

柴达木盆地柴西坳陷古近系-新近系石油地质特征与 油气环带状分布模式

刘国勇^{1,2}, 薛建勤^{1,2}, 吴松涛^{1,2,3}, 伍坤宇^{1,2}, 张博策^{1,2}, 邢浩婷^{1,2}, 张娜^{1,2}, 庞鹏⁴, 朱超³

(1. 中国石油青海油田分公司, 甘肃 敦煌 736202; 2. 青海省高原咸化湖盆油气地质重点实验室, 甘肃 敦煌 736202; 3. 中国石油勘探开发研究院, 北京 100083; 4. 西南石油大学, 四川 成都 610500)

摘要:柴达木盆地柴西坳陷古近系-新近系石油资源丰富, 常规石油与页岩油分别占全盆地常规石油资源的82.4%和非常规页岩油资源的100%。通过研究沉积储层与石油地质特征, 剖析柴西坳陷古近系-新近系沉积相和油气成藏特征, 提出了油气环带状分布模式。研究认为: ①柴西坳陷古近系-新近系沉积相带呈“环带状”分布。外环带为三角洲与滩坝相, 以碎屑岩沉积为主, 碳酸盐岩沉积较少, 发育砾岩、含砾粗砂岩和中-粗砂岩储层。中环带以滨浅湖灰云坪、灰泥坪相沉积为主, 发育细砂岩、粉砂岩、灰云岩及藻灰岩, 藻灰岩是中环带最具特色且孔隙度最高的岩相类型。内环带以半深湖-深湖相细粒混积岩沉积为主, 发育深灰、暗灰色细粒沉积岩, 是古近系-新近系最主要的烃源岩发育区。②不同沉积相带内油藏类型不同。外环带距离生烃灶较远, 油气经断层输导在砾岩、粗砂岩等碎屑岩中聚集, 形成构造油气藏。中环带紧邻主力生烃灶, 油气经断层输导在藻灰岩等碳酸盐岩储层中聚集, 形成构造-岩性油气藏。内环带油气短距离运移或原位滞留在细粒混积岩中源-储一体, 形成页岩油。柴西坳陷从源外到源内, 构造-岩性油气藏与页岩油纵向上相互叠置, 平面上构造油气藏、构造-岩性油气藏与页岩油呈环带状分布。

关键词:有序聚集; 环带状分布; 全油气系统; 英雄岭页岩油; 柴西坳陷; 柴达木盆地; 青藏高原

中图分类号: TE121.3

文献标识码: A

Petroleum geology and ring-shaped distribution of the Paleogene-Neogene hydrocarbon resources in western Qaidam Depression, Qaidam Basin

LIU Guoyong^{1,2}, XUE Jianqin^{1,2}, WU Songtao^{1,2,3}, WU Kunyu^{1,2}, ZHANG Boce^{1,2}, XING Haoting^{1,2}, ZHANG Na^{1,2},
PANG Peng⁴, ZHU Chao³

(1. Qinghai Oilfield Company, PetroChina, Dunhuang, Gansu 736202, China; 2. Qinghai Provincial Key Laboratory of Plateau Saline-Lacustrine Basinal Oil & Gas Geology, Dunhuang, Gansu 736202, China; 3. Research Institute of Petroleum Exploration & Development, PetroChina, Beijing 100083, China; 4. Southwest Petroleum University, Chengdu, Sichuan 610500, China)

Abstract: The western Qaidam Depression features rich Paleogene-Neogene petroleum systems, with conventional and shale oil accounting for 82.4 % and 100 % of the counterparts of the whole basin, respectively. Based on the investigated sedimentary reservoirs and petroleum geology, we analyze the sedimentary facies and hydrocarbon accumulation characteristics of the Paleogene-Neogene in the western Qaidam Depression and propose a ring-shaped hydrocarbon distribution pattern therein. The results reveal that the Paleogene-Neogene sedimentary facies zones in the depression present a ring-shaped distribution pattern comprising outer, middle, and inner rings. The outer ring, featuring deltaic and beach-bar facies, is dominated by clastic sediment, with the presence of small quantities of carbonate sediment. This ring contains conglomerate, coarse-grained conglomeratic sandstone and medium-grained sandstone reservoirs. The middle ring is dominated by the limy dolomite flat and limy muddy flat microfacies of the shore-shallow lacustrine subfacies, including fine-grained sandstones, siltstones, limy dolomites, and algal limestones. Of these, algal limestones serve as the most distinctive lithofacies with the highest porosity observed in the middle ring. The inner ring is composed of fine-grained diamictites of the semi-deep to deep lacustrine facies,

收稿日期: 2024-03-29; 修回日期: 2024-06-18。

第一作者简介: 刘国勇 (1978—), 男, 博士、教授级高级工程师, 油气地质综合研究与勘探生产管理。E-mail: liuguoyong@petrochina.com.cn。

基金项目: 国家自然科学基金重大项目 (42090025); 中国石油科技专项国际合作项目 (2021DQ-0405)。

encompassing deep- and dark-gray fine-grained sedimentary rocks. This establishes the middle ring as the key area to source rock development in the Paleogene-Neogene system. Reservoir types differ across the different sedimentary facies rings. In the outer ring, which is distant from hydrocarbon kitchens, hydrocarbons, transported via faults, accumulate in clastics such as conglomerates and coarse-grained sandstones, resulting in structural hydrocarbon reservoirs. The middle ring, immediately adjacent to the major hydrocarbon kitchens, has hydrocarbons migrating through faults and accumulating in carbonate reservoirs like algal limestones, resulting in the structural-lithological hydrocarbon reservoirs. The inner ring sitting on major source rock sequence has hydrocarbons either undergo short-distance migration or reside in situ in fine-grained diamictites, forming shale oil reservoirs. The western Qaidam Depression exhibits overlapped structural-lithological hydrocarbon reservoirs and shale oil reservoirs vertically from external to intra source rocks, and manifests a ring-shaped distribution of structural hydrocarbon, structural-lithological hydrocarbon, and shale oil reservoirs in a plan view.

Key words: ordered hydrocarbon accumulation, ring-shaped distribution, total petroleum system, Yingxiongling shale oil, western Qaidam Depression, Qaidam Basin, Qinghai-Tibet Plateau

引用格式:刘国勇,薛建勤,吴松涛,等.柴达木盆地柴西坳陷古近系-新近系石油地质特征与油气环带状分布模式[J].石油与天然气地质,2024,45(4):1007-1017. DOI:10.11743/ogg20240408.

LIU Guoyong, XUE Jianqin, WU Songtao, et al. Petroleum geology and ring-shaped distribution of the Paleogene-Neogene hydrocarbon resources in western Qaidam Depression, Qaidam Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2024, 45(4): 1007-1017. DOI: 10.11743/ogg20240408.

近年来,随着油气勘探开发持续深入,聚焦富油气坳陷、开展油气综合地质研究与勘探评价成为高效勘探的先决条件,已成为业界共识^[1-7]。柴达木盆地是中国陆上七大主力含油气盆地之一,其西部坳陷(下文称柴西坳陷)是盆地内油气资源最丰富、勘探潜力最大的富烃坳陷^[8-12]。截至2023年12月,柴西坳陷常规石油与页岩油分别占全盆地常规石油资源的82.4%和非常规页岩油资源的100%。

柴西坳陷古近系-新近系发育英雄岭、茫崖、小梁山、扎哈泉等多个富烃凹陷^[12-13],油气勘探实践表明,从英雄岭凹陷到茫崖凹陷再到小梁山凹陷,受喜马拉雅运动差异改造影响,不同凹陷的沉积模式与油气分布特征具有明显差异^[9,14-15]。已有研究多集中在构造演化、特别是断裂对柴西坳陷油气成藏的控制作用。黄立功等^[16]讨论了后生断裂对柴西坳陷油气藏分布的影响,提出柴西地区油藏的形成与分布取决于油源条件、储集条件、运移条件、保存条件及各种条件相互之间的时空匹配关系;宋世骏等^[17]提出新生代早期青藏高原隆升和副特提斯洋后撤是柴西坳陷古近系咸化湖盆沉积中心的主要控制因素;朱超等^[18]讨论了盆地腹部中央古隆起的形成演化对油气成储、成烃的影响,明确古隆起南北两端以三角洲砂体为主,中心主体区为欠补偿咸化水体环境,指出古隆起是油气运移有利指向区;郭泽清等^[19]分析了盆地构造演化与湖盆充填的关系,提出渐新世—中新世是柴西坳陷最大湖泛期,形成了泥岩与碳酸盐岩互层沉积,为页岩油等非常规石油资源的发育

