

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

赵桂萍^{1,2}

(1. 中国科学院 计算地球动力学重点实验室, 北京 100049; 2. 中国科学院大学 地球科学学院, 北京 100049)

摘要:杭锦旗地区是鄂尔多斯盆地天然气勘探的重点区域之一。通过杭锦旗地区流体包裹体产状特征、成分及均一温度的研究,可以确定天然气主要的成藏期次与成藏时期。研究表明,杭锦旗地区上古生界砂岩储层中的成岩流体包裹体主要分布于含砾砂岩、中细砂岩的石英加大边或愈合裂隙中,可分为两期,以气液烃包裹体、气液两相盐水包裹体为主,包裹体形态有椭圆形、次棱角形、长条形、半圆形及不规则形,气体成分主要为 CO_2 和 CH_4 。与气液烃包裹体伴生的盐水包裹体均一温度具有分布范围广、多峰值且十里加汗、新召和什股壕3个区带分布特征存在显著差异的特征;对包裹体均一温度在古地温场演化史上的投点结果和烃源岩热演化历史的综合分析表明:十里加汗区带主成藏期为始新世至今,新召区带主成藏期为始新世至今并可能存在早侏罗世晚期—晚侏罗世中期次成藏期,什股壕区带依据包裹体测温资料并结合天然气运移特征综合判断主成藏期为始新世至今。

关键词:成藏时期;流体包裹体;上古生界;杭锦旗地区;鄂尔多斯盆地

中图分类号:TE121.1

文献标识码:A

Characterization of fluid inclusions and timing of gas accumulation in Upper Paleozoic reservoirs of Hangjinqi area, Ordos Basin

Zhao Guiping^{1,2}

(1. Key Laboratory of Computational Geodynamics, CAS, Beijing 100049, China;

2. College of Earth Sciences, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Hangjinqi area is one of the major gas exploration targets in Ordos Basin. Analyses of occurrence characteristics, composition and homogenization temperature of fluid inclusions from Hangjinqi area were carried out to identify the main gas reservoiring stages and timing. The results show that fluid inclusions from the Upper Paleozoic Hangjinqi area are mostly distributed in quartz overgrowth or healed fractures of pebbly sandstone, medium-grained and fine sandstones. Two stages can be identified with gas/liquid hydrocarbon inclusions and gas/liquid brine inclusions dominated. They can be oval, sub-prismatic, long strip, semicircular, and irregular in shape with carbon dioxide and methane as the dominant gas components. The homogenization temperature distribution of brine inclusions, associated with hydrocarbon inclusions, has a wide range and multiple peaks. Samples from three plays, namely the Shilijiahan, Xinzhaohao, and Shiguhao, in the area, show a remarkable disparity in their homogenization temperature distributions. By projecting the homogenization temperatures of the inclusions from the plays on the paleo-geothermal field evolution history of the area and analyzing the thermal evolution history of source rocks, we suggest that the primary reservoiring stage of Shilijiahan play is from the Eocene to the present. The Xinzhaohao play also has its primary reservoiring period from the Eocene to the present, but there is the possibility of a secondary reservoiring stage ranging from late Early Jurassic to middle Late Jurassic. The reservoiring stage in the Shiguhao play is still from the Eocene to the present based on inclusion temperature data and gas migration characters.

Key words: reservoiring stage, fluid inclusion, Upper Paleozoic, Hangjinqi area, Ordos Basin

收稿日期:2016-06-15;修订日期:2017-07-19。

作者简介:赵桂萍(1972—),女,博士、副教授,构造地质与油气地质。E-mail:zhaogp@ucas.ac.cn。

基金项目:中国石化科技项目(P16077)。

杭锦旗地区是鄂尔多斯盆地天然气勘探的重点区域之一,已在太原组、山西组山1段、山2段和下石盒子组盒1段、盒2段及盒3段等层位获天然气工业气流,发现了什股壕、十里加汗等天然气藏或含气构造。对于杭锦旗地区天然气成藏历史与成藏期次,前人依据生烃时间法、圈闭形成期法、流体包裹体均一温度法,并结合储层砂岩的致密化时间,得出了两期成藏的认识,但对成藏时期存在不同认识,即中-晚侏罗世、早白垩世末-至今^[1]和中侏罗世晚期之前、早白垩世晚期^[2]。

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^[3-11]。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。

1 杭锦旗地区流体包裹体特征

1.1 样品采集与处理

本次研究,共选择了杭锦旗地区锦12井、锦21井、锦35井和锦77井等8口井上古生界的67个岩石样品,在中国石化无锡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,仅在19个样品薄片检测到包裹体并进行了均一温度、激光拉曼光谱测试。

流体包裹体分析使用的仪器设备主要包括 Zeiss Axioplan2 透、反、荧光显微镜,100 W 汞灯,荧光滤色片 BP395-440 nm(FT460,LP470),Linkam MDS600 型全自动冷热台,长焦距物镜 50×,Zeiss LSM 5 Pascal 激光共聚焦扫描显微镜,Ar⁺ 激光器、激光功率 1.5 mW、激发波长 488 nm,RENISHAW inVia 型激光拉曼光谱仪。

