

杨传超,张新涛,郭 涛,等. 渤海海域石东斜坡带“双断-接力”油气运移模式及勘探实践[J].海洋地质前沿,2020,36(5): 49-56.

渤海海域石东斜坡带“双断-接力”油气运移模式及勘探实践

杨传超,张新涛,郭 涛,张 震,姚 城

(中海石油(中国)有限公司天津分公司,天津 300452)

摘要:为厘清斜坡带油气运移、聚集、成藏等科学难题,高效指导斜坡带油气勘探,通过综合分析石臼坨凸起东部斜坡区的石油地质特征,提出了“双断-接力”油气运移模式。边界断裂活动性、断面形态及启闭性控制油气由凹陷向凸起垂向运移,并在凸起斜坡区沿新近系馆陶组横向运移,馆陶组顶面形态控制油气横向运移方向;切脊次级断裂控制油气最终聚集成藏。基于 QHD33-1S 油田区的 264 个已钻砂体统计,控制砂体成藏的切脊次级断裂(A 类断裂),均位于油气优势运移路径上,且断层活动性 >50 m、切入馆陶组构造脊的规模在 4 km 以上。勘探实践证明,位于油气优势运移路径上、A 类断裂控制下的构造和构造-岩性圈闭是油气成藏的有利区。

关键词:边界断裂;切脊次级断层;油气运移;双断接力;石东斜坡带;渤海海域

中图分类号:TE122.1

文献标识码:A

DOI:10.16028/j.1009-2722.2019.128

0 引言

石臼坨凸起地处渤海海域西部,为渤海湾盆地重要的聚油单元。过去 20 年间,在凸起高部位先后发现秦皇岛 32-6、南堡 35-2、秦皇岛 33-1 等多个大中型油气田,掀起石臼坨凸起的勘探热潮。然而,随着高部位钻探殆尽,该区勘探一度陷入沉寂。近几年,以构造-岩性勘探思路为指导,在凸起斜坡带发现秦皇岛 33-1S 亿吨级新近系油田,新增三级石油地质储量超亿吨,展现石臼坨凸起斜坡带良好的油气勘探前景^[1]。

凸起斜坡带未发育烃源岩,其油气均来自渤中凹陷内的古近系成熟烃源岩。因此,对于该区而言,油气运移是油气成藏的关键。前人关于斜

坡带的油气运移研究层系主要集中在古近系或潜山,核心问题在于解决断裂的垂向输导能力^[2-4],对于新近系的油气运移研究相对较少,且研究方向多侧重于油气运移的总体方向^[5-8],对油气运移具体路径缺乏研究。针对油气运移路径的精细刻画,杨传超等提出“源-断-脊”三元联合控运,较好的解决凸起斜坡带油气运移路径认识不清的问题^[9]。但对于凸起斜坡带油气的聚集成藏研究相对较少,即“从烃源到圈闭”整个运移过程的分析较为薄弱。因此,笔者在“源-断-脊”三元联合控运的基础上,结合边界断裂垂向封闭点以及凸起斜坡带切脊次级断层的再分配作用,最终建立了石臼坨凸起东部斜坡带“双断-接力”油气运移模式,以期为研究区下步勘探提供科学依据,同时为其它类似地区的勘探提供借鉴。

