

新疆博格达推覆构造及其与油气的关系

孙自明¹, 沈杰²

(1.中国石化石油勘探开发研究院,北京 100083; 2.中国石化西北油田分公司工程监督中心,新疆 轮台 841600)

摘要:博格达山位于新疆北部,南、北两侧分别为吐哈盆地和准噶尔盆地夹持。博格达推覆构造是指博格达山的西段,由于与油气等矿产关系密切,一直引起人们的关注,但关于其组成与结构、成因机制和演化历史等尚不十分清楚。通过地表地质、勘探地震和大地电磁测深等资料的综合研究,指出博格达推覆构造由近东西向展布的柴窝堡盆地和博格达冲断隆起组成,前锋为阜康断裂,东、西两侧由近北东向延伸的乌鲁木齐—米泉断裂和达坂城—老奇台断裂2条调节断裂围限,底部主滑脱面位于中地壳,推覆体根部位于中天山北缘断裂。推覆构造从南向北由多条分支逆冲断裂分隔为变形特点各异的次级构造单元,构造样式自南向北由基底卷入型过渡到盖层滑脱型。博格达推覆构造的形成受控于准噶尔盆地向南的深俯冲作用,在侏罗纪末期至白垩纪早期已具雏形,白垩纪至古近纪又发生了向北的大规模逆冲推覆,新近纪以来再次向北强烈推覆并导致博格达山急剧隆升,最终形成现今构造面貌。阜康凹陷位于推覆构造前缘,构造稳定,油气保存条件优于推覆构造内的柴窝堡盆地,是寻找大中型油气藏的有利地区。

关键词:推覆构造;调节断裂;油气;阜康凹陷;柴窝堡盆地;博格达山

中图分类号:TE121.2

文献标识码:A

Bogda nappe structure and its relations to hydrocarbon in Xinjiang

Sun Ziming¹, Shen Jie²

(1.SINOPEC Petroleum Exploration and Production Research Institute, Beijing 100083, China;

2.Engineering Supervision Center, SINOPEC Northwest Oilfield Company, Luntai, Xinjiang 841600, China)

Abstract: Located between the Turpan-Hami Basin in the south and the Junggar Basin in the north in the northern Xinjiang, China, the Bogda Mountain extends in the east-west direction, and can be divided into the east and the west segments from Qitai according to geomorphology. The Bogda nappe structure refers to the western segment of the Bogda Mountain, and more attention has been attracted due to its close relationship with oil and gas and other minerals, yet its composition and texture, formation mechanism and evolutionary history are not very clear. The comprehensive analyses of field outcrops, seismic sections and magnetotelluric data show that the Bogda nappe structure mainly consists of the EW-trending Chaiwopu Basin and the Bogda anticlinorium, with the Fukang fault as the frontal boundary while the western and eastern boundaries are defined by the Urumqi-Miquan and Dabancheng-Laoqitai adjustment faults, respectively. The main detachment lies in the middle crust and the root fault is the northern boundary fault of the Middle Tianshan orogenic belt. The Bogda nappe structure is divided by faults into several sub-units with remarkably different features from south to north. Structural pattern changes from basement-involved structure in the south to cover detachment structure in the north. The formation of the Bogda nappe structure is controlled by the deep subduction of the Junggar Basin into the Bogda Mountain. Three evolution stages are identified, as known: rudiment from the Late Jurassic to the Early Cretaceous, large-scale nappe to the north from Cretaceous to Paleogene, and again large-scale nappe to the north which resulted in the strong uplifting of the Bogda Mountain ever since Neogene. Located in the front of the nappe structure and with better settings than the Chaiwopu Basin, the Fukang Sag is a favorable area for middle to large size oil pool exploration.

Key words: nappe structure; adjustment fault; oil and gas; Fukang Sag; Chaiwopu Basin; Bogda Mountain

博格达山位于新疆北部,南北分别为吐哈盆地和准噶尔盆地夹持,平面上呈东西方向延伸,长约400 km;东、西两端较宽(90~100 km),中间较窄(30~60 km);西界在乌鲁木齐一带,东界位于巴里

坤县西侧。以奇台为界,博格达山在走向上分为东西两段,西段位于奇台至乌鲁木齐之间,俗称博格达推覆构造^[1](图1)。由于博格达山蕴藏着丰富的深部构造和盆山耦合机制等信息,并与油气等矿