1.2 包裹体类型、分期及特征

杭锦旗地区上古生界砂岩储层中的流体包裹体,主要分布于含砾砂岩、中细砂岩的石英加大边或愈合

裂隙中,少量在方解石胶结物中。包裹体类型主要有气液烃包裹体、气液两相盐水包裹体(表1)。

根据成岩作用、包裹体产状及分布特征,可以识别出两期包裹体。其中一期油气包裹体在晚期石英裂隙或方解石裂隙中,多沿微裂隙呈带状分布、线状分布、孤立分布、零星分布或成群分布;包裹体形态有椭圆形、次棱角形、长条形、半圆形及不规则形(图1);包裹体直径分布范围较广,介于 4.7~21.3 μm。另一期气液盐水包裹体主要分布在成岩作用晚期的石英期次生加大边中,包裹体形态不规则,该期包裹体数量较少、但均一温度平均值相对较高。

气液烃包裹体多与气液两相盐水包裹体伴生,透射光下为无色,荧光下为黄绿色或蓝绿色(图1e,f);同一视域下气液烃包裹体的气液比变化较大,推测可能为不混溶捕获;包裹体直径多在 7.3~20.5 μm。

1.3 流体包裹体激光拉曼光谱特征

流体包裹体激光拉曼光谱分析表明,气体成分主要为 CO₂ 和 CH₄(图2)。其中 CO₂ 的特征峰出现在 1 285 cm⁻¹处和 1 386 cm⁻¹处,表明该流体包裹体的气相成分主要是 CO₂ 气体(图2a);CH₄ 的特征峰出现在 2 915 cm⁻¹处,表明该包裹体的气相成分主要是甲烷气体(图2b)。

2 包裹体均一温度分布特征

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。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^[12]。

杭锦旗地区上古生界储集层盐水包裹体均一温度具有以下特点:一是从整个地区的包裹体实测温度的分布特征看,包裹体均一温度的分布范围广,在 70~170℃的 100℃区间范围内均有分布(图3a);二是从全区范围看,流体包裹体均一温度分布表现为多峰值的特征,可分为 90~95、105~110 和 120~125℃三个峰值,反映出该区主要有 3 期比较强的流体活动(图3a);三是不同区带,包裹体均一温度的分布特征存在显著差异,十里加汗区带包裹体均一温度分布范

表 1 杭锦旗地区上古生界储层流体包裹体特征
Table 1 Characterization of fluid inclusion from the Upper Paleozoic reservoirs in Hangjinqi area

样品编号	构造带	取样深度/m	层位	岩性	宿主矿物及产状	期次	包裹体类型	颜色	荧光	大小范围/ μm	均一温度范围/ ℃	平均均一温度/ ℃ (样品个数)	盐度 均值/%
Jin21-2	十里加汗	2892	山 2 段	细砂岩	石英愈合裂隙	I	气液盐水包裹体	无色	无色	7.6~10.1	106.3~116.2	111.1(5)	12.789 5
						同期烃类包裹体	气液烃包裹体	无色	蓝绿色	7.3~13.2	84.4~133.2	112.0(4)	
Jin21-5		2917	山 1 段	细砂岩	石英愈合裂隙	I	气液盐水包裹体	无色	无色	6.2~21.3	104.6~112.2	109.2(7)	
						II	气液盐水包裹体	无色	无色	6.6~12.4	122.0~137.4	127.3(3)	12.573 0
Jin76-3		2706	山 2 段	中细砂岩	石英愈合裂隙	I	气液盐水包裹体	无色	无色	7.0~13.7	82.7~107.5	96.9(6)	14.570 7
Jin77-2		2683	盒 1 段	中细砂岩	石英愈合裂隙	I	气液盐水包裹体	无色	无色	6.2~11.7	74.7~105.3	90.9(5)	12.34
						II	气液盐水包裹体	无色	无色	15.4~19	138.0~146.2	142.1(2)	12.85
Jin77-8		2710	盒 1 段	含砾砂岩	石英愈合裂隙	I	气液盐水包裹体	无色	无色	5.6~16.1	149.3~161.2	153.1(5)	4.08
Jin77-9		2713	盒 1 段	中细砂岩	石英愈合裂隙	I	气液盐水包裹体	无色	无色	5.4~11.6	90.0~120.4	100.8(7)	
Jin79-2		3503	盒 1 段	中细砂岩	石英愈合裂隙	I	气液盐水包裹体	无色	无色	6.3~13.8	101.1~122.5	110.9(8)	8.20
Jin79-7	新召	3525	盒 1 段			I	气液盐水包裹体	无色	无色	5.4~17.3	109.3~129.6	121.0(10)	7.82
Jin30-2		3557	盒 1 段	中细砂岩	石英愈合裂隙	I	气液盐水包裹体	无色	无色	7.4~46.8	114.4~128.7	122.1(9)	5.55
Jin30-7		3595	山 2 段	中细砂岩	石英愈合裂隙	I	气液盐水包裹体	无色	无色	8.1~10.0	120.0~147.5	133.3(9)	9.19
Jin12-6		2103	盒 1 段	中细砂岩	石英愈合裂隙	I	气液盐水包裹体	无色	无荧光	6.7~9.4	96.1~125.3	110.7(2)	
						II	气液盐水包裹体	无色	无荧光	4.7~10.2	156.1~167.7	160.5(5)	7.818 5
Jin12-7	什股壕	2112	盒 1 段	中细砂岩	石英愈合裂隙， 方解石胶结物	I	气液盐水包裹体	无色	无色	4.5	96.2	96.2(1)	
						同期烃类包裹体	气液烃包裹体	无色	蓝绿色	8.8~20.5	90.0~149.1	115.4(6)	
Jin12-10		2124	盒 1 段	细砂岩	石英愈合裂隙	I	气液盐水包裹体	无色	无色	15.3	121.3	121.3(1)	
						同期烃类包裹体	气液烃包裹体	无色	蓝绿色	7.0~8.8	75.8~93.1	81.9(3)	
Jin28-2		2236	盒 2 段	中细砂岩	石英愈合裂隙	I	气液盐水包裹体	无色	无色	6.1~14.6	87.2~106.1	96.6(5)	11.463 6
Jin28-7		2264	盒 2 段	中细砂岩	石英愈合裂隙	I	气液盐水包裹体	无色	无色	11.6~12.0	82.5~96.4	89.5(2)	
						同期烃类包裹体	气液烃包裹体	无色	黄绿色	10.4~13.2	53.5~137.3	96.9(3)	
Jin28-11		2287	盒 1 段	中细砂岩	石英愈合裂隙	I	气液盐水包裹体	无色	无色	6.9~12.6	120.0~140.1	131.0(3)	
Jin35-1		2137	盒 1 段	中细砂岩	石英愈合裂隙	I	气液盐水包裹体	无色	无色	5.6~11.7	94.5~102.2	96.9(4)	11.343 3
Jin35-8		2152	山 2 段	中细砂岩	石英愈合裂隙	I	气液盐水包裹体	无色	无色	5.9~17.5	82.1~110.1	94.2(6)	10.228 4
Jin35-10		2158	山 2 段	中细砂岩	石英愈合裂隙	I	气液盐水包裹体	无色	无色	7.5~9.3	82.2~111.7	96.95(2)	

