

奈曼旗凹陷奈 1 区块九佛堂组储层特征

丁 枫¹ 丁朝辉²

1. 成都理工大学地球科学学院 2. 中国石油辽河油田公司勘探开发研究院

丁枫等. 奈曼旗凹陷奈 1 区块九佛堂组储层特征. 天然气工业, 2012, 32(12): 37-43.

摘 要 为扩大油气勘探开发领域, 中国石油辽河油田公司已将其工作范围延展到辽河油田的外围盆地。其中, 开鲁盆地奈曼旗凹陷奈 1 区块下白垩统九佛堂组上段具备良好的生储条件, 油气勘探开发潜力较大, 但针对该区主力产层九佛堂组上段的沉积相和储层特征仍缺乏深入细致的研究, 制约了油气开发工作的快速推进。为此, 基于前人的研究成果, 结合岩心分析化验、钻井、测井等资料, 对九佛堂组储层进行了综合研究。结果认为: ①奈 1 区块九佛堂组上段属扇三角洲沉积体系, 可划分出扇三角洲前缘亚相以及分流间湾、分流河道侧缘、河口坝和下水分流河道等沉积微相; ②储层孔隙类型主要为溶孔和残余粒间孔, 微孔也占一定比例, 整体上属中—低孔隙度、低—特低渗透率储层; ③沉积微相、岩性和成岩作用控制储层发育, 其中下水分流河道为最有利的储集相带, 其次为河口坝; ④长石、石英次生加大以及自生矿物充填作用对储层起破坏作用; ⑤次生溶蚀作用虽对储层发育有利, 但贡献不大。

关键词 开鲁盆地 奈曼旗凹陷 早白垩世 沉积相 储集层特征 控制因素 中国石油辽河油田公司

DOI: 10.3787/j.issn.1000-0976.2012.12.007

奈曼旗凹陷为辽河油田外围盆地——开鲁盆地西南侧的一个次级负向构造单元, 东至章古台凸起, 紧邻八仙筒凹陷; 西北到达与张三园子—新庙凹陷相望的乌兰尔格—东三义井凸起。一组近南北向主干断层将奈 1 区块由西向东分成多个条带, 而后期北东向断层对主干断层具切割作用, 最终形成九佛堂组上段特有的南陡、北缓正向不完整断裂背斜构造, 总面积约 17.9 km² (图 1)。该凹陷白垩纪构造演化经历了初始断裂期、快速断陷期、稳定沉积—萎缩期和拗陷期 4 个发育阶段, 下白垩统九佛堂组沉积受快速断陷期构造活动控制, 主要接受来自北东方向的物源, 具备良好的生储条件, 油气勘探开发潜力较大^[1-2]。近年来针对该区块九佛堂组已先后开展了储层评价和油气水分布规律确定^[3]、层序地层格架建立和有利区块预测^[4]、油气层测井解释^[5]等研究, 但针对主力产层九佛堂组上段的沉积相和储层特征仍缺乏深入细致的研究, 这也是辽河油田外围盆地油气开发急需解决的问题之一。笔者基于前人的研究成果, 结合地质地表露头、岩心、测井等资料, 对奈曼旗凹陷奈 1 区块九佛堂组上段的岩石学、沉积

相、储集空间类型、物性及孔隙结构特征等进行了研究, 以查明奈曼旗凹陷沉积相发育特征和储层特征, 为辽河油田外围盆地的油气勘探开发提供地质依据^[1, 6]。

1 沉积相特征

1.1 岩石学特征

奈曼旗凹陷奈 1 区块九佛堂组上段岩性主要为浅灰色砂砾岩、砾状砂岩、含砾不等粒砂岩、粗砂岩、细砂岩、粉砂岩等。其中砂砾岩中砾石含量超过 60%, 粒径为 2~5 mm; 砂岩含量占 35%, 碎屑颗粒以长石为主, 石英次之。砾状砂岩中砂质含量为 60%, 以细砂为主, 骨架颗粒以长石为主, 石英次之。含砾不等粒砂岩中砾石含量为 10%, 粒径为 3~4 mm; 砂岩含量为 85%, 中—细粒结构, 碎屑颗粒以石英为主, 长石次之。粗—细砂岩中骨架颗粒以石英为主, 次为长石。以上几种岩性中都见深色矿物, 碎屑颗粒呈次圆—次棱角状, 分选中等, 孔隙型胶结, 颗粒支撑, 线接触或点—线接触, 镜下可见淋滤缝、残余粒间孔、溶蚀孔洞、石英次生加大等现象。

基金项目: 国家重点(培育)学科(矿物学、岩石学、矿床学)建设基金资助项目(编号: SZD0407)。

作者简介: 丁枫, 1973 年生, 讲师, 博士研究生; 主要从事矿物学、矿床学、沉积学方面的教学和科研工作。地址: (610059) 四川省成都市二仙桥东三路 1 号成都理工大学地球科学学院。电话: 13882290589, 18602852455。E-mail: 22847785@qq.com

