

超深层油气藏储层特征和成藏模式

王仁冲, 徐怀民

中国石油大学(北京)资源与信息学院, 北京 102249

摘要 随着油气勘探向深部发展, 深层油气藏已成为油气发现的重要组成部分。永进地区位于准噶尔腹部中石化中部3区块, 勘探目的层埋藏深, 大于5 500 m, 储层主要以细砂岩、含砾砂岩为主, 颗粒具有岩屑含量高、成分成熟度低、结构成熟度低等特点; 多为特低孔、超低渗储层; 储层孔隙类型有5种: 残余原生粒间孔、粒间溶孔、粒内溶孔、泥质微孔和微裂缝; 孔隙结构为特小孔微细喉型。储层物性影响因素主要有强烈压实成岩作用、弱溶解作用和黏土矿物充填3个方面, 均造成孔渗性下降。该区油藏类型主要为地层、岩性油气藏, 成藏模式为源上沿断—沿层油气成藏模式。

关键词 超深层油气藏; 孔隙结构; 成藏模式; 准噶尔盆地

中图分类号 TE321

文献标识码 A

文章编号 1000-7857(2009)03-0040-06

Reservoir Characteristics and Reservoir Formation Model of Super Deep Oil and Gas Reservoirs

WANG Renchong, XU Huaimin

Faculty of Natural Resource and Information Technology, China University of Petroleum, Beijing 102249, China

Abstract With the development of the petroleum exploration, deep oil and gas reservoirs become more and more important. The Yongjin area is one of the three blocks in the interior of the Junggar basin explored by the Sinopec. The exploration target in the Yongjin area is deeper than 5 500 meters, with reservoirs mainly consisting of fine sandstone and pebbled sandstone, skeleton grains being characterized by higher ratio detritus, lower compositional maturity, lower texture maturity, with very low porosity and super low permeability. There are five kinds of pores i.e. relict intergranular pore, intergranular emposieu, intragranular emposieu, argillaceous micropore and microfissure, with pore textures of very low porosity and microfine throat. The main influencing factors with respect to reservoir physical properties are intense squeezing action, dissolution, the coversion of clay minerals, which tend to decrease the porosity and permeability of the reservoir. There are stratigraphic and lithological oil and gas reservoirs in Yongjin area, the reservoir formation model is expressed by oil and gas from basal

hydrocarbon source rock migrating along faults and layers and then being accumulated in the upper reservoir.

Keywords super deep oil and gas reservoirs; pore texture; reservoir formation model; Junggar basin

0 引言

埋藏深度超过3 500 m的油气藏通常被称为深层油气藏。在中国西部叠合盆地如准噶尔盆地, 深层隐蔽油气藏的埋藏深度超过4 000 m甚至5 000 m^[1]。准噶尔盆地永进地区油气藏发现井为Y1井, 完钻井深6 400 m, 出油气井段为侏罗系中统西山窑组5 873.4~5 888.1 m, 日产油72.07 m³, 日产气10 562 m³, 属于超深层油气藏。本文主要对永进地区的油气藏进行特征及成藏模式分析。

1 地质概况

永进地区位于准噶尔盆地腹部, 中央坳陷昌吉凹陷西段, 北邻马桥凸起, 区块南部临近山前构造带, 西部为车排子凸起南端(图1)。按侏罗系构造区划分, 永进地区位于车莫古隆起南翼^[2]。

根据区内钻井和地震资料分析, 自上而下钻揭的地层有: 第四系西域组, 上第三系独山子组、塔西河组、沙湾组, 下第三系安集海河组、紫泥泉子组, 白垩系上统东沟组、下统连木沁组、胜金口组、呼图壁河组、清水河组, 侏罗系西山窑组、三工河组和八道湾组。

目前完钻井7口(Y1、Y2、Y3、Y6、Y7、Y8和Y9), 其中工

收稿日期: 2008-12-09

基金项目: 国际合作重点基金项目(2002CB713906)

作者简介: 王仁冲, 博士研究生, 研究方向为油气田地质学, 电子信箱: wangrenchong@126.com; 徐怀民(通信作者), 教授, 研究方向为油藏地质学、油藏描述和含油气系统, 电子信箱: xuhuaimin@sina.com

