

阿姆河盆地查尔朱阶地及邻区 盐相关断裂特征与油气地质意义

聂明龙^{1,2}, 吴 蕾³, 孙 林³, 高安虎¹

(1. 辽宁工程技术大学, 辽宁 葫芦岛 125105; 2. 中国石油 勘探开发研究院, 北京 100083;

3. 中国石油 阿姆河天然气公司, 北京 100101)

摘要: 阿姆河盆地查尔朱阶地及其邻区在上侏罗统发育一套盐膏岩, 使断裂性质与组合类型复杂多样, 对油气勘探具有重要意义。通过钻井资料和地震资料的构造解释, 研究了盐相关断裂发育特征及其对油气聚集成藏的控制作用。结果表明, 研究区发育有盐上层和盐下层两套断裂系统, 形成了盐上逆冲-盐下逆冲、盐上走滑-盐下逆冲和盐上走滑-基底卷入3种断裂组样式。盐相关断裂受构造应力场、基底先存断裂和盐膏岩厚度控制, 在盐膏岩厚度大、挤压应力强的东部地区发育有盐上走滑-盐下逆冲和盐上逆冲-盐下逆冲断裂组样式, 断裂提供了圈闭条件, 未破坏盐膏岩盖层的封盖性能, 对油气聚集有利; 在盐膏岩厚度薄、挤压应力较弱的地区, 发育了盐上走滑-基底卷入断裂组样式, 断裂发育受早期基底断裂控制, 对盐下油气聚集不利。

关键词: 盐相关断裂; 盐膏岩盖层; 油气聚集; 查尔朱阶地; 阿姆河盆地

中图分类号: TE122.2

文献标识码: A

Salt-related fault characteristics and their petroleum geological significance in Zarzhu terrace and its adjacent areas, the Amu Darya Basin

Nie Minglong^{1,2}, Wu lei³, Sun lin³, Gao Anhu¹

(1. Liaoning Technical University, Huludao, Liaoning 125105, China; 2. Research Institute of Petroleum Exploration & Development, PetroChina, Beijing 100083, China; 3. Exploration Department, CNPC Amu Darya River Gas Company, Beijing 100101, China)

Abstract: A set of salt-gypsum rocks occur in the Upper Jurassic in Zarzhu terrace and its adjacent areas in the Amu Darya Basin, making fault and their combination types complicated, thus being of great significance for petroleum exploration. Through the analysis of the drilling data and seismic data, we studied the development characteristics of salt-related faults and their control on hydrocarbon accumulation. The results show that there are two fault systems in the pre-salt layer and above-salt layer in the study area respectively. They appear in 3 combination styles, i. e. thrust fault in above-salt layer-thrust fault in pre-salt layer, strike-slip in above-salt layer-thrust fault in pre-salt layer, and strike-slip-basement involvement in above-salt layer. The salt-related faults are controlled by tectonic stress field, pre-existing basement faults and thickness of salt-gypsum rocks. In the east part of the study area, where the salt-gypsum rock is thick, there develops two fault combination styles, i. e. strike-slip in above-salt layer-thrust fault in pre-salt layer, and thrust fault in above-salt layer-thrust fault in pre-salt layer. The faults provide trap conditions for hydrocarbon accumulation and do not destroy the sealing integrity of the salt-gypsum rock. While in the west part of the study area, where the salt-gypsum rock is thin and the compress is weak, there develops strike-slip-basement involvement in above-salt layer. The development of faults were controlled by the basement fault, and is destructive to the accumulation of oil and gas in pre-salt layers.

Key words: salt-related fault, salt-gypsum cap rock, hydrocarbon accumulation, Zarzhu terrace, Amu Darya Basin

国内学者余一欣在研究塔中隆起断裂时, 提出了盐相关断裂的概念, 认为塔中隆起受深层含盐层系滑脱作用影响而形成的浅层逆冲断裂带, 属于盐相关断裂^[1]。由于盐膏岩层的塑性滑脱作用, 在同一期构造

运动中, 盐上层与盐下层会呈现不同构造特征^[2-3], 形成不同的断裂系统, 本文所指盐相关断裂是指形成受盐膏岩滑脱作用影响在盐上层与盐下层发育的断裂及二者间的组合关系, 探讨盐相关断裂发育特征及其对

