

塔里木盆地孔雀河地区断层研究 及其控油意义

邓广君, 赵锡奎, 张小兵

(成都理工大学 能源学院, 成都 600059)

摘 要: 根据塔里木孔雀河地区的大地构造演化, 分析了断层的分布特征、局部构造与断裂演化的关系、断裂对于油气分布的作用, 认为断裂的形成和发育主要受到大地构造的控制, 油气的分布和运移和断裂密切相关, 并且断裂控制了圈闭的有效性, 总结了断裂和油气的关系。

关键词: 构造演化; 断裂特征; 封堵性研究; 控油

中图分类号: P613; P618.13 文献标识码: A 文章编号: 1001-1412(2005)01-0047-06

塔里木盆地是一个古生代地台与中生代盆地叠合而成的大型盆地, 在漫长的地质演化过程中, 各地质时期的构造格局表现出较大的差异。孔雀河斜坡位于北部拗陷东北边缘, 是库鲁克塔格隆起西南部与拗陷过渡的一个斜坡, 走向为 NW 转 EW 向, 向西往满加尔凹陷呈凸出的弧形^[1]。由于海西期—印支期受库鲁克塔格的影响, 呈区域抬升, 古生界长期受到侵蚀, 缺失整个上古生界, 下古生界也有部分缺失, 高部位的群克地区缺失志留系。中生代早期的三叠纪, 仅在铁干力克—阿拉干一带有局部沉积。侏罗系—白垩系, 由拗陷向隆起方向呈超覆沉积。新生代已成为向西南凸出的鼻状斜坡, 表明孔雀河斜坡是晚海西期—印支期以来的斜坡。在靠近隆起边缘的斜坡地带, 断裂及局部构造发育, 主要为断背斜类型; 在接近凹陷的边缘地带, 目前发现的是以上古生界为主的背斜构造, 以及上古生代地层的上倾剥蚀, 形成地层不整合圈闭。

1 区域构造演化

1.1 早奥陶世被动大陆边缘盆地阶段

塔里木古陆块北缘从寒武纪到中奥陶世处于被动大陆边缘背景下, 孔雀河斜坡当时是在震旦纪的库鲁克塔格裂陷槽发育的背景下, 形成的塔里木北缘满加尔斜坡—台盆相区的一部分, 在张性断裂的控制下, 发育被动大陆边缘盆地的深水碳酸盐岩—硅

质岩沉积。(图 1)

