

鄂尔多斯盆地中生界石油地质条件、资源潜力及勘探方向

惠潇¹, 赵彦德², 邵晓州¹, 张文选¹, 程党性¹, 罗安湘¹

1 中国石油长庆油田分公司勘探开发研究院; 2 兰州城市学院培黎石油工程学院

摘要 鄂尔多斯盆地中生界油气资源丰富,三叠系延长组和侏罗系延安组是主力含油层系。在鄂尔多斯盆地石油地质条件研究的基础上,提出沉积相、输导体系、异常压力和构造为中生界成藏的主要控制因素,建立了三叠系延长组大型岩性油藏模式和侏罗系古地貌控藏模式,并结合盆地勘探成果,精细评价了鄂尔多斯盆地石油地质资源量,预测了油气资源的空间分布。结果表明:鄂尔多斯盆地石油地质资源量约为 $146.50 \times 10^8 \text{ t}$,其中常规油资源量为 $116.50 \times 10^8 \text{ t}$,致密油资源量为 $30.00 \times 10^8 \text{ t}$;按层系分,三叠系石油资源量为 $137.20 \times 10^8 \text{ t}$,侏罗系石油资源量为 $9.30 \times 10^8 \text{ t}$ 。盆地剩余资源量为 $96.93 \times 10^8 \text{ t}$,姬塬、陇东和志靖—安塞等地区,是长庆油田的规模储量区,仍然是未来勘探的主要区域。延长组长6、长8油层组和侏罗系是下一步勘探的重点层系;延长组下部的长9、长10油层组为新的目标层系;长7油层组致密油具有较大的勘探潜力。

关键词 地质条件; 资源潜力; 勘探方向; 石油; 中生代; 鄂尔多斯盆地

中图分类号: TE155

文献标识码: A

0 前言

鄂尔多斯盆地是一个大型中生代内陆拗陷型盆地,油气资源丰富,是我国重要的油气富集区和油气生产基地,三叠系和侏罗系为盆地两大主力含油层系^[1]。三叠系延长组发育一套湖泊—三角洲相沉积,油藏为典型的岩性油藏,储集条件较差,延长组油藏受长7、长9烃源岩分布范围影响,主要聚集在近油源的三角洲分流河道和河口坝砂体中;侏罗系主要发育河流相沉积,油藏多为岩性—构造油藏,储集条件较好,规模较小,具有“小而肥”的特征^[2-6]。历经40多年的石油勘探,形成了一系列成藏理论和地质认识,有力地指导了盆地石油勘探,发现了陕北志靖—安塞、姬塬和陇东镇北—合水、华庆等4个储量规模分别超 $10 \times 10^8 \text{ t}$ 的含油富集区^[7-8](图1),助推建成了年产量超 $5000 \times 10^4 \text{ t}$ 的大油气田。

随着勘探开发的进一步深入,第三次资源评价的结果已无法满足油田规划并指导生产,亟需

对盆地开展新一轮油气资源评价。本文在鄂尔多斯盆地石油地质条件研究的基础上,分析了中生界石油成藏控制因素,构建了三叠系延长组三角洲成藏模式和侏罗系古地貌控藏模式,总结了石油富集规律。本次资源评价以层区带为核心,在地质条件研究的基础上,优选体积法、面积资源丰度类比法和EUR法等符合鄂尔多斯盆地石油地质特征的资源评价方法和关键参数体系,评价了盆地石油资源量,预测了石油资源的分布。根据致密油定义,结合长庆油田勘探开发实践,本文将三叠系延长组长7油层组的石油资源定为致密油,中生界其他层段按常规油资源评价。

1 盆地石油地质条件

鄂尔多斯盆地三叠系和侏罗系发育巨厚的沉积地层,其生储盖及成藏组合划分见表1。三叠系石油资源主要分布在延长组,延长组可划分9个油层组;侏罗系石油资源主要分布在直罗组、延安组和富县组。

收稿日期: 2019-03-28; 改回日期: 2019-06-04

本文受中国石油集团重大科技专项“中国石油第四次油气资源评价”之课题“鄂尔多斯及外围盆地第四次油气资源评价”(编号: 2013E-0502-07)资助

第一作者: 惠潇,高级工程师,主要从事常规和非常规石油地质综合研究。通信地址: 710018 陕西省西安市未央区长庆兴隆小区; E-mail: hx_cq@petrochina.com.cn

通信作者: 赵彦德,高级工程师,从事石油地质综合研究。通信地址: 730070 甘肃省兰州市安宁区安宁东路572号; E-mail: zyd1zcu@163.com

