

引用格式:王然,何文军,赵辛楣,等.准噶尔盆地吉174井芦草沟组页岩油地质剖面分析[J].油气藏评价与开发,2022,12(1):192-203.

WANG Ran, HE Wenjun, ZHAO Xinmei, et al. Geological section analysis of shale oil in Lucaogou Formation of Well-Ji-174, Junggar Basin[J]. Petroleum Reservoir Evaluation and Development, 2022, 12(1): 192-203.

DOI:10.13809/j.cnki.cn32-1825/te.2022.01.017

准噶尔盆地吉174井芦草沟组页岩油地质剖面分析

王然,何文军,赵辛楣,刘国良,周作铭,赵毅

(中国石油新疆油田分公司勘探开发研究院,新疆克拉玛依834000)

摘要:吉174井是准噶尔盆地吉木萨尔凹陷芦草沟组页岩油储层取心最长、资料最多的探井,其“铁柱子”的建立对于页岩油纵向特征的研究具有重要意义。研究发现:储层岩性以碎屑岩和碳酸岩混杂的过渡岩性为主,纵向变化快;岩相反映向上水体逐渐增深的半深—深湖相沉积环境;储层平均孔隙度为11.1%,平均渗透率为 $0.056 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,属于中—低孔、低渗—特低渗储层;储层白云石和砂质含量与物性、含油性呈正相关;发育上、下2套甜点体,上“甜点”储集层岩性主要为砂屑云岩,发育溶蚀孔发育型储集空间,厚度为24 m;下“甜点”储集层岩性主要为粉细砂岩、云屑砂岩和云质粉砂岩,储集空间主要为裂缝—孔隙型,厚度35 m;2套甜点体有利区面积为1 299 km²,展现芦草沟组页岩油具备规模勘探潜力。

关键词:页岩油;甜点体;地质特征;芦草沟组;准噶尔盆地

中图分类号:TE121

文献标识码:A

Geological section analysis of shale oil in Lucaogou Formation of Well-Ji-174, Junggar Basin

WANG Ran, HE Wenjun, ZHAO Xinmei, LIU Guoliang, ZHOU Zuoming, ZHAO Yi

(Institute of Exploration and Development, PetroChina Xinjiang Oilfield Company, Karamay, Xinjiang 834000, China)

Abstract: Well-Ji-174 is an exploration well with the longest core extraction and the most data in the shale oil reservoir of Lucaogou Formation in Jimusar sag, Junggar Basin. The establishment of the “iron pillar” is of great significance to the studies of the shale oil longitudinal characteristics. It is found that the lithology of reservoir is mainly transitional lithology mixed with clastic rock and carbonate rock, and changes quickly in the longitudinal direction. The lithofacies reflects the semi-deep to deep lacustrine sedimentary environment with gradually deepening upward water body. The average porosity and permeability of the reservoir are 11.1 % and $0.056 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, respectively, which make the reservoir presents the characteristics of medium-low porosity, low-permeability and ultra-low permeability. The dolomite and sand content of the reservoir are positively correlated with the physical property and oil content. The upper and lower sweet spots are developed. The main lithology of the upper sweet spot is clastic dolomite, allowing the formation of the reservoir space with developed dissolution pores and a thickness of 24 m. The main lithology of the lower one is fine siltstone, dolomite sandstone and dolomite siltstone, whose reservoir space with thickness of 35 m is mostly fissures and pores. The favorable area of these two sweet spots covers an area of 1 299 km², indicating that the shale oil in Lucaogou Formation has large-scale exploration potential.

Keywords: shale oil; sweet spot; geological characteristics; Lucaogou Formation; Junggar Basin

中国页岩油资源丰富,分布范围广^[1],据美国能源信息署(EIA)预测^[2],中国页岩油技术可采资源量达 $44.8 \times 10^8 \text{t}^{[3]}$,地质资源总量为 $(106.7 \sim 115.5) \times 10^8 \text{t}^{[4]}$,位居世界第3位^[5]。重点包括鄂尔多斯盆地三叠系延长组^[6]、四川盆地侏罗系^[7]、渤海湾盆地沙河街组、

准噶尔盆地二叠系芦草沟组等。

准噶尔盆地吉木萨尔凹陷芦草沟组发育咸化湖盆环境中形成的细粒混积云质岩,是盆地最主要的烃源岩之一^[8],其沉积厚度大、面积广,厚度大于200 m的面积达806 km²,预测页岩油地质储量达 $10 \times 10^8 \text{t}$,

收稿日期:2021-11-17。

第一作者简介:王然(1986—),女,硕士,工程师,主要从事地质勘探综合研究工作。地址:新疆维吾尔自治区克拉玛依市准噶尔路30号新疆油田分公司勘探开发研究院,邮政编码:834000。E-mail: nature6623@163.com

是在玛湖三叠系百里油区之后又一重点勘探领域。“铁柱子”是区域页岩甜点体特征确定和四性关系研究的关键,因此,对吉174井芦草沟组全井段岩心进行地层序列、关键界面、岩石组合、沉积构造等方面进行精细研究。

1 地质背景

1.1 钻井剖面位置

吉174井位于准噶尔盆地东部吉木萨尔凹陷东南斜坡(图1)。全井设计取心312 m,二叠系芦草沟组连续取心30筒290 m,获油浸级岩心1.40 m,油斑级岩心13.07 m,油迹级岩心21.16 m,荧光级岩心203.11 m;二叠系井井子沟组取心7筒57.60 m,获油浸级岩心0.37 m,油斑级岩心7.82 m,油迹级岩心4.22 m,荧光级岩心1.62 m。

1.2 区域构造—沉积特征

吉木萨尔凹陷位于准噶尔盆地东部,是一个相对独立的箕状凹陷^[9],凹陷内构造平缓,地形单一,总面积约1 278 km²^[10]。吉木萨尔凹陷二叠系芦草沟组在北、西、南3面由吉木萨尔断裂、青1井南1号断裂、西地断裂、三台断裂和后堡子断裂所围限^[11],向东部逐渐变薄呈尖灭特征^[10]。芦草沟组沉积最厚区在中南部,向西呈宽缓带状展布,向东、南急速减薄,向北减薄较缓。

1.3 源岩—储层特征

芦草沟组烃源岩平均有机碳为5.16%、平均生烃潜量(S_1+S_2)为20.98 mg/g,有机质类型以I型与II₁型为主,埋藏深度适中,介于1 500~4 500 m,镜质体反射率(R_o)值介于0.78%~0.98%,随着深度的增加源岩成熟度增加,厚度大、分布广,是盆地内品质最好的烃源岩之一^[12]。芦草沟组烃源层在侏罗纪末期开始进入生油阶段,在白垩纪—现今进入生油、排油高峰期^[13],油气持续充注。优质烃源岩层与储集层频繁互层,具有较强的非均质性。储层具有分布面积大、有效厚度大、低孔、特低渗的特点。蕙克来等^[14]、胡文瑄等^[15]和匡立春等^[16]研究发现:该套地层岩石矿物成分复杂、岩石组分多样,有机质组分、陆源碎屑组分、碳酸盐组分及火山碎屑组分混积而成,受机械沉积作用、化学沉积作用等共同影响。