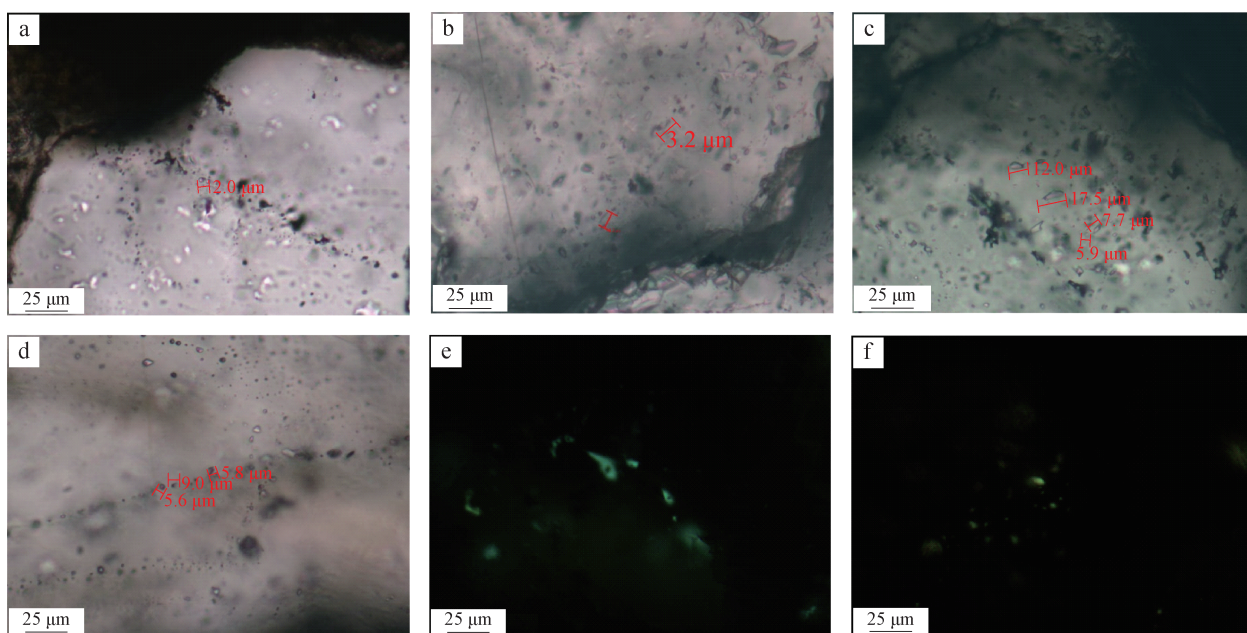


图1 杭锦旗地区流体包裹体镜下特征

Fig. 1 Microscopic characterization of fluid inclusions from Hangjinqi area

a. 锦12井, 气液两相盐水包裹体沿石英愈合裂隙分布, 据包裹体产状及分布特征可分为两期, 透射光; b. 锦21井, 气液两相烃包裹体沿石英次生加大边分布, 透射光; c. 锦35井, 气液两相盐水包裹体沿石英愈合裂隙分布, 透射光; d. 锦77井, 气液两相盐水包裹体沿石英愈合裂隙分布, 据包裹体产状及分布特征可分为两期, 透射光; e. 锦12井, 气液两相烃包裹体沿石英愈合裂隙分布, 气液烃包裹体荧光下发蓝绿色荧光; f. 锦28井, 气液两相盐水包裹体与气液烃包裹体沿石英愈合裂隙共生分布, 气液烃包裹体荧光下发黄绿色荧光

