

李世银, 罗 泉, 王 彭, 等. 逆冲断裂对富满油田哈得区块油气成藏的控制作用[J]. 中国岩溶, 2023, 42(6): 1303-1311.
DOI: 10.11932/karst20230611

逆冲断裂对富满油田哈得区块油气成藏的控制作用

李世银¹, 罗 泉¹, 王 彭¹, 李会元¹, 覃汉莲^{2,3}, 李景瑞^{2,3,4}

(1. 中国石油塔里木油田公司勘探开发研究院, 新疆 库尔勒 841000; 2. 中国地质科学院岩溶地质研究所/
自然资源部、广西岩溶动力学重点实验室/联合国教科文组织国际岩溶研究中心, 广西 桂林 541004;
3. 广西平果喀斯特生态系统国家野外科学观测研究站, 广西 平果 531406;
4. 中国矿业大学(北京)地球科学与测绘工程学院, 北京 10083)

摘 要:塔里木盆地奥陶系碳酸盐岩是我国深层油气勘探开发的重点领域。近年来,富满油田断控油气藏成为油气勘探开发的重点目标,走滑断裂具有控储层、控圈闭、控富集的作用。但在富满油田哈得区块发育的逆冲断裂对油气成藏的控制作用认识不清,制约了该区油气藏的高效开发。为此,文章在分析塔里木盆地富满油田地质背景的基础上,系统总结了哈得区块逆冲断裂及走滑断裂的展布特征,明确了两者平面展布、纵向切割关系和活动时期。结合区域油气成藏期次研究,明确了逆冲断裂对油气成藏的控制作用。研究表明:①富满油田走滑断裂形成于中奥陶世末期,即中加里东期,逆冲断裂主要活动期在海西期,晚于走滑断裂形成期;②富满油田主要为3期成藏(晚加里东期、晚海西期和喜山期),逆冲断裂可对晚海西期、喜山期充注成藏造成影响;③逆冲断裂与走滑断裂具有3种组合模式,在此基础上建立了哈得区块受逆冲断裂影响的3种油气成藏输导模式。结论认为,逆冲断裂与油源走滑断裂交汇点在上寒武统一间房组时,对油气成藏最为有利,具有多源供烃、多期成藏特点,对同类型油气藏勘探开发具有一定的指导意义。

关键词:塔里木盆地;富满油田;逆冲断裂;走滑断裂;油气成藏

中图分类号: P618.13 文献标识码: A

文章编号: 1001-4810(2023)06-1303-09

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



0 引 言

塔里木盆地油气资源量丰富,其中碳酸盐岩油气资源量约 70×10^8 t 油当量^[1]。经过多年的油气勘探,塔北隆起及中央隆起先后发现了轮古、塔河、哈拉哈塘及塔中 I 号等大中型碳酸盐岩油气田群^[2-3],探明油气储量超过 5×10^8 t,油气年产量逾 400×10^4 t,成为我国深层油气勘探开发的重点领域。长期的勘探实践与研究形成了“古隆起控油、斜坡富集”油气

分布规律的认识,油气勘探开发集中在塔北隆起与塔中隆起,而北部坳陷(塔北隆起—塔中隆起之间的坳陷)勘探与认识程度较低。

随着走滑断裂对油气藏的控制作用理论的兴起^[4-7],2018 年开始向塔里木盆地北部坳陷开展大规模勘探,在北部坳陷的富满油田中间部位的 MS1 井、埋深 7 535 m 中奥陶统一间房组碳酸盐岩获得重大突破,表明北部坳陷超深层(埋深大于 7 000 m)仍具有良好勘探前景。走滑断裂“控储层、控圈闭、控富

资助项目: 中国石油天然气股份有限公司重大科技专项“缝洞型碳酸盐岩油气藏效益开发关键技术研究与应用”(2018E-1806); 中国石油天然气股份有限公司科学研究与技术开发项目“多尺度缝洞型油藏储层静态刻画及动态描述技术研究”(2021DJ1501)

第一作者简介: 李世银(1978—),男,硕士,高级工程师,现从事油气地质综合研究工作。E-mail: lishiy-ilm@Petrochina.com.cn。

通信作者: 覃汉莲(1987—),女,助理研究员,主要从事岩溶基础地质研究工作。E-mail: 327329298@qq.com。

收稿日期: 2023-03-15

集”作用在塔里木盆地已得到证实^[8-10]。富满油田哈得区块发育的逆冲断裂与走滑断裂叠合作用,导致油气成藏复杂。在富满油田哈得区块,由于逆冲断裂对油气成藏的控制作用认识不清,导致该区的低效井、失利井较多,影响了该区油气藏的高效开发。

基于此,本文利用三维地震资料,系统开展逆冲断裂展布特征及其与走滑断裂的组合关系研究,建立了不同类型的成藏模式,结合动态资料,明确了逆冲断裂对油气成藏的控制作用,对同类型油气藏勘探开发具有一定的指导意义。

1 地质背景

塔里木盆地是我国面积最大的复合叠合盆地,达 $56\times 10^4\text{ km}^2$ 。塔里木盆地中部发育晚新元古代裂谷、古—中生代克拉通内坳陷与新生代前缘隆起,南华系—第四系沉积地层厚度约 15 000 m;中部下古生界碳酸盐岩发育,地层厚度逾 3 000 m,在奥陶系

内部形成了多套储盖组合的含油气层段,油气资源丰富。已发现的油气主要分布于塔北隆起南斜坡与塔中凸起北斜坡地区(图 1),其中,轮南—塔河油田、塔中北斜坡凝析气田分别是我国最大的海相碳酸盐岩油田与凝析气田。随着对走滑断裂控储成藏理论认识深入,塔里木盆地的油气勘探将主要向北部坳陷深层扩展^[11-12]。

富满油田位于北部坳陷中部(图 1),构造整体上处于塔北隆起向塔中隆起延伸的低梁,是塔北隆起与塔中隆起的过渡带,沉积演化长期受塔北隆起和中央隆起控制,油气资源丰富,先后发现了顺北、富满等大中型下古生界碳酸盐岩油气田,是我国目前最大的断控碳酸盐岩油气藏油气生产基地^[13-14],年产油气当量约 $300\times 10^4\text{ t}$ 。经过十余年的勘探评价与滚动开发,富满油田先后发现哈得、跃满、富源、玉科、果勒、跃满西、富源Ⅱ、鹿场、满深、富源Ⅲ、果勒东 11 个区块,目前已成为该地区原油上产的主力区块。哈得区块位于富满油田北部、塔北隆起与北部

