

文章编号:1009-3850(2011)02-0082-09

鄂尔多斯盆地志丹油田永宁探区长6储层特低渗成因及主控因素

强昆生^{1,2}, 王建民³, 冯永春³, 田新文⁴, 高亚罡⁴, 杨杰⁴, 吕修祥^{1,2}

(1. 中国石油大学地球科学学院, 北京 102249; 2. 中国石油大学 油气资源与探测国家重点实验室, 北京 102249; 3. 西安石油大学 油气资源学院, 陕西 西安 710065; 4. 延长油田股份公司永宁采油厂, 陕西 志丹 717500)

摘要: 综合应用测井资料和铸体薄片、扫描电镜、X-衍射、粒度分析等资料, 对志丹油田永宁探区长6储层的特低渗透成因和主控因素进行了分析。结果表明: 研究区长6储层特低渗透成因主要受沉积作用和成岩作用的双重影响, 主要表现为沉积微相对储层物性的影响较大。水下分流河道砂层的物性好于河口坝沉积砂体, 河口坝沉积砂体的物性好于分流间湾砂体沉积; 成岩压实作用和胶结作用使得储层物性变差, 成岩溶蚀及蚀变作用和成岩缝的产生对储层的特低渗物性的改善有积极作用。

关键词: 志丹油田; 永宁探区; 特低渗透成因; 主控因素

中图分类号: TE122.2+3

文献标识码: A

1 地质背景

鄂尔多斯盆地志丹油田永宁探区地处陕西省志丹县城南部的永宁镇境内, 区域构造位于鄂尔多斯盆地伊陕斜坡带的中部, 研究区面积约78 km² (图1)。该区构造简单, 表现为微向西倾的单斜(倾角<1°), 平均坡降7~10m/km, 在此背景上发育一系列由差异压实作用形成的低幅近东西轴向的鼻状隆起, 断层不发育。志丹油田永宁探区长6油层组储层主要为湖泊三角洲前缘水下分流河道沉积^[1~4]。

2 储层岩石学及物性特征

依据 Fork (1968) 砂岩分类划分^[5], 志丹油田永宁探区延长组长6油层组储层岩石以浅灰色、灰褐色粉-细粒岩屑长石砂岩及细-中粒长石砂岩、粉粒长石砂岩为主, 其次为细、粉粒长石岩屑砂岩(图2)。从岩石薄片镜下鉴定分析结果并按体积分数

计算, 砂岩碎屑中石英含量17.8%~56.7%, 平均为43.5%; 长石含量37.8%~59.1%, 平均为45.7%; 岩屑含量5.98%~16.77%, 平均为10.78%。其中, 变质岩屑约占4% (包括石英岩、板岩、片岩、千枚岩、变质砂岩等)、沉积岩屑约占1% (主要有白云岩、灰岩等) 以及火成岩岩屑约占2% (包括喷发岩、隐晶岩等)。

永宁探区长6储层填隙物成分含量为13.77%, 主要为粘土矿物和碳酸盐。其中泥质杂基平均含量为7.98%, 铁白云石含量2.19%、铁方解石含量1.77%、绿泥石含量1.31%、还有少量的硅质、白云石与硬石膏。

根据 X-衍射、扫描电镜等资料的对比分析, 永宁探区长6储层颗粒间的填隙物主要为自生粘土矿物、碳酸盐矿物及硅质胶结, 自生粘土矿物有高岭石、伊利石、伊/蒙间层、绿泥石、铁方解石、铁白云石等。通过扫描电子显微镜观察胶结物的产状发现, 本区长6砂岩胶结物产状主要包括绿泥石(针

