

引用格式:赵健,王艳清,王兆兵,等.阿尔金山前带西段古近系陡坡型扇体发育特征及油气勘探方向[J].油气地质与采收率,2023,30(4):21-32.

ZHAO Jian, WANG Yanqing, WANG Zhaobing, et al. Development characteristics and oil and gas exploration direction of Paleogene steep-slope fans in western segment of Altun piedmont[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2023, 30(4): 21-32.

阿尔金山前带西段古近系陡坡型扇体发育特征及油气勘探方向

赵 健¹,王艳清²,王兆兵¹,李海鹏¹,张成娟³,李雅楠¹,唐 丽¹,张博策²,应 敏¹,钟世国⁴

(1. 中国石油青海油田分公司 勘探开发研究院,甘肃 敦煌 736202; 2. 中国石油杭州地质研究院,浙江 杭州 310023;

3. 中国石油青海油田分公司 钻采工艺研究院,甘肃 敦煌 736202; 4. 中国石油青海油田分公司 采油三厂,青海 海西 817000)

摘要:柴达木盆地阿尔金山前带柴10、阿探1井古近系碎屑岩获得油气突破,为了实现勘探扩展、寻找新的接替区带,亟需进行沉积砂体精细刻画及储层特征研究。利用重矿物、岩心、薄片、物性、测井及地震等资料,开展沉积物源的重新厘定、砂体类型与分布及储层特征等研究,进而提出下步有利勘探区带。研究表明:阿尔金山前带发育8个物源区,精细刻画8个物源区的边界及分布;研究区发育碎屑岩和碳酸盐岩,碎屑岩为砾岩、砂砾岩、含砾砂岩、砂岩,为冲积扇相、扇三角洲相、水下扇相及滨浅湖滩坝微相;储层分选中等一差,泥质杂基含量中等一高,受沉积相带控制,冲积扇相、扇三角洲平原亚相储层物性差,扇三角洲前缘亚相、水下扇相储层物性好,自山前带向盆地储层物性表现为“差—好—差”的特征;油气自生烃中心向山前带迁移,在构造高部位受冲积扇相、扇三角洲平原亚相致密储层遮挡,易于在扇三角洲前缘亚相、水下扇相优质储集体中成藏。扇三角洲前缘亚相、水下扇相分布区是下步研究区油气勘探的有利区带,据此部署风险井阿探2井及探井红北2井。

关键词:陡坡型扇体;储层特征;油气勘探;阿尔金山前带;柴达木盆地

文章编号:1009-9603(2023)04-0021-12

DOI:10.13673/j.pgre.202203012

中图分类号:TE122.2

文献标识码:A

Development characteristics and oil and gas exploration direction of Paleogene steep-slope fans in western segment of Altun piedmont

ZHAO Jian¹, WANG Yanqing², WANG Zhaobing¹, LI Haipeng¹, ZHANG Chengjuan³,

LI Yanan¹, TANG Li¹, ZHANG Boce², YING Min¹, ZHONG Shiguo⁴

(1. Research Institute of Exploration and Development, PetroChina Qinghai Oilfield Company, Dunhuang City, Gansu Province, 736202, China; 2. PetroChina Hangzhou Research Institute of Geology, Hangzhou City, Zhejiang Province, 310023, China;

3. Drilling and Production Technology Research Institute, PetroChina Qinghai Oilfield Company, Dunhuang City, Gansu Province, 736202, China; 4. No. 3 Oil Production Plant of PetroChina Qinghai Oilfield Company,

Haixi City, Qinghai Province, 817000, China)

Abstract: Hydrocarbon breakthroughs have been made in the Paleogene clastic rocks of Wells Chai 10 and Atan 1 in the Altun piedmont of Qaidam Basin. It is necessary to conduct fine characterization of sedimentary sand bodies and study reservoir characteristics to expand the exploration and find new exploration zones. The heavy mineral, core, thin section, and physical property, logging, and seismic data, were employed to redefine sedimentary provenances and study the types and distribution of sand bodies and reservoir characteristics. In this way, the favorable exploration zones were proposed for subsequent work. The results show that there are

收稿日期:2022-03-12。

作者简介:赵健(1982—),男,河北承德人,高级工程师,硕士,从事油气勘探方面的科研及生产工作。E-mail:zhaojianqh@petrochina.com.cn。

通信作者:王艳清(1973—),男,吉林长春人,高级工程师。E-mail:wangyq_hz@petrochina.com.cn。

基金项目:中国石油科技专项“岩性地层油气藏成藏规律与关键技术研究”(2021DJ0402)和“陆相深层超深层油气富集规律与勘探评价技术研究”(2021DJ0202)。

eight provenances in the Altun piedmont, and the boundary and distribution of the eight provenances are carefully delineated. The clastic rocks and carbonate rocks are developed in the study area, where the clastic rocks include conglomerates, glutenites, pebbly sandstones, and sandstones, demonstrating alluvial fan facies, fan-delta facies, subaqueous fan facies, and shore-shallow lake beach bar microfacies. Reservoirs are classified as medium-poor, and the argillaceous matrix content is at the level of medium-high. Controlled by the sedimentary facies zone, the physical properties of reservoirs in the alluvial fan facies and fan-delta plain subfacies are poor, and those of reservoirs in fan-delta front sub-facies and subaqueous fan facies are good while those of reservoirs from the piedmont to the basin show the characteristic of "poor-good-poor". Hydrocarbons migrate from the hydrocarbon generation center to the piedmont and tend to accumulate in the high-quality reservoirs of fan-delta front subfacies and subaqueous fan facies as they are blocked by the tight reservoirs of alluvial fan facies and fan-delta plain subfacies in the high structural position. It is concluded that the distribution areas of fan-delta front subfacies and subaqueous fan facies are the favorable zones for future oil and gas exploration. Accordingly, the risk well Atan 2 and the exploration well Hongbei 2 are deployed.

Key words: steep-slope fan; reservoir characteristics; oil and gas exploration; Altun piedmont; Qaidam Basin

扇三角洲的术语是1965年HOLMES在研究英格兰西海岸现代三角洲沉积时提出的^[1],中外学者对扇三角洲开展了深入研究。例如BRIAN等对扇三角洲的含义进行了修订和充实,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^[2]。吴崇筠等将扇三角洲分为靠山型与靠扇型2种类型^[3]。于腾飞等分别对扇三角洲沉积充填模式、近岸水下扇沉积特征以及陡坡扇储层进行了研究^[4-6]。

柴达木盆地阿尔金山前带紧邻红狮、小梁山2个富烃坳陷,发育扇三角洲沉积,源储条件优越,油气成藏较为有利。针对阿尔金山的研究历来都是地学研究的难点和热点,前人对阿尔金山断裂的错距^[7-8]、走滑活动时间^[9-14]等研究较多;仅有少数学者开展阿尔金山北麓晚新生代沉积特征^[15]、阿尔金山段侏罗系沉积特征^[16]、阿尔金山斜坡地区上下油砂山组沉积相分析^[17]、阿尔金山走滑构造域沉积盆地特征^[18]、柴达木盆地西部新生代沉积特征^[19]、以阿尔金山断裂为边界的盆地斜坡带扇三角洲^[20]、柴达木盆地西部下干柴沟组下段碎屑岩储层物性差异主控因素^[21]、柴达木盆地七个泉地区渐新世沉积特征与隐蔽油藏预测^[22]等方面进行了研究。经历几十年的勘探及研究,阿尔金山前带仅在七个泉、咸水泉、红沟子发现3个碎屑岩小型油气田,油气勘探无法规模扩展,存在的问题为有利沉积相带及优质储层分布认识不清,勘探方向不明确。近期钻探的柴10和阿探1井在古近系碎屑岩、柴9井在古近系碳酸盐岩储层中获得重要油气发现,打破了阿尔金山前带几十年沉闷的勘探局面,现阶段亟需进行沉积砂体精细刻画及储层特征研究,以期实现规模油气发现。

