

西江南半地堑晚期断裂系统基本特征及其控藏作用

彭光荣, 刘从印, 吴建耀, 徐颖晶, 黄峰, 温华华, 蓝倩

中海石油(中国)有限公司深圳分公司, 广州 510240

摘要 本文利用地震资料的构造解释和断裂系统的几何学、运动学对西江南半地堑晚期断裂的基本特征进行研究。研究表明,西江南半地堑晚期断裂是在北西西—南东东向张扭应力场作用下发生简单剪切右旋走滑变形形成和发育的。剖面上以负花状构造样式为主;平面上,主要呈北西西走向,断裂组合样式多样,包括平行式、交叉式、斜列式和羽状断层;断裂分布呈现明显分区特征,即晚期断裂主要分布在半地堑的南侧。结合圈闭定型期、油气充注史与晚期断裂活动的相关研究,得出晚期断裂系统对研究区控藏作用主要体现在3个方面:(1)断裂控圈,即晚期断裂控制了新近系构造圈闭的形成及分布;(2)部分断至古近系文昌组烃源岩内部甚至基底的晚期断裂和长期断裂一起构建了本区垂向优势运移通道,其他晚期断裂对早期油藏的二次调整、油气再运移及再聚集起重要的控制作用;(3)主活动期后晚期断裂较好的侧向封闭性有效地控制了新近系油藏的最终聚集及分布。

关键词 西江南半地堑;晚期断裂;断裂控圈;运移通道;断层封闭性

中图分类号 TE122.1*2

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2013.02.003

Basic Features of Late-stage Fault System in Xijiang Southern Half-graben and Its Controls on Hydrocarbon Accumulation

PENG Guangrong, LIU Congyin, WU Jianyao, XU Yingjing, HUANG Feng, WEN Huahua, LAN Qian

Shenzhen Branch Company of CNOOC Ltd., Guangzhou 510240, China

Abstract The basic features of late-stage faults are studied based on the structure interpretations of seismic data and geometry and kinematics of fault system. The results indicate that in the Xijiang southern half-graben, the majority of the late-stage faults trend towards NWW-SEE direction under the tensional shear stress field, showing negative flower structure in seismic profile and structural styles including parallel style, cross style, echelon style, and feather style, etc. in the section. The late-stage faults mainly distribute in the south side of the half-graben. Based on the related research on trap forming, timing of hydrocarbon filling, and activities of late-stage faults, the late-stage fault system mainly plays three important roles in oil accumulation. They are fault controlling trap, namely, the late-stage faults control the formation and distribution of Neogene structural traps, the oil migration and spatial distribution dominated by the late stage faults, the good fault sealing abilities; and ultimate hydrocarbon accumulation in Neogene strata controlled by the late-stage faults.

Keywords Xijiang southern half-graben; late-stage faults; fault controlling trap; migration pathway; fault sealingness

0 引言

属于西江凹陷三大半地堑之一的西江南半地堑位于珠江口盆地珠一坳陷的西侧,是一个东南断、西北超,呈北东—南西走向的半地堑,面积约1200km²(图1)。区域地震剖面解释及钻井揭示,西江南半地堑是在前第三系花岗岩基底之上发育起来的新生代盆地^[1],自下而上发育文昌组、恩平组、珠海组、珠江组、韩江组、粤海组、万山组及第四纪地层^[2]。油气

勘探实践表明,截至2011年底,本区合计发现8个商业性油田,累计探明原油地质储量约达1.74亿m³,从而证实西江南半地堑是一个典型的“小而肥”的富生烃半地堑^[3]。

研究区已发现的油田和含油构造中,新近系的珠江组和韩江组是最主要的含油层系,而晚期断裂也集中发育于新近系地层,但晚期断裂与丰富的油气藏有何关系目前尚无系统研究。本文从晚期断裂几何学、运动学研究出发,结合圈闭发

收稿日期:2012-10-29;修回日期:2012-12-23

基金项目:国家科技重大专项项目(2011ZX05023-001-006)

作者简介:彭光荣,工程师,研究方向为石油与天然气成藏,电子信箱:penggr@cnooc.com.cn

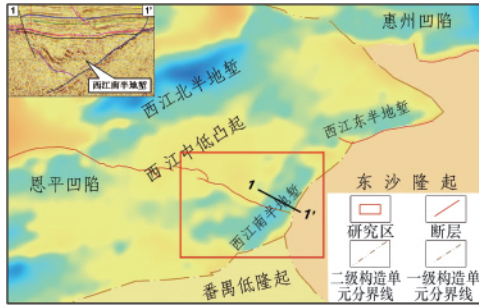


图 1 西江南半地堑区域位置及剖面形态

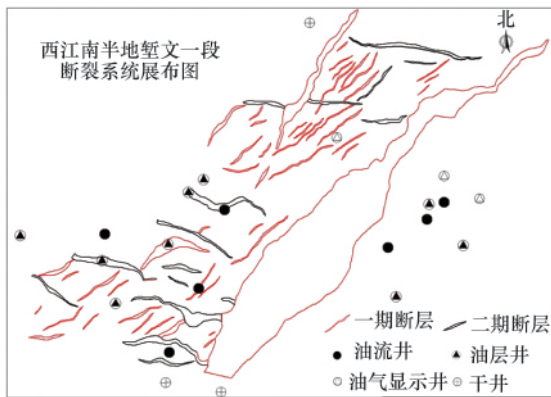
Fig. 1 Geographical location and tectonic characteristics of Xijiang southern half-graben