奠定了沉积基础。总体来看,已有研究多从盆地演化和构造迁移的角度对油气成藏条件进行了分析,但缺乏从柴西坳陷沉积体系的角度对古近系-新近系油气地质特征的深入研究,特别是沉积体系与石油成藏的关系。因此,亟需深化沉积体系控制下的“坳陷级别”油气成藏新模式的认识,以期深化柴西坳陷油气地质研究、指导柴西坳陷整体勘探提供更加科学的指导。

1 区域地质背景

柴达木盆地位于青藏高原北部,是中国西部一个大型陆相中-新生代山间含油气盆地^[20-22]。受青藏高原隆升和周缘走滑造山运动影响,柴达木盆地呈西宽东窄的不规则菱形。柴西坳陷位于柴达木盆地西部,西起阿尔金山东缘,东以鄂博梁—甘森一线为界,勘探面积超 $3.6 \times 10^4 \text{ km}^2$ (图1a)。受上新世末—第四纪开始的新构造运动影响,湖盆彻底结束沉积,柴西坳陷中央开始反转成为盆内山,即英雄岭构造带,剥蚀了巨厚的地层^[23]。从构造特征看,柴西坳陷最主要的构造变形特征是褶皱发育,构造线和主干断裂多以北西—南东向为主,多个背斜近于平行排列^[19,24]。地层自下而上,依次发育古近系路乐河组、下干柴沟组下段、下干柴沟组上段,新近系的上干柴沟组、下油砂山组、上油砂山组、狮子沟组和第四系的七个泉组(图1b)。其中,古近系下干柴沟组上段和新近系上干柴沟组是两套主力咸化湖相烃源岩(图1b)。

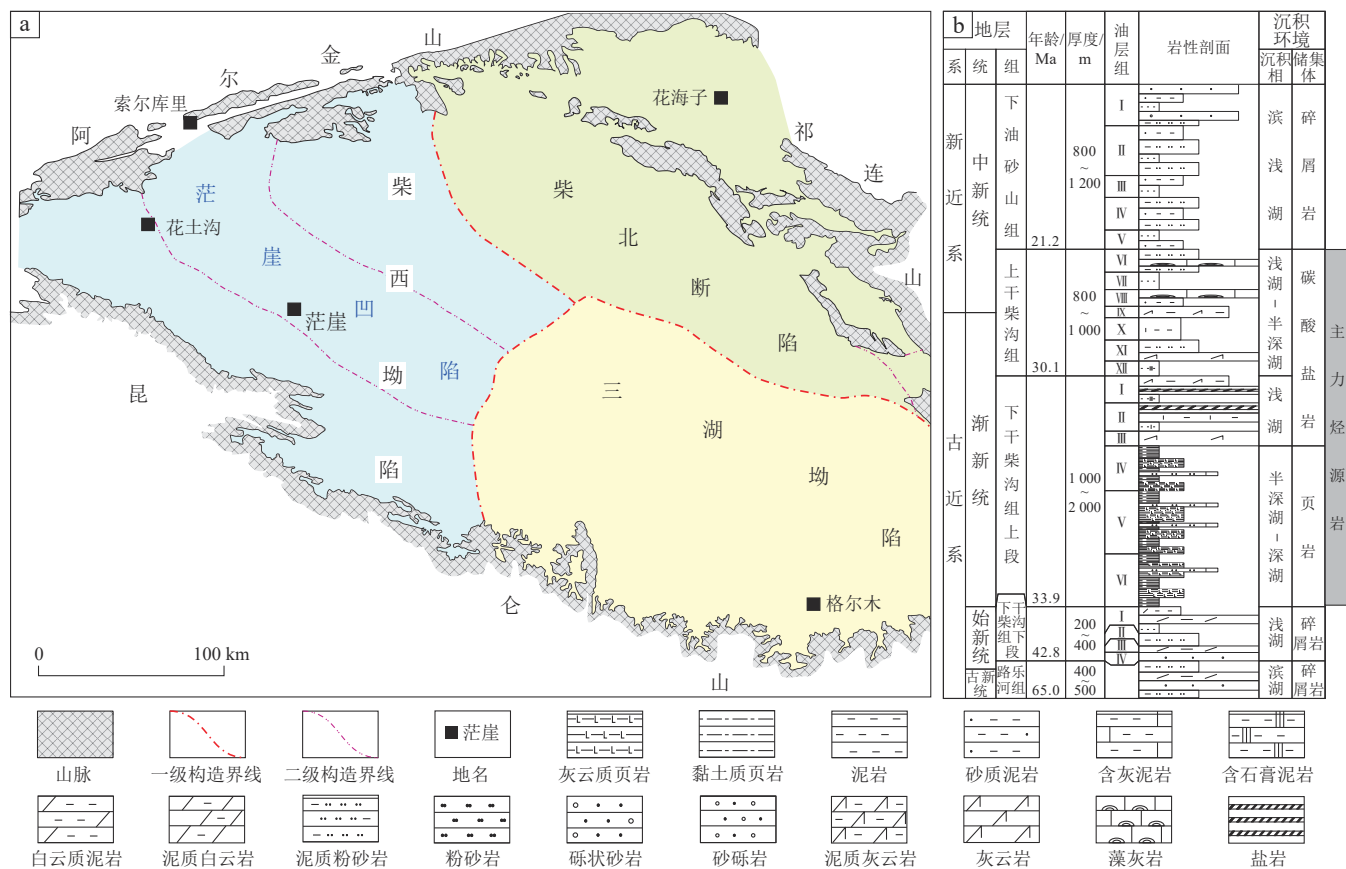


图1 柴达木盆地构造分区(a)与古近系地层柱状图(b)(据文献[11]修改)

Fig. 1 Map showing structural division (a) and the Paleogene stratigraphic column (b) of the Qaidam Basin (modified after Li et al., 2023)

2 沉积体系

柴西坳陷古近系-新近系沉积期,盆地经历了从扩张沉降抬升收缩阶段,其中渐新世-中新世为湖盆扩张沉降阶段,上新世早-中期为湖盆收缩阶段^[25]。从沉积环境看,柴达木陆块处于北纬 $30.3^{\circ} \sim 33.4^{\circ}$ ^[26],属于北半球副热带干旱与半干旱气候区,干-湿交替的气候特征明显,特别在沉积后期,受强烈蒸发作用影响,盐度增大,多套盐岩叠置发育^[13]。古近系-新近系沉积期物源主要来自阿尔金山和昆仑山^[14]。从山前到湖盆中心,水体咸化,在陆源碎屑物质供应与内源碳酸盐沉积双重控制下,柴西坳陷沉积相带呈环带状展布结构(图2),不同环带内碳酸盐岩与碎屑岩比例及沉积界面具有明显差异。

外环带分布在阿尔金山和昆仑山山前带,其中,阿尔金山前发育比例大;沉积相主要类型是辫状河三角洲、扇三角洲和滩坝沉积,主体处于滨浅湖,以碎屑岩沉积为主,碳酸盐岩沉积比例相对较低;岩性多为砾岩、含砾粗砂岩和中-粗砂岩,发育粒间孔、颗粒溶孔,见砾缘缝发育,孔隙度主体介于 $4\% \sim 14\%$ (图3a—c)。

中环带处于柴西坳陷斜坡区,主要发育灰云坪、泥云坪、碳酸盐藻席沉积,主体处于浅湖-半深湖,水体盐度 $12\% \sim 18\%$,地层厚度 $800 \sim 1400$ m,灰云岩占比高达 $35\% \sim 70\%$;岩性主体为细砂岩、粉砂岩、灰云岩及藻灰岩,其中,藻灰岩是中环带最具特色且孔隙度最高的岩相类型;储集空间包括方解石溶蚀孔及少量粒间孔,孔隙度主体介于 $8\% \sim 27\%$ (图3d—f)。

