

## 鄂尔多斯盆地马岭—乔川地区长 6 油层组 油藏分布特征及控制因素

刘志涛<sup>1</sup>, 张晓磊<sup>2,3</sup>, 田亚铭<sup>1</sup>, 郭懿萱<sup>2,3</sup>, 齐诗苇<sup>1</sup>, 邵晓州<sup>2,3</sup>

1. 成都理工大学 地球与行星科学学院, 成都 610059; 2. 中国石油长庆油田分公司勘探开发研究院, 西安 710018;  
3. 低渗透油气田勘探开发国家工程实验室, 西安 710018

[摘要] 基于岩心观察、测井解释及开采数据分析, 结合流体包裹体等测试, 对马岭—乔川地区长 6 油层组的油藏分布特征及控制因素开展研究。研究结果表明, 研究区油藏纵向上主要分布在长 6<sub>3</sub> 油层段, 长 6<sub>2</sub>、长 6<sub>1</sub> 油层段含油性显著变差; 平面上, 长 6<sub>3</sub> 油层段以 L125, B452 和 L411 井区为中心, 油藏团块状分布, 呈两条带沿北西南东向延伸, 油层厚度主要在 5~20 m 之间, 长 6<sub>2</sub>、长 6<sub>1</sub> 油层呈孤立土豆疙瘩状分布, 分布规模小。长 6 油层组油藏以岩性油藏为主, 包裹体均一温度集中在 70~90 °C, 荧光以黄褐色为主, 结合区域埋藏史分析显示该区油藏充注为晚侏罗世和中—晚白垩世, 表现为早期充注。长 6 油层组烃源岩厚度、距离, 砂体砂质碎屑流砂体性质、物性和叠置类型是其形成油气藏的重要影响因素; 长 6<sub>3</sub> 油层段相比长 6<sub>2</sub> 和长 6<sub>1</sub> 油层段具有更靠近烃源岩, 砂质碎屑流成因砂体分布广、孔渗条件好、叠置厚层砂体类型发育等优势。研究区最为有利油藏的勘探目标为长 6<sub>3</sub> 油层段 Y470, L374, B452 等井区附近, 有利勘探区面积达到 517.28 km<sup>2</sup>。

[关键词] 马岭—乔川地区; 长 6 油层组; 油藏分布; 控制因素; 有利区预测

[分类号] P618.13

[文献标志码] A

## Distribution of oil reservoirs and factors controlling them in Chang-6 oil layer in Maling-Qiaochuan area of Ordos Basin

LIU Zhitao<sup>1</sup>, ZHANG Xiaolei<sup>2,3</sup>, TIAN Yaming<sup>1</sup>, GUO Yixuan<sup>2,3</sup>,  
QI Shiwei<sup>1</sup>, Shao Xiaozhou<sup>2,3</sup>

1. College of Earth and Planetary Sciences, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China;  
2. Exploration and Development Research Institute of PetroChina Changqing Oilfield Branch, Xi'an 710018, China;  
3. National Engineering Laboratory for Exploration and Development of Low Permeability Oil and Gas Fields,  
Xi'an 710018, China

[收稿日期] 2023-04-10。

[基金项目] 2017 年省教育厅创新团队项目(17TD0003)。

[第一作者] 刘志涛(1999—), 男, 硕士研究生, 研究方向: 构造油气藏, E-mail: 1791922471@qq.com。

[通信作者] 田亚铭(1978—), 男, 副教授, 研究方向: 油气地质、盆地构造分析, E-mail: 77867941@qq.com。

[引用格式] 刘志涛, 张晓磊, 田亚铭, 等, 2024. 鄂尔多斯盆地马岭—乔川地区长 6 油层组油藏分布特征及控制因素[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 51(3): 379-391.

Liu Z T, Zhang X L, Tian Y M, et al., 2024. Distribution of oil reservoirs and factors controlling them in Chang-6 oil layer in Maling-Qiaochuan area of Ordos Basin[J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 51(3): 379-391.

**Abstract:** This study uses observations of the core, interpretation of data from well logging, and the analysis of data on oil production in combination with fluid inclusion testing to examine the characteristics of distribution of and factors controlling oil reservoirs in the Chang-6 oil layer group in the Maling-Qiaochuan area of the Ordos Basin in China. The results showed that oil reservoirs in the area were longitudinally distributed in the Chang-6<sub>3</sub> oil layer, and the oil contents of the Chang-6<sub>2</sub> and Chang-6<sub>1</sub> oil layers had decreased significantly. On the plane, the Chang-6 oil layer was centered around wells L125, B452, and L411, with a block-like distribution and two zones extending in a northwest-southwest-east direction. The thickness of the oil layer ranged from 5 to 20 m, while the Chang-6<sub>2</sub> and Chang-6<sub>1</sub> oil layers had a small scale of distribution. The uniform temperature of the inclusions was concentrated at 70~90 °C, and they had a primarily yellow-brown fluorescence. This information, in conjunction with the analysis of the regional burial history, showed that oil reservoirs in the area had been filled in the Late Jurassic and Middle-Late Cretaceous. The thickness and distance of the source rock as well as the physical properties and forms of stacking of the sand bodies due to sandy debris flow were important factors influencing the formation of oil and gas reservoirs in the Chang-6 oil layer group. Compared with the Chang-6<sub>2</sub> and Chang-6<sub>1</sub> layers of oil, the Chang-6<sub>3</sub> layer had the advantages of being closer to the source rock, having a wider distribution of sand bodies caused by the flow of sandy debris, good porosity and permeability, and thickly stacked sand bodies. We identified 12 suitable areas for the exploration of oil reservoirs for the Chang-6<sub>3</sub> oil layer, six areas for the Chang-6<sub>2</sub> layer, and four suitable areas of exploration for the Chang-6<sub>1</sub> oil layer by considering multiple factors.

**Key words:** Maling-Qiaochuan region; Chang-6 oil reservoir group; reservoir distribution; control factors; prediction of favorable areas

鄂尔多斯盆地是中国重要的油气勘探开采盆地,自 1995 年延长 1 井勘探以来,2020 年产油气当量已超过  $7\ 900 \times 10^4$  t,位居中国诸含油气盆地之首,其中长庆油田年产油气量超过  $6\ 000 \times 10^4$  t(刘池洋等,2021),石油产量主要集中在上三叠统延长组中。鄂尔多斯盆地延长组从上到下共划分为 5 段,10 个油层组(付锁堂,2010),含油层位丰富,其中长 6 油层组是勘探开发的主力油层。

前人已对鄂尔多斯盆地延长组油藏的控制因素做了很多研究,在大区域上普遍认为长 6 油层组油藏分布受到长 7 烃源岩和长 4+5 盖层控制(窦伟坦等,2008),但马岭—乔川地区长 6 油层组油藏在长 6 各油层段分布情况与鄂尔多斯盆地姬塬、吴起等地区存在较大差异。马岭—乔川地区油层主要分布在长 6<sub>3</sub> 油层段,而盆地内的姬塬、吴起、蟠龙等地区油层主要分布在长 6<sub>1</sub>, 6<sub>2</sub> 油层段(杨华等,2013;段昕婷等,2015;李玉蓉等,2018;葛云锦等,2018;刘秀婵和陈西泮,2019;陈世加等,2019;李杰,2020;夏东领等,2021;袁媛等,2022),因此亟需探究研究区长 6<sub>3</sub> 油层段与长

6<sub>2</sub> 和长 6<sub>1</sub> 油层段油藏分布差异的控制因素,这对油藏分布的精确定位有着重要意义。

本文基于马岭—乔川地区长 6 油层组岩心含油性观察,结合流体包裹体分析、测井油层解释数据,在砂体类型、物性特征的研究基础上,重点开展了该区区长 6 油层组分布特征以及控制因素的研究,丰富盆地长 6 油层组的油藏控制因素的认识,服务油气勘探开发。

## 1 地质概况

鄂尔多斯盆地是中国的第二大陆内沉积盆地,东南侧与小秦岭地块相邻,东至山西地块的黄河谷地,西紧邻吕梁山隆起,北侧为伊盟隆起,南侧相邻于渭北高原(杨华,2004;冯娟萍等,2020)。鄂尔多斯盆地被划分为 6 个一级构造单元,盆地内整体构造简单,地层平缓(孙宁亮,2019)(图 1)。鄂尔多斯盆地中生界上三叠统延长组厚度在 900~1 350 m 之间,经历了完整的湖进-湖退的沉积旋回(图 1-C),长 6 油层组是达到长 7 最大湖泛之后沉积的一套三角洲-半深湖相沉积

(武富礼等,2004)。马岭—乔川地区位于鄂尔多斯盆地陕北斜坡西南部(图1-A,B),长6油层组时期为盆地湖泊沉积中心,纵向上砂泥岩层交替出现,深水重力流沉积发育,平面上砂体叠置连通变化复杂(冯雪等,2021)。研究表明,长6油层组储层岩石类型以长石岩屑与岩屑长石为主,储层

