

DOI:10.19751/j.cnki.61-1149/p.2021.03.017

高邮凹陷陈堡走滑逆断层的确定及其油气意义

王正¹, 吴林^{2*}, 陈清华³, 程祥³

(1. 北京斯堪帕维科技有限公司, 北京 100101; 2. 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081; 3. 中国石油大学(华东)地球科学与技术学院, 山东 青岛 266580)

摘要:中国东部发育多个中生代断陷盆地, 长期处于构造伸展环境中, 难以形成挤压构造样式。笔者根据高精度三维地震数据, 在苏北盆地陈堡地区精细解析出一条走滑逆断层, 结合生长指数法分析断层活动性, 并明确其成因机制。研究表明, 陈堡走滑逆断层走向近 EW, 倾向为 S, 倾角大于 70°, 呈高角度向南倾斜, 错断了 T_2^3 、 T_3^3 和 T_0^4 等主要反射层, 表现为同沉积断层, 其主要活动时期为阜宁组时期, 阜三段时期活动性最强, 该断层的形成与区域构造背景有关, 属于走滑诱导和重力滑动共同成因。陈堡走滑逆断层对烃源岩形成、油气运移、圈闭发育都具有控制作用, 认为陈 9 断块发育有利圈闭, 勘探潜力大。

关键词:走滑逆断层; 陈堡油田; 高邮凹陷; 苏北盆地; 有利圈闭

中图分类号: P618.13 **文献标志码:** A **文章编号:** 1009-6248(2021)03-0206-07

Study on the Determination of the Chenbao Strike-Thrust Fault in Gaoyou Sag and Its Petroleum Significance

WANG Zheng¹, WU Lin^{2*}, CHEN Qinghua³, CHENG Xiang³

(1. Beijing Scanpower Co., Ltd, Beijing 100101, China; 2. Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China; 3. School of Geosciences, China University of Petroleum, Qingdao 266580, Shandong, China)

Abstract: Many Meso-Cenozoic rift basins developed in eastern China, which is difficult to form the compressional structural style. This paper studies a strike-thrust fault in Chenbao oilfield of Subei Basin and analyzes its geometric characteristics and forming mechanism based on high quality 3-D seismic data. It is shown that the reflections of T_2^3 , T_3^3 , T_0^4 were cutted by the strike-thrust fault, which strike to EW and incline to south with a high angle. The main activity periods of the strike-thrust fault were Elf era. The strike-thrust fault was formed by slide gravity and strike induction under its deep background. The source rocks, hydrocarbon migration and traps were strongly affected by the strike-thrust fault. The oil trap of Chen9 block has been evaluated

收稿日期: 2020-12-13; 修回日期: 2021-05-13

基金项目: 国家自然科学基金“塔北古隆起形成时间研究: 来自锆石 U-Pb 年代学和超深层楔形结构的限定”(41902158) 资助。

作者简介: 王正(1984-), 女, 工程师, 2009 年获中国石油大学(华东)硕士学位, 长期从事地质综合研究及地质建模相关研究工作。E-mail: 119946998@qq.com。

* 通讯作者: 吴林(1987-), 男, 高级工程师, 2015 年获中国石油大学(华东)博士学位, 长期从事含油气盆地构造解析相关研究工作。E-mail: 19534644@qq.com。

as an important petroleum potential.

Keywords: strike-thrust fault; Chenbao oilfield; Gaoyou sag; Subei basin; favorable trap

中生代以来,受西太平洋构造板块俯冲及后撤影响,中国东部发育松辽、渤海湾、苏北-南黄海等一系列断陷盆地群,石油资源丰富,长期肩负着国家能源安全的重要使命(Liu Yin et al., 2017; 刘寅等, 2014)。苏北盆地地处中国经济最为发达的长江三角洲经济带,是下扬子板块、华北板块、太平洋板块的交汇地带,西北侧以郯庐断裂带与华北板块相邻,东侧与太平洋板块相邻,构造位置特殊,深部动力背景多样(吴林等, 2015)。作为苏北盆地面积最大、油气最富集的构造单元,高邮凹陷中生界断裂非常发育,传统认为凹陷边界的真武、吴堡断裂体系均表现为伸展背景下的正断层,关于这些断裂系统的几何学、运动学特征研究较为成熟(刘寅等, 2014; 吴林等, 2017)。然而,高邮凹陷晚白垩世以来伸展方向经历 NW—NS—NW 的转换,控制边界断裂体系多期斜向伸展与走滑作用(吴林等, 2017),形成走滑正断层类型及相关圈闭,但还没有挤压类构造及圈闭的报道。而处于郯庐断裂带另一侧的渤海湾中生代断陷盆地中已发现有挤压走滑相关构造,如辽河凹陷冷家堡油田、黄骅凹陷孔店凸起、东营凹陷桩海地区等,均与油气分布密切相关(汪泽成等, 1998; 张明振等, 2006)。因此,本次以高邮凹陷陈堡地区为对象,利用最新三维地震数据识别一条走滑逆断层,精细解析该断层的空间形态、活动特征及其成因机制,明确其油气意义,给高邮凹陷构造圈闭评价带提供新的思路。

