

文章编号:0253-9985(2011)06-0903-06

天山南、北冲断-褶皱带油气成藏条件对比与评价

赵桂萍^{1,2}

(1. 中国科学院 计算地球动力学重点实验室,北京 100049; 2. 中国科学院 研究生院,北京 100049)

摘要:天山南、北两侧的冲断-褶皱带是塔里木、准噶尔盆地油气勘探的重点领域之一。油气成藏条件对比分析表明,两侧冲断-褶皱带在邻近的生烃坳陷均发育以侏罗系煤系地层和湖相泥岩为主的烃源岩,均发育以陆相碎屑岩为主的储集层系,圈闭类型多以断层相关褶皱等构造圈闭为主;但南侧冲断-褶皱带侏罗系烃源岩有机质丰度和有机质成熟度,碎屑岩储层储集物性、储层厚度和展布范围,以及圈闭完整性等油气地质条件均优于北侧。控制这种差异的主要因素是两侧盆地在二叠纪和侏罗纪期间的盆地属性及演化历史、盆地与造山带之间接触的深部地质结构、沉积埋藏及演化历史、主要滑脱层的岩性和盖层岩性及构造活动等保存条件的不同。

关键词:油气成藏;勘探潜力;冲断-褶皱带;天山;塔里木盆地;准噶尔盆地

中图分类号:TE122.1

文献标识码:A

Comparison and evaluation of hydrocarbon accumulation conditions between the southern and northern Tien Shan thrust-fold belts

Zhao Guiping^{1,2}

(1. Key Laboratory of Computational Geodynamics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

2. Graduate School, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: The fold-thrust belts on the southern and northern sides of Tien Shan are among the most important target areas for oil and gas exploration. According to the preserve condition analyses for oil and gas, there are some similarities between these two side fold-thrust belts like in the aspects of source rock features, reservoir characters, structures and traps. However, the petroleum geology on the southern side of Tien Shan is better than that on the northern side of Tien Shan, such as the content of organic of source rocks, the characteristics and thickness of reservoirs, structure styles and trap characters. The main factors for these differences are various basin attributions/evolution history, basin-mountain contact relationships, sediment burial history, the lithology of the detachment zone and preserve conditions.

Key words: hydrocarbon accumulation, exploration potential, thrust-fold belt, Tien Shan, Tarim Basin, Junggar Basin

天山造山带南北两侧发育有典型的冲断-褶皱带,是塔里木、准噶尔盆地油气勘探的重点领域之一。天山南北两侧冲断-褶皱带在石油地质条件上存在较大的相似性。如:均发育平行于天山造山带成排成带分布的局部构造^[1],邻近的生烃坳陷均发育以侏罗系煤系地层和湖相泥岩为主的

烃源岩,均发育陆相碎屑岩为主的储集层系^[2-3]。经过对比研究认为,准噶尔盆地南缘与库车坳陷除存在诸多相似之处外,也存在较大差异。主要差异表现在3个方面:一是两侧已探明油气储量存在显著的差异。在南侧共探明油气地质储量为 5.14×10^8 t(油当量),而在北侧只探明油气地

收稿日期:2009-09-15。

作者简介:赵桂萍(1972—),女,博士、副教授,构造地质、显微构造。

基金项目:国家自然科学基金项目天山造山带中段新近纪隆升演化过程及数值模拟分析(40772136)。

质储量为 $9\,493.4 \times 10^4$ t(油当量),仅为南侧冲断-褶皱带的18.5%。二是油气田(藏)的规模不同。在库车坳陷最大的气田为克拉2气田,探明天然气储量为 $2\,840.29 \times 10^8$ m³。在淮南最大的气田为呼图壁气田,探明天然气地质储量为 126.12×10^8 m³,仅为克拉2气田的4.44%。三是油气资源结构存在显著差异。南侧以气为主,天然气探明地质储量占整个探明储量的85.4%,北侧以油为主,仅发现了呼图壁一个气田,油气比为3.76:1。

1 油气成藏条件差异性对比

1.1 烃源条件

天山南侧冲断-褶皱带油气主要来源于库车坳陷,天山北侧冲断-褶皱带油气主要来源于北天山山前坳陷。从烃源岩发育的层位看,库车坳陷和北天山山前坳陷均发育侏罗系煤系地层和湖相泥岩烃源岩,差异在于北天山山前坳陷还发育中二叠统芦草沟组(P_2l)和红雁池组(P_2h)烃源岩,库车坳陷发育上三叠统塔里奇克组(T_3t)、黄山街组(T_3h)湖相泥岩烃源岩。