孔隙度在 8.46%~9.28% 之间,渗透率在  $(0.14\sim 0.18)\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$  之间,孔隙类型以溶蚀孔隙为主,该区长6油层组下邻深湖相长7油层组生油岩,上覆长4+5油层组泥岩,形成很好的生储盖配置关系,油层显示丰富,以岩性油藏为主(窦伟坦,2005)。

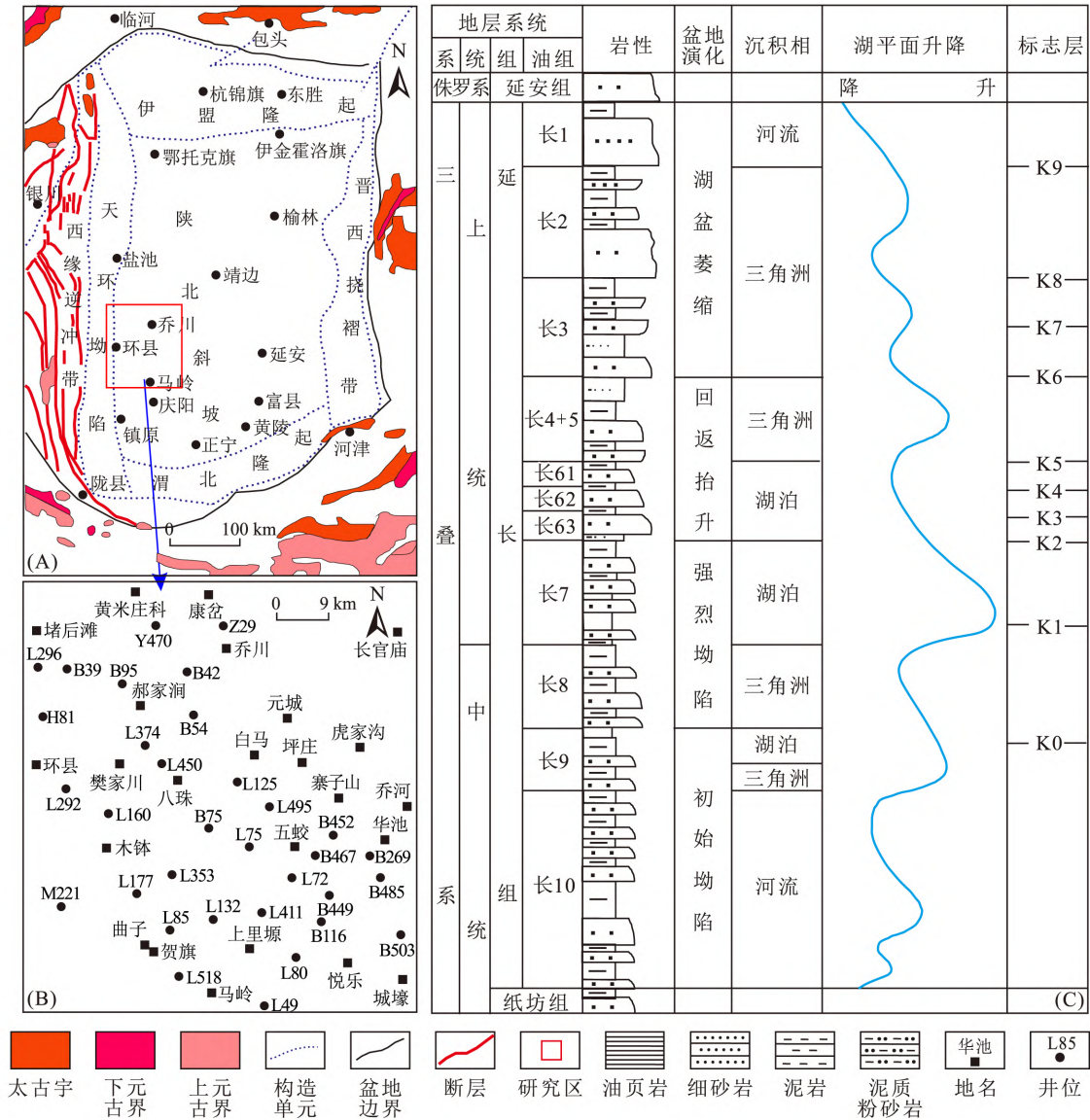


图1 鄂尔多斯盆地研究区位置图及地层综合柱状图

Fig. 1 Location map and comprehensive stratigraphic column chart of the Ordos Basin research area. (A) 马岭—乔川区域位置图; (B) 马岭—乔川地区井位图; (C) 马岭—乔川地区延长组综合柱状图

## 2 油层分布特征

### 2.1 岩心及测录井含油特征

马岭—乔川地区长6油层组的岩心观察及测录井资料分析表明,油气充注大多成条带状,厚度

差异较大。长6<sub>1</sub>油层段含油层厚度薄,泥质阻隔油气充注,油气显示以油浸为主;长6<sub>2</sub>油层段含油层厚度较薄,油层之间被泥质层阻隔,偶有油浸显示;长6<sub>3</sub>油层段含油层厚度最厚且泥岩沉积较少或几乎无泥岩沉积阻隔,井段大段含油,油气大

量充注,显示为油浸(图 2)。含油段岩心多为块状构造的细砂岩,砂体与上下泥岩突变接触,沉积微相为砂质碎屑流;其余含油段岩心为泥质含量高、层理结构丰富、砂泥互层明显的浊积岩,沉积

微相为浊流沉积。纵向上长<sub>6<sub>3</sub></sub>岩心含油情况最好,含油厚度大,油浸显示丰富,长<sub>6<sub>2</sub></sub>和长<sub>6<sub>1</sub></sub>普遍含油性较差,表明该井段含油层位丰富,纵向上含油性变化大。

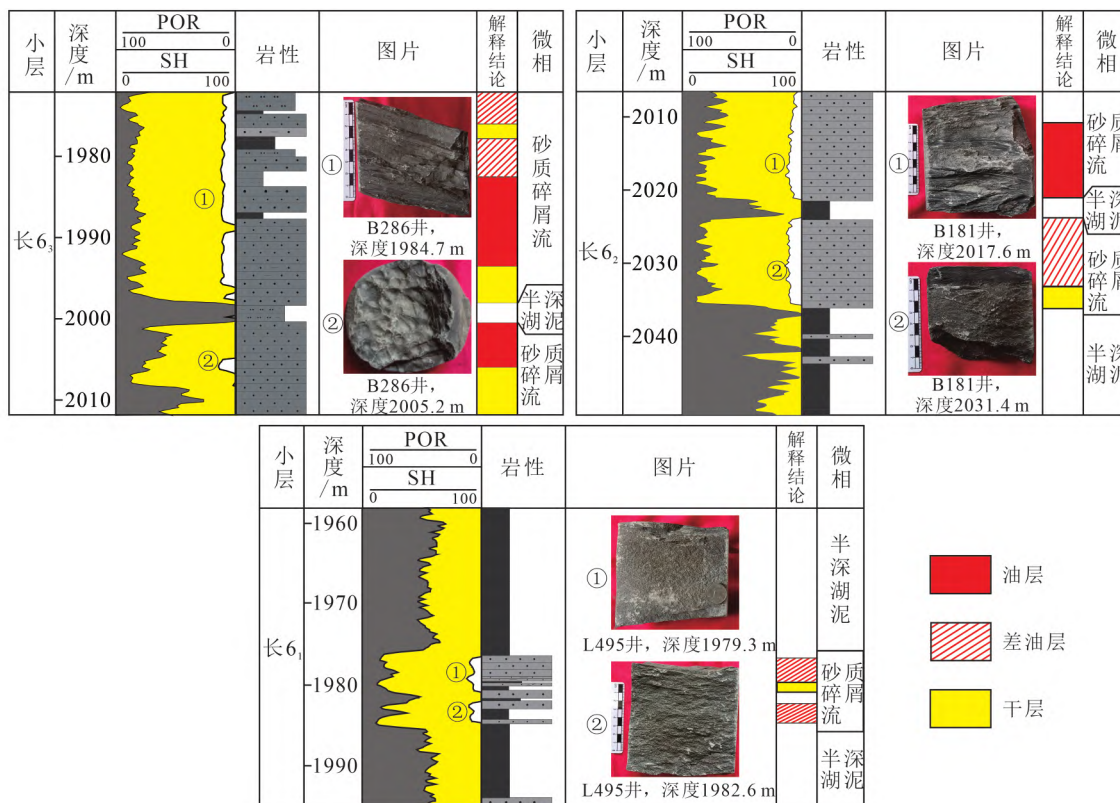


图 2 马岭—乔川地区长 6 油层组岩心解释结论对比图

Fig. 2 Comparison of interpretations of cores of the Chang 6 oil reservoir group in the Maling-Qiaochuan area