1 地质概况

高邮凹陷发展于晚白垩世征运动,为典型的中、新生代断陷盆地,其属于苏北盆地认识程度较高的次级含油单元(图 1a),凹陷结构为典型的南断北超。中生代时期,由板块碰撞引起的区域推覆作用使高邮凹陷基底形成了真武断裂(陈莉琼等, 2009; 唐旭等, 2021; 戴俊生等, 2011; 吴林等, 2015)。晚白垩世泰州组时期,区域拉张应力场使真武断裂复活并发生微弱活动,东部继承性演化为吴①断层。古近纪时期,吴②断层强烈活动,成为南部控凹边界断层,同时发育了一系列次级断层。吴①断层、吴②断

层及周围次级断层共同组成走向为 NE 的吴堡断裂带,南邻吴堡低凸起,北邻高邮凹陷深凹带,断层倾向为 NW,呈台阶状北掉(丁建荣等, 2018)(图 1b、图 1c)。因此,吴①断层为一级断层,吴②断层为二级断层,周围次级断层为三级断层,其中三级断层非常发育,相互切割或终止于一、二级断层,这些断层垂向位移大于平面位移,总体表现为走滑正断层(吴林等, 2017)。地层从新到老依次是:第四系东台组(Qd)、新近系盐城组(N₂y)、古近系三垛组(E₂s)、戴南组(E₂d)、阜宁组(E₁f)、上白垩统泰州组(K₂t),三垛组晚期该区整体抬升、剥蚀,缺失渐新统。高邮凹陷由多个次级凹陷组成,包括陈堡油田南侧的刘五舍次凹,沉积阜宁组湖相泥页岩烃源岩,上覆巨厚的古近系砂砾岩是该区主要储层,通过断裂沟通油源和储层(陈清华等, 2015)。

陈堡油田是高邮凹陷南部重要油气区(图 1c),目前已有百余口钻井,陈 2、陈 3 断块共探明含油面积 3.6 km²,探明地质储量 1.6 万 t。针对有利目标的精细构造解析是该区增储上产的重要手段。

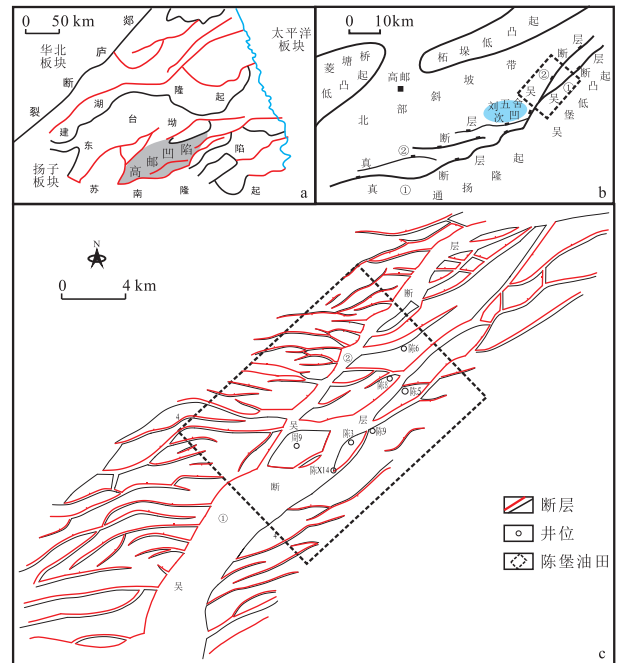


图 1 高邮凹陷陈堡油田构造位置图

Fig. 1 The geographical location map of the Chenbao oilfield of the Gaoyou Sag

2 走滑逆断层精细解析

2.1 使用资料与解释方法

结合大量测井资料对地震反射界面进行精细标定,明确不同反射界面地质层位。通过陈堡地区三维地震解释,中生界主要反射界面清晰、可追踪,主要反射层位包括 T_4^0 、 T_3^3 、 T_2^2 , 分别对应白垩系泰二段底界、古近系阜二段底界和三垛组底界。在明确层位及解释方法后,利用相干体切片技术确定平面断层展布与组合。

