

文章编号: 1000-0550(2002)04-0695-10

鄂尔多斯古生界流体包裹体特征及其与油气演化关系^①

刘德良¹ 谈迎¹ 孙先如² 李振生¹ 方国庆^{1,3} 陶士振^{1,4}

1(中国科学技术大学地球与空间科学学院 合肥 230026) 2(安徽地质实验研究所 合肥 230001)

3(中国科学院兰州地质研究所 兰州 730000) 4(中国石油勘探开发研究院 北京 100083)

摘要 对鄂尔多斯盆地奥陶系碳酸盐岩、石炭—二叠系石英砂岩成岩作用研究的基础上,分别对上述岩石流体包裹体作了初步研究。奥陶系碳酸盐岩包裹体均一温度具有三个区段: 60~100℃, 100~160℃, 160~220℃; 石炭—二叠系石英砂岩包裹体均一温度三个区段为 90~110℃, 120~140℃, 160~220℃。并利用包裹体测温资料结合已有的镜质体反射率、磷灰石裂变径迹等研究成果,对流体包裹体在鄂尔多斯盆地油气田形成、演化中应用作了初步探讨。

关键词 成岩作用 流体包裹体 古生界 鄂尔多斯盆地

第一作者简介 刘德良 男 1938年出生 教授 博士生导师 构造地质、油气地质

中图分类号 P618.13 **文献标识码** A

流体包裹体在石油地质中的应用,近年来越来越显示出它的重要性。张永生、郑葆英曾对鄂尔多斯盆地奥陶系马家沟组白云岩流体包裹体作了一定研究,他们主要测定白云岩溶斑、细晶白云石中的包裹体,但对与油气形成有密切关系的溶孔、裂隙充填碳酸盐岩研究较少,也未作盐度测定。本文较系统地测定了鄂尔多斯盆地奥陶系碳酸盐岩、石炭—二叠系石英砂岩中流体包裹体的均一温度、盐度、包裹体成分,据此对该盆地油气形成、演化及评价中的应用作了初步探讨。

1 地质概况及样品采集

鄂尔多斯盆地位于华北陆块西部,处于蒙古—兴安造山带与祁连—秦岭造山带之间,是一比较稳定的大型克拉通盆地,面积约为 32 万 km²。盆地沉积了上古生界海相碳酸盐岩,上古生界至中—新生界陆相沉积两大体系。发育三套烃源岩: 下古生界碳酸盐岩,上古生界煤系地层及中生界三叠系延长统暗色泥岩。为了研究古生界流体包裹体与油气形成演化关系,样品采集覆盖了奥陶系碳酸盐岩层段及石炭—二叠系含煤层段。平面上采样点尽可能覆盖研究区的范围,采样点分布为东西、南北两个剖面(图 1)共 24 口井,控制深度为 3 000~3 600 m。

岩性主要为奥陶系马家沟组、石炭系、二叠系的灰岩、白云岩、石英砂岩。样品测试选择灰岩、白云岩中方解石裂隙脉,孔洞充填方解石及亮晶方解石、白云石;石英砂岩选择具有较明显石英次生加大边,自生方解石及沿构造裂隙分布的有机包裹体。分别做了镜下

观察、显微测温、冰点测试、拉曼光谱的测定,并对部分石英砂岩胶结物作了电镜扫描分析。

2 成岩作用

成岩作用指沉积物固结为坚硬岩石之前所发生一系列变化。通过电子探针、电镜分析及镜下岩石学研究,灰岩、白云岩、石英砂岩在成岩作用中所发生的变化简述如下。

2.1 奥陶系灰岩、白云岩成岩作用

奥陶系马家沟组按沉积旋回划分为六个段。本次采样主要集中在马五段,其次少量马四段。出现岩性按成分、结构、构造,主要可分为纹层状生物碎屑灰岩、粉屑灰岩、鲕粒灰岩、灰质白云岩、细晶白云岩、微晶白云岩等。白云岩是马五段主要岩石类型。

灰岩,岩石呈深灰色,具粉屑—砂屑状结构、鲕粒结构、生物碎屑结构等,常见纹层状构造、块状构造。碎屑粒径 0.01~2 mm,少数大于 2 mm,生物碎屑粒径 0.1~0.7 mm,最大 1 mm,基质为泥灰,碎屑之间常形成亮晶胶结,亮晶粒径 0.01~0.2 mm。

白云岩,灰色,灰褐色,灰黄色,具细晶、微晶、粉屑等结构。白云石常见雾心亮边,晶体间呈镶嵌状接触,粒径 0.01~0.06 mm,亦见亮晶胶结,经染色鉴定多为方解石;另见亮晶为长条状假斑,成分为白云石。

成岩作用特征:

