

引用格式:梁正中,许红涛,李昌.鄂尔多斯盆地西南边缘地区长8段充注成藏模式南北对比[J].油气藏评价与开发,2022,12(6):918-926.
LIANG Zhengzhong, XU Hongtao, LI Chang. Comparison of accumulation model of Chang-8 reservoirs between Huanxi-Pengyang area in southwestern Ordos Basin[J]. Petroleum Reservoir Evaluation and Development, 2022, 12(6): 918-926.
DOI:10.13809/j.cnki.cn32-1825/te.2022.06.011

鄂尔多斯盆地西南边缘地区长8段充注成藏模式 南北对比

梁正中¹,许红涛²,李昌³

(1. 榆林学院化学与化工学院,陕西榆林719000;2. 西安石油大学石油工程学院,陕西西安710065;
3. 中国石油杭州地质研究院,浙江杭州310023)

摘要:鄂尔多斯盆地长8段油层在区域上含油性差异显著,但勘探潜力巨大。在鄂尔多斯盆地西南缘成藏地质背景研究的基础上,开展环西与彭阳地区油藏形成控制因素攻关研究和成藏模式系统对比,总结成藏模式,为明确该区油气勘探潜力,预测有利区带提供理论支持。通过试油资料、岩心观察、薄片鉴定、有机地球化学与定量颗粒荧光技术分析等技术手段,从环西与彭阳地区延长组8段低渗透致密油的沉积储层、油藏特征差异着手,分析了南北充注成藏差异及石油富集主控因素。结果表明:区内南北油藏特点及成藏条件差异较大,南部彭阳烃源岩厚度较大、生排烃条件相对有利,加上整体物性较好,相比北部环西更有利于油气充注富集;但彭阳构造调整或破坏作用较强,使油气分布进一步复杂化。综合成藏条件与主控因素研究建立了区内长8段成藏模式,南部彭阳地区为垂向运移成藏模式,北部环西靠西地区主要表现为侧向运移成藏模式。

关键词:致密储层;主控因素;成藏模式;延长组;鄂尔多斯盆地西南部

中图分类号:TE122

文献标识码:A

Comparison of accumulation model of Chang-8 reservoirs between Huanxi-Pengyang area in southwestern Ordos Basin

LIANG Zhengzhong¹, XU Hongtao², LI Chang³

(1. College of Chemistry Engineering, Yulin University, Yulin, Shanxi 719000, China;
2. School of Petroleum Engineering, Xi'an Shiyou University, Xi'an, Shanxi 710065, China;
3. Hangzhou Research Institute of Geology, PetroChina, Hangzhou, Zhejiang 310023, China)

Abstract: There's large differences in oil bearing characteristics of Chang-8 reservoirs in different regions of southwestern Ordos Basin. The exploration potential is great. Studies on major control factors of oil accumulation and enrichment mode of Huanxi-Pengyang area have been carried out on the basis of fundamental oil formation condition analysis in southwestern margin of Ordos Basin to provide a theoretical support for the determination of oil exploratory potential and prediction of favorable zones. By the methods of formation test, logging and core analysis, organic geochemistry and thermodynamic simulations on the fluid inclusions, the migration and accumulation characteristics and major controlling factors of oil enrichment in Huanxi-Pengyang area is systematically analyzed based on the difference in sedimentary reservoir and reservoir characteristics of Chang-8 low-permeability tight reservoir. The results show that there is big difference exists in the features and formation conditions between north and south reservoir. As the source rock thickness is greater and hydrocarbon generation and expulsion conditions is better, and the overall physical property is good, it's more favorable for oil charge and accumulation in Pengyang than that in Huanxi area. But structural

收稿日期:2021-05-20。

第一作者简介:梁正中(1978—),男,博士,副教授,主要从事油气勘探综合地质研究。地址:陕西省榆林市崇文路榆林学院化学与化工学院,邮政编码:719000。E-mail:287200864@qq.com

基金项目:陕西省科学技术厅攻关研究计划“神府地区煤系非常规天然气共生聚集机制及开发潜力评价”(2020SF-369);榆林市科技局项目“基于井震信息融合的致密储层精细描述研究”(CXY-2020-003-02);榆林学院高层次人才科研启动基金“鄂尔多斯盆地北部非常规油气勘探开发潜力研究”(16GK18)。

adjustment influence secondary oil-gas migration or damage in southwestern margin contrast to basin center, resulting in more complex oil distribution. Thus, the oil-gas accumulation model of the Pengyang and Huanxi is further established while the former belongs to vertical hydrocarbon migration pattern and the latter lateral pattern. The research results provide significant guidance for next step of petroleum exploratory orientation evaluation and development for Chang-8 reservoirs in marginal areas of Ordos Basin.

