

隐伏走滑断层特征及其对油气成藏的影响

——以渤海海域蓬莱13—14地区为例

张友¹, 南山², 王玉秀¹, 黄雷¹, 王应斌¹, 王瑞³

(1.中海石油(中国)有限公司天津分公司 勘探开发研究院, 天津 300452; 2.中海油能源发展工程技术公司, 天津 300452; 3.海洋石油工程股份有限公司 检验公司, 天津 300452)

摘要:为研究隐伏走滑断层特征及其对油气成藏的影响,以渤海海域蓬莱13—14地区为例,根据地震资料及构造样式分析,认为研究区发育隐伏走滑断层,在地震剖面上表现为主干走滑断层两侧地震相变化大、构造反转,平面上表现为雁列式断层组合、帚状构造等特征。与典型走滑断层不同,对隐伏走滑断层的主干走滑断层的识别须综合多种地质证据。研究结果表明,蓬莱13—14地区发育3支主干走滑断层,西侧2支,中南部1支,共同构成郯庐断裂的东支。其主干走滑断层仅在基底和古近系底部发育,为压扭性断层;新近系不发育主干走滑断层,发育2组力学性质不同的断层组,其中1组为近北北东向张扭性的伴生同向走滑断层,另1组为近东西向伸展性的伴生正断层。隐伏走滑断层控制的构造反转是形成蓬莱13—14地区带状分布圈闭群的决定性因素。研究区张性伴生断层可分为2期,对油气运移起疏导作用,其中早期活动、沟通深浅层的伸展断层对油气运移具有决定性作用。

关键词: 郯庐断裂 隐伏走滑断层 油气运移 构造反转 渤东凹陷 渤海海域

中图分类号: TE111.2

文献标识码: A

文章编号: 1009-9603(2014)06-0026-04

构造样式和断裂组合特征与油气成藏的关系密切,在宏观构造和微构造领域都对其进行了深入的研究和总结^[1-4]。郯庐断裂对渤海湾盆地的构造样式和断裂组合具有较为深远的影响,针对郯庐断裂的研究一直是渤海海域勘探实践和地质研究的热点。

目前对特征明显的典型走滑断层的研究已经取得了较多的共识^[5-8]。受地震资料深度的限制,对走滑断层产状和走向的认识多集中于走滑作用较强、易于识别的凸起或临近凸起的边界区域;而隐伏走滑断层通常位于凹陷或应力减弱带,特征不明显,因此目前对隐伏走滑断层的运动学和动力学特征仍少有著述。为此,以渤海海域蓬莱13—14地区为例,通过三维地震资料解释和运动学、动力学分析,明确研究区主干走滑断层的分布,总结出凹陷或应力减弱带隐伏走滑断层的构造样式、特征、成因、与典型走滑断层的差异及其对油气成藏的影响。虽然隐伏走滑断层的特征难以识别,但其伴生的构造反转有利于形成断块圈闭群,油气勘探潜力巨大,因此研究其规律对蓬莱13—14地区的油气勘探生产具有重要意义。

1 区域概况

蓬莱13—14地区位于渤海海域的东部,邻近蓬莱19—3油田,包括渤东凹陷、庙西北凸起南倾没端和庙西北洼陷等构造单元(图1)。其断裂非常发育,地质情况复杂,勘探潜力较大。研究区新生界自下而上发育古近系孔店组、沙河街组、东营组(庙