1) 压实作用,表现沉积密度加大,孔隙度缩小,灰岩中球粒产生变形,同时伴生的有压溶作用,重结晶作用及胶结作用。

^① 国家重点科技攻关项目(0102016j02)、国家自然科学基金项目(批准号: 40172072)部分资助

收稿日期: 2001-07-11 收修改稿日期: 2001-10-29

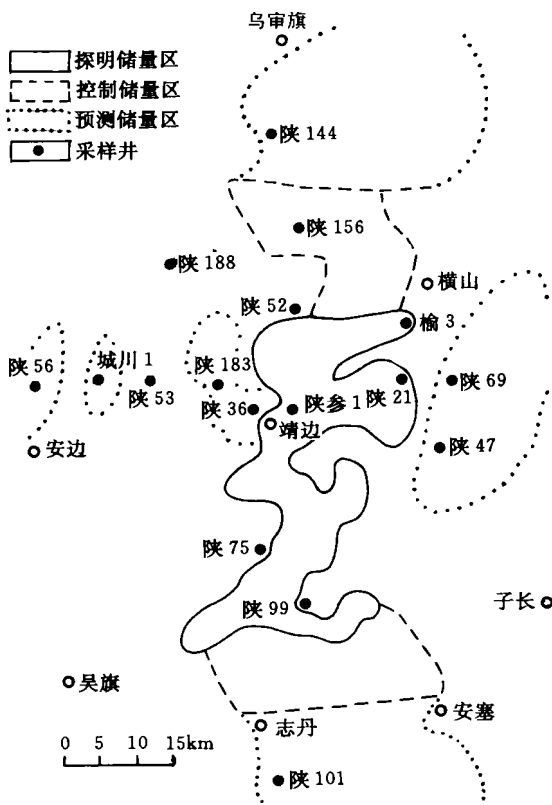


图1 鄂尔多斯盆地勘探程度及采样井位图

Fig. 1 Sample site and exploration extent of Ordos basin

2) 交代作用, 主要反映白云石化、去白云石化。如白云岩中铸膜孔充填, 亮晶方解石形成, 去石膏化等。

3) 重结晶作用, 发生在深埋环境下, 温度压力升高, 碳酸盐溶解与沉淀, 使原细小微晶的方解石, 白云石结晶成较大的晶体, 形成镶嵌状结构。

4) 胶结充填作用, 表现溶蚀孔隙、孔隙充填方解石、白云石。(1)亮晶方解石、白云石, 充填在白云石或方解石晶粒之间, 粒径 $0.01 \sim 0.06$ mm, 粒状或方块状, 具等高线状环纹边, 为早期第一代生成矿物。可见有细小单液相包裹体, 大多小于 $1 \mu\text{m}$, $1 \sim 4 \mu\text{m}$ 较少。偶见有两相气液包裹体。(2)二代方解石往往沿裂隙脉, 孔洞边缘, 或生物球粒溶蚀孔铸膜充填。在亮晶基础上形成齿状, 马牙状, 粒径 $0.02 \sim 0.025$ mm, 大者可见 $0.1 \sim 0.2$ mm。包裹体主要发生在二代方解石, 除了 $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}$ 体系包裹体, 可见有机包裹体。(3)三代方解石晶粒粗大, 生长在溶蚀裂隙脉, 孔洞之中或生物壳中心部位, 粒径 $0.04 \sim 0.06$ mm, 最大可达 0.4 mm。包裹体体积亦较大, 与方解石粒径大小有一定相关性, 有机包裹体较发育。

1) 白云石化作用, 白云石化有两期, 早期准同生白云石化及后期成岩作用白云石化。准同生白云石化, 指碳酸钙沉积物刚沉积不久, 被白云石交代形成的

白云岩, 晶体细小, $< 0.01 \sim 0.02$ mm 为泥晶—泥粉晶白云岩。成岩期白云岩又称为准同生白云岩。主要是成岩期或后期所形成的白云岩, 有细晶白云岩, 微晶白云岩, 粒径 $0.05 \sim 0.2$ mm。

2) 石膏化(图版 I-1), 重晶石化(图版 I-2), 硅化(图版 I-3), 黄铁矿化, 硬石膏以脉体或团块状形成于灰质白云岩, 重晶石发育在灰岩方解石细脉之中, 硅化以较自形的石英发育在方解石细脉或后期经过重结晶亮晶方解石之中; 黄铁矿化以星散状散布于灰岩, 白云岩之中。总而言之它们均是成岩作用中, 经过深埋, 有机质热解产生 CO_2 、 H_2S , 酸性介质沿溶蚀孔, 裂隙及粒间溶解沉淀形成的。

2.2 石炭—二叠系石英砂岩成岩作用

石炭—二叠系碎屑岩是盆地重要生油岩系及储集岩层。本文重点研究石英砂岩成岩作用及其流体包裹体。

石英砂岩, 碎屑成分, 主要由石英组成 $60\% \sim 70\%$ 。其次钾长石, 斜长石, 玉髓, 白云母等 $5\% \sim 10\%$, 胶结物 $15\% \sim 40\%$, 由硅质、泥质、铁质、钙质等组成, 石英碎屑粒径 $0.1 \sim 0.7$ mm, 次棱角状—次圆状, 排列方向具有一致性, 显层理构造, 分选程度好, 为湖河相—浅海相沉积。

1) 压实作用

沉积物沉积以后, 在上覆沉积层负荷压力及周围沉积和孔隙水的静水压力作用下, 松散沉积物孔隙度减少, 密度增大, 水分排出, 颗粒因压实发生重结晶、胶结。压力、温度进一步升高, 发生压溶作用, 碎屑颗粒较突出尖角部分产生溶解, 使得 Si、Al、Na、K 等元素转入溶液, 致使石英、长石颗粒次生加大及新生绢云母矿物形成, 并因受压, 而产生弯曲。

2) 胶结作用

胶结作用主要表现: a) 硅质胶结、玉髓形成以及石英次生加大。b) 钙质胶结, 碳酸盐矿物形成, 充填粒间空隙或呈连晶式胶结。c) 粘土矿物胶结碎屑颗粒空隙中, 高岭石, 伊利石(水云母)形成。

3) 重结晶作用

重结晶主要表现石英次生加大及充填于石英碎屑粒间钙质胶结物形成的方解石。

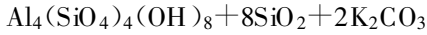
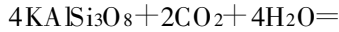
石英次生加大边显示 $1 \sim 4$ 环带。在次生加大过程中捕获一系列包裹体, 成为研究成岩作用过程中油气演化标志和依据。

4) 粘土矿物形成与变化

本区石英砂岩在成岩作用中形成的自生粘土矿物主要由高岭石, 丝状水云母等。

a) 高岭石, 板片状, 结晶差—中等产于石英碎屑粒

间孔隙之中,同时共生的有水云母及黄铁矿。高岭石由粘土矿物变来或长石分解形成。



b) 丝状水云母, 又名伊利石, 呈丝缕状或细纤片状, 它是由粘土矿物吸收钾离子转变而来: 蒙脱石 + Al + K = 伊利石 + SiO₂, 水云母进一步可分解为高岭石。

3 流体包裹体类型及特征

本次主要研究奥陶系马五段碳酸盐岩及石炭一二叠系石英砂岩中的包裹体。成岩期流体包裹体是在成岩作用中即沉积物成岩演化过程中捕获各阶段的流体包裹体。可分为原生包裹体, 次生包裹体。原生包裹体为自生矿物在生长过程中捕获的包裹体; 次生包裹体成岩期自生矿物形成之后在外力作用形成裂隙捕获的包裹体, 沿愈合裂隙分布。

根据流体包裹体成分、相态和充填度, 可划分下列类型: (1) 气体包裹体 (气液比 > 50%); (2) 气液包裹体 (气液比 10 ~ 50%); (3) 液体包裹体 (气液比 < 10%); (4) 含烃类包裹体, 液态烃 + 盐水溶液, 气态烃 + 液态烃 + 盐水溶液颜色为灰黑色; (5) 烃类包裹体, 全为有机质组成, 有纯液相 (图版 I-4), 气液两相 (图版 I-5, 6), 纯气相, 以纯气相居多, 包裹体深黑色, 体积较大 (8 ~ 20 μm), 比共生同期生成 H₂O - NaCl 的包裹体大 2 ~ 4 倍, 包裹体壁颜色往往较深。

3.1 奥陶系碳酸盐岩包裹体特征 (表 1)

包裹体分布, 根据包裹体产出状态及成岩作用中矿物生成先后关系, 包裹体分布状况及大小等可分早、中、晚三期。a) 成岩作用早期, 主要为亮晶方解石 (或白云石), 以胶结物形式充填原始沉积方解石或准同生形成的白云石粒间。包裹体一般具负形晶或浑圆状, 包裹体大部分 < 1 μm, 少量大者 1 ~ 10 μm, 与亮晶粒

