

陈奎, 周家雄, 张辉, 等. 涠西南凹陷二号断裂带断裂控藏研究及应用[J]. 海洋学报, 2019, 41(7): 92-102, doi:10.3969/j.issn.0253-4193.2019.07.008

Chen Kui, Zhou Jiexiong, Zhang Hui, et al. The research and application of the reservoir controlling mechanism for the No.2 Fracture Zone, Weixi'nan Sag[J]. Haiyang Xuebao, 2019, 41(7): 92-102, doi:10.3969/j.issn.0253-4193.2019.07.008

涠西南凹陷二号断裂带断裂控藏研究及应用

陈奎¹, 周家雄¹, 张辉¹, 李茂², 姜占东¹, 孙晓晖¹, 潘知峰¹, 李春宁¹

(1. 中海石油(中国)有限公司湛江分公司, 广东 湛江 524057; 2. 中海石油(中国)有限公司油气储量办公室, 北京 100010)

摘要: 涠西南凹陷是勘探开发一体化研究重点区, 本文以二号断裂带为研究对象, 综合断裂动力学特征、运动学特征、几何学特征等研究, 将中段“坡坪式”断裂体系、两侧“铲式”断裂体系等差异性断裂体系内部划分为3级雁列式主断裂、4级分支断裂、5级分支断裂。中段“坡坪式”断裂体系受到更高强度地应力作用, 主断裂与分支断裂更为发育, 二号断裂带绝大多数油气分布于此。综合分析二号断裂带差异性断裂体系内部断裂系统与油气展布规律之间的关系, 得到3方面断裂控藏规律及4种优势断裂控藏模式。在断裂控藏规律及断裂控藏模式的指导下, 搜索、优选二号断裂带中段北1块、北3块、北4块潜力目标进行评价、实施。3个潜力区块均实施成功, 达到地质油藏目的, 断裂控藏规律、断裂控藏模式在涠西南凹陷二号断裂带潜力区块应用效果好。

关键词: 涠西南凹陷; 构造圈闭; 断裂系统; 油气展布; 断裂控藏规律

中图分类号: P734

文献标志码: A

文章编号: 0253-4193(2019)07-0092-11

1 引言

北部湾盆地涠西南凹陷是勘探开发高成熟凹陷, 是南海西部海域最重要的原油产区, 是勘探开发一体化研究工作的重点区域, 主要工作是围绕油田内部及周边开展潜力目标搜索、评价及井位部署实施^[1]。渐新世中晚期为涠西南凹陷第二期断陷活动期, 导致涠洲组地层断裂极其发育, 形成大量的构造成因圈闭^[2-3]。涠洲组是涠西南凹陷最重要的含油层系^[4-6]。涠洲组构造圈闭是勘探开发一体化目标搜索和评价的重要层系及圈闭类型^[7]。涠西南凹陷具有复杂断裂系统, 是在基底先存构造基础上, 在递进变形过程中逐渐形成的^[8]。断裂系统研究包括断裂的几何学、运动学、动力学特征研究。在此基础上, 落实断裂系统与油气展布间关系, 得到断裂控藏规律。当前涠西南凹陷断裂系统划分及断裂控藏规律研究尺度集中在控盆、控凹断裂等大型区域断裂带^[9]。当前断裂系

统划分及断裂控藏规律研究尺度、精度不足于支撑勘探开发一体化研究, 需要将研究尺度精细到区域断裂带内部。针对以上问题, 通过对断裂及断裂控藏规律进行研究^[10-17], 以涠洲组油藏优势富集区二号断裂带作为研究对象, 将研究尺度精细至断裂带内部, 通过“断裂带内部断裂系统划分”“断裂系统对油气展布规律的影响”进行研究, 形成一套区域断裂带内部断裂控藏规律评价技术, 取得了很好的应用成效, 为其他区域断裂带的研究提供技术支持。

2 研究区概况

涠西南凹陷整体构造为北断南超, 自北向南发育涠西南断裂带、一号断裂带、二号断裂带、三号断裂带, 周缘发育斜阳斜坡带、南部斜坡带、涠西南低凸起(图1)。

涠西南凹陷古近纪以来先后经历裂陷期和裂后热沉降期。古近纪裂陷期发育陆源湖相沉积, 沉积地

收稿日期: 2019-01-23; 修订日期: 2019-04-04。

基金项目: 国家科技重大专项“近海大中型油气田形成条件及勘探技术”(2016ZX05024-006)。

作者简介: 陈奎(1986—), 山东省新泰市人, 主要研究方向勘探开发一体化研究工作。E-mail: chenku3@cnooc.com.cn

层包括古新统长流组、始新统流沙港组、渐新统涪洲组, 其中, 流沙港组包括流三段、流二段、流一段, 涪洲组包括涪三段、涪二段、涪一段。新近纪裂后热沉降期发育海相沉积, 沉积地层包括中新统下洋组、角尾组、灯楼角组, 上新统望楼港组(图2)。

研究区二号断裂带是涪西南凹陷油气富集区, 平面上分布多个油田(图1), 纵向上多层系成藏, 涪洲组是其最重要的含油、产油层系。

二号断裂带自白垩世晚期开始活动, 是涪西南凹陷构造运动强烈区, 在SE-S向右旋拉张应力作用下形成多条NEE向雁列式主断裂及分支断裂。二号断裂带内部断裂系统划分, 主断裂与分支断裂对于油气

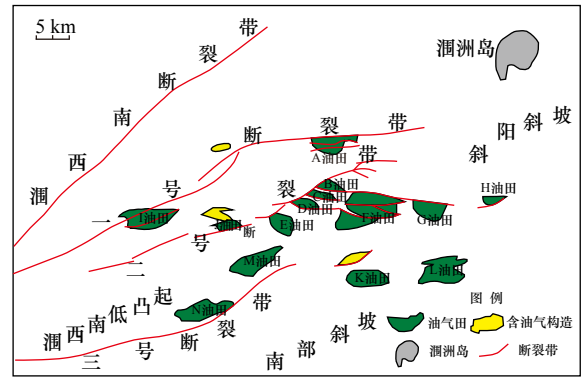


图1 涪西南凹陷区域构造及油田分布
Fig. 1 Regional structure and distribution of oil field in the Weixi'nan Sag