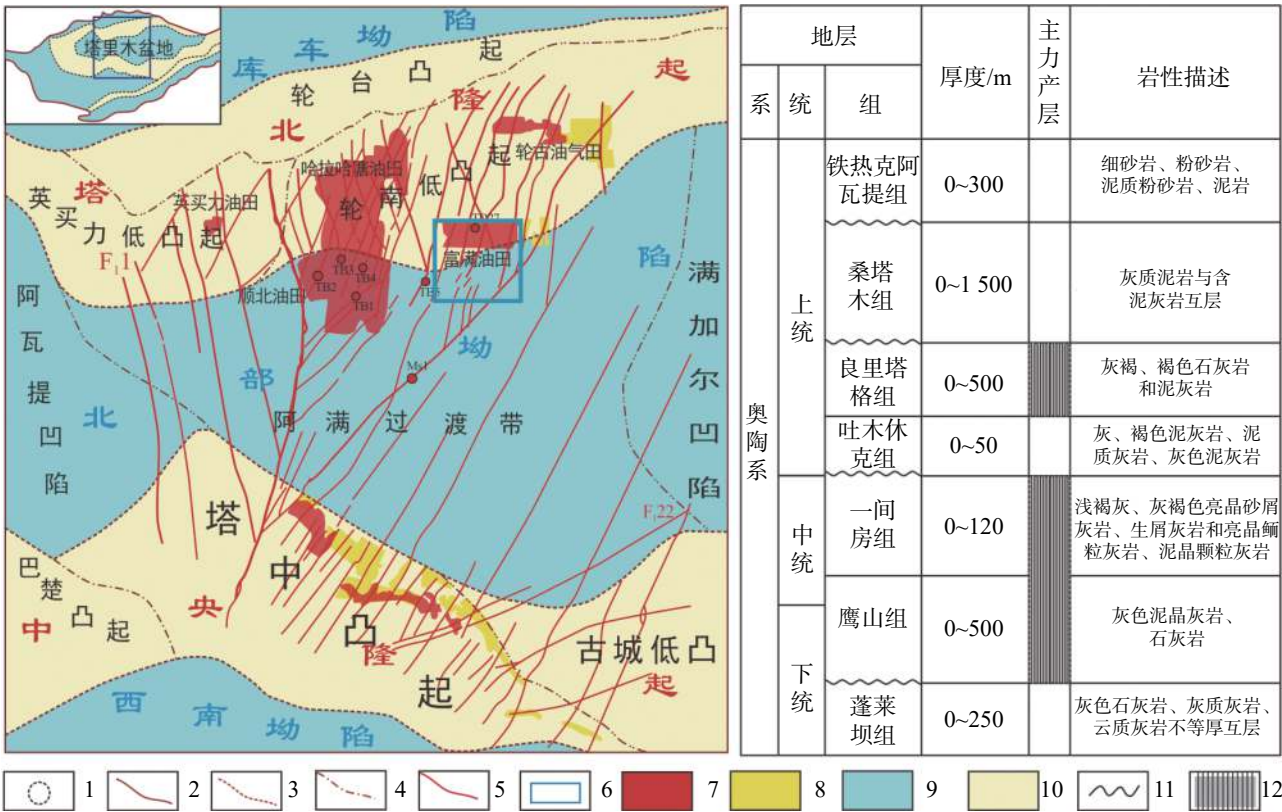


图 1 塔里木盆地北部坳陷平面分布及奥陶系地质柱状简图

1. 井位 2. 盆地边界 3. 一级构造边界 4. 二级构造边界 5. 断层 6. 研究区 7. 油田 8. 气田 9. 坳陷 10. 隆起 11. 不整合面 12. 储层

Fig. 1 Bar chart of Ordovician geology and horizontal distribution of the depression in north Tarim Basin

1. Well location 2. Basin boundary 3. Level-1 tectonic boundary 4. Level-2 tectonic boundary 5. Fault 6. The study area 7. Oilfield 8. Gas field 9. Depression 10. Uplift 11. Plane of unconformity 12. Reservoir

坳陷交互位置,地质条件相对复杂,不仅发育多条大型走滑断裂,同时发育有断至寒武系的逆冲断裂。复杂的断裂体系导致对该区的油气成藏认识不清,开发效果较差。

北部坳陷沉积地层较为完整,从上至下发育新生界第四系、新近系、古近系,中生界白垩系、侏罗系、三叠系,古生界二叠系、石炭系、泥盆系、志留系、奥陶系。奥陶系可细分为上统铁热克阿瓦提组(O_3tr)、桑塔木组(O_3s)、良里塔格组(O_3l)及吐木休克组(O_3t),中统一间房组(O_2y),中下统鹰山组(O_{1-2y})和下统蓬莱坝组(O_1p)。其中,志留系以及上奥陶统桑塔木组由南向北逐渐减薄,良里塔格组逐渐加厚,吐木休克组、一间房组厚度变化不大,全区分布稳定。目前主力勘探区域为北部坳陷阿满过渡带,主力勘探层系为一间房组,岩性以亮晶砂屑灰岩、亮晶颗粒

灰岩为主。

2 断裂特征

根据三维地震资料,利用构造导向滤波等弱走滑断裂识别技术,富满油田哈得区块主干断裂平面展布特征基本清晰(图 2)。自西向东发育 3 条主干走滑断裂(哈得 25 走滑断裂、哈得 29 走滑断裂、哈得 30 走滑断裂),同时发育 1 条逆冲断裂(哈得 27 逆冲断裂)。

