

文章编号:1673-5005(2019)02-0013-12 doi:10.3969/j. issn. 1673-5005. 2019. 02. 002

鄂尔多斯盆地中部上古生界流体包裹体特征及 油气充注史

刘建良^{1,2}, 刘可禹^{1,2,3}, 桂丽黎⁴

(1. 中国石油大学(华东)深层油气重点实验室, 山东青岛 266580; 2. 中国石油大学(华东)地球科学与技术学院,
山东青岛 266580; 3. 海洋国家实验室海洋矿产资源评价与探测技术功能实验室, 山东青岛 266071;
4. 中国石油勘探开发研究院, 北京 100083)

摘要:通过流体包裹体显微岩相学观察、均一温度和冰点温度测定、激光拉曼光谱分析,结合单井埋藏史、热史和成熟度史模拟,分析鄂尔多斯盆地中部上古生界油气充注历史。结果表明:研究区次生流体包裹体可划分为 3 大类、7 个亚类,烃类和 CO₂ 包裹体发育序列为黄色荧光烃包裹体→蓝色荧光烃包裹体→CO₂ 气包裹体→甲烷气包裹体;上古生界烃源岩在盆地南部最早进入生烃阶段,演化程度也最高,从南向北,烃源岩进入生烃的时间依次变晚,演化程度也逐渐降低;上古生界储集层主要经历两期油气充注,中晚三叠世,盆地中南部开始进入生油阶段,原油在中侏罗世早期充注到陕 360 和苏 325 地区,形成发蓝色荧光和少量黄色荧光的液态烃包裹体,未能形成工业性油藏,早白垩世中期,大量天然气生成,由南向北充注到伊陕斜坡北部,且持续到早白垩世晚期构造抬升之前,形成多个大规模工业性气藏。

关键词:流体包裹体; 盆地模拟; 油气充注历史; 上古生界; 鄂尔多斯盆地

中图分类号:TE 122 **文献标志码:**A

引用格式:刘建良, 刘可禹, 桂丽黎. 鄂尔多斯盆地中部上古生界流体包裹体特征及油气充注史[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2019, 43(2): 13-24.

LIU Jianliang, LIU Keyu, GUI Lili. Fluid inclusion characteristics and hydrocarbon charge history in the Upper Paleozoic, central Ordos Basin[J]. Journal of China University of Petroleum(Edition of Natural Science), 2019, 43(2): 13-24.

Fluid inclusion characteristics and hydrocarbon charge history in the Upper Paleozoic, central Ordos Basin

LIU Jianliang^{1,2}, LIU Keyu^{1,2,3}, GUI Lili⁴

(1. Key Laboratory of Deep Oil and Gas in China University of Petroleum (East China), Qingdao 266580, China;
2. School of Geosciences in China University of Petroleum (East China), Qingdao 266580, China;
3. Laboratory for Marine Mineral Resources, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology,
Qingdao 266071, China;
4. Research Institute of Petroleum Exploration and Development, PetroChina, Beijing 100083, China)

Abstract: Hydrocarbon charge history in the Upper Paleozoic, central Ordos Basin was investigated using a series of data from observations of an integrated fluid inclusion petrology, homogenization and ice melting temperatures measurements, laser-raman spectrum and one dimensional thermal and maturity modeling results. The results indicate that three types and seven sub-types of epigenetic fluid inclusions are divided in the Upper Paleozoic reservoir. Hydrocarbon and CO₂ inclusions are developed mainly following the sequence of yellow fluorescence oil inclusions, blue fluorescence oil inclusions, CO₂ gas inclusions and methane inclusions. Compared with the central and north part of area, the Upper Paleozoic source rocks in the

收稿日期:2018-08-20

基金项目:山东省自然科学基金项目(ZR2018BD018);中国科学院战略性先导科技专项(XDA14010401);中央高校基本科研业务费专项(18CX02185A)

作者简介:刘建良(1988-),男,讲师,博士,研究方向为含油气系统定量分析。E-mail:liujianliang@upc.edu.cn。

southern part of the Ordos Basin first entered hydrocarbon generation stage and reached the highest maturity evolution stage, and show a declining trend from south towards north. Two episodes of hydrocarbon charges occurred in the Upper Paleozoic, central Ordos Basin. Hydrocarbons began to generate in the southern part of the basin during Middle to Late Triassic, and charged into the Su-325 and Shan-360 areas at early of the Middle Jurassic, forming mostly blue fluorescence and few yellow fluorescence oil inclusions. Massive natural gases were charged into the north part of the Yishan Slope Region from south to north at middle of the Early Cretaceous, and lasted until late of the Early Cretaceous, forming several giant gas fields.

Keywords: fluid inclusion; basin modeling; hydrocarbon charge history; Upper Paleozoic; Ordos Basin

目前用来确定油气成藏时期的手段有传统的烃源岩主生烃期、圈闭形成期和油藏饱和压力等间接方法^[1-2],以及一些更直接、精确的方法,如流体包裹体法^[3-4]、自生伊利石测年法^[5]、油藏地球化学法^[6]、油田卤水碘同位素法^[7]和放射性同位素定年^[8-9]等方法。利用流体包裹体均一温度结合单井埋藏史和热史确定油气成藏期是目前国内使用较为普遍的一种方法。流体包裹体是矿物结晶生长过程中所捕获的成岩成矿流体组分,是封存于矿物晶穴或裂隙中的原始流体,包含了油气运移和充注时的流体温度、压力和成分等信息^[10],对油气成藏期和成藏过程的确定有重要作用^[11-12]。由于包裹体被捕获后,可能会在后期地层埋藏过程中随着温度和压力的变化而发生变化,如再平衡、拉伸变形或泄露,从而导致所测的均一温度比原始值高,因此常利用与烃类伴生盐水包裹体连续分布的均一温度最小值,结合单井埋藏史和热史,来确定油气充注时间^[13]。鄂尔多斯盆地是中国第二大含油气盆地^[14],上古生界蕴藏巨大的天然气资源,已发现有苏里格、榆林、乌审旗、大牛地和神木 5 个千亿方级大气田^[15-16],且一般位于伊陕斜坡北部。虽然盆地上古生界至今未发现工业性油藏,但通过流体包裹体等手段已找到液态烃存在的证据^[17-20]。许多学者对鄂尔多斯盆地上古生界油气充注时间和过程进行了研究,总结为 4 种观点:晚侏罗世到早白垩世的一期成藏过程^[17];早侏罗世晚期—晚侏罗世晚期和早白垩世的两期充注过程^[18];石炭纪—三叠纪液态烃充注、侏罗纪油气充注以及早白垩世天然气充注的三期油气充注^[19]和晚三叠世到早白垩世末期的六期油气充注过程^[20]。前人研究存在较大差异,且一般利用与烃类伴生盐水包裹体均一温度的峰值代表油气充注时的地层温度,然而该温度是烃类包裹体大量形成时期的温度,不能代表油气最早充注时的地层温度。笔者运用流体包裹体岩相学观察、均一温度和盐度测定以及盆地模拟技术,综合分析鄂尔多斯盆地上古生界油气充注历史。