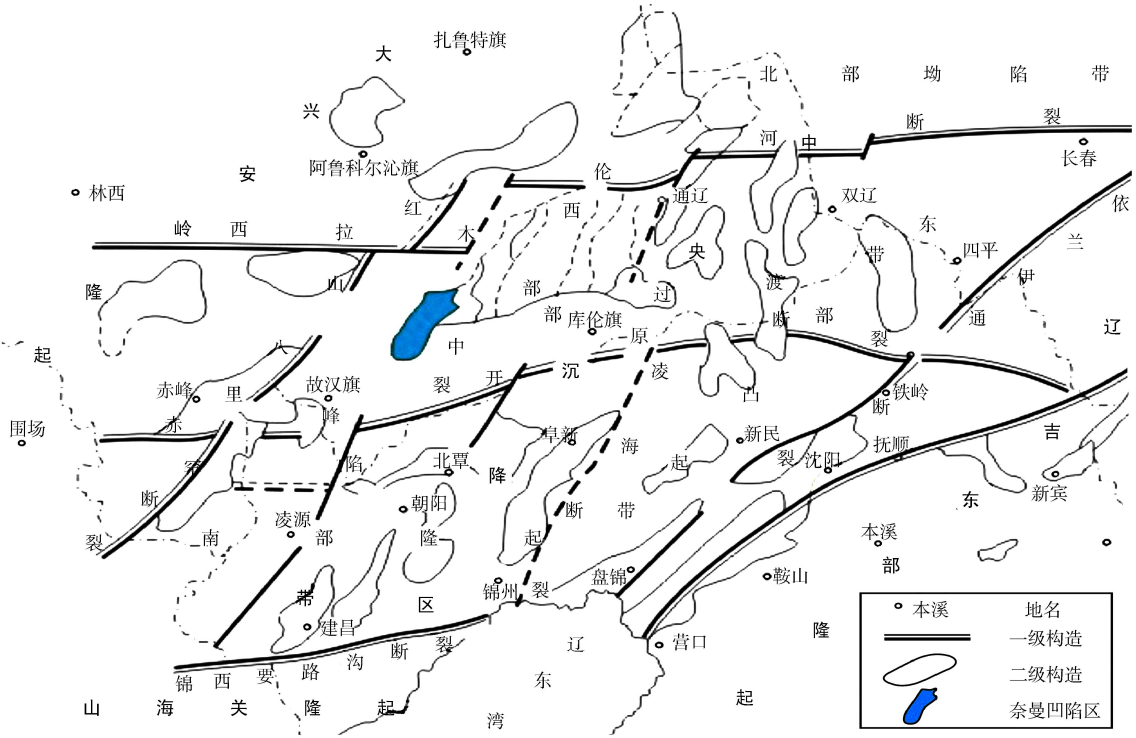


图1 奈曼旗凹陷区域构造位置图

1.2 粒度特征

受搬运介质、搬运方式、沉积环境等因素影响,研究区下白垩统九佛堂组上段粒度概率曲线主要以悬浮

组分及跳跃的两段式组合为主,三段式(滚动、跳跃和悬浮)组合次之(图2)。统计发现:单段弧形占34%,表示水动力较强的情况下,不同粒径的颗粒在水流中

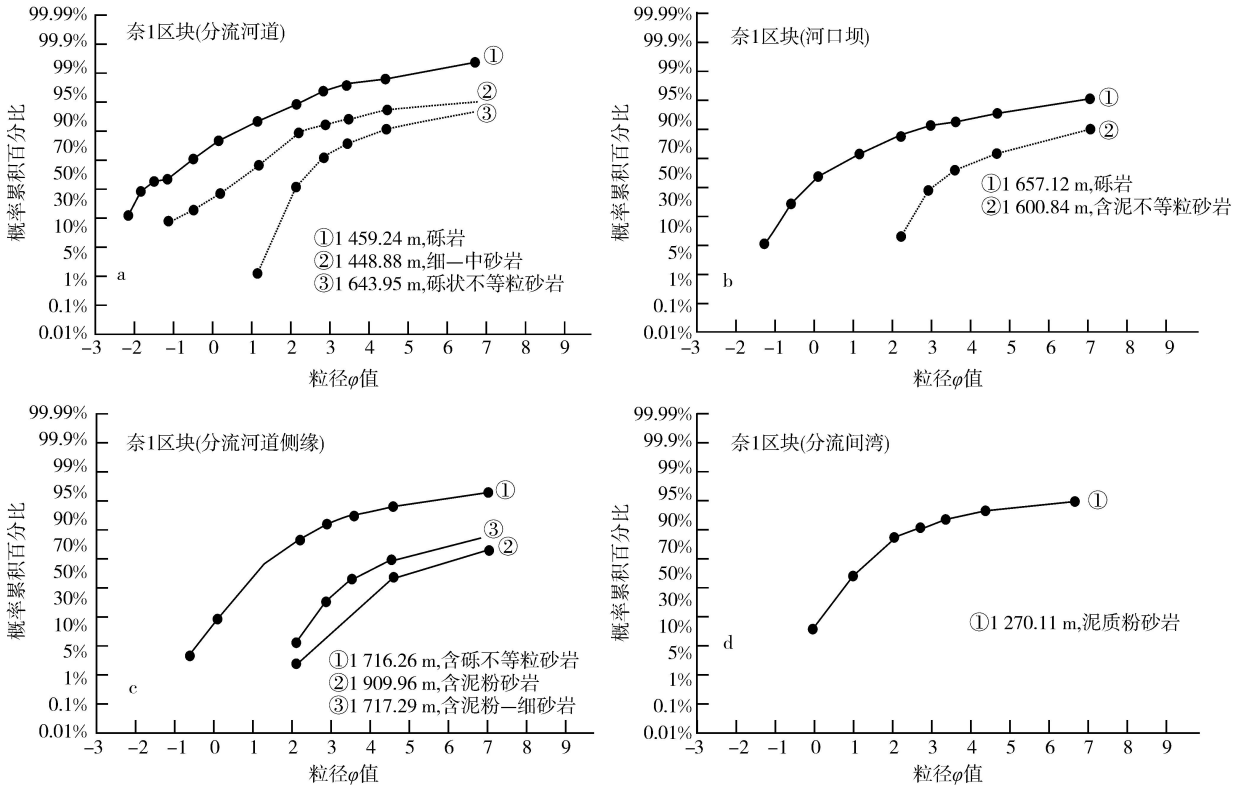


图2 奈1区块九佛堂组上段粒度概率累积曲线图

悬浮搬运而沉积下来的砂体;两段式占 46%,由跳跃总体和悬浮总体组成,跳跃搬运的方式在中等强度的水流中较常出现,在动荡的水中或流水中容易对颗粒进行分选,因此跳跃总体是沉积样品中分选最好的组分,构成分支河道砂体的主体;三段式占 20%,其实是由两个跳跃总体组成的假三段式,在有波浪冲刷回流作用的情况下,跳跃总体发育为两个粒度次总体,表现为两个相交的直线段,呈大的钝角相交。

1.3 沉积构造特征

奈曼旗凹陷奈 1 区块九佛堂组上段沉积构造包括:均质层理、递变层理、板状交错层理、平行层理、浪成沙纹层理、槽状交错层理等(图 3)。均质层理和递变层理主要见于扇三角洲水下分流河道底部,大型板状交错层理在扇三角洲水下分流河道中部沉积中最典型,平行层理常与交错层理共生,出现在水下分流河道中部,浪成沙纹交错层理主要出现在三角洲前缘水下分流河道侧缘或河口坝中,变形构造在研究区主要见球枕构造和包卷变形层理,主要位于分流间湾、水下分流河道侧缘等相带,而大型槽状交错层理常发育于水下分流河道中下部,层系底界常见冲刷面和泥砾。

