

断裂系统对碳酸盐岩油气聚集的控制作用: 以塔北隆起轮古东油气田为例

喻 顺^{1a, 1b, 2}, 柳广弟², 孙明亮², 马 勋³

(1. 中国地质科学院地质研究所 a. 同位素热年代学实验室; b. 大陆构造与动力学国家重点实验室, 北京 100037;
2. 中国石油大学地球科学学院, 北京 102249; 3. 中原油田勘探开发科学研究院, 河南 濮阳 457001)

摘 要: 综合利用岩心、测井、试油及薄片等资料分析了轮古东奥陶系断裂对储层的改造作用, 探讨了断裂与奥陶系碳酸盐岩油气富集程度的关系。研究表明, 轮古东奥陶系碳酸盐岩基质孔隙不发育, 孔洞缝及其组合为主要储集空间, 断裂及伴生裂缝有效地改造了碳酸盐岩储集层, 断裂发育形成的裂缝及断裂破碎带控制和促进了岩溶作用的发生, 在断裂附近碳酸盐岩孔洞更发育, 断裂带附近 2 km 内易形成高渗透带, 高角度裂缝对碳酸盐岩孔洞的形成更为有效。EW 向和 SN 向断裂是油气垂向运移的有效通道, 控制着平面上和垂向上油气比、天然气产能及相态的变化。断裂控制着碳酸盐岩孔洞、洞穴、裂缝空间组合分布的多样性和差异性, 及油气富集的非均质性, 断裂带附近高角度裂缝及孔洞较发育, 油气产能较高, 在远离断裂部位油气的聚集效率低, 持续活动的走滑断层附近是油气最为富集的区域, 因此, 轮古东奥陶系具有纵向上多层系含油气、平面上分区分带的特征。

关键词: 塔北隆起; 轮古东; 奥陶系; 碳酸盐岩; 断裂; 油气聚集

中图分类号: P618.130.2

文献标志码: A

文章编号: 1000-7849(2014)01-0121-08

海相碳酸盐岩层系为我国油气勘探重要的接替领域^[1-2], 其油气富集特征成为了研究热点。一般认为储集体发育程度和连通性、断裂系统分布、油气充注方向与程度、成藏时间及成藏期构造格局等共同控制了海相碳酸盐岩油气富集^[3-5]。断裂系统与油气富集关系为石油地质研究的热点, 国内外学者对断裂带内部结构^[6-8]及其与油气运移、成藏和保存关系^[9-16]等进行了深入的研究。对碳酸盐岩而言, 断裂系统不仅影响储层的发育^[17-20], 而且是油气有效运移通道^[13-15], 断裂对碳酸盐岩层系油气的控制作用已被大量实践所证明^[13, 17, 21], 如塔里木盆地海相碳酸盐岩油气藏研究表明储层发育、油气富集明显受断裂控制^[22-26], 断裂控制了油气纵向上的富集层位, 平面上油气的区段分布^[27-29]。

轮古东油气田位于塔里木盆地塔北隆起轮南低凸起东部斜坡带, 东邻草湖凹陷, 西为哈拉哈塘凹陷, 南部斜坡向满加尔凹陷倾没, 整体上为轮南-塔河油气田的一部分。奥陶系自东向西依次削蚀, 含油气层段主要为奥陶系鹰山组、一间房组, 其次为吐木休克组底部、良里塔格组上部和桑塔木组下部。众多学者对轮古东奥陶系碳酸盐岩储层^[30-33]、油气

藏形成^[5, 34]、断裂系统分布^[35]等进行了研究, 但对于断层与油气富集关系缺乏深入系统的研究, 而轮古东地区断裂带的变化导致了碳酸盐岩油、气、水产出变化大, 单井产能、产量变化快及油气钻探的失利等, 给油气勘探开发带来很大困难, 因此, 总结断裂带与碳酸盐岩油气富集关系是提高勘探成功率的关键。笔者结合岩心、测井、薄片等资料, 拟从微观及宏观角度分析轮古东奥陶系断裂对储层的改造作用, 探讨断裂与奥陶系碳酸盐岩油气富集程度的关系, 这对于降低碳酸盐岩层系勘探风险及制定油气田的开发方案具有重要实际意义。

1 轮古东奥陶系断裂的分布特征

轮古东奥陶系顶面总体上呈西高东低、北高南低的东南倾斜坡格局。轮古东奥陶系经历晚加里东一早海西期、晚海西期和印支-燕山期构造运动, 形成了多期次(主要为晚加里东一早海西期、海西末期-印支初期以后)、多性质(逆断裂、正断裂和走滑断裂)及多走向(EW 向、NEE 向及近 SN 向)的复杂断裂系统^[28, 35]。

收稿日期: 2012-11-06 编辑: 杨 勇

基金项目: 国家重大科技专项(2008ZX05004-003); 中国地质科学院地质研究所中央级公益性基本业务费专项基金项目(J1302); 中国石化股份有限公司科技开发部项目(YPH08110)

作者简介: 喻 顺(1982—), 男, 在博士后流动工作站主要从事油气成藏、资源评价及同位素热年代学研究。E-mail: yushun0722@gmail.com

通信作者: 柳广弟(1961—), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事石油地质和油气资源评价方面的教学与研究工作。E-mail: lgd@cup.edu.cn

(1) EW 向断裂 海西早期形成的 EW 向断裂具有规模大、延伸长、切割层深等特点,断开层位为奥陶系-三叠系。轮古东发育 EW 向桑塔木断裂、轮南断裂及 LN63 断裂等(图 1),控制了轮南和桑塔木断垒带的形成和发育。桑塔木北断裂垂向断距大,最大达 200 m,断开层位多,上至石炭系、三叠系,下至寒武系、震旦系;桑南断裂为桑北断裂的伴生断裂,断开层位相对少,上部断开石炭系,下部消失在奥陶系中,垂向断距最大达 150 m。

