

文章编号: 1000-0550(2004)02-0206-10

阿尔金断裂为边界的盆地斜坡带扇三角洲

高剑波¹ 钟建华^{1,2} 徐小林¹ 温志峰¹ 黄立功^{2,3} 刘云田^{2,3} 江波³

1(石油大学(华东)资信学院油气基础地质研究所 山东东营 257061)

2(中国科学院广州地球化学研究所 广州 510640)

3(中国石油青海油田分公司 甘肃敦煌 736202)

摘要 柴达木盆地西部阿尔金断裂系是分割柴达木与塔里木盆地的一条重要的大型逆冲—走滑断裂系,其南缘斜坡西段第三系广泛发育扇三角洲沉积。通过对盆地形成的构造动力学背景及沉积物供给速率、可容空间增长速率、盆地边界条件、源区与湖盆距离等条件分析入手,在大量野外露头精细描述和沉积特征论述的基础上,认为阿尔金斜坡西段第三系发育两种层序序列类型的扇三角洲:退积型和进积型。在此基础上建立了两种扇三角洲沉积模式。阿尔金斜坡西段生储盖组合发育较好。下干柴沟组上部湖相暗色泥岩为主要的烃源岩,进积型扇三角洲前缘水下分流河道、河口坝,以及退积型水下辫状河道砂体具有较好的储集性能和成藏条件,是本区油气勘探的重点。阿尔金斜坡西段第三系扇三角洲的研究为深入讨论阿尔金造山带的形成演化提供了沉积学方面的依据。

关键词 扇三角洲 第三系 阿尔金斜坡 柴达木盆地 退积型和进积型 生储盖组合

第一作者简介 高剑波 男 1977年出生 硕士 沉积学 石油地质学

中图分类号 P512.2 **文献标识码** A

1965年 Holmes 在研究英格兰西海岸现代扇三角洲沉积时提出了扇三角洲(Fan delta)的概念:从邻近高地推进到一静止水体(海或湖)中的冲积扇^[1]。近年来,由于国内外含油气盆地扇三角洲中相继发现高产油气田,扇三角洲的研究也逐渐引起地学界的高度重视。随着研究的深入,“扇三角洲”的含义也不断被修订和充实。Nemec, W, Steel, R. J 认为“扇三角洲是由冲积扇提供物质并沉积在活动扇与静止水体分界面处的、全部或大部分位于水下的沉积体”^[9]。内麦克和斯蒂尔(Nemec 和 Steel, 1988)在对扇三角洲综合研究的基础上,认为“扇三角洲是由冲积扇(包括旱地扇和湿地扇)提供物源,在活动的扇体与稳定水体交界地带沉积的沿岸沉积体系。这个沉积体系可以部分或全部沉没于水下”。吴崇筠等在总结我国中生代含油气盆地各类砂体的基础上,将扇三角洲分为两种类型:靠山型与靠扇型^[12]。

阿尔金断裂系的研究历来都是地学研究的一个难点和热点。在挤压背景下,以阿尔金逆冲—走滑断裂系为边界的柴达木盆地边缘斜坡带沉积体与毗邻的逆冲推覆造山带构造演化之间存在有密切的联系。阿尔金山南缘斜坡地区由于基础地质条件恶劣,野外露头观测欠细、系统资料缺乏等原因,致使对该区主要储集砂体—扇三角洲的沉积特征、砂体展布、物性及含油性

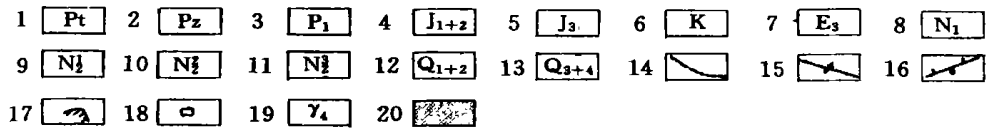
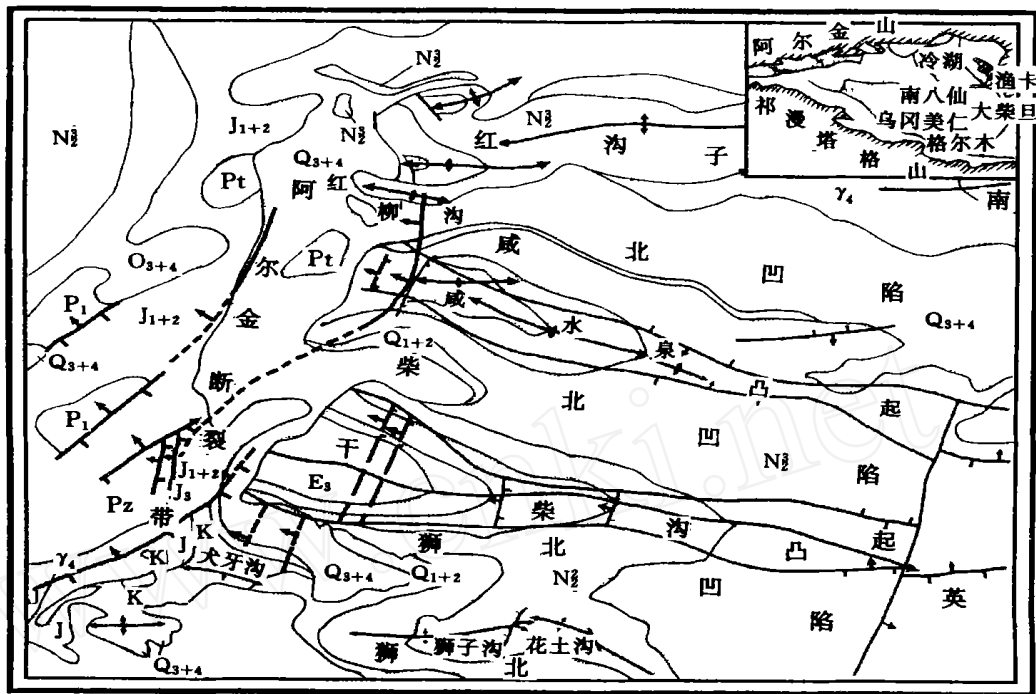
研究不够深入,影响了青海油田公司增产上储和有利靶区的确定。本次研究在大量细致的野外露头实地踏勘和岩性精细描述的基础上,对阿尔金斜坡西段扇三角洲的沉积特征及含油气性进行深入系统的研究,对青海油田公司滚动勘探提供了理论参考,也对深入探讨阿尔金造山带形成的几何学、动力学及运动学机制提供了沉积学方面的依据。