2.1 走滑断裂特征

哈得区块 3 条走滑断裂平面上均呈北北东走向,近似平行,平均间距 8.0 km,延伸长度 24~31 km;纵向向下断至寒武系,可沟通玉尔吐斯组烃源岩,

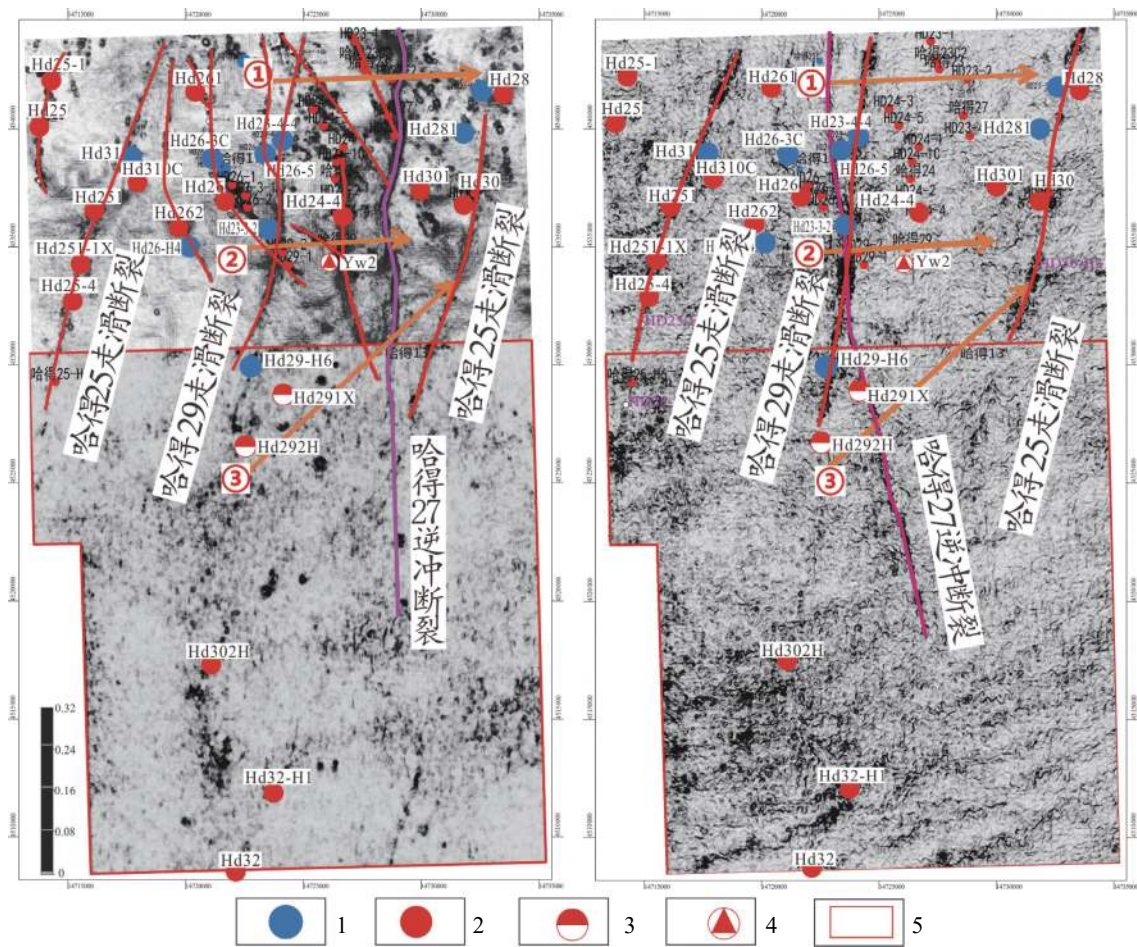


图 2 富满油田哈得区块一间房组顶(左)、上寒武统底(右)相干属性图

1.水井 2.工业油气井 3.低产油气井 4.油气显示井 5.本次研究范围

Fig. 2 Coherent attribute of the top (left) of Yijianfang Formation and the bottom (right) of Upper Cambrian in Hade block, the Fuman oilfield

1. Well 2. Industrial oil and gas wells 3. well with low yield of oil and gas 4. Display well of oil and gas 5. Scope of this study

向上断至一间房组。断距 4~16 m, 整体较小。沿着断裂面在奥陶系灰岩地层中发育跨层或者穿层“串珠”相地震反射特征, 表面走滑断裂具有明显的控储作用。同时, 从相干属性上显示走滑断裂具有从北向南减弱特征消亡的特征, 研究表明, 主要是由于在中奥陶世末期, 塔里木板块东南部与柴达木地块发生碰撞, 导致南阿尔金洋盆闭合, 此时板块北部受南天山洋洋壳的抵制作用形成由北向南的反作用力^[12-14]。

2.2 逆冲断裂特征

哈得 27 逆冲断裂平面延伸 27 km, 在寒武系呈 NNW 走向, 与哈得 29 走滑断裂呈“X”型交汇, 在一间房组呈近 SN 走向, 位于哈得 29 走滑断裂与哈得 25 走滑断裂之间, 呈向西倾斜的特征, 倾角 45°~78°。纵向向下可断至寒武系, 具有通源作用, 并在中寒武统膏盐岩层中发生滑脱作用, 引起膏盐岩层的局部变形加厚, 向上局部断至石炭系。

3 逆冲断裂控藏作用

富满油田哈得区块中部受逆冲断裂和走滑断裂双重影响, 断裂体系相对复杂。剖面上主干断裂均断至寒武系地层, 逆冲断裂对走滑断裂具有切割作用。两者的交汇点从寒武系到奥陶系一间房组地层均有分布(图 3), 不同的交汇点对油气成藏产生不同的影响。

3.1 断裂活动期与油气成藏期

根据区域构造背景与地震剖面上断层切割关系与终止层位可以推断盆地内断裂活动的大致时期, 但难以准确判别断裂形成的时间, 更难确定经历多期叠加改造断裂的初始形成时间。热年代学技术在断裂带定年研究中得到应用, 但前新生代断裂定年精度低、很难应用到井下沉积地层。近期碳酸盐胶结物 U-Pb 测年技术取得进展, 提供了高精度的碳酸盐岩断裂定年方法。

选取塔里木盆地奥陶系碳酸盐岩走滑断裂带同断裂期裂缝方解石样品, 在澳大利亚昆士兰大学放射性同位素实验室进行原位 LA-ICP-MS 测试^[15-17], 获得了裂缝胶结物比较精确的 U-Pb 年龄(图 4)。

