

淮南前陆冲断带构造分段及其与油气关系

孙自明¹⁾ 董臣强²⁾

1) 中国石化石油勘探开发研究院, 北京 100083; 2) 中国地质大学, 北京 100083

摘 要 通过大量地面地质、地震和非地震资料的综合解释, 分析了淮南前陆冲断带的构造分段特征。认为乌鲁木齐—米泉断裂和红车断裂等盆内大型基底断裂是控制构造分段的主要因素, 其形成演化决定了构造分段特征的出现或消失; 盆缘调节构造是造成次级构造分段的主要原因。淮南前陆冲断带构造分段对该区主要烃源岩与生储盖组合的形成及分布、对油气成藏期等方面具有重要的控制作用。

关键词 准噶尔盆地南缘, 前陆冲断带, 构造分段, 基底断裂, 构造调节带

Structural Segmentation of the Foreland Thrust Belt and Its Relations to Hydrocarbon in the Southern Margin of Junggar Basin

SUN Ziming¹⁾ DONG Chenqiang²⁾

1) Exploration and Production Research Institute, SINOPEC, Beijing 100083; 2) China University of Geosciences, Beijing 100083

Abstract Characteristics of structural segmentation of the foreland thrust belt in the southern margin of Junggar basin were studied on the basis of a comprehensive analysis of geological outcrops as well as seismic and geophysical data. It is concluded that the main factors inducing structural segmentation in this area are attributed to large-sized basement faults, namely, Urumqi-Miquan fault and Hongche fault, whose formation and evolution determined separately the appearance and/or disappearance of the characteristics of structural segmentation, and that the main factors inducing structural sub-segmentation are attributed to the transfer zones which extend in the directions of NW and NE-NEE in the basin margin. The structural segmentation has played an important role in controlling the hydrocarbon in such aspects as the formation and distribution of source rock and source-reservoir-cap assemblages, and the periods of migration and accumulation of hydrocarbon within different structural segments.

Key words southern margin of Junggar Basin, foreland thrust belt, structural segmentation, basement fault, transfer zone

由于前陆冲断带构造形成时间、运动方向、变形强度、变形速率和构造应力等因素的影响, 前陆冲断带普遍具有构造分段的特点(贾承造等, 2000; 何登发等, 2004; 宋岩等, 2005)。横断层、侧断坡与斜断坡等调节构造常常构成构造分段的边界。前陆冲断带的构造分段性特征与油气地质条件关系密切, 因此已引起国内外众多学者的普遍关注(Chapple, 1978; 宋文海, 1989; 卢华复, 1989; Suppe et al., 1990; Jamison, 1996; 贾承造等, 2000)。中国中西部前陆冲断带的构造分段现象广泛存在(汤锡元,

1988; 卢华复, 1989; 霍永录等, 1995; 贾承造等, 2000; 何登发等, 2004; 宋岩等, 2005), 准噶尔盆地南缘前陆冲断带的构造分段特点也较清楚(图1), 并对油气成藏条件具有明显的控制作用。

1 构造—沉积演化与构造分段的形成

准噶尔盆地是一个长期发展的大型叠合复合含油气盆地, 具有前寒武纪结晶基底和寒武系—石炭系褶皱基底(刘训, 2005)。石炭纪以来的构造演化形成了南缘前陆冲断带东西分段的宏观格局。

本文由中国石油化工股份有限公司“准噶尔南缘山前带构造演化及控油作用研究”项目(编号:P03009)资助。

责任编辑: 刘志强; 收稿日期: 2006-11-29; 改回日期: 2007-01-24。

第一作者简介: 孙自明, 男, 1964年生, 高级工程师, 博士, 构造地质学专业, 现从事盆地分析和勘探研究工作; 通讯地址: 100083, 北京市海淀区学院路31号; 电话: 010-82282418; E-mail: sunzm@pepris.com。