通过对马岭—乔川地区长 6 油层组各含油井油层厚度进行统计显示(图 3),自长<sub>6<sub>3</sub></sub>至长<sub>6<sub>1</sub></sub>油

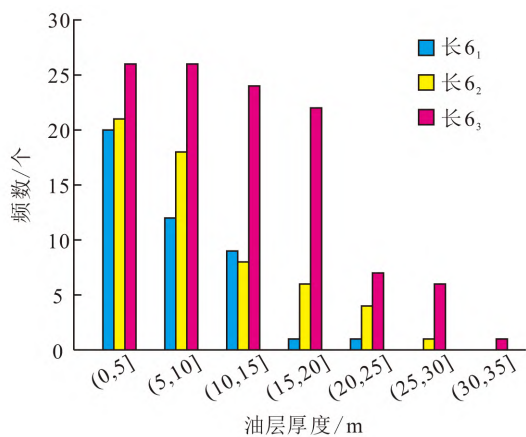


图 3 马岭—乔川地区长 6 油层组各段油层厚度频率直方图

Fig. 3 Frequency histogram of the thickness of the oil layer in each section of the Chang-6 oil layer formation in the Maling-Qiaochuan area

层段油层厚度变薄,长<sub>6<sub>3</sub></sub>油层段油层厚度多集中在 5~20 m,而长<sub>6<sub>1</sub></sub>和长<sub>6<sub>2</sub></sub>油层段油层厚度普遍小于 10 m,油层厚度差异明显,长<sub>6<sub>3</sub></sub>油层段含油性好于长<sub>6<sub>2</sub></sub>和长<sub>6<sub>1</sub></sub>油层段。

### 2.2 平面含油性特征

研究区 193 口单井油层厚度数据统计显示,长<sub>6<sub>1</sub></sub>油层段含油层单井 43 口,油层厚度普遍小于 5 m(图 4-A);长<sub>6<sub>2</sub></sub>油层段含油层单井 58 口,油层厚度普遍小于 10 m(图 4-B);长<sub>6<sub>3</sub></sub>油层段含油层单井 112 口,油层厚度大于 10 m 的区域超过 50%(图 4-C)。油藏平面图分布显示,长<sub>6<sub>3</sub></sub>油层段油藏分布较为集中,连片性好,油层呈不规则状、团块状和条带状为主,主要分布在 L125, B452 和 L411 井区,油层厚度大于 20 m 的面积达到 248.62 km<sup>2</sup>;长<sub>6<sub>2</sub></sub>油层段油藏分布较为零散,连片性差,以不规则状和孤立土豆疙瘩状分布为主,部

分为条带状,油藏多分布在 B503, L75, B467 和 L495 井区,油层厚度大于 20 m 的面积为 131.33 km<sup>2</sup>;长 6<sub>1</sub>油层段油藏分布较为集中,油层分布以不规则

状、孤立土豆疙瘩状为主,但连片性差,发育面积均较小,主要分布在 B269, B503 和 B467 井区,油层厚度大于 20 m 的面积仅 11.92 km<sup>2</sup>。

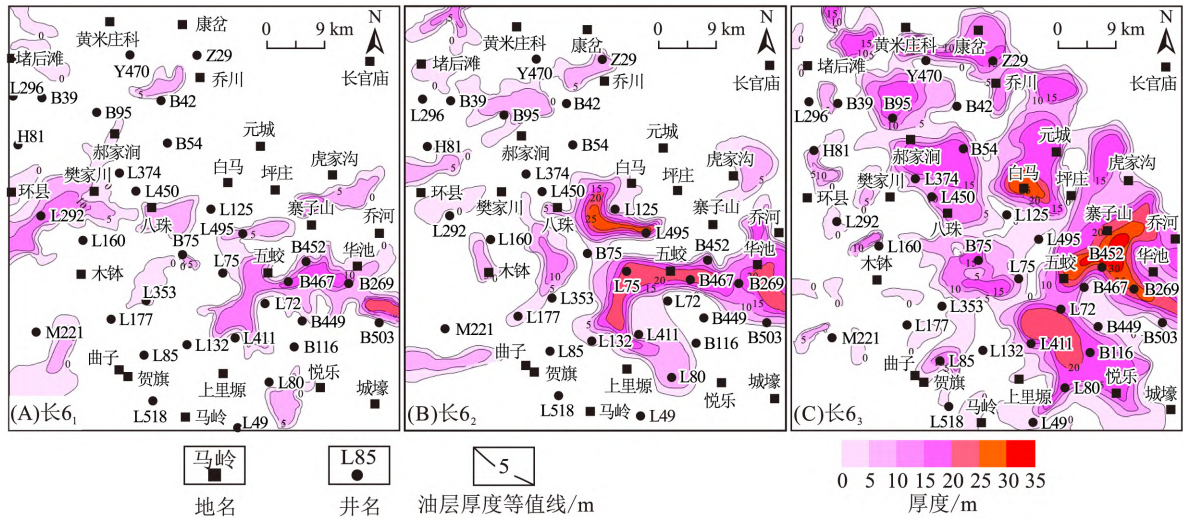


图 4 马岭—乔川地区长 6 油层厚度等值线图

Fig. 4 Map of the contours of thickness of the Chang-6 oil layer in the Maling-Qiaochuan area

总体来看,长 6 油层组砂体非均质性较强,长 6<sub>3</sub>油层段砂体厚度厚,油层连通性较好,厚度更大非均质性相对较弱。对比长 6 油层组各油层段油层厚度等值线图发现,长 6<sub>3</sub>油层段油藏分布较为集中,油层分布面积大且连片性好,而长 6<sub>2</sub>和长 6<sub>1</sub>油层段油层分布较为分散且连片性差,多为零散不规则状,且长 6<sub>3</sub>油层段存在较大范围油层厚度大于 20 m 的区域,故长 6<sub>3</sub>油层段油藏发育情况最好。

### 3 油藏类型及油藏充注过程

#### 3.1 油藏类型

马岭—乔川地区长 6 油层组油藏主要为砂岩上倾尖灭岩性油藏、砂岩透镜体岩性油藏和构造-岩性油藏。长 6 油层组沉积时该区处于半深湖沉积环境,不同成因的重力流砂体发育,导致湖相泥岩与重力流砂体纵横叠置分布,在后期构造-成岩变化过程中,形成了不同类型的岩性圈闭,同时,受古地貌、差异压实与后期构造变形影响,该区亦形成了一些低缓背斜或低幅度隆起,形成局部低幅度隆起的构造-岩性油藏(图 5)。

#### 3.2 油藏充注过程

自中生代以来,鄂尔多斯盆地发生了以三叠

系/侏罗系、侏罗系延安组/直罗组、侏罗系/白垩系、白垩系/第四系等地层不整合界面为标志的 4 期不均匀抬升和地层剥蚀事件(张翥等,2010; Mullis et al.,2017;张宝收等,2019)。同时,鄂尔多斯盆地自从三叠系延长组沉积以来,经历了复杂的热演化。普遍认为鄂尔多斯盆地在中生代晚期存在异常高的古地温梯度和古地温场,导致延长组油气成藏过程具有区域差异(任战利等,2021)。

流体包裹体分析技术被广泛应用于油气运移时间和期次、储层流体性质和来源、油气远景评价以及古地温和热流体活动等方面的研究(翟光明和徐世荣,1992;赵孟为和 Behr,1996;刘池洋等,2005;陈瑞银等,2006)。本次马岭—乔川地区长 6 油层组的流体包裹体测试分析显示,长 6 油层组包裹体大量充填在石英颗粒的成岩期后次生微裂隙中,少部分充填在粒间方解石胶结物和长石颗粒中,包裹体类型主要为油气包裹体、含烃盐水包裹体和盐水包裹体。通常,包裹体的荧光从褐色→橘黄色→浅黄色→蓝色→蓝白色,烃类包裹体成熟度逐渐增加。根据荧光特征可识别出 2 期包裹体,第一期荧光激发下发暗褐色、浅黄色荧光,指示捕获的为低成熟度的