R4 井一间房组顶面裂缝方解石沉淀年龄为 462.6±6.8 Ma、468±16 Ma。Q1 井碳酸盐岩顶面裂缝

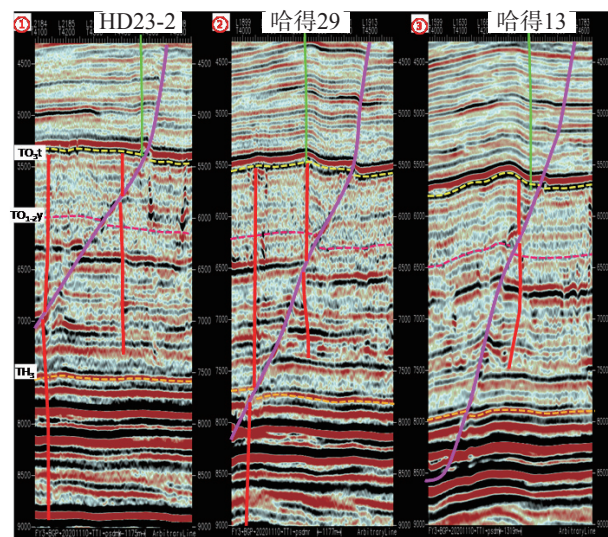


图 3 富满油田哈得区块垂直断裂走向地震剖面图

Fig. 3 Seismic profile of vertical fault strike in Hade block, the Fuman oilfield

方解石沉淀年龄为 459±28 Ma、288.6±8.8 Ma。H6-1 井碳酸盐岩顶面裂缝方解石沉淀年龄为 449.8±7.3 Ma。同时在塔中地区也获得~460 Ma 的年龄数据。距今 460 Ma 年龄数据仅代表中奥陶世末期断裂胶结充填的时间, 由于断裂活动应早于或与裂缝胶结物同期, 而且一间房组顶面地层可以限定断裂的形成年龄应在中奥陶世末及其后, 该年龄值前后的一间房组与吐木休克组的岩性与沉积也有较大的差异, 因此推断走滑断裂活动时间大约为距今 460 Ma, 即中加里东期。距今~460 Ma 的断裂活动与一间房组沉积后的区域构造隆升时间一致, 且与原特提斯洋的大规模俯冲时间相当。

地震剖面上哈得 27 逆冲断裂具有切割走滑断裂的特征(图 3), 表明逆冲断裂活动形成期晚于走滑断裂形成期, 即在加里东期之后。同时逆冲断裂局部可断至三叠系地层, 表面局部持续活动到印支期。结合区域构造演化背景, 判断哈得 27 逆冲断裂主要活动期在海西期, 据此认为哈得 27 逆冲断裂可对该区域晚海西期之后的油气成藏产生影响。

综合区域构造演化、流体包裹体等资料分析, 塔里木盆地玉尔吐斯组烃源岩主要存在 3 期生排烃, 对应奥陶系碳酸盐岩 3 期油气充注^[18-21], 分别是晚加里东期、晚海西期原油充注和喜马拉雅期天然气充注。晚加里东期, 走滑断裂体系基本形成, 玉尔吐斯组烃源岩大量生油, 形成的油气沿走滑断裂垂向运聚成藏, 油气充注主要受控于走滑断裂;

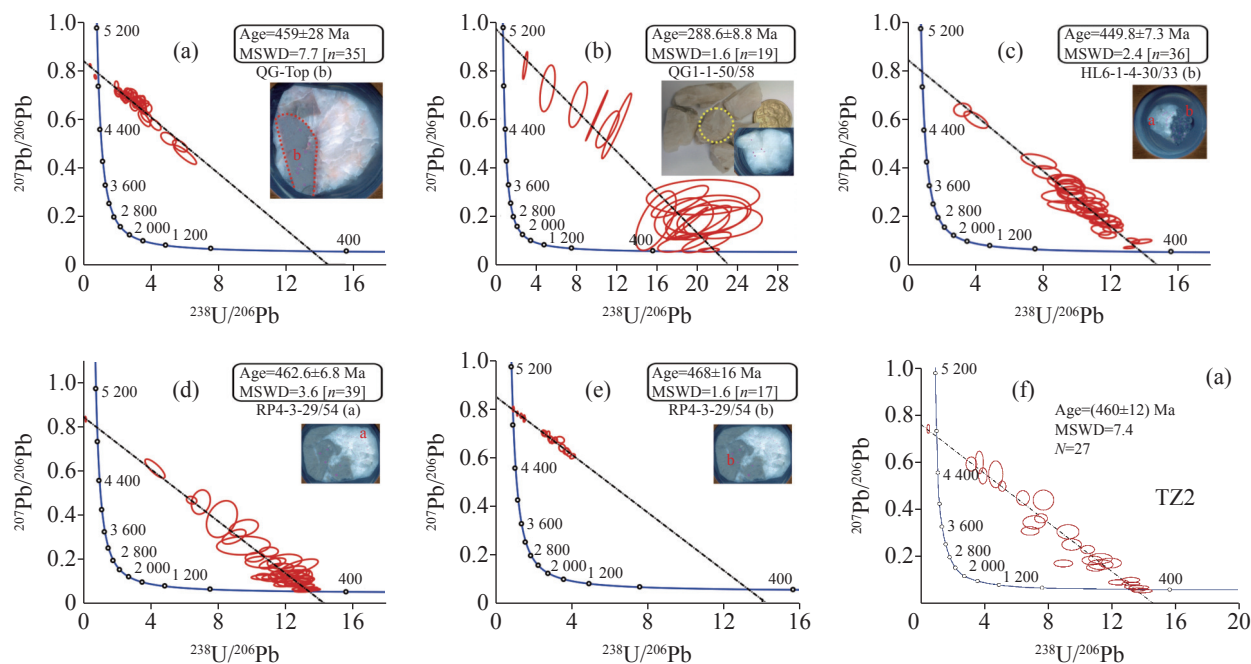


图 4 奥陶系裂缝碳酸盐胶结物 U-Pb 年龄谐和图(Age—年龄; MSWD—平均标准权重偏差; N—样品数)

