

文章编号:0253-9985(2010)03-0360-07

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

刘小洪^{1,2},冯明友¹,罗静兰²,林 潼³

(1. 西南石油大学 资源与环境学院,四川 成都 610500; 2. 西北大学 大陆动力学国家重点实验室,陕西 西安 710069;
3. 中国石油天然气股份有限公司 勘探开发研究院 廊坊分院,河北 廊坊 065007)

摘要:运用普通显微镜、荧光显微镜观察,冷热台均一温度、冰点温度测定,激光拉曼成分分析等方法,对乌审召地区盒8、山1段储层砂岩流体包裹体的形态、温度、盐度及成分等特征进行了系统研究,探讨了自生矿物形成条件及次生孔隙成因,识别出盐水包裹体、烃类包裹体以及CO₂包裹体3种包裹体类型。研究认为,研究区存在低温低盐度、高温高盐度两期流体充注过程,并伴有中-低成熟度、高成熟度两期明显的烃类充注过程。结合埋藏史研究认为,烃类进入储层的时间主要在中侏罗世末—早白垩世末。烃类成熟过程中产生的有机酸以及CO₂是造成砂岩次生孔隙形成的主要原因,后期发生的构造热事件有利于原生孔隙的保存与次生孔隙的形成。

关键词:流体包裹体;油气充注;次生孔隙;石盒子组;山西组;苏里格气田;鄂尔多斯盆地

中图分类号:TE122.1 文献标识码:A

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

Liu Xiaohong^{1,2}, Feng Mingyou¹, Luo Jinglan² and Lin Tong³

(1. School of Resources and Environment, Southwest Petroleum University, Chengdu, Sichuan 610500, China;

2. State Key Laboratory of Continental Dynamics, Department of Geology, Northwest University, Xi'an, Shaanxi 710069, China;

3. Langfang Branch, PetroChina Exploration and Development Research Institute, Langfang, Hebei 065007, China)

Abstract: With methods such as ordinary microscopic observation, fluorescence microscopic observation, homogeneous temperature and ice point temperature measurement and Laser Raman spectroscopic analysis of composition, a systematic study is conducted on the geometry, temperature, salinity and compositions of the fluid inclusions in reservoirs in the eighth member of the Shihezi Formation and the first member of the Shanxi Formation in the Uxin Ju area, Ordos Basin. The development conditions of autogenetic minerals and the origin of secondary pores are also discussed. Three types of fluid inclusions are identified: saline water, hydrocarbon and CO₂ inclusions. According to the study, it is believed that the study area experienced two stages of fluids charging process. One stage was with low temperature and low salinity and the other stage was with high temperature and high salinity. Accompanying the two stages was two phases of hydrocarbon charging process: one with moderate-low maturity and the other one with high maturity. Combined with burial history, we believe that hydrocarbon charged the reservoirs mainly from the end of Middle Jurassic to the end of Early Cretaceous. The organic acid and CO₂ generated during the maturation of hydrocarbon are the main causes of secondary pore development in the sandstone reservoirs. Later tectonic thermal activities are favorable for the preservation of primary pores and the

收稿日期:2009-10-30。

第一作者简介:刘小洪(1980—),女,博士、讲师,储层沉积学。

基金项目:国家自然科学基金项目(40872083);国家重点基础研究发展计划(973计划)项目(2003CB214603)。

development of secondary pores.

Keywords: fluid inclusion, hydrocarbon charging, secondary pore, Shihezi Formation, Shanxi Formation, Sulige gas field, Ordos Basin

乌审召地区主要含气层位为二叠系下石盒子组8段和山西组1段,储层非均质性是该区勘探面临的首要问题,后期成岩作用改造是影响储层非均质性的主要原因之一^[1,2]。温度、压力以及流体性质等成岩环境是影响成岩作用路径的重要原因,也是次生孔隙形成及发育的重要影响因素。通过对成岩矿物中流体包裹体温度与成分的测定,可为古地温、古流体势、原始成矿流体性质、油气运移时间及成岩史恢复提供重要信息^[3~5]。因此,在储层特征研究基础上,通过对储层砂岩中流体包裹体特征研究,探讨包裹体形成条件及次生孔隙成因,预测次生孔隙发育带,对油气勘探及储集层评价具有理论意义及实际应用价值。

1 研究区包裹体特征

研究区上古生界储层中包裹体种类多样、大小不一丰度不等。本次研究主要选择那些产自石英次生加大边、方解石胶结物以及颗粒表面愈合裂缝中能够反映成岩环境的成岩包裹体作为研究对象,利用普通显微镜、荧光显微镜对包裹体的形状、相态、产出特征以及分布情况进行了系统研究。通过显微冷热台方法测定了包裹体的均一温度和冰点温度,利用激光拉曼分子微探针技术测定了包裹体微区的化学成分,并恢复了流体形成时的盐度、密度及温压条件。