Keywords: tight reservoirs; major controlling factors; reservoir forming mode; Yanchang Formation; Southwestern Ordos Basin

低渗透致密砂岩油气藏具有丰富的成藏类型和不同的形成机制。油气藏的形成与分布往往受多种地质因素控制,只有在有效时空的配置下才能形成有利的油气聚集。不同大地构造背景、不同类型的沉积盆地及其所经历的不同演化过程又造成了各成藏地质因素作用权重的差异性。同一盆地不同构造部位油气成藏地质条件和充注的主控因素也存在较大差异。许多学者从油气藏形成的宏观控制因素和成藏条件等方面,以大量岩心分析数据及室内模拟实验结果为基础,研究了构造沉积、输导体系、成藏动力等对致密油气藏形成的控制作用与成藏模式^[1-4]。

鄂尔多斯盆地位于中国中西部,蕴含丰富的石油资源,多集中在盆地的中南部。进入21世纪,鄂尔多斯盆地西南缘油气勘探也受到决策层的关注,中国石油和中国石化所辖油田近年来均有较大突破发现。随着油气勘探的不断深入,近几年延长组下组合长8致密油藏不断有新发现。前人的研究主要集中在储层特征、沉积砂体和沉积相、成藏特征等方面,而对其充注形成机制以及油藏富集等方面的研究程度较低。由于盆缘相比盆地内部成藏条件更加复杂,对长8油藏差异性充注富集成因的详细研究目前较少^[5-6]。在西南缘成藏基本地质条件研究的基础上,亟需开展环西与彭阳地区油藏充注程度及分布控制因素系统攻关研究。因此,从烃源岩、储层、输导条件、成藏动力与构造演化等多方面,探讨了环西与彭阳地区长8油层油藏特点和充注条件的差异性,总结了南北不同地区的石油充注成藏模式,为盆缘石油勘探选区提供指导依据。

1 油藏差异性

1.1 油藏地质背景

鄂尔多斯盆地是在古生代华北稳定克拉通盆地基础上发育起来的多旋回叠合盆地,现今沉积环境稳定,沉积厚度较大,为油气的富集提供了良好的储集空间。盆地可划分为伊盟隆起、伊陕斜坡、渭北隆

起、西缘逆冲带、天环坳陷和晋西挠褶带6个一级构造单元(图1)。鄂尔多斯盆地经历5个构造演化阶段:中一晚元古代坳拉谷发育阶段、早古生代浅海台

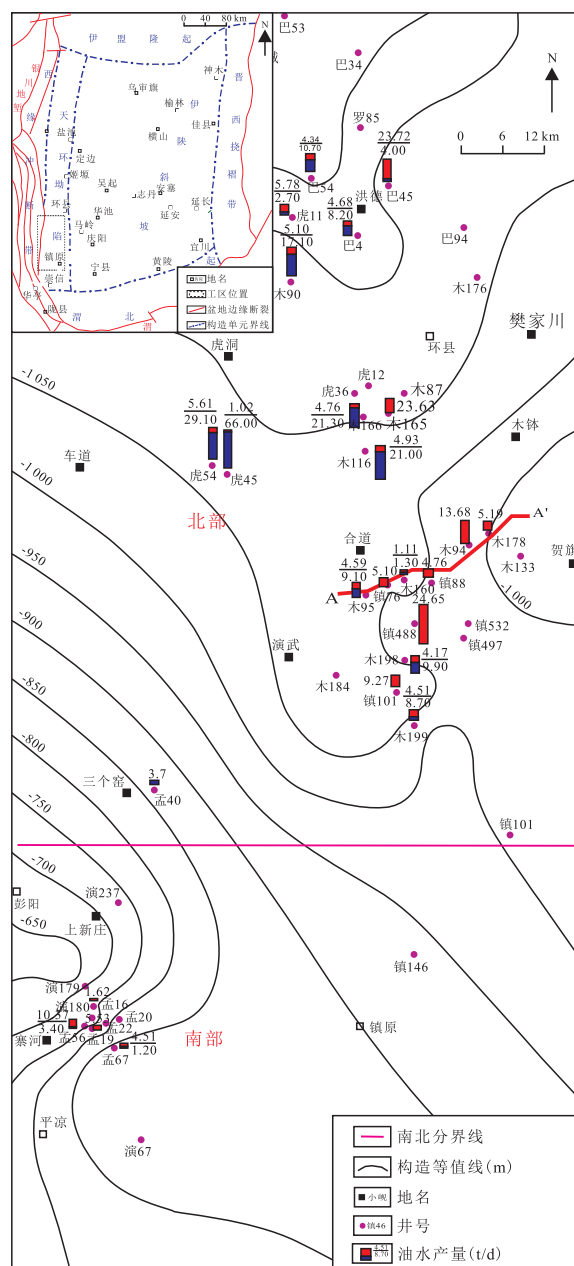


图1 鄂尔多斯盆地研究工区构造位置示意图
Fig. 1 Structural location of study area in Ordos Basin

地形成演化阶段、晚古生代近海平原形成演化阶段、中生代内陆湖盆发育阶段和新生代周边断陷形成阶段。中三叠世鄂尔多斯湖盆从长10段沉积期开始发育,至长7段沉积期达到鼎盛,发育一套稳定的以暗色泥岩和油页岩为主的烃源岩层。烃源岩生成的油气可直接充注进入周围低渗透致密储层中,即广覆式烃源岩与大面积细粒砂岩紧密接触或互层共生,盆地内部富集了丰富的低渗—致密油资源^[6]。环西与彭阳地区均位于鄂尔多斯盆地西南部,地跨天环坳陷与西缘冲断带,为长庆油田石油勘探开发的接替战场,分别紧邻环江油田与镇北油田。前期研究区以侏罗系浅层勘探为主,发现了彭阳、演武侏罗系高产含油区。三叠系延长组也是该地区油气主要分布层系,其中长8油层辫状河分流河道砂体厚度大,勘探开发潜力大。

