Natural Fracture Characteristics of Shanxi Formation in Changbei Block of Ordos Basin and Its Influence on Natural Gas Production Capacity

Chaofeng Ren¹, Gang Yi¹, Ze Pei¹, Xiaoming Jiang², Siyuan Li¹, Jiansong Huang³

¹Petrochina Changqing Oilfield ChangBei Operating Company, Yulin Shaanxi ²Petrochina Corporation Logging Co. LTD. Changqing Branch Company, Yulin Shaanxi ³Petrochina Changqing Oilfield Exploration and Development Research Institute, Yulin Shaanxi Email: love-prelude@163.com

Received: Feb. 4th, 2020; accepted: Feb. 28th, 2020; published: Mar. 12th, 2020

Abstract

The ground's outcrop, drilling core, logging data and casting thin section identification data show that there are generally unfilled en echelon or "X" conjugate shear joints, fractures, micro fractures and local small vertical governance fractures in all kinds of brittle strata in Ordos Basin. The joints (fractures) caused by structural stresses such as compression and shear, as well as the corrosion induced by these fractures, undoubtedly become the high porosity and high permeability zones with relatively high oil and gas enrichment and high yield in tight reservoirs under the background of low porosity and low permeability. Based on the surface outcrop survey, FMI logging and fracture data from a small number of drilling cores and casting thin sections, this paper intends to analyze the genesis, development characteristics, distribution rules of fractures in Shan2 reservoir in Changbei block and its influence on natural gas production.

Keywords

Changbei Block, Shanxi Formation, Natural Fracture, Gas Production Capacity

鄂尔多斯盆地长北区块山西组天然裂缝特征及 其对天然气产能的影响

任超峰1,易 刚1,裴 泽1,姜孝明2,李思园1,黄建松3

¹中国石油长庆油田长北作业分公司,陕西 榆林 ²中国石油集团测井有限公司长庆分公司,陕西 榆林 ³中国石油长庆油田勘探开发研究院,陕西 榆林 Email: love-prelude@163.com

收稿日期: 2020年2月4日; 录用日期: 2020年2月28日; 发布日期: 2020年3月12日

摘要

地面露头、钻井岩芯、测井资料和铸体薄片鉴定资料表明,鄂尔多斯盆地内的各类脆性地层中,普遍发育未充填的雁行状或"X"共轭剪切节理、裂缝、微裂缝和局部小型治理直立断裂。因挤压、剪切等构造应力产生的节理(裂缝)以及沿这些裂缝派生的溶蚀作用,无疑成为低孔、低渗背景下的致密储层中油 气相对富集高产的高孔、高渗带。本文拟从地面露头调查、FMI测井和少量钻井岩芯、铸体薄片中的裂 缝资料入手,分析长北区块山2储层中的裂缝成因、发育特征、分布规律及其对天然气产能的影响。

关键词

长北区块,山西组,天然裂缝,产能影响

Copyright © 2020 by author(s), Yangtze University and Hans Publishers Inc. This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0). <u>http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/</u>

CC O Open Access

1. 研究背景

1.1. 研究区概况

长北区块位于鄂尔多斯盆地榆林气田中北部,行政区划属陕西省榆林市榆阳区和横山县境内(图 1)。 该区块从下至上分别发育奥陶系风化壳、石炭系本溪组、二叠系太原组、山西组和下石盒子组等多套气 层。其中,二叠系山西组山 2 气藏是榆林气田长北区块的主要目的层。通过中国石油长庆油田分公司与 荷兰皇家壳牌石油公司长达 10 多年的合作研究,并使用双分支水平井开发技术进行整体开发,区块于 2008 年底在山 2 气藏顺利地实现了年产 30×10⁸ m³天然气的产能建设和商品气销售目标,取得了令人瞩 目的成绩。