Fig. 4 Age of Ordovician fracture carbonate cement U-Pb (Age: age of U-Pb, MSWD: mean standard weight deviation, N: Number of samples)

晚海西期之后,由于受到逆冲断裂影响,油气成藏模式较为复杂。

3.2 逆冲断裂控藏作用

富满油田哈得区块逆冲断裂与走滑断裂接触关系复杂,存在不同的成藏模式,导致油气充注及流体分布复杂。哈得 27 逆冲断裂是区域 I 级大断裂,纵向向下断至寒武系地层特征清楚,能够沟通寒武系玉尔吐斯组烃源岩,对油气成藏具有建设性作用。同时,该逆冲断裂与部分走滑断裂交汇,根据不同的交汇类型,对油气成藏会产生不同的影响(图 5)。

(1)逆冲断裂与非油源走滑断裂在上寒武统一奥陶系中统一间房组交汇。在这种情况下,逆冲断裂具有通源供烃的作用,非油源走滑断裂虽然没有通源能力,但由于与通源的逆冲断裂交汇,同样具有成藏条件。哈得 29 井所在的走滑断裂向下断至蓬莱坝组地层,未能沟通寒武系烃源岩,走滑断裂仅具有控储作用。该走滑断裂与哈得 27 逆冲断裂相交于鹰山组底部,沿逆冲断裂运移的油气部分分流至走滑断裂成藏,主要成藏期为晚海西期。由于缺少加里东期成藏,且走滑断裂活动强度小、储层规模小,油气富集程度有限。哈得 29 井累计产油 0.39×10^4 t,累计产水 0.74×10^4 t,目前已高含水关井。

(2)逆冲断裂与油源走滑断裂在上寒武统一奥陶系中统一间房组交汇。在这种情况下,逆冲断裂、走滑断裂都具有通源供烃的作用,具有“双源供烃”特点,成藏条件有利。HD29-2 井所在的走滑断裂向下断至寒武系,能够沟通寒武系烃源岩,走滑断裂具有控储控藏作用。该走滑断裂与哈得 27 逆冲断裂相交于上寒武统,沿逆冲断裂运移的油气可部分分流至走滑断裂成藏。这种类型的断裂组合油气成藏条件最为有利,具有多源供烃、多期成藏特点。HD29-2 井累计产油 11.25×10^4 t,目前日产油 200 t。

(3)逆冲断裂与油源走滑断裂在中寒武统交汇。中寒武统发育一套巨厚膏盐岩层,逆冲断裂在膏盐岩层内发生滑脱作用,引起膏盐岩层的剧烈变形。在这种情况下,逆冲断裂会引起走滑断裂的垂向错断和横向错位,对走滑断裂的通源性起破坏作用。哈得 292H 井所在的走滑断裂向下断至寒武系,能够沟通寒武系烃源岩,走滑断裂具有控储控藏作用。但由于受到逆冲断裂活动影响,该走滑断裂在海西期通源效果变差,影响了海西期成藏,导致这种类型的成藏条件较差。哈得 292H 井测试期间油水同出,投产后累计产油 150 t,累计产水 2 000 t,表明油气充注有限。