1.2 南北油藏特征

勘探实践表明,在鄂尔多斯盆地延长组中深层的低渗—致密砂岩油藏中,储层物性差,毛细管阻力很大,油水很难在重力作用下分异,含油饱和度普遍较低。长8油层的分布与常规油藏完全不同,平面富

集程度差异较大。环西与彭阳地区实际测试产量变化较大(图2、图3)。综合试油试采资料和测录井解释,该区长8油层油水关系复杂,油水分异性较差,多油水同出,少数井产纯油。录井显示油迹、油斑普遍,但油浸少见。实测岩心分析表明含油饱和度一般小于30%,含水饱和度一般大于40%。整体以低含油饱和度岩性油藏为主^[7],其中彭阳地区受低幅构造背景影响较大,已发现的油气藏多集中于构造高部位;彭阳总体构造从东往西逐步抬升,在重力分异作用下,具有上气中油下水的特点,并且南部油田地层水矿化度较低,原油密度和黏度较高(图4)。北部油藏平面上具有东多西少的现象,原油性质正常。总体上,南部彭阳含油成片,油气显示较好,整体物性较好,油质较重;北部环西东边油藏显示好,往西则零星出油,储层较致密,但有“甜点”分布。

2 差异性形成原因分析

2.1 源岩差异

前人的油源分析结果认为,鄂尔多斯盆地延长组长7、长9优质烃源岩均可成为盆地长8油藏的烃

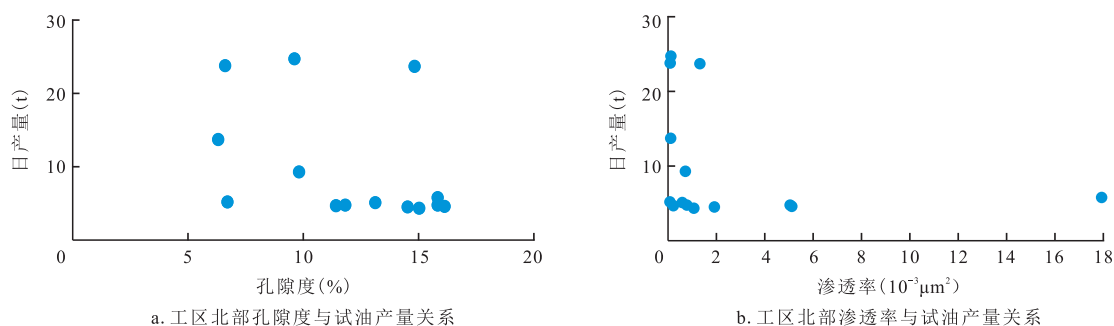


图2 鄂尔多斯盆地研究工区北部长8砂体物性与产油量分布

Fig. 2 Relation between sand physical property and oil production of study area in northern Chang-8 of Ordos Basin

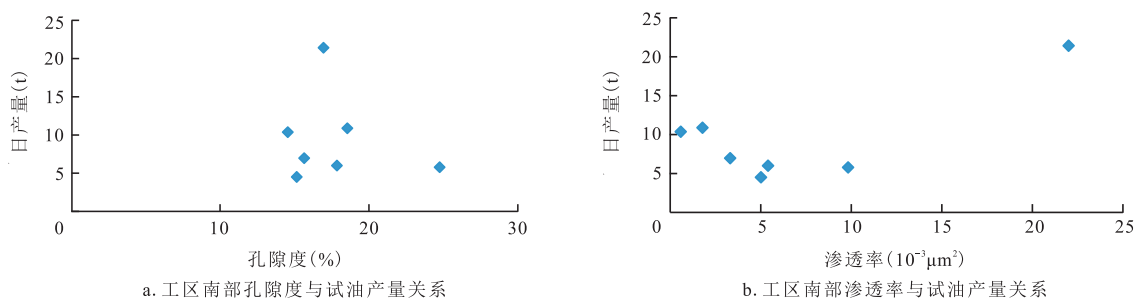


图3 鄂尔多斯盆地研究工区南部长8砂体物性与产油量分布

Fig. 3 Relation between sand physical property and oil production of study area in southern Chang-8 of Ordos Basin

关性较好,储层普遍具有含油性,而且含油饱和度与孔隙度、渗透率之间关系复杂,表现为不同物性砂岩中均有石油注入。储层物性与含油饱和度的复杂关系反映了影响该区含油饱满程度的地质因素较多,储层物性的好坏不是关键。长8油气充注富集主要还受到其他因素的影响^[11]。

2.3 动力条件变化

环西与彭阳地区长8油藏的原油大多来自长7烃源岩,由于长8油层属于超低渗一致密储层,当油气从上覆长7烃源岩生成并在长8油层组聚集成藏时,若要克服阻力,需要相对较高的推动力才能驱使油气向下倾方向运移^[12-13]。综合成藏物理模拟实验,低渗透致密油充注富集需要一定的启动压力,随着启动压力的增大进入致密储集层的流体饱和度呈现增长的趋势,即致密储集层的含油饱和度与源储压差呈正相关^[14-15]。源储压差的分布影响油气分布,压力差越大,含油饱和度越高,致密油越富集。盆内主体区源储压力差一般为8~16 MPa,通过绘制长7—长8的剩余压力剖面分布图(图7),剖面位置见图1,可观察到西南缘环西与彭阳地区长8与长7底部也有较大的剩余压力差存在。