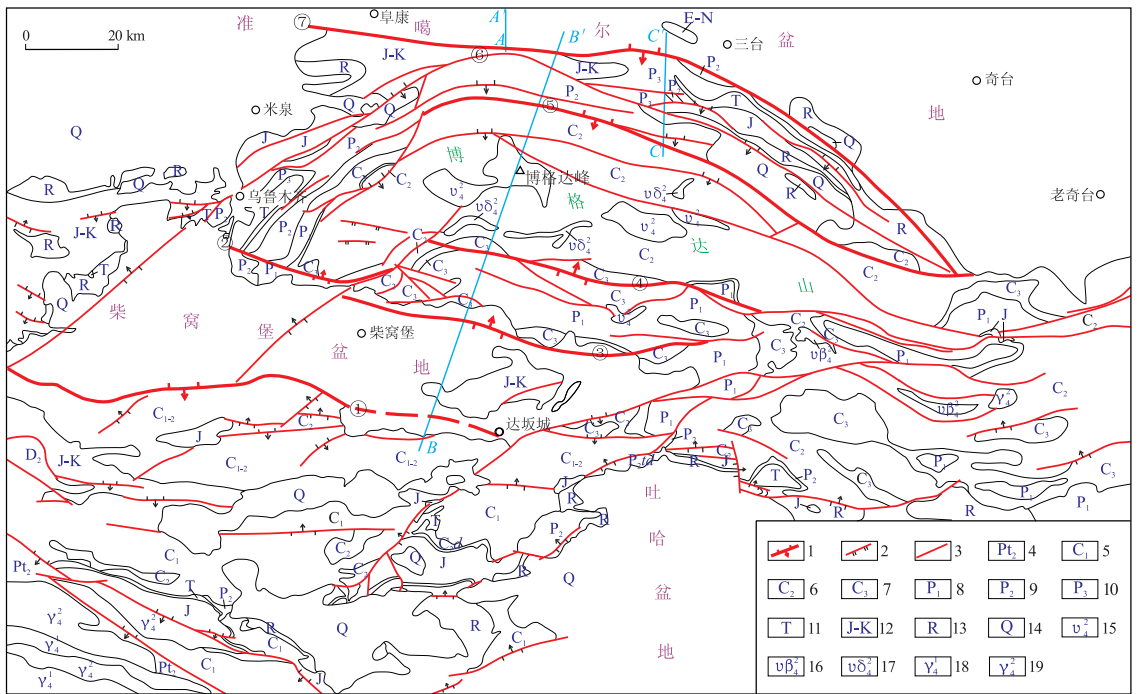


图1 新疆博格达山及邻区地质构造简图

1.逆断层;2.正断层;3.性质不明断层;4.中元古界;5.下石炭统;6.中石炭统;7.上石炭统;8.下二叠统;9.中二叠统;10.上二叠统;11.三叠系;12.侏罗系—白垩系;13.第三系;14.第四系;15.辉长岩;16.辉长辉绿岩;17.辉长闪长岩;18.花岗岩;19.海西期花岗岩
 断裂名称:①柴窝堡,②红雁池—柳树沟,③博南,④喀依纳木山,⑤三工河,⑥妖魔山,⑦卓康

Fig.1 Schematic map showing geology in Bogda Mountain and its adjacent region, Xinjiang

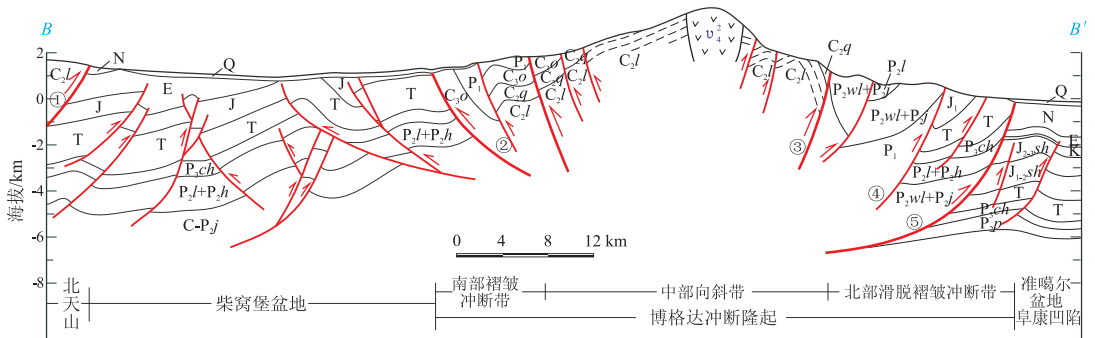


图2 北天山—准噶尔盆地构造剖面

图例同图1,剖面位置见图1。

断裂名称:①柴窝堡,②博南,③三工河,④妖魔山,⑤卓康

Fig.2 Structural section across north Tianshan and Junggar Basin

产关系密切,长期以来一直引起人们的兴趣和重视,并进行了大量研究^[1-8],研究内容偏重于博格达山成因的动力学机制探讨和博格达山北缘构造几何学分析等方面。本文通过对博格达山西段及邻区地表地质、勘探地震和大地电磁测深等资料的综合分析,探讨了博格达推覆构造的组成与结构、形成演化及其与油气的关系。

1 推覆构造基本特征

1.1 组成与结构

关于博格达推覆构造的范围,以往主要是指出

露有石炭系露头的、地理意义上的博格达山及其北缘褶皱冲断带地区。通过对大量勘探地震资料和地表地质资料的综合研究,根据构造几何学特征分析,认为博格达推覆构造是由柴窝堡盆地、博格达冲断隆起和博格达北缘褶皱冲断带组成的一个自南向北逆冲的大型逆冲推覆构造,其根部位于北天山南缘断裂,前锋为卓康断裂,卓康凹陷属于推覆构造前缘的山前坳陷,它们之间均以断裂分隔(图2)。