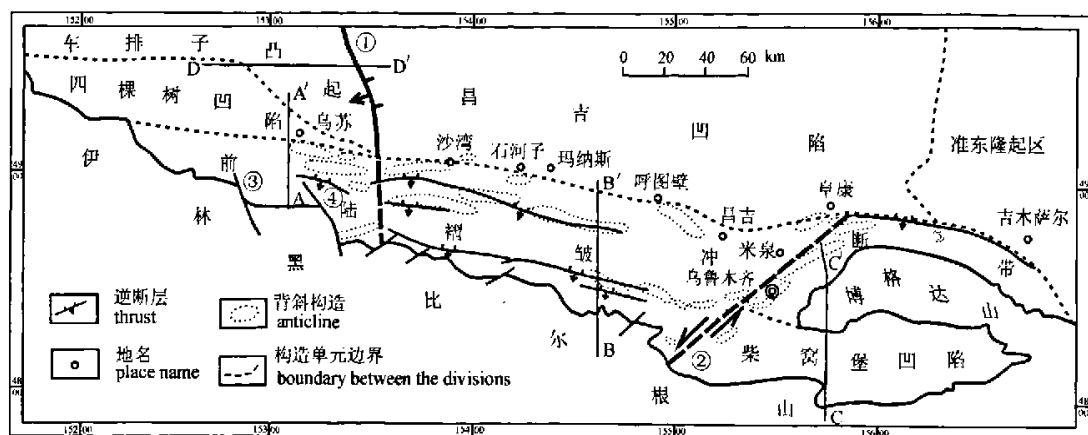


图1 准噶尔南缘构造纲要简图

Fig. 1 Structure outline map of the southern margin of Junggar basin

①-红车断裂;②-乌鲁木齐—米泉断裂;③-托斯台西断裂;④-托斯台东断裂;⑤-阜康断裂
①-Hongche fault;②-Urumqi-Miquan fault;③-West Tuositai fault;④-East Tuositai fault;⑤-Fukang fault

早石炭世,准噶尔洋继承晚泥盆世开始的南北双向俯冲构造格局,南部伊林黑比根山为有限洋盆,北部沿达尔布特—三个泉—克拉美丽断裂向北消减;博格达山演化为陆间裂谷,堆积了一套浅水碎屑岩、凝灰岩和火山碎屑岩地层。早石炭世末期,随着各板块之间相继碰撞和洋盆闭合,该区进入到陆内构造演化阶段。晚石炭世早期,在西准噶尔地区形成西准噶尔残留洋盆地及周缘前陆盆地,准噶尔盆地西缘前陆冲断带出现雏形,红车断裂形成并向东冲断。

早二叠世,伊林黑比根山急剧隆起成山,其前缘拗陷形成前陆盆地。伊林黑比根山及其前缘推覆体构成前陆盆地的南部活动翼,广泛发育中性火山喷发岩与碎屑岩沉积;安集海北—昌吉—博格达—吐鲁番一带构成前缘,发育碎屑沉积岩系。

中晚二叠世至侏罗纪,包括柴窝堡凹陷和博格达山在内的准噶尔南缘同属一个统一的沉积盆地,它们具有相同的物源区 and 大致相同的沉积充填序列,沉积了一套陆源碎屑沉积岩系。由于红车断裂自石炭纪末至三叠纪持续向东冲断,四棵树凹陷区一直处于隆升状态,仅局部接受中晚三叠世陆源碎屑沉积,但厚度不足100 m,而其东侧地区则发育较全,厚度较大。

早中侏罗世,准噶尔盆地处于区域伸展构造背景下的断拗盆地演化时期,盆地南缘发育一套温暖潮湿环境下的含煤湖沼相沉积;中晚侏罗世,准噶尔盆地转入区域挤压构造背景,盆地内部和周缘差异

升降活动增强,并伴有一定的火山活动,沉积了一套以紫红色和棕红色为主的杂色碎屑岩建造。红车断裂在该时期的活动强度急剧减弱,对东、西两侧地区的沉积基本不起控制作用。

由于乌鲁木齐—米泉断裂在侏罗末期强烈活动,导致断裂东、西两侧地区在以后的地质历史时期出现强烈的构造分异。东侧的柴窝堡凹陷持续隆升,接受厚度不大且零星分布的粗粒沉积地层,博格达山则由沉积拗陷区转变为隆起区;断裂西侧的昌吉凹陷持续快速沉降,沉积厚度巨大并伴随沉积和沉降中心的向西迁移。古近系沉积和沉降中心位于独山子南至吐谷鲁一带,厚度1400 m;新近系沉积和沉降中心向西迁移至沙湾一带,厚度达5500 m。

上述多期构造演化造成不同构造层的垂向叠置与横向复合,形成了盆地南缘东西分段的宏观构造格局,分别以红车断裂和乌鲁木齐—米泉断裂为界,可将淮南前陆冲断带划分为西段、中段和东段三个构造段(图1)。

