

doi: 10.12029/gc20200318001

邵晓州, 李勇, 张文选, 郭懿萱, 赵彦德, 张晓磊, 齐亚林, 楚美娟. 2023. 鄂尔多斯盆地陕北地区长 8 致密砂岩流体包裹体特征与石油成藏[J]. 中国地质, 50(5): 1299–1310.

Shao Xiaozhou, Li Yong, Zhang Wenxuan, Guo Yixuan, Zhao Yande, Zhang Xiaolei, Qi Yalin, Chu Meijuan. 2023. The fluid inclusion characteristics and petroleum accumulation of Chang 8 tight sandstone in northern Shaanxi, Ordos Basin[J]. *Geology in China*, 50(5): 1299–1310(in Chinese with English abstract).

鄂尔多斯盆地陕北地区长 8 致密砂岩流体包裹体特征与石油成藏

邵晓州^{1,2,3}, 李勇¹, 张文选⁴, 郭懿萱^{2,3}, 赵彦德⁵, 张晓磊^{2,3}, 齐亚林^{2,3}, 楚美娟^{2,3}

(1. 成都理工大学能源学院, 四川 成都 610059; 2. 低渗透油气田勘探开发国家工程实验室, 陕西 西安 710018; 3. 中国石油长庆油田分公司勘探开发研究院, 陕西 西安 710018; 4. 中国石油长庆油田分公司勘探事业部, 陕西 西安 710018; 5. 兰州城市学院培黎石油工程学院, 甘肃 兰州 730070)

摘要:【研究目的】鄂尔多斯盆地陕北地区延长组长 8 含油分布范围广, 是下步勘探重要的目标领域, 但其石油烃类演化和油藏分布的关系尚不清楚。【研究方法】基于流体包裹体产状特征、成分及均一性分析结果, 综合地质与地球化学方法, 探讨了鄂尔多斯盆地陕北地区长 8 致密砂岩储层内石油的来源及成藏特征, 揭示了长 8 油藏形成时间以及与油气成藏的关系。【研究结果】长 8 砂岩储层中的流体包裹体以气液烃包裹体、气液两相盐水包裹体为主, 主要分布于细砂岩的石英加大边或裂隙中, 可分为早、晚两期, 与气液烃包裹体伴生的盐水包裹体均一温度主要存在 85~105℃和 115~135℃两个峰值区间, 分布连续, 油气为连续充注; 成藏演化史表明, 长 8 石油主要充注时期为 110~135 Ma, 在晚侏罗世发生早期充注, 在早白垩世发生大规模充注。在区域上主要发育长 7 烃源岩, 在最大生排烃阶段烃源岩 R_o 值接近 1.0%, 达到生烃门限, 大量生烃, 长 9 烃源岩在志丹地区局部分布。【结论】结合包裹体特征与烃类形成的关系, 陕北地区长 8 油藏受烃源岩、储层及充注动力等因素控制, 石油充注程度不一, 发育平面上分布不均匀的岩性油藏, 区域上具有“双源供烃、差异聚集”的成藏特点。

关键词: 流体包裹体; 石油成藏; 延长组长 8; 油气勘查工程; 陕北地区; 鄂尔多斯盆地

创新点: 揭示致密砂岩储层流体包裹体与石油成藏的关系, 构建了陕北地区长 8 石油差异分布的成藏模式。

中图分类号: P618.13 文献标志码: A 文章编号: 1000-3657(2023)05-1299-12

The fluid inclusion characteristics and petroleum accumulation of Chang 8 tight sandstone in northern Shaanxi, Ordos Basin

SHAO Xiaozhou^{1,2,3}, LI Yong¹, ZHANG Wenxuan⁴, GUO Yixuan^{2,3}, ZHAO Yande⁵,
ZHANG Xiaolei^{2,3}, QI Yalin^{2,3}, CHU Meijuan^{2,3}

(1. College of Energy Resources, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China; 2. National Engineering Laboratory for Exploration and Development of Low-Permeability Oil & Gas Fields, Xi'an 710018, Shaanxi, China; 3. Research Institute of Exploration and Development, PetroChina Changing Oilfield Company, Xi'an 710018, Shaanxi, China; 4. Exploration

收稿日期: 2020-03-18; 改回日期: 2020-06-15

基金项目: 国家科技重大专项(2016ZX05050, 2017ZX05001002-008)和中国石油天然气股份有限公司科技重大专项(2016E-0501)联合资助。

作者简介: 邵晓州, 男, 1985 年生, 博士, 高级工程师, 主要从事沉积地质与石油地质研究; E-mail: shxzh1@163.com。

Department, PetroChina Changning Oilfield Company, Xi'an 710018, Shaanxi, China; 5. BaiLie School of Petroleum Engineering, Lanzhou City University, Lanzhou 730070, Gansu, China)

Abstract: This paper is the result of oil and gas exploration engineering.

[Objective] The Yanchang Formation 8 in the northern Shaanxi region of the Ordos Basin has a wide oil distribution range and is an important target area for future exploration. However, the relationship between the evolution of hydrocarbons and the distribution of oil reservoirs is still unclear. **[Methods]** Based on the analysis of the occurrence characteristics, composition and homogeneity of fluid inclusions, geological and geochemical methods are used, the oil source and reservoir forming characteristics of Chang 8 tight sandstone are discussed, and the formation time of Chang 8 reservoir and its relationship with hydrocarbon accumulation are revealed. **[Results]** The fluid inclusions in Chang 8 sandstone reservoir are mainly gas-liquid hydrocarbon inclusions and gas-liquid two-phase brine inclusions, which are distributed in quartz enlarged edge or fractures of fine sandstone, and can be divided into early and late stages. The homogenization temperature of brine inclusions associated with gas-liquid hydrocarbon inclusions mainly has two peak ranges of 85–105°C and 115–135°C, which shows that oil and gas are continuously filled. The history and evolution of reservoir formation shows that the main filling period of Chang 8 oil is 110–135 Ma, during which the early filling in late Jurassic and large-scale filling in early Cretaceous occurred. The source rocks of Chang 7 in the region are mainly developed, and the R_o value is close to 1.0% in the maximum hydrocarbon generation and expulsion stage, reaching the hydrocarbon generation threshold and generating a large number of hydrocarbons. The source rocks of Chang 9 are locally distributed in Zhidan area. **[Conclusions]** Combining the characteristics of inclusions with the formation of hydrocarbons, the Chang 8 reservoir in Northern Shaanxi is controlled by factors such as source rock, reservoir and hydrocarbon charging. The oil filling degree is different, and the lithologic reservoir is developed differently, which shows two sets of source rocks hydrocarbon supply and differential accumulation.

Key words: fluid inclusions; oil accumulation; Chang 8 oil formation of Triassic Yanchang Formation; oil and gas exploration engineering; northern Shaanxi; Ordos Basin

Highlights: The study reveals the relationship between fluid inclusions and oil accumulation in tight sandstone reservoirs, and constructs a reservoir formation model for the differential distribution of Chang 8 oil in the northern Shaanxi.

About the first author: SHAO Xiaozhou, male, born in 1985, Ph.D., senior engineer, mainly engaged in sedimentary geology and petroleum geology research; E-mail: shxzh1@163.com.

Fund support: Supported by Major National Science & Technology Projects (No.2016ZX05050, No.2017ZX05001002-008) and China National Petroleum Corporation Science & Technology Major Special Project (No.2016E-0501).