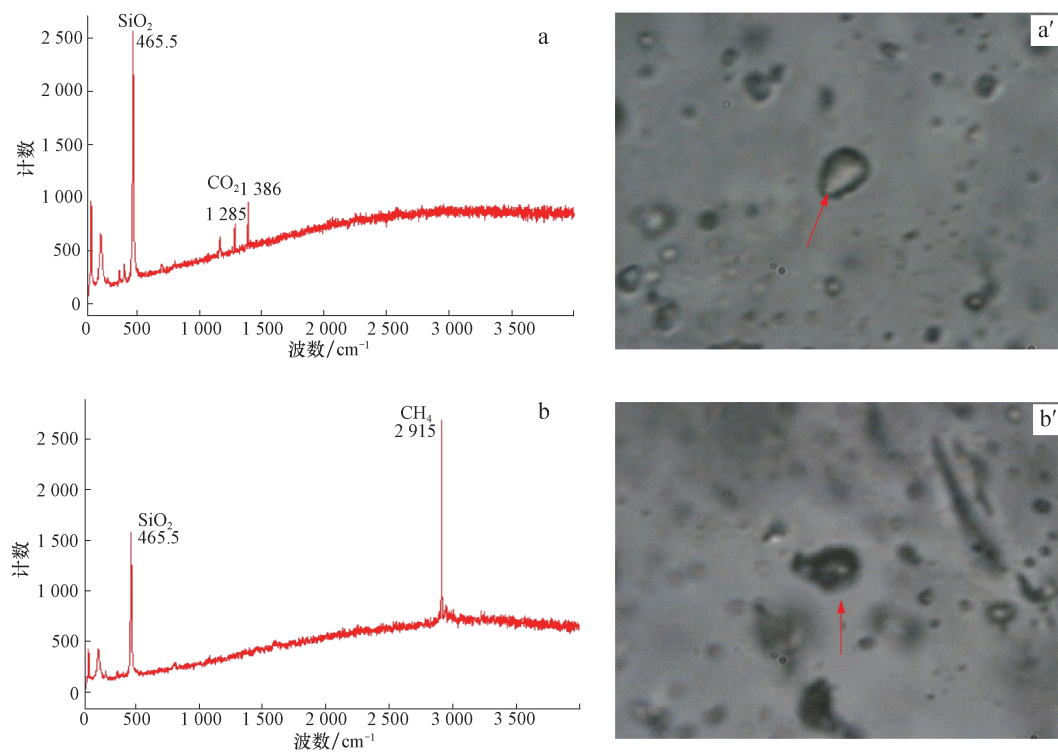


图2 杭锦旗地区流体包裹体激光拉曼光谱

Fig. 2 Laser-Raman spectrum of fluid inclusions from Hangjinqi area

a. CO₂ 特征峰; b. CH₄ 特征峰

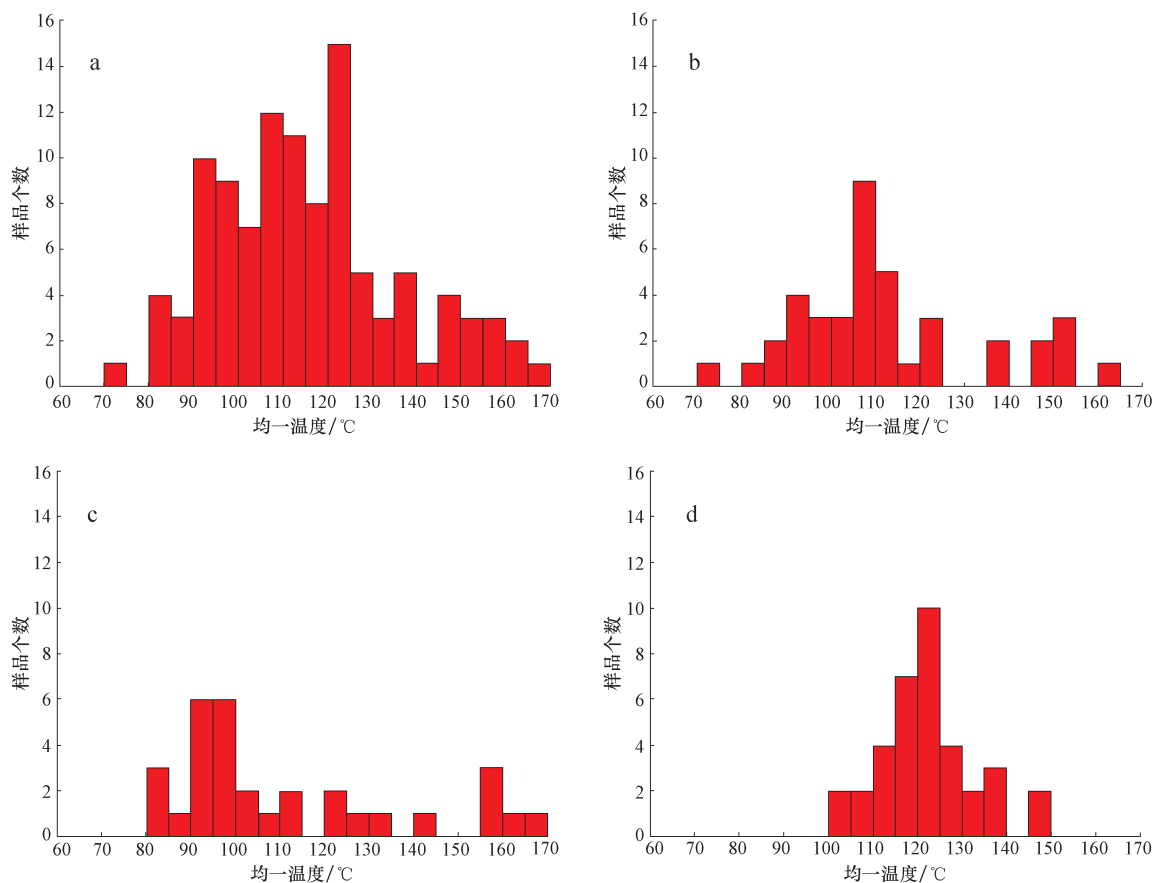


图3 杭锦旗地区包裹体均一温度分布柱状图

Fig. 3 Histogram showing the homogenization temperature distribution of inclusions from Hangjinqi area

a. 全区; b. 十里加汗地区; c. 什股壕地区; d. 新召地区

围广,在70~165℃均有分布,其分布峰值在105~115℃(图3b);什股壕区带包裹体均一温度分布范围在80~170℃,但在各区间分布相对比较均衡,仅在90~100℃为相对高的峰值区(图3c);新召区带包裹体均一温度分布相对较为集中,在100~150℃,峰值分布在120~125℃,反映出该区带流体活动较为集中(图3d)。