在鄂尔多斯盆地周边下古生界碳酸盐岩、上古生界和中下三叠统砂泥岩等老地层出露区的任何一个 露头上,在盆地内部上三叠统、侏罗系及白垩系砂泥岩分布区的每一个现代河流的冲蚀陡崖,或因公路、 铁路或其它建筑建设开挖出的露头剖面上,发育于碳酸盐岩、砂岩等脆性地层岩石中的各类雁行或"X" 剪节理、裂缝和小型直立断层,几乎俯拾皆是,无处不在(图 2);在以往的油气钻探过程中获取的地层岩 芯、铸体薄片和测井资料中,也经常可见裂缝(微裂缝)显示,个别井也因为储层中发育裂缝而获得高产油 气流。但长期以来,由于研究方法比较落后,评价手段单一,人们对形成于鄂尔多斯盆地油气储层中的 裂缝的控制因素、发育程度、分布规律、充填程度及其对低渗透储层的增产效果仍知之甚少。



Figure 1. Location map of Changbei block 图 1. 长北合作区位置图

本文拟从长北区块山2储层水平井段中获得的 FMI 测井和 PLT 测试资料入手,结合地面露头的裂缝 调查资料和区域地应力资料,分析长北区块山2储层裂缝的形成原因、控制因素、发育特征、分布规律 及其对储层产能的影响,并利用 SVS 裂缝分析软件建立的长北区块三维裂缝模型,分析水平开发井轨迹 的最佳走向。

1.2. 国内外研究情况

国内外研究发现,油气的富集区域与基底断裂及后期构造活动衍生的一系列切变形所产生的储集层 物性断裂有着一定关系。这些物性断裂出现的地带往往伴生大量节理裂隙和分散的破碎带或次生溶蚀孔 缝区带,储集层中剪切、挤压等构造应力产生的裂缝形成良好物性区带被周围致密的低渗储集层圈闭, 会产生局部油气高产现象,形成沿某一方向延展的油气藏[1]。近几年来,随着地层倾角测井、高分辨率 图像测井和地层产能剖面测井等裂缝评价技术的日臻完善,及其在鄂尔多斯盆地油气勘探开发中的持续 使用,使人们逐渐认识到裂缝对储层高产所起的重要作用和对低渗透油气田高效开发的重要意义。



吴堡县张家鄢乡后王家山,小型 正断层破碎带内破劈理



指示裂缝发育但不穿层,即在 硬层发育,在软层不发育



吴堡县曾家沟王石畔, X剪节理



吴堡县义和桥上村, X剪节理



大理河双庙湾附近,小型逆断层



后王家山,小型正断层及破碎 带内破劈理

Figure 2. T3-T2 surface outcrop fault and "X" shear fracture in Yusui area of Ordos Basin 图 2. 鄂尔多斯盆地榆绥地区 T3-T2 地面露头断层及"X" 剪切缝

2. 裂缝发育的地质背景及其对储层物性的影响

2.1. 裂缝发育的控制因素

构造发育史研究成果[1] [2] [3] [4] [5]表明,鄂尔多斯盆地结晶基底在拼贴、镶嵌增生的过程中存在 着拼贴焊合较差的地体界面——基底断裂带(软弱带)。除平行于周围山系的边界断裂外,盆地内部横穿或 斜插盆地的基底断裂,不仅数量多、规模大,而且方向有序,形成断裂网络系统(图 3),对鄂尔多斯盆地 各构造活动期的活动样式和活动程度起着持续的控制作用。



1-印度板块推挤力; 2-基地断裂; 3-断裂走滑方向; 4-第四纪沉积盆地; 5-油气田

 Figure 3. Schematic diagram of Cenozoic tectonic stress

 field in Ordos Basin

 图 3. 鄂尔多斯盆地新生代构造应力场示意图

根据现代构造应立场三维有限元数值模拟、构造运动和盆地的震源机制解释[3]成果,鄂尔多斯盆地 现今构造面貌主要形成于燕山和喜马拉雅构造运动期。早白垩世以来,鄂尔多斯盆地主要受来自西南方 向青藏高原隆升的侧向挤压作用。构造主应力场表现为南西 - 北东向挤压和北西 - 南东向伸展(图 3)。在 挤压应力作用下,盆地内部的构造活动方式以平移、挤压、伸展、走滑运动为主,虽未发生大规模褶皱、 断裂等明显的位移变形,却派生出大量低幅度鼻隆、背斜或断距很小的具平移性质的直立断层及遍布全 盆地砂岩和碳酸盐岩等脆性岩石中的密集节理(裂缝),裂缝规模从几厘米到几十米(图 2)。