由于阿尔金山前带的地表和地下地质条件复杂、前期钻井揭示的层位以新近系为主、测试资料较少等原因,对该区古近系的物源方向、砂体展布、

储层物性研究等欠深入,影响了有利靶区优选和勘探部署。基于大量的数据分析,补充了新的钻井资料,开展沉积物源深化研究,重新厘定8个扇体区,并结合野外露头、岩心、测井及地震资料,对不同扇体边界、砂体展布特征进行深入研究,提出储层物性受沉积相带控制。扇三角洲平原亚相泥质杂基含量高,物性差;扇三角洲前缘亚相分选中等、泥质杂基含量中等,物性好;滨浅湖薄层滩坝微相胶结作用强,物性差,厚层的滩坝砂岩储层物性好;自山前带向湖盆,物性表现为“差—好—差”的变化特征。油气自生烃坳陷向山前带运移,在构造高部位受扇三角洲平原亚相致密砂岩的遮挡,在扇三角洲前缘亚相河道中易于聚集成藏;而单层较厚的滨浅湖滩坝微相砂岩储层物性好,也易于油气聚集成藏。扇三角洲前缘河道及较厚层的滩坝砂岩是下一步研究区油气勘探的有利方向。

1 地质概况

柴达木盆地位于青藏高原北部,周边被昆仑山、阿尔金山和祁连山环绕,盆地东西长为850 km,南北宽为150~300 km,面积为121 000 km²。阿尔金山前带位于柴达木盆地的西北侧,面积为2 000 km²(图1)。钻探资料(图2)揭示,阿尔金山前带发育基岩、中生界、新生界;其中新生界自下而上为古近系古新统一始新统路乐河组(E_{1+2})及渐新统下干柴沟组下段(E_3^1)、下干柴沟组上段(E_3^2),新近系中新统上干柴沟组(N_1)、上新统下油砂山组(N_2^1)、上油砂山组(N_2^2)、狮子沟组(N_2^3),以及第四系更新统七个泉组(Q_{1+2})。阿尔金山前带整体属于持续发育的盆缘隆起-斜坡区,山前带古近系地形坡度较陡、碎屑岩发育,为冲积扇、扇三角洲、水下扇及湖相沉积,邻近生烃坳陷,油气成藏条件有利,本次选取古

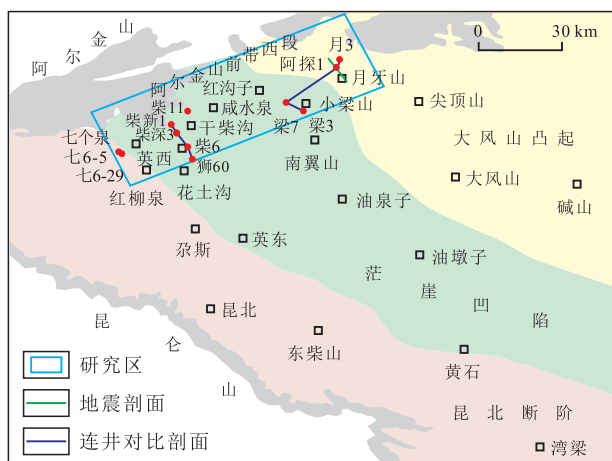


图1 阿尔金山前带工区位置

Fig.1 Location of work area in Altun piedmont

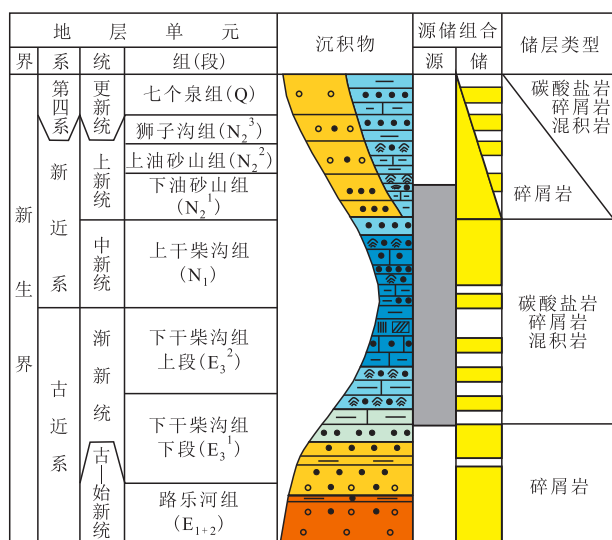


图2 阿尔金山前带新生界综合柱状图

Fig.2 Comprehensive histogram of Cenozoic Altun piedmont

2 沉积物源厘定

沉积物源分析在盆地分析中具有重要意义,是分析沉积物源位置和性质、沉积物搬运路径及古环境恢复的重要依据。阿尔金山前带地形坡度较陡,发育多个物源的扇体,前期研究将山前带的扇体划为一个扇三角洲裙,为了将其分开进行物源精细研究,主要利用重矿物、砂岩含量资料进行物源研究。

2.1 重矿物组合

重矿物是指碎屑岩中相对密度大于 2.86 g/cm^3 的陆源碎屑矿物,在岩石中的含量一般不超过 1%,砂岩中的重矿物类型及其组合对沉积物搬运距离和岩性变化较敏感^[23]。阿尔金山前带及邻区古近系下干柴沟组 75 口井 235 个重矿物数据统计结果表

明,砂岩中的重矿物组分以磁铁矿、锆石、石榴石、白钛矿、绿帘石、角闪石、硅灰石、辉石、榍石和电气石为主,平均占砂岩中重矿物总量的95%以上。研究区砂岩中的重矿物组合在平面上存在10个分区,其中阿尔金山前带古近系下干柴沟组有8个分区,指示山前带发育8个物源区(图3)。

七个泉物源 以不稳定的绿帘石为主,可见一定量的铁矿类、石榴石,高含量的不稳定重矿物与邻区扇体相区别,控制着七个泉地区的沉积(图3a)。

狮北物源 以稳定的锆石、白钛矿、铁矿类、石榴石为主,可见少量不稳定的绿帘石、角闪石,以锆石含量高与邻区扇体相区别,控制着七个泉东部、狮北等地区的沉积(图3b)。

干柴沟扇体以稳定的锆石、白钛矿、铁矿类、石榴石为主,可见少量的硅灰石、角闪石,控制着干柴沟、咸水泉地区的沉积(图3c)。

咸水泉物源 以高稳定的白钛矿、锆石、铁矿类为主,控制着咸水泉咸10井区的沉积(图3d)。

咸东物源 为不稳定的角闪石及中等稳定的石榴石、铁矿类、硅灰石组合,以硅灰石含量高与邻区扇体相区别,控制着红沟子以西咸7井区的沉积(图3e)。

红沟子物源 为石榴石、铁矿类、锆石、白钛矿组合,控制着红沟子地区的沉积(图3f)。

索尔库里物源 为电气石、绿帘石、铁矿类、白钛矿组合,以电气石含量高与邻区扇体相区别,控制着月牙山地区月1井区的沉积(图3g)。

月牙山物源 为石榴石、白钛矿、铁矿类组合,控制着月牙山东部月3和阿探1井区的沉积(图3h)。

另外,在邻近山前带发育阿拉尔、牛鼻子梁2个物源。阿拉尔物源区近物源的重矿物以不稳定的绿帘石、角闪石为主,可见一定量的铁矿类(磁铁矿+褐铁矿的总量),盆地内以稳定的铁矿类、锆石、白钛矿、石榴石重矿物为主,控制着红柳泉、阿拉尔地区的沉积(图3i);牛鼻子梁物源为硅灰石、白钛矿、铁矿类、锆石组合,以硅灰岩含量高与邻区扇体相区别,控制着尖顶山、小梁山、南翼山等地区的沉积(图3j)。