1 区域地质概况

柴达木盆地系我国西部重要的含油气盆地,它位于青藏高原东北隅,地处古亚洲构造域南缘,其南紧邻特提斯—喜马拉雅构造域,周边围以阿尔金山、祁连山、昆仑山,盆地面积 $1.2 \times 10^5 \text{ km}^2$,盆地轮廓大致呈一北西西向不规则的菱形。柴达木盆地西部阿尔金斜坡西段位于柴达木盆地西北缘,阿尔金山南麓,是茫崖凹陷的一个二级构造带。它向西北直抵阿尔金逆冲走滑断裂系,东段宽缓,西段陡斜,是柴达木盆地西部湖盆边缘的一个重要组成部分。阿尔金斜坡西段主要包括包含七个泉、犬牙沟、干柴沟、咸水泉和红沟子等地面构造(图1),面积达2000多 km^2 。

2 相类型及沉积特征

由阿尔金逆冲走滑断裂系所控制的盆地边缘斜坡



1. 元古界; 2. 古生界; 3. 下二叠系; 4. 下中侏罗系; 5. 上侏罗系; 6. 白垩系; 7. 下干柴沟组; 8. 上干柴沟组;
 9. 下油砂山组; 10. 上油砂山组; 11. 狮子沟组; 12. 下第四系; 13. 上第四系; 14. 地质界线; 15. 背斜轴; 16. 逆断层;
 17. 盆地边界; 18. 城镇; 19. 砾石斜坡岩体; 20. 工区位置

图 1 柴达木盆地西部阿尔金斜坡西段地质略图(据青海油田)

Fig. 1 The schematic geological map of the west section of the Altun slope in the western Qaidam Basin

区扇三角洲与我国东部由正断层所控制的裂谷湖盆地边界所发育的扇三角洲的沉积特征有一定的差异。本区扇三角洲沉积主要围绕老山边缘呈裙边状展布,不同成因类型的砂体垂向上交错叠置,横向上相互过渡。砂体展布呈东南向的朵叶状。通过野外实地踏勘和室内岩心观察以及沉积特征论述的基础上,在垂向上把扇三角洲划分为退积型和进积型两种沉积类型,其沉积特征见表 1。

2.1 退积型扇三角洲

2.1.1 扇根

主要由若干条河道和河道间冲积物组成。岩性为菱角-次菱角状砾岩、砾状砂岩、含砾砂岩为主夹鲜红色泥岩及棕红色砂岩、泥质粉砂岩。河道主要由杂基支撑和碎屑支撑的砾岩、砂砾岩和砂岩组成。碎屑物质粒度极粗,分选极差,直径 1 m 以上的砾石可以与任何粒度的砾石、甚至大量的泥杂基混杂在一起。砾石的成分非常复杂,既可以有沉积岩又可以有火山岩、甚

至变质岩,说明了物源区的复杂以及形成扇三角洲时的水量较大(否则难以搬运直径 1 m 以上的砾石)(图版 F1)。总体呈一向上变细的正旋回,可见小型反旋回序列,见块状层理和递变层理,大型的交错层理不明显,常见底冲刷。自然电位曲线多为齿化箱形—钟形或齿化箱形叠加,高振幅。

2.1.2 扇中

位于扇根前方,是退积型扇三角洲的主体,也是阿尔金斜坡西段扇三角洲砂体最发育的部位。砂岩含量相对较高,为水下河道发育地区。根据砂体在水下展布情况,可以进一步划分为水下辫状水道和水道间冲积平原两种微相。由于水体直抵老山,物源近等原因,碎屑物质入水后迅速卸载,所以扇中席状砂体并不发育。其中水下辫状河道砂体是较有利的储集体。

(1) 水下辫状河道微相:该微相是扇根河道在滨浅湖区的进一步延伸,从老山边缘向盆地,其成分成熟度和结构成熟度由低变高。岩性较粗,以砾岩和砂砾

表 1 阿尔金斜坡西段第三系退积型、进积型扇三角洲沉积特征
Table 1 Sedimentary characteristics of the retrograded fan delta and the prograded one in the Tertiary stratum of the western Altun slope

亚相(微相)类型	岩性	电性	沉积构造	物性	粒度特征	沉积序列	含油性	
退积型	扇根	自然电位曲线为齿化箱形—钟形或齿化箱形叠加, 高幅。	块状层理、反递变至正递变层理, 大型交错层理不明显, 常见底冲刷	孔隙度 < 10%, 渗透率 < $10 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$	颗粒粗细混杂、分选极差, 概率曲线为两段式, 悬浮总体约为 70%, 斜率约为 20°, 跳跃总体约为 20%, 反映重力流机制。	底部突变, 顶部渐变, 略显正韵律	较差	
	扇中	自然电位曲线为齿化箱形或钟形—箱形组合, 中—高幅。	块状层理和大型交错层理, 单层厚 0.4m ~ 1.8m。	孔隙度一般 < 18%, 渗透率一般 < $50 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$	概率曲线为斜率很低的折线, 以三段式为主。过渡带发育, 滚动总体占 20-30%, 分选较差。	底部突变, 具正韵律	好	
		河道间冲积平原	自然电位曲线多为对称齿状、指状或小型齿化钟形。	块状层理、平行层理	孔隙度 < 10%, 渗透率 < $5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$	概率曲线为斜率低的折线, 以二段式为主, 跳跃总体小于 5%, 过渡总体小于 20%, 悬浮总体发育, 分选较差。	韵律不明显	中等
	扇端	自然电位曲线呈指状或齿状, 低幅, 顶底渐变	平行层理和流水纹状层理, 亦可见递变层理和块状层理(水下重力流)	孔隙度 < 5%, 渗透率 < $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$	概率曲线以一段、二段过渡式为主, 主要由悬浮总体构成。	韵律不明显	韵律明显	较差
进积型	扇三角洲平原	自然电位曲线以微锯齿箱形、钟形为主, 底突变, 顶渐变, 高幅	递变层理、块状层理, 多呈不规则透镜状, 底冲刷发育	孔隙度 < 9%, 渗透率平均 $12.7 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$	概率曲线二段式为主, 滚动总体和过渡带发育, 分选中等。	正递变韵律明显	较好	
		自然电位曲线为齿化, 柱状中—低幅。	平行层理和块状层理, 发育不稳定充填型构造	孔隙度 < 4%, 渗透率 < $5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$	概率累积曲线以二段式为主, 悬浮总体发育, 分选差。	韵律不明显	韵律不明显	差
	扇三角洲前缘	自然电位曲线以钟形、箱形为主, 多种复合型叠置	冲刷-填充构造, 板状、槽状交错层理、块状层理、平行层理、递变层理、透镜状层理。	孔隙度 < 20%, 渗透率 < $50 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$	概率曲线主要为两段过渡式。跳跃总体占 50-60%, 倾角率约为 50°, 悬浮总体占 40%, 倾角率为 20-30°。	具明显的正韵律	具明显的正韵律	好
		自然电位曲线呈对称齿状、指状或小型齿化钟形, 低幅, 电阻率低, 齿状。	水平层理、浪成波状交错层理。	孔隙度 < 5%, 渗透率 < $10 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$	概率曲线以悬浮总体为主, 跳跃总体小于 5%, 过渡总体小于 25%。	具正反韵律	具正反韵律	较差
		自然电位曲线呈漏斗形、箱形。	交错层理、波状层理、平行层理、透镜状层理	孔隙度 < 20%, 渗透率 < $50 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$	概率曲线二段式为主, 双跳跃段居多, 斜率 60° - 70°, 分选较好。	具反韵律	具反韵律	好
		自然电位曲线低幅, 齿化, 反向或对称齿形。	波状交错层理、波状层理, 单层厚度 0.2-0.8m。	孔隙度 < 10%, 渗透率 < $20 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$	概率曲线以一段式为主, 悬浮总体发育, 分选较好。	韵律不明显	韵律不明显	较好
席状砂	自然电位曲线低平, 偶有低幅微钟形。	水平层理发育, 见粒序层理、砂纹层理, 底部偶见槽模。	孔隙度 < 5%, 渗透率 < $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$	概率曲线以一段式为主, 见二段式。悬浮总体占 80% 以上。	韵律不明显	韵律不明显	较差	