2.2 几何学特征

精细解释可见在陈9断块南部发育一条走滑逆断层,本次命名为陈堡走滑逆断层(F,图2),F1、吴①断层、陈3断层是陈9断块另外3条边界断层,其中F、F1、陈3、陈9断层均为吴①断层的次级断层。F断层长约3km,走向EW,倾向南,倾角较大,近于直立(图3),是吴①断层、F1断层的连接断层。根据AA'、BB'地震剖面可以看出(图2), T_4^0 和 T_3^3 反射层均被F断层错断。逆断层的走向不同,对反射层的错断程度也有所不同,以 T_3^3 反射层为例,从AA'剖面和BB'剖面分析,F断层均未错断 T_2^2 反射层,而CC'剖面中,F断层错断了 T_2^2 反射层。根据AA'、BB'、CC'剖面对F断层进行立体成图(图3)可以看出,F断层垂向处于1000~2000ms双程时间

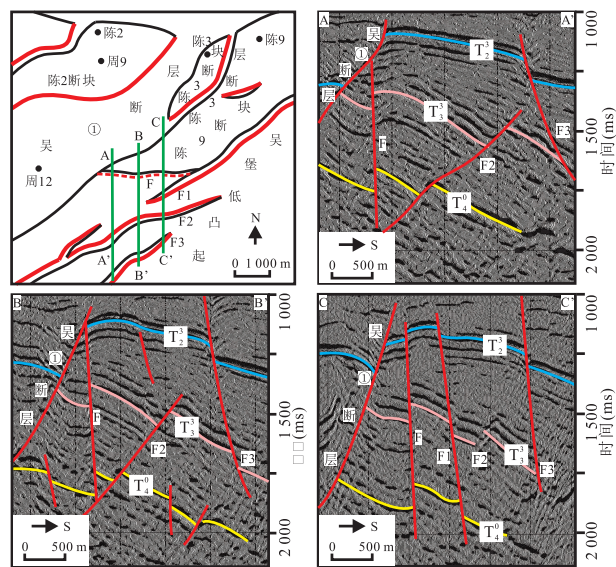


图2 陈堡油田陈堡走滑逆断层(F)发育特征

Fig. 2 Development characteristics of chenbao strike-thrust fault (F) in Chenbao oilfield

域之间,相当于800~3000m深度。此外,CC'剖面显示,F断层的断距自上而下逐渐增加(图2),F断层为同沉积断层。

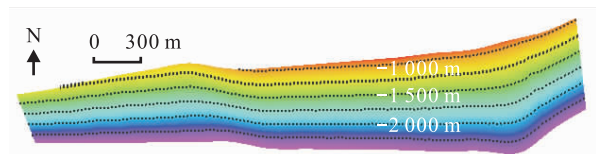


图3 陈堡走滑逆断层(F)断面空间形态

Fig. 3 Section profile of Chenbao strike-thrust fault(F)

平面上,通过地震时间切片可以看出,F断层南北两侧的反射波组发生错位,呈现走滑特征,且走滑位移小于垂向位移,因此属于走滑逆断层。F断层周边还发育吴①、F1、F2、F3等断层(图4)。吴①断层是高邮凹陷同沉积边界一级断层(陈清华等,2015),错断 T_2^2 、 T_3^3 、 T_4^0 地层,走向NE,倾向NW,规模大、延伸远,控制南断北超的箕状结构。F1、F2、F3断层是吴①断层的次级断层,走向NE,与吴①断层近平行发育。剖面上,F1断层错断 T_2^2 、 T_3^3 、 T_4^0 地层,F3错断 T_2^2 、 T_3^3 地层,F2断层错断 T_3^3 、 T_4^0 地层,F1、F3断层与F2断层倾向相反,形成“Y”字型组合样式。