度大小有一定关系。包裹体多为单液相, 少数为气液相, 气液比 < 5%, 少数可达 20%, 在准同生白云石中亦发现有包裹体, 但数量少, 体积小。b) 成岩中期, 白云石化形成白云石, 表现为原灰岩方解石被交代为白云石, 或局部形成板状粒状集合体, 白云石中包裹体多为纯液相点滴状 < 1 μm。c) 成岩晚期, 表现为充填在裂隙或孔洞中方解石。脉宽一般 0.02 ~ 0.2 mm, 边部往往为亮晶方解石, 接着发育二世代、三世代方解石, 为成岩晚期方解石。孔洞中方解石粒径可达 0.5 ~ 2 mm。包裹体负晶形, 长方形、菱形或管状, 沿方解石长轴方向、节理方向分布或孤立散布, 体积大小 1 ~ 20 μm, 最大达 180 μm。包裹体类型: 气液相、纯液相、纯气相, 后者为深灰色有机包裹体。偶见分布在次生石英中包裹体, 浑圆状, 大小 1 ~ 4 μm。

3.2 石炭一二叠系石英砂岩包裹体特征 (表 2)

包裹体发育在石英次生加大边中, 分为 1 ~ 3 期; 石英碎屑粒间自生方解石具有气液相、纯液相包裹体, 体积大小 1 ~ 4 μm。一种属成岩期后早期构造裂隙期包裹体, 在石英、方解石中受愈合裂隙控制线状分布, 可见有两组交叉裂隙, 包裹体大小 1 ~ 20 μm, 有机包裹体较多, 约占 70% ~ 80%, 指示着有机质过成熟。另一种沿晚期构造裂隙分布的晚期包裹体, 受愈合裂隙控制, 呈滴状 1 ~ 4 μm, 一般与油气形成运移无关。

4 流体包裹体显微测温

4.1 流体包裹体均一温度

包裹体测温采用中科院地质研究所包裹体研究室 Leitz1350 型热台, 国产 PY-8 型数字温度计, 测量精度 ±1 °C。对 18 个灰岩、白云岩、石英砂岩中自生矿物 (方解石、石英次生加大边) 中流体包裹体进行了测试 (有机包裹体参照与之共生的盐水包裹体温度), 结果见表 3 和图 2。

表 1 奥陶系灰岩白云岩成岩期矿物中包裹体特征

Table 1 Character of inclusions in diagenesis period of Ordovician limestone and dolomite

成岩时期	成岩作用及形成矿物	盐水包裹体	数量/%	有机包裹体	数量
同生期	准同生期白云石化	少量			
成岩作用早期	早期胶结作用形成亮晶方解石、白云石	纯液相包裹体, 点滴状 < 1 μm	100		
成岩作用中期	白云石化形成白云石	气液包裹体, 1 ~ 5 μm, 气液比 < 5%	100		
成岩作用晚期	裂隙及孔洞充填形成方解石	气液包裹体, 2 ~ 12 μm, 气液比 5% ~ 30%	30 ~ 50	气液相或液相, 气液比 5% ~ 10%, 6 ~ 20 μm	50% ~ 70%
成岩期后早期构造裂隙	构造裂隙充填方解石, 及方解石愈合裂隙	1 ~ 10 μm 气液比 5%	20 ~ 30	气体包裹体为主, 4 ~ 20 μm	70% ~ 80%
成岩期后晚期构造裂隙	方解石中愈合裂隙	点滴状 1 ~ 4 μm	100		

表2 二叠系石英砂岩成岩自生矿物包裹体特征

Table 2 Character of authigenic inclusions in Permian quartzose sandstone diagenesis period

成岩时期	成岩自生矿物	盐水包裹体	数量/ %	有机包裹体	数量
成岩期前	陆源碎屑石英	继承性包裹体, 2~10 ⁴ μm 气液比 10%~30%	100		
成岩期	1	石英次生加大边	液包裹体大小 2~7 ⁴ μm, 气液比 10%~20%	100	偶见
	2	石英次生加大边	气液包裹体大小 2~4 ⁴ μm, 气液比 5%	100	灰黑色 10%
	3	石英次生加大边	气液包裹体大小 2~4 ⁴ μm, 气液比 5%	100	灰黑色 10%~20%
成岩期后	早期裂隙	石英中愈合裂隙	气液包裹体, 5~10 ⁴ μm, 气液比 5%~10%	40~50	单液相 纯气相
	晚期裂隙	石英中愈合裂隙	气液包裹体, 1~3 ⁴ μm, 气液比 < 5%	100	

从图中可看出: 奥陶系碳酸成岩盐岩期包裹体均一温度范围为 60~220℃, 分三个区段: 60~100℃, 100~160℃, 160~220℃。

二叠系石英砂岩自生矿物, 石英加大边及充填于石英碎屑粒间方解石形成温度分三个阶段: 90~110℃, 120~140℃, 160~220℃。石英次生加大边包裹体均一温度由里向外相应升高。高温流体包裹体(>200℃)分布于孔洞充填方解石或裂隙脉中, 散布或随机分布。上述碳酸盐岩、石英砂岩三个均一温度区段反映了奥陶系、石炭—二叠系三个油气运移时期。

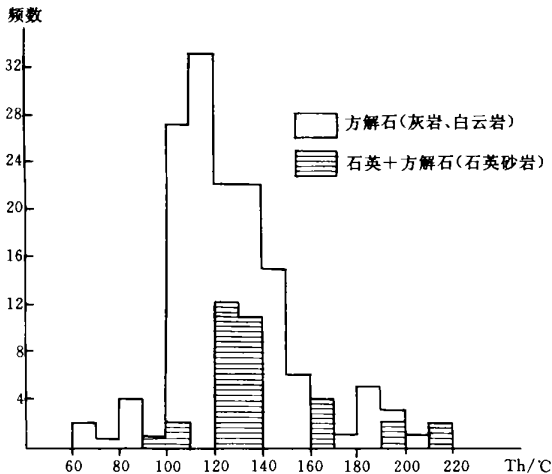


图2 奥陶系灰岩、白云岩、石炭—二叠系石英砂岩自生矿物流体包裹体均一温度直方图

Fig. 2 Histogram of homogenization temperature of authigenic fluid inclusions in Ordovician limestone, dolomite and Carboniferous-quartzose sandstone

4.2 流体包裹体盐度、密度

流体包裹体冷冻测定采用法制冷热台(Chaixme-ca), 仪器测温范围-180~+600℃±0.1℃。奥陶系马家沟组灰岩、白云岩成岩中形成方解石、白云石中包裹体, 初熔温度为 20~21℃, 流体类型为 NaCl-H₂O 型。盐度为 1.74%~17.52(wt)%; 二叠系石英砂岩