有机流体,包裹体主要分布在方解石胶结物、石英成岩期次生裂隙和砂岩碎屑颗粒中;第二期发蓝白色和蓝色荧光,指示捕获有机流体成熟

度较高,说明包裹体形成时间相对较晚,主要分布在石英成岩期次生裂隙和长石颗粒中,成群分布(图 6)。

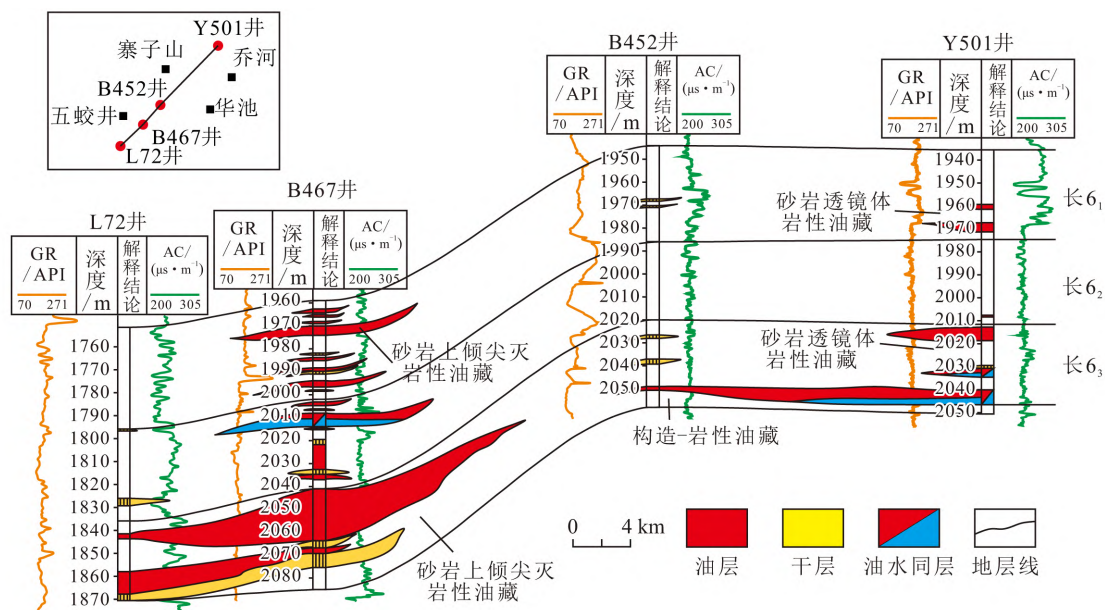


图 5 马岭—乔川地区 L72 井-B467 井-B452 井-Y501 井长 6 油层组油藏特征剖面展布图

Fig. 5 Distribution of the characteristic profiles of wells L72, B467, B452, and Y501 of the Chang-6 oil formation in the Maling-Qiaochuan area

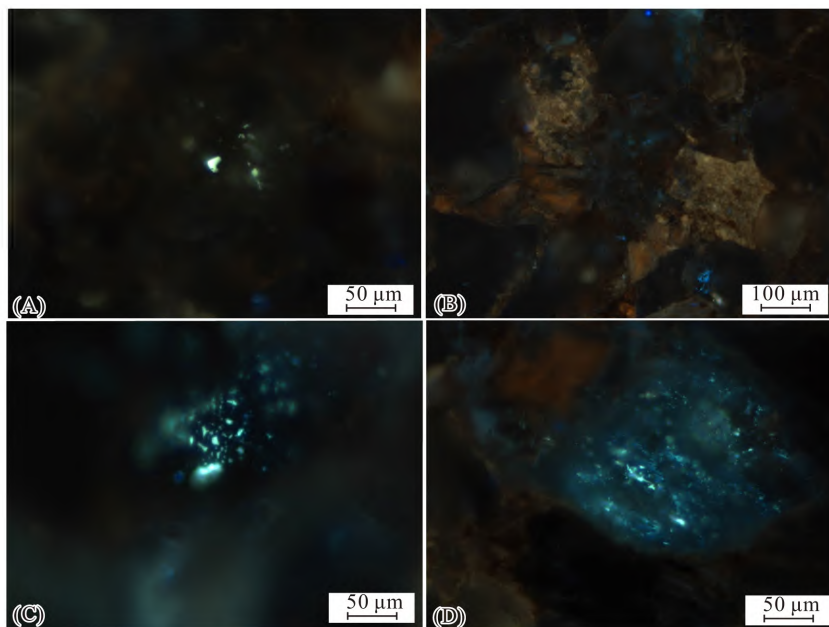


图 6 鄂尔多斯盆地马岭—乔川地区长 6 油藏包裹体荧光特征

Fig. 6 Characteristics of fluorescence of inclusions in the Chang-6 reservoir in the Maling-Qiaochuan area, Ordos Basin  
 (A) L495 井, 深度 2 028.5 m, 粒间方解石胶结物中成群分布, 呈透明无色-浅灰色的液烃、气液烃包裹体, 显示黄绿色、绿白色荧光; (B) H331 井, 深度 2 300.86 m, 砂岩内碎屑颗粒以及粒间孔隙中的基质吸附油质沥青, 显示浅黄色荧光; (C) H331 井, 深度 2 300.86 m, 沿石英颗粒的成岩期后次生微裂隙面分布, 呈透明无色-浅灰色的液烃、气液烃包裹体, 显示蓝色、蓝白色荧光; (D) H331 井, 深度 2 300.86 m, 长石颗粒中, 成群分布, 呈透明无色-浅灰色的液烃、气液烃包裹体, 显示蓝色、蓝白色荧光

由包裹体均一温度的频率分布图(图 7)可知,姬塬地区包裹体均一温度集中在 100~115 °C,演武地区集中在 85~95 °C(于强等,2012;时保宏等,2021;曹晶晶等,2023),而研究区的包裹体均一温度集中在 70~90 °C 和 100~110 °C,盐水包裹体显示明显的两期成藏特征,这与包裹体荧光特征相符,70~90 °C 均一温度包裹体相较于其他鄂尔多斯盆地地区较多,均一温度 100 °C 以上

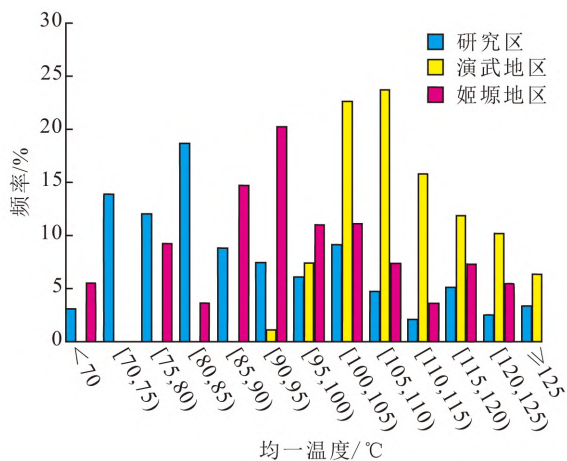


图 7 马岭—乔川地区、姬塬地区和演武地区长 6 油层组包裹体均一温度测试统计表

Fig. 7 Tests of temperature uniformity of inclusions in the Chang-6 oil reservoir formation in the Maling-Qiaochuan region

包裹体较少。

结合该区埋藏史、热演化及流体包裹体的测温分析(图 8),研究显示该地区油藏充注大致为两个时期:晚侏罗世和中-晚白垩世,其中 70~90 °C 均一温度的包裹体多,对应晚侏罗世烃源岩生油时间较长、大量生油,成熟度较低;100~110 °C 均一温度包裹体少,认为中-晚白垩世烃源岩生油时间短、生油少,烃源岩成熟度较高,研究区油气充注偏向于早期。

## 4 油藏控制因素

控制油气富集成藏的因素很多,如烃源岩条件、构造运动、沉积条件、储层条件、古地貌、断层裂隙等(Zhang et al., 2002; Ma et al., 2007; Zou et al., 2009; 张涛等, 2023),此次研究表明鄂尔多斯盆地马岭—乔川地区长 6 油层组的油藏控制因素整体上受烃源岩的影响,长 6 油层组各个油层段储层条件迥异,导致油藏分布差异较大。

### 4.1 烃源岩对油层分布控制

鄂尔多斯盆地延长组长 7 时期发育了一套深湖—半深湖黑色泥岩,其厚度大,分布广,有机质类型好,成熟度高,具有较大的生烃潜力,为鄂尔多斯盆地延长组油气藏的主要烃源岩(李士祥等, 2010; 付金华等, 2015; 张文正等, 2015; 张忠义等, 2016)。

