

doi:10.3799/dqkx.2013.078

松辽盆地北部 T₂ 反射层断裂密集带成因机制

孙永河, 白 鹿, 付晓飞

东北石油大学地球科学学院, 黑龙江大庆 163318

摘要: 松辽盆地北部 T₂ 反射层断裂与中浅层油气的运聚成藏关系紧密, 揭示 T₂ 反射层断裂密集带的成因机制对指导油气勘探至关重要。基于松辽盆地北部区域地震解释, 从分析断裂发育特征着手, 以断裂形成演化过程为主线, 系统剖析了盆地演化不同阶段断裂的变形机制, 揭示了 T₂ 反射层断裂密集带的形成机制及其对油气运聚成藏的指示作用。研究表明, T₂ 反射层断裂密集带是在断陷演化基础上, 在断陷期断裂先存构造、泉一二段塑性泥岩盖层水平拆离作用和近 EW 向拉张应力场的控制下形成的, 全区以近 SN 向拉张机制伸展型密集带为主, NE 向、NW 向和近 EW 向斜拉机制调节型密集带和走滑调节型密集带零星分布。盆地反转期受断陷半地堑、基底深大断裂和左旋压扭变形场控制形成反转构造带的同时, 反转构造带内的断裂密集带被逆时针旋转改造而定型, 呈 NW-NNW 向展布为主。反转构造带内 T₂ 反射层 NW-NNW 向断裂密集带边部断裂和未反转区内 T₂ 反射层近 SN 向断裂密集带边部断裂长期活动, 与油气大量生排烃时期匹配, 是中浅层油气运聚成藏的油田断层。

关键词: T₂ 反射层断裂密集带; 成因机制; 先存构造; 反转构造带; 松辽盆地北部; 石油地质。

中图分类号: P542

文章编号: 1000-2383(2013)04-0797-10

收稿日期: 2012-11-10

Genetic Mechanism of T₂ Reflector Fault Dense Zones in Northern Songliao Basin

SUN Yong-he, BAI Lu, FU Xiao-fei

College of Geosciences, Northeast Petroleum University, Daqing 163318, China

Abstract: The relationship between T₂ reflector fault and hydrocarbon accumulation reservoir of middle-shallow layer is close, which proves genetic mechanism of T₂ reflector fault dense zones is important for hydrocarbon exploration. Based on the northern Songliao basin regional seismic interpretation, the analysis of the development characteristics and the formation and evolution of fault, we systematically analyze fault deformation mechanism at different stages, which reveal formation mechanism of T₂ reflector fault dense zones and indication of hydrocarbon exploration. This study shows that T₂ reflector fault dense zones have been formed through the following three periods, namely, the initial faulted period, pre-structure in faulted period, and level detachment of plastic mudstone cap rock and EW tension stress field in Quanyu member. Stretch dense zones of SN tension stress mechanism dominates the region. Accommodation and strike slip accommodation dense zones of NE, NW and EW oblique stretch mechanism is fragmentary in distribution. Sinistral compresso-shear deformation field, half grabens during faulted period and basal huge faults jointly control the formation of subprime anticlines and structural inversion belts during reversed period, meanwhile, fault dense zones of structural inversion belts reform and setting as main NW-NNW by counter-clockwise rotation. Edge fault in T₂ reflector NW-NNW fault dense zones of structural inversion belts and SN fault dense zones of structural non-inversion belts are long-term activity, of which matches with hydrocarbon generation and expulsion phase in time. They are oil-migrating faults of hydrocarbon accumulation reservoir in middle-shallow layer.

Key words: T₂ reflector fault dense zone; genetic mechanism; pre-structure; structural inversion belts; northern Songliao basin; petroleum geology.

基金项目: 国家自然科学基金项目(No. 41072163); 高等学校博士学科点专项科研基金(No. 20112322120002)。

作者简介: 孙永河(1979—), 男, 副教授, 博士, 主要从事含油气盆地构造分析与资源评价方面的教学和科研工作。E-mail: syh79218@163.com