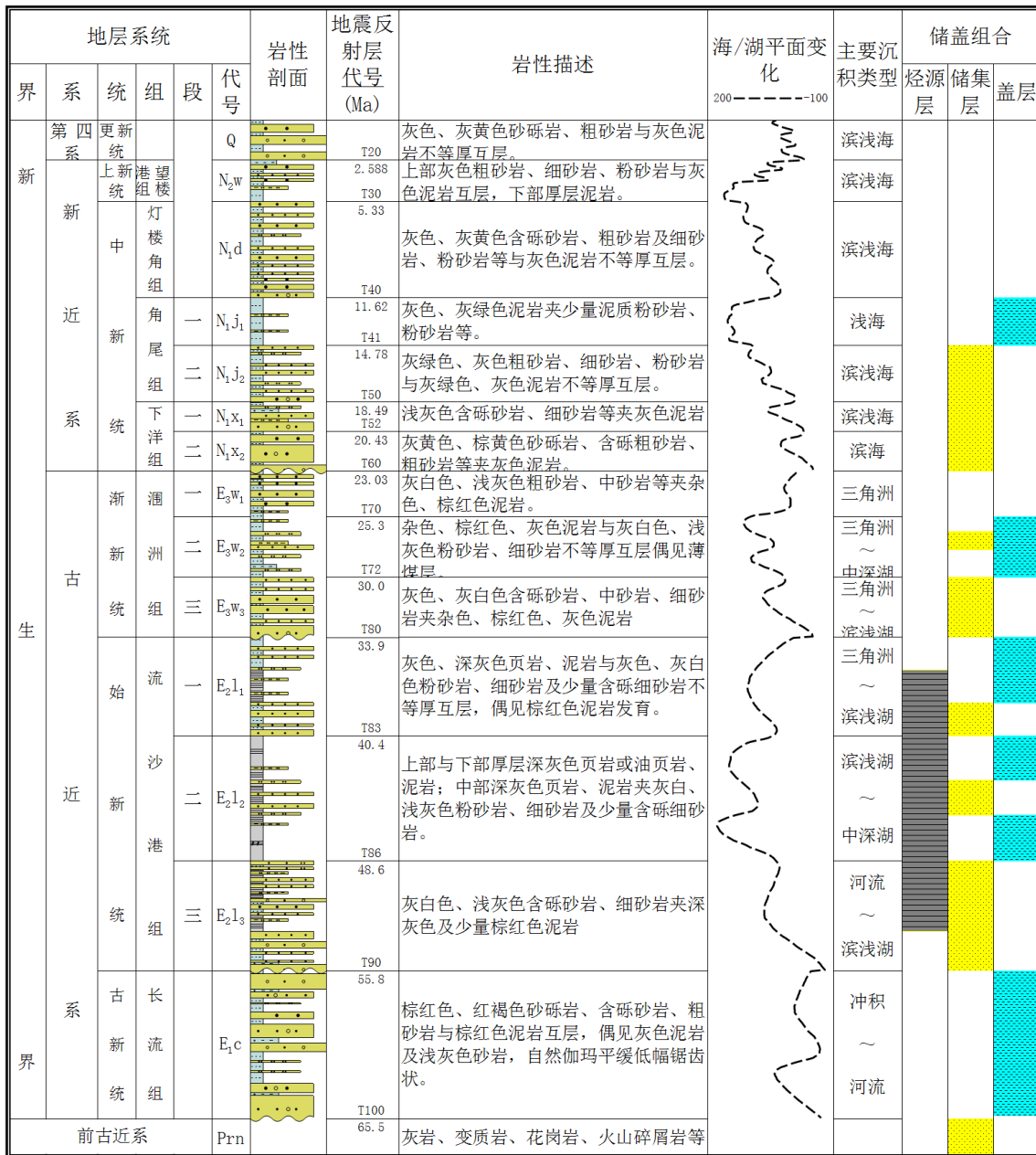


图2 涪西南凹陷综合柱状图
Fig. 2 The comprehensive columnar diagram of the Weixi'nan Sag

成藏作用研究至关重要。

3 断裂系统划分及断裂控藏规律研究

断裂系统是在一定区域构造应力场中形成的各种不同性质的断裂组合^[18],与油气运移、保存相关,是油气成藏的重要控制因素。同一断裂系统的断层空间排布、相互交切关系及断层力学机制、位移特征等都具有密切的成因联系。断裂系统划分研究是在地层压实恢复、剥蚀地层恢复的基础上,对断裂动力学、运动学、几何学特征进行综合研究。

3.1 断裂动力学特征研究

研究区所在的北部湾盆地涠西南凹陷位于南海北部陆架,主要受欧亚板块、太平洋板块、印度洋板块三大板块相互作用的影响^[4]。

晚白垩世末期,印度洋板块沿 NNE 向快速俯冲至欧亚板块之下,导致欧亚板块隆升形成喜马拉雅山,进入喜马拉雅期。由于此时太平洋板块俯冲至欧亚板块的速率远小于印度洋板块的俯冲速率,因此,中国东部及邻区产生右旋剪切拉张应力场,地壳拉薄、地幔上涌,南海开始形成。

中晚渐新世,印度洋板块俯冲作用减弱,太平洋板块俯冲速率增强,两板块俯冲速率相当,此时右旋拉张应力变弱,太平洋板块的俯冲导致中国东部及邻区构造抬升,部分地层剥蚀。这与涠西南凹陷渐新世末期区域构造隆升,涠一段、涠二段部分地层剥蚀的情况相吻合。

中新世至今,地幔流冷却导致构造持续沉降,形成海相沉积环境,进入拗陷阶段。此时,太平洋板块俯冲速率大于印度洋板块。涠西南凹陷由于距离太平洋板块俯冲带相对较远,板块俯冲作用影响相对较小,进入拗陷期,断裂不发育。

区域动力学特征分析显示,喜马拉雅运动以来,研究区所在的南海区域整体上受到 SE-S 向右旋拉张应力作用的影响,南海及围区地幔流应力场流线图也印证了这一认识^[4](图 3)。

3.2 断裂运动学特征研究

古近纪,在 SE-S 向区域构造应力作用下,二号断裂带形成并活动。利用“断裂生长速率”对断裂形成和活动时期等运动学特征进行研究。

断裂生长速率综合考虑断裂上、下盘地层厚度及相应沉积时间,是指某一地层单元在一定地质历史时期内,因断裂活动形成的落差与相应沉积时间的比值^[19-20],即:

$$V_f = \frac{H}{T} = \frac{(H_2 - H_1)}{T}, \quad (1)$$

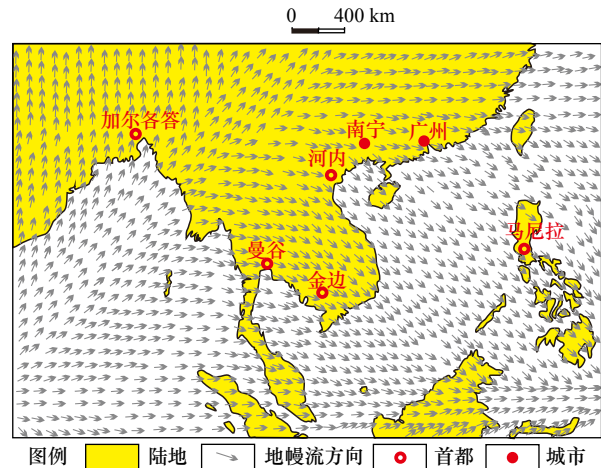


图 3 南海及围区地幔流应力场

Fig. 3 The mural flow stress field in the South China Sea and surrounding areas

式中, V_f 为断裂生长速率, 单位: m/Ma ; T 为沉积时间, 单位: Ma ; H_2 为断裂上盘地层厚度, 单位: m ; H_1 为断裂下盘地层厚度, 单位: m 。

选取涠西南凹陷二号断裂带 9 条雁列式主断裂, 对古近纪断陷期长流组-涠一段断裂生长速率进行计算、统计。长流组、流三段、流二段、涠二段、涠一段生长速率均大于 0, 平均生长速率在 $10 \sim 60 \text{ m}/\text{Ma}$ 之间, 断裂活动性较强; 流一段、涠三段生长速率均接近 0, 断裂不活动(图 4)。

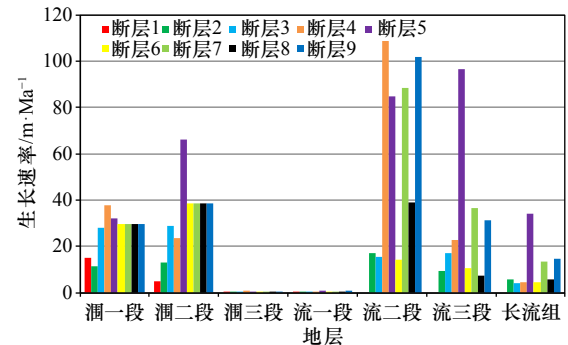


图 4 二号断裂带断裂生长速率统计

Fig. 4 The fracture growth rate of No.2 Fracture Zone

通过对二号断裂带雁列式主断裂生长速率综合研究, 认为二号断裂带为二期活动断裂, 早期长流组-流二段活动, 晚期涠二段-涠一段活动, 流一段-涠三段断裂不活动。

3.3 断裂几何学特征

断裂运动学特征研究主要针对二号断裂带主断裂, 在 SSE-S 向右旋拉张应力作用下, 主断裂会破裂产生多条分支断裂。通过对二号断裂带雁列式主断裂、分支断裂剖面几何学特征与平面几何学特征