1.1 包裹体类型及特征

根据室温下包裹体的相态和成分等特征,将研究区盒8、山1段储层中的包裹体主要分为以下3类。

1) 盐水包裹体

这类包裹体在本区砂岩中非常发育且分布广泛,其个体大小不一,为2~6 μm,个别大于10 μm,形态各异,颜色较浅,在石英加大边、亮晶方解石胶结物以及石英愈合裂隙中均有发育,成群分布或呈串珠状分布。根据包裹体中流体的相态可以识别出纯液相、气液两相和少量含石盐子

晶盐水包裹体。

纯液相盐水包裹体个体小,一般小于3 μm,轮廓清晰,多呈负晶形,在镜下无色透明,或带淡黄色,一般沿石英颗粒边部产出(图1a)。气液两相盐水包裹体主要由液相和气相组成,数量较多,大小不等,气相常呈紫色球形或椭球形悬浮在无色透明液相中,当气液比较小时,气相变成气泡可来回不停地跳动(图1b)。

2) 烃类包裹体

烃类包裹体是指包裹体内含有烃类物质,研究区烃类包裹体主要为含液态烃的气态烃包裹体、气态烃包裹体和含气态烃盐水包裹体。

含液态烃的气态烃包裹体直径从2~10 μm不等,形态各异,气液比为60%~90%,两相界线较明显,液相颜色呈无色透明,气相则为淡褐色或褐色,主要沿石英颗粒边部产出(图1c)。在荧光灯照射下,包裹体的气相部分不发光,液相部分发蓝白色荧光,说明液相部分为成熟度较高的液态烃。

气态烃包裹体数量较多,在透射光下呈单一相,主要为圆球状,以褐色、深褐色为主,主要分布在微裂隙和石英加大边中。这类包裹体因具有中心厚、边缘薄特征且具有“透镜”聚光效应,使包裹体的中心部位透光性较强并发亮(图1d)。

含气态烃盐水包裹体数量很多,3~20 μm,气液比约为10%~15%,气相主要呈紫色浑圆球状与液相共存,液相部分颜色较浅,无色透明或淡黄色,在石英加大边、方解石胶结物以及石英颗粒的愈合裂缝中均有产出。该类包裹体与盐水包裹体难以区分,但可从冰点温度上进行区分。

3) CO₂三相包裹体和纯CO₂包裹体

CO₂三相包裹体由CO₂气体、液态CO₂和盐水溶液组成,包裹体体积较大,普遍大于5 μm,主要呈串珠状分布在石英加大边、石英颗粒表面未切穿颗粒的愈合裂缝以及方解石胶结物中,透射光下CO₂气泡呈紫色,液相CO₂呈淡紫色,盐水溶液为无色透明,三者之间的相界分明(图1e);纯CO₂包裹体由CO₂气相和CO₂液相组成,大小不等,主要呈负晶型,串珠状分布在石英加大边、石英颗粒表面愈合裂缝中,颜色均呈深

