

断层对辽河盆地杜 229 断块
超稠油成藏与生产的影响

陈金宝^{1,2}, 张庆龙¹, 于兰兄^{1,3}, 杨彦东³, 王淑梅²

(1. 南京大学 地球科学系, 江苏 南京 210093; 2. 中国石油辽河油田公司 特种油田开发公司, 辽宁 盘锦 124010; 3. 中国石油辽河油田公司 勘探开发研究院 辽宁 盘锦 124010)

[摘要] 为了寻求解决辽河盆地杜 229 断块超稠油油藏在开采过程中水侵严重影响生产的问题, 通过研究该区块构造演化史, 分析了断层在超稠油成藏过程中的作用, 认为该区块的边界断层对油气成藏起侧向封堵作用, 后期小断层使油藏复杂化。根据水性分析和示踪剂监测资料, 推断水侵的主要原因是部分断层的不封闭。建议在以后超稠油开发生产中, 生产井段要距不封闭断层 70 m 以上。

[关键词] 辽河盆地; 杜 229 断块; 超稠油油藏; 成藏; 水侵; 断层; 封闭性

[中图分类号] P618.130.2; TE122.3⁺1 [文献标识码] A [文章编号] 1672-6561(2006)03-0048-05

Effect of Fault on Forming and Production of Heavy
Oil Reservoir in Du 229 Faulted Block, Liaohe Basin

CHEN Jin bao^{1,2}, ZHANG Qing long¹, YU Lan xiong^{1,3}, YANG Yan dong³, WANG Shu mei²

(1. Department of Earth Sciences Nanjing University, Nanjing 210093, Jiangsu, China; 2. Special Oil Development Company, Liaohe Oilfield Company of PetroChina, Panjin 124010, Liaoning, China; 3. Research Institute of Exploration and Development, Liaohe Oilfield Company of PetroChina, Panjin 124010, Liaoning, China)

Abstract In order to solve the problem that super heavy oil production is seriously affected by water invasion in Du 229 faulted block of Liaohe Basin, this paper studies the tectonic evolution history of this block, and analyzes the effect of faults in the process of forming heavy oil reservoir. The result shows that the border fault in this block plays the role of lateral obturation in forming hydrocarbon reservoir, the minor faults of late stage complicate the reservoir. According to the data of water quality and tracer monitoring, it is deduced that the main reason of water invasion is that a part of faults are unsealed. It is suggested that the production interval should be over 70 m from unsealed fault in the future super heavy oil development.

Key words: Liaohe Basin; Du 229 faulted block; super heavy oil reservoir; reservoir forming; water invasion; fault; seal ability

0 引言

杜 229 断块是辽河油田特种油开发公司的主要生产区块之一, 目的层为下第三系沙河街组一、二段(E₃+2), 探明含油面积 2.5 km², 石油地质储

量 2 061×10⁴ t。该断块于 1998 年投入开发, 共部署开发井 315 口。到 2001 年底, 部署井全部完钻, 目前已累计采油 360×10⁴ t。1999 年末生产中出现了水侵现象, 2001 年大面积水侵, 产量逐渐下滑, 到 2004 年原油产量由最高峰的 83×10⁴ t 降至 39×10⁴ t。笔者通过对该区块断裂构造的研究和水

[收稿日期] 2005 11 10
[作者简介] 陈金宝(1965-), 男, 陕西渭南人, 工程师, 硕士研究生, 从事石油地质与构造研究。

性分析, 阐述了断层在超稠油成藏中的作用及断层与水侵的关系, 为解决水侵问题奠定了基础。

1 地质背景

辽河盆地西部凹陷西斜坡是在新生代拉张应力场作用下, 形成的箕状凹陷大型缓坡带, 区域构造走向为北东向^[1-3]。西斜坡的形成演化受断裂活动、基底结构和差异压实等 3 种因素控制, 其中断裂活动是斜坡演化的主导因素。

杜 229 断块位于西斜坡中段齐曙上台阶(图 1), 属于曙一区杜 32 断块区的次一级构造单元, 是一个四周被断层所封闭、向东倾没的断鼻构造。

2 杜 229 断块构造演化史

杜 229 断块地层较平缓, 地层倾角 3°~10°, 构造高点位于 b50-56 井附近, 圈闭高度 175 m, 构造面积 2.5 km²。该块共发育 6 条断层(图 2), 其中杜 6 断层和 s704 断层是边界同沉积断层, 延伸长, 断距大。杜 6 断层是横切曙一区的主要大断层, 它控制了曙一区的构造格架。b52 断层、s7 断层、b41 断层和 s32 断层延伸短, 垂直断距小。为了研究断