收稿日期: 2010-09-22; 改回日期: 2011-04-12

作者简介: 强昆生(1980-), 男, 博士研究生, 研究方向为油气成藏机理与分布规律。E-mail: qks80@163.com

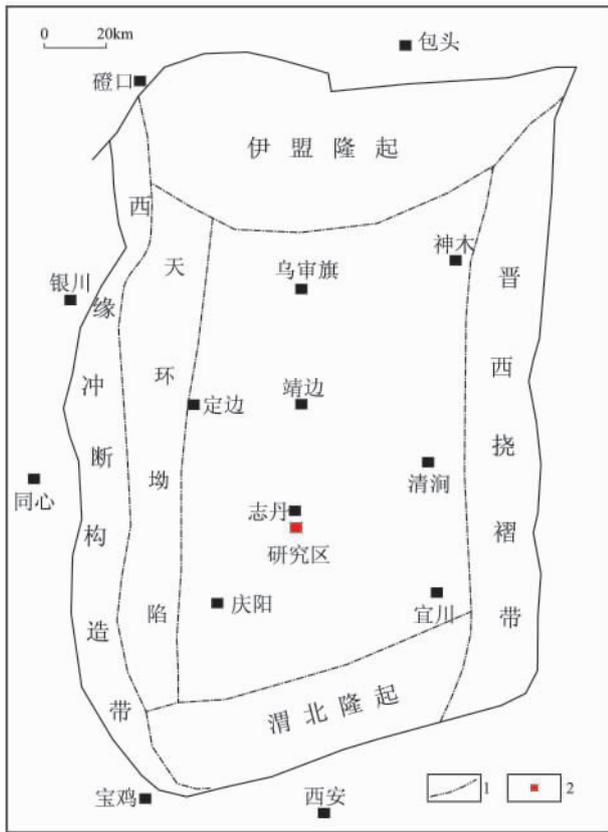


图1 鄂尔多斯盆地大地构造分区及研究区位置
1. 构造分线; 2. 研究区

Fig.1 Tectonic division of the Ordos Basin and location of the study area

1 = tectonic boundary; 2 = study area

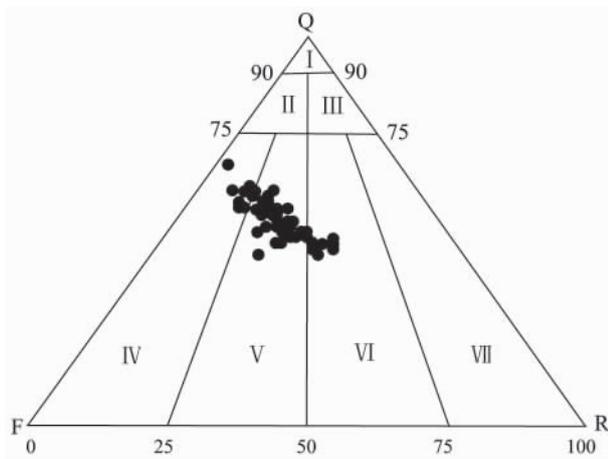


图2 长6储层砂岩成因分类图

I-石英砂岩; II-长石英砂岩; III-岩屑石英砂岩; IV-长石砂岩; V-岩屑长石砂岩; VI-长石岩屑砂岩; VII-岩屑砂岩

Fig.2 Q-F-R diagram of the Chang-6 reservoir sandstones

I = quartz sandstone; II = feldspathic quartz sandstone; III = lithic quartz sandstone; IV = arkose; V = lithic arkose; VI = feldspathic litharenite; VII = lithic sandstone

叶状、片状或朵状)、伊利石(片状、弯曲状或丝缕状)和伊/蒙混层(蜂窝状或片状)呈孔隙充填式及薄膜状包裹于颗粒表面,铁白云石、白云石被溶蚀并且填充于溶蚀孔隙中,钾长石发生溶蚀形成次生孔隙。砂岩矿物成分成熟度指数 $Q/(F+R)$ (石英/(长石+岩屑)) 平均为 0.69,反映沉积物搬运历史不长。

志丹油田永宁探区长6储层取心井岩心分析表明,该区孔隙度为 4.12% ~ 19.02%, 平均为 11.21%; 渗透率为 $0.003 \times 10^{-3} \sim 0.578 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 平均为 $0.471 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。依据陕北地区三叠系延长组储层分类标准(赵靖舟 2004),属特低渗、超低渗透储层。本区长6储层砂岩整体结构致密,风化程度以深-中为主;颗粒分选性好-中等,以粉-细粒和细粒为主,其次为粉粒和细-中粒;主要粒径 0.094 ~ 0.26mm;颗粒为次棱-次圆状为主,由于普遍受到挤压而呈定向排列,云母沿层面富集且被挤压并发生变形,具有粒序纹层。支撑类型包括颗粒支撑和无杂基支撑。颗粒的接触方式主要为点-线状接触。胶结类型主要以薄膜-孔隙式为主,包括孔隙式、薄膜式、次生加大式、孔隙-薄膜式和薄膜-孔隙式等。

3 孔隙类型与孔喉结构特征

3.1 孔隙类型

铸体薄片鉴定分析统计结果表明,永宁探区孔隙类型主要以粒间溶孔为主,还有一部分原生残余粒间孔、粒内溶孔、铸模孔和填隙物内溶孔,原生粒间孔分布比较少。其中溶蚀粒间孔含量介于 2.75% ~ 97.66%, 平均达 77.18%, 是本区长6储层最主要的次生孔隙类型。而原生残余粒间孔含量为 1.36% ~ 38.19%, 平均 9.22%, 是本区长6储层重要的原生孔隙类型;这两类孔隙平均占到总孔隙的 86.4%, 是本区长6储层的主要储集空间;另外,本区粒内溶孔、铸模孔及填隙物内溶孔在长6储层孔隙类型也占有一定比例,平均分别为 6.12%、5.34% 和 1.98%, 局部地区有微裂缝发育,约占 0.16% (图3);面孔率介于 0.21% ~ 9.77%, 最大可达 13.77%, 非均质性较强。

1. 粒内溶孔

长6储层粒内溶孔含量较少,约占总孔隙含量的 6.12% 左右;在溶蚀作用下,部分胶结物、长石碎屑和岩屑被完全溶蚀,绿泥石衬边也被部分溶蚀,从而形成粒内溶蚀孔隙。粒内溶孔以长石粒内溶蚀孔较为常见(图4 a),粒内溶孔常与粒间溶孔相

