



准噶尔盆地南缘中段第一、二排构造演化与油气成藏

郭文建¹, 李天然², 冀冬生¹, 施联红³, 韩 杨¹

1. 中国石油新疆油田分公司 勘探开发研究院, 新疆 克拉玛依 834000;

2. 中国石油大学(华东) 地球科学与技术学院, 山东 青岛 266580;

3. 中国石油新疆油田分公司 第二采油厂, 新疆 克拉玛依 834000

摘 要: 盆-山转换带一直是构造地质研究的重点及难点, 开展其构造样式、形成演化及成藏过程解析, 对揭示山前复杂构造的控藏作用、指导盆-山转换带的油气勘探均具有重要意义。综合运用地震资料解释、断层活动定量分析、流体包裹体均一温度测定等手段, 结合构造物理模拟实验, 对准噶尔盆地南缘中段第一、二排构造特征、演化过程、形成机制及控藏机理进行了综合研究。结果表明: 南缘中段第一、二排构造主要发育基底卷入与盖层滑脱断层控制的双重构造样式。侏罗纪末期, 齐古-昌吉褶皱带初具雏形; 古近纪末期, 霍玛吐褶皱带开始形成; 第四纪, 褶皱带被断裂强烈改造, 形成断褶带, 滑脱层对应力向盆内传递起重要作用。南缘中段发育多套烃源岩, 形成了多期差异性的以“自生自储”和“古生新储”为主要组合模式的成藏过程。

关键词: 准噶尔盆地; 构造样式; 构造演化; 油气成藏; 盆-山转换带

TECTONIC EVOLUTION AND HYDROCARBON ACCUMULATION OF THE FIRST AND SECOND ROWS OF STRUCTURE IN THE CENTRAL PART OF SOUTHERN JUNGGAR BASIN

GUO Wen-jian¹, LI Tian-ran², JI Dong-sheng¹, SHI Lian-hong³, HAN Yang¹

1. Exploration and Development Research Institute of Xinjiang Oilfield Company, PetroChina, Karamay 834000, Xinjiang, China;

2. School of Geosciences, China University of Petroleum (East China), Qingdao 266580, Shandong Province, China;

3. No. 2 Oil Production Plant, Xinjiang Oilfield Company, PetroChina, Karamay 834000, Xinjiang, China

Abstract: The basin-mountain transition zone has been the focus and difficulty of tectonic geology, thus the analysis of its tectonic style, formation and evolution and accumulation process is of great significance to reveal the reservoir-controlling function of piedmont complex structures and guide oil-gas exploration in basin-mountain transition zone. The tectonic characteristics, evolution process, formation and reservoir-controlling mechanism of the first and second rows of structure in the central part of southern Junggar Basin are studied through the comprehensive application of seismic data interpretation, quantitative analysis of fault activity, and homogenization temperature measurement of fluid inclusion, combined with tectonophysics simulation experiment. The results show that the duplex structure style controlled by basement involvement and caprock detachment fault is mainly developed in the first and second rows of structure. In the

收稿日期:2022-07-17; 修回日期:2022-10-25. 编辑:李兰英.

基金项目:中国科学院先导项目“深层油气形成与分布预测”(XDA14010301); 中石油“十四五”重大专项“地层不整合油气藏成藏主控因素与关键要素定量评价技术研究”(2021DJ0405).

作者简介:郭文建(1982—),男,高级工程师,从事油气勘探综合研究,通信地址 新疆维吾尔自治区克拉玛依市克拉玛依区准噶尔路 32 号,E-mail//guowj@petrochina.com.cn

通信作者:李天然(1990—),男,博士研究生,从事油气区构造解析研究,通信地址 山东省青岛市黄岛区长江西路 66 号,E-mail//13946903466@163.com

Late Jurassic, Qigu-Changji fold belt began to take shape. In the Late Paleogene, Huomatu fold belt was formed. In the Quaternary, the fold belt was intensively transformed by faults to form the fault-fold belt, and the detachment layer played an important role in the transfer of stress into the basin. Multiple sets of source rocks are developed in the central part of southern margin, which formed a multi-stage differential accumulation process with “self-generating and self-storage” and “old-generating and new-storage” as the main combination mode.

Key words: Junggar Basin; tectonic style; tectonic evolution; hydrocarbon accumulation; basin-mountain transition zone

0 引言

盆-山转换带一直是构造地质与石油地质研究的重点及热点. 准噶尔盆地南缘中段位于伊林黑比尔根山北麓,受北天山多期活动叠加影响,其构造演化与成藏过程极为复杂. 近年来, 众多学者开展了该区的断层相关褶皱、构造楔形体、构造转换带等特征研究^[1-4]; 并通过显微构造、地层年代学等恢复了构造与沉积演化^[5-8]; 依据变形机制、应力场模拟等揭示了典型构造成因机理^[9-12]; 并初步分析了构造对油气成藏的控制作用^[13-15], 研究了淮南前陆冲断带的油气成藏时空配置关系^[16], 提出了霍玛吐构造带两期油气成藏的大致时期^[17].

目前油气勘探证实, 3 排构造均含油气, 尤其是在第一、二排构造上发现了大量油气, 且构造及成藏也最为复杂, 因此第一排构造(齐古-昌吉背斜带)和第二排构造(霍-玛-吐背斜带)应作为研究重点. 前人对该区域构造活动性的研究大多局限在定性分析领域, 缺乏定量解析, 针对成藏过程的研究主要集中在某一排背斜带或特定的圈闭, 将第一、二排构造相统一, 对构造形成演化与油气成藏过程进行一体化的研究较少.

本研究通过对拼接地震大剖面的精细构造解析, 定量分析第一、二排构造的活动性, 在平衡剖面原理指导下恢复构造演化过程, 并在此基础上恢复油气成藏过程, 以期为深入探讨南缘中段的构造变形特征、指导油气勘探提供参考.

1 地质背景

准噶尔盆地南缘位于北天山和准噶尔盆地之间, 面积约 $2.5 \times 10^4 \text{ km}^2$, 盖层沉积厚度最大可达 $15 \text{ km}^{[1-2]}$, 南缘中段是指位于头屯河与安集海河之间的部分(图 1). 准噶尔盆地南缘经历了多期次、多性质的构造运

动叠加^[18-24], 由于各期次构造运动的不均衡, 造就南缘构造极为复杂, 尤其是南缘中段. 南缘中段自南向北, 从山前到盆地依次发育 3 排近东西向展布的褶皱构造带, 包括齐古-昌吉背斜带(第一排)、霍-玛-吐背斜带(第二排)和安集海-呼图壁背斜带(第三排)^[1], 尤其是第一、第二排构造最为复杂. 研究区内地层从二叠系到新近系均有分布, 其中以侏罗系、白垩系及新生界各组发育较全(表 1). 三叠系、白垩系和古近系内部发育的多套滑脱层进一步增加了 3 排背斜构造叠加变形的复杂性.