综合分析研究区及邻区野外实测地质剖面、钻井、岩心、录井^[6-7]、分析化验、电性特征等资料,研究认为,下白垩统九佛堂组上段属扇三角洲前缘沉积,可进一步划分出 4 类沉积微相:水下分流河道、河口坝、水下分流河道侧缘、分流间湾,以下分述之。

1.3.1 水下分流河道

该微相在整个扇三角洲沉积中占有相当重要的地位。以长石质岩屑砂岩、砾状—含砾不等粒岩屑砂岩、砾岩等岩性为主,河道底部粒度曲线为单段弧形,中上部为两段式或三段式(图 2-a)。垂向上反粒序较少,以不完整的正粒序为主;冲刷面见于河道底部,发育块状砾岩,块状或正粒序砾状—含砾、含泥不等粒砂岩;中部发育槽状、板状、平行交错层理;顶部渐变—突变,见小型低角度交错层理、波状交错层理;自然电位曲线负异常幅度一般为 7~30 mV,与电阻曲线一起呈现出齿化钟形和箱形,视电阻率值为 30~80 Ω·m^[8-11](图 3)。水下分流河道微相垂向上呈透镜状、平面上呈长条带状展布。

1.3.2 河口坝

该沉积微相位于水下分流河道之前方,虽沿水流方向向湖盆中央发展,但沉积范围较小,规模较小,与正常三角洲河口坝相比含砂量较高。岩性为细砂—粗砂,分选较好,发育小型交错层理、平行层理和逆粒序层理,偶见板状交错层理;粒度曲线呈段式(图 2-b)。