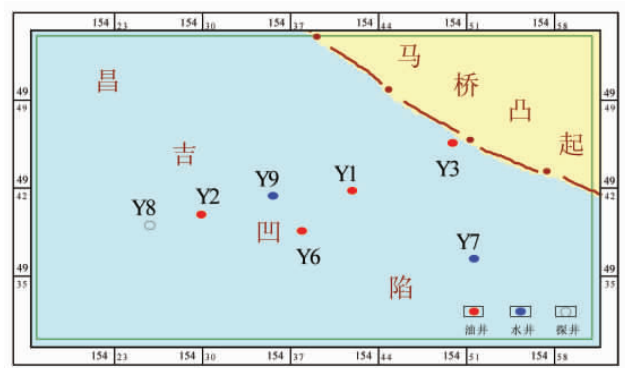


图 1 永进地区位置图

Fig. 1 Location of Yongjin area

注:绿线框是三维地震范围

Note: Wireframe in green color is three-dimensional range of earthquake

业油气流井 4 口 (Y1、Y2、Y3 和 Y6), 完钻井深 5 875~6 400 m, 平均钻井深度 6 200 m, 含油气层组自下而上有 4 套: 侏罗系西山窑组煤层上 J_{2x_0} 砂组、煤层上 J_{2x_2} 砂组及其上覆盖的白垩系清水河组 K_1q_1 砂组底部砾岩层、 K_1q_2 砂组 Y6 砂体, 油气产层主要分布在 5 870~6 060 m。西山窑组沉积体系为三角

洲—湖泊相沉积体系, 白垩系清水河组底部砾岩层主要为河流相沉积体系, 其上为三角洲沉积体系^[3]。

2 储层岩石学特征

西山窑组岩芯以灰色、浅灰色为主, 其次为红褐色、浅棕红色、褐色, 岩性以细砂岩、中砂岩为主; 清水河组以浅灰色、灰色为主, 偶见浅棕褐色沉积, 岩性以细砂岩、粉砂岩为主。区内储层岩性主要为细砂岩、中砂岩和含砾细砂岩^[4], 油气产层砂岩经薄片鉴定分析具有以下特征。

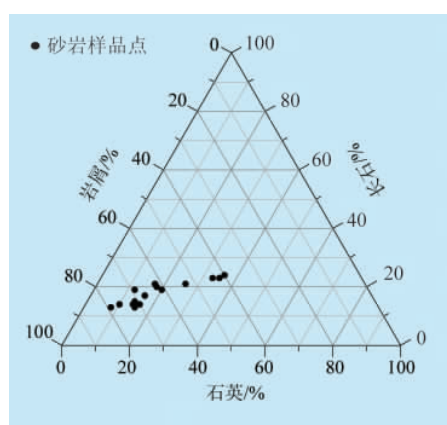
2.1 侏罗系

1) 西山窑组 J_{2x_0} 砂组

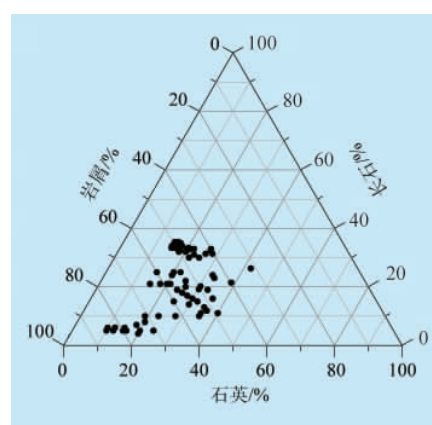
Y2 井主要为细粒长石砂岩、中-细粒岩屑长石砂岩 (图 2 (a)), 石英含量 45%~58%, 长石含量 15%~45%, 岩屑含量 8%~35%; 分选性中-好, 磨圆度为次圆-圆, 颗粒支撑, 点、线接触, 孔隙型胶结; 泥质、白云质胶结, 泥质杂基含量一般在 1%~5%, 灰质或白云质胶结物含量 3%~6%。

2) 西山窑组 J_{2x_2} 砂组

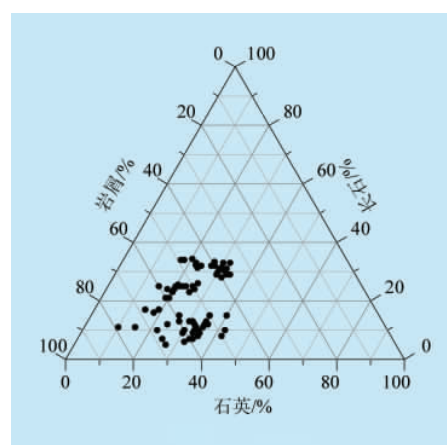
Y1 井主要为细粒、中粒、不等粒长石岩屑砂岩及含砾不等粒长石岩屑砂岩 (图 2 (b)), 石英含量 5%~40%, 长石含量 3%~39%, 岩屑含量 30%~91%; 分选性中-好, 磨圆度为次棱