分析, 落实主断裂与分支断裂静态关系^[21]。将断裂体系划分为两种差异性断裂组合样式, 一种为平面“帚状”组合、剖面“负花状”组合的“坡坪式”断裂体系, 主要分布在二号断裂带中段; 另一种为平面“雁列”组合、剖面“断阶”组合的“铲式”断裂体系, 主要分布在二号断裂带两侧(图5)。

在区域构造应力作用下, 两种差异性断裂组合样式具有某些相似的几何学特征。雁列式主断裂大多断穿 T60~T100 地震反射面(古近系地层); 古近纪断陷期断层倾角为 10°~58°, 平均约 40°, 倾向为偏南向; 断裂走向由早期的 NEE 向顺时针逐渐过渡至近

EW 向; 平面延伸长度相差不大, 均在 6.4 km 左右。各分支断裂按断穿层位分为早期断裂、晚期断裂, 分别收敛于流二段塑性泥页岩层的底面(T86)、顶面(T83)附近(图5), 涪洲组主要发育晚期断裂; 各分支断裂走向与主断裂相近, 为 NEE-EW 向。

两种差异性断裂组合样式具有不同的几何学特征。“坡坪式”断裂体系雁列式主断裂垂直断距平均 930 m, 水平断距平均 960 m, 均大于“铲式”断裂体系, 垂直断距平均 720 m, 水平断距平均 700 m, 说明在地质历史时期“坡坪式”断裂体系受地应力更强, 断裂活动更为强烈。总体上, 二号断裂带雁列式主断裂垂直断距集中分布在 0~1 km, 水平断距集中分布在 0~1.5 km, 断裂活动强烈(图6)。“坡坪式”断裂体系主断裂密度为 0.34~0.69 条/km², 明显大于“铲式”断裂体系主断裂密度 0.09~0.29 条/km², 同样证明“坡坪式”断裂体系所受地应力强度更高, 断裂活动更强。

在较强地应力作用下, “坡坪式”断裂体系主断裂发生掀斜作用, 涪洲组后期发育分支断裂倾向既有偏南向, 又有偏北向, 而“铲式”断裂体系涪洲组期发育分支断裂倾向与主断裂相同, 均为偏南向(图7)。

总体上, 分支断裂断层倾角 34°~78°, 平均 53°(图8)。“坡坪式”断裂体系分支断裂垂直断距平均

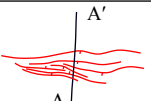
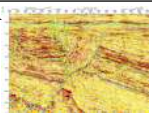
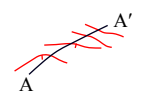
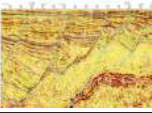
构造层	组合样式	实例	
		平面组合	剖面组合
晚期断裂体系	剖面: “负花状”组合		
	平面: “帚状”组合		
	剖面: “断阶”组合		
	平面: “雁列”组合		

图5 二号断裂带断裂体系组合模式

Fig. 5 The fracture system combination model of No.2 Fracture Zone

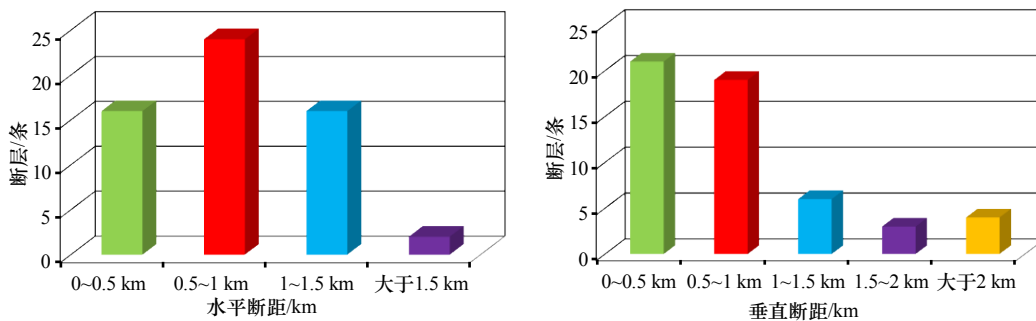


图6 二号断裂带主断裂垂直断距、水平断距统计

Fig. 6 The main fracture vertical and plane fault distance of No.2 Fracture Zone

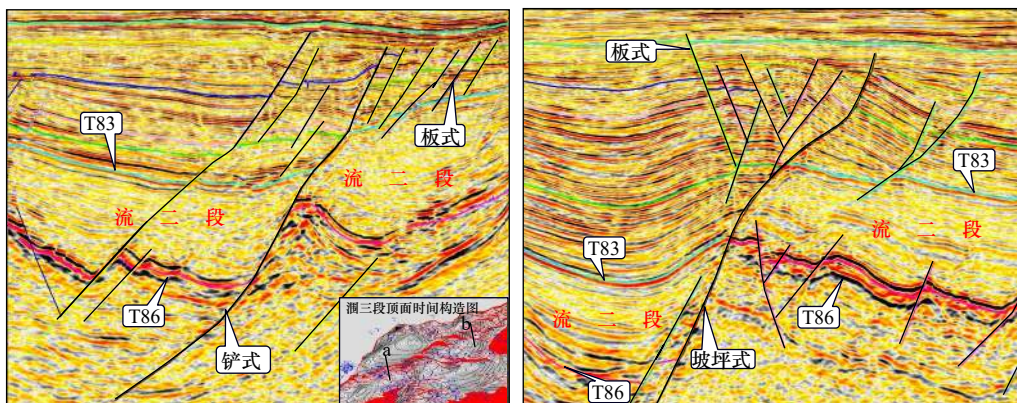


图7 二号断裂带主断裂、分支断裂剖面形态

Fig. 7 The main fracture, branch fracture section morphology of No.2 Fracture Zone

78 m, 水平断距平均 100 m, 均大于“铲式”断裂体系, 垂直断距平均 39 m, 水平断距平均 63 m, 进一步说明“坡坪式”断裂体系受地应力更强, 造成分支断裂更发育。总体上, 二号断裂带雁列式主断裂垂直断距和水平断距集中分布在 0~100 m(图 9)。