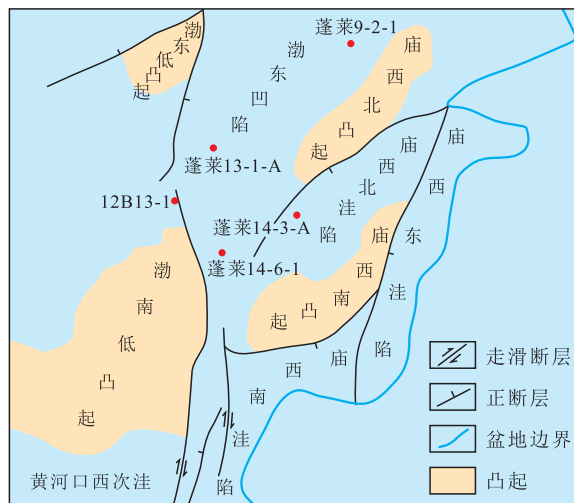


图1 蓬莱13—14地区区域构造位置

收稿日期:2014-09-01。

作者简介:张友,男,工程师,硕士,从事石油地质综合研究。联系电话:13512983010, E-mail:zhangyou@cnooc.com.cn。

基金项目:国家科技重大专项“渤海海域大中型油气田地质特征”(2011ZX05023-006-002)。

西北洼陷缺失东一段)、馆陶组、明化镇组以及第四系。截至2013年,已于蓬莱13构造带、蓬莱14-3构造带和蓬莱14-6构造带完钻多口探井,在各层系均有油气显示,测井解释油气层主要集中于馆陶组和明化镇组下段。

2 走滑断层特征

2.1 郯庐断裂宏观特征

渤海海域走滑断层属于郯庐断裂营潍段,或称为营潍断裂带^[9],是一条平面上延伸达数千公里,纵向上切穿岩石圈的平移断层^[10]。漆家福等认为渤海海域的郯庐断裂带在新生代盆地构造层中是由2~3条直立的基底断层构成的北北东—北东向断裂带;由北向南,其主干走滑断层自营口西向南延伸至辽东湾海域后,顺辽东凸起两侧延伸至渤东凸起两侧,断续向南延伸至莱州湾南端潍坊附近,地震剖面上主要表现为陡倾或直立的基底断层,垂直位移分量沿断层走向可发生急剧变化^[5]。走滑断层的显著特征是发育花状构造,其中主干走滑断层的产状陡且多变,伴生断层则收敛于主干走滑断层。由于地震资料的有效范围多在5s(约为6km)以内,对于凹陷区主干走滑断层的识别和研究存在较大困难,因此,对其伴生构造的分析以及深入的地质认识是研究走滑断层的重要手段。

2.2 典型走滑断层与隐伏走滑断层的特征差异

由于走滑断层在盆地中的应力强弱和发育位置不同,其浅层发育的伴生构造存在显著差异,形成不同的构造样式组合。根据构造样式组合特征的差异,可将走滑断层分为典型走滑断层和隐伏走滑断层。其中,典型走滑断层多发育于凸起或邻近凸起的边界区域,当走滑作用很强时也可发育于凹陷中;其主干走滑断层直接切穿古近系通达新近系,断层发育位置易于识别。隐伏走滑断层多发育于凹陷中,盖层厚度大,走滑作用减弱,其主干走滑断层仅切穿至古近系底部,对两侧伴生断层的影响范围较广,但主干走滑断层发育的位置不易识别,研究难度较大。蓬莱19-3油田^[11](渤南凸起东段)、渤中28-2构造(图2)、渤中28-2南构造^[12](渤南凸起西段)、锦州31-2构造(辽东凸起带中段)发育的走滑断层为典型走滑断层,渤中34油田群^[13](黄河口凹陷中央隆起带)发育隐伏走滑断层。通过对比认为,蓬莱13—14地区发育隐伏走滑断层构造样式组合。

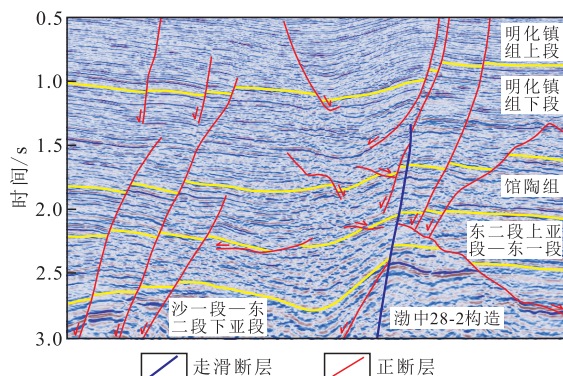


图2 渤中28-2构造典型走滑断层地震剖面

3 隐伏走滑断层特征及成因

3.1 隐伏走滑断层特征

通常认为典型走滑断层具有花状构造、海豚效应、丝带效应及构造反转等特征^[14]。隐伏走滑断层不具有典型走滑断层的构造样式,但受隐伏走滑断层影响,研究区构造组合在宏观上表现为从深层至浅层的方差时间切片和断层平面组合具有规律性雁列式断层组合特征,但其主干走滑断层位置的确定及浅层走滑断层组合性质的认识易引起争议。