自生矿物流体包裹体盐度 3.39%~6.74(wt)%, 相对奥陶系灰岩、白云岩中流体包裹体盐度偏低, 可能与二叠系埋藏相对较浅、大气降水影响较大有关。另外在成岩早期亮晶白云石流体包裹体盐度较低为 5.3(wt)%。当然也有例外情况, 在成岩晚期捕获盐度有较低的情况如 1.74%~1.91(wt)%。

通过盐度与温度关系图示可看出, 盐度也可分出三个区段, 5~9, 10~13, 13~17, 与其相对应三个均一温度区段为 100~110℃, 120~130℃, 140~160℃, 与上述均一温度直方图温度区间大体一致。随着均一温度增高盐度也相应增大。二叠系石英砂岩自生矿物流体包裹体盐度比较稳定, 变化不大。上述规律反映从成岩早期至成岩晚期, 随着埋藏深度加大, 压力增加, 温度、盐度也逐渐增高趋势(图3)。

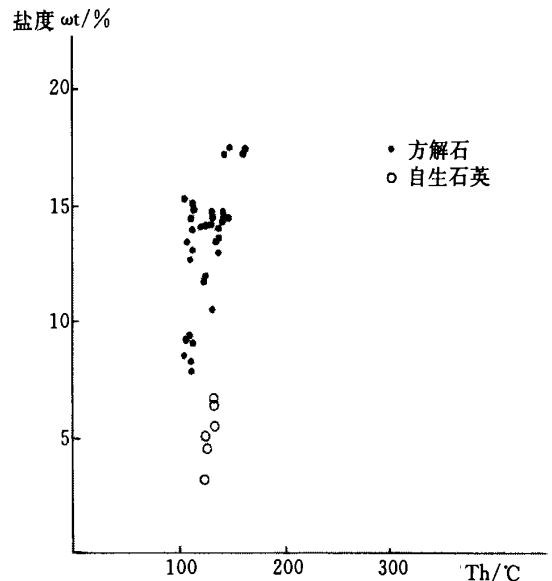


图3 奥陶系灰岩、白云岩中方解石, 石炭系—二叠系石英砂岩自生石英流体包裹体均一温度、盐度关系图
Fig. 3 Relationship of homogenization temperature and salinity of authigenic fluid inclusions between calcite in Ordovician limestone, dolomite and authigenic quartzose sandstone

表3 奥陶系灰岩、白云岩、石炭-二叠系石英砂岩、自生矿物流体包裹体均一温度、盐度测定结果
Table 3 Test results of homogenization temperature and salinity of authigenic inclusions in Ordovician limestone, dolomite and Permocarboiferous quartzose sandstone

样品号	岩性	寄主矿物	类型	形态	大小 /μm	气液比 /%	分布特征	均一温度 /℃	冰点	盐度	密度	有机包裹体
陕21-10(5/46)	细晶白云岩	亮晶白云石	I	浑圆	2~4	5~15	散布	78~155	-3.25	5.3	0.922	
陕156-7(46/48)	粉晶白云岩	孔隙充填 方解石及裂隙	I+II	菱形长方形	4~20	5~30	散布或线状 分布	96~219	-5.0~-10.4	7.86~14.41	0.96~1.033	20~56
陕47-5(1/87)	石英砂岩	石英	I+II	浑圆	3~16	5	随机或定向	122~138	-2~-3.1	3.39~5.11	0.966~0.978	10~30
陕69-2(8/81)	生物碎屑 粉屑灰岩	方解石细脉	I+II	负晶形、浑圆、 三角状	2~10	10	随机定向	86~114	-9.0~-9.3	12.58~13.80	1.041~1.060	50~70
陕47-8(26/86)	生物碎屑粉屑 白云岩	裂隙充填 方解石	I+II	负晶形	2~10	5~30	随机定向	105~116				<10
陕47-1(14/16)	石英砂岩	石英	I+II	浑圆	4~8	5~10	随机定向	124~165	-3.3~-4.2	5.41~6.74	0.978~0.986	
陕47-4(22/43)	藻粒粉屑 石灰岩	裂隙充填 方解石	I+II	负晶形	2~10	5~30	沿理解 或定向	59~118				10~20
陕参1-16(5/45)	粉晶灰岩	孔隙充 填方解石	II	负晶形、浑圆	2~6	5	定向	125~134	-1.0~-1.10	1.74~1.91	0.944~0.952	
陕47-6(61/79)	粉晶白云岩	裂隙细 脉方解石	II	浑圆	3~8	5%	定向	106~114	-10~-11.5	13.92~15.47	1.049~1.064	<10
陕53-11(25/49)	生物碎屑 微晶灰岩	裂隙中方解石	I+II	负晶形、浑圆	2~50	5~10	散布、定向	132~164	-6.9~-13.7	10.36~17.52	1.007~1.052	50~70
陕53-11(3/49)	纹层状含灰质 白云岩	孔隙中方解石	I+II	负晶形、浑圆	2~4	5~10	散布、定向	113~158	-8.2~-9.1	11.70~12.9	1.024~1.025	68
陕99-10(16/43)	角砾状含灰质 白云岩	裂隙及孔隙 充填方解石	I+II	负晶形或 不规则状	2~20	5~15	散布、定向	104~146	-10.2~-10.8	14.15~14.77	1.027~1.033	50~70
陕9-11(16/60)	纹层状粉屑 白云岩	裂隙充填 方解石	II	负晶形、浑圆	3~8	5	定向	115~136				60
陕56-1(7/21)	纹层状粉屑 白云岩	脉状及裂隙 充填方解石	II	负晶形	4~65	5~10	定向	126~151	-9.5~-10.3	13.4~14.25	1.032~1.037	50~80
城川1-12(22/90)	石英砂岩	自生石英	I	浑圆	3~8	5	环状分布	123~136				
城川1-7(1/20)	纹层状粉晶 白云岩	裂隙脉 方解石	I+II	负晶形、椭圆	4~30	5	随机、定向	102~128 145~231	-6.0~-11.3	9.21~15.27	1.028~1.065	60~80
陕156-2(11/46)	石英砂岩	方解石 石英	I	负晶形或 不规则状	2~6 2~4	<5~20 <5~10	随机、定向	97~194 197~225				

流体包裹体密度变化不大 0.944 ~ 1.065。总的趋势随着温度升高密度有降低趋势。但包裹体均一温度升高, 盐度又有增大趋势, 导致密度增加。总体上密度没有太大变化。

5 流体包裹体成分特征

流体包裹体成分采用两种方法测试, 一种单个包裹体成分采用拉曼光谱测试, 流体包裹体成分测试采用法国 J-Y 公司 Ramnor-U1000 型激光拉曼探针, 实验条件 Ar^+ 激光波长 514.5 μm ; 激光功率 600 mW, 双单色器波狭缝 450 μm , 色散率 9.2 cm^{-1}/mm , 光电倍增管高压 1530V, 共测试 9 个样品, 15 个单个包裹体成分, 31-1 样为石英砂岩自生方解石中包裹体, 其余均为奥陶系灰岩, 成岩晚期裂隙充填方解石中捕获的包裹体, 所测包裹体均一温度多数集中在 100 ~ 120 $^{\circ}C$ 为生油成熟期, 少数在 140 ~ 160 $^{\circ}C$ 为高成熟期形成的包裹体。