(2) 近 SN 向断裂 近 SN 向断裂主要形成于加里东晚期-海西末期,受区域性压扭剪切应力作用影响,倾向不定,主要表现为东倾,断开层位从寒武系至侏罗系,断距 20~100 m,在 LN631 井以东地区断距最大。

(3) NE、NW 向断裂 晚加里东-早海西期发育的 NE、NW 向断裂,剖面上表现为“地堑”或“地垒”,平面上具有“X”形共轭剪切断层特征,断距不大,仅断开奥陶系,分别发育在走滑断裂的东、西两侧。

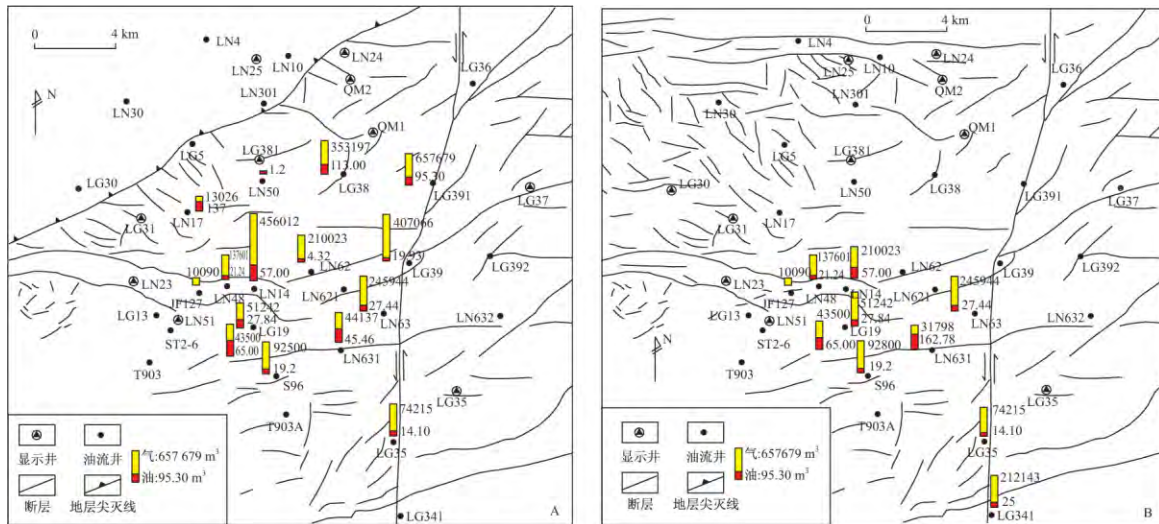


图 1 塔北隆起轮古东部奥陶系一间房组顶面构造图(A)和鹰山组顶面构造图(B)

Fig. 1 Structural map of Ordovician Yijianfang Formation(A) and Yingshan Formation(B) in eastern Lungu area, Tabei Uplift

2 断裂对碳酸盐岩储集层的改造作用

2.1 轮古东奥陶系碳酸盐岩储集层特征

塔北隆起轮古东有效储层主要发育在良里塔格组、一间房组和鹰山组顶部,岩性主要为泥微晶灰岩、泥微晶颗粒灰岩及亮晶颗粒灰岩。碳酸盐岩储集空间分为裂缝、孔洞和孔隙三大类型。孔隙是奥陶系储层普遍存在的储集空间,但分布相对局限,且多数孔隙间往往连通性较差,奥陶系基质孔隙度主要分布在 <1.5% 的区间(约占 80%),渗透率主要分布在小于 $0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ (约占 71%)的区间(图 2)。孔洞、洞穴、裂缝以及它们的组合,是奥陶系碳酸盐岩储层的主要储集空间(图 3-4)。

(1) 裂缝 轮古东主要发育构造缝、压溶缝及溶蚀缝等^[32, 36-37],是奥陶系油气有效的储集空间。
①构造缝既是较主要的储集空间,也是最主要的通道,为区内最主要和有效的裂缝类型。构造缝以小缝(<0.1 mm)和中缝(0.1~1 mm)为主,大缝(>1 mm)不发育,且裂缝主要以高角度的立缝(>70°)和斜缝(5°~70°)为主,平缝(<5°)也有一定程度的发育,一般为方解石半充填或无充填(图 3-a),也

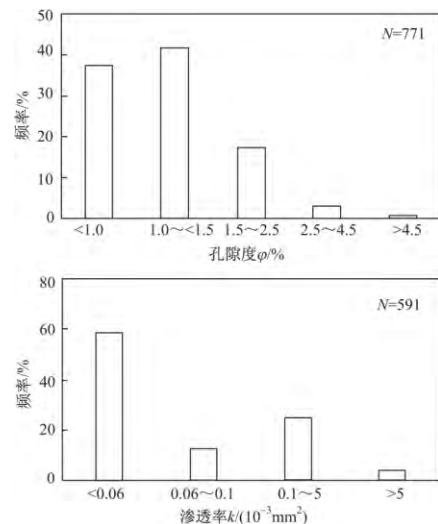
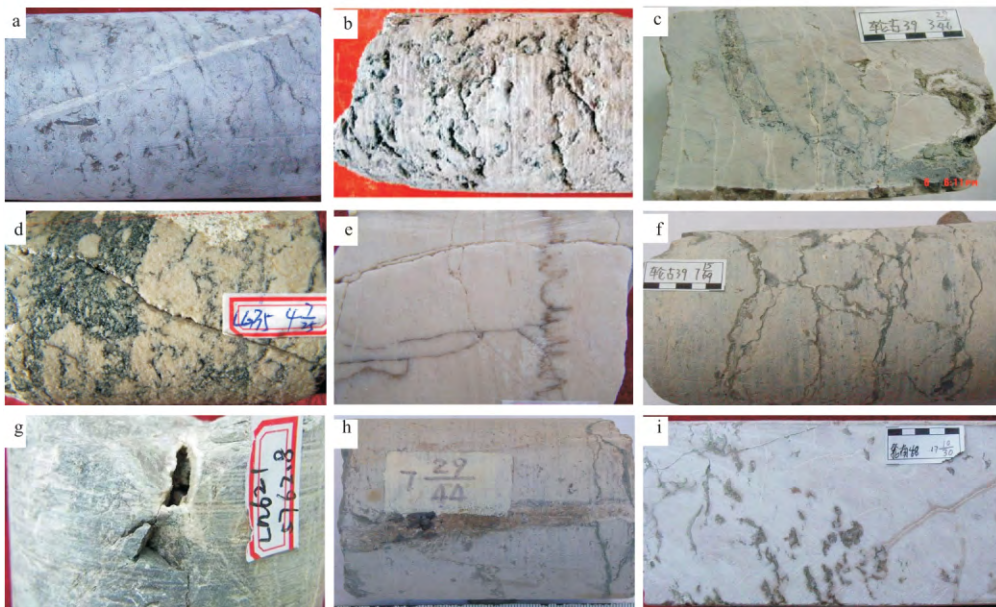