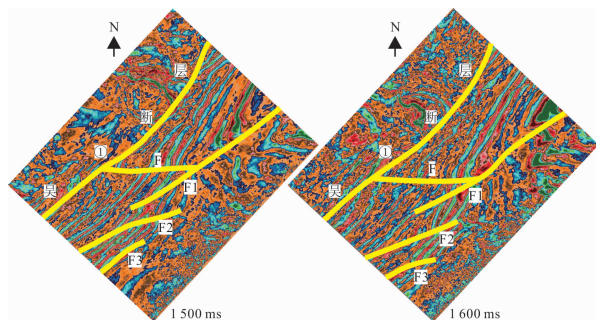


图4 陈堡走滑逆断层时间切片

Fig. 4 Time slice of strike-thrust fault in Chenbao oilfield

2.3 断层活动强度

研究表明,陈堡走滑逆断层为同沉积断层。目前同沉积断层活动性分析的主要表征参数包括断层落差、活动速率、生长指数等(雷宝华,2012;王有功等,2014)。由于该断层走滑量相对较小(图4),同时考虑到与吴①断层进行对比分析,本次选取断层生长指数表征断层活动性。断层生长指数定义为断层的上盘厚度与下盘厚度之比,生长指数 >1 ,表明

断层为正断层;生长指数 <1 ,表明断层为逆断层。并且生长指数越接近 1,表明断层活动程度越弱(图 5)。

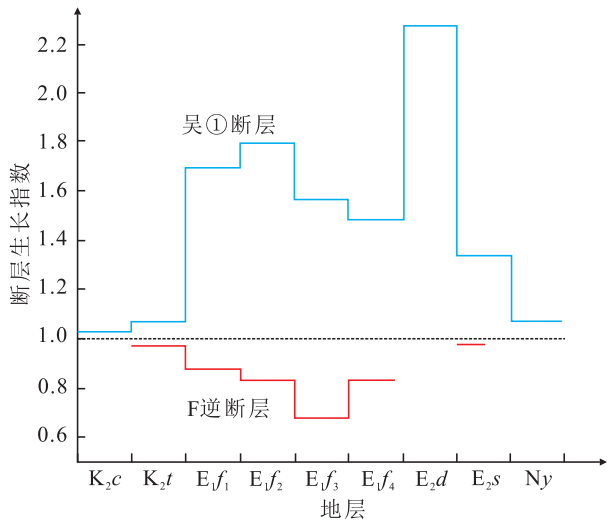


图 5 吴①断层和陈堡走滑逆断层的断层生长指数
Fig. 5 Fault growth index of Wu ① fault and Chenbao strike-thrust fault

根据图 5 分析可得。陈堡走滑逆断层活动开始于晚白垩世泰州组沉积时期,古近纪阜一段至阜三段时期,断层生长指数不断减小,最低达到 0.65,表明在该时期,逆断层活动逐渐增强。从阜四段开始,生长指数逐渐增大,在三垛组沉积时期达到 0.95,逆断层活动程度逐渐减弱,并停止断层活动。吴①断层与陈堡走滑逆断层活动开始时间基本一致,断

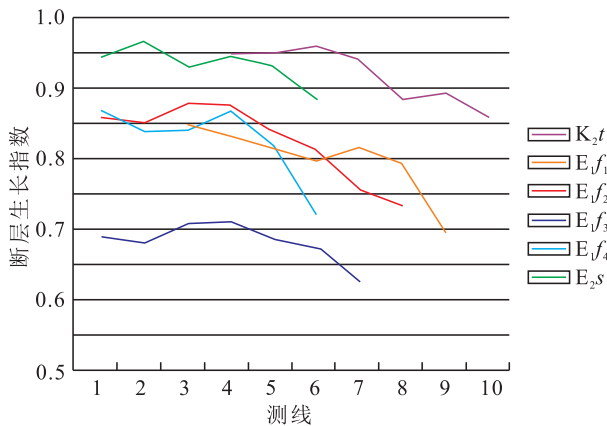


图 6 陈堡走滑逆断层不同测线断层生长指数(测线自东向西均匀分布)
Fig. 6 Fault growth index of different lines in Chenbao strike-thrust fault (The survey line is evenly distributed from east to West)

Fig. 6 Fault growth index of different lines in Chenbao strike-thrust fault (The survey line is evenly distributed from east to West)

层活动时期处于阜宁组、戴南组沉积时期,并且存在 2 个活动高峰,分别为阜二段(生长指数 1.5)和戴南组沉积时期(生长指数 2.0),三垛组以后断层活动性明显减弱,并停止断层活动。