1 区域概况

石臼坨凸起位于渤海海域西部,为渤海湾盆地的二级构造单元,东、西走向延伸,南邻渤中凹

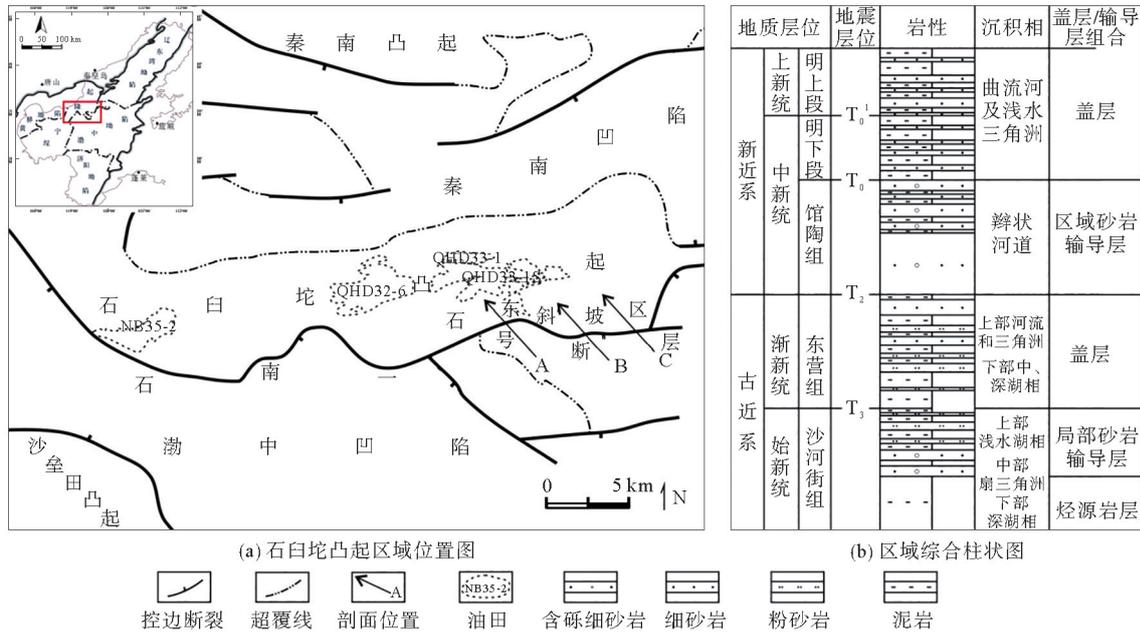
收稿日期:2019-07-23

资助项目:国家“十三五”科技重大专项“渤海辽东湾地区潜在富烃凹陷成藏研究与有利勘探方向预测”(2016ZX05023-006-002)

作者简介:杨传超(1987—),男,硕士,工程师,主要从事石油勘探地质研究工作.E-mail:yangchch2@cnooc.com.cn

陷,以石南一号断层为界,北接秦南凹陷,整体呈现南断北超的构造特征。在凸起高部位已发现南堡 35-2 和秦皇岛 32-6 和秦皇岛 33-1 等 3 个大中

型油气田。研究区位于凸起东南侧,其北侧为秦皇岛 33-1 油田,为一北高南低的斜坡(图 1)。



(a) 石白坨凸起区域位置图

(b) 区域综合柱状图



图 1 石白坨凸起东部斜坡带区域位置与综合柱状图

Fig.1 Regional location and integrated column of the eastern slope zone of Shijiutuo Uplift

石白坨凸起经历了先隆后拗的过程,其基底为中生界火山岩,上部直接覆盖厚层新近系,仅局部地区发育薄层的古近系东营组^[8]。新近纪以来,研究区整体处于拗陷的后裂陷阶段,沉积厚层的新近系馆陶组和明化镇组。其中馆陶组发育大套的含砾砂岩夹薄层泥岩,属辫状河沉积,为该区域重要的区域横向传导层;明化镇组则发育薄层砂岩和泥岩互层,为典型的曲流河沉积,其底部和上部稳定发育的泥岩为研究区内主要的区域性盖层之一^[5-9]。该区的油气主要来自于渤中凹陷古近系沙河街组烃源岩^[6]。

2 断裂系统划分

石东斜坡带所处的新生代盆地发育 2 个重要构造层序界面,自下而上分为新生代底界面(T₈)和馆陶组底界面(T₂),均为区域性不整合面,为一级构造层序界面。基于此,可划分为 2 个主要的构造层(不包括 T₈ 反射界面以下的基底构造层),即由东营组及以下地层组成的断陷-断拗构

造层和馆陶组—第四系组成的拗陷构造层(图 2)。根据该区断裂与 2 个构造层的切割关系,可划分为 3 套断裂系统,即断陷-断拗期断裂(Ⅰ)、拗陷期断裂(Ⅱ)和断陷-断拗期形成拗陷期活动断裂(Ⅲ)。其中,拗陷期断裂(Ⅱ)可进一步细分为强活动型(Ⅱ1)和弱活动型(Ⅱ2)2 类,拗陷期强活动型断裂(Ⅱ1)在剖面上表现为贯穿明下段和馆陶组,而弱活动型(Ⅱ2)仅切入到明化镇组及以上地层。