3 天然气成藏时期

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间接确定油气成藏期次的研究,推进了油气成藏年代学的定量研究^[8-9]。

3.1 沉积埋藏史、热演化史恢复

沉积埋藏史、古地温场特征及演化历史是影响盆地模拟结果可靠程度的重要参数。

受区域构造演化历史的控制,石炭纪—新生代期间,杭锦旗地区经历了多期次的构造运动。二叠纪—

三叠纪期间,总体持续沉降、埋深,在三叠纪末期经历了短暂的抬升剥蚀,但幅度不大;侏罗纪期间,在总体沉降的背景上,经历了早侏罗世末期、晚侏罗世末期的抬升剥蚀;白垩纪期间,则是经历了早白垩世的沉积沉降、晚白垩世的抬升剥蚀两个演化阶段;新生代以来,则总体表现为沉积间断,仅在第四纪期间接受了厚度不大的沉积。对于杭锦旗地区的抬升剥蚀厚度,综合前人研究结果^[13-14],发生在三叠纪末、中侏罗世末、晚侏罗世末以及晚白垩世的4期剥蚀作用的剥蚀量分别为150~200,120~160,120~200以及400~700 m。

古地温场特征及其演化历史是影响盆地模拟结果的重要参数之一,对烃源岩的成熟、演化及油气生成、排运都有重要影响。前人对鄂尔多斯盆地古地温梯度演化规律进行了研究^[15-17],总体认为鄂尔多斯盆地古热流值和今热流值均较低,盆地古热流值高于今热流值。综合前人的研究成果,并依杭锦旗地区实测现今地层温度、镜质体反射率(R_o)为标定值,确定出本次模拟采用的大地热流在石炭纪—二叠纪为60~64 mW/m²,三叠纪期间为65~68 mW/m²,随后大地热流值逐渐上升,在侏罗纪—早白垩世晚期达到最高,

为 $75 \sim 85 \text{ mW/m}^2$, 随后地层经历了一个冷却过程, 大地热流值逐渐降低, 现今大地热流均值为 60 mW/m^2 左右。

3.2 均一温度确定的天然气藏成藏时期

将流体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, 进而确定地层流体达到相应温度的地质历史时间、地质年代, 是利用流体包裹体确定油气成藏时期的主要方法。对于演化历史简单、持续沉降埋藏的地区, 简单投点确定成藏时期较为可靠; 但对演化历史复杂、经历抬升剥蚀的地区, 因沉积埋藏史、古地温场演化历史的复杂性, 简单的投点确定的油气成藏时期可能具有多解性, 尚需要结合烃源岩成熟演化史^[18]或其他资料综合判断、确定成藏时期。

3.2.1 十里加汗区带

从前面关于流体包裹体均一温度的统计结果看, 十里加汗区带包裹体均一温度峰值为 $100 \sim 110^\circ\text{C}$, 如果投影到古地温场演化史图上, 则有两个对应的地质时间段, 一个是 $175 \sim 168 \text{ Ma}$, 对应的地质历史时期为早侏罗世—中侏罗世(图4a); 另一个是 45 Ma 至今, 对应的地质历史时期为始新世至今(图4a)。但从烃源岩热演化史看(图4b), 早侏罗世—中侏罗世期间, 太原组、山西组烃源岩 R_o 值小于 0.7% , 烃源岩仅进入生烃门限, 难以有大量的天然气生成, 早侏罗世—中侏罗世应当不是十里加汗区带天然气成藏的主要时期; 虽然研究区在晚白垩世期间遭受抬升剥蚀, 经历的古地温降低, 但由于烃源岩的热演化具有不可逆性, 仍