1 地质概况

盆地呈 NE 向展布,垂向上为断陷与坳陷叠置的叠合型盆地(胡望水等,2005;云金表等,2008). 松辽盆地北部构造演化经历了断陷、坳陷和反转 3 个阶段

松辽盆地是一个中—新生代陆相含油气盆地,

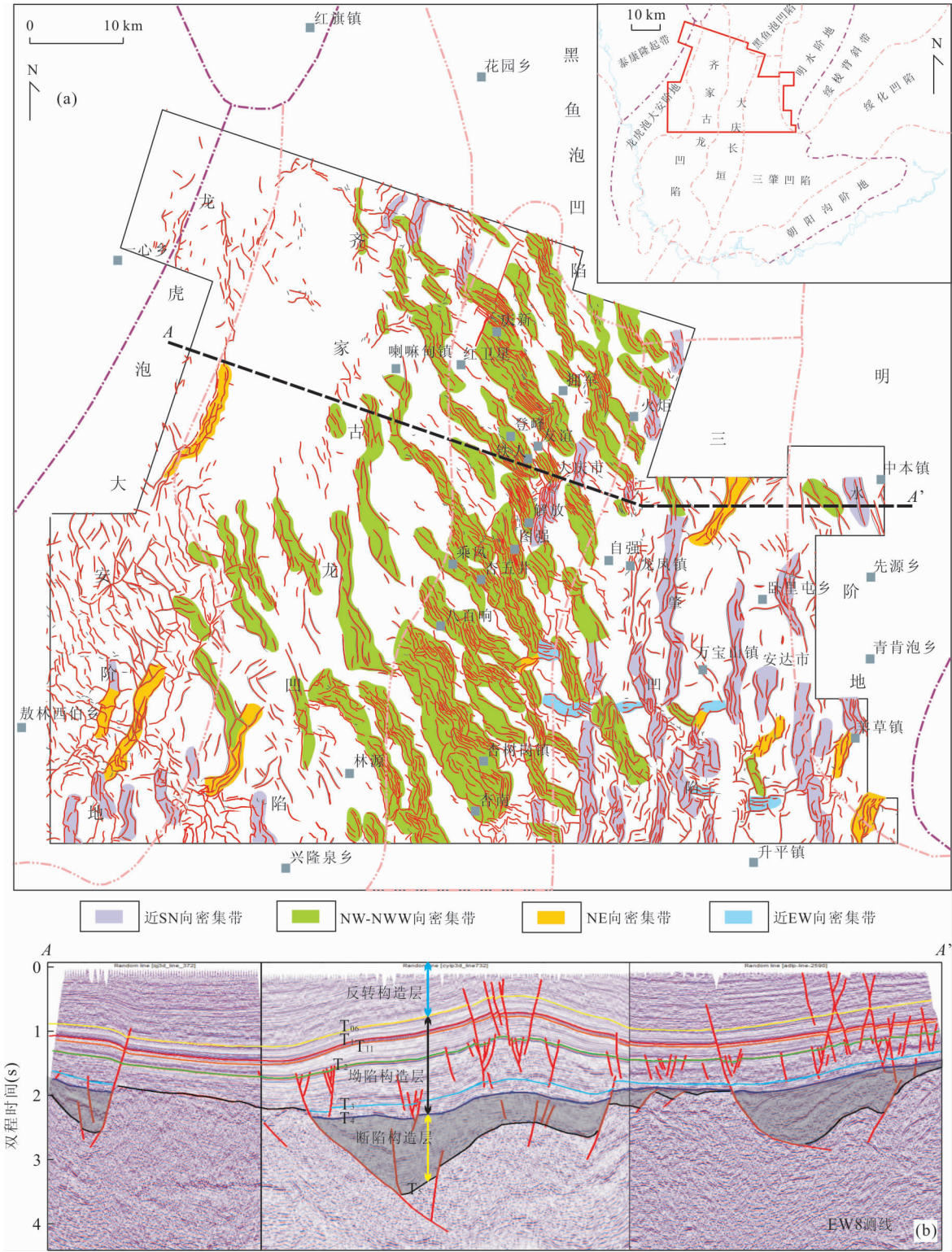


图 1 松辽盆地北部工区位置及 T₂ 反射层断裂密集带平面、剖面特征

Fig. 1 Work area position ,plane and profile of T₂ reflector fault dense zones in Northern Songliao basin
a. T₂ 反射层断裂和断裂密集带分布;b. 构造层划分及 T₂ 反射层断裂剖面特征(剖面位置见图 1a)

(李君等,2008;冯志强等,2012),形成了 3 大构造层(图 1b),自下而上分别为由下白垩统火石岭组(K_{1h})和下白垩统沙河子组(K_{1sh})、营城组(K_{1yc})构成的断陷构造层、由下白垩统登娄库组(K_{1d})、泉头组(K_{1q})和上白垩统青山口组(K_{2qn})、姚家组(K_{2y})、嫩江组(K_{2n})构成的拗陷构造层以及由上白垩统四方台组(K_{2s})、明水组(K_{2m})及新生界地层构成的反转构造层(殷进垠等,2002;付晓飞等,2007).不同构造层断裂的平面展布、剖面形态及断穿层位差异较大,这种差异是断裂的多期和多性质变形的结果,即断裂演化先后经历了断陷期火石岭组—沙河子组—营城组持续伸展变形(史双双等,2012)、拗陷期青山口组—姚家组持续张扭变形(张文军等,2004)和反转期以来嫩江组末期和明水组末期及古近纪末期的连续反转变形(殷进垠等,2002;方立敏等,2003;蒙启安等,2006),基于以上断裂 3 阶段和 3 性质变形可将松辽盆地北部发育的断裂划分为 6 种类型,即分别为仅断陷期活动的断裂(Ⅰ型)、仅拗陷期活动的断裂(Ⅱ型)、仅反转期活动的断裂(Ⅲ型)、断陷—拗陷期持续活动的断裂(Ⅰ—Ⅱ型)、拗陷—反转期持续活动的断裂(Ⅱ—Ⅲ型)和断陷—拗陷—反转期持续活动的断裂(Ⅰ—Ⅱ—Ⅲ型).

T₂ 反射层为拗陷构造层青山口组与泉头组分界,T₂ 反射层断层主要形成于青山口组时期,与其他层位相比断裂密度大且规模小(图 1a)(胡望水,

1995;刘德来等,1996),剖面上由“V 字型”断裂或“嵌套 V 字型”断裂构成小型地堑或地堑系统(图 1b),而构成这些小型地堑(地堑系统)的断裂在平面上呈条带状分布,我们称之为“断裂密集带”(图 1a).松辽盆地北部 T₂ 反射层断层与扶杨油层油气运聚成藏关系密切,但其高密度、规模小的特征又使人们很难从断裂的变形特征和演化规律方面研究其对油气运聚的影响,因此,本文在三维地震资料拼接连片解释基础上,以断裂演化序列为主线,以构造解析思想为指导,从“断裂密集带”着手深入剖析 T₂ 断裂的变形机制及形成演化过程,进而揭示其成因机制,这对深入认识扶杨油层油气运聚成藏规律具有重要的指导意义.受三维地震资料解释范围限制,研究区位于松辽盆地北部的中北区(图 1a),面积 4 951.7 km²,构造上自西向东包括中浅层的龙虎泡大安阶地、齐家古龙凹陷、大庆长垣、三肇凹陷和明水阶地等构造单元的北部地区.

2 T₂ 反射层断裂及断裂密集带发育特征

断裂的发育特征主要指断裂的几何学特征,明确断裂和断裂密集带的几何学特征是认识断裂密集带形成机制的基础.

断裂产状:断裂在平面上有两个优势的走向方位,即 NW-NNW 走向和近 SN 走向(图 2). NW-

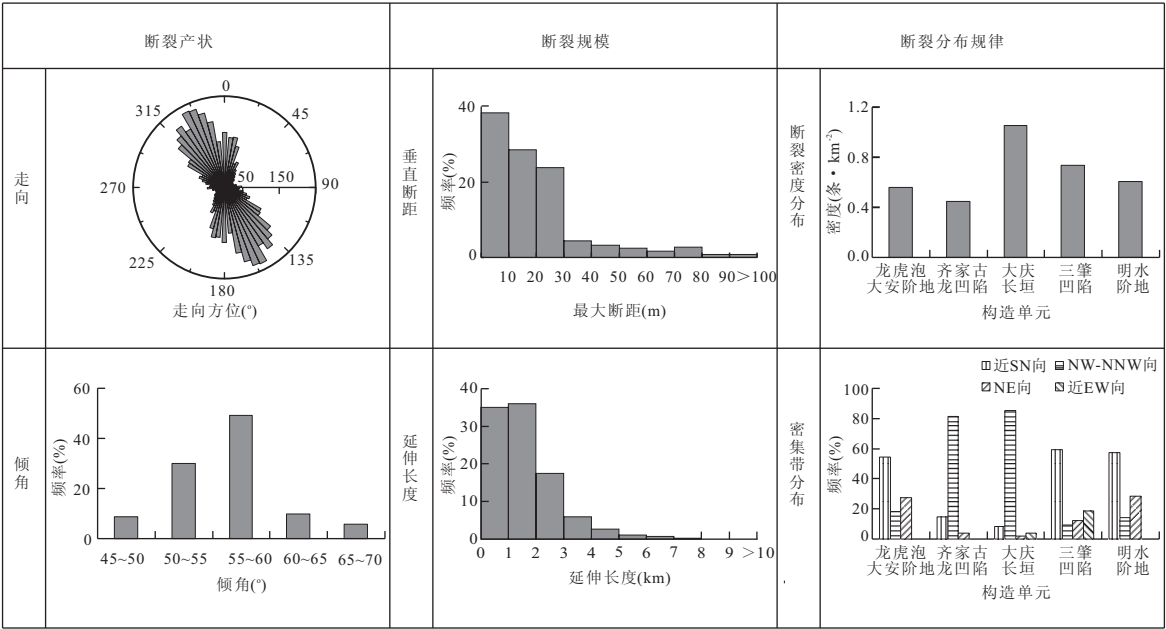


图 2 松辽盆地北部 T₂ 反射层断裂和断裂密集带几何学特征

Fig. 2 Geometric features of T₂ reflector fault and fault dense zones in northern Songliao basin

