

库车坳陷白垩系巴什基奇克组露头储层特征

胡涛^{1,2}, 张柏桥², 舒志国², 夏文军²

(1. 中国地质大学, 湖北武汉 430074; 2. 中国石化江汉油田分公司, 湖北潜江 433124)

摘要: 巴什基奇克组露头储集岩主要为中粒岩屑砂岩, 孔隙类型以次生的杂基内溶蚀微孔为主, 强-中等胶结、弱-中等溶蚀成岩相最为发育。巴什基奇克组存在着3种砂体成因类型: 一是分布于该组二段的辫状三角洲平原砂质辫状河道砂体; 二是分布于该组一段的辫状三角洲平原砾质辫状河道砂体; 三是分布于该组三段的扇三角洲储集体。在储层砂体原型模型的基础上, 将巴什基奇克组的储层建筑结构划分为6级层次界面和6级层次实体, 储层骨架结构属于“积木式”。单砂体多呈板状和宽透镜状。与井下巴什基奇克组储层相比, 露头区砂体的粒度要粗一些, 碳酸盐胶结物含量要高一些, 储集性能也要差一些。造成两者之间存在明显差异的原因是露头储层经历了表生成岩作用的改造。

关键词: 白垩系; 储层特征; 巴什基奇克组; 库车坳陷

第一作者简介: 胡涛, 男, 30岁, 博士生, 工程师, 沉积学与储层地质学

中图分类号: TE112.221

文献标识码: A

库车坳陷位于塔里木盆地北部, 北缘是南天山造山带, 南面是塔北隆起, 呈NEE向展布。坳陷白垩系主要为下统, 缺失上统, 自下而上为亚格列木组、舒善河组、巴西盖组和巴什基奇克组, 其中巴什基奇克组是库车坳陷克拉2大气田、大北气田的主力储层, 也是进一步勘探的主要目的层。

巴什基奇克组厚度一般在100~400 m, 为一套红色碎屑岩, 主要出露于库车坳陷北部。巴什基奇克组可分为3个岩性段, 自下而上依次为三段、二段和一段。三段厚45~100 m, 主要为褐红色砾岩、砂砾岩夹含砾砂岩、粉砂岩, 属扇三角洲相。露头主要发育扇三角洲平原亚相, 即冲积扇沉积, 形成于湖泊低水位时期; 二段厚40~260 m, 以粗粒、中粒砂岩为主, 夹少量粉砂岩、泥岩, 属辫状三角洲相。露头主要发育辫状三角洲平原亚相, 形成于湖泊扩展时期; 一段厚20~70 m, 岩性以含砾砂岩、砂岩为主, 属形成于湖泊萎缩时期的辫状三角洲平原沉积。

1 储层微观特征

1.1 岩石学

据大量薄片资料, 巴什基奇克组露头储集岩主要为中粒岩屑砂岩, 少量细粒、粗粒岩屑砂岩,

砂岩中石英平均含量为40.1%~55.8%, 长石平均含量为4.6%~16.7%, 岩屑平均为32.7%~51.2%, 成分成熟度指数0.68~1.28, 成分成熟度较低。砂岩分选性中等, 颗粒多呈次圆-次棱角状。胶结类型多样, 以孔隙式胶结为主, 碎屑颗粒以点-线或线接触为主, 显示结构成熟度较低-中等。砂岩中杂基含量6.8%~8.1%, 以(铁)泥质为主; 胶结物含量一般为11.9%~13.6%, 以方解石为主, 次为白云石、方沸石、少见硅质、膏质和黄铁矿。

1.2 孔隙类型

巴什基奇克组露头砂岩主要孔隙类型为次生的杂基内溶蚀微孔, 其次为混合成因的溶蚀粒间孔, 少量溶蚀粒内孔和胶结物内溶孔, 极少见铸模孔和晶间孔。杂基内溶蚀微孔形态不规则, 孔径细小, 一般小于3 μm ; 溶蚀粒间孔孔隙形态仍具原生粒间孔隙的特点, 孔隙边缘大多数较平直, 港湾状、不规则状等溶蚀现象并不明显。巴什基奇克组孔喉半径分布很广, 库车河剖面平均孔喉分布范围0.049~9.245 μm , 平均为1.028 μm , 呈单峰态分布, 最大孔喉半径可达75 μm ; 孔隙结构类型以微孔小喉为主, 次为微孔中喉。