柴窝堡盆地总体上是一个南翼陡、北翼缓的复向斜构造,呈东西向展布。复向斜南翼发育多条南倾北冲、近东西走向的逆冲断裂,剖面上构成叠瓦

冲断组合,卷入地层为中—上石炭统至新近系。地表可见到石炭系由南向北依次叠瓦逆冲于二叠系、三叠系和侏罗系之上,上盘的石炭系变形强烈,发育紧闭、斜歪或倒转褶皱。根据地震资料解释,复向斜南翼向北的推覆距离达到8~14 km。复向斜北翼以向南逆冲的叠瓦冲断组合为主,可见到上石炭统奥尔吐组(C_{3o})及下二叠统向南掩覆在侏罗系—白垩系之上,断面平缓,反映出是以奥尔吐组作为滑脱层自北向南逆冲之结果。复向斜核部变形地层为二叠系至古近系,厚数千米,变形较弱,以发育断层相关背斜褶皱为主。

博格达冲断隆起夹持于三工河断裂与博南断裂之间,主体是一个核部由中石炭统柳树沟组组成、两翼发育少量二叠系的南翼缓、北翼陡的不对称复式背斜构造。复背斜核部位于博格达山主峰一带,平面上呈弧形向北凸出,组成地层主要为中石炭统柳树沟组和石炭系中酸性侵入岩,产状较为宽缓,近水平或有小角度倾斜。复背斜北翼位于博格达主峰北侧,平面上呈北西西向展布,仅在西端转变为北东向,向北呈弧形突出,剖面上复背斜北翼地层倾角较陡,多为50°~60°。地表可见到沿三工河断裂发育数百米宽的挤压破碎带,上盘石炭系逆冲于下盘二叠系之上,断裂附近的下盘地层几乎已全部倒转。三工河断裂向北的推覆距离可达数千千米^[2]。复背斜南翼位于博格达山南坡,夹持于博南断裂与喀依纳木山断裂之间,平面上呈近东西向延伸。组成地层为石炭系和二叠系,地层倾角较缓,一般为20°~45°。

北部褶皱冲断带属于博格达冲断隆起与准噶尔盆地之间的前陆褶皱冲断带,夹持于三工河断裂和阜康断裂之间,其间由区域性展布的妖魔山断裂分隔,划分为南、北2个逆冲岩席(图3)。南部逆冲岩席主要由下二叠统组成,岩层向北陡倾并常见

倒转现象,主要表现为下二叠统向北逆冲于三叠系—侏罗系之上;北部逆冲岩席主要由二叠系至侏罗系组成,从南向北依次发育锅底坑向斜带、大黄山—大龙口背斜带和黄山街向斜带;向斜南翼地层陡倾或倒转,北翼缓倾且变形微弱;但背斜核部变形极其复杂,褶皱变形强烈,常见地层重复和倒转现象,如在三台大龙口沟可见到浅层发育逆冲滑脱向斜,其下为双重构造,沿分支逆断层发育滑脱背斜和倒转背斜等,反映了该区背斜核部芦草沟组 and 红雁池组作为构造滑脱层已发生了强烈的地层增厚,并控制了妖魔山断裂和阜康断裂之间浅部层位的构造变形^[9]。

1.2 边界调节断裂

博格达推覆构造作为一个相对运动的块体,其整体向北北东方向的位移由其东、西两侧边界调节断裂即达坂城—老奇台断裂和乌鲁木齐—米泉断裂的调节来实现。

乌鲁木齐—米泉断裂^[10-11]是一条呈北东向展布的基底断裂,构成博格达推覆构造的西部边界,在深层基底是一条左行压扭走滑断裂,浅层表现为以左行压扭走滑变形组合为主的大型复杂构造变形带,平面上切割并错开北西向和近东西向断裂。布伽重力异常图上表现为明显的重力梯度带,重力基底深度图上断裂两侧重力基底深度差异大;磁力异常图上表现为高、低磁异常的分界和异常轴的错断及异常轴方向的改变(图4)。在地表浅部,断裂两侧变形构造组合和沿断裂发育的区域性雁列褶皱群均指示具有左行走滑扭动特征。受断裂控制,断裂两侧的中新生界厚度和现代地震活动强度等都有明显差异。勘探地震资料表明,沿断裂带发育一些局部深断陷,如永丰断陷,其面积为1 600 km²,断陷深度大于10 000 m。