不同层系烃源岩有机质类型不同。北天山山前坳陷中二叠统有机质类型以Ⅰ型-Ⅱ₁型为主,主要生油。从博格达山前野外实测资料看,芦草沟组有机碳含量为4.48%~7.36%,红雁池组烃源岩有机质丰度为0.41%~5.81%,平均为1.96%,属较好-好烃源岩。库车坳陷上三叠统泥质烃源岩以Ⅲ₁型-Ⅱ型为主,有机碳含量为0.41%~10.10%,属中等丰度烃源岩。

从热演化程度看,库车坳陷侏罗系和三叠系烃源岩以生成高成熟度天然气为主,侏罗系底部的 R_o 值现今已超过2.5%。北天山山前坳陷烃源岩演化程度差异较大,就侏罗系烃源岩而言,东部热演化程度较高、西部热演化程度低,以生成低熟-成熟原油为主。如独山子、西湖地区的侏罗系原油,表现为西油东气。因此,北天山山前坳陷和库车坳陷烃源岩的差异主要是前者发育中二叠统红雁池组、芦草沟组,有机质类型以腐泥型为主。考虑到侏罗系烃源岩演化程度,不同层系烃源岩成熟度、演化历史的差异较大,既生油、也生气;后者发育三叠系泥质烃源岩,有机质类型

以Ⅲ₁型-Ⅱ型为主,主要生气。如果考虑到中、下侏罗统烃源岩也主要生气的情况,南侧资源结构以气为主。

1.2 储集条件

天山南北两侧冲断-褶皱带均发育以陆相碎屑岩储集层系,但差异明显。从克拉2气田、迪那2气田等油气田的产出层位看,天山南侧冲断-褶皱带白垩系和古近系为主要储集层,砂体厚度较大、储集性能良好,如克拉2气田巴什基奇克组砂体厚度可达396.5 m,孔隙度为13.6%~15.6%,渗透率为 $23.7 \times 10^{-3} \sim 115.3 \times 10^{-3}$ μm²,且多个单砂体在纵向上切割叠置、横向上频繁迁移^[4-5]。天山北侧冲断-褶皱带储集层系较多,且东西有别。东段博格达山前储层主要为二叠系、三叠系和侏罗系,中段和西段主要分布在侏罗系、白垩系和古近系。根据野外露头 and 钻井剖面样品的物性分析,侏罗系储层孔隙度变化范围为1.2%~26.3%,孔隙度大于10%的样品仅占31%,大部分介于5%~10%;水平渗透率变化范围为 $0.002 \times 10^{-3} \sim 96.400 \times 10^{-3}$ μm²,渗透率大于 1×10^{-3} μm² 的样品仅占14%,绝大部分小于 1×10^{-3} μm²,主要介于 $0.01 \times 10^{-3} \sim 1.00 \times 10^{-3}$ μm² 间,物性较差。

1.3 构造和圈闭特征

从已有构造变形特征看,天山南侧冲断-褶皱带主要表现为沿古近系或新近系膏盐层滑脱所造成的成排成带分布的构造,在其北部的单斜带,虽然前中生代地层有不同程度的卷入,但强度不大。天山北侧冲断-褶皱带既发育厚皮构造,如山前推举带有显著的基底卷入现象,也发育薄皮构造,如霍尔果斯-玛纳斯-吐谷鲁构造带和呼图壁-安集海河构造带,反映出构造活动性较强^[6-7]。天山南侧冲断-褶皱带背斜一般陡而窄且形态较为完整,而北侧背斜相对宽缓且常有断裂切过背斜核部(图1)。

另外,天山南侧还发育盐拱背斜等盐相关构造,并且以盐为界限,可分为盐上、盐间和盐下构造层,其中盐间构造层主要发育盐枕构造、盐间断褶构造和盐焊接构造等盐相关构造^[8-9]。而在北侧的冲断-褶皱带由于膏泥岩层只发育在西部的四棵树凹陷、且厚度较小,因此只发育盐丘等变形较弱的盐相关构造^[7]。