育时间、油气充注史和晚期断裂活动期的研究成果,提出晚期断裂控制了新近系构造圈闭的发育及分布,且晚期断裂主活动期时成为本区最重要的油气运移通道,而断裂后期较好的侧向封闭性控制了油气最终分布的观点。因此,系统研究本区晚期断裂的性质、展布特征和发育演化及其在油气运移成藏中所起的作用,对指导下一步勘探具有重要意义。

1 西江南半地堑晚期断裂概念的提出

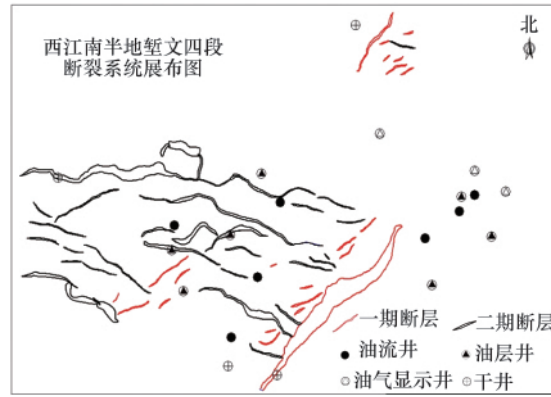
西江南半地堑地区跟整个珠江口盆地断裂发育特征基本相似,即主要发育有 3 种类型的断裂:早期断陷期的伸展断裂、晚期拗陷期的张扭断裂和早期断陷期伸展晚期拗陷期张扭长期活动性断裂,可以简称为早期断裂、晚期断裂和长期断裂^[1]。

形成于断陷期的早期伸展断裂是指发育于文昌组的强烈断陷期和恩平组的弱断陷期的断裂,贯穿文昌组—恩平组地层,后期基本不再活动。该断裂系统主要包括两期应力场形成的断层组合:文昌组的文一段—文三段时期,主要是在北西—南东向伸展应力作用下形成的以北东走向为主、北东东向为辅的张性正断层组合^[4];文四段—恩平组,应力场转变为近南北向伸展,从而在文昌组晚期和恩平组形成以近东西走向的张性正断层组合。其中,北东向断裂规模最大,控制了洼陷的形成和演化;近东西向断裂规模次之,主要分布于洼陷的南侧;北东东向断层规模最小,是北东向断层间的调节断层(图 2)。



(a) 文一段断裂展布

(a) Faults distribution map for the first part of Wenchang Formation



(b) 文四段断裂展布

(b) Faults distribution map for the fourth part of Wenchang Formation

图 2 西江南半地堑早期伸展断裂展布

Fig. 2 Distribution map of early extensional fault system in Xijiang southern half-graben

晚期拗陷期的张扭断裂是指在中中新世以后形成和发育,以张扭性为主、张性为辅的断裂^[5],主要贯穿于西江南半地堑拗陷沉降阶段的珠海组—第四系地层。主要是在北西—南东东向张扭应力场作用下发生简单剪切变形形成的,以北西西走向为主、近东西走向为辅(图 3),与本区构造圈闭的发育及分布、油气运移、油气聚集成藏和油气空间分布特征的关系非常密切,也正是本文的研究对象。

早期断陷期伸展晚期拗陷期张扭长期活动性断裂在断陷阶段开始形成,到中中新世以后仍在活动,贯穿了断陷层和拗陷层^[6](图 3)。走向与晚期断裂基本一致,平面上延伸较长且对半地堑的发育演化有一定的控制作用。长期断裂可分为 2 种类型:(1) 间歇式活动的长期断裂,即断陷阶段开始活动,在中渐新世至中中新世期间断裂相对平静,然后在中中

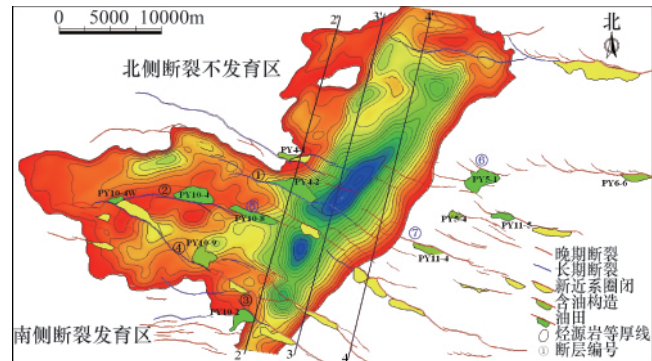


图 3 西江南半地堑晚期断裂与新近系构造圈闭、油藏关系
Fig. 3 Relationship among late-stage fault system, Neogene structural traps, and oil reservoir in Xijiang southern half-graben

新世以后再次复活,并使断层上下贯通;(2) 长期继承性活动的长期断裂,即从断陷到拗陷阶段不间断活动,持续活动时间贯穿于始新统文昌组地层至第四系地层。虽长期断裂分布有限,但由于断裂活动时间较长且将烃源岩和上部储集层沟通,成为本区最重要的油源断层,对油气运聚有重要影响。

2 西江南半地堑晚期断裂系统的基本特征

2.1 晚期断裂分布特征

从晚期断裂系统平面展布规律可知,西江南半地堑晚期断裂具有南北分布不均、差异明显特征^[3]。以韩江组顶(T32)