岩为主;砂岩和砾岩的分选较差,成分复杂,不稳定的矿物碎屑和基质含量高。由于山前泥石流发育,砂砾岩直接沿河道进入水体,因而泥岩常呈捕虏体状被砾岩包裹(图版 F2)。单层厚几十 cm~1.8m,发育向上变细的层序,砂层间常夹部分砾岩、砾状砂岩、含砾砂岩,浅灰色、浅绿灰色泥质粉砂岩和棕褐色泥岩。在剖面上砂体相互叠置形成大套叠置砂岩层。自然电位曲线为齿化箱形或钟形—箱形组合为主,中—高振幅。

(2) 河道间冲积平原:该微相主要由棕褐色泥岩夹砂砾岩组成,砂砾岩分选磨圆较差,砂砾岩直接与上覆和下伏的泥岩接触(图版 F3),见块状层理、平行层理。由于山前辫状河道改道频繁和强烈的冲刷作用,这些沉积下来的细粒物质被冲刷截减变薄,甚至完全被冲刷掉。

2.1.3 扇端

位于扇中的前方,大部分进入了浅湖—半深湖区。岩性以深灰色泥岩夹薄层砂岩为主。砂岩可发育平行层理和水流砂纹层理,亦可见递变层理和块状层理。自然电位曲线呈指状或齿状,低振幅,顶底渐变。

2.2 进积型扇三角洲

2.2.1 扇三角洲平原

扇三角洲平原相是位于湖泊低水位线以上的扇三角洲体系的近端部分。主要由泥石流沉积、扇面河道沉积夹漫洪沉积构成,其中泥石流及漫洪沉积中穿插填积了扇面河道砂体,显示不规则的填积型结构。岩性主要为混杂砾岩、砂砾岩夹棕红色、棕褐色和杂色泥岩。

(1) 扇面辫状河道微相:岩性主要为混杂砾岩、块状或递变层理砾岩、砂砾岩组成。砾石呈棱角状—次棱角状,排列无定向,泥基支撑,底部多见冲刷面。扇面河道沉积在横剖面上多呈不规则透镜状。以正递变韵律所显示的牵引流特征是判别该类扇三角洲平原扇面辫状河道沉积的主要标志。自然电位曲线以箱形、钟形为主,底突变,顶渐变,高幅。

(2) 河道间冲积平原微相:岩性主要为棕褐色、棕红色杂色泥岩,泥石流沉积、漫洪沉积构成,表现为不稳定充填型构造。见平行层理和块状层理。自然电位曲线为齿化、柱状,中—低振幅。

2.2.2 扇三角洲前缘亚相

主要由扇三角洲位于低水位线以上的扇面河道延伸到水下所形成的水下分流河道沉积、河口坝、席状砂和一些湖泊沉积组成,是进积型扇三角洲砂体发育最好的部分。由于山前扇三角洲的进积作用,后期的陆源粗碎屑沉积常常覆盖在前期的细粒沉积之上,构成向上变粗的垂向层序。岩性主要为灰色、灰白色厚层

状含砾砂岩、砾状砂岩和砂砾岩夹棕褐色、灰绿色泥岩、钙质泥岩、泥灰岩和薄层粉砂岩。前者主要为重力流沉积,后者主要是扇三角洲平原进入到扇三角洲前缘的片状牵引流沉积以及水下分流河道间的沉积。

(1) 水下分流河道微相:该微相是陆上河流在水下的延伸部分,由盆地边缘斜坡带沿东南方向向湖盆中心分支增多,并由重力流沉积逐渐过渡到牵引流沉积。岩性以含砾砂岩、粗砂岩、中砂岩、细砂岩为主。发育交错层理、块状层理、平行层理、递变层理、透镜状层理。主河道岩性以大型板状、槽状交错层理含砾砂岩、粉砂质粗砂岩为主,砂层单层厚度一般 1.5~2.5 m。最大厚度 5.5 m,砂体宽 5~8 m,在山前向湖盆延伸 4~8 km。分支河道砂体厚度 0.2~1 m,岩性稍细,多以正韵律为主。自然电位曲线多呈箱形、钟形及多种复合型叠置。

(2) 水下分流河道间微相:该微相主要位于水下分流河道间,是洪水期水道漫溢或决口时形成的沉积,呈席状展布。沉积物主要由灰绿色至灰白色钙质泥岩组成,偶夹粉砂、细砂岩及含砾砂岩。沉积物受到湖浪的改造,浪成波纹交错层理发育,可见水平层理、斜层理和透镜状层理。由于水下分流河道冲刷强,改道频繁,河道一旦改道,沉积物常常被冲刷减薄,甚至完全被冲刷掉,因此该微相常常以夹层的形式产出。自然电位曲线呈对称齿状、指状或小型齿化钟形,低幅,电阻率低,齿状。

(3) 河口砂坝:该微相为分流河道带来的砂泥物质在河口处因流速降低形成。岩性主要为粉砂岩、细砂岩、粗砂岩,部分可见由于河道推进而形成的砾状砂岩,砂体分选较好。由于山前间歇性洪水供给,使得河口坝边缘形成泥质披覆而构成复合反粒序。自然电位曲线呈漏斗形、箱形。平面上常为椭圆形,剖面上为底平顶凸透镜状。砂体物性好,红沟子构造下油砂山组的河口砂坝沉积以孔隙型为主。孔隙度 20%,渗透率 $50 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,具有很好的油气储集性能。