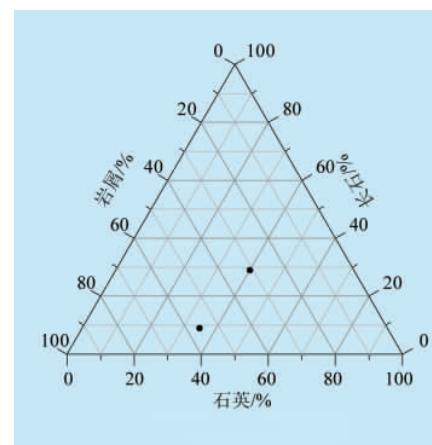
(a)



(b)



(c)



(d)

图 2 岩矿组分三角图

Fig. 2 Rock constituent triangular diagram

角-次圆状,颗粒支撑,线、点-线、线-凹接触,孔隙及压嵌型胶结;泥质、灰质或白云质胶结,泥质杂基含量一般为 2%~4%,灰质或白云质胶结物含量 3%~5%,个别达 18%,含少量铁质及增生石英。Y3 井主要为细粒长石岩屑砂岩,石英含量 37%~40%,长石含量 14%~24%,岩屑含量 34%~41%;分选性中-好,磨圆度为次圆-次棱角状,颗粒支撑,线、点接触,接触胶结;铁质均匀充填于粒间,颗粒具定向排列。

2.2 白垩系

1) 清水河组 K_1q_1 砂组

底部主要为细粒长石岩屑砂岩 (图 2 (c)), 石英 10%~35%,长石 9%~33%,岩屑 35%~79%;分选性中-好,磨圆度为次棱角-次圆状,颗粒支撑,线接触,孔隙及压嵌型胶结;泥质及灰质胶结,泥质杂基一般为 2%~5%,灰质胶结物多数为 2%~3%,胶结致密。

2) 清水河组 K_1q_2 砂组 Y6 砂体

Y6 井主要为极细粒长石岩屑砂岩 (图 2(d)), 石英 35%~40%,长石 9%~20%,岩屑 40%~55%;分选性中-好,磨圆度为次棱角状,颗粒支撑,点、凹-线接触,孔隙型胶结;泥质及灰质胶结,方解石微晶结构,零星分布,偶见微晶铁白云石。

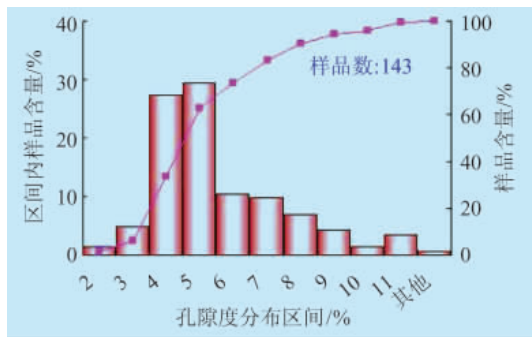
侏罗系、白垩系油气储层石英含量一般超过 25%,其中

白垩系清水河组底部砾岩层石英含量平均超过 35%;长石含量比石英含量低,在 20%左右;岩屑含量高,白垩系清水河组底部砾岩层岩屑平均含量 42%,侏罗系西山窑组岩屑平均含量 52%;填隙物包括杂基和胶结物,含量在 5%~15%之间,平均 10%左右。杂基由细碎屑物质及细碎屑颗粒间的同沉积泥质组成,含量变化较大;胶结物组分主要是方解石、白云石、增生石英、黄铁矿和沸石等。

侏罗系油气储层的低成分成熟度、低结构成熟度的特点,反映出储层沉积过程中所经历的搬运距离较短,近源快速堆积、三角洲沉积特征^[5];白垩系油气储层的中等成分成熟度、低结构成熟度的特点,反映出储层经过一定距离搬运,辫状河河道快速沉积特征。