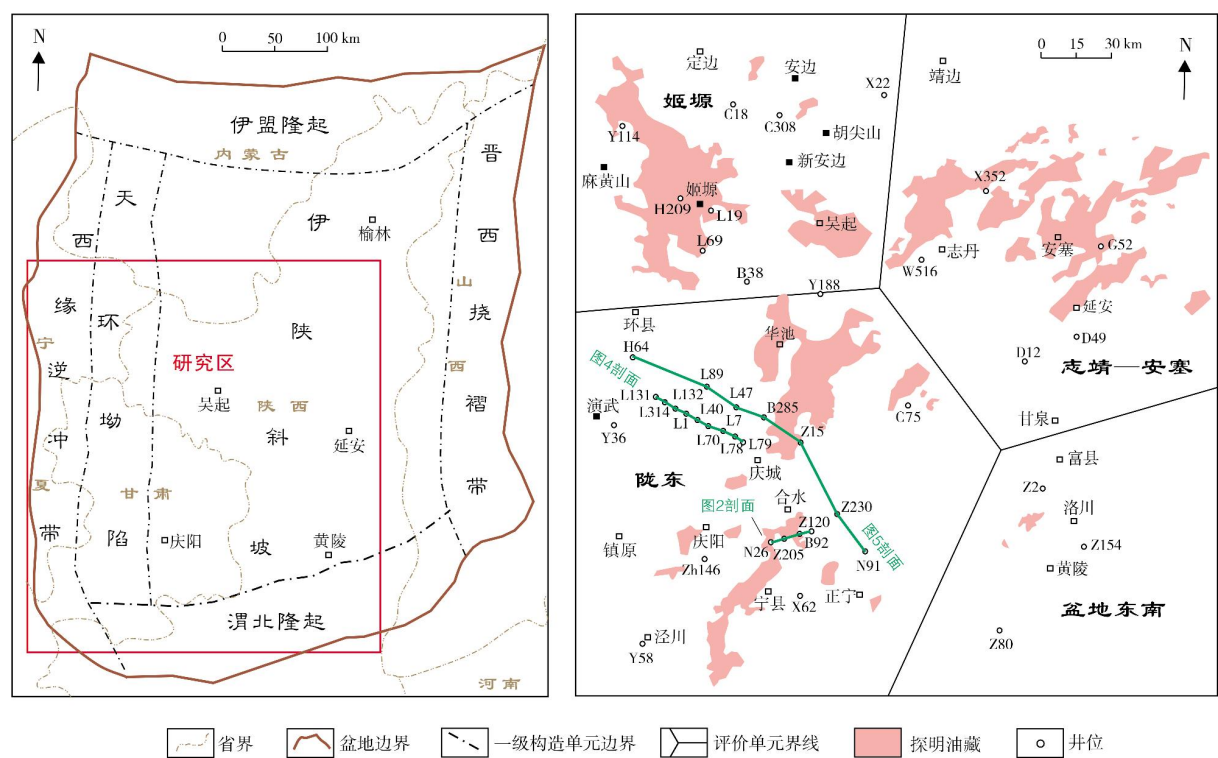


图 1 鄂尔多斯盆地石油资源区带分布图

表 1 鄂尔多斯盆地中生界成藏组合划分

系	组	油层组	厚度/m	生油层	储层	盖层	成藏组合	湖盆演化阶段
侏罗系	安定组		300~500			区域性盖层	上组合	填平补齐阶段
	直罗组		200~400		储层			
	延安组		250~300		储层	区域性盖层		
	富县组		0~250		储层			
三叠系	延长组	长 1	0~240		储层	区域性盖层	上组合	平缓拗陷湖盆消亡
		长 2	120~150		储层			
		长 3	90~120		储层			
		长 4+5	80~90		储层	区域性盖层	中组合	稳定拗陷湖盆萎缩
		长 6	110~130	辅助生油层	储层			
		长 7	100~120	主力生油层	储层	区域性盖层		
		长 8	75~90		储层		下组合	湖盆扩张
		长 9	80~100	次要生油层	储层			
		长 10	210~350		储层			初始拗陷湖盆形成

1.1 烃源岩特征

鄂尔多斯盆地三叠系烃源岩主要发育在延长组长6、长7和长9(表1)。其中,长7烃源岩是盆地延长期分布范围最广、厚度最大的烃源岩。长7沉积期为最大湖泛期,沉积了厚达100 m的细粒沉积物,大部分地区油页岩段的厚度在10~50 m之间,最发育的地区

累计厚度可达80 m以上。长7烃源岩的总有机碳含量(TOC)主要分布于6%~14%之间,最高达30%以上;生烃潜量(S_1+S_2)为6.75~22 mg/g,平均值为13.41 mg/g;氢指数(HI)为192.33~341.57 mg/g,平均值242.62 mg/g;氯仿沥青“A”含量为0.4%~1.0%,最高可达2.0%。长7烃源岩的干酪根实测 R_o 为0.61%~0.98%,平均值为0.80%,达到生油高峰阶段。

长9烃源岩TOC较高(达到3%)且分布范围广,有机质类型主要为I—II型, R_o 介于0.7%~1.0%之间,显示长9烃源岩已经进入成熟阶段。长6烃源岩为辅助烃源岩,在盆地内分布范围有限,生烃能力较低。

1.2 储盖组合

三叠系延长组厚度为700~1200m,岩性主要为细粒级长石砂岩和岩屑长石砂岩,孔隙类型以原生孔为主,发育部分次生孔,孔隙度一般为8%~12%,渗透率一般为 $(0.3\sim1.0)\times10^{-3}\mu\text{m}^2$,储层物性差,孔喉细小,连通性较差,储层非均质性较强。侏罗系储层物性较延长组好,孔隙度一般为11%~23%,渗透率一般为 $(1\sim1800)\times10^{-3}\mu\text{m}^2$,以中高渗储层为主,储集空间以残余粒间孔为主,有部分溶蚀孔^[9]。依据沉积旋回和烃源岩发育状况,可以将盆地生储盖组合划分为3个成藏组合(表1)。

以长7主力烃源岩为界,长10—长8油层组构成下组合,主要为上生下储与旁生侧储;长6—长4+5油层组构成中组合,主要为下生上储与自生自储,其中,长6期是湖盆三角洲沉积建造的主要建设期,为主要的储层发育期,长4+5期短暂的湖侵形成的泥岩可作为区域性的盖层,油源来自长7和部分长6烃源

岩的贡献;长3—长1油层组及侏罗系构成上组合,主要为下生上储。上组合中,延长组长3—长1油层组构成下生上储组合,油源来自长7,长3、长2三角洲平原分流通道砂体在鼻状构造的配置下,形成小幅度的构造-岩性油藏,长1湖沼相泥岩作为区域性盖层;侏罗系的下生上储组合,油源也来自下部延长组长7烃源岩^[10-11],油藏主要形成于古地貌单元的丘状斜坡上,储层主要为河道砂,河流间歇期的细粒泥质岩可作为直接盖层。