表 1 准噶尔盆地南缘中段地层表
Table 1 Stratigraphy of central part of southern Junggar Basin

系	统		群/组	代号	年龄 /Ma
第四系	全新统			Q_4	2.0
	上更新统		新疆群	$Q_{2,xj}$	
	中更新统		乌苏群	$Q_{2,ws}$	
	下更新统		西域组	$Q_{2,xy}$	
新近系	上新统	昌吉河群	独山子组	N_d	5.1
	中新统		塔西河组	N_t	24.6
			沙湾组	N_s	
古近系	渐新统	安集海河组		$E_{2,3}a$	38
	始新统	紫泥泉子组		$E_{1,2}z$	65
	古新统				
白垩系	上统	东沟组		K_d	97.5
	下统	吐谷鲁群	连木沁组	K_l	144
			胜金口组	K_{1sh}	
			呼图壁河组	K_h	
			清水河组	K_q	
侏罗系	上统	喀拉扎组		J_k	163
		齐古组		J_q	
	中统	水西沟群	头屯河组	J_t	188
			西山窑组	J_x	
	下统		三工河组	J_s	213
			八道湾组	J_b	

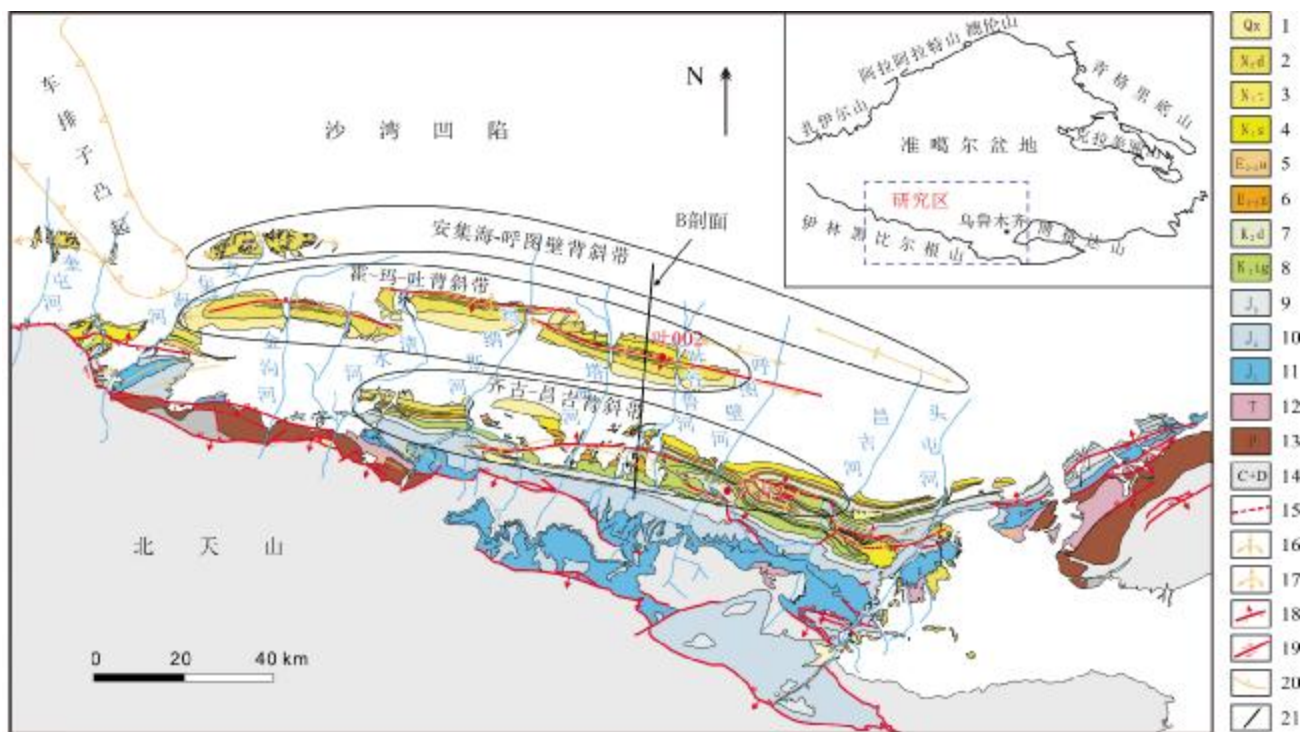


图1 准噶尔盆地南缘中段地质简图

(据文献修改[6])

Fig. 1 Geological sketch map of central part of southern Junggar Basin

(Modified from Reference [6])

1—第四系西域组(Quaternary Xiyu fm.); 2—新近系独山子组(Neogene Dushanzi fm.); 3—新近系塔西河组(Neogene Taxihe fm.); 4—新近系沙湾组(Neogene Shawan fm.); 5—古近系安集海河组(Paleogene Anjihaihe fm.); 6—古近系紫泥泉子组(Paleogene Ziniquanzi fm.); 7—白垩系东沟组(Cretaceous Donggou fm.); 8—白垩系吐谷鲁群(Cretaceous Tugulu gr.); 9—上侏罗统(Upper Jurassic); 10—中侏罗统(Middle Jurassic); 11—下侏罗统(Lower Jurassic); 12—三叠系(Triassic); 13—二叠系(Permian); 14—石炭系及泥盆系(Carboniferous-Devonian); 15—隐伏断层(buried fault); 16—向斜(syncline); 17—背斜(anticline); 18—逆冲断层(thrust fault); 19—走滑断层(strike-slip fault); 20—侏罗系尖灭线(Jurassic pinch-out line); 21—地震剖面位置(seismic section)

2 构造样式及特征

准噶尔盆地南缘中段构造变形复杂,断裂相互叠加,主要发育逆断层,局部发现有正断层及具有压扭性质的走滑断层。断层在不同区域和层位的发育具有一定规律性,正断层终止于下一中侏罗统,受喜马拉雅运动期强烈造山作用的影响,逆断层广泛发育于中—新生代。

通过对最新高品质地震资料的解释,尤其是对多条典型南北向地震剖面精细解释分析,揭示准噶尔盆地南缘中段发育多类型构造样式(图2)。总体来看,由南向北主要受两种不同的断裂组合样式控制,从齐古背斜到吐谷鲁背斜主要受控于基底卷入—顺层滑脱型逆冲断裂体系,在齐古背斜附近发育基底卷入型逆冲断裂体系,在齐古背斜两翼发育反冲断裂体系,而在吐

谷鲁背斜附近主要发育顺层滑脱型断裂体系,且齐古背斜发育的基底卷入型断裂与吐谷鲁背斜浅层古近系发育的顺层滑脱型断裂具有明显的搭接关系,进而形成有成因联系的基底卷入—顺层滑脱型逆冲断裂体系。同时,吐谷鲁背斜也明显地发育白垩系和三叠系顺层滑脱型逆冲断裂体系,且两层顺层滑脱型断裂均被齐古断裂附近的基底卷入型断裂体系切割。结合地震剖面响应特征,白垩系与侏罗系的断裂分布总体具有相似分布特征,其中侏罗系断裂相对较多。第一排褶皱所在区域(齐古—昌吉背斜带)主要发育基底卷入型断裂,在平面分布上表现出相对弯曲的斜交式组合样式为主;而在第二排褶皱区域(霍—玛—吐背斜带),主要以顺层滑脱型断裂为主,平面上呈现出明显的亚平行式断裂分布特征(见图1)。