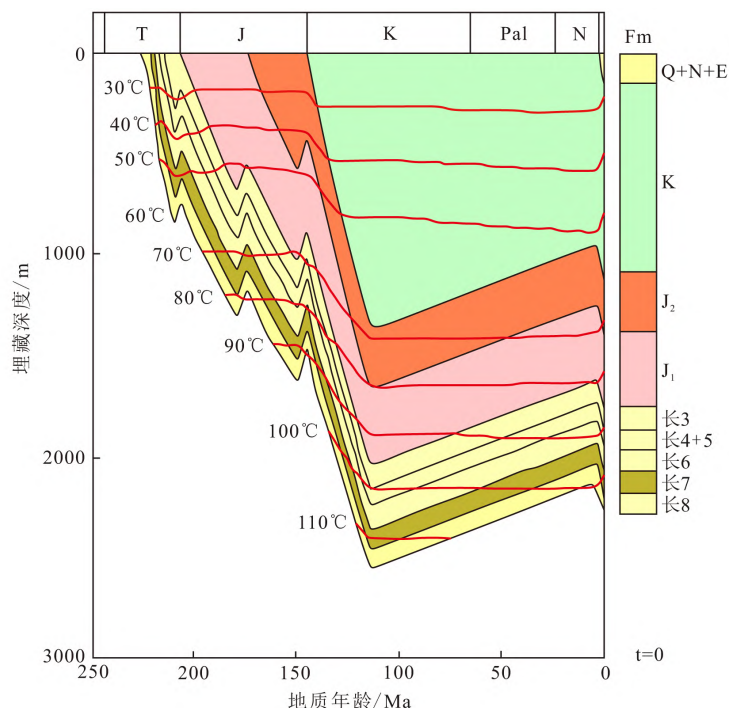


图 8 马岭—乔川地区 L125 井埋藏史图

Fig. 8 Burial history of well L125 in the Maling-Qiaochuan area

马岭—乔川地区位于鄂尔多斯盆地西南部,长 7 烃源岩发育(图 9),呈自北向南条带状展布,且由北向南烃源岩厚度减薄,含油井多分布在烃源岩厚度 15 m 以上的地区。因此,马岭—乔川地区长 6 时期油藏受到烃源岩分布的影响,其中 L125, B452 和 L411 等油层厚度较厚的井分布在烃源岩厚度 20 m 以上的区域,烃源岩厚度小于 15 m 的区域几乎少有含油井。长 6<sub>3</sub> 油层段在空间关系上相比于长 6<sub>2</sub> 和长 6<sub>1</sub> 油层段具有离生烃中心越近油气藏形成越有“近水楼台”的优势。

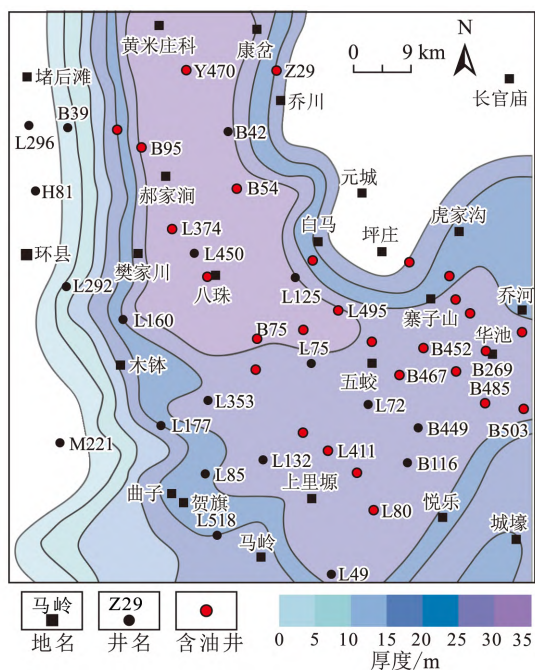


图 9 马岭—乔川地区长 6 油层组含油井与烃源岩分布叠置图

Fig. 9 Diagram of the overlaid distribution of oil wells and source rock of the Chang-6 oil formation in the Maling-Qiaochuan area

#### 4.2 砂体成因对油层分布控制

马岭—乔川地区长 6 油层组砂体主要为半深湖沉积,砂体成因类型为砂质碎屑流成因和浊流成因,通过对研究区 89 口含油井测井数据进行分析统计,长 6<sub>1</sub>、长 6<sub>2</sub>、长 6<sub>3</sub> 油层段累计砂体厚度分别占相应统计地层的 11.99%, 19.37% 和 42.73%;长 6<sub>3</sub> 油层段砂质碎屑流砂体成因砂体占总砂体含量的 87.60%,长 6<sub>2</sub> 和长 6<sub>1</sub> 油层段砂质碎屑流砂体分别只占各油层段砂体的 80.50%

和 86.90%。长 6<sub>1</sub> 油层段油层在浊流成因的砂体中占 22.22%,在砂质碎屑流砂体中的占 77.78%;长 6<sub>2</sub> 油层段油层在浊流成因的砂体中占 18.79%,在砂质碎屑流砂体中的占 81.21%;长 6<sub>3</sub> 油层段油层在浊流成因的砂体中只占 14.21%,在砂质碎屑流砂体中的占 85.79%,油层更多地分布在砂质碎屑流成因砂体之中,自长 6<sub>3</sub> 油层段到长 6<sub>1</sub> 油层段,砂质碎屑流砂体含油百分比逐渐降低,浊流逐渐升高(图 10)。研究区油藏更易富集在砂质碎屑流成因砂体之中,砂体成因控制了研究区油藏分布,而长 6<sub>3</sub> 油层段砂体相比于长 6<sub>2</sub> 和长 6<sub>1</sub> 油层段厚度厚,砂质碎屑流成因砂体占比高,故油气更为富集。

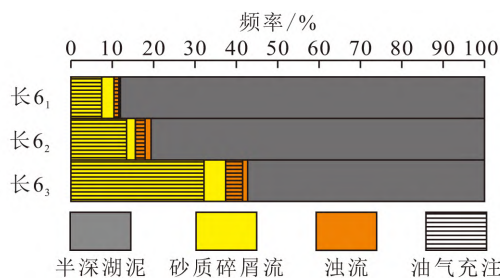


图 10 马岭—乔川地区长 6 各油层段含油层砂体成因图

Fig. 10 The formation of sand bodies in the Chang-6 oil reservoir in the Maling-Qiaochuan region

#### 4.3 砂体物性对油层分布的控制

油藏分布除了受到砂体成因宏观控制,同时受到砂体物性对油藏分布的精细控制。通过对含油井砂体孔渗进行统计(图 11),油层整体孔渗条件优于差油层孔渗,油层孔隙度 7%~10% 段远大于差油层,油层渗透率小于  $0.500 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  部分与差油层接近,大于  $0.700 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  部分优于差油层,油藏发育受到孔渗条件进一步控制。马岭—乔川地区长 6 油层组长 6<sub>3</sub> 油层段孔渗条件最好,砂体孔隙度大于 10% 的砂体占砂体统计总量的 40.58%,平均孔隙度 9.03%;而长 6<sub>2</sub> 和长 6<sub>1</sub> 油层段分别只有 14.45% 和 27.28%,平均孔隙度分别只有 8.33% 和 8.46%;长 6<sub>3</sub> 油层段砂体渗透率大于  $0.150 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  的砂体占 21.2%,平均渗透率  $0.125 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ;长 6<sub>2</sub> 和长 6<sub>1</sub> 油层段大于  $0.150 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  的砂体孔渗分别占 19.47% 和 37.21%,平均渗透率分别为  $0.108 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  和  $0.188 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

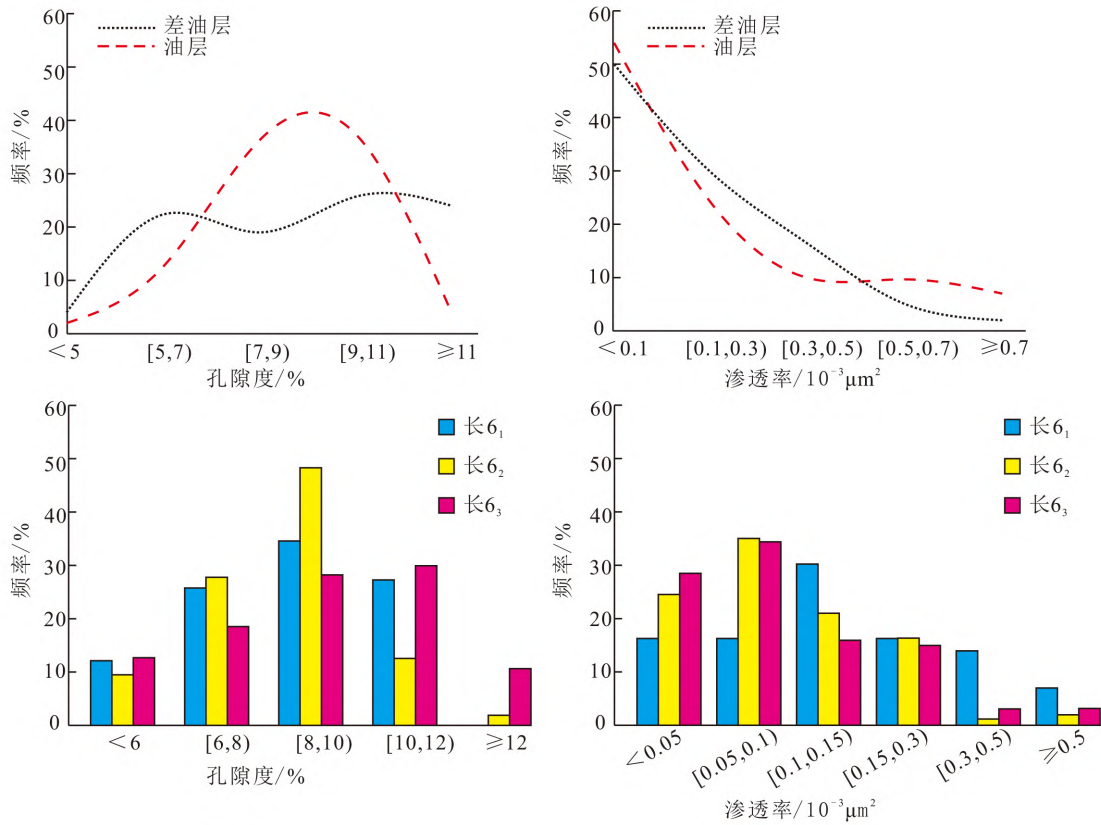


图 11 马岭—乔川地区长 6 油层组油层、差油层孔渗对比图及地层孔渗频率直方图

Fig. 11 Comparative diagram of the oil layers and differential seepage of oil from pores, and a histogram of the frequency of pore infiltration in the Chang-6 oil formation in the Maling-Qiaochuan area