1.3 物性

库车河-3剖面巴什基奇克组分析砂岩物性样品471块, 孔隙度平均值为9.4%, 集中分布范

围为 4%~ 14%; 渗透率平均值为 $6.34 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 集中分布范围为 $0.1 \times 10^{-3} \sim 52.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$; 克拉苏河- 3 剖面巴什基奇克组分析物性样品 236 块, 孔隙度平均值为 10.65%, 集中分布范围为 6%~ 14%; 渗透率平均值为 $7.32 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 集中分布范围为 $1 \times 10^{-3} \sim 41.3 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。纵向上, 三段砾岩物性最差, 二段最好, 一段次之。

1.4 成岩作用

露头区巴什基奇克组砂岩自生胶结物主要为晶粒状碳酸盐矿物及少量方沸石、膏质和硅质, 自生粘土矿物以 I/S 混层和伊利石为主, 此外还见到长石钠长石化, 反映沉积期水体呈弱碱性- 碱性。其主要成岩作用类型为压实、胶结和溶蚀作用等。压实作用和胶结作用使物性变差, 溶蚀作用则使孔隙连通性变好, 改善储集性能。

露头区巴什基奇克组砂岩主要发育以下两种成岩相。

(1) 强- 中等胶结、弱- 中等溶蚀成岩相。该成岩相是巴什基奇克组最发育的成岩相。其主要特点是溶蚀作用弱- 中等、胶结作用强- 中等, 且压实强度中等, 视压实率为 45.4%~ 49.7%。虽然露头砂岩溶蚀作用具有多期次、溶蚀物质种类多的特点, 但由于气候干旱、沉积物近源较快速堆积, 砂岩结构和成分成熟度均较低, 泥质杂基含量较高, 因此表生成岩阶段的泥质溶蚀作用最强, 溶蚀孔多为杂基内溶蚀微孔隙。另外, 由于胶结物与泥质互为补偿, 因此溶蚀粒间孔较少。具该类成岩相的砂岩储层物性较好, 孔隙演化的定量模式为:

$$\begin{aligned} &\text{原始孔隙度 } 37\% \xrightarrow[\text{压实减少}]{- 19.1\%} 17.9\% \xrightarrow[\text{胶结损失}]{- 11.4\%} 13.9\% \\ &\xrightarrow[\text{溶蚀增加}]{+ 3.1\%} 9.6\% (\text{今孔隙度}) \end{aligned}$$

(2) 强胶结、弱溶蚀成岩相。其主要特点是胶结物含量高、溶蚀作用弱而且物性差, 孔隙演化的定量模式为:

$$\begin{aligned} &\text{原始孔隙度 } 37\% \xrightarrow[\text{压实减少}]{- 6.7\%} 30.3\% \xrightarrow[\text{胶结损失}]{- 25.7\%} 4.6\% \\ &\xrightarrow[\text{溶蚀增加}]{+ 0.6\%} 5.2\% (\text{今孔隙度}) \end{aligned}$$

2 砂体成因类型与物性

在露头剖面上, 巴什基奇克组主要有 3 类砂体成因类型(表 1)。

(1) 辫状三角洲平原砂质辫状河道砂体: 主要

表 1 巴什基奇克组露头砂体成因类型与物性特征

Table 1 Genetic type and reservoir quality of Bashijiqike sand bodies in the outcrop

岩性段	沉积亚相	砂体成因类型	物 性 特 征	
			孔隙度/ %	渗透率/ $10^{-3} \mu\text{m}^2$
一段	辫状三角洲平原	砾质辫状河道	$\frac{7.78}{6.17-9.21}^{(8)*}$	$\frac{2.43}{1.52-3.49}^{(8)}$
二段		砂质辫状河道	$\frac{10.44}{7.07-13.38}^{(32)}$	$\frac{9.47}{1.44-45.54}^{(30)}$
三段	扇三角洲平原(冲积扇)	泥石流	$\frac{4.9}{4.2-5.8}^{(4)}$	/
		辫状水道	4.65(1)	0.85(1)
		漫流	6.27(1)	0.49(1)