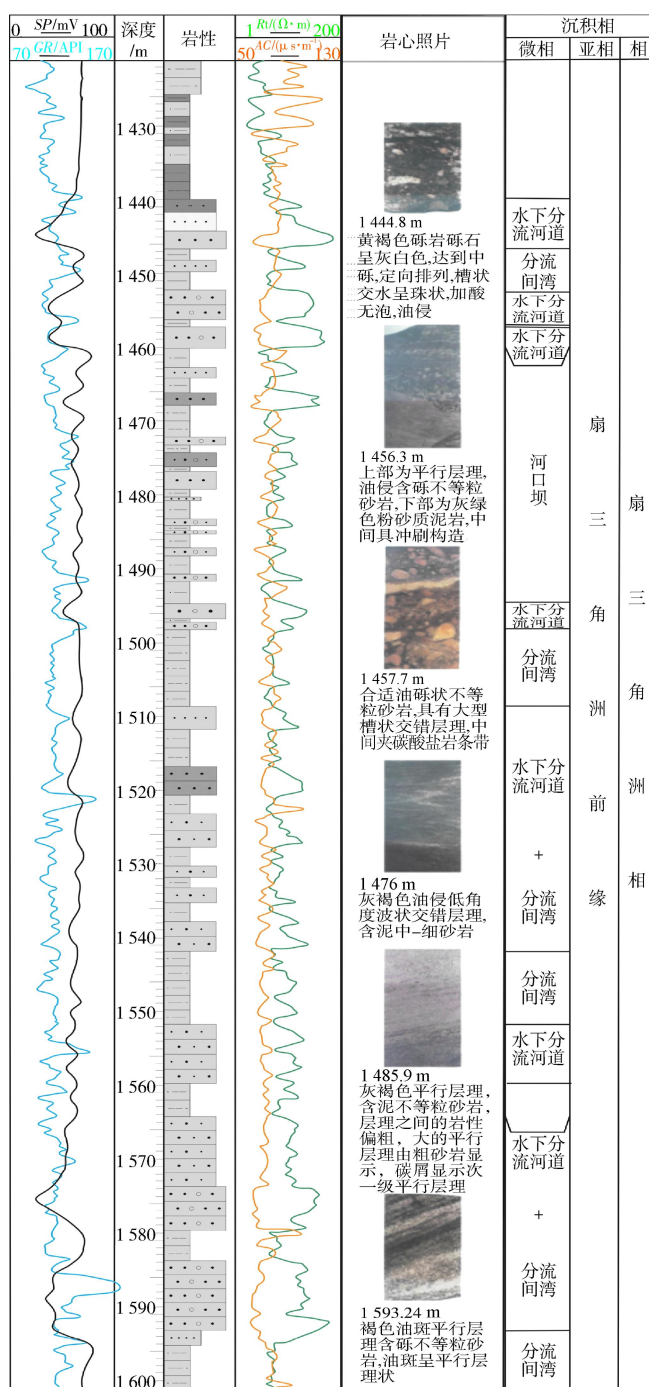


图 例
 □ 泥岩 □ 泥质粉砂岩 □ 细砂岩 □ 含砾砂岩
 □ 粉砂岩 □ 粉砂质泥岩 □ 粗砂岩 □ 砂砾岩

图 3 奈 1-52-50 井九佛堂组上段沉积相剖面图

自然电位曲线的负异常幅度一般为 5~15 mV,呈齿化漏斗形,视电阻率值为 2.5~40 Ω·m。河口坝微相垂向上为底平顶凸或双凸的透镜状、在平面上呈扇形展布。

1.3.3 水下分流河道侧缘

广义上陆上天然堤的水下延伸部分即为水下分流

河道侧缘,本文是指水下分流河道两侧的决口漫溢砂体或砂脊。岩性为粉砂岩、细砂岩—粗砂岩、含砾不等粒砂岩,中间有厚的泥岩夹层;砂岩中主要发育平行层理,在较细的粉砂质泥岩中可见滑动变形层理、波状层理和水平层理。较粗的砂岩粒度曲线呈两段式,较细的砂岩呈三段式(图 2-c)。视电阻率曲线和自然电位曲线则分别表现为尖锋状和齿形,前者值为 2.5~90 Ω·m,后者负异常幅度一般为 2.5~7.5 mV(图 3)。

1.3.4 分流间湾

位于水下分流河道之间,河道侧方砂脊之外。岩性由灰绿色粉砂质泥岩、泥岩及灰色、浅灰色细砂、粉砂互层组成;粒度图上表现为细颗粒、分选中等偏差的砂泥混合沉积(图 2-d);沉积构造主要有:透镜状层理、水平层理、波状层理、变形层理、包卷层理、泄水构造、球枕构造、生物扰动构造、虫孔等,见生物介壳和植物残体(图 3)。

2 储层特征

2.1 储层岩石学特征

奈曼旗凹陷奈 1 区块九佛堂组上段视厚度为 564 m,上部以含灰粉砂质泥岩、粉砂质泥岩、灰—深灰色泥岩为主,夹灰色砂岩、含灰砂岩,中部为灰色粉砂质泥岩、浅灰色粉砂岩、褐灰色油斑砂砾岩不等厚互层,下部为灰—浅灰色、灰绿色砂质、粉砂质泥岩,浅灰色细砂岩、砂砾岩不等厚互层。九佛堂组上段从下而上可分为Ⅳ、Ⅲ、Ⅱ、Ⅰ共 4 个亚段。结合镜下薄片微观特征分析(表 1),九佛堂组上段储层碎屑中的稳定组分石英Ⅰ~Ⅳ亚段平均含量为 15.78%;非稳定组分长石Ⅰ~Ⅳ亚段平均含量为 27.07%;岩屑组分Ⅰ~