蓬莱13—14地区隐伏走滑断层的主要特征为:

①断层两侧地震相具有差异,断层产状陡且多变(图3);②靠近主干走滑断层区域发育明显的构造反转,古近系沉积厚度大,原来为深洼区的区域在明下段沉积时期变为相对构造高点,蓬莱14-3构造由古近系的向形转变为新近系的背形;③庙西北凸起南侧发育小型帚状构造^[15],为走滑伴生断层在遇到刚性体时发生旋转,进而形成局部旋扭应力场控制的放射状构造组合,而庙西北洼陷中心与其他区域截然不同,基本不发育断层;④地震资料解释结果表明,部分基底断层与浅层新近系断层位置很接近,单条地震剖面易解释为1条断层,但研究区古近系及以下地层与新近系发育2套断裂体系,是在旋

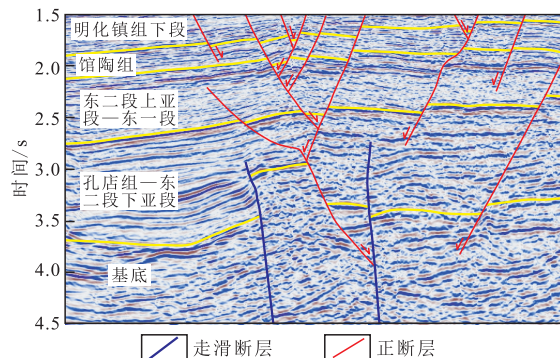


图3 蓬莱13—14地区主干走滑断层地震剖面特征

转应力场作用下,深、浅层旋转角速度不同导致的。

根据活动时间可将研究区的隐伏走滑断层及其伴生断层分为3种类型,分别为早断晚衰型、长期活动型和晚期活动型。其中,早断晚衰型断层主要为主干走滑断层及早期左旋应力场伴生断层,多在渐新世之前活动,之后停止,主要为北北东向,占研究区断层的近10%;长期活动型断层为隐伏走滑断层伴生的早期断层在后期应力场变化后仍继承性活动,其活动时期长,贯穿古近纪—新近纪,主要为北东向,发育较少,多为控洼、控带断层;晚期活动型断层均为隐伏走滑断层晚期右旋走滑应力场控制下的伴生断层,自渐新世末期活动,主要为北东—北东东向,发育较多,占研究区断层的80%。

3.2 主干走滑断层位置确定

根据地震剖面走滑断层特征及凸起区蓬莱19-3油田走滑断层的延伸外推,认为蓬莱13—14地区西侧发育2支主干走滑断层,中南部发育1支主干走滑断层,均为营潍断裂带东支的一部分。

研究区发育的主干走滑断层仅发育于盆地基底和古近系底部,为北北东走向的压扭性断层;其主要形成于中生代之前的左旋走滑运动,新生代右旋走滑运动继承性活动。古近系中、上部和新近系不发育主干走滑断层,即未发生右旋位移;受右旋应力场控制,主干走滑断层和同向走滑断层(具有扭应力性质)发育的区域为断裂带的转换位置,可能存在地震资料无法识别的小型剪裂面。

3.3 隐伏走滑断层成因

由于蓬莱13—14地区主要包括渤东凹陷和庙西北洼陷,其古近系盖层较厚、韧性较大,主干走滑断层仅发育于基底和古近系底部,浅层不发育。新生代受右旋走滑应力场影响,发育走滑断层组合,地震剖面上表现为包心菜式、复式Y型断层组合。浅层主要发育2组伴生断层组合,其成因为右旋走滑作用产生的伴生断层;其中1组为近东北向张扭性的伴生同向走滑断层,另1组为近东西向伸展性的伴生正断层。研究区主干走滑断层及其伴生断层的组合规律符合里德尔共轭剪切破裂理论^[9]。根据伴生正断层的活动期次,认为研究区新生代右旋走滑活动相对强烈时期主要为渐新世末期喜马拉雅运动I幕和新近系喜马拉雅运动II幕。