图 2 塔北隆起轮古东奥陶系岩心孔隙度、渗透率分布频率图
Fig. 2 Porosity and permeability frequency histogram of Ordovician reservoir in eastern Lungu area, Tabei Uplift

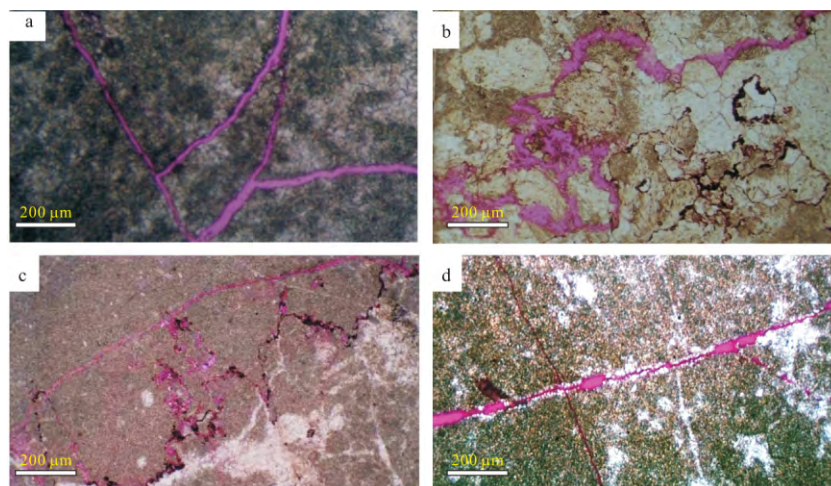
被沥青充填(图 3-d)。多期构造缝交织分布,存在早期裂缝被晚期裂缝切割的现象(图 4-a)。②压溶缝,即缝合线,是由成岩压实、压溶作用形成的一种成岩缝,产状多数与层面平行(图 3-e),呈锯齿状,也有少



a. LN48 井 5 476.7 m 井段, $O_{2,yj}$ 裂缝、孔洞发育, 见一条缝宽 3 mm 垂直缝均为方解石全充填, 偶见荧光显示; b. LG391 井 5 803.5 m 井段, $O_{3,l}$ 发育溶蚀强烈的缝洞; c. LG39 井 5 693.5 m 井段, $O_{3,l}$ 发育多组裂缝, 裂缝被充填, 后期被溶蚀, 荧光显示; d. LG35 井 5 167.5 m 井段, $O_{2,yj}$ 高角度构造缝, 充填沥青; e. LG36 井, 5 956.5 m 井段, $O_{2,yj}$ 早期(深色)、后期(浅色)高角度构造缝切割缝合线; f. LG39 井 5 813.4 m 井段, $O_{2,yj}$ 裂缝呈网状发育, 不同期次的裂缝相互切割, 荧光显示; g. LG621 井 5 762.8 m, $O_{2,yj}$ 裂缝溶蚀孔洞; h. S96 井 5 683.2 m 井段, $O_{2,yj}$ 浅灰色砂屑微晶灰岩, 裂隙发育, 被方解石充填, 后期又被溶蚀, 有残余油迹; i. LN48 井 5 333.6 m 井段, $O_{3,l}$ 微缝较发育, 见荧光显示, 微斜裂缝缝面见少许泥质及荧光显示; 垂直半张开裂缝的缝面见方解石及油斑显示

图 3 塔北隆起轮古东奥陶系岩心照片

Fig. 3 Core photos of Ordovician reservoir in eastern Lungu area, Tabei Uplift



a. LG391 5 810.44 m 井段, $O_{3,l}$ 泥粉晶颗粒灰岩, 构造裂缝交织分布, 红色铸体; b. LN621, 5 777.93 m 井段, $O_{2,yj}$ 亮晶颗粒灰岩, 压溶和溶蚀缝, 红色铸体; c. LN631 5 969.82 m 井段, $O_{1,y}$ 泥晶灰岩, 缝合线局部见小孔, 红色铸体; d. LN48 5 548 m 井段, $O_{1,y}$ 溶蚀缝, 红色铸体

图 4 轮古东奥陶系碳酸盐岩储层铸体薄片

Fig. 4 Cast thin sections of Ordovician carbonate in eastern Lungu area, Tabei Uplift

量垂直、斜交缝合线, 部分缝合线被方解石、泥质或沥青不同程度的充填, 部分缝合线存在有效储集空

间, 荧光薄片资料显示部分缝合线呈较强的荧光显示。③溶蚀缝, 主要是由地表水和地下水沿着早期

的裂缝系统产生溶蚀扩大(图3-b;图4-b,d),裂缝十分发育,缝宽一般大于1 mm,表现为破裂面的不规则溶蚀扩大,沿破裂面壁上生长透明或白色晶形完好的粒状方解石晶体或晶簇。