#### 4.4 砂体叠置类型对油层分布的控制

单一砂体物性较好的砂体储油同时受到砂体叠置类型的影响(杜殿发等, 2018; 陈薪凯等, 2020)。马岭—乔川地区长 6 油层组砂体叠置类型划分为多期砂叠置、厚砂-薄泥、厚泥-厚砂和厚泥-薄砂 4 种, 多期砂叠置型砂体中砂体厚层大, 均质性强, 连通性好, 是研究区油藏大量充注的含油砂体类型, 厚砂-薄泥型叠置关系砂体厚度较大, 砂体之间仅有少量泥质阻隔, 均质性相比多期砂叠置型差, 砂体条件亦较好, 油气充注较多, 其余两种叠置类型在纵向和横向上非均质性较强, 存在大量泥质阻隔, 不利于油藏大量充注。

砂体叠置关系对油藏分布的控制效果明显, 含油井大量的分布在多期砂叠置砂体之中, 长 6<sub>3</sub> 油层段多期砂叠置区域分布面积广, 面积达到 1 020. 58 km<sup>2</sup>(图 12-C), 图中长 6<sub>2</sub> 和长 6<sub>1</sub> 油层段多期砂叠置型砂体分布面积较少(图 12-A, B) 面积分别只有 7. 38 km<sup>2</sup> 和 267. 6 km<sup>2</sup>。少部分含油井位于其他叠置关系砂体之中, 而这部分含

油井多处于厚砂-薄泥型砂体之中, 长 6<sub>3</sub> 油层段厚砂-薄泥型砂体叠置关系区域达到 586. 35 km<sup>2</sup>(图 12-C), 长 6<sub>2</sub> 和长 6<sub>1</sub> 油层段分别只有 18. 59 km<sup>2</sup> 和 154. 34 km<sup>2</sup>(图 12-A, B)。研究区长 6<sub>3</sub> 油层段多期砂和厚砂-薄泥型叠置类型区域远大于长 6<sub>2</sub> 和长 6<sub>1</sub> 油层段多期砂叠置类型发育面积, 最有利于油气藏充注。

#### 5 有利勘探区预测

研究区长 6 油层组各油层段优质油藏区域(油层厚度 > 10 m)与优质烃源岩(烃源岩厚度 > 20 m)和优质砂体叠置类型(多期砂叠置和厚砂-薄泥型砂体叠置)区域展布特征高度一致。研究认为马岭—乔川地区长 6<sub>3</sub> 油层段有利勘探区分布在 Y470 等 12 个井区附近, 在 L374, Y470, B452 等井区附近为多期砂叠置, 在 B95, B116, L411 等井区附近为厚砂-薄泥型, 有利勘探区面积达到 517. 28 km<sup>2</sup>; 长 6<sub>2</sub> 油层段有利勘探区分布在 L56 等 6 个井区附近, 砂体叠置类型均为多

期砂叠置,有利勘探面积为 134.90 km<sup>2</sup>;长 6<sub>1</sub> 油层段有利勘探区分布在 L56 等 4 个井区附近,砂

体叠置类型均为厚砂-薄泥型,有利勘探面积为 81.79 km<sup>2</sup>(图 13)。

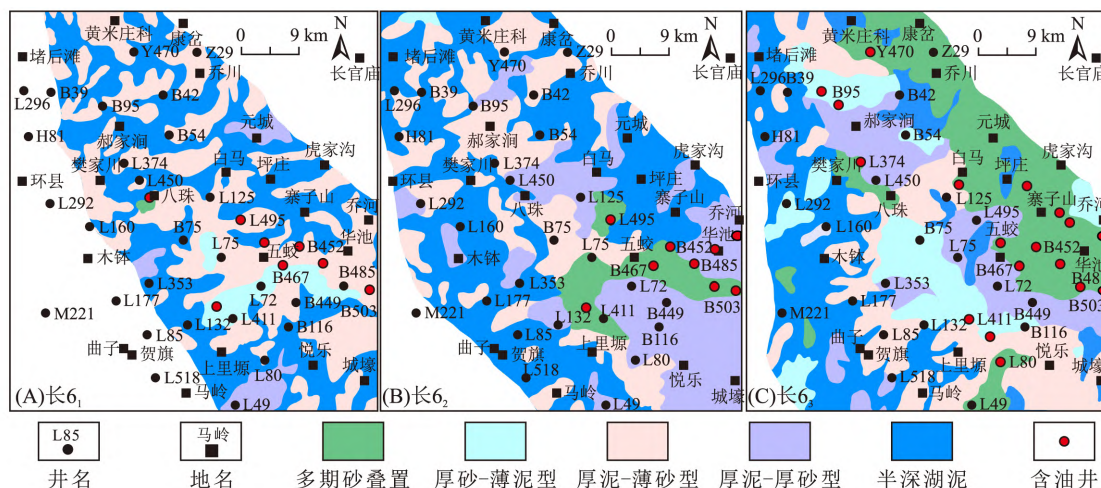


图 12 马岭—乔川地区长 6 油层组各油层段砂体叠置与含油井关系分布图

Fig. 12 Distribution of stacked sand bodies, and oil-bearing well relationships in various layers of the Chang-6 oil layer in the Maling-Qiaochuan area

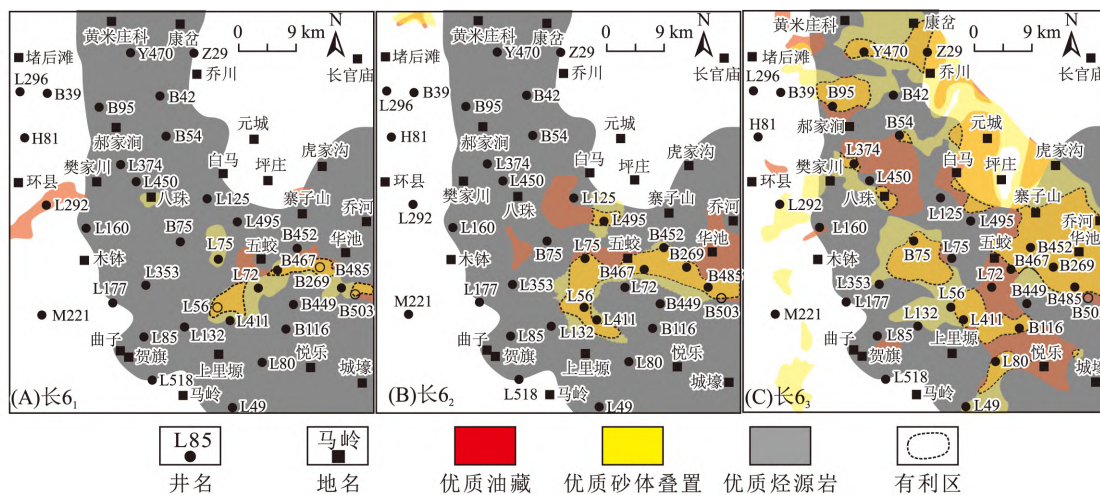


图 13 马岭—乔川地区长 6 油层段油藏有利勘探区预测图

Fig. 13 Predicted areas that are suitable for exploration for three Chang-6 oil reservoirs in the Maling-Qiaochuan area

### 6 结论

a. 马岭—乔川地区油藏主要分布在长 6<sub>3</sub> 油层段,长 6<sub>2</sub>、长 6<sub>1</sub> 油层段含油性显著变差,长 6<sub>3</sub> 油层段油藏分布较为集中,连片性好,油层呈不规则状、团块状和条带状为主,主要分布在 L125, B452 和 L411 井区,油层厚度大于 20 m 的面积达到 248.62 km<sup>2</sup>;长 6<sub>2</sub> 油层段油藏分布较为零散,油层厚度大于 20 m 的面积为 131.33 km<sup>2</sup>;长 6<sub>1</sub> 油层段油藏分布较为集中,连片性差,发育面积均