1.3 圈闭条件

中生界油藏基本分为3大类,即地层-岩性油藏、构造油藏及构造-岩性复合型油藏。根据对中生界629个油藏的分析统计,岩性油藏占46.4%,构造-岩性油藏占48.3%,构造油藏占5.3%。三叠系延长组油藏,尤其是中、下组合油藏,主要分布在构造稳定、斜坡宽缓的伊陕斜坡上,油藏类型较单一,规模大,主要为岩性油藏。以合水地区长8油藏为例(图2),N26井—Z120井处于三角洲前缘沉积区,砂体形成岩性圈闭。侏罗系油藏主要是构造油藏和构造-岩性油藏,圈闭范围不大,下倾方向一般具有边水或底水,油水分异较好,勘探难度较小。

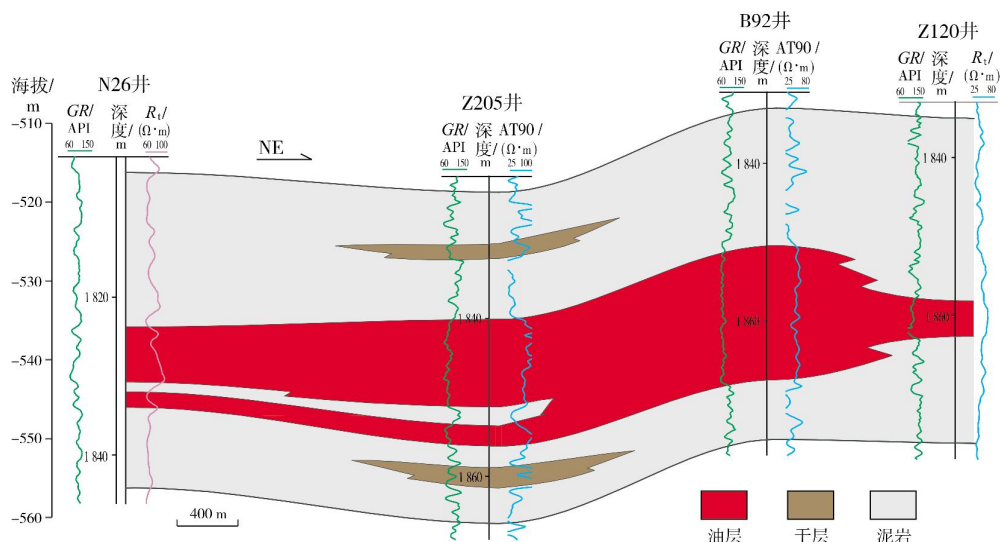


图2 鄂尔多斯盆地合水地区长8油藏剖面图

剖面位置见图1

2 石油富集规律与成藏模式

2.1 常规油富集规律及主控因素

(1) 优质烃源岩是油气成藏的重要保证

鄂尔多斯盆地长8末期湖盆迅速沉降,长7期湖盆迅速扩张,水深加大,湖盆中部地区沉积了一套有机质丰富的暗色泥岩,这为中生界提供了充足的油源^[12-15]。

(2)多套有利储盖组合为多油层复合含油富集区的形成奠定了基础

鄂尔多斯湖盆经历了多次震荡,湖平面发生周期性升降,发育了多套砂泥岩互层的有利储盖组合,其中砂岩是油气储集的良好场所,泥岩则是很好的盖层,这为多油层复合含油富集区的形成奠定了基础。

延长组油藏的横向分布受相带变化的控制。区内发育三角洲和湖泊两大沉积体系(图3),前者以三角洲前缘河口坝、水下分流河道砂岩为主要储集体,后者以半深湖、深湖浊积砂岩为主要储集体。不同的沉积相带形成纵向频繁叠加、横向复合交错,厚度

大、分布稳定的大型复合储集体。已发现超 $10 \times 10^8 \text{ t}$ 储量的安塞油田、西峰油田、姬塬油田及华庆油田,为在长6、长8有利储集砂体中形成的大规模含油富集区。例如,华庆地区位于中生界湖盆中心,长6期主要发育湖相和三角洲相沉积,受湖盆演化及底形影响,该区西南部因位于湖盆陡坡带,发育大型浊积砂体,而东北部受曲流河三角洲沉积体系控制,主要发育三角洲前缘水下分流河道和河口坝砂体;长8期主要受东北沉积体系的控制,发育退积型三角洲前缘水下分流河道和河口坝砂体。这套大型复合储集体紧邻长7优质烃源岩,具有优先捕获油气的优势,源储在时空上形成了良好的配置。