* $\frac{7.78}{6.17-9.21}^{(8)}$ 即 $\frac{\text{平均值}}{\text{最小值}-\text{最大值}}^{(\text{样品数})}$

分布于巴什基奇克组二段, 是巴什基奇克组最发育的砂体类型, 以中砂岩为主, 次为细砂岩。其底面为冲刷面, 冲刷面上发育滞留砾石层, 下部以发育槽状交错层理砂岩相为主, 有时见板状交错层理砂岩相, 上部以平行层理砂岩相为主, 次为板状交错层理砂岩相, 顶部常见生物扰动砂岩相, 自下而上构成正粒序。该类砂体物性最好, 孔隙度为 7.07%~ 13.38%, 平均 10.44%; 渗透率为 $1.44 \times 10^{-3} \sim 45.54 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 平均 $9.47 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$; 其高渗部位位于中下部, 向上物性变差(图 1)。

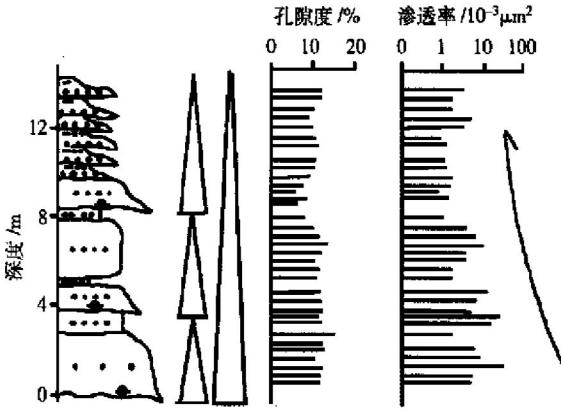


图 1 砂质辫状河道砂体物性分布

Fig. 1 A map showing distribution of porosity and permeability in the sandy- braided channel sand bodies

(2) 辫状三角洲平原砾质辫状河道砂体: 主要分布于巴什基奇克组一段, 由含砾砂岩、砂质细- 小砾岩组成。其底面为冲刷面, 下部以块状层理、递变层理砂质砾岩相为主, 上部为块状层理、平行

层理含砾砂岩相,顶部有时见块状层理砂岩相,自下而上显正粒序。其物性较好,孔隙度平均为7.78%,渗透率平均为 $2.43 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,高渗部位主要位于中上部。

(3) 扇三角洲平原(冲积扇) 储集体: 由洪水重力流形成,包括泥石流、辫状水道和漫流3类,主要分布于巴什基奇克组三段。泥石流沉积主要由块状层理、递变层理粗-中砾岩相构成;辫状水道沉积由递变层理砾岩相、槽状、板状交错层理砾岩相构成,底面为冲刷面,显正粒序;漫流沉积则主要由水平层理、块状层理粉砂岩相、极细砂岩相构成。扇三角洲平原(冲积扇)中的泥石流和辫状水道

砾岩储集体填隙物含量高,一般为20%~40%,杂基主要为分选极差的小砾和各种粒级的砂质,胶结物以方解石为主,含量范围为5%~25%,因此其物性很差,孔隙度一般小于5%,渗透率小于 $1.0 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$;漫流沉积粉砂岩、极细砂岩储集体中泥质含量平均20.9%,胶结物含量平均11.6%,物性较差。