1 地质概况

鄂尔多斯盆地是吕梁山以西、贺兰以东、阴山以南、秦岭以北的整个区域^[21],是发育在华北克拉通之上的多旋回叠合型盆地^[22]。盆地可划分为 6 个一级构造单元^[23],分别为伊盟隆起、渭北隆起、西缘逆冲带、天环坳陷、伊陕斜坡和晋西挠褶带(图 1(a))。盆地现今形态表现为一个东翼宽缓、西翼陡窄的不对称大向斜,向斜东翼为一个平缓斜坡,坡度为 0.5°~1°。受加里东构造运动影响,整个鄂尔多斯盆地在晚古生代经历了强烈的抬升和剥蚀事件^[16,24]。目前上古生界主要发育晚石炭世和二叠纪地层,经历了由陆表海向内陆湖盆的过渡,沉积物主要发育在浅水陆棚、浅水三角洲、河流和湖泊等沉积环境(图 1(b))。烃源岩发育在上石炭统本溪组以及下二叠统太原组和山西组,岩性有煤层、暗色泥岩和灰岩 3 种类型^[24],其中煤岩是上古生界天然气藏的主要气源岩^[25]。山西组和下石盒子组是主要储集层,孔隙度主要分布在 2%~8%,渗透率一般小于 $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ^[26],属于典型的致密砂岩储层。

2 样品与试验

采集了盆地中部 6 口井(苏 325、苏 264、苏 272、陕 140、陕 360 和陕 255 井)山西组和下石盒子组的 47 块岩心样品,用于流体包裹体的系列分析。首先将样品制成双面抛光岩石薄片,利用 Zeiss Imager A1m 多功能显微镜对流体包裹体岩相学特征进行显微观察,包括流体包裹体颜色、尺寸、产状、宿主矿物和气液比等;其次利用 LABHR-VIS LABRAM HR800 型显微激光拉曼光谱仪,在温度 25 °C、湿度 50% 的条件下,对典型气态烃包裹体进行激光拉曼光谱分析,确定气烃包裹体中气体成分;然后选取 4 块包裹体较发育且适合测温的薄片,利用 LINKAM 液氮型冷热台 MDSG 600,对烃类包裹体及其伴生盐水包裹体进行均一温度和冰点温度测定,测定误差在 ±1 °C。

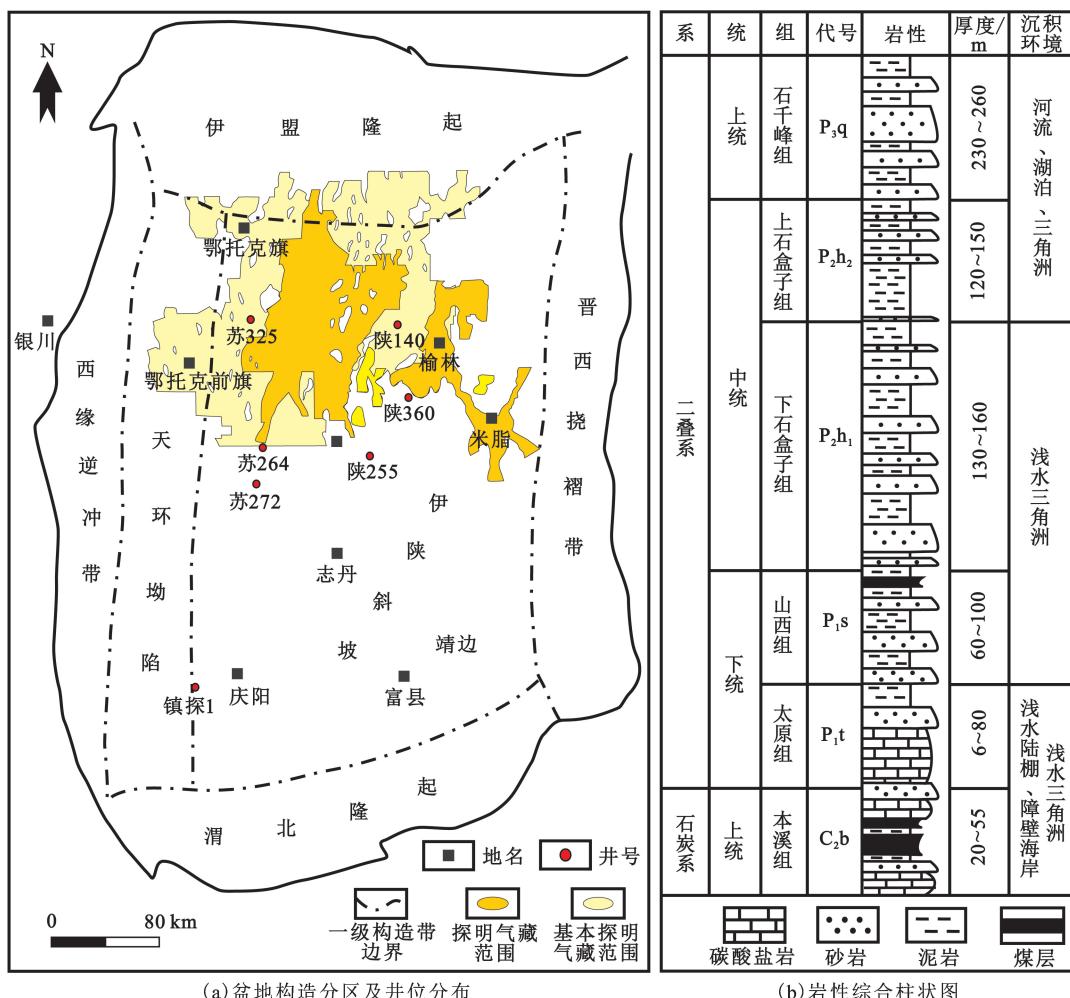


图1 鄂尔多斯盆地构造分区及井位分布与上古生界岩性综合柱状图

Fig.1 Location of wells and major tectonic zones and lithological histogram of the Upper Paleozoic in Ordos Basin

3 结果

3.1 包裹体类型

流体包裹体按其成因可以分为原生、次生和假次生包裹体^[27-28]。在沉积盆地中,原生和假次生包裹体与沉积、成岩和油气成藏的关系不大,不是主要的研究对象,只有与成岩作用有关的次生包裹体可以捕获充注进来的油气,能够反映捕获时油气的成分、温度

以及压力等信息,是与油气成藏密切相关的一类包裹体^[29]。根据镜下观察结果,按照流体包裹体中是否含有烃类,首先将研究区发育的次生流体包裹体划分为烃类包裹体、含烃包裹体和非烃包裹体3大类,再根据每一类中流体包裹体的成分和荧光特征进一步细分为黄色荧光烃类包裹体、蓝色荧光烃类包裹体、含液态烃的气烃包裹体、甲烷气包裹体、含液态烃盐水包裹体、CO₂气包裹体和盐水包裹体7个亚类(表1)。

表1 鄂尔多斯盆地中部上古生界次生流体包裹体类型划分

Table 1 Type division of epigenetic fluid inclusions in the Upper Paleozoic, central Ordos Basin

类	烃类包裹体			含烃包裹体		非烃包裹体	
亚类	黄色荧光烃类包裹体	蓝色荧光烃类包裹体	含液态烃的气烃包裹体	甲烷气包裹体	含液态烃盐水包裹体	CO ₂ 气包裹体	盐水包裹体

3.2 包裹体岩相学特征

3.2.1 包裹体镜下观察特征

在包裹体类型划分的基础上,对每一类包裹体进行了细致的镜下观察。

(1) 黄色荧光烃类包裹体整体发育较少,只在

个别颗粒上能够看到,发育在石英颗粒内裂纹,呈串珠状分布,直径一般小于15 μm,可见单一液相和气液两相,荧光下可见黑色小气泡,气液比小于10% (图2(a))。

(2) 蓝色荧光烃类包裹体整体也不太发育,但

发育程度比黄色荧光烃包裹体高,宿主矿物主要为石英颗粒,形态有次圆形、椭圆形、长条形和不规则形,发育多种类型产状,包括石英颗粒内裂纹串珠状(图2(b)、(c))、沿石英次生加大边串珠状(图2(d))、石英颗粒内群体状(图2(e)、(f))和穿石英颗粒裂缝(图2(g)、(h)),包裹体直径一般为3.8~