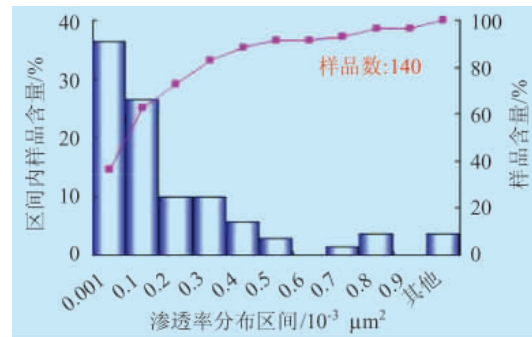
3 储层物性特征

侏罗系西山窑组、白垩系清水河组储层属特低孔、特低渗储层。西山窑组孔隙度集中分布在 4%~6% (图 3(a)), 平均为 5.69%, 渗透率分布在 $(0.01\sim0.4)\times10^{-3}\mu\text{m}^2$ 范围内 (图 3(b)), 平均为 $0.238\times10^{-3}\mu\text{m}^2$;清水河组孔隙度集中分布在 6%~8% (图 3(c)), 平均为 7.46%, 渗透率分布在 $(0.01\sim0.5)\times10^{-3}\mu\text{m}^2$ 范围内 (图 3(d)), 平均为 $0.328\times10^{-3}\mu\text{m}^2$ (表 1)。



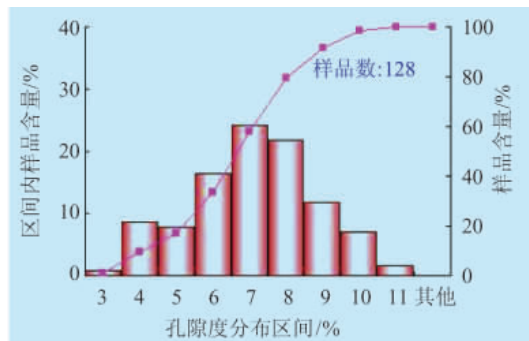
(a) J_2x 孔隙度频率直方图

(a) Porosity frequency histogram of J_2x



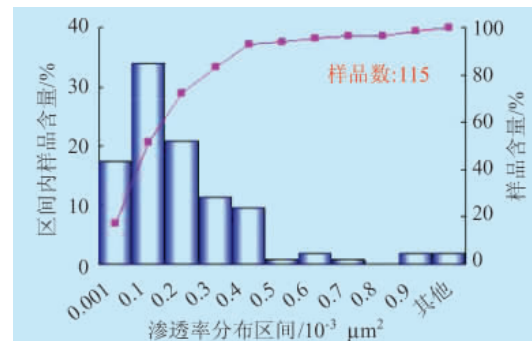
(b) J_2x 渗透率频率直方图

(b) Permeability frequency histogram of J_2x



(c) K_1q 孔隙度频率直方图

(c) Porosity frequency histogram of K_1q



(d) K_1q 渗透率频率直方图

(d) Permeability frequency histogram of K_1q

图 3 西山窑组、清水河组物性特征直方图

Fig. 3 Physical property characteristic histogram of J_2x and K_1q

表 1 储层物性特征统计表
Table 1 Physical property characteristics

层位	井数	孔隙度/%		渗透率/(10 ⁻³ μm ²)	
		分布范围	平均值	分布范围	平均值
侏罗系西山窑组	6	4~9	5.69	0.01~0.4	0.238
白垩系清水河组	3	4~10	7.46	0.01~0.5	0.328

4 储层孔隙结构特征

4.1 孔隙类型

根据扫描电镜及薄片等资料分析,永进地区侏罗系西山窑组、白垩系清水河组储层的孔隙类型有以下 5 种:残余原生粒间孔、粒间溶孔、粒内溶孔、泥质微孔和微裂缝,主要以残余原生粒间孔、粒内和粒间溶孔为主。