达坂城—老奇台断裂构成博格达推覆构造的东

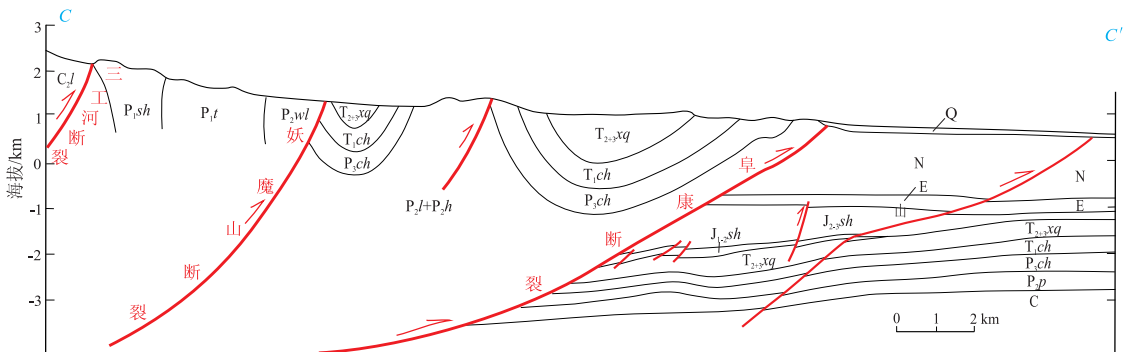


图3 新疆博格达山北缘南北向构造剖面

图例同图1,剖面位置见图1。

Fig.3 S-N structural section in northern margin of Bogda Mountain, Xinjiang

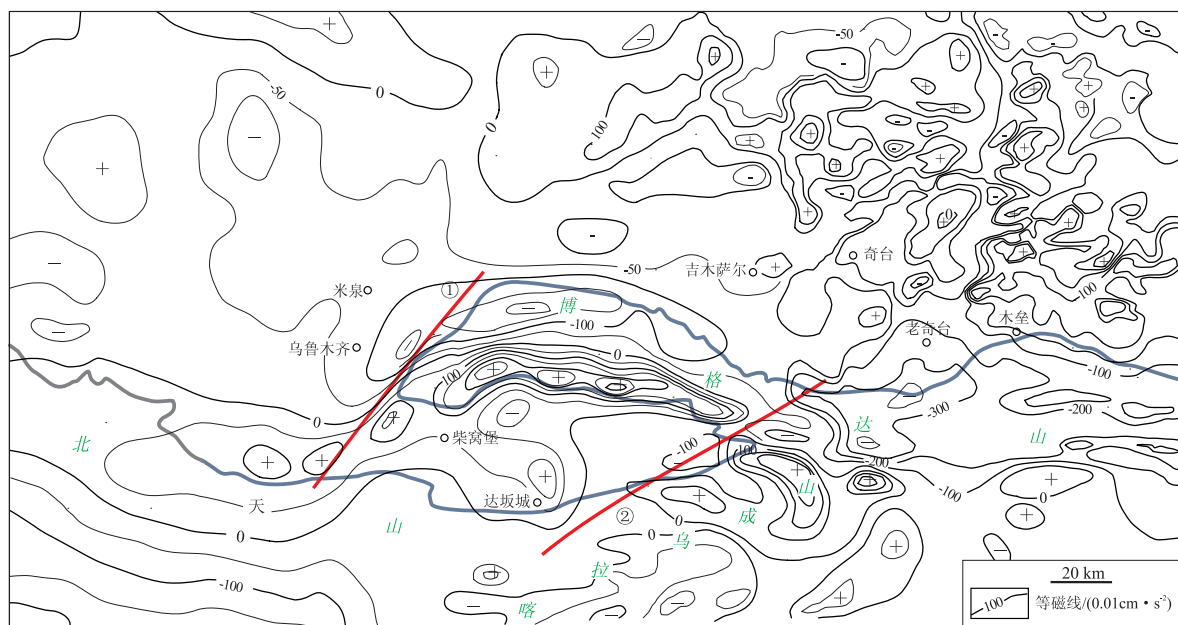


图4 新疆博格达推覆构造及邻区航磁异常图

①乌鲁木齐—米泉断裂;②达坂城—老奇台断裂

Fig.4 Aeromagnetic anomalies (ΔT) in Bogda nappe structure and its adjacent region, Xinjiang

侧边界,平面上沿喀拉乌成山呈北东东向展布,向准噶尔盆地延伸,走向转为北东向。在航磁(ΔT)异常图上(图4),断裂以西的博格达山链为正磁场背景,并与其北侧盆地区的负异常成对出现,磁异常走向为北西西向;断裂以东的博格达山体为负低磁异常场,正磁性体明显南移,造成断裂两侧的正磁异常与负磁异常相对置,且磁异常场的总体线性特征已不明显。磁异常反映了浅部和深部(20~30 km)磁性地质体的分布、变化和空间形态,这种磁异常结构及正负异常分布关系的明显改变可能是断裂存在的反映。类似的地球物理场变化在布伽重力异常图上也有清楚显示。此外,主体构造线呈北东东向展布的喀拉乌成山可能是该断裂走滑挤压在地表浅层的表现,尽管该区在东西向剖面上显现出褶皱冲断带特点,地表可见泥盆—石炭系向南东逆冲于中生界之上,但其组合具有典型的压扭构造特征。该断裂主要形成于印支—燕山期。

2 推覆构造成因与演化

2.1 成因机制探讨

关于博格达山的成因,长期以来存在争议。博格达山在布格重力异常图上表现为重力高,低值区位于其南侧的柴窝堡盆地。针对这一地质事实,不同学者在解释博格达山成因机制方面出现了较大分歧,争论的焦点主要集中于博格达山存不存在山根,即博格达山是原地隆起成山还是推覆成山?一种观