通过对于断层活动的分析研究,吴①断层活动强度明显高于陈堡走滑逆断层,并且断层活动时间内,吴①断层跨越沉积时期也要长于陈堡走滑逆断层。但是在 2 条断层活动都比较剧烈的阜宁组时期,2 条断层呈现出互补的趋势,相互影响作用强烈。从图 6 分析得知,陈堡走滑逆断层在东西向不同测线上,生长指数均呈现出逐渐减小的趋势,逆断层活动强度逐渐增强,这也是受吴①断层活动的控制的结果。

2.4 断层成因机制

20 世纪 90 年代开始,关于中国东部油气区的逆断层成因机制研究逐渐开始(罗群,2000;杨克绳等,1985;王同和,1988),大致分为 4 种成因:走滑诱导、重力滑动、反转转化、流体推挤。其中,前两类为主要成因类型,目前报道有松辽盆地辽河拗陷冷家堡逆断层(吴林等,2017;罗群,2000)和渤海湾盆地冀中拗陷马西逆断层(杨克绳等,1985;王同和,1988)。事实上,苏北盆地也有逆断层报道,即金湖凹陷铜城断层。铜城断层北段为逆断层,南段为正断层,断层走向为 NS,断层性质沿走向出现变化,可见有花状构造,因此铜城断层北段逆断层属于走滑诱导成因(能源等,2012),陈堡走滑逆断层属于走滑诱导与重力滑动共同成因。重力滑动成因逆断层是指由于沉积、沉降等原因使半固结成层的沉积物在重力作用下整体沿断层滑动、后方逆冲所形成的构造(王同和,1988)。

首先,区域应力环境是陈堡走滑逆断层的构造背景。前人研究表明,印支期下扬子板块与华北板块拼贴碰撞,包括高邮凹陷在内的苏北盆地深部形成一系列走向 NE、倾向 NW 的叠瓦式逆冲断层(图 7)(朱光等,2013;练铭祥等,2001)。这些逆冲断层形成苏北盆地的基底断层,控制着次级凹陷的形成演化,这是高邮凹陷边界(包括吴①断层)呈 NE 走向的主要原因。燕山期,受控于太平洋板块 NNW 向俯冲于欧亚板块之下,高邮凹陷处于弧后扩张环境,处于 NW—NS 向的区域伸展作用中,早期逆冲断层发生构造反转(练铭祥等,2001),在浅部直接继承形成边界控凹正断层(如吴①断层),同时也会形

成新生的阶梯式次级正断层(如 F2 断层)。由于高邮凹陷伸展方位经历 NW—NS—NW 转变过程,吴①断层及次级断层发生斜滑作用,形成平面斜交式、剖面 Y 型的断层组合样式(图 1、图 2),因此陈堡地区具有走滑应力环境。

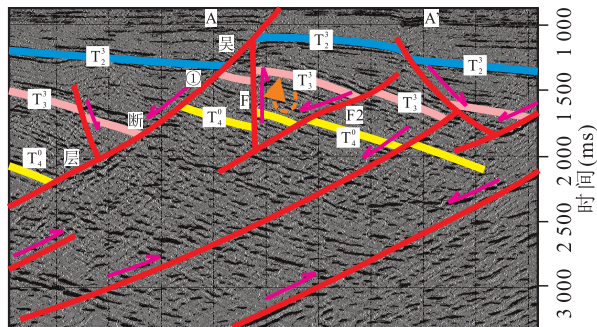


图 7 陈堡走滑逆断层成因解释

Fig. 7 Genetic interpretation of Chenbao strike-thrust fault

其次,长期的重力滑动是陈堡走滑逆断层的直接原因。晚白垩世以来,由于长期的区域斜向伸展作用,陈堡地区边沉积边沉降。在部分断层(F2)上盘,靠近断层一侧沉积物向下滑动,而远离断层一侧沉积物由于调节应变量而向上滑动,由于相邻吴①断层上盘沉积物的重力较大,陈9断块向上滑动的沉积物难以克服,并不断受到挤压,当挤压力超过岩层强度时产生破裂,形成了与 F2 断层倾向相反的逆断层 F。在重力作用下,这种断层很容易沿破裂软弱面快速逆冲(罗群等,2000),因此重力滑动是陈堡走滑逆断层的重要成因。

3 走滑逆断层的油气意义

根据地质资料解释的结果,受地质构造的影响,陈堡地区主要存在断块、断鼻等油气藏。陈3断块已部署开发井 100 余口,开发效果良好。同沉积构造作用下的陈堡走滑逆断层,位于陈2、陈3 富油断块的邻部,控制陈9断块油气储集,因此陈堡走滑逆断层的研究对油气勘探具有重要的指导意义。