单个包裹体成分特点: 气相中 CH_4 为 4.2% ~ 14.5%, CO_2 为 51.8% ~ 68.2%, 不含水; 液相中 CH_4 为 3.8% ~ 11.7%, CO_2 为 21.8% ~ 38.6%, H_2O 为 39.8% ~ 53.1%。气液相中大部分含有 H_2S (2.3% ~

9.5%), 说明处于还原条件下, 此外还不同程度含有烃烷气体。气液相还原系数 $CH_4/(H_2O + CO_2)$ 分别为 0.08 ~ 0.249 和 0.046 ~ 0.163。

模拟实验证实原油从未成熟到低成熟阶段气体以 H_2O 、 CO_2 为主, 演化到成熟、高成熟阶段则 CH_4 增加, 因此 $CH_4/H_2O + CO_2$ 也应相应增加。本次单个包裹体拉曼分析所有包裹体气相成分皆不含 H_2O , 说明已入低成熟或成熟阶段, 这与温度、盐度及有机包裹体百分含量统计有一致性。但由于测试成分包裹体数量不多及包裹体选择也存在局限性, CH_4 、 H_2O 、 CO_2 比值变化不明显。

6 流体包裹体与油气演化

沉积岩在成岩作用过程中, 富含有机质的沉积物随着成岩温度和压力升高而发生分解, 释放出甲烷、乙烷等一系列易挥发的烃类有机物。这些有机物流体被碳酸盐岩溶孔、裂隙充填的方解石、白云石、石英岩中石英次生加大边以及胶结物方解石等新生矿物封存形成包裹体。它们记录了沉积岩流体成分温度、压力等信息^[9, 10], 同时也反映了盆地油气生成、运移和聚集的地质环境和条件, 从而给预测、评价盆地的油气前景

表 4 鄂尔多斯古生界包裹体成分

Table 4 Component of Erathen inclusions in Ordos Basin

井号	深度/m	层位	气相成分/mol%								CH_4/H_2O+CO_2	CH_4+H_2S/CO_2
			CO_2	H_2S	CH_4	SO_2	N_2	多烃	总和			
陕 156	3266.32	O_1m	67.2		14.5			6.9	11.4	100	0.215	0.215
陕 156	3266.32	O_1m	54.6	2.3	4.2	12.6			26.3	100	0.077	0.119
陕 21	3315.33	O_1m	58.3		14.2	11.1	7.4		9	100	0.244	0.244
陕 47	3095.43	C_3t	58.4		11.2	11.9	4.7		13.8	100	0.192	0.192
陕 47	3174.17	O_1m	68.2	2.5	7.5	11.3			10.5	100	0.109	0.147
陕 47	3174.17	O_1m	72.8	9.1	14.2				3.9	100	0.195	0.32
陕 53	3648	O_1m	65.8		5.3	14.3	5.8		8.8	100	0.108	0.08
陕 53	3648	O_1m	54.3	9.5	12.4				23.8	100	0.228	0.403
陕 53	3649.85	O_1m	66.1	9.1	10.3		6.2		8.3	100	0.155	0.293
陕 53	3649.85	O_1m	71.6		6.7	10.3	6.9		4.5	100	0.093	0.093
陕 56	3830.85	O_1m	55.8	2.4	8.3	10.2			23.3	100	0.148	0.192
陕参 1	3095.43	O_1m	51.8	7.1	12.9		8.2		20	100	0.249	0.386
陕参 1	3479.31	O_1m	65.4		5.9	15.5	5.9		7.3	100	0.09	0.09
城川 1	4390.8	∈	63.5	8.3	7.1		7.5		13.6	100	0.112	0.243
城川 1	4390.8	∈	64.1	12.5	12.8				10.6	100	0.199	0.395

液相成分(mol%), 盐水溶液(mol/L)

井号	深度/m	层位	CO_2	H_2S	CH_4	SO_2	H_2O	多烃	总和	HS^-	Cl^-	CO_3^{2-}	HCO_3^-	$CH_4/$	$CH_4+H_2S/$
														H_2O+CO_2	CO_2
陕 156	3266.32	O_1m	21.8		8.2	7.1	53.1	9.8	100	0.32	3.8	0.12		0.109	0.376
陕 47	3174.17	O_1m	32.3	2.9	3.8		50.2	10.8	100	0.04	1.3			0.046	0.207
陕 53	3648	O_1m	22.4		4.3	17.1	49.1	7.1	100		1.7	0.08		0.06	0.192
陕 53	3649.85	O_1m	32.1	3.2	11.7		39.8	13.2	100		1.5	0.15		0.163	0.464
陕参 1	3479.31	O_1m	27.4		8.4		55.3	8.9	100				0.21	0.102	0.306
城川 1	4390.8	∈	38.6	5.1	5.9		40.9	9.5	100				0.29	0.074	0.285

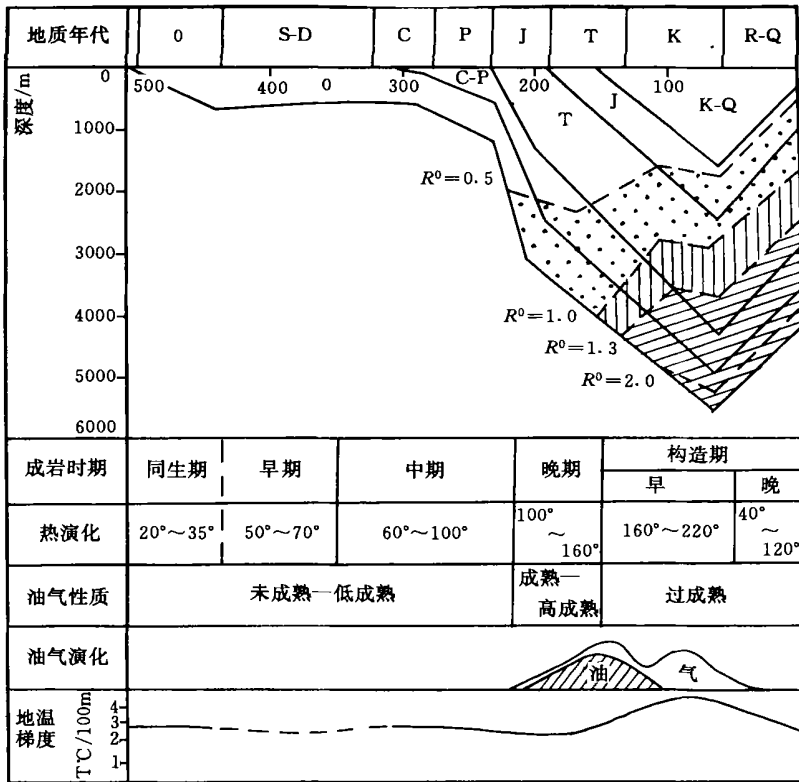


图 4 鄂尔多斯盆地陕参 1 埋藏史及热演化史(陕参 1 埋藏史、 R_0 、地温梯度等引自任战利 1996)