内环带处于英雄岭凹陷、小梁山凹陷和茫崖凹陷,主要发育深湖-半深湖相混积岩,水体盐度大于 18% ,地层厚度 $1400 \sim 2000$ m,以深灰、暗灰色细粒沉积岩类为主,是古近系-新近系最主要的烃源岩发育区。总有机碳含量(TOC)主体介于 $0.5\% \sim 2.0\%$,平均值约 0.9% ^[11];薄层状灰云岩是最主要的储层,占比 $35\% \sim 60\%$;储集空间以白云石晶间孔为主,孔隙度主体介于 $4\% \sim 8\%$ (图3g—h)。

3 油藏类型与地质特征

柴西坳陷“环带状”沉积模式造成了烃源岩与储层的差异分布,进而决定了油气藏类型与分布特征。湖盆中心以混积岩沉积体系为主,构成了古近系-新近

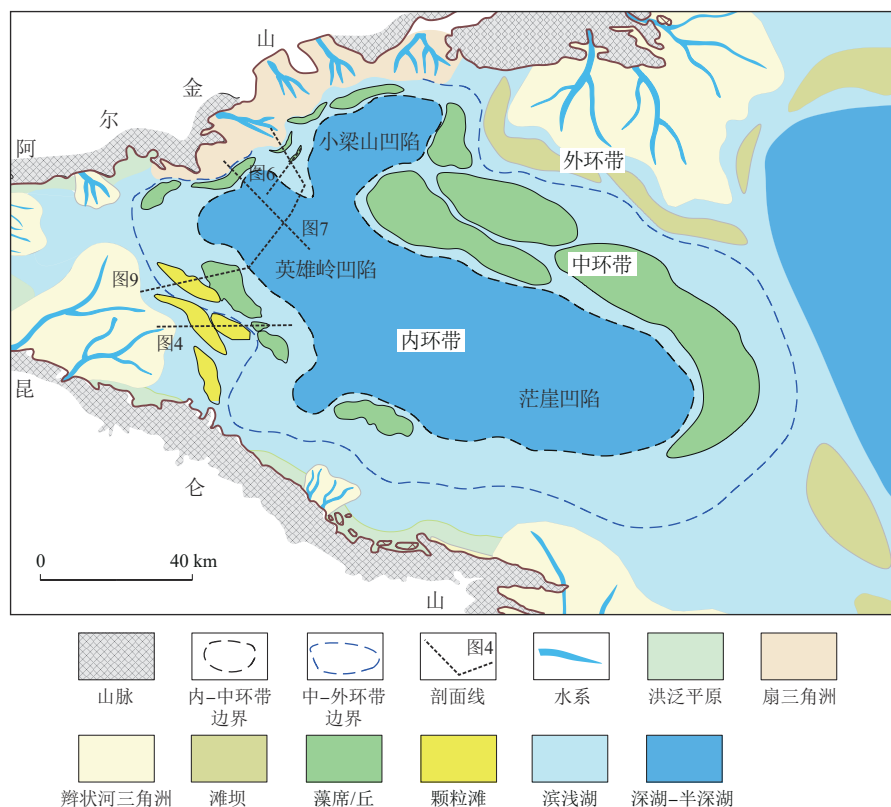


图2 柴西坳陷古近系-新近系干柴沟组沉积相环带状分布图

Fig. 2 Map showing the ring-shaped distribution of sedimentary facies in the Paleogene-Neogene Ganchaigou Formation, western Qaidam Depression

系生烃中心,通过断层与砂体输导,向上运移与源内滞留共同作用,形成了不同环带差异性油气藏类型,地质特征各具特色。下面按照外环带、中环带和内环带,分别说明每个环带油气藏类型及分布特征。

3.1 外环带碎屑岩构造油气藏

外环带主要分布在盆地周缘及斜坡带,油气自内环带主力生烃凹陷向外运移至盆地边缘粗砂岩、含砾粗砂岩等储层中富集,形成构造油藏与岩性油藏。断层与具有良好渗流能力的砂体是最主要的运移通道。油气自湖盆中心下干柴沟组上段富有机质页岩生成后,在浮力作用驱动下,向上、向外沿断层运移,在扇三角洲前缘和辫状河三角洲前缘的分流河道砂体、滩坝砂体聚集调整,形成高部位的构造油藏。受砂体内部差异性成岩作用的影响,特别是碳酸盐胶结作用的影响,造成孔隙减小、物性变差,形成岩性油藏,此类油藏分布受砂体展布和局部高渗带控制明显(图4)。总体看,新近系-第四系含膏盐岩的盖层为油藏的形成提供了良好的盖层和封堵条件。

以柴西坳陷外环带砂西—尕斯地区古近系-新近系油藏为例,分析纵向石油分布规律。辫状河三

角洲前缘水下分流河道是较有利的储层发育相带,整体呈下粗上细的正旋回沉积,单个有利源-储组合具有4~5个正旋回,纵向厚度2~6 m,占地层总厚度的40%;席状砂及分流河道间泥岩形成了油气藏的封堵(图4)。

3.2 中环带碳酸盐岩构造-岩性油气藏

中环带主体处于浅湖-半深湖,滩坝、灰云坪与泥云坪发育,粉细砂岩和藻灰岩是最典型的岩相类型,主要为藻丘和藻席产物,方解石含量高(图5)。与上部的三角洲砂岩和底部的混积岩相比,藻灰岩具有较好的孔隙结构和物性,格架孔、溶蚀孔发育,在很大程度上改善了储层的物性。从图5可以看出,由于邻近砂岩,藻灰岩的物性普遍较好,且伴随云质含量增多,储层孔隙度呈增大趋势。孔隙度统计结果表明,藻灰岩孔隙度主体介于8%~27%,而上部的砂岩孔隙度主体为4%~14%(图3)。格架孔多受沉积环境控制,主要集中在藻丘微相^[27]。溶蚀孔隙是中环带藻灰岩储层最主要的储集空间类型。在干旱咸化湖盆的沉积背景下,古地貌相对较高的中环带多发育早成岩期岩溶。在高频旋回的湖退晚期,处于沉积期古地貌高部位的

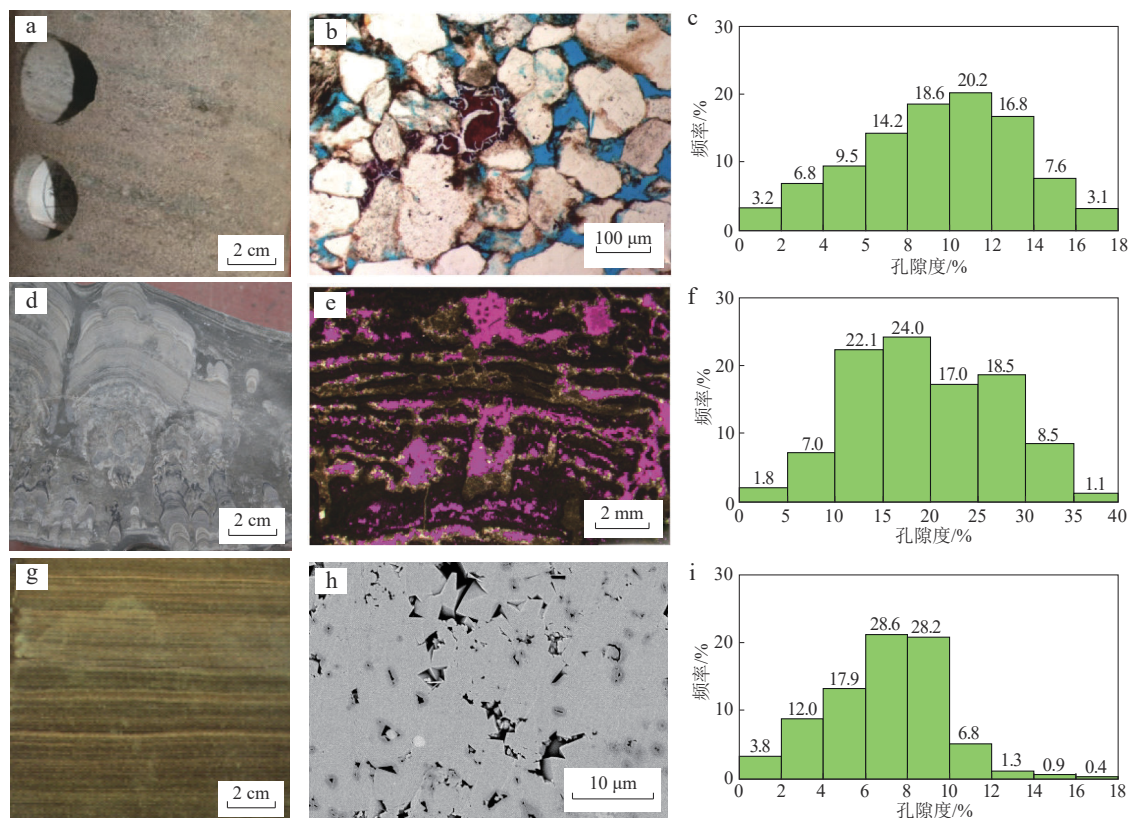


图3 柴西坳陷古近系-新近系不同环带代表性岩心、孔隙特征及孔隙度频率分布直方图

Fig. 3 Representative core and pore micrographs and respective porosity histograms of the three Paleogene-Neogene sedimentary facies rings in the western Qaidam Depression