2 各构造段几何学和运动学特征

2.1 西段

位于红车断裂以西地区,主体为四棵树凹陷区,北为车排子凸起,南为天山褶皱带。区内中上三叠统(小泉沟群)至新近系发育齐全。其中,三叠系厚度小于100 m;侏罗系全区分布,并向北、向西尖灭;白垩系和古近系厚度较小,总体向西超覆尖灭;新近

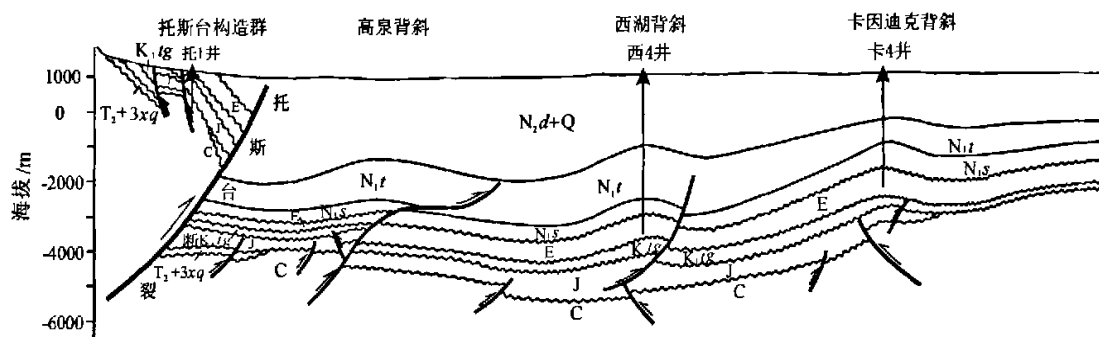


图 2 准噶尔盆地南缘西段南北向构造剖面,剖面位置见图 1A—A'

Fig. 2 SN-trending section of the west segment of the southern margin of Junggar basin (A—A' shown in Fig. 1)

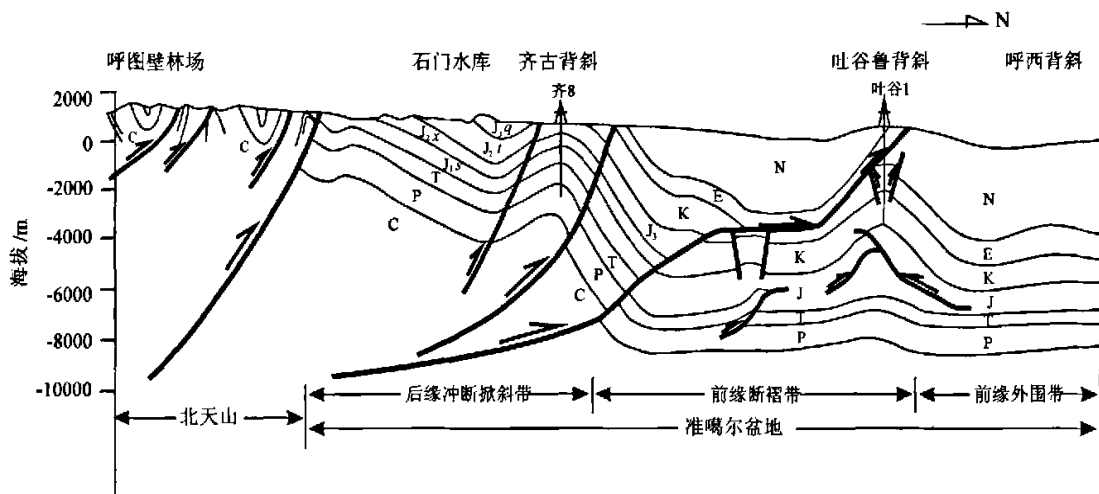


图 3 准噶尔盆地南缘中段南北向构造剖面,剖面位置见图 1B—B'

Fig. 3 SN-trending section of the middle segment of the southern margin of Junggar basin (B—B' shown in Fig. 1)