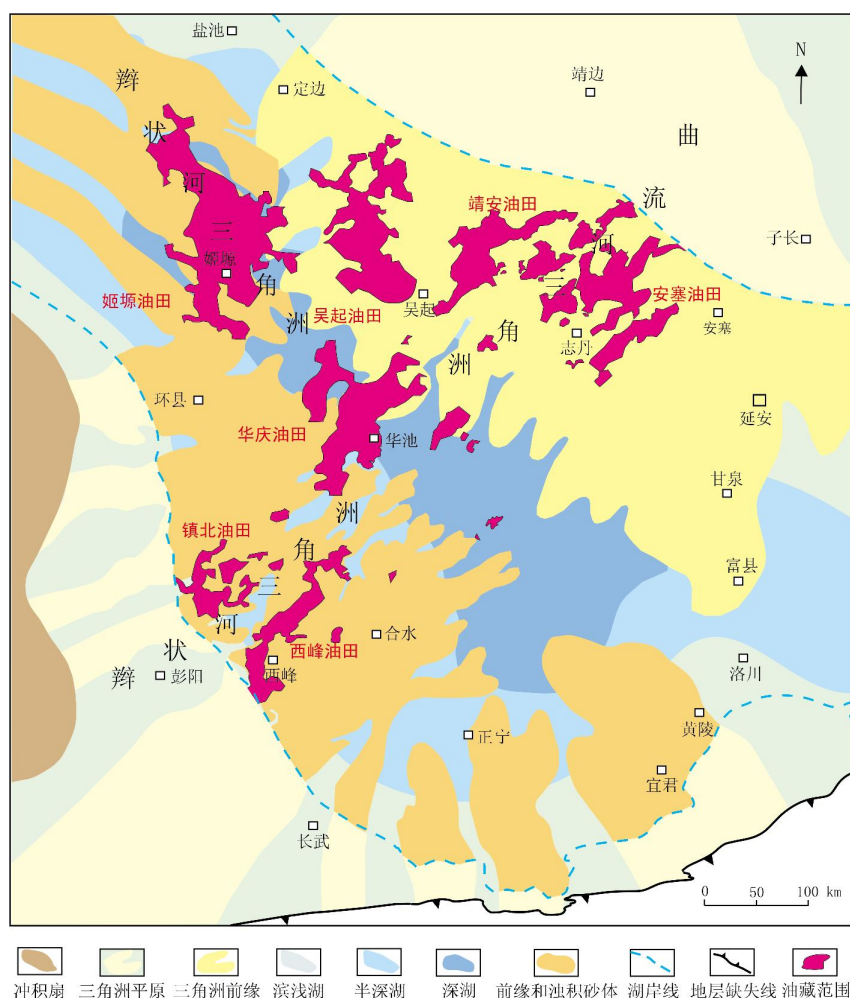


图3 鄂尔多斯盆地三叠系延长组沉积体系

(3)有利的成藏配置是形成大规模含油富集区的重要因素

在烃源岩层过剩压力的驱动下,加上裂缝的影响,

延长组石油沿物性好的砂体运聚成藏,多分布在生烃中心及周边地区^[16-18]。延长组纵向地层过剩压力梯度远大于横向梯度,且在垂向裂缝发育的低

渗透地层中,纵向渗透率远远大于横向顺层渗透率,因此石油在垂向裂缝发育带中主要做垂向运移^[17]。长7烃源岩层的异常高压,可以促使生成的原油沿垂向叠置的砂体向上覆低渗的长6、长4+5储层运移;长3—长2油层组物性相对较好,当石油运移到该油层组以后,可沿着砂体进行侧向运移,在长2的一些低幅构造中聚集成藏。

构造控制了长3油层组—侏罗系油藏的分布,油藏发育在鼻状隆起高部位。侏罗系主要发育构造油藏及构造-岩性油藏,油藏有统一油水界面。三叠系延长组上部 and 侏罗系储层孔隙度、渗透率条件较好,油气运移聚集的驱动力以浮力为主,三叠系顶部不整合面和侏罗系古河道砂体共同构成了侏罗系油藏主要的油气运移通道,石油主要分布在侏罗系古河道内及不整合面附近。

2.2 常规油成藏模式

2.2.1 三叠系延长组大型岩性油藏成藏模式

延长组大面积分布的储集砂体与长7优质烃源岩形成有利的源储配置,石油易于就近运聚成藏。长7优质烃源岩厚度大、分布范围广,在生烃增压作用下,通过砂体和裂缝作为有效输导通道运移,在多套储集砂体中形成多层系叠置的大型油藏^[7,19]。图2所示的长8油藏是典型的岩性油藏成藏模式。按储集砂

体所属的沉积体系与烃源岩分布区的空间配置关系,主要发育3种成藏模式:

曲流河三角洲成藏模式 此类型中,多期叠加的分流河道,砂体较稳定,但储层较致密,石油以侧向运移为主,邻近生烃中心的分流河道有利于石油聚集成藏,如东北部的安塞油田(图3)。

辫状河三角洲成藏模式 此类型中,分流河道砂体通常较稳定,储层物性好,油藏以上生下储为主,易形成大型岩性油藏,有利于石油聚集成藏,如西北部的姬塬油田和西南部的西峰油田(图3)。

三角洲与重力流复合成藏模式 此类型一般位于湖盆中心,受潮盆演化、构造事件影响而形成的大型浊积砂体,与三角洲前缘砂体复合,有利于石油聚集成藏,如湖盆中部的华庆油田(图3)。

2.2.2 侏罗系古地貌控藏模式

侏罗系古地貌控藏是指油藏受前侏罗纪古河道、斜坡及高地等古地貌单元控制,以马岭地区侏罗系成藏模式为典型代表。由于古河道下切而沟通延长组油源,古河道内充填的厚层高渗透率砂岩可作为良好输导层,油气在浮力作用下向古河道上部及两侧运移,在合适的圈闭聚集成藏。由于油气成藏与古河道密切相关,油藏在平面上主要位于古河道两侧的斜坡、古河道及邻近的高地上(大部分位于斜坡),受古地貌控制明显(图4)。

