

文章编号: 1000-0550(2009) 02-0212-09

成岩作用与油气侵位对松辽盆地齐家—古龙 凹陷扶杨油层物性的影响

闫建萍^{1,2} 刘池阳¹ 马艳萍³

(1. 西北大学大陆动力学国家重点实验室 西北大学含油气盆地研究所 西安 710069

2 兰州大学资源环境学院 兰州 730000; 3. 西安石油大学油气资源学院 西安 710065)

摘要 对松辽盆地齐家—古龙地区扶杨油层砂岩岩石学特征、孔隙类型与物性特征、胶结物种类及成岩作用特点及其分布与变化规律的详细研究表明:扶杨油层主要的成岩作用包括机械压实作用、胶结作用、溶蚀溶解作用。压实作用是导致砂岩储层质量变差的主要原因之一,可使孔隙度减少 0.2%~2.2%;方解石是造成扶杨油层砂岩物性降低的主要胶结物,其次是石英次生加大;晚成岩阶段发生的油气侵位未能阻止石英的次生加大和部分自生矿物的沉淀;油气侵位后生成的酸性孔隙流体和通过断裂带渗入的大气水淋滤造成大量长石和方解石的溶蚀溶解,对储层物性起到了一定的改善作用。

关键词 成岩作用 油气侵位 扶杨油层 储层物性 松辽盆地

第一作者简介 闫建萍 女 1974 年出生 博士研究生 讲师 盆地流体与成岩作用 E-mail yanjj@lzu.edu.cn

通讯作者 刘池阳 E-mail ky@nwu.edu.cn

中图分类号 P588.2 **文献标识码** A

1 石油地质背景

松辽盆地是位于中国东北部的一个大型中、新生代陆相含油气盆地,以白垩系为主的中新生代地层最大厚度可达 10 000 m,从浅到深构成了多套含油气组合。齐家—古龙凹陷处于松辽盆地北部大庆长垣的西侧,扶余油层和杨大城子油层(简称扶杨油层)在层位上相当于下白垩统泉头组四段(K_1q_4)和泉头组三段(K_1q_3),是盆地下部含油组合中重要的含油气储集层,属低渗透砂岩储层^[1]。油源来自上覆青一段泥质烃源岩。青一段泥岩存在异常高压,在嫩江组沉积初期开始形成,至嫩江组末期,流体压力梯度在齐家—古龙凹陷内高达 2.0 MPa/100m,最大超压为 10 MPa。嫩江组末期发生的构造运动使全区整体抬升,嫩江组地层遭受剥蚀,使青一段地层流体压力释放,产生了青一段的第一次排烃高峰期。明水组末期和第三纪末期的构造运动分别导致了青一段的第二次和第三次排烃高峰。对扶杨油层这种源岩处于其上且具有超压背景的、低渗透油层的成藏机理、成藏过程及油气分布规律的认识程度不同^[2~4],制约了该区油气

勘探的进程,而储层物性是控制扶杨油层油气成藏的最主要因素之一。储层物性的好坏除受沉积条件的控制外,成岩作用在其中起着更为重要的作用。

本文通过对扶杨油层砂岩的岩石学特征、孔隙类型与物性特征、胶结物种类及成岩作用特点及其分布与变化规律的详细研究,分析了主要的成岩作用事件、油气的侵位对扶杨油层砂岩储层物性的影响。该研究对松辽盆地北部齐家—古龙地区扶杨油层油气成藏与油气勘探开发具有重要的理论意义和实际意义。

2 砂岩的岩石学与孔隙特征

2.1 砂岩骨架组分

根据 171 个砂岩薄片的显微镜下定量统计结果显示:扶余油层砂岩中的石英含量为 13%~40%,平均值为 23.5%;长石的含量为 9%~28.5%,平均值为 24.5%;岩屑的含量为 18%~48.3%,平均值为 31.1%。主要填隙物为方解石和黏土矿物,其中,方解石的含量为 0~50%,平均值为 5.7%;黏土矿物的含量为 2%~28%,平均值为 6.9%。砂岩的粒度为 0.05~0.3 mm,以细砂岩为主。杨大城子油层砂岩中的石英含量为 13%~30%,平均值为 22.3%;长石

¹ 国家重点基础研究发展规划项目(批准号:2003CB214607),教育部长江学者和创新团队发展计划“能源盆地油气地质”项目(批准号:RT0559)资助。

收稿日期:2008-04-18 收修修改稿日期:2008-06-30

含量为 7.7% ~ 22.5%, 平均含量为 14.7%; 岩屑含量为 7% ~ 40%, 平均值为 31.7%。主要填隙物为方解石和黏土矿物, 其中, 方解石的含量为 0 ~ 30%, 平均为 8.8%; 黏土矿物的含量为 0 ~ 29%, 平均为 6.9%。砂岩的粒度区间为 0.05 ~ 1.0 mm。