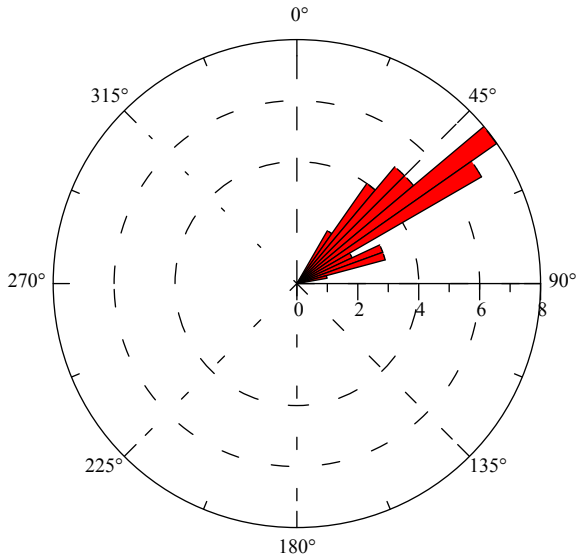


图 8 二号断裂带分支断裂断层倾角统计

Fig. 8 The branch fracture fault inclination of No.2 Fracture Zone

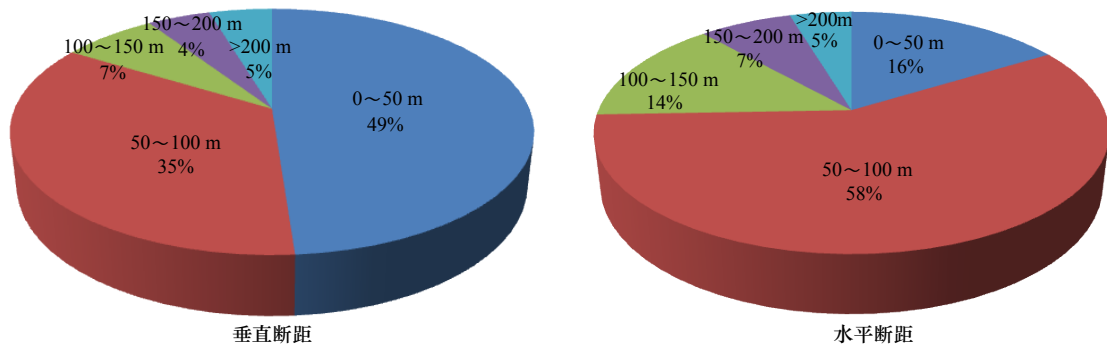


图 9 二号断裂带分支断裂垂直断距、水平断距统计

Fig. 9 The branch fracture vertical and plane fault distance of No.2 Fracture Zone

3.4 二号断裂带断裂系统划分

综合断裂动力学特征、断裂运动学特征、断裂几何学特征等研究认为, 二号断裂带涠洲组地质历史时期为涠西南凹陷后期断裂活动期, 分支断裂均为主断裂后期断裂活动时在右旋拉张应力作用下形成的。

按照断裂几何学形态对二号断裂带“坡坪式”断裂体系、“铲式”断裂体系断裂系统进行划分。区域上, 涠西南大断裂作为控盆断裂为 1 级断裂, 一号断裂带作为控凹断裂为 2 级断裂, 二号断裂雁列式主断裂作为区域控圈断裂为 3 级断裂。针对二号断裂带内部, 综合断裂动力学、运动学、几何学特征, 将二号断裂带断裂系统划分为 3 个级别, 其中, 雁列式主断裂为 3 级断裂, 雁列式主断裂次一级分支断裂划为 4 级断裂, 4 级断裂的次一级分支断裂划为 5 级断裂(图 10)。

前述分析, “坡坪式”断裂体系所受地应力强度更高, 断裂活动更强, 3 级雁列式主断裂及 4 级、5 级分支断裂更为发育, 与“铲式”断裂体系相比, 更有利于构造圈闭发育, 更有利于油气沿断裂垂向运移、保存。

3.5 二号断裂带油气展布规律研究

二号断裂带是涠西南凹陷重要的油气富集区。

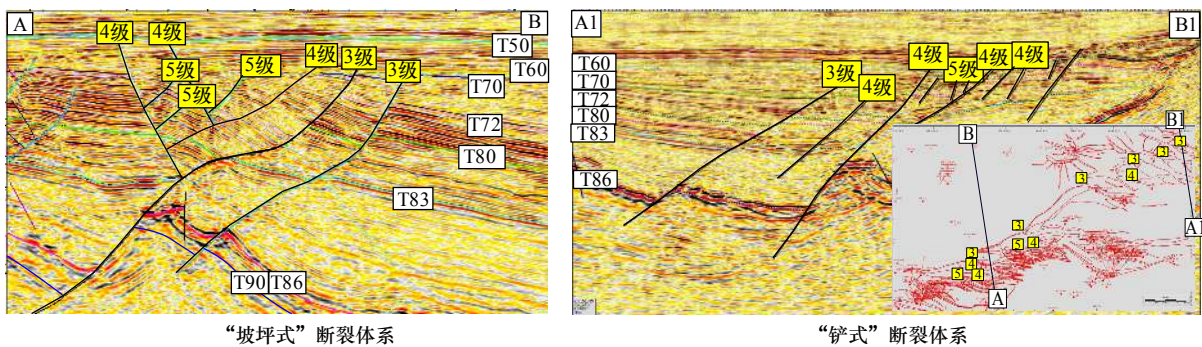


图 10 二号断裂带涠洲组断裂系统划分

Fig. 10 The fracture system classification of Weizhou Formation, No.2 Fracture Zone

将油藏按照纵向、平面展布特征分别进行统计。平面上, 多个油田沿二号断裂带呈带状展布。纵向上, 油藏分布在角尾组-石炭系等多个层系, 其中, 深层系油藏集中分布在二号断裂带两侧油田, 例如J油田流三段油藏数量占52%(图11); 涪洲组油藏集中分布在二号断裂带中段, 例如E油田涪洲组油藏数量占55%(图11)。

二号断裂带油气展布不是偶然、随机的, 而是与断裂系统密切相关。古近纪时期二号断裂带断裂活

动强烈, 断裂极其发育, 断裂间既具有差异性, 产生大量的大型断裂及小型断裂, 又具有相关性, 形成断裂系统, 共同控制油气的运聚保存。

针对裂陷期不同时期二号断裂带断裂发育特征与油气藏分布响应关系开展研究。研究发现, 二号断裂带主要含油层系流三段、流一段、涪三段、涪二段油气绝大多数分布在“坡坪式”断裂体系(图12)。

油气成藏研究的关键为断裂对于油气输导、遮挡作用研究^[22-23]。二号断裂带中段“坡坪式”断裂体系

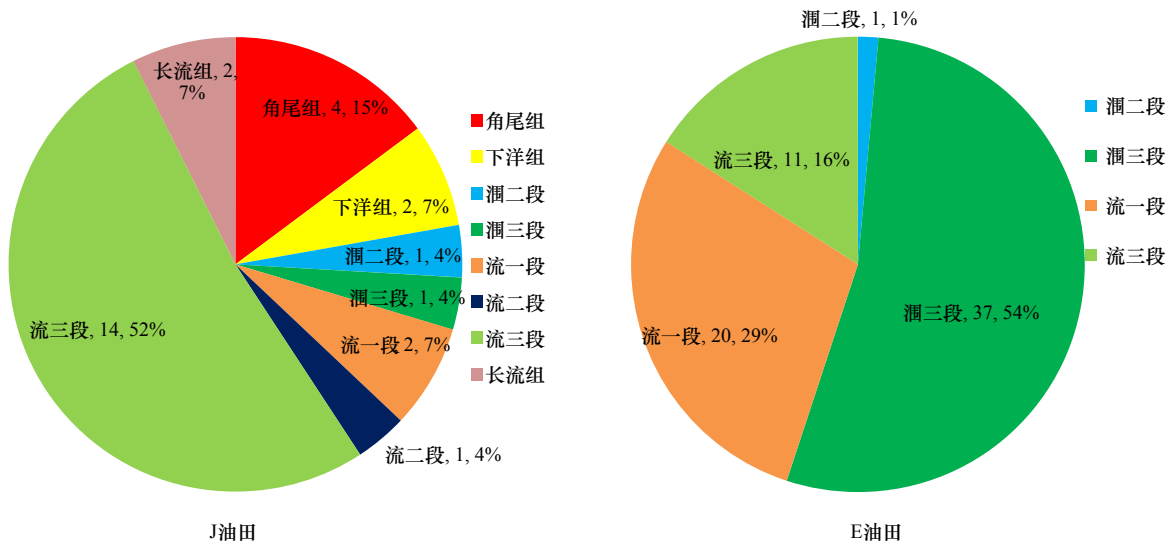


图 11 二号断裂带两侧J油田、中段E油田油藏展布统计

Fig. 11 The reservoir distribution of the J oil field in side and the E oil field in the middle of No.2 Fracture Zone