(4) 席状砂微相:该微相主要发育在水下分流河道末端,地形较平坦的地方。主河道及分支水流速度减缓,携带的碎屑物质快速沉积下来,形成若干个分流河道舌状砂体,由于湖浪的改造作用,在扇三角洲前缘形成扇形砂岩体,从而构成席状砂主体。自然电位曲线低幅,齿化,反向或对称齿形。在咸水泉以及狮子沟北高点的华岩山油田的下油砂山顶部—上油砂山的席状砂为粉砂岩为主,砂层物性较好,孔隙度一般 25%,渗透率 $20 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,也具有较好的油气储集性能。

扇三角洲前缘亚相是比较好的油气储集体,各亚相砂体微相的相互重叠可构成很厚的油气储层。

2.2.3 前扇三角洲

前扇三角洲主要由深灰色、灰黑色泥岩、钙质泥岩、泥灰岩夹薄层状粉砂岩及细砂岩组成,砂泥互层,水平层理发育,见波状层理。由于斜坡坡度较大,重力流沉积常经过扇三角洲前缘直接进入前三角洲,所以薄层粉砂岩及细砂岩发育。薄层粉砂岩具有不完整的鲍马序列,常见CDE段,缺少AB段。见粒序层理、砂纹层理及水平层理,底部偶见槽模(图版F4)。

3 相组合及沉积模式

3.1 相组合

阿尔金斜坡西段第三系扇三角洲整体发育向上变粗和向上变细两种层序序列,且两种相序沉积特征各异。从古始新统的路乐河组到上新统的狮子沟组发育完整的水进到水退过程,其形成的扇三角洲在垂向上也构成一个完整的从退积到进积的沉积序列。从始新统末期(路乐河组上段)开始,由于造山带的低隆作用,盆地北部造山带向盆地内逆冲推覆,沉积盆地山前带受负荷而快速挠曲,造山带斜坡前的区域,湖水水域不断扩大,岸线不断向造山带方向迁移,使源区与湖盆的距离缩短,形成退积型的正旋回沉积层序(图2)。该层序三层结构明显,下部为扇根沉积,发育间歇性突发洪水形成的河道及河道间冲积物,岩性以棱角一次棱角状杂基支撑,无内部组构的块状砾岩与鲜红色泥岩、棕红色砂质泥岩共生为主,砾岩单层厚度大多都在1.2 m以上,沉积物分选磨圆极差,大型交错层理不明显,底冲刷常见;中部为扇中沉积,发育水下辫状河道和河道间冲积平原沉积,岩性为黄褐色次棱角状-次圆状砾岩、砂岩及砂泥岩互层。辫状河道中沉积构造多样,常见透镜状、大型板状、槽状交错层理、砂纹交错层理及平行层理等类型;上部为扇端沉积,发育滨浅湖沉积以及水下重力流沉积,岩性以块状或水平层理较为发育的灰色泥岩、钙质泥岩为主,夹薄层砂砾岩和粉砂岩,见递变层理,单层厚度较小,一般0.1~0.3 cm。

从上新统中期(下油砂山组上段)开始,由于阿尔金造山带不断隆升、剥蚀的加快以及构造挠曲沉降量逐渐减小,沉积物不断向盆地内推进,盆地沉积沉降中心不断向东迁移,在山前形成进积型的反旋回沉积层序(图3)。该进积型扇三角洲三层结构也较明显。下部为前扇三角洲沉积,发育滨浅湖相沉积,岩性以深灰色、灰黑色泥岩、钙质泥岩夹薄层粉砂岩及细砂岩为主,水平层理发育,粉砂岩及细砂岩中可见砂纹层理,单层厚度一般0.1~0.4 m,底部偶见槽模;中部为扇三角洲前缘沉积,发育水下分流河道、分流河道间、河

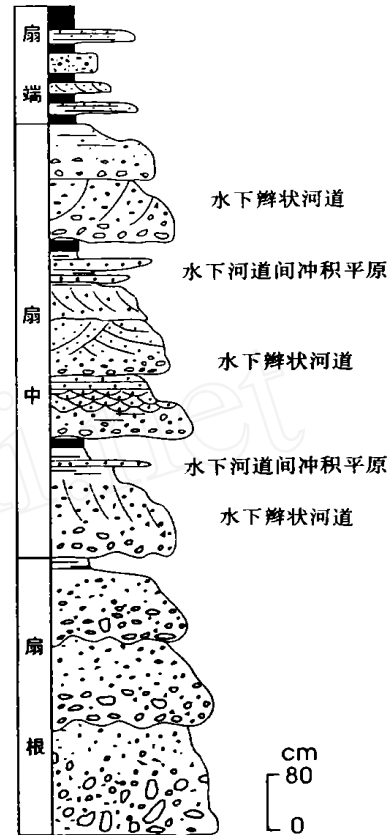


图2 退积型扇三角洲沉积序列(西岔沟 E_3^1)

Fig.2 The retrograding sequence of the fan delta(Xichagou E_3^1)

口坝以及席状砂沉积。岩性较多样,主要以颗粒支撑大型板状、槽状交错层理砾岩,杂基支撑透镜状砂砾岩,浪成波纹交错层理粉细砂岩、平行层理粉砂岩以及块状层理粉砂质泥岩为主,水下分流河道沉积多以砾岩、砂砾岩为主,单层厚度从0.2 m到2 m以上不等,砂砾岩多呈透镜状与分流河道间的灰绿色至灰白色钙质泥岩互层;上部为扇三角洲平原沉积,发育扇面辫状河道和河道间冲积平原沉积,岩性主要以菱角状混杂砾岩、砂砾岩与棕褐色、棕红色砂质泥岩、泥岩为主,发育递变层理,块状层理。棕红色砂质泥岩是河道间冲积平原的产物,当中砂砾岩体多呈不规则透镜状且底冲刷发育。

3.2 沉积模式

在大型逆冲—走滑断裂系为边界的盆地边缘斜坡带扇三角洲的沉积特征与盆地的构造动力学背景及沉积物供给速率、可容空间增长速率及盆地边界条件、源区与湖盆距离等因素密切相关。由于喜山运动等新生代构造运动具有幕式旋回的特点,受其控制,阿尔金断裂带的运动也具有幕式旋回的特点,且每一幕的运动学、动力学机制也不近相同。在阿尔金断裂南缘斜坡