扶杨油层的岩石类型以长石岩屑砂岩和岩屑长石砂岩为主, 其次为长石砂岩 (图 1)。

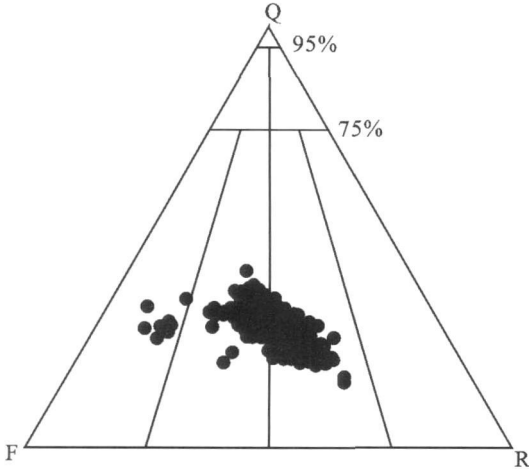


图 1 扶杨油层砂岩成分三角图

Fig 1 Triangular diagram showing classification of Fuyang reservoir

2.2 砂岩孔隙类型与分布规律及物性特征

通过普通薄片、铸体薄片显微镜下观察和扫描电镜观察, 并依据次生孔隙的识别标准^[5]和碎屑岩储层次生孔隙的分类方法^[6], 表明溶蚀粒内孔隙 (图版 iv-1) 和溶蚀粒间孔隙 (图版 iv-2) 是扶杨油层砂岩的主要孔隙类型。扶杨油层溶蚀孔隙的纵向分布规律表现为: 存在溶蚀、溶解现象的次生孔隙度数据随深度分布偏离孔隙度随埋深变化的总体趋势 (图 2), 具有溶蚀、溶解现象样品的最大孔隙度比无溶蚀、溶解现象的样品最大孔隙度增加 3% 左右^[7]。主要次生孔隙带的分布范围大体为 1700 ~ 1800 m, 2000 ~ 2100 m 和 2300 ~ 2400 m 左右。分别对 72 口井和 34 口井的储层物性分析资料统计结果, 扶余油层孔隙度平均值 8.31%, 渗透率平均值 $0.23 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$; 杨大城子油层孔隙度平均值 8.23%, 渗透率平均值 $0.32 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 由于数据较少, 不足以反映其分布规律。

3 成岩作用及其对储层物性的影响

3.1 成岩共生序列与成岩阶段

根据 290 个砂岩薄片显微镜下鉴定和配套的

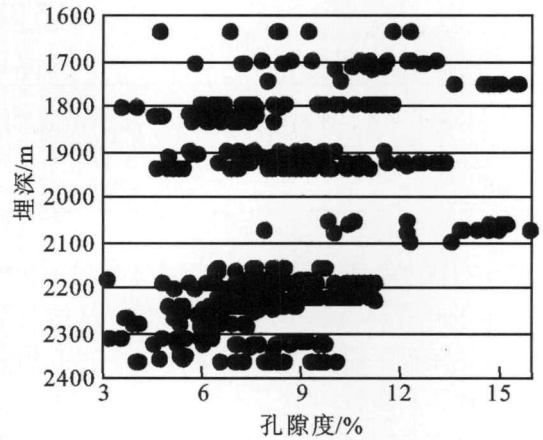


图 2 次生孔隙纵向变化 (据马艳萍等, 2003)

Fig 2 Distribution of secondary porosity with depth (after Ma Yanping, et al., 2003)

X-射线衍射分析结果表明 (表 1), 扶杨油层砂岩中的胶结物主要为方解石, 其次是黏土矿物伊利石和绿泥石。次生加大石英、孔隙充填石英、高岭石和伊蒙混层也是普遍存在的胶结物。部分砂岩中还可可见长石次生加大、海绿石和黄铁矿等。

方解石胶结物至少可分为早、晚两期。早期方解石主要呈连生式胶结, 碎屑颗粒呈漂浮状分布于方解石胶结物中。在含有介形虫的砂岩中, 早期方解石通常比较发育, 并且一般不完整, 边缘见有溶解现象, 说明介形虫介壳的溶解为早期方解石胶结提供了物质来源。晚期方解石胶结物以孔隙充填为特征, 呈不规则状分布在以线状和凹凸状接触为主的碎屑颗粒之间, 如包裹在碎屑石英次生加大边周围 (图版 iv-3)。早、晚期方解石均有交代碎屑颗粒的现象 (图版 iv-4)。

砂岩中的硅质胶结物可分为次生加大石英和孔隙充填石英两种类型。次生加大石英也可分为早晚两期。早期次生加大石英以碎屑石英周边几乎都发育次生加大边为标志, 而晚期石英次生加大边的延长有限, 形状也不规则。石英次生加大胶结物的最高含量为 2.8% 左右, 加大边的宽度为 0.018 ~ 0.035 mm。孔隙充填石英以微晶自形石英晶体充填于剩余孔隙空间, 呈六方锥和六方双锥状产出 (图版 v-5)。

黏土矿物胶结物以伊利石发育较普遍, 主要以蜂巢状、发丝状和搭桥状形貌产出于碎屑颗粒的边缘或向粒间生长充填于粒间孔隙中 (图版 iv-6)。绿泥石包括黑云母的绿泥石化和自生绿泥石。砂岩中的黑云母大多数发生了强烈的绿泥石化, 但仍保留了黑云

表 1 扶杨油层砂岩中平均胶结物含量统计 (%)

Table 1 Quantitative statistics of the cements in sandstones of the Fuyang reservoir

| 层位 | 样品个数 | 深度 /m | 方解石 | 粘土矿物 | | | | | | 硅质 | 长石加大 | 黄铁矿 | 胶结物 总量 |
|--------|------|------------|-----|------|------|------|------|------|-----|------|------|------|-----------|
| | | | | 伊利石 | 绿泥石 | 蒙伊混层 | 高岭石 | 蒙绿混层 | 蒙皂石 | | | | |
| 扶余油层 | 187 | 1602~ 2164 | 5.7 | 4.14 | 1.12 | 0.46 | 0.17 | 0.03 | 0 | 0.04 | 0.01 | 0.01 | 11.68 |
| 杨大城子油层 | 103 | 1734~ 2399 | 8.8 | 4.42 | 1.55 | 0.63 | 0.19 | 0.1 | 0 | 0.07 | 0.03 | 0.02 | 15.81 |