3.1 走滑逆断层控制了烃源岩形成

前人研究认为,包括陈9断块在内的陈堡油田油气主要来源于高邮凹陷北部的刘五舍次凹阜二段烃源岩(陈莉琼等,2009;陈清华等,2015;邱贻博等,2007),而吴①断层和陈堡走滑逆断层临近生烃凹

陷,在阜二段—阜四段时期断层活动性最强,逆断层的活动时间与烃源岩形成时间一致,且为同沉积断层,因此陈堡走滑逆断层控制着烃源岩形成。

3.2 走滑逆断层控制了油气运移成藏

断层分布、封闭性等是油气运聚分析的重要内容(姜素华等,2004;黄小青等,2020)。陈堡走滑逆断层的几何学研究表明,逆断层倾角大,向南倾斜,指向临近的刘五舍次凹烃源岩,位于陈堡油田与生烃中心之间,有利于陈堡油田的油气运移。同时,陈堡走滑逆断层封闭能力较强。三垛组沉积时期是陈堡油田大规模油气运移期,此时吴①断层持续活动,断层封闭性较差,南部刘五舍次凹油气沿 NE 走向的吴①断层向高部位的陈9断块运移(图 8),而陈堡逆走滑断层已停止活动,封闭性较好。三垛运动后,吴①断层和陈3断层两盘均为砂泥岩对接,封闭性较好(邱贻博等,2007)。因此在断层和构造形态的双重作用下,受陈堡走滑逆断层、吴①断层、陈3断层共同控制,陈9断块中油气易被遮挡而聚集成藏。

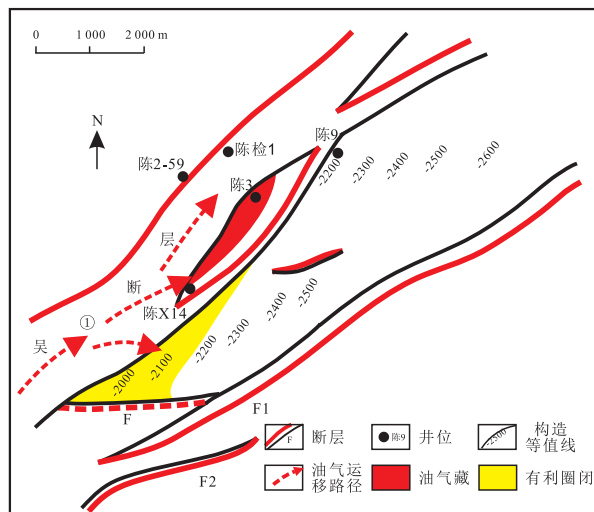


图 8 陈堡油田陈9断块 T₃ 反射层构造图

Fig. 8 Structural map of T₃ reflector in Chen 9 fault block of Chenbao Oilfield

3.3 走滑逆断层控制了有利构造圈闭

近年来,由于圈闭不落实导致该区油气勘探失利较多(如陈9井),因此断层对圈闭的影响研究尤为重要。构造精细解析表明,陈9断块整体呈单斜构造,西部高、东部低,西南部构造位置最高,受周边的吴①断层、陈3断层、陈堡逆断层、F1断层控制明

显,可形成有利的油气圈闭。在 T_3^3 反射层上(图8),有利构造圈闭发育于-1 850~-2 190 m,平面投影面积为 1.85 km²,潜力较大,可作为下一步重点勘探对象。

4 结论

(1)在高邮凹陷构造特征研究中已有伸展、走滑构造的论述,但关于走滑逆断层的报道尚属首次,在今后的研究工作中值得注意。

(2)陈堡走滑逆断层走向 EW,呈高角度向南倾斜,错断了 T_2^2 、 T_3^3 和 T_4^0 等主要反射层。晚白垩世泰州组时期断层微弱活动,阜宁组为主要活动时期,其中阜三段活动性最强,断层生长指数约为 0.65,阜四段活动性开始减弱,至三垛组晚期停止活动。走滑逆断层属于走滑诱导与重力滑动共同成因。

(3)陈堡走滑逆断层对烃源岩、油气运移、圈闭发育都具有一定的控制作用。根据构造解释结果评价了陈9断块有利圈闭,其平面投影面积为 1.85 km²。逆断层控制下的有利圈闭的发现为研究区油气勘探提供了新的方向。

参考文献(References):

刘寅,陈清华,胡凯,等.渤海湾盆地与苏北-南黄海盆地构造特征和成因对比[J].大地构造与成矿学,2014,38(01):38-51.