NNW 走向断层自西向东在龙虎泡大安阶地、齐家古龙凹陷、大庆长垣、三肇凹陷和明水阶地均有不同程度的分布,其中以大庆长垣分布最为广泛;近 SN 走向断层主要分布在大庆长垣以外的其他地区;NE 走向和近 EW 走向断层在全区零星分布(图 1a).剖面上断裂形态为平直状,断层倾角较陡,一般 $45^{\circ}\sim 70^{\circ}$ 之间,其中倾角在 $55^{\circ}\sim 60^{\circ}$ 之间的断层最多,其次是 $50^{\circ}\sim 55^{\circ}$ 的断裂,其余倾角的断裂相对少些.

断裂规模:断裂规模主要体现在断裂垂直断距和延伸长度分布上.统计发现,断裂规模相对较小,断距一般集中在 $0\sim 30$ m,延伸长度一般集中在 $0\sim 2$ km.

剖面组合模式和穿层性:断裂在剖面上围绕 T_2 界面呈现“V 字型”(或“嵌套 V 字型”)组合模式(图 1b),大部分与下部断陷层断裂不直接相连呈“似花状”组合,少部分是与下部断陷层断裂是硬连接构成“负花状”组合.基于这种断裂组合模式,断裂的穿层特征比较复杂,“V 字型”内部断裂一般仅断穿 T_2 反射层,少部分断穿 T_2-T_{11} (姚一段顶界)反射层,属于 II 型断裂;“V 字型”边部断裂既有断穿 T_2-T_4 (营城组顶界)反射层的,属于 I-II 型长期活动断裂,又有断穿 T_2-T_6 (嫩二段顶界)反射层的,属于 II-III 型长期活动断裂,极个别地区发育断穿 $T_4-T_2-T_6$ 反射层的 I-II-III 型长期活动断裂.

平面分布规律:平面上断裂的发育程度在不同地区略有差异,大庆长垣断裂密度最大,约为 1.05 条/ km^2 ,其次是三肇凹陷和明水阶地,断裂密度分别约为 0.74 条/ km^2 和 0.61 条/ km^2 ,再次是龙虎泡大安阶地和齐家古龙凹陷,断裂密度分别约为 0.56 条/ km^2 和 0.45 条/ km^2 . 相比而言,断裂密集带走向方位在不同地区都差异较大,在 T_2 发育的近 SN 向、NW-NNW 向、NE 向和近 EW 向密集带中(图 1a),NW-NNW 向密集带最为发育,共 65 条,主要集中分布在大庆长垣和齐家古龙凹陷的东部地区,其次是近 SN 向的密集带,共 37 条,主要集中分布在三肇凹陷、明水阶地和龙虎泡大安阶地,而 NE 向和近 EW 向密集带分别为 10 条和 6 条,在各地均零星分布(图 2).

3 T_2 反射层断裂密集带成因机制及演化规律

松辽盆地北部成盆以来先后经历了断陷、拗陷和反转 3 个演化阶段, T_2 断裂密集带的形成是在断

陷格局作为先存构造基础上,在拗陷阶段发生张扭变形而形成,之后在盆地的晚期反转变形阶段又经历了后期的改造而定型.因此,厘定盆地不同演化阶段的断裂的变形特征及形成演化机制才能揭示 T_2 断裂密集带的成因机制及演化.

3.1 断裂密集带的形成背景

火石岭组—沙河子组—营城组时期为盆地的裂陷演化阶段(史双双等,2012),盆地结构为一系列箕状半地堑(图 3 和图 1b),半地堑展布方向主要为 NE 走向,如大庆长垣和龙虎泡大安阶段对应的深部断陷.而三肇凹陷对应的徐家围子断陷主要为 NW-NNW 走向.从断陷构造走向与区域深大断裂叠合关系可知,深大断裂作为盆地断陷充填的先存构造,对盆地的格局具有明显的控制作用. NNE 向大庆长垣明显受控于 NNE 向的克山—大安深大断裂,而 NNW 向徐家围子断陷主要受 NNW 向的滨州深大断裂,而且受 NNW 向滨州深大断裂与 NE 向海伦—任民深大断裂交叉影响,徐家围子断陷的控陷断层也表现为 NNW-NE 走向的变化规律(图 3).从发育的断裂类型来看,大部分为 III 型断裂,其次为 II 型断裂,极个别发育 I 型断裂,表明断陷期活动的断裂与 T_2 反射层硬连接的断裂不是很发育.

依据不受先存构造影响的断陷(龙虎泡大安阶段对应的深部半地堑)走向和次级基底断裂的走向均为 NE 向,推测此时期区域引张应力场为 NW-SE 方向(图 2a),该应力场主要受控于太平洋板块与欧亚大陆板块的俯冲造成深部地幔物质上拱(钟延秋和马文娟,2011),该应力场作用下地壳浅表发生张裂、伸展形成大陆内裂陷盆地,同时受区域深大断裂影响,形成了 NE 向断陷、断裂与 NNW 向断陷、断裂共存的构造格局.这种构造格局对之后拗陷期 T_2 断裂密集带和反转期反转构造带的形成具有重要的影响.

3.2 断裂密集带形成时的变形特征

登娄库组沉积开始盆地进入拗陷演化阶段,该阶段一直持续到嫩江组沉积晚期(张文军等,2004).其中在青山口组—姚家组时期发生强烈断裂活动,形成高密度分布的 T_2 断裂(图 1a).从剖面上看,受泉一二段塑性泥岩盖层水平拆离作用影响,大部分密集带与深部断陷层断裂呈软连接特征,但断陷层断裂作为先存构造可以对密集带起到透入性的影响作用,即断陷层断裂作为薄弱带控制着断裂密集带的形成及带的组合模式.从密集带与 T_4 反射层不同类型断裂对应关系来看(图 3),大庆长垣地区 I-