只有当源储压差越大且油气初次运移动力充足时,垂向运移距离相对越大,储集油气的油层厚度越高。南部彭阳有效烃源岩能够提供较为充足的油源供给,又能在生烃、排烃过程中提供较强的油气持续

充注动力保障。因此,在南部烃源岩发育的区域,加上砂体发育较好,越易形成油藏富集。

由于研究区延长组储层能量相对盆内较弱,加之地层平缓、储层致密,油气二次运移能量弱,油气无法大规模侧向运移;环西西部区域整体动力欠缺,难以形成连片有效的油气聚集。但西缘压力低,为油气运移聚集有利指向区,加上坳陷西翼变得陡窄,浮力发挥的作用增强,沿高渗透带可能存在小范围侧向运移。

2.4 输导系统

鄂尔多斯盆地长6—长8致密储集层均发育纵向裂缝,为致密油富集提供了良好的优势输导条件^[16]。伴随构造运动产生的裂缝或微裂缝等,可使致密储层的渗流能力得以改善,成为油气运移通道^[17-19]。燕山期是裂缝发育的最主要的时期,形成于主成藏期以前的断层和裂缝起到连通烃源岩与储层的作用。北部天环坳陷西翼靠近西缘冲断带,裂缝、小断层较为发育。南部彭阳断层与裂缝体系更为发育。

2.5 圈闭与盖层条件

研究区受构造演化的影响,形成了长8地层以岩性圈闭为主、构造—岩性圈闭为辅的圈闭发育特征。东部分布广、厚度大的长7超压泥岩为长8油层提供了良好的盖层条件,整体有利于长8油气藏的保存。相反,环西西缘盖层整体稍差。

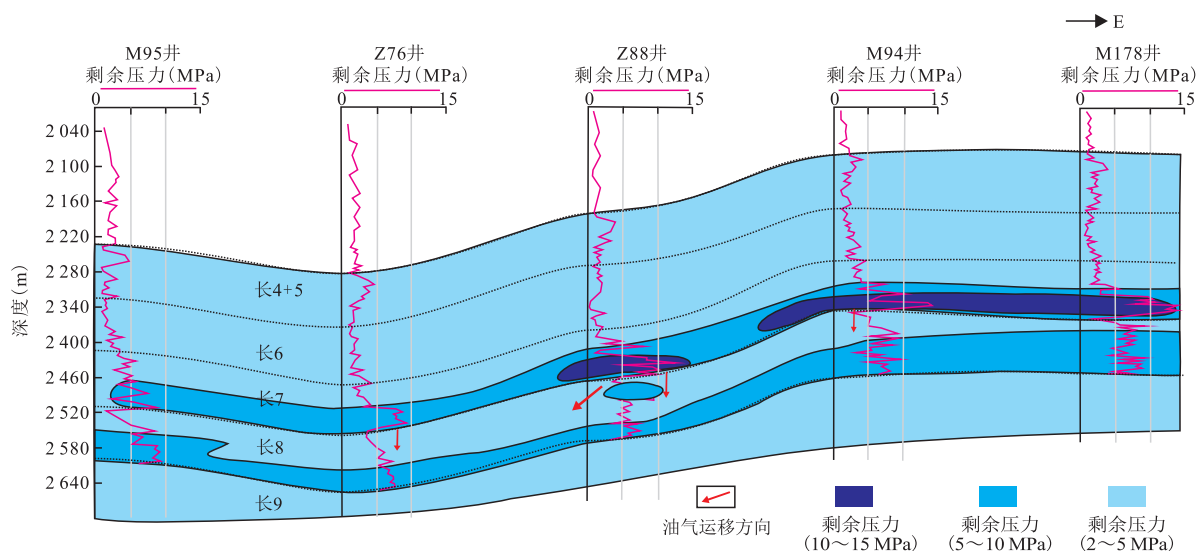


图7 鄂尔多斯盆地环西与彭阳地区剩余压力剖面分布

Fig. 7 Profile of fluid overpressure distribution in Chang-7 to Chang-8 members of Ordos Basin

2.6 构造调整

前人通过流体包裹体测温、伊利石测年以及饱和压力计算等方法研究了鄂尔多斯盆地延长组成藏期次。从早白垩世开始,区域构造沉降及伴随的大规模盆地热事件引发了烃源岩的生排烃,由此大多数学者认为鄂尔多斯盆地主要成藏期发生在早白垩世末^[20-24]。油藏关键充注成藏期之后,形成于喜山运动的断层及裂缝对该区西南边缘油气聚集起着调整或破坏作用,使油气分布进一步复杂化。

通过定量颗粒荧光技术检测储层岩石颗粒(QGF)及其二氯甲烷抽提物(QGF-E)的荧光响应,可有效识别颗粒含油气丰度与性质以及古油层,进而解释复杂的油气充注过程等。对鄂尔多斯盆地彭阳、环西地区南北典型井Y180、M90的砂岩样品分别开展颗粒荧光定量测试,主要参数QGF及QGF-E反映了古油层与现今油层有所差异(表1)。结果表明南部为早充注晚调整型(下部QGF Index值高,QGF-E强度值低),而北部为正常一致型(QGF Index值和QGF-E强度值两者变化一致),这也说明南部彭阳油藏受构造调整影响明显要强。