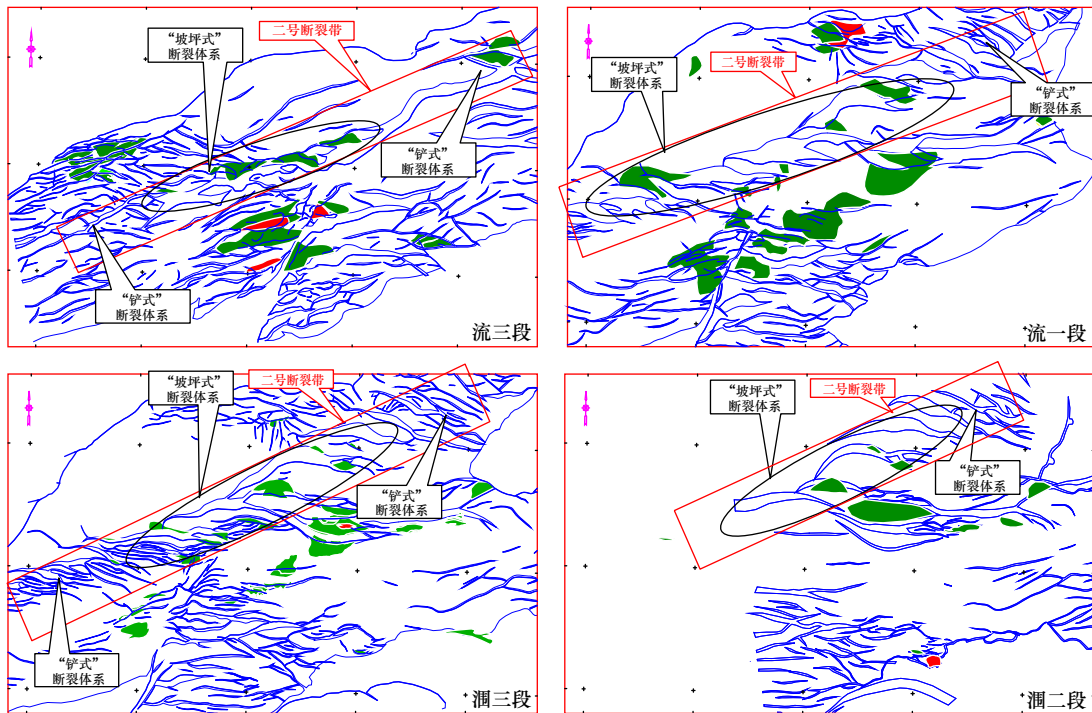


图 12 二号断裂带断裂发育特征与油气分布

Fig. 12 The fracture developmental characteristics and reservoir distribution of the No.2 Fracture Zone

在更高强度的应力作用下,3级雁列式主断裂与4级、5级分支断裂更为发育。主断裂在早期长流组-流二段,晚期涪二段-涪一段活动。油气主要来源于B生油洼陷,其排烃高峰为涪二段至今。主要含油层系圈闭形成时期与断裂活动时期、生排烃高峰期相

匹配。成藏关键模式为“源-断-脊-砂-圈”模式,烃源岩成熟后油气在排替压力差驱动下,通过沟源断裂等运移通道垂向运移,再通过构造脊、不整合面及砂岩侧向运移至圈闭目的层段聚集(图13)。

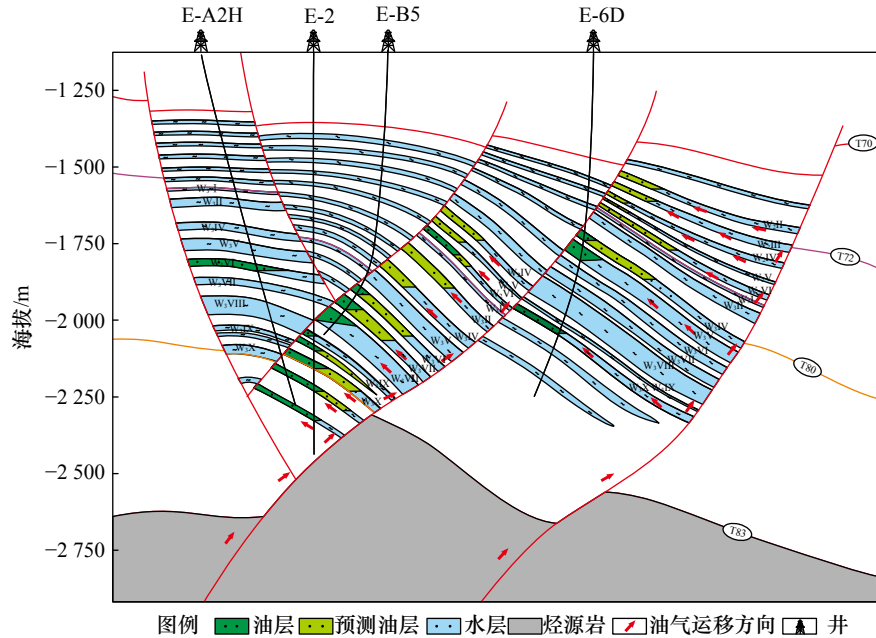


图13 E油田成藏模式图

Fig. 13 The accumulation pattern diagram of the E oil field

对二号断裂中段“坡坪式”断裂体系断裂遮挡作用进行分析。利用TrapTester软件^[24]对4级遮挡断裂、3级遮挡断裂及3级分支遮挡断裂的断层封堵性进行分析,建立“断层泥比率图版”(简称“SGR图版”),SGR图版值均大于0.4(图14a,图14b),在SGR-SSF断层侧向封堵性定量图版中绝大多数断点位于“油气区”,证实断层封堵性较好^[31](图15)。5级遮挡断裂对应的运移断裂为4级断裂或5级断裂,油气充注强度多数情况下不能运移至5级遮挡断裂主控的圈闭中,同时5级断裂断距小,泥岩涂抹作用差,导致其断层封堵性差,SGR图版值均较小(图14c),在SGR-SSF断层侧封定量图版中,5级遮挡断裂主控的圈闭多数分布在“水区”(图15)。