2.2. 裂缝对储层物性的改造作用

钻井岩芯和地层倾角测井资料也表明,目前钻遇的油气层中,也发育大量张性应力裂缝(图 4)。这是 由于深埋地下固结坚硬的致密岩石在剪切作用下,主要引起破裂作用。初始的 X 共轭及雁行破裂系统合 并成不同宽度、不同级别的剪切走滑带或局部裂缝单元。在这些地带受长期构造应力作用,岩石易发生 成分结构的变化,加之酸性水由裂缝的浸入,易溶物质被溶蚀后形成次生溶孔,进一步形成所谓的油气 勘探开发"甜点"。





Figure 4. Characteristics of tensional structural fractures in Shan2 reservoir of Yulin gas field 图 4. 榆林气田山 2 储层张性构造裂缝特征

构造裂缝是沟通孔洞形成优质储集层的重要因素,也是油气高产的重要原因。甜点区和裂缝发育区 有着必然的联系。从世界各国低渗透油气藏储集层研究结果来看,低渗油气储层多为致密岩石,这种性 质的岩层在不同构造应力场的作用下,大都表现为脆性形变,形成不同规模不同程度的裂缝系统。这些 裂缝是极好的运移通道。鄂尔多斯盆地上古生界和三叠系延长组的致密砂岩油气藏就是这些裂缝-次生 溶孔的受益者。这些"甜点"区油气藏的分布轨迹与基底断裂带的走向十分吻合。

3. 山 2 储层裂缝与断层特征

华北地区二叠系山西组沉积之后,在海西、印支、燕山和喜山等历次全球性构造运动期间,鄂尔多 斯盆地均以整体隆升和沉降为主,水平运动不太强烈,未发生大规模褶皱、断裂等明显的位移变形,却 在盆地内部形成大量北东 - 南西向展布的低幅度鼻隆、背斜或断距很小的具平移性质的直立断层(图 2、 图 5),并在山西组砂岩中派生出大量密集剪切缝和多期的拉张缝(图 6)。多口井山 2 砂岩岩芯都发育垂直 裂缝或斜交缝,在显微镜下常见由构造应力产生的微裂缝(图 4)。这些微裂缝或者切穿石英颗粒,或者切 穿填隙物,或者沿颗粒与填隙物接触面断开,环绕颗粒分布。在普遍低渗的储层中,裂缝对改善储层的 储集性能所起的作用不容忽视。



 Figure 5. Distribution of Carboniferous Permian faults in Ordos Basin

 图 5. 鄂尔多斯盆地石炭-二叠系断裂分布图



Figure 6. Fracture development characteristics of Cheng Jiazhuang Shan2, Liulin county, Shanxi Province 图 6. 山西省柳林县成家庄山 2 砂岩裂缝发育特征

3.1. 山西组地面裂缝发育特征

二叠系山西组及其它古生界地层,普遍沿鄂尔多斯盆地东部吕梁山区的山西省河津县-柳林县-保 德县-内蒙古自治区准格尔旗一线的黄河两岸及其支流河谷出露。由于构造平缓(地层倾角小于 1°),河 谷切割较深,山西组出露较好。不仅顶底界面和地层层序岩性变化明显,各类宏观结构、构造也非常清 楚。特别是各类剪节理和张性构造缝更是比比皆是。