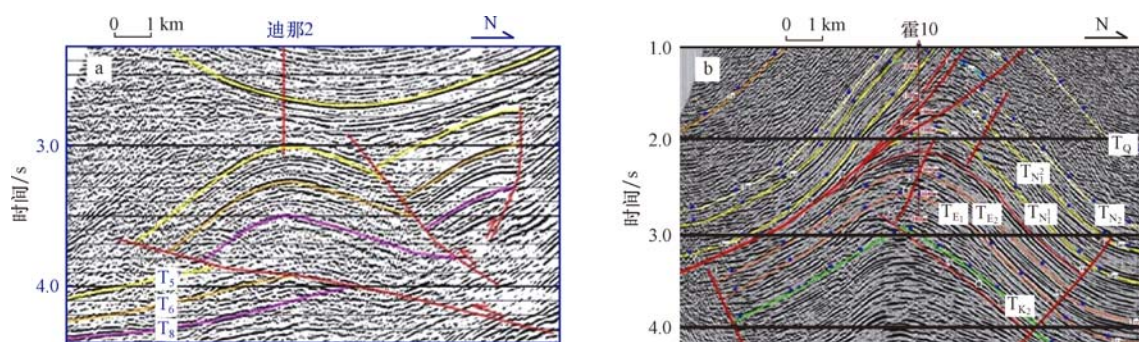


图1 天山南、北两侧构造形态对比

Fig. 1 Comparison of structures on the south and north side of Tien Shan

a. 南侧克拉2背斜; b. 北侧霍尔果斯背斜

2 油气成藏差异性控制因素

2.1 盆地属性及演化历史的差异是控制烃源岩、储集层发育的基础条件

天山南、北两侧的库车坳陷和北天山山前坳陷演化历史的差异主要表现在二叠纪—侏罗纪期间。

库车坳陷是在前中生界基底上发育起来的中、新生代盆地,二叠纪期间在库车坳陷范围内并不存在有油气勘探意义上的盆地。但对于准噶尔盆地,(晚石炭世—)二叠纪期间经历了断陷盆地向坳陷型盆地转化的历程。其中(晚石炭世—)早二叠世为断陷盆地,主要沿玛湖凹陷——盆1井西凹陷—昌吉凹陷分布,沉积了厚度较大的(上石炭统一)下二叠统,并发育以芦苇沟组、红雁池组等为主的烃源岩。

侏罗纪期间,库车坳陷范围内发育以断陷为主的盆地,沉积、沉降中心位于现今的拜城凹陷和阳霞凹陷,侏罗系自下而上为深湖相—半深湖相、滨浅湖相、辫状河流相—河流、沼泽相—干旱湖泊相沉积。在准噶尔盆地南部,主要发育坳陷型盆地,盆地内沉积了广泛分布的侏罗纪地层,主要发育半深湖相、滨浅湖相、三角洲前缘、三角洲平原和辫状河等沉积,具有多沉积、沉降中心的特点。因此,从侏罗纪期间的盆地属性看,天山南侧的库车断陷盆地发育深湖相—半深湖相沉积。更有利于作为烃源岩有机质的沉积和保存,其烃源岩优于北侧烃源岩(图2)。

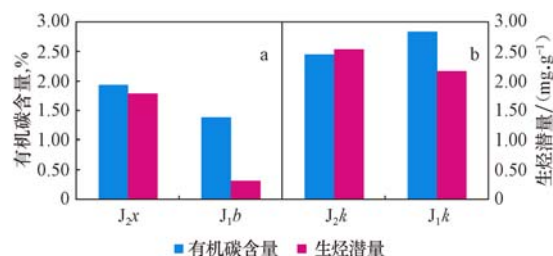


图2 天山南、北两侧侏罗系烃源岩生烃指标对比

Fig. 2 Comparison of hydrocarbon index of the Jurassic source rocks on the south and north side of Tien Shan

a. 天山北侧; b. 天山南侧

2.2 盆山接触关系上的差异是控制两侧沉积、构造乃至油气成藏的主要因素

从深部地质结构看,天山南侧的塔里木板块以较缓的角度向北俯冲于天山之下,而北侧准噶尔板块与天山之间却以高角度断层为界^[10],这种接触关系上的差异,加上滑脱层岩性的不同,造成了南侧构造幅度较大、但形态较为完整,而北侧构造宽缓、但有断层切割背斜核部的特征(图1)。