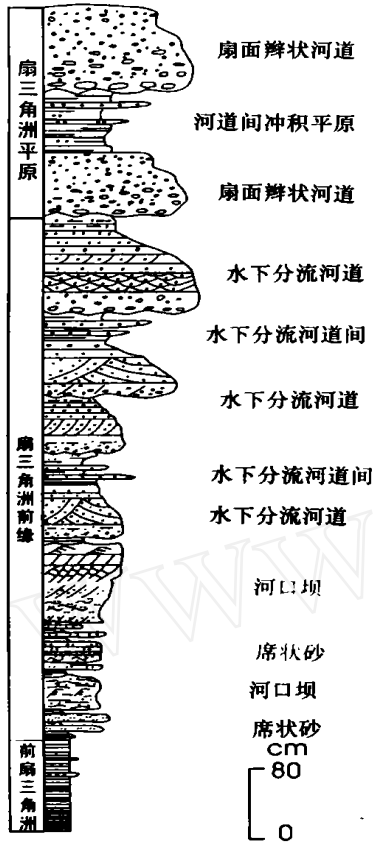


图 3 进积型扇三角洲沉积序列(柴深沟 N₂)

Fig. 3 The prograding sequence of the fan delta (Chai shengou N₂)

区的沉积建造在不同幕次的响应下表现出不同的沉积特征。每一幕发育的扇三角洲的规模、形态、沉积物的粒度、分选、磨圆,沉积相带分布规律都具有一定的差异。

喜山运动幕(E₁₊₂末),在阿尔金造山带逆冲性质的右行走滑作用下,阿尔金造山带缓慢隆起,强烈的挤压变形使柴达木盆地古地形逐渐由中生代的南高北低转化为北高南低,且在强大的压应力作用下柴达木地块发生挠曲拗陷。因为在应力作用下变形的不均匀性,向造山带一方的沉降和可容空间变化的速率上表现出一种渐进的增长,在沉积作用的滞后效应下,早期的沉积沉降大于沉积物的聚集,所以在靠近阿尔金逆冲走滑断裂的部分发育一个沉降速率超过湖平面下降速率的区域,因此在该区域内湖水水域不断扩大,湖岸线不断向老山方向迁移的同时,山地河流出口后直接进入湖盆滨浅湖区,形成退积型扇三角洲沉积,其沉积模式见图 4。

喜山运动幕中期(N₂¹末),阿尔金造山带再次隆升,山前的断层沿着先期的断面回返逆冲。随着阿尔金逆冲冲断带的规模增大,阿尔金造山带侵蚀作用不断增强,自逆冲带所剥蚀的碎屑物质向盆地的输入

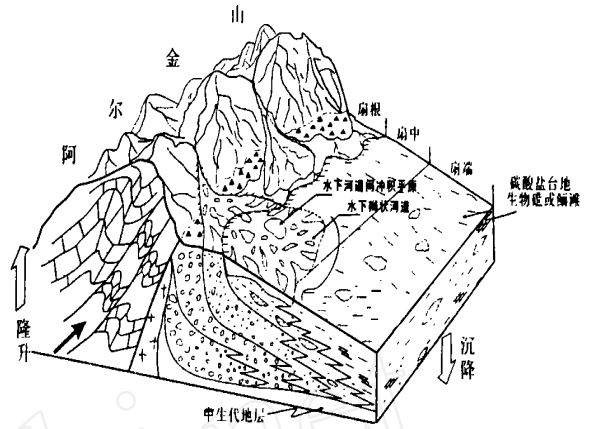


图 4 退积型扇三角洲沉积模式

Fig. 4 The sedimentation model of the retrograded fan delta

量不断增加,沉积物聚集速率大于沉降速率,山前挠曲拗陷区可容空间不断减小。当阿尔金造山带达到侵蚀作用和隆升之间的平衡稳定状态时,构造负荷量将保持恒定并不断向东迁移。与此同时,盆地西部靠近阿尔金断裂的地方不断被充填且不断变浅,沉积和沉降中心不断东移。在斜坡带形成的扇三角洲砂体不断向湖中心推进,出露水上的扇三角洲平原部分愈来愈大,并向河流相转化,形成向上变粗的反旋回层序叠置的进积型扇三角洲沉积。该类扇三角洲相带一般发育较全,可划分为扇三角洲平原、扇三角洲前缘和前扇三角洲三个亚相,其沉积模式见图 5。

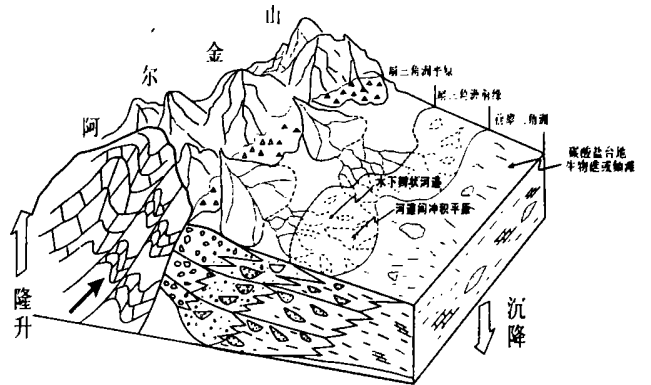


图 5 进积型扇三角洲沉积模式

Fig. 5 The sedimentation model of the prograded fan delta

4 扇三角洲生储盖组合及其油气地质意义

扇三角洲与湖相生油层指状接触或上倾尖灭,可作为有利的潜在油气藏。尽管许多扇三角洲层序中产油与构造作用有关,但与扇三角洲有关的岩性多变性

使地层圈闭更具重要意义^[19]。阿尔金斜坡西段扇三角洲前缘和前扇三角洲分别处于较深湖亚相和浅湖亚相环境中,黑色泥岩、白云质泥岩、泥灰岩、页岩及其生物礁灰岩可作为良好的生油层(图板 F5、F6)。如狮 20 井及以南地区,下干柴沟组上段生油岩面积达 150 km²,厚度在 500~700 m 之间;特别是柴深 1 井在上干柴沟组几百米厚的地层中连续见到多层油迹,初步认为是油气运移后残留下来的重质组分。