其中,近东西向的裂缝最发育,裂缝张开程度高,缝面清楚,而且连续性好,一般均能贯穿整个厚砂岩层,但不穿越泥岩等软地层,在各露头所在的沟谷范围内,基本上见不到该方向裂缝的消失点(图7), 且绝大多数河谷陡崖的垮塌面均沿该方向展布(图2-4)。实测该组裂缝走向为70°~110°,裂缝倾角一般大 于70°。裂缝密度随构造部位和砂岩层的厚度而变化,在小型直立断层附近或鼻状构造的隆起部位的薄砂 岩层(单层厚度小于50 cm)中,裂缝密度较大,缝间间隔仅0.2~0.8 m (图6、图8);而远离断层,构造平 缓部位的厚砂层(单层厚度大于1 m)中的裂缝间隔一般大于2 m。



Figure 7. Shear seam characteristics of top sandstone of Zhangjiagou Shan2, Baode county **图 7.** 保德县张家沟山₂砂岩顶面的剪切缝特征

次要裂缝呈近南北向展布,实测裂缝走向 160°~200°,裂缝倾角亦大于 70°。该组裂缝多呈断续状, 并常被近东西向裂缝错断,多呈雁行状排列,裂缝密度略大于东西向裂缝,一般都能穿过单砂层,但很 难穿过整个砂层组(图 2、图 7)。

如前所述,除发育裂缝外,鄂尔多斯盆地还发育小型直立断层。据盆地东部榆-绥地区三叠系(图 2-1、 图 2、图 6)和成家庄二叠系山西组地面露头观察,小型直立断层在一定范围内成组出现,断层之间的直 线距离约 145 m,垂直距离约 125 m (图 8),断面倾角一般大于 70°,断距一般小于 10 m,断层附近的派 生裂缝发育,个别断层还可在断面附近形成破裂带(图 2-6)。与裂缝的显著区别是,断层可以断开泥岩等 软地层(图 2-2),而砂岩中的裂缝一般到砂泥岩界面处就戛然而止,不再向前延伸了。

3.2. 长北区块山西组储层裂缝与断层特征

目前三口直井(Y22、CH1V、CH2V)和三口水平井(CH2H、C1-3、C2-2)的地层成像测井资料解释结 果[6] [7] [8] [9] [10],个别井(Y29、Y30)的钻井岩芯和大量铸体薄片(图 4)更直接证明,长北区块及其周 边山西组发育各种高角度张性构造缝和微裂缝;地震资料解释结果[5]则表明长北区块还发育与区域地应 力场方向一致(近北东向)的平移断层(图 5)或近南北向展布的逆断层(图 2-5)。



Figure 8. The characteristics of high Angle small faults and derived fractures in Cheng Jiazhuang Shanxi formation 图 8. 柳林县成家庄山西组中的高角度小型断裂及其派生的裂缝特征

3.2.1. C1-3-ST2-L1 井山西组裂缝解释结果

C1-3-ST2-L1 井地层微电阻率扫描成像(STARII)测量井段为 3418~3914 m,数字井周声波(CBIL)测量 段为 3424~3914 m。测井解释地层最大主应力方向约 98°,解释天然裂缝 168 条,钻井诱导缝 17 条,天 然裂缝走向在 90°~120°之间(图 9)。其中,裂缝倾角在 70°~90°之间的 102 条,占裂缝总条数的 60.7%,30°~70° 之间的 31 条,占裂缝总条数的 18.45%,倾角小于 30°的 35 条,占裂缝总条数的 20.83%,钻井诱导缝的 倾角在 20°~40°之间[7]。



Figure 9. C1-3-ST2-L1 STAR II Log fracture interpretation results 图 9. C1-3-ST2-L1 井 STAR II 测井裂缝解释成果图