2 吉174井地质特征

2.1 吉174井岩心剖面描述

吉174井岩心剖面纵向发育特征及分层岩性描述(图2、图3)如下:

芦草沟组二段一砂层组($P_2J_2^1$):3 103.0~3 109.0 m,厚6.0 m

38)深灰色荧光含陆屑云质、粉砂质泥岩,水平层理,岩石致密,岩性厚度为7.00 m;

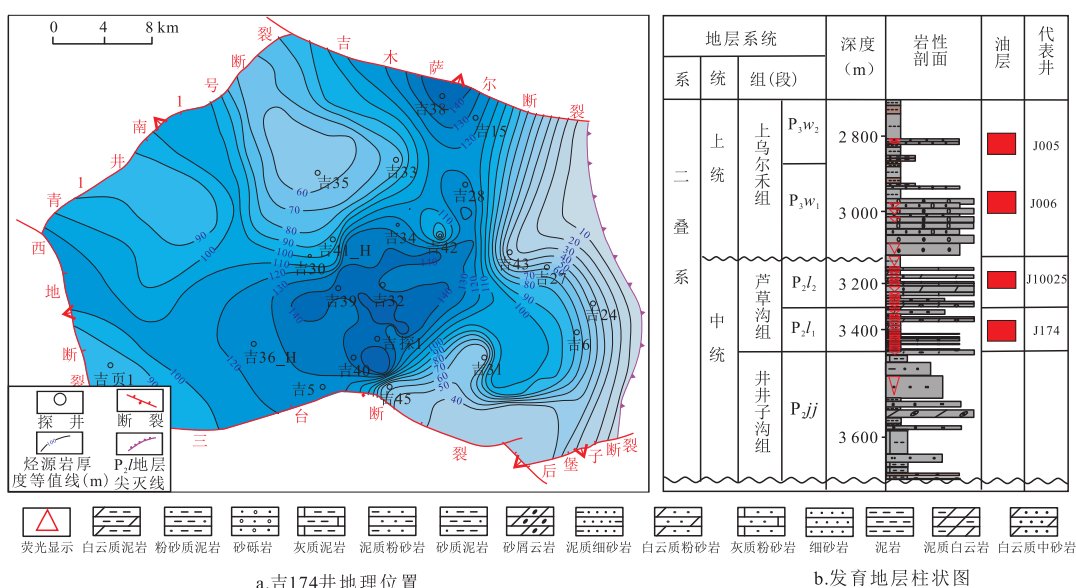


图1 准噶尔盆地吉174井地理位置及发育地层柱状图

Fig. 1 Geographic location and stratigraphic histogram of Well-Ji-174 in Junggar Basin

错层理,见平行层面虫孔,发育缝合线,云岩中溶蚀孔洞发育,孔洞见油渗出,岩性厚度为6.84 m;

35)深灰色荧光、油迹和油斑粉砂质泥岩、凝灰质泥岩夹泥晶白云岩、砂屑白云岩及泥质粉砂岩,炭质泥岩见植物茎干化石,顺层分布的黄铁矿条带,低缓波痕层理、水平层理,生物扰动强,发育大量平行层

面小虫孔,局部见缝合线和裂缝,岩性厚度为8.09 m;

34)灰色荧光、油迹、油斑和油浸砂屑白云岩、泥晶白云岩夹粉砂质泥岩、白云质泥岩及少量灰质粉砂岩、细砂岩,鱼类、贝壳等生物化石较多,波状及水平层理,白云岩中裂缝及溶蚀孔洞发育,局部生物扰动,虫孔发育,岩性厚度为18.54 m;