根据断裂运动学特征,将研究区断裂划分为早期伸展断裂(Ⅰ)、晚期伸展断裂(Ⅱ)及长期活动断裂(Ⅲ),其中早期伸展断裂的形成受控于地幔热隆起引起的近南北向区域引张应力场;晚期研究区进入强伸展活动之后热沉降时期,区域应力场以近南北向弱拉张为主,形成晚期弱伸展断裂;长期活动断裂始终保持继承性活动,早期为控沉积的边界伸展断层,晚期发生右旋弱走滑,是“y”字型构造中的主干断裂^[10]。

研究区主要由Ⅱ型和Ⅲ型 2 种不同演化史的断裂组成,此 2 种断裂对该区的油气成藏起到不

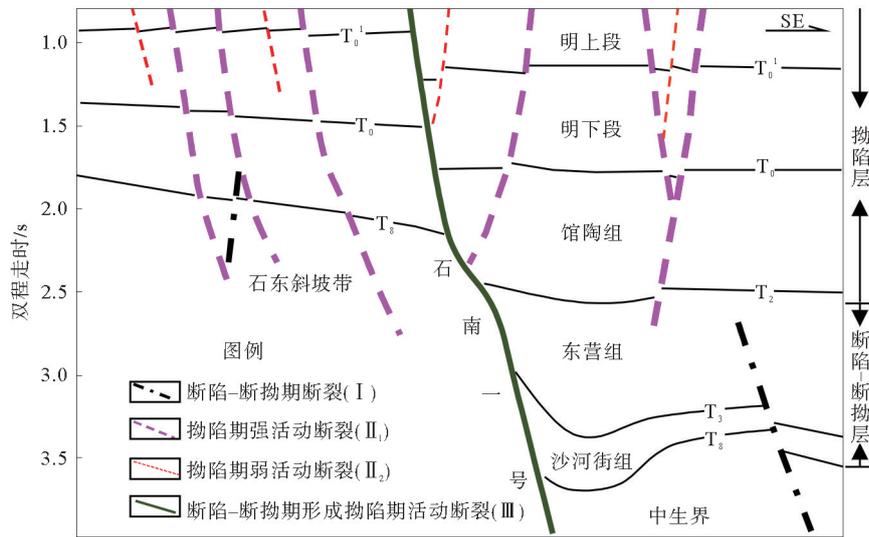


图 2 石东斜坡带地质剖面图

Fig.2 Geological profile of Shijiutuo Uplift eastern slope

同的控制作用。其中,Ⅲ型断裂为长期活动断裂,即为研究区的石南一号边界断裂,沟通凹陷的烃源岩和斜坡带上的馆陶组、明下段储层,在成藏时期主要起输导作用。Ⅱ型断裂(晚期伸展断裂)仅在拗陷期活动,即在成藏关键时刻活动^[11],其中的拗陷期强活动型断裂(Ⅱ₁)又称斜坡带切脊次级断层,对油气运移的调节再分配起主要作用,广泛分布于凸起斜坡带,呈 NE 向展布。

3 “双断-接力”油气运移模式

“双断-接力”油气运移模式系基于凸起斜坡带自身不生油,凹陷区生成的油气沿边界断裂垂向运移至凸起,后经凸起斜坡带上的切脊调节断层再分配和成藏,受边界断裂、断层垂向封闭点、馆陶组顶面形态及切脊活动断层 4 因素控制。

3.1 “边界断裂”控制油气从凹陷向凸起垂向输导

边界断裂是沟通凹陷油气烃源向凸起运移聚集的重要枢纽,其活动强度和断面形态共同控制油气垂向输导能力^[11-12]。

杨传超等^[9,13-14]针对石南一号边界断裂对油气垂向运移的控制作用已做了系统研究工作,分析认为石南一号边界断裂是渤中凹陷油气向凸起运移的重要输导通道,在新构造运动期,断层活动差异明显,石东段边界断裂活动性最强,活动速率

普遍 $> 30 \text{ m/Ma}$ 。据统计,渤海地区断层活动速率 $> 25 \text{ m/Ma}$,被认为是强活动断裂,对油气主要起垂向输导作用^[14]。