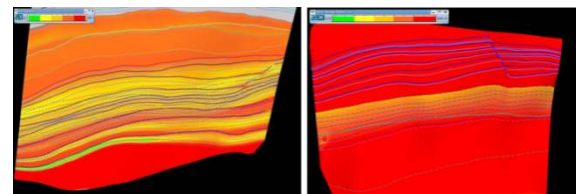
3.6 断裂控藏规律研究

综合分析二号断裂带差异性断裂体系内部断裂系统与油气展布规律之间的关系,得到3方面断裂控藏规律及4种优势断裂控藏模式。

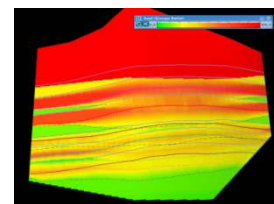
断裂控藏规律包括以下3方面。

(1) 运移断裂模式为3级断裂运移能力优于3级分支断裂运移能力,优于3级、4级断裂组合运移模

式(图16)。对于“坡坪式”断裂体系,油气沿着3级断裂沟源垂向运移,优先充注于通过3级断裂运移的构造圈闭,再沿着4级断裂将油气向“花心”运移,油气充注强度决定其能否到达“花心”位置(图17a)。对于“铲式”断裂体系,3级断裂沟源是油气运移的主要方式,4级断裂能否运移主要取决于断裂自身的封堵性,断层封堵性差,油气进入4级断裂垂向运移,断层



a. 4级遮挡断裂SGR图版 b. 3级及3级分支遮挡断裂SGR图版



c. 5级遮挡断裂SGR图版

图14 不同级别遮挡断层SGR图版

Fig. 14 The SGR models of the different levels of sealing fracture

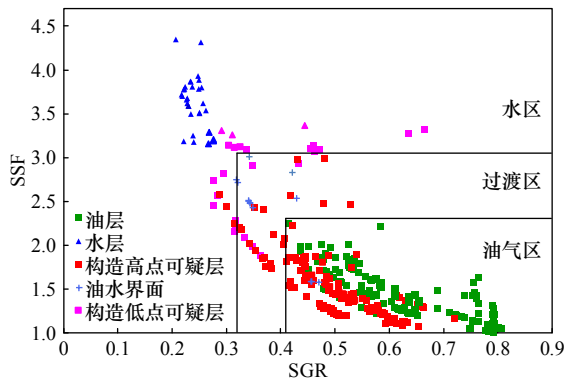


图 15 涪西南凹陷二号断裂带涪洲组已钻圈闭断层侧向封堵性与含油性 SGR-SSF 判别图版

Fig. 15 The SGR-SSF chart of the crossrange fault sealing and oil-bearing of reservoir traps in the Weizhou Formation of No.2 Fracture Zone, Weixi'nan Sag

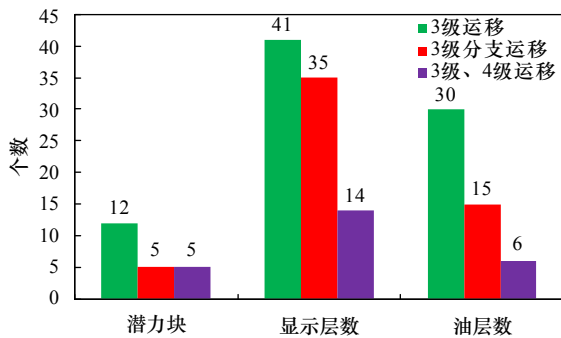


图 16 二号断裂带涪洲组已成藏圈闭运移断裂模式

Fig. 16 The migration fracture model of the the hydrocarbon traps for Weizhou Formation, No.2 Fracture Zone

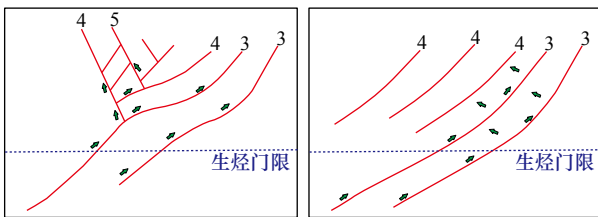


图 17 二号断裂带涪洲组不同断裂组合运移断裂模式

Fig. 17 The migration fracture model of the different fracture combination for Weizhou Formation, No.2 Fracture Zone

封堵性好, 油气在 4 级断裂遮挡的圈闭高点聚集成藏 (图 17b)。

(2) 遮挡断裂最主要是 4 级遮挡断裂, 其次是 3 级遮挡断裂和 3 级分支遮挡断裂, 5 级遮挡断裂成藏可能性小 (图 18)。4 级遮挡断裂比重最高的原因是 4 级遮挡断裂为 3 级断裂次一级分支断裂, 紧邻 3 级断裂, 能够与相应 3 级断裂构成断鼻、断块圈闭 (图 17)。3 级遮挡断裂、3 级分支遮挡断裂分别能够与相邻的 3 级断裂、3 级分支断裂构成断鼻、断块圈闭, 成藏概率较高 (图 17)。

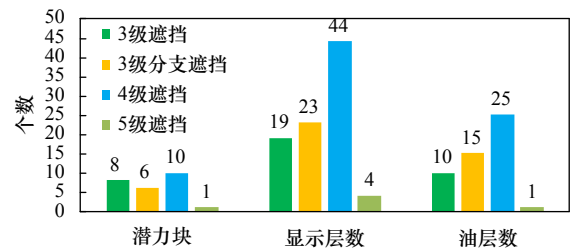


图 18 二号断裂带涪洲组不同断裂组合遮挡断裂模式

Fig. 18 The sealing fracture model of the different fracture combination for Weizhou Formation, No.2 Fracture Zone

(3) 二号断裂带油气集中分布在两雁列式主断裂间 (3 级断裂间)、主断裂分支断裂间 (3 级分支断裂间)、次一级断裂与雁列主断裂间 (4 级与 3 级断裂间)。二号断裂带中段所受地应力更强, 断裂密度更大, 主断裂形态多为坡坪式, 构造应力作用导致断裂掀斜^[25], 产生“坡坪式”断裂体系, 与两侧相比产生更多的 4 级断裂, 形成 4 级遮挡断裂主控的圈闭, 与 3 级运移断裂形成优势圈闭条件。

在断裂控藏规律研究的基础上, 通过统计二号断裂带涪洲组已成藏圈闭运移断裂、遮挡断裂特征, 总结了 4 种优势断裂控藏模式: 4 级断裂遮挡、3 级分支断裂运移模式, 3 级分支断裂遮挡、3 级断裂运移模式, 4 级断裂遮挡、3 级断裂运移模式, 3 级断裂遮挡、3 级断裂运移模式, 在潜力目标搜索过程中具有指导意义 (图 19)。

4 技术应用

目前, 二号断裂带多个油田产量开始下降, 且储采比低, 亟需寻找储量接替, 但是受限于平台无井

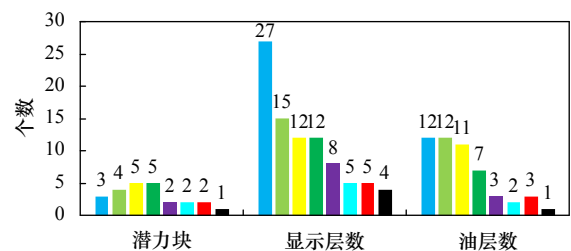


图 19 二号断裂带断裂控藏模式

Fig. 19 The fracture reservoir controlling model of No.2 Fracture Zone

槽、无注水设施,需要通过一定储量规模来推动平台外挂井槽。在断裂控藏规律及断裂控藏模式的指导下,在成藏条件更为优越的二号断裂带中段开展技术应用,优选北1块、北3块、北4块进行评价(图20)。

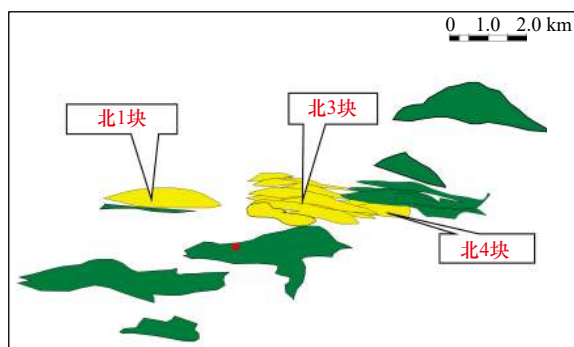


图20 二号断裂带中段潜力目标

Fig. 20 The Potential blocks of the middle of No.2 Fracture Zone

北1块解释、落实了涪二段 W_2 II、 W_2 III、 W_2 IV、 W_2 VI油组共4层圈闭,圈闭形态好。涪二段圈闭为反向断层遮挡的断块圈闭,遮挡断裂F2为3级优势遮挡断裂模式,运移断裂F1为3级优势运移模式,属于3级断裂遮挡、3级断裂运移的优势断裂控藏模式,预测成藏概率高。遮挡断裂断层封堵性分析显示主要目的层断层封堵性好,成藏概率高。部署N1-3d开发评价井对北1块进行快速评价,该井在 W_2 II、 W_2 IV油组钻遇油层,证实该断裂控藏组合模式优越,区域涪二段油气运移活跃,可以作为下步目标搜索的有利方向。