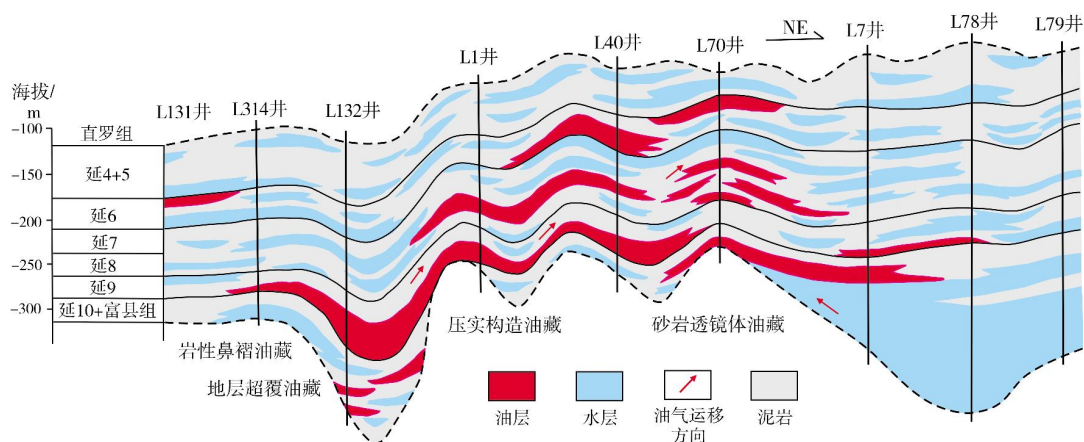


图4 鄂尔多斯盆地侏罗系延安组古地貌控藏模式

剖面位置见图1

2.3 致密油富集规律及成藏模式

延长组长7半深湖相、深湖相泥岩大面积分布,是盆地主要的烃源岩,具有厚度大、分布广,有

机质丰度高、类型好、成熟度高等特点,提供了丰富的油源。

长7致密砂岩孔隙度主要分布在6%~14%之间,平均为8.0%,渗透率一般小于 $0.3 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。长7砂岩

与烃源岩直接接触(图5),源储配置好,可形成致密油藏。该类油藏油层分布稳定,横向连续性好,无统

一的油水界面和压力系统。根据密闭取心(131块样)分析,含油饱和度达70%。

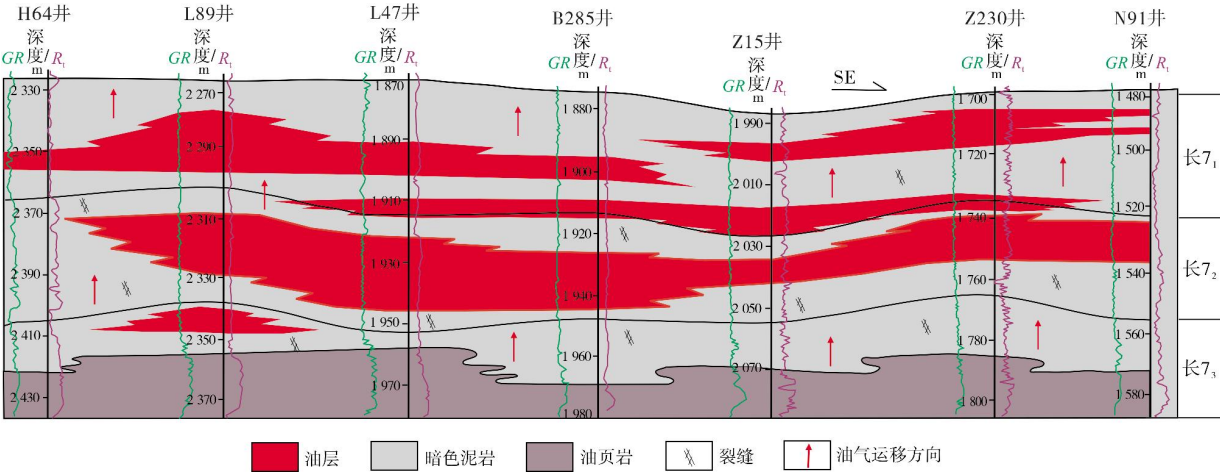


图5 鄂尔多斯盆地长7致密油成藏模式
剖面位置见图1

储层条件是致密油富集的主要控制因素。三角洲平原和三角洲前缘是最有利的储集相带,三角洲平原分流河道砂体、三角洲前缘水下分流河道砂体是油气富集的主要场所。长7大面积湖相泥岩构成了良好的区域性盖层,有利的生储盖配置为陇东地区长7致密油藏的形成提供了理想的条件。

3 石油资源潜力评价

根据鄂尔多斯盆地石油地质特征和勘探开发实践,对盆地的常规油和致密油分别开展了评价。根据中生界油藏特征、主控因素和富集规律,结合勘探实践,提出了“层区带”的评价思路,每个层系划分为姬塬、陇东、志靖—安塞和盆地东南等4个评价单元(图1)。常规油资源评价选取体积法、面积资源丰度类比法和盆地模拟法,致密油资源评价选取体积法、面积资源丰度类比法和EUR(Estimated Ultimate Recovery)法。

3.1 常规油资源评价

鄂尔多斯盆地常规油资源主要分布于三叠系延长组和侏罗系延安组,依据沉积体系、成藏特征,结合勘探成果以及三高原则(勘探程度高、地质认识高和储量探明率高),以层区带划分评价单元,优选体积法、面积资源丰度类比法和盆地模拟法3种方法进行评价,得出的资源量分别为118.75×10⁸t、106.85×10⁸t和122.36×10⁸t(表2)。

根据以上3种评价方法的合理程度和可靠性,应用特尔菲综合法对3种评价结果取适当的权重系数进行综合评价,最终得到中生界常规石油地质资源量为116.50×10⁸t,可采资源量为21.80×10⁸t(技术可采系数取0.1871)(表2)。