2.2 砂岩含量

岩相组合变化及砂岩含量可以较好地指示物源方向。基于砂岩含量的变化进行物源厘定,利用研究区 30 多口井的测井资料进行岩性统计,编制下

60%,岩性为砾岩与褐色、灰色泥岩互层,砾岩分选中等—差,泥质杂基含量低—中等;索尔库里地区的砂岩含量为10%~60%,岩性为砾岩与褐色、灰色泥岩互层,砾岩分选中等—差,泥质杂基含量低—中等;月牙山地区的砂岩含量为10%~60%,岩性为砾岩与褐色、灰色泥岩互层,砾岩分选中等—差,泥质杂基含量低—中等。

3 陡坡型扇体发育特征

3.1 古地形坡度特征

柴达木盆地中生代经历了燕山和喜马拉雅2期构造运动,燕山运动对盆地古近系古地形具有重要的控制作用,形成古近系盆缘隆起区、斜坡区及

盆地坳陷区,盆缘隆起区发育陡坡区和缓坡区2种古地形。根据阿尔金山前带古近系钻井和地震等资料,利用井间地层厚度差(基于倾角资料进行厚度校正)及井间距离求取地形坡度,即视为沉积时期的古地形坡度。通过阿尔金山前带及邻近2个物源的相关参数计算相应的古地形坡度,结果(表1)表明,阿尔金山前带古近系古地形坡度为3°~5°,而其邻近的红柳泉、柴西北区等地区的古地形坡度小于1°,可见阿尔金山前带古近系具有陡坡型的古地形特征。

3.2 碎屑岩沉积相类型

阿尔金山前带古近系下干柴沟组取心较多,根据12口井320 m岩心描述结果,结合粒度及偏光显微镜下薄片鉴定岩矿组构特征等分析,认为山前带

表1 阿尔金山前带古近系古地形坡度统计
Table1 Paleogene paleotopographic slope statistics in Altun piedmont

扇体名称	井间距离/km	井间厚度差/m	古地形坡度/(°)	资料来源
七个泉	6.05	450	4.3	七深10—七深4井
狮北	5.8	310	3.1	犬南1—狮北1井
干柴沟	7.68	450	3.4	柴深3—柴深6井
咸水泉	3.56	280	4.5	过咸10井(地震)
咸东	9.76	550	3.2	过咸7井(地震)
红沟子	7.46	450	3.5	沟7—沟11井(地震)
索尔库里	13.42	750	3.2	过月1井(地震)
月牙山	3.7	200	3.1	月3—阿探1井
阿拉尔	7.56	120	0.9	红31—红30井
牛鼻子梁	23.27	340	0.8	尖西1—翼深1井

发育碎屑岩和湖相碳酸盐岩2类沉积物,其中碎屑岩的岩性包括泥质(砂)砾岩、砾岩、砂砾岩、含砾砂岩、砂岩、泥岩,发育冲积扇、扇三角洲和水下扇3种沉积相类型。

冲积扇相 以研究区干柴沟地区柴11井岩心为例(图5a,5b)。其岩性为泥质砾岩、砾状砂岩、不等粒砂岩,分选差,砾石大小混杂、排列杂乱、磨圆度差,多为棱角状-次棱角状;泥质含量较高,为15%~25%,平均为22%;单期碎屑岩表现为正粒序特征,底部可见冲刷面,层理不发育。

扇三角洲相 以研究区月牙山地区阿探1井和红沟子地区沟7井岩心为例(图5c—5f)。其岩性为含砾砂岩、砾状砂岩、砂岩,分选中等—差,磨圆度中等—差,以次圆状-次棱角状为主;泥质含量中等—低,为5%~15%,平均为8%;发育正粒序、反粒序,

正粒序底部见冲刷面,少量岩心可见交错层理。扇三角洲相可进一步划分为平原和前缘2个亚相,扇三角洲平原亚相(图5c,5d)以含泥砂质砾岩、细砾岩为主,分选差,泥质含量中等—高,磨圆度中等—差,以次棱角状-次圆状为主;扇三角洲前缘亚相(图5e,5f)以砾岩、砾状砂岩、不等粒砂岩为主,分选中等—好,泥质含量中等—低,磨圆度中等,以次圆状为主,砾石具有定向排列的特征。

水下扇相 以研究区七个泉地区七6-5和七6-29井岩心为例(图5g,5h)。其岩性为含泥砾岩、砾状砂岩、砂岩与灰色、深灰色泥岩互层,砾岩分选差,砾石大小混杂、排列杂乱,磨圆度差,以次圆状-次棱角状为主;泥质含量较高,为10%~25%,平均为18%;单期砾岩表现为正粒序特征,底部可见冲刷面,层理不发育。

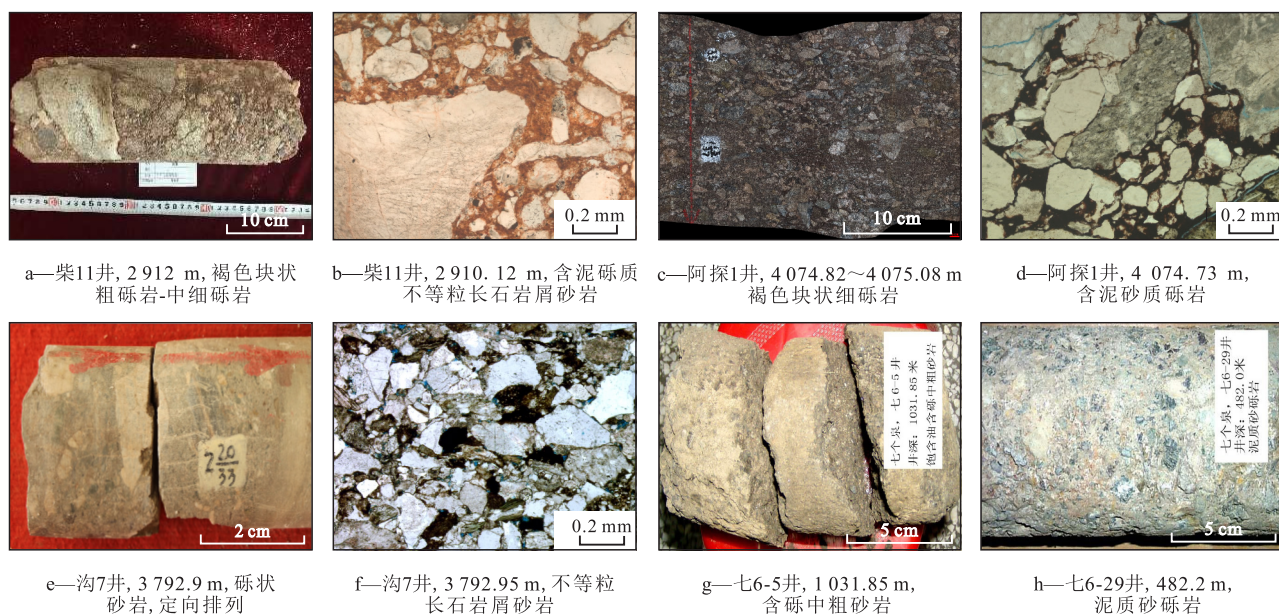


图5 阿尔金山前带不同扇体典型岩心、铸体薄片照片

Fig.5 Images of typical cores and thin sections of casts regarding different fans in Altun piedmont

3.3 陡坡型扇体分布特征

阿尔金山前带西段古近系为陡坡型古地形特征,沉积相带变化较快。为精细刻画不同扇体的发育特征,通过连井沉积相对比、地震反射特征圈定边界等方法,深入研究山前带陡坡型扇体的分布特征。