平面上,断面形态可分为平直和弯曲 2 种形态,其中弯曲形态的断层,沿其走向发育数个拐点,在三维形态上表现为若干个凹面和凸面的形态特征。断层凸面区代表凹陷油气向其汇聚,凹面区则代表发散。由此可见,断层凸面区与横向输导层的交点为油气在边界断裂运移的垂向汇聚点^[14],也是油气在砂岩输导层中运移的起始点。

综合考虑石南一号断层活动强度和断面形态,明确发育有多个油气汇聚点,可作为凹陷油气在进入横向输导层前的运移起始点。

3.2 “断层垂向封闭点”控制油气垂向充注层位

诸多勘探实践及研究表明,油气沿边界断裂垂向运移时,并非“一灌到顶”,而是在中途某个层位选择横向运移^[6-11]。针对这个现象,张立宽等^[15]提出断层垂向封闭点的概念,认为断层封闭点控制了油气向上充注的最浅层位,其决定因素为填入断层裂缝中的碎屑充填物质的成岩程度。而成岩程度的高低主要取决于泥岩地层流体压力、断面正应力以及断层泥比率三因素控制,据此三因素形成了断层开启系数的概念^[16-18]。据油田大量统计结果表明^[16],当断层开启系数 > 3.5 时,断层的连通概率近乎 100%,意味着断层曾经开

启;而当断层开启系数 <2.2 时,断层的垂向连通概率 $<50\%$,表明断层未曾开启的可能性大,即断层垂向封闭的可能性大。

$$C = \frac{P}{\delta \times SGR} \quad (1)$$

$$\delta = \rho \times Z \times \cos\theta \quad (2)$$

式中: C 代表断层开启系数,无量纲;

δ 为断面正应力,MPa;

P 为泥岩地层流体压力,MPa;

SGR 为断层泥比率,%;

ρ 为上覆地层平均密度, kg/m^3 ;

Z 为断点埋深,m;

θ 为断层倾角, $(^\circ)$ 。

研究区内紧邻石南一号边界大断裂附近的钻井共有3口,其中1口位于断裂下降盘的凹陷区

(QHD34-b井),另外2口位于断裂上升盘的斜坡带内(QHD33-a井、QHD34-c井)。过3口井分别选取垂直断层走向的典型地震剖面(位置见图1),求取断面上各输导单元节点处的断点埋深、断距、断层倾角等参数、同时综合钻井以及电缆测压相关资料,计算断层泥比率、泥岩地层流体压力以及断面正应力,依据式(1)求取断层各节点的断层开启系数值,从而整体评价石南一号断裂该段整体的断层启闭性。

计算结果表明,上述3口井各点的断层开启系数值整体 >3.5 (断层开启可能性大),仅在馆陶组出现明显低值,断层开启系数均 <2.2 (图3),表明馆陶组输导节点可能成为该断层的垂向封闭点,致使凹陷油气垂向运移至馆陶组输导层后,难以继续向上运移,而以横向运移为主。