11 μm,以气液两相为主,气液比为2%~15%。

(3)含液态烃的气烃包裹体发育在石英颗粒内,形态以次圆形和不规则长条形为主,透射光下可见包裹体中无色透明的大气泡,荧光下气泡呈黑色,外部被淡黄色荧光的液态烃环绕,包裹体直径为5~20 μm,气液比大于60%(图2(i)、(j))。

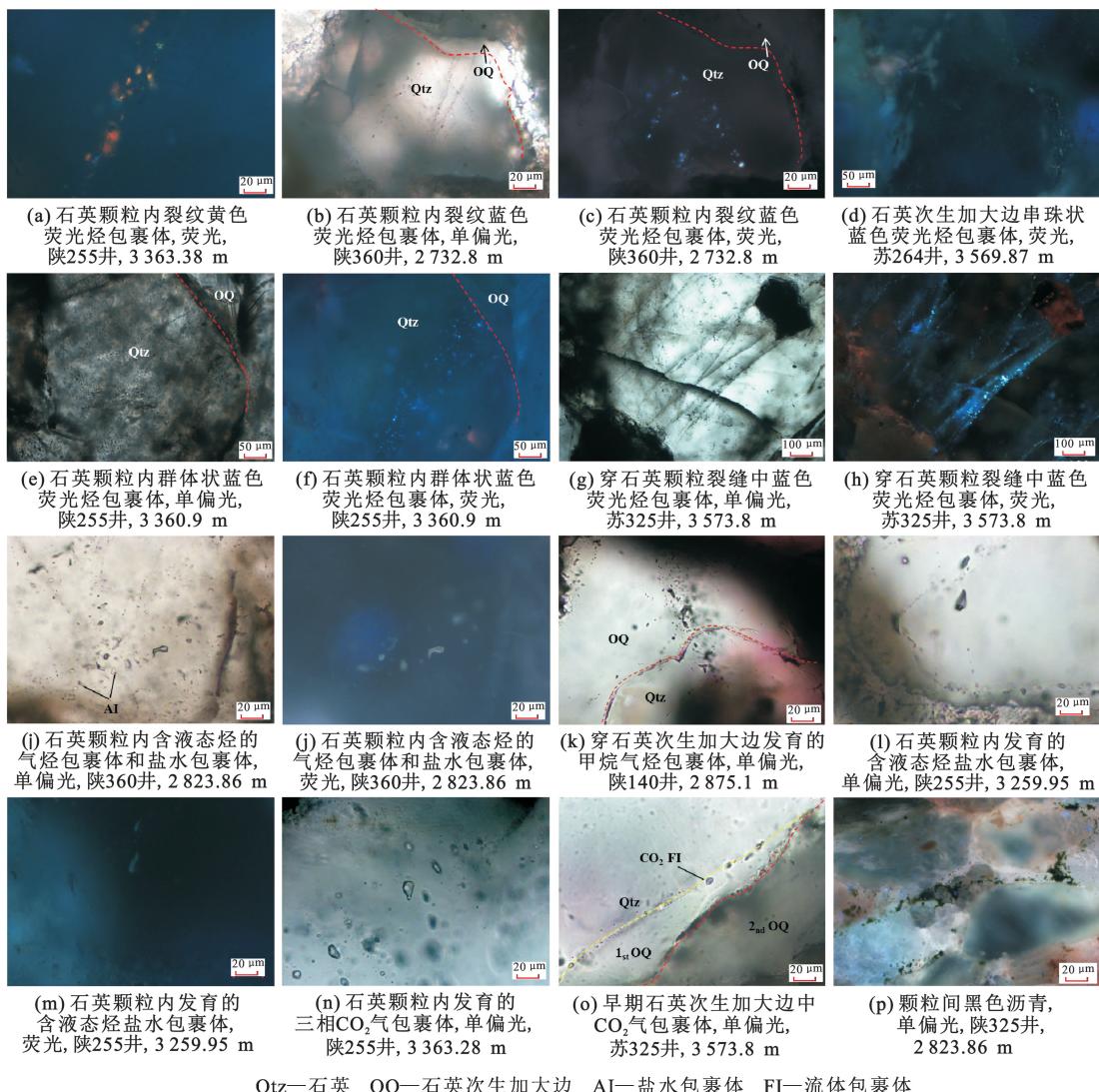


图2 鄂尔多斯盆地中部上古生界流体包裹体单偏光和荧光照片

Fig. 2 Plane-polarized and fluorescence photomicrograph of fluid inclusions in Upper Paleozoic, central Ordos Basin

(4)甲烷气包裹体在透射光下呈灰色或深灰色,荧光照射下不发荧光,该类包裹体比较常见,宿主矿物主要为石英颗粒,产状以穿石英颗粒裂缝串珠状和群体状为主,包裹体大小不一,但直径一般小于20 μm(图2(k))。激光拉曼谱图显示,甲烷气包裹体中CH₄占主要组分,同时存在有少量的CO₂组分(图3(a))。

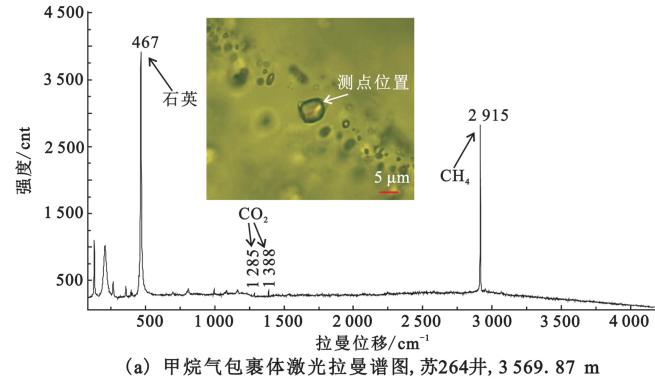
(5)含液态烃盐水包裹体在透射光下呈无色透明特征,为气液两相包裹体,气泡明显,包裹体直径为

10~20 μm,气液比约为20%(图2(l)),在荧光照射下发微弱荧光,气泡不可见(图2(m))。该类包裹体与含液态烃的气烃包裹体明显区别在于:①在荧光照射下看不到完整的包裹体形态,也看不到气泡,且发出的荧光强度较微弱;②气泡较小,而含液态烃的气烃包裹体的气泡较大,属于气烃包裹体范畴。

(6)CO₂气包裹体在研究区较为常见,主要发育在石英颗粒内或早期次生加大边中,呈串珠状分布,包裹体一般较大,平均直径为10~20 μm(图2

(n)、(o))。纯 CO_2 气包裹体一般为气液两相, 气泡较大, 透射光下多呈灰色和透明状, 荧光照射下不发荧光; 部分 CO_2 气包裹体在常温常压下表现为三相特征, 从内向外分别为气相 CO_2 、液相 CO_2 和液相盐水溶液。激光拉曼谱图显示, 这种三相 CO_2 气包裹体中主要为 CO_2 气体, 不含烃类(图 3(b))。

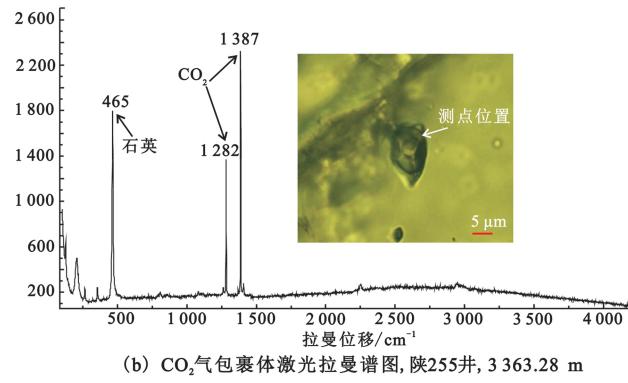
(7) 盐水包裹体是指气液比小于 20%, 中间所含气泡为水蒸气、无机气或真空的液体包裹体^[27], 占次生流体包裹体的绝大部分。研究区的盐水包裹



