

张江涛, 杨海风, 徐春强, 等. 渤海辽北地区走滑转换构造发育特征及其对圈闭样式的控制作用[J]. 海洋地质前沿, 2023, 39(5): 55-63.
ZHANG Jiangtao, YANG Haifeng, XU Chunqiang, et al. Development and cycle control of strike-slip transition zone in Liaobei area of Bohai Sea[J]. Marine Geology Frontiers, 2023, 39(5): 55-63.

渤海辽北地区走滑转换构造发育特征 及其对圈闭样式的控制作用

张江涛, 杨海风, 徐春强, 郝鹏, 关超

(中海石油(中国)有限公司天津分公司, 天津 300452)

摘要: 基于渤海辽北地区钻井资料和三维地震资料精细解释, 对走滑断裂发育特征开展精细研究, 并进一步完成对走滑转换构造的宏观判识和精细刻画, 总结走滑转换构造对圈闭样式的差异控制作用。研究表明: ①辽北地区断裂体系整体表现出强烈的右旋走滑性质, 在走滑断裂叠接带、弯曲、尾端等构造位置, 因构造应力调整而发育大量走滑转换构造; ②依据走滑转换带的力学性质划分为增压型和释压型 2 大类, 每一大类依据断裂空间展布关系进一步细化为单支弯曲型和双支叠复型, 其中, 单支弯曲型表现为单条走滑断层平面呈现“S”型变形, 双支叠复型则表现为右旋左阶或右旋右阶; ③增压型和释压型走滑转换构造控制发育的圈闭类型分别以断背斜和断块构造圈闭为主, 增压型走滑转换构造控制的圈闭相对于释压型具有更大的勘探潜力。该研究丰富了走滑转换构造体系, 填补了辽北地区走滑转换构造研究的空白, 对渤海海域辽北走滑断裂带油气勘探具有一定的借鉴指导意义。

关键词: 渤海海域; 辽北断裂带; 辽北地区; 走滑断裂; 走滑转换构造; 圈闭

中图分类号: P618.13; P744

文献标识码: A

DOI: 10.16028/j.1009-2722.2022.077

0 引言

构造转换带的概念最早由 DAHLSTROM^[1] 提出, 根据走滑断裂派生构造的地质特征, 将构造转换带概念引入到走滑构造研究区中, 并提出走滑转换构造理论。该理论被广泛应用于走滑断裂区石油构造地质研究并取得了重要突破, 相继在美国落基山、中国渤海湾等油气田的勘探实践中得到了证实。国内学者叶洪阐述了走滑转换构造是与走滑断层相伴生的或者有断层的走滑运动“转换”而成的各类张性、压性或张扭性、压扭性构造^[2], 诸多专家学者针对走滑断裂叠接带、弯曲、尾端、拉分盆地走滑双重构造做了大量研究工作^[3-7]。走滑转换构造作为走滑断裂派生构造中调节区域应变和释

放构造应力的一类重要构造, 对盆地内烃源岩的展布、构造圈闭的形成和疏导体系的发育有着重要的控制作用^[8-12]。

著名的 NNE-SSW 向岩石圈尺度的辽北走滑断裂贯穿了整个渤海东部海域, 对盆地的发育演化有着强烈的控制作用。近年来, 渤海油田以对辽北断裂走滑转换构造控制油气成藏的创新认识为指导, 发现了多个大中型油气田, 如旅大 21-2 油田、锦州 23-2 油田等, 展现出走滑转换构造的巨大勘探潜力。辽北地区一直以来都是渤海油气勘探的重点区带, 发现了以锦州 9-3 油田为代表的多个大中型油气田。勘探实践表明, 构造区走滑断裂广泛发育且油气成藏密切相关。前人针对辽东湾坳陷走滑断裂发育特征及其控藏作用做了大量卓有成效的研究工作^[8-20], 但是聚焦辽北地区走滑断裂构造特征缺乏系统性研究, 一定程度上制约了油气勘探的潜力深挖。为此, 本文在对辽北地区走滑断裂体系研究的基础上, 重点剖析走滑转换构造的发育特征, 包括类型的划分和具体地质响应, 进而分析走

收稿日期: 2022-03-23

资助项目: 国家科技重大专项(2016ZX05023-006)

作者简介: 张江涛(1988—), 男, 硕士, 工程师, 主要从事含油气盆地分析方面的研究工作。E-mail: zhangjt28@cnooc.com.cn

滑转换构造的控圈作用,以期对该区下一步油气勘探提供一定的借鉴指导。

1 地质概况

辽东湾坳陷是渤海湾盆地北部的一个次级负向构造单元,NE走向,其东北受控于燕山褶皱带,东南部与胶辽隆起相接,西北部与辽河坳陷相邻,西南与渤中、渤东坳陷相接。该坳陷面积达 26 000 km²,自西向东包括辽西凹陷、辽西凸起、辽中凹陷、辽东凸起、辽东凹陷。

辽西北洼是辽西凹陷北部一个相对独立的次级洼陷,分布面积约 1 200 km²,是一个典型的富烃洼陷。其东北侧与辽河坳陷的西部凹陷相接,西南侧与辽西中洼相接,西北侧和东南侧受控于燕山褶皱带