1 引 言

鄂尔多斯盆地陕北地区长8油层组是近年来油气勘探新的后备领域,在姬塬、西峰、镇北、马岭地区都发现了大规模油藏,展示出巨大勘探前景。陕北地区长8段属东北沉积物源体系,砂体发育,储层孔隙度平均值为8.45%,渗透率平均值为 $0.12 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,为典型的低孔超低渗致密储层(图1),并且紧邻长7段烃源岩,在志丹一带发育长9段烃源岩,平面上油水分布关系复杂,成藏期次以及石油聚集关系不明确,长期制约着石油勘探开发。近年来不少学者对鄂尔多斯盆地长8石油成藏机理及分布规律进行了研究,区域多集中于陇东和姬塬地区,前人认为伊陕斜坡构造简单,延长组油藏主要受沉积

相控制,发育岩性油藏(赵靖舟等,2006);盆地长7油层组与长8油层组之间存在的过剩压力差是油气纵向运移的主要驱动力,横向上过剩压力低值区为油气运聚成藏的有利区(楚美娟等,2013;姚泾利等,2015);把姬塬地区长8油层划分为五种成岩相,认为层序界面控制了早期的溶蚀作用和碳酸盐胶结作用(赖锦等,2014)。相比较而言,陕北地区长8研究主要包括烃源岩、低幅度构造、储盖组合、运移动力等方面(王维斌等,2017;任瑞清等,2017),石油成藏条件分析薄弱,尤其是借助流体包裹体对成藏时期各个关键时刻与油气聚集关系的分析少有涉及。

目前确定成藏时间的主要技术包括生排烃史法、油藏地球化学法、饱和压力法、流体包裹体均一

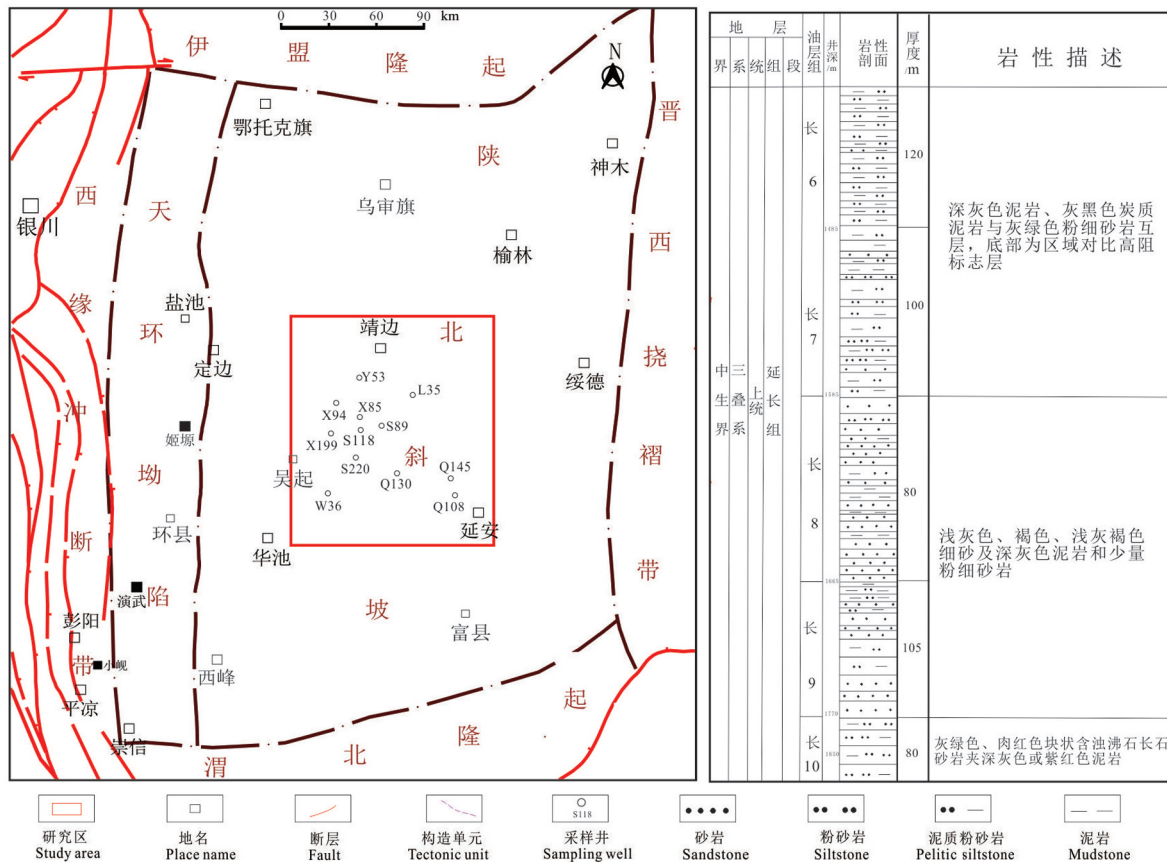


图1 研究区构造位置及延长组情况

Fig.1 Structural location and strata of Yanchang Formation in the study area

温度、自生伊利石 K-Ar 法、Re-Os 元素测年法等 (刘德汉等, 2007; 陈梦娜等, 2018), 其中, 流体包裹体是矿物结晶生长时, 被包裹在矿物晶格缺陷的成矿流体。流体包裹体形成后, 由于既没有外来物质的加入也没有自身物质的流出, 因而可以作为原始的成矿流体进行研究。流体包裹体方法最初主要应用于矿床学的研究, 20 世纪 70 年代末到 80 年代初随着石油地球化学的发展, 流体包裹体已作为一种重要的手段应用于石油地质研究, 并且逐渐发展成为最广泛和最有效的手段之一。从目前的应用情况看, 流体包裹体应用于石油地质研究主要有两个方面: 一是根据包裹体均一温度测定数据以及捕获温度、捕获压力的计算资料, 研究盆地烃源岩的热演化历史和储层的成岩演化历史; 二是根据各类烃包裹体的观测分析资料, 剖析油气生成—运移—聚集的成藏信息 (赵桂萍, 2017)。

本文利用流体包裹体分析技术, 厘定了陕北地

区长 8 成藏年代时间, 结合该区热演化史和埋藏史, 对油藏聚集的规律进行分析, 明确了下一步勘探的主要方向。

2 流体包裹体特征

沉积物沉积、成岩演化各阶段形成的新生矿物、矿物加大边、碎屑矿物裂隙的愈合面, 以及矿物、岩石的重结晶等都可能捕获沉积、成岩环境中的介质流体, 而所形成的各种包裹体记录着地质演化的历程信息。储层成岩自生矿物组构、相互包裹、穿插关系和形成时间序列, 油气包裹体相态、形态、颜色、分布、均一温度和荧光特征等均记载了地质演化信息 (赵彦德等, 2016)。

2.1 样品采集和处理

本次研究, 共选择了陕北地区中生界延长组长 8 的 12 口井 32 个砂岩样品, 岩性主要为岩屑长石砂岩, 在中国石油兰州石油地质研究所实验研究中心

进行了包裹体测温。受包裹体分布的影响,在23个样品薄片检测到了油包裹体,并对荧光光谱和均一温度进行测试。

流体包裹体透光和荧光分析在MPV-SP显微镜光度计上进行。其中,流体包裹体均一化温度测试对象主要为石英次生加大边和方解石胶结物中与油包裹体共生的盐水包裹体,若无油气包裹体,则选择盐水包裹体测量。

2.2 包裹体荧光光谱特征

目前对包裹体荧光光谱进行定量描述的参数主要有主峰波长和红绿商两种。其中,主峰波长(λ_{max})指最大荧光强度(I_{max})所对应的发射波长,它随着小分子成分含量的增加,成熟度增大,荧光会发生明显的“蓝移”,光谱主峰波长减小;反之,光谱主峰波长增大;红绿商(QF535和Q650/500)指荧光颜色中红色部分与绿色部分的比值,可以量化描述荧光光谱形态和结构。QF535为发射波长535~750 nm范围内的积分面积与发射波长430~535 nm范围内的积分面积之比,Q650/500为650 nm波长处荧光强度与500 nm波长处荧光强度的比值。QF535和Q650/500值越大,反映石油的成熟度越低,反之,成熟度越高(付金华等,2017)。

本次实验由于游离烃荧光强度较弱,无法进行光谱特征测试,重点对石英、长石和碳酸盐胶结物等不同宿主矿物内的包裹烃进行荧光光谱特征分析。结果表明,长石包裹体烃的主峰波长值最大,为477.2~532.8 nm,平均494.2 nm,石英包裹体烃较小,主峰波长为472.0~529.1 nm,平均为488.4 nm,碳酸盐胶结物中包裹体烃最小,主峰波长为459.3~488.0 nm,平均为477.0 nm。红绿商在长石包裹体中平均值为0.208,在石英包裹体中为0.194,在碳酸盐胶结物烃中为0.173(表1)。因此,不同包裹体烃的荧光光谱主峰波长和红绿商参数变化趋势一致,长石和石英包裹体烃的数值较大且差距不大,而碳酸盐胶结物烃值最小。