收稿日期: 2012-10-25; 修订日期: 2013-06-12。

第一作者简介: 聂明龙(1976—), 男, 讲师、博士研究生, 油气地质综合研究与教学。E-mail: 312982219@qq.com。

基金项目: 国家科技重大专项(2011ZX-05059)。

盐膏岩盖层的影响,对地震构造解释及盐膏岩盖层评价具有一定参考意义^[4-6]。阿姆河盆地查尔朱阶地及其邻区为天然气聚集区,在上侏罗统分布一套盐膏岩,厚度变化大,盐相关构造样式复杂^[7-10],本文利用钻井资料、地震资料,通过地层对比及构造解释等方法,分析盐相关断裂发育特征,探讨其对油气盖层的影响。

1 区域地质背景

研究区位于阿姆河盆地(又称卡拉库姆盆地)东北部边缘带,横跨查尔朱阶地、别什肯特凹陷、西南基萨尔褶皱隆起三个构造单元(图1)。阿姆河盆地经历了二叠纪—三叠纪海西—印支构造运动和古近纪以来的喜马拉雅构造运动。海西期—印支期,阿姆河盆地为弧后裂谷盆地,北东向伸展构造应力场形成了北西走向的基底深大断裂,控制了盆地构造格局及沉积盖层的充填;喜马拉雅期,随着阿拉伯板块—帕米尔地块—印度板块向北俯冲,阿姆河盆地遭受强烈挤压,盆地被改造定型^[11-14]。

阿姆河盆地发育有二叠系—三叠系、侏罗系、白垩

系、古近系、新近系与第四系,上侏罗统基末利阶发育一套盐膏岩系,由盆地中心向盆缘减薄,是盆地内区域性盖层,与下伏的上侏罗统卡洛夫—牛津阶碳酸盐岩形成良好的储盖组合。中、下侏罗统含煤岩系和上侏罗统碳酸盐岩是两套烃源岩,在白垩纪末期开始生烃成藏^[15-18],喜马拉雅构造运动使油气发生大规模运移,油气调整成藏。

2 盐相关断裂特征

以盐膏岩层和中下侏罗统碳酸盐岩层为界,依据断裂断穿层位,研究区断裂分为盐上、盐下和基底3套断裂。基底断裂从基底向上断至中、下侏罗统,为早期正断层,属于海西期—印支期形成的深大断裂,盐下断裂从基底断至上侏罗统卡洛夫—牛津阶,消失在盐膏岩层中,断层性质为逆冲断层,盐上断裂从盐膏岩层向上断至第四系甚至地表,主要为走滑断层和逆冲断层^[8]。3套断裂在剖面上形成3种组合样式,在平面上具有东、西分带的特征。