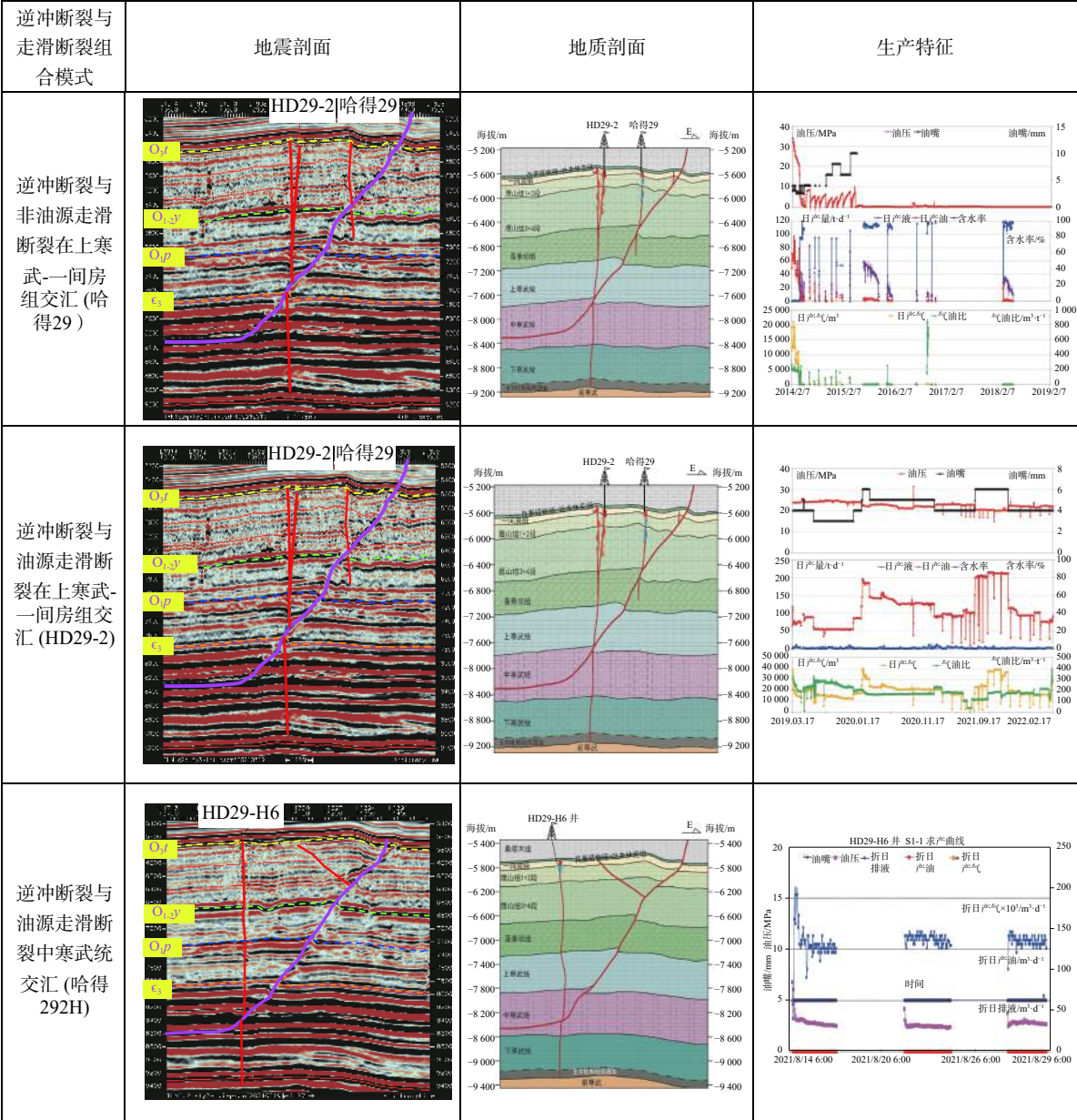


图5 富满油田哈得区块逆冲断裂控藏模式图折日排液($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)

O_{3t} : 奥陶系上统吐木休克组 O_{1-2y} : 奥陶系中统一间房组 O_{1p} : 奥陶系下统蓬莱坝组 $\in 3\text{H}$: 上寒武统
折日排液($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$) 折日产油($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$) 折日产气($\times 10^3 (\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$)

Fig. 5 Control model of thrust fault to reservoir in Hade block, the Fuman oilfield ($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)

O_{3t} : the Upper Ordovician-Tumuxiuke Formation O_{1-2y} : the Middle Ordovician-Yijianfang Formation O_{1p} : the Lower Ordovician-Penglaiba Formation $\in 3\text{H}$: the Upper Cambrian
Equivalent daily drainage ($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$) Equivalent daily oil production ($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$) Equivalent daily gas production $\times 10^3 (\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$

4 逆冲断裂控藏模式

基于以上分析,建立了富满油田哈得区块受逆冲断裂影响的3种油气成藏输导模式(图6)。

(1)逆冲断裂与非油源走滑断裂在上寒武统一奥陶系中统一间房组交汇型(D井、E井):逆冲断裂对油气成藏起通源供烃作用,晚加里东期不具备成

藏条件,该类型油藏以晚海西期成藏为主;

(2)逆冲断裂与油源走滑断裂在上寒武统一奥陶系中统一间房组交汇型(C井):逆冲断裂与走滑断裂均具有通源作用,该类型油藏具有多期成藏、多源供烃特点,成藏条件最为有利;

(3)逆冲断裂与油源走滑断裂中寒武统交汇型(B井):受逆冲断裂影响,走滑断裂通源性变差,油气难以沿走滑断裂突破膏盐岩层向上运聚成藏,该

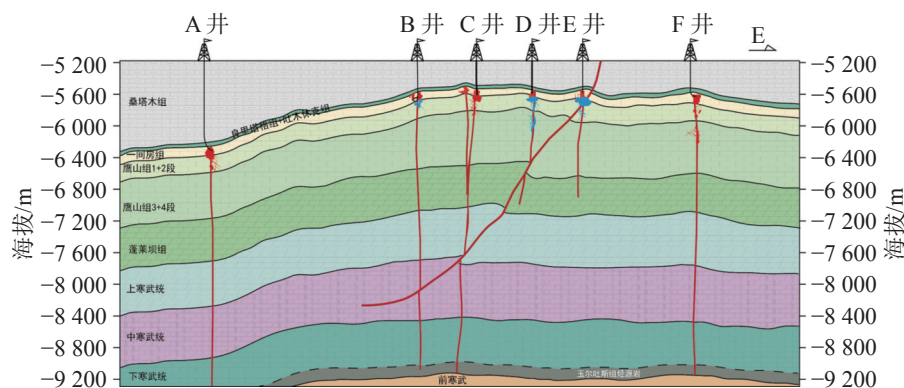


图6 富满油田哈得区块油气成藏输导模式

Fig. 6 Oil and gas accumulation and transport mode in Hade block, the Fuman oilfield

类型油藏以晚加里东期成藏为主。此外, A井、F井所在走滑断裂不受逆冲断裂影响, 油气成藏主控因素较为单一。

5 结 论

(1) 富满油田走滑断裂形成于中奥陶世末期, 即中加里东期, 逆冲断裂主要活动期在海西期, 晚于走滑断裂形成期;

(2) 富满油田主要为3期成藏(晚加里东期、晚海西期、喜山期), 晚加里东期油气成藏主要受控于走滑断裂, 逆冲断裂可对晚海西期、喜山期充注成藏造成影响;

(3) 逆冲断裂与走滑断裂具有3种组合模式, 在此基础上建立了哈得区块受逆冲断裂影响的3种油气成藏输导模式。逆冲断裂与非油源走滑断裂在上寒武统一奥陶系中统一间房组交汇型, 以晚海西期成藏为主; 逆冲断裂与油源走滑断裂在上寒武统一奥陶系中统一间房组交汇型, 具有多期成藏、多源供烃特点, 成藏条件最为有利; 逆冲断裂与油源走滑断裂中寒武统交汇型, 以晚加里东期成藏为主。

参考文献

- [1] 康玉柱. 塔里木盆地海相古生界油气勘探的进展[J]. 新疆石油地质, 2002, 23(1): 76-78.
KANG Yuzhu. The progress for onshore marine petroleum exploration of paleozoic in Tarim Basin[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2002, 23(1): 76-78.
- [2] 张朝军, 贾承造, 李本亮, 罗秀羽, 刘云祥. 塔北隆起中西部地区古岩溶与油气聚集[J]. 石油勘探与开发, 2010, 37(3): 263-269.
ZHANG Chaojun, JIA Chengzao, LI Benliang, LUO Xiuyu, LIU

Yunxiang. Ancient karsts and hydrocarbon accumulation in the middle and western parts of the north Tarim Uplift, NW China[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2010, 37(3): 263-269.