1) 残余原生粒间孔

孔隙大小为 6~50 μm,分布不均,孔隙中常充填片状绿泥石、伊利石、自生石英、沸石、铁方解石、铁白云石等。

2) 粒间溶孔

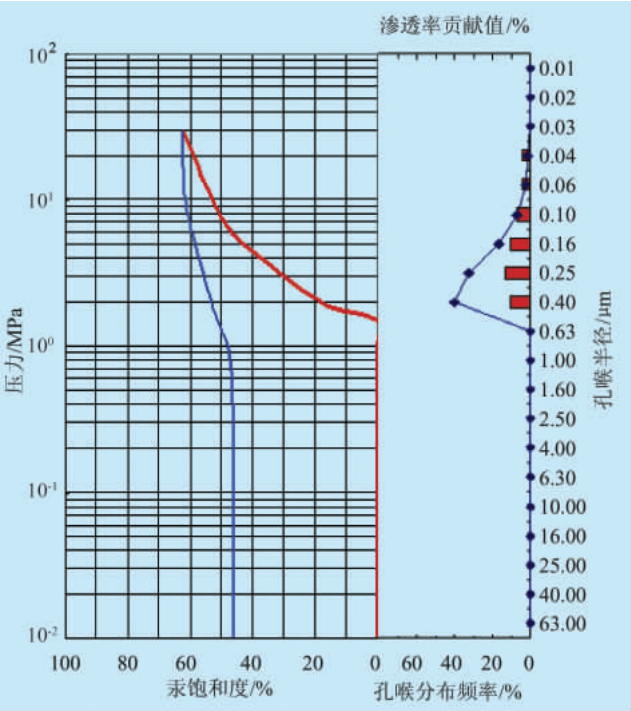
在残余粒间孔周围的碎屑颗粒、方解石胶结物、黏土矿物等受到地层水及各种有机酸一定程度的溶蚀,使粒间孔隙增大。

3) 粒内溶孔

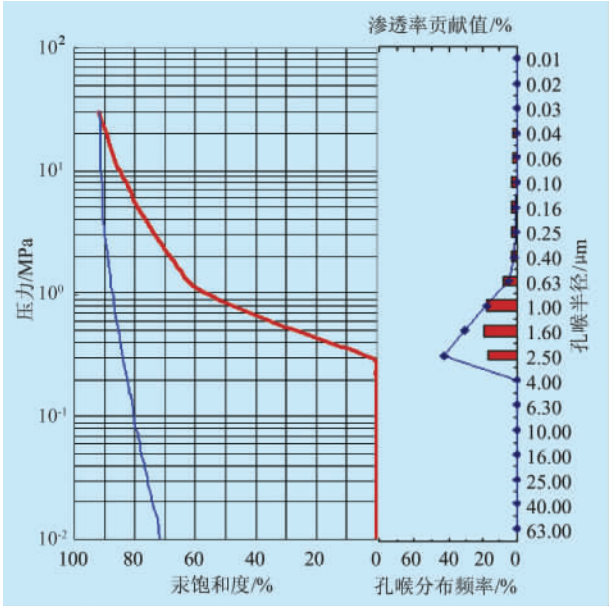
钾长石、钠长石沿解理缝发生的溶蚀现象,形成的网格状或蜂窝状的孔隙。

4) 泥质微孔

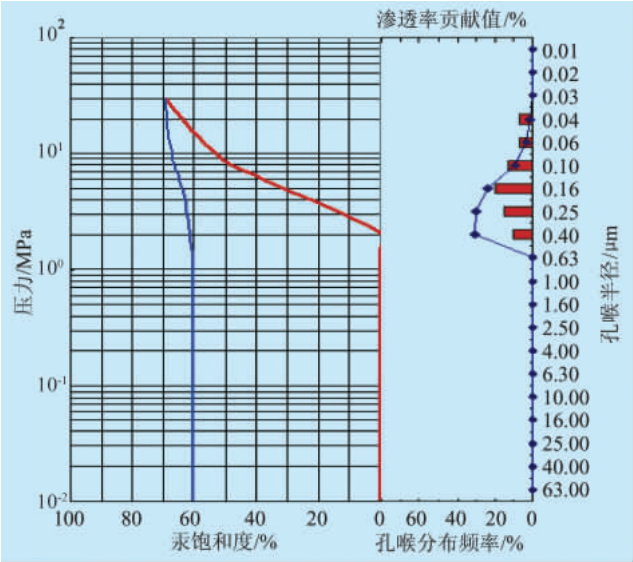
自生黏土矿物特殊的晶体形态,常见大量的泥质及自生石英晶间微孔隙,特别是自生高岭石晶体之间的微孔隙,微



(b) II 类
(b) Type II



(a) I 类
(a) Type I



(c) III 类
(c) Type III

图 4 毛管压力曲线及孔喉半径分布图

Fig. 4 Capillary pressure curve and distribution of pore throat radii

孔大小一般小于 $5\text{ }\mu\text{m}$, 在本区中较少。

5) 微裂缝

由于碎屑颗粒在搬运过程中或岩石本身受到地应力的作用,使少数碎屑颗粒发生破碎,形成了一定数量的微裂缝,在石英、长石碎屑中发育。

4.2 孔隙结构

通过对区内 29 块岩样的毛细管压力测试数据进行分析,该区孔喉结构均为特小孔微细喉型。根据毛细管压力曲线的特点分为 I 类、II 类和 III 类(图 4)。

1) I 类毛管压力曲线

渗透率大于 $0.3 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 排替压力小于 0.7 MPa, 最大孔喉半径大于 $1 \mu\text{m}$, 孔喉半径均值大于 $0.25 \mu\text{m}$; 其毛管压力曲线有分选较好、粗歪度的特点。