表2 鄂尔多斯盆地中生界常规油资源量

评价方法	权重系数	地质资源量/ 10 ⁸ t	可采资源量/ 10 ⁸ t
体积法	0.65	118.75	22.97
面积资源丰度类比法	0.25	106.85	21.18
盆地模拟法	0.10	122.36	23.57
特尔菲综合法		116.50	21.80

3.2 致密油资源评价

鄂尔多斯盆地致密油资源主要分布于三叠系延长组长7油层组。针对该油层组,划分了姬塬、陇东、志靖—安塞和盆地东南等4个评价单元(图1),优选了体积法、面积资源丰度类比法和EUR法3种方法开展致密油资源评价。

体积法 主要参数取值如下:长7₁平均油层厚度为9.6m,含油面积为6627km²;长7₂平均油层厚度为8.0m,含油面积为6845km²;长7储层孔隙度主要分布在6%~14%之间,平均为8.0%;密闭取心实际分析的含油饱和度为70%。应用HyRAS1.0油气资源

评价软件开展致密油资源量计算,得到长7致密油资源量为 $31.16 \times 10^8 \text{ t}$ 。

面积资源丰度类比法 在陇东和姬塬评价单元

分别优选 A83 井区、X233 井区 2 个刻度区进行精细解剖(表3),类比得到参评的 4 个评价单元的相似系数,评价得到的总资源量为 $32.97 \times 10^8 \text{ t}$ 。

表 3 鄂尔多斯盆地长 7 致密油类比法资源评价结果

评价单元		类比刻度区		评价区		
名称	面积/ km^2	名称	资源丰度/ $(10^4 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2})$	相似系数	资源丰度/ $(10^4 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2})$	资源量/ 10^8 t
姬 塬	7 081	A83 井区	10.60	0.839	8.89	6.30
志靖—安塞	7 278			0.417	4.42	3.22
陇 东	21 443	X233 井区	31.70	0.331	10.49	22.50
盆地东南	2 429			0.124	3.93	0.95

EUR 法 是单井评价的最终可采储量的简称。一般用产能递减规律预测单井最终可采储量,标定采收率并预测地质资源量,再应用类比分析的原则确定评价区的资源量。其中,关键参数采收率取 8%,以 X233 井区为代表的水平井注水开发井控面积为 0.56 km^2 ,以 A83 井区为代表的准自然能量开发井控面积为 0.48 km^2 。EUR 法评价的资源量为 $25.49 \times 10^8 \text{ t}$ 。

应用特尔菲综合法对上述评价结果取适当权重系数进行综合评价,最终得到长 7 致密油资源量为 $30.00 \times 10^8 \text{ t}$ 。

3.3 资源评价结果

综上,鄂尔多斯盆地中生界石油总资源量为 $146.50 \times 10^8 \text{ t}$ (表4)。三叠系地质资源量为 $137.20 \times 10^8 \text{ t}$,其中常规油 $107.20 \times 10^8 \text{ t}$,致密油 $30.00 \times 10^8 \text{ t}$,总可采资源量为 $22.96 \times 10^8 \text{ t}$;侏罗系地质资源量为 $9.30 \times 10^8 \text{ t}$,可采资源量为 $2.35 \times 10^8 \text{ t}$ 。

表 4 鄂尔多斯盆地中生界石油资源量 10^8 t

层 位	地质资源量	剩余资源量
侏罗系	9.30	4.89
三 叠 系 延 长 组	长 1	1.01
	长 2	8.55
	长 3	7.05
	长 4+5	11.25
	长 6	40.50
	长 7	30.00*
	长 8	30.70
	长 9	5.80
	长 10	2.34
	小 计	137.20
合 计	146.50	96.93

注: * 为致密油的资源量。

区域上,侏罗系石油资源量主要分布在姬塬和陇东地区(图6),这 2 个地区合计占侏罗系总资源量的 78.49%;三叠系延长组石油资源量主要分布在志靖—安塞、陇东和姬塬地区,这 3 个地区合计占延长组总资源量的 96.72%。

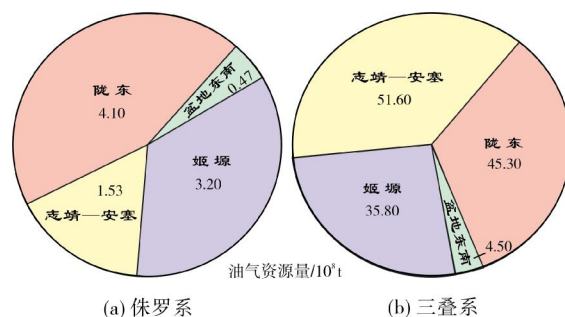


图 6 鄂尔多斯盆地中生界石油资源量分布饼状图

4 剩余石油资源分布与有利勘探方向

4.1 剩余石油资源分布

鄂尔多斯盆地石油资源主要蕴藏在中生界上三叠统和侏罗系砂岩储层中。从目前的勘探开发现状看,三叠系延长组主要为大面积分布的受沉积和成岩作用控制的低渗透、特低渗透储层,孔隙度大于 10%、渗透率大于 $0.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 的油层已经有效开发,渗透率介于 $(0.3 \sim 0.5) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 的油层正在进行攻关试验,部分井区已取得较好的开发效果。侏罗系油层物性明显好于延长组,已有效开发。

综合考虑目前盆地开发现状及资源评价成果,鄂尔多斯盆地仍有巨大的勘探潜力。盆地中生界石油剩余资源量为 $96.93 \times 10^8 \text{ t}$ (表4),纵向上主要分布

在三叠系延长组和侏罗系,其中,延长组剩余资源量为 $92.04 \times 10^8 \text{t}$,侏罗系剩余资源量为 $4.89 \times 10^8 \text{t}$ 。延长组中,长7致密油剩余资源量约为 $28.99 \times 10^8 \text{t}$ 。