北3块解释、落实了 W_3 I、 W_3 IV、 W_3 VI、 W_3 IX、 W_3 XII油组共5层圈闭,圈闭形态好,为反向断层遮挡的断块圈闭,遮挡断裂F4为4级优势遮挡断裂模式,运移断裂2号断裂带为3级优势运移模式,属于4级断裂遮挡、3级断裂运移的优势断裂控藏模式,预测成藏概率高。针对主控断裂断层封堵性进行分析, W_3 I、 W_3 IV、 W_3 IX、 W_3 XII油组断层封堵性好,成藏概率高, W_3 VI油组断层封堵性差,成藏存在一定风险。部署N3-10d开发评价井进行快速评价,该井在 W_3 IV、 W_3 VI、 W_3 IX、 W_3 XII油组钻遇油层, W_3 I、 W_3 IX、 W_3 X、 W_3 XII油组钻遇油水同层,油层厚度50.8 m/7层,含水层89.2 m/7层,钻探效果好。

北4块解释、落实了 W_3 VIII、 W_3 IX、 W_3 XII油组共3层圈闭,圈闭形态好,为反向断层遮挡的断块圈闭,

遮挡断裂为4级优势遮挡断裂模式,运移断裂为3级优势运移模式,断裂控藏模式为4级断裂遮挡、3级断裂运移的优势断裂控藏模式,预测成藏概率高。部署N4-A8P调整井兼探 W_3 VIII、 W_3 IX油组含油性,实钻 W_3 VIII油组钻遇10.8 m/1层油迹细砂岩,测井解释3.5 m油水层、5.2 m含油层, W_3 IX油组钻遇14.5 m/2层荧光细砂岩,测井解释14.7 m/2层含油层。由于 W_3 VIII、 W_3 IX油组靶点位于构造低部位,因此,分析认为两个油组含油规模可观,计划在构造高部位部署1口开发评价井落实 W_3 VIII、 W_3 IX油组含油性,加深兼探 W_3 X油组薄油层、 W_3 XII油组潜力层,同时兼顾 W_3 VII油组油层调整,若评价成功,直接转入生产,实现快速建产。

北1块、北3块及北4块实施均获得成功,达到钻前设计地质油藏目的,二号断裂带中段断裂控藏规律应用效果好。

5 结论

(1)综合断裂动力学特征、断裂运动学特征、断裂几何学特征等研究,将二号断裂带“坡坪式”断裂体系、“铲式”断裂体系划分为3级雁列式主断裂、4级分支断裂、5级分支断裂。

(2)二号断裂带中段“坡坪式”断裂体系在更高强度地应力作用下,3级雁列式主断裂与4级、5级分支断裂更为发育,具有更为优越的油气运移及遮挡条件。二号断裂带主要含油层系流三段、流一段、涪三段、涪二段油气绝大多数分布在中段“坡坪式”断裂体系。

(3)3点断裂控藏规律:①运移断裂模式为3级断裂运移能力优于3级分支断裂运移能力,优于3级、4级断裂组合运移模式。②遮挡断裂模式为4级遮挡断裂成藏概率最高,其次是3级遮挡断裂和3级分支遮挡断裂,5级遮挡断裂成藏可能性小。③二号断裂带涪洲组油气集中分布在3级断裂间、3级分支断裂间、4级与3级断裂间。4种优势断裂控藏模式:4级断裂遮挡、3级分支断裂运移模式,3级分支断裂遮挡、3级断裂运移模式,4级断裂遮挡、3级断裂运移模式,3级断裂遮挡、3级断裂运移模式。

(4)在断裂控藏规律新认识的指导下,优选中段北1块、北3块、北4块进行评价。3个区块实施均获得成功,达到钻前设计地质油藏目的,二号断裂带中段断裂控藏规律应用效果好。

参考文献:

- [1] 李茂,朱绍鹏,邹明生,等. 涪西南凹陷复杂断块和隐蔽油气藏滚动勘探开发实践[J]. 中国海上油气, 2015, 27(4): 73-79.