(a) 甲烷气包裹体激光拉曼谱图, 苏264井, 3 569.87 m

体形态各异, 体积变化大, 平均直径从几个微米到几十微米均有发育, 透射光下一般为无色透明, 荧光照射下不发荧光(图 2(i)、(j))。

镜下观察结果显示, 除上述 7 个亚类流体包裹体外, 研究区还发育少量颗粒间残留沥青, 在透射光和荧光照射下, 沥青呈黑色, 不发荧光(图 2(p))。沥青的存在进一步说明液态烃曾充注到研究区, 后来可能由于天然气的“气洗”或蒸发分馏作用, 造成液态烃中的轻质组分丢失, 重质组分残留下, 形成孔隙沥青。



(b) CO_2 气包裹体激光拉曼谱图, 陕255井, 3 363.28 m

图 3 鄂尔多斯盆地中部上古生界气体包裹体激光拉曼光谱

Fig. 3 Laser-Raman spectrum of gas inclusions in Upper Paleozoic, central Ordos Basin

3.2.2 包裹体发育序列

基于流体包裹体镜下观察, 划分了不同类型包裹体的发育序列。黄色荧光烃类包裹体发育在石英颗粒内裂纹中, 与蓝色荧光烃包裹体相比, 其包裹烃中重质组分含量更高、成熟度更低^[30], 认为黄色荧光烃包裹体形成时间要早于蓝色荧光烃包裹体。由图 2(b) 和 2(c) 可知, 蓝色荧光烃包裹体发育在石英颗粒内裂纹中, 未能切穿石英次生加大边; 由图 2(e) 和 2(f) 可知, 蓝色荧光烃包裹体切穿了原生石英颗粒, 但没有切穿石英次生加大边, 而是止于次生加大边内侧; 由图 2(d) 可知, 蓝色荧光烃包裹体在石英次生加大边形成早期被捕获。这些现象均说明大部分蓝色荧光烃包裹体发育早于石英次生加大边形成, 且部分蓝色荧光烃包裹体与早期石英次生加大边同期形成。煤系烃源岩在生烃过程中会产生大量有机酸, 能够溶蚀砂岩中火山碎屑物和长石等不稳定矿物, 释放大量 Si^{4+} 进入孔隙水中, 为石英次生加大边的形成提供物质来源^[31]; 煤的生烃动力学试验表明^[26], 煤在生成烃类气体过程中也会生成大量 CO_2 气体, 因此认为石英次生加大边形成时期对应 CO_2 气体大量充注时期, 两者都与煤的生烃过程有关。由图 2(o) 可知 CO_2 气包裹体发育在早期石英次生加大边中。甲烷气包裹体发育在切穿石英次生

加大边的裂缝中(图 2(k)), 认为其形成时期晚于 CO_2 气包裹体和石英次生加大形成时期。含液态烃的气烃包裹体在研究区发育较少, 其成因可能有两种: ① 烃源岩进入高成熟演化阶段 ($R_o = 1.2\% \sim 2.0\%$), 生成的湿气中含有少量轻质的芳烃化合物, 被捕获后形成发淡色荧光的气烃包裹体; ② 后期充注的天然气对早期少量原油进行“气洗”, 使部分轻质原油发生反凝析作用, 溶解到天然气中, 被捕获后形成发微弱荧光的气烃包裹体。前者成因的包裹体形成时间比甲烷气包裹体要早, 而后者成因的包裹体形成时间与甲烷气包裹体形成时间大致相同。利用包裹体均一温度和形成时间来讨论该类包裹体的成因。综合分析认为, 与烃类和生烃过程相关的包裹体发育序列为黄色荧光烃类包裹体 → 蓝色荧光烃类包裹体 → CO_2 气包裹体 → 甲烷气包裹体。

3.3 包裹体均一温度

黄色荧光烃类包裹体发育较少, 因此对烃类包裹体及其伴生盐水包裹体的均一温度测温点较少。在陕 360 井山西组的 2818.2 m 处, 测得 3 个黄色荧光油包裹体的均一温度, 分别为 93.8、103.5 和 109.5 °C, 与其伴生的盐水包裹体均一温度分布为 94.5 ~ 104.4 °C (图 4(a))。苏 325 井山西组 3 573.8 m 处, 发育相对较多蓝色荧光烃类包裹体,

测得烃包裹体均一温度分布区间较宽,为85.8~116.8℃,与其伴生盐水包裹体的均一温度为98.3~117℃(图4(b))。同样在苏325井山西组3573.8m处,发育较多甲烷气包裹体,产状以穿石英次生加大边为主,在次生加大边中,找到与其伴生

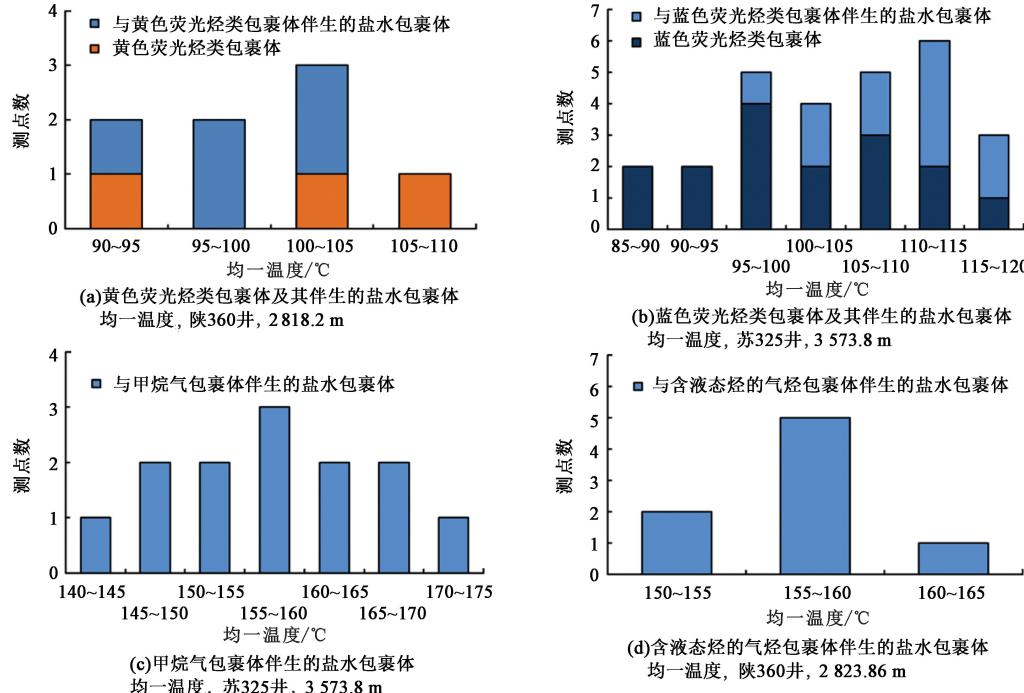


图4 鄂尔多斯盆地中部上古生界流体包裹体均一温度分布

Fig. 4 Homogenization temperatures for hydrocarbon inclusions and coeval aqueous inclusions in the Upper Paleozoic, central Ordos Basin

3.4 包裹体盐度

与烃类包裹体同期形成的盐水包裹体记录了油气成藏时地层水的成分和盐度特征,对油气成藏条件和过程研究有重要作用,同时也是恢复捕获压力的必要参数^[27,32]。盐水包裹体中所含盐类成分很复杂,主要有氯化物、硫酸盐、碳酸盐和重碳酸盐,还有少量其他化合物,一般很难完全确定出包裹体中盐类的成分和含量,只能根据拉乌尔定律确定包裹体溶液所溶解的NaCl当量盐度^[32]。利用Bodnar^[33]提出的包裹体冰点温度与其盐度的关系,来