系主要由沙湾组—独山子组组成,厚度达 5000 余米。

该段深层侏罗系具有南北对冲构造格局(图 2),北部艾卡断裂带的断裂依次向南逆冲,剖面上构成叠瓦状断层组合;南部为托斯台断褶带,以向北的冲断构造组合为主。浅层古近系和新近系主要以发育向北逆冲的逆掩推覆构造为特征(孙自明等, 2004),其中的固尔图逆掩断裂坡—坪结构清楚,构造滑脱特征明显。断坡之上发育较为宽缓的大型断层转折背斜,背斜轴线呈 NWW 向;断坡之下塔西河组膏泥岩等塑性地层发生顺层滑动和强烈揉皱,导致地层局部增厚,如高泉背斜核部由于膏泥岩层的顺层滑动和强烈揉皱,其厚度由其周围平均 50 m 猛增到 300 余米。

2.2 中段

位于红车断裂和乌鲁木齐—米泉断裂之间,区内二叠系至新近系发育齐全,发育三排背斜构造和三排向斜构造(图 3),背斜构造带其间为向斜分隔,构造线呈近 EW 向或 NWW 向展布,总体以发育自南向北的逆冲推覆构造为特征。

根据变形和构造样式发育特征,从南向北可依次划分出后缘冲断掀斜带、前缘断褶带和前缘外围带三部分(孙自明, 2006)。后缘冲断掀斜带变形地层主要为侏罗系和白垩系,构造变形简单,总体为一向北陡倾的掀斜地层带,具有厚皮构造特征。前缘断褶带变形地层为侏罗系至新近系,在坡—坪结构明显并具有滑脱性质的霍玛吐断裂之上,发育霍尔果斯、玛纳斯和吐谷鲁等大型背斜构造,它们与其南

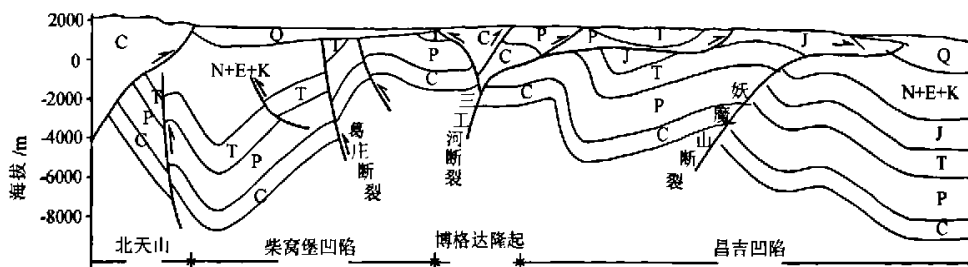


图4 准噶尔盆地南缘东段南北向构造剖面,剖面位置见图1C-C'

Fig. 4 SN-trending section of east segment of the southern margin of Junggar basin (C-C' shown in Fig. 1)

侧向斜共同组成霍玛吐逆冲滑脱推覆岩片,具有典型的薄皮构造特征(Chapple, 1978);滑脱岩片之下发育东湾等潜伏背斜构造。前缘外围带变形地层主要为白垩系至新近系,变形程度较弱,构造平缓开阔,发育奎屯南和石河子南等背斜构造。

2.3 东段

指乌鲁木齐—米泉断裂以东的博格达山及南北两侧的坳陷区,总体呈“两隆两坳”的构造格局(图4),自南向北依次发育北天山、柴窝堡凹陷、博格达山隆起和昌吉凹陷等构造单元。

柴窝堡凹陷夹于博格达隆起带与北天山之间,南、北边界均为隐伏断裂控制,整体呈东西向延伸。博格达隆起南部为自北向南逆冲的褶皱冲断带,平面上呈近东西向延伸;北部主要发育二叠系—新近系,地层变形强烈,存在多层次滑脱现象(孙自明等, 2004);中部卷入地层为石炭系,具有断隆性质。

3 影响构造分段的主要因素

3.1 盆内大型基底断裂

盆内大型基底断裂是控制准噶尔盆地南缘前陆冲断带构造分段的主要因素,其形成演化决定了构造分段特征的出现或消失。

3.1.1 乌鲁木齐—米泉断裂

乌鲁木齐—米泉断裂是一条呈NE向延伸的大型左行压扭走滑基底断裂,地表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,平面上切割并错断NW向和近EW向断裂(孙自明, 2005)。该断裂在布伽重力异常图上表现为明显的重力梯度带,异常等值线密集。航磁 ΔT 异常图上表现为高、低磁异常的分界、异常轴的错断和异常轴方向的改变。断裂以东博格达山高磁异常为近EW走向,断裂以西的高磁异常被错断,异常轴向由EW向转变为NW走向。在重、磁力异常各种上延不