a. 外环带中砂岩,岩心照片,SX60井,埋深3 789.60 m;b. 图a中对应薄片显微照片,粒间孔发育;c. 外环带孔隙度频率分布直方图,主体介于4%~14%;d. 中环带藻灰岩,岩心照片,YH105井,埋深3 569.00 m;e. 藻灰岩层间溶孔,薄片显微照片,YX4井,埋深1 382.95 m;f. 中环带孔隙度频率分布直方图,主体介于8%~27%;g. 纹层状云灰岩,岩心照片,C2-4井,埋深2 843.94~2 844.07 m;h. 图g中对应岩心场发射扫描电镜照片,白云石晶间孔发育;i. 内环带储层孔隙度频率分布直方图,主体介于4%~8%

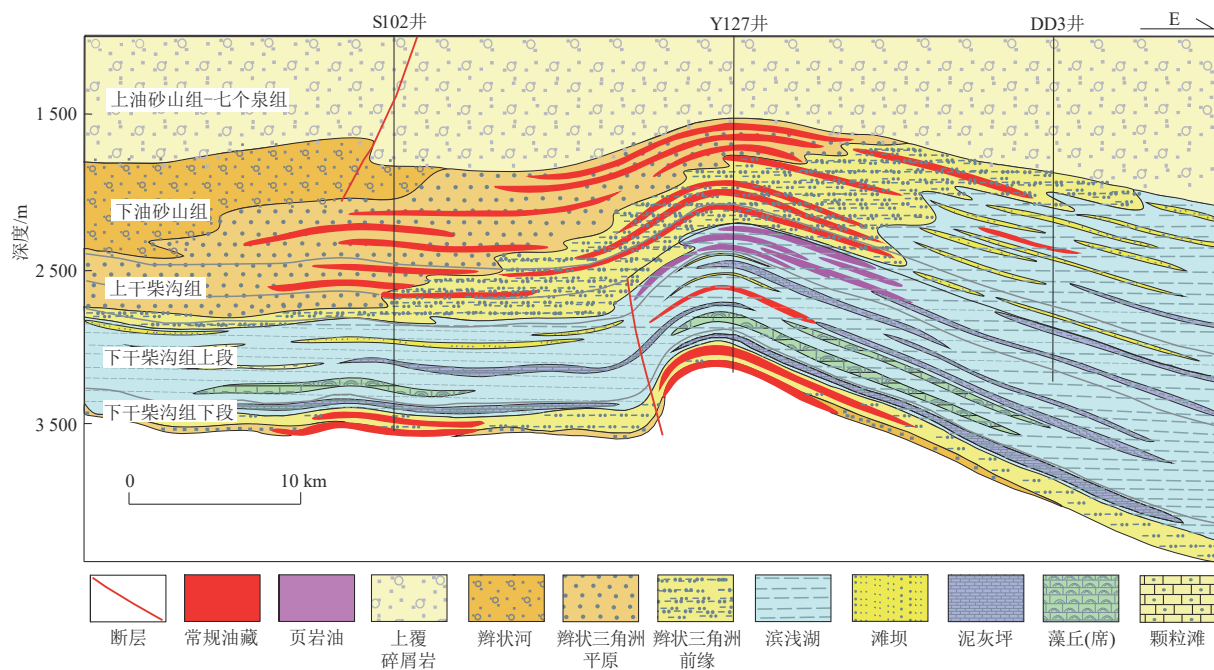


图4 柴西坳陷外环带典型油藏剖面(剖面位置见图2)

Fig. 4 Typical hydrocarbon reservoir cross-section of the outer facies ring of the western Qaidam Depression (see Fig. 2 for the cross-section location)

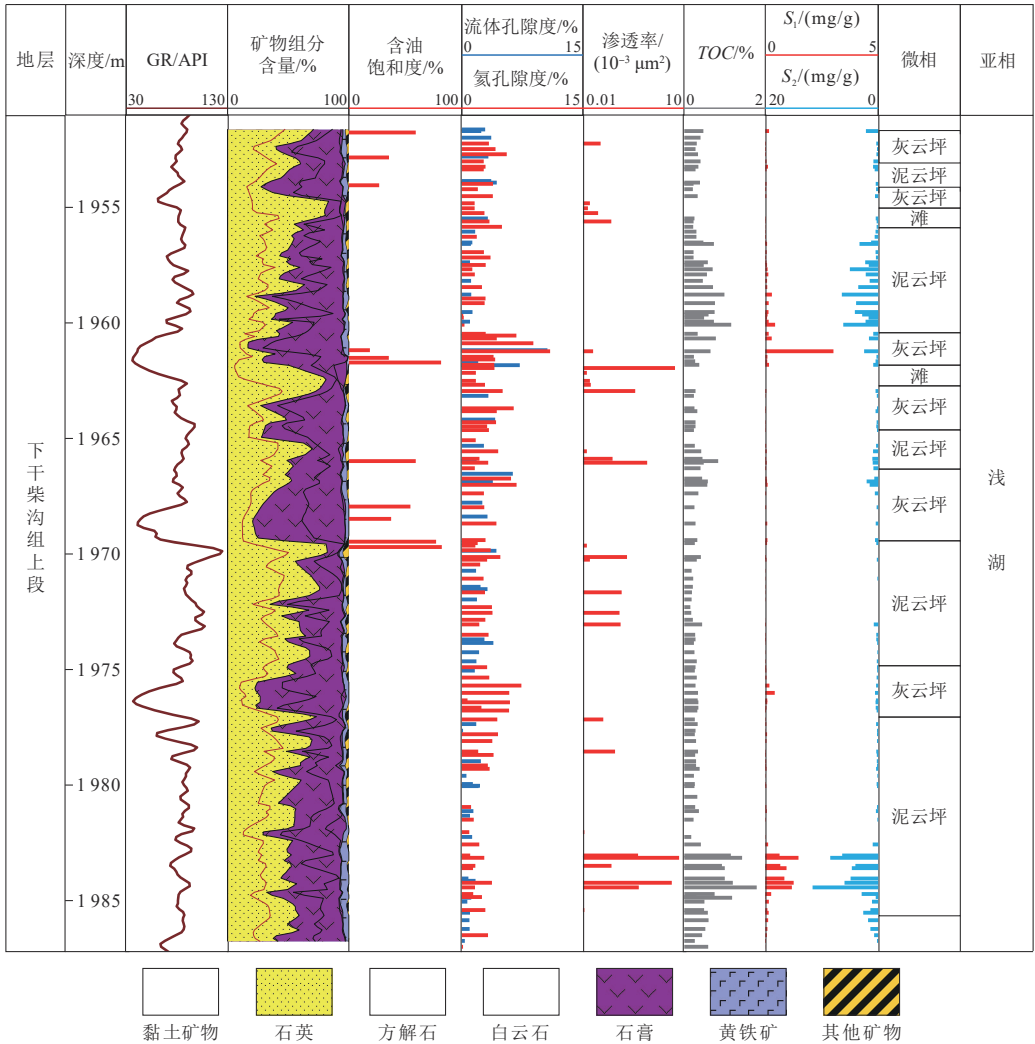


图5 柴西坳陷中环带岩心、物性、有机地化、矿物组成与沉积微相柱状图

Fig. 5 Column showing the cores, physical properties, organic geochemistry, mineralogy, and sedimentary microfacies of the middle facies ring of the western Qaidam Depression