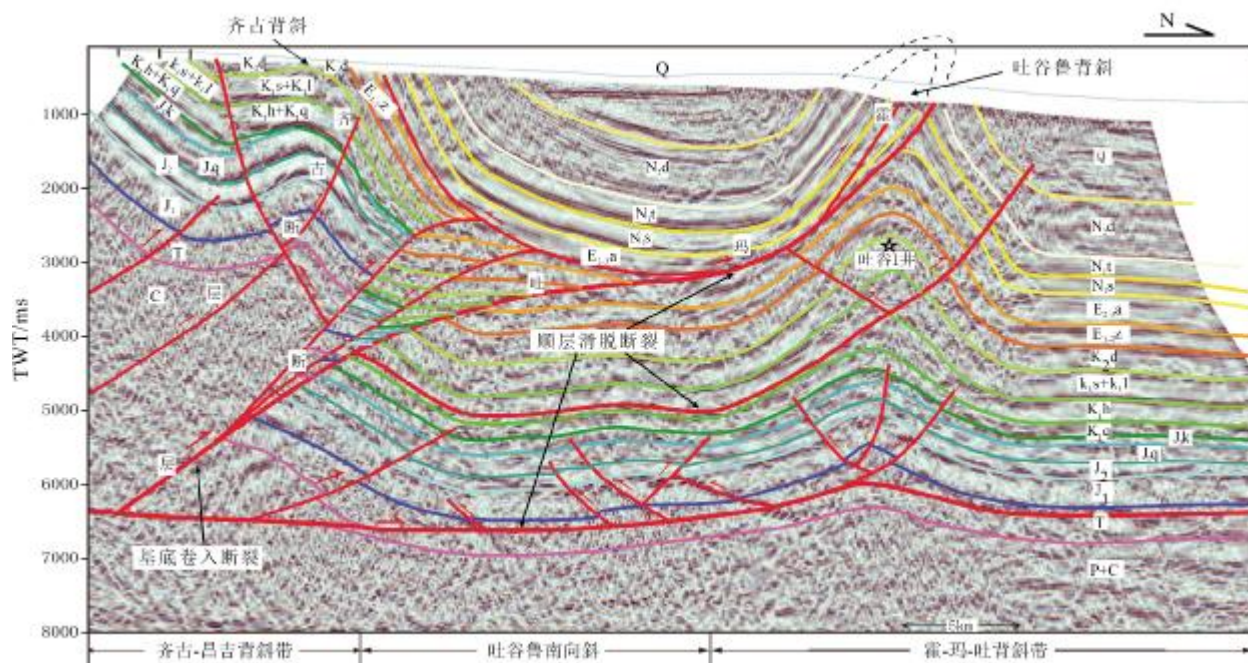


图2 准噶尔盆地南缘中段地震剖面构造样式图

Fig. 2 Structural styles of seismic section in the central part of southern Junggar Basin

3 构造形成与演化

3.1 构造活动定量分析

目前对准噶尔盆地南缘中段构造活动的定量研究方面相对较少,制约了构造演化阶段的准确划分.本研究利用最新采集的高品质地震资料进行构造活动定量分析,以期为后续的具体构造演化过程分析提供支撑.构造活动定量分析主要涉及3种分析方法:断层滑移距定量分析^[25]、古地层厚度定量分析^[26]和生长地层发育分析^[27].其中断层滑移距定量分析最为精确,其分别对每条转换后的深度域剖面进行断裂编号,然后再对每条解释剖面进行断距数据录入,最后对每条解释剖面中的断距变化情况进行编图及分析.

依据时深转换,将典型地震剖面转换成地质剖面进行断裂活动性分析(图3),显示绝大部分断裂的滑移距均表现出由深至浅逐渐变小的发育趋势.大断裂如FB12号断裂(霍玛吐断裂)和FB10号断裂,存在较明显的拐点特征(绿色虚线和粉红色虚线具有不同的斜率),推断该类断裂可能具有多次活动的特点.绝大部分(尤其是从侏罗系到新近系)地层厚度均表现出了稳定变化的发育趋势,仅第四系出现了较为明显的厚度突然变化.结合实际地震剖面分析,可知在该套沉

积地层内部均表现出了生长导致的地层增厚,即生长地层的发育特征,进而推测该剖面跨过的吐谷鲁背斜在该时期构造活动较为明显,控制了地层的沉积.

3.2 构造演化

准噶尔盆地南缘中段第一、二排构造带主要经历了燕山期和喜马拉雅期两期构造运动,尤其是喜马拉雅期的强烈挤压作用,控制了研究区的现今构造样式.针对剖面B(见图1)运用趋势法进行剥蚀厚度恢复,在此基础上采用Midland Valley 3D MOVE地质建模软件,进行平衡剖面恢复,绘制不同地质历史时期的构造剖面,以揭示准噶尔盆地南缘中段的构造演化过程.

中生代初期,准噶尔盆地南缘在古生界顶部不整合界面之上沉积了三叠系,由于处于盆地边缘,三叠系呈超覆形式沉积,地层由北向南减薄(图4).

早侏罗世(图4a、b),准噶尔盆地南缘处于弱伸展环境^[28-30],发育控制早侏罗世沉积的小型高角度正断层,此时南缘古地貌仍为一斜坡,湖盆宽泛,沉积地层整体南薄北厚.中晚侏罗世(图4c),头屯河组(J_{2t})、齐古组(J_{3q})、喀拉扎组(J_{3k})沉积时期,准噶尔湖盆已开始收缩,物源区的汇水面积减小.经过长时间的剥蚀夷平和充填作用,洪泛平原形成,之后经历了较强烈的

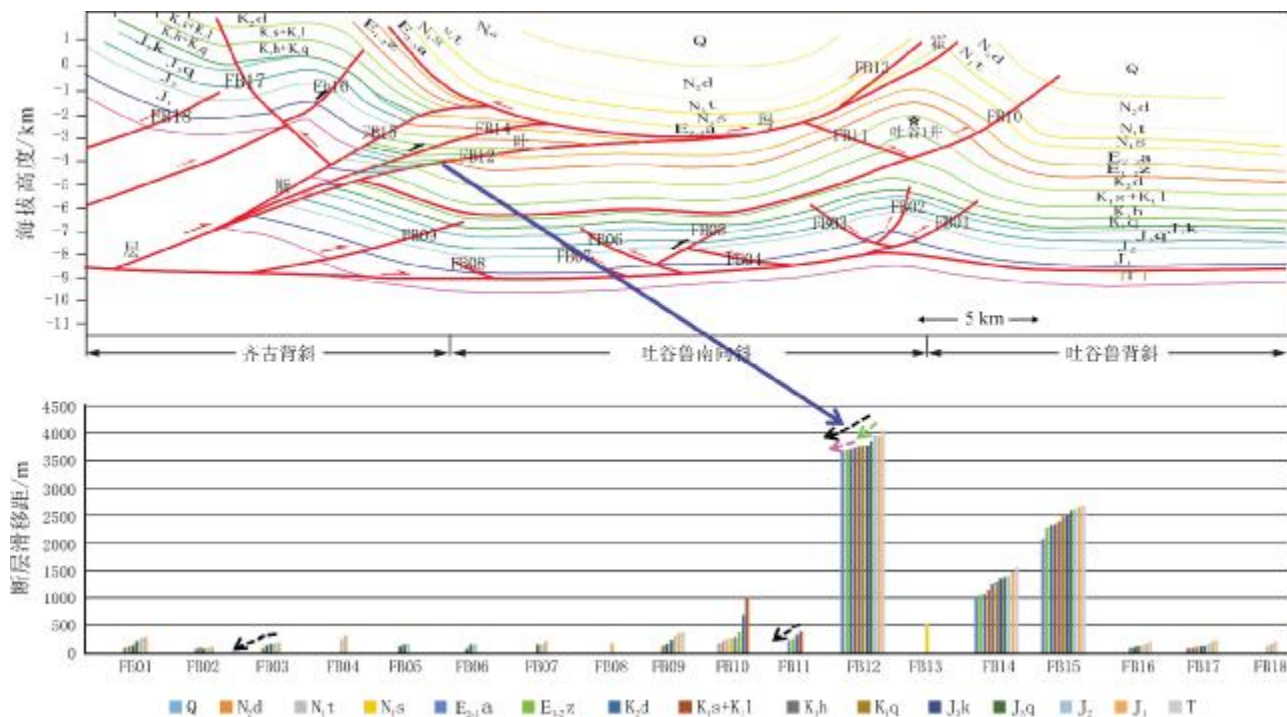


图3 准噶尔盆地南缘中段地质剖面及其断裂滑移距定量统计综合分析图

Fig. 3 Geological section and fault slip distance quantitative statistics in the central part of southern Junggar Basin