母的形状和解理样式。自生绿泥石晶体呈板片状和柳叶状分布于碎屑颗粒的边部(图版iv-7)。高岭石呈书页状集合体赋存于孔隙壁为贴附状伊利石的孔隙之间或强烈交代长石颗粒,呈现长石假象(图版iv-8)。

长石次生加大分布局限,既有斜长石次生加大(图版iv-9),也有钾长石次生加大现象(图版iv-10)。加大的优势部位为碎屑斜长石聚片双晶的顶端以及钾长石的边缘。加大的部分清洁、透明,经能谱分析,长石的次生加大边为钠长石端元。新形成的钠长石除以次生加大边的形式生长于碎屑长石的边部外,经扫描电镜观察发现,在颗粒间也存在自生钠长石晶体。表明长石的次生加大作用至少持续到成岩作用晚期^[8]。

杨大城子油层中胶结物的含量普遍比扶余油层高(表 1):从扶余油层到杨大城子油层,砂岩中胶结物和杂基的含量都有增加的趋势,方解石交代现象更加普遍,石英次生加大更为发育;颗粒间的接触更紧密,在 1 600 m 左右以点接触为主,1 700~ 2 500 m 之间以线状—凹凸接触为主;胶结类型由孔隙式逐渐过渡为薄膜式和再生式等胶结类型。基底式胶结变得更为普遍,胶结更加致密。这些都表明,随着地层埋深的增加,胶结作用和压实作用的强度也逐渐增加。

本文成岩作用阶段划分主要参照“松辽盆地成岩作用的划分方案”^[9],按照自生矿物或成岩事件首次出现的相对顺序、自生矿物种类及组合,结合包裹体均一温度、镜质体反射率和伊利石的结晶度,将扶杨油层的成岩演化序列和成岩阶段划分归纳如表 2 所示,扶杨油层主要处于晚成岩阶段 A1 期,晚成岩阶段 A2 期和晚成岩阶段 B 期。主要的成岩作用包括机械压实作用、胶结作用、溶蚀溶解作用。

3.2 压实作用对储层物性的影响

除基质以外,压实作用是导致砂岩储层质量变差的主要作用之一。采用 Ehrenberg^[10]建立的公式,计算压实作用使孔隙度减少的数量,得出:压实作用减少的孔隙度范围为 0.2%~ 22%,在 1 700~ 2 000 m 之间随埋深增加压实作用减少的孔隙度略具增加趋

势;2 000~ 2 600 m 之间,压实作用减少的孔隙度不明显。

3.3 胶结作用对储层物性的影响

方解石是扶杨油层的主要胶结物,也是造成孔隙度和渗透率降低的主要因素(图 3),其次为石英次生加大和长石次生加大。

早期方解石胶结物以连生为特征,围绕碎屑颗粒或早期石英次生加大边分布,是成岩和成藏流体运移的屏障,但同时一定程度上抑制了机械压实作用,使一部分原生孔隙得以保存。晚期方解石胶结物以孔隙式胶结为主,分布在晚期石英次生加大后剩余的孔隙空间,有意义的是,在含油砂岩中,由颗粒向孔隙中央依次分布石英次生加大边或贴附状碎屑伊利石、烃类和方解石,说明晚期方解石形成于石油侵位以后,具有驱油作用。方解石胶结物空间分布的差异性,造成了储层物性较强的非均质性。钾长石和斜长石的钠长石化也可以使岩石的次生孔隙增加^[11]。

黏土矿物对储层物性的影响各不相同。贴附状碎屑伊利石通过堵塞孔隙喉道和减少粒间孔隙使砂岩的渗透率降低;蒙皂石转变成伊利石,同时提供的硅质形成石英次生加大边或自生石英晶体,使物性进一步变差。但当石英颗粒周围有绿泥石薄膜时,则会阻止石英的次生加大而使一部分粒间孔隙得以保存。

4 油气侵位和溶解作用对储层物性的影响

4.1 油气侵位对成岩作用的影响

扶杨油层成岩作用的主体包括晚期石英次生加大与孔隙充填石英、自生伊利石与自生绿泥石的形成、长石次生加大和油气注入(表 2)。砂岩薄片偏光显微镜观察发现,晚期石英次生加大边的外侧往往发育晚期方解石胶结物,说明晚期石英次生加大的形成早于晚期方解石。而石英次生加大边中含有有机包裹体,说明石英次生加大边的形成与油气运移同步或早于油气运移。对于油气侵位能否阻滞石英次生加大作用,不同的学者有不同的观点^[12-17]。

表 2 扶杨油层成岩共生序列

Table 2 Diagenetic sequence of the Fuyang reservoir

| 自生矿物与成岩事件 | 早期 → 晚期 | | | | |
|-----------|---------|-------|------------------------------|--|----------------------------------|
| 碎屑伊利石渗滤 | ■ | | | | |
| 海绿石 | ■ | | | | |
| 黄铁矿 | ■ | | | | |
| 长石溶蚀 | | | | | |
| 高岭石 | | ■ | | | |
| 早期石英次生加大 | ■ | | | | |
| 连生方解石 | | | ■ | ■ | ■ |
| 晚期石英次生加大 | | | | ■ | ■ |
| 油气注入 | | | | ■ | |
| 长石次生加大 | | | | ■ | ■ |
| 自生伊利石 | | | | ■ | ■ |
| 自生绿泥石 | | | | ■ | ■ |
| 孔隙充填方解石 | | | | | ■ |
| 压实作用 | | | | ■ | |
| 均一温度峰值/°C | | | 90~100 | 100~110 | 110~120 |
| 镜质体反射率/% | | | 小于1.3 | 大于1.3 | 大于1.3 |
| 伊利石结晶度 | | | 大于0.7 | 大于0.7 | 小于0.7 |
| 成岩阶段 | 早成岩A期 | 早成岩B期 | 晚成岩A1期 | 晚成岩A2期 | 晚成岩B期 |
| 颗粒接触关系 | | | 点-线接触 | 线-凹凸接触 | 线-凹凸接触 |
| 黏土矿物组合 | | | 贴附伊利石、高岭石和蒙皂石/伊利石混层, 蒙皂石偶尔出现 | 自生伊利石、绿泥石和蒙绿混层; 贴附伊利石、蒙/伊混层、高岭石稳定存在, 蒙皂石开始消失 | 贴附伊利石、高岭石、混层黏土矿物和自生黏土矿物共存, 蒙皂石消失 |