和辽西凸起,整体上为“东南断、西北超”,呈 NE—SW 走向的箕状半地堑(图 1)。基于实钻探井资料,新生界自下而上发育了孔店组(E_{1+2k})、沙河街组(E_{2s})、东营组(E_{3d})、馆陶组(N_{1g})、明化镇组(N_{2m})等 6 套地层,不同构造位置的地层缺失层段和剥蚀厚度存在差异的结构特征(图 1)。辽东湾坳陷的构造演化可以分为 3 个时期:①古新世—始新世为“弱走滑、强拉张”时期,地幔热隆起引发区域拉张,拉伸方向为 NWW—SEE 向,拉张作用在沙河街组三段沉积期达到顶峰;②渐新世时期为“弱拉张、强走滑”时期,板块构造动力对郯庐断裂带作用引起的走滑作用影响强于伸展作用影响,导致辽东湾地区发育大量走滑断裂;③新近纪时期为弱走滑弱挤压时期,辽东湾地区进入热沉降时期,区域应力场以近 SN 向弱拉张引发的走滑作用为主^[9-10,13,15]。

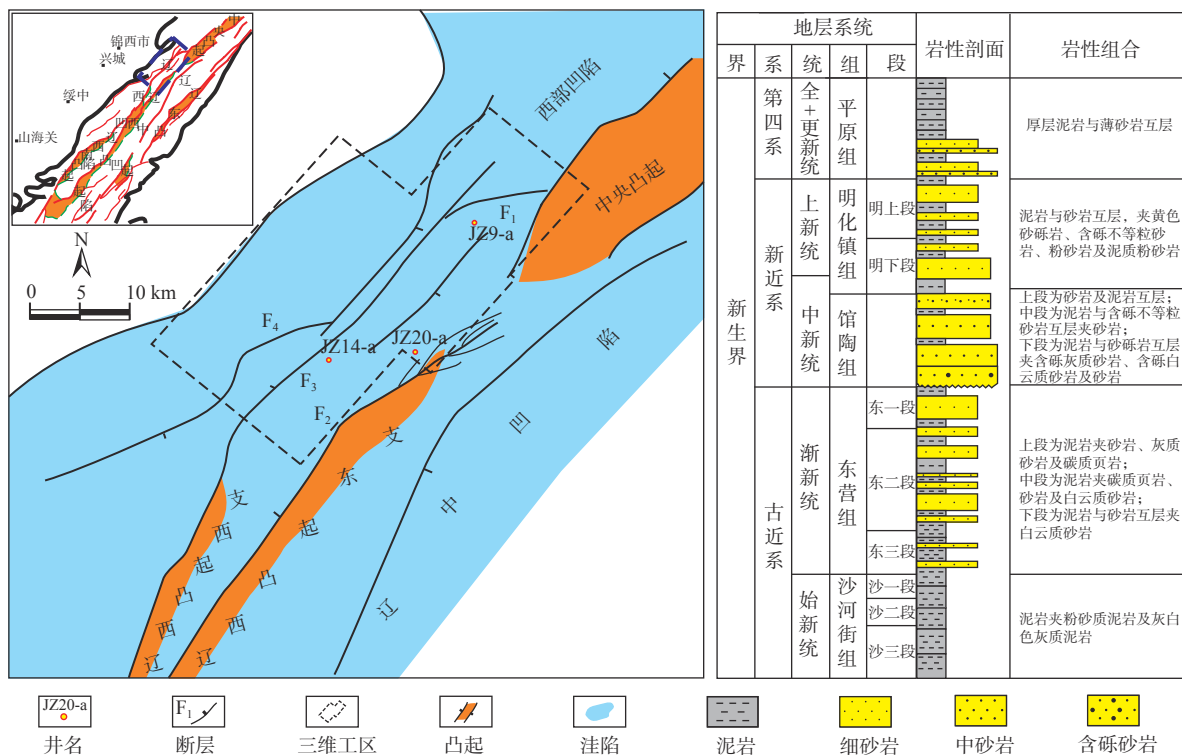


图 1 辽北地区地理位置及地层岩性柱状图

Fig.1 Geographical map and litho-stratigraphical column in the Liaobei area of Bohai Sea

2 辽北地区走滑断裂发育特征

2.1 主干走滑断裂带特征

辽北地区自西向东主要发育 4 条大的主干断裂,其中辽西大断裂、辽西 2 号、辽西 3 号为主干走

滑断裂,锦州断裂主要表现为拉张性质。辽西大断裂发育在西部斜坡带,走向 NNE 向,切穿至基底中生界。地震剖面上,整体高角度板式,断裂根部地层无明显加厚,对地层沉积控制作用较弱,主要表现为对西部斜坡带的强烈切割作用;辽西 2 号发育在洼陷中部,走向 NNE 向,切穿至洼陷基底中生界,北段断面近于直立,上部与次级断裂组成“负花状”