藻丘沉积体极易发生暴露而进入淡水成岩环境,会对先期的基质格架孔进行溶蚀扩大,具有明显的优化改善作用^[28-29]。此外,受古近系挤压作用与走滑断裂影响,在藻灰岩内部形成多个断裂。下干柴沟组上段烃源岩在新近纪末生烃早期,有机质进入脱羧基阶段,蒙脱石大量向混层矿物转化,排出层间水,变为酸性的孔隙水沿断裂向上运移,致大量碳酸盐矿物、胶结物及基质被溶蚀形成断溶带^[30](图6),为上新世早期主力生烃期石油向上运移提供了通道,促进了石油在上覆层状藻灰岩储层内部聚集成藏。构造-岩性油气藏以断层的垂向运移为主。受湖盆面积影响,中环带藻灰岩分布具有一定局限性,未能实现全坳陷大面积展布(图2)。因此,柴西坳陷中环带油气藏类型以构造-岩性油气藏和构造油气藏为主(图6)。

3.3 内环带非常规油气藏

内环带主要分布在柴西坳陷半深湖-深湖区,围绕最主要的烃源岩层系——古近系下干柴沟组上段,油气或经短距离运移,或原位滞留在细粒混积岩中形成页岩油(图7)。2021年以来,英雄岭页岩油成为柴西坳陷重点勘探领域^[11,31],目前页岩油勘探主要集中在英雄岭凹陷干柴沟地区。作为全球独具特色的高原“巨厚山地式”页岩油的典型代表,英雄岭页岩油具有3方面独特性:①低有机质丰度烃源岩低碳富氢,平均TOC小于1%。英雄岭页岩油是目前已知的商业开发页岩油区带中有机质丰度最低的区带,纹层状云灰岩与纹层状黏土质页岩是主要的烃源岩,基于C2-4井、C908井、CP6井等968件样品TOC统计,下干柴沟组上段TOC介于0.4%~4.5%,平

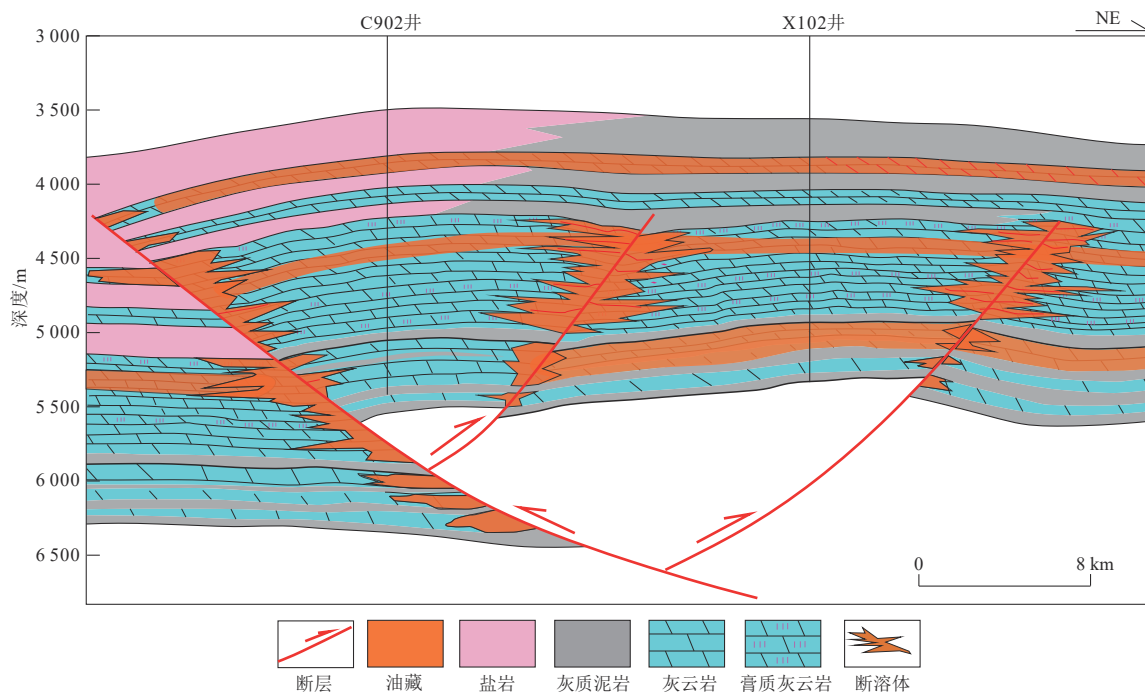


图6 柴西坳陷中环带典型油藏剖面(剖面位置见图2)

Fig. 6 Typical hydrocarbon reservoir cross-section of the middle facies ring of the western Qaidam Depression (see Fig. 2 for the cross-section location)

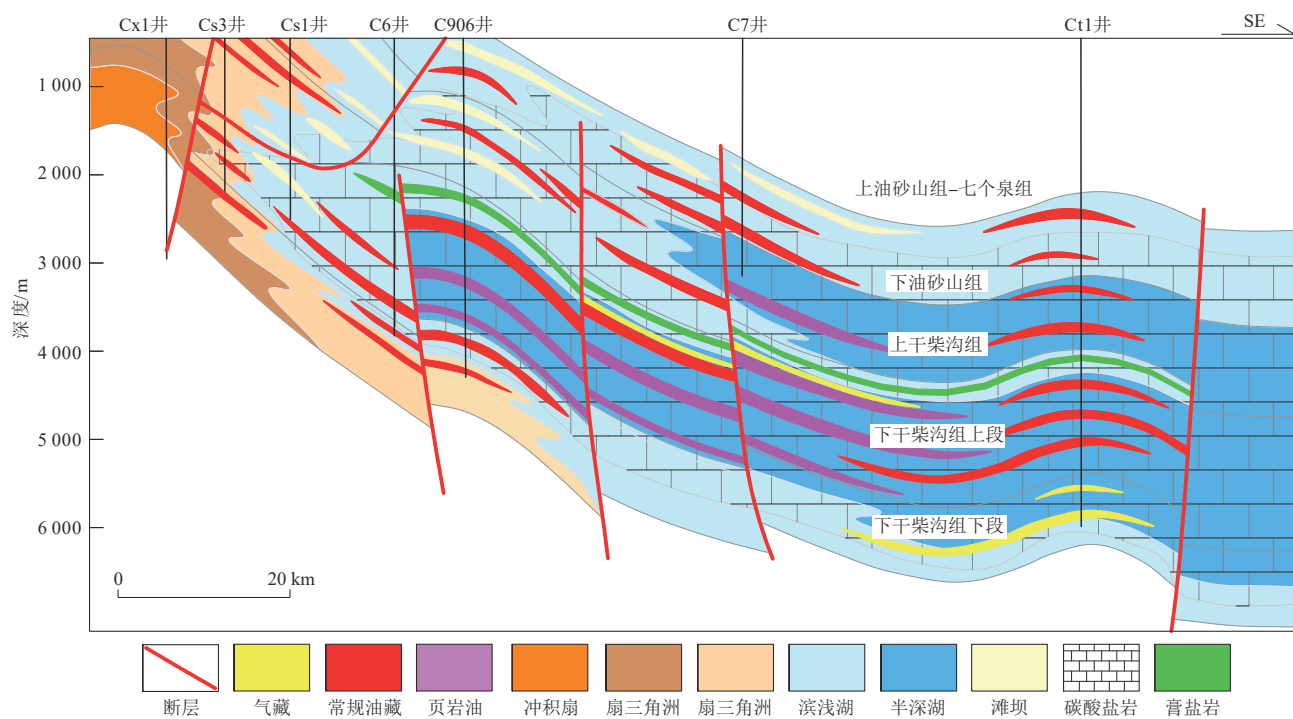


图7 柴西坳陷内环带典型油藏剖面(剖面位置见图2)

Fig. 7 Typical hydrocarbon reservoir cross-section of the inner facies ring of the western Qaidam Depression (see Fig. 2 for the cross-section location)

均为0.9%;腐泥组含量超76%,有机质类型指数(TI)为61~89, H/C 原子数比一般为1.40, O/C 原子数比一般为0.16,指示干酪根类型以I-II₁型为主。