(2) 孔洞 轮古东奥陶系碳酸盐岩储层溶蚀孔洞较发育,主要分布在距不整合面150 m内,成层状分布;一般以小洞(<5 mm)和中洞(5~10 mm)为主,大于10 mm的大洞较少。

由于轮古东奥陶系裂缝较为发育,其主要储层类型为裂缝型和裂缝-孔洞型。平面上各种类型的裂缝和孔洞以及它们的组合形成大面积分布的网状储集空间,纵向上各种类型裂缝和孔洞储层互相叠置成层状分布。

2.2 断裂对储层的影响

(1) 断裂的发育控制了裂缝的发育程度 断裂活动促使断裂带附近的脆性碳酸盐岩内部形成破碎带及裂缝发育区^[38]。断裂带附近裂缝较为发育,裂缝多开启,渗流性好,有效地改善了碳酸盐岩储集空间和储集性能。裂缝的分布一般受断裂活动规模、期次等影响^[25,39-40],不同性质的断裂对裂缝发育的控制作用不同,轮古东断裂带两侧均有大量的裂缝发育,特别是沿着走滑断裂带两侧及断裂交叉部位构造缝更为发育^[41],如LG39、LN631井地区走滑断裂距相对较大,构造缝发育程度远高于相邻区域,表明了构造缝发育与断裂距具有相关性。受加里东-海西期构造运动影响,轮古东构造缝主要发育NEE向和NNW向2组裂缝,其中NEE走向的裂缝最为发育,裂缝走向与断层走向(EW向和NW向)接近,亦表明了裂缝受断裂控制。

(2) 断裂和裂缝与孔洞的发育关系密切 断裂及伴生的裂缝是碳酸盐岩重要的储集空间及渗滤通道,是影响岩溶发育的主要因素之一^[42]。断裂形成的次生断裂、裂缝或断裂破碎带控制和促进了岩溶作用的发生^[38,43],与断裂伴生的裂缝增加了岩石与地表水系统和地下水的接触面积及机率,同时使岩石的抗变形能力大大降低,有利于后期溶蚀继续发育;特别是延伸到地表的断裂与大气降水沟通,使断裂带附近碳酸盐岩岩溶作用加强、岩溶深度加大。轮古东碳酸盐岩沿断裂延伸的方向,溶蚀孔洞较为发育,尤其沿早期的大型断裂及裂缝带,溶蚀作用更为明显,大部分裂缝经溶蚀扩张后形成缝洞系统(图3-b,4-b),断裂和裂缝的发育增加了溶蚀孔洞发育的深度和广度。

吕修祥等^[40,44]认为碳酸盐岩储集层的发育受断裂活动的影响,其范围与断裂规模、活动强度等因素有关,平面上有效储层一般分布在距主干断裂10 km以内,高孔渗带一般距主干断裂不超过2 km。统

计轮古东奥陶系鹰山组孔洞孔隙度与距断裂距离的关系表明,储层孔洞孔隙度及其发育频率在断裂附近较高(图5),且在距断裂带附近2 km孔洞更为发育;微观上孔洞发育密度与高角度裂缝密度也呈有规律的变化,即高角度裂缝越发育则孔洞越发育(图6),如LG39井是多条断裂和微裂缝的交会区,裂缝及孔洞最为发育,这种现象通过岩心及铸体薄片观察也可印证,即岩心上可见明显的裂缝扩溶现象(图3-g,h;4-c),如LN48井发育垂直张开中缝,裂缝线密度平均3条/m,缝面具溶蚀现象,可见少许方解石,沿裂缝发育少量溶孔(图3-i)^[36]。

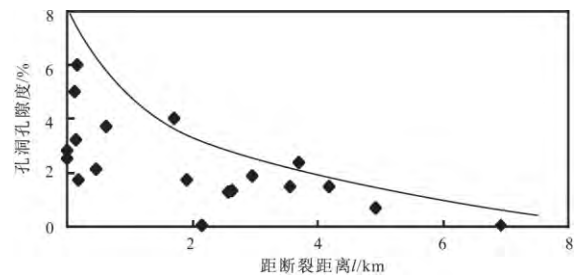


图5 轮古东奥陶系鹰山组孔洞孔隙度与距断裂距离关系
Fig. 5 Relationship between faults and vug porosity of Ordovician in eastern Lungu area, Tabei Uplift

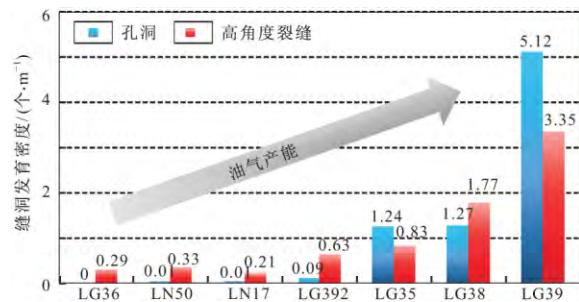


图6 轮古东奥陶系岩心高角度裂缝、孔洞密度统计
Fig. 6 Statistical graph of high angle fracture and cavity development in Ordovician cores, eastern Lungu area

多期断裂导致了多期裂缝的发育,多期不同产状的裂缝相互交切形成网状裂缝(图3-f;4-a),特别是挤压应力形成的“X”型剪切裂缝在纵向和横向上相互连通,明显改善了其储集性能,从而使储集层纵向上呈准层状、平面上连片分布。同时,由于缝洞体沿着断裂带发育,使碳酸盐岩储集层呈现出分区带特征,也形成了高产油气富集区,如LN63、LG39等井区(图1)。