伴生,形成了粒间溶孔和粒内溶孔相连通,使储层具有良好的渗流物性,从而改善了本区长6储层物性。

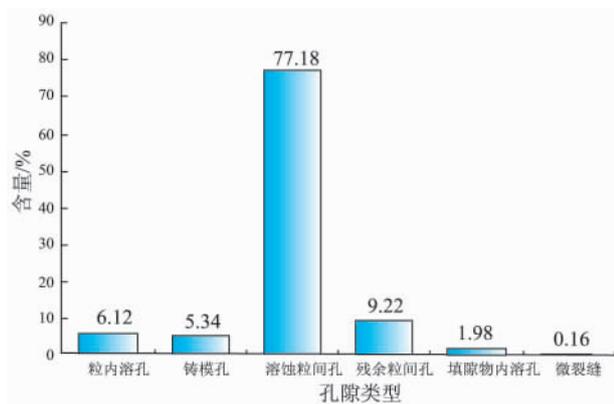


图3 永宁探区长6储层孔隙类型分布图

Fig. 3 Bar chart showing porosity types in the Chang-6 reservoirs

2. 铸模孔

研究区长6储层铸模孔含量约占总孔隙含量的5.34%左右,面孔率为6.14%;本区长6储层的溶蚀作用通常发生在成岩作用的中-晚期,由于长6储层局部层段的一些长石颗粒受溶蚀作用强烈,便形成铸模孔(图4 b)。

3. 溶蚀粒间孔

溶蚀粒间孔(图4 c)是本区长6储层最主要的储集空间,占总孔隙77.18%;长石、岩屑沿微裂缝和颗粒边缘被溶蚀形成溶蚀粒间孔次生粒间孔,主要分布在绿泥石衬边、碳酸盐胶结物发育的砂岩中。

4. 残余粒间孔

残余粒间孔是本区长6储层主要的空隙类型之一,约占总孔隙的9.22%,主要为砂岩经压实作用和胶结作用之后残留下来的粒间孔隙,残余粒间孔喉道较粗,并且孔喉连通性及渗流体条件较好(图4 d)。

3.2 孔隙结构

1. 孔隙图像特征

通过对研究区样品的铸体薄片孔隙特征图像分析发现,本区长6储层平均孔隙半径在11.32~24.56 μm 之间,平均为17.12 μm ,喉道宽度主要分布在6.19~18.12 μm 之间,平均值为11.56 μm ,面孔率平均值在3.1%左右。

2. 孔喉结构特征

压汞图像资料显示:本区长6储层毛管压力曲线以平缓型为主。孔喉分选中等到差,中值半径一般在0.04~0.97 μm 之间,平均值为0.0687 μm ,驱压力多分布在0.2~8.2MPa之间,中值压力分布

在1.0822~30.6778MPa之间,平均值为10.11MPa,本区长6储层属于中-小孔细喉型和小孔微喉型储层。

3. 填隙物内溶孔

填隙物内溶孔含量约占总孔隙含量的1.98%左右,次生石英晶体被伊利石和高岭石溶蚀,使胶结物内孔隙发育(图4 e)。

4. 微裂缝

本区微裂缝不太发育,约占总孔隙的含量的0.16%;储层砂岩因构造作用和成岩收缩作用发生挤压,使片状云母发生蚀变形形成层间张开性微裂缝(图4 f)。

4 特低渗透成因影响因素分析

4.1 沉积环境

沉积环境是影响储层储集性能的地质因素,不同的沉积微相类型由于形成时的水动力条件和沉积方式的不同,导致储层特征和储集性能的差异^[6,7]。长6沉积时期,主要发育三角洲前缘亚相,空间上发育近北东南西向水下分流主河道,由于河流侧向迁移,砂体连片较好,位于分流河道及河口坝复合沉积的砂体储层物性较好。水下分流河道微相自然电位曲线和自然伽马曲线形态以箱型、钟型为主;河口坝微相自然电位曲线单个河口坝呈漏斗状,而且顶部曲线突变,底部为过渡形,多个河口坝叠加从而形成向下收缩的斜锥状或数个向上加大的漏斗状,而自然伽马曲线呈反台阶状或锯齿状(图5)。

根据测井解释资料分析综合统计,水下分流河道微相渗透率值介于0.023~6.10 $\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ 之间,平均值为0.56 $\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$,孔隙度介于4.26%~17.98%,平均值为11.22%;河口坝微相渗透率值介于0.007~6.07 $\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ 之间,平均值为0.49 $\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$,孔隙度介于3.68%~18.21%,平均值为7.52%;分流间湾微相渗透率值介于0.016~4.45 $\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ 之间,平均值为0.36 $\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$,孔隙度介于3.28%~18.21%,平均值为4.13%;从以上分析可以看出,沉积相带对储层物性的影响较大(表1),主要表现为水下分流河道砂层的物性好于河口坝沉积砂体,河口坝沉积砂体的物性好于分流间湾砂体沉积。形成这一差异的主要原因是沉积环境及其沉积作用。