②咸化湖盆巨厚混源沉积,岩相纵向非均质性强。英雄岭页岩油纵向赋存地层厚度超1 200 m,发育纹层状灰质白云岩、纹层状白云质灰岩、纹层状黏土质

页岩、层状灰质白云岩、层状白云质灰岩和层状泥岩6种岩相高频互层;纹层结构发育,类型以长英质纹层、白云石纹层、方解石纹层和黏土矿物纹层为主,单纹层厚度20~200 μm (图8),纹层结构发育导致非均质性更强;石油主要赋存在白云石纹层的晶间孔中。③受喜马拉雅期双挤压运动影响,英雄岭凹陷呈“先拗后隆”,断裂十分发育;在英雄岭页岩油顶部,发育连续分布的盐岩层,单层厚1~10 m,累计厚度200~300 m,分布面积大于700 km^2 (图7),为页岩油富集提供了良好的保存条件。

4 油藏分布模式与勘探方向

4.1 “环带状”油藏分布模式

综合前文研究可知,柴西坳陷古近系-新近系油藏呈环带状分布特征。从阿尔金-昆仑山山前到盆地边缘的扇三角洲-辫状河三角洲和滩坝沉积,油藏主要为构造油藏;再到滨浅湖的灰云坪和泥云坪沉积,主要形成岩性油藏和构造-岩性油藏;最后到坳陷中心的巨厚混积沉积体系,以陆相页岩油聚集为主。整体来看,从盆

地边缘、盆地斜坡到湖盆中心,油藏类型由构造油藏过渡为岩性油藏再变为页岩油,初步展现了柴西坳陷古近系-新近系全油气系统的分布格局(图9)。

从全油气系统理念出发,柴西坳陷古近系-新近系研究需要强化3方面工作:①立足外环带和中环带常规油气,注重柴达木盆地常规-非常规油气全序列有序分布,突出含油气系统的整体研究;②立足古近系下干柴沟组上段和新近系上干柴沟组两套主力烃源岩,注重两套有效源岩层系或组合相关油气藏空间展布,突出柴西坳陷跨层系、跨构造单元的立体勘探;③立足从源岩到圈闭研究思路,注重勘探对象源、储兼顾,在重视生烃能力评价的同时,突出储油能力和产油能力评价,实现常规油气藏与非常规油气聚集并重。

4.2 勘探方向与资源潜力

针对柴西坳陷古近系-新近系油气藏“环带状”的分布模式,不同区域、不同环带的勘探方向进一步明确,因环而异。基于中国石油第四次资源评价,结合油田勘探部署,本文对不同环带有利勘探方向及资源潜力进行了评价(表1)。

外环带斜坡岩性-构造油藏主要分布在阿尔金山

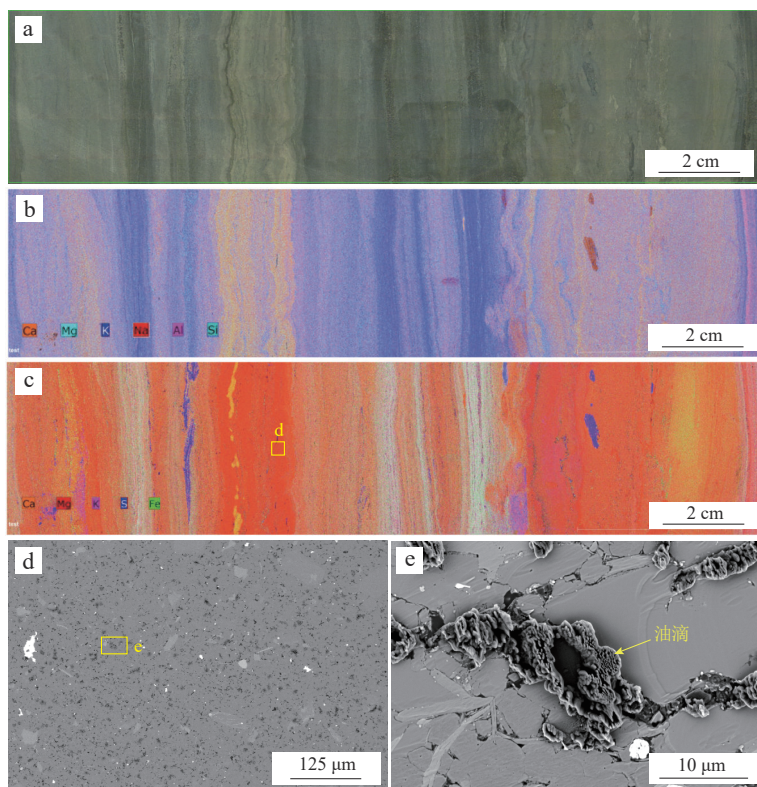


图8 柴西坳陷内环带英雄岭页岩油纹层结构与石油赋存(C2-4井,埋深2 810.8 m)

Fig. 8 Laminae and occurrence of the Yingxiongling shale oil in the inner ring of the western Qaidam Depression

a. 岩心照片;b. XRF元素分析照片,其中蓝色部分为长英质纹层,黄色部分为白云石纹层;c. XRF元素分析照片,蓝色部分为黄铁矿,红色部分为白云石纹层,方框指示d图位置;d. 白云石纹层场发射扫描电镜照片;e. d图局部放大,见石油从晶间孔产出

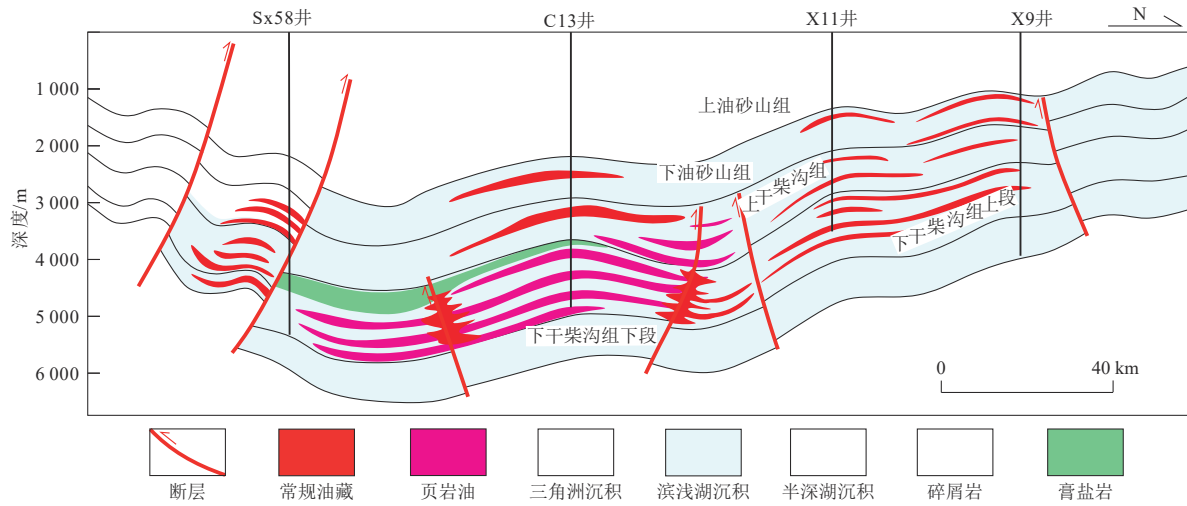


图9 柴西坳陷古近系-新近系环带控藏模式(剖面位置见图2)

Fig. 9 Ring-shaped hydrocarbon accumulation pattern of the western Qaidam Depression (see Fig. 2 for the section location)

表 1 柴西坳陷古近系-新近系不同环带资源潜力与勘探方向

Table 1 Resource potentials and exploration targets of the three Paleogene-Neogene sedimentary facies rings of the western Qaidam Depression

环带	油藏类型	储层类型	重点区带	地质资源量/(10 ⁸ t)	勘探方向
外环带	岩性-构造 油气藏	砾岩			
		含砾粗砂岩、 中-粗砂岩、 细砂岩	尕斯构造—英雄岭构造带东缘新近系滩坝、扎哈泉凹陷— 乌南—一切里克构造带古近系—新近系滩坝	6.3	阿尔金山前西段
中环带	岩性油气藏	礁灰岩、 灰云岩	红东—跃进构造带古近系斜坡、干北次凹—咸水泉构造带 古近系斜坡、红沟子—南翼山构造带新近系斜坡、小梁山 凹陷—风西—大风山构造带新近系斜坡	23.3	柴西南斜坡和柴西北 大型构造翼部
内环带	致密油藏	致密砂岩、 白云岩	扎哈泉凹陷新近系、大风山油田古近系—新近系	8.0	英东深层
	页岩油	纹层状云灰岩、 纹层状黏土质页岩、 层状灰云岩	英雄岭凹陷、小梁山凹陷与扎哈泉凹陷	21.0	柴深构造带