3 断裂控制奥陶系碳酸盐岩油气的富集

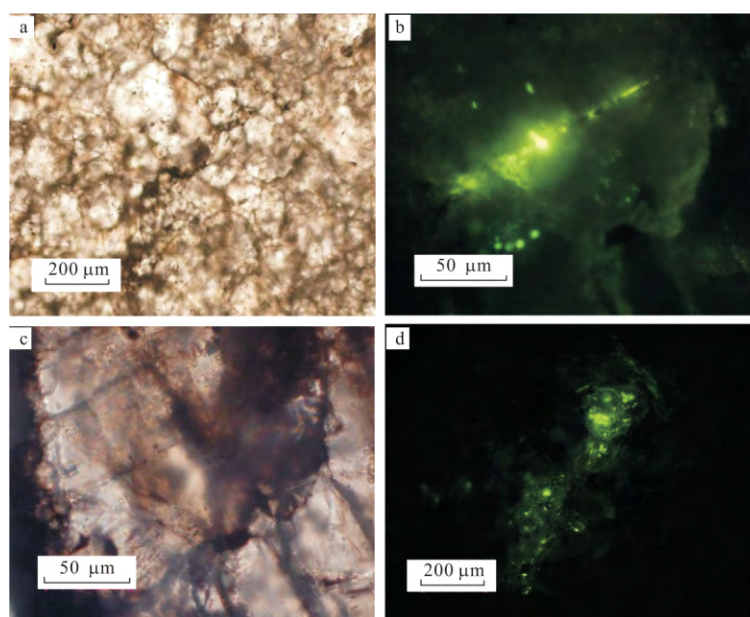
3.1 断裂体系为碳酸盐岩油气运移通道

断裂带、区域不整合面及岩溶缝洞层构成了轮

古东奥陶系网状输导系统,为油气大规模的运移、聚集提供了有利的通道^[3,5,28]。轮古东发育的EW向及SN向的断裂都断至中下寒武统烃源层^[28],为油气垂向运移的有效通道,特别是SN向的走滑断裂为晚期天然气的运移提供了有利的通道,其主要表现在平面上和垂向上气油比、天然气产能及相态变化受断裂控制明显。平面上,SN向走滑断裂以西天然气产能远高于断裂以东(图1),也是由于断裂以西处于上倾方向,以东则为下倾方向,天然气主要沿走滑断裂运移聚集;未饱和气藏主要分布在断裂附近(轮东走滑断裂和桑塔木断垒带),反映了后期(喜山期)天然气沿断裂充注特征。纵向上,SN向断裂附近气油比及天然气相态都呈有规律的变化,如SN向断裂一侧的LG391井,气油比自一间房组($3\ 755\ \text{m}^3/\text{m}^3$)、良里塔格组($4\ 009\ \text{m}^3/\text{m}^3$)到桑塔木组($6\ 394\ \text{m}^3/\text{m}^3$)逐渐增大,且油气相态也发生变化,

一间房组及良里塔格组为饱和气藏,桑塔木组为未饱和气藏,反映了天然气沿断裂向上运移的特征。

伴随断裂体系发育的构造裂缝沟通了碳酸盐岩孔洞,形成了网络状输导系统,为碳酸盐岩油气充注提供了有利条件。轮古东奥陶系碳酸盐岩发育大量的缝洞,包括被泥质及方解石等充填物充填及未被充填的缝洞,钻井岩心显示未被充填的缝洞中含烃类(图3-h,i)表明裂缝是油气有效的运移通道;而一些被充填的缝洞,也可作为有利于油气运移的通道,如S96井裂缝早期被方解石充填,后期又被溶蚀,发育的溶蚀孔洞成为油气有效的运移通道(图3-h)。另外,部分缝洞被方解石完全充填且肉眼观察不到有油气运移的迹象,通过荧光照射薄片观察发现,方解石中捕获了大量烃类包裹体(图7)^[45],表明方解石充填发生之前,开放的缝洞体曾经是油气运移的通道,对油气输导起到过一定的作用。



a, b. LN17井5580.7 m井段, O_{2y1} 浅灰褐色粉晶灰岩岩心薄片的偏光照片和荧光照片,镜下观察见微裂缝内烃类包裹体; c, d. LN17井5658.6 m井段, O_{1y} 浅褐灰色灰岩岩心薄片的偏光照片和荧光照片,镜下观察见溶洞内烃类包裹体

图7 LN17井岩心薄片镜下照片

Fig. 7 Microscopic core thin-section photos of Well Ln17 in eastern Lungu area, Tabei Uplift

3.2 断裂体系破坏奥陶系油气藏

轮南早期断裂较发育,断开层位多,油气以垂向运移为主,早期断裂晚期又开始活动,使寒武系烃源岩和古油藏沿大断裂依次运移到上部的奥陶系、石炭系、三叠系及侏罗系储层成藏,这种现象已被原油中含氮化合物示踪、油气充注过程分析、天然气地球化学分析、生物标志化合物研究等充分证实^[28,46]。轮古东地区奥陶系原油中含氮化合物的绝对浓度高于石炭系原油,表明了奥陶系油藏遭到断层破坏,油气沿断层向上运移到了石炭系^[28]。轮古东LN631断裂

为高角度的逆断裂,垂向断距均超过100 m,该断裂形成于加里东期,后期持续活动,造成了LN631井原油密度(约 $0.86\ \text{g}/\text{cm}^3$)远高于其周围井(如LG39井约 $0.83\ \text{g}/\text{cm}^3$)等,气油比也远低于周围井(图1),分析其原因为受LN631断裂的影响天然气散失所致(图8)。

3.3 断裂体系控制油气藏富集部位及程度

(1) 断裂控制奥陶系优质储层的发育,从而控制了碳酸盐岩油气富集程度。研究表明缝洞系统的发育程度及其连通性控制碳酸盐岩油气富集程度^[47],

密集发育的裂缝及小断层沟通溶洞形成油气富集区，轮古东工业油气流井主要分布在裂缝发育地区^[32]。断裂控制了轮古东奥陶系碳酸盐岩缝洞的发育程度，从而控制了油气高产富集区的形成。轮古东高角度裂缝、孔洞及油气产能关系表明距断裂越近高角度裂缝及孔洞越发育，碳酸盐岩的油气产能也越