2) II 类毛管压力曲线

渗透率在 $(0.1 \sim 0.3) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 之间,排替压力介于 $0.7 \sim 1.6 \text{ MPa}$ 之间,最大孔喉半径介于 $0.5 \sim 1 \mu\text{m}$ 之间,孔喉半径均值介于 $0.15 \sim 0.25 \mu\text{m}$ 之间;其毛管压力曲线有分选一般、略粗歪度的特点。

3) III 类毛管压力曲线

渗透率小于 $0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 排替压力大于 1.6 MPa, 最大孔喉半径小于 $0.5 \mu\text{m}$, 孔喉半径均值小于 $0.15 \mu\text{m}$; 毛管压力曲线有分选差、歪度细的特点。

5 储层物性影响因素

永进地区侏罗系、白垩系储层物性总体较差,影响因素主要有强烈压实成岩作用、弱溶解作用和黏土矿物充填 3 个方面。

1) 压实强度大,原生孔隙破坏严重

受成岩压实作用明显,随着埋深的增加,压实作用逐渐增强,造成储层孔渗性急剧下降^[6-10]。该区储层埋藏较深,地层压力大且温度较高。岩石成分成熟度较低,碎屑成分以岩屑为主,岩屑组分以易发生塑性变形的火山喷发岩为主,部分为变质岩,说明西山窑组、清水河组岩屑砂岩的压实强度一般很大。另外,碎屑颗粒之间多为凹凸接触,其次为点-线接触。较大的压实强度,使得储层原生孔隙严重破坏。

2) 溶解强度弱, 不易形成次生孔隙

永进地区西山窑组、清水河组储层,经历了一定的溶解作用,但溶解作用强度普遍较低,仅局部地区形成有效的次生孔隙带,大部分地区为经过强烈压实和胶结的混合孔隙发育带。

在早成岩期,溶解作用强度不是很大,对次生孔隙的形成贡献较小。但由于溶解作用对岩石颗粒边缘的溶解,在一定程度上破坏了颗粒间的接触关系,降低了砂体的抗压程度,导致机械压实作用强,极大地破坏了原生孔隙结构,不仅不能增加孔隙,反而降低了孔隙。

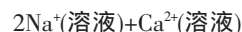
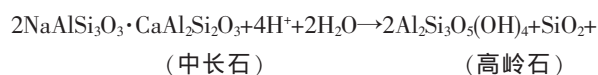
在晚成岩期,由于煤系地层砂体受早成岩期较强压实作用的影响,至晚成岩期已较致密,粒间体积较小,难以形成大

规模的溶解流体渗流交替,从而在一定程度上影响溶解作用的强度,使得次生孔隙度不高,渗透率较低。

3) 自生高岭石胶结降低渗透率

根据 69 个全岩衍射分析资料,该区储层黏土矿物含量平均为 9.69%,其中清水河组平均为 9.3%,西山窑组平均为 10.6%。黏土矿物中,伊/蒙间层含量为 32.58%、伊利石含量为 33.71%、高岭石含量为 8.23%、绿泥石含量为 25.48%。该区砂岩储层的粒间孔隙中均充填有自生高岭石,从而导致渗透率降低^[11]。

高岭石多为溶解作用的副产物,自生高岭石与自生石英共生,对于岩屑砂岩或长石岩屑砂岩,高岭石的含量比自生石英大得多。Siebert 等提出了一个长石颗粒溶解使孔隙度增大并产生高岭石和石英的化学方程式



在上述反应中,反应前后净减少的固相体积为 14.3%,其余部分被高岭石和自生石英所代替,所形成的孔隙亦被细小的高岭石和自生石英所分隔。高岭石为细小的假六面体晶体,分散状的高岭石在孔隙内生长则使大孔隙隔成细小的微孔隙。由于微孔隙的存在,使得孔隙喉道较小,因而渗透率较低。