Ⅳ亚段平均含量为 57.12%。总体特征为稳定组分含量低,非稳定组分含量高,特别是岩屑含量占有绝对的优势,表明岩石成分成熟度较低,下部的浅灰色细砂岩、砂砾岩,中部的褐灰色油斑砂砾岩为较好的储集砂体。同理,通过对研究区储集岩碎屑结构的统计分析表明:九佛堂组上段岩性结构成熟度中等,反映出细中砂—砂砾岩类由于距物源有一定搬运距离且水动力条件较强,储集性能较好^[6,10]。

2.2 储层空间特征

2.2.1 储层孔隙类型

九佛堂组上段各亚段孔隙类型多样,以残余粒间孔、溶孔为主,两者所占相对比例大体相当。总体上岩石孔隙不发育。特征如下:长石颗粒见淋滤溶蚀现象,有的形成顺层的淋滤缝(图 4-a、b);还可见残余粒间孔(图 4-c),大小介于 7~100 μm,平均为 39.3 μm,孔隙空间较大;孔隙类型最发育的则为溶孔(图 4-d),大小介于 2~219 μm,平均为 89 μm。另外,镜下可见各种成岩自生矿物:高岭石、伊利石、伊/蒙混层等黏土矿物,呈孔隙充填式及衬垫式产出(图 4-e),占据储集空间,降低了储集性能。而长石和石英的次生加大(图 4-f)也不利于储层发育。

2.2.2 储层孔隙结构

根据选取的 131 块铸体样品统计(表 2),研究区九佛堂组上段各亚段的微观孔隙结构总体表现出连通性差、配位数低、孔隙分布不均,孔大喉小的特征,与铸体薄片统计参数差别不大^[6,10-11]。

对 85 块样品的毛细管压力测试资料进行分析发现,研究区九佛堂组上段储层孔隙结构可划分为 5 大类 10 个亚类 15 个子类(表 3),其中,具最好储集性能

表 1 奈 1 区块九佛堂组上段各亚段岩石成分统计表

亚段	碎 屑 含 量										填 充 物 含 量				总含量	样品数 / 个
	石英含量	钾长石含量	斜长石含量	长石总含量	岩 屑					杂 基						
					沉积岩	变质岩	岩浆岩		总含量	泥质	胶结物		方解石	白云石		
							酸性	中性			泥微晶碳酸盐	方解石				
Ⅰ	4%~20% 10.1%	3%~14% 7.6%	6%~22% 11.8%	9%~35% 19.5%	1%~5% 1.3%	1%~11% 3.7%	25%~55% 41%	15%~40% 25.6%	68%~91% 83.9%	1%~10% 6.0%	2%~11% 2.1%	1%~7% 2.0%	1%~7% 3.3%	87%~99% 94.1%	73	
Ⅱ	6%~26% 12%	4%~16% 8.6%	6%~23% 13.5%	15%~39% 22%	1% 1%	2%~9% 5.7%	19%~48% 35%	11%~36% 25.6%	20%~89% 84%	1%~18% 5%	2%~28% 3.7%	2%~29% 5.2%	1%~18% 3.1%	87%~98% 94.8%	31	
Ⅲ	1%~15% 7.5%	2%~12% 4.2%	1%~20% 9	2%~26% 13%	2%~6% 1.6%	2%~43% 5%	30%~68% 46	17%~40% 28.3%	72%~90% 85%	2%~12% 5.3%	1%~2% 1%	1%~13% 5.5%	1%~21% 4.2%	90%~99% 95.7%	48	
Ⅳ	4%~33% 14.6%	2%~21% 9%	5%~27% 14%	6%~49% 23.3%	1% 1%	1%~7% 3.6%	11%~46% 33.5%	5%~44% 25.5%	80%~90% 86.5%	2%~13% 6%	1% 1%	2% 2%	1%~5% 2.5%	94%~97% 95.7%	8	