2.3 包裹体类型、分期

根据镜下薄片、扫描电镜等观察,陕北地区长8储集砂岩经历了多种成岩作用,压实作用中等—强压实程度,可见长石等碎屑颗粒紧密接触、颗粒定向排列或塑性岩屑变形,石英及长石颗粒的加大边现象普遍,高岭石含量较低,绿泥石分布形态以绿泥石环边、薄膜为主,长石和岩屑溶蚀普遍但发育程度不高,铁方解石及铁白云石胶结明显。研究区长8成岩序列可以概括为:压实作用→石英、长石次

表1 陕北地区长8储集层部分包裹体荧光光谱参数特征

Table 1 Characteristics of fluorescence spectrum parameters of inclusions in Chang 8 reservoir in northern Shaanxi

序号	井号	深度/m	宿主矿物	主峰波长(λ)	红绿商(Q)	QF535	颜色
1	Q130	1712.3	长石	491.6	0.182	0.599	蓝绿色
			石英	472.0	0.174	0.617	蓝绿色
			碳酸盐胶结物	479.8	0.132	0.507	蓝绿色
2	S118	2011.6	长石	477.2	0.221	0.682	蓝绿色
			石英	477.0	0.186	0.609	蓝绿色
			碳酸盐胶结物	459.3	0.155	0.427	蓝色
3	Q108	1165.2	长石	492.5	0.151	0.578	蓝绿色
			石英	485.7	0.142	0.539	蓝绿色
			碳酸盐胶结物	479.3	0.130	0.515	蓝绿色
4	X94	2209.5	长石	492.0	0.147	0.638	蓝绿色
			石英	491.6	0.142	0.603	蓝绿色
			碳酸盐胶结物	487.5	0.135	0.677	蓝绿色
5	S220	2046.4	长石	478.9	0.141	0.547	蓝绿色
			石英	474.8	0.142	0.474	蓝绿色
			碳酸盐胶结物	467.9	0.140	0.535	蓝绿色
6	X85	1907.3	长石	532.8	0.408	1.102	黄绿色
			石英	529.1	0.377	1.021	黄绿色
			碳酸盐胶结物	488.0	0.347	0.953	蓝绿色

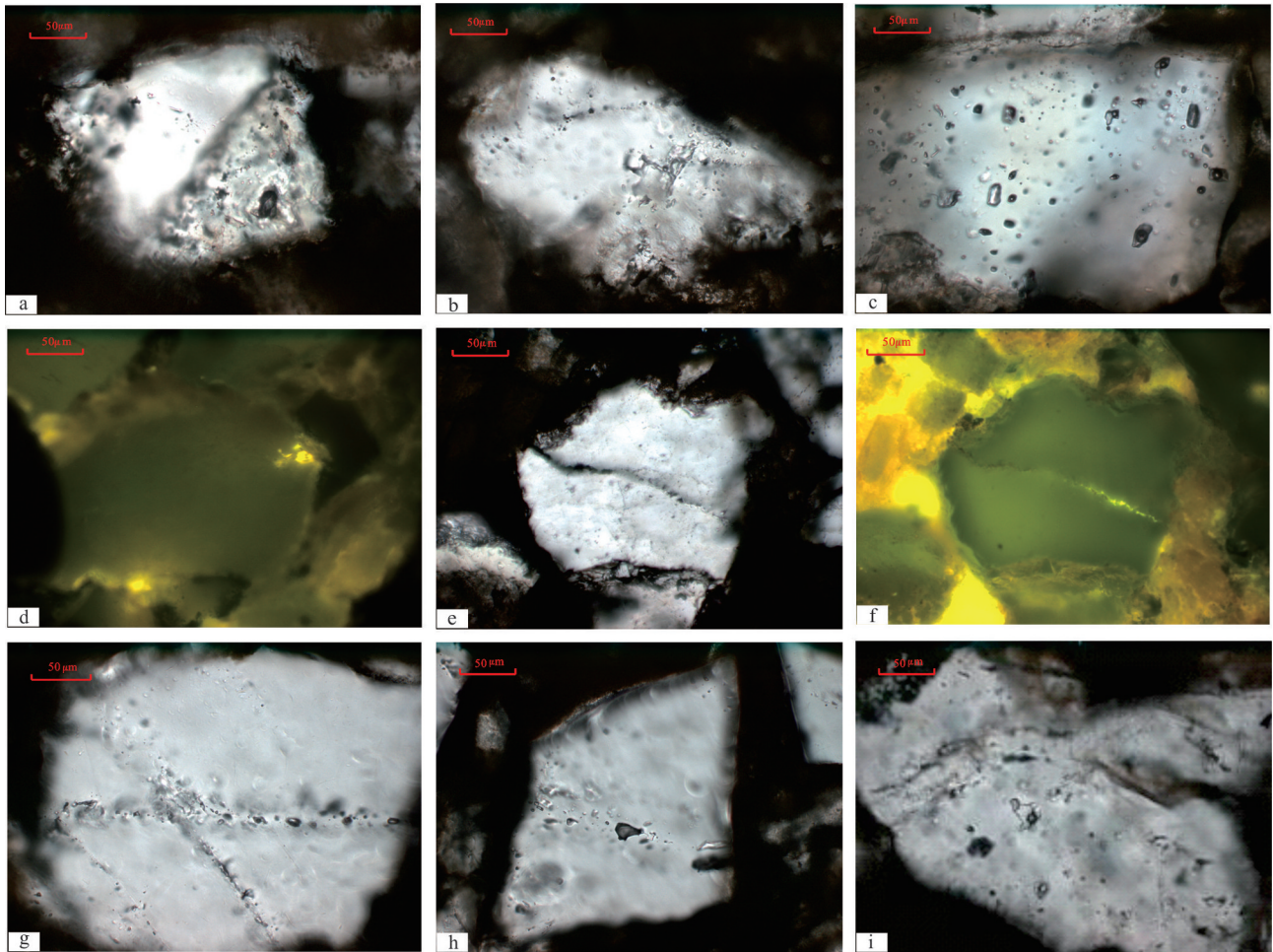


图2 陕北地区长8储层包裹体镜下特征

a—石英加大边中气液包体, Q108, 1165.2 m; b—石英溶蚀孔隙中气液包体, Q108, 1165.2 m; c—石英中气液包体, Q130, 1712.3 m; d—长石中浅黄色气液包裹体(荧光), Q108, 1165.2 m; e—石英晚期裂隙, 烃类包裹体, X94, 2209.5 m; f—石英晚期裂隙, 有烃类充注(荧光), X94, 2209.5 m; g—石英裂隙中的包裹体, S220, 2046.4 m; h—石英裂隙中有机液+盐水包裹体, X85, 1907.3 m; i—石英裂隙中气液包裹体, Q130, 1712.3 m

Fig.2 Microscopic characteristics of inclusions in Chang 8 reservoir in northern Shaanxi

a—Gas-liquid inclusion in quartz enlarged edge, Q108, 1165.2 m; b—Gas-liquid inclusions in quartz dissolution pores, Q108, 1165.2 m; c—Gas-liquid inclusions in quartz, Q130, 1712.3 m; d—Light yellow gas-liquid inclusions in Feldspar (fluorescence), Q108, 1165.2 m; e—Inclusions in quartz fractures, X94, 2209.5 m; f—Inclusions in quartz fractures with hydrocarbon filling (fluorescence), X94, 2209.5 m; g—Inclusions in quartz fractures, S220, 2046.4 m; h—Inclusions of organic liquid and brine in quartz fractures, X85, 1907.3 m; i—Gas-liquid inclusions in quartz fractures, Q130, 1712.3 m

生加大→伊利石、高岭石沉淀→长石、岩屑溶蚀→高岭石胶结、自形石英微晶→铁方解石、铁白云石胶结(王维斌等, 2017; 叶博等, 2018)。

在以上成岩作用序列基础上, 对研究区长8储层中流体包裹体的物理相态、颜色、形态及分布情况进行镜下观察, 长8储集层油气包裹体大致可分为早、晚两期, 分别代表两次油气运移、成藏事件。第一期包裹体主要分布在石英碎屑颗粒的石英次生加大边以及石英颗粒内部裂隙, 偏光下为褐色, 无荧光或者很淡的黄色荧光, 反映包裹体形成较

早。第二期包裹体主要分布在切穿石英颗粒裂隙周缘, 主要呈现成串的珠状定向分布, 外形以椭圆或者不规则状为主。该期包裹体具有黄色荧光, 荧光较强, 形成时间相对较晚(图2)。