3 运移成藏模式对比

所谓油气藏是指油气在单一圈闭中的聚集,即

表1 QGF及QGF-E分析检测结果
Table 1 QGF and QGF-E results

井号	井深(m)	QGF Index	QGF Ratio	QGF-E Intensity(pc)
M90	2 564.15	4.8	1.1	237.2
M90	2 571.35	4.5	1.6	195.9
M90	2 574.00	5.2	1.5	115.7
M90	2 576.20	4.1	1.4	91.0
M90	2 579.00	4.5	1.1	198.4
Y180	2 241.60	5.1	1.2	339.2
Y180	2 243.50	3.8	1.1	452.3
Y180	2 258.10	5.7	1.1	193.3
Y180	2 261.60	6.5	1.5	297.8
Y180	2 265.50	4.5	1.3	231.8
Y180	2 269.00	5.4	1.4	105.8
Y180	2 273.50	8.6	1.4	308.8

注:QGF Index为颗粒荧光指数;QGF Ratio为颗粒荧光比值;QGF-E Intensity为颗粒萃取液荧光强度;pc为颗粒萃取液的最大荧光强度与用于萃取的颗粒质量的比值,再乘以系数1.2。

是一定数量的油气,由于遮挡物的作用,阻止了它们继续运移,而在储集层中聚集起来形成了油气藏。环西与彭阳地区长8油气藏和上覆长7段优质烃源岩在空间上均形成了上生下储近源成藏组合,但也存在较大差别。前述从烃源岩、储层、输导条件、成藏动力与构造演化等多方面,探讨了盆地内部及周缘地区长8油层油藏特点和充注条件的差异性^[13,15],环西与彭阳研究区南北油藏特点及成藏条件总结如下(表2)。为此最终建立了对应的油气成藏模式(图8、图9),即南部彭阳地区主体为垂向运移成藏模式,北部环西靠西地区表现为侧向运移成藏模式。

该模式表明研究区东部的区域长7烃源岩发育,在早白垩世末进入生、排烃高峰期,生成的油气在源储剩余压力差驱动下,通过近源叠置砂体和近垂向裂缝向下运移,在长8₁亚段砂体中充注成藏。环西大部属于源下型致密岩性油藏,除了储集层的必要条件,某种程度上更取决于优质烃源岩的分布。东部靠近厚度大、品质优的烃源岩分布区下部,可形成相对富集区,往西往往含油变差,出现油水同层,甚至为水层,即只存在部分沿高渗透地层侧向运移选择性充注。彭阳油气藏受构造背景影响较大,整体上具有低生、低压、近距离、低充注特点。

4 结论

鄂尔多斯盆地西南边缘地区虽普遍以低饱和度岩性油藏为主,但南北油藏特点及充注成藏条件差异较大。南部彭阳含油成片,油气显示较好,整体油质较重。北部环西东边油藏显示好,往西零星出油,油质中等。

综合研究表明,南部彭阳长7烃源岩厚度较大、

表2 油藏成藏特征和条件对比
Table 2 Contrast of oil accumulation features and conditions in study area

成藏条件	区块	
	环西	彭阳
油源条件	西部长7烃源岩不发育	长7有效烃源岩
储集条件	物性较差	相对较好
源储压差	西部较弱	长7与长8较高的剩余压力差
输导系统	砂体、裂缝	断层、近源砂体、裂缝
盖层条件	西缘较弱	较好
构造调整	东部影响较小	整体影响较大

生排烃条件相对有利,加上长8整体储层物性较好及源储剩余压差较大,相比北部环西更有利于油气充注富集;但彭阳后期构造调整或破坏作用较强,使油气分布进一步复杂化。

在对比成藏特征和条件的基础上,通过油气富集主控因素分析,认为南部彭阳地区为垂向运移成藏模式,北部环西靠西地区表现为侧向运移成藏模式。通过明确低渗透致密油充注富集的主控因素及