构造挤压作用^[29, 31-32],使侏罗系发生了强烈的褶皱变形,形成第一排褶皱(齐古背斜)。南缘地区先前形成的控制早侏罗世沉积的小型高角度伸展断层在挤压构造应力作用下发生构造反转,与此同时先存的基底逆冲推覆断层不断向前传播,与反转构造交汇,基底卷入式逆冲断层也开始发育,在剖面上形成叠瓦状构造。基底逆冲推覆断层传播到前缘形成微弱变形的断层传播褶皱,形成第二排褶皱的雏形。伴随着地壳快速抬升,喀拉扎组风化剥蚀严重,特别是第一排褶皱顶部的喀拉扎组剥蚀殆尽,并露出齐古组。受北天山隆升影响,石炭系基底呈明显的三角楔形由南向北挤压逆冲,使南缘沉积的地层发生明显的掀斜,之后接受了白垩系(图4d)较为稳定的巨厚沉积。

古近纪(图4e),由于印度板块向欧亚板块俯冲的远程效应,天山开始复活隆升,准噶尔盆地南缘在强烈的挤压应力作用下褶皱构造幅度不断增大,地层剥蚀不断加剧。随着挤压的进行,基底逆冲推覆断层(最大的断层)不断向北逆冲,在第二排褶皱顶部发育分支断层,断层传播使第二排褶皱变得更加明显;基底逆冲推覆断层在向北传播过程中倾角逐渐变缓,其分支的基

底卷入式逆冲断层不断发育新的分支断层,切穿侏罗系、白垩系到达古近系。基底卷入式逆冲断层发育的分支断层在白垩系中发生顺层滑动,形成滑脱断层。

新近纪(图4f),特别是上新世,是准噶尔盆地南缘构造运动最强烈的时期,受喜马拉雅期末期造山运动的影响,北天山大幅度逆冲隆升。受南部挤压应力场的影响,边界断裂活动剧烈,强烈的构造应力促使基底构造三角楔^[2]不断向前推进,沿着先前形成的逆冲断层的分支向上逆冲,基底也被抬升,并在构造楔前端发育北倾的反向断层。该断层向南逆冲,导致上盘地层进一步弯曲,在构造楔前端形成第一排膝折带,进而于第一个构造楔下发育第二个构造楔,形成叠加型构造楔,呈“羊蹄状”延伸。随其向北持续逆冲,白垩系中发育的滑脱断层继续顺层滑动。第二个构造楔底部的基底逆冲推覆断层沿三叠系向盆地传播,引发盆地褶皱变形,使吐谷鲁背斜褶皱更加明显。

强烈的推挤使第一排背斜(齐古背斜)幅度加强,形态不断紧闭。为了调节挤压过程中遇到的反冲阻力,反向逆冲断层在褶皱内部大量发育,吸收了大量的挤压活动量,表皮构造的完整性被破坏,表现为明显的挤

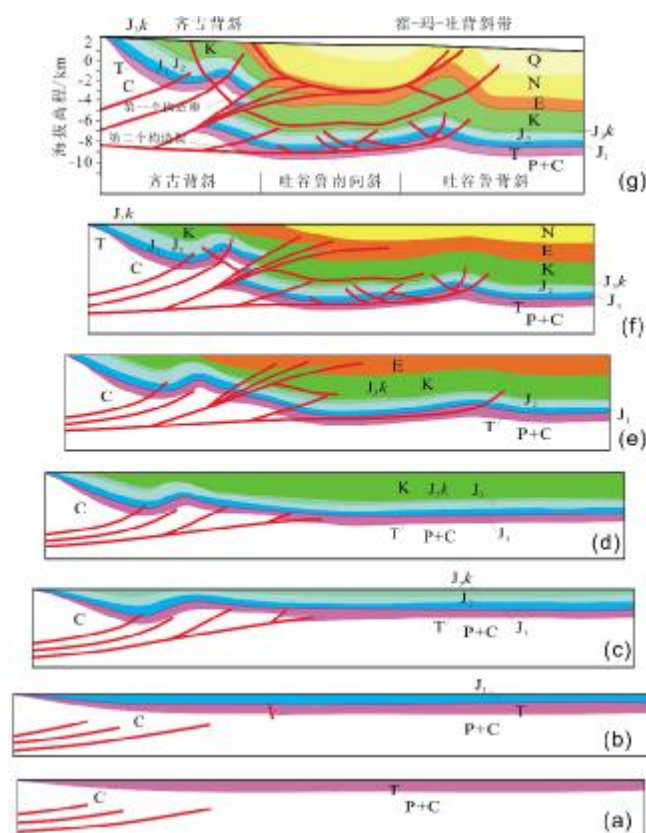


图4 准噶尔盆地南缘中段构造演化剖面图

Fig. 4 Tectonic evolution model of central part of southern Junggar Basin

a—下侏罗统沉积前剖面 (before Lower Jurassic deposition); b—中侏罗统沉积前剖面 (before Middle Jurassic deposition); c—白垩系沉积前剖面 (before Cretaceous deposition); d—古近系沉积前剖面 (before Paleogene deposition); e—新近系沉积前剖面 (before Neogene deposition); f—第四系沉积前剖面 (before Quaternary deposition); g—现今剖面 (present profile)

压推覆特征。此时期深部的基底卷入式断层的分支断层,在白垩系吐谷鲁群中发生长距离滑脱冲断,基底逆冲推覆断层在向前传播过程中,为了调节挤压过程中遇到的反冲阻力,反向逆冲断层不断发育,第二排褶皱(吐谷鲁背斜)明显隆升,核部被基底逆冲推覆断层发育的分支断层所切割改造。

到了更新世至全新世,再生前陆盆地强烈发育,由于巨大的挤压应力影响,天山快速隆升,石炭系山体进一步向北扩展,受强烈的前陆冲断推覆和地壳抬升剥蚀的影响,南缘地区的第一排背斜(齐古背斜)变形强烈,地层缩短幅度增大,地层变陡,发生掀斜,反冲断层发育改造了第一排背斜。在白垩系吐谷鲁群中发育的滑脱冲断层继续向前滑动,形成断层转折褶皱,在第二

排褶皱(吐谷鲁背斜)顶部发育反冲断层。基底卷入式逆冲断层(霍-玛-吐逆冲断层)产状在强烈的挤推作用下切过第二个构造楔,与古近系安集海河组内发育的滑脱断层交汇在一起,沿着第二排背斜顶部向盆地延伸冲出地表。断层切过的第二个构造楔被分为两半,其上半部分沿断层向北逆冲抬升。强烈的挤推作用使滑脱断层在剖面上呈明显的弧形,剖面上与基底逆冲推覆断层构成3层明显的断层组合,表现出双重构造样式,改造着三叠纪以来的地层。构造三角楔的形态在新近系沉积时期的基础上变得更加陡倾,地层发生的掀斜也更加明显。

3.3 构造物理模拟

为明确南缘中段典型构造成因机理,并验证构造演化过程,针对研究区进行构造物理模拟实验。影响地质构造变形的主要因素有岩石成分、结构和构造,岩石溶液或水分含量、施力速度和施力方向,岩层厚度等^[33]。因此,需要根据实验构造变形条件和研究区岩石力学性质,选择最为相似的实验材料和最为接近的实验条件。在自然重力场中,松散石英砂的内摩擦角约为 37° ,其抗张强度接近于0,比较符合地壳浅层岩石的变形性质,适用于模拟如砾岩、灰岩、砂岩等浅层岩石^[34-35];而硅胶的内摩擦角约为 25° ,适用于模拟强度较小的非能干岩层,如泥岩层、煤层等滑脱层^[36]。为了便于观察挤压变形过程,本次实验采用力学性质完全一致的白、浅蓝两种颜色,粒径为0.2~0.6 mm的松散石英砂模拟北天山前带的岩层,使用深蓝色硅胶模拟滑脱层。