早期包裹体其物理相态主要有气态烃+液态烃+少量盐水、气态烃+液态烃和纯液态烃3种。气液比较大, 颜色为黑色或深褐色; 气态烃呈灰色, 在包裹体中央部位; 液态烃为黄褐色, 半透明; 盐水无色透明, 分布在包裹体边缘。这类包裹体形态为近圆形、椭圆状, 部分为不规则状, 常常见于溶蚀孔隙中, 沿

早期裂隙呈串珠状分布,形成于沉积埋藏之后。

晚期油气包裹体物理相态主要包括气态烃+液态烃+大量盐水及气态烃+大量盐水2种。所捕获的油气包裹体较大,其包裹体形态主要为椭圆型和不规则状,多呈串珠状分布。油、气、水3种相态边界清晰可见。这类包裹体主要分布在晚成岩阶段的裂隙,同时在晚期硅质胶结物和亮晶方解石胶结物中也可见,荧光颜色较浅,反映出有机质流体中烃类含量相对较低(时保宏等,2012)。

陕北地区长8储层中的两期油气包裹体主要分布在与多期构造运动有关的构造裂隙和溶蚀孔隙中,燕山运动和喜山运动两期裂隙形成(曾联波等,2007;郭川等,2009)与当时的构造活动息息相关,而构造活动是成岩作用和油气形成以及运移成藏的主要因素。因此,两期油气包裹体分别代表了研究区两次油气运移成藏过程,油气运移与早、晚期构造活动有关(万永平等,2010;张莉等,2019)。

3 包裹体均一温度和盐度

流体包裹体均一温度是指气-液两相流体变为单一均匀相流体时所需的温度,烃类包裹体由于甲烷的存在容易散失氢离子,从而改变包裹体的成分,造成所测的均一温度与捕获时的均一温度不同。与烃类包裹体同幕的盐水包裹体均一温度分布不仅可以用来作为古温度的近似值和热事件的标志,而且还可以用作油气成藏幕次划分的有效依据,是了解流体古温度、推测盆地古地温和热演化史的主要依据。盐水包裹体分幕依据有两点原则:一是具有相同产状和相似气/液比的流体包裹体组合;二是相似产状和相似气/液比包裹体内部均一温

度大致按15℃间隔分幕(陶士振,2006)。因此,与烃包裹体共生的盐水包裹体能够提供自生矿物结晶时古地层流体的温度,利用流体包裹体均一温度作分析研究时,通常采用的都是盐水包裹体(陈刚等,2012)。

陕北地区长8储层流体包裹体类型主要包括盐水包裹体和含液态烃包裹体。本次在成岩自生矿物序次分析基础上,选取与油气包裹体相伴生的盐水包裹体测定其均一温度,以判别不同充注期形成的包裹体,测点数共计326个。统计数据后发现,储层包裹体均一化温度集中在80~140℃内(图3),虽然分布范围较宽,但都主要存在85~105℃和115~135℃两个峰值区间,分布连续,表明油气为连续充注,整个充注过程未发生大的构造事件,而出现两个峰值说明该区烃类充注是一个由强到弱,再由弱到强的连续充注过程,为两期成藏过程(白玉彬等,2014)。

流体包裹体盐度可反映沉积时流体的环境,通常开放系统中的流体盐度要低于封闭系统中的流体盐度,它的大小是根据流体包裹体中水溶液的冰点温度来测得计算的。结果表明,长8砂岩储集层包裹体盐度总体较低,呈不对称偏态分布,一般在1%~7%,盐度整体在1%~5%,分别有2%~3%和4%~5%两个峰值区间,也进一步证明了陕北长8砂岩储层存在两期流体包裹体。同时,流体包裹体盐度变化范围较广,说明地层流体交换作用很普遍。

4 包裹体恢复石油成藏时期

近些年来,流体包裹体广泛应用于油气成藏研究,尤其是基于流体包裹体测温与热演化史相结合

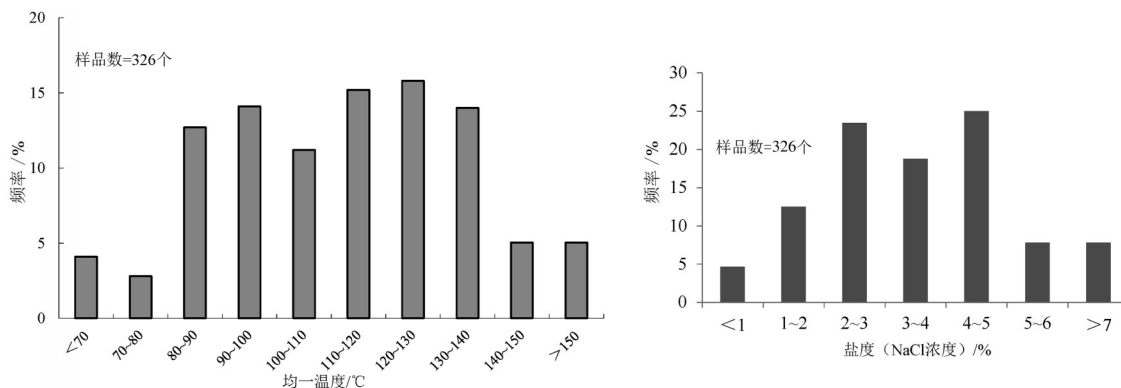


图3 陕北地区长8储层包裹体均一温度和盐度分布

Fig.3 Homogenization temperature and salinity of fluid inclusions in Chang 8 reservoir in northern Shaanxi

间接确定油气成藏期次的研究,有力推进了油气成藏年代学的定量研究。

4.1 热演化史恢复

受区域构造演化历史的控制,陕北地区中生代经历了多期次的构造运动,构造变形与燕山运动和喜马拉雅运动密切相关。盆地东缘的基本构造形态在燕山运动期形成,受到古太平洋板块与亚洲大陆俯冲产生的远程构造效应的影响,主要表现为NW-SE向挤压作用,区内发育一系列NE-NNE走向的开阔平缓的背斜带和单斜构造;新生代以来,由于印度板块向欧亚板块的碰撞和碰撞期后的陆内俯冲所产生的远程效应,盆地东缘古构造应力场挤压方向由燕山期的NW-SE向转变为NE-SW向(王锡勇等,2010;赵振宇等,2012)。在鄂尔多斯盆地多旋回沉积与多阶段抬升改造的区域背景下,研究区中生代经历了多期非匀速的快速沉降沉积过程与强度不等的构造抬升剥蚀事件(丁超等,2016)。

目前利用流体包裹体分析是确定油气成藏时期的主要方法,它是将包裹体测温数据投射到沉积埋藏史与古地温场演化史图上,然后进一步确定地层流体达到相应温度的地质历史时间、地质年代。

盆地热演化史控制着油气成藏时期,详细的埋藏史及热史恢复对油气成藏研究的不同方法得出的结果有限定作用,可以提高成藏期次研究的精度,使之更符合实际。地层埋藏史及其地层温度的演化过程是包裹体定年的依据,将包裹体均一温度数据与盆地热史中温度的演化史进行对比,可以判定油气运移成藏的时间。研究区长8包裹体均一化温度主要分布在80~140°C,热演化埋藏史如图4所示。

4.2 石油成藏时期

由包裹体均一温度分布特征来看,分布范围较宽,集中在85~105°C和115~135°C两个峰值区间,分别对应晚侏罗世—早白垩世。陕北地区主要发育长7烃源岩,从热演化历史的模拟结果看,侏罗纪晚期—白垩纪早期延长组烃源岩的 R_o 值接近0.7%,达到生烃门限,可以大规模生烃。将构造演化史同油气包裹体宿主矿物与均一温度、 R_o 值结合起来,参照任战利等(2007)测定的鄂尔多斯盆地古地温梯度3.68°C/100 m和地表温度15°C计算,得出研究区延长组长8应为连续一期两幕成藏。结合长8地层埋藏—热演化史图,推测长8储层包裹体形成时间距今135~110 Ma,对应的地质时间为早期充注时间的晚侏罗世和大规模充注期的早白垩世两个时期,