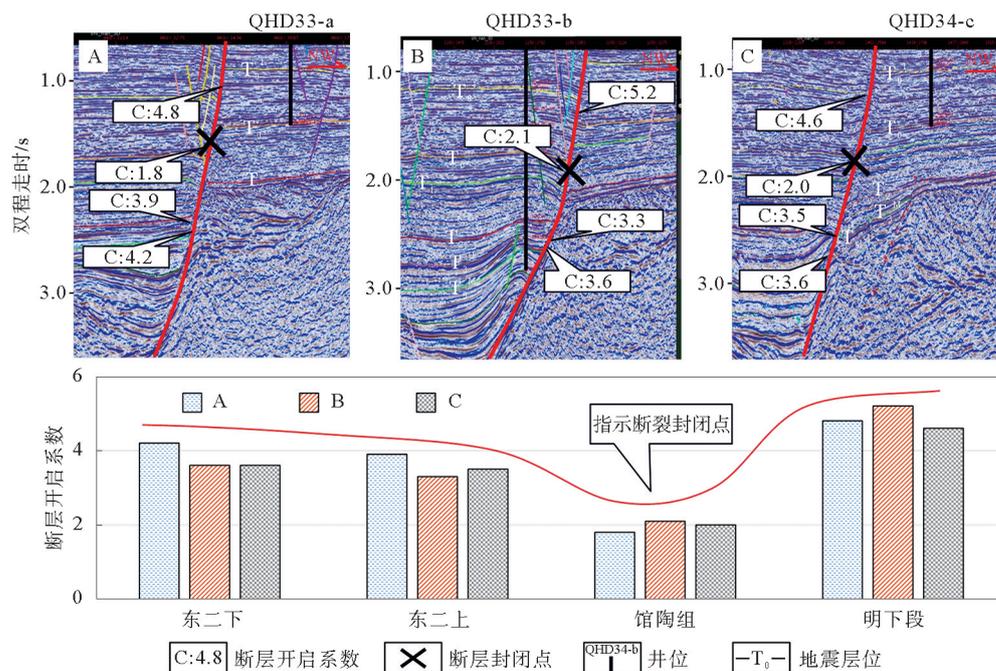


图3 石南一号断裂石东段断层启闭性分析

Fig.3 Analysis of fault opening and sealing in the eastern section of Shinan 1 fault

3.3 “馆陶组输导脊”控制油气横向运移方向

石白坨凸起斜坡带馆陶组发育大套含砾砂岩,横向展布范围及储层物性均十分稳定,是该区新近系油气最为关键的横向输导通道^[8]。由于其含砂率高(多在80%以上),油气沿馆陶组顶面运移,因此馆陶组顶面构造脊则控制了油气的横向

运移方向。“构造脊”为正向构造同一岩层面上最高点的连线,油气在浮力的驱动下向脊部位汇聚并沿构造脊运移^[19]。勘探结果已证实,在石白坨凸起东部斜坡带,馆陶组构造脊上的所有钻井成效好,聚油能力强。相反,位于构造脊之外的钻井仅见到零星显示^[12]。表明馆陶组构造脊控制了凸起油气的横向运移。

3.4 “切脊次级断裂”控制油气的最终分配和成藏

油气如何从馆陶组输导层中脱离,向上覆的明化镇组砂体运移并聚集成藏。针对这个问题,不同学者分别提出了浮控和断控 2 种模式。浮控模式认为,次级断层两盘的明化镇组砂一砂对接形成“之”字形连续输导通道,油气则据此运移至明下段圈闭中聚集成藏,主要集中在凸起高部位;断控模式认为馆陶组油气经过切脊次级断层的调节再分配作用进入到与之相对接的明化镇组砂体聚集成藏^[20]。显然,石白坨凸起斜坡带,作为油气运移的过路区,油气成藏模式以断控为主,几乎

所有的油气成藏与切脊次级断裂密切相关。

结合 QHD33-1S 油田及围区的 25 口探井、264 个已钻砂体资料以及 21 条切脊次级断层数据,系统分析明下段砂体的规模与厚度、断-砂接触关系以及构造背景等因素与砂体含油气性的定量响应关系,结果表明,凸起斜坡带的油气充注强度与 3 方面因素密切相关:①断层活动强度;②切脊规模,即断层切馆陶组顶面构造脊的规模;③断-砂耦合关系。从图 4 中可以看出,断层活动性与油气的充注强度呈现明显的正相关,断层活动性越强,油气充注的层位也越高(图 4)。



图 4 石东斜坡带已钻井油层分布与断层活动强度关系图

Fig.4 Relationship between drilled reservoir distribution and fault activity intensity in the eastern slope zone of Shijiutuo Uplift

为定量表征断层活动强度及切脊规模,本文以 T_0^1 层(明下段顶部)的断距来代表断层活动性,以断裂在 T_0 层(馆陶组顶部)的规模代表切脊规模,建立断层与已钻砂体含油气性的响应关系。从图 5 中看到,控制含油砂体形成的切脊次级断层(定义为 A 类断层),其断层活动性 >50 m,切脊规模在 4 km 以上;控制未成藏砂体的切脊次级断层(定义为 B 类断层),其断层活动性 <50 m,切脊规模 <4 km。此外,有部分断层切脊规模在 4 km 以上,但断层活动强度较弱,其控制的砂体含油气性未被钻井证实(图 5)。