点认为,布格重力异常反映了博格达自石炭纪地壳拉张到一定程度后,成为夭折的裂谷,由于没有经过强烈的推挤和增厚,至今仍大致保持当初拉张阶段的地壳结构形态^[12];重力高无明显山根是裂谷型地槽褶皱山的特点,山间盆地表现为重力低值属于正常现象^[2]。另一种观点认为,根据重力均衡学说,山根应表现为重力低,重力高说明博格达山体可能不存在山根,柴窝堡盆地重力低值区是真正的博格达山根之所在,现在的博格达山的位置正好向北移动了30 km,爬在地幔的斜坡上,因此,博格达山是从柴窝堡盆地往北推覆到现今的位置^[13]。

近年来的地震层析成像研究揭示,博格达山体在硅铝壳与硅镁壳之间存在低速层,其波速仅为5.07~5.86 km/s,低于正常沉积岩层的速度^[14];博格达山及邻区上地壳构造走向与天山和准噶尔盆地构成的盆山格局同为东西向展布,中地壳及其以下圈层则转变为南北向^[15-16],类似于秦岭造山带的“立交桥”结构^[17],因此,中地壳应是发生深块构造变形几何学和运动学转换的关键圈层。

根据前面对博格达推覆构造的论述并结合最新资料综合分析,笔者认为博格达山应属于推覆构造成因,但其范围不仅包括现今地貌意义上的博格达山,而且应包括其南侧的柴窝堡盆地,二者共同构成了自南向北逆冲的推覆构造,其底部主滑脱面位于中地壳,根部可能位于中天山北缘断裂,东、西两侧则分别由达坂城—老奇台和乌鲁木齐—米泉

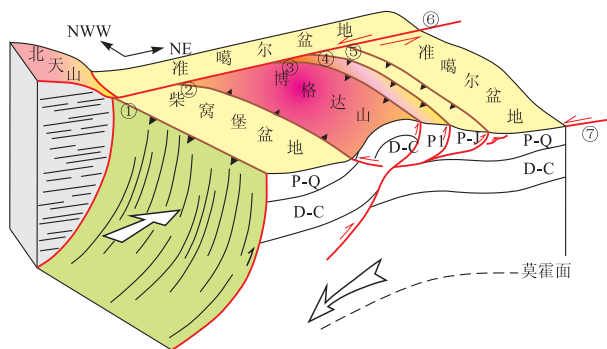


图5 新疆博格达推覆构造成因机制立体示意

断裂名称:①柴南缘,②博南,③三工河,④妖魔山,⑤阜康,⑥乌鲁木齐—米泉,⑦达坂城—老奇台

Fig.5 Perspective diagram showing formation mechanism of Bogda nappe structure, Xinjiang

2条调节断裂围限,其形成是由于准噶尔地块向南俯冲作用的结果(图5)。

2.2 演化阶段

尽管博格达山地区在晚海西期和印支期经历了多次强度不等的构造运动,如晚石炭世末期、中二叠世末期和三叠纪末期等的构造运动,但始终未能改变博格达山地区是沉积拗陷区或其一部分的基本面貌,也没有造成博格达山地区较强烈的构造隆升和构造变形。对博格达山及邻区中生界大量古流向的测量表明^[18-20],博格达山第一次大规模强烈构造隆升发生于侏罗纪晚期至白垩纪早期,之后才成为隆起区并为其周围沉积拗陷提供物源。概括博格达推覆构造的演化特征,主要经历了3个时期。

2.2.1 雏形期

侏罗纪末期的燕山运动使新疆北部出现了明显的山隆、盆降构造格局,受控于准噶尔盆地向南的俯冲。在乌鲁木齐—米泉和达坂城—老奇台2条断裂的调节下,柴窝堡盆地连同博格达山发生了自南向北较大规模的逆冲推覆,形成大量断裂和褶皱,地层遭受强烈变形和剥蚀,博格达推覆构造出现雏形。勘探地震资料揭示(图6),阜康凹陷此时亦已形成,阜康断裂下盘的侏罗系向北急剧翘起并遭受剥蚀,西泉鼻隆(北三台凸起)构成前缘隆起。

2.2.2 发展期

在柴窝堡盆地和阜康凹陷,均可见到白垩系向博格达山方向超覆沉积于下伏不同时代地层之上,白垩系之上又为古近系不整合超覆,反映博格达山在白垩纪至古近纪一直处于造山隆升状态,说明在白垩纪末期和古近纪末期至少发生过2次较强烈的逆冲推覆构造变形。尤其在三台大龙口沟可见到产