4.2 粒度结构和成分成熟度

永宁探区长6储层岩性较为致密,结构成熟度

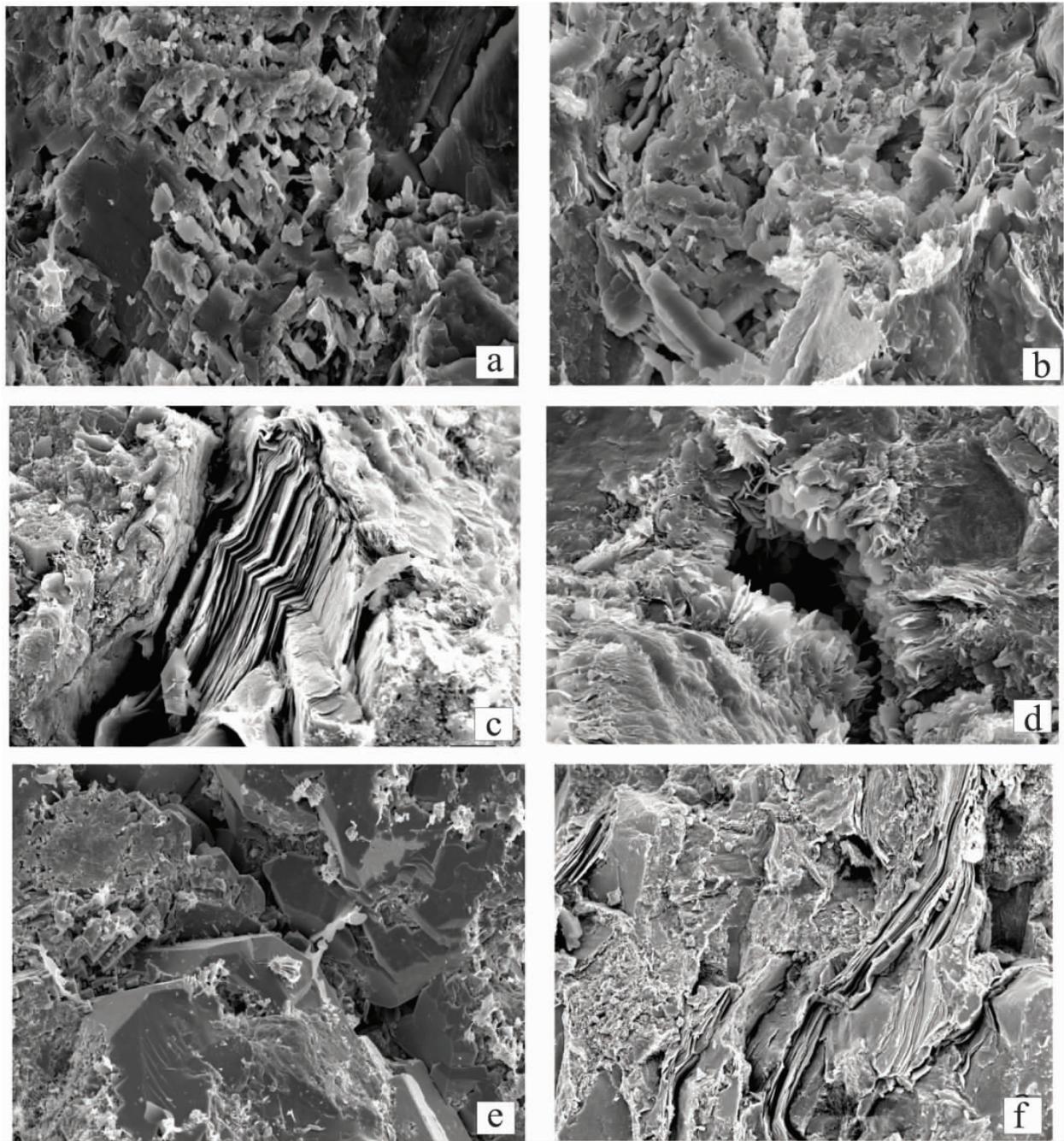


图4 扫描电镜图片

a. S992 井长石颗粒溶蚀形成次生粒内溶蚀孔, 1322.14m, 长 6^2 ; b. S149 井长石颗粒受强烈溶蚀形成铸模孔, 粒间见衬垫式胶结的片状伊利石, 1501.64m, 长 6^3 ; c. S882 井, 岩石颗粒间多被泥质等充填, 粒间孔隙较发育, 1519.25m, 长 6^4 ; d. S149 井残留粒间孔, 孔隙部分被绿泥石充填, 长 6^2 , 1355.22m; e. S149 井石英次生加大, 次生石英晶体被伊利石和高岭石溶蚀, 充填物孔隙发育, 长 6^2 , 1355.92m; f. S149 井, 岩石颗粒间多被云母片充填, 并见其挤压弯曲发生形变, 产生微裂缝, 裂缝被伊利石少量的沥青充填, 1513.85m, 长 6^3

Fig. 4 SEM pictures showing porosity types in the Chang-6 reservoirs

a. Secondary intragranular solution openings caused by the dissolution of feldspar grains at the depth of 1322.14 m of Chang- 6^2 reservoirs through the S992 well; b. Cast pores caused by the highly dissolution of feldspar grains at the depth of 1501.64 m of Chang- 6^3 reservoirs through the S149 well; c. Intragranular solution openings at the depth of 1519.25 m of Chang- 6^4 reservoirs through the S882 well; d. Residual intergranular solution openings at the depth of 1355.22 m of Chang- 6^2 reservoirs through the S149 well; e. Interstitial pores at the depth of 1355.92 m of Chang- 6^2 reservoirs through the S149 well; f. Microfissures at the depth of 1513.85 m of Chang- 6^3 reservoirs through the S149 well