油气经切脊次级断层运移至明下段砂体后,在浮力作用下,从砂体低部位向砂体高部位运移,由此可见,切脊次级断层与砂体的接触关系必然影响了油气在明下段砂体中的运聚效率。前人研究认为^[20],当运移断层与砂体低部位搭接(顺向运移断层),充注能力强,而当运移断层与砂体高

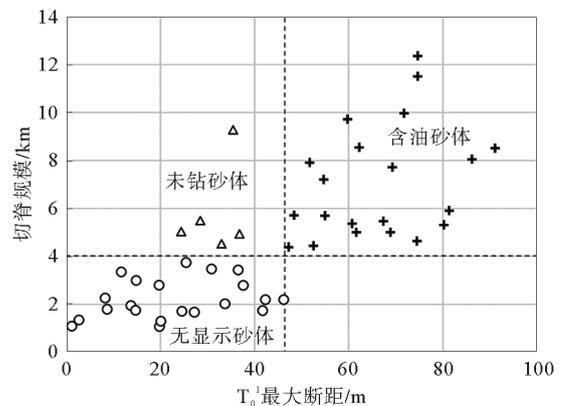


图 5 石东斜坡带切脊次级断层与已钻砂体含油气性的响应关系

Fig.5 Response of late faults to oil and gas potential of drilled sand bodies in the eastern slope zone of Shijiutuo Uplift

部位搭接(侧向运移断层),充注能力弱。为此,进一步分析断层与砂体的耦合关系,结果表明,以 A

类断层为主导的顺向运移砂体为最有利的成藏砂体,侧向运移效率次之;而以B类断层为主导运

移的砂体,不论是顺向运移还是侧向运移,均未获得好的油气发现,表明其运移效率较差(图6)。

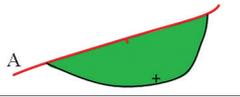
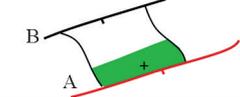
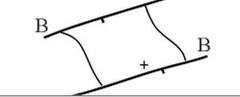
| 断裂分类 | 断层规模 /km | 最大断距/ms | 断砂关系 | 断砂关系说明 | 示例 | 运移效率 |
|------|----------|---------|------|-----------------------------|--|------|
| A类 | >4.0 | >50 | I级 | 以A类断层为主导的顺向运移 |  | 高 |
| | | | II级 | 以A类断层为主导的顺向运移(含低部位与B类断层搭接) |  | 中 |
| B类 | <4.0 | <50 | III级 | 以B类断层为主导的油气运移(高部位与A类断层局部搭接) |  | 低 |
| | | | | 以B类断层为主导的油气运移(与A类断层无搭接) |  | 低 |

图6 石东斜坡带断层-砂体耦合关系图

Fig.6 Fault-sand coupling diagram in the eastern slope zone of Shijiutuo Uplift

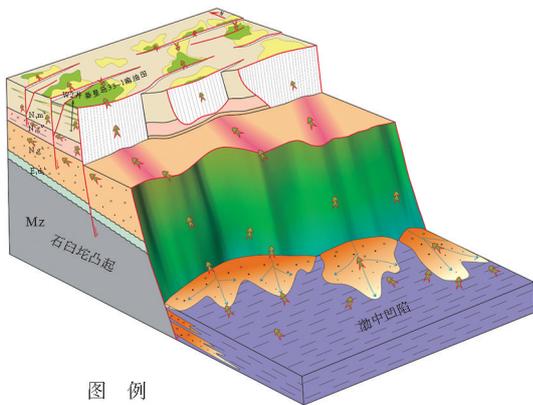
基于边界断裂、断层垂向封闭点、馆陶组顶面形态及切脊活动断层4因素分析,最终形成了石东斜坡带“双断-接力”油气运移、聚集成藏模式,凹陷区生成的油气,首先沿边界断裂垂向运移,受断层垂向封闭点控制油气垂向运移至馆陶组顶面后不再继续向上运移,而是主要沿馆陶组顶面横向运移,因此,馆陶组输导脊控制斜坡带油气的横向运移方向,切馆陶组切脊次级断层(III1)最终控制了斜坡带油气的分配和成藏(图7)。