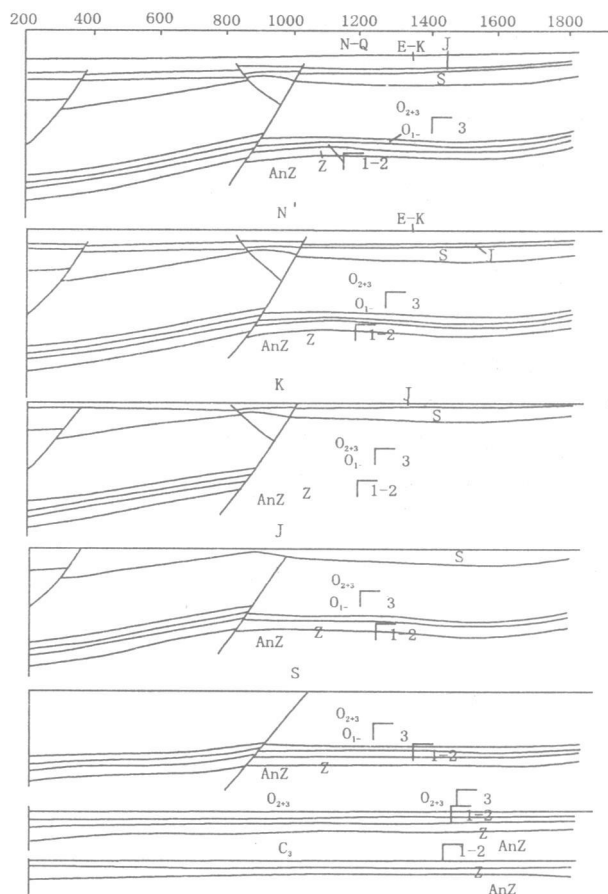


图 1 孔雀河地区构造演化图

Fig. 1 Tectonic evolution map of the Kongquehe area

1.2 中晚奥陶纪陆块会聚背景下的隆升阶段

自晚奥陶世以来,古亚洲洋开始向北俯冲,大洋缩合,塔北边缘地区由于挠曲作用派生出挤压应力场,导致塔里木古陆块边缘乃至塔中地区发生不同程度的隆升,早期的张性正断层转化为逆冲断层或新生逆冲断裂。孔雀河地区主要表现为受逆冲断裂影响的北部基底逆冲旋转断块的发育。

1.3 志留纪-泥盆纪陆块边缘拗陷-陆内拗陷盆地发育阶段

由于古亚洲洋的持续关闭,塔里木古陆块北缘在志留-泥盆纪发育了库鲁克塔格隆起,此时的塔里木古陆块北西部发育了陆源碎屑岩沉积为主的边缘拗陷型盆地,但它已经与陆内拗陷盆地连通。海西早期运动导致主干断裂如巴里英断裂、普惠断裂、包头湖断裂等明显逆冲,孔雀河斜坡相邻的库尔勒鼻凸明显抬升,与满加尔凹陷形成明显的分割。

1.4 石炭纪陆块边缘拗陷-陆内拗陷盆地发育,晚海西期强烈隆升剥蚀阶段

石炭纪塔里木古陆块北西部发育与南天山陆缘盆地连通的陆内拗陷盆地,孔雀河斜坡及其邻区在继承泥盆纪的整体构造格局背景下,由于南部隆升使得草湖凹陷与满加尔凹陷形成分割,孔雀河斜坡已经处于隆升状态,只有草湖拗陷发育了陆块边缘的局部沉积。

海西晚期运动,天山构造域的造山作用启动。塔里木古陆块遭受了古生代以来最为壮观的隆升、断褶和剥蚀作用,导致孔雀河地区和相邻的库鲁克塔格鼻凸、草湖凹陷不同程度缺失石炭系和二叠系,逆冲断层发育形成对冲断块、断弯褶皱和部分断层传播褶皱。

1.5 中生代前陆盆地发育阶段

印支期以来,造山带的隆升和前山带的逆冲断裂作用,导致山前岩石圈挠曲沉降,形成库车前陆盆地,开始了塔里木北拗陷区南升北降的构造转化,三叠纪的满加尔凹陷、草湖凹陷属于前陆盆地的一部分,而孔雀河斜坡仍然处于隆升剥蚀状态。侏罗纪-白垩纪,由于天山造山带的不断扩展,前陆盆地范围扩大,孔雀河斜坡及其邻区普遍沉降,接受了湖泊、河流相沉积,部分先存断裂继承活动但幅度不大。

1.6 新生代统一陆内拗陷盆地发育阶段

新生代以来,由于喜马拉雅造山运动的影响,昆仑山的大规模崛起与天山造山作用相呼应,导致中新生代的北部库车前陆盆地和南部塔西南前陆盆地相

向扩展,塔里木盆地整体被动沉降,接受了巨厚的新生代陆相沉积,天山造山带前山带逆冲断褶作用显著,向盆地内部逐渐减弱,孔雀河斜坡地区以整体沉降为主。因此,新生代的演化是埋藏为主,对早期的构造格局改造程度不大。

2 断裂基本特征

孔雀河地区断裂主要受上述的大地构造背景控制,有3组断裂方向,2个边界断层和5条主断裂,平面上东西分块,南北分带,断裂相互切割交错,导致构造复杂化^[2]。区内的断裂体系主要是由NW向,近EW向和NNE向断裂组成(图2),3组断裂平面上具有分区发育的特点: NW向断裂具有平面延伸距离远,北西部断距大,向东南断距减小的特点;近EW向断裂具有断面N倾,断距较小的特点。NE-NNE向断裂主要具有平面延伸较短,垂直断距较小的特点。