4 隐伏走滑断层对油气成藏的影响

4.1 对圈闭形成的影响

蓬莱13—14地区受隐伏走滑断层的影响强烈,

挤压、构造反转形成的圈闭带被雁列式隐伏走滑断层及其伴生断层所分割。隐伏走滑断层控制的局部隆起是包心菜式断层组合形成带状分布圈闭群的决定性因素,在研究区中部主干走滑断层两侧形成了蓬莱13圈闭群和蓬莱14圈闭群,为油气成藏奠定了良好的基础。

4.2 对油气运移的影响

断裂体系对凹陷的油气运移具有重要的作用^[16-17],油气通常沿断层进行顺向运移。压扭性的主干走滑断层对油气运移具有封堵作用,而伴生的张性断层为油气运移的主要通道。浅层气云或气烟囱与油气运移的关系密切^[18-19]。研究区蓬莱14-3构造附近存在气烟囱现象,在蓬莱13构造带附近有气云现象,均发育于主干走滑断层附近,表明隐伏走滑断层对油气运移产生积极的影响。由于浅层新近系主干走滑断层不发育,因此与馆陶组储层相匹配,有利于油气的横向运移。长期活动且断至烃源岩的伴生断层为油气运移的重要通道,后期的伴生断层使构造复杂化,并可对油气进行再分配;因此,活动时间早、断穿古近系、沟通深浅层的断层对研究区的油气运移具有关键作用。研究区蓬莱14-3-A井钻探成功,于馆陶组下部试油获得124 m³/d的工业油流,主要是由于多条断层沟通烃源岩,且馆陶组砂岩含量高,有利于油气的横向运移和聚集成藏。蓬莱13-1-A井钻遇油气显示,测井解释油层4层21.9 m,由于整个包心菜式断层组合仅由单一的倒灌烃源断层^[20]作为油气运移通道,因此导致其油藏厚度和规模较小;而蓬莱13-2-A井发育较多的可以输导油气的伸展断层,钻遇油层54.6 m(图4)。

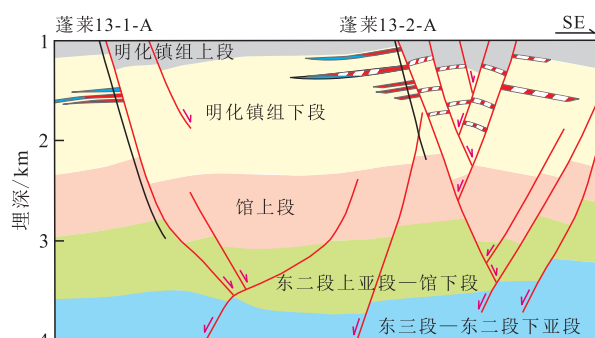


图4 蓬莱13-1-A井—蓬莱13-2-A井油藏剖面

与渤中34油田群和秦皇岛35构造带的成藏模式类比结果表明,蓬莱13—14地区发育的沟通烃源岩、具有运移作用的断层比渤中34油田群差,但优于秦皇岛35构造带。渤中34油田群包心菜式断层组合的根部发育较多断层,因此供油通道多,有利

于油气的初次运移^[21-22]。秦皇岛35构造带在地震剖面上显示的断层组合类型以复式Y型为主,可分为有根断层和无根断层2类,且沟通深层的断层发育很少。在油气运移活跃度较低、沟通深层的断层数量较少的情况下,寻找油气运移相对有利的构造区域是油气勘探成功的关键,而多条或单条油源断层沟通的圈闭以及气云区等均为油气运移相对有利的地区,因此,综合分析认为蓬莱13花状构造带和蓬莱14庙西南凸起倾没端均为研究区油气成藏的有利地区。