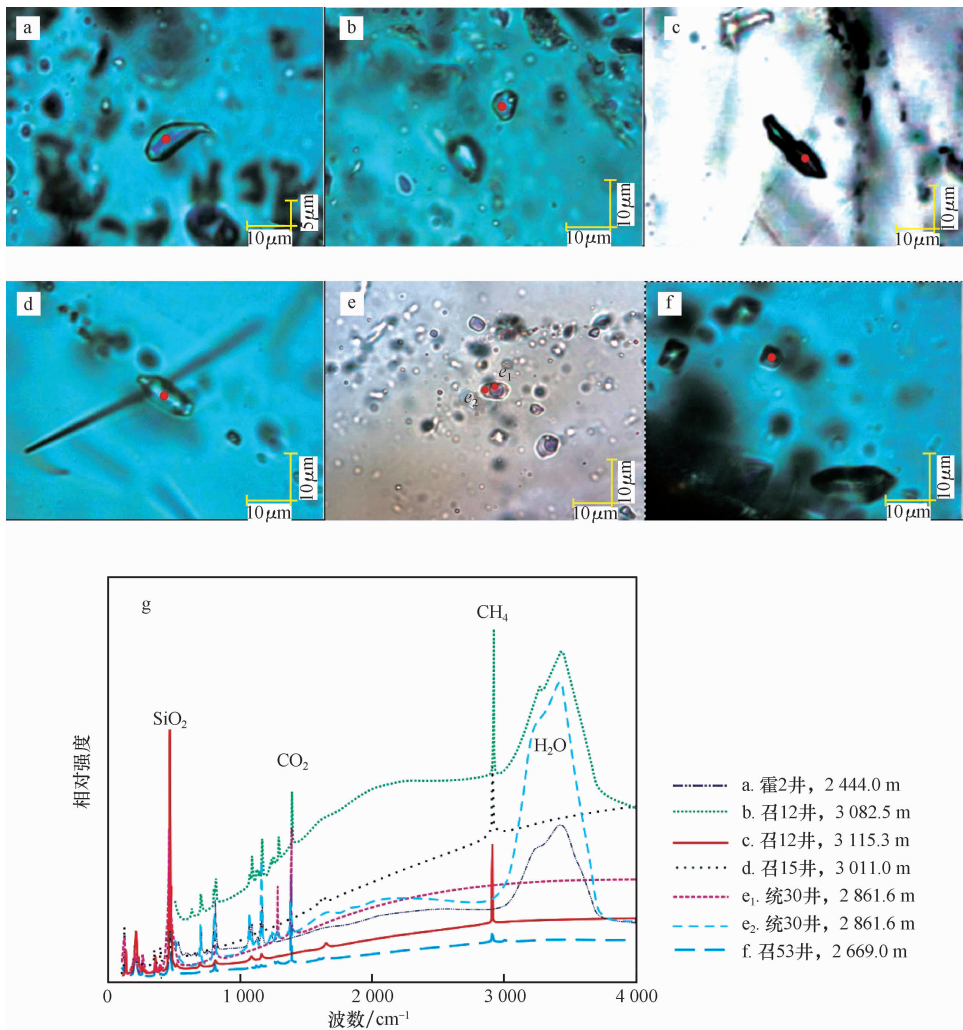


图 1 乌审召地区各类包裹体显微照片及激光拉曼图谱特征

Fig. 1 Microphotos and laser Raman spectroscopic characteristics of various inclusions in Uxin Ju area

灰色,CO₂ 气泡在液相中快速跳动,二者相界不明显(图 1f)。几乎所有的包裹体样品中均可见到 CO₂ 包裹体。

1.2 包裹体均一温度特征

研究区盒 8、山 1 段砂岩储层中盐水包裹体的均一温度主要分布在 70 ~ 170℃ 温度范围内。另外,实验中还观察到大量均一温度大于 170℃ 的包裹体,少量 300℃ 仍未均一,约占总测点数的 15%。其原因存在 3 种可能:①所测包裹体为代表源岩性质的继承性包裹体,其温度特征反映的是蚀源区母岩矿物形成时的温度;②流体包裹体发生再平衡作用使包裹体体积增大,密度减少,均一温度增加;③所测包裹体为成岩作用过程中捕获的

流体包裹体,可能在一定程度、一定范围上受到沿断层上侵的深部热流体的影响而使温度升高。

继承性包裹体在镜下整体呈现出个体较大、体壁较厚、散乱分布在石英颗粒中的特点,其均一温度很高,一般大于 200℃,也有一部分不混溶。而发生再平衡作用的包裹体只是体积改变,均一温度增加,其盐度不变,包裹体冰点温度基本上不发生变化。镜下观察表明,研究区具高均一温度的盐水包裹体个体较大,呈群状或串珠状分布于石英加大边中及愈合裂缝中,形态较规则,未发生形变,在低于 -60℃ 的温度条件下凝固或在低于 -150℃ 温度下仍保持气液两相状态,冰点温度普遍较低(小于 -12℃)。综合上述情况考虑,该类包裹体应为成岩作用过程中形成的次生包裹体,其形成后未发生再平衡作用,其较高的温度可能

受到了后期热液的影响,丁晓琪(2007)在对鄂尔多斯盆地上古生界储层成因研究后也认为该储层受到了热液作用的影响^[6]。

在热台上对CO₂包裹体加温,在低于31.1℃温度条件下,CO₂气泡消失,均一为液相CO₂。温度升高至300℃以上,液相CO₂与盐水溶液仍未完全均一,说明CO₂与盐水溶液之间可能以非均一相态捕获。

1.3 包裹体冰点及盐度特征

本研究主要挑选在升温过程中气泡跳动稳定、均一现象明显的气液两相盐水溶液包裹体进行冰点测试。在测温时发现,有较多的盐水包裹体在冷冻后升温过程中,当温度回升到0℃时,气泡仍未出现,继续升温一段时间后气泡才出现,这种原因可能是包裹体中溶解有CH₄和CO₂,在冷却过程中因温度下降而结冰膨胀使包裹体内的压力增大,产生了甲烷等的络合物,这些络合物在融化时需要吸收较多的热量从而使冰点增大^[7]。这也说明了该地区CH₄和CO₂含量较丰富,激光拉曼成分分析结果也证明了这一点(图1g)。

经冷冻测试,流体包裹体的始熔温度都是在-20.8℃以上,表明NaCl是NaCl-H₂O体系中盐水溶液的主要成分。实验观察包裹体的冰点温度主要分布在-20~-12℃和-10~10℃两个区间范围内(图2)。其中后者变化范围虽然较宽,

但从与均一温度关系来看,主要为同一期流体包裹体,可根据包裹体冰点温度将盐水溶液包裹体和含气态烃包裹体区分开来。

根据冷冻温度-盐度换算表^[8],换算出本区盒8、山1段储层流体包裹体盐度为0.18%~21.75%,可明显区分出高(大于16%)、低(小于12%)两种不同盐度的流体,说明该区存在明显两期不同盐度流体的充注过程。分别作其均一温度频率图,具较低盐度的盐水溶液包裹体均一温度主要分布在100~120,130~150℃两个区间范围内(图3),具较高盐度的盐水包裹体均一温度主要分布在130~140,150~160℃范围内。在实际显微镜下观察还发现少量样品中存在含NaCl子矿物的包裹体,说明研究区还存在少量更高盐度的流体。