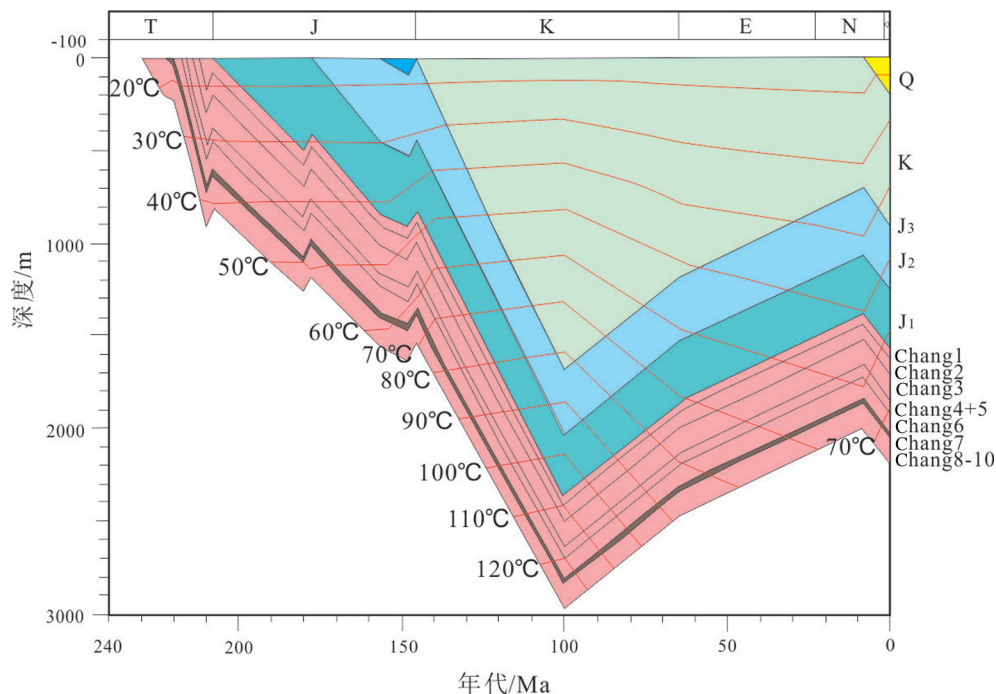


图4 陕北地区埋藏及热演化史

Fig.4 Burial and thermal evolution history in northern Shaanxi

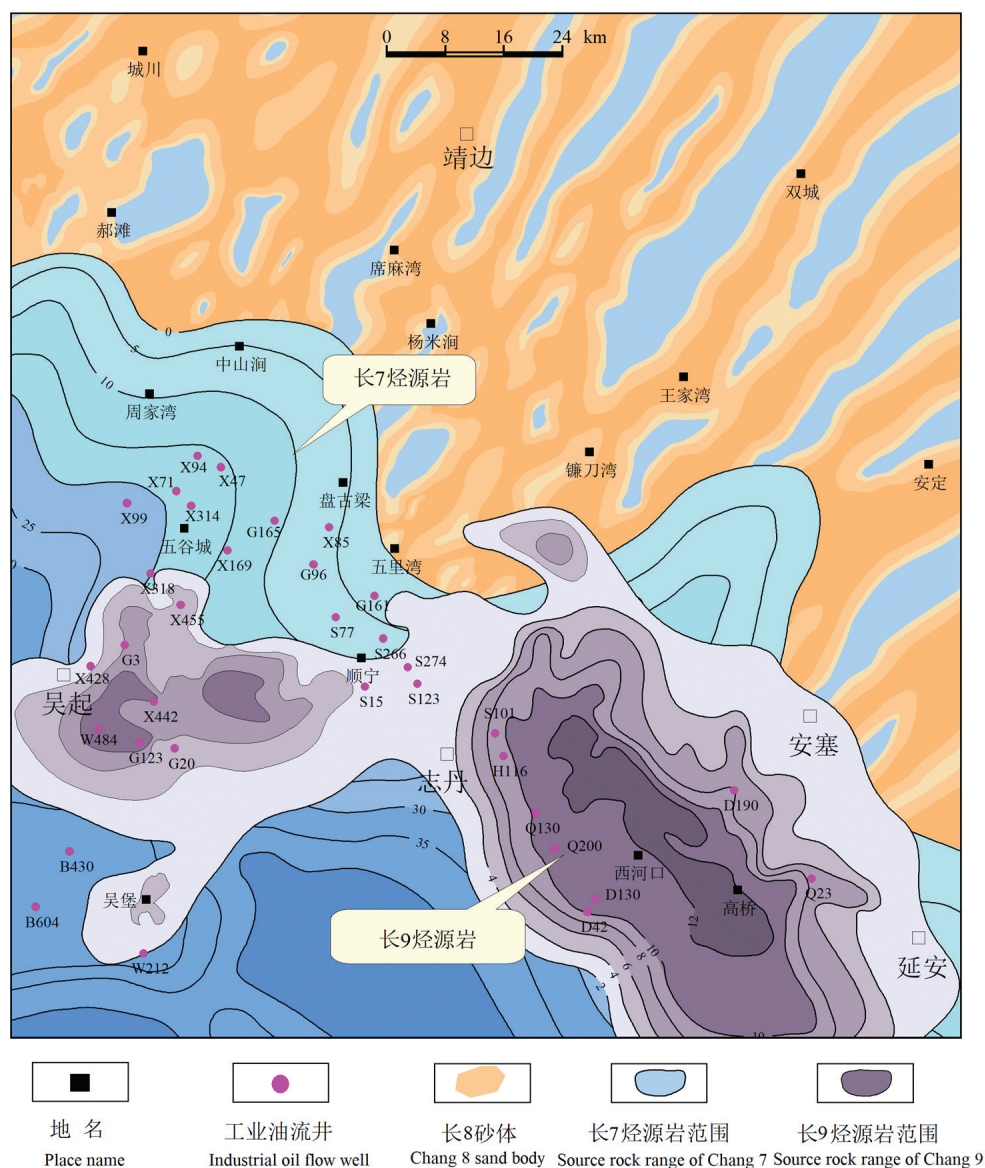


图5 陕北地区长7、长9烃源岩与长8油藏分布图(据任瑞清等,2017)

Fig.5 Source rock distribution in Chang 7 and Chang 9 and reservoir distribution in Chang 8 in northern Shaanxi (modified from Ren Ruiqing et al., 2017)

这也与前人对于鄂尔多斯盆地延长组油气成藏时期的研究相吻合(任战利,1996;柳益群等,1997)。

5 石油成藏模式

成藏模式是对具有代表性油藏特征的油气成藏作用充分而且高度的概括与归纳,在同一成藏模式中的油藏应该具有相似的成藏作用和成藏特征。成藏模式是在充分解剖典型油气藏、明确油藏形成条件和成藏特征的基础上建立的,对指导下一步勘探方向具有启示意义。

陕北地区成藏地质条件主要包括烃源岩展布与厚度、剩余压力、沉积砂体、储层物性、顶面构造等因素(陈世加等,2012;王奇等,2018),如果各成藏地质条件及生油关键时刻配置良好,就能形成有利的油气富集区。由以上埋藏和热演化史分析可知,陕北地区在早白垩世最大生排烃阶段构造相对稳定,生成的油气不易被后期构造破坏,是形成大型油气藏的有利条件,因而影响该区石油富集的最主要的因素为烃源岩、储层及充注动力等因素。本次从烃源岩出发,以包裹体充注时间为纽带,以输

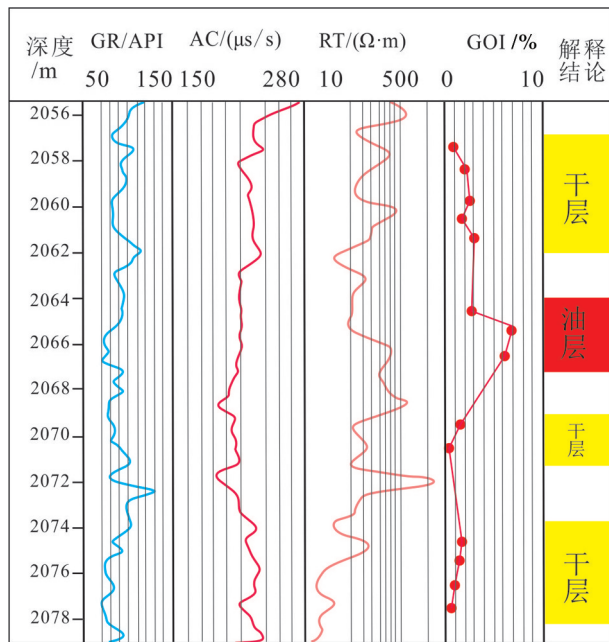


图6 吴起地区X199井长8段GOI值纵向分布图

Fig.6 Vertical distribution of GOI value in Chang 8 section of well X199 in Wuqi area