从地貌特征看,从北天山的依连哈比尔根山到独山子,60 km内地表高程下降了3 000 m,地面坡度大致为50.0 m/km;而在天山南侧,从科克特克山到库车,90 km内地表高程下降了2 000 m,地面坡度为22.2 m/km,北侧的坡度明显大于南侧。虽然现今的地貌特征不能反映地质历史时期的地貌特征,但结合天山造山带的构造演化历史,现今这种地貌特征也具有一定的借鉴意义,地貌上的差异造成了北侧中、新生界沉积相带相对较窄、且相变较快的特征,进一步影响到该区储层的特征及其空间展布。

2.3 沉积埋藏史是造成烃源岩成熟度及演化历史、储层物性差异的关键因素

天山南侧冲断-褶皱带和山前拗陷总的埋藏特征是早期缓慢埋深,中、新世后快速埋藏;而北侧冲断-褶皱带和山前拗陷则是持续快速埋深(图3)。

沉积埋藏演化历史的差异导致了烃源岩成熟演化上的差异(图4),天山北侧冲断-褶皱带和山前拗陷的中二叠统、中-下侏罗统进入生油、生气高峰期的时期明显早于天山南侧的冲断-褶皱带和山前拗陷烃源岩生油、生气高峰期,而北侧的古近系烃源岩虽然现今仍处于生油高峰,但因其分

布局限而难以大规模供烃。这种生油、生气高峰期上的差异对油气藏的后期保存有明显的影 响。越晚生成的油气聚集成藏越易于保存,这应该是天山南侧冲断-褶皱带和山前拗陷发现油气储量规模大于北侧的一个主要原因。

沉积埋藏史的差异也造成了两侧储层成岩作用存在差异、进而对储层物性也有显著影响。天山南侧的冲断-褶皱带和山前拗陷储层物性明显好于北侧的一个主要原因在于北侧经历了长期的深埋成岩作用(图3),压实作用强烈。而南侧只是在后期、主要是中、新世以后经历了快速埋藏(图3),压实作用相对较弱,因而得以保存较好的物性。

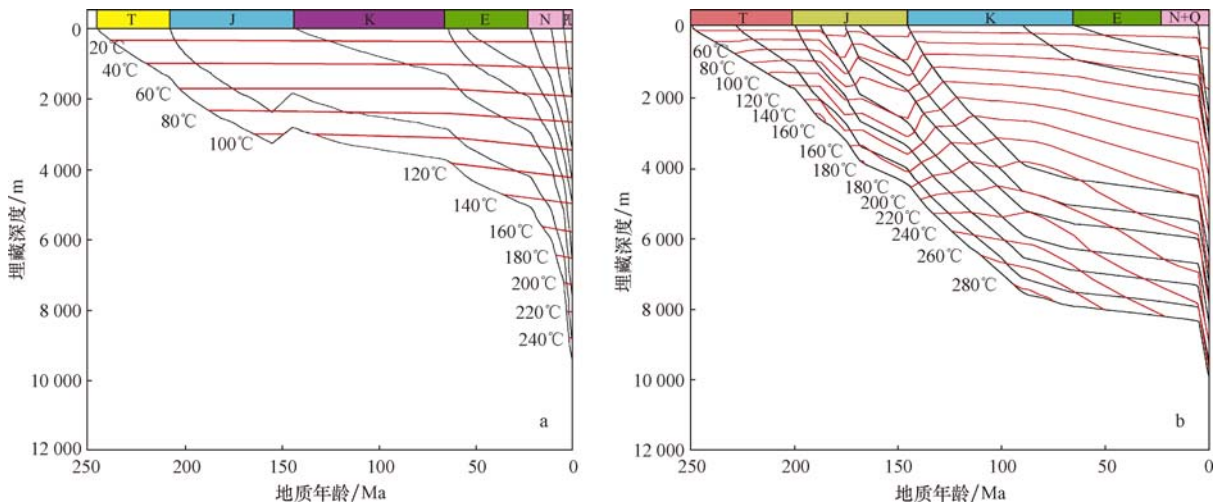


图3 天山南、北两侧山前拗陷沉积埋藏史对比

Fig. 3 Comparison of sedimentary-burial history of piedmont depressions on the south and north side of Tien Shan