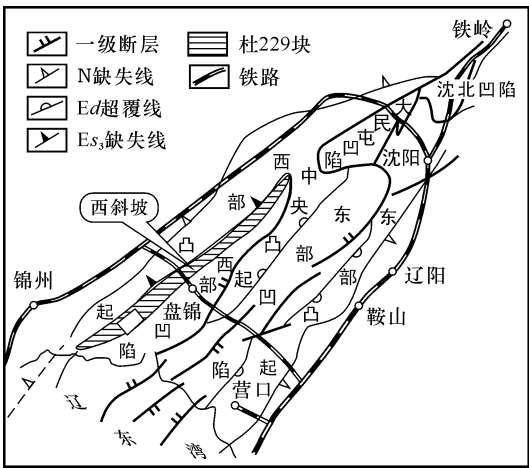


图 1 杜 229 断块位置

Fig. 1 Location Map of Du 229 Faulted Block

层与油气运聚和水侵的关系, 首先进行了该区构造演化史的研究。该区构造演化主要经历了以下几个时期:

E_{S4} 时期是辽河断陷盆地形成的雏形期, 由于受地壳引张力的作用, 盆地整体处于下降阶段, 并形成了单面山和垒堑相间的古地貌形态。随着地层填平补齐作用的进行和基底西翘东倾的加剧, 逐渐产生 s704 和杜 6 断层(图 3)。