2.1 孔雀河断裂

孔雀河断裂位于孔雀河斜坡上,断裂呈NW走向,在开屏转为EW向,倾向NE。该断层在区内长约238 km。在地震剖面上表现为同沉积断层的特点,早奥陶世为正断层,后期为逆断层,并控制着古生界,侏罗系的分布。根据地震资料分析,该断裂具有多期活动的特点,早、中侏罗世是其主要的发育期,白垩纪时期活动较弱,白垩纪末期整体抬升为主,致使白垩系在山前削蚀已尽,其后新生界覆盖其上,新生代晚期,该构造再次活动。

2.2 开屏1号断裂

该断裂位于维马克-开屏构造带的南翼,呈NEE向展布,倾向NNW,延伸长度约62 km,断开层位上至侏罗系下至寒武系,是孔雀河断裂的派生断裂,形成于加里东期末,但断距不大,主要表现为逆断层活动,主要活动时期可能为海西-印支期,燕山期再次活动,它控制了维马克、开屏背斜构造带的形成(图3)。

2.3 维马克1号断裂

该断裂横切维马克2号背斜,走向NW,倾向NE,区内延伸约42 km。它形成于海西期,逆冲强烈,印支、燕山期多次活动,导致中生界最大垂直断距达700 m。该断裂与维马克2,3,4,5号断裂组合,对维马克背斜切割,形成一组断背斜(图4)。