相比之下,低盐度流体主要形成于较低温度条件下,而高盐度流体形成的温度较高。如图所示,两种不同流体包裹体的盐度随着均一温度的升高而呈现增大的趋势(图4),其原因可能是早期埋藏较浅时受地表水的稀释作用,随着埋藏加深,地表水的作用减弱,而流体蒸发作用加强,从而盐度升高,均一温度呈现出较高值,这也反映了研究区气藏由浅到深的埋藏过程。包裹体盐度和深度相关性不明显,表明包裹体内捕获的古流体性质不仅仅与自生矿物形成和裂缝闭合时储层内流体的性质有关,同时可能受到深部流体性质的影响。

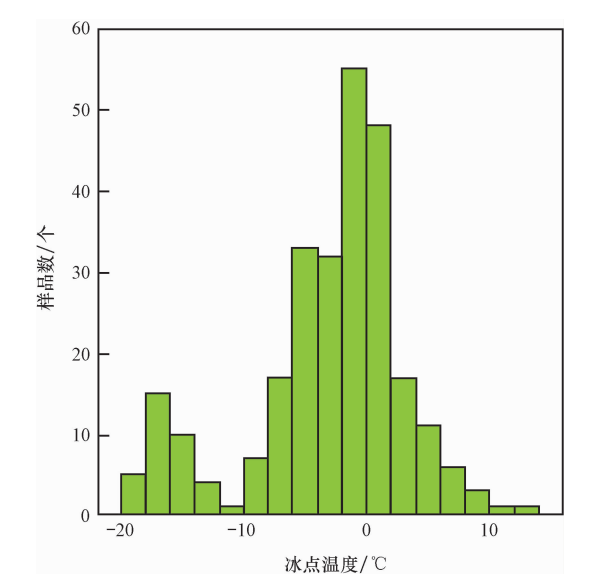


图2 研究区包裹体冰点温度分布范围
Fig. 2 Distribution of ice points of inclusions in the study area

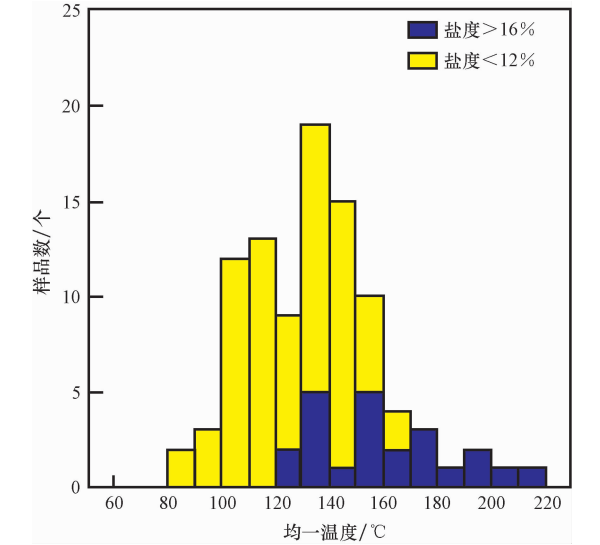


图3 研究区盐水包裹体均一温度分布范围
Fig. 3 Distribution of homogeneous temperatures of saline water inclusions in the study area

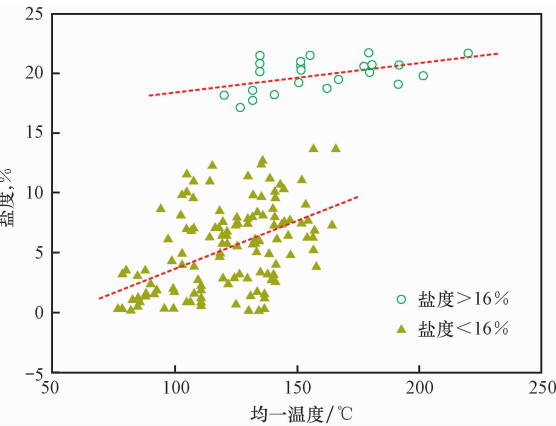


图 4 研究区包裹体均一温度-盐度关系

Fig. 4 Interrelation between homogeneous temperature and salinity of inclusions in the study area

2 烃类充注与运移期次

在油气运移的不同阶段,捕获的包裹体成分的差异和有机组分含量的差别可以判别油气运移的不同期次^[9]。未成熟有机包裹体气相成分特点为含 H₂O 和 CO₂, 不含 CH₄; 低成熟度有机包裹体气相成分中含 CO₂, CH₄, 不含 H₂O; 高成熟度和过高成熟度有机包裹体气相成分中仅含 CH₄, 不含 CO₂ 和 H₂O。即随着油气成熟度的提高,有机包裹体的气相成分中 H₂O 和 CO₂ 很快消失,CH₄ 迅速增多,最后发展到以 CH₄ 气体为主。结合成