确定研究区苏325井和陕360井山西组中与烃类包裹体伴生的盐水包裹体盐度。

由表2可知,苏325井中与蓝色荧光烃包裹体伴生的3个盐水包裹体的冰点温度为-4.8、-4.8和-4.9℃,对应的盐度分别为7.59%、7.59%和7.73%;在石英次生加大边中,测得2个与甲烷气包裹体伴生的盐水包裹体冰点温度,分别为-3.6℃和-3.5℃,对应的包裹体盐度为5.86%和5.71%。在陕360井中,测得与含液态烃气烃包裹体伴生的盐水包裹体冰点温度为-5.2℃和-5.3℃,对应盐

表2 鄂尔多斯盆地中部上古生界盐水包裹体冰点温度和盐度

Table 2 Freezing point and salinity of aqueous inclusions in the Upper Paleozoic, central Ordos Basin

井号	层位	深度/m	盐水包裹体产状	气液比/%	冰点温度 T_m /℃	盐度/%	伴生烃类包裹体
苏325井	山西组	3573.8	石英内裂纹	20	-4.8	7.59	蓝色荧光
			石英内裂纹	18	-4.8	7.59	烃类包裹体
			石英内裂纹	22	-4.9	7.73	
			石英次生加大边	21	-3.6	5.86	甲烷气包裹体
陕360井	山西组	2823.86	石英次生加大边	20	-3.5	5.71	
			石英颗粒内串珠状	10	-5.2	8.14	含液态烃的
			石英颗粒内串珠状	15	-5.3	8.28	气烃包裹体

度分别为8.14%和8.28%。

4 讨论

4.1 烃源岩成熟度史

自南向北选取鄂尔多斯盆地4口探井(镇探1井、苏272井、陕360井和苏325井),利用一维盆地模拟软件(PetroMod 2015),分别对其上古生界烃源岩成熟度演化史进行模拟。由于上古生界煤岩、暗

色泥岩和灰岩3种类型烃源岩在本溪组、太原组和山西组均有发育,为简化模型且不影响模拟结果,以山西组底部烃源岩成熟度来代表上古生界3类烃源岩的成熟度。利用各单井实测温度和镜质体反射率(R_o)参数进行热史模型校正,由图5可知各单井热史模拟结果与实测值具有较高吻合度,说明各单井热史模拟结果合理。

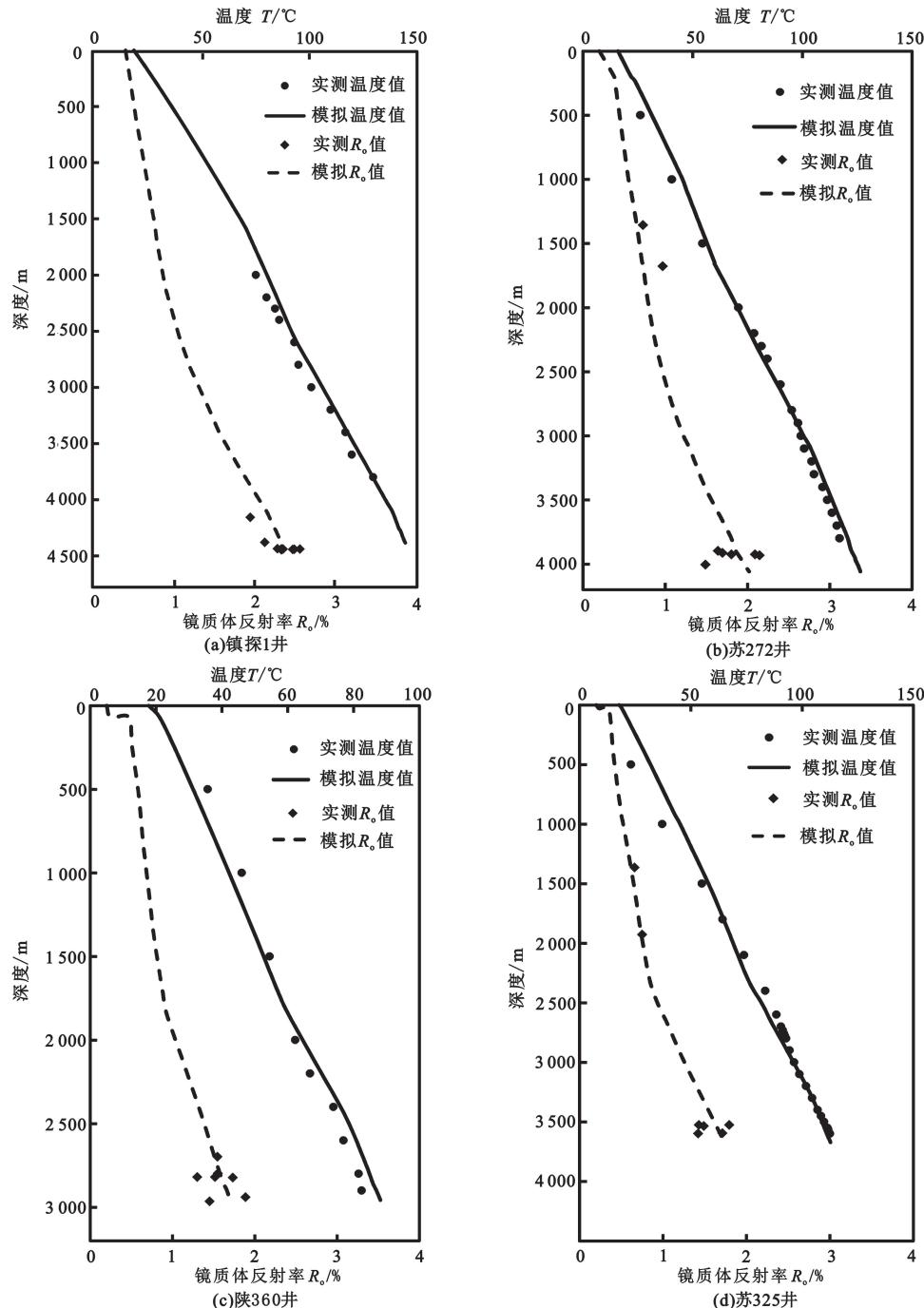


图5 鄂尔多斯盆地四口井的模拟温度和 R_o 曲线与实测值之间的对比

Fig. 5 Comparison between modelled temperature and R_o and measured values for four wells in Ordos Basin

鄂尔多斯盆地在晚侏罗世至早白垩世(140~100 Ma)发生强烈构造热运动,且热构造运动中心在盆地中南部^[34-35],上古生界地层温度快速升高,进而使烃源岩快速成熟。烃源岩成熟度和油气生成时期在盆地不同地区有所差异(图6):盆地中南部的镇探1井上古生界烃源岩从232 Ma开始进入生烃阶段($R_o=0.5\%$),在约158 Ma进入湿气生成阶段($R_o=1.2\%$),并在134 Ma时开始生成干气($R_o=2.0\%$);苏272井上古生界烃源岩开始生烃的时间约为215 Ma,在148 Ma时进入生湿气阶段,并在约

110 Ma进入干气生成阶段;陕360井和苏325井上古生界烃源岩的成熟度表现为相似的演化特征,烃源岩均在约200 Ma开始生烃,并在约132 Ma时开始进入湿气生成阶段,但成熟度均未达到干气生成阶段(即 $R_o<2.0\%$),但陕360井上古生界烃源岩现今成熟度高于苏325井。成熟度史模拟结果表明,烃源岩在盆地南部最早成熟,演化程度也最高,从南向北,烃源岩进入生烃的时间依次变晚,演化程度也逐渐降低。