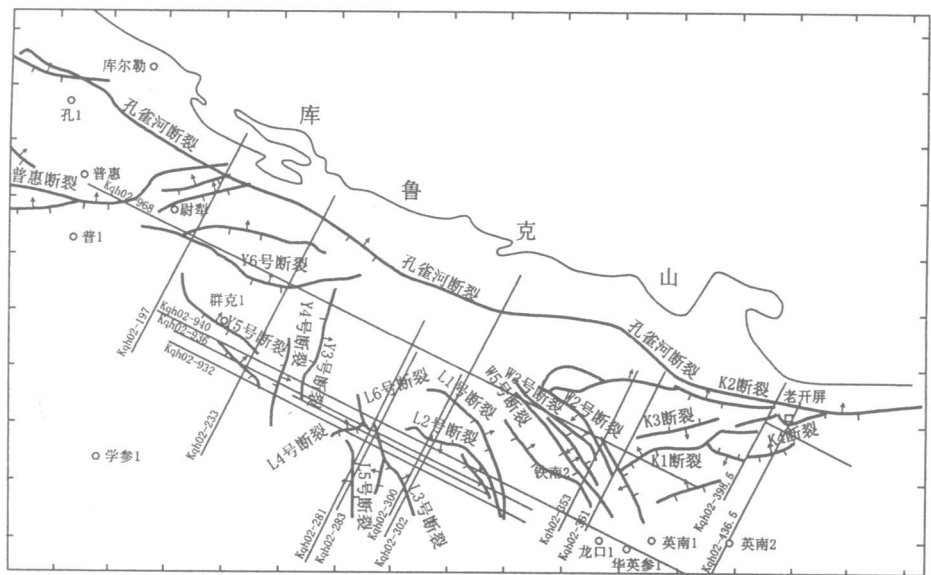


图 2 孔雀河地区断裂分布图

Fig. 2 Fault distributing map of Kongquehe Area

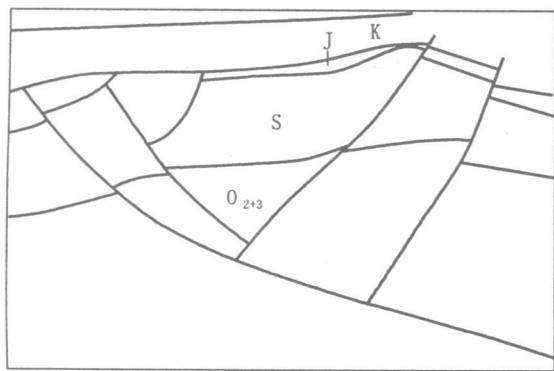


图 3 Kqh02-396.5 剖面开屏 1 号断裂

Fig. 3 No. 1 fault in Kqh02-396. 5 section

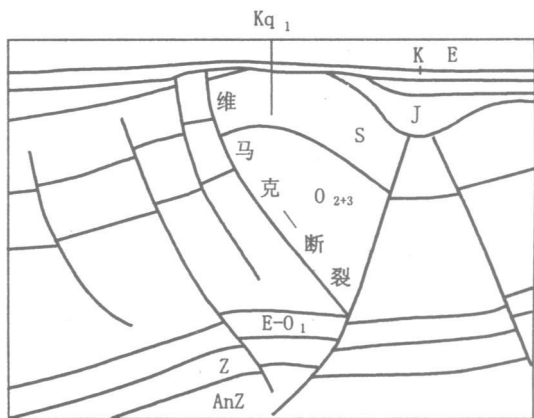


图 4 Kqh02- 361 剖面上维马克 1 号断裂

Fig. 4 W1 fault in Kqh02- 361 section

3 主要局部构造的形成与断裂演化的关系

孔雀河地区发育一大批不同类型的圈闭。其中,中生界以断裂背斜圈闭为主,面积大,成排成带展布;古生界以大型鼻隆为背景,主要发育断背斜、构造-岩性及地层复合圈闭。前者形成于燕山早期,定型于燕山中、晚期,后者主要形成于加里东晚期—海西期,配置关系较好。

孔雀河斜坡志留系发育的局部构造,主要受上述主干断裂及其相关的局部断裂所控制。该区块发

育有维马克—开屏背斜带和北部斜坡带、龙口背斜带以及尉犁断鼻构造带。其中,维马克—开屏背斜构造带发育有 13 个局部构造,龙口背斜构造带发育 4 个局部构造、孔雀河北部斜坡发育 5 个局部构造、尉犁断鼻构造带发育 3 个局部构造。除了开屏 4 号背斜、龙口 3 号背斜、尉犁 6 号背斜等 3 个背斜外,其余的都与断层相关。可见断层的发育对局部构造的形成起到重要的控制作用。区内断层大部分形成早,在加里东期末或海西期就有活动。如维马克构造带其断裂为 NNW 向,而切割维马克—开屏背斜构造带的特征明显,说明该构造带在维马克 1~5 号断层剧烈活动前就已经形成,可能与开屏 1 号断层

启动受同一构造应力场的控制。而开屏 1~4 号断裂控制的背斜、断背斜、断鼻等局部构造与断层的关系协调,说明该构造带的局部构造形成早在海西期就有雏形,后期受断裂继承性活动,到燕山期闭合幅度加强或原完整的背斜被切割成断背斜或断鼻,如维马克 2~6 号断层的活动。

4 断裂的封堵性研究

孔雀河区块经历了复杂的构造变化,形成了上述的错综复杂的断裂系统,而且这些断裂大多经历了多期活动。针对本次的研究,开展了维马克 1 号断裂,英南 2 井北断裂,孔雀 1 井南断裂,龙口 4 号,龙口 5 号等 10 多条重点断层的封堵性研究。

4.1 断层封堵机理

目前关于断层的封堵机理研究的较多^[3-8],其中使用较多的是并置对接和粘土涂抹。根据泥岩涂抹这种封堵机理,Lindays 等 1993 年提出用涂抹因子来研究涂抹程度,定义的涂抹因子的式子为:

$$SSF=L/H$$

(式中, H 为断距内的泥岩层的累计厚度, L 为断距,单位为 m)

本次研究中使用的 SSF 方法对砂层组进行断裂的侧向封堵性评价。

判断一个断层不仅仅考虑断层的侧向封堵性能还要考虑其垂向封堵性,影响断裂垂向封堵性好坏的最关键的因素是断面的紧闭程度。在具体的研究中,断层的紧闭程度使用断面受到的正压力大小来衡量,其计算公式为:

$$P=H\times(\rho-\rho_w)\times0.009876\times\cos\theta$$

(式中: P 为断面受到正压力(MPa); H 为断面埋深(m); ρ 是上覆地层的平均密度(10^3 kg/cm^3); ρ_w 为地层水密度; θ 为断面的倾角($^\circ$))。