导体系为重点,建立陕北地区长8石油成藏模式。

烃源岩是油气生成的物质基础。鄂尔多斯盆地三叠系延长组长7、长9暗色泥岩为该区主要烃源岩(图5),长9烃源岩在志丹一带局限分布(师磊等,2011)。两种烃源岩相比较,最有利的生烃来源仍然是长7,其有机母质类型为I~II₁型,有机质丰度4.10%~9.23%,镜质体反射率 R_o 为0.8~1.4,处于成熟阶段,厚度为10~35m,具有有机质丰度高、类型好的特征。研究区长8油藏是最有利于石油富集的层位,其分布主要受生烃中心的展布以及厚度控制,即距长7生烃中心越近,成藏越好,越远则越差,长7、长9泥岩厚度分布在平面存在差异,因此暗色泥岩厚度大的地区往往是有利的勘探目标区。

延长组长8为三角洲沉积体系,三角洲前缘水下分流河道砂体和三角洲平原分支河道砂体发育,局部砂体具有厚度大,连片性强的特点。储层特征也是制约石油聚集的关键因素,其主要受沉积环境的控制,现今陕北地区长8砂岩储层压实和胶结作用是储层致密化的重要原因。结合埋藏史,从晚侏罗世研究区进入快速埋深压实阶段,原生孔隙迅速降低,在早白垩世埋深达到最大。长7、长9烃源岩生成的石油选择物性相对较好的储层聚集成藏。

通过统计,吴起地区砂岩储层平均孔隙度为8.9%,渗透率平均为 $0.25 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,高桥—西河口地区储层平均孔隙度为7.2%,渗透率平均为 $0.16 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,前者工业井明显多于后者,很好地验证了以上由于储层物性变化明显,油气差异聚集的结论。

从油包裹体分析来看,研究区砂岩储层普遍具有含油气荧光显示,只是荧光颜色有区别,反映了油气充注强弱不同。本文利用含油包裹体颗粒指数($\text{GOI} = \text{含油包裹体颗粒数} / \text{颗粒总数} \times 100\%$)对陕北地区长8充注程度进行了分析,该指数用于识别古油藏及石油运移路径等,储层石油包裹体丰度大于5%则为油层或古油层,小于5%为低充注或主要输导层(陈梦娜等,2018)。由于样品数量限制,只对7个含油包裹体样品做了GOI分析,其中有3个GOI值大于5%,都分布在吴起一带,说明该区总体石油充注强度较大,但在其他地区GOI值小于5%,分析认为可能是由于距离长7主力烃源岩远,长9生烃能力有限,储层非均质影响,石油充注程度不高,长8储层中滞留大量地层水,测试过程中往往产水(图6)。

鄂尔多斯盆地中生界延长组砂岩主要为低渗透储层,前人通过对运移动力的研究,认为影响该区油气大规模成藏的主要动力为由于泥岩欠压实作用形成的过剩压力(楚美娟等,2013;姚泾利等,2015),长7烃源岩生成的油气在过剩压力驱动下,通过近源叠置的砂体和周围裂缝向下运移至长8砂岩储层成藏,甚至运移至下覆长9、长10地层。在典型油气藏解剖的基础上,综合油藏分布、类型、输导体系、充注程度等因素,认为长8原油主要富集在邻近烃源岩的相对高孔高渗的水下分支河道、河口坝等砂体中,其中西部(吴起—顺宁)长8原油来自上覆长7烃源岩,东部(志丹—高桥)长8原油主要来自于原地下伏长9烃源岩,具有“双源供烃,差异聚集”的成藏特点(图7)。

6 结论

(1)长8砂岩储层中的流体包裹体主要分布于细砂岩的石英加大边或裂隙中,以气液烃包裹体、气液两相盐水包裹体为主,可分为早、晚两期,与气液烃包裹体伴生的盐水包裹体均一温度主要存在85~105℃和115~135℃两个峰值区间,分布范围广,油气为连续充注。

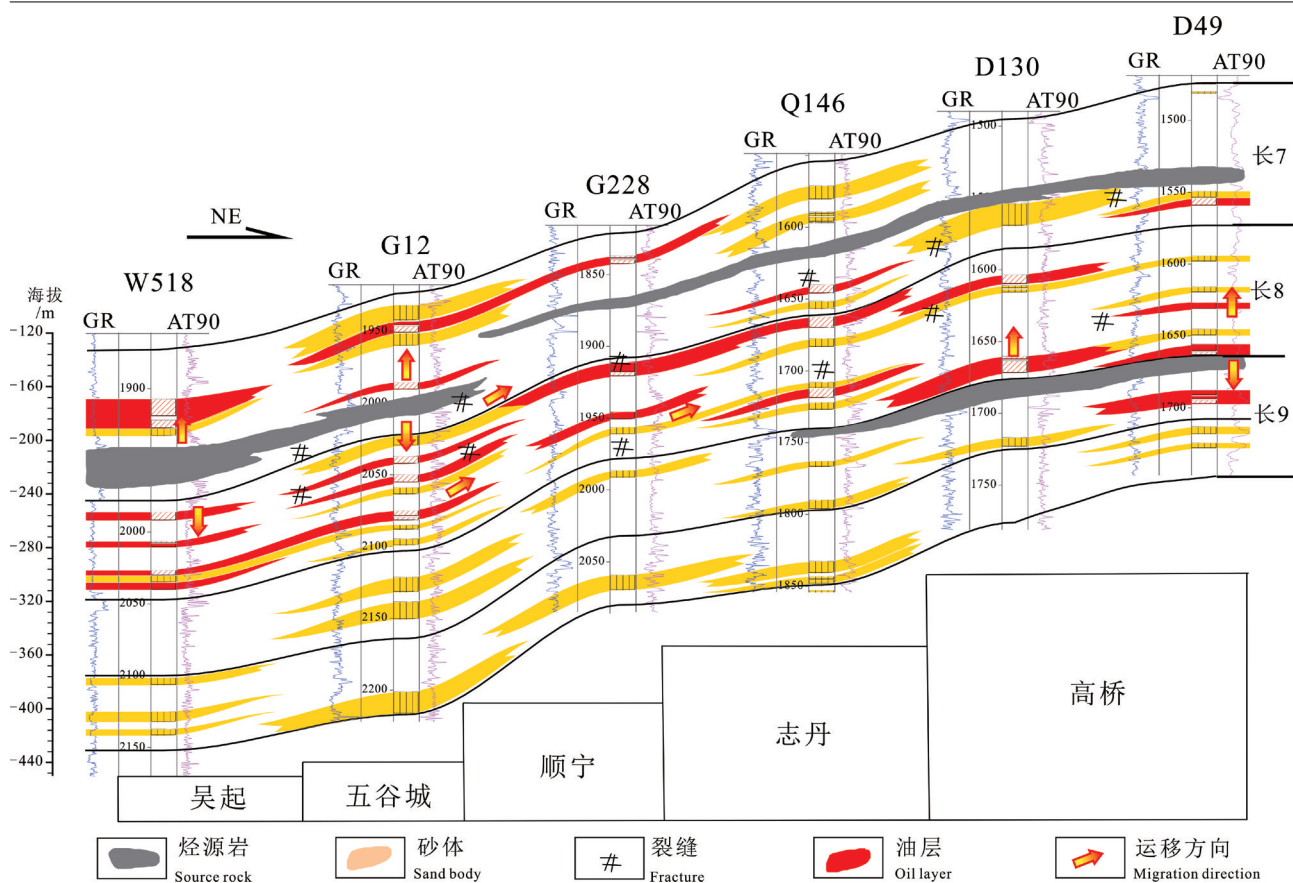


图7 陕北地区延长组长8-长9石油成藏模式图

Fig.7 Oil accumulation pattern of Chang 8-9 of Yanchang Formation in northern Shaanxi

(2)陕北地区长8石油充注的主要时期为110~135 Ma,分别为晚侏罗世的早期充注和早白垩世的大规模充注两个时期。主要发育长7烃源岩,晚侏罗世—早白垩世期间延长组烃源岩的 R_o 值均接近1.0%,达到生烃门限,可以大规模生烃,长9烃源岩在志丹地区局部分布。