注:分母为范围值,分子为平均值

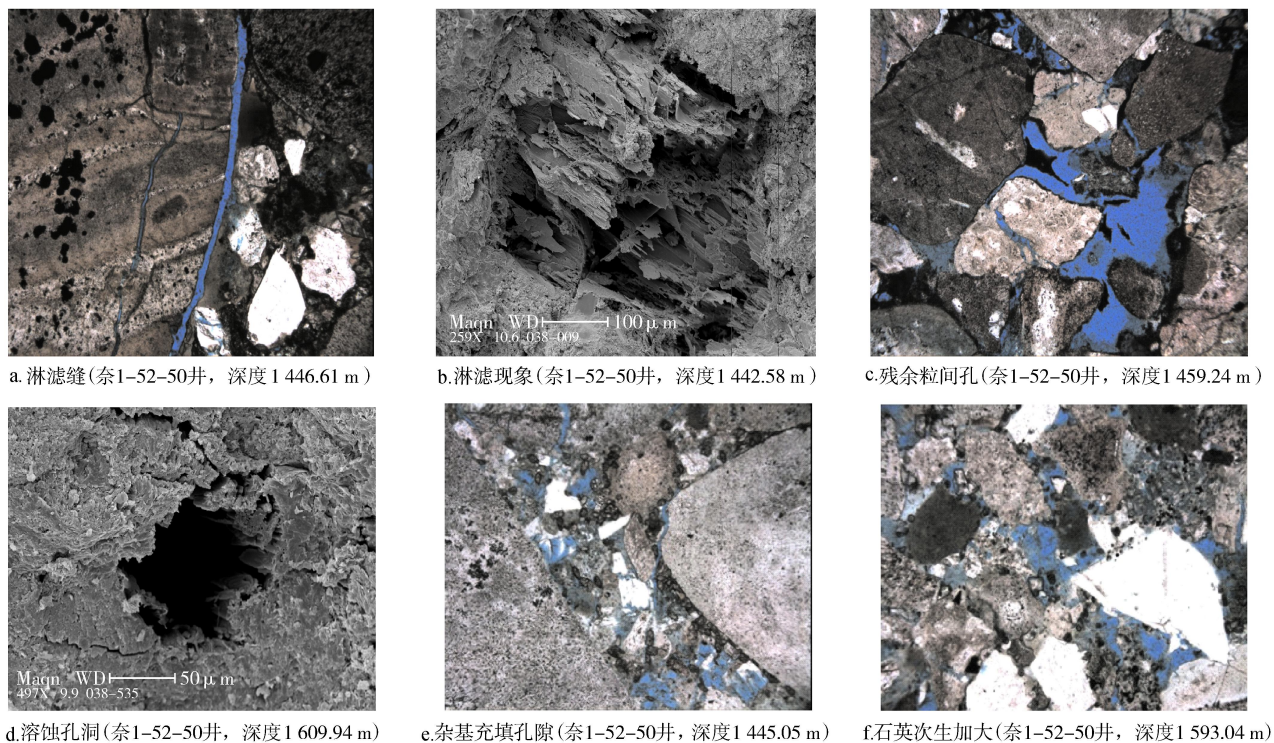


图 4 奈曼旗凹陷奈 1 区块下白垩统九佛堂组上段岩性微观特征图

表 2 九佛堂组上段各亚段铸体参数表

亚段	喉道宽度/ μm			配位数 (平均)	平均孔隙直径/ μm	孔喉比 (平均)	均质系数	样品数/个
	最大值	最小值	平均值					
I	46.1	2.2	13.2	0.36	127.6	4.5	0.46	74
II	69.0	2.5	17.2	0.47	156.1	2.6	0.43	13
III	540.0	2.0	14.2	0.50	144.2	2.9	0.47	39
IV	39.1	1.9	11.5	0.44	105.8	2.5	0.43	5
平均	52.0	2.1	14.2	0.44	133.4	3.1	0.45	131

表 3 九佛堂组上段孔隙结构类型划分表

渗透性	喉道	均匀程度	渗透率/ mD	孔隙度	孔喉半径 平均值/ μm	最大连通 孔喉半径/ μm	均质系数	退汞效率	峰态	样品数/个	所占比例
特高渗透	细喉	较均匀	2 320	20.3%	6.32	24.57	0.26	32.5%	2.21	1	1.2%
	细喉	不均匀	2 460	15.8%	8.43	37.41	0.22	31.2%	2.80	1	1.2%
高渗透	微细喉	不均匀	1 560	23.3%	0.90	4.96	0.18	40.5%	4.54	1	1.2%
	特细喉	不均匀	896	17.6%	3.17	21.44	0.16	38.7%	5.21	5	5.9%
	细喉	不均匀	577	20.0%	6.14	74.37	0.08	52.9%	11.64	2	2.4%
	中喉	不均匀	804	20.5%	12.35	70.72	0.17	48.9%	4.13	1	1.2%
中渗透	特细喉	不均匀	254	18.0%	2.20	15.70	0.20	49.7%	5.50	14	16.5%
	微细喉	不均匀	151	16.2%	0.90	5.70	0.15	43.7%	5.40	3	3.5%
	微细喉	较均匀	239	21.0%	0.90	3.70	0.30	36.8%	3.10	1	1.2%
低渗透	微细喉	较均匀	24.4	18.5%	0.60	2.10	0.30	37.1%	3.20	12	14.0%
	微细喉	不均匀	39	15.7%	0.65	3.80	0.20	43.3%	6.50	23	27.0%
	特细喉	较均匀	52.5	14.7%	1.20	4.30	0.30	51.2%	2.80	2	2.4%
	特细喉	不均匀	57.5	14.8%	1.10	5.70	0.20	49.2%	4.30	9	10.6%
特低渗透	微细喉	不均匀	2.7	15.2%	0.55	3.00	0.18	39.3%	5.50	9	10.6%
	微细喉	较均匀	6.8	18.0%	0.36	1.50	0.27	29.1%	2.80	1	1.2%