Fig. 4 History of burial and thermal evolution of Shancan 1 well in Ordos basin

提供依据。

油气形成主要与温度和时间有关, 温度是决定性因素。因为温度是以指数关系影响着沉积盆地热演化过程, 时间因素则是线性的^[11~14]。根据 Quigley 研究^[15], 生油温度在 100~150℃, 天然气形成区间为 150~220℃。傅家谟将油气形成划分三个阶段^[16]: 1) 油气形成时期, 温度 50~70℃, 深度 1 000~2 000 m, 生成低成熟原油与湿气; 2) 油气成熟期温度 100°~150℃, 深度 3 000~4 000 m, 高成熟原油及凝析油形成; 3) 最终甲烷气阶段, 形成甲烷气与高成熟沥青, 温度 200℃, 深度 5 000~6 000 m。

基于上述油气形成的埋深及温度范围, 通过镜质反射率 R_0 、磷灰石裂变径迹、伊利石矿物年龄测定^[12 19]及本文包裹体测温研究, 借助于陕参 1 井沉降抬升史及热演化史来讨论鄂尔多斯盆地油气演化与流体包裹体均一温度之间关系(图 4)。

鄂尔多斯盆地发育三套烃源岩: 下古生界碳酸盐岩、上古生界煤系地层及中生界三叠系延长统暗色泥岩。

同生期形成的方解石、白云石、温度约为 20~35℃^[19]。成岩作用演化早期形成准同生期白云石及亮晶白云石、方解石胶结, 其形成温度据包裹体测温为 50~70℃^[17], 此时为油气未成熟期, 埋藏深度小于

600 m。

成岩作用中期据薄片观察为白云石化大规模形成期, 埋藏深度 600~3 000 m。马家沟组块状白云岩、云斑结构受控于缝合线, 而压溶缝合线形成最浅深度为 600 m 左右^[8]。从图中可看出此时镜质及射率为 0.5%~0.7%, 按 Backer 和 Pawlewicz 绝对地温^[20]计算对应最大古地温为 65°~108℃, 为未成熟—低成熟期。成岩晚期, 大量形成裂隙和孔洞充填方解石, 包裹体均一温度 100°~160℃, 为油气大量形成时期, 进入成熟—高成熟期, 图中镜质反射率为 0.7%~1.3%, 对应古地温为 100~180℃, 表中有有机包裹体百分含量 50%~70%。

鄂尔多斯盆地构造裂缝大多形成海西—印支期和燕山期, 燕山期构造活动始于晚侏罗世。伊利石 K—Ar 年令测定记录了两期构造热事件, 时间分别为志留—泥盆纪(420~370Ma)及侏罗纪(170~160Ma)^[17]。后一构造活动事件从图中可看出也正是奥陶系、石炭—二叠系烃源岩进入生气阶段, 埋藏深度 4 000~5 000 m; 三叠系生油层进入生油窗, 埋深 3 000~4 000 m。包裹体均一温度 160~220℃, 镜质反射率 1.3%~2.0%, 对应古地温 180~240℃, 表中有有机包裹体含量 70%~80%, 此时为构造早期阶段。

根据磷灰石裂变径迹测定结果^[16], 23 Ma 以来,

鄂尔多斯盆地整体快速抬升,引起冷却,地温梯度变小($2.8^{\circ}\text{C}/100\text{m}$)^[20],岩层埋深变浅,生烃作用逐渐停止,此时地温为 $40\sim 120^{\circ}\text{C}$,为构造晚期阶段。

图中古地温变化,由古生代—中生代早期 $2.5\sim 3.0^{\circ}\text{C}/100\text{m}$,到中生代晚期 $3.3\sim 4.5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$,也是油气生成高峰期,时间 $170\sim 160\text{Ma}$,新生代降至

$2.8^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ ^[20]。

上述包裹体特征、均一温度直方图反映的三个温度区段,与镜质体反射率相关性 & 油气演化具有良好的对应关系,代表了油气三个运聚时期,表明鄂尔多斯油气田是经过三个阶段形成的,由此也可以看出包裹体研究可以成为油气评价重要依据和指标之一。

表5 鄂尔多斯盆地奥陶系碳酸盐岩、石炭—二叠系石英砂岩有机包裹体特征与油气演化关系

Table 5 Ordos Erathen organic inclusions character and their relationship with oil-gas evolution

成岩 时期	宿主矿物		有机包裹体特征		均一 温度 / $^{\circ}\text{C}$	热演化 / R_o	油气 演化 程度	油气演 化状态	综合深度/m
	奥陶系碳酸盐岩	石炭—二叠 系石英砂岩	类型	丰度/%					
早—中	准同生白云石、亮 晶方解石、白云石 裂隙及孔洞充填	次生石英、蒙脱 石、高岭石	灰黑色单液相, 少量气液比5%	0~10	60~100	0.5	未成熟 — 低成熟	液态	0~600 600~2500
晚期	方解石、白云石、 硬石膏、重晶石、 石英	次生石英、方解 石、伊利石、黄铁 矿、高岭石、绿泥 石等	气液二相、单液 相气液比5%~ 30%, 6~20 mm 气体包裹体为 主并见沥青固 相包气体	50~70	100~160	0.7~ 1.3	成熟 — 高成熟	湿气 凝析 油	2500~3500
成造岩 期后裂 构隙	裂隙充填方解石、 白云石、石膏	绢云母、绿泥石、 次生石英		70~80	160~220	>2	过成熟	干气	3500~6000

7 结论

(1) 通过对鄂尔多斯奥陶系碳酸盐岩和石炭—二叠系石英砂岩成岩作用研究表明:奥陶系马家沟组碳酸盐岩经历了准同生白云岩化—压实作用—白云岩化—胶结充填作用—石膏化、硅化、重晶石化过程;石炭—二叠系石英砂岩经历了压实作用—胶结作用—重结晶作用—粘土矿物形成过程。

(2) 碳酸盐岩成岩演化经历了准同生期—成岩早期—成岩中、晚期的发展历程,其成岩自生矿物中的包裹体从无到有,从小到大,变化范围在 $<1\sim 20\mu\text{m}$,并且随着岩石埋深增加而盐度增高,变化范围在 $1.74\%\sim 17.52(\text{wt})\%$,此反映该区成岩处于稳定的、持续下降的构造沉积环境。包裹体均一温度变化范围为 $60\sim 100^{\circ}\text{C}$, $100\sim 160^{\circ}\text{C}$, $160\sim 220^{\circ}\text{C}$ 。石炭—二叠系石英砂岩中流体包裹体也形成于三个不同的温度范围,分别为 $90\sim 110^{\circ}\text{C}$, $120\sim 140^{\circ}\text{C}$, $160\sim 220^{\circ}\text{C}$ 。

(3) 流体包裹体均一温度、有机包裹体丰度与镜质体反射率对比表明,上述三个均一温度区段反映了鄂尔多斯油气田油气形成演化的低成熟—过成熟三个阶段。

参考文献 (References)

1 刘德良,谈迎,孙先如,戴金星等.鄂尔多斯流体包裹体与天然气生成运移的研究[R].2000[Liu Deliang, Tan Ying, Sun Xianru, et al.