同高度的异常图上断裂特征仍然存在,表明该断裂切割较深,是一条区域性大断裂。

在地表浅层,断裂西侧属于淮南前陆冲断带中段,自南向北发育三排背斜构造,第一排为后缘冲断掀斜带,发育清水河、齐古、昌吉、阿克屯、喀拉扎和西山等背斜构造,总体走向为NW向,但接近断裂附近,阿克屯背斜以东的喀拉扎和西山等背斜轴向转为NEE方向(图5)。平面上,断裂西侧构造组合主要为压扭斜列构造,东侧的博格达西端米泉地区则具有逆冲推覆构造特征,逆冲方向指向北西向;在柴窝堡凹陷西侧逆冲方向又表现为自NW向SE方向的逆冲。这种断裂两侧浅层冲断构造组合以及逆冲方向的差异是由于乌鲁木齐—米泉基底断裂左行压扭活动的结果。

乌鲁木齐地区区域应力场分布和中强地震的活动特征研究表明(高国英等, 1998),该区主要受较为稳定一致的NNE向水平压应力场控制。乌鲁木齐—米泉NE向基底断裂的存在阻挡了区域挤压应力向东的传递,导致西部应力积累速率比东部快,地震活动强于东部。从构造本身来讲,东部的构造走向基本上为EW向,而西部则以NW向为主,西部的构造活动相对强于东部,这些现象可能都是由于乌鲁木齐—米泉走滑压扭断裂活动所造成的地震类型规律分布的主要原因。

乌鲁木齐—米泉断裂的形成和演化,导致南缘中段和东段的构造分异。如前所述,侏罗纪之前,准噶尔盆地南缘东段与中段属于统一的沉积盆地,具有大致相同的构造背景、地层充填序列和物源方向;但侏罗纪之后,由于乌鲁木齐—米泉断裂强烈活动,导致南缘东段和中段的构造分异增强,构造分段特征趋于明显,断裂东侧的柴窝堡凹陷和博格达山总体处于隆起状态,接受厚度不大且零星分布的沉积地层,而断裂西侧的中段地区则持续快速沉降,地层

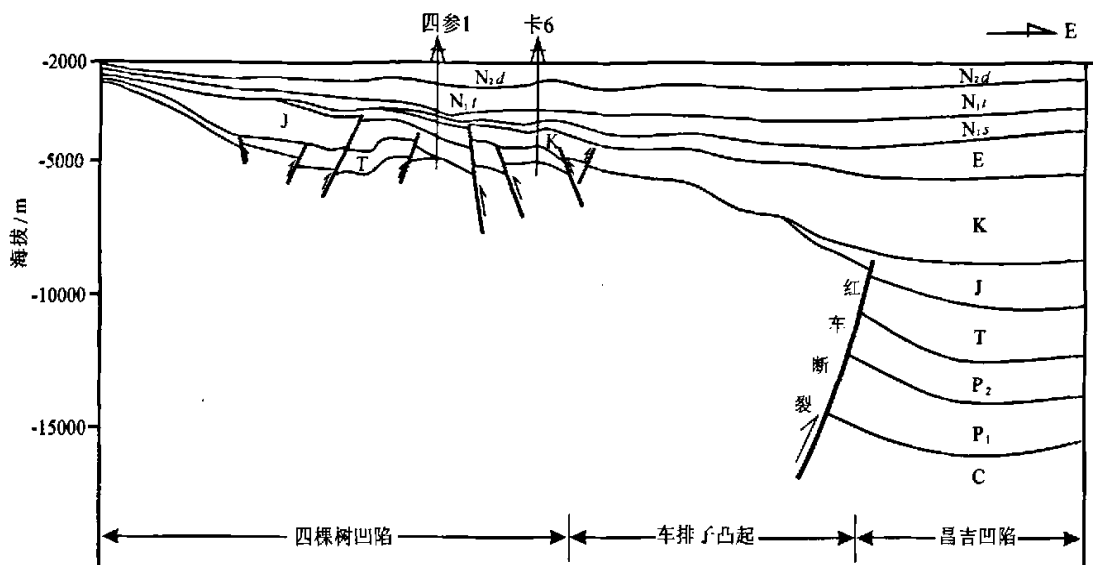


图 5 过红车断裂的东西向剖面,剖面位置见图 1D-D'

Fig. 5 EW-trending section across Hongche fault (D-D' shown in Fig. 1)