4.2 断裂封堵性标准的建立

断裂的封堵性常因断裂的性质和所在区块的不

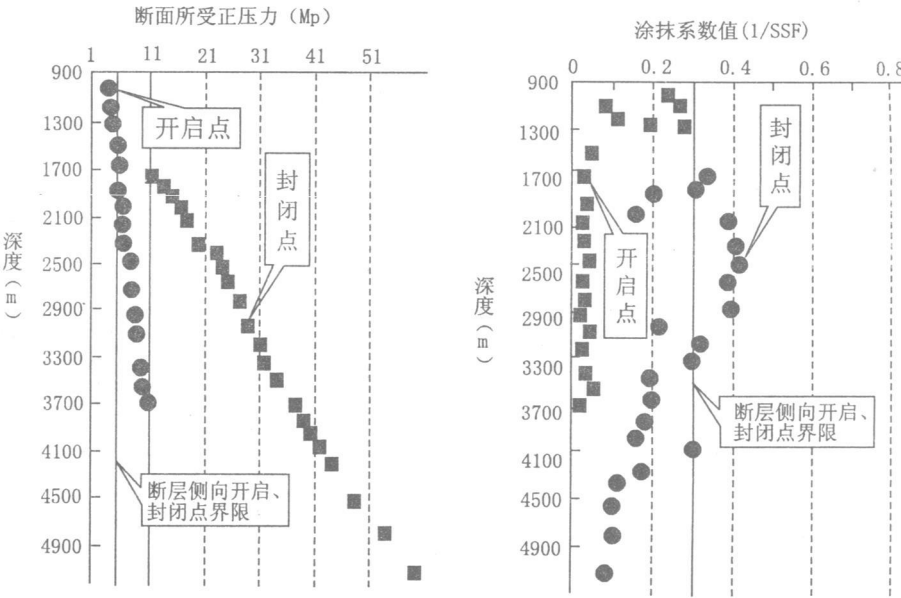


图 5 孔雀河地区断层垂向(左图)与侧向(右图)封闭性标准图
Fig.5 Standard plot for vertical and horizontal sealing of faults in Kongquehe area

同而不同,根据孔雀河地区的构造、钻井、试油、油气藏界面、油藏剖面等资料,结合盆地油气运移、聚集规律,选取维马 1 井所在的维马克 4 号断裂作为典型的开启断裂,英南 2 井北断裂作为典型的开启断裂。从钻探试油结果看,这两个断裂的封堵性分析结果较为可信,吻合度好,可以作为典型断裂封堵的代表。由上述标准的开启,封堵断裂的泥岩涂抹系数,即涂抹因子的倒数值($1/SSF$)和断面所受到的正压力值的大小,建立了断裂侧向封堵性标准。涂抹系数标准界限为 $1/SSF=0.3$,当 $1/SSF>0.3$ 时,则断裂侧向封堵,反之,断裂开启;根据塔里木盆地孔雀河区块的实际研究事例情况以及经验值,得出断面所受正压力的界限值为 $P=5\text{ MPa}$,若断面所受的正压力大于 5 MPa ,断裂为垂向封堵;否则断裂垂向开启。(图 5)

4.3 控制重点圈闭的重点断裂的封堵性研究

从研究区的平面上来看,断裂无论垂向封堵性能还是侧向由西向东由好逐渐变差,在纵向上断裂的垂向封堵性能基本上表现浅好深差。纵向上的封堵性能表现为,其所断的侏罗系侧向封堵性能均优于其所断的志留系,且其所断志留系的断裂封堵性能由浅到深逐渐变差。整体上讲,纵向上断裂封堵性能在其所断的层位中中上段好,下段差。