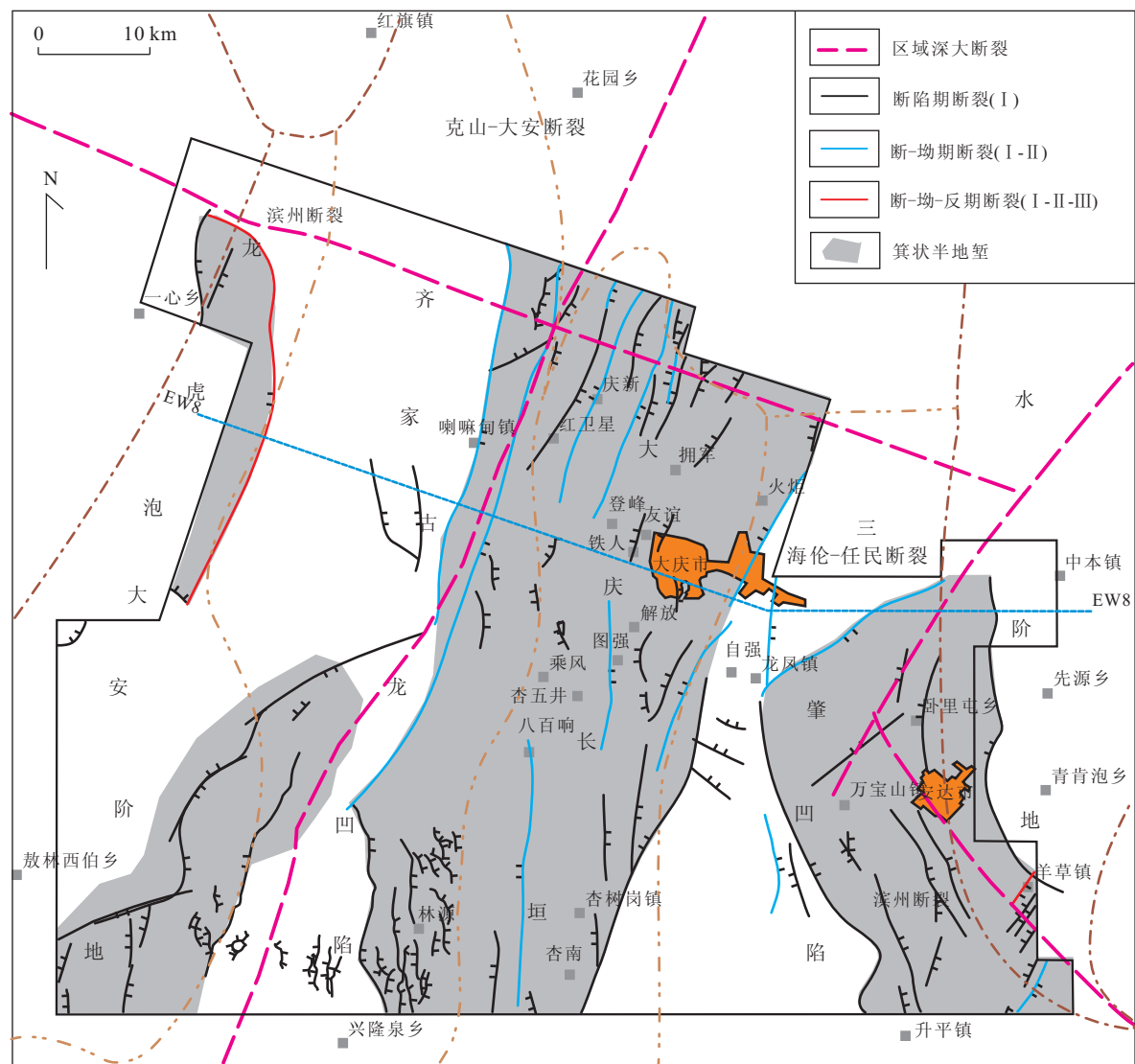


图 3 松辽盆地北部 T₄ 反射层(营城组顶界)断裂类型与断陷结构、深大断裂分布叠合

Fig. 3 Fault types, fault depression structure and huge fault distribution in T₄(top of Yingcheng group) reflector

II 型断裂较为发育,因断裂的持续性活动,其控制的密集带发育程度最高;其他地区只是零星发育 I-II 型持续活动的断裂,大多断裂为仅断陷期活动形成的断裂,因在之后的坳陷期未持续活动,其对密集带的形成影响小,故密集带的发育程度相对较低。

上述多方位密集带的形成除了受控于断陷期先存构造和泉一二段塑性泥岩盖层以外,还与特定的应力机制有直接关系。在盆地坳陷演化阶段,断陷期的地幔柱及火山作用均已经处于强烈热衰减阶段,其上拱的引张应力明显减弱,此时在板块作用下远程传递的应力场作用却逐渐增强。因此,水平方向的区域应力对断裂活动及断裂密集带的形成起到主导控制作用。三肇凹陷、明水阶地和龙虎泡大安阶地发育的各走向密集带内的次级断裂走向主要为近 SN 走向(图

4),在盆地晚期反转时未发生明显的构造反转变形,即对坳陷期形成的断裂密集带没有进行强烈的改造作用。由此推测坳陷期的区域应力场方向为近 EW 向的拉张应力场,这种应力场与断陷期不同走向先存构造配置使断裂发生张扭性质的变形。三肇凹陷、明水阶段和龙虎泡大安阶段现今发育的近 SN 向密集带为拉张机制下的伸展型密集带,受 NE 向先存构造(如三肇凹陷对应的徐家围子断陷 NE 向断裂)影响的密集带呈右阶斜列分布,而受 NNW 向先存构造(如三肇凹陷对应的徐家围子断陷 NNW 向断裂)影响的密集带呈左阶斜列分布(图 4);NE 向和 NW 向密集带为斜拉机制下的调节型密集带,其斜拉机制的主控先存构造为断陷层发育的 I 型断裂;近 EW 向密集带为走滑机制下的调节型密集带,主要调节近 SN