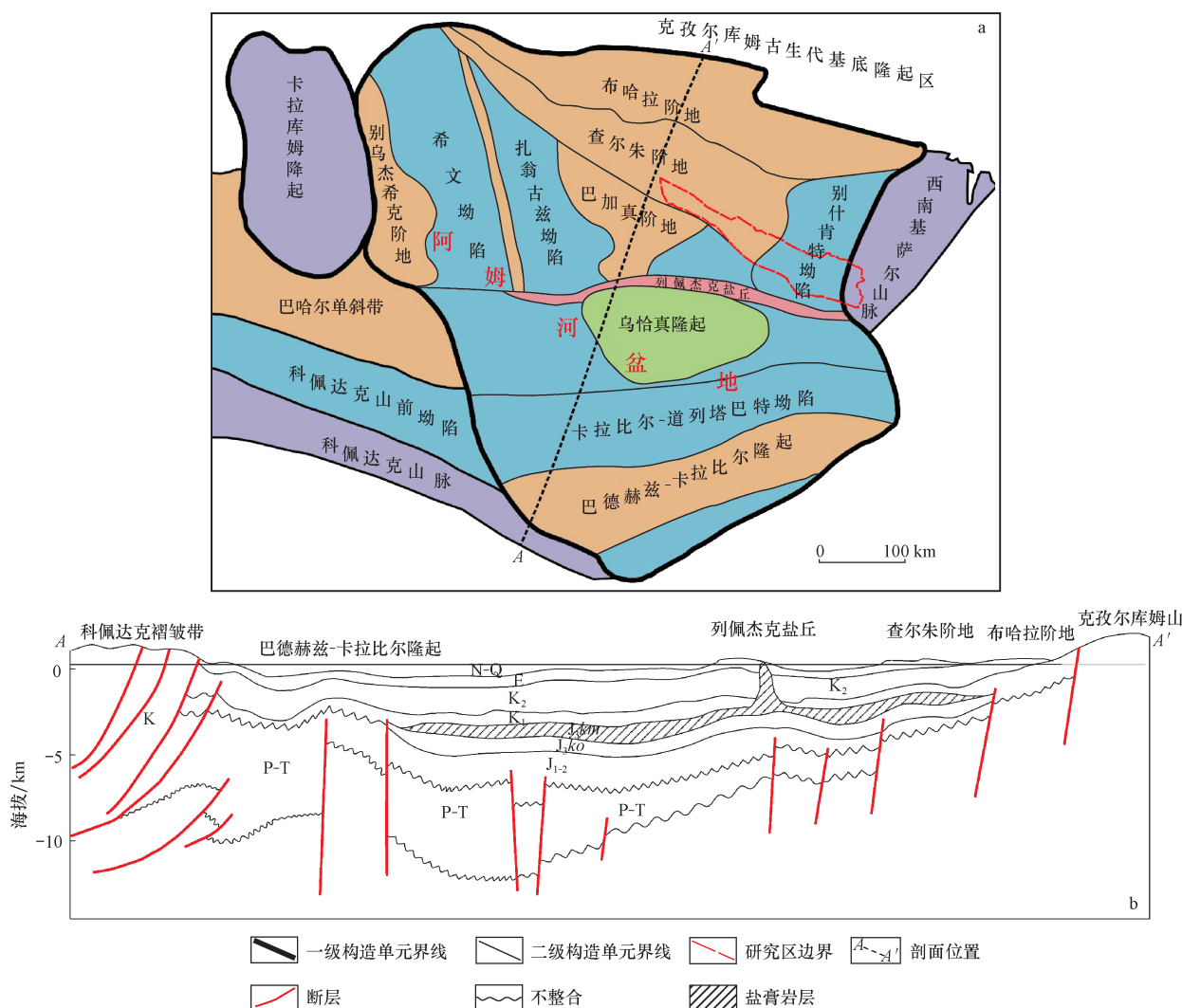


图1 阿姆河盆地构造单元划分及研究区位置(据参考文献[15],有改动)

Fig. 1 Structure unit division and location of the study area in the Amu Darya Basin(modified from reference[15])

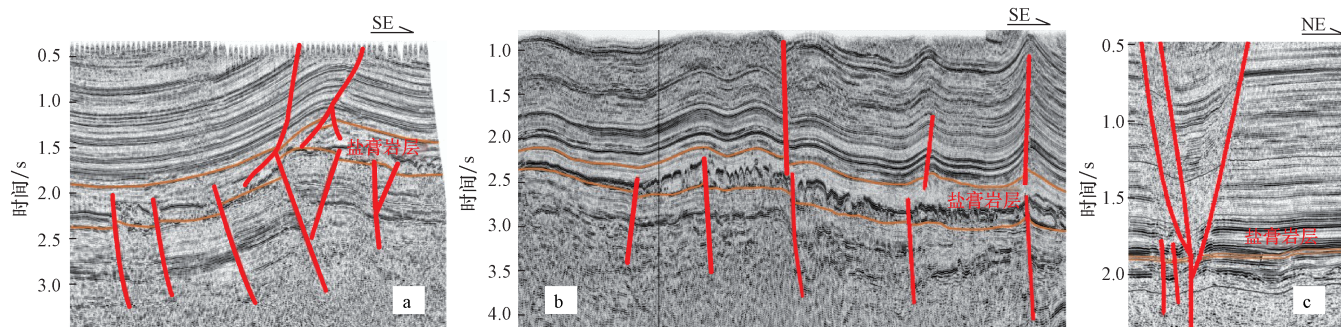


图2 研究区盐相关断裂组合样式(剖面位置见图3)

Fig. 2 Salt-related fault combination styles of the Amu Darya Basin(see Fig. 3 for profile location)