E_{S3} 时期为深陷期, 整个地区急剧大幅度沉陷, 湖水变深, 沉降速度大于沉积速度, 沉积了大量暗

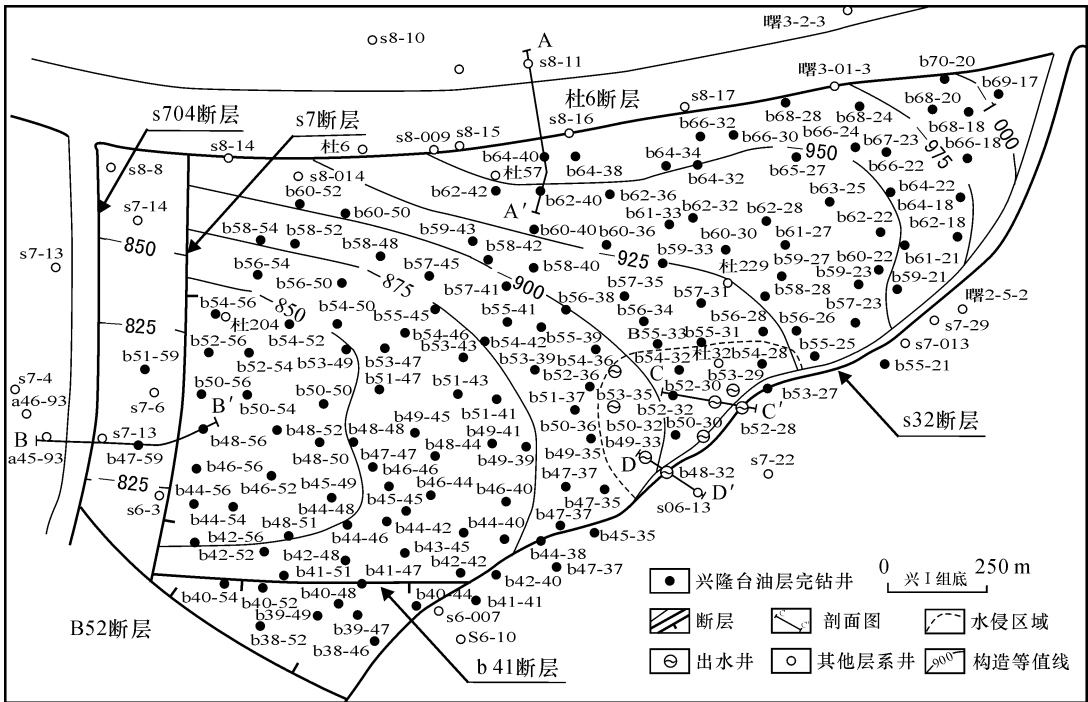


图 2 杜 229 断块兴隆台油层构造

Fig. 2 The Tectonic of Xinglongtai in Du 229 Faulted Block

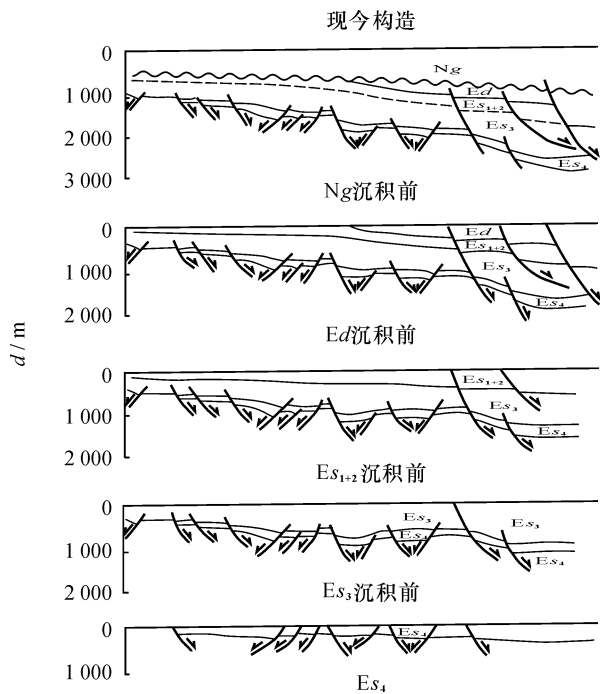


图 3 辽河盆地西部凹陷西斜坡带 360 测线构造发育史
Fig. 3 Structural History of 360 Survey Line in West Slope Zone, West Sag, Liaohe Basin

色生油岩和重力流砂体。此时西侧地区相对拱升，断层活动进一步加剧，断距增大，s704 断层断距最大可达 150 m，杜 6 断层断距 100 ~ 350 m。Es₃ 末期盆地萎缩，整体抬升，顶部遭受剥蚀。

Es₁₊₂ 时期盆地再次下沉，但构造活动减弱，湖水较浅，以扇三角洲相沉积为主，水下分支流河道广泛发育。断裂活动继续发育，但明显减弱。

Ed 末期辽河盆地整体抬升，遭受强烈的风化剥蚀。该期断裂活动较强烈，地壳大规模上升，曙一区地层隆起幅度较大，产生 b32 断层和 b52 断层等小断层，到 Ng 早期断裂活动全部停止。之后，辽河盆地进入统一的拗陷发育期。

3 断层在超稠油成藏中的作用

3.1 边界同沉积断层对超稠油油藏的作用

国内外油气勘探实践表明，在含油气盆地中，断裂构造是决定油气分布的重要因素。断层既能作为油气运移通道，又能作为遮挡条件形成断层圈闭^[4-6]。因此，对杜 229 断块的断层进行分析和研究。

杜 6 断层是杜 229 断块的北界断层，也是曙一区超稠油的北界断层，断距为 200 ~ 350 m，平面延

伸长度大于 10 km，断面倾角 60° ~ 70° (图 4)。该断层自 Es₄ 末期开始发育至 Ed 末期停止，具有典型的同生断层特征。断层的上升盘缺少 Es₁₊₂ 和 Ed 地层，而下降盘的 Es₁₊₂ 地层厚在 200 ~ 300 m，且油气富集，Ed 厚 70 ~ 90 m。

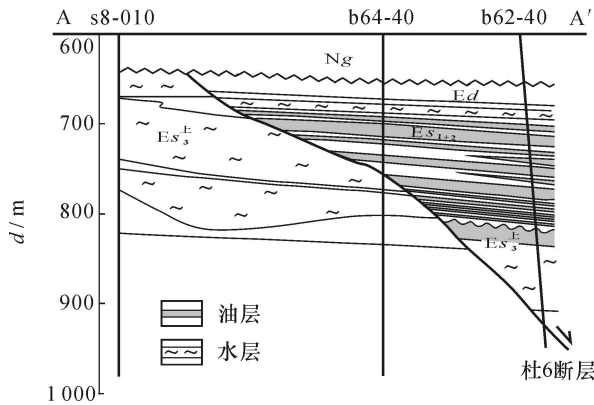


图 4 杜 6 断层剖面
Fig. 4 Faulted Profile of Du 6

油源分析证明，曙一区超稠油来自清水洼陷生油层^[7]，在沿斜坡不断向上运移过程中，伴随有生物降解、氧化和水洗作用，使原油不断稠化，当运移到杜 6 断层时，运移通道被断层截断，使断层上盘油层直接与下盘水层接触而不连通，形成了杜 6 断层以南区域分布丰富的超稠油，而杜 6 断层以北区域无超稠油分布的格局。