LIU Yin, CHEN Qinghua, HU Kai, et al. Comparison of the Bohai Bay Basin and Subei-South Yellow Sea Basin in the Structural Characteristics and Forming Mechanism[J]. Geotectonica et Metallogenia, 2014,38(01):38-51.

吴林,陈清华,庞飞,等.下扬子地区中-新生代构造变形单元及构造变形样式[J].吉林大学学报(地球科学版),2015,45(06):1722-1734.

WU Lin, CHEN Qinghua, PANG Fei, et al. Mesozoic-Cenozoic Tectonic Deformation Units and Style in Lower Yangtze Region[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2015,45(06):1722-1734.

吴林,陈清华,刘寅,等.裂陷盆地伸展方位与构造作用及对构造样式的控制——以苏北盆地高邮凹陷南部断阶带为例[J].石油与天然气地质,2017,38(01):29-38.

WU Lin, CHEN Qinghua, LIU Yin, et al. Extension direc-

tion and tectonism in rift basins and their control on structural style: A case study on the south fault terrace in the Gaoyou Sag, Subei Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2017,38(01):29-38.

汪泽成,刘和甫,段周芳,等.黄骅坳陷中生代构造负反转分析[J].地球科学,1998,(03):73-77.

WANG Zecheng, LIU Hefu, DUAN Zhoufang, et al. Analysis of Meso-Cenozoic tectonic-inversion of Huanghua depression[J]. Earth Science, 1998,(03):73-77.

张明振,付瑾平,印兴耀.桩海地区的走滑和挤压构造特征[J].油气地质与采收率,2006,(02):5-7+103.

ZHANG Mingzhen, FU Jinping, YIN Xingyao. Character of strike-slip and extrusion structure in Zhuanghai region [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2006,(02):5-7+103.

陈莉琼,李浩,刘启东,等.高邮凹陷吴堡断裂构造带对陈堡油田油气运移的控制作用[J].地球学报,2009,30(03):404-412.

CHEN Liqiong, LI Hao, LIU Qidong, et al. Control of the Wubao Faulted Structure over the Migration of Petroleum in the Chenbao Oilfield of the Gaoyou Depression, Jiangsu[J]. Acta Geoscientica Sinica, 2009,30(03):404-412.

唐旭,孙永河,胡慧婷,等.苏北盆地高邮凹陷古近系阜宁组断层形成过程及其砂箱物理模拟[J].石油与天然气地质,2021,42(02):469-480.

TANG Xu, SUN Yonghe, HU Huiting, et al. Fault development and its analogue modeling in the Paleogene Funing Formation in Gaoyou Sag, Subei Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2021,42(02):469-480.

戴俊生,王霞田,季宗镇,等.高邮凹陷南断阶东部阜宁期构造应力场及其对断层的控制作用[J].中国石油大学学报(自然科学版),2011,35(02):1-5+19.

DAI Junsheng, WANG Xiatian, JI Zongzhen, et al. Structural stress field of funing sedimentary period and its control on faults in the east of south fault terrace in Gaoyou sag[J]. Journal of China University of Petroleum (E-dition of Natural Science), 2011,35(02):1-5+19.

吴林,束宇凯,陈清华,等.高邮凹陷真武断裂构造演化特征[J].油气地质与采收率,2015,22(01):37-41+62.

WU Lin, SHU Ningkai, CHEN Qinghua. Structural evolution of Zhenwu fault in Gaoyou sag[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2015,22(01):37-41+62.