在统一的地层格架内利用测井和录井资料,编制8条从山前带到盆地内部的沉积相对比剖面,据此确定沉积相带变化特征,以其中的月3井—梁3井和柴新1井—狮60井2条剖面为例(图6)。从月3井—梁3井沉积相对比剖面可以看出,近山前带发育扇三角洲相,较短的延伸距离(自扇三角洲平原亚相至扇三角洲前缘亚相末端距离为15 km)内向盆地内部很快变为湖相沉积;从柴新1井—狮60井沉积相对比剖面来看,也具有同样的变化特征,近山前带发育扇三角洲相,较短的延伸距离(自扇三角洲平原亚相至扇三角洲前缘亚相末端距离为17 km)内向盆地内部很快变为湖相沉积。

利用阿探1、红中6和月1井的录井和测井资料进行地震资料的地震相标定,根据地震反射特征的变化圈定沉积相带边界,共完成8条从山前带到盆地的地震剖面反射结构特征分析,以其中过阿探1井的14090地震剖面为例(图7)。阿探1井 E_3^1 底部发育一套砾岩沉积,为扇三角洲平原亚相,地震剖面上表现为杂乱弱反射特征; N_1 — E_3^2 为砂岩、泥岩和薄层砾岩岩性组合,地震剖面上表现为较强振幅、相对连续的反射特征; N_1 顶部— N_2^1 底部为一套

泥岩夹薄层砂岩沉积(厚度为200 m),为滨浅湖相,地震剖面上表现为中高频中强振幅连续反射; N_2^1 为厚层砂砾岩发育段,地震剖面上表现为弱反射特征。

结合钻井及地震相研究结果,编制阿尔金山前带古近系下干柴沟组上段和下段沉积相平面图10张,明确山前带陡坡型扇体平面分布特征,以其中的2张为例(图8)。在下干柴沟组下段沉积时期,阿尔金山前带发育8个陡坡型扇体(图8a);其中七个泉扇体的古地形坡度较大,可达到 4.3° ,形成冲积扇-水下扇-湖泊沉积体系,水下扇为冲积扇直接入湖形成的沉没于水下的扇体,其扇体形态呈舌形,延伸距离为7.2 km,分布面积为 32 km^2 ;狮北扇体的古地形坡度比七个泉扇体略缓,为 3.1° ,形成冲积扇-扇三角洲-湖泊沉积体系,扇体形态呈朵叶状,扇三角洲延伸距离为7.3 km,分布面积为 100 km^2 ;干柴沟扇体的古地形坡度比狮北扇体略陡,为 3.4° ,形成冲积扇-扇三角洲-湖泊沉积体系,扇体形态呈朵叶状,扇三角洲延伸距离为9.6 km,分布面积为 230 km^2 ;咸水泉扇体的古地形坡度比干柴沟扇体陡,达到 4.5° ,为山前带达肯达板群基岩风化残积物经较短距离搬运而沉没于水下,形成水下扇-湖泊沉积体系,扇体形态呈舌形,延伸距离为5 km,分布面积为 14 km^2 ;咸东扇体的古地形坡度比咸水泉扇体略缓,为 3.2° ,形成冲积扇-扇三角洲-湖泊沉积体系,扇体形态呈朵叶状,扇三角洲延伸距离为12.7 km,分布面积为 30 km^2 ;红沟子扇体的古地形坡度为 3.5° ,形