a. 天山南侧拜城凹陷;b. 天山北侧沙湾凹陷

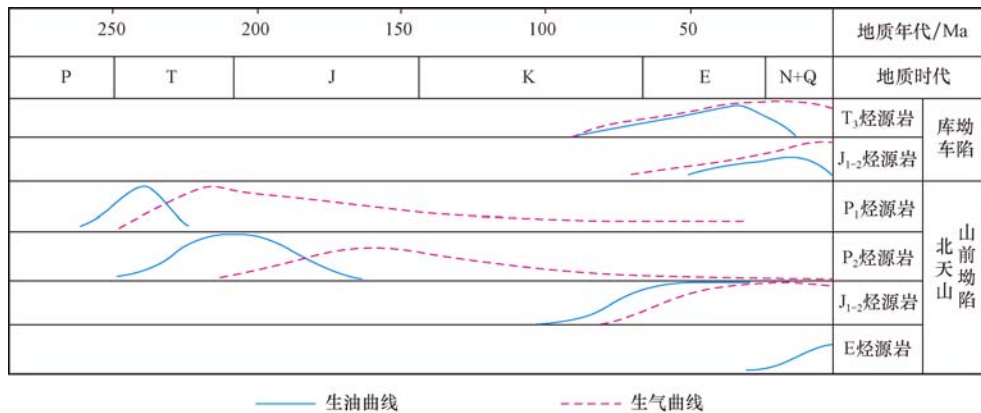


图4 天山南、北两侧冲断-褶皱带主要烃源岩生烃演化对比

Fig. 4 Comparison of hydrocarbon-generation evolution of the main source rocks in the southern and northern Tien Shan thrust-fold belts

2.4 滑脱层岩性上的差异是控制构造特征的关键因素

准噶尔盆地南缘可能的滑脱层主要有侏罗系煤系地层和泥岩、吐谷鲁群泥岩和安集海河组泥岩,以侏罗系煤系地层和泥岩分布广泛,为一套区域性滑脱层。在库车坳陷,主要发育侏罗系煤系地层和泥岩、第三系膏泥岩等滑脱面,以第三系膏泥岩或膏盐岩滑脱层对坳陷内部构造特征影响最大,其中古近系是库车前陆盆地中西部的主要区域性滑脱层。主要由泥岩、含膏泥岩、石膏层和盐岩层组成,厚度巨大,具有区域分布特点。新近系吉迪克组是盆地东部主要滑脱层。

因此,能够真正影响到沉积盖层构造变形的滑脱层在天山南侧冲断-褶皱带为膏泥岩或膏盐岩,在天山北侧冲断-褶皱带为侏罗系煤系地层或泥岩,二者存在较大差异。从岩石物性来讲,膏泥岩或膏盐岩塑性更强、更易于变形,能够形成较大距离的推覆,进而形成变形强度较大、但形态相对较为完整的构造,并能够发生局部蠕变形成各种盐相关构造^[11-12]。

2.5 保存条件的不同是控制油气藏规模的关键因素

保存条件主要包括盖层封闭性和后期构造活动性对油气藏的改造作用。

从岩性上讲,虽然膏盐岩、膏泥岩和泥岩都能够作为油气藏的封闭层,但相比来说,由于具有更高的可塑性,膏盐岩、膏泥岩的封闭能力要更强一些,而且不管膏盐岩、膏泥岩的厚度多大,只要分布普遍、连续性好,都具有良好的封闭能力。因此,库车坳陷普遍发育的古近系膏盐岩、膏泥岩为油气的聚集成藏提供了良好的盖层。迪那2气田、克拉2气田的发现与其封闭能力不无关系。而准噶尔盆地南缘盖层以泥岩为主,缺乏膏盐岩、膏泥岩,因此其封盖能力相对来说要差一些。这从天山南侧冲断-褶皱带广泛发育异常高压而北侧冲断-褶皱带异常高压不太发育也可以反映出来^[13-14]。

构造活动性是影响油气保存条件的另一重要因素,准噶尔盆地西北缘前陆冲断-褶皱带发现大规模的油气储量与后期构造活动性较弱、保存条件有关^[15]。从前面构造特征的对比分析可知,天