沉积厚度巨大。

3.1.2 红车断裂

为准噶尔盆地西北缘前陆冲断带的南延部分,平面上呈近南北向展布,形成于石炭纪末期,构成车排子隆起的东部边界。剖面上由 23 条规模较小的断裂组成断裂构造带,长约 80 km,宽约 10~20 km。继续向南延伸,该断裂带隐伏于北天山逆冲推覆构造带之下;向北延伸则切穿中拐凸起。

该断裂形成于海西期,主要在石炭纪末—三叠纪活动,早中侏罗世活动强度急剧减弱,中晚侏罗世至新近纪活动停止。在断裂活动期,由于断裂强烈向东冲断,二叠系和三叠系主要发育于断裂以东地区,断裂西侧地区缺失,中段和西段的分段特征明显;但在侏罗纪至新近纪时期,由于断裂活动趋于停止,巨厚层的侏罗系至新近系覆于其上,中段和西段的差异性活动消失,构造分段特征亦趋于消失。因此,红车断裂从强烈活动到活动停止直至被深埋于巨厚的侏罗系至新近系之下,揭示了南缘前陆冲断带中段和西段从侏罗纪之前明显的构造差异到侏罗纪之后渐趋统一和构造分段特征消失的演化过程。

3.2 盆缘调节构造

淮南前陆冲断带发育一系列横向或横向—斜向调节构造,类型主要为横向隆起、横推断层(掀断层)和侧断坡等,它们多呈北西向和北东—北东东向展布,是造成淮南前陆冲断带后缘冲断掀斜带次

级构造分段的主要因素。

北西向横向构造调节带主要发育于石场以西的四棵树凹陷南部,具有右行压扭性质。如托斯台东、西两侧各发育一条北西向的横推断层,分别称为托斯台东断裂和托斯台西断裂。平面上托斯台东断裂将山前近东西向断层错开距离达 20 km,托斯台西断裂将山前断层错开距离达 10~15 km。

北东—北东东向构造调节带主要发育于石场以东,具有左行压扭性质。三屯河掀断层构造调节带大致沿三屯河发育于西侧的昌吉背斜与东侧的阿克屯背斜之间;昌吉背斜核部偏北翼发育向北冲的逆断层,构成断展褶皱,核部出露地层为上侏罗统喀拉扎组;阿克屯背斜核部偏南翼发育向南冲的逆断层,亦构成断展褶皱,核部出露地层为头屯河组至喀拉扎组;两条逆断层错开约 4 km,错开处两侧地层突然中断;表面上看似为右行走滑断层错开,但两侧地层不能一一对应,且两侧地层走向大致相同,而倾向则正好相反;反映出两个断展褶皱之间存在擦断层,造成了次级的构造分段现象。类似的调节构造还有阿什里侧断坡变换构造、头屯河庙尔沟侧断坡变换构造和清水河子南侧断坡变换构造等。

4 构造分段对油气成藏条件的控制

4.1 对主力烃源岩和生储盖组合的控制

淮南前陆冲断带存在中二叠统(芦草沟组 and 红

雁池组)、上三叠统、中-下侏罗统煤系、下白垩统吐谷鲁群和古近系安集海河组五套烃源岩(吴孔友等,2005)。围绕上述烃源层形成五套生储盖组合。第一套组合以中二叠统芦草沟组和红雁池组暗色泥岩与油页岩为烃源岩,中下三叠统与上二叠统泉子街组和梧桐沟组为储层,上三叠统黄山街组和郝家沟组为盖层;第二套组合以上三叠统暗色泥岩为烃源层,下侏罗统八道湾组和三工河组砂岩为储层,三工河组上部泥岩为盖层;第三套组合以中下侏罗统暗色泥岩及煤岩为油源层,侏罗系砂岩为储层,中上侏罗统泥岩为盖层;第四套组合以吐谷鲁群暗色泥岩为烃源岩,古近系紫尼泉子组为储层,盖层为古近系安集海河组暗色泥岩;第五套组合以古近系安集海河组暗色泥岩为生油岩,沙湾组和塔西河组下部砂岩为储集岩,塔西河组上部泥岩和膏泥岩为盖层。受构造分段控制,上述五套烃源岩及相应的生储盖组合在不同构造段的发育程度不同。西段主要发育第三和第五套生储盖组合,中段发育较全,东段的柴窝堡凹陷仅发育第一套生储盖组合且不完整。