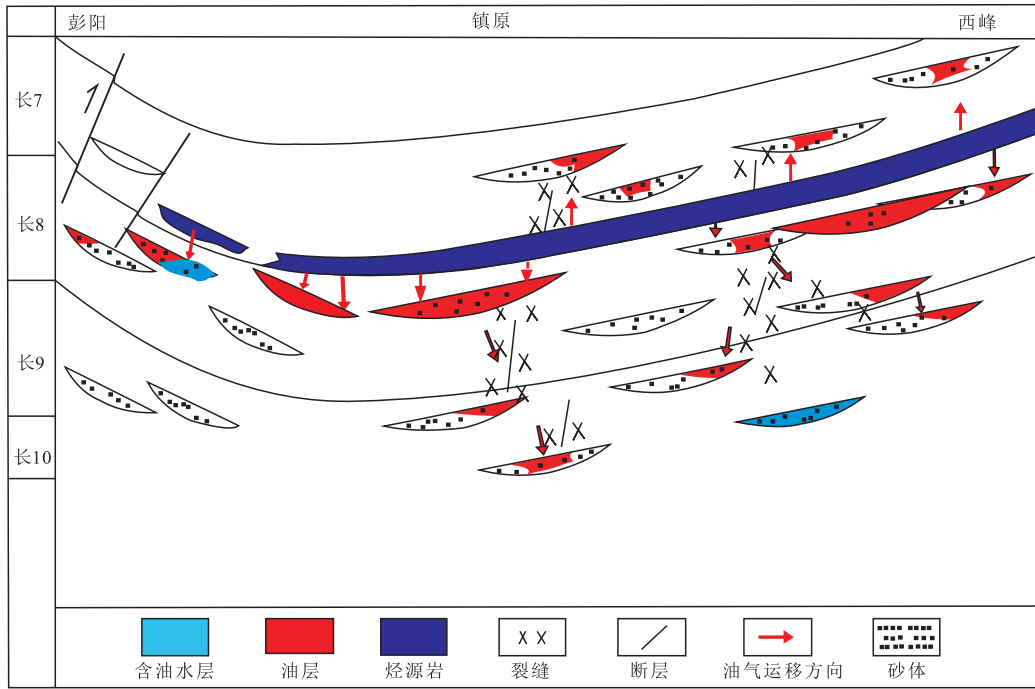


图8 鄂尔多斯盆地彭阳地区垂向运移充注模式

Fig. 8 Vertical hydrocarbon migration and accumulation pattern in Pengyang area

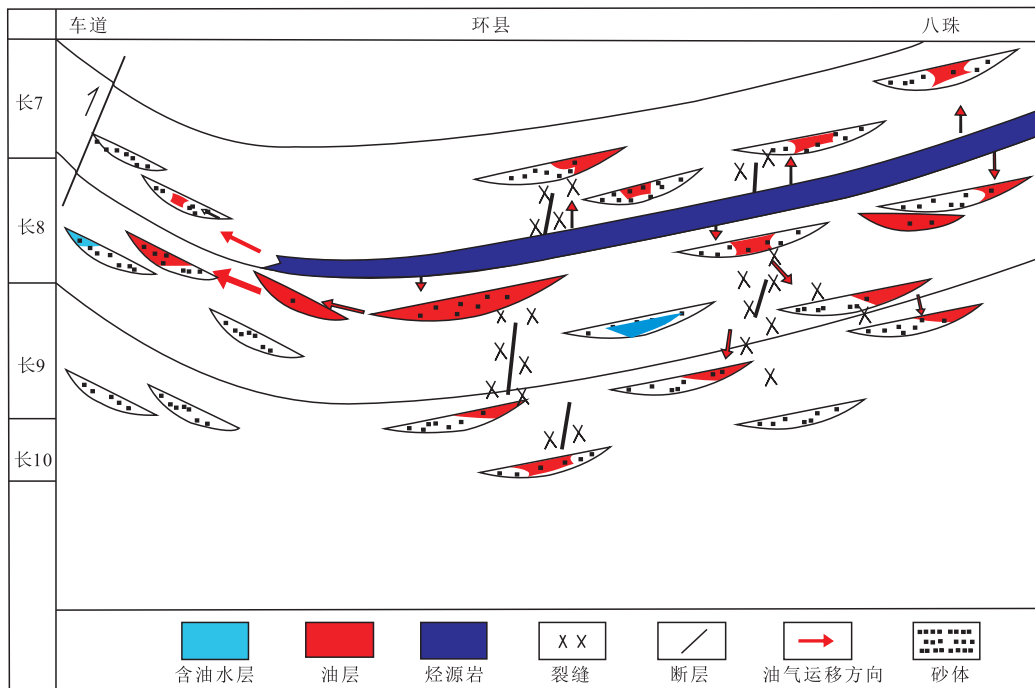


图9 鄂尔多斯盆地环西地区侧向运移充注模式

Fig. 9 Lateral hydrocarbon migration and accumulation pattern in Huanxi area

成藏模式,可为类似的盆地边缘地区下一步油藏勘探开发选区提供地质依据。

参考文献

- [1] 贾承造.论非常规油气对经典石油天然气地质学理论的突破及意义[J].石油勘探与开发,2017,44(1):1-11.
JIA Chengzao. Breakthrough and significance of unconventional oil and gas to classical petroleum geological theory[J]. Petroleum Exploration and Development, 2017, 44(1): 1-11.
- [2] 杜金虎.中国陆相致密油[M].北京:石油工业出版社,2016.
DU Jinhui. Continental tight oil in China[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2016.
- [3] 闫林,冉启全,高阳,等.陆相致密油藏差异化含油特征与控制因素[J].西南石油大学学报(自然科学版),2017,39(6):45-54.
YAN Lin, RAN Qiquan, GAO Yang, et al. The different oil bearing characteristic and control factors of continental tight oil [J]. Journal of Southwest Petroleum University (Science & Technology Edition), 2017, 39(6): 45-54.
- [4] 贾承造,邹才能,李建忠,等.中国致密油评价标准、主要类型、基本特征及资源前景[J].石油学报,2012,33(3):343-350.
JIA Chengzao, ZOU Caineng, LI Jianzhong, et al. Assessment criteria, main types, basic features and resource prospects of the tight oil in China[J]. Acta Petrolei Sinica, 2012, 33(3): 343-350.
- [5] 杨华,李士祥,刘显阳.鄂尔多斯盆地致密油、页岩油特征及资源潜力[J].石油学报,2013,34(1):1-11.
YANG Hua, LI Shixiang, LIU Xianyang. Characteristics and resource prospects of tight oil and shale oil in Ordos basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2013, 34(1): 1-11.
- [6] 杨智,付金华,郭秋麟,等.鄂尔多斯盆地三叠系延长组陆相致密油发现、特征及潜力[J].中国石油勘探,2017,22(6):9-15.
YANG Zhi, FU Jinhua, GUO Qiulin, et al. Discovery, characteristics and resource potential tight oil in Triassic Yanchang Formation, Ordos Basin[J]. China Petroleum Exploration, 2017, 22(6): 9-15.
- [7] HAO F, ZHANG Z H, ZOU H Y, et al. Origin and mechanism of the formation of the low oil-saturation Moxizhuang field, Junggar Basin, China: Implication for petroleum exploration in basin having complex histories[J]. AAPG Bulletin, 2011, 95(6): 983-108.
- [8] 黄振凯,刘全有,黎茂稳,等.鄂尔多斯盆地长7段泥页岩层系排烃效率及其含油性[J].石油与天然气地质,2018,39(3):513-521.
HUANG Zhenkai, LIU Quanyou, LI Maowen, et al. Hydrocarbon expulsion efficiency and oil-bearing property of the shale system in Chang 7 Member, Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2018, 39(3): 513-521.
- [9] 宋兴沛,刘洛夫,徐正建,等.鄂尔多斯盆地中西部长7段烃源岩及致密油潜力评价[J].新疆石油地质,2017,38(5):553-558.