5 断裂与油气的关系

据已知钻井分析, 孔雀河斜坡上的油气运移和纵、横向的分布均与断层密切相关, 断层控制了油气的成藏和分布。

5.1 排烃期与断层活动时间有机匹配

孔雀河斜坡主要发育烃源岩有两套, 即寒武系一下奥陶统烃源岩和侏罗系烃源岩。关于寒武系—奥陶系烃源岩前人做过系统的研究^[9], 这套烃源岩, 有机丰度高, 高过成熟, 属好—较好烃源岩。但由于这套烃源岩在海西早期隆升遭受剥蚀。此时该时期主要断裂发育, 局部构造已经具有雏形, 与大量生烃期相对应, 该时期寒武系、志留系的局部构造可以捕获油气, 但也由于抬升和断裂活动, 导致油气逸散, 断层的发生对于本区油气垂向运移提供了途径, 是成本区未能形成大型古油藏的原因之一。根据英南2井埋藏史和烃源岩热演化史^[10]分析证实, 寒武系一下奥陶统在晚加里东期—早海西运动期达到生排烃期, 早第三纪至今仍有供气能力。侏罗系烃源岩厚度不大, 在100~400m之间, 属于低熟—成熟阶段, 烃源岩排烃时期是在早第三纪末至现今, 此时, 本区的断裂系统基本发育完全, 对于油气的侧向运移提供了保证。

5.2 断层活动对圈闭有效性的影响

在孔雀河斜坡区, 从英南2井侏罗系油气源对比证实侏罗系烃源岩虽然有一定的贡献, 但天然气主要来自于下部的寒武系一下奥陶统烃源岩。由于下古生界烃源岩与侏罗系、志留系之间隔层厚度较大, 沟通下部烃源岩的断裂是烃源岩的主要通道。南部英吉苏凹陷侏罗系烃源岩生烃中心的油气可以侧向运移, 油气沿着斜坡带运移, 但是由于本区继承性的发育了多个断块, 断背斜。对于孔雀河斜坡来说, 虽然侏罗系储层处于构造高部位, 圈闭条件好, 但由于低部位各类圈闭的拦截和油气侧向长距离运移动力的衰竭, 油气难以大量运移至此, 这可能正是该区至今没有发现油藏的主要原因。

5.3 断层活动强度控制油气的平面、纵向分布

通过区域构造特征和地层沉积特征分析及地层沉积特征分析, 海西晚期的大量生气阶段与塔里木盆地最强烈的构造运动相对应, 使得寒武系古油藏变成凝析油气—湿气藏, 断裂活动加剧, 导致志留系聚集了寒武系—奥陶系烃源岩和古油藏运移来的油

气, 而破坏作用也较强烈。侏罗系沉积以前, 由于本区构造抬升, 断裂活动和大幅度的地层剥蚀, 成本区寒武奥陶系生成的油气遭到破坏, 不利于油气保存。

本区的断层的活动时间主要为加里东末期—海西早期, 燕山期。燕山期后, 区内又经历了喜马拉雅山运动, 尽管这次运动没有能够造成断层的继续发展, 但由于软弱面的存在, 大规模的构造运动势必造成断层的微量活动, 造成断面的某些部位重新开启, 因此断层最终封闭时间是第四纪。在此之前, 断层的封闭和开启具有间歇性, 断层活动时, 开启性强, 相对静止期, 以封闭为主。

断层活动对于油气的侧向和垂向运移起到控制作用。无论断层的封闭性能力多强, 都曾有过开启的历史。封闭断层的开启, 一般发生在断裂活动时, 断层两盘沿凹凸不平的断面相互活动过程中易形成空隙, 该空隙即为油气运移通道。在断层活动静止期, 由于岩石在长期地静压力作用下发生蠕变, 空隙逐渐被闭合, 断层形成圈闭。根据断层涂抹层分布规律的物理模拟试验表明^[11], 当存在几组涂抹层时, 泥岩涂抹的连续性受泥岩厚度、断距、主应力方向、及断面粗糙程度影响, 同时还受到泥地比的控制。如果泥地比较大, 涂抹层的连续性受到断距的影响较小, 反之则大, 当断层断距较小时, 涂抹层的连续性好。断层的活动性控制着涂抹层的建设和破坏, 往往断层初期活动对涂抹带的建设起到积极的作用, 断层的再次活动一般不再形成或者很少形成涂抹层, 所以, 多期活动的断层, 其断层泥主要受到后期的再改造作用。通过对于区域的断层封堵性的分析表明垂向上侏罗系优于志留系, 正是说明了这点。同时由于志留系层位断层封堵差, 导致了后期改造的古油藏, 或者是在现今仍然生气的下古生界烃源岩排烃的有效途径。在平面上的断层整体封堵性能是表现为西段好, 东段差, 是由于不同区域的泥地比值不同造成的, 而且有利于西部满加尔坳陷生成烃类的侧向运移。