Research of fluid inclusion formation and transport of natural gas in Ordos Basin[R]. 2000. 30~87]

2 陶士振,刘德良,杨晓勇等.塔里木盆地叶城凹陷成岩包裹体及其油气意义[J].石油学报,1998,19(3):38~45[Tao Shizheng, Liu Deliang, Yang Xiaoyong, et al. Yecheng depression diagenesis inclusions and implication to oil and gas in Tarim Basin[J]. Acta Petroli Sinica, 1998, 19(3): 38~45]

3 杨晓勇,刘德良,陶士振.中国东部典型地幔岩中包裹体成分及意义[J].石油学报,1999,20(1):19~23[Yang Xiaoyong, Liu Deliang, Tao Shizheng. Compositions and implications of inclusions in the typical mantle rocks from east China[J]. Acta Petroli Sinica, 1999, 20(1): 19~23]

4 杨晓勇,郑永飞,刘德良,等.中国东部橄榄岩包裹体和榴辉岩中 CO_2 流体包裹体的碳同位素组成[J].岩石学报,2000,16(4):473~481[Yang Xiaoyong, Zheng Yongfei, Liu Deliang, et al. Carbon isotope composition of carbon dioxide in fluid inclusions from peridotite xenoliths and eclogites in East China[J]. Acta Petrologica Sinica, 2000, 16(4): 473~481]

5 刘德良,宋岩,薛爱民等.四川盆地构造与天然气聚集区带[M].北京:石油出版社,2000[Liu Deliang, Song Yan, Xue Aimin, et al. Structure of Sichuan basin and enrichment belt of natural gas[M]. Beijing: Petroleum Publishing House, 2000]

6 孙先如,李院生,董树文等.大别山榴辉岩的包裹体研究[J].矿物学报,1995,15(3):352~359[Sun Xianru, Li Yuangsheng, Dong Shuwen, et al. Research on inclusions in eclogite of Dabie Mount[J]. Acta Mineralogica Sinica, 1995, 15(3): 352~359]

7 张永生,张传录,康祺发.鄂尔多斯盆地奥陶系马家沟群块状白云岩包裹体研究[J].岩石矿物学杂志,1997,16(3):213~219[Zhang Yongsheng, Zhang Chunlu, Kang Qifa. Research on inclusions in mas-

- sive dolostones in the Majiagou group of Ordovician, Ordos Basin[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 1997, 16(3): 213 ~ 219
- 8 张永生. 鄂尔多斯地区奥陶系马家沟群中部块状白云岩的深埋白云石化机制[J]. *沉积学报*, 2000, 18(3): 424 ~ 430 [Zhang Yongsheng. Mechanism of deep burial dolomitization of massive dolostones in the middle Majiagou group of the Ordovician, Ordos basin[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2000, 18(3): 424 ~ 430]
- 9 郑葆英, 叶俭, 祝总祺, 宋国初. 鄂尔多斯盆地奥陶系马家沟组气液包裹体研究[J]. *西安工程学院学报*, 1999, 21(3): 13 ~ 16 [Zheng Baoying, Ye Jian, Zhu Zongqi, et al. Study of the fluid inclusions from the Majiagou Formation of Ordovician, Ordos Basin[J]. *Journal of Xi'an engineering university*, 1999, 21(3): 13 ~ 16]
- 10 谢奕汉, 范宏瑞, 王英兰. 流体包裹体与盆地油气的生成和演化[J]. *地质科技情报增刊*, 1998, 17: 100 ~ 104 [Xie Yihan, Fan Hongrui, Wang Yinglan. Fluid inclusions and their relation to the formation and evolution of oil-gas in a basin[J]. *Geological Science and Technology Information*, 1988 17: 100 ~ 104]
- 11 赵孟为. 鄂尔多斯盆地油气形成与运移时间和运移方向的确定与勘探方向[J]. *石油实验地质*, 1996, 18(4): 341 ~ 347 [Zhao Mengwei. Timing of hydrocarbon generation and transport and determination of transport direction as well as exploration direction in the Ordos Basin[J]. *Experimental Petroleum Geology*, 1996, 18(4): 341 ~ 347]
- 12 Waples D W. Time and temperature in petroleum formation; application of Lopatin's method to petroleum exploration[J]. *AAPG Bull.* 1980, 64: 916 ~ 926
- 13 Tissot B P, Welte D M. Petroleum formation and occurrence[M]. Berlin; Springer-Verlag, 1984. 699
- 14 Quigley T M, et al. Kinetic theory of petroleum generation[A]. In: Doligez B ed. Migration of hydrocarbons in sedimentary basins[C]. Paris; Editions Technip. 1987. 649 ~ 666
- 15 Quigley T M and Mackenzie A S. The temperatures of oil and gas formation in the sub-surface [J]. *Nature*, 1988, 333: 549 ~ 552
- 16 傅家谟, 史继扬. 石油演化理论与实践(1)—石油演化机理与石油演化阶段[J]. *地球化学*, 1975, 2: 87 ~ 107 [Fu Jiamo, Shi Jiyang. Theory and practice of petroleum evolution (1)—evolution mechanism and evolution stage of petroleum[J]. *Geochemistry*, 1975, 2: 87 ~ 107]
- 17 任战利, 赵重远, 张军, 于忠平. 鄂尔多斯盆地古地温研究[J]. *沉积学报*, 1994, 12(1): 56 ~ 65 [Ren Zhanli, Zhao Chongyuan, Zhang Jun, et al. Research on paleo-temperature of Ordos basin[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1994, 12(1): 56 ~ 65]
- 18 赵孟为, Hans Ahrendt, Klaas Wemmer. K-Ar 测年法在确定沉积岩成岩时代中的应用—以鄂尔多斯盆地为例[J]. *沉积学报*, 1996, 14(3): 11 ~ 21 [Zhao Mengwei, Hans Ahredt, Klass Wemmer. Application of K-Ar dating to the diagenesis time of sedimentary rock-Taking Ordos basin for example[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1996, 14(3): 11 ~ 21]
- 19 刘宝君. 沉积岩石学[M]. 北京: 地质出版社, 1980 [Liu Baojun. Sedimentary petrology[M]. Beijing: Geological Publishing House 1980]
- 20 Barker C E and Pawlewicz M T. The Correlation of Vitrinite reflectance with maximum temperature in humic organic matter paleo-geothermics Lecture Note in Earth Sciences[M]. Berlin; Springer-verlag, 1986. 5 79 ~ 93
- 21 任战利. 鄂尔多斯盆地演化史与油气关系[J]. *石油学报*, 1996, 17(1): 17 ~ 23 [Ren Zhanli. Relationship of evolution with oil-gas in Ordos Basin[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 1996, 17(1): 17 ~ 23]
- 22 Xiao-Yong Yang, Yong-Fei Zheng, De-Liang Liu, et al. Chemical and carbon isotope composition of fluid inclusions in peridotite xenoliths and eclogites from eastern China; Geodynamic implications[J]. *Physics and Chemistry of the Earth*, 2001, 26(9 ~ 10): 705 ~ 718