SONG Xingpei, LIU Luofu, XU Zhengjian, et al. Evaluation of source rocks and tight oil exploration potential of Chang-7 member in central and western Ordos basin[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2017, 38(5): 553-558.
- [10] 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[J].石油勘探与开发,2018,45(3):373-384.
YAO Jingli, ZHAO Yande, LIU Guanglin, et al. Formation patterns of Chang 9 oil reservoir in Triassic Yanchang Formation, Ordos Basin, NW China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2018, 45(3): 373-384.
- [11] 王学军,王志欣,陈杰,等.鄂尔多斯盆地镇北油田延长组石油运聚机理[J].石油勘探与开发,2011,38(3):299-306.
WANG Xuejun, WANG Zhixin, CHEN Jie, et al. Petroleum migration and accumulation of the Yanchang Formation in the Zhenbei oilfield, Ordos Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2011, 38(3): 299-306.
- [12] 姚泾利,段毅,徐丽,等.鄂尔多斯盆地陇东地区中生界古地层压力演化与油气运聚[J].天然气地球科学,2014,25(5):649-656.
YAO Jingli, DUAN Yi, XU Li, et al. Pressure evolution and oil gas migration and accumulation in Mesozoic Palaeo-strata in Longdong area of the Ordos Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2014, 25(5): 649-656.
- [13] 楚美娟,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.
CHU Meijuan, LI Shixiang, LIU Xianyang, et al. Accumulation mechanisms and modes of Yanchang Formation Chang-8 interval hydrocarbons in Ordos Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2013, 31(4): 683-692.
- [14] 吴浩,牛小兵,张春林,等.鄂尔多斯盆地陇东地区长7段致密油储层可动流体赋存特征及影响因素[J].地质科技情报,2015,34(3):120-125.
WU Hao, NIU Xiaobing, ZHANG Chunlin, et al. Characteristics and influencing factors of movable fluid in Chang 7 tight oil reservoir in Longdong area, Ordos basin[J]. Geological Science and Technology Information, 2015, 34(3): 120-125.
- [15] 杨伟伟,柳广弟,刘显阳,等.鄂尔多斯盆地陇东地区延长组低渗透砂岩油藏成藏机理与成藏模式[J].地学前缘,2013,20(2):132-139.
YANG Weiwei, LIU Guangdi, LIU Xianyang, et al. The accumulation mechanism and accumulation models of oil in low permeability reservoir of Yanchang Formation in Longdong area, Ordos Basin[J]. Earth Science Frontiers, 2013, 20(2): 132-139.
- [16] 南珺祥,王素荣,姚卫华,等.鄂尔多斯盆地陇东地区延长组长6-8特低渗透储层微裂缝研究[J].岩性油气藏,2007,19(4):40-44.
NAN Junxiang, WANG Surong, YAO Weihua, et al. Microfractures in ultra-low permeability reservoir of the sixth-eighth member of Yanchang Formation in Ordos Basin[J]. Lithologic Reservoirs, 2007, 19(4): 40-44.
- [17] 朱如凯,邹才能,吴松涛,等.中国陆相致密油形成机理与富集规律[J].石油与天然气地质,2019,40(6):1168-1184.
ZHU Rukai, ZOU Caineng, WU Songtao, et al. Mechanism for generation and accumulation of continental tight oil in China[J]. Oil & Gas Geology, 2019, 40(6): 1168-1184.