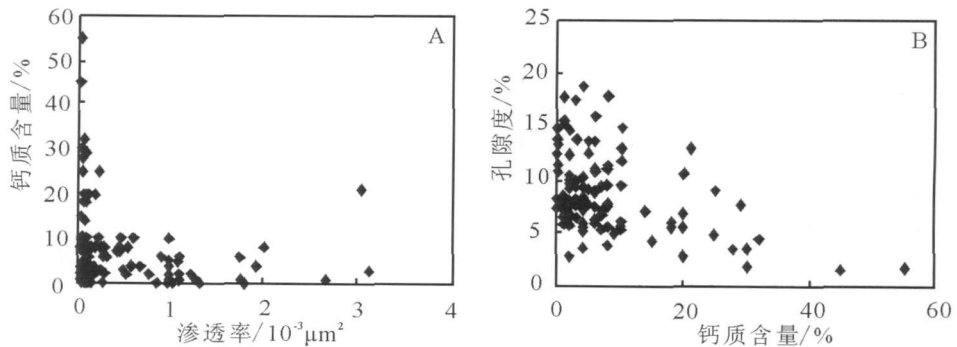


图 3 方解石胶结物含量与渗透率(A)和孔隙度(B)关系图

Fig. 3 Plots of carbonate cement vs. permeability (A) and porosity (B)

扶杨油层石英次生加大边中的包裹体均一温度为 80~170℃, 大部分位于 90~120℃ 之间, 与地层现今地温 (62.2~118℃) 接近, 只有少数高于现今地温, 因此认为石英次生加大作用没有被油气的侵位所阻止, 表明扶杨油层砂岩中石英是水润湿的^[18, 19]。由于扶杨油层石英颗粒之间的压溶作用不明显, 电子探针分析表明, 石英次生加大边与宿主石英的 Al_2O_3 、 $<FeO>$ 、 MgO 、 Ca_2O_3 和 TiO_2 都明显不同 (表 3), 说明石英次生加大所需的二氧化硅不可能来自本层, 而是由上下泥岩层中的蒙皂石转变成伊利石提供。研究表明, 随深度增加, 黏土矿物向伊利石转变时, 可以释放出 Si^{4+} 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Fe^{3+} 和 Mg^{2+} 离子^[20]。钾长石分解为蒙皂石转变成伊利石提供了 K^+ 离子, 转变之后释放的 Si 形成孔隙充填石英或石英次生加大边, Fe^{3+} 和 Mg^{2+} 离子形成绿泥石, Ca^{2+} 离子及部分 Fe^{3+} 和 Mg^{2+} 离子与烃源岩成熟时产生的 CO_2 反应形成方解石。电子探针分析表明 (表 3), 不论早期连生方解石, 还是晚期孔隙充填方解石, 都含有较高的 $<FeO>$ 和 MgO , 而一般认为, 方解石胶结物中的 Fe^{3+} 和 Mg^{2+} 离子与蒙皂石向伊利石转化有关^[21]。同时也说明连生方解石的结晶持续了较长的时间 (表 2), 从成岩作用的早期一直持续到蒙皂石转变成伊利石阶段, 因为典型的连生方解石不含铁和镁^[8, 22]。在黏土矿物转变过程中, 蒙皂石的层间水也释放出来, 在上覆压力作用下携带着 Ca^{2+} 、 Fe^{3+} 和 Mg^{2+} 离子从泥岩中排出进入砂岩, 从而为砂岩的成岩作用提供了物质来源。油气的

侵位对以上自生矿物的形成没有产生明显的影响, 相反可能对油气的聚集起了促进作用。研究表明, 在埋深 1 000~2 800 m, 黏土矿物的转化对有机质生气起重要催化作用^[23]。

4.2 油气侵位和溶解作用对储层物性的影响

早成岩阶段 B 期大气水的淋滤和晚成岩阶段 A 2 期油气的运移和聚集过程中产生的有机和无机酸性流体的溶解作用是导致扶杨油层次生孔隙发育的主要因素和动力, 同时也是部分自生矿物存在与否的直接原因。

铸体薄片观察发现, 早成岩阶段有部分早期方解石胶结物被溶解, 长石被溶蚀的现象。长石的溶蚀与酸性水的淋滤有关, 酸性水包括大气水和酸性地层水。值得注意的是, 研究区长石的溶蚀现象往往产出在含油粉砂岩中, 而且在古 95 井 2 311.36 m 处长石内蜂窝状溶孔, 粒间见有沥青包裹, 以及 2 323.34 m 处溶蚀裂缝孔隙, 孔隙穿切沥青, 说明长石的溶解与烃类的存在有关, 即先发生烃类的侵位, 后发生长石的溶蚀。扶杨油层油气的运移和聚集与晚成岩阶段 A 2 期的主要成岩作用事件基本同时发生 (表 2), 而该阶段也正是成岩流体有机-无机反应最活跃的时期。扶杨油层第一期油气注入时的均一温度为 90~120℃^[24], 此时, 地层中的蒙皂石迅速向混层黏土矿物转化, 释放出大量层间水和 Ca^{2+} 、 Fe^{3+} 、 Mg^{2+} 离子。同时, 长石的钠长石化也导致了大量 Ca^{2+} 离子在地层水中的富集^[25], 这些离子为后期方解石的沉淀和交代作用及绿泥石