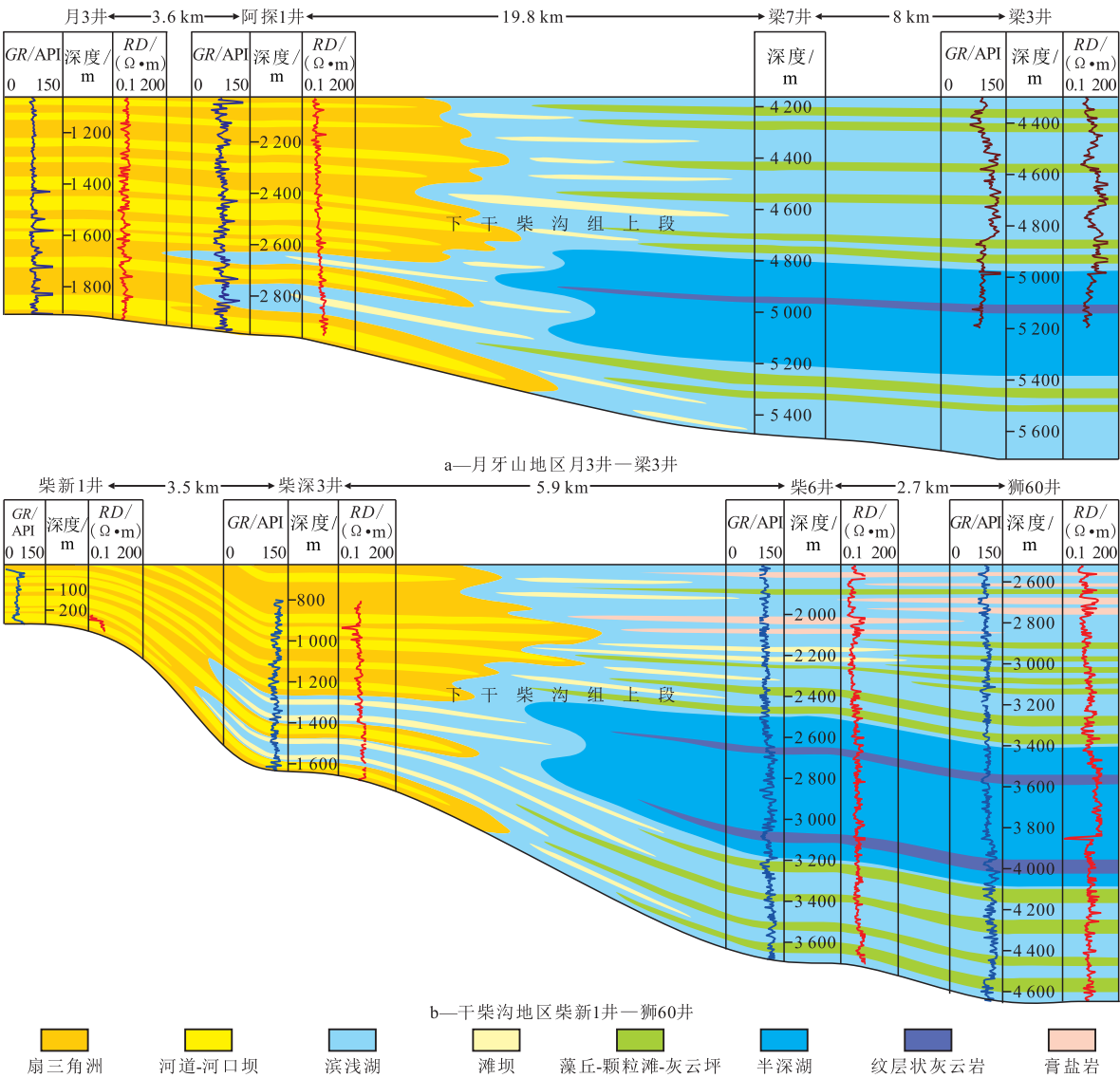


图6 阿尔金山前带沉积相对比剖面

Fig.6 Contrast profiles of sedimentary facies in Altun piedmont

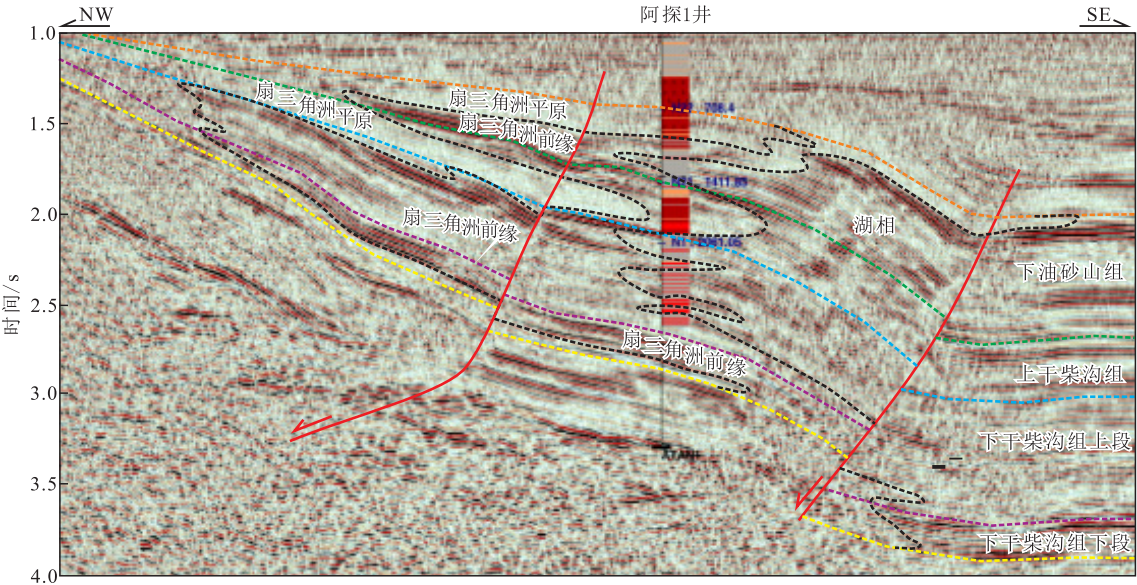
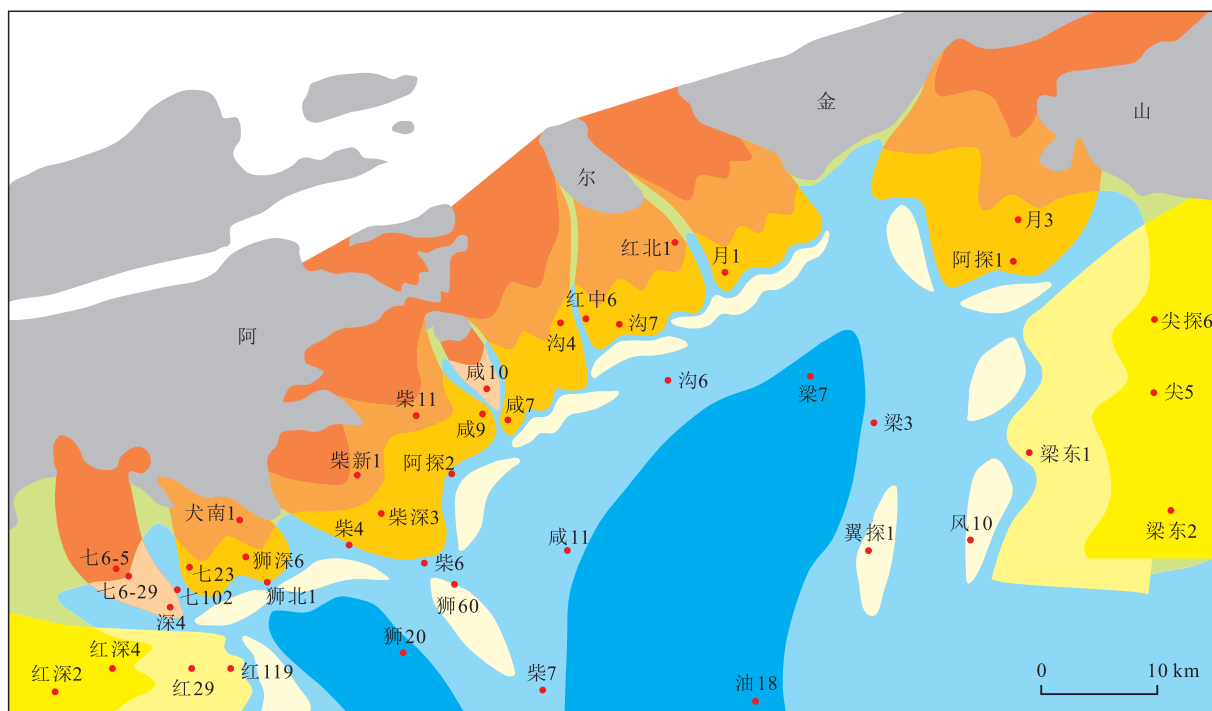


图7 阿尔金山前带过阿探1井地震剖面反射结构特征

Fig.7 Reflection structure characteristics of seismic profiles of Altun piedmont through Well Atan 1



a—下干柴沟组下段二砂组



b—下干柴沟组上段二砂组



图8 阿尔金山前带古近系陡坡型扇体平面分布特征

Fig.8 Plane distribution characteristics of Paleogene steep-slope fan in Altun piedmont

成冲积扇-扇三角洲-湖泊沉积体系,扇体形态呈朵叶状,扇三角洲延伸距离为13.5 km,分布面积为90 km²;索尔库里扇体的古地形坡度为3.2°,形成冲积

扇-扇三角洲-湖泊沉积体系,扇体形态呈朵叶状,扇三角洲延伸距离为12.5 km,分布面积为80 km²;月牙山扇体的古地形坡度为3.1°,形成冲积扇-扇三角

洲-湖泊沉积体系,扇体形态呈朵叶状,扇三角洲延伸距离为16.5 km,分布面积为300 km²。在下干柴沟组上段沉积时期,阿尔金山前带继承性发育8个陡坡型扇体(图8b),具有明显的退积特征;七个泉水下扇的延伸距离为9.8 km,分布面积为50 km²;狮北扇三角洲的延伸距离为4.6 km,分布面积为31 km²;干柴沟扇三角洲的延伸距离为6.7 km,分布面积为110 km²;咸水泉水下扇的延伸距离为5.2 km,分布面积为16 km²;咸东扇三角洲的延伸距离为8.3 km,分布面积为53 km²;红沟子扇三角洲的延伸距离为10.6 km,分布面积为70 km²;索尔库里扇三角洲的延伸距离为8.8 km,分布面积为90 km²;月牙山扇三角洲的延伸距离为12.8 km,分布面积为190 km²。

4 油气勘探方向预测

4.1 储层发育特征

阿尔金山前带古近系受取心、钻井资料的限制,铸体薄片及物性分析样品较少,本次研究对不同沉积相带取心井的测试资料开展储层填隙物及物性差异研究(表2)。冲积扇相以柴11井为例,其储层以泥质、含泥砾岩为主,泥质杂基含量为15%~25%,平均为22.1%;偏光显微镜下铸体薄片未见原生粒间孔,仅在个别颗粒边缘见贴粒缝(图9a),孔隙度为5.47%~7.49%,平均为6.12%。扇三角洲平原亚相以阿探1井为例,其储层为泥质、含泥砾岩、砾状砂岩,泥质杂基含量为4%~18%,平均为9.8%,胶结物含量为3%~20%,平均为8.1%;偏光显微镜下铸体薄片未见原生粒间孔,仅在个别颗粒边缘见贴粒缝及颗粒破裂缝(图9b),孔隙度为0.9%~4.52%,平均为2.34%。扇三角洲前缘亚相以柴深3、沟7、七102、七29井为例,其储层为砾岩、砂砾岩、含砾砂岩、砂岩,泥质杂基含量为0%~15%,平均为6.6%,胶结物含量为0%~11%,平均为7.4%;偏光显微镜下铸体薄片可见原生粒间孔和溶蚀孔(图9c—9f),孔隙度为3%~21%,平均为