构造样式,南段断面呈高角度西倾,断裂两盘地层厚度基本相当但形变特征非常明显,表现为典型的走滑断裂特征;辽西 3 号断裂走向 NE 向,倾向

NW 向,辽西凸起北段倾末端的边界断裂,地震剖面上,下缓上陡,次级断裂组合成“似花状”构造样式,表现为伸展走滑复合构造特征(图 2)。

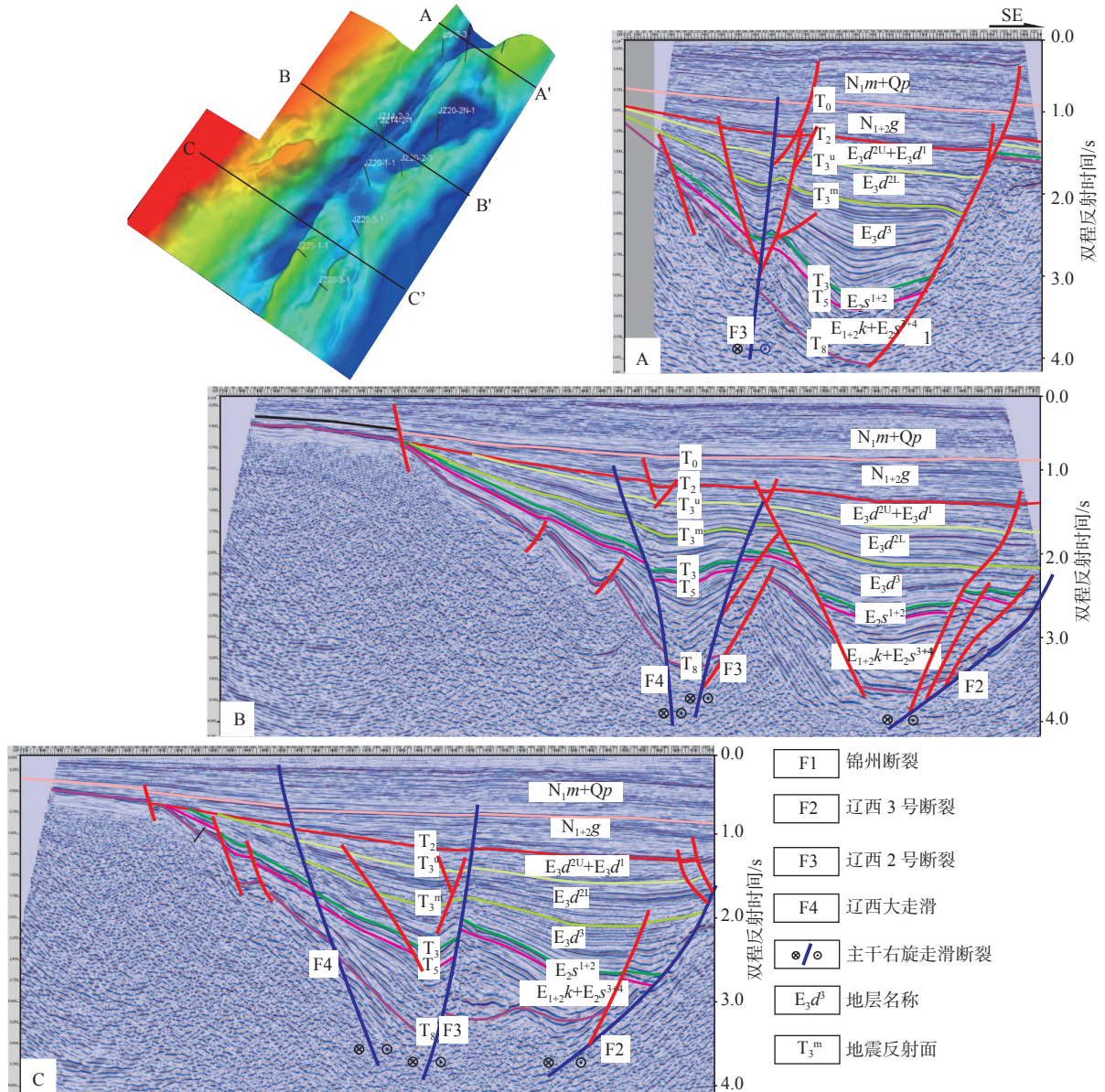


图 2 辽北地区各地质层系及盆地结构特征

Fig.2 Structural characteristics of seismic section in the Liaobei area of Bohai Sea

2.2 走滑断裂带平面特征

东营组沉积期断裂体系表现出强烈的右旋走滑性质。辽西大断裂、辽西 2 号、辽西 3 号整体近于平行,呈 NE 向展布。辽西大断裂切穿整个辽北地区,主支断面整体较平直但不连续,在弯曲处发生雁列化;辽西 2 号同样贯穿了整个研究区,断面比较连续且平直,走滑特征明显;辽西 3 号断裂整体断面不够平直,呈现出一定的锯齿状特征,断裂

尾端主支断裂演变成多支次级断裂,散列排布,平面上断裂组合表现为马尾状构造样式,整体为伸展走滑复合的构造特征。另外,沿辽西 2 号和辽西 3 号断裂发育大量次级断裂,走向为 NE 或 EW 向,并且次级断裂的发育与里德尔右旋剪切模型相吻合,具体表现为与主支断裂组合成羽状构造样式或雁列式组合展布,剖面上与主干断裂组合成花状构造,表现出明显的右旋走滑作用。研究区内,走滑断裂的弯曲处、两支断裂的叠合处以及断裂的尾端派生

断裂尤为发育,表明该构造位置是应力的集中释放带。

3 走滑转换构造地质特征

转换构造作为一种特殊的调节构造样式,在挤压区和伸展区已经被广泛认识和研究,前人对于其定义和具体类型的划分做过大量的研究工作,但是对于走滑区的走滑转换构造,国内外学者更多的是针对理论模型或者个别实例进行静态、动态特征和构造物理模拟的研究,但是对于走滑转换构造的判识方法没做系统论述,在实际地质工作中常常无法准确判识。本次研究在总结前人对转换构造(挤压区和伸展区)发育特征和判识方法的基础上,结合辽北地区走滑断裂发育地质特征,系统归纳和总结了走滑转换构造的判识原则和方法。