岩序列以及包裹体成分分析、显微荧光分析,研究区主要存在两期明显的烃类流体的充注(图 5):

第一期含烃包裹体(主要位于石英次生加大边以及部分未切穿颗粒的石英表面愈合裂缝中)均一温度在 80 ~ 110℃ 之间(低于同期形成的盐水包裹体约 10 ~ 15℃)。石英加大边宽但洁净,包裹体分布较少,多为细小(小于 3 μm)的液相盐水包裹体、含烃盐水包裹体,包裹体中烃类的成熟度中等,荧光显示为浅褐色。未切穿颗粒的石英表面愈合裂缝中的包裹体个体较大,常呈串珠状分布,以液态烃包裹体和含烃盐水包裹体为主,液相颜色呈无色透明,气相则为淡褐色或褐色,荧光显示为弱褐色-黄色,激光拉曼探针成分测定烃类包裹体主要成分为 CH₄ 和 CO₂ 的混合物,显示油气的成熟度为低-中等。

切穿颗粒、石英加大边的微裂缝中的包裹体与亮晶方解石胶结物中的包裹体主要代表了第二期烃类充注时流体的特征。包裹体密度大,个体大,呈串珠状分布。微裂缝中捕获的烃类包裹体以后期形成的较高温度包裹体为主(均一温度主要在 120 ~ 140℃ 之间,低于同期形成的盐水包裹体约 10 ~ 15℃),多为气液两相烃类包裹体和少量气态烃包裹体,烃类包裹体荧光颜色多为蓝白色,显示较高的成熟度。激光拉曼探针成分测定也表明微裂缝中的包裹体主要为成熟烃类包裹体(主要成分为 CH₄)。部分切穿颗粒的愈合裂缝中包

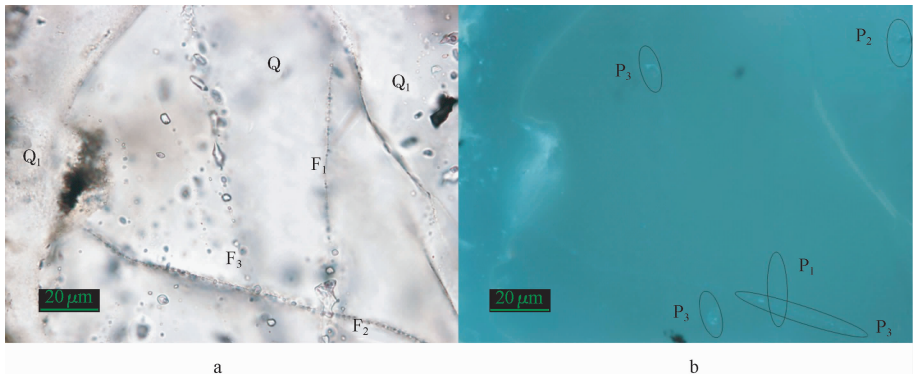


图 5 研究区盒 8、山 1 段各期次包裹体在显微镜下的特征(a)及对应的荧光特征(b)

Fig. 5 Microscopic characteristics (a) and corresponding fluorescence features (b) of inclusions in the Shihezi and the Shanxi formations in the study area

Q. 石英颗粒;Q₁. 自生石英加大边;F₁, F₂, F₃. 石英颗粒表面愈合裂缝,其中 F₁ 未切穿石英颗粒及加大边, F₂, F₃ 切穿石英颗粒及加大边;P₁. F₁ 中个体较小、呈串珠状分布的包裹体,基本不发荧光,代表早期不含烃盐水包裹体;P₂. 石英加大边中呈散点状分布的包裹体,为第一期含烃盐水包裹体,发弱荧光;P₃. F₂, F₃ 中个体较大、呈串珠状分布的包裹体,为第二期含烃盐水包裹体,其气相部分及液相部分均可见明显的发光现象

裹体的温度分布范围大于正常地温梯度下的最高温度,推测其遭受到热事件影响,其形成和热流体作用有密切关系。因此该期包裹体可能为中侏罗世末-早白垩世形成,此时二叠系烃源岩进入生烃高峰期,与含烃流体与深部热流体一起沿深大断裂向上运移有关。

方解石胶结物中包裹体少,主要呈孤立状产出,以气+液相盐水包裹体为主,沿方解石解理面分布,形态为不规则的三角形、四边形及针状,由于方解石胶结物本身荧光效应的存在,荧光显微镜分析及激光拉曼探针分析未获得其成分参数。

3 油气充注时间确定

鄂尔多斯盆地埋藏热演化史、生排烃与油气运移聚集模拟研究表明^[10],本区是在持续埋藏环境下成岩的,没有经历抬升风化的表生阶段。在盆地沉降至最大幅度时的早白垩世末期(97.5 Ma),盒8、山1段地层的温度达到最高值150~170℃,下部太原组及山西组烃源岩在此阶段已演化至高成熟-过成熟阶段。由此可以判定,前述高盐度流体伴随地层达到最大沉降幅度后的构造抬升期形成,其形成时间近于或晚于早白垩世末期,而低盐度流体形成于较早时期。在此研究基础上,根据地热增温率推测古埋深,或者通过成岩序列大致推算自生矿物包裹体形成的时间,再结合时间-温度埋藏史曲线,可以确定烃类物质大量进入储层的时间。