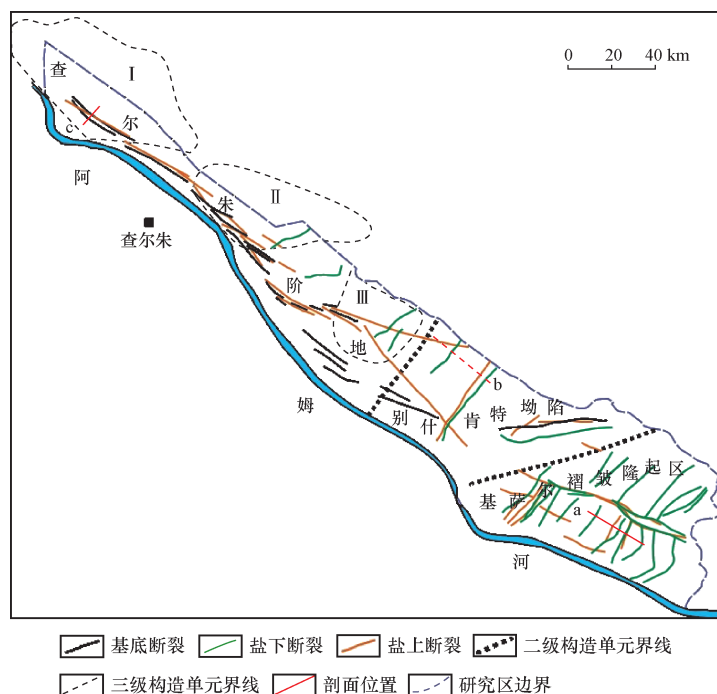


图3 查尔朱阶地及其邻区断层叠合图

Fig. 3 Fault superimposition map in the Zarzhu terrace and its adjacent areas

2.1 断裂剖面组合样式

盐上逆冲-盐下逆冲断裂组合,盐下为基底卷入的高角度逆冲断层,逆断层特征明显、断距大,形成叠瓦、背冲、对冲构造等多种构造样式。盐上断层与盐下断层倾向相反,呈反向逆冲特点(图2a),走向与盐下断层一致。盐上逆冲-盐下逆冲断裂组合主要分布在西南基萨尔褶皱隆起区,在别什肯特凹陷也有分布。

盐上走滑-盐下逆冲断裂组合,盐下逆冲断层较盐上逆冲-盐下逆冲断裂组合中断距小,断层密度降低,伴生的褶皱幅度变弱。盐上走滑断层,断面陡直,断层倾角大(图2b),部分地区呈花状,延伸距离远,盐上走滑断层与盐下逆冲断层走向近乎垂直。盐上走滑-盐下逆冲断裂组合在西南基萨尔褶皱隆起区至桑迪克雷隆起构造带东翼均有发育。

盐上走滑-基底卷入断裂组合,盐上断层断至盐下,盐下断层向上延伸至盐上,二者相互贯通,盐下断

层具有正断层性质,盐上断层具有花状走滑性质,走向与基底断裂一致,表现为基底卷入特征(图2c),盐上走滑-基底卷入断裂组合发育在坚基兹库尔隆起及以西地区。

2.2 断裂平面展布特征

研究区不同性质的断层分为北西和北东走向的两组断裂,北西走向断裂以走滑断裂为主,北东走向的断裂以逆冲断裂为主,二者近乎垂直。不同断层组合样式展布具有东西分带性,并表现逐渐变化特征(图3)。基萨尔褶皱隆起区断裂最发育,断距最大,以盐下逆冲-盐上逆冲组合为主,存在盐上走滑-盐下逆冲断裂组合。别什肯特凹陷至桑迪克雷隆起区,断裂构造幅度减弱,断距减小,以盐上走滑-盐下逆冲为主,存在盐下逆冲-盐上逆冲断裂组合,坚基兹库尔隆起及其以西地区,断距最小,以盐上走滑-基底卷入断裂组合为主。

3 盐相关断裂发育控制因素

盐相关断裂发育与区域构造背景相关,受构造应力场、盐膏岩和基底断裂控制。压扭构造应力场提供了动力,是盐相关断裂发育的基本条件。古近纪至第四纪的喜马拉雅期,帕米尔“突刺”楔状突入卡拉库姆-塔里木构造区^[13-14],阿姆河盆地东北部边缘受到东南方向的挤压应力作用,在研究区表现为自东向西挤压应力逐渐减弱^[7](图4),在该应力场作用下,发育了逆冲断裂、走滑断裂,基底断裂重新活动,为盐相关断裂发育提供了原始动力条件,并且随着挤压应力强度自东向西的变化,断距逐渐减小,断层密度变得稀疏。