4 勘探实践

4.1 优势运移路径上、A类断层控制下的砂体均获好的油气发现

勘探实践证明,凸起斜坡带已发现的含油气构造均处在油气优势运移路径上,其中A类断层控制下的QHD33-1S亿吨级油田最为典型。

QHD33-1S明化镇组油田是石白坨凸起斜坡带迄今为止发现最大的新近系油田。该油田位于石白坨凸起东斜坡,其圈闭类型是以构造-岩性圈闭为主,储层是明化镇组极浅水三角洲砂体。油田区底部无烃源岩发育,断至馆陶组的切脊次级断层是该油田唯一的供油通道。控制QHD33-1S油田形成的供油断层活动性为60~90 m,切脊规模为4.5~13 km,这表明A类断层能够为明下段砂体提供较为充注的油源,也预示着在该类断层控制下的未钻砂体具有较大的勘探潜力。而同样位于油气优势运移路径上的多套潜力砂体,均未获得好的油气发现,通过分析发现该类砂体均为以B类断层为主导运移的砂体。



图例
烃源岩 扇三角洲 边界断层 馆下段 馆上段 明下段 晚期断层
中生界 东二下 明下段砂体 油层 构造脊 油气运移方向

图7 石东斜坡带双断-接力油气成藏模式

Fig.7 Double-fault-relay hydrocarbon accumulation model in the eastern slope zone of Shijiutuo Uplift

4.2 仅依靠边界断裂直接供油的明下段砂体钻探效果不佳

石南一号断裂活动强度大、凸面发育,对于浅层而言,是最有利的油气运移断层。然而,围绕该边界断裂钻探的 3 口探井,在明下段均未见到任何的油气显示,均以失利告终。

以 QHD33 区的 1 口探井为例,位于 QHD33-1S 油田的西侧,为斜坡带距边界断裂最近的 1 口井。该区三维地震资料好,砂体边界刻画十分清晰,加之浅层储盖组合好,因此当时认为成藏把握性极大,但钻探证实该井钻遇的砂体均没有任何油气运移的迹象。这表明油气沿边界断裂垂向运移时,纵向上存在断层封闭点,抑制了油气沿边界断裂直接向上部的明下段砂体运移并聚集成藏。

5 结论

(1)源外斜坡带油气运移主要受控于边界断裂和凸起斜坡带的切脊次级断裂形成的接力式运移模式,边界断裂活动性、断面形态及封闭点控制油气垂向运移至馆陶组,而后沿馆陶组横向运移,斜坡带切脊次级断裂对油气进行再分配。

(2)切脊次级断裂控制油气的最终分配和成藏,其中,切脊规模 > 4 km、断层活动性 > 50 m 的 A 类断层具有强输导油气能力,以其为主导的顺向运移型潜力砂体是最优的成藏类型。

(3)位于油气优势运移路径上,在 A 类断层控制下的未钻砂体是下步有利的勘探方向。在石白坨凸起东部斜坡带共刻画了 48 个未钻砂体,均属于 A 类断层控制运移的砂体,具有较大的勘探潜力。

参考文献:

[1] 周心怀,王德英,张新涛.渤海海域石白坨凸起两个亿吨级隐蔽油气藏勘探实践与启示[J].中国石油勘探,2016,21(4):30-37.

[2] 曾军,康永尚,韩军,等.准噶尔盆地北三台西南斜坡带油气成藏分析[J].西南石油大学学报(自然科学版),2008,30(5):53-57.

[3] 梁全胜,常迈,韩军.阜东斜坡带中上侏罗统输导系统发育特征及油气运聚模式分析[J].西安石油大学学报(自然科学版),2006,21(4):29-32.

[4] 覃克,赵密福.惠民凹陷临南斜坡带油气成藏模式[J].石油大学学报(自然科学版),2002,26(6):21-24.

[5] 王德英,于海波,李龙,等.渤海海域石白坨凸起新近系岩性油藏充满度特征及主控因素[J].油气地质与采收率,2015,22(5):21-27.

[6] 王应斌,薛永安,王广源,等.渤海海域石白坨凸起浅层油气成藏特征及勘探启示[J].中国海上油气,2015,27(2):8-16.