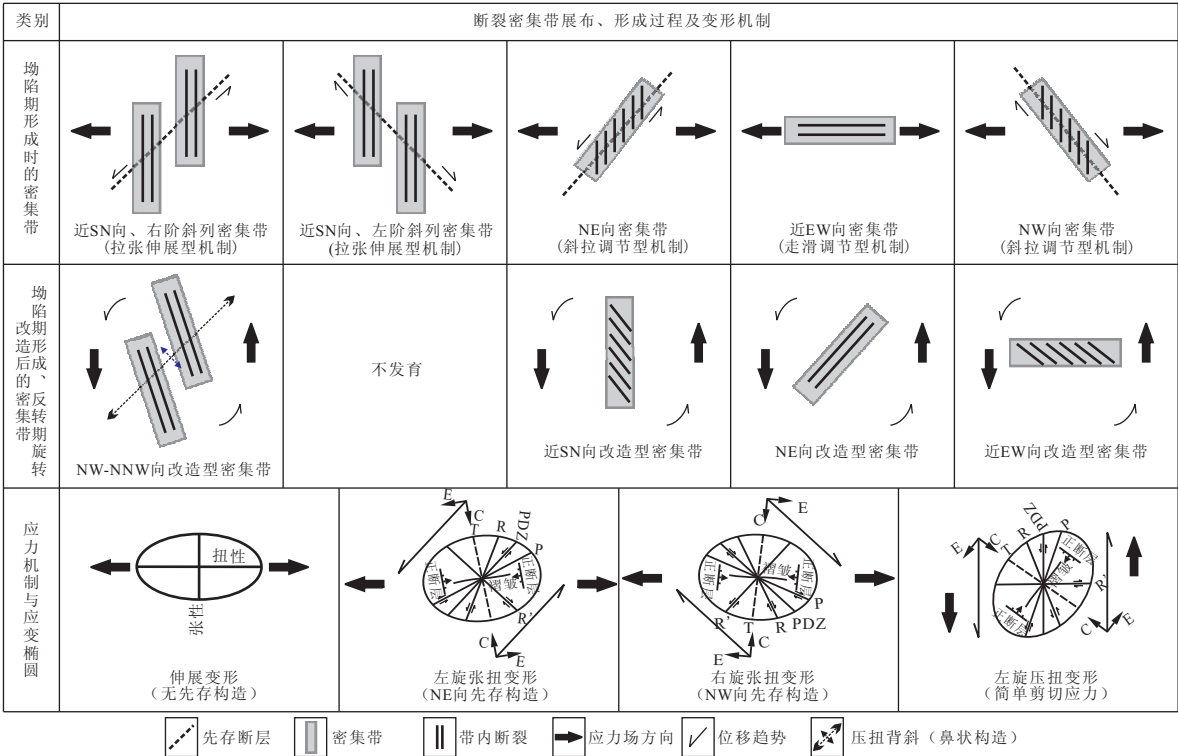


图 4 松辽盆地北部 T₂ 反射层断裂密集带形成机制模式

Fig. 4 Genetic mechanism of T₂ reflector fault dense zones in northern Songliao basin

向密集带的伸展位移差异。

大庆长垣和齐家古龙凹陷东部地区地处松辽盆地北部腹地,其内发育的大量断裂密集带理应也为近 EW 向拉张应力场下的张扭成因机制,即密集带也应为近 SN 走向为主.但这两个地区发育的断裂密集带主要为 NW-NNW 走向,且密集带内的次级断层走向也为 NW-NNW 走向,经过研究发现,该地区最大特点是在盆地晚期反转时发生了强烈的构造反转变形,从而形成大庆长垣等反转构造带(图 5),这种构造反转变形是在左旋压扭机制下发生的(后续详细分析),从而对坳陷期形成的断裂密集带进行了逆时针旋转改造而定型.因此,大庆长垣和齐家古龙凹陷现今发育的 NW-NNW 向密集带为坳陷期拉张形成的近 SN 向伸展型密集带,受 NE 向先存构造影响的密集带呈右阶斜列分布(图 4),在反转期被逆时针旋转改造而定型;现今近 SN 向和近 EW 向密集带分别为坳陷期斜拉形成的 NE 向和 NW 向调节型密集带,在反转期被逆时针旋转改造而定型;现今 NE 向密集带为坳陷期走滑形成的近 EW 向密集带,在反转期被逆时针旋转改造而定型。

3.3 断裂密集带的改造、定型机制分析

四方台组开始,盆地进入反转变形阶段,其中明

水组末期的构造反转最为强烈(张莉等,2002;陈骁等,2010;宋鹰等,2010),最终形成了几乎接近现今的构造格局,典型特征是形成了 NE 和 NNE 走向方位为主体的诸多反转背斜带或反转构造带.这里的构造反转变形是指盆地构造起伏在极性上的变化,即盆地在坳陷期拉张作用下后期叠加挤压作用而形成的正反转构造(Harding, 1984; Mitra, 1993).研究区的反转区带主要有 4 个(图 5):西部龙虎泡大安阶地发育两个 NE 走向、左阶斜列分布反转构造带,对应龙虎泡反转背斜带的北段(张功成等, 1996);中部为一个 NNE 走向的反转构造带,对应大庆长垣反转背斜带的北段;东部明水阶地发育一个 NE 走向的反转构造带,对应安达背斜带的南段.齐家古龙凹陷和三肇凹陷均未发生明显的反转变形.从反转区带的分布规律与断陷期半地堑、基底深大断裂对应关系来看(图 3 和图 5),除了三肇凹陷对应的徐家围子断陷半地堑没有发生反转外,其他发育断陷半地堑和深大断裂的地区均在盆地的浅层对应发育着反转构造带(Koopman *et al.*, 1987; Ventisette *et al.*, 2006),而且反转背斜带的长轴走向与半地堑走向和深大断裂走向一致,表明在盆地晚期回返挤压变形过程中,断陷半地堑和深大断裂