(3)陕北长8油藏受烃源岩、储层及充注动力等因素控制,发育岩性油藏,在平面上分布不均匀。西部吴起—顺宁地区长8含油包裹体颗粒指数GOI值多大于5,油藏相对东部志丹—高桥地区分布更多,区域上具有“双源供烃、差异聚集”的成藏特点。

References

- Bai Yubin, Zhao Zilong, Zhao Jingzhou, Liu Peng, Li Shuyao. 2014. Oil reservoir forming mechanisms and main controlling factors of tight oil of Chang-9 member in Ansai area, Ordos Basin[J]. Journal of Central South University(Science and Technology), 45(9): 3127-3136 (in Chinese with English abstract).
- Chen Gang, Ding Chao, Xu Liming, Zhang Huiruo, Li Nan, Li Yan, Hu Yanxu, Huang Deshun. 2012. Indirect dating of multistage hydrocarbon accumulations by fluid inclusion data: A case study of the Permian hydrocarbon accumulation in the northeast Ordos Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 33(6): 1003-1012(in Chinese with English abstract).
- Chen Ling, Zhang Wei, She Zhenbing. 2012. Methods for dating of hydrocarbon accumulation[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 33(5): 550-553(in Chinese with English abstract).
- Chen Mengna, Luo Anxiang, Li Jun, Shi Ziwei, Zhao Jingzhou, Shao Xiaozhou, Er Chuang, Bai Zhuoli. 2018. Characteristics of fluid inclusions in Chang 9 oil reservoirs of Huanxian-Zhengning area and its geological significance[J]. Journal of Xi'an Shiyou University (Natural Science Edition), 33(3): 1-6(in Chinese with English abstract).
- Chen Shijia, Lu Jungang, Yao Jingli, Yang Guoping, Zhang Jizhi, Liu Chaowei, Tang Haiping, Wang Gang. 2012. Characteristics of reservoir formation and the controlling factors of Chang 8 oil-bearing formation in Huaqing Area of Ordos Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 30(6): 1130-1139(in Chinese with English abstract).

- Chu Meijuan, Li Shixiang, Liu Xianyang, Deng Xiuqin, Guo Zhengquan. 2013. Accumulation mechanisms and modes of Yanchang Formation Chang 8 interval hydrocarbons in Ordos Basin[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 31(4): 683–692(in Chinese with English abstract).
- Ding Chao, Chen Gang, Guo Lan, Zhang Wenlong, Shi Xiaolin, Xu Xiaogang, Liu Teng. 2016. Differential uplift on the northeast margin of Ordos Basin: Evidence from apatite fission track analysis[J]. *Geology in China*, 43(4): 1238–1247(in Chinese with English abstract).
- Fu Jinhua, Deng Xiuqin, Wang Qi, Li Jihong, Qiu Junli, Hao Lewei, Zhao Yande. 2017. Compaction and hydrocarbon accumulation of Triassic Yanchang Formation Chang 8 Member, Ordos Basin, NW China: Evidence from geochemistry and fluid inclusions[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 44(1): 48–57(in Chinese with English abstract).
- Guo Chuan, Zhu Yushuang, Li Wenqing, Huang Qijiang. 2009. Fracture characteristics of Chang6 reservoir in Pingqiao area of Ansai Oil field[J]. *Journal of Northwest University(Natural Science Edition)*, 39(1): 97–101(in Chinese with English abstract).
- Lai Jin, Wang Guiwen, Wu Dacheng, Cao Jiangning, Zhang Xiaotao, Ran Ye, Yao Yabin, Zhang Yongdi. 2014. Diagenetic facies distribution in high resolution sequence stratigraphic framework of Chang 8 Oil Layers in the Jiyuan area[J]. *Geology in China*, 41(5): 1487–1502(in Chinese with English abstract).
- Liu Dehan, Lu Huanzhang, Xiao Xianming. 2007. Hydrocarbon Inclusions and Their Application in Petroleum Exploration and Development[M]. Guangzhou: Guangdong Science and Technology Press, 109–111(in Chinese).
- Liu Yiqun, Li Wenhui, Feng Qiao. 1997. Palaeotemperatures and diagenetic stage of the upper Triassic oil sandstones in the eastern Ordos Basin[J]. *Acta Geologica Sinica*, 71(1): 65–74(in Chinese with English abstract).
- Ren Ruiqing, Zhu Jing, Shi Lichuan, Wang Weibin, Dan Weidong, Liang Xiaowei. 2017. Controlling factors of hydrocarbon accumulation in Chang6 and Chang 8 reservoirs of Yanchang Formation in Zhoujiawan block, Ordos Basin, China[J]. *Journal of Chengde University Technology(Science & Technology Edition)*, 44(1): 36–42(in Chinese with English abstract).
- Ren Zhanli, Zhang Sheng, Gao Shengli, Cui Junping, Xiao Yuanyuan, Xiao Hui. 2007. Tectonic thermal evolution history and its significance of reservoir formation and mineralization in Ordos Basin[J]. *Science in China (Series D: Earth Sciences)*, 37(S1): 23–32(in Chinese).
- Ren Zhanli. 1996. Research on the relations between geothermal history and oil–gas accumulations[J]. *Acta Petroleologica Sinica*, 17(1): 17–24(in Chinese with English abstract).
- Shi Baohong, Zhang Yan, Zhang Lei, Yang Yajuan, Li Hui. 2012. Hydrocarbon accumulation dating by fluid inclusion characteristics in Chang7 tight sandstone reservoirs of Yanchang Formation in Ordos Basin[J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 34(6): 599–603 (in Chinese with English abstract).
- Shi Lei, Lu Shuangfang, Li Jijun, Wang Xuefei. 2011. Evaluation of source rock of Chang 9 Member, Yanchang Formation, Ordos Basin[J]. *Science Technology and Engineering*, 11(20): 4756–4761 (in Chinese with English abstract).
- Tao Shizhen. 2006. Sequence of diagenetic authigenic mineral the basis of timing the inclusions formation in sedimentary rocks[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 33(2): 154–160(in Chinese with English abstract).
- Wan Yongping, Li Yuanyuan, Liang Xiao. 2010. Fractures of reservoirs inferred from fluid inclusions: A case study on the Upper Paleozoic of Northern Shaanxi slope[J]. *Geology and Exploration*, 46(4): 711–715(in Chinese with English abstract).
- Wang Qi, Hao Fang, Xu Changgui, Wei Ajuan, Sun Zhongheng, Cao Yijun, Zou Huayao. 2018. Origin and accumulation characterization reservoirs in Shaxibe area of petroleum in buried hill, Bohai Sea[J]. *Oil & Gas Geology*, 39(4): 676–684(in Chinese with English abstract).
- Wang Weibin, Zhu Jing, Ma Wenzhong, Feng Shunyan, Liu Yanni, Zhao Jing. 2017. Characteristics and influencing factors of Chang 8 tight sandstone reservoir of Triassic Yanchang Formation in Zhoujiawan area, Ordos Basin[J]. *Lithologic Reservoirs*, 29(1): 51–58(in Chinese with English abstract).
- Wang Xiyong, Zhang Qinglong, Wang Shuliang, Ge Rongfeng, Chen Juan. 2010. Structural features and tectonic stress fields of the Mesozoic and Cenozoic in the eastern margin of the Ordos Basin, China[J]. *Geological Bulletin of China*, 29(8): 1168–1176(in Chinese with English abstract).
- Yao Jingli, Xu Li, Xing Lantian, Luo Anxiang, Deng Xiuqin, Duan Yi, Zhao Yang, Wu Yingzhong. 2015. Fluid overpressure and oil migration in Chang 7 and Chang 8 subsections of Yanchang Formation in Ordos Basin, China[J]. *Natural Gas Geoscience*, 26(12): 2219–2226(in Chinese with English abstract).
- Ye Bo, Liang Xiaowei, Song Juan, Cao Runrong, Mao Zhenhua, Hao Bingying. 2018. Reservoir accumulation characteristics of Jurassic Yan'an Formation in Yanwu area, Ordos Basin[J]. *Lithologic Reservoirs*, 30(4): 65–72(in Chinese with English abstract).
- Zeng Lianbo, Li Zhongxing, Shi Chengen, Wang Zhengguo, Zhao Jiyong, Wang Yongkang. 2007. Characteristics and origin of fractures in the extra low–permeability sandstone reservoirs of the Upper Triassic Yanchang Formation in the Ordos Basin[J]. *Acta Geologica Sinica*, 81(2): 174–180(in Chinese with English abstract).
- Zhang Li, Lei Zhenyu, Xu Hong, Shuai Qingwei, Luo Shuaibing, Qian Xing. 2019. Sedimentary features and geological conditions for hydrocarbon generation and accumulation in Taixi Basin[J]. *Oil & Gas Geology*, 40(1): 152–161(in Chinese with English abstract).
- Zhao Guiping. 2017. Characterization of fluid inclusions and timing of