3 砂体结构

根据在克拉苏河地区(克拉苏-3剖面)建立的巴什基奇克组一、二段辫状三角洲平原砂体骨架原型模型(图2)和隔夹层分布原型模型,可以分析其砂体结构特征。

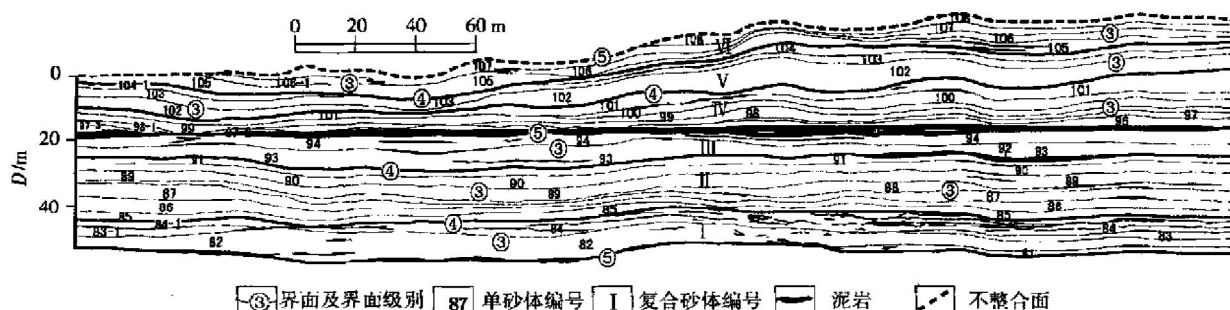


图2 巴什基奇克组储层砂体原型模型及层次划分

Fig. 2 Prototype model and hierarchy of reservoir sand bodies in the Bashijiqike Fm

3.1 层次划分

根据河流沉积相的建筑结构要素分析法^[2,3]和储层建筑结构层次分析法^[4],结合研究区的沉积特征,利用露头砂体解剖建立的砂体骨架原型模型,将白垩系巴什基奇克组储层建筑结构划分为6级层次界面和6级层次实体(图2)。

一级界面为交错层系的界面,层次实体为交错层系;二级界面为交错层系组的界面,层次实体为交错层系组;三级界面为单砂体的界面,层次实体为单个河道砂体,代表了一期洪水事件,界面为一侵蚀界面或侧向加积界面,常有含泥砾或砾石的滞留沉积;四级界面为复合砂体的界面,为一较大的侵蚀面,层次实体由一组河道砂体组成;五级界面相当于初始湖泛面和最大湖泛面,界面常为岩性突变面或具较稳定的泥岩,层次实体相当于层序地层学中的体系域;6级界面为层序界面,层次实体相当于层序地层学中的一个三级层序,即巴什基奇克组。

3.2 骨架结构

巴什基奇克组一、二段储层骨架结构属于“积木式”,主要由互相切割的多个辫状河道砂体叠置而成,剖面上其储集岩百分含量达94%~97%,空间上具厚度大、分布广、侧向连续性和垂向连通性好的特点,符合辫状河的“泛连通体”模式^[5]。

3.3 形态及规模

巴什基奇克组单砂体多呈板状和宽透镜状,横向展布宽,宽厚比大,在390 m的追踪范围内,除个别单砂体见到两侧或一侧尖灭外,其余大部分砂体未见尖灭。宽透镜状砂体厚度一般在2~3 m,最大可达6 m(图3中105号砂体),宽/厚一般为54.8~124.1;板状砂体厚度一般3~5 m,最厚8.8 m(图3中102号砂体),宽厚比一般大于75。

3.4 隔夹层

巴什基奇克组一、二段储层中隔夹层不发育,隔夹层密度一般小于0.1 m/m,单层厚度多小于0.3 m,垂向出现频率为0~2条/m,其岩性主要为

泥岩、粉砂质泥岩和含泥砾砂岩。不同层次级别的隔夹层特征如下。

(1) 最大湖泛时期沉积的泥岩。即图3中的95层, 泥岩质纯, 厚度最大(1~3 m), 分布相对稳定, 露头与井下均能对比。

(2) 单砂体间的隔夹层。可分为两类: 一类为辫状河道底部的滞留沉积, 岩性以含泥砾砂岩为主, 其厚度极不稳定, 一般厚0.1~0.5 m, 多呈豆荚状或透镜状断续分布, 延伸多在10~30 m之间; 另一类为辫状河道顶部的细粒沉积, 岩性为泥岩、粉砂质泥岩或泥质粉砂岩, 单层厚度一般0.5~0.2 m, 受上覆河道砂体的侵蚀, 厚度不稳定, 横向延伸一般小于200 m。