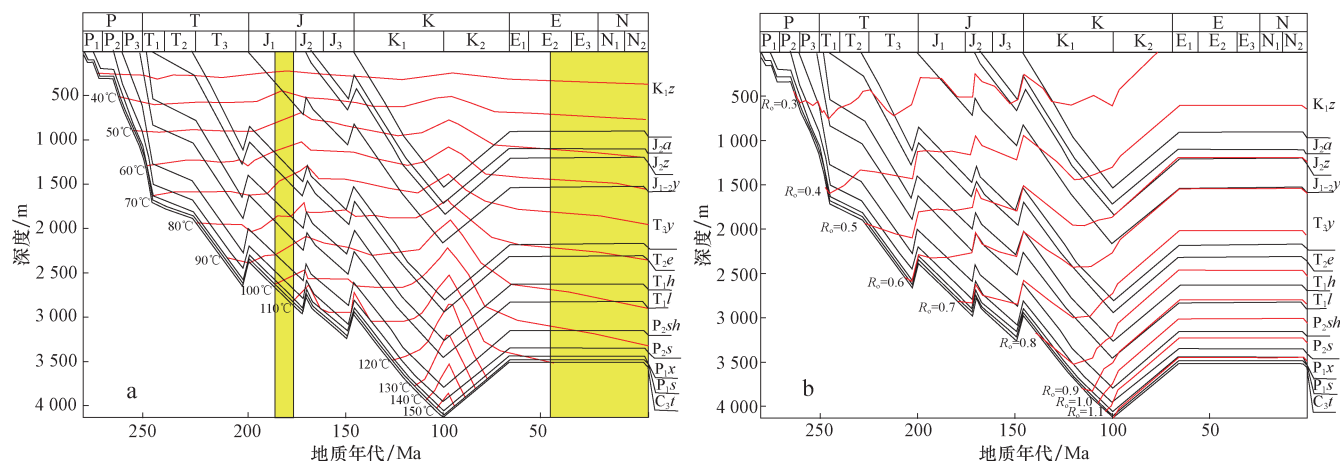


图4 十里加汗区带锦90井地温场演化史与烃源岩热演化史

Fig. 4 Paleogeothermal field evolution and source rock thermal evolution of Well Jin-90 in Shilijiahan play

a. 地温场演化史; b. 烃源岩热演化史

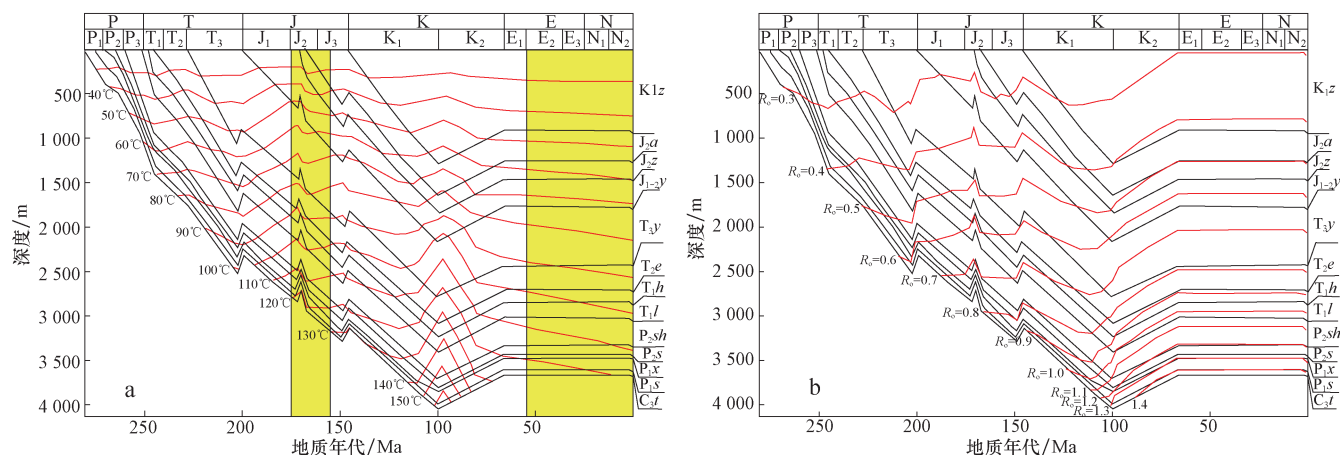


图5 新召区带锦30井地温场演化史与烃源岩热演化史

Fig. 5 Paleogeothermal field evolution and source rock thermal evolution of Well Jin-30 in Xinzhaoh play

a. 地温场演化史; b. 烃源岩热演化史

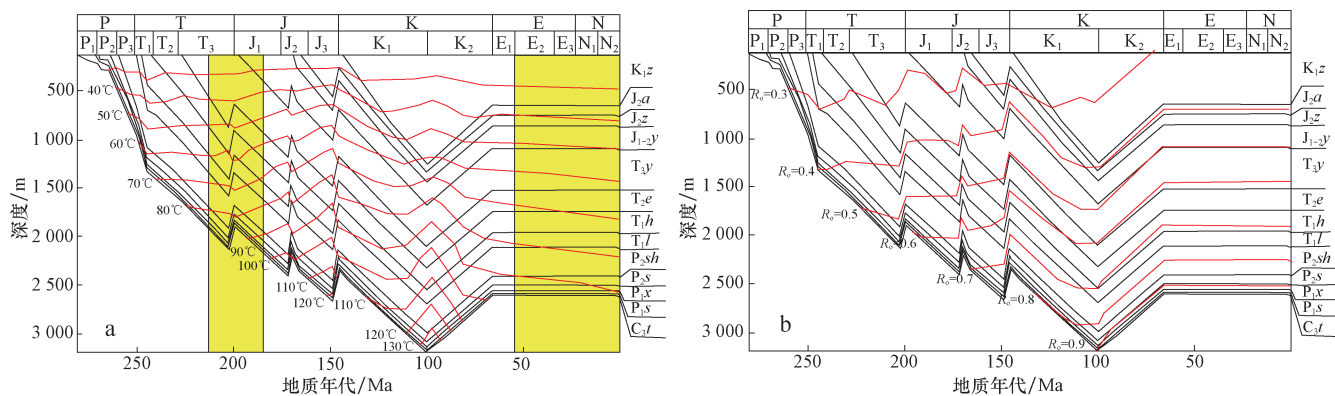


图6 什股壕区带锦68井地温场演化史与烃源岩热演化史

Fig. 6 Paleogeothermal field evolution and source rock thermal evolution of Well Jin-68 in Shiguohao play