3.1 走滑转换构造判识原则

走滑转换构造主要指在走滑断裂带内部或附近区域,由于走滑位移引起的各种构造变形。该类构造主要发育于主走滑带末端、弯曲或叠接部位等构造位置,多表现为各类派生断陷、隆升和转换构造,断裂、褶皱等则是应力释放的直接地质响应。判识原则:①走滑断裂是走滑转换构造发育的基本条件,走滑转换构造是走滑断裂在发育过程中为保持应变守恒,释放应力和调节形变而形成的一类构造,因此在判识过程中首先要明确该类构造是否因调节断裂的走滑作用而形成;②时间上同步,空间上叠加,受幕式构造活动影响,断裂活动具有明显期次性,只有在走滑断裂主活动期形成的走滑转换构造才能调节该期次的区域构造应变,空间上具有明显的对应关系;③应力释放和应变调节带,走滑断裂沿走滑方向断裂面往往不是平直连续的,只有断裂面发生弯曲、叠覆或者在首尾段才能为释放应力和调节应变提供场所,发育走滑转换构造。

3.2 走滑转换构造判识方法

依据走滑转换构造判识的基本原则,结合走滑转换构造发育的区域地质背景,在对地震、地质资料综合分析的基础上,对走滑转换构造进行判识。具体方法:①对于单支走滑断裂,走滑转换构造往往发育在断裂弯曲段和断裂的首尾段,因走滑断裂

以断块水平错动为特征,在弯曲段左右两盘会发生挤压或者伸展,相对应形成隆起或者断陷,在首端或者尾端应力释放,多可能形成马尾状构造;②对于空间上有联系的多支走滑断裂,在其局部叠置区带受断裂两盘断块相向或相背运动影响,发育走滑转换构造,或为挤压隆起,或为伸展断陷;③对于走滑转换构造边界的确定,主要是通过构造等值线来划分,走滑转换构造发育的区带与周围地质体构造等值线发生明显变化的位置即为走滑转换构造边界。

依据转换构造力学性质,将挤压形变或者拉张形变而形成的走滑转换构造分别定义为增压型和释压型2大类,并且依据控制走滑转换构造发育断裂的空间展布规律将每一类进一步细分为单支弯曲型和双支叠覆型。

3.3 辽北地区走滑转换构造地质特征

基于等时相干切片、三维地震数据、各时期构造等值线图等资料,辽西北洼识别出6个走滑转换构造(图3),依据走滑转换构造的构造应力性质和几何形态建立辽北地区走滑转换构造类型划分方案,并对各类型走滑转换构造进行了精细刻画。

3.3.1 释压型走滑转换构造

(1)双支叠覆型 处于辽西2号和辽西大走滑2支主干走滑断裂带的叠置区,表现为右旋右阶。平面上,控制走滑转换构造的2条断裂呈右旋右阶雁列式展布,叠覆带派生拉张应力,走滑转换构造内地层构造等值线表现为深洼带,次级断裂密集分布;剖面上,地层断陷沉降且被次级断裂切割的极为破碎,整体表现为张性释压构造特征(图4)。

(2)单支弯曲型 处于辽西大走滑断裂弯曲处。平面上,反“S”弯曲处由一支断裂转换为多支断裂,呈右旋右阶雁列式展布,派生拉张应力;剖面上,转换构造多支断裂呈顺向断阶状,将地层切割成多个断块,整体表现为张性释压构造特征(图5)。

3.3.2 增压型走滑转换构造

(1)双支叠覆型 处于辽西大走滑和辽西2号叠置区,表现为右旋左阶。平面上,控制走滑转换构造的2条断裂呈右旋左阶雁列式展布,断裂倾向相向,走滑转换构造内地层构造等值线波动起伏,断裂不发育;剖面上地层受挤压作用发生褶皱变形,且派生断裂不发育(图6)。