高(图6,从LG36井到LG39井)。在远离断裂发育的部位,裂缝不发育,油气聚集效率低,如LG37井远离断层,仅发育少量裂缝且裂缝被黑色的沥青填充(图9),即使奥陶系储层孔洞较发育,但由于储层不连通或连通性差,渗透率较小(图10),导致钻井失利。

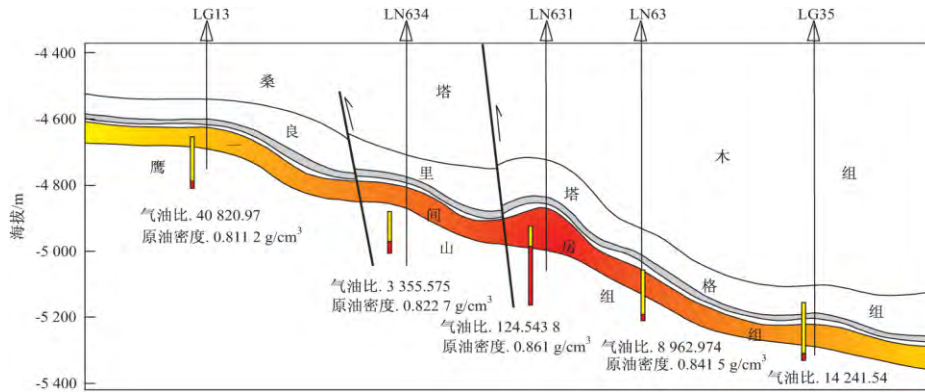


图8 轮古东油藏剖面图

Fig. 8 Hydrocarbon reservoir profile of Ordovician in eastern Lungu area, Tabei Uplift



a. 良里塔格组溶洞充填砾屑、砂屑(6 219.22 m 井段); b. 良里塔格组裂缝被黑色沥青充填(6 214.52 m 井段)

图9 轮古东 LG37 井奥陶系良里塔格组岩心照片

Fig. 9 Core photographs of well LG37 in Ordovician Lianglitage Formation in eastern Lungu area

(2) 油气沿断裂多期充注,断裂的发育决定了油气分布。深大断裂是油气纵向上的运移通道,有效地沟通了垂向上缝洞体储层^[27-28]。断裂的差异性控

制了碳酸盐岩储集体孔洞、洞穴、裂缝空间组合的多样性及差异性,使碳酸盐岩层系油气分布呈现非均质性及复杂性。轮古东油气沿断裂多期充注进入奥陶系碳酸盐岩储层^[5],由于碳酸盐岩储层横向连通性差,在断裂附近油气产量高,远离断裂油气产量低(图1),如LN631井位于断裂附近日产油208 m³,产气7.593 5 × 10⁴ m³;LG39井位于走滑断裂共轭交叉点,日产油56 m³,产气117.5 × 10⁴ m³,而LG632井因远离大断裂,钻井失利。特别是持续发育的走滑断层附近是油气聚集成藏最有效、富集度最高的区域^[22, 48],油气沿走滑断裂多期充注,促使纵向上呈现多层系含油气的特征。在鹰山组、一间房组、良里塔格组均有油气产出,平面上具有分区的特征。鹰山组在走滑断裂以西赋存油藏,走滑断裂以东赋存气藏,一间房组和良里塔格组在轮古东地区整体赋存凝析气藏^[35]。

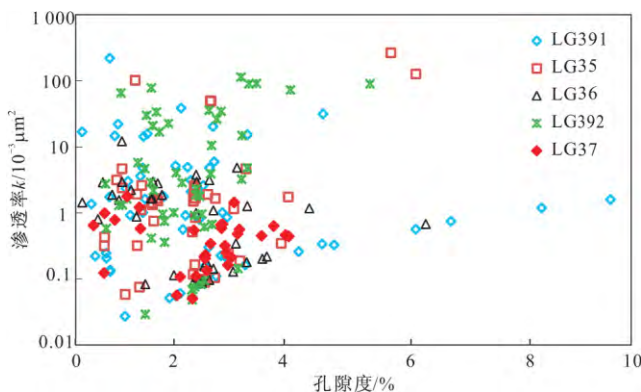


图10 塔北隆起轮古东部地区奥陶系孔隙度与渗透率交会图

Fig. 10 Cross plot of porosity and permeability in Ordovician in eastern Lungu area

4 结 语

海相碳酸盐岩基质孔隙度不发育, 孔洞缝及其组合为主要储集空间, 断裂及伴生的裂缝有效地改造了碳酸盐岩储集层。断裂及其断裂带附近次生断裂、裂缝或断裂破碎带控制和促进了碳酸盐岩岩溶作用的发生, 沿断裂延伸的方向, 溶蚀孔洞较为发育, 在距断裂带附近 2 km 内易形成高渗透带, 高角度裂缝对碳酸盐岩孔洞的形成更为有效。多期断裂及多期裂缝的发育改善了储集性能, 缝洞体沿着断裂带发育, 纵向上呈准层状、平面上呈分区分带的特征。

断裂是油气垂向运移的有效通道, 控制平面上和垂向上天然气的成熟度、气油比及相态等, 断裂分布的差异性不仅控制着碳酸盐岩储集体的孔、洞、缝空间组合的多样性和差异性, 也控制了油气富集的非均质性。断裂附近高角度裂缝及孔洞较发育, 油气产能较高, 在远离断裂部位油气的聚集效率低, 特别是持续发育的走滑断层附近是油气聚集最有效和富集度最高的区域。

轮古东奥陶系断裂控制着碳酸盐岩油气富集仅为塔里木盆地诸多实例中的一个, 围绕着断裂带附近既是碳酸盐岩油气最为有效的富集区, 也是碳酸盐岩油气勘探有利区, 这对塔里木盆地其他地区碳酸盐岩油气勘探具有较好的指导和借鉴意义。