表 3 自生矿物电子探针分析数据表

Table 3 Statistics of electron microprobe analyses of authigenic minerals

| 井号 | 矿物成分 | 序号 | SiO_2 | TiO_2 | Al_2O_3 | Ca_2O_3 | $<FeO>$ | MnO | MgO | CaO | Na_2O | K_2O | Total |
|----|-------|----|---------|---------|-----------|-----------|---------|-------|-------|-------|---------|--------|--------|
| 46 | 晚期方解石 | 1 | 0.54 | 0.05 | 2.45 | 0 | 1.23 | 0.72 | 0.52 | 44.5 | 0.06 | 0.24 | 50.31 |
| | 晚期方解石 | 2 | 0.3 | 0.24 | 0.12 | 0.16 | 1.66 | 1.93 | 0.62 | 53.85 | 0 | 0.02 | 58.92 |
| 47 | 早期方解石 | 3 | 0.08 | 0.05 | 0 | 0.12 | 1.32 | 2.94 | 0.42 | 55.41 | 0 | 0 | 60.34 |
| | 晚期方解石 | 4 | 0.43 | 0 | 0.15 | 0 | 1.32 | 2.04 | 0.38 | 55.29 | 0.05 | 0.08 | 59.74 |
| 11 | 碎屑石英 | 5 | 99.87 | 0 | 0 | 0.08 | 0 | 0 | 0.03 | 0 | 0.03 | 0 | 100 |
| | 加大边内 | 6 | 99.72 | 0 | 0.12 | 0 | 0.09 | 0 | 0 | 0.05 | 0.03 | 0 | 100.01 |
| | 加大边外 | 7 | 98.9 | 0 | 0.52 | 0 | 0.17 | 0 | 0 | 0.12 | 0.1 | 0.06 | 99.89 |
| 18 | 碎屑石英 | 8 | 99.79 | 0 | 0.07 | 0 | 0 | 0 | 0.04 | 0.03 | 0.05 | 0 | 100 |
| | 加大边 | 9 | 99.37 | 0.17 | 0.16 | 0.09 | 0 | 0.04 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.07 | 99.99 |
| 28 | 早期方解石 | 10 | 0.03 | 0 | 0 | 0.22 | 1.93 | 0.86 | 0.43 | 56.53 | 0.05 | 0.05 | 60.1 |
| | 方解石脉 | 12 | 0 | 0.08 | 0 | 0 | 0.18 | 0.93 | 0.24 | 57.46 | 0 | 0 | 58.89 |
| 31 | 晚期方解石 | 13 | 0 | 0 | 0 | 0.12 | 0.51 | 0.42 | 0.24 | 54.79 | 0.03 | 0.03 | 56.13 |
| | 早期方解石 | 14 | 0.17 | 0.17 | 0 | 0 | 0.88 | 0.41 | 0.3 | 55.56 | 0 | 0 | 57.5 |
| 21 | 碎屑石英 | 16 | 100.12 | 0.15 | 0.09 | 0.14 | 0 | 0.02 | 0 | 0 | 0.02 | 0 | 100.56 |
| | 加大边 | 17 | 98.5 | 0.08 | 0.53 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.03 | 0 | 99.15 |

的形成提供了物质基础。在热催化作用下,青一段泥质烃源岩被 Fe^{3+} 氧化,开始脱羧基形成大量的有机酸和 CO_2 ^[26,27]。扶杨油层第二期油气注入时的均一温度为 $120\sim 150^\circ\text{C}$ ^[24],该埋藏温度下,硫酸盐与烃类发生氧化还原反应产生的 H_2S 溶于水中,形成酸性地层水^[17]。因此,当有机质成熟以后,成岩流体中具有多种持续不断的有机酸和碳酸的来源。而进入储层中的原油在热解作用下同样形成大量有机酸^[28]。但是,由于扶杨油层与其上覆青一段泥岩构成超压系统,在正常压力情况下,青一段底部泥岩中形成的油气不能自由进入下伏的扶杨油层砂岩中。只有当超压系统破裂时,烃源岩中形成的大量有机酸和孔隙水才一起下排到扶杨油层。超压系统的三次破裂使青一段中的部分流体下排到扶杨油层,含烃流体进入扶杨油层以后,在压实作用下继续流动,此时,储层体系内部相对封闭,有机酸阴离子在一定的温度范围内控制着孔隙流体的 pH 值,使地层水始终保持着酸性状态。这些有机酸、无机酸和 CO_2 的存在使孔隙流体的溶解能力提高,将钾长石、石英等碎屑颗粒和部分早期碳酸盐胶结物溶解或溶蚀,形成大量次生孔隙,同时越来越多的钾长石溶解为蒙皂石继续转变成伊利石提供了钾离子。

一般认为,高岭石是在酸性介质条件下长石蚀变的产物,但根据大量扫描电镜照片观察,虽然在含油砂岩中发现有较多的长石溶解,但未见与之共生的高岭石,说明扶杨油层砂岩中的自生高岭石与油气的注入无关。相反,在未见油气显示的砂岩中(金 55 井, $1\ 922\ 77\sim 1\ 939\ 70\text{ m}$),可见高岭石与长石溶解共生的现象。金 55 井正好处于断裂带上,为大气水进入地层中溶蚀长石和形成高岭石提供了地质条件。薄片观察表明,扶杨油层高岭石形成于成岩作用早期(表 2),扫描电镜观察和 X—射线衍射分析检测出的高岭石主要分布在拗陷的边部,都说明高岭石形成于大气水的淋滤。因此,油气注入后形成的酸性流体和大气水共同引起的溶蚀溶解作用是导致松辽盆地齐家—古龙凹陷扶杨油层砂岩储层物性改善的主要原因。