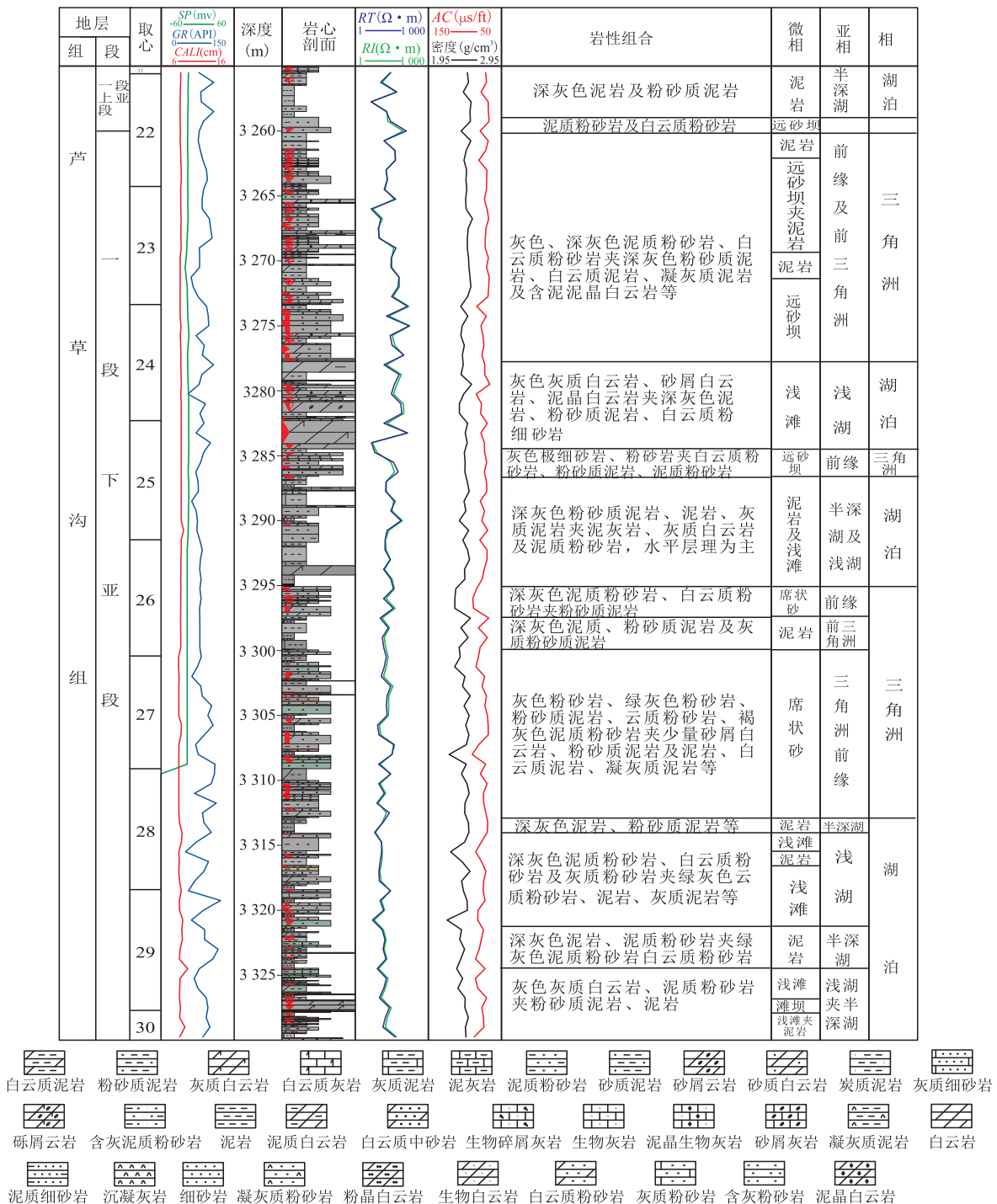


图3 吉174井芦草沟组一段岩心剖面

Fig. 3 Core section of 1st member of Lucaogou Formation in Well-Ji-174

33)深灰色荧光、油迹和油斑泥岩、粉砂质泥岩、凝灰质泥岩夹砂屑白云岩、灰质白云岩,见生物碎屑,水平层理和平行层理,生物扰动强,见缝合线及垂直层面裂缝,顺层溶蚀孔洞发育,岩性厚度为3.88 m;

32)深灰色荧光、油迹、油斑和油浸灰质粉砂岩、泥质粉砂岩、白云岩夹粉砂质泥岩、灰质泥岩等,波痕层理、平行层理和小型交错层,平行层理缝合线和垂直裂缝发育,局部见生物扰动,少量溶蚀孔洞,岩性厚度为4.07 m;

31)深灰色荧光、油迹和油斑粉砂质泥岩、云及灰质泥岩夹生屑灰岩、白云岩等,少量黄铁矿团块,水平层理,生物扰动,层理欠清晰,少许垂直缝,顺层溶蚀孔洞发育,部分溶孔被泥质等充填,岩性厚度为8.19 m;

30)深灰色荧光泥岩、云岩和灰岩互层,见黄铁矿扁平结核,生物碎屑及螺、鱼等化石碎片,水平层理,生物扰动强,少量水平及高角度裂缝,溶蚀孔洞发育,岩性厚度为3.68 m;

29)灰色、深灰色荧光、油斑、油浸泥质、云质粉砂岩夹粉砂质泥岩等,黄铁矿结核,化石碎片,层理不清,生物扰动强,平行层面虫孔发育,见垂直层面裂缝和顺层面缝,多被粉砂、泥充填,岩性厚度为5.42 m;

28)灰色、深灰色、灰绿色和褐灰色荧光、油迹、油斑、油浸、含油粉砂质、灰质、云质泥岩夹粉砂岩等,见化石碎片和黄铁矿,大量鱼鳞化石印膜,水平纹层发育,生物扰动强,见较多溶蚀孔洞,平行层面裂纹发育,油顺裂隙渗出,岩性厚度为11.20 m;

27)深灰色荧光灰质泥岩夹薄层粉砂岩等,见大量黄铁矿,水平纹层发育,生物扰动强烈,高角度张裂缝、不规则裂缝发育,多被泥质充填,岩性厚度为3.24 m;

26)灰色、深灰色荧光云质泥岩与泥质云岩互层,,偶见方解石分散状分布,水平纹层发育,生物扰动强烈,虫孔发育,高角度张裂缝、缝合线常见,多被云质充填,岩性厚度为3.21 m;

25)灰色、深灰色荧光、油迹灰质、云质、粉砂质泥岩,星点状分布方解石,少量黄铁矿结核,发育黑色发亮有机质,水平层理、平行层理和变形层理,生物扰动强烈见虫孔,见水平裂缝、垂直层面裂缝、缝合线,岩性厚度为6.33 m;

----- 整合 -----

芦草沟组一段一砂层组($P_2I_1^1$):3 204.0~3 260.0 m,厚56.0 m

24)灰色、深灰色荧光、油迹灰质、云质泥岩夹薄层云岩、粉砂岩等,黄铁矿呈星点状分布,水平层理、平行层理,生物扰动,虫孔发育,垂直层面裂缝发育,岩性厚度为7.08 m;

23)灰色、深灰色荧光、油迹灰质、云质泥岩,大量的方解石集合体顺层分布,黄铁矿结核,水平纹层发育,生物扰动强烈,虫孔发育,不规则裂纹、缝合线及溶蚀孔洞常见,被方解石、沸石充填,岩性厚度为13.20 m;

22)深灰色荧光泥质云岩及白云质泥岩互层,水平层理、平行层理和纹层状构造,见不规则溶洞,生物扰动见虫孔,有垂直及斜交层面裂纹、缝合线,见原油析出,岩性厚度为8.39 m;

21)灰色、深灰色荧光、油迹、油斑灰质、白云质、粉砂质泥岩,见黄铁矿结核,水平层理、波痕层理,生物扰动、虫孔,内见不规则裂隙、直劈缝和缝合线,溶蚀孔洞较发育,充填方解石等,油顺层面、缝隙渗出,岩性厚度为21.60 m;

20)灰色泥质粉砂岩,波痕层理,见缝合线2条,顺层分布溶孔,见油迹,岩性厚度为1.06 m;

19)深灰色泥岩及粉砂质泥岩,见大量白色星点状碳酸盐矿物,含黄铁矿结核,水平层理、粒序层理与小波痕层理、见一初倒C字平卧褶皱,大量生物扰动,溶蚀孔洞内有油渗出,岩性厚度为3.26 m;

18)泥质粉砂岩及白云质粉砂岩,顺层分布白色碳酸盐矿物集合体斑点,水平层理和平行层理,缝合线2条,局部见油迹,岩性厚度为1.41 m;

----- 整合 -----

芦草沟组一段二砂层组($P_2I_1^2$):3 360.0~3 260.0 m,厚100.0 m

17)灰色、深灰色泥质粉砂岩、白云质粉砂岩夹深灰色粉砂质泥岩、白云质泥岩、凝灰质泥岩及含泥晶白云岩等,偶夹泥灰岩纹层,层间具侵蚀现象,裂缝见油渗出,水平层理、波痕层理、小型交错层理和平行层理,见大量孔洞,部分高角度裂缝,顺层面及裂缝见油持续大量渗出,岩性厚度为17.63 m;

16)灰色灰质白云岩、砂屑白云岩、泥晶白云岩夹深灰色泥岩、粉砂质泥岩、白云质粉砂岩,见顺层分布白色斑点矿物,平行层理、水平层理和波痕层理,溶蚀呈孔洞,裂缝偶见油迹,层理面见油渗出,岩性厚度为6.80 m;

15)灰色极细砂岩、粉砂岩夹白云质粉砂岩、粉

砂质泥岩、泥质粉砂岩,见顺层分布的碳酸盐条带,波痕层理和平行层理,局部变形层理,团块状黄铁矿,见部分裂缝,有油渗出,岩性厚度为1.92 m;