6 油气成藏模式分析

永进地区在侏罗系三工河组、西山窑组,白垩系清水河组有不同程度的油气显示,油气显示层位多,不同层位油气层纵向上阁楼式相互叠置(图5)。

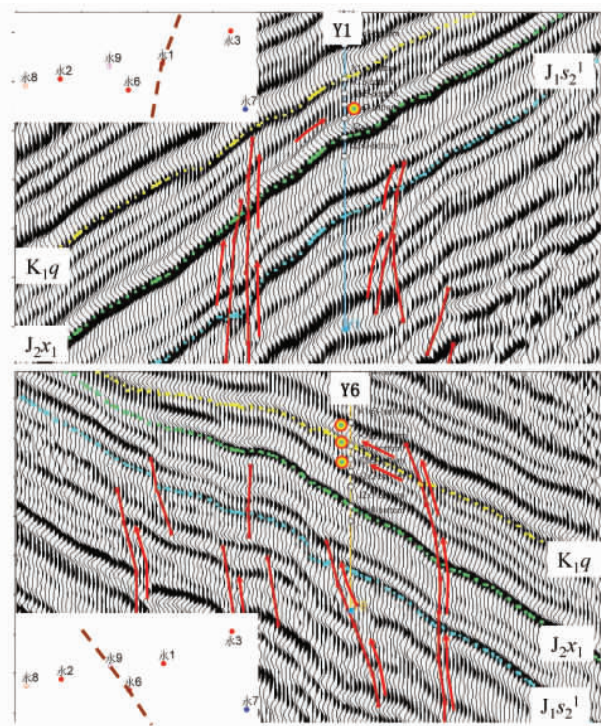


图 5 永进地区油气成藏模式图

Fig. 5 Oil and gas accumulation models of Yongjin

永进地区位于昌吉凹陷的生烃中心,油气源非常丰富。油气源对比表明,永进地区具有二叠系、侏罗系两大油气来源,其中,西山窑组煤层以下油气来源于侏罗系烃源岩,西山窑组煤层上部油气来源于二叠系烃源岩,白垩系清水河组油气则具有二叠系、侏罗系混源的特点。

Y1 井区现今构造主要呈西南倾的单斜,倾角 $4^{\circ}\sim 8^{\circ}$ 。从区域成藏背景来看,车莫古隆起的发育演化对其油气成藏有着重要影响。沉积构造的综合分析表明车莫古隆起起始发育于三工河组,分为 5 个发育阶段:初始发育阶段($J_{1s}\sim J_{2x}$)、强烈隆升阶段(J_{2f})、剥蚀改造阶段(J_3)、稳定沉降阶段(K-E)、掀斜改造阶段(N-Q)。

中晚侏罗世强烈隆升,西山窑组地层不断遭受剥蚀,并形成了向下断开侏罗系地层,向上断开白垩系地层的许多断层,同时也活化了前期形成的深层深大逆断层,为油气的运移提供了良好的通道^[12],使来源于二叠系的油气通过深大逆断裂及侏罗系-白垩系断裂组成的断裂体系重新分配,进入到中侏罗统-白垩系地层中而形成各种地层、岩性油气藏,其顶界为中侏罗统内部盖层、下白垩系底部砾岩层上的区域盖层及白垩系内部盖层封挡。

侏罗系西山窑组地层向车莫古隆起方向逐层被剥蚀,形成一系列西北部为不整合遮挡,东、北部为岩性尖灭的地层岩性复合圈闭。Y1 井区侏罗系西山窑组 J_{2x_2} 砂组油藏为构造背景上的地层油气藏,Y2 井区侏罗系西山窑组 J_{2x_0} 砂组油藏为地层-岩性油气藏,Y3 井区侏罗系西山窑组 J_{2x_2} 砂组油藏为地层油气藏,Y6 井区白垩系清水河组 Y6 砂体油藏在地震剖面上表现为透镜状反射特征,平面分布不规则,为岩性油气藏。

永进地区油气成藏模式主要为:源上沿断-沿层油气成藏模式(图 5),Y1 井油气藏与 Y6 井油气藏均为该种模式。指圈闭或构造带位于烃源岩之上,烃源岩生成的油气沿断裂向上运聚、沿层在有利圈闭中聚集成藏。主要表现为储层位于烃源岩之上,以断裂、连通储层为疏导通道,成熟烃源岩生成的油气,沿切穿源层的油源断层向浅部运移,然后沿层运聚在有利圈闭中聚集成藏。

7 结论

永进地区储层埋藏深,具有颗粒岩屑剪含量高、成分成熟度低、结构成熟度低等岩石学特征。

储层物性相对较差,均为特低孔、超低渗储层;储层孔隙类型有 5 种:残余原生粒间孔、粒间溶孔、粒内溶孔、泥质微孔和微裂缝,主要以残余原生粒间孔、粒内和粒间溶孔为主;孔隙结构为特小孔微细喉型。