- [3] 郭光辉, 李启明, 张宝收, 董立胜, 张亚光, 张欢庆. 塔中I号断裂坡折带构造特征及勘探领域[J]. 石油学报, 2005, 26(1): 27-30.
WU Guanghui, LI Qiming, ZHANG Baoshou, DONG Lisheng, ZHANG Yaguang, ZHANG Huanqing. Structural characteristics and exploration fields of No.1 faulted slope break in Tazhong area[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2005, 26(1): 27-30.
- [4] Childs C, Holdsworth R E, Jackson C A L, Manzocchi T, Walsh J J, Yielding G. Introduction to the geometry and growth of normal faults[J]. *Geological Society London Special Publications*, 2017, 439(1): 1-9. DOI: 10.1144/SP439.23.
- [5] Allen M B, Vincent S J, Wheeler P J. Late Cenozoic tectonics of the Kepingtage thrust zone: Interactions of the Tien Shan and Tarim Basin, Northwest China[J]. *Tectonics*, 1999, 18(4): 639-654.
- [6] 郭光辉, 杨海军, 屈泰来, 李浩武, 罗春树, 李本亮. 塔里木盆地塔中隆起断裂系统特征及其对海相碳酸盐岩油气的控制作用[J]. 岩石学报, 2012, 28(3): 793-805.
WU Guanghui, YANG Haijun, QU Tailai, LI Haowu, LUO Chunshu, LI Benliang. The fault system characteristics and its controlling roles on marine carbonate hydrocarbon in the central uplift, Tarim Basin[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2012, 28(3): 793-805.
- [7] 廖涛, 侯加根, 陈利新, 马克, 杨文明, 董越, 白晓佳. 断裂对塔北地区哈拉哈塘油田奥陶系非暴露岩溶缝洞型储集层的控制作用[J]. 古地理学报, 2016, 18(2): 221-235.
LIAO Tao, HOU Jiagen, CHEN Lixin, MA Ke, YANG Wenming, DONG Yue, BAI Xiaojia. Fault controlling on non-exposed karst fracture-vug reservoirs of the Ordovician in Hala-hatang oilfield, northern Tarim Basin[J]. *Journal of Palaeogeography*, 2016, 18(2): 221-235.
- [8] 余一欣, 张立伟, 朱秀香, 罗吉, 刘士林, 张仲培, 金峰. 塔里木

- 盆地塘北断裂带分段变形及其活动特征[J]. 现代地质, 2020, 34(6): 1103-1109.
- YU Yixin, ZHANG Liwei, ZHU Xiuxiang, LUO Ji, LIU Shilin, ZHANG Zhongpei, JIN Feng. Segmented deformation and activity characteristics of the Tangbei fault zone in the Tarim Basin[J]. Geoscience, 2020, 34(6): 1103-1109.
- [9] 焦方正. 塔里木盆地顺托果勒地区北东向走滑断裂带的油气勘探意义[J]. 石油与天然气地质, 2017, 38(5): 831-839.
- JIAO Fangzheng. Significance of oil and gas exploration in NE strike-slip fault belts in Shuntuoguole area of Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2017, 38(5): 831-839.
- [10] 李萌, 汤良杰, 漆立新, 黄太柱, 甄素静, 田亚杰. 塔北隆起南坡差异构造演化及其对油气成藏的控制[J]. 天然气地球科学, 2015, 26(2): 218-228.
- LI Meng, TANG Liangjie, QI Lixin, HUANG Taizhu, ZHEN Sujing, TIAN Yajie. Differential tectonic evolution and its controlling on hydrocarbon accumulation in the south slope of Tabei Uplift[J]. Natural Gas Geoscience, 2015, 26(2): 218-228.
- [11] Deng Shang, Li Huili, Zhang Zhongpei, Zhang Jibiao, Yang Xin. Structural characterization of intracratonic strike-slip faults in the central Tarim Basin[J]. AAPG Bulletin, 2019, 103(1): 109-137.
- [12] 邓尚, 李慧莉, 张仲培, 吴鲜, 张继标. 塔里木盆地顺北及邻区主干走滑断裂带差异活动特征及其与油气富集的关系[J]. 石油与天然气地质, 2018, 39(5): 878-888.
- DENG Shang, LI Huili, ZHANG Zhongpei, WU Xian, ZHANG Jibiao. Characteristics of differential activities in major strike-slip fault zones and their control on hydrocarbon enrichment in Shunbei area and its surroundings, Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2018, 39(5): 878-888.
- [13] 何登发, 李德生, 王成善, 刘少峰, 陈赓俊. 活动论构造古地理的研究现状、思路与方法[J]. 古地理学报, 2020, 22(1): 1-28.
- HE Dengfa, LI Desheng, WANG Chengshan, LIU Shaofeng, CHEN Jiajun. Status, thinking, and methodology of studying on the mobile tectono-palaeogeography[J]. Journal of Palaeogeography, 2020, 22(1): 1-28.
- [14] 陈赓俊, 何登发, 孙方源, 王峰, 张伟康. 塔北古隆起的三维地质结构及相关问题探讨[J]. 地学前缘, 2019, 26(1): 121-133.
- CHEN Jiajun, HE Dengfa, SUN Fangyuan, WANG Feng, ZHANG Weikang. Three-dimensional geological modeling of the Tabei paleo-uplift and discussion on related issues[J]. Earth Science Frontiers, 2019, 26(1): 121-133.
- [15] Roberts N M, Walker R J. U-Pb geochronology of calcite-mineralized faults: Absolute timing of rift-related fault events on the northeast Atlantic margin[J]. Geology, 2016, 44(7): 531-534.
- [16] Nuriel P, Craddock J, Kylander Clark A R C, Uysal I T, Karabacak V, Dirik R K, Hacker B R, Weinberger R. Reactivation history of the North Anatolian fault zone based on calcite age-strain analyses[J]. Geology, 2019, 47(5): 465-469.
- [17] Nuriel P, Wotzlaw J F, Ovtcharova M, Vaks A, Stremtan C, Sala M, Roberts N M W, Kylander Clark A R C. The use of ASH-15 flowstone as a matrix-matched reference material for laser-ablation U-Pb geochronology of calcite[J]. Geochronology, 2021, 3(1): 35-47.
- [18] 吕艳萍, 罗君兰, 王炯, 张娟, 张振哲, 马海陇, 李兴. 塔河油田典型碳酸盐岩断溶体发育模式[J]. 西安石油大学学报(自然科学版), 2021, 36(1): 20-27.
- LYU Yanping, LUO Junlan, WANG Jiong, ZHANG Juan, ZHANG Zhenzhe, MA Hailong, LI Xing. Development mode of typical carbonate fault-affected karst system in Tahe oilfield[J]. Journal of Xi'an Shiyou University (Natural Science Edition), 2021, 36(1): 20-27.
- [19] 鲁新便, 胡文革, 汪彦, 李新华, 李涛, 吕艳萍, 何新明, 杨德彬. 塔河地区碳酸盐岩断溶体油藏特征与开发实践[J]. 石油与天然气地质, 2015(3): 347-355.
- LU Xinbian, HU Wenge, WANG Yan, LI Xinhua, LI Tao, LYU Yanping, HE Xinming, YANG Debin. Characteristics and development practice of fault-karst carbonate reservoirs in Tahe area, Tarim Basin[J]. Oil and Gas Geology, 2015(3): 347-355.
- [20] 郑晓丽, 安海亭, 王祖君, 周红波, 张亮亮. 哈拉哈塘地区走滑断裂与断溶体油藏特征[J]. 新疆石油地质, 2019, 40(4): 449-455.
- ZHENG Xiaoli, AN Haiting, WANG Zujun, ZHOU Hongbo, ZHANG Liangliang. Characteristics of strike-slip faults and fault-karst carbonate reservoirs in Halahatang area, Tarim Basin[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2019, 40(4): 449-455.
- [21] 李国会, 李世银, 李会元, 孙冲, 谢舟, 李飞. 塔里木盆地中部走滑断裂系统分布格局及其成因[J]. 天然气工业, 2021, 41(3): 30-37.
- LI Guohui, LI Shiyin, LI Huiyuan, SUN Chong, XIE Zhou, LI Fei. Distribution pattern and formation mechanism of the strike-slip fault system in the central Tarim Basin[J]. Natural Gas Industry, 2021, 41(3): 30-37.