根据单井流体包裹体均一温度峰值为100~120和130~150℃(达最大古埋深前),130~140和150~160℃(达最大古埋深后),由埋藏史模拟得出的古地温演化趋势图推算,其形成时间在距今165~135,130~120,80~70 Ma;根据包裹体形成时间主要在距今165~120 Ma推测,整个研究区盒8、山1段砂岩储层中盐水包裹体的形成时间多在中侏罗世末-早白垩世末,与该期盐水包裹体同时形成的还有大量烃类包裹体。由此可以推断,其烃类进入储层的时间也主要在中侏罗世末-早白垩世末,该推断结果与烃源岩生烃演化史研究及前人关于鄂尔多斯盆地上古生界油气成藏期次及时间的研究结论一致^[11]。

4 次生孔隙成因分析

4.1 油气侵位与次生孔隙形成

乌审召地区盒8、山1段地层镜质体反射率 R_o 值介于1.0%~2.2%^[12],粘土矿物伊/蒙混层比(I/S)普遍小于10%,孔隙类型以次生孔隙为主,并出现裂缝,结合本研究所测得的包裹体均一温度范围在70~170℃之间,根据石油行业标准SY/T 5477-2003碎屑岩成岩阶段划分方案,研究区目的层目前处于晚成岩B期。

油气的运移和聚集与晚期成岩阶段的主要成岩作用事件同时或近于同时发生。这一时期是烃源岩-储集岩系统中有机-无机反应最活跃时期。晚成岩早期烃源岩开始进入生烃门限,干酪根发生降解,含氧官能团脱落形成大量有机酸和CO₂。这些有机酸、无机酸和CO₂通过溶蚀作用在砂岩中造成骨架颗粒(长石)和早期成岩胶结物(方解石)发生溶解形成大量次生溶孔,同时伴随少量高岭石的形成。

在薄片观察中发现,高岭石是岩石中最为常见的粘土矿物,常呈书页状集合与自生石英加大边及硅质胶结物同时产出,为长石溶蚀后再沉淀的产物。阴极发光照射下常见发亮蓝色或黄绿色光的残余长石散布在发蓝色光的自生高岭石中,根据发光颜色来看,该类长石主要为钾长石和钠长石。自生的石英很可能是钾长石高岭石化的产物。

砂岩显微镜下观察与定量统计显示,研究区储层砂岩中贫长石,仅在局部层段见少量长石颗粒残余。前人关于造成上古生界储层砂岩中贫长石的主要原因的认识主要有两种观点,一种认为源区母岩中即缺乏长石碎屑矿物,一种则认为是大规模的溶解作用造成了现今长石含量普遍偏低的局面。而上述多种证据表明,长石是研究区砂岩储层中主要的被溶物质之一,这是否意味着砂岩中原有的长石已被大规模溶蚀才造成贫长石,但这只是一种假设,查明其确切成因还需进一步做工作。

当烃源岩中有机质演化程度升高,形成大量凝析油和湿气时,有机酸遭到破坏,脱羧基作用减弱,CO₂来源减少,加之各种反应对有机酸的消耗,导致孔隙流体性质逐渐由酸性向碱性转变,使

长石的溶解、高岭石及硅质胶结物的沉淀受到抑制但形成晚期水云母、含铁方解石胶结交代物,储层变得致密。

伴随着早白垩世末期、燕山晚期-喜马拉雅山期区域性构造抬升以及由此造成的水介质条件的改变,晚期沉淀的碳酸盐开始溶蚀,但由于晚期高岭石及自生石英晶体在溶孔中的析出,对储集层物性的改善不明显。

4.3 构造热事件与次生孔隙形成

研究区目的层部分包裹体均一温度($170^{\circ}\text{C} \sim 300^{\circ}\text{C}$)高于地层最大埋深时的古地温 $150^{\circ}\text{C} \sim 170^{\circ}\text{C}$,这种较高的包裹体均一温度表明本区曾发生过热异常事件。研究表明,燕山晚期(晚侏罗世—早白垩世,约 $140 \sim 100 \text{ Ma}$) 在鄂尔多斯盆地发生了一次重要的构造热事件,地温梯度、大地热流值升高^[13]。同时,鄂尔多斯盆地及周缘地区发育的基底断裂,为深部高温压热流体的上涌提供了通道,深部流体上升的过程中带来了大量的热量,使该期捕获的流体包裹体普遍具有较高的均一温度^[14]。