Figure 10. C2-1-L1-ST1 STAR II Log fracture interpretation results 图 10. C2-1-L1-ST1 井 STAR II 测井裂缝解释成果图 该井裂缝发育程度不一。其中 3418~3446 m 井段不发育裂缝; 3446~3505 m 发育天然裂缝 25 条,裂缝密度为 0.42 条/m; 3505~3521 m 发育天然裂缝 6 条,裂缝密度为 0.38 条/m; 3521~3584 m 发育天然裂缝 32 条,裂缝密度为 0.508 条/m; 3584~3648 m 发育天然裂缝 36 条,裂缝密度为 0.563 条/m; 3648~3666 m 发育天然裂缝 2 条,裂缝密度为 0.11 条/m; 3666~3745 m 发育天然裂缝 13 条,钻井诱导缝 7 条,天然裂缝密度为 0.165 条/m; 3745~3770 m 发育天然裂缝 8 条,裂缝密度为 0.32 条/m; 3770~3902 m 发育天然裂缝 49 条,钻井诱导缝 10 条,天然裂缝密度为 0.371 条/m; 3902~3914 m 裂缝不发育[7]。

3.2.2. C2-1-L1-ST1 井山西组裂缝解释结果

C2-1-L1-ST1 井地层微电阻率扫描成像(STAR)测量井段为 3418~3628 m,数字井周声波(CBIL)测量段为 3424~3635 m。测井解释地层最大主应力方向约 91°,解释天然裂缝 22 条,钻井诱导缝 7 条,天然裂缝走向在 60°~90°之间(图 10)。其中,倾角在 70°~90°的天然裂缝有 18 条,总裂缝占条数的 81.81%;30°~70° 的有 3 条,占裂缝总条数的 13.64%;倾角小于 30°的有 1 条,占裂缝总条数的 4.55% [8]。

C2-1-L1-ST1 井 STAR II 成像测井段内,裂缝发育程度远不及 C1-3-ST2-L1 井,而且裂缝发育程度也不均一。其中,3418~3446 m 井段仅发育一条垂直缝;3446~3528 m 井段天然裂缝不发育;3528~3627 m 发育天然裂缝 20 条,裂缝密度为 0.2 条/m [8]。

3.2.3. CH1-V、C2-V 井山西组裂缝解释结果

CH1V 井山西组位于井深 2876~2909 m 之间,储层厚度 33 m; CH2V 井山西组位于井深 2805~2837 m 之间,储层厚度 32 m。FMI 解释 CH1V 井现今地应力方向为东西向,储层段除发育 1 条已充填低角度天 然裂缝,1 条钻井诱导缝外,不发育天然张性裂缝[6](图 11)。邻井 CH1H 井钻穿储层 575 m (2940~3515 m), PLT 测试结果,3430~3440 m 井段以不足全井 10%的长度贡献了全井 40%的产能[6],该产能测试资料足 可以证明该井段发育裂缝发育高渗透性裂缝或断裂带。C2V 井储层段裂缝不发育,地应力方向也不甚清 楚[6]。



Figure 11. CH1V Shan2 FMI SVS (A) and Schlumberger (B) Fracture interpretation results 图 11. CH1V 井山 2FMI 测井 SVS (A)和 Schlumberger (B)的裂缝解释结果图

3.2.4. CH2H FMI 和 PLT 裂缝解释结果

CH2H 井钻穿的山 2 储层段为井深 2991~3316 m (325 m)和 3537~3907 m (370 m)两段。FMI 测井解释 现今主地应力方向 295°,储层段发育应力缝 29 条,小型断层 2 条, "X"剪节理 38 条,张性构造缝 3 条[9];PLT 解释结果,同时发育应力缝、小型断层、"X"剪节理和张性构造缝的 3720~3810 m 石英砂

岩段贡献了全井产能的 85%, 3570~3610 m 井段贡献了全井产能的 15%, 而裂缝欠发育的 2991~3316 m 井段则几乎无产能贡献[6] (图 12)。

3.2.5. 长北区块山2储层中的断层特征

如前所述,地层倾角测井(FMI、STAR II)和产能测试(PLT)解释结果表明,CH1H和CH2H井均发育断层。特别是C2H井的井深3605m与3723m处发育的两条断层,断层走向0°~5°,断层倾角50°~90°,断层之间的直线距离为118m,断层附近派生构造缝密集分布的破裂带宽度约33m(图12),这一结果与成家庄剖面山2露头的调查结果是一致的。