较低,本区储层的粘度以细砂为主,粘土、粉砂与中砂有少量分布(表2)。通过对研究区不同粒径岩性样品孔、渗性的对比发现,粒度越细,其孔隙度和渗

透率越低,反之,则越高。可见粒度与特低渗透成因关系密切。

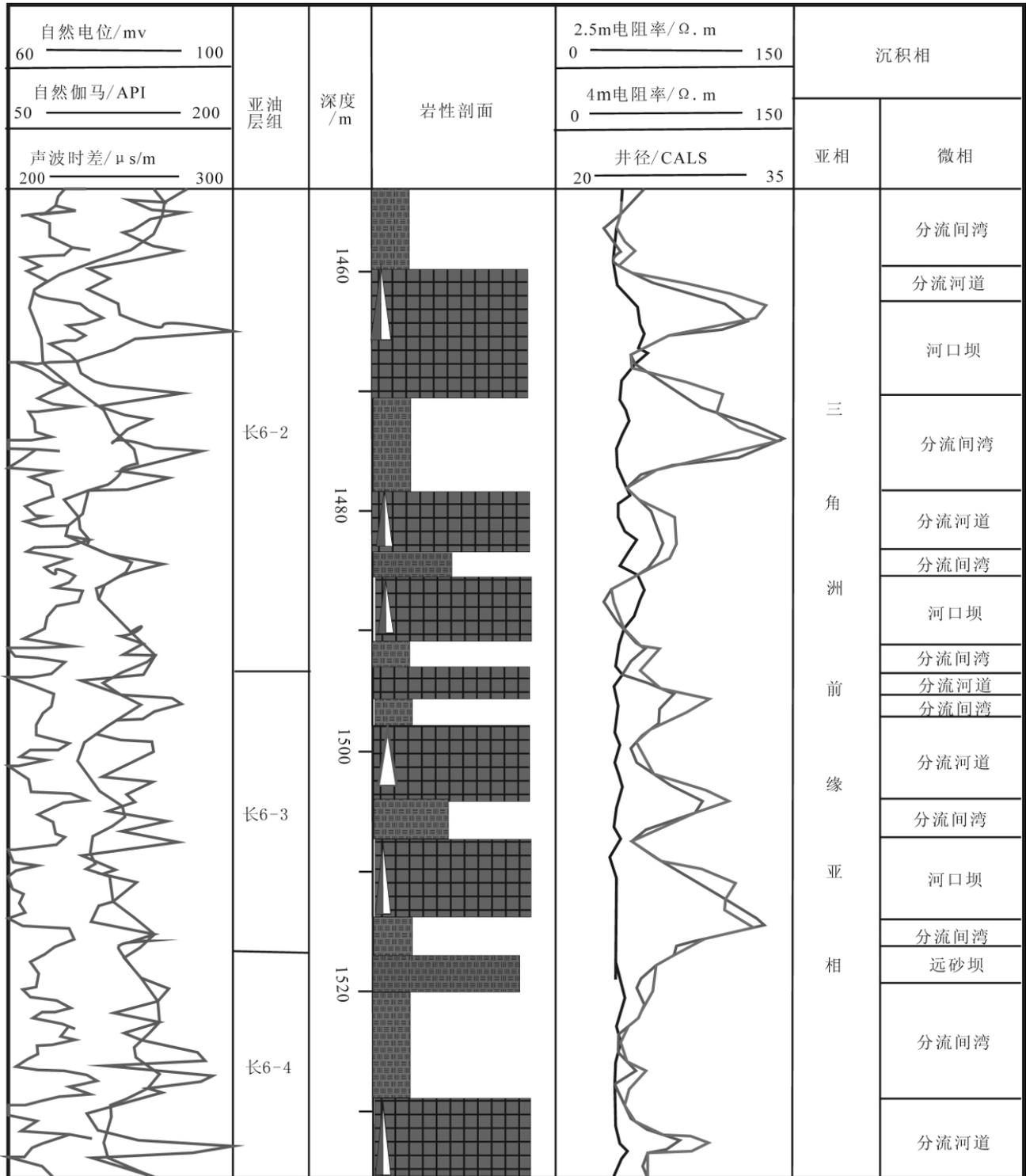


图5 志丹油田永宁探区长6油层组沉积微相纵向组合特征图(据S896井)

Fig.5 Sedimentary microfacies in the Chang-6 oil measures in the Yongning prospect area (S896 well)

表 1 志丹油田永宁探区不同沉积微相对应平均孔隙度和渗透率对比表

Table 1 Average porosity and permeability in individual sedimentary microfacies in the Yongning prospect area

沉积微相	水下分流河道	河口坝	分流间湾
渗透率 / $\times 10^{-3} \mu\text{m}^2$	0.56	0.49	0.36
孔隙度 / %	11.22	7.52	4.13
样品数	46	33	51

表 2 志丹油田永宁探区长 6 储层粒度分布对比统计表

Table 2 Statistics of different grain size contents in the Chang-6 oil measures in the Yongning prospect area

粒度分布	粗砂($0 < \Phi \leq 1$)	细砂($0 < \Phi \leq 2$)	中砂($2 < \Phi \leq 4$)	粉砂($4 < \Phi \leq 5$)	粘土($\Phi > 5$)
含量%	0.1	3.66	86.37	8.57	1.3

储层的成分成熟度对储层的物性有一定控制作用。通常,储集岩的物性与石英碎屑的含量呈正相关关系^[8]。永宁探区长 6 储层砂岩石英含量 17.8% ~ 56.7%, 平均为 43.5%, 长石含量为 37.8% ~ 59.1%, 平均为 45.7%。石英含量比长石含量低; 由于石英颗粒骨架有较强的抗压实作用, 使得原生孔隙能得以最好地保留, 而永宁探区石英含量较低, 由此可见, 该井区的特低渗成因与石英含量低有一定的关系。