(2)单支弯曲型 处于辽西2号弯曲处。平面

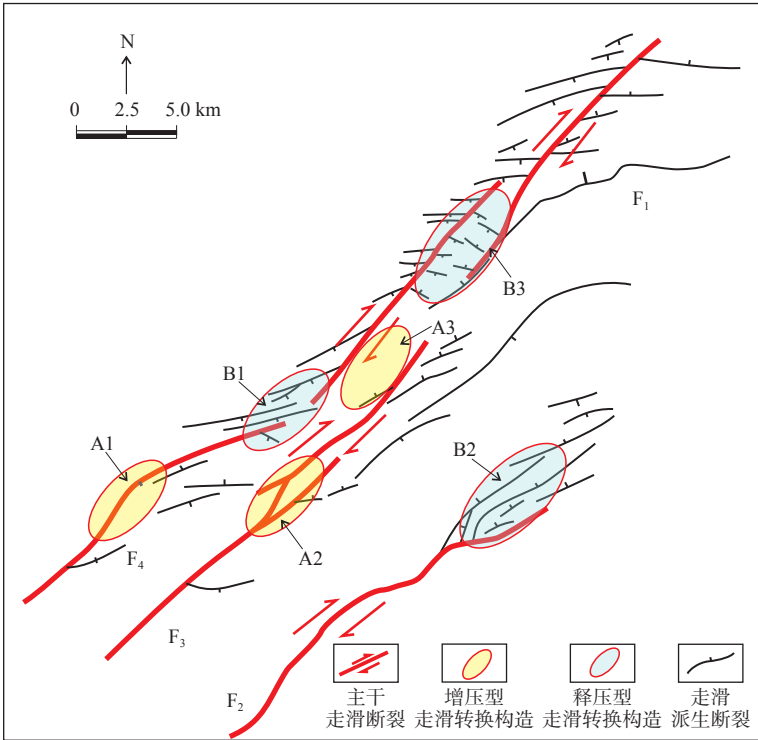


图 3 辽北地区走滑断裂体系平面分布

Fig.3 Distribution of strike-slip fault system in Liaobei area of Bohai Sea

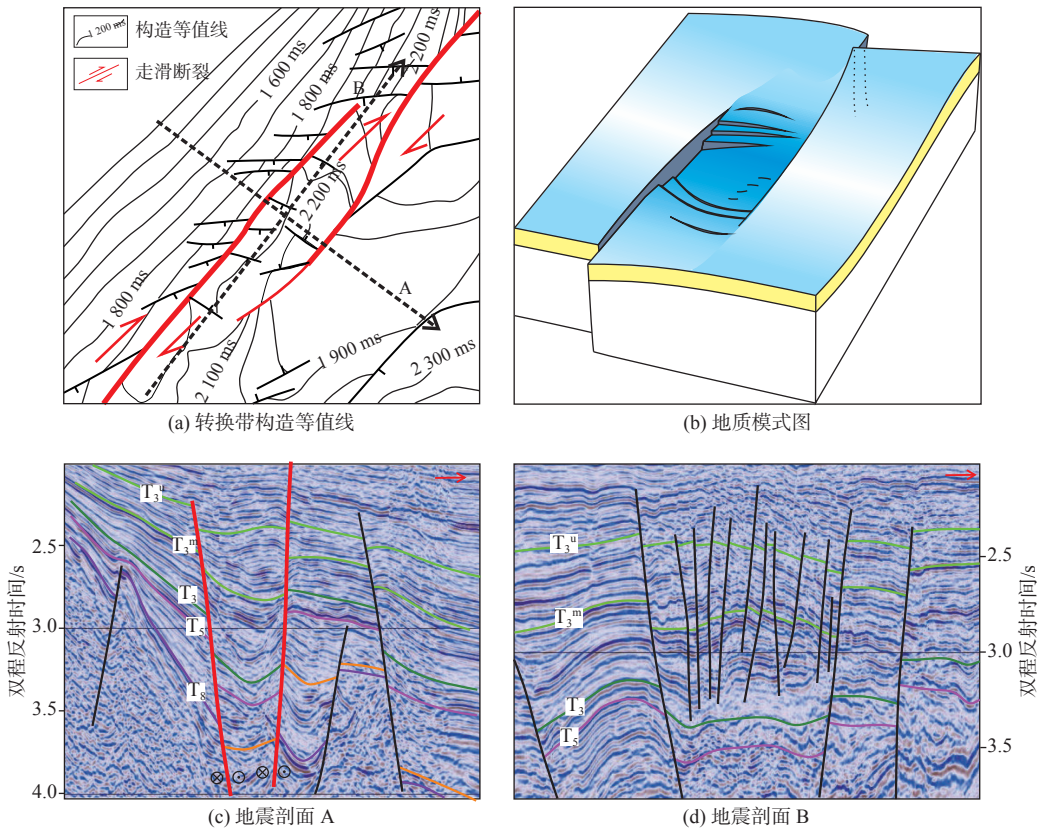


图 4 双支叠覆释压型地震地质模式

Fig.4 Geological pattern of dual-branch superimposed-depressed earthquake

上, S 型弯曲处右旋走滑过程中会形成挤压应力场, 发育正向构造, 断裂两盘地层构造等值线处在高部位, 呈鼻状, 断裂不发育; 剖面上, 地层发育挤压褶皱变形, 形成断背斜构造(图 7)。