脆性的莫尔-库仑材料,如干燥石英砂和玻璃微珠,其变形与应变率无关,因此变形速率不需要严格成比例^[37]。在实验中采用较为中等的挤压变形速率(0.015 mm/s),几何相似比为 5×10^{-6} ,即1 mm代表200 m。通过计算得出韧性层挤压速率为 2.5×10^{-6} m/s,即0.0025 mm/s。依据实际地质情况,物理模拟实验用不同颜色的干燥石英砂(内部摩擦力小、流动性中等)模拟沉积岩层,小玻璃珠(内部摩擦力大、流动性较强)或硅胶(内部摩擦力极小、流动性极强)模拟塑性岩层^[33, 35, 38]。

由于准噶尔盆地南缘中段主要受北天山的影响,应力方向相对单一,采用平直的挤压面。实验中分别在模型底部及中部设置两套硅胶层模拟滑脱层。实验

沙箱规格为 50 cm(长)×25 cm(宽)×30 cm(高),一端用固定挡板,另外一端挡板可以活动,实验中使用计算机精确控制其移动速率,使用单向挤压压力模拟自然界中地层单向挤压的现象,两侧为厚玻璃板进行封闭,便于照相机拍照记录。

此次实验按照实际地质现象进行比例化模拟,地层厚度设置为 6 cm,挤压距离设置为 14 cm。实验材料选用白色石英砂作为地层,用浅蓝色石英砂作为地层分界,深蓝色硅胶模拟滑脱层,平均地层厚度为 1 cm(图 5a)。实验过程采用单侧挤压,移动端(左端)以特定的速率向右推进,模拟自然界中的构造挤压,挤压速率设置为 0.0025 mm/s,过程中不考虑沉积与剥蚀。在挤压 2 cm 时(图 5b)出现第一条断层 F1;在挤压 6 cm 时(图 5c),第二条断层 F2 出现,并沿中部的滑脱层向前传播,F2 整体呈底部逆冲、中部滑脱、上部逆冲的构造特征;在挤压 10 cm 时(图 5d),断层 F3 形成,此时第二排构造基本形成,并在断层 F1 上盘发育反冲断层 F5;在挤压 12 cm 时(图 5e),断层 F4 沿底部滑脱层向前传播,并向上冲出地表,F4 上盘地层弯曲。

构造物理模拟实验中的第一、二排构造带与构造演化剖面中具有较明显的相似性。随着地层在挤压应力作用下逐渐压缩,F1 断层上盘发育第一个构造楔,F2 断层上盘发育第二个构造楔,断层 F2 及 F4 分别沿中部及底部塑性滑脱层向前传播,一定程度上验证了构造演化剖面的正确性。

4 油气成藏期次

针对南缘中段齐古油田侏罗系选取了 10 块样品,吐谷鲁油田古近系选取了 6 块样品分别进行流体包裹体分析。包裹体多位于石英颗粒裂缝和次生加大边中,包括单个包裹体和群体包裹体两类。按相态,又可分为单一液相包裹体、气液两相包裹体。单个包裹体大小为 1~30 μm ,形态有似圆形、多边形、椭圆形、圆形条带状、心形、不规则状等。齐古油田侏罗系获得 3 组包裹体均一温度峰值数据:70~80 $^{\circ}\text{C}$ 、90~100 $^{\circ}\text{C}$ 、110~120 $^{\circ}\text{C}$ (图 6a)。通过齐古 2 井埋藏史分析(图 7a),共有 3 期油气充注:第一期成藏约为燕山晚期,是来自深部二叠系烃源岩生出的原油^[16],为“古生新储”型油藏;第二期成藏在喜马拉雅早期,来自侏罗系煤系烃源岩^[16],

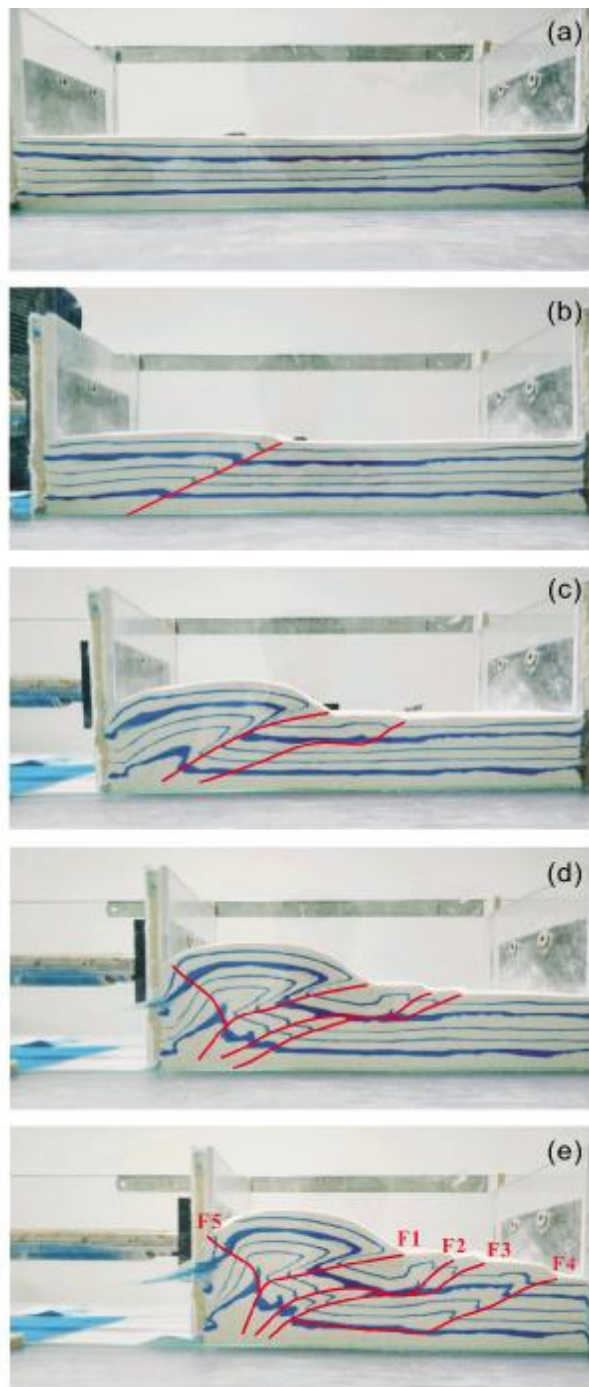


图 5 准噶尔盆地南缘中段构造样式形成过程物理模拟图

Fig. 5 Physical simulation of the formation process of structural styles in the central part of southern Junggar Basin

a—原始状态(original state); b—挤压 2 cm (compressing 2 cm); c—挤压 6 cm (compressing 6 cm); d—挤压 10 cm (compressing 10 cm); e—挤压 12 cm (compressing 12 cm)

就近聚集在侏罗系,为“自生自储”型油藏;第三期成藏发生在喜马拉雅晚期,为来自侏罗系煤系烃源岩^[16]的高成熟—过成熟天然气。

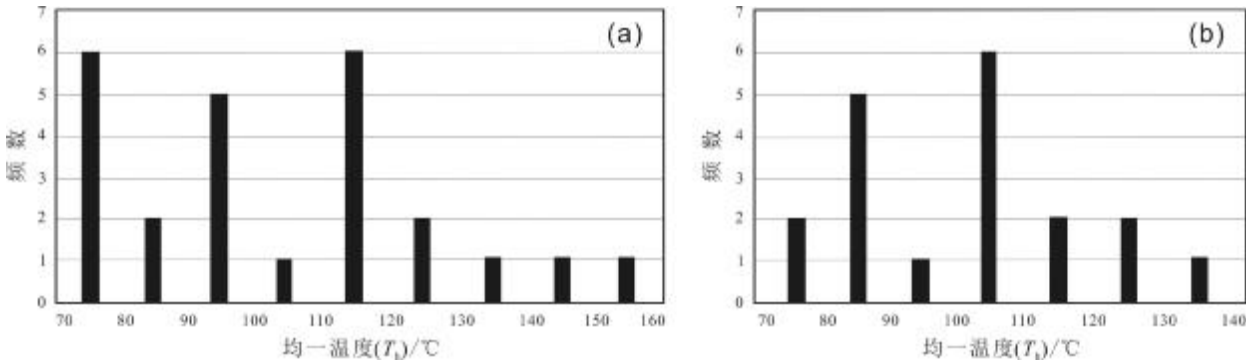


图 6 齐古 2 井及吐 002 井包裹体均一温度统计直方图

图 6 Histograms for the homogenization temperatures of fluid inclusions in QG2 well and T002 well