a. 地温场演化史; b. 烃源岩热演化史

维持成熟的演化阶段,应当有大量天然气生成。综合判断,十里加汗地区的天然气主成藏期应当具有晚期成藏的特征,即在始新世至今。

3.2.2 新召区带

新召区带流体包裹体均一温度峰值区间为 115 ~ 125 °C,对应的地质时间是 175 ~ 155 Ma 和 55 Ma 至今两个时间段,相应的地质历史时期为早侏罗世晚期—晚侏罗世中期和始新世至今(图 5a)。结合新召区带烃源岩热演化历史可以看出,早侏罗世晚期—晚侏罗世中期,该区带内太原组、山西组烃源岩 R_o 值介于 0.7% ~ 1.0%,为成熟生烃的早期阶段,应当有一定量的天然气生成;始新世至今,太原组、山西组烃源岩的 R_o 值已大于 1.3%,处于高成熟演化阶段(图 5b),大量天然气生成。依此综合判断,新召区带天然气成藏主成藏期应当是始新世至今,早侏罗世晚期—晚侏罗世中期可能为次要的成藏期。

3.2.3 什股壕区带

对于什股壕区带,由前面关于包裹体均一温度分布特征的分析看,分布范围较散且没有显著的峰值分布区间,仅在 90 ~ 100 °C 为相对高值区,对应的地质时间是 212 ~ 185 Ma 和 52 Ma 至今(图 6a),分别对应于晚三叠世中期—早侏罗世中期及始新世至今。什股壕地区主要发育山西组烃源岩^[19],从热演化历史的模拟结果看,晚三叠世中期—早侏罗世中期期间山西组烃源岩的 R_o 值为 0.55,达到生烃门限,难以生成大规模天然气,因此三叠世中期—早侏罗世中期应该不是主成藏期;进入始新世后,山西组烃源岩热演化程度显著增加, R_o 值均接近 1.0%(图 6b),而进入生烃高峰期早期阶段,可以生成一定规模的天然气。另外,前人研

究表明,什股壕区带天然气主要来源于泊尔江海子断裂带南部的区带,而始新世开始的北部地区断层活动强度逐渐加大、断块的不均衡调整及一系列不同方向正断层的形成,为南部区带天然气向北运移提供了有利的构造背景和运移通道^[20]。因此,综合以上分析,什股壕区带的主成藏期应当晚于南部十里加汗区带的主成藏期、为始新世至今。

4 结论

1) 杭锦旗地区上古生界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,包裹体中气体成分主要为 CO_2 或 CH_4 。

2) 盐水包裹体均一温度具有分布范围广、多峰值的特征,十里加汗区带包裹体均一温度分布峰值在 100 ~ 110 °C,新召区带包裹体均一温度峰值分布在 115 ~ 125 °C,什股壕区带包裹体均一温度分布相对较为分散,仅在 90 ~ 100 °C 为相对高的峰值区。

3) 利用包裹体均一温度与古地温场演化史并结合烃源岩热演化历史的综合分析表明:十里加汗区带主成藏期为始新世至今,新召区带存在始新世至今主成藏期和早侏罗世晚期—晚侏罗世中期次成藏期两期成藏,什股壕区带主成藏期在始新世至今。

参考文献

- [1] 薛会,王毅,毛小平,等. 鄂尔多斯盆地北部上古生界天然气成藏期次——以杭锦旗探区为例,《天然气工业》,2009,29(12):9-12. Xue Hui, Wang Yi, Mao Xiaoping et al. The timing of gas pooling in the Upper Paleozoic in the northern Ordos Basin: A case study of the Hangjinqi Block, Natural Gas Industry, 2009, 29(12): 9-12.
- [2] 聂海宽,张金川,薛会,等. 杭锦旗探区储层致密化与天然气成藏的关系[J],《西安石油大学学报(自然科学版)》,2009,24(1):1-6.