5 结论

综上所述认为:松辽盆地齐家—古龙凹陷扶杨油层砂岩类型主要长石岩屑砂岩和岩屑长石砂岩为主,其次为长石砂岩。

扶杨油层砂岩主要的成岩作用包括机械压实作

用、胶结作用、溶蚀溶解作用。压实作用和胶结作用是造成砂岩孔隙度降低的主要原因。压实作用使砂岩孔隙度减少达 $0\% \sim 22\%$ 。方解石是造成扶杨油层砂岩孔隙度降低的主要胶结物,其次是石英次生加大,晚成岩阶段发生的油气侵位未能阻止石英的次生加大和部分自生矿物的沉淀。

扶杨油层有机包裹体均一温度范围为 $80\sim 170^\circ\text{C}$,正处于有机质大量生成阶段,此时成岩流体系统中多种酸来源,各种酸性流体的存在使孔隙流体的溶解能力大大提高,将长石和早期碳酸盐胶结物溶解,同时,沿断裂带渗入的大气水淋滤也造成部分长石和方解石的溶解,对储层物性起到了一定的改善作用。

参考文献 (References)

- 1 曾大乾,李淑贞. 中国低渗透砂岩储层类型及地质特征 [J]. 石油学报, 1994 15(1): 38-45 [Zeng Daqian Li Shuzhen. Types and characteristics of low permeability sandstone reservoirs in China [J]. Acta Petroli Sinica 1994 15(1): 38-45]
- 2 张革,林景晔,杨庆杰,等. 松辽盆地西部扶杨油层成藏条件和勘探潜力 [J]. 大庆石油地质与开发, 2002, 21(5): 5-8 [Zhang Ge, Lin Jingye Yang Qingjie, et al. Reservoir-forming conditions and exploration potential of Fuyang oil layer in the western Songliao Basin [J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing 2002, 21(5): 5-8]
- 3 林景晔. 砂岩储集层孔隙结构与油气运聚的关系 [J]. 石油学报, 2004 25(1): 44-47 [Lin Jingye. Relationship of pore structure of sand reservoir with hydrocarbon migration and accumulation [J]. Acta Petroli Sinica 2004, 25(1): 44-47]
- 4 赵文革,黄薇,林景晔,等. 大庆长垣西侧扶杨油层油水同层形成及识别 [J]. 石油实验地质, 2006 28(5): 472-475 [Zhao Wenge, Huang Wei Lin Jingye et al. Formation and identification of the oil water intervals in Fuyang-Yangdachengzi pay zone in the west of Daqing placanticline [J]. Petroleum Geology & Experiment 2006 28(5): 472-475]
- 5 Shamugan G. Significance of secondary porosity in interpreting sandstone composition [J]. AAPG Bulletin 1985 69(3): 378-384
- 6 邱世祥,祝总祺,柳益群,等. 中国碎屑岩储集层的孔隙结构 [M]. 西安:西北大学出版社, 1991 [Di Shixiang Zhu Zongqi Liu Yiqun, et al. The Pore Structure of Clastic Reservoir in China [M]. Xi'an: The Northwest University Press, 1991]
- 7 马艳萍,刘立,闫建萍,等. 松辽盆地齐家—古龙凹陷扶杨油层次生孔隙特征及其与烃类侵位的关系 [J]. 世界地质, 2003 22(1): 36-40 [Ma Yanping Liu Li Yan Jianping et al. Characteristics of secondary porosity of Fuyang reservoir in Qijia-Gulong depression of Songliao Basin and their relationship to hydrocarbon emplacement [J]. Global Geology, 2003 22(1): 36-40]
- 8 杨桂芳,卓胜广,牛 D,等. 松辽盆地白垩系砂岩长石碎屑的钠长