储层包裹体中包裹的 CO_2 的来源有两种:一是和烃类气体伴生的、同时进入储层的有机成因 CO_2 ; 另一种是后期充注的无机幔源成因的 CO_2 ^[15]。显微镜下观察发现, CO_2 包裹体与盐水包裹体、烃类包裹体伴生,表明它们为同一时期的产物。通过 Touret (1979) CO_2 包裹体密度计算公式获得的 CO_2 流体的密度在 $0.59 \sim 0.80 \text{ g/cm}^3$ 。根据 CO_2 的温度-密度-压力关系表^[16] 得出研究区 CO_2 包裹体均一压力在 $56.9 \times 10^5 \sim 71.4 \times 10^5 \text{ Pa}$, 平均为 $66.51 \times 10^5 \text{ Pa}$ 。盒8、山1段 CO_2 包裹体恢复的古流体压力数据显示,研究区无明显的异常超压,古压力与深度之间存在着明显的线性关系,即深度越大,压力越大,结合盆地由南向北,由西向东埋藏深度逐渐减小的特征规律,流体运移方向主要为由南至北方向,与柳益群(2006)研究结果一致^[17]。

一般情况下, CO_2 气体的溶解度随温度升高而减小,烃源层中的油气和热事件产生的热液流体通过断层和微裂隙在向上运移过程中与围岩发生反应的同时,流体中 CO_2 的溶解度降低,以气态形式挥发出 CO_2 ,从而使气相中的 CO_2 含量

增加,并在非均一状态下被砂岩中的碎屑矿物及方解石和石英次生加大等胶结物捕获而形成密度不同的 CO_2 包裹体和较高温的有机包裹体和高温盐水包裹体。同时,流体中溶解的 CO_2 浓度的降低在一定程度上阻止了碳酸盐胶结物的形成,使砂岩保持较高的孔隙度。而随着温度的增加,溶液中的有机酸对铝硅酸盐矿物的溶解能力增强^[18,19],从而形成大量的次生孔隙,增加了砂岩的储集性能。

5 结论

1) 乌审召地区盒8、山1段储层中的包裹体主要分为盐水包裹体、烃类包裹体、 CO_2 三相包裹体和纯 CO_2 包裹体三大类。

2) 包裹体的冰点温度主要分布在 $-20 \sim -12$ 和 $-10 \sim 10^{\circ}\text{C}$ 两个区间范围内,可明显区分出高、低两种不同盐度的流体,前者主要形成于较低温度条件下,后者形成的温度较高。

3) 研究区主要存在两期明显的烃类流体的充注过程,第一期为低-中等成熟度的烃类充注,对应温度在 $80 \sim 110^{\circ}\text{C}$ 之间;第二期为高成熟度的烃类充注,对应温度在 $120 \sim 140^{\circ}\text{C}$ 之间。根据包裹体形成时间主要在距今 $165 \sim 120 \text{ Ma}$ 之间推测得出的烃类进入储层的时间主要在中侏罗世末—早白垩世末。

4) 砂岩的次生孔隙主要是烃类成熟过程中产生的 CO_2 以及有机酸的溶蚀作用造成的。油气的富集阻碍了晚期成岩阶段水云母的生成以及碳酸盐胶结物的沉淀,对石英加大边及高岭石的形成起到了促进作用。热事件的发生有利于原生孔隙的保存与次生孔隙的形成,其形成时间稍晚于油气进入储层的时间($140 \sim 100 \text{ Ma}$)。

参 考 文 献

- 1 杨斌虎,刘小洪,罗静兰,等.鄂尔多斯盆地苏里格气田东部优质储层分布规律[J].石油实验地质,2008,30(4):333~339
- 2 刘小洪,罗静兰,张三,等.榆林-神木地区上古生界盒8段及山2段气层的成岩作用和成岩相[J].石油与天然气地质,2006,27(2):200~208
- 3 李荣西,席胜利,邸领军.用储层油气包裹体岩相学确定油气成藏期次——以鄂尔多斯盆地陇东油田为例[J].石油与天然气地质,2006,27(2):194~199,217

ding of organic-mineral association: examples from Mount Isa and McArthur Basins, Australia[J]. International Journal of Coal Geology, 2001, 47: 139 ~ 159

9 Condie K C, Des Marais D J, Abbott D. Precambrian superplumes and supercontinents: a record in black shales, carbon isotopes, and paleoclimates[J]. Precambrian Research, 2001, 106: 239 ~ 260