14)深灰色粉砂质泥岩、泥岩、灰质泥岩夹泥灰岩、灰质白云岩及泥质粉砂岩,夹白色斑点状、透镜状碳酸盐岩矿物,水平层理和波痕层理,见黄铁矿透镜体顺层分布,见部分顺层裂缝和雁裂缝,缝面和层面均有油斑分布,岩性厚度为8.40 m;

13)深灰色泥质粉砂岩、白云质粉砂岩夹粉砂质泥岩,见少量白色斑点状盐类矿物组成的条带及灰质透镜体,水平层理,顺层裂缝和雁裂缝发育,局部见溶孔,均有油渗出,见黄铁矿斑块,岩性厚度为2.89 m;

12)深灰色泥质、粉砂质泥岩及灰质粉砂质泥岩,夹白色斑点状盐类矿物组成的条带及灰质透镜体,水平层理,顺层裂缝、高角度裂缝和雁裂缝发育,局部见顺层生物扰动,顺层分布的黄铁矿团块,岩性厚度为3.35 m;

11)灰色粉砂岩、绿灰色粉砂岩、粉砂质泥岩、云质粉砂岩、褐灰色泥质粉砂岩夹少量砂屑白云岩、粉砂质泥岩及泥岩、白云质泥岩、凝灰质泥岩等,见近水平方向的裂缝及雁裂缝,下部夹深灰色泥质条带,顺层扰动,雁裂缝数组,有油渗出,达油浸级别,表面见溶孔、溶坑,顺层分布的黄铁矿团块,岩性厚度为12.05 m;

10)深灰色泥岩、粉砂质泥岩等,水平层理,顺层微裂缝多,见较多白色斑点的溶孔或未充填孔,夹0.5 cm厚的灰质条带,断面见零星黄铁矿,见雁裂缝一组(2条),岩性厚度为1.15 m;

9)深灰色泥质粉砂岩、白云质粉砂岩及灰质粉砂岩夹绿灰色云质粉砂岩、泥岩、灰质泥岩等,夹1 cm厚的黄铁矿层,顺层分布黄铁矿团块,油从黄铁矿和围岩间的缝中渗出,水平层理,广泛发育的白色斑点(方解石及盐类矿物),局部顺层生物扰动,见顺层裂缝和穿层的泄水缝(盐类充填),发育雁裂缝一组(4条),顺层有油斑点状渗出,岩性厚度为7.15 m;

8)深灰色泥岩、泥质粉砂岩夹绿灰色泥质粉砂岩白云质粉砂岩,生物扰动强烈致层理不清晰,不规则裂缝多,顺层分布黄铁矿团块,局部见针孔,油从水平及中低角度裂缝呈点状渗出,向上灰质变少,云质增多,岩性厚度为3.38 m;

7)灰色灰质白云岩、泥质粉砂岩夹粉砂质泥岩,水平层理,局部顺层生物扰动,顺层分布的黄铁矿团

块,不规则裂缝多,局部见小针孔,泥岩纹层中夹粉砂岩透镜体,见小错断,顺层凹坑多,岩性厚度为3.15 m;

6)灰色至灰黑色荧光、油迹、油斑泥质、灰质粉砂岩夹薄层泥岩,水平层理,垂直小裂缝和顺层裂缝发育,灰质条带,顺层黄铁矿团块,顺层溶坑,岩性厚度为2.95 m;

5)灰色、深灰色、绿灰色至灰黑色荧光、油迹、油斑、油浸灰质、粉砂质泥岩夹薄层砾岩和粉砂岩,水平层理,生物扰动,虫孔发育,顺层黄铁矿团块,顺层和高角度裂缝见油渗出,见沥青擦痕,岩性厚度为10.69 m;

4)深灰色荧光、油迹、油斑泥岩,水平层理,含大量白色盐类矿物,顺层见黄铁矿团块,鱼化石碎片,轻微液化,直劈缝方解石充填,见水平微裂缝,断面及缝面含油级别增高,岩性厚度为3.72 m;

3)深灰色至灰黑色荧光薄层粉砂质、灰质泥岩夹灰质粉砂岩,水平层理,鱼化石碎片,直劈缝少量,部分充填方解石和灰质,粉砂岩、砂岩轻微液化变形,岩性厚度为14.77 m;

----- 平行不整合 -----

井井子沟组(P_{2j}): 3 368.46 ~ 3 360.00 m, 厚8.46 m

2)灰至灰浅、灰色荧光灰质粉砂岩和泥质粉砂岩不等厚互层,水平层理,直劈缝发育,部分被灰质充填,向上灰质含量变少,岩性厚度为3.13 m;

1)灰至深灰色荧光厚层状含灰粉砂质泥岩,水平层理,层内裂缝发育,方解石充填裂缝,岩性厚度为5.33 m。

2.2 岩性与沉积旋回

对吉174井芦草沟组全井段系统取芯开展岩性分析。认为芦草沟组岩性主要为一套咸化湖泊沉积^[17],受机械沉积作用、化学沉积作用及生物沉积等作用,沉积的粉细砂、泥、碳酸盐的混积岩(图4)。储层岩石学特征可用“三多”来描述:一是岩性多变,纵向上岩性变化快,多呈薄层状的互层分布。吉174井第四筒岩心总长为8.5 m,岩性突变46次,平均1 m突变5.41次;二是矿物类型多样,碎屑岩和化学岩的造岩矿物共存。139块全岩矿物X射线衍射资料表明,机械沉积的主要矿物成分为石英、斜长石和黏土类矿物。黏土矿物的类型主要为绿蒙混层、伊蒙混层矿物;化学沉积的主要矿物类型为白云石和方解石。值得说明的是,黄铁矿虽然多见,但多呈团块状分