10.85%。水下扇相以咸10和七6-5井为例,其储层为含泥(泥质)砾岩、砾岩、砂砾岩、含砾砂岩,泥质杂基含量为0%~33%,平均为13.41%,胶结物含量为0%~21%,平均为10.92%;偏光显微镜下铸体薄片可见砾石颗粒的砾内溶孔、砾内缝(图9g,9h),孔隙度为2.62%~16.4%,平均为10.45%。滨浅湖滩坝微相以柴10井为例,其储层为灰质(膏质)细砂岩、粉砂岩,泥质杂基含量为2%~20%,平均为7.66%,胶结物含量为3%~16%,平均为7.5%;偏光显微镜下铸体薄片见少量溶蚀孔(图9i),孔隙度为0.43%~7.76%,平均为3.45%。

冲积扇相、扇三角洲平原亚相的储层泥质杂基含量高,分选差,物性差;扇三角洲前缘亚相、水下扇相储层泥质杂基含量低,分选中等,物性相对较好;滨浅湖滩坝微相储层粒度细,单层厚度较薄的砂岩胶结作用强,物性差,而单层厚度较厚的砂岩储层物性好;整体上储层物性表现为“差—好—差”的变化特征。由此可以看出,扇三角洲前缘亚相、水下扇相及厚层滨浅湖滩坝微相储层物性好,是有利的储集体。

4.2 油气勘探方向

前人研究成果揭示柴达木盆地古近系下干柴沟组发育优质咸化湖相烃源岩,邻近山前带主要有红狮、小梁山2个主力生烃坳陷,油源条件优越^[24-28]。根据阿尔金山前带古近系油气分布特征(图10)可以看出,油气主要分布在两类地区,一类是盆缘-斜坡区的碎屑岩储集体,形成近源、源外构造、构造-岩性、岩性油气藏;另一类是盆内坳陷区的碳酸盐岩储集体,形成源内、源上构造、岩性、页岩油气藏。整体上,山前带陡坡型扇体具有优越的油气成藏条件,主要表现为盆地发育古近系—新近系干柴沟组2套优质烃源岩,山前带邻近红狮、小梁山两大主力生烃中心,油源条件优越;山前带发育多个物源扇体,扇三角洲前缘亚相、水下扇相储层物性好,储集性能优越;山前带陡坡型扇体向湖盆延伸距离远,直接入湖与优质烃源岩对接,源储配置优越;构造特征上表现为自盆地内部向山前带逐渐抬升,山前

表2 阿尔金山前带不同沉积相带储层填隙物-孔隙度统计

Table2 Interstitial materials and porosity statistics of reservoirs in different sedimentary facies zones of Altun Piedmont

沉积相类型	填隙物含量					孔隙度			
	泥质杂基含量/%		胶结物含量/%		样品数/块	最小值/%	最大值/%	平均值/%	样品数/块
	分布区间	平均值	分布区间	平均值					
冲积扇相	15~25	22.1	1~2	1.67	6	5.47	7.49	6.12	16
扇三角洲平原亚相	4~18	9.8	3~20	8.1	14	0.9	4.52	2.34	28
扇三角洲前缘亚相	0~15	6.6	0~11	7.4	22	3	21	10.85	73
水下扇相	0~33	13.41	0~21	10.92	41	2.62	16.4	10.45	49
滨浅湖滩坝微相	2~20	7.66	3~16	7.5	9	0.43	7.76	3.45	22

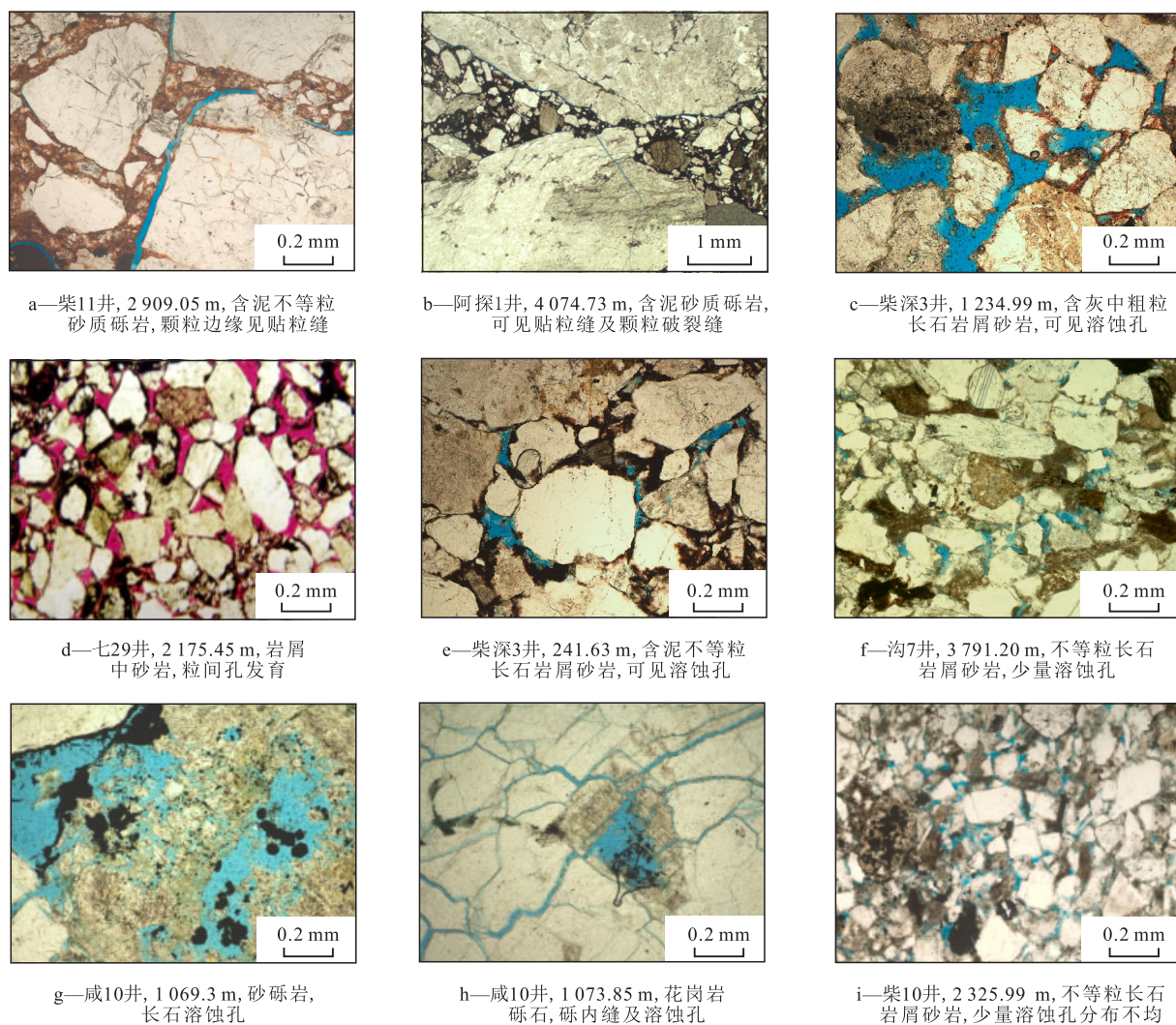


图9 阿尔金山前带古近系不同沉积相带储集空间类型铸体薄片照片

Fig.9 Thin-section photos of casts of reservoir spaces in different Paleogene sedimentary facies zones of Altun piedmont