山南侧冲断-褶皱带的构造活动性要弱于北侧的构造活动性,加上南侧第三系厚层膏盐岩或膏泥岩的封闭作用,使其保存条件优于北侧。

参 考 文 献

- [1] 刘和甫,汪泽成. 中国中西部中、新生代前陆盆地与挤压造山带耦合分析[J]. 地学前缘,2000,7(3):55-72.
Liu hefu, Wang Zecheng. Coupling analysis of mesozoic-Cenozoic foreland basin and mountain system In central and western China [J]. Earth Science Frontiers,2000,7(3):55-72.
- [2] 况军,刘得光. 准噶尔盆地南缘与塔里木盆地库车坳陷天然气成藏条件对比[J]. 新疆石油地质,2001,22(4):287-290.
Kuang Jun, Liu Deguang. Comparative analysis on natural gas reservoir-formed conditions between south margin of junggar basin and kuche depression of tarim basin [J]. Xinjiang Petroleum Geology,2001,22(4):287-290.
- [3] 魏东涛,贾东,赵应成,等. 准噶尔盆地南缘原油地球化学特征[J]. 石油与天然气地质,2007,28(3):433-440.
Wei Dongtao, Jia Dong, Zhao Yingcheng, et al. Geochemical behaviors of crude oil in the southern margin of Junggar basin [J]. Oil & Gas Geology,2007,28(3):433-440.
- [4] 顾家裕,方辉,贾进华. 塔里木盆地库车坳陷白垩系辫状三角洲砂体成岩作用和储层特征[J]. 沉积学报,2001,19(4):517-523.
Gu Jiayu, Fang Hui, Jia Jinhua. Diagenesis and reservoir characteristics of cretaceous braided delta sandbody in kuqa depression, tarim basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica,2001,19(4):517-523.
- [5] 沈扬,马玉杰,赵力彬. 库车坳陷东部古近系一白垩系储层控制因素及有利勘探区[J]. 石油与天然气地质,2009,30(2):136-142.
Shen Yang, Ma Yujie, Zhao Libin. Controlling factors of the Paleogene-Cretaceous reservoirs and potential exploration areas in the eastern Kuqa Depression [J]. Oil & Gas Geology,2009,30(2):136-42.
- [6] 汪新伟,汪新文,马永生. 准噶尔盆地南缘褶皱-冲断带的构造变换带特征[J]. 石油与天然气地质,2007,28(3):345-354.
Wang Xinwei, Wang Xinwen, Ma Yongsheng. Characteristics of structure transform zones in the fold-thrust belts on the southern margin of Junggar basin, Northwest China [J]. Oil & Gas Geology,2007,28(3):345-354.
- [7] 孙自明,何治亮,牟泽辉. 准噶尔盆地南缘构造特征及有利勘探方向[J]. 石油与天然气地质,2004,25(2):216-221.
Sun Ziming, He Zhiliang, Mou Zehui. Structural features and favorable exploration areas in southern margin of Junggar basin [J]. Oil & Gas Geology,2004,25(2):216-221.
- [8] 陈书平,汤良杰,贾承造,等. 库车坳陷西段第三系盐上层基底沉降分析[J]. 西南石油学院学报,2004,26(1):5-8.