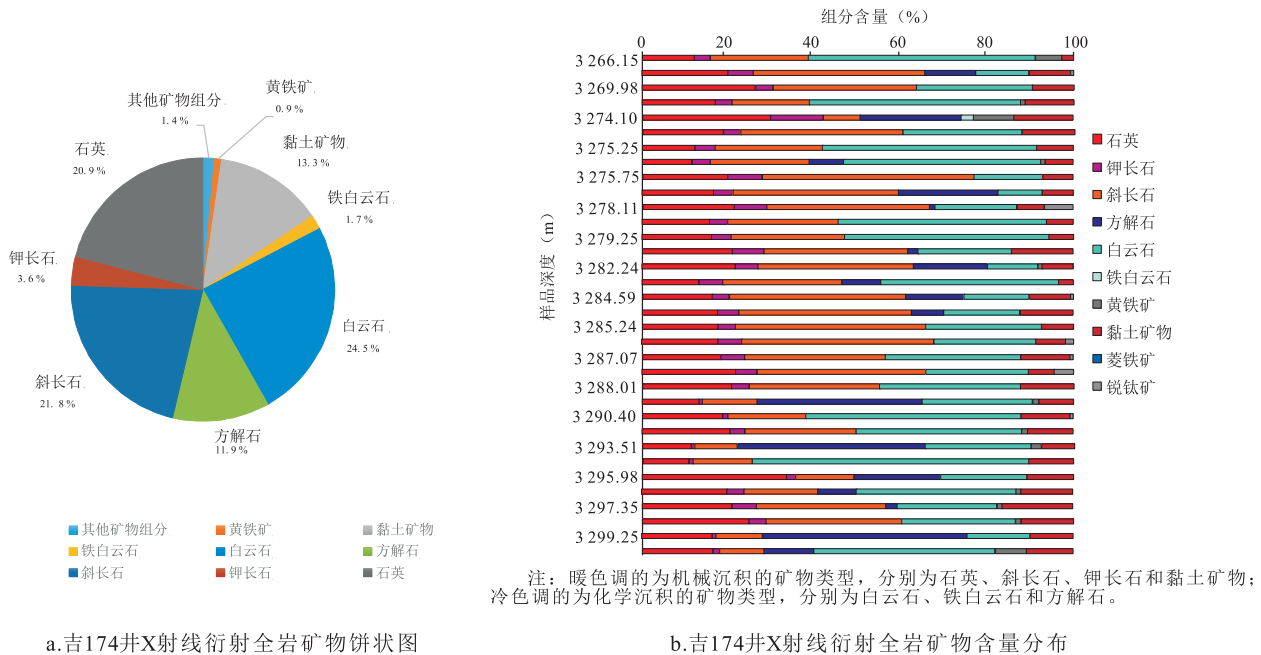


图4 吉174井矿物分布含量

Fig. 4 Mineral composition and content in Well-Ji-174

布,含量相对较低。另外,可见少量的钠长石和方沸石;三是多为碎屑岩和化学岩的过渡性岩类,几乎所有分析样品均为过渡性岩类。据统计,含白云石岩类出现的频次占比高达74.15%,反映芦草沟组整体上碳酸盐含量较高,脆性较好,有利于进行大规模改造,具有较大勘探潜力。

吉174井芦草沟组“铁柱子”表明芦草沟组可划分为上、下两段(图5),芦草沟组二段(P_2L_2)和芦草沟组一段(P_2L_1)两套致密型砂泥岩正旋回储盖组合。从纵向岩性变化看,芦草沟组形成于残留海封闭后的咸化湖盆沉积环境,沉积相以半深湖—浅湖相沉积为主,局部为滨浅湖或滩坝(如生屑滩、砂屑滩或砂质浅滩),中下部有少量的三角洲前缘远砂坝或席状砂。在湖盆边缘往往形成以砂质为主的云质砂岩类储层,向湖盆中心则形成云质岩为主的砂质白云岩、泥质白云岩。纵向上反映水动力向上变弱,水体加深。整体粒级普遍较细,粉砂岩类与泥岩类互层切换,反映湖盆频繁震荡,烃源岩、储层的互层式分布,为源储一体的页岩油藏形成提供了有利沉积条件。

2.3 物性与含油性特征

吉174井35块样品孔隙度介于2.93%~16.06%,

平均为11.1%;渗透率介于 $(0.002 \sim 0.64) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均为 $0.53 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,属于中—低孔、低渗—特低渗储层。其中,不同岩性存在物性差异,砂岩、粉砂岩类孔隙度平均为11.9%,渗透率平均为 $0.41 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$;泥质粉砂岩孔隙度平均为7.36%,渗透率平均为 $1.04 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$;云质粉砂岩孔隙度平均为10.05%,渗透率平均为 $0.10 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$;粉砂质泥岩孔隙度平均为7.28%,渗透率平均为 $0.07 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$;泥岩孔隙度平均为5.75%,渗透率平均为 $0.05 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$;云质泥岩孔隙度平均为6.42%,渗透率平均为 $0.02 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$;砂屑云岩孔隙度平均为9.67%,渗透率平均为 $0.42 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$;粉砂质云岩孔隙度平均为7.36%,渗透率平均为 $1.84 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$;泥质云岩孔隙度平均为5.89%,渗透率平均为 $0.09 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$;白云岩孔隙度平均为7.86%,渗透率平均为 $1.26 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。含泥质或泥岩类物性普遍较差,粉砂岩、云质砂岩和砂屑云岩类物性相对较好,可见储集层物性受白云石及砂质含量影响。

岩心采取近等间距(约0.5 m)选取310块岩石样品分析,储层岩性控制物性,物性控制含油性,物性越好,含油性越好(图6)。荧光级别岩心孔隙度小于5%,渗透率小于 $0.003 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$;油迹级别岩心孔隙

“甜点”称为甜点体。据分析吉174井岩性、含油性特征发现芦苇沟组发育上、下2套甜点体,上甜点体由8个“甜点”构成,厚度24 m;下甜点体由7个“甜点”构成,厚度35 m。

上“甜点”储集层岩性主要为砂屑云岩,发育溶蚀孔发育型储集空间(图7)。滨、浅湖区由于受阶段

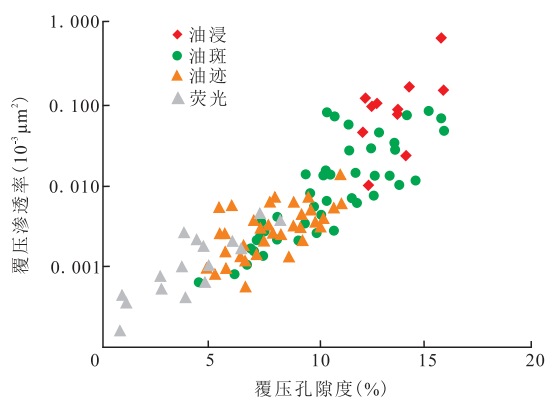


图6 岩心描述含油级别与孔渗关系

Fig. 6 Relation between oil level, porosity and permeability in core description

性湖面波动的影响,部分已固结的云质岩露出水面,受淡水淋滤的影响发生溶蚀,形成溶蚀孔。上“甜点”覆压孔隙度平均值为9.4%,覆压渗透率平均值为 $0.0637 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$;下“甜点”储集层岩性主要为粉细砂岩、云屑砂岩和云质粉砂岩。储集空间主要为砂岩中不稳定的钠长石溶蚀形成的粒间溶蚀孔隙。下“甜点”覆压孔隙度平均值为9.3%,覆压渗透率平均值为 $0.0231 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。上、下2套甜点体的渗透率平均值均低于 $0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,孔喉半径多小于 $1 \mu\text{m}$,多介于 $100 \sim 750 \text{ nm}$,扫描电镜下发现大量纳米级孔隙与微裂缝。

3.2 平面展布

根据吉174井芦苇沟组上、下2套甜点体阻抗差异特征,应用工区内21口井的测井资料,对吉木萨尔凹陷地震资料进行了波阻抗反演,与测井对比,得到较为准确的“甜点”分布情况。甜点体在分布范围上具有纵向跨度大、平面分布广的特点,几乎遍布整个凹陷,厚度最大约110 m(图8);连续型分布的页岩油