4.3 构造作用

裂缝的形成主要与非均质性岩层的水平构造挤压、埋藏和隆起剥蚀等造成的多期应力作用有关^[9]。根据研究区岩心观察、薄片鉴定和扫描电镜发现, 永宁探区长 6 储层岩石较为致密, 岩石中不均匀分布有裂缝; 裂缝走向主要为 E-W 和 NW-SE 向, 宽度小于 0.02mm 多被自生粘土矿物、方解石和少量的沥青半充填(图 4 f)。对于低孔、低渗地层, 裂缝能够改善储集层物性, 特别是对渗透率的影响; 裂缝还在一定程度上加强了岩石孔隙之间的连通状况, 使孔隙组合表现为裂缝-孔隙型, 增大了岩石渗透率。改善了致密岩石的渗透性^[10-11]。

4.4 成岩作用

1. 机械压实作用

永宁探区长 6 储层砂岩经历了中等强度的压实作用, 常见的压实现象包括: 塑性的云母碎片和泥质碎屑发生挠曲和挤压变形, 形成假杂基, 刚性颗粒断裂, 反映碎屑颗粒变形显著(图 6a)。砂岩碎屑颗粒间的接触关系以线接触、点-线接触和点接触为主; 铸体薄片碎屑颗粒定向排列, 随着埋深的加大, 机械压实作用使碎屑颗粒由游离状、点接触状逐步调整为线接触状, 造成粒间孔隙的大量损失, 压实作用的最终结果是使粒间孔隙体积减小, 大大降低了储层的孔隙度。

2. 胶结作用

胶结作用是永宁探区长 6 储集层普遍发生的一种成岩作用, 也是使长 6 储层物性变差的重要原因之一(图 6)。胶结物的类型包括碳酸盐类、硅质、泥质和长石质等。除了成岩早期形成的绿泥石黏土薄膜及长石、石英的次生加大外, 还有晚成岩阶段早期自生矿物的析出作用, 胶结物主要为方解石及硅质, 部分砂岩中见浊沸石、伊蒙混层胶结物。胶结物充填孔隙, 堵塞喉道, 是导致砂岩孔隙度减小、渗透率降低的主要原因之一。

3. 交代作用

交代作用是在两颗粒之间的溶液膜中进行的, 溶解物质通过薄膜带出, 而交代物质通过它带入替代被溶物质而沉淀, 其结果可以使原有孔隙被充填, 也可以造成次生孔隙^[5, 13-15]。永宁探区长 6 储层砂岩的交代作用主要表现为碳酸盐矿物对不稳定组分的交代, 包括方解石、白云石, 少量铁方解石及铁白云石交代碎屑颗粒等现象; 砂岩薄片鉴定中常见以下交代现象: ①碳酸盐胶结物对长石、岩屑、云母等颗粒的交代; ②岩石颗粒表面被针叶状绿泥石等包裹, 白云石自形晶分布于孔隙及颗粒表面, 并交代碎屑颗粒(图 6g); ③长石局部被粘土质及碳酸盐矿物交代等。交代作用影响孔隙之间的连通性, 从而阻止油气进一步运聚和成藏。

4. 溶蚀作用

本区长 6 油层组砂岩储层的溶蚀作用是形成次生孔隙的关键原因, 对改善砂岩储层的储集性能起到了积极作用, 属于建设性成岩作用。本区长 6 砂岩被溶蚀组分主要有长石、云母等碎屑的溶蚀和碳酸盐胶结物的溶蚀以及长石、火山岩与变质岩的蚀变, 其中最主要是长石溶蚀。次生溶孔(主要为粒间溶孔和粒内溶孔)是本区长 6 砂岩的主要储集空间, 占总孔隙的 88.26%; 溶蚀作用主要表现为碎屑