参考文献:

- [1] 金之钧, 蔡立国. 中国海相层系油气地质理论的继承与创新[J]. 地质学报, 2007, 81(8): 1017-1024.
- [2] 康玉柱. 中国古生代海相大油气田形成条件及勘探方向[J]. 新疆石油地质, 2007, 28(3): 263-265.
- [3] 丁勇, 彭守涛, 李会军. 塔河油田及塔北碳酸盐岩油藏特征与成藏主控因素[J]. 石油实验地质, 2011, 33(5): 488-494.
- [4] 杨海军, 韩剑发. 塔里木盆地轮南复式油气聚集区成藏特点与主控因素[J]. 中国科学: D 辑, 2007, 37(增刊 2): 53-62.
- [5] 赵文智, 朱光有, 苏劲, 等. 中国海相油气多期充注与成藏聚集模式研究: 以塔里木盆地轮古东地区为例[J]. 岩石学报, 2012, 28(3): 709-721.
- [6] Bastesen E, Braathen A, Nøttveit H, et al. Extensional fault cores in micritic carbonate: Case studies from the Gulf of Corinth, Greece[J]. Journal of Structural Geology, 2009, 31(4): 403-420.
- [7] Braathen A, Tveranger J, Fossen H, et al. Fault facies and its application to sandstone reservoirs[J]. AAPG Bulletin, 2009, 93(7): 891-917.
- [8] Wibberley C A J, Shimamoto T. Internal structure and permeability of major strike-slip fault zones: The Median tectonic line in Mie Prefecture, Southwest Japan[J]. Journal of Structural Geology, 2003, 25(1): 59-78.
- [9] Boles J R, Eichhubl P, Garven G, et al. Evolution of a hydrocarbon migration pathway along basin-bounding faults: Evidence from fault cement[J]. AAPG Bulletin, 2004, 88(7): 947-970.
- [10] Zhang C, Xie X, Jiang T, et al. Hydrocarbon migration and accumulation along a long-term growth fault: Example from the BZ25-1 oil-

- field of Bohai Basin, eastern China[J]. Journal of Geochemical Exploration, 2006, 89(1): 460-464.
- [11] Aydin A. Fractures, faults, and hydrocarbon entrapment, migration and flow[J]. Marine and Petroleum Geology, 2000, 17(7): 797-814.
- [12] Childs C, Sylta Ø, Moriya S, et al. Calibrating fault seal using a hydrocarbon migration model of the Oseberg Syd area, Viking Graben[J]. Marine and Petroleum Geology, 2009, 26(6): 764-774.
- [13] Wall B R G, Girbacea R, Mesonjesi A, et al. Evolution of fracture and fault-controlled fluid pathways in carbonates of the Albanides fold-thrust belt[J]. AAPG Bulletin, 2006, 90(8): 1227-1249.
- [14] Hustoft S, Mienert J, Büntz S, et al. High-resolution 3D-seismic data indicate focussed fluid migration pathways above polygonal fault systems of the mid-Norwegian margin[J]. Marine Geology, 2007, 245(1): 89-106.
- [15] Cao J, Jin Z, Hu W, et al. Improved understanding of petroleum migration history in the Hongche fault zone, northwestern Junggar Basin (northwest China): Constrained by vein-calcite fluid inclusions and trace elements[J]. Marine and Petroleum Geology, 2010, 27(1): 61-68.
- [16] Fengjun N, Sitian L, Hua W, et al. Lateral migration pathways of petroleum in the Zhu III subbasin, Pearl River Mouth basin, South China Sea[J]. Marine and Petroleum Geology, 2001, 18(5): 561-575.
- [17] Duggan J P, Mountjoy E W, Stasiuk L D. Fault-controlled dolomitization at Swan Hills Simonette Oilfield (Devonian), deep basin west-central Alberta, Canada[J]. Sedimentology, 2001, 48(2): 301-323.
- [18] 白忠凯, 吕修祥, 于红枫, 等. 塔中地区下古生界碳酸盐岩输导体系特征及成藏意义[J]. 地质科技情报, 2011, 30(5): 60-68.
- [19] Green D G, Mountjoy E W. Fault and conduit controlled burial dolomitization of the Devonian west-central Alberta Deep Basin[J]. Bulletin of Canadian Petroleum Geology, 2005, 53(2): 101-129.
- [20] Bussolotto M, Benedicto A, Invernizzi C, et al. Deformation features within an active normal fault zone in carbonate rocks: The Gubbio fault (Central Apennines, Italy)[J]. Journal of Structural Geology, 2007, 29(12): 2017-2037.
- [21] 康玉柱. 中国古生代碳酸盐岩古岩溶储集特征与油气分布[J]. 天然气工业, 2008, 28(6): 1-12.
- [22] 张艳萍, 杨海军, 吕修祥, 等. 塔中北斜坡中部走滑断裂对油气成藏的控制[J]. 新疆石油地质, 2011, 32(4): 342-344.
- [23] 罗春树, 杨海军, 李江海, 等. 塔中奥陶系优质储集层特征及断裂控制作用[J]. 石油勘探与开发, 2011, 38(6): 716-724.
- [24] 焦伟伟, 吕修祥, 周园园, 等. 塔里木盆地塔中地区奥陶系碳酸盐岩储层主控因素[J]. 石油与天然气地质, 2011, 32(2): 199-206.
- [25] 邬光辉. 塔里木盆地走滑带碳酸盐岩断裂相特征及其与油气关系[J]. 地质学报, 2012, 86(2): 219-227.
- [26] 吕修祥, 周新源, 李建安, 等. 塔里木盆地塔北隆起碳酸盐岩油气成藏特点[J]. 地质学报, 2007, 81(8): 1057-1064.
- [27] 邬光辉, 杨海军, 屈泰来, 等. 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.
- [28] 杨海军, 郝芳, 韩剑发, 等. 塔里木盆地轮南低凸起断裂系统与复式油气聚集[J]. 地质科学, 2007, 42(4): 795-811.
- [29] 彭守涛, 何治亮, 丁勇, 等. 塔河油田托甫台地区奥陶系一间房组碳酸盐岩储层特征及主控因素[J]. 石油实验地质, 2010, 32(2): 108-114.