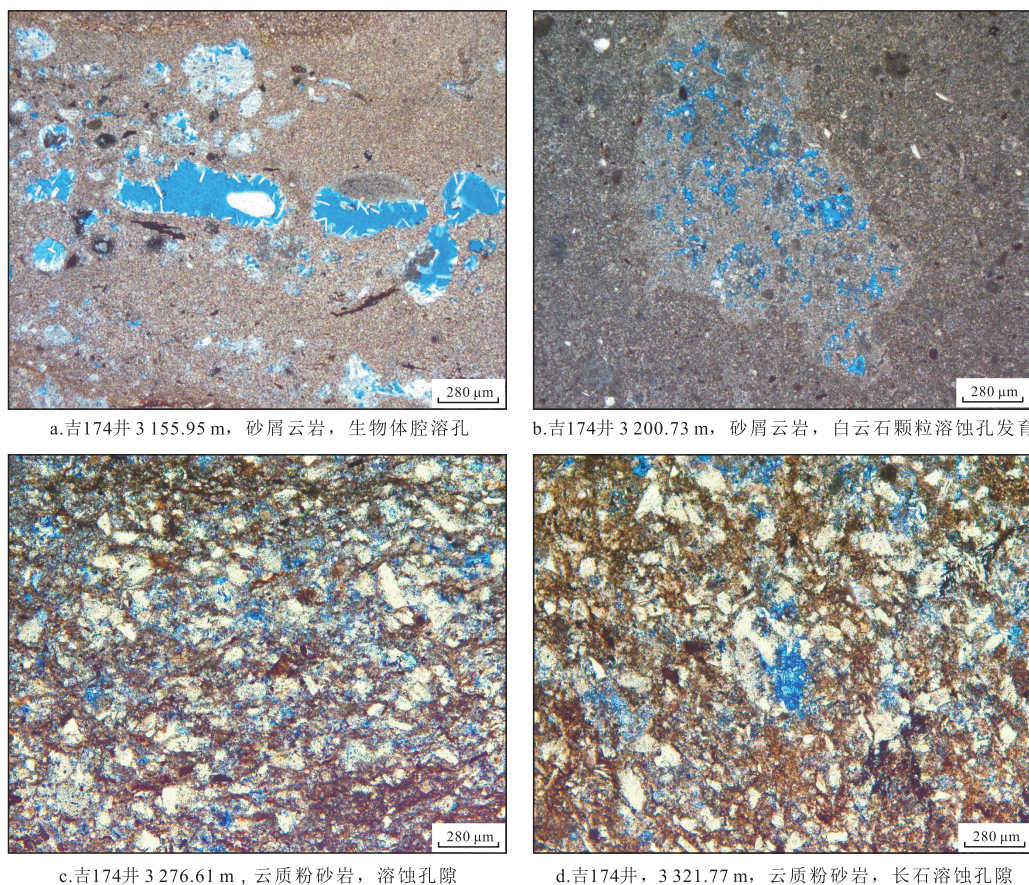
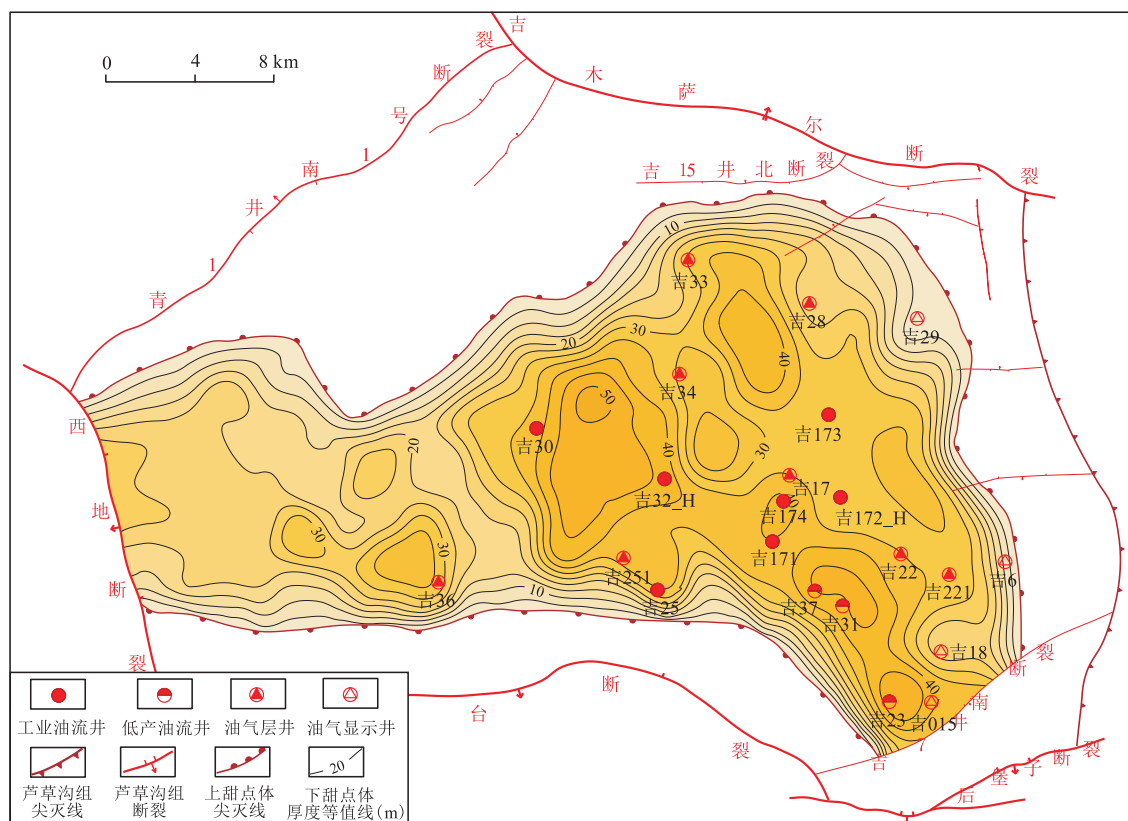
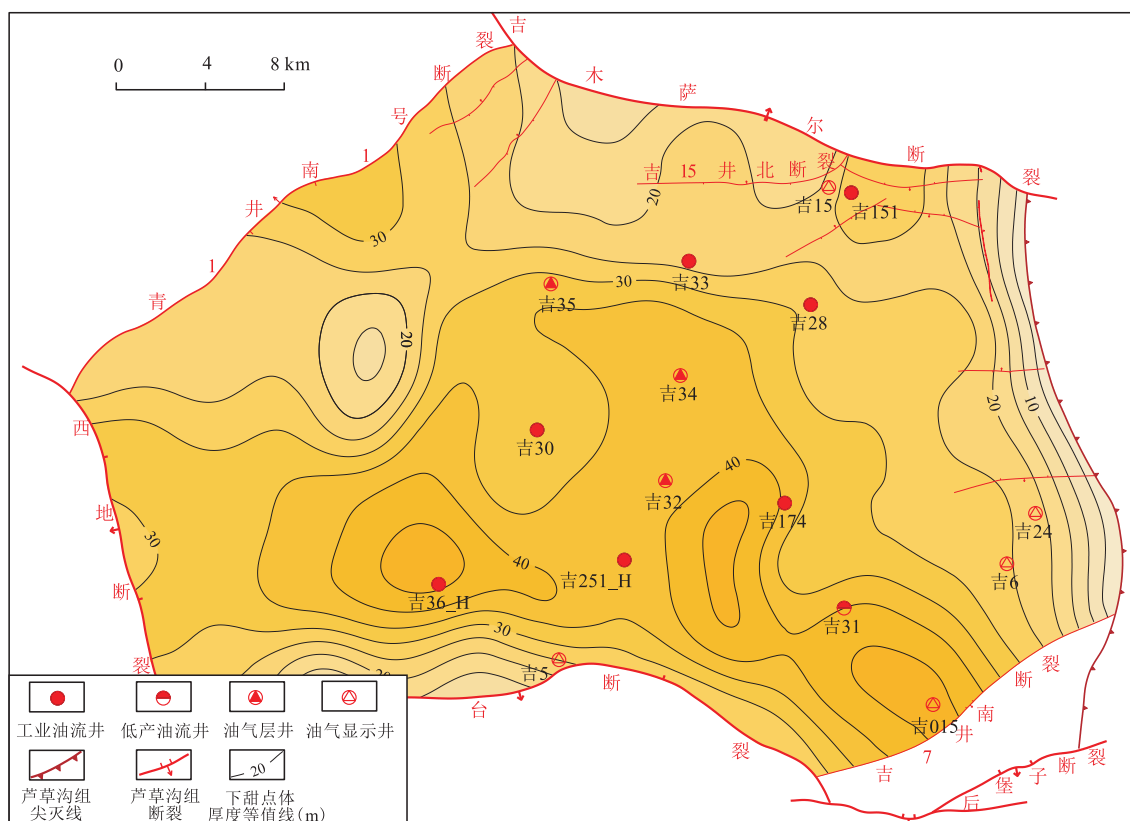