另一条同沉积断层是 s704 断层，断层断距 80 ~ 150 m，平面延伸 6 km 以上 (图 5)。s704 断层将曙一区超稠油油藏切割成东西两部分，东部杜 229 断块即下降盘 Es₁₊₂ 地层厚 200 ~ 300 m，Ed 地层厚 70 ~ 90 m，油水界面在 -1 000 ~ -1 100 m；而西部杜 84 断块即上升盘 Es₁₊₂ 地层厚 70 ~ 170 m，缺少 Ed 地层，油水界面在 -900 ~ -950 m，反映出此断层在控制沉积的同时，对超稠油也起到了侧向封堵作用。

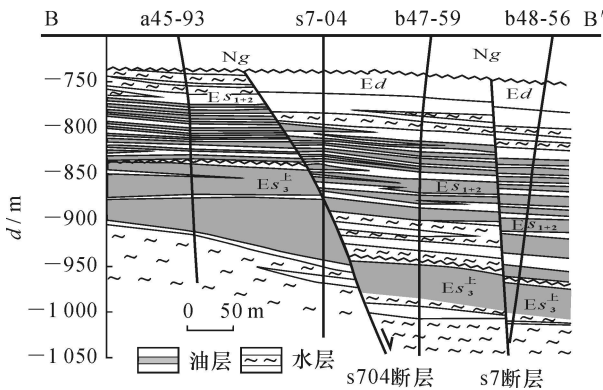


图 5 s704 和 s7 断层剖面
Fig. 5 Faulted Profile of s704 and s7

3.2 后期小断层的发育对超稠油油藏的改造作用

Ed 末期发育的小断层在油气运移初期则起通道作用, 使油气能够进入圈闭。由于自 Ng 期之后, 盆地构造活动减弱, 盆地稳定下沉, 之前形成的一部分张性小断层在这一过程中逐渐封闭, 这一过程与油气的运移过程相伴随, 从而使这些断层对油气运移起到了“通道”和“遮挡”双重作用, 并使油藏复杂化。当断层封闭形成了遮挡作用后, 断层两边就形成了独立的油水系统。其中主力断块构造幅度大, 在形成独立圈闭后, 油气仍可运移, 最终形成稳定的油水分布关系, 油水关系相对简单, 如杜 54 块, 兴 II ~ 兴 V 组为油层, 为一整装统一的油水系统。而非主力小断块则相反, 其自身形成的油气运移动力较小, 难以克服地层毛管阻力流动, 最终形成了相对复杂的油水关系, 使油藏复杂化, 如 s7 断层在 E_{S1+2} 段两盘油水分布明显不同(见图 5), 下盘的 E_{S1+2} 段上、下部均发育水层, 下部油水界面为 -895 m, 而上盘仅上部发育水层, 下部为油层, 两盘油水直接接触而不连通, 在 E_{S3}^+ 段断层两盘油水分布一致, 这对油藏开发十分不利。

另一部分小断层其封闭性差或不封闭, 断层两盘油水关系局部统一或完全统一, 在断层周围存在压差时容易连通。如 b32 断层两盘在 E_{S3}^+ 段有统一油水界面(图 6), 这种断层对降压开采区块危害大。

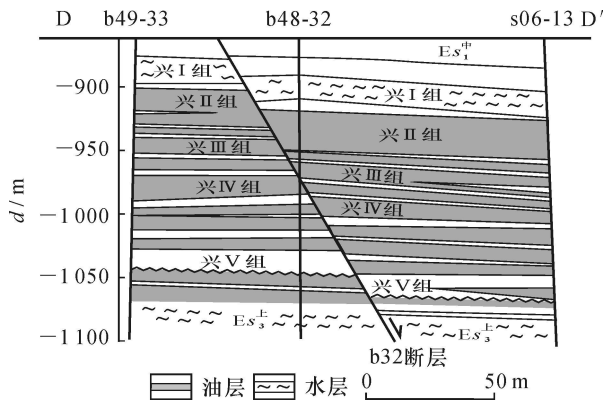


图 6 b32 断层剖面
Fig. 6 Faulted Profile of b32

4 断层对超稠油油藏开发的影响及解决方案

4.1 断层对超稠油油藏开发的影响

杜 229 断块生产目的层为 E_{S1+2} 段, 称为兴隆台油层, 进一步细分为 V 个油层组, 即兴 I 组、兴 II 组、兴 III 组、兴 IV 组和兴 V 组。其中, 兴 I 组普遍为水层, 因此, 该断块主要产层是兴 II 组 ~ 兴 V 组。