该区扇三角洲与柴达木盆地西部的辫状河三角洲相比,扇三角洲的储层质量较差。这是因为扇三角洲储集砂体分选差,高含量的泥基质限制了单层的连通范围,并常为盐湖湖水介质影响导致碳酸盐胶结高度固结化。然而,在前陆盆地和大陆板块内裂谷沉降盆地中,人们发现扇三角洲油气勘探的重要性并不亚于辫状河三角洲,它们常常形成混合构造—地层圈闭^[19]。在我国东部由正断层所控制的裂谷湖盆边缘所发育的扇三角洲沉积为常见的油气聚集类型。而阿尔金斜坡西段的扇三角洲砂体尽管孔隙度、渗透率较低,但由于它与生油岩呈指状交叉接触,有利于柴达木盆地西部半深湖区生油岩的烃类向上运移,上部生油岩的烃类侧向或向下运移,因此仍不失为柴达木盆地西部地区较为有利的储集体。喜山运动 I 幕(E_{1+2} 末),由于逆冲推覆体负荷与区域均衡调整,柴达木盆地西部靠近阿尔金造山带的岩石圈发生挠曲沉降,紧靠盆地边缘逆冲断裂的地方成为湖盆的沉积和沉降中心,而此时斜坡带形成的退积型扇三角洲,其前缘滨浅湖暗色泥岩丰富,气候湿润,有利于有机质的生成,其烃源岩有机碳含量 0.49%~0.63%,有机质类型为腐泥质—腐殖质型,是主要的生烃岩系。喜山运动 II 幕中期(N_2^1 末)开始,由于地壳刚度的变化,盆地西部岩石圈所形成的构造挠曲沉降量逐渐减小,沉积中心不断东移,气候变得干燥,湖盆处于弱氧化—氧化环境。靠近阿尔金斜坡的湖盆从早期的深水沉积向后期的浅水沉积演化,增生扇三角洲碎屑楔形体不断向盆地内部迁移。期间形成的进积型扇三角洲,其前缘滨浅湖泥岩厚度小,有机碳含量为 0.08%~0.18%,且处于低成熟—未成熟阶段,生烃能力较弱。此外,在第三系阿尔金断裂大规模走滑及湖盆萎缩期,进积型扇三角洲前缘砂体平均孔隙度为 11%,平均渗透率为 $20.12 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$;退积型扇三角洲前缘砂体平均孔隙度为 12%,平均渗透率为 $31.75 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,其中水下分流河道砂体孔隙度为 11.2%,渗透率平均 $45.23 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,物性较好,具备了良好的储集条件。而且从下干柴沟组上段上部到上干柴沟组,湖盆达到最大湖泛期,柴达木盆地西部茫崖拗陷沉积了厚度巨大的湖相泥岩和白

云岩,且分布范围广,既是主力生油层,同时也可作为范围较广的盖层,加上扇三角洲入湖砂砾岩体与湖相暗色泥岩指状交互接触,扇体的展布与水进水退密切相关,水进水退与扇三角洲体系的进积和退积互为消长,形成多套生储盖组合,使退积型扇三角洲扇中的水下辫状河道砂体和进积型扇三角洲前缘水下分流河道、河口坝砂体成为本区有利的储集体。另外在阿尔金断裂逆冲推覆挤压构造运动作用下,阿尔金斜坡带形成以断背斜、断块和断鼻等各类构造圈闭及地层、岩性圈闭的复合圈闭带,从而构成了以逆冲断裂褶皱构造岩相带为特色的复式油气聚集带。在本次研究的基础上青海油田公司 2002 年在阿尔金斜坡部署的红沟子构造 5 井和干柴沟构造柴 6 井分别获得工业油流,为柴达木盆地西部阿尔金斜坡石油勘探打开了一个全新的局面。

5 结论

(1) 大型逆冲—走滑断裂系为边界的柴达木盆地西部阿尔金斜坡带西段第三系广泛发育粗碎屑组成的扇三角洲沉积体,沉积厚度近千米,是富集油气的重要沉积类型。

(2) 盆地新生代第三纪构造演化及阿尔金逆冲—走滑断裂系发育的阶段性和幕次性及其所决定的古地形、物源、沉积负荷、可容空间的变化一起控制了扇三角洲在时间和空间上展布的差异性。喜山运动 I 幕(E_{1+2} 末)开始,阿尔金斜坡西段发育退积型扇三角洲沉积;喜山运动 II 幕中期(N_2^1 末)开始,发育进积型扇三角洲沉积,且每一幕发育的扇三角洲的沉积特征、分布规律都不尽相同。

(3) 退积型扇三角洲扇中的水下辫状河道砂体储集性能好,成藏条件优越,是本区勘探重点;进积型扇三角洲前缘水下分流河道、河口坝砂体分布范围广,砂体厚度大,物性好,是主要油气储集体。

致谢 本论文得到 CNPC 中青年创新基金及高校博士点基金提供的资助;青海石油管理局油田技术发展处邵文斌处长给与了大力支持,在此一并致谢。

参考文献(References)

- 1 Young K Sohn. Depositional processes of submarine debris flows in the Miocene fan deltas, Bohang Basin, SE Korea with special reference to flow transformation. *Journal of Sedimentary Research*, 2000, 70(3): 491~503
- 2 Christo Pimpirev, Gustavo Sarmiento. Submarine fan and channel levee deposits in the Lower Cretaceous Bogota trough, Colombian Andes. *Sedimentary Geology*, 1993, 86: 229~246
- 3 George Gorrell, John Shaw. Deposition in an esker, bead and fan complex, Lanark, Ontario, Canada. *Sedimentary Geology*, 1991, 72: 285~314