- 石化作用[J]. 地质论评, 2003, 49(2): 159-162 [Yang Guifang Zhuo Shengguang Ni Ben *et al.* Albittization of detrital feldspar in Cretaceous sandstones from the Songliao Basin [J]. Geological Review, 2003, 49(2): 159-162]
- 9 高瑞祺, 蔡希源. 松辽盆地油气田形成条件与分布规律[M]. 北京: 石油工业出版社, 1997 [Gao Ruiqi Cai Xiyuan. The Formation Conditions and Distribution of Oil and Gas Pools of Songliao Basin [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1997]
- 10 Ehrenberg S N, Nadeau P H. Formation of diagenetic illite in sandstones of the gam formation, haltenbanken area in Norwegian continental shelf [J]. Clay Minerals, 1989, 24: 233-253
- 11 Mohamed B B, Bertrand F, Benoit M. Diagenetic albittization of K-feldspar and plagioclase in sandstone reservoirs: thermodynamic and kinetic modeling [J]. Journal of Sedimentary Petrology, 1993, 63(6): 1100-1109
- 12 Saigal G C, Bjørlykke K and Larter S. The effects of oil emplacement on diagenetic processes-Examples from the Fulmar reservoir sandstones, central North Sea [J]. AAPG Bulletin, 1992, 76(7): 1024-1033
- 13 Gulyas J G, Emery D, Grant S M, *et al.* The link between petroleum emplacement and sandstone cementation [C] // Parker J R, ed. Petroleum Geology of Northwest Europe. London: Geological Society, 1993: 1395-1402
- 14 Nedkvitne T, Karlsen D A, Bjørlykke K, *et al.* Relationship between reservoir diagenetic evolution and petroleum emplacement in the Ukk Field, North Sea [J]. Marine and Petroleum Geology, 1993, 10: 255-270
- 15 Bjørlykke K, Aagaard P, Egeberg P K, *et al.* Geochemical constraints from formation water analyses from the North Sea and the Gulf Coast Basins on quartz, feldspar and illite precipitation in reservoir rocks [C] // Cubitt J M, England W A, eds. The Geochemistry of Reservoirs. Geological Society Special Publication, 1994, 86: 33-50
- 16 王琪, 史基安, 肖力新, 等. 石油侵位对碎屑储集岩成岩作用序列的影响及其与孔隙演化的关系——以塔西南石炭系石英砂岩为例 [J]. 沉积学报, 1998, 16(3): 97-101 [Wang Qi Shi Jihan Xiao Lixin *et al.* Influence of oil emplacement on diagenetic sequence of the clastic reservoir rock and its relationship to the porosity evolution: taking the Carboniferous quartz sandstone in southeast Tarim depression as an example [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1998, 16(3): 97-101]
- 17 罗静兰, 刘小洪, 林潼, 等. 成岩作用与油气侵位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): 665-673 [Luo Jinglan Liu Xiaohong Lin Tong *et al.* Impact of diagenesis and hydrocarbon emplacement on sandstone reservoir quality of the Yanchang formation (Upper Triassic) in the Ordos Basin [J]. Acta Geologica Sinica, 2006, 80(5): 665-673]
- 18 Anderson W G. Wettability literature survey-Part 1: rock/oil/brine interactions and the effect of core handling on wettability [J]. Journal of Petroleum Technology, 1986: 1125-1144
- 19 Wælehaug O. Temperature of quartz cementation in Jurassic sandstones from the Norwegian continental shelf-evidence from fluid inclusions [J]. Journal of Sedimentary Research, 1994, A64: 311-323
- 20 钟大康, 朱筱敏, 张琴, 等. 不同深埋条件下砂泥岩互层中砂岩储层物性变化规律 [J]. 地质学报, 2004, 78(6): 863-871 [Zhong Dakang Zhu Xiaomin Zhang Qin *et al.* Variation characteristics of sandstone reservoirs when sandstone and mudstone are interbedded at different buried depths [J]. Acta Geologica Sinica, 2004, 78(6): 863-871]
- 21 Pettijohn F J, Potter P E, Siever R. Sand and Sandstone (Second edition) [J]. Springer-Verlag, 1987
- 22 郑浚茂, 庞明. 碎屑储集岩的成岩作用研究 [M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1989 [Zheng Junmao Pang Ming. Study on Clastic Diagenesis [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1989]
- 23 雷怀彦, 师育新, 关平, 等. 铝硅酸盐黏土矿物对形成过渡带气的催化作用研究 [J]. 中国科学: D辑, 1997, 27(1): 39-44 [Lei Huaiyan Shi Yuxin Guan Ping *et al.* Catalysis of aluminosilicate clay minerals to the formation of the transitional zone gas [J]. Sciences in China Series D, 1997, 27(1): 39-44]
- 24 侯启军, 蒙启安, 张革, 等. 松辽盆地齐家—古龙地区扶杨油层流体包裹体特征 [J]. 石油勘探与开发, 2004, 31(4): 48-51 [Hou Qijun Meng Qian Zhang Ge *et al.* Characters of fluid inclusions in the Fuyang reservoir Qijia-Gulong area, Songliao Basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 2004, 31(4): 48-51]
- 25 曹海防, 夏斌, 张娣, 等. 松辽盆地地层水化学特征及其流体—岩石相互作用探讨 [J]. 天然气地球科学, 2006, 17(4): 566-572 [Cao Haifang Xia Bin Zhang Di *et al.* Geochemistry of formation water and its controlling factors: case studies on the Songliao Basin [J]. Natural Gas Geoscience, 2006, 17(4): 566-572]
- 26 Surlan R C, Crossey L J, Hagen E S *et al.* Organic-inorganic interaction and sandstone diagenesis [J]. AAPG Bulletin, 1989, 73(1): 1-23
- 27 蔡春芳, 梅博文, 马亭, 等. 塔里木盆地有机酸来源、分布及对成岩作用的影响 [J]. 沉积学报, 1997, 15(3): 103-108 [Cai Chunfang Mei Bowen Ma Ting *et al.* The source, distribution of organic acids in oilfield waters and their effects on mineral diagenesis in Tarim Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1997, 15(3): 103-108]
- 28 Kharaka Y K. Generation of acid anions and carbon dioxide by hydrous pyrolysis of crude oil [J]. Applied Geochemistry, 1993, 8: 317-324

Influence of Diagenesis and Hydrocarbon Emplacement on the Quality of the Fuyang Reservoir in Songliao Basin