Characteristics of Erathem Fluid Inclusions and Their Relationship with Oil-gas Evolution in Ordos Basin

LIU De-liang¹ TAN Ying¹ SUN Xian-ru² LI Zheng-sheng¹

FANG Guo-qing^{1,3} TAO Shi-zheng^{1,4}

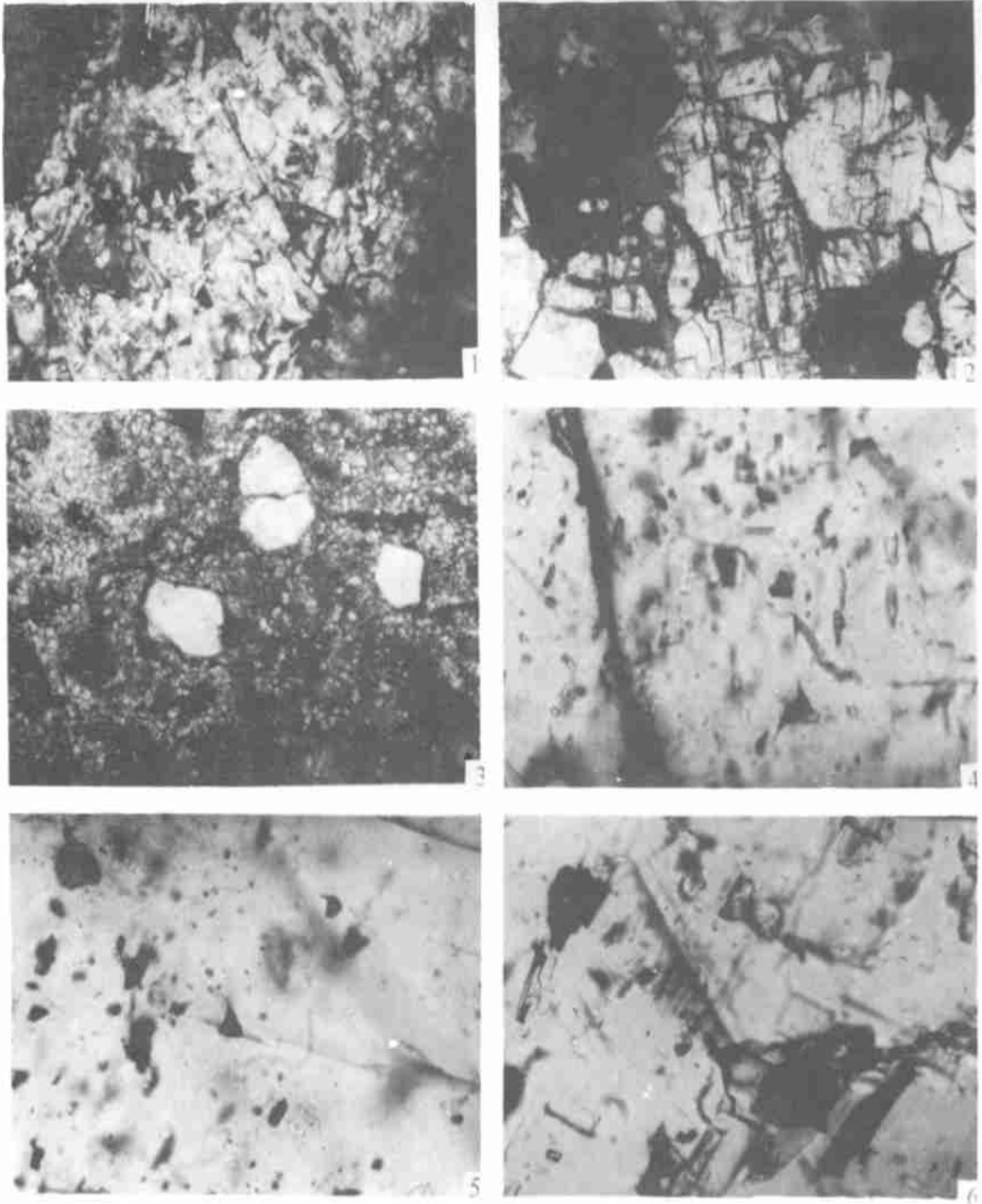
1 (College of Earth and Space Science, USIC, Hefei 230026) 2 (Anhui Institute of Geology, Hefei 230001)

3 (Lanzhou Institute of Geology, CAS, Lanzhou 730000)

4 (Petroleum Exploration and Development Institute CNPC, Beijing 100083)

Abstract On the base of research on diagenesis of Ordovician carbonatite and quartzose sandstone in Ordos basin, preliminary Study on inclusions in these rocks have been done. There are three sections of homogenization temperature of inclusions in Ordovician carbonate rock; 60 °C ~ 100 °C, 100 °C ~ 160 °C, 160 °C ~ 220 °C; and there are three sections of homogenization temperature of inclusions in Permocarboniferous quartzose; 90 °C ~ 110 °C, 120 °C ~ 140 °C, 160 °C ~ 220 °C. Making use of temperature data of inclusions combined with the recently research result of vitrinite reflectivity and apatite fission track, the paper discussed the application of fluid inclusions to formation and evolution of oil-gas reservoirs in Ordos basin.

Key words fluid inclusion, diagenesis, Erathem, Ordos basin



图版 I 说明 1. 碳酸盐中的硬石膏, 陕参 1 井, 16 \times ; 2. 碳酸盐岩中重晶石, 陕 99 井, 16 \times ; 3. 碳酸盐岩中的硅化作用(石英), 陕 99 井; 4. 有机二相包裹体及 NaCl-H₂O 包裹体, 陕 99 井, 63 \times ; 5. 有机包裹体二相, 陕 99 井, 63 \times ; 6. 有机包裹体, 气液二相, 单气相包裹体, 定探 1 井, 16 \times .