注:资源量数据基于中国石油第四次资源评价初步结果,页岩油数据来自文献[31]。

前西段古近系扇三角洲、尕斯构造—英雄岭构造带东缘新近系滩坝、扎哈泉凹陷—乌南—一切里克构造带古近系—新近系滩坝,地质资源量约 6.3×10^8 t;中环带碳酸盐岩岩性油藏主要集中在红东—跃进构造带古近系斜坡、干北次凹—咸水泉构造带古近系斜坡、红沟子—南翼山构造带新近系斜坡、小梁山凹陷—风西—大风山构造带新近系斜坡,地质资源量约 23.3×10^8 t;内环带致密油藏主要集中在扎哈泉凹陷新近系、大风山油田古近系—新近系,地质资源量约 8×10^8 t,页岩油主要集中在英雄岭凹陷、小梁山凹陷与扎哈泉凹陷,地质资源量 21×10^8 t^[31]。

基于资源潜力评价结果,本文提出柴西坳陷分环带勘探方向。针对外环带,需重点关注阿尔金山前西段。阿尔金山前西段具有较好的烃源岩条件和砂体展

布,紧邻柴西坳陷英雄岭和小梁山两大主力生烃凹陷,古近系发育连片的冲积扇和扇三角洲沉积,有利砂体展布面积超780 km²;针对中环带,需重点关注柴西南斜坡和柴西北大型构造翼部,特别是南翼山东翼上干柴沟组—上油砂山组碳酸盐岩、跃进斜坡和红东斜坡下干柴沟组上段碳酸盐岩;针对内环带,纵向需向深层持续探索,重点关注英东地区深层油气资源;平面需自英雄岭凹陷向小梁山、茫崖凹陷扩展,柴深构造带是下一步值得关注的重点领域。

5 结论

1) 柴西坳陷古近系-新近系是柴达木盆地重要的油气勘探层系,资源丰富。从坳陷边缘到坳陷中心,具

外、中、内“环带式”沉积结构。不同环带沉积相具有差异,其中,外环带以扇三角洲相、辫状河三角洲相和滩坝相为主,陆源碎屑沉积占据主导地位;中环带以滨浅湖灰云坪相和灰泥坪相为主,内源碳酸盐岩沉积占据主导地位;内环带以半深湖-深湖相细粒混积岩沉积为主,陆源碎屑与内源碳酸盐混合沉积是典型特征。

2)“环带式”沉积模式决定了柴西坳陷差异性油气藏类型与分布特征。主力生烃灶位于内环带的古近系下干柴沟组上段与新近系上干柴沟组。外环带远离主力生烃灶,油气经断层输导在粗粒砂岩、砾岩等碎屑岩中富集成构造油气藏;中环带紧邻主力生烃灶,油气经断层输导在藻灰岩等碳酸盐岩中形成构造-岩性油气藏;内环带源-储一体,油气经微距运移或原位滞留在细粒混积岩中形成连续分布的页岩油。

3)“环带式”沉积模式奠定了柴西坳陷古近系-新近系“全油气系统”有序聚集新模式的基础。从源外到源内,构造油气藏、岩性地层油气藏与页岩油有序分布,纵向上相互叠置,平面上大面积连续分布。

致谢:感谢西南石油大学徐璐和陈增裕、西安石油大学张睿娇和李林洁在图件准备过程中提供的帮助。

参 考 文 献

- [1] 金之钧,张一伟,王捷,等. 油气成藏机理与分布规律[M]. 北京:石油工业出版社,2003.
JIN Zhijun, ZHANG Yiwei, WANG Jie, et al. Hydrocarbon accumulation mechanisms and oil/gas distribution [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2003.
- [2] 邱中建,邓松涛. 中国油气勘探的新思维[J]. 石油学报, 2012, 33(增刊1): 1-5.
QIU Zhongjian, DENG Songtao. New thinking of oil-gas exploration in China[J]. Acta Petrolei Sinica, 2012, 33(S1): 1-5.
- [3] 邓运华,孙涛. 试论优质烃源岩与大油田的共生关系[J]. 中国海上油气, 2019, 31(5): 1-8.
DENG Yunhua, SUN Tao. Discussion on the symbiotic relationship between high quality source rocks and large oilfields [J]. China Offshore Oil and Gas, 2019, 31(5): 1-8.
- [4] 赵文智,张斌,王晓梅,等. 陆相源内与源外油气成藏的烃源灶差异[J]. 石油勘探与开发, 2021, 48(3): 464-475.
ZHAO Wenzhi, ZHANG Bin, WANG Xiaomei, et al. Differences in source kitchens for lacustrine in-source and out-of-source hydrocarbon accumulations [J]. Petroleum Exploration and Development, 2021, 48(3): 464-475.
- [5] 侯读杰,吴克强,尤丽,等. 琼东南盆地陆源海相烃源岩有机质富集机理[J]. 石油与天然气地质, 2024, 45(1): 31-43.
HOU Dujie, WU Keqiang, YOU Li, et al. Organic matter enrichment mechanisms of terrigenous marine source rocks in the Qiongdongnan Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2024, 45(1): 31-43.
- [6] 方志雄,肖秋生,张殿伟,等. 苏北盆地陆相“断块型”页岩油地质特征及勘探实践[J]. 石油与天然气地质, 2023, 44(6): 1468-1478.
FANG Zhixiong, XIAO Qiusheng, ZHANG Dianwei, et al. Geological characteristics and exploration of continental fault-block shale oil reservoirs in the Subei Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2023, 44(6): 1468-1478.
- [7] 杨桂林,任战利,何发岐,等. 鄂尔多斯盆地西南缘镇泾地区断缝体发育特征及油气富集规律[J]. 石油与天然气地质, 2022, 43(6): 1382-1396.
YANG Guilin, REN Zhanli, HE Faqi, et al. Fault-fracture body growth and hydrocarbon enrichment of the Zhenjing area, the southwestern margin of the Ordos Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2022, 43(6): 1382-1396.
- [8] 付锁堂,马达德,郭召杰,等. 柴达木走滑叠合盆地及其控油气作用[J]. 石油勘探与开发, 2015, 42(6): 712-722.
FU Suotang, MA Dade, GUO Zhaojie, et al. Strike-slip superimposed Qaidam Basin and its control on oil and gas accumulation, NW China [J]. Petroleum Exploration and Development, 2015, 42(6): 712-722.
- [9] 张道伟,薛建勤,伍坤宇,等. 柴达木盆地英西地区页岩油储层特征及有利区优选[J]. 岩性油气藏, 2020, 32(4): 1-11.
ZHANG Daowei, XUE Jianqin, WU Kunyu, et al. Shale oil reservoir characteristics and favorable area optimization in Yingxi area, Qaidam Basin [J]. Lithologic Reservoirs, 2020, 32(4): 1-11.
- [10] 张道伟,马达德,陈琰,等. 柴达木盆地油气地质研究新进展及勘探成果[J]. 新疆石油地质, 2019, 40(5): 505-512.
ZHANG Daowei, MA Dade, CHEN Yan, et al. Research progress on oil and gas geology and exploration practice in Qaidam Basin [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2019, 40(5): 505-512.
- [11] 李国欣,张斌,伍坤宇,等. 柴达木盆地咸化湖盆低有机质丰度烃源岩高效生烃模式[J]. 石油勘探与开发, 2023, 50(5): 898-910.
LI Guoxin, ZHANG Bin, WU Kunyu, et al. Low organic matter abundance and highly efficient hydrocarbon generation of saline source rock in the Qaidam Basin, NW China [J]. Petroleum Exploration and Development, 2023, 50(5): 898-910.
- [12] 张永庶,伍坤宇,姜营海,等. 柴达木盆地英西深层碳酸盐岩油气藏地质特征[J]. 天然气地球科学, 2018, 29(3): 358-369.
ZHANG Yongshu, WU Kunyu, JIANG Yinghai, et al. Geological characteristics of deep carbonate hydrocarbon-bearing pool in the western Yingxiongling area in Qaidam Basin [J]. Natural Gas Geoscience, 2018, 29(3): 358-369.
- [13] 伍坤宇,廖春,李翔,等. 柴达木盆地英雄岭构造带油气藏地质特征[J]. 现代地质, 2020, 34(2): 378-389.
WU Kunyu, LIAO Chun, LI Xiang, et al. Geological characteristics of hydrocarbon pool in Yingxiongling structural zone, Qaidam Basin [J]. Geoscience, 2020, 34(2): 378-389.
- [14] 金之钧,张明利,汤良杰,等. 柴达木中新生代盆地演化及其控油气作用[J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(6): 603-608.
JIN Zhijun, ZHANG Mingli, TANG Liangjie, et al. Evolution of Meso-Cenozoic Qaidam Basin and its control on oil and gas [J]. Oil & Gas Geology, 2004, 25(6): 603-608.
- [15] 付锁堂,马达德,陈琰,等. 柴达木盆地油气勘探新进展[J]. 石油学报, 2016, 37(增刊1): 1-10.
FU Suotang, MA Dade, CHEN Yan, et al. New advance of