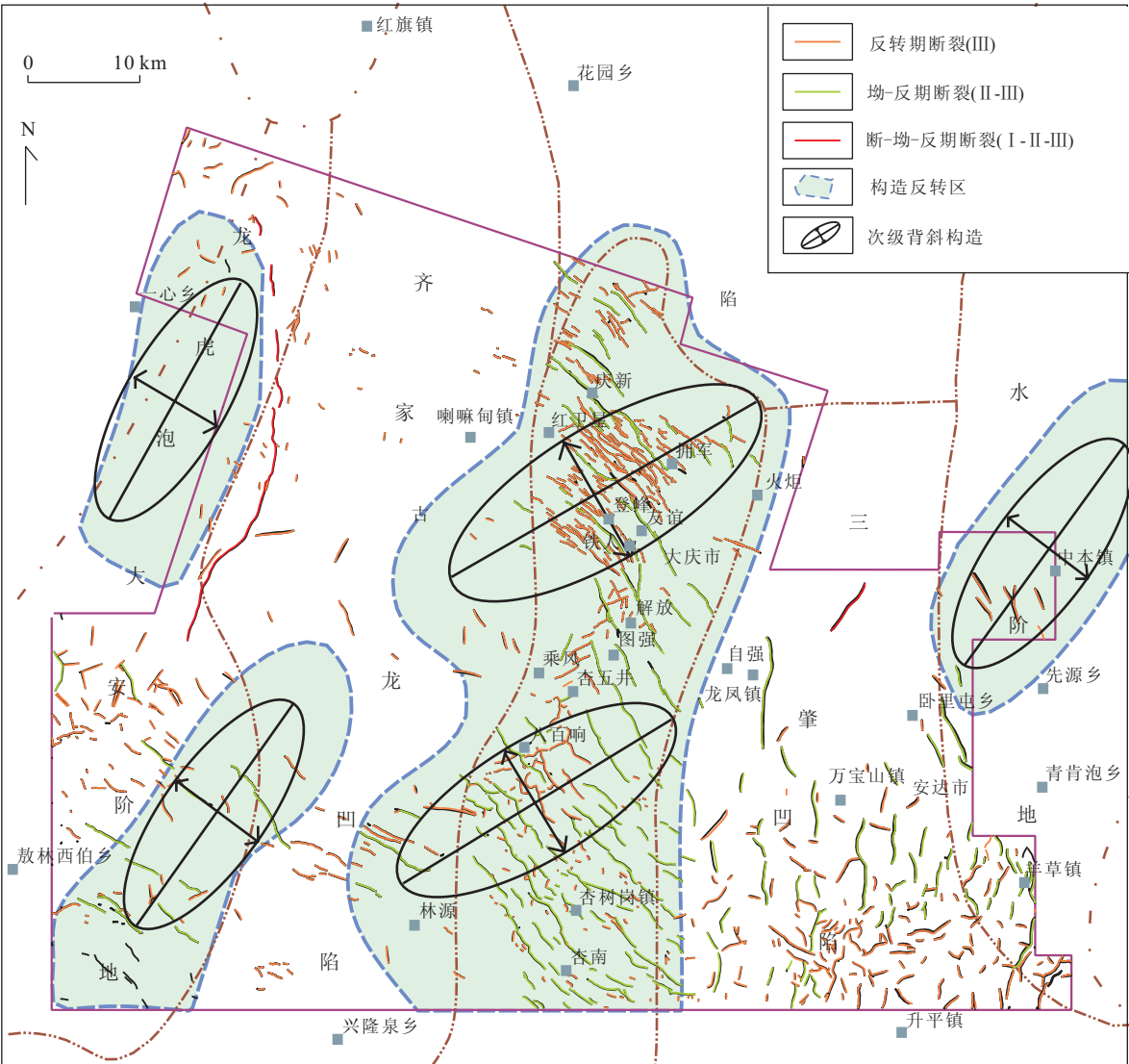


图 5 松辽盆地北部 T₂(嫩二段顶界)断裂类型与次级背斜带、反转构造带分布叠合

Fig. 5 Superimposition of fault types, subprime anticlines and structural inversion belts in T₂ reflector (top of Nen member) of northern Songliao basin

作为先存构造是控制反转背斜带或反转构造带形成的主导因素,齐家古龙凹陷就是缺少先存构造条件而没有发生构造反转.西部龙虎泡侧列的两个反转背斜带仅受断陷半地堑控制形成,东部安达背斜带仅受基底深大断裂控制形成,这 3 个反转背斜带反转程度相对较小(图 1b),大庆长垣反转背斜带则受断陷半地堑和克山一大安深大断裂的双重控制下形成的,其反转程度最大.

控制反转构造带形成演化的另一个因素就是区域应力场下的盆地变形场特征.从盆地反转变形伴生的构造要素特征来看,新生的断裂(Ⅲ型断裂)主要为 NW 走向,次级背斜长轴方向主要为 NE 走向(图 5),次级背斜间呈左阶斜列关系,如龙虎泡两个

背斜带.由此,推测松辽盆地北部晚期构造反转变形是在左旋压扭变形场下形成演化的(图 4),这种变形场源自 NNW-SSE 方向的区域挤压应力场(张莉等,2002).影响龙虎泡背斜带和安达背斜带形成的先存构造分别为 NE 走向的断陷半地堑和 NE 走向的海伦—任民深大断裂,故其在 NNW-SSE 向挤压应力作用下而发生构造反转;大庆长垣对应的断陷半地堑和克山一大安深大断裂均为 NNE 走向,在 NNW-SSE 向挤压应力作用下发生左旋压扭变形,从而形成了 NE 走向的次级背斜带并沿着断陷半地堑和克山一大安断裂呈左阶斜列分布模式(图 5).随着左旋压扭变形的增强,最终连接成与断陷半地堑和基底深大断裂走向一致的 NNE 走向的大庆长

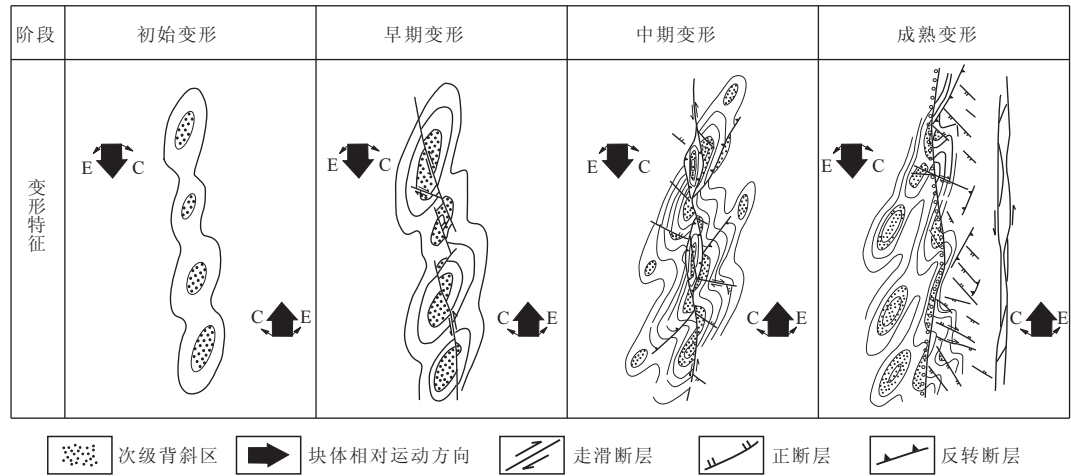


图 6 先存构造走滑递进位移引起的浅部地层变形过程(Harding and Lowell, 1979)
Fig. 6 Pre-structure Strike-slip progression displacement caused by formation of low layer

垣(图 6). 而现今给留下的痕迹便是大庆长垣深入西部齐家古龙凹陷的鼻状构造带, 如研究区长垣西侧发育的萨尔图西鼻状构造带和杏树岗西鼻状构造带. 在研究区南部的大庆长垣内还发育高台子西鼻状构造带和葡萄花西鼻状构造带. 三肇凹陷对应深部的徐家围子断陷, 其半地堑展布方位为 NW-NNW 走向, 与挤压应力场方向一致, 因此徐家围子断陷在盆地晚期挤压反转演化过程中没有发生明显的反转变形.

综上所述, 区域挤压应力场方向与先存的断陷主干边界断裂高角度作用是控制反转构造带形成的主导因素. 物理模拟证实, 当区域应力场高角度作用先存主干边界断裂上盘的半地堑时, 沿着主干边界断裂上盘发育冲起构造 (McClay, 1995; Amilibia *et al.*, 2005), 即形成反转构造.

