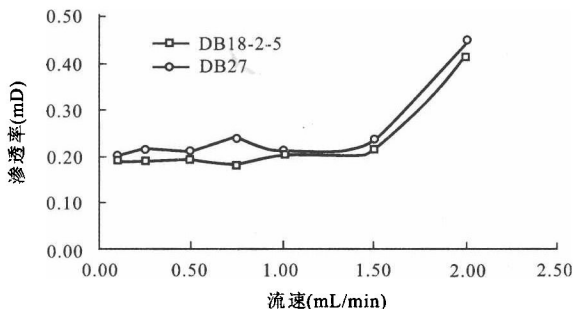


图 1-6 青山口组储层速敏试验评价结果

2. 水敏性评价

地层被钻开之前，地层中的敏感性矿物与地层水达到了膨胀平衡，当盐水的化学离子组分改变或者矿化度改变时，都可能破坏这种平衡而引起敏感性矿物膨胀、分散或运移，引起岩石渗透率降低，最终使储层的产能降低。这种由于外来流体在离子组分或浓度方面与地层岩石不配伍造成岩石渗透率降低的作用叫做水敏。评价的目的在于提供一个能使岩石渗透率较为稳定的驱替流体盐度范围。进行水敏性评价时，一般选用模拟地层水、次地层水(离子组分不变，但矿化度减半)和去离子水依次进行驱替。为防止速敏现象的发生，在动态评价过程中，注入速度应低于临界速度。测试结果如图 1-7。

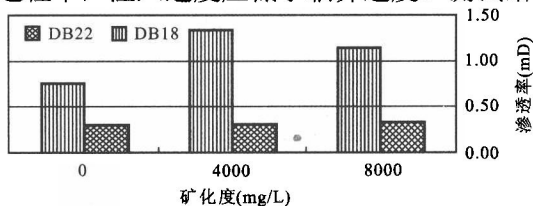


图 1-7 青山口组储层水敏试验评价结果

3. 盐敏性评价

盐敏性是指储层中系列盐溶液注入后,由于黏土矿物等敏感性矿物的水化、膨胀而导致渗透率下降的现象。系列盐溶液的注入顺序,按盐度递减的规律进行,目的是了解在系列盐溶液盐度不断变化的条件下,储层岩心渗透率的变化过程和程度,找出盐度递减的系列盐溶液中渗透率明显下降的临界盐度,以及各种工作液在盐度曲线中的位置。因此,通过盐敏性评价可以观察储层对所接触流体盐度变化的敏感程度,从而确定是否有必要在储层接触低盐度液体时予以保护。以标准盐水、次标准盐水、四分之一矿化度标准盐水、八分之一标准盐水和蒸馏水按照石油行业标准,对青山口组储层岩样进行动态驱替实验,实验结果表明:青山口组储层的临界矿化度为 1000mg/L (图 1-8)。

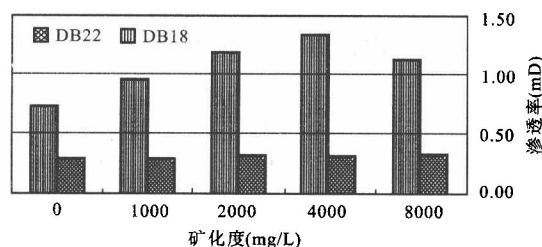


图 1-8 青山口组储层盐敏试验评价结果

4. 酸敏性评价

酸敏性是指酸液进入地层后,与地层中的酸敏性矿物发生反应,产生沉淀或释放出微粒,使地层渗透率下降的现象。评价试验的目的是了解拟处理地层所用的酸液是否会对地层发生损害及损害程度,以求比较有效地进行酸化处理。目前使用的酸液体系主要有盐酸、土酸和氟硼酸体系等,敏感性评价标准中的酸液主要选择盐酸和土酸。本次采用 15%HCl 的盐酸体系和 12%HCl+3%HF 的土酸体系在 90℃ 时对青山口组储层岩样进行评价试验,结果见图 1-9 所示。

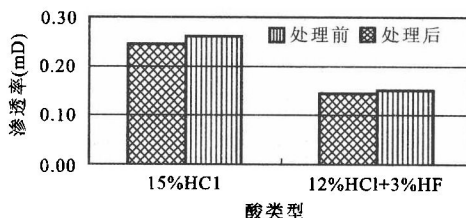


图 1-9 青山口组储层酸敏试验评价结果