- petroleum and gas exploration in Qaidam Basin[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2016, 37(S1): 1-10.
- [16] 黄立功. 柴达木盆地昆前—茫崖坳陷构造样式与数值模拟研究[D]. 广州: 中国科学院研究生院(广州地球化学研究所), 2005.
- HUANG Ligong. Study on the structure styles and numerical modeling of Kunqian-Mangya Depression in the Qaidam Basin [D]. Guangzhou: Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, 2005.
- [17] 宋世骏. 柴达木盆地新生代咸化湖盆细粒岩差异性发育机理及其地质意义[D]. 西安: 西北大学, 2022.
- SONG Shijun. Different developing mechanism of fine-grained sediments in Cenozoic saline lakes in the Qaidam Basin and its geological implications[D]. Xi'an: Northwest University, 2022.
- [18] 朱超, 刘占国, 王波, 等. 柴达木盆地腹部中央古隆起的形成演化及油气勘探意义[J]. *海相油气地质*, 2023, 28(3): 269-279.
- ZHU Chao, LIU Zhanguo, WANG Bo, et al. Formation and evolution of the central paleouplift and its significance for oil-gas exploration in Qaidam Basin [J]. *Marine Origin Petroleum Geology*, 2023, 28(3): 269-279.
- [19] 郭泽清, 龙国徽, 周飞, 等. 咸化湖盆页岩油地质特征及资源潜力评价方法——以柴西坳陷下干柴沟组上段为例[J]. *地质学报*, 2023, 97(7): 2425-2444.
- GUO Zeqing, LONG Guohui, ZHOU Fei, et al. Geological characteristics and resource evaluation method for shale oil in a salinized lake basin: A case study from the upper member of the Lower Ganchaigou Formation in western Qaidam Depression [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2023, 97(7): 2425-2444.
- [20] 吴婵, 阎存凤, 李海兵, 等. 柴达木盆地西部新生代构造演化及其对青藏高原北部生长过程的制约[J]. *岩石学报*, 2013, 29(6): 2211-2222.
- WU Chan, YAN Cunfeng, LI Haibing, et al. Cenozoic tectonic evolution of the western Qaidam Basin and its constrain on the growth of the northern Tibetan Plateau [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2013, 29(6): 2211-2222.
- [21] 潘家伟, 李海兵, 孙知明, 等. 阿尔金断裂带新生代活动在柴达木盆地中的响应[J]. *岩石学报*, 2015, 31(12): 3701-3712.
- PAN Jiawei, LI Haibing, SUN Zhiming, et al. Tectonic responses in the Qaidam Basin induced by Cenozoic activities of the Altyn Tagh fault [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2015, 31(12): 3701-3712.
- [22] 苏爱国, 陈志勇, 梁狄刚, 等. 青藏高原油气形成[M]. 北京: 地质出版社, 2006.
- SU Aiguo, CHEN Zhiyong, LIANG Digang, et al. Oil-gas formation in Qinghai-Tibet Plateau [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2006.
- [23] 楼谦谦, 肖安成, 钟南翀, 等. 大型陆相坳陷型沉积盆地原型恢复方法——以新生代柴达木盆地为例[J]. *岩石学报*, 2016, 32(3): 892-902.
- LOU Qianqian, XIAO Ancheng, ZHONG Nanchong, et al. A method of prototype restoration of large depressions with terrestrial sediments: A case study from the Cenozoic Qaidam Basin [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2016, 32(3): 892-902.
- [24] 郭泽清, 马寅生, 易士威, 等. 柴西地区古近系-新近系含气系统模拟及勘探方向[J]. *天然气地球科学*, 2017, 28(1): 82-92.
- GUO Zeqing, MA Yinsheng, YI Shiwei, et al. Simulation and exploration direction of Paleogene-Neogene gas system in the western Qaidam Basin [J]. *Natural Gas Geoscience*, 2017, 28(1): 82-92.
- [25] 徐凤银, 尹成明, 巩庆林, 等. 柴达木盆地中、新生代构造演化及其对油气的控制[J]. *中国石油勘探*, 2006, 11(6): 9-16, 37.
- XU Fengyin, YIN Chengming, GONG Qinglin, et al. Mesozoic-Cenozoic structural evolution in Qaidam Basin and its control over oil and gas [J]. *China Petroleum Exploration*, 2006, 11(6): 9-16, 37.
- [26] 汤良杰, 金之钧, 张明利, 等. 柴达木盆地构造古地理分析[J]. *地学前缘*, 2000, 7(4): 421-429.
- TANG Liangjie, JIN Zhijun, ZHANG Mingli, et al. An analysis on tectono-paleogeography of the Qaidam Basin, NW China [J]. *Earth Science Frontiers*, 2000, 7(4): 421-429.
- [27] 谢丽, 李军, 马建海. 成像测井技术在柴达木盆地藻灰岩储层评价中的应用[J]. *中国石油勘探*, 2006, 11(6): 71-76.
- XIE Li, LI Jun, MA Jianhai. Application of FMI image technique in evaluating algae limestone reservoir in Qaidam Basin [J]. *China Petroleum Exploration*, 2006, 11(6): 71-76.
- [28] 熊鹰, 伍坤宇, 谭秀成, 等. 湖平面升降对混积咸化湖盆碳酸盐岩储集层的控制: 以柴达木盆地英西地区古近系下干柴沟组上段为例[J]. *古地理学报*, 2018, 20(5): 855-868.
- XIONG Ying, WU Kunyu, TAN Xiucheng, et al. Influence of lake-level fluctuation on the mixed saline lacustrine carbonate reservoir: A case study from the Upper Member of Paleogene Lower Ganchaigou Formation in the Yingxi area of Qaidam Basin [J]. *Journal of Palaeogeography*, 2018, 20(5): 855-868.
- [29] 乔艳萍, 谭秀成, 刘耘, 等. 咸化湖盆高频湖平面升降特征及地质意义——以柴达木盆地英西地区下干柴沟组上段为例[J]. *沉积学报*, 2020, 38(6): 1152-1165.
- QIAO Yanping, TAN Xiucheng, LIU Yun, et al. Characteristics of high-frequency lake-level fluctuations in the saline lacustrine basin and its geological significance: A case study from the upper member of the Paleogene Lower Ganchaigou Formation in the Yingxi area, Qaidam Basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2020, 38(6): 1152-1165.
- [30] 张勤学, 杨乾政, 张霞, 等. 大风山风西构造下油砂山组藻灰岩储层分析[J]. *新疆地质*, 2014, 32(4): 505-508.
- ZHANG Qinxue, YANG Qianzheng, ZHANG Xia, et al. The reservoir characteristic of Xiayoushashan formation in the Fengxi structure of Dafeng mountain [J]. *Xinjiang Geology*, 2014, 32(4): 505-508.
- [31] 李国欣, 朱如凯, 张永庶, 等. 柴达木盆地英雄岭页岩油地质特征、评价标准及发现意义[J]. *石油勘探与开发*, 2022, 49(1): 18-31.
- LI Guoxin, ZHU Rukai, ZHANG Yongshu, et al. Geological characteristics, evaluation criteria and discovery significance of Paleogene Yingxiogling shale oil in Qaidam Basin, NW China [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2022, 49(1): 18-31.