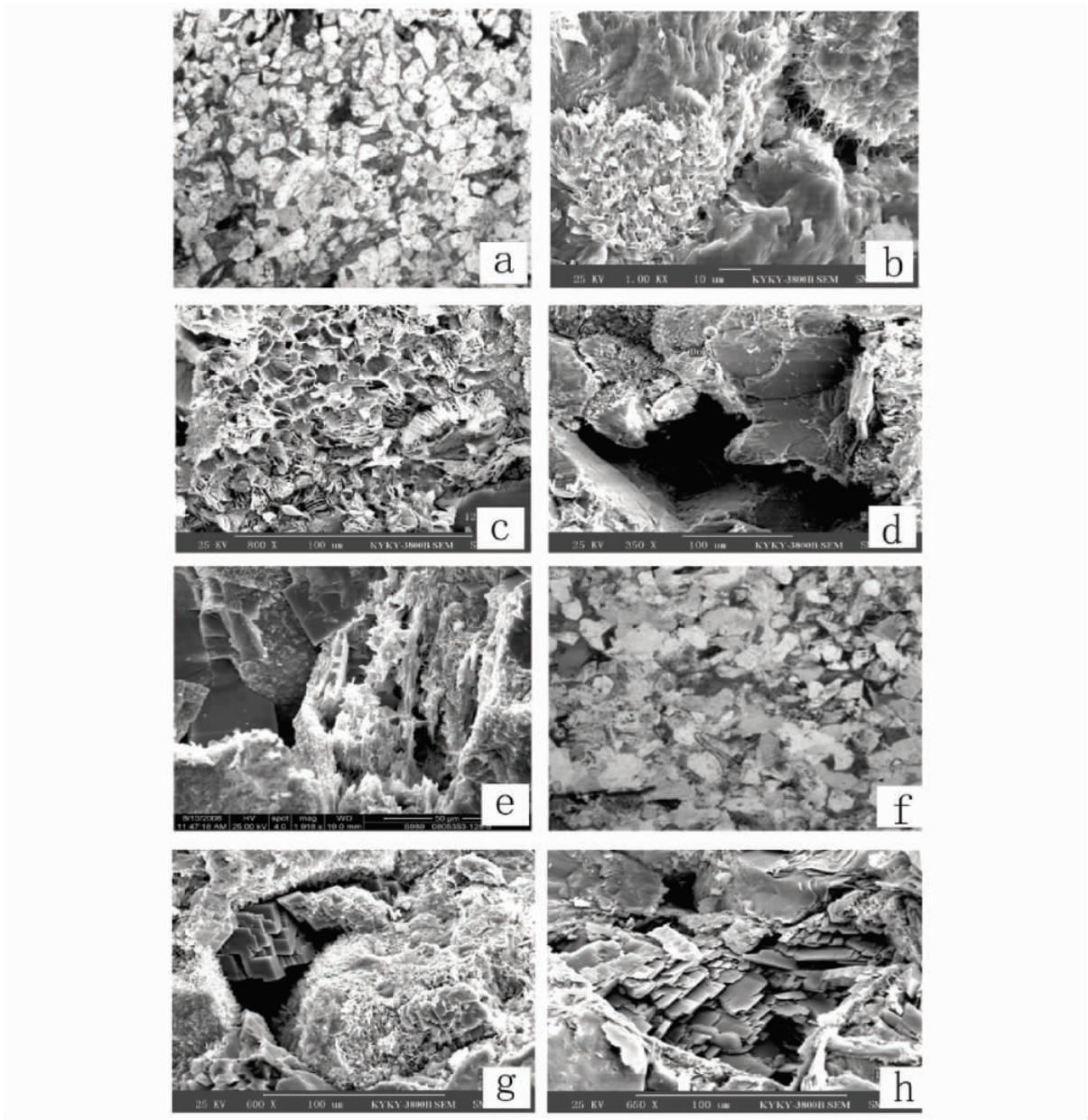


图6 扫描电镜图片

a. S994 井, 岩石受机械压实作用, 颗粒呈定向排列, 1355.82m, 长 6^2 ; b. S882 井, 颗粒间被片状伊利石充填, 丝状伊利石呈搭桥式分布, 1550.86m, 长 6^3 ; c. S882 井, 颗粒间充填的蜂窝状伊/蒙混层及叶片状绿泥石和少量伊利石, 1525.03m, 长 6^2 ; d. S882 井, 颗粒间被针叶状自生绿泥石及白云石自形晶充填, 1547.3m, 长 6^3 ; e. S989 井, 长石溶蚀, 形成次生孔; 粒间孔分布方解石和白云石, 1500.36m, 长 6^3 ; f. S882 井, 岩石内孔隙分布不均匀, 局部连通性差, 常见石英次生加大, 加大边宽 0.01~0.03mm, 1541-1550.56m, 长 6^3 ; g. S882 井, 岩石颗粒表面被针叶状绿泥石等包裹, 见白云石自形晶分布于孔隙及颗粒表面, 并交代碎屑颗粒, 1552.06m, 长 6^3 ; h. S882 井, 孔隙以溶孔为主, 粒间及长石粒内溶蚀孔较发育, 1554.6m, 长 6^3 。

Fig. 6 SEM pictures showing the effects of diagenesis on the extra-low permeability of the Chang-6 oil measures in the Yongning prospect area

a. Mechanical compaction at the depth of 1355.82 m of the Chang- 6^2 reservoirs through the S994 well; b. Filling of the clay mineral illite at the depth of 1550.86 m of the Chang- 6^3 reservoirs through the S882 well; c. Filling of illite-montmorillonite beds at the depth of 1525.03 m of the Chang- 6^2 reservoirs through the S882 well; d. Filling of authigenic chlorite and dolomite at the depth of 1547.3 m of the Chang- 6^3 reservoirs through the S882 well; e. Dissolution of feldspar giving rise to the formation of secondary porosity at the depth of 1500.36 m of the Chang- 6^3 reservoirs through the S989 well; f. Quartz secondary overgrowth at the depth of 1541-1550 m of the Chang- 6^3 reservoirs through the S882 well; g. replacement of detrital grains by dolomite at the depth of 1552.06 m of the Chang- 6^3 reservoirs through the S882 well; h. Dissolution of feldspar at the depth of 1554.6 m of the Chang- 6^3 reservoirs through the S882 well

颗粒(长石、岩屑)的溶蚀和填隙物(方解石、粘土矿物)的溶蚀,以长石碎屑的溶蚀最为常见(图6h)。长石、岩屑沿其解理缝、微裂缝及颗粒边缘被溶蚀形成溶蚀粒间孔;局部区域的长石颗粒等受溶蚀强烈,形成铸模孔;部分长石、易溶岩屑内部受溶蚀形成粒内溶孔,也进一步促进和改善孔隙喉道的发育及孔喉间的连通性。

5 结论

(1) 研究区长6储层岩性致密,结构成熟度低,是造成研究区储层低孔、特低渗的内因;

(2) 研究区长6储层孔隙类型主要以粒间溶孔为主,还有部分原生残余粒间孔、粒内溶孔、铸模孔和填隙物内溶孔,原生粒间孔分布比较少;孔喉结构类型属于中-小孔细喉型和小孔微喉型。