Control action of thrust fault to oil and gas accumulation in Hade block of the Fuman oilfield

LI Shiyin¹, LUO Xiao¹, WANG Peng¹, LI Huiyuan¹, QIN Hanlian^{2,3}, LI Jingrui^{2,3,4}

(1. Research Institute of Exploration and Development, Tarim Oilfield Company, PetroChina, Korla, Xinjiang 841000, China; 2. Institute of Karst Geology, CAGS/Key Laboratory of Karst Dynamics, MNR & GZAR/International Research Center on Karst under the Auspices of UNESCO, Guilin, Guangxi 541004, China; 3. Pingguo Guangxi, Karst Ecosystem, National Observation and Research Station, Pingguo, Guangxi 531406, China;

4. College of Geoscience and Surveying Engineering, China University of Mining and Technology (Beijing), Beijing 10083, China)

Abstract The Tarim Basin, renowned for its super large Ordovician marine carbonate oil and gas reservoirs, is a key area in the field of deep oil and gas exploration and development in China. Especially, the Fuman oilfield has become an important area in oil and gas exploration and development in recent years, largely owing to its extensively distributed fault-controlled gas reservoirs. Nevertheless, Hade block of the Fuman oilfield faces the complex interaction of thrust faults and strike-slip faults, which poses severe challenges. Due to the lack of comprehensive understanding of the impact of thrust faults on reservoir development, many wells with low yield and low efficiency had been drilled, which seriously hindered the effective exploration and development of oil and gas in this area. Therefore, an exhaustive geological examination of the Fuman oilfield in the Tarim Basin was meticulously conducted. This analytical endeavor was directed towards illuminating the intricacies underlying the synergy of thrust faults and strike-slip faults, and their consequential influence on oil and gas reservoirs. Methodologically, a methodical exploration was undertaken based on state-of-the-art 3D seismic data, thereby offering an all-encompassing perspective on the spatiotemporal characteristics of these fault structures in Hade block. The scrutiny further encompassed the delineation of the planar distribution of these faults, the elucidation of vertical crosscutting relationships, and the ascertaining of fault activity periods. The research findings were subsequently amalgamated with a comprehensive investigation of the regional temporal periods underpinning oil and gas accumulation, thereby proffering a lucid perspective on the dominion of thrust faults in this context.

The investigation results display the key information on the endemic geological evolution of the Fuman oilfield. Foremost, the research findings determine that these fault structures originated from the late Middle Ordovician, especially the Middle Caledonian period. Noticeably, thrust fault activities peaked during the subsequent Hercynian period, i.e. after the appearance of strike-slip faults. This temporal distinction between the fault types is of profound significance for understanding their respective roles in oil and gas accumulation. The Fuman oilfield is divided into three different stages of oil and gas accumulation, namely, the late Caledonian, late Hercynian, and Himalayan stages. The results show that the oil and gas accumulation in the late Caledonian period is mainly affected by strike-slip faults, while the influence of thrust faults is great in the late Hercynian and Himalayan periods. The understanding of the interplay between fault types and oil and gas accumulation is of great significance for accurate exploration and development of benefit model in oil areas. In addition, this study unveiled three distinct modes of convergence between thrust faults and strike-slip faults, based on which three different modes of oil and gas accumulation and conveyance steered by thrust faults in Hade block were delineated.

It is concluded that when thrust faults intersect with non-petroleum-endowed strike-slip faults in the Upper Cambrian-Yijianfang Formation, the reservoir is mainly formed in the late Hercynian period. When thrust faults and petroleum-endowed strike-slip faults intersect in the Middle Cambrian, the reservoir is mainly formed in the late Caledonian period. The intersection of thrust faults and petroleum-endowed strike-slip faults in the Upper Cambrian-Yijianfang Formation is most favorable for oil and gas accumulation, with characteristics of multi-source hydrocarbon supply and multi-stage accumulation. These conclusions provide valuable experience of and incisive insights into the exploration and development of similar oil and gas reservoirs, which is conducive to efficient decision making in the ongoing search for energy resources.

Key words Tarim Basin, the Fuman oilfield, thrust fault, strike-slip fault, oil and gas accumulation

(编辑 张 玲)