- Li Mao, Zhu Shaopeng, Zou Mingsheng, et al. Progressive exploration and development of complex fault-block and subtle reservoirs in Weixinan sag[J]. *China Offshore Oil and Gas*, 2015, 27(4): 73–79.
- [2] 朱伟林, 江文荣. 北部湾盆地涪西南凹陷断裂与油气藏[J]. *石油学报*, 1998, 19(3): 6–10.
Zhu Weilin, Jiang Wenrong. Relations between fractures and hydrocarbon reservoirs in Weixinan sag[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 1998, 19(3): 6–10.
- [3] 陈奎, 李茂, 邹明生, 等. 涪西南凹陷涪洲组构造圈闭有效性定量评价技术及应用[J]. *石油学报*, 2018, 39(12): 1370–1378.
Chen Kui, Li Mao, Zou Mingsheng, et al. The validity quantitative evaluation technology and its application to structural trap in Weizhou Formation, Weixinan sag[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2018, 39(12): 1370–1378.
- [4] 中国科学院南海海洋研究所海洋地质构造研究室. 南海地质构造与陆缘扩张[M]. 北京: 科学出版社, 1988.
Marine Geological Structure Research Office, South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences. The Geological Structure and the Continental Margin Expansion of the South China Sea[M]. Beijing: Science Press, 1988.
- [5] 刘家和. 中国油气田开发志——南海西部油气区油气田卷[M]. 北京: 石油工业出版社, 2011.
Liu Jiahe. China Oil and Gas Field Development Records—Oil and Gas Fields Roll in the West of the South China Sea[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2011.
- [6] 郭飞飞, 王韶华, 孙建峰, 等. 北部湾盆地涪西南凹陷油气成藏条件分析[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2009, 29(3): 93–98.
Guo Feifei, Wang Shaohua, Sun Jianfeng, et al. Analysis on the conditions of petroleum accumulation in Weixinan Sag, Beibuwan Basin[J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2009, 29(3): 93–98.
- [7] 李春荣, 张功成, 梁建设, 等. 北部湾盆地断裂构造特征及其对油气的控制作用[J]. *石油学报*, 2012, 33(2): 195–203.
Li Chunrong, Zhang Gongcheng, Liang Jianshe, et al. Characteristics of fault structure and its control on hydrocarbons in the Beibuwan Basin[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2012, 33(2): 195–203.
- [8] 李颂, 杨小晏. 北部湾盆地涪西南凹陷油气运距成藏特征[J]. *世界地质*, 2012, 31(2): 365–370.
Li Song, Yang Xiaoyan. Characteristics of hydrocarbon migration and accumulation in Weixinan Sag of Beibuwan Basin[J]. *Global Geology*, 2012, 31(2): 365–370.
- [9] 童亨茂, 孟令箭, 蔡东升, 等. 裂陷盆地断层的形成和演化——目标砂箱模拟实验与认识[J]. *地质学报*, 2009, 83(6): 759–774.
Tong Hengmao, Meng Lingjian, Cai Dongsheng, et al. Fault formation and evolution in rift basins—sandbox modeling and cognition[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2009, 83(6): 759–774.
- [10] 罗群, 庞雄奇. 海南福山凹陷顺向和反向断裂控藏机理及油气聚集模式[J]. *石油学报*, 2008, 29(3): 363–367.
Luo Qun, Pang Xiongqi. Reservoir controlling mechanism and petroleum accumulation model for consequent fault and antithetic fault in Fushan Depression of Hainan area[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2008, 29(3): 363–367.
- [11] 郭占谦, 萧德铭, 唐金生. 深大断裂在油气藏形成中的作用[J]. *石油学报*, 1996, 17(3): 27–32.
Guo Zhanqian, Xiao Deming, Tang Jinsheng. Function of discordogenic faults during forming of hydrocarbon pools[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 1996, 17(3): 27–32.
- [12] 赵顺兰, 赵亚卓, 杨希冰, 等. 北部湾盆地涪西南凹陷碳酸盐岩潜山储层特征与主控因素分析[J]. *海洋学报*, 2018, 40(9): 43–53.
Zhao Shunlan, Zhao Yazhuo, Yang Xibing, et al. An analysis on the characteristics and main controlling factors of reservoir in carbonate buried hill in the Weixi'nian Sag, Beibuwan Basin[J]. *Haiyang Xuebao*, 2018, 40(9): 43–53.
- [13] Woodcock N H. The role of strike-slip fault systems at plate boundaries[J]. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 1986, A317: 13–29.
- [14] Campagna D, Aydin A. Basin genes is associated with strike-slip faulting in the basin and range, southeastern Nevada[J]. *Tectonics*, 1994, 13(2): 327–341.
- [15] 魏国齐, 贾承造, 施央申, 等. 塔北隆起北部中生界张扭性断裂系统特征[J]. *石油学报*, 2001, 22(1): 19–24.
Wei Guoqi, Jia Chengzao, Shi Yangshen, et al. Tectonic characteristics and petroleum accumulation in extensional-shear fault system in Mesozoic-Cenozoic formations in the northern area of Tabei Uplift, Tarim[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2001, 22(1): 19–24.
- [16] 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[J]. *石油学报*, 2007, 28(4): 1–10.
Gong Zaisheng, Cai Dongsheng, Zhang Gongcheng. Dominating action of Tanlu Fault on hydrocarbon accumulation in eastern Bohai Sea area[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2007, 28(4): 1–10.
- [17] 邓运华, 薛永安, 于水, 等. 浅层油气运聚理论与渤海大油田群的发现[J]. *石油学报*, 2017, 38(1): 1–8.
Deng Yunhua, Xue Yong'an, Yu Shui, et al. Shallow hydrocarbon migration and accumulation theory and discovery of giant oilfield group in Bohai Sea[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2017, 38(1): 1–8.
- [18] 任建业, 张俊霞, 阳怀忠, 等. 塔里木盆地中央隆起带断裂系统分析[J]. *岩石学报*, 2011, 27(1): 219–230.
Ren Jianye, Zhang Junxia, Yang Huaizhong, et al. Analysis of fault systems in the central uplift, Tarim Basin[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2011, 27(1): 219–230.
- [19] Thorsen C E. Age of growth faulting in southeast Louisiana[J]. *Geology Transactions*, 1963, 13: 103–110.
- [20] 赵密福, 刘泽荣, 信荃麟, 等. 惠民凹陷临南地区断层活动特征及控油作用[J]. *石油勘探与开发*, 2000, 27(6): 9–11.
Zhao Mifu, Liu Zerong, Xin Quanlin, et al. Fault activity features and its control over oil of Linnan area in Huimin depression[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2000, 27(6): 9–11.

- [21] 吕延防, 付广, 付晓飞, 等. 断层对油气的输导与封堵作用[M]. 北京: 石油工业出版社, 2013.
Lü Yanfang, Fu Guang, Fu Xiaofei, et al. The Effect of Fault on Oil and Gas Transport and Sealing[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2013.
- [22] 徐新德, 王碧维, 李旭红, 等. 北部湾盆地涠西南凹陷流沙港组隐蔽油气藏油源及成藏特征[J]. 天然气地球科学, 2012, 23(1): 92-98.
Xu Xinde, Wang Biwei, Li Xuhong, et al. Oil sources of concealed reservoirs in Liushagang Formation of the Weixinan Sag and accumulation feature, Beibuwan Basin[J]. Nature Gas Geoscience, 2012, 23(1): 92-98.
- [23] 刘邦, 潘校华, 万仑坤, 等. 东尼日尔Termit盆地构造演化及古近系油气成藏主控因素[J]. 石油学报, 2012, 33(3): 394-403.
Liu Bang, Pan Xiaohua, Wan Lunkun, et al. Structural evolution and main controlling factors of the Paleogene hydrocarbon accumulation in Termit Basin, eastern Niger[J]. Acta Petrolei Sinica, 2012, 33(3): 394-403.
- [24] 肖毓祥, 龚幸林, 贺向阳. SGR断层封堵性分析及断层圈闭烃柱高度估算——以中国东部G断块为例[J]. 海相油气地质, 2005, 10(4): 51-58.
Xiao Yuxiang, Gong Xinglin, He Xiangyang. Analysis of fault sealing and estimate of height of hydrocarbon column in fault trap by SGR method: A case of application in G fault block in eastern China[J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2005, 10(4): 51-58.
- [25] 徐杰, 计凤桔. 渤海湾盆地构造及其演化[M]. 北京: 地质出版社, 2015.
Xu Jie, Ji Fengju. Geotectonic and Evolution of the Bohai Basin[M]. Beijing: Geological Press, 2015.

The research and application of the reservoir controlling mechanism for the No.2 Fracture Zone, Weixi'nan Sag

Chen Kui¹, Zhou Jiexiong¹, Zhang Hui¹, Li Mao², Jiang Zhandong¹, Sun Xiaohui¹, Pan Zhifeng¹, Li Chunling¹

(1. Zhanjiang Branch, CNOOC China Limited, Zhanjiang 524057, China; 2. Reserves Office, CNOOC China Limited, Beijing 100010, China)

Abstract: The Weixi'nan Sag is the important research area of exploration and development integration. This study takes the Weizhou Formation of the No.2 Fracture Zone as the research object. By analyzing the geometry, kinematics, and dynamics characteristics of fracture, the "slope-flat" fault system in the middle section and the "shovel-type" fault system on both sides are divided into the level 3 en-echelon main fracture zone, the level 4 branch fracture zone, and the level 5 branch fracture zone. The "slope-flat" fault system in the middle section is subjected to higher *in-situ* stress, and the main and branch faults are more developed. The vast majority of oil and gas are distributed in the "slope-flat" fault system. A comprehensive analysis of the relationship between the internal fracture system of the differential fault system in the No.2 Fracture Zone and the oil-gas distribution law is made, and obtains the corresponding regular of 3 aspects of fracture reservoir controlling mechanism and 8 types of fracture reservoir controlling patterns. Under the regular of fracture reservoir controlling mechanism and patterns, the search and evaluation of targets are carried out around the inner or surrounding oil fields of the No.2 Fracture Zone, and good results are obtained. Based on the field production, the potential targets of North 1, North 3 and North 4 in the middle part of the No.2 Fracture Zone are searched and optimized. The three blocks have been successfully drilled, and the purpose of the geological reservoir has been achieved. The regular of fracture reservoir controlling mechanism and patterns which have been applied to the potential zone of the No.2 Fracture Zone in the southwest depression play very good effect.

Key words: Weixi'nan Sag; structural trap; fracture system; oil and gas distribution; fracture reservoir controlling mechanism