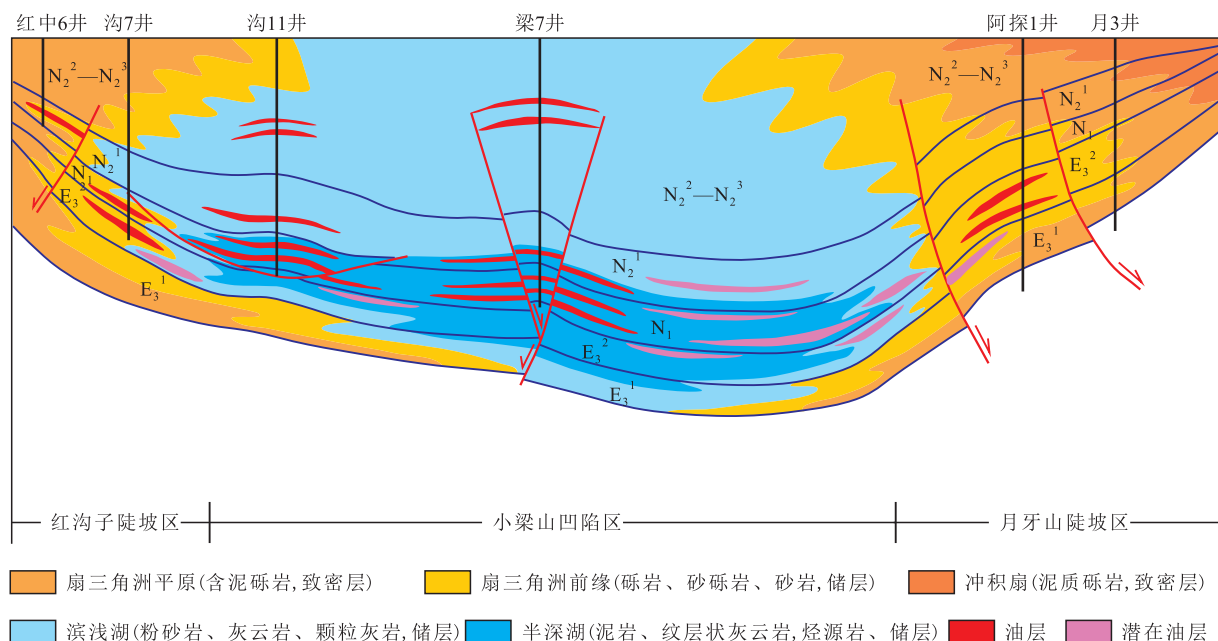


图10 阿尔金山前带红沟子—月牙山地区古近系油气分布示意

Fig.10 Paleogene oil and gas distribution in Honggouzi-Yueyashan area of Altun piedmont

带是油气运移的指向区;在油气运移的上倾方向发育扇三角洲平原亚相、冲积扇相,泥质杂基含量高,储层相对较致密,对油气具有良好的封堵作用。近期钻探的月牙山地区阿探1井在古近系下干柴沟组上段扇三角洲前缘亚相获得工业油气流,干柴沟地区柴10井在古近系下干柴沟组下段扇三角洲前缘亚相获得工业油流,咸水泉地区咸10井在古近系下干柴沟组上段水下扇相砂体油气显示较好,同时在七个泉水下扇相、扇三角洲前缘亚相发现油田(藏),由此可以看出扇三角洲前缘亚相和水下扇相砂体是有利的油气储集体。根据山前带陡坡型扇体分布的研究,预测古近系下干柴沟组下段扇三角洲前缘亚相、水下扇相砂体分布面积为493 km²,古近系下干柴沟组上段扇三角洲前缘亚相、水下扇相砂体分布面积为261 km²,是山前带下步油气勘探的主要目标。

5 结论

阿尔金山前带古近系发育8个扇体,即七个泉地区冲积扇相-水下扇相-湖相、狮北地区冲积扇相-扇三角洲相-湖相、干柴沟地区冲积扇相-扇三角洲相-湖相、咸水泉地区水下扇相-湖相、咸东冲积扇相-扇三角洲相-湖相、红沟子地区冲积扇相-扇三角洲相-湖相、索尔库里地区冲积扇相-扇三角洲相-湖相、月牙山地区冲积扇相-扇三角洲相-湖相等。

山前带古近系碎屑岩储层的岩性为砾岩、砂砾岩、含砾砂岩、砂岩,分选中等—差,泥质杂基含量中等—高。物性受沉积相带控制,冲积扇相、扇三角洲平原亚相的泥质杂基含量高,物性差,孔隙度多小于5%;扇三角洲前缘亚相、水下扇相分选中等,泥质杂基含量中等,物性好,孔隙度为5%~21%,自山前带向湖盆储层物性表现为“差—好—差”的变化特征。

阿尔金山前带古近系油气成藏条件优越,邻近红狮、小梁山2个主力生烃坳陷。陡坡型扇体入湖可以与烃源岩对接,形成良好的源储组合关系。自盆地内部向山前带为继承性发育的盆缘隆起-斜坡区,是油气运移的指向区,受构造高部位扇三角洲平原亚相、冲积扇相致密砂岩的遮挡,油气在扇三角洲前缘亚相、水下扇相中聚集成藏,扇三角洲前缘亚相、水下扇相砂体是下步油气勘探的有利目标,预测有利叠合面积为750 km²。研究成果对阿尔金山前带油气勘探具有重要的指导意义。

参考文献

- [1] SOHN Y K. Depositional processes of submarine debris flows in the Miocene fan deltas, Pohang Basin, SE Korea with special reference to flow transformation[J]. *Journal of Sedimentary Research*, 2000, 70(3): 491-503.
- [2] HORTON B K, SCHMITT J G. Sedimentology of a lacustrine fan-delta system, Miocene Horse Camp Formation, Nevada, USA[J]. *Sedimentology*, 1996, 43(1): 133-155.
- [3] 吴崇筠, 薛叔浩. 中国含油气盆地沉积学[M]. 北京: 石油工业出版社, 1993.
WU Chongjun, XUE Shuhao. *Petroliferous basin sedimentology* [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1993.
- [4] 于腾飞. 浅层近源扇三角洲砂砾岩沉积充填模式及其对储层分布的影响——以车排子凸起沙一段为例[J]. *油气地质与采收率*, 2018, 25(4): 54-60.
YU Tengfei. Sedimentary models for near-source shallow glutenite fan delta and their effects on reservoir distribution: a case of the first member of Shawan Formation in Chepaizi uplift[J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2018, 25(4): 54-60.
- [5] 邱隆伟, 韩晓彤, 宋璠, 等. 东营凹陷盐22区块沙四上亚段近岸水下扇岩相特征及沉积演化[J]. *大庆石油地质与开发*, 2021, 40(1): 26-37.
QIU Longwei, HAN Xiaotong, SONG Fan, et al. Lithofacies characteristics and sedimentary evolution of the near-shore subaqueous fans in the upper submember of Es₄ in Block Yan22 of Dongying Sag[J]. *Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing*, 2021, 40(1): 26-37.
- [6] 杨东升, 赵志刚, 徐建永, 等. 古近系陡坡扇构造-岩性复合圈闭识别与储层刻画技术及应用[J]. *特种油气藏*, 2020, 27(5): 38-44.
YANG Dongsheng, ZHAO Zhigang, XU Jianyong, et al. Technology and application of structural-lithologic trap identification and reservoir characterization of Paleogene steep slope fans[J]. *Special Oil & Gas Reservoirs*, 2020, 27(5): 38-44.
- [7] YUE Yongjun, LIOU J G. Two-stage evolution model for the Altyn Tagh fault, China[J]. *Geology*, 1999, 27(3): 227-230.
- [8] 郑剑东. 中国阿尔金断裂研究进展[M]. 北京: 地震出版社, 1994: 254-259.
ZHENG Jiandong. Progress in Altyn Tagh fault Belts research [M]. Beijing: Seismological Press, 1994: 254-259.
- [9] 蔡学林, 魏显贵, 刘援朝. 阿尔金山走滑断裂构造样式[J]. *成都地质学院学报*, 1992, 19(1): 8-17.
CAI Xuelin, WEI Xiangui, LIU Yuanchao. Tectonic style of strike-slip fault in Aejin Mountains[J]. *Journal of Chengdu College of Geology*, 1992, 19(1): 8-17.
- [10] 周勇, 潘裕生. 茫崖-肃北段阿尔金断裂右旋走滑运动的确定[J]. *地质科学*, 1998, 33(1): 9-16.
ZHOU Yong, PAN Yusheng. Determination of the dextral slip of Mangya-Subei segment of Altun fault[J]. *Scientia Geologica Sinica*, 1998, 33(1): 9-16.
- [11] CUI J W, TANG Z M, DENG J F, et al. Early Paleozoic plate tectonic regime of the Altyn Tagh[C]. Beijing: Proceedings of the 30th International Geological Conference, 1997: 59-74.