盐膏岩对盐相关断裂的控制与盐膏岩厚度有关。

研究区盐膏岩具有东厚西薄的特征(图5),在桑迪克雷隆起构造带东翼及其以东地区,盐膏岩厚度大,盐膏岩厚度平均在800 m以上,最厚在别什肯特坳陷内可达1 200 m,为良好的塑性滑脱层,在压扭应力场作用下,盐上地层沿盐膏层滑脱,形成盐下和盐上两套性质不同的断裂系统。基萨尔褶皱隆起区挤压应力最强,盐下地层向北西方向逆冲同时,盐上地层与盐下地层发生相对运动,发育了与盐下逆冲断层倾向相反的被动反向逆冲断层,形成盐上逆冲-盐下逆冲断裂组合。别什肯特坳陷至桑迪克雷隆起区挤压应力减弱,盐上发育了走滑断裂,盐下发育逆冲断裂,形成盐上走滑-盐下逆冲断裂组合。

盐膏岩厚度薄的地区,盐上断裂受基底先存断裂控制。据文献资料,在挤压构造应力场作用下,盐膏岩

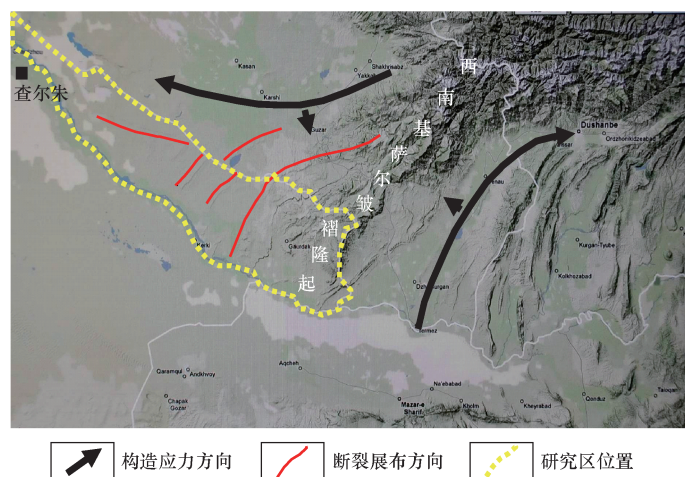


图4 中亚及邻区地形与现今构造应力场

Fig. 4 Topographic map and current tectonic stress field of central Asia and its adjacent areas