(3) 长6储层特征受到沉积作用和成岩作用的共同影响。水下分流河道砂层的物性好于河口坝沉积砂体,河口坝沉积砂体的物性好于分流间湾砂体沉积。在分流河道主砂体内,砂体中心部位储层物性较好,自主砂体带向两侧储层物性逐渐变差,形成这一差异的主要原因是沉积环境和沉积作用的结果;表明沉积相带对储层物性的好坏起一定控制作用。

(4) 成岩因素是影响该区储集性能的主要因素。压实作用使研究区长6储集层的原始孔隙度减少;各种胶结作用使砂岩物性进一步降低;成岩溶蚀及蚀变作用产生的次生孔隙以及成岩微裂缝的产生对该区低孔、特低渗物性的改善起到了一定的积极作用。

参考文献:

- [1] 王建民. 鄂尔多斯盆地南部中生界大中型油田形成条件与勘探策略[J]. 石油勘探与开发, 2006, 33(2): 145-149.
- [2] 武富礼, 李文厚, 李玉宏, 等. 鄂尔多斯盆地上三叠统延长组三角洲沉积及演化[J]. 古地理学报, 2004, 6(3): 307-315.
- [3] 王建民. 陕北志丹地区长6—长2油层组水退型三角洲沉积演化特征[J]. 石油勘探与开发, 2008, 35(2): 182-187.
- [4] 何自新, 费安琦, 王同和, 等. 鄂尔多斯盆地演化与油气[M]. 北京: 石油工业出版社, 2003.
- [5] 赵澄林, 朱筱敏. 沉积岩石学(第三版)[M]. 北京: 石油工业出版社, 2001.
- [6] 李道品. 低渗透砂岩油田开发[M]. 北京: 石油工业出版社, 1997.
- [7] 李杰, 王凤琴, 冷丹凤. 鄂尔多斯盆地青平川油田长4+5储层特征与储层发育影响因素分析[J]. 天然气勘探与开发, 2010, 33(1): 7-11.
- [8] 高静乐, 宋广寿, 高辉, 等. 西峰油田庄40区块长6储层特低渗透成因与主控因素[J]. 沉积学报, 2008, 26(4): 640-645.
- [9] 曾联波, 李忠兴, 史成恩, 等. 鄂尔多斯盆地上三叠系延长组特低渗透砂岩储层裂缝特征及成因[J]. 地质学报, 2007, 81(2): 174-179.
- [10] 张小莉, 冯乔, 程玉群. 志丹探区延长组储集裂缝特征及其意义[J]. 西北地质, 1998, 19(3): 24-27.
- [11] 袁海科, 郝世彦, 张文忠. 延长油田志丹西区延长组天然裂缝发育规律研究[J]. 西安石油大学学报(自然科学版), 2009, 24(5): 46-49.
- [12] 李凤杰, 王多云, 徐旭辉. 鄂尔多斯盆地陇东地区三叠系延长组储层特征及影响因素分析[J]. 石油试验地质, 2005, 27(4): 365-370.
- [13] 窦伟坦, 田景春, 徐小蓉, 等. 陇东地区延长组长6—长8储层成岩相研究[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2005, 32(2): 129-132.
- [14] 王晓杰, 彭仕宓, 赵文光. 长庆白豹油田低渗透储层成岩作用及成岩储集相研究[J]. 沉积与特提斯地质, 2010, 30(1): 44-48.
- [15] 冷丹凤, 王小军, 陈堂锁, 等. 安塞油田王侯杏坪地区长6下段沉积微相特征与油气分布[J]. 沉积与特提斯地质, 2010, 30(1): 49-53.

Origin of extra-low permeability and controlling factors of the Chang-6 reservoirs in the Yongning prospect area , Zhidan Oil Field , Ordos Basin

QIANG Kun-sheng^{1,2} , WANG Jian-min³ , FENG Yong-chun³ , TIAN Xin-wen⁴ , GAO Ya-gong⁴ , YANG Jie⁴ , LU Xiu-xiang^{1,2}

(1. *College of Geosciences , China University of Petroleum , Beijing 102249 , China*; 2. *State Key Laboratory of Petroleum Resources and Exploration , China University of Petroleum , Beijing 102249 , China*; 3. *College of Oil and Gas Resources , Xi'an University of Petroleum , Xi'an 710065 , Shaanxi , China*; 4. *Yongning Oil Production Plant , Yanchang Oil Field Co. Ltd. , Zhidan 717500 , Shaanxi , China*)

Abstract: The present paper gives a detailed description of the origin of extra-low permeability and controlling factors of the Chang-6 reservoirs in the Yongning prospect area , Zhidan Oil Field , Ordos Basin on the basis of well logs , cast sections , SEM , X-ray diffraction and grain-size analysis. The results of research show that both sedimentation and diagenesis , especially the sedimentary microfacies have an important effect on extra-low permeability of the Chang-6 reservoirs. In general , the porosity and permeability in the subaqueous distributary channel sandstones are better than those in the channel mouth bar sandstones , which in turn are better than those in the interdistributary bay sandstones. The compaction and cementation tend to be destructive to the development of the porosity and permeability , whereas diagenetic dissolution , alteration and fissures tend to be constructive to the improvement of the porosity and permeability of the reservoirs.

Key words: Zhidan Oil Field; Yongning prospect area; origin of extra-low permeability; controlling factor