的断裂分布为例(图3),根据断裂发育密度和规模,可将西江南半地堑分为南部晚期断裂集中发育区和北部晚期断裂不发育区,总体呈现出明显的分区性。晚期断裂的这种南北分区展布特征也造成了新近系构造圈闭的形成、油气运聚和油气藏的空间分布特征的不均衡。

从韩江组断层方位分布的统计结果来看(图4),西江南半地堑晚期断裂的走向具有高度的一致性,即北西西向的断层占据了绝对的主导地位,且普遍具有张扭性或张性特征;少量的近东西向断裂发育在半地堑内部,这可能受断陷期文四段—恩平组的南北向拉张应力场影响所致。

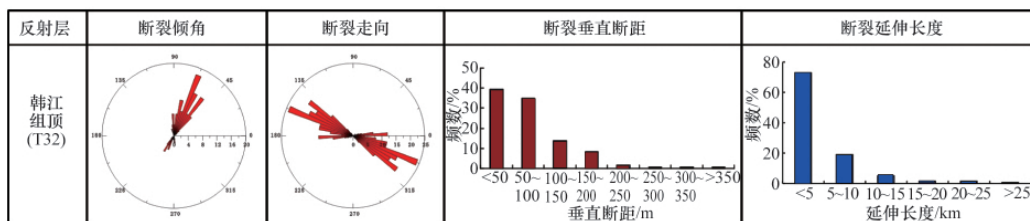


图4 西江南半地堑晚期断裂几何学特征

Fig. 4 Geometry characteristics of the late-stage faults in Xijiang southern half-graben

2.2 晚期断裂几何学特征

空间展布上,西江南半地堑晚期断裂具有一定的几何学分带特征。根据各次级构造单元构造样式的差异,可将南部晚期断裂发育区细分为南带和北带,其中以北带分布为主,南带分布为辅。北带的断层以正断式断层为主;断裂剖面组合样式主要为典型的负花状(图5);平面上断裂组合样式多样,主干断层之间一般为平行式、交叉式和斜列式断层组合,主干断层与次级断层一般构成羽状断层组合关系,显示了断裂的张扭变形特征(图3);且作为“花干”的主干断层几乎都断至断陷层的文昌组烃源岩地层,显示出这种断裂组合样式与油源区外的油气分布关系较为密切。而南带的断层以张性平直正断层为主;少量发育的铲式断层大多贯穿了拗陷层和

断陷层;断裂剖面上主干断层间多构成多米诺式、铲式扇等组合样式,主干断层与次级断层直接构成同向调节和反向调节等组合关系(图5);平面上则主要以平行式、侧列式组合类型为主(图3)。

据统计,晚期断层平面延伸长度普遍较短,一般多小于5km;多数断层的垂直断距小于200m;断面产状相对平直且较陡,平均倾角50°~70°(图4),反映出晚期断裂的活动期较晚且发育时间短的特征。韩江组顶(T32)、珠江组顶(T40)断裂密度分别为0.05、0.046条/km²,研究认为几乎都是晚期断裂所致;而珠海组顶(T60)断裂密度最大,达0.107条/km²,其成因是不但多数的晚期断裂断穿了该地层,而且还叠加了珠海组—韩江组时期弱伸展变形阶段所形成的断裂。

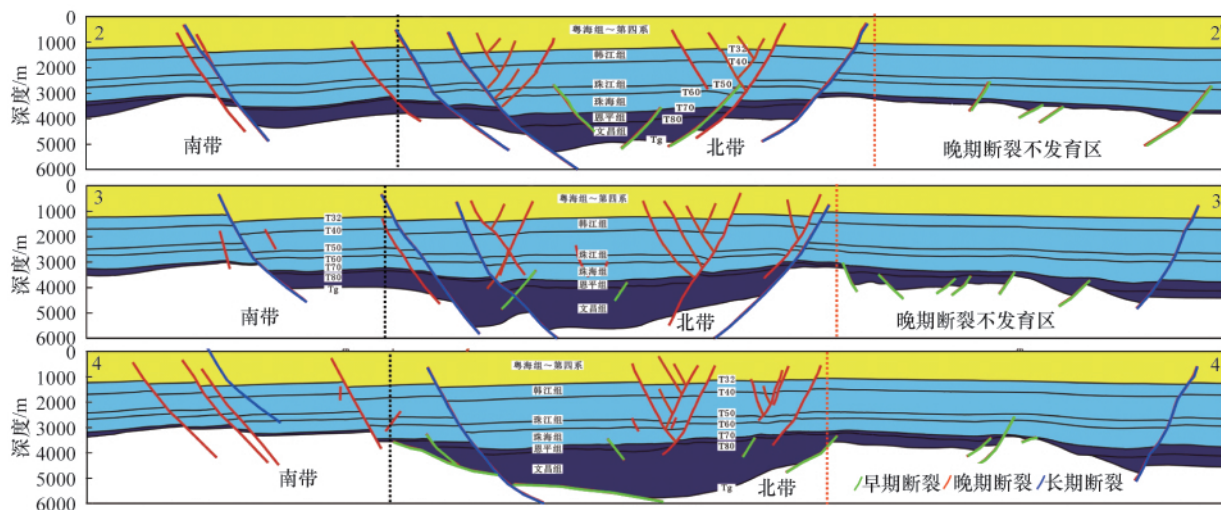


图5 西江南半地堑断裂系统划分及其构造样式

Fig. 5 Fault system divisions and structural styles in Xijiang southern half-graben