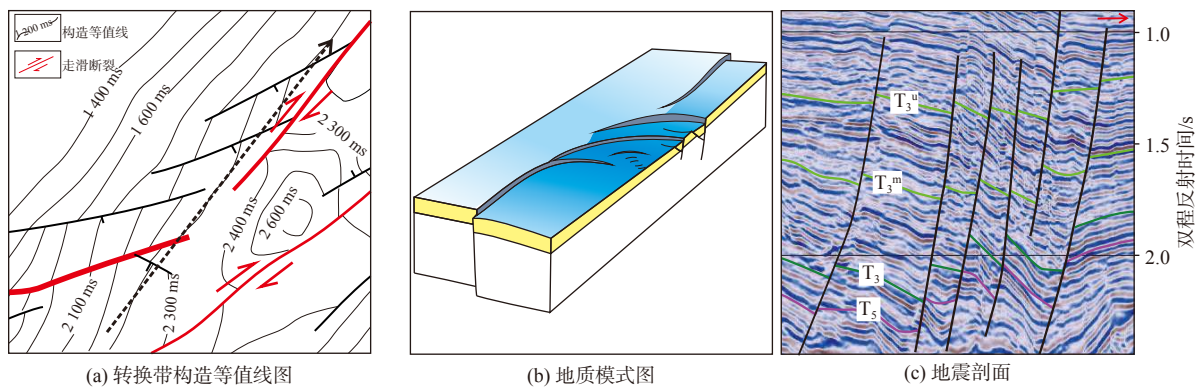


图 5 单支弯曲释压型地震地质模式

Fig.5 Geology model of single-branch bent depressurized earthquake

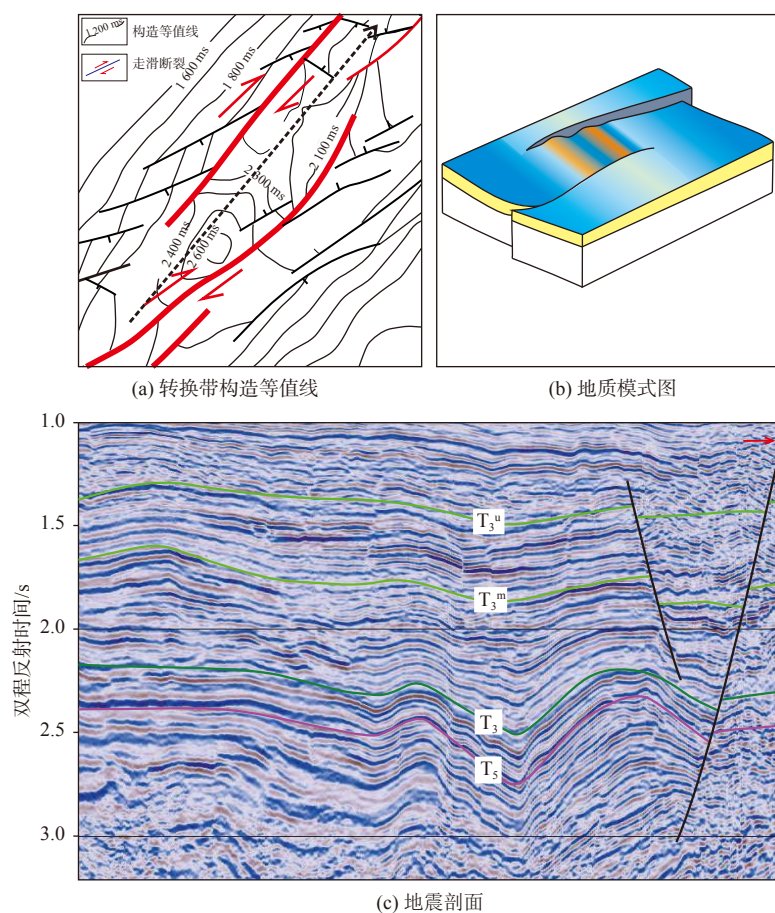


图 6 双支叠覆增压型地震地质模式

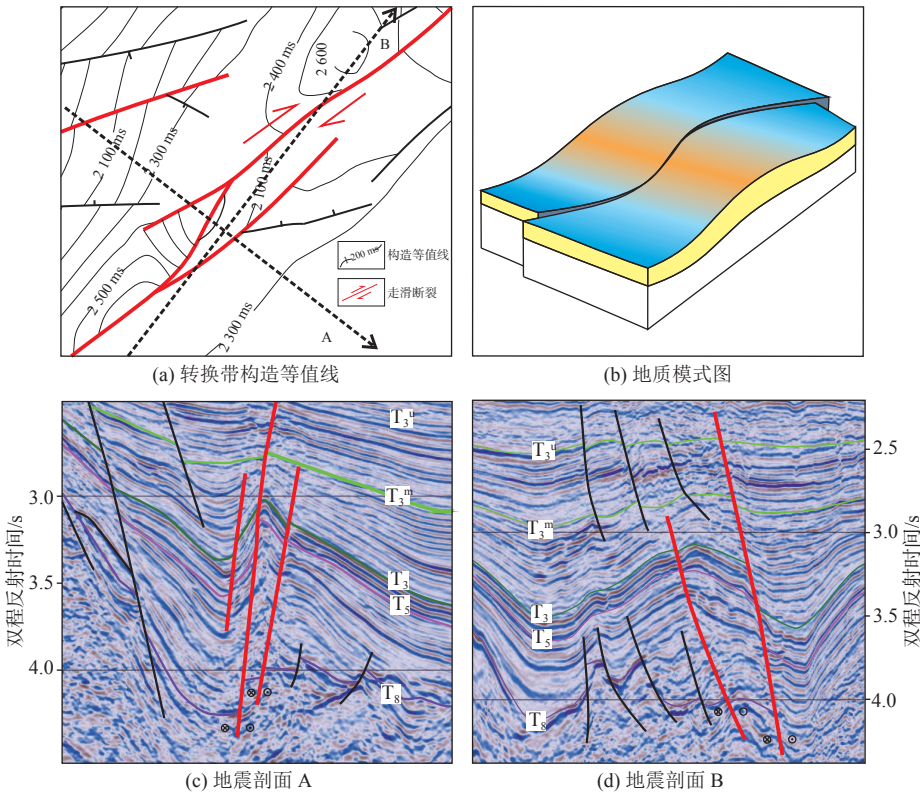
Fig.6 Geological model of dual-branch superimposed pressurized earthquake

4 走滑转换构造控制圈闭发育样式

4.1 走滑转换构造控制圈闭展布及类型

走滑转换构造在构造应力释放过程中,会伴随有地层的拉张破碎或者挤压褶皱变形,与走滑断层组成多类构造圈闭。目前,在辽西北洼解释出的圈

闭均分布于走滑转换构造内,与走滑转换构造具有很好的叠合关系(图 3, 8)。释压型走滑转换构造在主走滑期调节走滑区域应变,构造应力释放主要表现为发育大量调节断层,将地层切割为复杂破碎的断块,同时走滑性质断裂具有较好的侧向封堵性,组合成断块构造圈闭群,圈闭完整性差,较破碎。锦州 9-A 构造、锦州 20-A 构造圈闭类型均以断块圈闭为主。增压型走滑转换构造在主走滑期调节