除此之外, C3 井丛的两口水平井, 在山 2上部碳质泥岩的钻井过程中的反复垮塌现象, C3-2-L1 井 在成井后的大规模坍塌现象, 以及打捞上来的大块泥岩的整齐断面(图 13)均表明, 该井附近可能发育断 层。



Figure 12. CH2H FMI Logging and PLT results 图 12. CH2H 井 FMI 测井解释裂缝、断层与 PLT 解释 地层产能对比图



 Figure 13. C3-1 Rock recovered during drilling behind downhole liner

 图 13. C3-1 井下尾管后钻井过程中打捞上来的岩块

C9-2-L2 井分别从山 2 石英砂岩层的上、中、下各部位向东钻出的 10 余个水平分支,均在 C9 井丛以 东仅数十米处,突然钻遇稳定性很差的巨厚碳质泥岩; C8-1-L2、C8-2-L2 向西钻出的水平分支发现山 2

的地层产状由缓慢西倾变为向东倾,且地层倾角大于1°。地震剖面复查发现,C8 与C9 井丛之间的地层 明显上拱,且有明显的断裂迹象(图 14)。根据地震剖面重新编制的山 2 顶面构造图显示,C8 与 C9 井丛 之间虽然未标出断层,但过去缓西倾背景上的鼻状隆起已改为一条南北走向的隆起带,这一突然出现的 与周围构造面貌极不协调的现象,只能让人们联想到两井丛之间发育有相当断距的断层。



 Figure 14. Seismic reflection characteristic map of faults between C8/C9

 图 14. 长北区块 C8 与 C9 井丛之间断层的地震反射特征图

钻井、测井和地震资料均表明,在长北区块山2储层段发育断层,而且断层的走向可能是近南北向。 断层的出现虽然给钻进部署调整和安全钻井带来一定的麻烦,但也给山2储层物性改造,特别是渗透性 的改善带来机遇。

4. 长北块山 2 储层裂缝模型

地面露头调查和上述各井的图像测井解释结果表明,山₂石英砂岩储层以发育高角度构造缝为主,裂缝密度与单砂层厚度成反比。壳牌公司的 W. H. Asyee、K. Beintema 等人以长北区块山₂储层沉积相展 布和石英砂岩厚度分布图为基础,结合石英砂岩地层的机械特性、现今区域地层产状、裂缝走向、地应 力方向等测量数据,用 SVS 裂缝解释软件,建立了基于以下三种裂缝发生概率的地质模型[6] (图 15):

i) 基于前述裂缝密度与山₂储层厚度变化关系(高角度,裂缝密度与单砂层厚度低),但裂缝产生概率低:断裂方位为 20°,断层间隔 250 m,断层破裂带不发育,裂缝方位 110°,裂缝带间距 125 m;

ii) 基于前述裂缝密度与山 2 储层厚度变化关系, 裂缝产生概率中等: 断裂方位 20°, 断层间隔 250 m, 断层破裂带宽度 30 m; 裂缝方位 110°, 裂缝带间隔 125 m;

iii) 基于前述裂缝密度与山₂储层厚度变化关系,裂缝产生概率高:断裂方位 20°,断层间隔 250 m,断层破裂带宽度 30 m;裂缝方位 110°,裂缝带间隔 60 m。

三种模型的断层长度假设为 250~1000 m。第一种模型主要针对裂缝欠发育的 CH1 和 C2 井丛, 第二、 三种模型针对断层、裂缝均较发育的 CH2、C21 和 C1 井丛[6]。

5. 裂缝对山 2石英砂岩储层产能的影响

如前所述,鄂尔多斯盆地东部常见的小型直立断层、无处不在的高级高角度剪切缝和张性构造缝, 及上述图像测井解释成果表明,长北区块山₂石英砂岩储层发育小型直立断裂和高角度构造缝,已成毋 庸置疑的事实。构造缝本身具有基质孔隙无法比拟的高渗透率,它可以极大地改善低渗储层的渗透能力 和产能。