2.3 晚期断裂运动学特征

南海北部陆缘在晚新生代海底扩张结束后发生了一次较为显著的构造运动——东沙运动 (10Ma, 韩江组沉积末期), 是一次局部性的构造运动^[6,7], 西江南半地堑晚期断裂正是东沙运动的产物。此次构造运动在珠江口盆地还表现为东强西弱的特点^[7]; 就西江南半地堑而言, 还具有南北分区的特征, 从而造就了晚期断裂在西江南半地堑明显的南北差异。

研究区晚期断裂主要是在北西西—南东东向张扭应力场作用下发生简单剪切右旋走滑变形形成和发育的; 主要以北西西走向断裂为主、近东西走向断裂为辅, 以张扭性为主; 其中, 部分断裂至今仍在活动而成为“通天”断层(图3、图5)。近东西向断裂发育较早, 主要是断陷期的文四段—恩平组阶段形成的部分东西向断裂在东沙运动早期再次复活。在东沙运动主活动期, 部分断陷期的主干基底断裂再次复活并发生走滑变形, 同时产生大量与其呈羽状组合关系的次级盖层正断层, 从而形成北西西向有张扭特征且切割近东西走向的晚期断裂。因此, 晚期张扭断裂系统的形成也受早期基底断裂和区域应力场方向的影响。

基于晚期断裂向下延伸长度的差异又可将晚期断裂细分为2类: (1) 晚期断裂垂向延伸较短, 即只在新近系地层中发育, 不沟通烃源岩; (2) 晚期断裂垂向延伸较长, 断至古近系文昌组烃源岩内部甚至切割了基底, 将文昌组烃源岩与上部储集层直接连通, 从而构建了新近系地层油气垂向运移的优势通道(图5), 此类断裂与长期断裂的主要区别在于是否控制了断陷期的沉积, 即可通过文昌组地层断裂生长指数、垂直活动速率或伸展率来加以区分。

3 西江南半地堑晚期断裂系统的控藏作用

3.1 晚期断裂控制了圈闭的形成和分布

圈闭是油气聚集成藏的基本场所^[8], 没有圈闭油气成藏也无从谈起。研究表明, 西江南半地堑的晚期断裂对新近系构造圈闭的形成、分布起着重要的控制作用。

西江南半地堑新近系已钻典型断层圈闭的控圈断层生长指数和圈闭形成演化历史的恢复结果表明(图6), 控圈断层在粤海组初期(即东沙运动主活动期)具有较强的活动性, 在之后的万山组或第四系时期虽有微弱的活动, 但不影响圈闭的主要形态。因此, 粤海组沉积时期就是新近系圈闭的主要定性期。而这与晚期张扭断裂系统的主活动期是一致的, 即反映出晚期断裂系统控制了新近系断层圈闭的形成。

与晚期断裂相关的圈闭有滚动背斜和逆牵引背斜, 更多的圈闭属于受晚期反向断层遮挡形成的断背斜、断鼻和断块构造, 以断块构造为主。从西江南半地堑新近系构造圈闭与晚期断裂平面分布关系图可以看出(图3), 西江南半地堑几乎所有的构造圈闭均与断层有关, 构造圈闭都集中分布于南侧断裂发育区, 而半地堑北侧因不发育晚期断裂而基本没有圈闭形成, 表明晚期断裂不但控制了新近系构造圈闭的形成, 也控制了其圈闭的分布特征。

3.2 晚期断裂控制了油气的主运移方向

运移是油气成藏的核心^[8], 也是将烃源岩到圈闭连接起来的重要纽带^[9]。断裂与油气运移关系密切, 陆克政^[10]、朱夏^[11]及张文佑^[12]等从多角度系统的提出了断裂控制油气运移以及油气藏形成和分布的认识和观点。罗群^[13]则提出了“断裂控烃理论”。断层的封闭能有效遮挡下伏油气的运移; 断层的开启