- gas accumulation in Upper Paleozoic reservoirs of Hangjinqi area, Ordos Basin[J]. *Oil & Gas Geology*, 38(5): 905–912(in Chinese with English abstract).
- Zhao Jingzhou, Yang Xianchao, Wu Fuli, Shi Baohong. 2006. Controlling of uplifts on the Triassic petroleum accumulation and distribution in north Shaanxi slope, Ordos Basin[J]. *Journal of Geology*, 80(5): 648–655(in Chinese with English abstract).
- Zhao Yande, Qi Yalin, Luo Anxiang, Cheng Dangxing, Li Jihong, Huang Jinxiu. 2016. Application of fluid inclusions and dating of authigenic illite in reconstruction Jurassic reservoirs hydrocarbon filling history, Ordos Basin[J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 46(6): 1637–1648(in Chinese with English abstract).
- Zhao Zhenyu, Guo Yanru, Wang Yan, Lin Dongjuan. 2012. Study progress in tectonic evolution and paleogeography of Ordos Basin[J]. *Special Oil and Gas Reservoirs*, 19(5):15–20 (in Chinese with English abstract).
- ### 附中文参考文献
- 白玉彬, 赵子龙, 赵靖舟, 刘鹏, 李树垚. 2014. 鄂尔多斯盆地安塞地区长9致密油成藏机理与主控因素[J]. *中南大学学报(自然科学版)*, 45(9): 3127–3136
- 曾联波, 李忠兴, 史成恩, 王正国, 赵继勇, 王永康. 2007. 鄂尔多斯盆地上三叠统延长组特低渗透砂岩储层裂缝特征及成因[J]. *地质学报*, 81(2): 174–180.
- 陈刚, 丁超, 徐黎明, 章辉若, 李楠, 李岩, 胡延旭, 黄得顺. 2012. 多期次油气成藏流体包裹体间接定年——以鄂尔多斯盆地东北部二叠系油气藏为例[J]. *石油学报*, 33(6): 1003–1012.
- 陈玲, 张微, 余振兵. 2012. 油气成藏时间的确定方法[J]. *新疆石油地质*, 33(5): 550–553.
- 陈梦娜, 罗安湘, 李军, 时宏伟, 赵靖舟, 邵晓州, 耳闯, 白卓立. 2018. 环县—正宁地区长9油层组流体包裹体特征及地质意义[J]. *西安石油大学学报(自然科学版)*, 33(3): 1–6.
- 陈世加, 路俊刚, 姚泾利, 杨国平, 张纪智, 刘超威, 唐海评, 王刚. 2012. 鄂尔多斯盆地华庆地区长8油层组成藏特征及控制因素[J]. *沉积学报*, 30(6): 1130–1139.
- 楚美娟, 李士祥, 刘显阳, 邓秀芹, 郭正权. 2013. 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*, 31(4): 683–692.
- 丁超, 陈刚, 郭兰, 张文龙, 师晓林, 徐小刚, 刘腾. 2016. 鄂尔多斯盆地东北部差异隆升过程裂变径迹分析[J]. *中国地质*, 43(4): 1238–1247.
- 付金华, 邓秀芹, 王琪, 李继宏, 邱军利, 郝乐伟, 赵彦德. 2017. 鄂尔多斯盆地三叠系长8储集层致密与成藏耦合关系——来自地球化学和流体包裹体的证据[J]. *石油勘探与开发*, 44(1): 48–57.
- 郭川, 朱玉双, 李文清, 黄启江. 2009. 安塞油田坪桥地区长6储层裂缝特征研究[J]. *西北大学学报(自然科学版)*, 39(1): 97–101.
- 赖锦, 王贵文, 吴大成, 曹江宁, 张晓涛, 冉冶, 姚亚斌, 张永迪. 2014. 姬塬地区长8油层组层序地层格架内成岩相展布特征[J]. *中国地质*, 41(5): 1487–1502.
- 刘德汉, 卢焕章, 肖贤明. 2007. 油气包裹体及其在石油勘探和开发中的应用[M]. 广州: 广东科技出版社, 109–111.
- 柳益群, 李文厚, 冯乔. 1997. 鄂尔多斯盆地东部上三叠统含油砂岩的古地温及成岩阶段[J]. *地质学报*, 71(1): 65–74.
- 任瑞清, 朱静, 史立川, 王维斌, 淡卫东, 梁晓伟. 2017. 鄂尔多斯盆地周家湾长6和长8油层组成藏控制因素[J]. *成都理工大学学报(自然科学版)*, 44(1): 36–42.
- 任战利, 张盛, 高胜利, 崔军平, 肖媛媛, 肖晖. 2007. 鄂尔多斯盆地构造热演化史及其成藏成矿意义[J]. *中国科学(D辑:地球科学)*, 37(S1): 23–32.
- 任战利. 1996. 鄂尔多斯盆地热演化史与油气关系的研究[J]. *石油学报*, 17(1): 17–24.
- 师磊, 卢双旂, 李吉君, 王雪飞. 2011. 鄂尔多斯盆地长9烃源岩评价[J]. *科学技术与工程*, 11(20): 4756–4761.
- 时保宏, 张艳, 张雷, 杨亚娟, 李慧. 2012. 鄂尔多斯盆地延长组长7致密储层流体包裹体特征与成藏期次[J]. *石油实验地质*, 34(6): 599–603.
- 陶士振. 2006. 自生矿物序次是确定包裹体期次的根本依据[J]. *石油勘探与开发*, 33(2): 154–160.
- 万永平, 李园园, 梁晓. 2010. 基于流体包裹体的储层微裂缝研究——以陕北斜坡上古生界为例[J]. *地质与勘探*, 46(4): 711–715.
- 王奇, 郝芳, 徐长贵, 韦阿娟, 孙中恒, 操亚军, 邹华耀. 2018. 渤海海域沙西北地区潜山油源及成藏特征[J]. *石油与天然气地质*, 39(4): 676–684.
- 王维斌, 朱静, 马文忠, 冯顺彦, 刘艳妮, 赵静. 2017. 鄂尔多斯盆地周家湾地区长8致密砂岩储层特征及影响因素[J]. *岩性油气藏*, 29(1): 51–58.
- 王锡勇, 张庆龙, 王良书, 葛荣峰, 陈娟. 2010. 鄂尔多斯盆地东缘中—新生代构造特征及构造应力场分析[J]. *地质通报*, 29(8): 1168–1176.
- 姚泾利, 徐丽, 邢蓝田, 罗安湘, 邓秀芹, 段毅, 赵阳, 吴应忠. 2015. 鄂尔多斯盆地延长组长7和长8油层组流体过剩压力特征与油气运移研究[J]. *天然气地球科学*, 26(12): 2219–2226.
- 叶博, 梁晓伟, 宋娟, 曹润荣, 毛振华, 郝炳英. 2018. 鄂尔多斯盆地演武地区侏罗系延安组油藏成藏特征[J]. *岩性油气藏*, 30(4): 65–72.
- 张莉, 雷振宇, 许红, 帅庆伟, 骆帅兵, 钱星. 2019. 西盆地地层沉积特征与成烃—成藏地质条件[J]. *石油与天然气地质*, 40(1): 152–161.
- 赵桂萍. 2017. 鄂尔多斯杭锦旗地区上古生界储层流体包裹体特征与天然气成藏时期[J]. *石油与天然气地质*, 38(5): 905–912.
- 赵靖舟, 杨县超, 武富礼, 时保宏. 2006. 论隆起背景对鄂尔多斯盆地陕北斜坡区三叠系油藏形成和分布的控制作用[J]. *地质学报*, 80(5): 648–655.
- 赵彦德, 齐亚林, 罗安湘, 程党性, 李继宏, 黄锦绣. 2016. 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(自然科学版)*, 46(6): 1637–1648.
- 赵振宇, 郭彦如, 王艳, 林冬娟. 2012. 鄂尔多斯盆地构造演化及古地理特征研究进展[J]. *特种油气藏*, 19(5): 15–20.