Figure 15. Changbei Shan2 quartz sandstone reservoir fracture model 图 15. 长北区块山 2 石英砂岩储层裂缝模型

在烃源岩生烃和烃类运移过程中,储层裂缝的发育可以加速油气在储层中的运移和聚集成藏。同时, 伴随油气运移的大量酸性地层水对裂缝附近已溶物质的溶蚀作用,可以有效增加储层的孔隙空间,改善储层的储集能力。



Figure 16. Fracture interaction between matrix reservoir and wellbore 图 16. 裂缝对基质储层与井筒的沟通作用示意图

在天然气生产过程中,裂缝可以在低渗致密储层基质孔隙与井筒间形成有效沟通,改善储层的渗透性,扩大井筒的泄流半径,提高单井产量(图 16)。特别是长北区块北部。由于靠近山₂沉积的物源区,河流以间隙水流为主,每一有水期沉积时间短,导致单砂体厚度薄(砂体累积厚度大),沉积物颗粒较粗、分

选差、基质发育、胶结致密、储层物性较差、非均质性强。正由于单砂体厚度薄,为区块北部各种高角度构造缝和治理正断层的发育创造了条件,为区块北部裂缝发育区的高产建立了基础。

根据长北区块小型直立断层和裂缝分别为20°和110°的破裂方向,建议水平井的方向尽量垂直小型断裂及其派生的裂缝方向,其次垂直次要裂缝发育方向,以最大限度的沟通致密储层,扩大井筒泄流半径,同时还要兼顾河道砂体走向,尽量钻出更多相对独立的单砂体,提高砂体的连通率。

6. 认识及建议

1) 低渗致密储层在不同构造应力场的作用下,大都表现为脆性形变,易形成不同规模不同程度的裂缝系统,这些裂缝形成了极好的油气运移通道。

 宿层中发育的天然构造裂缝,有效增加了储层的孔隙空间,提高了低渗储层的渗透能力,在储层 基质孔隙与井筒间形成有效沟通,是油气高产的重要原因。

3) 研究表明长北区块山2石英砂岩储层以发育高角度构造缝为主,裂缝密度与单砂层厚度成反比;

4) 依据长北储层裂缝破裂方向,建议水平井水平段方向尽量垂直小型断裂及其派生的裂缝方向,其 次垂直次要裂缝发育方向,以提高气井产能。

参考文献

- [1] 邸领军. 鄂尔多斯盆地储集层物性断裂对超低渗油气藏的控制作用[J]. 石油勘探与开发, 2006, 33(6): 667-670.
- [2] 赵文智, 胡素云, 汪泽成, 等. 鄂尔多斯盆地基底断裂在上三叠统延长组石油聚集中的控制作用[J]. 石油勘探与 开发, 2003 30(5): 1-5.
- [3] 邸领军, 张东阳, 王宏科. 鄂尔多斯盆地喜山期构造运动与油气藏[J]. 石油学报, 2003, 24(2): 37-40.
- [4] Luo, Y. and Dusseault, M.B. (1996) Local Stress Estimates and Far-Field Stress History, Ordos, China, SPE/ISRM 47321.
- [5] 姚宗慧, 张明山, 曾令帮, 等. 鄂尔多斯盆地北部断裂分析[J]. 石油勘探与开发, 2003, 30(2): 20-23.
- [6] Asyee, W.H. and Beeintema, K. (2008) Changbei Fracture Characterization Feasibility Study Application of SVS Fracture Solutions Software. Shell China Study Material.
- [7] 罗菊兰,杨双定. CB1-3-ST2-L1 井成像测井解释报告[Z]. 中国石油集团测井有限公司长庆事业部, 2006.
- [8] 罗菊兰,杨双定. CB2-1-L1-ST1 井成像测井解释报告[Z]. 中国石油集团测井有限公司长庆事业部, 2007.
- [9] (2001) Chang-1V FMI Processing and Interpretation Report. Schluumberger.
- [10] (2001) Chang-2V(H) FMI Processing and Interpretation Report. Schluumberger.