构造位置见图 3-A2

图 7 单支弯曲增压型地震地质模式

Fig.7 Geological model of single-branch bending pressurized earthquake

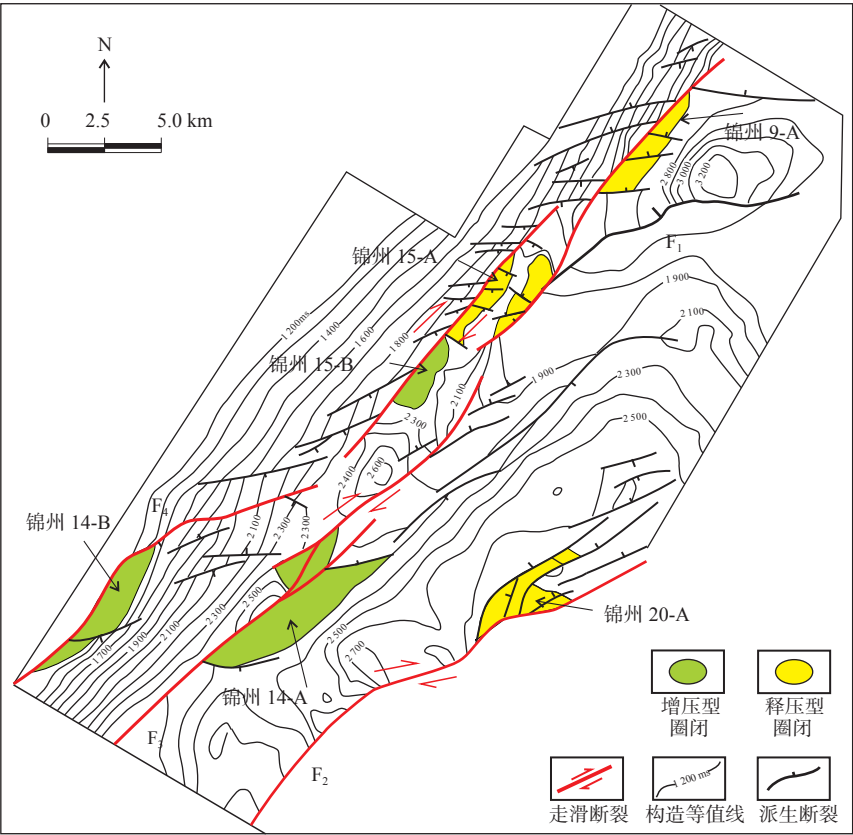


图 8 辽北地区圈闭平面构造展布

Fig.8 The distribution of plane structure of a trap in Liaobei area

走滑区域应变、释放构造应力过程中导致地层发生横向挤压褶皱,形成构造高部位,多控制发育断背斜构造圈闭,圈闭完整性好,较连续。平面上,地层与断层组合成鼻状构造。锦州 14-B 构造、锦州 14-A 构造圈闭类型均以断背斜为主。

4.2 走滑转换构造控制圈闭规模

圈闭作为油气聚集的最终场所,其规模大小是油气能否大规模聚集成藏的重要衡量指标,圈闭的规模主要体现为面积和幅度。通过上述分析,明确了走滑转换构造对构造圈闭发育展布的控制作用,随后分别对释压型和增压型走滑转换构造控制发育的圈闭规模要素进行统计分析,主要包括圈闭面积和幅度。增压型走滑转换构造控制的单层圈闭面积为 26.4 m^2 。其中,锦州 14-A 构造为 12.3 km^2 ,锦州 14-B 构造为 9.9 km^2 ,锦州 15-B 构造圈闭面积为 4.2 km^2 ;圈闭幅度平均为 420 m,其中,锦州 14-A 构造为 532 m、锦州 14-B 构造为 504 m、锦州 15-B 构造为 224 m。释压型走滑转换构造控制的圈闭面积 21.9 km^2 ,其中,锦州 15-A 为 8.8 km^2 ,锦州 9-A 为 8.8 km^2 ,锦州 20-A 为 4.3 km^2 ;圈闭幅度为 189 m,其中,锦州 15-A 构造 154 m,锦州 9-A 为 189 m,锦州 20-A 为 224 m(图 9)。增压型走滑转换构造控制发育的圈闭面积与释压型基本相当,但是增压型控制的圈闭幅度明显大于释压型,增压型圈闭规模整体大于释压型。

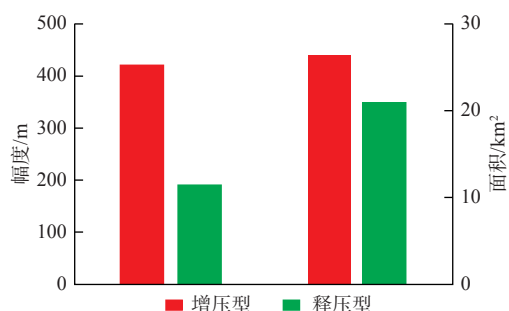


图9 辽北地区圈闭规模统计

Fig.9 Statistics of trap scale in the northern Liaoning

5 结论

(1)辽北地区主要发育辽西大断裂、辽西 2 号、辽西 3 号 3 条近于平行、呈 NE 向展布的主干走滑断裂,断裂组合呈羽状、雁列式、马尾状、花状等典型走滑构造样式。

(2)依据转换构造的力学性质划分为增压型和释压型 2 大类,依据断裂空间展布关系进一步细化为单支弯曲型和双支叠复型。各类走滑转换构造的地质响应截然不同,释压型走滑转换构造断裂较为发育,地层被切割破碎;增压型走滑转换构造断裂发育较少,地层受力发生褶皱。

(3)增压型走滑转换构造控制发育的圈闭类型以断背斜为主,圈闭完整性好;释压型走滑转换构造控制发育圈闭类型以断块为主,圈闭相对比较破碎。增压型走滑转换构造控制的圈闭相对于释压型具有更大的勘探潜力。