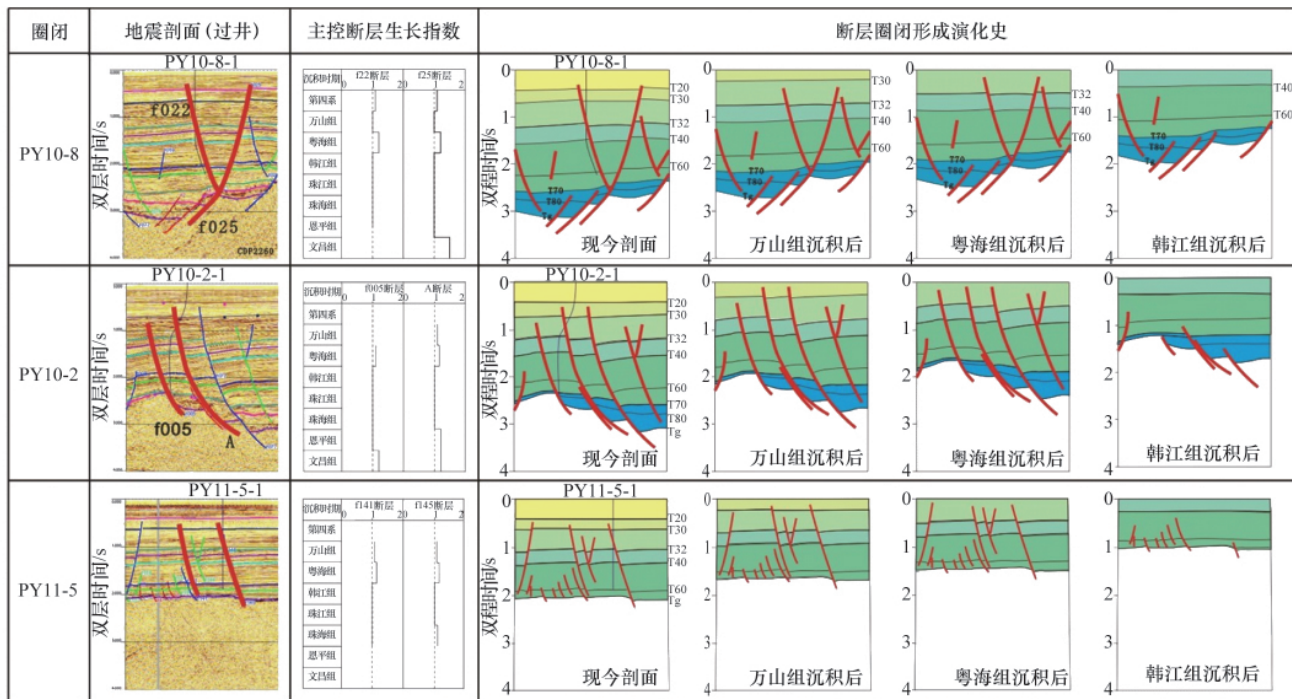


图6 西江南半地堑典型已钻断层圈闭形成演化历史

Fig. 6 Evolution histories of the typical drilled fault traps in Xijiang southern half-graben

能使油气发生运移或者发生再次运移,也能导致油气散失^[14]。西江南半地堑的油气运移总体受断层、不整合面和横向连通的砂体的复合输导体系所控制,但断裂尤其是晚期断裂和长期断裂构成的断裂复合输导体系对油气运移的控制作用更为突出,可以说研究区具有明显的断裂控藏特征。

地化分析和盆地模拟结果证实,西江南半地堑文昌组烃源岩在韩江组沉积末期(即 10Ma)是油气大规模生排烃的关键时刻。本区早期伸展断裂在恩平组地层沉积后基本停止活动,因此包括东侧控洼边界断裂在内的早期断裂对油气运移的贡献作用有限。控制油气主运移通道的有 2 种断裂:(1)长期活动断裂,可以划分为两期主活动期,第一期文昌组裂陷期,断裂活动强度大,断层生长指数介于 1.48~1.82,控制部

分烃源岩的沉积和分布;东沙运动时断层的再次活动是其第二次主活动期,断层生长指数介于 1.27~1.32,此次活动时间与该区油气运聚的关键时刻匹配,从而成为很好的油源断裂(图 5、图 7);(2)部分贯穿至文昌组烃源岩甚至基底的晚期断裂,韩江组沉积后期的东沙运动是其唯一的主活动期,断层生长指数介于 1.15~1.30,此类断层将下部烃源岩和上部储集层直接沟通,油源断裂数量较多,成为油气运移的重要通道之一(图 7)^[15]。

西江南半地堑南北两侧晚期断裂发育的差异性也决定了研究区油气平面分布的不均衡性。勘探结果表明,已发现的数个商业油田和含油构造几乎全部位于南部断裂发育区,油气在南部最为活跃;而在半地堑北侧,只在 PY6-4 构造埋