- 4 Kim J W, Chough S K. A gravel lobe deposit in the prodelta of the Doumsan fan delta (Miocene), SE Korea. *Sedimentary Geology*, 2000, 72:285 ~ 314
- 5 Dorrik A V Stow, Neil E Braakenburg, *et al.* The Pissouri Basin fan-delta complex, southwestern Cyprus. *Sedimentary Geology*, 1995, 98:245 ~ 262
- 6 Yan Hou. The alluvial fan, fan-delta and sublacustrine fan of Paleogene age within Liaohé Rift, Liaoning Province, China. *Sedimentary Geology*, 1990, 68:75 ~ 85
- 7 John R Dickie, Frances J Hein. Conglomeratic fan deltas and submarine fans of the Jurassic Laberge Group, Whitehorse Trough, Yukon Territory, Canada: fore-arc sedimentation and unroofing of a volcanic island arc complex. *Sedimentary Geology*, 1995, 98:263 ~ 292
- 8 Van der Wateren F M. Proglacial subaquatic outwash fan and delta sediments in push moraine-indicators of subglacial meltwater activity. *Sedimentary Geology*, 1994, 91:145 ~ 172
- 9 Brian K Horton, James G Schmitt. Sedimentology of a lacustrine fan delta system, Miocene Horse Camp Formation, Nevada, USA. *Sedimentology*, 1996, 43:133 ~ 155
- 10 Peter D Falk, Rebecca J Dorsey. Rapid development of gravelly high-density turbidity currents in marine Gilbert-type fan deltas, Loreto Basin, Baja California Sur, Mexico. *Sedimentology*, 1998, 45:331 ~ 349
- 11 刘永江,葛肖虹,叶慧文,等.晚中生代以来阿尔金断裂的走滑模式. *地球学报*, 2001, 20(1):23 ~ 28 [Liu Yongjiang, Ge Xiaohong, Ye Huiwen, *et al.* Strike-slip model for Altyn Tagh fault developed since Late Mesozoic. *Acta Geoscientia Sinica*, 2001, 20(1):23 ~ 28]
- 12 吴崇筠,薛叔浩. *中国含油气盆地沉积学*. 北京:石油工业出版社, 1993 [Wu Chongyun, Xue Shuhao. *Petroliferous Basin Sedimentology*. Beijing:Petroleum Industry Publishing House, 1993]
- 13 冯增昭,王英华. *中国沉积学*. 北京:石油工业出版社, 1994 [Feng Zengzhao, Wang Yinghua. *Sedimentology of China*. Beijing:Petroleum Industry Publishing House, 1994]
- 14 付国民,鲁新建,苏建平,等.柴达木盆地干柴沟地区沉积及含油气性. *新疆石油地质*, 2002, 22(6):489 ~ 492 [Fu Guomin, Lu Xinbian, Su Jianping, *et al.* The fan-delta sedimentary system and oil and gas characteristics of Tertiary in Ganchaigou Area of Qaidam Basin. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2001, 22(6):489 ~ 492]
- 15 张文朝,崔周旗,董艳蕾,等.阿南油田阿四段河口水下扇砂体储层沉积相及含油性. *西安石油学院学报*, 1998, 13(6): [Zhang Wenchao, Chui Zhouqi, Dong Yanlei, *et al.* Sedimentary facies and oil-bearing feature of river mouth subaqueous fan sandbody reservoir of A₄ member in A₁nan Oil Field. *Journal of Xi'an Petroleum Institute*, 1998, 13(5):1 ~ 6]
- 16 杨国安,魏红红,张佳琪,等.板桥油田板二油组扇三角洲沉积与油气关系. *西北大学学报*, 1999, 29(3):233 ~ 236 [Yang Guo'an, Wei Honghong, Zhang Jiaqi, *et al.* The relationship between fan delta deposition and gas-oil in Ban 2 formation of Banqiao Oilfield. *Journal of Northwest University*, 1999, 29(3):233 ~ 236]
- 17 武法东,陈永进,李寅.河北滦平盆地构造演化及对扇三角洲发育的控制作用. *现代地质*, 2000, 14(2):179 ~ 184 [Wu Fadong, Chen Yongjin, Li Yin. Tectonic evolutions and their control on development of fan-deltaic depositional system in the Luanping Basin. *Geoscience*, 2000, 14(2):179 ~ 184]
- 18 焦养泉,周海民,庄新国,等.扇三角洲沉积体系及其与油气聚集关系. *沉积学报*, 1998, 16(1):70 ~ 75 [Jiao Yangquan, Zhou Haimin, Zhuang Xinguo, *et al.* Fan deltaic depositional system and their relationship to oil and gas accumulation. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1998, 16(1):70 ~ 75]
- 19 李文厚.塔西南坳陷侏罗系的扇三角洲沉积. *沉积学报*, 1998, 16(2):150 ~ 153 [Li Wenhou. Fan delta deposits in Jurassic in the depression of the SW Tarim Basin. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1998, 16(2):150 ~ 153]
- 20 张文朝,赵岩.吐哈盆地扇三角洲沉积特征及油气意义. *新疆石油地质*, 1998, 19(4):303 ~ 307 [Zhang Wenchao, Zhao Yan. Sedimentary characteristics and hydrocarbon-bearing significance of fan delta in Turpan-Hami Basin. *Xinjiang Petroleum Geology*, 1998, 19(4):303 ~ 307]
- 21 王良忱,张金亮. *沉积环境和沉积相*. 北京:石油工业出版社, 1996 [Wang Liangzhen, Zhang Jinliang. *Sedimentary environment and sedimentary facies*. Beijing:Petroleum Industry Publishing House, 1996]
- 22 刘宝善,曾允孚主编. *岩相古地理基础和工作方法*. 北京:地质出版社, 1985 [Liu Baojun, Zeng Yunfu, ed. *Elements in lithopalaeogeology and its working methods*. Beijing:Geological Publishing House, 1985]
- 23 冯增昭主编. *沉积岩石学(第二版)*. 北京:石油工业出版社, 1994 [Feng Zengzhao, ed. *Sedimentary petrology (2nd edition)*. Beijing:Petroleum Industry Publishing House, 1994]
- 24 范连顺,王明儒.柴达木盆地西部茫崖坳陷含油气系统及勘探方向. *石油实验地质*, 1999, 21(6):41 ~ 47 [Fan Liansun, Wang Mingru. Oil-bearing system and the preferential direction for prospecting in Mangya Depression of the western Qaidam Basin. *Experimental petroleum geology*, 1999, 21(6):41 ~ 47]
- 25 薛良清, Galloway W E. 扇三角洲、辫状河三角洲与三角洲体系的分类. *地质学报*, 1991, 65(2):141 ~ 152 [Xue Liangqing and Galloway W E. Fan Delta, Braid delta and the classification of delta systems. *Acta Geologica Sinica*, 1991, (2):141 ~ 151]
- 26 国家地震局《阿尔金活动断裂带》课题组. *阿尔金活动断裂带*. 北京:地震出版社, 1992 [The Research Group on the Altun Active Fault Zone under State Seismological Bureau. *The monograph the Altun Active Fault Zone*. Beijing:Seismological Publishing House, 1992]
- 27 许志琴,杨经绥,姜枚.青藏高原北部碰撞造山及深部动力学. *地球学报*, 2001, 20(1):5 ~ 10 [Xu Zhiqin, Yang Jingsui, Jiang Mei. Collision Orogeny of the northern Qinhai-Tibet plateau and its deep dynamics. *Acta Geoscientia Sinica*, 2001, 20(1):5 ~ 10]

The Fan Delta in the Altun Slope Bounded by the Altun Rift System in the Qaidam Basin

GAO Jian-bo¹ ZHONG Jian-hua^{1,2} XU Xiao-lin¹ WEN Zhi-feng¹
HUANG Li-gong^{2,3} LIU Yun-tian^{2,3} JIANG Bo³

1(Research Institute of Basic Geology of Oil and Gas, Earth Resource and Information College,