- [12] 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[J].地球学报,2001,22(1):23-28.
LIU Yongjiang, GE Xiaohong, YE Huiwen, et al. Strike-slip model for Altyn Tagh fault developed since Late Mesozoic[J]. Acta Geoscientia Sinica, 2001, 22(1): 23-28.
- [13] 王步清,肖安成,程晓敢,等.柴达木盆地北缘新生代右行走滑冲断构造带的几何学和运动学[J].浙江大学学报:理学版, 2005, 32(2): 225-230.
WANG Buqing, XIAO Ancheng, CHENG Xiaogan, et al. Geometry and kinematics of Cenozoic right-lateral strike-slip thrust structural belt in the north margin of the Qaidam Basin[J]. Journal of Zhejiang University: Science Edition, 2005, 32(2): 225-230.
- [14] 王萍,卢演传,陈杰.阿尔金主断裂东端第四纪左行走滑的新证据[J].地震地质, 2005, 27(1): 55-62.
WANG Ping, LU Yanchou, CHEN Jie. New evidence of Quaternary left-lateral strike-slip movement along the easternmost segment of the Altun fault[J]. Seismology and Geology, 2005, 27(1): 55-62.
- [15] 马文忠,宋春晖,赵彦德,等.阿尔金山北麓晚新生代沉积特征及其对构造活动的响应[J].甘肃科学学报, 2006, 18(1): 30-34.
MA Wenzhong, SONG Chunhui, ZHAO Yande, et al. Sedimentary characteristics in the northern margin of Altun Tagh Mountain since the late Cenozoic and the significance of its tectonic movement[J]. Journal of Gansu Sciences, 2006, 18(1): 30-34.
- [16] 李伟民,刘永江,马达德,等.阿尔金西段侏罗系沉积特征及石油地质条件分析[J].世界地质, 2015, 34(3): 704-715.
LI Weimin, LIU Yongjiang, MA Dade, et al. Jurassic sedimentary characteristics and its petroleum geological conditions in western Altyn area[J]. Global Geology, 2015, 34(3): 704-715.
- [17] 戴林,纪友亮,刘成鑫.阿尔金斜坡地区上、下油砂山组沉积相分析[J].新疆石油地质, 2005, 26(2): 172-174.
DAI Lin, JI Youliang, LIU Chengxin. Sedimentary facies of Upper and Lower Youshashan Formation in Altun slope area, Qaidam Basin[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2005, 26(2): 172-174.
- [18] 张国栋,王昌桂.阿尔金走滑构造域沉积盆地特征[J].勘探家, 1997, 2(3): 17-20.
ZHANG Guodong, WANG Changgui. Characteristics of sedimentary basins in Altun strike-slip structural domain[J]. Petroleum Explorationist, 1997, 2(3): 17-20.
- [19] 柳祖汉,吴根耀,杨孟达,等.柴达木盆地西部新生代沉积特征及其对阿尔金断裂走滑活动的响应[J].地质科学, 2006, 41(2): 344-354.
LIU Zuhuan, WU Genyao, YANG Mengda, et al. Sedimentary features of the Cenozoic in the western Qaidam Basin: response to strike-slipping of the Altun fault[J]. Chinese Journal of Geology, 2006, 41(2): 344-354.
- [20] 高剑波,钟建华,徐小林,等.阿尔金断裂为边界的盆地斜坡带扇三角洲[J].沉积学报, 2004, 22(2): 206-215.
GAO Jianbo, ZHONG Jianhua, XU Xiaolin, et al. The fan delta in the Altun slope bounded by the Altun rift system in the Qaidam Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2004, 22(2): 206-215.
- [21] 伍劲,刘占国,朱超,等.柴达木盆地西部下干柴沟组下段碎屑岩储层物性差异主控因素分析[J].油气地质与采收率, 2021, 28(4): 46-54.
WU Jin, LIU Zhanguo, ZHU Chao, et al. Main controlling factors of clastic reservoir property difference of Lower Ganchaigou Formation in western Qaidam Basin[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2021, 28(4): 46-54.
- [22] 赵谦,周江羽,李兰斌,等.柴达木盆地七个泉地区渐新世沉积特征与隐蔽油藏预测[J].油气地质与采收率, 2017, 24(4): 22-29.
ZHAO Qian, ZHOU Jiangyu, LI Lanbin, et al. Analysis of Oligocene sedimentary characteristics and subtle oil reservoir prediction in the Qigequan area, Qaidam Basin[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2017, 24(4): 22-29.
- [23] 和钟铎,刘招君,张峰.重矿物在盆地分析中的应用研究进展[J].地质科技情报, 2001, 20(4): 29-32.
HE Zhonghua, LIU Zhaojun, ZHANG Feng. Latest progress of heavy mineral research in the basin analysis[J]. Geological Science and Technology Information, 2001, 20(4): 29-32.
- [24] 王明儒.柴达木盆地中新世三大含油气系统及勘探焦点[J].西安石油大学学报:自然科学版, 2001, 16(6): 8-12.
WANG Mingru. Three Mesozoic-Cenozoic hydrocarbon-bearing systems and the exploration strategies of them[J]. Journal of Xi'an Petroleum Institute: Natural Science Edition, 2001, 16(6): 8-12.
- [25] 左胜杰,庞雄奇,周瑞年,等.柴达木盆地烃源岩生、排烃特征模拟研究[J].石油大学学报:自然科学版, 2002, 26(5): 23-27.
ZUO Shengjie, PANG Xiongqi, ZHOU Ruinian, et al. Simulation of hydrocarbon generation and expulsion characteristics of source rocks in Qaidam Basin[J]. Journal of China University of Petroleum: Edition of Natural Science, 2002, 26(5): 23-27.
- [26] 马新民,王建功,石亚军,等.古近纪高丰度烃源岩:柴达木盆地西南部富油坳陷成藏之本[J].地质科技情报, 2018, 37(6): 96-104.
MA Xinmin, WANG Jiagong, SHI Yajun, et al. Paleogene high abundance hydrocarbon source rocks, the soul of oil rich depression in southwestern Qaidam Basin[J]. Geological Science and Technology Information, 2018, 37(6): 96-104.
- [27] 张小军,曹正林,孙秀建,等.柴达木盆地西南部凹陷特征及生烃潜力分析[J].天然气地球科学, 2012, 23(5): 862-867.
ZHANG Xiaojun, CAO Zhenglin, SUN Xiujian, et al. Characteristics of depression and their hydrocarbon generation potency in southwestern Qaidam Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2012, 23(5): 862-867.
- [28] 张斌,何媛媛,陈琰,等.柴达木盆地西部咸化湖相优质烃源岩形成机理[J].石油学报, 2018, 39(6): 674-685.
ZHANG Bin, HE Yuanyuan, CHEN Yan, et al. Formation mechanism of excellent saline lacustrine source rocks in western Qaidam Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2018, 39(6): 674-685.