的砾岩、含砾不等粒砂岩为特高渗透类,但在研究区储层中所占比例较少;以砾岩、含砾不等粒砂岩为代表的高渗透类样品占样品总数的 10.7%,除高渗透微细喉不均匀型的各项孔隙结构参数较低,其余 3 个亚类则在相应的参数上表现出较好的特征,为较好的储集砂体;占样品总数 21.2%的砾状不等粒砂岩、粗砂岩储层为中孔中渗透类储层,表现出粗歪度、细歪度两种毛细管压力曲线特征;低渗透类储层为本区储层孔隙结构中最为常见的一类,表现为中孔隙度、低渗透率,岩性以含砾砂岩、砾状不等粒砂岩为主;而特低渗透类储层占样品总数的 11.8%,属中孔隙度、特低渗透率储层,岩性主要为砾状不等粒砂岩、细砂岩。

2.3 储层物性特征

324 块岩心样品的物性统计分析表明(图 5):4 个亚段储层平均孔隙度分布范围为 13.76%~15.15%,平均为 14.59%。其中 I 亚段平均孔隙度 15.14%,最

大孔隙度 25.1%;II 亚段平均孔隙度 14.32%,最大孔隙度 23.8%;III 亚段平均孔隙度 13.76%,最大孔隙度 20.1%;IV 亚段平均孔隙度 15.15%,最大孔隙度 20.9%。孔隙度介于 10%~25% 之间的样品比例最大。整体上,4 个亚段孔隙度都属于低—中孔隙度,孔隙度均值反映 I、IV 亚段略优于 II、III 亚段。4 个亚段储层平均渗透率值分布范围为 4.84~48.62 mD,平均为 29.22 mD,其中 I 亚段平均渗透率 4.84 mD,最大渗透率 156 mD;II 亚段平均渗透率 15.57 mD,最大渗透率 522 mD;III 亚段平均渗透率 48.62 mD,最大渗透率 2 175 mD;IV 亚段平均渗透率 47.83 mD,最大渗透率 232 mD。依据各亚段的渗透率均值统计分析,纵向上 III、IV 亚段渗流能力优于 I、II 亚段,总体上 II、III、IV 亚段表现为低渗透特征,I 亚段则表现为特低渗透特征,各亚段中仅局部存在一些中、高渗透层。总体上,九佛堂组上段储层属中—低孔隙度、低—特低渗透率储层。

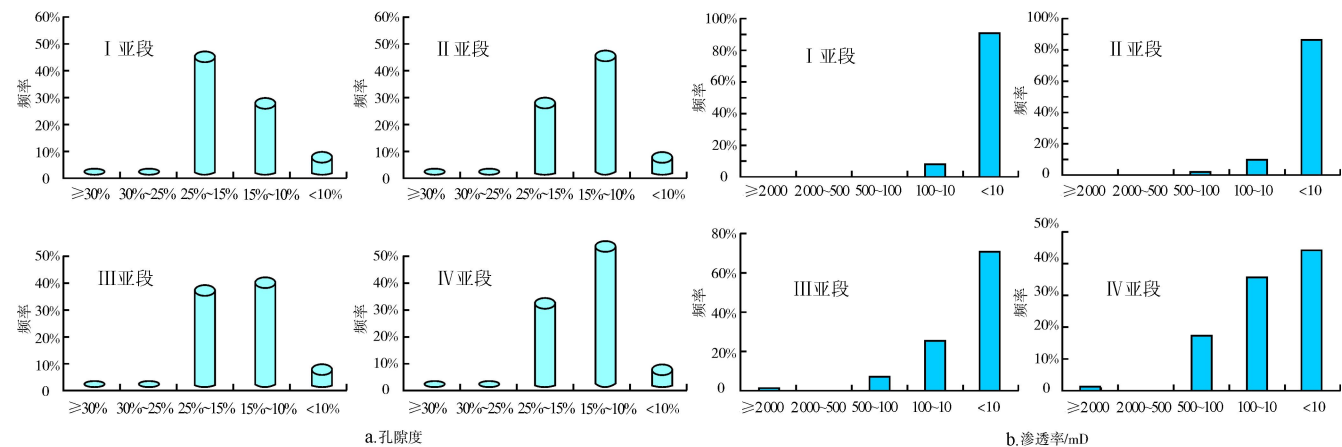


图 5 九佛堂组上段各亚段孔隙度、渗透率频率分布图

3 储层发育的控制因素

结合岩心、薄片、物性和其他资料综合分析,表明沉积微相、岩性以及成岩作用对奈 1 区块九佛堂组上段储层的发育具有较大的影响与控制作用。

3.1 沉积微相和岩性对储层发育的控制

不同类型及规模的孔隙结构组合及演化特点受控于沉积相及其控制的岩性,从而表现为不同沉积相、不同岩性的储集性能大不相同^[8,12]。综合奈 1 区块下白垩统九佛堂组上段 300 余块样品分析(表 4),扇三角洲前缘水下分流河道微相具有最好的储集物性,发育砾岩或砾状、含砾、含泥不等粒砂岩为主,表现出平均孔隙度 16.1%,平均渗透率 29.3 mD 的中孔隙度、低渗透率特征;其次为河口坝,岩性以细砂—粗砂为