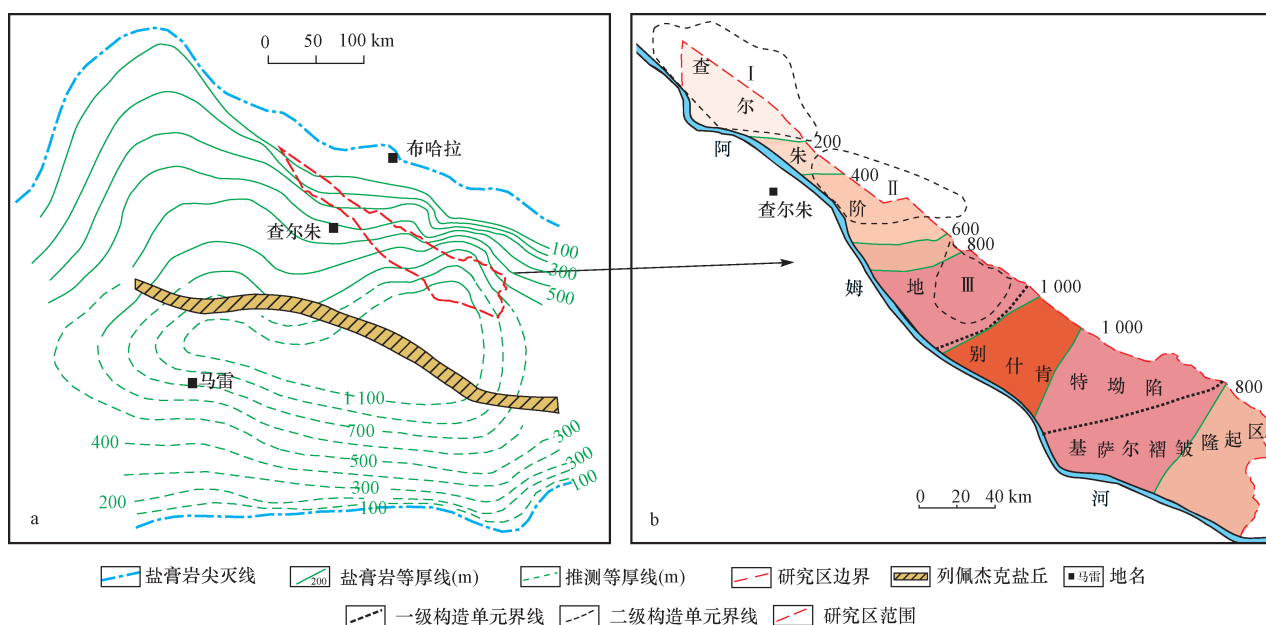


图5 阿姆河盆地及研究区盐膏岩等厚图

Fig. 5 Isopach map of the salt-gypsum rock of the Amu Darya Basin and the study area

I. 查尔朱隆起构造带; II. 坚基兹库尔隆起构造带; III. 桑迪克雷隆起构造带

层厚度大时,盐上地层变形以滑脱为主,盐膏岩层厚度较薄时,容易导致盐层和上覆地层产生破裂^[18-19]。坚基兹库尔隆起及其以西地区,盐膏岩厚度减薄,平均厚度在 200 m 左右,在查尔朱隆起西部的伊利吉克地区钻井厚度只有 68 m。在喜马拉雅期压扭应力作用下,北西走向的基底正断层重新活动,穿过盐膏岩层,延伸至盐上形成走滑断层(图 6),盐上断裂受基底断裂控制,展布与基底断裂一致,形成了盐上走滑-基底卷入的构造样式。

4 油气地质意义

不同断裂组合控制因素不同,对盐膏岩盖层及油气聚集成藏产生了不同影响。

4.1 盐上逆冲-盐下逆冲和盐上走滑-盐下逆冲断裂利于油气聚集

盐上逆冲-盐下逆冲和盐上走滑-盐下逆冲断裂发育在盐膏岩厚度大的东部地区,盐上断裂与盐下断裂均消失在盐膏岩层中,盐膏岩盖层保存条件未破坏,即使在气藏顶部盐膏岩地层中发育走滑断层,盐膏岩盖层仍能很好地封闭盖住天然气(图 7a,b)。

盐下逆断层提供了圈闭条件,提高了油气运移效

率。逆断层两侧碳酸盐岩与盐膏岩对接,构成良好的侧向封堵,形成与断层相关的断背斜、断鼻、挤压背斜为主的圈闭类型,为油气聚集提供了有利场所(图 7a)。同时,盐下逆冲断层沟通了中、下侏罗统烃源岩与上侏罗统卡洛夫-牛津阶碳酸盐岩储层,成为良好的油气运移通道,提高了油气运移效率。

4.2 盐上走滑-基底卷入断裂对油气聚集不利

盐上走滑-基底卷入断裂主要形成于盐膏岩较薄的地区,早期正断层在喜山期重新活动,断层贯穿盐膏岩层,向上断至地表,成为油气运移通道,破坏了盐膏岩盖层的封盖性能(图 7c),盐下油气运移至盐上,对盐下碳酸盐岩储层油气聚集不利。

5 结论

1) 阿姆河盆地查尔朱阶地及其邻区盐相关断裂以盐膏岩为界,发育了盐上和盐下两套断裂系统,盐上层发育了走滑断裂、逆冲断裂,盐下层以逆冲断裂为主,形成了盐上走滑-盐下逆冲、盐上逆冲-盐下逆冲和盐上走滑-基底卷入断裂组合样式。

2) 盐相关断裂的发育受构造应力场、盐膏岩厚度和基底早期断裂控制。盐上逆冲-盐下逆冲组合样式

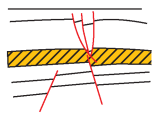
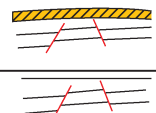
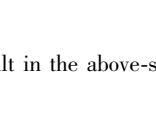
时代	构造阶段	断裂发育特征	断裂剖面
古近纪—第四纪	喜马拉雅运动	基底断裂重新活动	
晚侏罗世—白垩纪	稳定沉降	断裂不发育	
晚侏罗世前	海西—印支运动	基底正断层	