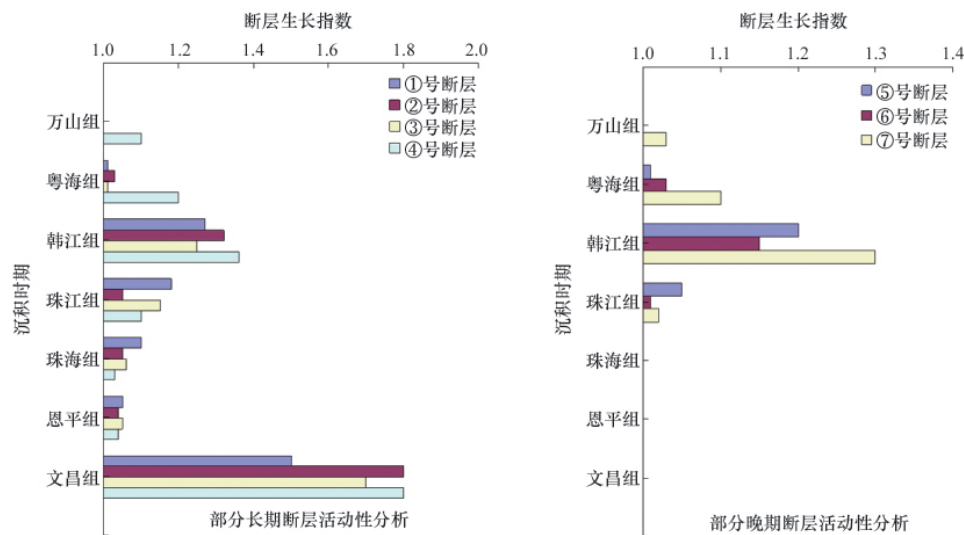


图 7 西江南半地堑油源断层活动性分析

Fig. 7 Activity analysis on oil source faults in Xijiang southern half-graben

藏较深的珠江组下段发现一处薄油层且充满度较低,其钻探失利原因在于该区晚期断裂不发育,垂向上多套区域性海泛泥岩的存在导致油气难以大规模垂向运移聚集成藏^[2]。

此外,晚期断裂对研究区油气运移成藏的控制作用还体现在半地堑西侧缓坡和东侧陡坡现有油田及含油构造含油层段的差异性,即西侧源内的主力含油层埋藏较浅,而东侧源外主力含油层埋藏较深。西侧缓坡主体位于文昌组烃源岩之上,由于该区域晚期断裂和长期断裂发育较好,在文昌组大规模生排烃期易于形成油气垂向运移的优势通道,导致油气沿断裂的垂向运移速率远大于沿砂体、不整合面的侧向运移速率。因此,该区内已发现油层主要集中在埋藏较浅的上珠江组和韩江组,甚至埋藏更浅的粤海组地层,如 PY4-2、PY10-4、PY10-8、PY10-2、PY10-4W 等油田和 PY10-9、PY4-1 等含油构造。在缺乏烃源岩的东侧陡坡东沙隆起凸起区,由于油源断层欠发育,文昌组生成的油气主要沿基底及地层内部不整合面运移出来后,再以本区内第一套海泛泥岩(18.5Ma 区域性海泛泥岩)作顶板向东侧进行侧向运移,遇到合适的圈闭则聚集成藏;而晚期断裂主要对早期油藏的二次调整、

油气再运移及再聚集起控制作用^[4-5],因此东侧陡坡的主力油藏都集中分布在第一套区域性盖层(18.5Ma 海泛泥岩)下的下珠江组地层,上珠江组、韩江组油藏则主要是晚期断裂二次调整的结果,其油层数量和储量规模都远不及下珠江组地层,如 PY5-1、PY11-5、PY11-6 油田和 PY5-4 含油构造。整体而言,已发现油田及含油构造油层“南北分区、东西分带”的特征均证实了晚期断裂对油气平面、垂向分布的控制作用。

3.3 断层侧向封闭性控制了油藏的形成与分布

对断层圈闭而言,油气的保存条件主要取决于上覆泥岩盖层和断层的侧向封闭性。泥岩封闭性不取决于其演化程度,而取决于其所处的应力状态^[16]。由前所述,本区新近系断层主要是在 NWW—SEE 向张扭应力场作用下发生简单剪切变形形成的晚期断裂,因此不同层段泥岩盖层封闭性趋同。勘探结果也证实,该区泥岩盖层封堵能力相近且较强,如 PY10-4W 构造粤海组 RE1172 油层,5m 泥岩封堵近 8m 的纯油层;PY5-1 油田上珠江组 RE1725 油层,2.6m 泥岩封闭 7m 油层。因此,盖层不是新近系油藏保存条件的主要影响因素。

断层侧向封闭性及断层岩的破坏强度是决定断层圈闭

钻探风险的主控因素^[17,18],也是研究区新近系油气能否保存的决定性条件。总体而言,断层开启成为油气运移和再次运移的通道,断层停止活动后则主要起封闭作用,能有效遮挡下伏油气的运移而聚集成藏^[4]。断裂对油气的封闭能力主要体现在断层样式、断层两盘地层性质、断层活动性等方面^[19],新近系构造圈闭以反向正断层、屋脊式正断层为主;且相对于纯张性断层而言,普遍具有扭性特征的晚期断层更易于断层封堵;渐新统珠海组至中新统粤海组为一套韵律交替和连续海侵扩大的三角洲—滨岸沉积体系^[20],地层含砂率从珠江组向上逐渐降低,断层岩也常常以泥质岩为主,而且在韩江组沉积期后,研究区的晚期断裂大多停止活动或活动强度微弱(图7)。因此,该区晚期断裂具有较好的侧向封闭性。

在断层侧向封闭性的定量表征上,可用断层岩与储层的排替压力差、泥岩涂抹系数(SSF)、断层岩的破坏强度等参数进行表征^[20]。本区晚期断裂在韩江组时期对于目的层而言,是断层岩起建设性作用,为断层岩的主要形成期;而韩江组之后的断裂间歇性活动对目的层的断层岩主要起到破坏作用。因此,可以用断层岩的破坏强度来定量表征其断层的侧向封闭能力^[18]。断层岩破坏强度的表达式为:

$$D_p = \frac{T_{p+l}}{T_p - T_{p+l}} \beta$$

式中, D_p 为断层岩破坏强度; T_p 为断层圈闭成藏时的断层断距,m; T_{p+l} 为断层圈闭成藏期后断层 l 次活动形成的断距,m; l 为断层圈闭成藏期后断层的活动次数; β 为断层的活动频数, $\beta=l/(l+1)$ 。

依据断层岩破坏强度的定义,对研究区已钻的断层圈闭的断层岩破坏强度分别进行计算(表1)。结果表明,该区整体断层岩破坏强度不大,介于0.15~0.20之间,有利于成藏;而④号和⑦号断层控制的PY10-9和PY11-4构造,因其控圈断层在韩江组后期仍持续活动且断层岩破坏强度分别达到1.96、1.5(图7、表1),导致早期形成的油藏被破坏和调整,这也是两构造钻探失利的主要原因。同时,由于断层岩成岩程度相对较高且后期破坏强度不大,其断层岩排替压力多大于所在储层的排替压力(图8),断—储排替压力差越大越有利于成藏。

此外,SSF也能定量表征断层的侧向封闭能力。利用已钻

表1 西江南半地堑断层侧向封闭性综合评价

Table 1 Synthetic evaluation of lateral fault sealing abilities in Xijiang southern half-graben