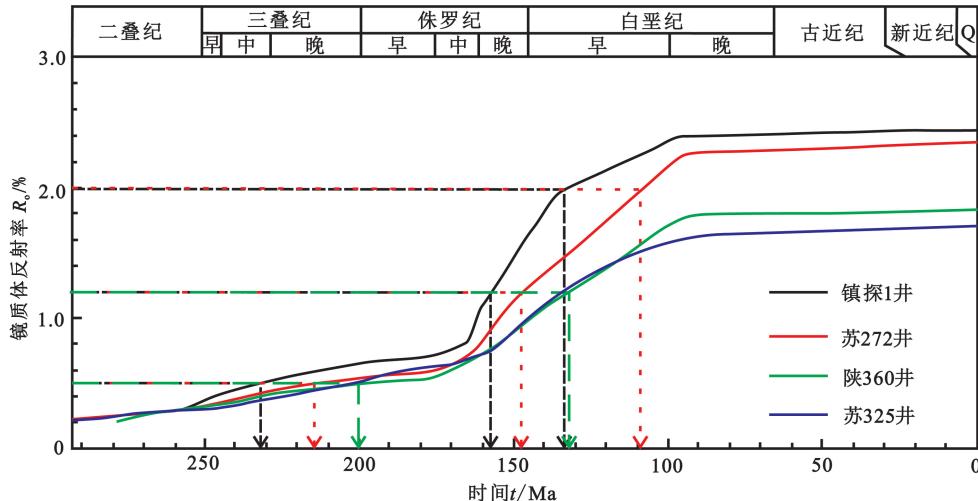


图6 鄂尔多斯盆地镇探1井、苏272井、陕360井和苏325井上古生界烃源岩成熟度演化史

Fig. 6 Maturity evolutions of the Upper Paleozoic source rock in Zhentan 1, Su 272, Shan 360 and Su 325 wells in Ordos Basin

4.2 油气充注时间

将与烃类伴生盐水包裹体连续分布的最小均一温度,根据其现今层位和深度,投点到陕360和苏325井埋藏史和热史图上,确定不同类型油气充注时间。由图7和图8可知发黄色荧光原油在约173 Ma时充注到陕360地区,即中侏罗世早期;发蓝色荧光原油在约170 Ma充注到苏325地区;干气最早充注到苏325地区的时间约为123 Ma,并持续到早白垩世晚期(96 Ma);含液态烃的气烃包裹体在陕360地区最早形成时间约为114 Ma。

4.3 油气充注历史

黄色荧光烃类包裹体发育较少,最早形成时间与蓝色荧光烃包裹体接近(均为170 Ma),成熟度史表明(图6),烃源岩约为170 Ma,成熟度未发生明显升高现象,因此认为两种荧光颜色液态烃包裹体并非为两期不同成熟度原油充注形成,而是在同一期原油充注过程中,由于原油运移分馏或与地层水作用,而发生成分分异现象,原油中相对较重组分

被捕获后形成少量黄色荧光烃包裹体,相对较轻组分被捕获后形成发蓝色荧光的烃包裹体。

烃源岩成熟度演化史表明,油气最早在中三叠世的盆地南部开始生成,由南向北,油气生成的时间依次变晚,而且烃源岩在北部的陕360和苏325地区一直没有达到干气的生成阶段,说明盆地北部干气是自南向北运移过去的。张有瑜等^[36]和米敬奎等^[32,37]通过不同手段研究同样表明,鄂尔多斯盆地上古生界天然气运移方向整体为从南向北。由于陕360井位于苏325井的东南方向,认为天然气运移到陕360地区的时间要早于运移到苏325地区的时间,即早于123 Ma,表明陕360地区甲烷气包裹体形成时间早于含液态烃的气烃包裹体形成时间(114 Ma),结合含液态烃的气烃包裹体两种成因,推测在陕360地区干气充注进来后,与早期少量原油发生混合作用,原油溶解到天然气中,被捕获后形成发微弱荧光的气烃包裹体,即第二种成因。

流体包裹体盐度信息表明,在苏325井,早期原

油充注时, 形成少量液态烃包裹体, 此时地层水盐度相对较高, 后期在天然气大量充注时期, 新的流体注入使地层水的盐度逐渐降低。在陕 360 地区, 与含液态烃的气烃包裹体伴生盐水包裹体的盐度代表的是天然气充注进来后的地层水盐度, 与苏 325 地区

甲烷气包裹体伴生盐水包裹体盐度对比表明, 天然气充注时期, 陕 360 地区地层水盐度比苏 325 地区地层水盐度高, 其与米敬奎等^[37]研究认识一致, 即流体包裹体的盐度从盆地的中南部向盆地的北部逐渐降低。

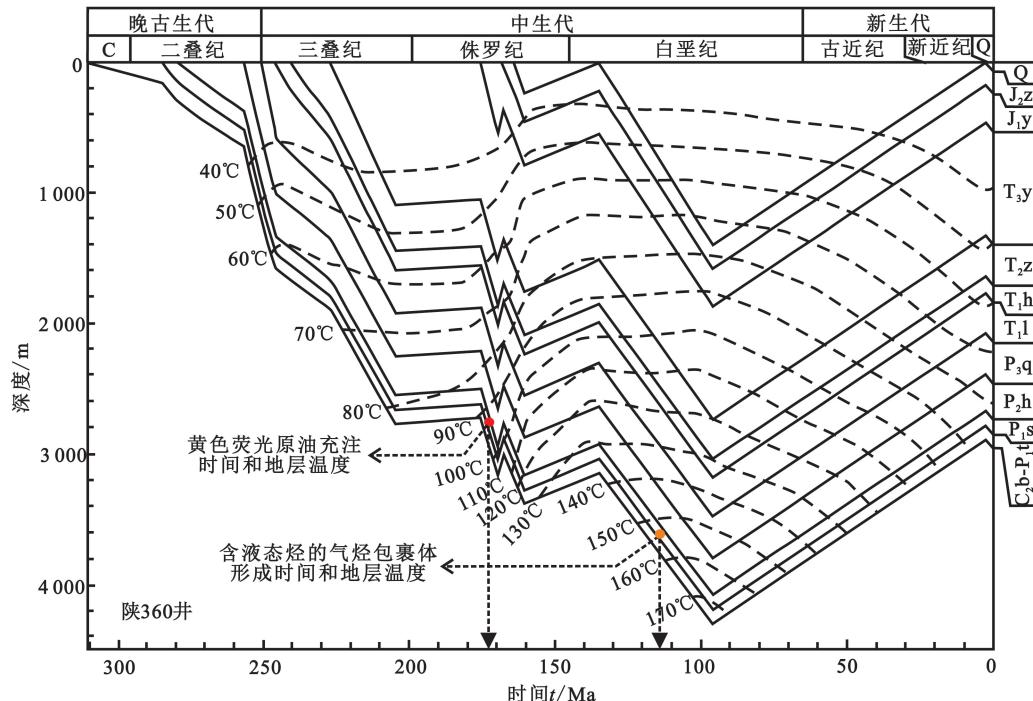


图 7 鄂尔多斯盆地陕 360 井的埋藏史和热史以及油气充注时间

Fig. 7 Burial and thermal history and hydrocarbon charging time for well Shan 360, Ordos Basin