6 结论与讨论

通过对本区的断裂的研究, 可知道油气的分布及圈闭的形成过程, 主要受到断裂发育的控制。圈闭的形成和发育与本区的大地构造演化有密切的关系, 而形成的圈闭多是和断裂有关的断背斜圈闭等。

油气分布则受到油源断裂的控制, 需有沟通到寒武系—奥陶系烃源岩的断裂。若是早期形成的断背斜无后期的活动, 对油气的保存较有利。另外, 断层的封堵性在油气的分布中起到重要的作用, 断裂的再次活动对于侧向和垂向封堵起到破坏作用。现今的油气分布, 是断层侧向、垂向封堵和有效盖层共同的结果。通过以上的分析可知, 发育的通源断裂, 为古生界垂向运移和调整 and 再聚集成藏创造了良好的条件。重点寻找具有较好的封堵层段内的圈闭, 则可能在本区寻找到具有工业意义的油气田。

参考文献:

[1] 严伦. 构造与油气圈闭[M]. 北京: 石油工业出版社, 1995. 132-133.
[2] 赵增录, 刘文汇, 杨斌谊, 等. 孔雀河斜坡维马 2 号气藏形成机理[J]. 新疆石油地质, 2003, 24(6): 549-551.

[3] Yielding. 断层封堵定量预测[J]. 海上石油译丛, 1998, (1): 1-22.
[4] Knipe J. 有助于分析油气藏断层封堵的并置和封堵图[J]. 国外油气勘探, 1997, 9(6): 695-721.
[5] 张永华, 贾曙光, 杨春峰. 断层封堵性的应用研究[J]. 石油物探, 2001, 40(4): 84-88.
[6] 孙忠, 杨梦岩. 利用地震资料分析断层封堵的方法[J]. 石油地球物理勘探, 1999, 34(增刊): 45-49.
[7] 周英, 王文强, 朱立新. 断层封堵分析技术在油气地质勘探中的应用[J]. 石油地球物理勘探, 1998, 33(5): 649-657.
[8] 沈传波, 梅廉夫, 汤济广, 等. 含油气盆地断层封闭性研究探讨[J]. 断块油气田, 2002, 9(4): 1-5.
[9] 秦天西, 范雪红. 新疆库鲁克塔格—孔雀河地区震旦—寒武—奥陶系沉积相及生油岩特征. 沉积与特提斯地质, 2003, 23(1): 53-59.
[10] 严永新, 田云, 袁光喜, 等. 孔雀河斜坡含油气系统及有利区带[J]. 新疆石油地质, 2003, 24(5): 411-414.
[11] 陈章明, 吴元燕, 吕延防, 等. 油气藏保存和破坏研究[M]. 北京: 石油工业出版社, 2003. 77-95.

THE RESEACH ON FAULTS IN KONGQUEHE AREA OF THE TARIM BASIN AND THE FAULT-CONTROL ON PETROLEUM

DENG Guang-jun, ZHAO Xi-kui, ZHANG Xiao-bing

(State Key Laboratory of Oil/Gas Reservoir Geology And Exploitation, Chengdu University of Tcenology, Chengdu 610059, China)

Abstract: Based on tectonic evolution of Kongquehe area, the fault distribution characteristics, the relation of local structures to the fracture evohetion and control role of the fracture on petroleum are analyzed. Then are pointed out that the formation and development of the fracture are controloed by the geotectonics and the oil-gas distribution and transportation are closely related to the fracture and the fracture controls the effectiveness of oil traps. And the relation between the oil-gas and the fracture is summed up.

Key words: tectonic evolution; fractural characteristics; sealing research; oil-control