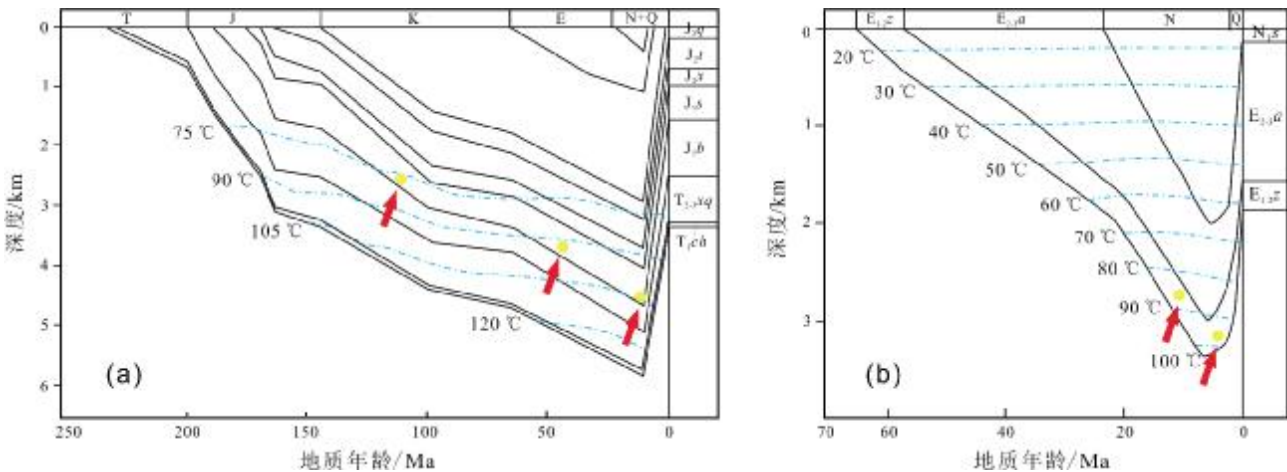


图 7 齐古 2 井及吐 002 井埋藏及热演化史

Fig. 7 Burial and thermal evolution history of QG2 well and T002 well

吐谷鲁油田古近系包裹体均一温度测试获得 2 组峰值数据: 80~90 °C, 100~110 °C (图 6b). 通过吐 002 井埋藏史分析(图 7b), 存在 2 期成藏: 第一期成藏在沙湾组沉积期(14 Ma 左右), 来自白垩系湖相烃源岩生成的低熟原油及中一下侏罗统煤系地层生成的成熟气, 以油气混合充注为主; 第二期成藏在独山子组沉积末期(3.7 Ma 左右), 来自侏罗系煤系地层高成熟烃源岩的干气及白垩系湖相烃源岩的成熟原油, 故该期成藏以天然气伴随有高成熟度原油的混合充注为主.

5 油气成藏过程

南缘中段的成藏过程是古生新储和近源自生自储两种模式的混合. 第一排构造带(齐古-昌吉构造带)经历 3 期成藏. 白垩系沉积前, 二叠系烃源岩生成的油气沿断裂运移至侏罗系和三叠系, 形成原生构造油

藏(图 8a). 燕山晚期, 中一下侏罗统煤系地层本身进入生油阶段^[16], 同时因断层切至侏罗系导致二叠系生成的油气继续向上运移至侏罗系, 形成侏罗系古生新储及自生自储混合构造油藏(图 8b). 喜马拉雅早期, 受北天山隆升产生的自南向北挤压应力作用影响, 早期断层持续向上逆冲, 与反冲断层共同构成了上盘背冲断块, 破坏了早期三叠系及部分侏罗系油气藏, 使其向上运移, 同时与断层下盘侏罗系煤系地层生成的煤型气汇聚, 形成自生自储与古生新储混合的混源油气藏(图 8c). 喜马拉雅晚期, 中一下侏罗统煤系地层热演化达到高成熟—过成熟阶段^[39-40], 生成的大量煤型气向构造高部位运移并成藏(图 8d). 第二排构造带(霍-玛-吐断褶带)经历两期成藏. 喜马拉雅早期(沙湾组沉积时期), 在强烈的挤压应力作用下, 第二排断褶带初步形成, 具备圈闭条件. 此时中一下侏罗统煤