4.2 对油气成藏期的控制

东段柴窝堡凹陷主力烃源层为中二叠统芦草沟组(P_2l)和红雁池组(P_2h),根据柴参1侧1井烃源岩成熟度分析结果,芦草沟组 Ro 值为 1.65% ~ 1.71%;红雁池组 Ro 值为 1.54% ~ 1.69%,反映这两套烃源岩有机质均已进入高成熟演化阶段。结合构造演化史分析,其大规模生烃时期应在侏罗纪末期或之前,与区内构造圈闭形成时期基本同步,利于原生气藏的形成;侏罗纪之后,由于长期构造隆升和剥蚀改造,该区主要是原生气藏的调整、改造和破坏时期。

中段主力烃源层为中二叠统芦草沟组和中下侏罗统煤系地层,二叠纪至新近纪主要经历了两期成藏。第一期成藏在中晚侏罗世,二叠系烃源岩生成的油气通过断层运移聚集在燕山期形成的圈闭聚集成藏,含油层系主要为侏罗系及以下层位;第二期成藏主要在新近纪,侏罗系及古近系烃源岩生成的油气通过断裂和不整合面运移,在新近纪形成的圈闭中聚集成藏,含油层系主要分布在侏罗系及以上层位,既有油藏,也有气藏。

西段主力烃源岩主要为中下侏罗统煤系地层,古近系安集海河组暗色泥岩为次要烃源岩。该区在新近纪急剧沉降,侏罗系和古近系烃源岩快速深埋,烃源岩有机质受热时间短,导致成藏期也较晚,主要

在新近纪末期,与区内构造圈闭如独山子和西湖等背斜的形成时间一致,成藏匹配条件较好,具有晚期成藏特征。

5 结论

(1) 淮噶尔盆地南缘石炭纪以来多期构造演化造成不同构造层的垂向叠置与横向复合,形成了东西分段的宏观构造格局,自西向东可分为三段,各构造段特征迥异;

(2) 盆内大型基底断裂是控制淮南前陆冲断带构造分段的主要因素,其形成演化决定了构造分段特征的出现或消失。乌鲁木齐—米泉断裂侏罗纪末期以来的强烈活动是造成东段和中段构造分异的关键因素;红车断裂侏罗纪以前向东的持续冲断和侏罗纪及其以后活动停止是造成中段和西段由明显的构造分段到构造分段特征消失的主要原因;

(3) 淮南前陆冲断带发育一系列呈 NW 向和 NE—NEE 向展布的横向或纵向—斜向调节构造,是造成淮南前陆冲断带后缘冲断掀斜带次级构造分段的主要因素;

(4) 淮南前陆冲断带构造分段对该区主要烃源岩与生储盖组合的形成及分布、对油气成藏期和对油气藏的保存与改造等方面具有明显的控制作用。

致谢 本文得到了中国石化石油勘探开发研究院何志亮和武恒志教授级高级工程师的指导和帮助,在此谨向他们表示衷心的感谢!

参考文献

- 高国英,曲延军. 1998. 乌鲁木齐地区构造应力场与中强震活动特征研究. 内陆地震, 12(4): 296 ~ 303
- 何登发,尹成,杜社宽,等. 2004. 前陆冲断带构造分段特征——以淮噶尔盆地西北缘断裂构造带为例. 地学前缘, 11(3): 91 ~ 101.
- 霍永录,谭试典. 1995. 酒泉盆地陆相石油地质特征及勘探实践. 北京:石油工业出版社.
- 贾承造,何登发,雷振宇,等. 2000. 前陆冲断带油气勘探. 北京:石油工业出版社.
- 刘训. 2005. 从新疆地学断面的成果讨论中国西北盆—山区的地壳构造演化. 地球学报, 26(2): 105 ~ 112.
- 卢华复. 1989. 前龙门山前陆盆地推覆构造的类型和成因. 南京大学学报, 25(4): 18 ~ 24.
- 宋文海. 1989. 论龙门山北段推覆构造及其油气前景. 天然气工业, 9(3): 12 ~ 16.
- 宋岩,方世虎,赵孟军,等. 2005. 前陆盆地冲断带构造分段特征及其对油气成藏的控制作用. 地学前缘, 12(3): 31 ~ 38.
- 孙自明,何治亮,牟泽辉. 2004. 淮噶尔盆地南缘构造特征及有利

勘探方向. 石油与天然气地质, 25(2): 216 ~ 221.