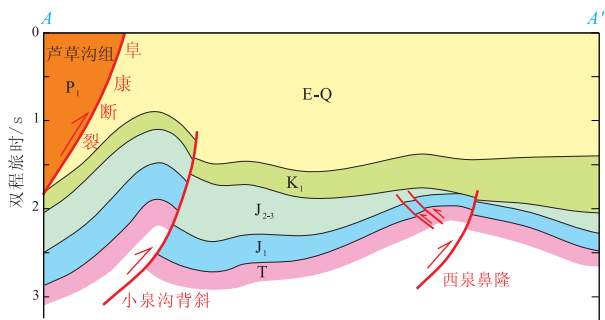


图6 新疆准噶尔盆地东部南北向地震解释剖面
剖面位置见图1。

Fig.6 S-N seismic interpretation section in eastern Junggar Basin, Xinjiang

状近于水平的古近系紫泥泉子组和安集海河组角度不整合于地层陡立、倾角为50°~70°的中二叠统井井子沟组之上,表明博格达推覆构造在白垩纪末期至古近纪之前曾发生过向北的强烈逆冲推覆构造变形,古近纪末期又发生了一次推覆构造活动。

2.2.3 定型期

新近纪以来,受印度板块向北俯冲的远程效应影响,博格达推覆构造再次大幅度向北逆冲,博格达山强烈隆升,其前锋的阜康凹陷再次发生挠曲沉降,接受厚度较大的沉积地层,而柴窝堡盆地此时仍然以构造隆升为特征。该期构造变形主要局限于阜康断裂以南地区,表现为大规模的地壳缩短和博格达推覆构造的最终定型,而阜康凹陷地区的地层则变形微弱。

3 推覆构造与油气的关系

博格达推覆构造以发育一系列逆冲断裂和山体强烈隆升为特点,山体为厚皮逆冲推覆构造,前陆区为薄皮逆冲推覆构造。这种逆冲造山作用,对柴窝堡盆地和准噶尔盆地阜康凹陷的沉积层序及构造变形有重大影响,并对其含油气性具有明显的控制作用。

柴窝堡盆地在侏罗纪前属于准噶尔盆地的一部分,但侏罗纪之后,由于博格达推覆构造多次向北强烈推覆,二叠纪至侏罗纪的准噶尔大型原型盆地遭到强烈改造并分异出柴窝堡盆地,表现出残留盆地的构造特征;白垩纪以来,柴窝堡盆地一直处于构造隆升状态,并具有“背驮型”盆地的性质。因此,柴窝堡盆地实际上是由二叠纪—侏罗纪的残留盆地与白垩纪—第四纪背驮盆地复合叠合而成,具有构造活动性强、后期改造强烈、地层剥蚀严重和油气保存条件较差等特点。盆地内局部构造圈闭虽较发育但规模均较小,缺乏大型完整的背斜构

造圈闭;烃源岩为中二叠统芦草沟组和红雁池组页岩,油气成藏期主要在侏罗纪,虽然与圈闭形成期基本同步,但伴随着侏罗纪以来的长期构造隆升,对已形成的油气藏具有明显的调整、改造或破坏作用,不利于原生油气藏的保存。因此,柴窝堡盆地可能已不具备形成大型油气藏的地质条件。

博格达推覆构造北部滑脱褶皱冲断带阜康断裂上盘地层变形强烈,断裂发育,区域盖层遭剥蚀强烈,油气保存条件差,因此,尽管该区地表存在大量油气显示,但已不具备油气勘探潜力。而阜康断裂下盘及前缘凹陷地区则地层保存相对较全,地层变形微弱,发育上二叠统一三叠系的隐伏背斜构造,油源丰富,保存条件好,是寻找大中型油气藏的有利地区。

4 结语

(1)新疆博格达山演化历史复杂,并与油气关系密切,具有丰富的研究内容。对博格达推覆构造边界及其基本组成单元的重新厘定,较好地解释了博格达推覆构造的成因,这一认识对研究该区乃至整个新疆地区中新生代区域地质构造演化具有重要的启示作用。

(2)提出的柴窝堡盆地与博格达山同属于博格达推覆构造的认识,密切了柴窝堡盆地与博格达山的成因联系,有助于对博格达山南北两侧盆地的油气远景进行全面深入评价。

(3)受推覆构造控制,博格达北缘阜康断裂下盘及前缘地区的油气成藏条件优于柴窝堡盆地,是寻找大中型油气藏的有利地区。

参考文献:

- [1] 伍致中.博格达推覆构造与油气[J].新疆石油地质,1986,7(2):35-43.
Wu Zhizhong.Bogda nappe tectonic and its oil-gas accumulation[J].Xinjiang Petroleum Geology,1986,7(2):35-43.
- [2] 彭希龄,胡斌,刘楼军.博格达山前褶皱带的再研究[J].新疆石油地质,1990,11(4):276-295.
Peng Xiling,Hu Bin,Liu Loujun.A restudy for pre-Bogda mountain fold zone[J].Xinjiang Petroleum Geology,1990,11(4):276-295.
- [3] 伍致中,郭富贤.再论博格达推覆构造与油气[J].新疆地质,1991,9(1):40-49.
Wu Zhizhong,Guo Fuxian.Second discussion of Bogda nappe tectonic and its oil-gas accumulation[J].Xinjiang Geology,1991,9(1):40-49.
- [4] 李涛,王宗秀,周高志,等.新疆博格达山分段及深浅构造转换关系[J].地质前缘,2004,11(3):103-114.
Li Tao,Wang Zongxiu,Zhou Gaozhi,et al.The segmentation and the relationship between shallow and deep structures of Bogda Mountain,Xinjiang, Northwest China[J].Earth Science Frontiers,2004,11(3):103-114.
- [5] 王宗秀,李涛.新疆博格达山链新生代再生造山机理岩石圈内切层“开”“合”造山带的典型代表[J].地质通报,2004,23(3):286-293.
Wang Zongxiu,Li Tao.Mechanism of Cenozoic revival orogeny in the Bogda mountain chain,Xinjiang[J].Geological Bulletin of China,2004,23(3):286-293.
- [6] 吴孔友,查明,曲江秀,等.博格达山隆升对北三台地区构造形成与演化的控制作用[J].石油大学学报,2004,28(2):1-5.
Wu Kongyou,Cha Ming,Qü Jiangxiu,et al.Control of Bogda mountain uplift on the structural formation and evolution in Beisantai region[J].Journal of the University of Petroleum,China,2004,28(2):1-5.
- [7] 陈宪.试论新疆博格达山脉的特征及成因[J].新疆地质,2003,21(3):356-357.
Chen Xian.Characteristics and origin of Bogda Mountains[J].Xinjiang Geology,2003,21(3):356-357.
- [8] 朱文斌,舒良树,万景林,等.新疆博格达—哈尔里克山白垩纪以来剥露历史的裂变痕迹证据[J].地质学报,2006,80(1):16-22.
Zhu Wenbin,Shu Liangshu,Wan Jinglin,et al.Fission-track evidence for the exhumation history of Bogda-Harlik mountains,Xinjiang since the Cretaceous[J].Acta Geologica Sinica,2006,80(1):16-22.
- [9] 董臣强,孙自明,洪太元.准噶尔盆地南缘前陆褶皱冲断带构造滑脱层厘定[J].石油实验地质,2007,29(2):138-142.
Dong Chenqiang,Sun Ziming,Hong Taiyuan.Identification of the detachments in the foreland fold-thrust belt in southern margin of Junggar basin[J].Petroleum Geology & Experiment,2007,29(2):138-142.
- [10] 孙自明,乌鲁木齐—米泉断裂特征及其油气地质意义[J].中国西部油气地质,2005,1(1):47-50.
Sun Ziming.Characteristics of the Urumqi-Miquan fault and its hydrocarbon significance[J].West China Oil-Gas Geology,2005,1(1):47-50.
- [11] 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.
- [12] 何国琦,刘德权,李茂松,等.新疆主要造山带地壳发展的五阶段模式及成矿系列[J].新疆地质,1995,13(2):99-179.
He Guoqi,Liu Dehan,Li Maosong,et al.The five-stage model of crust evolution and metallogenic series of chief orogenic belts in Xinjiang[J].Xinjiang Geology,1995,13(2):99-179.
- [13] 陈哲夫,徐新,梁云海.新疆构造手风琴式开合演化的基本特点[J].中国区域地质,1993(1):45-58.
Chen Zhefu,Xu Xin,Liang Yunhai.The basic features of the accordion-style opening-closing evolution of structures in Xinjiang[J].China Regional Geology,1993(1):45-58.

Zhu Guangyou,Zhang Shuichang.Hydrocarbon accumulation conditions and exploration potential of deep reservoirs in China[J].Acta Petrolei Sinica,2009,30(6):793-802.

[11] 翟晓先.塔里木盆地塔河特大型油气田勘探实践与认识[J].石油实验地质,2011,33(4):323-330.
Zhai Xiaoxian.Exploration practice and experience of Tahe giant oil and gas field,Tarim Basin[J].Petroleum Geology & Experiment,2011,33(4):323-330.

[12] 赵贤正,金凤鸣,王权,等.渤海湾盆地牛东 1 超深潜山高温油气藏的发现及其意义[J].石油学报,2011,32(6):1-3.
Zhao Xianzheng, Jin Fengming, Wang Quan, et al. Niudong 1 ultra-deep and ultra-high temperature subtle buried hill field in Bohai Bay Basin: Discovery and significance[J]. Acta Petrolei Sinica, 2011, 32(6): 1-3.

[13] 郝芳,邹华耀,方勇,等.超压环境有机质热演化和生烃作用机理[J].石油学报,2006,27(5):9-18.
Hao Fang, Zou Huayao, Fang Yong, et al. Kinetics of organic matter maturation and hydrocarbon generation in overpressure environment[J]. Acta Petrolei Sinica, 2006, 27(5): 9-18.

[14] 马永生,蔡勋育,赵培荣.深层、超深层碳酸盐岩油气储层形成机理研究综述[J].地学前缘,2011,18(4):181-192.
Ma Yongsheng, Cai Xunyu, Zhao Peirong. The research status and advances in porosity evolution and diagenesis of deep carbonate reservoir[J]. Earth Science Frontiers, 2011, 18(4): 181-192.

[15] 陈中红,查明,曲江秀.沉积盆地超压体系油气成藏条件及机理[J].天然气地球科学,2003,14(2):97-102.
Chen Zhonghong, Zha Ming, Qu Jiangxiu. Conditions and mechanism of hydrocarbon accumulation in overpressured systems in sedimentary basins[J]. Natural Gas Geoscience, 2003, 14(2): 97-102.