杜 229 断块自 1998 年投产以来生产效果较好, 但从 1999 年 11 月该块东南部 b32 断层附近的 b48 32 井出水以来, 水侵面积逐年扩大, 截止 2002 年 8 月底已有 36 口油井相继出水(见图 2), 水侵面积达 0.34 km^2 , 损失储量 $102.3 \times 10^4 \text{ t}$, 严重影响了生产。为此, 对出水层位和出水原因进行了精细分析和研究, 发现首先出水的油井都钻遇了 b32 断层, 水侵与断层关系密切。

b48 32 井是第一口出水井, 生产井段是 -1 002.3 ~ -1 028.1 m, 层位属于兴 V 组(见图 6)。1999 年 8 月投产初期生产效果较好, 日产油 45 t 左右(8 月 15 日 ~ 9 月 21 日), 但从 9 月 22 日开始, 含水迅速上升, 产油量急速下降。至 11 月初, 油井含水达到 100%。为了找出水的来源, 对该井的产出水(回采水)和注入水(锅炉水)进行取样分析。结果表明: b48 32 井产出水的水性与地层水相似(表 1), 因而推断该井产出的是地层水。

从油藏剖面图和油层平面分布图分析, b48 32 井周围兴 V 组油层连片分布, 不发育水层, 由此推定该井产出的地层水不是本层位的, 而是由于超稠油粘度大, 地层温度下不流动, 当生产井段压力降低时, 断层不封闭, 使下部兴 VI 组的水沿断层上串至生产井段而导致出水。

水侵面积不断扩大, 分析认为是由于油层平面连通性好, 储层水平渗透率大(兴 V 组平均为 $1.95 \mu\text{m}^2$), 水沿着连通层横向串流所致。如: b48 32 井出水后, 将生产井段封堵, 水又横向串流到相邻的

表 1 注入水、回采水和地层水水性对比

Tab. 1 Water Quality of Injection Water and Recovered Water and Formation Water										$\rho_B / (\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$
井号	井段 /m	$\text{Na}^+ + \text{K}^+$	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Cl^-	SO_3^-	HCO_3^-	CO_3^-	总矿化度	地下水类型
杜 207	998.0 ~ 1 024.6	610.0	7.0	8.0	275.0	48.0	1 053.0	45.0	2 046.0	地层水
杜 32	1 107.6 ~ 1 114.0	577.0	8.0	2.0	140.0		1 112.0	104.0	1 943.0	地层水
b48 32	1 002.3 ~ 1 028.1	654.4	4.0	2.4	203.9	76.8	1 189.9	60.0	2 191.4	回采水
锅炉水		613.2	0.7	0.1	62.0	7.2	363.7	0.0	1 080.2	注入水
b48 36	975.0 ~ 1 023.8	420.9	4.0	2.4	141.8	9.6	640.7	120.0	1 339.4	回采水

b49 33 井, 使该井于 2000 年 6 月投产, 当年 8 月开始出水(见图 6)。

为了验证这个推论, 对钻遇杜 81 断层的 b52 28 井组进行了示踪剂测试。2004 年 10 月 17 日在 b52 28 井的 - 973. 4 ~ - 991. 2 m 井段注入 250 kg 的碘化钾, 注入质量浓度为 20 % ~ 30 %。监测井有 b52 30、b54 32、b48 32、b50 30、b53 27、b53 29 共 6 口井。10 月 26 日首先在 b52 30 井检测到 I⁻ 离子, 其质量浓度为 0. 15 mg / L(表 2)。但是油藏剖面图 7 显示注入示踪剂井段与生产井段不是同一层位, 注入示踪剂的 b52 28 井的层位是兴 II 组, 而 b52 30 井生产层位是兴 II 组。分析认为, 示踪剂是从 b52 28 井的兴 II 组沿 s32 断层上串到 b52 30 井的兴 II 组, 并由 b52 30 井产出(图 7)。因此推断 s32 断层是不封闭的, 前面的推论是正确的。