三叠系延长组剩余资源量主要分布在长6、长7和长8等油层组(表4),这3个油层组合计占延长组剩余资源量的74.50%;区带上主要分布在志靖—安塞、陇东和姬塬等地区。侏罗系剩余资源量主要分布在延安组,该组剩余资源量占侏罗系剩余资源量的98.60%;区带上主要分布在姬塬和陇东地区。

4.2 有利勘探方向

4.2.1 常规油有利勘探方向

鄂尔多斯盆地控制和预测储量主要分布在长6和长8油层组,两者的剩余资源量达 $39.58 \times 10^8 \text{t}$,因此长6和长8油层组是中生界最有可能落实规模储量的勘探层系;延长组上部长3油层组以上及侏罗系油藏以构造-岩性油藏为主,具“小而肥”的特点,是重要的兼探层系;延长组下部长9和长10油层组是盆地石油勘探的新层系。

区域上,姬塬、陇东和志靖—安塞地区主要发育地层-岩性油藏,是盆地石油资源的主要分布区域,同时也是石油剩余资源的主要分布区。这3个地区的油藏分布范围广,油层厚度大,是现实的资源升级转化目标区。需要在盆地沉积体系、地层格架研究的基础上,通过开展沉积微相、砂体展布和结构的精细刻画,有效储层的形成与分布以及非均质性、生排烃过程与成岩过程的配置关系等方面的研究,实现对已发现油藏的周边和储量连片的剩余油气资源的勘探与开发。

盆地西缘盐池—彭阳地区发育构造-岩性油藏、构造油藏以及岩性油藏,油藏类型多样,成藏条件复杂,需开展地震-地质的联合攻关研究,加强成藏控制因素和分布规律的研究。该区域是鄂尔多斯盆地石油勘探的重要后备接替区域。

志靖—安塞地区的G52井区、姬塬和陇东华池等地区(图1),是延长组下部长9、长10油藏发育区。需要在精细刻画砂体结构和展布的基础上,开展下组合油藏主控因素和富集规律研究,在志靖—安塞、姬塬和陇东等地区寻找长9和长10油层组新的含油富集区。

4.2.2 致密油有利勘探方向

鄂尔多斯盆地长7致密油资源量为 $30.00 \times 10^8 \text{t}$,

约占盆地总资源量的20.48%,主要分布在陇东、姬塬和志靖—安塞等地区;致密油剩余资源量为 $28.99 \times 10^8 \text{t}$,占盆地剩余资源量的29.91%。致密油具有较大的勘探潜力,是长庆油田长期稳产 $5000 \times 10^4 \text{t}$ 和可持续发展的重要保障。

5 结 论

(1)鄂尔多斯盆地中生界发育常规低渗透石油资源和非常规致密油资源2种类型,其中致密油分布在三叠系延长组长7油层组。

(2)三叠系延长组受东北和西南2大沉积体系控制,易形成大型岩性油藏,按储集砂体与烃源岩的空间配置关系,主要发育3种成藏模式:东北部为曲流河三角洲成藏模式,西南部为辫状河三角洲成藏模式,湖盆中部为三角洲与重力流复合成藏模式。侏罗系成藏受古地貌控制,大部分油藏发育于古河道及两侧斜坡、高地等古地貌单元。

(3)盆地石油资源主要分布在中生界三叠系和侏罗系砂岩储层中,中生界石油资源量为 $146.50 \times 10^8 \text{t}$ 。其中,三叠系地质资源量为 $137.20 \times 10^8 \text{t}$ (常规油 $107.20 \times 10^8 \text{t}$,致密油 $30.00 \times 10^8 \text{t}$),可采资源量为 $22.96 \times 10^8 \text{t}$;侏罗系地质资源量为 $9.30 \times 10^8 \text{t}$ 。

(4)盆地中生界石油剩余资源量为 $96.93 \times 10^8 \text{t}$ 。三叠系延长组长6、长8和侏罗系仍是盆地下一步勘探开发和持续稳产的重点领域;延长组下部长9、长10,石油成藏条件优越,勘探程度较低,是勘探的新层系和后备接替领域;长7致密油是可持续发展的重要保障。姬塬、陇东和志靖—安塞等地区是未来石油勘探的主要区域。

参 考 文 献

- [1] 付金华, 罗安湘, 喻建, 等. 西峰油田成藏地质特征与勘探方向[J]. 石油学报, 2004, 25(2): 25-29.
- [2] 赵彦德, 齐亚林, 罗安湘, 等. 应用流体包裹体和自生伊利石测年重构鄂尔多斯盆地侏罗系油藏烃类充注史[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2016, 46(6): 1637-1648.
- [3] 段毅, 张胜斌, 郑朝阳, 等. 鄂尔多斯盆地马岭油田延安组原油成因研究[J]. 地质学报, 2007, 81(10): 1407-1415.
- [4] ZHAO Yande, SUN Bainian, DUAN Yi, et al. Characteristics and geological significance of fluorescence for sandstone grains and hydrocarbon extracts from low permeability reservoirs in the Ordos Basin, China[J]. Arabian journal of geosciences, 2015, 8(12): 10213-10223.
- [5] 宋凯, 吕剑文, 凌升阶, 等. 鄂尔多斯盆地定边—吴旗地区前侏罗系古地貌与油藏[J]. 古地理学报, 2003, 5(4): 497-507.