丁建荣,李储华,马英俊.苏北盆地高邮凹陷垛一段储盖组合定量分析及区带预测[J].石油实验地质,2018,40

- (06):877-885.
- DING Jianrong, LI Chuhua, MA Yingjun. Quantitative analysis of reservoir-cap rock assemblages of the first member of Sanduo Formation and prediction of favorable regions in Gaoyou Sag, North Jiangsu Basin [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2018, 40(06):877-885.
- 陈清华, 吴林, 周宇成. 高邮凹陷环邵伯次凹地区油气成藏条件及成藏模式 [J]. *中国矿业大学学报*, 2015, 44(02):282-291.
- CHEN Qinghua, WU Lin, ZHOU Yucheng. Hydrocarbon accumulation conditions and modes in the area around Shaobo sub-sag, Gaoyou sag [J]. *Journal of China University of Mining & Technology*, 2015, 44(02):282-291.
- 雷宝华. 生长断层活动强度定量研究的主要方法评述 [J]. *地球科学进展*, 2012, 27(09):947-956.
- LEI Baohua. Review of methods with quantitative studies of activity intensity of the growth fault [J]. *Advance in Earth Sciences*, 2012, 27(09):947-956.
- 王有功, 吕延防, 付广, 等. 复式断陷边界控陷断层生长特征及油气地质意义——以松辽盆地长岭早白垩世复式断陷群东部为例 [J]. *地质学报*, 2014, 88(09):1666-1676.
- WANG Yougong, LÜ Yanfang, FU Guang, et al. Growth characteristic of boundary control faults and its significance to oil and gas geology: an example from the early cretaceous compound fracture in Changling, Songliao basin [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2014, 88(09):1666-1676.
- 罗群. 辽河盆地冷家地区陈家逆断层特征与油气分布 [J]. *新疆石油地质*, 2000, (02):110-113+169.
- LUO Qun. The characteristics and petroleum distribution along Chenjia reverse fault in Lenjia area of Liaohe basin [J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2000, (02):110-113+169.
- 杨克绳, 王同和. 冀中坳陷逆同生断层的发现及其找油意义 [J]. *石油勘探与开发*, 1985, (04):1-7.
- YANG Kesheng, WANG Tonghe. Contemporaneous thrust fault in Jizhong depression and its significance in petroleum exploration [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 1985, (04):1-7.
- 王同和. 中国东部油气区逆断层成因类型 [J]. *地球科学*, 1988, (06):627-634.
- WANG Tonghe. Genetic types of thrust faults in eastern China petroliferous regions [J]. *Earth Science*, 1988 (06):627-634.
- 能源, 漆家福, 张春峰, 等. 金湖凹陷断裂特征及其石油地质意义 [J]. *大地构造与成矿学*, 2012, 36(01):16-23.
- NENG Yuan, QI Jiafu, ZHANG Chunfeng, et al. Structural Features of the Jinhu Sag in the Subei Basin and its Petroleum Geological Significance [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2012, 36(01):16-23.
- 朱光, 姜芹芹, 朴学峰, 等. 基底断层在断陷盆地断层系统发育中的作用——以苏北盆地南部高邮凹陷为例 [J]. *地质学报*, 2013, 87(04):441-452.
- ZHU Guang, JIANG Qinqin, PIAO Xuefeng, et al. Role of basement faults in faulting system development of a rift basin: an example from the Gaoyou sag in southern Subei basin [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2013, 87(04):441-452.
- 练铭祥, 薛冰, 杨盛良. 苏北新生代盆地断陷和坳陷的形成机理 [J]. *石油实验地质*, 2001, (03):256-260.
- LIAN Mingxiang, XUE Bing, YANG Shengliang. formation mechanism of depression and rifts in the cenozoic basin of north Jiangsu province [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2001, (03):256-260.
- 邱贻博, 查明, 曲江秀. 高邮凹陷陈堡及陈堡东地区断层封闭性研究 [J]. *石油勘探与开发*, 2007, (02):197-201.
- QIU Yibo, ZHA Ming, QU Jiangxiu. Fault sealing performance in Chenbao and eastern Chenbao areas, Gaoyou Sag [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2007, (02):197-201.
- 姜素华, 姜雨, 覃忠校. 复杂断块油田弧形断层对油气的聚集作用——以东辛油田东营组油藏为例 [J]. *西北地质*, 2004, 37(04):27-32.
- JIANG Suhua, JIANG Yu, QIN Zhongxiao. Arcuate faults in complex fault block oil field and its relation to the accumulation of oil and gas —— Taking Dongying Formation of Dongxin Oil Field as an example [J]. *Northwestern Geology*, 2004, 37(04):27-32.
- 黄小青, 王建君, 韩永胜. 苏北盆地 ZJ 探区页岩油藏勘探评价实践与认识 [J]. *西北地质*, 2020, 53(03):252-263.
- HUANG Xiaoqing, WANG Jianjun, HAN Yongsheng. The Practice and Understanding of the Shale Oil Reservoir in ZJ Exploration Area of Subei Basin [J]. *Northwestern Geology*, 2020, 53(03):252-263.
- Liu Yin, Chen Qinghua, Wang Xi, et al. Influence of normal fault growth and linkage on the evolution of a rift basin: A case from the Gaoyou depression of the Subei Basin, eastern China [J]. *Aapg Bulletin*, 2017, 101(02):265-288.