图 6 盐上走滑-基底卷入断裂发育模式
Fig. 6 Development patterns of the strike-slip-basement involvement fault in the above-salt layer

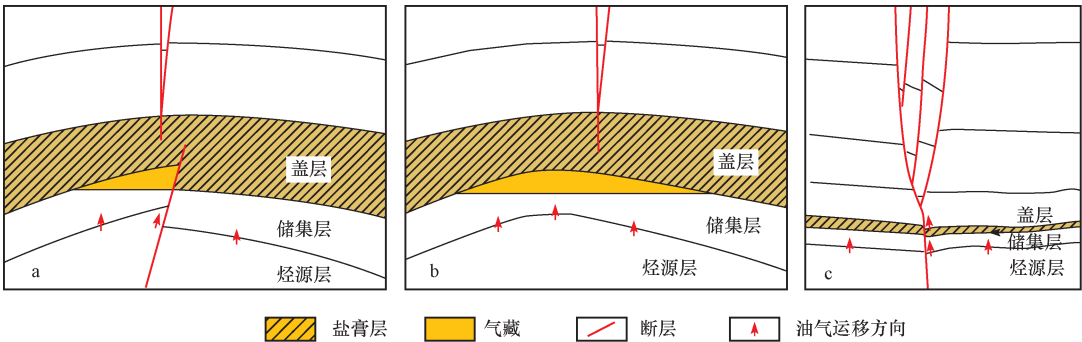


图 7 断裂与油气聚集成藏关系示意图
Fig. 7 Sketch map showing the relationship between faults and hydrocarbon accumulation
a. 典型实例:扬古伊气藏;b. 典型实例:皮尔古伊气藏;c. 典型实例:查尔朱隆起南翼

发育在盐膏岩厚度大挤压应力强的地区,盐上走滑-盐下逆冲断裂组合样式发育在盐膏岩厚度大,挤压应力相对较弱的地区,盐上走滑-基底卷入断裂组合样式发育在盐膏岩厚度薄、基底先存断裂发育的地区。

3) 盐上逆冲-盐下逆冲和盐上走滑-盐下逆冲断裂未破坏盐膏岩盖层的封盖条件,盐下逆冲断裂提供了油气聚集的圈闭条件,对油气聚集有利,盐上走滑-基底卷入断裂破坏了盐膏岩盖层的有效性,对盐下碳酸盐岩储层油气聚集不利。