5 结束语

郯庐断裂在蓬莱13—14地区的走滑作用减弱,发育隐伏走滑断层,其特征与典型走滑断层具有一定的相似性,但又存在很多差异,且须通过多种地质现象来识别主干走滑断层。研究区基底和古近系底部发育3条主干走滑断层,浅层仅发育伴生的同向走滑断层(张扭性)和伸展断层(张性)。隐伏走滑断层控制了研究区浅层圈闭的形成,圈闭类型以构造反转形成的断块圈闭为主。地震剖面上表现为包心菜式的断层组合特征,平面上呈雁列式特征。隐伏走滑断层伴生的伸展断层可以成为油气的优势运移通道,长期发育的伸展断层是油气运移的主要通道,多条或单条延伸较广的油源断层沟通的圈闭以及气云区等均为油气运移相对活跃的地区。蓬莱13花状构造带和蓬莱14庙西南凸起倾没端为研究区油气勘探的首选目标。

参考文献:

- [1] 王永诗.石油地质研究中的特征与规律浅析[J].油气地质与采收率,2012,19(3):1-5.
- [2] 于葆华.试论油气勘探工作中的几个辩证关系[J].油气地质与采收率,2013,20(6):6-9,14.
- [3] 罗群.断裂带的输导与封闭性及其控藏特征[J].石油实验地质,2011,33(5):474-479.
- [4] 孙波,张善文,王永诗.断层输导能力定量评价及其在油气勘探

- 中的应用——以济阳坳陷青西地区为例[J].油气地质与采收率,2013,20(6):10-14.
- [5] 漆家福,邓荣敬,周心怀,等.渤海海域新生代盆地中的郯庐断裂带构造[J].中国科学: D辑 地球科学,2008,38(增刊 I):19-29.
- [6] 李理,谭明友,张明振,等.淮北—莱州湾凹陷郯庐断裂带新生代走滑特征[J].地质科学,2009,44(3):855-864.
- [7] 黄雷,周心怀,刘池洋,等.渤海海域新生代盆地演化的重要转折期——证据及区域动力学分析[J].中国科学: D辑 地球科学,2012,42(6):893-904.
- [8] 黄雷,王应斌,武强,等.渤海湾盆地莱州湾凹陷新生代盆地演化[J].地质学报,2012,86(6):867-876.
- [9] 陆克政,漆家福,王毅,等.石油构造地质学[M].北京:石油工业出版社,1998:60.
- [10] 刘光夏,赵文俊,张先.郯庐断裂带渤海段的深部构造特征[J].长春地质学院学报,1996,26(4):388-391.
- [11] 郭永华,周心怀,凌艳玺,等.渤海海域蓬莱19-3油田油气成藏特征新认识[J].石油与天然气地质,2011,32(3):327-332.
- [12] 周心怀.渤中28-2南油田成藏模式及其勘探意义[J].中国海上油气,2012,24(5):1-6.
- [13] 邓津辉,王应斌,姜利群,等.黄河口凹陷渤中34-1复杂断块区构造特征及储层预测[J].石油地质与工程,2007,21(3):4-6.
- [14] 孙礞礞.营潍断裂带结构特征及其与相邻盆地的关系[J].大地构造与成矿学,2008,32(4):418-426.
- [15] 白钢,王立军.现河庄帚状构造体系与油气聚集[J].江汉石油学院学报,2004,26(增刊):199-200.
- [16] 方旭庆,蒋有录,石砥石.济阳坳陷沾化地区断裂特征及其与成藏要素和油气分布的关系[J].油气地质与采收率,2012,19(2):1-4.
- [17] 李继岩,宋国奇,赵仲祥,等.惠民凹陷南部地区断层输导与封闭性能研究[J].油气地质与采收率,2011,18(4):17-20.
- [18] 张为民,李继亮,钟嘉猷.气烟囱的形成机理及其与油气的关系探讨[J].地质科学,2000,35(4):449-455.
- [19] 王应斌.油气运移足迹的表象[J].海洋石油,2012,32(1):23-27.
- [20] 王学军,向立宏,郝雪峰,等.车镇凹陷车西洼陷油气倒灌运移成藏特征及机理[J].油气地质与采收率,2013,20(1):6-10.
- [21] 邓运华,王应斌.黄河口凹陷浅层油气成藏模式的新认识及勘探效果[J].中国石油勘探,2012,7(1):25-29.
- [22] 王应斌,薛永安,张友,等.油气差异聚集原理应用效果分析——以黄河口凹陷为例[J].海洋石油,2010,30(4):20-25.

编辑 邹澍滢

欢迎广大科技人员踊跃投稿