圈闭	断层岩破坏强度	泥岩涂抹系数
PY4-2	0.15	1.40~2.05
PY10-2	0.05	1.32~2.02
PY10-8	0.12	1.15~1.95
PY10-4	0.15	1.50~2.05
PY5-1	0.20	1.20~1.40
PY11-4	1.50	1.85~2.75
PY10-9	1.96	1.98~2.80

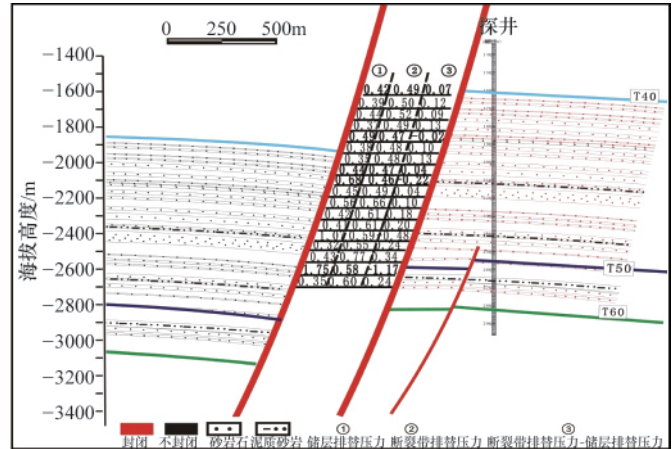


图8 PY10-4构造主要目的层段断—储排替压力(差)分布特征
Fig. 8 Distribution features of displacement pressure between fault and reservoir for the main target strata in PY10-4 structural trap

井的实际数据计算出各构造各层段的泥岩涂抹系数(表1)。结果表明,除了PY11-4和PY10-9构造的SSF值偏高外,其它构造的SSF值基本位于2.0以下。说明研究区多数晚期断层侧向封闭能力较强。综合断层样式、断层性质和沉积背景等定性判别,再结合断层岩破坏强度、断—储排替压力差和泥岩涂抹系数等参数的定量评价,综合研究认为,研究区多数晚期断裂在东沙运动期后断层侧向封闭能力较强,有利于油气的大规模聚集成藏。

钻后统计,西江南半地堑新近系地层靠断层封堵成藏的探明石油地质储量约1.34亿m³,占整个西江南半地堑已发现储量的80.4%(表2),尤其是PY11-5、PY10-8、PY10-4和PY10-4W油田所有的油藏都靠断层封堵成藏。从各油田各层段烃柱高度统计得知,韩江组、上珠江组和下珠江组靠断层封堵的最大烃柱高度分别为25、37和27m,显示出晚期断裂较强的侧向封堵能力。因此在东沙运动主活动期后,多数晚

表2 西江南半地堑断层控制储量统计表

Table 2 Statistical chart of the fault-controlled reserves in Xijiang southern half-graben

油田/含油构造	油层数	圈闭类型	断圈储量百分比/%
PY10-4W	20	断块	100
PY10-8	15	断块	100
PY4-2	45	断背斜	87.4
PY10-2	25	断背斜	82.8
PY5-1	31	断背斜	65.8
PY11-6	5	断背斜	85
PY11-5	6	断鼻	100
PY10-4	19	断块	100
PY10-5	9	断背斜	60.6
合计			80.4

期断裂较好的侧向封闭性对本区的油气保存和聚集成藏起了重要的控制作用,也是本区晚期断裂虽发育但油气没有被全部破坏,且还能大规模成藏的重要原因。

4 结论

(1) 西江南半地堑主要发育有 3 种类型的断裂,即早期断陷期的伸展断裂、晚期拗陷期的张扭断裂和早期断陷期伸展晚期拗陷期张扭长期活动性断裂。

(2) 晚期断裂主要分布在半地堑南侧并以北西西走向张扭性断裂为主,剖面上以负花状构造样式为主,平面上以羽状、斜列式和平行式组合为主,是东沙运动时期在北西西—南东东向张扭应力场作用下发生简单剪切右旋走滑变形下的产物。

(3) 晚期断裂对西江南半地堑新近系构造圈闭的形成和分布、油气运移和再调整、油气最终封堵成藏都起着重要的控制作用,从而造就了已发现油层“南北分区、东西分带、源内浅层成藏、源外深层成藏”的平面和空间分布特征。

(4) 厘清研究区晚期断裂的基本特征及控藏作用,对本区新近系地层选择有利勘探方向和目标、降低勘探风险有重要指导意义。研究表明,南部晚期断裂发育区是新近系地层滚动勘探最有利的接替区。

参考文献 (References)