表 4 九佛堂组上段不同沉积微相孔隙物性参数统计表

沉积微相	孔隙度			渗透率/mD		
	最小值	最大值	平均值	最小值	最大值	平均值
分支河道	10.1%	25.1%	16.1%	0.1	2175.0	29.3
河道侧	9.3%	18.0%	13.8%	1.5	32.1	10.1
河口坝	13.8%	19.5%	16.7%	0.2	104.0	7.6
间湾	3.3%	19.0%	10.9%	0.1	4.8	0.8

主,表现出平均孔隙度 16.7%,平均渗透率 7.6 mD 的中孔隙度、特低渗透率特征;以上两类沉积微相虽然整体物性达不到优质储层标准,但仍然存在部分中孔隙度、中渗透率甚至高渗透率层。水下分流河道侧缘微相整体表现为低孔隙度、低渗透率类差储层特征;分流间湾微相整体表现为特低孔隙度、特低渗透率的差储层或非储层特征。

3.2 成岩作用对储层发育的控制

研究区已达晚成岩阶段,储层埋藏成岩作用明显加强^[6,9],主要包括胶结作用、次生加大、压溶作用及次生溶蚀作用等。其中长石、石英的次生加大对孔隙以及喉道的充填作用降低了储层的孔隙度,并且这种降低孔隙度的作用随深度的增加而增加。然而普遍发育的次生溶蚀孔隙,虽然一定程度上改变了研究区的储层物性,但由于泥、钙质等物质的充填,以及溶蚀作用的不均匀,使得次生溶蚀孔隙对储层物性变好的贡献有限,加上自生矿物(包括绿泥石、高岭石为主的自生黏土矿物及微晶、显晶碳酸盐岩矿物)对孔隙以及喉道的充填,使得研究区储层物性在成岩作用过程中趋于变差,已成为导致奈 1 区块下白垩统九佛堂组上段中—低孔隙度、低—特低渗透率储层、不均匀特细喉道孔隙类型的根本原因。

4 结论

1)奈 1 区块下白垩统九佛堂组上段主要为扇三角洲前缘沉积环境,而水下分流河道和河口坝微相为相对优质的储集微相。

2)九佛堂组上段以中—低孔隙度、低—特低渗透率储层为主,以中—低孔隙度、低—特低渗透率特细喉道不均匀型孔隙结构类型为主。

3)沉积微相、岩性以及成岩作用对储层物性起着决定性的控制作用,其中长石、石英次生加大以及自生矿物充填作用对储层起破坏作用;次生溶蚀作用虽对储层起建设性作用,但由于成岩过程中自生矿物的充填及次生溶蚀的不均匀性导致对储层发育贡献不大。

参 考 文 献

- [1] 黄耀华. 奈曼旗凹陷九佛堂组沉积层序地层研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京)博士学位论文, 2008.
- [2] 赵兴齐, 陈践发, 张晨, 等. 奈曼油田奈 1 区块烃类气体地球化学特征及成因分析[J]. 天然气地球科学, 2011, 22(4): 715-722.
- [3] 苑洪瑞. 奈曼地区奈 1 区块储集层特征及评价[J]. 录井工程, 2007, 18(3): 29-33.
- [4] 毛传芳. 奈曼旗凹陷测井解释及评价[J]. 国外测井技术, 2008, 23(2): 36-39.
- [5] 吴志斌. 奈曼旗凹陷奈 1 区块白垩系储层特征[J]. 断块油气田, 2009, 16(5): 7-12.
- [6] 文华国, 郑荣才, 高红灿, 等. 苏里格气田苏 6 井区下石盒子组盒 8 段沉积相特征[J]. 沉积学报, 2007, 25(1): 90-98.
- [7] 郑荣才, 文华国, 韩永林, 等. 鄂尔多斯盆地白豹地区长 6 油层组湖底滑塌浊积扇沉积特征及其研究意义[J]. 成都理工大学学报: 自然科学版, 2006, 33(6): 565-574.
- [8] 马行陟, 宋岩, 柳少波, 等. 鄂尔多斯盆地东缘韩城地区煤层气地球化学特征及其成因[J]. 天然气工业, 2011, 31(4): 17-20.
- [9] 沈凤, 张金亮. 陆西凹陷九佛堂组储层成岩作用[J]. 石油学报, 1995, 16(2): 23-29.
- [10] 朱筱敏, 王贵文, 李滨阳, 等. 开鲁盆地陆西凹陷下白垩统层序地层学和油气评价[J]. 沉积学报, 2002, 20(4): 531-536.
- [11] 王祁军, 笄国军, 方炳钟, 等. 开鲁盆地陆西凹陷九佛堂组油气成藏特征及分布[J]. 石油实验地质, 2007, 29(4): 373-383.
- [12] 文华国, 郑荣才, 陈洪德, 等. 鄂尔多斯盆地白豹—华池地区长 6 砂岩储层特征[J]. 石油学报, 2007, 28(4): 46-51.

(修改回稿日期 2012-10-25 编辑 居维清)