- Chen Shu ping, Tang Liang jie, Jia Cheng zao, et al. Analysis of the basement subsidence of the cenozoic overburden of the western Kuqa depression [J]. Journal of Southwest Petroleum Institute, 2004, 26(1): 5-8.
- [9] 汤良杰, 贾承造, 金之钧, 等. 塔里木盆地库车前陆褶皱带中段盐相关构造特征与油气聚集[J]. 地质论评, 2003, 49(5): 501-506.
- Tang Liangjie, Jia Chengzao, Jin Zhijun, et al. Salt-related structural characteristics and hydrocarbon accumulation in the Middle Segment of the Kuqa foreland fold belt in the Northern Tarim Basin, NW China [J]. Geological Review, 2003, 49(5): 501-506.
- [10] 赵俊猛, 李植纯, 马宗晋. 天山分段性的地球物理学分析[J]. 地学前缘, 2003, 10(8): 125-131.
- Zhao Jun Meng, Li Zhi Chun, Ma Zong Jin. Geophysical evidence for segmentation of the tianshan [J]. Earth Science frontiers, 2003, 10(8): 125-131.
- [11] 张明山, 姚宗惠, 陈发景. 塑性岩体与逆冲构造变形关系讨论——库车坳陷西部实例分析[J]. 地学前缘, 2002, 9(4): 371-376.
- Zhang Ming Shan, Yao Zong Hui, Chen Fa Jing, A discussion on the relationship between plastic body and deformation of thrust Structure; in Western Kuche depression of china as an example [J]. Earth Science Frontiers, 2002, 9(4): 371-376.
- [12] 王子煜. 库车坳陷断层控制下的盐岩塑性流动及对上覆地层构造影响的沙箱模拟[J]. 石油实验地质, 2002, 24(5): 441-445.
- Wang Ziyu. Sandbox simulation of saltrock plastic flow controlled by faults in the kuche depression of the tarim basin and its influence on overlying stratigraphic structures [J]. Experimental Petroleum Geology, 2002, 24(5): 441-445.
- [13] 赵桂萍. 准噶尔盆地南缘异常高压及其与油气成藏的关系[J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(4): 327-331.
- Zhao Guiping. Overpressure and its relation to petroleum accumulation in southern edge of Junggar Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2003, 24(4): 327-331.
- [14] 孙冬胜, 金之钧, 吕修祥, 等. 沉积盆地超压体系划分及其与油气运聚关系[J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(1): 14-20.
- Sun Dongsheng, Jin Zhijun, Lü Xiuxiang, et al. Classification of overpressure systems in sedimentary basins and their relationship with hydrocarbon migration and accumulation [J]. Oil & Gas Geology, 2004, 25(1): 14-20.
- [15] 郑和荣, 李铁军, 蔡立国, 等. 中国中西部前陆冲断褶皱带油气地质条件及勘探建议[J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(2): 156-161.
- Zheng Herong, Li Tiejun, Cai Liguang, et al. Petroleum geologic conditions in foreland thrust fold belts in west central China and proposals for exploration [J]. Oil & Gas Geology, 2004, 25(2): 156-161.

(编辑 高岩)

(上接第896页)

- Cheng Haisheng, Yang Fengli. An overview of fault seal ability in oil and gas fields [J]. Special Oil and Gas Reservoirs, 2008, 15(1): 6-8.
- [20] 李国军, 海川, 杨玉卿, 等. 利用测井地震资料预测塔中油田碳酸盐岩储集层[J]. 测井技术, 2008, 32(3): 225-226.
- Li Guojun, Haichuan, Yang Yuqin, et al. Prediction of carbonate reservoir with Logging-seismic information-case study on Ordovician reservoirs of No. 1 Slope Break Zone, Tazhong Oilfield [J]. Well Logging Technology, 2008, 32(3): 225-226.
- [21] 刘春晓, 张晓花, 刘建军. 塔中地区火山岩与油气藏关系研究[J]. 断块油气田, 2004, 11(5): 18-20.
- Liu Chunxiao, Zhang Xiaohua, Liu Jiangjun. Research of the relationship between lava and hydrocarbon in Tazhong area, Tarim basin. Fault-Block Oil & Gas Field, 2004, 11(5): 18-20.
- [22] 刘春晓, 李铁刚, 刘城先. 塔中地区深部流体活动及其对油气成藏的热作用[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2010, 40(2): 279-284.
- Liu Chunxiao, Li Tiegang, Liu Chengxian. Deep fluid activity in central Tarim Basin and its heating effects on hydrocarbon generation and accumulation [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2010, 40(2): 279-284.
- [23] 吕修祥, 解启来, 杨宁, 等. 塔里木盆地深部流体改造型碳酸盐岩油气聚集[J]. 科学通报, 2007, 52(增刊I): 143-146.
- Lv Xiuxiang, Xie Qilai, Yang Ning, et al. Carbonate hydrocarbon accumulation transformed by deep fluid in Tarim Basin [J]. Chinese Science Bulletin, 2007, 52 (Supplement I): 143-146.
- [24] 吕修祥, 杨宁, 解启来, 等. 塔中地区深部流体对碳酸盐岩储层的改造作用[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(3): 284-288.
- Lv Xiuxiang, Yang Ning, Xie Qilai, et al. Carbonate reservoirs transformed by deep fluid in Tazhong area [J]. Oil & Gas Geology, 2005, 26(3): 284-288.

(编辑 董立)