(3) 单砂体内部的隔夹层。主要为顺层分布的泥砾条带或泥岩透镜体, 常见分叉、合并现象, 厚度一般0.1~0.3 m, 横向延伸多小于10 m。

4 与井下储层对比

露头和井下(以克拉2井为主)巴什基奇克组同属扇三角洲沉积, 在砂体类型、储层结构等方面具有相同的特征。但是, 由于井下距离物源相对较远, 储层岩石学特征略有差异: 井下成分成熟度略高; 露头粒度略粗, 露头以中砂岩为主, 井下主要为细砂岩; 露头杂基含量为7%~8%, 井下为5%左右, 露头高于井下。

露头和井下巴什基奇克组储层在胶结物含量、储集空间以及物性等方面存在明显差异, 主要表现在: 露头碳酸盐胶结物含量比井下平均高约5%; 露头储集空间以杂基内溶蚀微孔为主, 其次

为溶蚀粒间孔, 井下则以溶蚀粒间孔为主; 同一粒级砂岩储集性能露头要比井下的差。由于露头和井下巴什基奇克组储层经历的埋藏史相似, 只是喜山晚期的构造运动才使克-依构造带部分白垩系储层出露。可见, 露头和井下经历了近似的早期埋藏和成岩改造, 其压实强度一致, 埋藏成岩过程中发生溶蚀作用的期次和强度也基本一致, 造成两者差异的主要原因是露头储层经历了表生成岩作用的改造。表生胶结作用造成露头碳酸盐胶结物含量比井下高, 使露头储层损失孔隙度约5%; 表生淋滤作用导致露头泥质杂基普遍溶蚀、杂基内溶蚀微孔发育, 使储层增加孔隙度约2%; 综合改造的结果是储层损失孔隙度约3%左右, 导致同一粒级砂岩露头储层储集性能差于井下。

致谢: 参加研究工作的还有刘颀、刘新民、郭永强等同志, 江汉石油学院张昌民教授、林克湘教授亲临野外指导, 在此一并表示诚挚谢意。

参 考 文 献

- 1 林克湘, 张昌民, 刘怀波, 等. 地面-地下对比建立储集层精细地质模型[M]. 北京: 石油工业出版社, 1995. 1~250
- 2 Mail A D. Architectural - element analysis: a new method of facies analysis applied fluvial deposits[J]. Earth Sci Rev, 1985, 22(2): 261~267
- 3 Mail A D. Heterogeneities in fluvial sandstone: lessons from outcrop studies[J]. AAPG Bull, 1988, 72(6): 682~697
- 4 张昌民. 储层研究中的层次分析法[J]. 石油与天然气地质, 1992, 13(3): 344~355
- 5 葛云龙, 逯径铁, 廖保方, 等. 辫状河的“泛连通体”沉积模式[J]. 石油勘探与开发, 1998, 25(5): 77~79

RESERVOIR CHARACTERISTICS IN CRETACEOUS BASHIJIQIKE FORMATION OUTCROP IN KUQA DEPRESSION

Hu Tao^{1,2} Zhang Boqiao² Shu Zhiguo² Xia Wenjun²

(1. China University of Geosciences, Wuhan, Hubei; 2. Jiangnan Oilfield Company, SINOPEC Qianjiang, Hubei)

Abstract: Reservoir rocks in Bashijiqike Fm outcrop are mostly of medium-grained lithic sandstone, dominated by the secondary dissolved micropores, strong-medium cementation, and weak-medium dissolved diagenetic facies. There are three genetic types of sand bodies in the Bashijiqike Fm, including sandy-braided channel sand bodies in the braided-delta plain in the 2nd member of Bashijiqike Fm, gravel-braided channel sand bodies in the braided-delta plain in the 1st member of Bashijiqike Fm, and fan delta reservoir sand bodies in the 3rd member of the Fm. On the basis of

(Please Turn to Page 179)