表 2 b52 28 井组示踪剂(I⁻) 监测数据
Tab. 2 Data of Tracer (I⁻) Monitoring in Well Block of b52 28

井号	层位	井段 /m	井距 /m	$t_{\text{突破}} / \text{d}$	$\rho(\text{I}^-)_{\text{突破}} / (\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	$v_{\text{突破}} / (\text{m} \cdot \text{d}^{-1})$
b52 28	III	973. 4 ~ 991. 2	0			
b52 30	II	921. 0 ~ 947. 0	100	9. 0	0. 15	11. 11
b54 32	II	920. 0 ~ 936. 7	224			
b48 32	II	928. 4 ~ 941. 8	280			
b50 30	IV+ V	990. 0 ~ 1 036. 0	140	11. 5	0. 45	12. 17
b53 27	IV+ V	1 005. 0 ~ 1 043	70			
b53 29	IV+ V	996. 2 ~ 1 051. 2	70	13. 0	1. 42	5. 38

注: b52 28 为注入井, 其他为监测井

4. 2 解决方案

针对该块断层对超稠油开发的影响, 在生产中, 采取了相应的措施。

(1) 对于钻遇断层的油井, 投产后出地层水且已波及邻井, 采取本井及邻井同时封堵出水层位。如 b48 - 32 井和 b49 - 33 井出水后, 两井同时采取了堵水措施, 堵水后两井生产正常。

(2) 根据数值模拟结果和观察井监测资料分

析, 该块油井的动用半径是 30 ~ 50 m, 因此, 部署在区块边部的油井, 生产井段与不封闭断层的距离至少要在一个井距以上, 即大于 70 m。

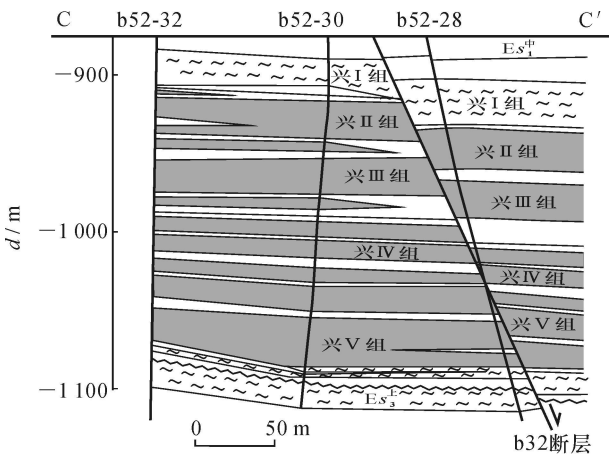


图 7 过 b52 28 井油藏剖面
Fig. 7 Through Reservoir Profile of b52 28 Well

5 结论与建议

- (1) 不同性质断层在超稠油成藏过程中所起作用不同, 边界同沉积断层起侧向封堵作用, 后期小断层使油藏复杂化。
- (2) 断层的不封闭是导致杜 229 块水侵的主要原因。
- (3) 建议在以后超稠油油藏开发生产中, 生产井段与不封闭断层的距离要大于 70 m。

[参 考 文 献]

[1] 戴春山, 杨新娜, 李应暹. 西部凹陷西斜坡非背斜油气藏的分布及其勘探意义[C] // 马玉龙, 牛仲仁. 辽河油区勘探与开发(勘探分册). 北京: 石油工业出版社, 1997.

[2] 苏生瑞, 张靖宇, 毛彦龙. 辽河油田曙一区杜 84 块兴隆台油层构造应力场研究[J]. 西安工程学院学报, 2001, 23(1): 11 - 15.

[3] 张世奇, 任延广. 松辽盆地中生代沉积基准面变化研究[J]. 长安大学学报: 地球科学版, 2003 25(2): 1 - 5.

[4] 陈振岩, 陈永成, 仇劲涛. 等. 辽河盆地新生代断裂与油气关系[J]. 石油实验地质, 2002, 24(5): 407 - 412.

[5] 肖焕钦, 陈广军. 断层在油气成藏中的作用[J]. 特种油气藏, 2003, 10(2): 17 - 30.

[6] 张年富, 张越迁, 徐常胜. 等. 陆梁隆起断裂系统及其对油气运聚集的控制作用[J]. 新疆石油地质, 2003, 24(4): 281 - 283.

[7] 廖兴明, 张古文. 欢曙上台阶陶组凝结型油藏的形成条件及分布规律[J]. 辽宁地质学报, 1992, 11(2): 80 - 86.