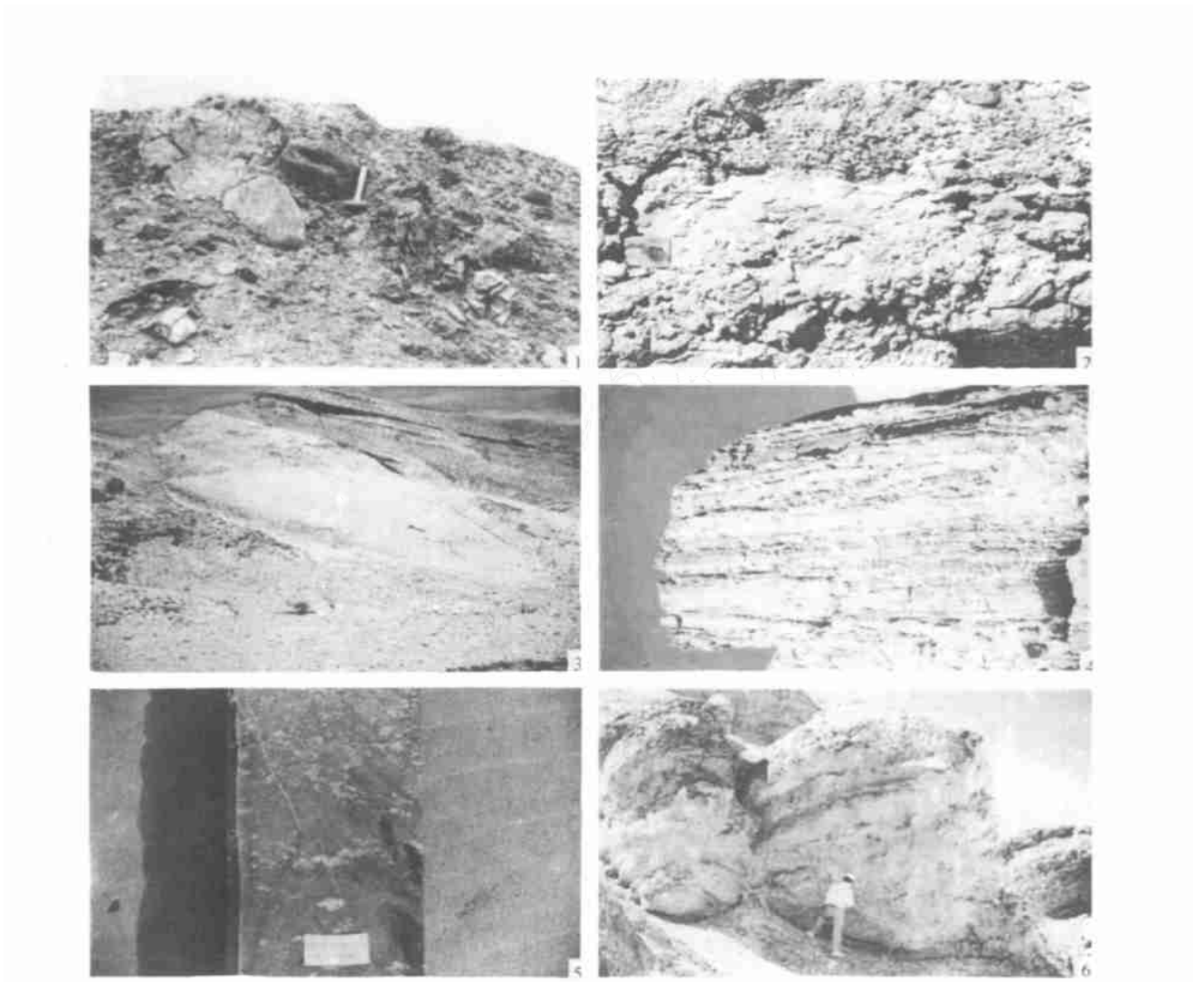
Petroleum University of China, Dongying Shandong 257061)

2(Guangzhou Geochemical Research Institute of CAS, Guangzhou 510640)

3(Qinghai Oil Field Company, CNPC, Dunhuang Gansu 736202)

Abstract The Altun rift system, located in the western Qaidam Basin, is a key large-scale thrusting-sliding rift system, by which, the two great basins—Qaidam and Tarim are separated. The fan-delta, which is the main subject in this paper, is well developed in the Tertiary stratum of the western Altun slope, next to the referred rift system above, that is in the north boundary of the western Qaidam Basin. With the help of the analyses of the tectonic dynamical evolution in Cenozoic era, the supplying speed of the sediments, the augment of the accommodation, the qualities of the basin boundary, the distance between the source area and the basin, as well as the delicate description of the outcrops and the discussion of their sedimentary characters, it is believed that, two kinds of sequence series are developed in the study area, i. e. the retrograded fan deltas and the prograded one. According to the studies above, two sedimentary models of the fan deltas have been illustrated considering the differences of the tectonic dynamics settings. From our study, it is clear that, the combination of the generating rocks, the reservoirs and the caprocks in the western parts of the Altun slope is fairly ideal. The gyttja dark mudstones, distributed in the upside of the low-Gan Chaigou Group, are the primary hydrocarbon source rocks; and the sand bodies of the subaquatic distributary channels, the bars in the prograded fan delta and the braided channels in retrograded one can offer a good space for the preserving and pooling of oil, and therefore, it is the most important object for the oil exploration in this area. The study of the Tertiary fan deltas in the western Altun slope can offer a solid scientific base for the further study of the generation of the Altun Orogen.

Key words fan delta, Tertiary era, Altun slope, Qaidam basin, the retrograded fan deltas and the prograded one, reservoirs and caprocks



图板 I 说明 1. 砾岩。砾石成分复杂,主要为花岗岩和变质岩,砾石的最大直径可达 1m,具逆粒序性。底面具有侵蚀面,直接与泥岩接触,顶部也直接与泥岩接触。扇三角洲扇根亚相。下干柴沟组上段。摄于西岔沟西;2. 砾岩、钙质泥岩。砾岩分选极差,泥岩呈捕虏体状被砾岩包裹。扇三角洲相。上干柴沟组。摄于西岔沟;3. 泥岩、砂砾岩。砾岩分选磨圆极差,直接与上覆和下伏的泥岩接触,泥岩微含油。中间浅色地层为砾岩层,为扇三角洲相产物。下干柴沟组上段中上部。摄于西岔沟。4. 前扇三角洲亚相。极薄(1~3cm)的粉砂岩(铁锈色部分)与极薄的泥岩交互。粉砂岩具正粒序性,CDE层发育,缺少AB层。上油砂山组。摄于柴深沟。5. 深湖—半深湖相的暗色泥岩夹铁白云石。狮23井。6. 生物礁灰岩。由一系列叠层石形成的丘状生物礁(靠上部),其下为尖头礁,直径30~50cm,长1m多。下干柴沟组上段。摄于干柴沟。