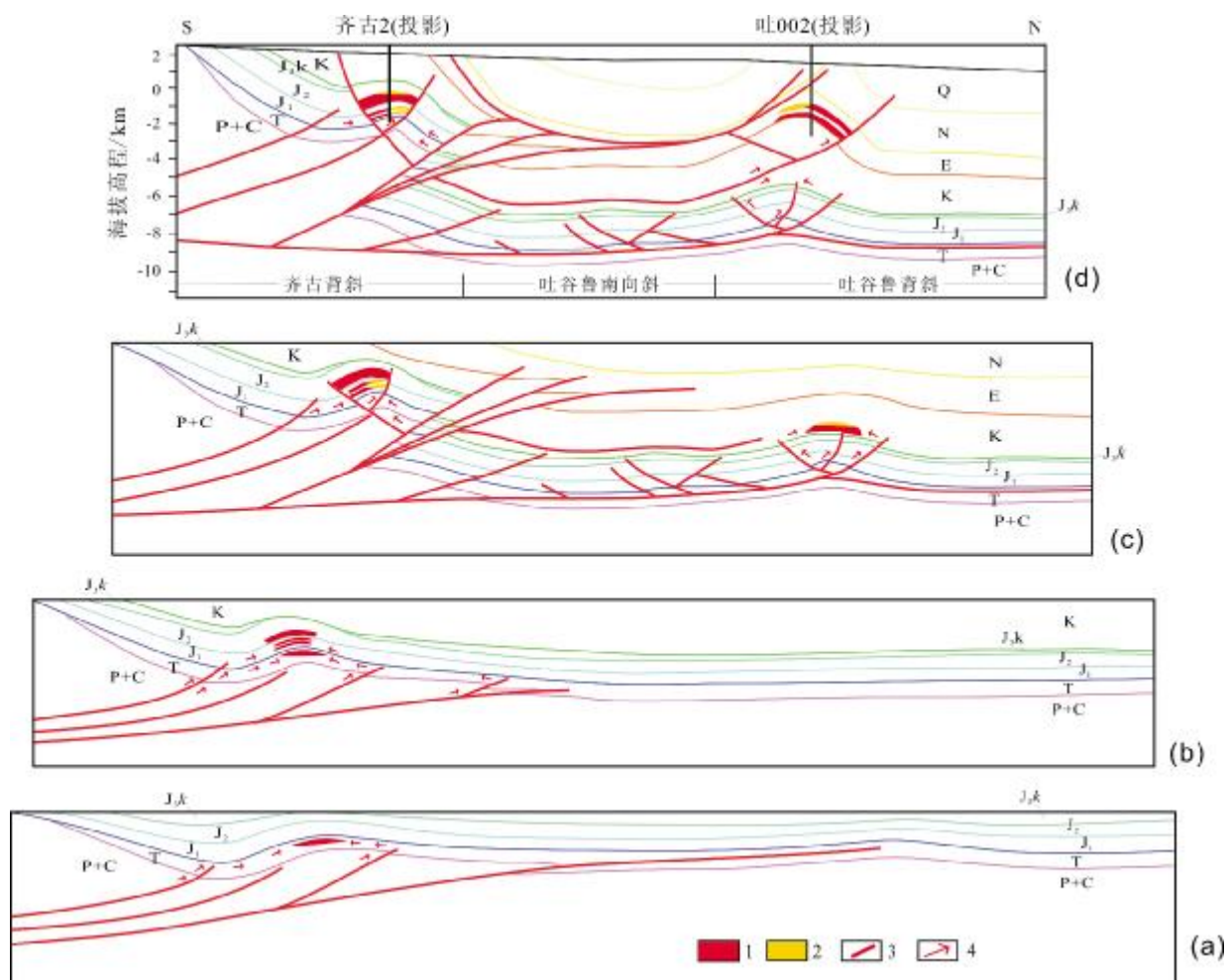


图8 准噶尔盆地南缘中段油气成藏过程图

Fig. 8 Hydrocarbon accumulation process of the central part of southern Junggar Basin

a—燕山早期剖面(Early Yanshanian); b—燕山晚期剖面(Late Yanshanian); c—喜马拉雅早期剖面(Early Himalayan); d—喜马拉雅晚期剖面(Late Himalayan); 1—油藏(oil reservoir); 2—气藏(gas reservoir); 3—断层(fault); 4—油气运移方向(hydrocarbon migration direction)

系地层已进入生气期,同时下白垩统烃源岩开始生油^[16],在白垩系内形成混源油气藏(图8c)。喜马拉雅晚期(独山子组沉积末期),中一下侏罗统煤系烃源岩处于高成熟度演化阶段,而下白垩统烃源岩则处于生油高峰期,伴随发育在白垩系及古近系内的滑脱断层的持续运动及向上错断,白垩系圈闭受到破坏,混源油气沿断裂运移至古近系成藏(图8d)。

总体上南缘中段第一排齐古-昌吉背斜带油气成藏期早,并有3期油气充注叠加;第二排霍-玛-吐背斜带成藏期晚,有2期油气充注叠加。油气主要充注时期也是构造活动的主要时期。

6 结论

1)准噶尔盆地南缘中段主要发育基底卷入型与顺

层滑脱型两种断层的典型构造样式,其中基底卷入型断层切割中深层三叠系和白垩系内部的滑脱断层,并与浅层古近系滑脱断层呈现较好的对接关系。

2)准噶尔盆地南缘中段主要经历了3个阶段的构造演化:侏罗纪末期,第一排构造齐古-昌吉褶皱带初具雏形;古近纪末期,第二排构造霍-玛-吐褶皱带开始形成;第四纪褶皱被断裂强烈改造,第一、二排构造幅度进一步增大,演化成断褶带,其中滑脱层对应应力向盆内传递起关键作用。

3)基于流体包裹体均一温度分析,准噶尔盆地南缘山前第一排齐古-昌吉背斜带油气成藏期早,并有3期油气充注过程;第二排霍-玛-吐背斜带成藏期晚,有2期油气充注过程。油气主要充注时期也是构造活动的主要时期。

参考文献(Reference):

- [1]邵雨,陈伟,张伯友.断层相关褶皱理论在准噶尔盆地南缘山前带构造研究的应用[J].地球科学与环境学报,2005,27(1):26-29.
Shao Y, Chen W, Zhang B Y. Application of the geometry of fault-related folding to the southern Junggar Basin[J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2005, 27(1): 26-29.
- [2]管树巍,李本亮,何登发,等.构造楔形体的识别与勘探——以准噶尔盆地南缘为例[J].地学前缘,2009,16(3):129-137.
Guan S W, Li B L, He D F, et al. Recognition and exploration of structural wedges: A case study of the southern margin of Junggar Basin[J]. Earth Science Frontiers, 2009, 16(3): 129-137.
- [3]彭天令,阎桂华,陈伟,等.准噶尔盆地南缘霍玛吐构造带特征[J].新疆石油地质,2008,29(2):191-194.
Peng T L, Yan G H, Chen W, et al. Characteristics of Huoerguosi-Manasi-Tugulu structural belt in Junggar Basin[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2008, 29(2): 191-194.
- [4]庄锡进,陈伟,汪新.准噶尔盆地南缘吐鲁背斜的构造解释与初步建模[J].大地构造与成矿学,2005,29(2):223-226.
Zhuang X J, Chen W, Wang X. Structural analysis and a preliminary structural model for the Tugulu anticline in the south margin of Junggar Basin[J]. Geotectonica et Metallogenia, 2005, 29(2): 223-226.
- [5]韩淑琴,祁颖,胡玲.准噶尔盆地南缘断裂带显微构造特征与活动时代[J].地质力学学报,2006,12(4):423-428.
Han S Q, Bing Y, Hu L. Microstructures and ages of activity of the reverse faults along the southern margin of the Junggar Basin[J]. Journal of Geomechanics, 2006, 12(4): 423-428.
- [6]朱明,汪新,肖立新.准噶尔盆地南缘构造特征与演化[J].新疆石油地质,2020,41(1):9-17.
Zhu M, Wang X, Xiao L X. Structural characteristics and evolution in the southern margin of Junggar Basin[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2020, 41(1): 9-17.
- [7]康志宏.准噶尔盆地古生代沉积演化特征[J].地质力学学报,2011,17(2):158-174.
Kang Z H. Evolution of Paleozoic sedimentation of the Junggar Basin[J]. Journal of Geomechanics, 2011, 17(2): 158-174.
- [8]周小军,王旭,陈伟,等.准噶尔盆地南缘中段深层构造变形特征及构造转换关系[J].地质科学,2020,55(2):339-351.
Zhou X J, Wang X, Chen W, et al. Structural deformation and transition relations of the deep structure in the central margin of the southern Junggar Basin[J]. Chinese Journal of Geology, 2020, 55(2): 339-351.
- [9]管树巍,张朝军,何登发,等.前陆冲断带复杂构造解析与建模——以准噶尔盆地南缘第一排背斜带为例[J].地质学报,2006,80(8):1131-1140.
Guan S W, Zhang C J, He D F, et al. Complex structural analysis and modeling: The first row of anticlinal belt on the southern margin of the Junggar Basin[J]. Acta Geologica Sinica, 2006, 80(8): 1131-1140.
- [10]陈书平,漆家福,于福生,等.准噶尔盆地南缘构造变形特征及其主控因素[J].地质学报,2007,81(2):151-157.
Chen S P, Qi J F, Yu F S, et al. Deformation characteristics in the southern margin of the Junggar Basin and their controlling factors[J]. Acta Geologica Sinica, 2007, 81(2): 151-157.
- [11]张凤奇,刘伟,鲁雪松,等.喜马拉雅晚期构造应力场及其与油气分布的关系——以准噶尔盆地南缘为例[J].断块油气田,2021,28(4):433-439.
Zhang F Q, Liu W, Lu X S, et al. Late Himalayan tectonic stress field and its relationship with hydrocarbon distribution: A case study of southern margin of Junggar Basin[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2021, 28(4): 433-439.
- [12]马德龙,袁剑英,张虎权,等.基于高密度地震反射和砂箱实验的准噶尔盆地南缘霍尔果斯背斜深层构造解析[J].中国石油大学学报(自然科学版),2018,42(6):9-18.
Ma D L, Yuan J Y, Zhang H Q, et al. Deep structure analysis of Huoerguosi anticline at the southern margin of Junggar Basin based on high-density seismic reflection and sandbox modeling[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2018, 42(6): 9-18.
- [13]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 Z M, He Z L, Mou Z H. Structural features and favorable exploration areas in southern margin of Junggar Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2004, 25(2): 216-221.
- [14]郭召杰,吴朝东,张志诚,等.准噶尔盆地南缘构造控藏作用及大型油气藏勘探方向浅析[J].高校地质学报,2011,17(2):185-195.
Guo Z J, Wu C D, Zhang Z C, et al. Tectonic control on hydrocarbon accumulation and prospect for large oil-gas field exploration in the southern Junggar Basin[J]. Geological Journal of China Universities, 2011, 17(2): 185-195.
- [15]匡立春,王绪龙,张健,等.准噶尔盆地南缘霍-玛-吐构造带构造建模与玛河气田的发现[J].天然气工业,2012,32(2):11-15.
Kuang L C, Wang X L, Zhang J, et al. Structural modeling of the Huoerguosi-Manashi-Tugulu thrust belt at the southern margin of the Junggar Basin and the discovery of the Mahe Gas Field[J]. Natural Gas Industry, 2012, 32(2): 11-15.
- [16]阿布力米提,吴晓智,李臣,等.淮南前陆冲断带中段油气分布规律及成藏模式[J].新疆石油地质,2004(05):489-491.
Ablimit, Wu X Z, Li C, et al. Petroleum distribution and accumulation model in mid-segment of foreland thrust belt in southern Junggar Basin[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2004, 25(5): 489-491.
- [17]雷德文,张健,白振华,等.霍玛吐构造带中组合油气成藏演化分析[J].新疆石油地质,2013,34(2):133-136.