- [30] 倪新锋,张丽娟,沈安江,等.塔北地区奥陶系碳酸盐岩古岩溶类型、期次及叠合关系[J].中国地质,2009,26(6):1312-1321.
- [31] 钟广法,惠冠军,杨海军,等.塔里木盆地轮古东地区奥陶系古溶洞的成像测井预测[J].天然气工业,2009,29(10):24-27.
- [32] 王伟力,刘洛夫,陈利新,等.塔里木盆地轮古东地区奥陶系碳酸盐岩储集层发育控制因素及有利区带预测[J].古地理学报,2010,12(1):107-115.
- [33] 胡剑风,蔡振忠,马青,等.塔里木盆地轮古东奥陶系碳酸盐岩储层特征与主控因素[J].石油与天然气地质,2007,28(6):776-783.
- [34] 刘静江,李梅,刘慧荣,等.塔里木盆地轮古东奥陶系凝析气藏成因类型[J].新疆石油地质,2006,27(2):181-183.
- [35] 王福焕,王振宇,张云峰,等.轮古东奥陶系断裂特征及其对油气成藏的控制[J].中国石油勘探,2011(1):15-20.
- [36] 杨宁,吕修祥,潘文庆.轮南潜山奥陶系碳酸盐岩储层裂缝发育特征[J].西安石油大学学报:自然科学版,2004,19(4):40-42.
- [37] 顾乔元.塔里木盆地轮南地区奥陶系潜山含油气性研究[D].成都:成都理工大学,2002.
- [38] 吕修祥,杨宁,周新源,等.塔里木盆地断裂活动对奥陶系碳酸盐岩储层的影响[J].中国科学:D辑,2008,38(增刊1):48-54.
- [39] 武芳芳,朱光有,张水昌,等.塔里木盆地油气输导体系及对油气成藏的控制作用[J].石油学报,2009,30(3):332-341.
- [40] 吕修祥,张艳萍,焦伟伟,等.断裂活动对塔中地区鹰山组碳酸盐岩储集层的影响[J].新疆石油地质,2011,32(3):244-249.
- [41] 苏培东,黄润秋,邓辉,等.塔里木盆地奥陶系储层裂缝特征及发育影响因素[J].天然气工业,2008,28(6):56-58.
- [42] 陶云光.轮古西地区奥陶系碳酸盐岩储层特征研究[J].天然气工业,2007,27(2):20-22.
- [43] 倪新锋,杨海军,沈安江,等.塔北地区奥陶系灰岩段裂缝特征及其对岩溶储层的控制[J].石油学报,2010,31(6):933-940.
- [44] 吕修祥,李建交,汪伟光.海相碳酸盐岩储集层对断裂活动的响应[J].地质科技情报,2009,28(3):1-6.
- [45] 杨宁.塔里木盆地轮南-塔河地区碳酸盐岩油气成藏体系研究[D].北京:中国石油大学,2008.
- [46] 何君,韩剑发,潘文庆.轮南古隆起奥陶系潜山油气成藏机理[J].石油学报,2007,28(2):44-48.
- [47] 吕修祥,金之钧,周新源,等.塔里木盆地轮南地区奥陶系碳酸盐岩油气富集特点[J].科学通报,2004,49(增刊1):54-58.
- [48] 苏劲,张水昌,杨海军,等.断裂系统对碳酸盐岩有效储层的控制及其成藏规律[J].石油学报,2010,31(2):196-203.

Controlling Effects of Fault System on Marine Ordovician Carbonate Hydrocarbon Enrichment in Eastern Lungu Area ,Tabei Uplift

Yu Shun^{1a,1b,2}, Liu Guangdi², Sun Mingliang², Ma Xun³

(1a. Laboratory of Isotope Thermochronology; 1b. National Key Laboratory of Continental Structure and Dynamics, Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 2. College of Geosciences, China University of Petroleum, Beijing 102249, China; 3. Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Zhongyuan Oilfield Company, SINOPEC, Puyang Henan 457001, China)

Abstract: The effects of fault activity on Ordovician carbonate reservoir and the relationship between faults and hydrocarbon enrichment were studied based on data of cores, well logging, oil production test and cast thin sections, which has practical significance for exploration of oil and gas in marine carbonate rocks. The dissolved pores and caves, fractures constituted the main reservoir spaces with low matrix porosity in Ordovician carbonate reservoir in the eastern Lungu area. Faults and associated fractures improved the carbonate reservoir quality. Fracture and shattered zone related to the fault activity played favorable roles on carbonate karstification, and the development of vug in carbonate reservoir is more developed near the faults. It was easy to form a high porosity-permeability zone in 2 km far from the main faults. The high angle fracture was more effective on the formation of fractured-vuggy reservoir. Faults with SN and EW strike were the effective vertical migration pathways for oil and gas, which controlled the variation of the gas/oil ratio, gas production capacity and phase state in vertical and plane. It was not only the distribution of pores and caves, fractures in carbonate but also the heterogeneity of hydrocarbon enrichment is controlled by faults. The oil and gas production capacity was higher near the faults because of the development of high angle fracture, pores and caves, while it was lower efficient for oil and gas accumulation far from the faults. It was the most favorable areas of oil and gas accumulation near long-term active strike-slip faults. Therefore, in the eastern Lungu area, the faults made oil and gas pool in thin layers of carbonate reservoir in vertical and zoned distribution in the plane.

Key words: Tabei Uplift; eastern Lungu area; Ordovician; carbonate; fault; hydrocarbon enrichment