较小油层厚度大于 20 m 的面积仅 11.92 km<sup>2</sup>。

b. 马岭—乔川地区受构造活动影响较弱,长 6 油层组油气成藏主要受储层性质影响,以岩性油藏为主,分布在砂泥互层等碎屑岩沉积为主的砂岩上倾尖灭岩性油藏和砂岩透镜体岩性油藏中,部分为构造-岩性油藏;研究区长 6 油层组烃类包裹体荧光主要为暗褐色,少量为蓝白色,包裹体均一温度特征为 70~90 °C 和 100~110 °C 两个峰值区间,70~90 °C 范围包裹体占比大,结合埋藏史图反应成藏特征为晚侏罗世大量充注,中-晚

白垩世少量充注的成藏过程。

c. 马岭—乔川地区长6油层组油藏分布主要受砂体叠置类型与发育程度、距烃源距离、储层物性的控制。长 $6_3$ 油层段砂体厚度厚,砂质碎屑流多期砂和厚砂—薄泥型叠置类型砂体发育,砂体孔隙条件优于长 $6_2$ 和长 $6_1$ 油层段,最有利于油气藏充注。

d. 综合研究表明,烃源岩厚度大于20 m、多期砂叠置和厚砂—薄泥型砂体叠置相对成藏优势更大,明确了研究区最为有利油藏的勘探目标为长 $6_3$ 油层段Y470,L374,B452等井区附近,有利勘探区面积达到517.28 km<sup>2</sup>。

### [ 参 考 文 献 ]

- 曹晶晶,刚文哲,杨尚儒,等,2023. 鄂尔多斯盆地天环凹陷南段长8段油藏成藏主控因素及模式[J]. 天然气地球科学,34(10):1752—1767.
- Cao J J, Gang W Z, Yang S R, *et al.*, 2023. Main controlling factors and hydrocarbon accumulation model of Chang 8 reservoir in southern Tianhuan Depression, Ordos Basin [J]. *Natural Gas Geoscience*, 34(10): 1752—1767. (in Chinese)
- 陈瑞银,罗晓容,陈占坤,等,2006. 鄂尔多斯盆地中生代地层剥蚀量估算及其地质意义[J]. 地质学报,80(5):685—693.
- Chen R Y, Luo X R, Chen Z K, *et al.*, 2006. Estimation of denudation thickness of Mesozoic strata in the Ordos Basin and its geological significance [J]. *Acta Geologica Sinica*, 80(5): 685—693. (in Chinese)
- 陈世加,雷俊杰,刘春,等,2019. 鄂尔多斯盆地姬塬—吴起地区三叠系延长组6段成藏控制因素[J]. 石油勘探与开发,46(2):241—253.
- Chen S J, Lei J J, Liu C, *et al.*, 2019. Factors controlling the reservoir accumulation of Triassic Chang 6 Member in Jiyuan-Wuqi area, Ordos Basin, NW China [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 46(2): 241—253. (in Chinese)
- 陈薪凯,刘景彦,陈程,等,2020. 主要构型要素细分下的曲流河单砂体识别[J]. 沉积学报,38(1):205—217.
- Chen X K, Liu J Y, Chen C, *et al.*, 2020. Identifying single sand bodies in meandering river deposits based on subdivision of main architecture elements [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 38(1): 205—217. (in Chinese)
- 窦伟坦,2005. 鄂尔多斯盆地三叠系延长组沉积体系、储层特征及油藏成藏条件研究[D]. 成都:成都理工大学档案馆.
- Dou W T, 2005. Research for Sediment System, Reservoir Character and Oil-reservoir Formation of Yanchang Formation, Triassic, Ordos Basin [D]. Chengdu: The Archive of Chengdu University of Technology. (in Chinese)
- 窦伟坦,侯明才,陈洪德,等,2008. 鄂尔多斯盆地三叠系延长组油气成藏条件及主控因素研究[J]. 成都理工大学学报(自然科学版),35(6):686—692.
- Dou W T, Hou M C, Chen H D, *et al.*, 2008. A research on the conditions of the reservoir formation and the main controlling factors of Upper Triassic Yanchang Formation in Ordos Basin, China [J]. *Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition)*, 35(6): 686—692. (in Chinese)
- 杜殿发,郭乔乔,郑洋,等,2018. 砂体叠置关系与剩余油分布规律[J]. 特种油气藏,25(4):62—66.
- Du D F, Guo Q Q, Zheng Y, *et al.*, 2018. Superposition of sandstone formations and patterns in residual oil distribution [J]. *Special Oil & Gas Reservoirs*, 25(4): 62—66. (in Chinese)
- 段昕婷,贺永红,邓南涛,等,2015. 鄂尔多斯盆地旬邑长7烃源岩地球化学特征[J]. 四川地质学报,35(4):625—628.
- Duan X T, He Y H, Deng N T, *et al.*, 2015. Geochemistry of hydrocarbon source rocks of the 7th member of the Yanchang Formation in Xunyi, Erdos [J]. *Acta Geologica Sichuan*, 35(4): 625—628. (in Chinese)
- 冯娟萍,欧阳征健,范萌萌,2020. 鄂尔多斯盆地北缘固阳县北中元古界长城系烃源岩地质特征及意义[J]. 地质科学,55(4):1044—1055.
- Feng J P, Ouyang Z J, Fan M M, 2020. Geological characteristics and significance of source rocks of Mesoproterozoic Changchengian System in north of Guyang County of the northern margin of Ordos Basin [J]. *Chinese Journal of Geology (Scientia Geologica Sinica)*, 55(4): 1044—1055. (in Chinese)
- 冯雪,高胜利,刘永涛,等,2021. 鄂尔多斯盆地陇东地区延长组三角洲前缘前积结构特征[J]. 岩性油气藏,33(6):48—58.
- Feng X, Gao S L, Liu Y T, *et al.*, 2021. Characteristics of delta front progradation structure of Yanchang Formation in Longdong area, Ordos Basin [J]. *Lithologic Reservoirs*, 33(6): 48—58. (in Chinese)
- 付金华,喻建,徐黎明,等,2015. 鄂尔多斯盆地致密油勘探开发新进展及规模富集可开发主控因素[J]. 中国石油勘探,20(5):9—19.
- Fu J H, Yu J, Xu L M, *et al.*, 2015. New progress in ex-