松辽盆地北部晚期构造反转除了形成反转背斜外, 活动的断裂也受反转变形影响而发生旋转变形. 从反转构造带(如大庆长垣)内断裂展布来看, 主要为 NW-NNW 走向, 其中新生的 III 型断裂主要受左旋压扭变形场下次级 NE-SW 向伸展应力分量控制形成的. II-III 型断裂在拗陷期活动时为近 SN 走向, 为 T₂ 断裂密集带的边部断裂, 其在盆地晚期左旋压扭变形中形成次级反转背斜的同时复活并发生逆时针旋转, 与此同时在次级 NE-SW 向伸展应力分量作用下进一步活动形成 NW-NNW 走向的正断层. 由于大庆长垣反转程度大, 其反转变形波及的层位较深, 故导致 T₂ 断裂密集带均被改造成 NW-NNW 走向(图 1a 和图 4). 从 T₂ 断裂密集带断裂在构造反转期主要是密集带边缘部断裂, 即 II-III 型断

裂强烈活动, 而反转期恰为油气的成藏关键时刻(侯贵廷等, 2004; 张学军等, 2008; 陈骁等, 2010; 付秀丽等, 2010; 于丹等, 2010). 因此, II-III 型断裂是中浅层油气的主要油源断层. 其中在反转构造带内, 因地层上弯形成大背斜圈闭条件, 沿 NW-NNW 向的 II-III 型断裂运移的油气在密集带内和带外具有油气聚集, 这主要受控于背斜的圈闭条件. 而未发生反转区域, 断裂的活动往往在断裂下盘即断裂密集带外区域形成高断块圈闭条件, 沿近 SN 向的 II-III 型断裂运移的油气更多聚集在断裂密集带外的断块或断背斜圈闭中.

4 结论

(1) T₂ 反射层断裂走向主要为 NW-NNW 向和近 SN 走向, 断面平直状且倾角陡、规模小. 剖面呈“V 字型”构成“负花状”或“似花状”组合, 平面上构成断裂密集带. 大庆长垣和齐家古龙凹陷东部主要发育 NW-NNW 向密集带, 零星分布近 SN 向、近 EW 向和 NE 向密集带; 三肇凹陷、明水阶地和龙虎泡大安阶地主要发育近 SN 向密集带, 零星分布 NW 向、NE 向和近 EW 向密集带.

(2) 断陷期断裂先存构造、泉一二段塑性泥岩盖层的水平拆离、拗陷期近 EW 向拉张应力场控制了 T₂ 反射层全区近 SN 向拉张机制下的伸展型密集带的形成, 受先存构造影响呈右阶或左阶斜列分布, 而形成时的 NE 向、NW 向和近 EW 向密集带分别为斜拉机制下的调节型密集带和走滑机制下的调节型密集带.

(3)断陷箕状半地堑、基底深大断裂和左旋压扭变形场控制了反转期反转构造带的形成演化,导致反转构造带内的 T_2 断裂密集带发生逆时针旋转改造而定型,最终形成了反转构造带的大庆长垣和齐家古龙东部的现今 T_2 断裂密集带以 NW-NWW 向为主,而为反转的三肇凹陷、明水阶地和龙虎泡大安阶地的现今 T_2 断裂密集带以近 SN 向为主。

(4)反转构造带内的 T_2 断裂密集带边部断裂(NW-NNW 向)和未反转区带的 T_2 断裂密集带边部断裂(近 SN 向)为拗陷期活动形成、反转期持续活动的断裂,是中浅层油气运聚成藏的油源断层。

References

- Amilibia, A., McClay, K. R., Sabat, F., et al., 2005. Analogue Modeling of Inverted Oblique Rift Systems. *Geologica Acta*, 3(3): 251—271.
- Chen, X., Li, Z. Q., Chen, J. L., et al., 2010. Determination of the Reverse Period of Songliao Basin, China. *Geological Bulletin of China*, 29(2—3): 305—311(in Chinese with English abstract).
- Fang, L. M., Li, Y. X., Yin, J. Y., et al., 2003. Characters of Reverse Tectonics and Its Forming Mechanism in Late of Fault Depression in Songliao Basin. *Oil Geophysical Prospecting*, 38(2): 190—193(in Chinese with English abstract).
- Feng, Z. Q., Zhang, S., Fu, X. L., 2012. Depositional Evolution and Accumulation Response of Yaojia-Nenjiang Formation in Songliao Basin. *Earth Science Frontiers*, 19(1): 78—88(in Chinese with English abstract).
- Fu, X. F., Wang, P. Y., Lv, Y. F., et al., 2007. Tectonic Features and Control of Oil-Gas Accumulation in the West Slope of Songliao Basin. *Chinese Journal of Geology*, 42(2): 209—222(in Chinese with English abstract).
- Fu, X. L., Zhang, S., Liang, J. P., 2010. Characteristics of Hydrocarbon Accumulation in the Shallow Secondary Reservoirs in the Northern Songliao Basin. *Natural Gas Industry*, 30(4): 29—34(in Chinese with English abstract).
- Harding, T. P., 1984. Structural Inversion at Rambutan Oil Field, South Sumatra Basin. *AAPG Bull.*, 3: 33—362.
- Harding, T. P., Lowell, J. D., 1979. Structural Styles, Their Plate-Tectonic Habitats, and Hydrocarbon Traps in Petroleum Provinces. *American Assoc. Petroleum Geol. Bull.*, 63(7): 1016—1058.
- Hou, G. T., Feng, D. C., Wang, W. M., et al., 2004. Reverse Structures and Their Impacts on Hydrocarbon Accumulation in Songliao Basin. *Oil & Gas Geology*, 25(1): 49—53(in Chinese with English abstract).
- Hu, W. S., 1995. “ T_2 ” Faults System and Early Qingshankou Stretched Rifting in Songliao Basin. *Petroleum Exploration and Development*, 22(2): 8—12(in Chinese with English abstract).
- Hu, W. S., Lü, B. Q., Zhang, W. J., et al., 2005. An Approach to Tectonic Evolution and Dynamics of the Songliao Basin. *Chinese Journal of Geology*, 40(1): 16—31(in Chinese with English abstract).
- Koopman, A., Speksnijder, A., Horsfield, W. T., 1987. Sandbox Model Studies of Inversion Tectonics. *Tectonophysics*, 137(1—4): 379—388.
- Li, J., Huang, Z. L., Liu, B. Z., et al., 2008. Control Effects of Spreading Structure and Reversal Structure on Hydrocarbon Distribution—An Example from Dongnan Uplift in Songliao Basin. *Xinjiang Petroleum Geology*, 29(1): 19—21(in Chinese with English abstract).
- Liu, D. L., Chen, F. J., Wen, X. Q., 1996. Analysis on the Rigin of T_2 Post-Rift Formations in Songliao Basin. *Journal of Daqing Petroleum Institute*, 20(1): 23—23(in Chinese with English abstract).
- McClay, K. R., 1995. The Geometries and Kinematics of Inverted Fault Systems: A Review of Analogue Model Studies. *Geological Society*, 88: 97—118. doi: 10.1144/GSL.SP.1995.008.01.07
- Meng, Q. A., Yang, Y. B., Jin, M. Y., 2006. Controlling Role of Faults to Giant Qingshen Gas Field in Songliao Basin. *Acta Petrolei Sinica*, 27(Suppl.): 14—17(in Chinese with English abstract).
- Mitra S., 1993. Geometry and Kinematic Evolution of Inversion Structures. *AAPG Bull.*, 77(7): 1159—1191.
- Shi, S. S., Ren, J. Y., Zhang, S., et al., 2012. Sequence Stratigraphic Framework and Its Formation Mechanism of Post-Rift Inversion Successions in North of Songliao Basin, China. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 37(3): 545—555(in Chinese with English abstract).
- Song, Y., Ren, J. Y., Yang, H. Z., et al., 2010. Characteristics and Dynamic Background of Bottom Boundary in Yaojia Formation of The Northern Songliao Basin. *Acta Petrolei. Sinica*, 31(2): 187—195(in Chinese with English abstract).
- Ventissette, C. D., Montanari, D., Sani, F., et al., 2006. Basin Inversion and Fault Reactivation in Laboratory Experiments. *Journal of Structural Geology*, 28(11): 2067—2083.
- Yin, J. Y., Liu, H. F., Chi, H. J., 2002. Evolution and Gas Accumulation of Xujiaweizi Depression in Songliao Ba-