- 孙自明. 2005. 乌鲁木齐—米泉断裂特征及其油气地质意义. 中国西部油气地质, 1(1): 47 ~ 50
- 孙自明. 2006. 淮南前陆冲断带前缘外围带特征及含油气性. 中国西部油气地质, 2(4): 237 ~ 241.
- 汤锡元. 1988. 鄂尔多斯盆地西部逆冲推覆构造带特征及其演化与油气勘探. 石油与天然气地质, 9(1): 1 ~ 8.
- 吴孔友, 查明, 王绪龙, 等. 2005. 准噶尔盆地构造演化与动力学背景再认识. 地球学报, 26(3): 217 ~ 222.
- ### References
- Chapple W M. 1978. Mechanics of thin-skinned fold-and-thrust belts. Geological Society of America Bulletin, 89: 1189 ~ 1198.
- Gao Guoying Qu Yanjun. 1998. Study on the tectonic stress field and moderate earthquake activity characteristics in the Urumqi region. Inland Earthquake, 12(4): 296 ~ 303.
- He Dengfa, Yin Cheng, Du Shekuan, et al. 2004. Characteristics of structural segmentation of foreland thrust belts — A case study of the fault belts in the northwestern margin of Junggar Basin. Earth Science Frontiers, 11(3): 91 ~ 101 (in Chinese with English abstract).
- Huo Yonglu, Tan Shidian. 1995. Characteristics of non-marine petroleum geology and exploration in the Jiuquan Basin. Beijing: Petroleum Industry Press (in Chinese).
- Jamison W R. 1996. Mechanical models of triangle zone evolution. Bulletin of Canadian Petroleum Geology, 44(2): 180 ~ 194.
- Jia Chengzao, He Dengfa, Lei Zhenyu, et al. 2000. Petroleum exploration in foreland thrust belts. Beijing: Petroleum Industry Press (in Chinese with English abstract).
- Liu Xun. 2005. A study of the crustal tectonic evolution in basin-mountain areas of Northwest China in the light of Xinjiang Geotranssect. Acta Geoscientica Sinica, 26(2): 105 ~ 112 (in Chinese with English abstract).
- Lu Huafu. Types and mechanism of the nappe structures in the pre-Longmenshan foreland basin. Sinica of Nanjing University, 1989, 25(4): 18 ~ 24 (in Chinese with English abstract).
- Song Wenhai. 1989. Study on the nappe structures and its oil and gas prospects in the northern section of Longmenshan Mountains. Natural Gas Industry, 9(3): 12 ~ 16 (in Chinese with English abstract).
- Song Yan, Fang Shihu, Zhao Mengjun, et al. 2005. The structural segmentation of foreland thrust belts and its implications for hydrocarbon accumulation in foreland basins in central and western China. Earth Sciences Frontiers, 12(3): 31 ~ 38 (in Chinese with English abstract).
- Sun Ziming, He Zhiliang, Mou Zehui. 2004. Structural characteristics and favorable exploration areas in southern margin of Junggar basin. Oil & Gas Geology, 25(2): 216 ~ 221 (in Chinese with English abstract).
- Sun Ziming. 2005. Urumqi-Miquan fault and its significance for hydrocarbon. West China Petroleum Geosciences, 1(1): 47 ~ 50 (in Chinese with English abstract).
- Sun Ziming. 2006. The frontal periphery anticlinal belt and its significance for hydrocarbon in the foreland thrust belt of southwestern margin of Junggar Basin, Xinjiang, China. West China Petroleum Geosciences, 2(4): 237 ~ 241 (in Chinese with English abstract).
- Suppe J, Medwedeff D A. 1990. Geometry and kinematics of fault-propagation folding. Eclogae Geol Helv, 83(3): 409 ~ 454.
- Tang Xiyuan. 1988. Characteristics, evolution and petroleum exploration of the thrust and nappe structures in the western margin of the Ordos Basin. Oil and Gas Geology, 9(1): 1 ~ 8 (in Chinese with English abstract).
- Wu Kongyou, Zha Ming, Wang Xulong, et al. 2005. Further Researches on the Tectonic Evolution and Dynamic Setting of the Junggar Basin. Acta Geoscientica Sinica, 26(3): 217 ~ 222 (in Chinese with English abstract).