参考文献:

- [1] DAHLSTROM C D A. Structural geology in the eastern margin of the Canadian Rocky Mountains[J]. Bulletin of Canadian Petroleum Geology, 1970, 18(3): 332-406.
- [2] 叶洪. 断块构造理论在研究走滑转换构造中的应用[M]. 北京: 科学出版社, 1988: 22-31.
- [3] MORLEY C K, NELSON R A, PATTON T L, et al. Transfer Zones in the East African rift system and their relevance to hydrocarbon exploration in rifts[J]. AAPG Bulletin, 1990, 74(8): 1234-1253.
- [4] WOODCOCK N H, FISCHER M. Strike-slip duplexes[J]. Journal of Structural Geology, 1986, 8(7): 725-735.
- [5] 徐嘉伟. 论走滑断层作用的几个主要问题[J]. 地质前缘, 1995, 2(1/2): 125-136.
- [6] 陈发景. 调节带(或传递带)的基本概念和分类[J]. 现代地质, 2003, 17(2): 186.
- [7] 李伟, 蒙美芳, 陈兴鹏, 等. 渤海海域东部弯曲走滑断裂派生伸展与挤压作用的定量表征及其油气地质意义[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2021, 45(5): 23-32.
- [8] LI W, JIA H B, WU Z P, et al. Controls of strike-slip faults on geomorphology and sediment dispersal in the Paleogene Bohai Bay area: from a source to sink perspective[J]. Marine and Petroleum Geology, 2021(126): 1-14.
- [9] 龚再升, 蔡东升, 张功成. 郯庐断裂对渤海海域东部油气成藏的控制作用. 石油学报, 2007, 28(4): 1-10.
- [10] 李伟, 平明明, 周东红, 等. 辽东湾拗陷新生代主干断裂走滑量的估算及其地质意义[J]. 大地构造与成矿学, 2018, 42(3): 445-454.
- [11] 漆家福. 裂陷盆地中的构造变换带及其石油地质意义[J]. 海相油气地质, 2007, 12(4): 43-50.
- [12] 徐长贵. 渤海走滑转换带及其对大中型油气田形成的控制作用[J]. 地球科学, 2016, 41(9): 1548-1560.
- [13] 张江涛, 郭涛, 王冰洁, 等. 渤海辽北地区新生代断裂特征及其演变过程[J]. 现代地质, 2020, 34(6): 1110-1118.
- [14] 周心怀, 余一欣, 魏刚, 等. 渤海辽东湾海域JZ25-1S转换带与油气成藏的关系[J]. 石油学报, 2008, 24(5): 698-704.
- [15] 张江涛, 吴奎, 王冰洁, 等. 渤海海域辽西凸起北段新生代构造演化的磷灰石裂变径迹证据[J]. 石油学报, 2018, 39(11):

- 1262-1271.
- [16] 徐长贵,余一欣,吴奎,等.辽东湾坳陷断裂联接及其控油气作用[J].*石油与天然气地质*,2014,35(4):456-462.
- [17] 张江涛,吴奎,黄晓波,等.辽西凹陷北洼新生代断裂特征及控藏作用[J].*中国海上油气*,2017,29(5):39-47.
- [18] 张林,吴智平,李伟,等.济阳均陷伸展背景下的变换构造研究[J].*大地构造与成矿学*,2012,36(1):24-31.
- [19] 牛成民,杨海风,郭涛,等.郯庐断裂带辽东湾段变形特征及展布规律[J].*石油与天然气地质*,2022,43(2):265-276.
- [20] 杨海风,吕丁友,孙永河,等.渤海湾盆地黄河口凹陷东洼断裂体系发育特征及其变形过程的构造物理模拟[J].*地球科学*,2021,46(7):2391-2402.

Development and cycle control of strike-slip transition zone in Liaobei area of Bohai Sea

ZHANG Jiangtao, YANG Haifeng, XU Chunqiang, HAO Peng, GUAN Chao

(Tianjin Branch of CNOOC (China) Ltd., Tianjin 300452, China)

Abstract: Combined with previous research results based on three-dimensional seismic data and drilling data, the development characteristics of strike-slip faults in the northern Liaoning, NE China, was analyzed in detail, the macro identification and fine characterization of strike-slip transition zone were completed, and the role of strike-slip transition zone in controlling the development circling was summarized. Results show that the Dongying fault system as a whole shows clear dextral strike-slip properties. Three NE-trending strike slip faults are developed, and the fault assemblages present typical strike-slip structural styles, such as feather, echelon, horsetail, and flower. In terms of mechanical properties of strike-slip transition zone, they were divided into two categories: pressurization type and depressurization, and each could be subdivided into two sub-categories according to the spatial distribution relationship of faults: single-branch bending type and dual-branch superposition type. The first type shows that the plane of single strike-slip fault presents "S" type deformation, and the second type shows dextral right-stepped arrangement or dextral left-stepped arrangement. The pressurized and depressurized strike-slip transition zones controlled the development of fault anticline trap and fault block structural trap, respectively; and the former trap has greater exploration potential than the latter. This study enriched the structural system of strike-slip transition zone, filled the gap in the study of strike-slip transition zone in the northern Liaoning, and shall be able to guide the oil and gas exploration in the Tanlu strike-lip fault zone in the Bohai Sea region.

Key words: Bohai Sea area; Tanlu fault zone; Liaobei area; strike-slip fault; strike-slip transition zone; trap