[7] 揣媛媛,王德英,于海波,等.石白坨凸起新近系岩性圈闭识别与刻画关键技术[J].地球物理学进展,2013,28(1):365-372.

[8] 李慧勇,周心怀,王粤川,等.石白坨凸起中段东斜坡明化镇组“脊、圈、砂”控藏作用[J].东北石油大学学报,2013,37(6):75-83.

[9] 杨传超,张新涛,郭涛,等.源外斜坡区油气运移主控因素及优势路径刻画——以渤海海域石白坨凸起斜坡区为例[J].断块油气田,2018,25(6):699-703.

[10] 孙永河,漆家福,吕延防,等.渤中坳陷断裂构造特征及其对油气的控制[J].石油学报,2008,29(5):669-675.

[11] 周心怀,牛成民,滕长宇.环渤中地区新构造运动期断裂活动与油气成藏关系[J].石油与天然气地质,2009,30(4):469-475.

[12] Hindle A D. Petroleum migration pathways and charge concentration_a three-dimensional model [J]. AAPG Bulletin, 1997,81(9):1451-1481.

[13] 姚城,张新涛,于海波,等.石白坨凸起东南斜坡带输导体系与油气运聚模式[J].断块油气田,2017,24(6):755-759.

[14] 牛成民,杜晓峰,邹华耀,等.渤海海域石白坨凸起油气输导体系与运聚模式[J].中国海上油气,2016,28(3):44-49.

[15] 张立宽,罗晓容,宋国奇,等.油气运移过程中断层启闭性的量化表征参数评价[J].石油学报,2013,34(1):92-100.

[16] 吕延防,沙子莹,付晓飞,等.断层垂向封闭性定量评价方法及其应用[J].石油学报,2007(5):34-38.

[17] 周路,王丽君,罗晓容,等.断层连通概率计算及其应用[J].西南石油大学学报(自然科学版),2010,32(3):11-18.

[18] 刘震,谭卓,蔡东升,等.用断层面正压力法分析北部湾盆地涠西南凹陷断层垂向封闭性及其演化[J].地质科学,2008,43(4):695-711.

[19] 蒋有录,刘景东,李晓燕,等.根据构造脊和地球化学指标研究油气运移路径:以东濮凹陷濮卫地区为例[J].地球科学(中国地质大学学报),2011,36(3):521-529.

[20] 张新涛,牛成民,黄江波,等.黄河口凹陷渤中 34 区明化镇组下段油气输导体系[J].油气地质与采收率,2012,19(5):27-30.

OIL AND GAS MIGRATION MODEL “DOUBLE FAULTS-RELAY” AND ITS EXPLORATION PRACTICE ON THE EASTERN SLOPE OF SHIJIUTUO UPLIFT, BOHAI SEA

YANG Chuanchao, ZHANG Xintao, GUO Tao, ZHANG Zhen, YAO Cheng

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

Abstract: In order to reveal the regulations for oil and gas migration and accumulation in the eastern slope zone of Shijiutuo Uplift, Bohai Sea, so as to efficiently guide oil and gas exploration there, based on the comprehensive study of petroleum geological characteristics of the area, this paper puts forward a "double-fault-relay" model for hydrocarbon migration. It is proposed in the model that the vertical migration of hydrocarbon is mainly controlled by boundary faults, the shape of cross-section and the opening-closing rhythm of the faults, the lateral migration of hydrocarbon controlled by the distribution pattern of the Guantao Formation, while the accumulation of hydrocarbon in the final stage controlled by the secondary faults. Based on the statistics of 264 drilled sand bodies in the QHD33-1S Oilfield, the secondary faults (type A faults), which control hydrocarbon accumulation in sand bodies, all occurred along the dominant migration path, where the fault activity is over 50 m, and the distance cutting into the structural ridge of Guantao Formation is larger than 4 km. Exploration practice has proved that structural and structural-lithologic traps existed along the main migration path of oil and gas and controlled by type A faults are favorable areas for hydrocarbon accumulation.

Key words: oil source fault; ridge-cutting secondary fault; oil and gas migration; double-fault relay; eastern slope zone of Shijiutuo Uplift; Bohai Sea