图7 甜点体储集空间类型

Fig. 7 Reservoir space type of different sweet spots



a.上甜点体厚度



储集层与生油岩紧密接触,为源储一体的共生层系,具备高含油条件。纵向上因整体呈湖盆萎缩沉积特征,上甜点体沉积范围小于下甜点体,上甜点体分布于凹陷东部,面积为631 km²,下甜点体面积为1 102 km²。上甜点体厚度大于5 m的有利区面积为428 km²,平均厚度为24 m;下甜点体厚度大于20 m的有利区面积为871 km²,平均厚度为35 m,展现了芦苇沟组规模勘探潜力。

4 结论

1) 芦苇沟组储层受机械沉积作用、化学沉积作用及生物沉积作用共同影响,岩石类型以纹层状湖相碳酸盐岩、泥岩、砂岩及粉细砂、泥、白云石、方解石等混杂的过渡性岩类为主。岩石中碎屑粒径普遍较细,泥质岩烃源层与粉细砂、碳酸盐富集层多呈互层状分布,纵向变化快。沉积相以半深湖—浅湖相沉积为主,中下部有少量的三角洲前缘远砂坝或席状砂,反映向上水体逐渐增深的半深—深湖相沉积环境。

2) 吉174井芦苇沟组页岩油属于中—低孔、低渗—特低渗储层,平均孔隙度为11.1%,平均渗透率为 $0.056 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。主要发育微米级剩余粒间孔、溶蚀孔,以及大量纳米级晶间孔及晶间溶孔。储层白云石和砂质含量与物性、含油性呈正相关。

3) 吉木萨尔凹陷二叠系芦苇沟组存在上、下2套甜点体,具有源储一体,广覆式分布的页岩油特征;上“甜点”储集层岩性主要为砂屑云岩,发育溶蚀孔发育型储集空间,厚度为24 m,有利区面积为428 km²;下“甜点”储集层岩性主要为粉细砂岩、云屑砂岩和云质粉砂岩,储集空间主要为裂缝—孔隙型,厚度为35 m,有利区面积为871 km²,展现规模勘探潜力。

参考文献

- [1] YANG SU Y, MING ZHA M, DING X J, et al. Petrographic, palynologic and geochemical characteristics of source rocks of the Permian Lucaogou Formation in Jimsar Sag, Junggar Basin, NW China: Origin of organic matter input and depositional environments[J]. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 2019, 183.
- [2] DING X J, QU J X, IMIN A, et al. Organic matter origin and accumulation in tuffaceous shale of the lower Permian Lucaogou Formation, Jimsar Sag[J]. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 2019, 179.
- [3] WANG J, CAO Y C, LIU K Y, et al. Fractal characteristics of the pore structures of fine-grained, mixed sedimentary rocks from the Jimsar Sag, Junggar Basin: Implications for lacustrine tight oil accumulations[J]. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 2019, 182.
- [4] YANG Y Q, QIU L W, WAN M, et al. Depositional model for a salinized lacustrine basin: The Permian Lucaogou Formation, Jimsar Sag, Junggar Basin, NW China[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2019, 178.
- [5] ZHA M, WANG S, DING X J, et al. Tight oil accumulation mechanisms of the Lucaogou Formation in the Jimsar Sag, NW China: Insights from pore network modeling and physical experiments[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2019, 178.
- [6] 邹才能,陶士振,杨智,等. 中国非常规油气勘探与研究新进展[J]. *矿物岩石地球化学通报*, 2012, 31(4): 312-322.
ZOU Caineng, TAO Shizhen, YANG Zhi, et al. New advance in unconventional petroleum exploration and research in China[J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 2012, 31(4): 312-322.
- [7] 贾承造,郑民,张永峰. 中国非常规油气资源与勘探开发前景[J]. *石油勘探与开发*, 2012, 39(2): 129-136.
JIA Chengzao, ZHENG Min, ZHANG Yongfeng. Unconventional hydrocarbon resources in China and the prospect of exploration and development[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2012, 39(2): 129-136.
- [8] 张功成,陈新发,刘楼军,等. 准噶尔盆地结构构造与油气田分布[J]. *石油学报*, 1999, 20(1): 13-18.
ZHANG Gongcheng, CHEN Xinfa, LIU Loujun, et al. Structure and gas field distribution in Junggar basin[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 1999, 20(1): 13-18.
- [9] 何登发,陈新发,张义杰,等. 准噶尔盆地油气富集规律[J]. *石油学报*, 2004, 25(3): 1-10.
HE Dengfa, CHEN Xinfa, ZHANG Yijie, et al. Enrichment characteristics of oil and gas in Junggar basin[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2004, 25(3): 1-10.
- [10] 马克,刘钰铭,侯加根,等. 陆相咸化湖混合沉积致密储集层致密化机理——以吉木萨尔凹陷二叠系芦苇沟组为例[J]. *新疆石油地质*, 2019, 40(3): 253-261.
MA Ke, LIU Yuming, HOU Jiagen, et al. Densification mechanism of tight reservoirs from mixed sedimentation in saline lacustrine environment: A case study of Permian Lucaogou Formation, Jimsar sag[J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2019, 40(3): 253-261.
- [11] 李书琴,印森林,高阳,等. 准噶尔盆地吉木萨尔凹陷芦苇沟组混合细粒岩沉积微相[J]. *天然气地球科学*, 2020, 31(2): 235-249.
LI Shuqin, YIN Senlin, GAO Yang, et al. Study on sedimentary microfacies of mixed fine-grained rocks in Lucaogou Formation, Jimsar Sag, Junggar Basin[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2020, 31(2): 235-249.
- [12] 蔡忠贤,陈发景,贾振远. 准噶尔盆地的类型和构造演化[J]. *地学前缘*, 2000, 7(4): 431-440.
CAI Zhongxian, CHEN Fajing, JIA Zhenyuan. Types and tectonic evolution of Junggar basin[J]. *Earth Science Frontiers*, 2000, 7(4): 431-440.