- Lei D W, Zhang J, Bai Z H, et al. Hydrocarbon accumulation assemblage and evolution in Huomatu structural belt in southern margin of Jungar basin[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2013, 34(2): 133-136.
- [18] Carroll A R, Liang Y H, Graham S A, et al. Junggar Basin, Northwest China: Trapped Late Paleozoic ocean[J]. Tectonophysics, 1990, 181(1/4): 1-14.
- [19] Graham S A, Hendrix M S, Wang L B, et al. Collisional successor basins of western China: Impact of tectonic inheritance on sand composition[J]. GSA Bulletin, 1993, 105(3): 323-344.
- [20] Allen M B, Vincent S J. Fault reactivation in the Junggar region, Northwest China: The role of basement structures during Mesozoic-Cenozoic compression[J]. Journal of the Geological Society, 1997, 154(1): 151-155.
- [21] 吴孔友, 查明, 王绪龙, 等. 准噶尔盆地构造演化与动力学背景再认识[J]. 地球学报, 2005, 26(3): 217-222.
- Wu K Y, Zha M, Wang X L, et al. Further researches on the tectonic evolution and dynamic setting of the Junggar Basin[J]. Acta Geoscientica Sinica, 2005, 26(3): 217-222.
- [22] Yang Y T, Song C C, He S. Jurassic tectonostratigraphic evolution of the Junggar Basin, NW China: A record of Mesozoic intraplate deformation in Central Asia[J]. Tectonics, 2015, 34(1): 86-115.
- [23] Wang Y J, Jia D, Pan J G, et al. Multiple-phase tectonic superposition and reworking in the Junggar Basin of northwestern China: Implications for deep-seated petroleum exploration[J]. AAPG Bulletin, 2018, 102(8): 1489-1521.
- [24] Zhao R, Zhang J Y, Zhou C M, et al. Tectonic evolution of Tianshan-Bogda-Kelameili mountains, clastic wedge basin infill and chronostratigraphic divisions in the source-to-sink systems of Permian-Jurassic, southern Junggar Basin[J]. Marine and Petroleum Geology, 2020, 114: 104200.
- [25] 李成龙, 李海兵, 王焕, 等. 龙门山汶川地震断裂带北川段岩石与地球化学特征及其变形行为[J]. 岩石学报, 2021, 37(10): 3145-3166.
- Li C L, Li H B, Wang H, et al. Petrological and geochemical characteristics and deformation behavior of the Beichuan section of the Wenchuan earthquake fault zone[J]. Acta Petrologica Sinica, 2021, 37(10): 3145-3166.
- [26] 李伟, 李文涛, 柳军. 临清拗陷东部断层发育及其对沉积的控制作用[J]. 西南石油大学学报(自然科学版), 2009, 31(3): 39-44.
- Li W, Li W T, Liu J. Development of the faults and its controlling to the deposition in the east Area of Linqing depression[J]. Journal of Southwest Petroleum University (Science Technology Edition), 2009, 31(3): 39-44.
- [27] 曹正林, 孙秀建, 吴武军, 等. 柴达木盆地盆缘冲断古隆起的形成演化及对油气成藏的影响[J]. 石油学报, 2018, 39(9): 980-989.
- Cao Z L, Sun X J, Wu W J, et al. Formation and evolution of thrust paleo-uplift at the margin of Qaidam Basin and its influences on hydrocarbon accumulation[J]. Acta Petrolei Sinica, 2018, 39(9): 980-989.
- [28] 何登发, 张磊, 吴松涛, 等. 准噶尔盆地构造演化阶段及其特征[J]. 石油与天然气地质, 2018, 39(5): 845-861.
- He D F, Zhang L, Wu S T, et al. Tectonic evolution stages and features of the Junggar Basin[J]. Oil and Gas Geology, 2018, 39(5): 845-861.
- [29] 方世虎, 郭召杰, 张志诚, 等. 中生代天山及其两侧盆地性质与演化[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2004, 40(6): 886-897.
- Fang S H, Guo Z J, Zhang Z C, et al. Discussion on Mesozoic-Cenozoic evolution of Tian Shan and its adjacent basins[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 2004, 40(6): 886-897.
- [30] 王天宝, 贾东, 魏东涛, 等. 准噶尔盆地南缘中生代正反转构造分析[J]. 地质科学, 2013, 48(1): 176-190.
- Wang T B, Jia D, Wei D T, et al. Mesozoic inverted structure analysis of the southern margin of the Junggar Basin[J]. Chinese Journal of Geology, 2013, 48(1): 176-190.
- [31] 蔡忠贤, 陈发景, 贾振远. 准噶尔盆地的类型和构造演化[J]. 地学前缘, 2000, 7(4): 431-440.
- Cai Z X, Chen F J, Jia Z Y. Types and tectonic evolution of Jungar Basin[J]. Earth Science Frontiers, 2000, 7(4): 431-440.
- [32] 张朝军, 何登发, 吴晓智, 等. 准噶尔多旋回叠合盆地的形成与演化[J]. 中国石油勘探, 2006, 11(1): 47-58.
- Zhang C J, He D F, Wu X Z, et al. Formation and evolution of multicycle superimposed basins in Junggar Basin[J]. China Petroleum Exploration, 2006, 11(1): 47-58.
- [33] 陈竹新, 雷永良, 贾东, 等. 构造变形物理模拟与构造建模技术及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2019.
- Chen X Z, Lei Y L, Jia D, et al. Physical analog and structural modeling techniques and applications[M]. Beijing: Science Press, 2019.
- [34] Krantz R W. Measurements of friction coefficients and cohesion for faulting and fault reactivation in laboratory models using sand and sand mixtures[J]. Tectonophysics, 1991, 188(1/2): 203-207.
- [35] Schellart W P. Shear test results for cohesion and friction coefficients for different granular materials: Scaling implications for their usage in analogue modelling[J]. Tectonophysics, 2000, 324(1-2): 1-16.
- [36] Weijermars R, Jackson M P A, Vendeville B. Rheological and tectonic modeling of salt provinces[J]. Tectonophysics, 1993, 217(1/2): 143-174.
- [37] Persson K S, Sokoutis D. Analogue models of orogenic wedges controlled by erosion[J]. Tectonophysics, 2002, 356(4): 323-336.