- ploration and development of tight oil in Ordos Basin and main controlling factors of large-scale enrichment and exploitable capacity[J]. *China Petroleum Exploration*, 20(5): 9-19. (in Chinese)
- 付锁堂, 2010. 柴达木盆地西部油气成藏主控因素与有利勘探方向[J]. *沉积学报*, 28(2): 373-379.
- Fu S T, 2010. Key controlling factors of oil and gas accumulation in the western Qaidam Basin and its implications for favorable exploration direction[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 28(2): 373-379. (in Chinese)
- 葛云锦, 任来义, 贺永红, 等, 2018. 鄂尔多斯盆地富县—甘泉地区三叠系延长组 7 油层组致密油富集主控因素[J]. *石油与天然气地质*, 39(6): 1190-1200.
- Ge Y J, Ren L Y, He Y H, *et al.*, 2018. Main factors controlling the tight oil enrichment in the 7th oil layer group of the Triassic Yanchang Formation in Fuxian-Ganquan area, Ordos Basin [J]. *Oil & Gas Geology*, 39(6): 1190-1200. (in Chinese)
- 李杰, 2020. 蟠龙地区长 6 油层组成藏条件及油气富集主控因素研究[D]. 西安: 西安石油大学档案馆.
- Li J, 2020. A Study on Reservoir Forming Conditions and Main Controlling Factors of Oil and Gas Enrichment in Chang 6 Oil Layer Group in Panlong Area[D]. Xi'an: The Archive of Xi'an Shiyou University. (in Chinese)
- 李士祥, 邓秀芹, 庞锦莲, 等, 2010. 鄂尔多斯盆地中生界油气成藏与构造运动的关系[J]. *沉积学报*, 28(4): 798-807.
- Li S X, Deng X Q, Pang J L, *et al.*, 2010. Relationship between petroleum accumulation of mesozoic and Tectonic Movement in Ordos Basin[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 28(4): 798-807. (in Chinese)
- 李玉蓉, 郑川江, 周雪, 等, 2018. 鄂尔多斯盆地志丹油区长 6 油层组油气富集主控因素研究[J]. *非常规油气*, 5(3): 31-38.
- Li Y R, Zheng C J, Zhou X, *et al.*, 2018. Study on the main controlling factors of hydrocarbon accumulation of Chang-6 oil-bearing formation in Zhidan oil region, Ordos Basin [J]. *Unconventional Oil & Gas*, 5(3): 31-38. (in Chinese)
- 刘池洋, 王建强, 张东东, 等, 2021. 鄂尔多斯盆地油气资源丰富的成因与赋存—成藏特点[J]. *石油与天然气地质*, 42(5): 1011-1029.
- Liu C Y, Wang J Q, Zhang D D, *et al.*, 2021. Genesis of rich hydrocarbon resources and their occurrence and accumulation characteristics in the Ordos Basin [J]. *Oil & Gas Geology*, 42(5): 1011-1029. (in Chinese)
- 刘池洋, 赵红格, 王锋, 等, 2005. 鄂尔多斯盆地西缘(部)中生代构造属性[J]. *地质学报*, 79(6): 737-747.
- Liu C Y, Zhao H G, Wang F, *et al.*, 2005. Attributes of the Mesozoic structure on the west margin of the Ordos Basin [J]. *Acta Geologica Sinica*, 79(6): 737-747. (in Chinese)
- 刘秀婵, 陈西洋, 2019. 鄂尔多斯盆地富县地区长 8 油层组致密油成藏主控因素分析[J]. *油气藏评价与开发*, 9(1): 1-7.
- Liu X C, Chen X P, 2019. Analysis on main controlling factors of tight oil reservoirs in Chang-8 reservoir of Fu County, Ordos Basin [J]. *Petroleum Reservoir Evaluation and Development*, 9(1): 1-7. (in Chinese)
- 任战利, 祁凯, 李进步, 等, 2021. 鄂尔多斯盆地热动力演化史及其对油气成藏与富集的控制作用[J]. *石油与天然气地质*, 42(5): 1030-1042.
- Ren Z L, Qi K, Li J B, *et al.*, 2021. Thermodynamic evolution and hydrocarbon accumulation in the Ordos Basin [J]. *Oil & Gas Geology*, 42(5): 1030-1042. (in Chinese)
- 时保宏, 秦馨雨, 张才利, 等, 2021. 鄂尔多斯盆地姬塬地区延长组 6 段油藏差异成藏因素[J]. *石油与天然气地质*, 42(5): 1112-1123.
- Shi B H, Qin X Y, Zhang C L, *et al.*, 2021. Insights on factors causing differential enrichment of Chang 6 Member in Jiyuan area, Ordos Basin [J]. *Oil & Gas Geology*, 42(5): 1112-1123. (in Chinese)
- 孙宁亮, 2019. 鄂尔多斯盆地南部延长组重力流沉积与储层致密化机理[D]. 青岛: 中国石油大学档案馆.
- Sun N L, 2019. Study on Sedimentary Characteristics and Reservoir Desification Mechanism of Sediment Gravity Flow of Yanchang Formation in Southern Ordos Basin, China [J]. Qingdao: The Archive of China University of Petroleum. (in Chinese)
- 武富礼, 李文厚, 李玉宏, 等, 2004. 鄂尔多斯盆地上三叠统延长组三角洲沉积及演化[J]. *古地理学报*, 6(3): 307-315.
- Wu F L, Li W H, Li Y H, *et al.*, 2004. Delta sediments and evolution of the Yanchang Formation of Upper Triassic in Ordos Basin [J]. *Journal of Palaeogeography (Chinese Edition)*, 6(3): 307-315. (in Chinese)
- 夏东领, 伍岳, 夏冬冬, 等, 2021. 鄂尔多斯盆地南缘红河油田长 8 致密油藏非均质性表征方法[J]. *石油实验地质*, 43(4): 704-712.
- Xia D L, Wu Y, Xia D D, *et al.*, 2021. Characterization method of heterogeneity for Chang-8 tight reservoir in the Honghe oil field, southern margin of the Ordos Basin [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 43(4):

- 704—712. (in Chinese)
- 杨华, 2004. 鄂尔多斯盆地三叠系延长组沉积体系及含油性研究[D]. 成都: 成都理工大学档案馆.
- Yang H, 2004. Deposition System and Oil Accumulation Research of Yanchang Formation in Triassic, Ordos Basin[D]. Chengdu: The Archive of Chengdu University of Technology. (in Chinese)
- 杨华, 李士祥, 刘显阳, 2013. 鄂尔多斯盆地致密油、页岩油特征及资源潜力[J]. 石油学报, 34(1): 1—11.
- Yang H, Li S X, Liu X Y, 2013. Characteristics and resource prospects of tight oil and shale oil in Ordos Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 34(1): 1—11. (in Chinese)
- 于强, 任战利, 倪军, 等, 2012. 鄂尔多斯盆地富县地区中生界热演化史探讨[J]. 西北大学学报(自然科学版), 42(5): 801—805.
- Yu Q, Ren Z L, Ni J, *et al.*, 2012. The thermal evolution history of Mesozoic, Fuxian exploratory area of Ordos Basin[J]. Journal of Northwest University (Natural Science Edition), 42(5): 801—805. (in Chinese)
- 袁媛, 杜克锋, 贺晓, 等, 2022. 鄂尔多斯盆地甘泉—富县地区长8成藏主控因素分析[J]. 石油化工应用, 41(7): 72—74+102.
- Yuan Y, Du K F, He X, *et al.*, 2022. Main controlling factor of Chang 8 in Ganquan-Fuxian areas, Ordos Basin[J]. Petrochemical Industry Application, 41(7): 72—74+102. (in Chinese)
- 翟光明, 徐世荣, 1992. 中国石油地质志卷七[M]. 北京: 石油工业出版社, 57—60.
- Zhai G M, Xu S R, 1992. Petroleum Geology of China Vol. 7[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 57—60. (in Chinese)
- 张宝收, 杨海军, 张霏, 等, 2019. 迪北气藏侏罗系阿合组烃包裹体特征及成藏分析[J]. 新疆石油地质, 40(1): 41—47.
- Zhang B S, Yang H J, Zhang N, *et al.*, 2019. Hydrocarbon inclusion characteristics of Jurassic Ahe Formation and analysis on petroleum accumulation in Dibe gas reservoir of Kuqa Depression[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 40(1): 41—47. (in Chinese)
- 张霏, 赵瑞华, 张蒂嘉, 等, 2010. 塔中I号带奥陶系烃包裹体荧光特征与成藏期[J]. 石油与天然气地质, 31(1): 63—68+75.
- Zhang N, Zhao R H, Zhang D J, *et al.*, 2010. Florescence characteristics of the Ordovician hydrocarbon inclusions in the Tazhong-I slope-break zone and the timing of hydrocarbon accumulation[J]. Oil & Gas Geology, 31(1): 63—68+75. (in Chinese)
- 张涛, 董满仓, 安继刚, 等, 2023. 富县地区长7页岩油气富集特征与主控因素[J]. 非常规油气, 10(5): 75—83.
- Zhang T, Dong M C, An J G, *et al.*, 2023. Oil and gas enrichment characteristics and main controlling factors of Chang7 shale in Fuxian Area[J]. Unconventional Oil & Gas, 10(5): 75—83. (in Chinese)
- 张文正, 杨华, 杨伟伟, 等, 2015. 鄂尔多斯盆地延长组长7湖相页岩油地质特征评价[J]. 地球化学, 44(5): 505—515.
- Zhang W Z, Yang H, Yang W W, *et al.*, 2015. Assessment of geological characteristics of lacustrine shale oil reservoir in Chang7 Member of Yanchang Formation, Ordos Basin, 44(5): 505—515. (in Chinese)
- 张忠义, 陈世加, 杨华, 等, 2016. 鄂尔多斯盆地三叠系长7段致密油成藏机理[J]. 石油勘探与开发, 43(4): 590—599.
- Zhang Z Y, Chen S J, Yang H, *et al.*, 2016. Tight oil accumulation mechanisms of Triassic Yanchang Formation Chang 7 Member, Ordos Basin, China[J]. Petroleum Exploration and Development, 43(4): 590—599. (in Chinese)
- 赵孟为, Behr H J, 1996. 鄂尔多斯盆地三叠系镜质体反射率与地热史[J]. 石油学报, 17(2): 15—23.
- Mullis J, Mählmann R F, Wolf M, 2017. Fluid inclusion microthermometry to calibrate vitrinite reflectance (between 50 and 270 °C), illite Kübler-Index data and the diagenesis/anchizone boundary in the external part of the Central Alps[J]. Applied Clay Science, 143: 307—319.
- Ma Y S, Cai X Y, Guo T L, 2007. The controlling factors of oil and gas charging and accumulation of Puguang gas field in the Sichuan Basin[J]. Chinese Science Bulletin, 52(1): 193—200.
- Zhang G Y, Wang H J, Li H H, 2002. Main controlling factors for hydrocarbon reservoir formation and petroleum distribution in Cratonic Area of Tarim Basin[J]. Chinese Science Bulletin, 47(S1): 139—146.
- Zou C N, Tao S Z, Zhang X X, *et al.*, 2009. Geologic characteristics, controlling factors and hydrocarbon accumulation mechanisms of China's Large Gas Provinces of low porosity and permeability[J]. Science in China (Series D: Earth Sciences), 39(8): 1068—1090.

(责任编辑: 甘娟娟)