- [18] 党海龙,姜汉桥,王小锋,等. 延长组长6低渗油藏高温高压条件下裂缝对渗吸效率的影响[J]. 石油与天然气化工, 2020, 49(2): 87-92.
DANG Hailong, JIANG Hanqiao, WANG Xiaofeng, et al. Influence of crack on imbibition efficiency of low permeability reservoir in Yanchang Chang 6 formation under high temperature and high pressure condition[J]. Chemical Engineering of Oil & Gas, 2020, 49(1): 87-92.
- [19] 王勇,王尔珍,隋蕾,等. 镇北长8油藏缓速酸冲压酸化增注技术研究及应用[J]. 石油与天然气化工, 2020, 49(5): 82-86.
WANG Yong, WANG Erzhen, SUI Lei, et al. Research and application of slow acid stamping acidification and augmented injection technology in Zhenbei Chang 8 reservoir[J]. Chemical Engineering of Oil & Gas, 2020, 49(5): 82-86.
- [20] 罗晓容,张刘平,杨华,等. 鄂尔多斯盆地陇东地区长81段低渗油藏成藏过程[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(6): 770-778.
LUO Xiaorong, ZHANG Liuping, YANG Hua, et al. Oil accumulation process in the low-permeability Chang-81member of Longdong area, the Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(6): 770-778.
- [21] 何自新. 鄂尔多斯盆地构造演化与油气[M]. 北京: 石油工业出版社, 2002.
HE Zixin. Tectonic evolution and oil and gas in Ordos Basin [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2002.
- [22] 尹伟,胡宗全,李松,等. 鄂尔多斯盆地南部镇泾地区典型油藏动态解剖及成藏过程恢复[J]. 石油实验地质, 2011, 33(6): 592-596.
YIN Wei, HU Zongquan, LI Song, et al. Dynamic analysis and accumulation process recovery of typical reservoirs in Zhenjing region, south of Ordos Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2011, 33(6): 592-596.
- [23] 宋世骏,刘森. 鄂尔多斯盆地西南部长8致密油层油气成藏期次和时期[J]. 断块油气田, 2018, 25(2): 141-145.
SONG Shijun, LIU Sen. Timing and chronology of hydrocarbon accumulation phases of Chang 8 tight reservoir in southwest of Ordos Basin[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2018, 25(2): 141-145.
- [24] 何登发,孙方源,翟咏荷,等. 鄂尔多斯盆地西缘石沟驿向斜的形成演化与致密砂岩气成藏模式[J]. 石油与天然气地质, 2021, 42(2): 370-390.
HE Dengfa, SUN Fangyuan, ZHAI Yonghe, et al. Syncline development and tight sandstone gas accumulation model in Shigouyi area at western margin of Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2021, 42(2): 370-390.

(编辑 常燕)

(上接第917页)

- [8] BAE H S, PYUN S, CHUNG W, et al. Frequency domain acoustic elastic coupled waveform inversion using the Gauss Newton conjugate gradient method[J]. Geophysical Prospecting, 2012, 60(3): 413-432.
- [9] 姚姚. 地球物理非线性反演模拟退火法的改进[J]. 地球物理学报, 1995, 38(5): 643-650.
YAO Yao. Improvement of simulated annealing method to apply Nonlinear geophysical inversion[J]. Journal of Geophysics, 1995, 38(5): 643-650.
- [10] 张霖斌,姚振兴,纪晨,等. 快速模拟退火算法及应用[J]. 石油地球物理勘探, 1997, 32(5): 645-660.
ZHANG Linbin, YAO Zhenxing, JI Chen, et al. Fast simulated annealing algorithm and its application[J]. Oil Geophysical Prospecting, 1997, 32(5): 645-660.
- [11] ZHANG H, SHANG Z, YANG C. A non-linear regularized constrained impedance inversion[J]. Geophysical Prospecting, 2007, 55(6): 819-833.
- [12] CHIAPPA F, MAZZOTTI A. Estimation of petrophysical parameters by linearized inversion of angle domain pre-stack data[J]. Geophysical Prospecting, 2009, 57(3): 413-426.
- [13] DOWNTON J E. Seismic parameter Estimation from AVO inversion[D]. Canada: University of Calgary, 2005.
- [14] KEMPER M, SOMOZA A. Rock physics driven joint inversion to facies and impedances[C]// Paper SEG-2014-0124 presented at the 2014 SEG Annual Meeting, Denver, Colorado, USA, October 2014.
- [15] KHOURY P E, NAEINI E Z, DAVIS T L. Quantitative interpretation using facies-based inversion applied to the Ordovician Red River U4 dolomite interval, Williston basin[C]// Paper SEG-2018-2987218 presented at the SEG International Exposition and Annual Meeting, Anaheim, California, USA, October 2018.
- [16] SAMS M, WESTLAKE S, THORP J, et al. Willem 3D: Reprocessed, inverted[J]. Leading Edge, 2015, 35(1): 22-26.
- [17] EHSAN Z N, RUSSELL E. Quantitative interpretation using facies-based seismic inversion[C]// Paper SEG-2016-13709660 presented at the 2016 SEG International Exposition and Annual Meeting, Dallas, Texas, October 2016.
- [18] SOMOZA A V, WATERS K, KEMPER M. Improved seismic inversion and facies using regional rock physics trends: case study from central north sea[C]// Third EAGE Workshop on Rock Physics, Istanbul, Turkey, November 2015.
- [19] KEMPER M, GUNNING J. Joint impedance and Facies inversion: Seismic inversion redefined[J]. First Break, 2014, 32: 89-95.
- [20] 田玉昆,周辉,袁三一. 基于马尔科夫随机场的岩性识别方法[J]. 地球物理学报, 2013, 56(4): 1360-1368.
TIAN Yukun, ZHOU Hui, YUAN Sanyi. Lithology identification method based on Markov random field[J]. Geophysics, 2013, 56(4): 1360-1368.

(编辑 余聪)