10 安泰库, 王新平, 安作相. 华北地区寒武系和奥陶系岩性分区及古地理变迁的研究[J]. 石油与天然气地质, 1982, 3(2): 158 ~ 169

11 王铁冠, 黄光辉, 徐中一. 辽西龙潭沟元古界下马岭组底砂岩古油藏探讨[J]. 石油与天然气地质, 1988, 9(3): 278 ~ 287

12 陈践发, 孙省利. 华北新元古界下马岭组富有机质层段的地球化学特征及成因初探[J]. 天然气地球科学, 2004, 15(02): 110 ~ 114

13 柳永清. 燕山中、新元古代裂陷槽构造旋回层序研究——兼论裂陷槽构造旋回概念及级序的划分[J]. 地球学报, 1997, 18(2): 142 ~ 149

14 乔秀夫, 高林志. 中朝板块中、新元古界年代地层柱与构造环境新思考[J]. 地质通报, 2007, 26(5): 503 ~ 510

15 赵澄林. 华北中新元古界油气地质与沉积学[M]. 北京: 地质出版社, 1997. 29 ~ 37

16 朱士兴, 刑裕盛. 华北地台中、上元古界生物地层序列[M]. 北京: 地质出版社, 1994. 80 ~ 83, 180

17 乔秀夫, 高林志. 燕辽裂陷槽中元古代古地震与古地理[J]. 古地理学报, 2007, 9(4): 337 ~ 350

18 郝石生, 高耀斌, 张有成. 华北北部中-新元古界石油地质学[M]. 东营: 石油大学出版社, 1990. 85 ~ 92

19 Piper D Z, Calvert S E. A marine biogeochemical perspective on black shale deposition[J]. Earth-Science Reviews, 2009, 95: 63 ~ 96

20 Taylor D. Petroleum source rocks in the Roper Group of the McArthur basin: source characterization and maturity determinations using physical and chemical methods[J]. The APEA Journal, 1994, 34: 279 ~ 296

21 王杰, 陈践发, 窦启龙. 华北北部中、上元古界生烃潜力特征研究[J]. 石油实验地质, 2004, 26(2): 206 ~ 211

22 孙省利, 陈践发, 刘文汇, 等. 海底热水活动与海相富有机质层形成的关系——以华北新元古界青白口系下马岭组为例[J]. 地质论评, 2003, 49(6): 588 ~ 595

23 钟宁宁, 秦勇. 碳酸盐岩有机岩石学[M]. 北京: 科学出版社, 1995. 18 ~ 30

24 肖贤明, 刘德汉, 傅家谟, 海相镜质体——海相烃源岩中一种重要生烃母质[J]. 石油学报, 1997, 18(1): 44 ~ 48

25 Jackson M J. Studies on petroleum geology and geochemistry, middle Proterozoic, McArthur Basin northern Australia: petroleum potential[J]. The APEA Journal, 1988, 28: 283 ~ 302

26 孙淑芬. 天津蓟县洪水庄组微古植物群[J]. 前寒武纪研究进展, 2000, 23(3): 165 ~ 173

27 陈佩元, 孙达三. 中国煤岩学图鉴[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1996. 79 ~ 135

(编辑 李 军)

(上接第 366 页)

4 李美俊, 王铁冠, 刘菊, 等. 由流体包裹体均一温度和埋藏史确定油气成藏时间的几个问题——以北部湾盆地福山凹陷为例[J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(2): 151 ~ 158

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 ~ 25

6 丁晓琪, 张哨楠, 周文, 等. 鄂尔多斯盆地北部上古生界致密砂岩储层特征及其成因探讨[J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(4): 491 ~ 496

7 潘长春, 周中毅, 解启来. 油气和含油气包裹体在油气地质地球化学研究中的意义[J]. 沉积学报, 1996, 14(4): 15 ~ 23

8 卢焕章. 包裹体地球化学[M]. 北京地质出版社, 1990. 108 ~ 109

9 陈建平, 查明, 周瑶琪. 有机包裹体在油气运移研究中的应用综述[J]. 地质科技情报, 2000, 19(1): 61 ~ 64

10 罗静兰, 刘小洪, 林潼, 等. 成岩作用与油气侵入对鄂尔多斯盆地延长组砂岩储层物性的影响[J]. 地质学报, 2006, 80(5): 664 ~ 673

11 刘建章, 陈红汉, 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

12 任战利, 张盛, 高胜利. 鄂尔多斯盆地热演化程度异常分布区及形成时期探讨[J]. 地质学报, 2006, 80(5): 674 ~ 684

13 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): 23 ~ 32

14 潘爱芳, 郝英, 黎荣剑, 等. 鄂尔多斯盆地基底断裂与能源矿产成藏成矿的关系[J]. 大地构造与成矿学, 2005, 29(4): 459 ~ 464

15 米敬奎, 张水昌, 王晓梅, 等. 松辽盆地高含 CO₂ 气藏储层包裹体气体的地球化学特征[J]. 石油与天然气地质, 2009, 30(1): 68 ~ 73

16 刘斌. 流体包裹体热力学[M]. 地质出版社, 1999. 78

17 柳益群, 冯乔, 杨仁超, 等. 鄂尔多斯盆地东胜地区砂岩型铀矿成因探讨[J]. 地质学报, 2006, 80(5): 761 ~ 767

18 黄思静, 杨俊杰, 张文正, 等. 不同温度条件下乙酸对长石溶蚀过程的实验研究[J]. 沉积学报, 1995, 13(1): 7 ~ 17

19 蔡春芳. 流体地球化学: 成因、流动和流体-岩石相互作用及塔里木盆地实例研究[D]. 中科院地质与地球物理研究所, 2000

(编辑 张亚雄)