[16] Osborne M J, Swarbrick R E. Diagenesis in north sea HPHT clastic reservoirs: Consequences for porosity and overpressure prediction[J]. Marine and Petroleum Geology, 1999, 16(4): 337-353.

[17] 石昕,戴金星,赵文智.深层油气藏勘探前景分析[J].中国石油勘探,2005(1):1-10.
Shi Xin, Dai Jinxing, Zhao Wenzhi. Analysis of deep oil and gas reservoirs exploration prospect [J]. China Petroleum Exploration, 2005(1): 1-10.

[18] Toth J, Maccagno M D, Otto C J, et al. Generation and migration of petroleum from abnormally pressured fluid compartments discussion[J]. AAPG Bulletin, 1991, 75(2): 326-327.

[19] 罗厚勇,王万春,刘文汇.TSR 模拟实验研究与地质实际的异同和可能原因分析[J].石油实验地质,2012,34(2):186-192.
Luo Houyong, Wang Wanchun, Liu Wenhui. Similarities and differences between simulation experiments on TSR and geological observations and possible causes [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2012, 34(2): 186-192.

[20] 朱光有,张水昌,马永生,等.TSR(H₂S)对石油天然气工业的积极性研究:H₂S的形成过程促进储层孔隙发育[J].地学前缘,2006,13(3):141-149.
Zhu Guangyou, Zhang Shuichang, Ma Yongsheng, et al. Effectiveness of thermochemical sulfate reduction on oil and gas industry: A H₂S formation accelerating development of the secondary pores in reservoirs[J]. Earth Science Frontiers, 2006, 13(3): 141-149.

[21] Hill C A. H₂S-related porosity and sulfuric acid oil-field karst[J]. AAPG Memoir, 1995, 37: 301-305.

[22] Goldhaber M B, Orr W L. Kinetic controls on thermo-chemical sulfate reduction as a source of sedimentary H₂S[C]//Geochemical transformations of sedimentary sulfur. ACS symposium series 612. Washington, DC: American Chemical Society, 1995: 412-425.

(编辑 徐文明)

(上接第 434 页)

[14] 梁云海,李文铅,李卫东.新疆准噶尔造山带多旋回开合构造特征[J].地质通报,2004,23(3):279-285.
Liang Yunhai, Li Wenqian, Li Weidong. Characteristics of polycyclic opening-closing tectonics in the Junggar orogenic belt, Xinjiang[J]. Geological Bulletin of China, 2004, 23(3): 279-285.

[15] 胥颐,刘福田,刘建华,等.中国大陆西北造山带及其毗邻盆地的地震层析成像[J].中国科学:D 辑,2000,30(2):113-122.
Xu Yi, Liu Futian, Liu Jianhua, et al. Seismic tomography beneath northwestern orogenic belts and adjacent basins in Chinese continent[J]. Science in China, Series D, 2000, 30(2): 113-122.

[16] 胥颐,刘福田,刘建华,等.中国西北大陆碰撞带的深部特征及其动力学意义[J].地球物理学报,2001,44(1):40-47.
Xu Yi, Liu Futian, Liu Jianhua, et al. Deep features of continental collision belts in Northwestern China and their dynamic implication[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2001, 44(1): 40-47.

[17] 张国伟,孟庆任,刘少峰,等.华北地块南部巨型陆内俯冲带与秦岭造山带岩石圈现今三维结构[J].高校地质学报,1997,3(2):129-143.
Zhang Guowei, Meng Qingren, Liu Shaofeng, et al. Huge intracontinental subduction zone at south margin of North China block and present 3-D lithospheric framework of the Qinling orogenic belt[J]. Geological Journal of Universities, 1997, 3(3): 129-143.

[18] 喻春辉,蒋宜勤,刘树辉.准噶尔盆地与吐哈盆地侏罗纪沉积边界的讨论[J].岩相古地理,1996,16(6):48-54.
Yu Chunhui, Jiang Yiqin, Liu Shuhui. Jurassic sedimentary boundary between the Junggar and Turpan-Hami basins, Xinjiang [J]. Sedimentary Facies and Palaeogeography, 1996, 16(6): 48-54.

[19] 张传恒,刘典波,张传林,等.新疆博格达山初始隆升时间的地层学标定[J].地学前缘,2005,12(1):294-302.
Zhang Chuanheng, Liu Dianbo, Zhang Chuanlin, et al. Stratigraphic constraints on the initial uplift age of Bogda Shan, Xinjiang, northwest China[J]. Earth Science Frontiers, 2005, 12(1): 294-302.

[20] 李玮,胡健民,黎敦明,等.新疆博格达山北缘晚古生代—中生代古水流样式转折及其构造意义[J].沉积学报,2007,25(2):283-292.
Li Wei, Hu Jianmin, Li Dimpeng, et al. Analysis of the late Paleozoic and Mesozoic paleocurrents and its constructional significance of the northern Bogdashan, Xinjiang [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2007, 25(2): 283-292.

(编辑 黄娟)