- sin. *Acta Petrolei. Sinica*, 23(2): 26—29 (in Chinese with English abstract).
- Yu, D., Lu, Y. F., Fu, X. F., et al., 2010. Characteristics of Fault Structure and Its Control on Deep Gas Reservoir in Xujiaweizi Fault Depression, Songliao Basin. *Geological Review*, 56(2): 237—245 (in Chinese with English abstract).
- Yun, J. B., Jin, Z. J., Yin, J. Y., et al., 2008. Reflection Feature and Geodynamic Significance of Deep Seismic Reflection in Xujiaweizi Region of North Songliao Basin. *Earth Science Frontiers*, 15(4): 307—314 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, G. C., Xu, H., Liu, H. F., et al., 1996. Inversion Structures in Relation to Oil and Gas Field Distribution in Songliao Basin. *Acta Petrolei Sinica*, 17(2): 9—14 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, L., Yue, L. P., Yang, Y. J., et al., 2002. Fracture Features of Reversed Basin: Taking Sanzhao Area of Songliao Basin for Example. *Oil & Gas Geology*, 23(4): 361—363 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, W. J., Hu, W. S., Guan, D. Y., et al., 2004. An Analysis of Tectonic Inversion in Songliao Basin China. *Offshore Oil and Gas*, 16(4): 230—234 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, X. J., Zou, Y. L., Huo, Q. L., 2008. Application of Fluid Inclusions to Period Research on Oil and Gas Accumulation in Songliao Basin. *China Petroleum Exploration*, (4): 50—55 (in Chinese with English abstract).
- Zhong, Y. Q., Ma, W. J., 2011. Mesozoic, Cenozoic Tectonic Movements and the Control on Sandstone-Hosted Uranium Deposit in North Songliao Basin. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 26(4): 411—416 (in Chinese with English abstract).
- 征及对油气成藏的控制. 地质科学, 42(2): 209—222.
- 付秀丽, 张顺, 梁江平, 2010. 松辽盆地北部浅层次生油气藏成藏特征. 天然气工业, 30(4): 29—34.
- 侯贵廷, 冯大晨, 王文明, 等, 2004. 松辽盆地的反转构造作用及其对油气成藏的影响. 石油与天然气地质, 25(1): 49—53.
- 胡望水, 1995. 松辽盆地“T₂”断层系及青山口早期伸展裂陷. 石油勘探与开发, 22(2): 8—12.
- 胡望水, 吕炳全, 张文军, 等, 2005. 松辽盆地构造演化及成盆动力学探讨. 地质科学, 40(1): 16—31.
- 李君, 黄志龙, 刘宝柱, 等, 2008. 伸展构造与反转构造对油气分布的控制作用——以松辽盆地东南隆起区为例. 新疆石油地质, 29(1): 19—21.
- 刘德来, 陈发景, 温详泉, 1996. 松辽盆地坳陷期 T₂ 断层成因机制分析. 大庆石油学院学报, 20(1): 23—23.
- 蒙启安, 杨永斌, 金明玉, 2006. 断裂对松辽盆地庆深大气田的控制作用. 石油学报, 27(增刊): 14—17.
- 史双双, 任建业, 张顺, 等, 2012. 松辽盆地北部裂后反转期层序地层格架及其形成机制. 地球科学——中国地质大学学报, 37(3): 545—555.
- 宋鹰, 任建业, 阳怀忠, 等, 2010. 松辽盆地北部姚家组底界面特征及其动力学背景. 石油学报, 31(2): 187—195.
- 殷进垠, 刘和甫, 迟海江, 2002. 松辽盆地徐家围子断陷构造演化. 石油学报, 23(2): 26—29.
- 于丹, 吕延防, 付晓飞, 等, 2010. 松辽盆地北部徐家围子断陷断裂构造特征及对深层天然气的控制作用. 地质论评, 56(2): 237—245.
- 云金表, 金之钧, 殷进垠, 等, 2008. 松辽盆地徐家围子地区深反射结构及其盆地动力学意义. 地学前缘, 15(4): 307—314.
- 张功成, 徐宏, 刘和甫, 等, 1996. 松辽盆地反转构造与油气田分布. 石油学报, 17(2): 9—14.
- 张莉, 岳乐平, 杨亚娟, 等, 2002. 反转构造盆地裂缝特征以松辽盆地大庆三肇地区为例. 石油与天然气地质, 23(4): 361—363.
- 张文军, 胡望水, 官大勇, 等, 2004. 松辽裂陷盆地反转期构造分析. 中国海上油气, 16(4): 230—234.
- 张学军, 邹育良, 霍秋立, 2008. 流体包裹体在松辽盆地成藏期次研究中的应用. 中国石油勘探, (4): 50—55.
- 钟延秋, 马文娟, 2011. 松辽盆地北部中、新生代构造运动特征及对砂岩型铀矿的控制作用. 地质找矿论丛, 26(4): 411—416.

附中文参考文献

- 陈骁, 李忠权, 陈均亮, 等, 2010. 松辽盆地反转期的界定. 地质通报, 29(2—3): 305—311.
- 方立敏, 李玉喜, 殷进垠, 等, 2003. 松辽盆地断陷末期反转构造特征与形成机制. 石油地球物理勘探, 38(2): 190—193.
- 冯志强, 张顺, 付秀丽, 2012. 松辽盆地姚家组—嫩江组沉积演化与成藏响应. 地学前缘, 19(1): 78—87.
- 付晓飞, 王朋岩, 吕延防, 等, 2007. 松辽盆地西部斜坡构造特