- Nie Haikuan, Zhang Jinchuan, Xue Hui, et al. Relationship between the densification of reservoir and the accumulation of natural gas in Hangjinqi area of Ordos Basin[J]. Journal of Xi'an Shiyou University(Natural Science Edition), 2009, 24(1): 1-6.
- [3] 刘小洪, 冯明友, 罗静兰, 等. 鄂尔多斯盆地乌审召地区盒8、山1段储层流体包裹体特征及其意义[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(3): 360-367.
- Liu Xiaohong, Feng Mingyou, Luo Jinglan, et al. Characteristics of fluid inclusions in reservoirs in the eighth member of the Shihezi Formation and the first member of the Shanxi Formation in Uxin Ju area, the Ordos Basin and their significance[J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(3): 360-367.
- [4] 邓津辉, 黄晓波, 李慧勇, 等. 辽东湾海域 JZ25 地区流体包裹体与油气运移[J]. 石油与天然气地质, 2009, 30(4): 420-425.
- Deng Jinhui, Huang Xiaobo, Li Huiyang, et al. An analysis on fluid inclusions and hydrocarbon migration in JZ 25 area of Liaodong Bay waters[J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(4): 420-425.
- [5] 蔡李梅, 陈红汉, 李纯泉, 等. 济阳坳陷东营凹陷沙三中亚段流体包裹体古流体势场恢复[J]. 石油与天然气地质, 2009, 30(1): 17-26.
- Cai Limei, Chen Honghan, Li Chunquan et al. Reconstruction of the paleo-fluid potential field of Es ~3 in the Dongying Sag of the Jiyang Depression with systematic fluid inclusion analysis[J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(1): 17-26.
- [6] 李艳霞, 刘洪军, 袁东山, 等. 石油充注对储层成岩矿物演化的影响, 石油与天然气地质[J]. 2003, 24(3): 274-281.
- LiYanxia, Liu Hongjun, Yuan Dongshan, et al. Effect of oil charging on reservoir's diagenetic mineral evolution[J]. Oil & Gas Geology, 2003, 24(3): 274-281.
- [7] 冯乔, 马硕鹏, 樊爱萍. 鄂尔多斯盆地上古生界储层流体包裹体特征及其地质意义[J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(1): 27-32.
- Feng Qiao, Ma Shuopeng, Fan Aiping. Characteristics of fluid inclusions in Upper Paleozoic reservoirs in Ordos basin and their geological significance[J]. Oil & Gas Geology, 2006, 27(1): 27-32.
- [8] 陈红汉. 油气成藏年代学研究进展, 石油与天然气地质[J]. 2007, 28(2): 143-150.
- Chen Honghan. Advances in geochronology of hydrocarbon accumulation. Oil and Gas Geology[J]. 2007, 28(2): 143-150.
- [9] 李文涛, 陈红汉. 多旋回叠合盆地油气成藏期次与成藏时期确定[J]. 石油与天然气地质, 2011, 32(3): 333-341.
- Li Wentao, Chen Honghan. Hydrocarbon accumulation stages and their timing in multicyclical superimposed basins[J]. Oil and Gas Geology. 2011, 32(3): 333-341.
- [10] Middleton D, Parnell J, Carey P, et al. Reconstruction of fluid migration history Northwest Ireland using fluid inclusion studies[J]. Journal of Geochemical Exploration, 2000, 69: 673-677.
- [11] Kelly J, Parnell J, Chen H H. Application of fluid inclusion to studies of fractured sandstone reservoirs[J]. Journal of Geochemical Exploration, 2000, 69: 705-709.
- [12] 陈刚, 丁超, 徐黎明, 等. 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, 2012, 33(6): 1003-1012.
- Chen Gang, Ding Chao, Xu Liming, et al. Indirect dating of multi-stage hydrocarbon accumulations by fluid inclusion data: a case study of the Permian hydrocarbon accumulation in the northeast Ordos Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2012, 33(6): 1003-1012.
- [13] 陈瑞银, 罗晓容, 陈占坤, 等. 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, 2006, 80(5): 685-694.
- Chen Ruiyin, Luo Xiaorong, Chen Zhankun, et al. Estimation of denudation thickness of Mesozoic strata in the Ordos Basin and its geological significance[J]. Acta Geologica Sinica, 2006, 80(5): 685-694.
- [14] 翁望飞, 王建强, 张蓉蓉, 等. 利用声波测井技术计算地层剥蚀厚度——以鄂尔多斯盆地为例[J]. 新疆石油地质, 2011, 32(2): 132-146.
- Weng Wangfei, Wang Jianqiang, Zhang Rongrong, et al. Denudation thickness estimation of sedimentary formation in Ordos Basin by acoustic logging information[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2011, 32(2): 132-146.
- [15] 陈瑞银, 罗晓容, 赵文智, 等. 鄂尔多斯盆地中生代热异常及烃源岩热演化特征[J]. 石油勘探与开发, 2007, 34(6): 658-663.
- Chen Ruiyin, Luo Xiaorong, Zhao Wenzhi. Thermal anomaly and thermal evolution of source rocks in Mesozoic, Ordos Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2007, 34(6): 658-663.
- [16] 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(D辑: 地球科学), 2007, 37(增刊 I): 23-32.
- Ren Zhanli, Zhang sheng, Gao Shengli, et al. Tectonic thermal history and its significance on the formation of oil and gas accumulation and mineral deposit in Ordos Basin[J]. Science in China(Series D: Earth Sciences), 2007, 37(Supplement I): 23-32.
- [17] 叶加仁, 赵鹏大, 陆明德. 鄂尔多斯盆地地下古生界热史与油气生成动力学研究[J]. 天然气工业, 1997, 17(5): 3-8.
- Ye Jiaren, Zhao Pengda, Lu Mingde. A study on the geothermal history and oil & gas generation dynamics of Lower Paleozoic in Ordos Basin[J]. Natural Gas Industry, 1997, 17(5): 3-8.
- [18] 赵桂萍. 鄂尔多斯盆地杭锦旗地区上古生界烃源岩热演化特征模拟研究[J]. 石油实验地质, 2016, 38(5): 641-646.
- Zhao Guiping. Thermal evolution modeling of Neopaleozoic source rocks in Hangjinqi region, Ordos Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2016, 38(5): 641-646.
- [19] 赵桂萍, 李良. 杭锦旗地区基于测井响应特征的泥质烃源岩有机质丰度评价研究[J]. 石油物探, 2016, 55(6): 879-886.
- Zhao Guiping, Li Liang. Well log response and evaluation of abundance of organic matter in shaly source rocks in Hangjinqi area, Ordos Basin[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2016, 55(6): 879-886.
- [20] 薛会, 张金川, 王毅, 等. 鄂北杭锦旗探区构造演化与油气关系[J]. 大地构造与成矿学, 2009, 33(2): 206-214.
- Xue Hui, Zhang Jinchuan, Wang Yi, et al. Relationship between tectonic evolution and hydrocarbon in Hangjinqi block of North Ordos Basin[J]. Geotectonica et Metallogenia, 2009, 33(2): 206-214.