- [6] 郭正权, 张立荣, 楚关娟, 等. 鄂尔多斯盆地南部前侏罗纪古地貌对延安组下部油藏的控制作用[J]. 古地理学报, 2008, 10(1): 63-71.
- [7] 姚泾利, 赵彦德, 刘广林, 等. 鄂尔多斯盆地三叠系长9段多源成藏模式与富集规律[J]. 石油勘探与开发, 2018, 45(3): 1-11.
- [8] 李士祥, 邓秀芹, 庞锦莲, 等. 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, 2010, 28(4): 798-807.
- [9] 齐亚林, 赵彦德, 王克, 等. 鄂尔多斯盆地姬塬与黄陵地区长8段储层主控因素研究[J]. 石油实验地质, 2015, 37(3): 334-340.
- [10] 赵彦德, 刘显阳, 张雪峰, 等. 鄂尔多斯盆地天环坳陷南段侏罗系原油油源分析[J]. 现代地质, 2011, 25(1): 85-93.
- [11] 赵彦德, 姚宜同, 黄锦绣, 等. 鄂尔多斯盆地陇东地区三叠系延长组长3油层组石油运移与充注研究[J]. 现代地质, 2014, 28(4): 832-840.
- [12] 杨华, 张文正. 论鄂尔多斯盆地长7段优质油源岩在低渗透油气成藏富集中的主导作用: 地质地球化学特征[J]. 地球化学, 2005, 34(2): 147-154.
- [13] 赵彦德, 罗安湘, 孙柏年, 等. 鄂尔多斯盆地西南缘三叠系烃源岩评价及油源对比[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2012, 48(3): 1-6.
- [14] 张文正, 杨华, 李剑锋, 等. 论鄂尔多斯盆地长7段优质油源岩在低渗透油气成藏富集中的主导作用: 强生排烃特征及机理分析[J]. 石油勘探与开发, 2006, 33(3): 289-293.
- [15] 张文正, 杨华, 杨奕华, 等. 鄂尔多斯盆地长7 优质烃源岩的岩石学、元素地球化学特征及发育环境[J]. 地球化学, 2008, 37(1): 59-64.
- [16] 范玉海, 屈红军, 王辉, 等. 鄂尔多斯盆地西部延长组下组合异常压力与油气分布[J]. 新疆石油地质, 2013, 34(1): 14-16.
- [17] ZHAO Yande, YAO Jingli, SUN Bainian, et al. The characteristics and geological significance of fluorescence for sandstone grains and hydrocarbon extracts from Triassic and Jurassic low permeability reservoirs in Tianhuan Depression of the Ordos Basin, China[J]. Acta geologica sinica, 2014, 88(6): 1801-1814.
- [18] 吕振华, 齐亚林, 孟令涛. 鄂尔多斯盆地西北部地区侏罗系成藏主控因素研究[J]. 新疆石油天然气, 2016, 12(1): 19-24.
- [19] 刘显阳, 邓秀芹, 赵彦德, 等. 姬塬地区长9油层组油气运移规律及模式探讨[J]. 岩性油气藏, 2011, 23(5): 9-15.
- [20] 楚关娟, 李士祥, 刘显阳, 等. 鄂尔多斯盆地延长组长8油层组石油成藏机理及成藏模式[J]. 沉积学报, 2013, 31(4): 683-692.
- [21] 姚泾利, 邓秀芹, 赵彦德, 等. 鄂尔多斯盆地延长组致密油特征[J]. 石油勘探与开发, 2013, 40(2): 150-158.
- [22] 姚泾利, 赵彦德, 邓秀芹, 等. 鄂尔多斯盆地延长组致密油形成控制因素研究[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2015, 45(4): 983-992.

编辑: 董庸

The geological conditions, resource potential, and exploration direction of oil in Ordos Basin

HUI Xiao, ZHAO Yande, SHAO Xiaozhou, ZHANG Wenxuan,
CHENG Dangxing, LUO Anxiang

Abstract: The Triassic Yanchang Formation and the Jurassic Yan'an Formation are the main oil-bearing strata in Ordos Basin. Based on the study of petroleum geological conditions in Ordos Basin, sedimentary facies, oil immigration pathway, abnormal pressure, and tectonics are proposed as controlling factors of Mesozoic oil reservoir. The patterns of the Triassic oil accumulation in large-scale deltas and the Jurassic oil accumulation controlled by paleo-geomorphology are setup. Combining with the oil exploration results of the basin, the quantity and the spatial distribution of oil resource are predicted with the "layer zone" as the basic unit of resource evaluation. The results show that the amount of oil resource is 146.50×10^8 t, including 116.50×10^8 t of conventional oil and 30.00×10^8 t of tight oil. With respect to strata, the amounts of oil resources of the Triassic and the Jurassic are 137.20×10^8 t (including 30.00×10^8 t of tight oil) and 9.30×10^8 t respectively. The amount of the remaining oil resource is 96.93×10^8 t, most of which are distributed in Jiyuan, Longdong, and Zhijing-Ansai areas. Chang 6 and Chang 8 of the Yanchang Formation and the Jurassic are key strata for oil exploration in the future; Chang 9 and Chang 10 in the lower part of the Yanchang Formation are new target strata; the tight oil of Chang 7 has great potential for next exploration.

Key words: geological conditions; resource potential; exploration direction; oil; Mesozoic; Ordos Basin

HUI Xiao, First author: Senior Engineer, engaged in petroleum geology. Add: Research Institute of Exploration and Development of Changqing Oilfield Company, CNPC, Changqing Xinglongyuan, Weiyang District, Xi'an, Shaanxi 710018, China
ZHAO Yande, Corresponding author: Senior Engineer, engaged in petroleum geology. Add: BaiLie School of Petroleum Engineering, Lanzhou City University, No. 572 Anning East Rd., Anning District, Lanzhou, Gansu 730070, China