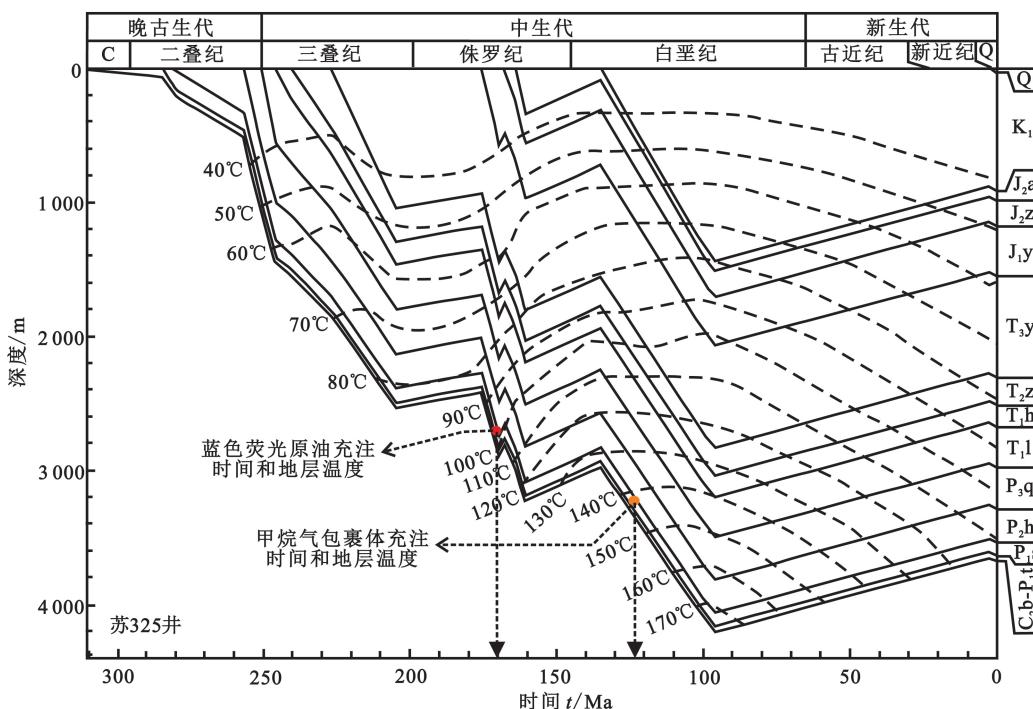


图 8 鄂尔多斯盆地苏 325 井的埋藏史和热史以及油气充注时间

Fig. 8 Burial and thermal history and hydrocarbon charging time for well Su 325, Ordos Basin

综合以上分析认为,鄂尔多斯盆地中部上古生界发生两期油气充注:中晚三叠世,盆地中南部最早进入成熟油生成阶段,原油在中侏罗世早期充注到陕 360 和苏 325 地区,形成发蓝色荧光和少量黄色荧光的液态烃包裹体,未能形成工业性油藏;早白垩世早期,天然气从盆地南部开始生成并排出,可能经短距离向上运移在邻近储层富集,到早白垩世中期,大量天然气生成,并由南向北充注到伊陕斜坡北部地区,且持续充注到早白垩世晚期构造抬升之前,形成多个大规模工业性气藏。

5 结 论

(1) 鄂尔多斯盆地中部上古生界发育 3 大类、7 亚类次生流体包裹体,包裹体发育序列为黄色荧光烃类包裹体→蓝色荧光烃类包裹体→CO₂ 气包裹体→甲烷气包裹体,含液态烃的气烃包裹体发育在天然气充注之后。

(2) 鄂尔多斯盆地上古生界烃源岩在盆地南部最先达到成熟,演化程度也最高,从南向北,烃源岩进入生烃的时间依次变晚,演化程度也逐渐降低,陕 360 和苏 325 地区至今尚未达到干气生成阶段。

(3) 中晚三叠世,盆地中南部最早进入成熟油生成阶段,原油在中侏罗世早期充注到陕 360 和苏 325 地区,形成发蓝色荧光和少量黄色荧光的液态烃包裹体,未能形成工业性油藏;早白垩世早期,天然气从盆地南部开始生成并排出,到早白垩世中期,大量天然气生成,并由南向北充注到伊陕斜坡北部地区,形成多个大规模工业性气藏。

参 考 文 献:

- [1] 张厚福,方朝亮,张枝焕,等. 石油地质学 [M]. 北京:石油工业出版社,1999:215-267.
- [2] 赵靖舟. 油气水界面追溯法与塔里木盆地海相油气成藏期分析 [J]. 石油勘探与开发,2001,28(4):55-58.
ZHAO Jingzhou. Oil-gas-water contact ascending and accumulation periods of the marine oil and gas in the Tarim Basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 2001,28(4):55-58.
- [3] 蒋有录,张文杰,刘华,等. 饶阳凹陷古近系储层流体包裹体特征及成藏期确定 [J]. 中国石油大学学报(自然科学版),2018,42(4):23-33.
JIANG Youlu, ZHANG Wenjie, LIU Hua, et al. Properties of fluid inclusions and periods of hydrocarbon accumulation in Paleogene reservoirs in Raoyang Depression [J]. Journal of China University of Petroleum(Edition of Natural Science), 2018,42(4): 23-33.
- [4] GOLDSTEIN Robert H. Fluid inclusions in sedimentary and diagenetic systems [J]. Lithos, 2001, 55 (1): 159-193.
- [5] 张有瑜,罗修泉. 油气储层自生伊利石 K-Ar 同位素年代学研究现状与展望 [J]. 石油与天然气地质,2004, 25(2):231-236.
ZHANG Youyu, LUO Xiuquan. K-Ar isotopic chronological study of authigenic illite in reservoirs [J]. Oil & Gas Geology, 2004,25(2):231-236.
- [6] 王铁冠,王春江,何发歧,等. 塔河油田奥陶系油藏两期成藏原油充注比率测算方法 [J]. 石油实验地质, 2004,26(1):74-79.
WANG Tieguan, WANG Chunjiang, HE Faqi, et al. Determination of double filling of mixed oils in the Ordovician oil reservoir, Tahe Oilfield [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2004,26(1):74-79.
- [7] 邵树勋,张乾,潘家永. 丹寨汞金矿床卤素元素与古油藏关系探讨 [J]. 地质地球化学,1999,27(4):23-28.
SHAO Shuxun, ZHANG Qian, PAN Jiayong. A discussion of the relation between halogen elements of Danzhai mercury-gold deposit and palaeo-oil pool [J]. Geology-Geochemistry, 1999,27(4):23-28.
- [8] ZHU Bingquan, ZHANG Jinglian, TU Xianglin, et al. Pb, Sr, and Nd isotopic features in organic matter from China and their implications for petroleum generation and migration [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 2001,65(15):2555-2570.
- [9] SELBY D, CREASER R A. Direct radiometric dating of hydrocarbon deposits using rhenium-osmium isotopes [J]. Science, 2005,308(5726):1293-1295.
- [10] PARRELL J. Potential of palaeofluid analysis for understanding oil charge history [J]. Geofluids, 2010, 10 (1):73-82.
- [11] MUNZ I A. Petroleum inclusions in sedimentary basins: systematics, analytical methods and applications [J]. Lithos, 2001,55(1):195-212.
- [12] PARRELL J, MIDDLETON D, HONGHAN C, et al. The use of integrated fluid inclusion studies in constraining oil charge history and reservoir compartmentation: examples from the Jeanne d'Arc Basin, offshore Newfoundland [J]. Marine and Petroleum Geology, 2001, 18(5):535-549.
- [13] BOURDET J, PIRONON J, LEVRESSE G, et al. Petroleum type determination through homogenization temperature and vapour volume fraction measurements in fluid inclusions [J]. Geofluids, 2008,8:46-59.
- [14] 李剑,罗霞,单秀琴,等. 鄂尔多斯盆地上古生界天然