储层物性影响因素主要有强烈压实成岩作用、弱溶解作用和黏土矿物充填 3 个方面,均造成孔渗性下降。

油气层纵向分布呈阁楼式相互叠置,油藏类型主要为地层、岩性油气藏,油气成藏模式为源上沿断-沿层油气成藏模式。

参考文献 (References)

- [1] 郝芳, 邹华耀, 方勇. 隐蔽油气藏研究的难点和前沿 [J]. 地学前缘, 2005, 4(12): 481-488.
Hao Fang, Zou Huayao, Fang Yong. *Earth Science Frontiers*, 2005, 4(12): 481-488.
- [2] 张年富, 张越迁, 姚新玉, 等. 准噶尔盆地莫北凸起油气条件与分布规律[J]. 新疆石油地质, 2001, 22(2): 103-106.
Zhang Nianfu, Zhang Yueqian, Yao Xinyu, et al. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2001, 22(2): 103-106.
- [3] 李丕龙. 准噶尔盆地石油地质特征与大油田勘探方向[J]. 石油学报, 2005, 26(6): 7-9.
Li Pilog. *Acta Petrolei Sinica*, 2005, 26(6): 7-9.
- [4] 胡海燕, 李平平. 准噶尔永进地区深部储层的保存与发育机理 [J]. 中国地质, 2007, 34(1): 81-85.
Hu Haiyan, Li Pingping. *Geology in China*, 2007, 34(01): 81-85.
- [5] 刘太勋, 徐怀民, 尹志军, 等. 陆东凹陷库伦塔拉洼陷下白垩统储层特征[J]. 油气地质与采收率, 2006, 13(6): 13-15.
Liu Taixun, Xu Huaimin, Yin Zhijun, et al. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2006, 13(6): 13-15.
- [6] 李明生, 孟召平, 朱红梅, 等. 驾掌寺地区沙河街组碎屑岩储层特征及影响因素分析[J]. 油气地质与采收率, 2006, 13(2): 14-16.
Li Mingsheng, Meng Zhaoping, Zhu Hongmei, et al. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2006, 13(2): 14-16.
- [7] 黄思静, 杨永林, 单钰铭, 等. 注水开发对砂岩储层孔隙结构的影响[J]. 中国海上油气(地质), 2000, 14(2): 122-127.
Huang Sijing, Yang Yonglin, Shan Yuming, et al. *China Offshore Oil and Gas*, 2000, 14(2): 122-127.
- [8] 陈丽华, 赵澄林, 纪友亮. 碎屑岩天然气储集层次生孔隙的三种成因机理[J]. 石油勘探与开发, 1999, 26(5): 77-79.
Chen Lihua, Zhao Chenglin, Ji Youliang. *Petroleum Exploration and Development*, 1999, 26(5): 77-79.
- [9] Surdam R C, MacGowan D B, Dunt T L. Predictive models for sandstones diagenesis[J]. *Organic Geochemistry*, 1991, 17(2): 243.
- [10] Saller A H, Dickson J A D. Paleozoic platform limestones, west Texas[J]. *The American Association of Petroleum Geologists*, 1999, 83 (11): 1835-1854.
- [11] 伏万军. 黏土矿物成因及其对砂岩储集物性的影响 [J]. 古地学报, 2000, 2(3): 59-68.
Fu Wanjun. *Journal of Palaeogeography*, 2000, 2(3): 59-68.
- [12] 李涛, 隋风贵, 张奎华. 准噶尔盆地南缘油气成藏组合特征及分布规律[J]. 油气地质与采收率, 2006, 13(1): 55-58.
Li Tao, Sui Fenggui, Zhang Kuihua. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2006, 13(1): 55-58.

(责任编辑 代丽)

欢迎向“学术聚焦”栏目推荐会议文集

《科技导报》“学术聚焦”栏目旨在围绕当前某一与科技相关的热点问题展开讨论,客观、简洁、集中地发表原创性科技成果或专家的创新言论。每期将从科学会议、学术沙龙的众多科研报告中精选 10 篇左右,从中提炼成一篇 4 500 字左右的综述性文章,以反映研究者的重要研究成果和主要学术观点。欢迎科技会议、学术沙龙、学术论坛组织者及时提供会议论文集、主要报告材料。栏目责任编辑:陈广仁博士;投稿邮箱:chenguangren@cast.org.cn。