YAN Jian-ping^{1,2} LIU Chi-yang¹ MA Yan-ping³

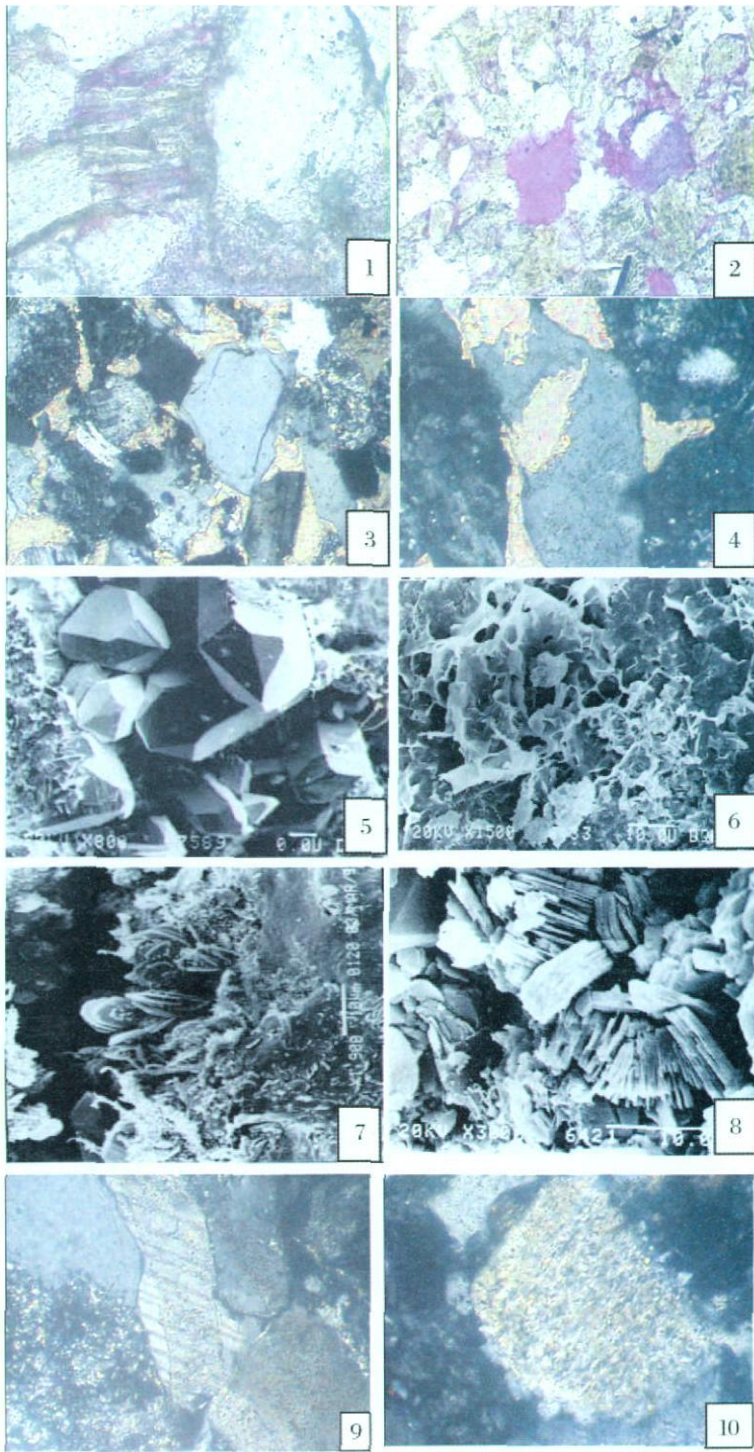
(1 State Key Laboratory of Continental Dynamics (Northwest University), Institute of Oil and Gas of Northwest University, Xi'an 710069;

2 College of Earth & Environmental Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000;

3. Institute of Petroleum Resources, Xi'an Petroleum University, Xi'an 710065)

Abstract Detailed study on the rock property, pore types, measured porosity and permeability, cement and diagenesis of sandstones of the Fuyang Reservoir in Songliao Basin indicates that the mechanical compression, cementation and dissolution are the main diagenesis types. Compression is one of the main factors reduced the reservoir quality, which resulted in 0%–22% reduction of the total porosity. Cementation also plays an important role in the loss of porosity and the major cement is calcite and quartz overgrowths. Homogenization temperature for inclusion suggests that quartz cementation and some authigenic minerals precipitation have continued after hydrocarbon emplacement during the late diagenetic phase. At the same time, the feldspar and calcite were dissolved by the organic acid liquids produced by reaction of hydrocarbon emplacement and penetrated meteoric water through the fault zones in strata, which resulted in lots of secondary porosity and contributed retention of reservoir quality of the sandstones.

Key words diagenesis, hydrocarbon emplacement, reservoir quality, Fuyang reservoir, Songliao Basin



图版 iv 说明: 1 长石内平行排列的溶蚀粒内孔, 古 95 井, 2 128.54 m, 泉四段, 砂岩 (铸体薄片, 单偏光 10×10); 2 溶蚀粒间孔, 古 59 井, 2 247.35 m, 泉四段, 砂岩 (铸体薄片, 单偏光 10×10); 3 早期石英次生加大边被方解石胶结物包裹, 古 95 井, 2 324.11 m, 泉四段, 砂岩 (正交偏光, 10×10); 4 方解石交代斜长石, 塔 15 井, 1 705.41 m, 泉三段, 砂岩 (正交偏光, 10×10); 5 孔隙中生长的自生石英, 古 431 井, 1 958.5 m, 泉四段, 灰棕色富油浸含泥粉砂岩 (扫描电镜, $\times 800$); 6 蜂巢状伊利石, 金 69 井, 1 826.5 m, 泉四段, 粉砂岩 (扫描电镜, $\times 1500$); 7 自生绿泥石, 英 331 井, 2 472.81 m, 泉四段, 褐灰色油斑粉砂岩 (扫描电镜, $\times 5000$); 8 自生高岭石, 金 69 井, 1 825.2 m, 泉四段, 油斑粉砂岩 (扫描电镜, $\times 3000$); 9 斜长石次生加大, 金 55 井, 1 922.77~1 939.79 m, 泉四段, 砂岩 (正交偏光, 10×10); 10 钾长石次生加大, 金 55 井, 1 922.77~1 939.79 m, 泉四段, 砂岩 (正交偏光, 10×10)