- [1] 陈长民, 施和生, 许仕策, 等. 珠江口盆地(东部)第三系油气藏形成条件[M]. 北京: 科学出版社, 2003: 31-162.
Chen Changmin, Shi Hesheng, Xu Shice, et al. The forming conditions of the tertiary hydrocarbon reservoirs in the Pearl River Mouth Basin (East) [M]. Beijing: Science Press, 2003: 31-162.
- [2] 于水明, 陈雪芳, 梅廉夫, 等. 珠一拗陷断层特征及对油气成藏的作用[J]. 石油天然气学报, 2012, 34(1): 50-54.
Yu Shuiming, Chen Xuefang, Mei Lianfu, et al. Journal of Oil and Gas Technology, 2012, 34(1): 50-54.
- [3] 刘从印, 周平兵, 曾骅, 等. 番禺 4 洼地区新近系油气成藏主控因素分析[J]. 中国海上油气, 2009, 21(2): 91-94.
Liu Congyin, Zhou Pingbing, Zeng Yi, et al. China Offshore Oil and Gas, 2009, 21(2): 91-94.
- [4] 陈长民, 黄丽芬, 李昭伟. 番禺 4-2 油藏的形成条件及勘探意义[J]. 中国海上油气, 1999, 13(3): 145-151.
Chen Changmin, Huang Lifen, Li Zhaowei. China Offshore Oil and Gas, 1999, 13(3): 145-151.
- [5] 龚再升. 中国近海盆地晚期断裂活动和油气成藏[J]. 中国石油勘探, 2004, 16(2): 12-19.
Gong Zaisheng. China Petroleum Exploration, 2004, 16(2): 12-19.
- [6] 蔡周荣, 刘维亮, 万志峰, 等. 南海北部新生代构造运动厘定及与油气成藏关系探讨[J]. 海洋通报, 2010, 29(2): 161-165.
Cai Zhourong, Liu Weiliang, Wan Zhifeng, et al. Marine Science Bulletin, 2009, 29(2): 161-165.
- [7] 赵淑娟, 吴时国, 施和生, 等. 南海北部东沙运动的构造特征及动力学机制探讨[J]. 地球物理学进展, 2012, 27(3): 1008-1019.
Zhao Shujuan, Wu Shiguo, Shi Hesheng, et al. Progress in Geophysics, 2012, 27(3): 1008-1019.
- [8] 周心怀, 刘震, 李潍莲. 辽东湾断陷油气成藏机理[M]. 北京: 石油工业出版社, 2009: 1-10.
- [9] 李明诚. 石油与天然气运移[M]. 北京: 石油工业出版社, 2004: 52-78.
Li Mingcheng. The migration of oil and gas [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2004: 52-78.
- [10] 陆克政, 漆家福. 渤海湾盆地新生代含油气盆地构造模式 [M]. 北京: 地质出版社, 1997: 200-234.
Lu Kezheng, Qi Jiafu. The structural patterns of Cenozoic oil and gas bearing basin in Bohai Bay Basin [M]. Beijing: Geology Press, 1997: 200-234.
- [11] 朱夏. 中国中生代沉积盆地[M]. 北京: 石油工业出版社, 1990: 23-34.
Zhu Xia. Meso-cenozoic depositional basin of China [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1990: 23-34.
- [12] 张文佑. 断块构造导论[M]. 北京: 石油工业出版社, 1984: 305-334.
Zhang Wenyu. The introduction of block tectonics [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1984: 305-334.
- [13] 罗群. 断裂控烃理论的概念、原理、模式与意义[J]. 石油勘探与开发, 2010, 37(3): 316-324.
Luo Qun. Petroleum Exploration and Development, 2010, 37 (3): 316-324.
- [14] 范柏江, 刘成林, 庞雄奇, 等. 渤海湾盆地南堡凹陷断裂系统对油气成藏的控制作用[J]. 石油与天然气地质, 2011, 32(2): 192-198.
Fan Bojiang, Liu Chenglin, Pang Xiongqi, et al. Oil & Gas Geology, 2011, 32(2): 192-198.
- [15] 邓运华. 张-扭断裂与油气运移分析——以渤海油区为例[J]. 中国石油勘探, 2004, 20(2): 33-37.
Deng Yunhua. China Petroleum Exploration, 2004, 20(2): 33-37.
- [16] 李双建, 沃玉进, 周雁, 等. 影响高演化泥岩盖层封闭性的主控因素分析[J]. 地质学报, 2011, 85(10): 1691-1696.
Li Shuangjian, Wo Yujin, Zhou Yan, et al. Acta Geologica Sinica, 2011, 85(10): 1691-1696.
- [17] 吕延防, 王有功, 付广, 等. 珠江口盆地珠一拗陷断层圈闭钻探风险性评价[J]. 石油学报, 2011, 32(1): 95-100.
Lu Yanfang, Wang Yougong, Fu Guang, et al. Acta Petrolei Sinica, 2011, 32(1): 95-100.
- [18] 吕延防, 付广, 张云峰, 等. 断层封闭性研究[M]. 北京: 石油工业出版社, 2002: 25-78.
Lu Yanfang, Fu Guang, Zhang Yunfeng, et al. The study of fault sealing [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2002: 25-78.
- [19] 吕延防, 马福建. 断层封闭性影响因素及类型划分[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2003, 33(2): 163-166.
Lu Yanfang, Ma Fujian. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2003, 33(2): 163-166.
- [20] 黄劲松, 吕延防, 刘长国, 等. 利用断储排替压力差定量评价断层封闭性——以海拉尔盆地贝尔凹陷贝 301 区块为例[J]. 科学技术与工程, 2011, 11(13): 2902-2908.
Huang Jinsong, Lu Yanfang, Liu Changguo, et al. Science Technology and Engineering, 2011, 11(13): 2902-2908.
- [21] 柯光明, 郑荣才, 高红灿, 等. 珠江口盆地珠海组-韩江组基准面旋回与储层非均质性的关系 [J]. 成都理工大学学报: 自然科学版, 2007, 34(1): 41-46.
Ke Guangming, Zheng Rongcai, Gao Hongcan, et al. Journal of Chengdu University of Technology: Science & Technology Edition, 2007, 34(1): 41-46.

(责任编辑 张玉肖)