- [13] 马铨崢,杨胜来,杨龙,等.准噶尔盆地吉木萨尔凹陷芦草沟组致密储层微观孔隙特征[J].大庆石油地质与开发,2020,39(6):13-20.
MA Quanzheng, YANG Shenglai, YANG Long, et al. Characteristics of the micro-pore in Lucaogou Formation tight reservoir of Jimsar Sag, Junggar Basin[J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2020, 39(6): 13-20.
- [14] 蕙克来,操应长,朱如凯,等.吉木萨尔凹陷二叠系芦草沟组致密油储集层岩石类型及特征[J].石油学报,2015,36(12):1495-1507.
XI Kelai, CAO Yingchang, ZHU Rukai, et al. Rock types and characteristics of tight oil reservoir in Permian Lucaogou Formation, Jimsar Sag[J]. Acta Petrolei Sinica, 2015, 36(12): 1495-1507.
- [15] 胡文瑄,吴海光,王小林.准噶尔盆地吉木萨尔凹陷二叠系芦草沟组致密油储集层岩性与孔隙特征[J].高校地质学报,2013,19(S1):542-544.
HU Wenxuan, WU Haiguang, WANG Xiaolin. Lithology and pores characteristics of tight oil reservoir in Permian Lucaogou Formation, Jimsar Sag, Junggar Basin[J]. Geological Journal of China Universities, 2013, 19(S1): 542-544.
- [16] 匡立春,胡文瑄,王绪龙,等.吉木萨尔凹陷芦草沟组致密油储集层初步研究:岩性与孔隙特征分析[J].高校地质学报,2013,19(3):529-535.
KUANG Lichun, HU Wenxuan, WANG Xulong, et al. Research of the tight oil reservoir in the Lucaogou Formation in Jimusar sag: Analysis of lithology and porosity characteristics[J]. Geological Journal of China Universities, 2013, 19(3): 529-535.
- [17] 王剑,周路,刘金,等.准噶尔盆地吉木萨尔凹陷二叠系芦草沟组酸碱交替成岩作用特征及对页岩储集层的影响[J].石油勘探与开发,2020,47(5):898-912.
WANG Jian, ZHOU Lu, LIU Jin, et al. Acid-base alternation diagenesis and its influence on shale reservoirs in the Permian Lucaogou Formation, Jimusar Sag, Junggar Basin, NW China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2020, 47(5): 898-912.

(编辑 李青)

(上接第191页)

- [23] 符颖,韩林.淹没不整合型层序——一种特殊的加深淹没[J].海相油气地质,2007,12(3):15-20.
FU Ying, HAN Lin. Drowned unconformity sequence: A special type of deepened submerge sequence interface[J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2007, 12(3): 15-20.
- [24] 杜学斌,刘辉,刘惠民,等.细粒沉积物层序地层划分方法初探:以东营凹陷樊页1井沙三下—沙四上亚段泥页岩为例[J].地质科技情报,2016,35(4):1-11.
DU Xuebin, LIU Hui, LIU Huimin, et al. Methods of sequence stratigraphy in the fine-grained sediments: A case from the upper fourth sub-member and the lower third sub-member of the Shahejie Formation in well Fanye 1 of Dongying depression [J]. Geological Science and Technology Information, 2016, 35(4): 1-11.
- [25] 王勇.济阳陆相断陷湖盆泥页岩细粒沉积层序初探[J].西南石油大学学报(自然科学版),2016,38(6):61-69.
WANG Yong. A study on fine sedimentary sequence of shale in the continental rift basin of Jiyang Depression[J]. Journal of Southwest Petroleum University (Science & Technology Edition), 2016, 38(6): 61-69.
- [26] 朱德燕,王学军,郝雪峰,等.东营凹陷泥页岩层序地层划分[J].油气地质与采收率,2016,23(2):52-56.
ZHU Deyan, WANG Xuejun, HAO Xuefeng, et al. Study on sequence stratigraphic division of oil shale in Dongying Sag[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2016, 23(2): 52-56.
- [27] 张顺,刘惠民,陈世悦,等.中国东部断陷湖盆细粒沉积岩岩相划分方案探讨——以渤海湾盆地南部古近系细粒沉积岩为例[J].地质学报,2017,91(5):1108-1109.
ZHANG Shun, LIU Huimin, CHEN Shiyue, et al. Classification scheme for lithofacies of fine-grained sedimentary rocks in faulted basins of eastern China: Insights from the fine-grained sedimentary rocks in Paleogene, Southern Bohai Bay Basin[J]. Acta Geologica Sinica, 2017, 91(5): 1108-1109.
- [28] 刘惠民,孙善勇,操应长,等.东营凹陷沙三段下亚段细粒沉积岩岩相特征及其分布模式[J].油气地质与采收率,2017,24(1):1-10.
LIU Huimin, SUN Shanyong, CAO Yingchang, et al. Lithofacies characteristics and distribution model of fine-grained sedimentary rock in the lower Es₃ member, Dongying sag[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2017, 24(1): 1-10.
- [29] 逢淑伊,操应长,梁超.渤海湾盆地东营凹陷沙四上亚段—沙三下亚段岩相特征及沉积环境——以樊页1井为例[J].石油与天然气地质,2019,40(4):799-809.
PANG Shuyi, CAO Yingchang, LIANG Chao. Lithofacies characteristics and sedimentary environment of Es_{4U} and Es_{3L}: A case study of Well FYI in Dongying sag, Bohai Bay Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2019, 40(4): 799-809.
- [30] 徐伟,陈开远,曹正林,等.咸化湖盆混积岩成因机理研究[J].岩石学报,2014,30(6):1804-1816.
XU Wei, CHEN Kaiyuan, CAO Zhenglin, et al. Original mechanism of mixed sediments in the saline lacustrine basin[J]. Acta Petrologica Sinica, 2014, 30(6): 1804-1816.

(编辑 徐佩)