- 气成藏特征 [J]. 石油勘探与开发, 2005, 32(4):54-59.
- LI Jian, LUO Xia, SHAN Xiuqin, et al. Natural gas accumulation in the Upper Paleozoic of Ordos Basin, China [J]. Petroleum Exploration and Development, 2005, 32(4):54-59.
- [15] 杨华,付金华,刘新社,等.鄂尔多斯盆地上古生界致密气成藏条件与勘探开发 [J]. 石油勘探与开发, 2012, 39(3):295-303.
- YANG Hua, FU Jinhua, LIU Xinshe, et al. Accumulation conditions and exploration and development of tight gas in the Upper Paleozoic of the Ordos Basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 2012, 39(3):295-303.
- [16] ZHAO Jingzhou, ZHANG Wenzheng, LI Jun, et al. Genesis of tight sand gas in the Ordos Basin, China [J]. Organic Geochemistry, 2014, 74:76-84.
- [17] 李贤庆,冯宝松,李剑,等.鄂尔多斯盆地苏里格大气田天然气成藏地球化学研究 [J]. 岩石学报, 2012, 28(3):836-846.
- LI Xianqing, FENG Baosong, LI Jian, et al. Geochemistry of natural gas accumulation in Sulige large gas field in Ordos Basin [J]. Acta Petrologica Sinica, 2012, 28(3):836-846.
- [18] 张文忠,郭彦如,汤达祯,等.苏里格气田上古生界储层流体包裹体特征及成藏期次划分 [J]. 石油学报, 2009, 30(5):685-691.
- ZHANG Wenzhong, GUO Yanru, TANG Dazhen, et al. Characteristics of fluid inclusions and determination of gas accumulation period in the Upper Paleozoic reservoirs of Sulige Gas Field [J]. Acta Petrolei Sinica, 2009, 30(5):685-691.
- [19] 刘新社,周立发,侯云东.运用流体包裹体研究鄂尔多斯盆地上古生界天然气成藏 [J]. 石油学报, 2007, 28(6):37-42.
- LIU Xinshe, ZHOU Lifan, HOU Yundong. Study of gas charging in the Upper Paleozoic of Ordos Basin using fluid inclusion [J]. Acta Petrolei Sinica, 2007, 28(6):37-42.
- [20] 刘建章,陈洪汉,李剑,等.运用流体包裹体确定鄂尔多斯盆地上古生界油气成藏期次和时期 [J]. 地质科技情报, 2005, 24(4):60-66.
- LIU Jianzhang, CHEN Honghan, LI Jian, et al. Using fluid inclusion of reservoir to determine hydrocarbon charging orders and times in the Upper Paleozoic of Ordos Basin [J]. Geological Science and Technology Information, 2005, 24(4):60-66.
- [21] 陕西地质矿产局.陕西省区域地质志 [M]. 北京:地质出版社, 1986;1-10.
- [22] 胡朝元,钱凯,王秀芹,等.鄂尔多斯盆地上古生界多藏大气田形成的关键因素及气藏性质的嬗变 [J]. 石油学报, 2010, 31(6):879-884.
- HU Chaoyuan, QIAN Kai, WANG Xiuqin, et al. Critical factors for the formation of an Upper Paleozoic giant gas field with multiple gas reservoirs in Ordos Basin and the transmutation of gas reservoir properties [J]. Acta Petrolei Sinica, 2010, 31(6):879-884.
- [23] 孙宁亮,钟建华,王东恩,等.鄂尔多斯盆地南部延长组事件沉积与致密油的关系 [J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2017, 41(6):30-40.
- SUN Ningliang, ZHONG Jianhua, WANG Dongen, et al. Relationship between event deposits and tight oil of Yanchang Formation in Southern Ordos Basin [J]. Journal of China University of Petroleum(Edition of Natural Science), 2017, 41(6):30-40.
- [24] 何自新.鄂尔多斯盆地演化与油气 [M]. 北京:石油工业出版社, 2003:66-88.
- [25] DAI Jinxing, LI Jian, LUO Xia, et al. Stable carbon isotope compositions and source rock geochemistry of the giant gas accumulations in the Ordos Basin, China [J]. Organic Geochemistry, 2005, 36:1617-1635.
- [26] SHUAI Yanhua, ZHANG Shuichang, MI Jingkui, et al. Charging time of tight gas in the Upper Paleozoic of the Ordos Basin, central China [J]. Organic Geochemistry, 2013, 64:38-46.
- [27] 卢焕章,范宏瑞,倪培,等.流体包裹体 [M]. 北京:科学出版社, 2004:11-137.
- [28] 周中毅,潘长春.沉积盆地古地温测定方法及其应用 [M]. 广州:广东科学技术出版社, 1992:34-66.
- [29] 陶士振,郭宏莉,张宝民,等.沉积岩包裹体的岩相学、分类、术语及常被忽略的基本问题 [J]. 地质科学, 2003, 38(2):275-280.
- TAO Shizhen, GUO Hongli, ZHANG Baomin, et al. Petrography, classification, terminology and fundamental questions ignored usually of inclusion in sediment rocks [J]. Chinese Journal of Geology, 2003, 38(2):275-280.
- [30] 赵艳军,陈红汉.油包裹体荧光颜色及其成熟度关系 [J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2008, 33(1):91-96.
- ZHAO Yanjun, CHEN Honghan. The relationship between fluorescence colors of oil inclusions and their maturities [J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 2008, 33(1):91-96.
- [31] 李艳霞,张华,田毓峰.煤系烃源岩与石英次生加大边的形成机理探讨:以鄂尔多斯盆地东部山西组为

- 例[J]. 地质科技情报, 2015, 34(6):65-69.
- LI Yanxia, ZHANG Hua, TIAN Yufeng. Formation mechanism of coal source rocks and quartz overgrowths: an example of Shanxi Formation in eastern Ordos Basin [J]. Geological Science and Technology Information, 2015, 34(6):65-69.
- [32] 米敬奎. 鄂尔多斯盆地上古生界天然气藏的运聚特征[D]. 广州: 中国科学院广州地球化学研究所, 2003.
- MI Jingkui. The migration and accumulation characters of the Upper Paleozoic gas reservoir in Ordos Basin [D]. Guangzhou: Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, 2003.
- [33] BODNAR R J. Revised equation and table for determining the freezing point depression of H_2O -NaCl solution [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1993, 57: 683-684.
- [34] 任战利. 鄂尔多斯盆地热演化史与油气关系的研究 [J]. 石油学报, 1996, 17(1):17-24.
- REN Zhanli. Research on the relations between geothermal history and oil-gas accumulation in the Ordos Basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 1996, 17(1): 17-24.
- [35] 任战利, 张盛, 高胜利, 等. 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(地球科学), 2007, 37(增):23-32.
- REN Zhanli, ZHANG Sheng, GAO Shengli, et al. Tectonic thermal evolution and its minerals forming functions in the Ordos Basin [J]. Science China: Earth Sciences, 2007, 37(sup):23-32.
- [36] 张有瑜, HORST Zwingmann, 刘可禹, 等. 自生伊利石 K-Ar、Ar-Ar 测年技术对比与应用前景展望: 以苏里格气田为例 [J]. 石油学报, 2014, 35(3):407-416.
- ZHANG Youyu, HORST Zwingmann, LIU Keyu, et al. Perspective on the K/Ar and Ar/Ar geochronology of authigenic illites: a case study from the Sulige gas field, Ordos Basin, China [J]. Acta Petrolei Sinica, 2014, 35(3):407-416.
- [37] 米敬奎, 肖贤明, 刘德汉, 等. 利用流体包裹体信息恢复鄂尔多斯盆地晚古生代天然气气藏气水界面的迁移过程 [J]. 科学通报, 2004, 49(4):396-400.
- MI Jingkui, XIAO Xianming, LIU Dehan, et al. Restoration of gas-water-contact shift in gas reservoir in Upper Paleozoic, Ordos Basin, using fluid inclusion information [J]. Chinese Science Bulletin, 2004, 49(4):396-400.

(编辑 徐会永)