参 考 文 献

- [1] 余一欣,黄太柱,汤良杰,等.塔里木盆地塔中隆起盐相关断裂发育特征[J].地质学报,2011,85(2):179-184.
Yu Yixin, Huang Taizhu, Tang Liangjie, et al. Salt-related faults in the Tazhong uplift, Tarim Basin[J]. Acta Geologica Sinica, 2011, 85(2):179-184.
- [2] 徐美娥,张荣强,彭勇民,等.四川盆地东南部中、下寒武统膏岩盖层分布特征及封盖有效性[J].石油与天然气地质,2013,34(3):301-306.
Xu Mei'e, Zhang Rongqiang, Peng Yongmin, et al. Distribution and sealing effectiveness of Middle-Lower Cambrian evaporite cap rocks in the southeastern Sichuan Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2013, 34(3):301-306.
- [3] 汤良杰,贾承造,皮学军.库车前陆褶皱带盐相关构造样式[J].中国科学(D辑),2003,33(1):38-46.
Tang Liangjie, Jia Chengzao, Pi Xuejun, et al. The structural types of salt related structures in Kuqa foreland thrust belt[J]. Science in China(Series D), 2003, 33(1):38-46.
- [4] 汪新伟,郭彤楼,沃玉进,等.垭紫罗断裂带深部构造分段特征及构造变换作用[J].石油与天然气地质,2013,34(2):220-228.
Wang Xinwei, Guo Tonglou, Wo Yujin, et al. Characteristics of deep structural segmentation and transformation of the Yaziluo fault zone[J]. Oil & Gas Geology, 2013, 34(2):220-228.
- [5] 殷积峰,谷志东,李秋芬.四川盆地大川中地区深层断裂发育特征及其地质意义[J].石油与天然气地质,2013,34(3):376-382.
Yin Jifeng, Gu Zhidong, Li Qiufen. Characteristics of deep-rooted faults and their geological significances in Dachuanzhong area, Sichuan Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2013, 34(3):376-382.
- [6] 姚文倩,汤良杰,谢大庆,等.塔里木盆地色力布亚断裂带变形特征和演化史[J].石油与天然气地质,2013,34(4):522-527.
Yao Wenqian, Tang Liangjie, Xie Daqing, et al. Deformation and tectonic evolution of the Selibuya fault zone in Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2013, 34(4):522-527.
- [7] 张志伟,何永焄,王春生,等.中亚地区阿姆河盆地查尔朱、布哈拉阶地构造特征及演化[J].海相油气地质,2010,15(4):48-56.
Zhang Zhiwei, He Yonghao, Wang Chunsheng, et al. Structural characteristics and evolution of Chardzhou and Bukhara Terraces in Amu-Darya Basin, Middle Asia[J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2010, 15(4):48-56.
- [8] 聂明龙,吴蕾,刘斌,等.土库曼斯坦阿姆河右岸地区断裂特征及其控藏作用[J].新疆石油地质,2013,34(3):365-368.
Nie Minglong, Wu Lei, Liu Bin, et al. Fault characteristic and reservoir control effect in Amu Darya Right Bank Area in Turkmenistan[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2013, 34(3):365-368.
- [9] 徐文世,刘秀联,余志清,等.中亚阿姆河含油气盆地构造特征[J].天然气地球科学,2009,20(5):744-748.
Xu Wenshi, Liu Xiulian, Yu Zhiqing, et al. Geological structure of Amu-Darya Basin in central Asia[J]. Natural Gas Geoscience, 2009, 20(5):744-748.
- [10] 徐剑良,程绪彬,吴蕾,等.阿姆河右岸区块构造演化与成藏条件[J].天然气工业,2010,30(5):18-20.
Xu Jianliang, Cheng Xubin, Wu Lei, et al. Structural evolution and hydrocarbon pooling conditions in the Amu Darya Right Bank Block, Turkmenistan[J]. Natural Gas Industry, 2010, 30(5):18-20.
- [11] Бабаев А. Г., Имонко А. Н. С., Бабаев Г. А. Формации юрских палеоседиментационных бассейнов узбекистана и их нефтегазоносность [М]. Ташкент:Издательство Узбекской ССР,1990:6-235.
- [12] 贾承造,杨树锋,陈汉林,等.特提斯北缘盆地群构造地质与天然气[M].北京:石油工业出版社,2001:18-38.
Jia Chengzao, Yang Shufeng, Chen Hanlin, et al. Structural geology and natural gas of basin group in the northern rim of Tethys[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2001:18-38.
- [13] 鄯家全,时振梁,环文林,等.试论中亚地区板块碰撞带的现代构造特征[J].地质学报,1983,57(1):72-82.
Yan Jiaquan, Shi Zhenliang, Huan Wenlin, et al. Discuss about the modern tectonic characteristics of south central Asia plate collision zone[J]. Journal of Geology, 1983, 57(1):72-82.
- [14] Тимонин А. Н. Условия формирования залежей газа в верхнеюрский карбонатной формации Амударьинской синклизы геология и газоносность газодобывающих областей [М]. ВНИИГАЗ,1989:147-159.
- [15] 徐树宝,胡见义,李晋超,等.中俄土天然气地质研究新进展[M].北京:石油工业出版社,1995:126-137.
Xu Shubao, Hu Jianyi, Li Jinchao, et al. New progress of research on natural gas geology, China, Russia and Turkmenistan[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1995:126-137.
- [16] 刘洛夫,朱毅秀.滨里海盆地及中亚地区油气地质特征[M].北京:石油工业出版社,2007:148-212.
Liu Luofu, Zhu Yixiu. Petroleum geologic features of pre-caspian basin and central asia region[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2007:148-212.
- [17] 安作相.中亚含油气地区[M].北京:石油工业出版社,1993:41-216.
An Zuoxiang. Petroleum region in central asia[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1993:41-216.
- [18] Stewart S A. Influence of detachment layer thickness on style of thin-skinned shortening[J]. Journal of Structural Geology, 1996, 18(10):1271-1274.
- [19] Erickson S G. Influence of mechanical stratigraphy on folding vs faulting[J]. Journal of Structural Geology, 1996, 18(4):443-450.

(编辑 张亚雄)