

靖边气田盒8段储层特征及控制因素

牛会玲¹, 谢润成¹, 戴建文², 瞿子易¹, 金文辉¹

(1. “油气藏地质及开发工程”国家重点实验室·成都理工大学, 四川成都 610059;

2. 中国海洋石油(中国)有限公司深圳分公司)

摘要:鄂尔多斯盆地靖边气田中二叠系盒8段以岩屑砂岩和岩屑石英砂岩为主的储层分布广泛, 横向分布较稳定, 厚度为55~65 m, 为河流-三角洲沉积。储集空间类型以高岭石晶间孔-溶孔孔隙组合为主, 发育少量的粒间孔、粒内溶孔、铸模孔和微裂缝, 为典型的低孔、低渗储层。根据测井数据、岩心、铸体薄片、荧光照片及物性分析等资料, 分析盒8段储层特征, 指出沉积微相和成岩作用为研究区砂岩储层发育的主控因素, 其中, 成岩作用以具有建设性的溶蚀和蚀变作用和具有破坏性的机械压实作用为主。

关键词:靖边气田; 盒8段; 砂岩; 储层特征; 主控因素

中图分类号: TE112.221

文献标识码: A

鄂尔多斯盆地是我国内陆第二大沉积盆地, 横跨陕、甘、宁、蒙、晋五省区, 面积约 $28 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。整个盆地在其地史演化过程中位于华北地台西部, 也是中朝准地台的组成部分, 虽历经多次构造运动, 但整体以升降发育为主, 所以缺乏内部构造, 在现今构造上表现为一个不足 1° 的西倾大单斜(图1)^[1]。

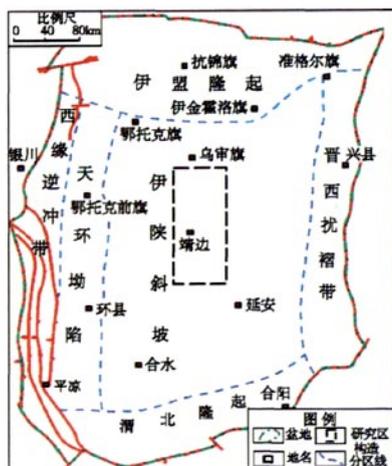


图1 靖边气田位置

长庆靖边气田上古生界中二叠统下石盒子组盒8段气藏是位于鄂尔多斯盆地伊陕斜坡中部一个气藏(图1)。盒8段为研究区上古生界的主要产气层, 地层厚55~65 m, 为河流-三角洲沉积环境, 为盒8_下、盒8_上两段。两段厚度相当, 约为25~35 m, 发育多套不等厚互层的砂泥岩组合, 砂体厚度横向变迁快, 岩性都以灰白色、浅灰色细砾岩、含砾粗砂

岩及中砂岩为主。根据岩性组合、沉积旋回又将盒8_下、盒8_上划分了四个小层段。为深化对盒8段储层的地质认识, 对研究区内储层特征与有利储层发育控制因素进行分析。

1 储层特征

1.1 储层岩石学特征

依据前人研究及本次薄片鉴定, 靖边气田盒8段砂岩主要由石英砂岩、岩屑石英砂岩和岩屑砂岩等三类岩石构成, 这与苏里格气田盒8段砂岩岩性一致, 而粒度比苏里格盒8段砂岩偏细。

从统计结果看(表1), 研究区盒8段储层岩性以岩屑砂岩和岩屑石英砂岩为主, 分别占59.02%和36.10%, 石英砂岩仅占4.88%。整体上来看, 上部层位岩屑砂岩含量高, 石英砂岩含量低, 下部地层岩屑砂岩含量低, 石英砂岩含量较高, 特别是主力气层盒8下2段砂岩, 岩屑砂岩所占比例最低, 岩屑石英砂岩最高, 达到60%以上。

总之, 研究区岩性以岩屑砂岩和岩屑石英砂岩为主, 次为石英砂岩。

1.2 储集物性特征

1.2.1 孔隙度、渗透率及含水饱和度特征

本次研究系统观察了9口井的钻井取心, 并且

收稿日期: 2009-07-28; 改回日期: 2009-09-21

作者简介: 牛会玲, 硕士, 1981年生, 2007年毕业于成都理工大学资源勘查工程专业, 从事石油地质及油气田开发地质的工作, 研究方向为油气田开发地质。

表1 盒8段各小层岩石类型

层位	石英砂岩, %	岩屑石英砂岩, %	岩屑砂岩, %
盒8 _上 ¹	0	29.03	70.97
盒8 _上 ²	10	26.67	63.33
盒8 _下 ¹	0	27.27	72.73
盒8 _下 ²	9.5	61.45	29.05

有针对性地取了相应的岩心进行实验测试观察。在铸体薄片鉴定的基础上,进行了孔隙度、渗透率、孔隙结构、毛管压力的分析测试,同时收集了长庆油田采气一厂所测的部分物性分析资料(42口井1983

个样品),由此统计了各个小层的物性参数(表2)。

研究结果表明(图2),整个盒8段孔隙度平均值为6.61%,范围0.70%~20.54%,主要分布区间3.0%~9.0%。渗透率平均值 $0.797 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,范围 $(0.0027 \sim 400.5) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,主要分布区间 $(0.1 \sim 0.5) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。含水饱和度平均值68.05%,分布范围是2.87%~99.98%。数据表明该气田盒8段砂岩为典型的低孔、低渗储层。

考虑到样品中可能有裂缝存在,所以,将样品中

表2 盒8段各小层物性参数统计

参数		盒8 _上 ¹	盒8 _上 ²	盒8 _下 ¹	盒8 _下 ²	盒8段
孔隙度, %	区间	0.74 - 19.66	1.31 - 20.54	0.7 - 15.45	1.04 - 15.52	0.7 - 20.54
	平均值	7.72	6.37	6.46	6.47	6.61
渗透率/ $(10^{-3} \mu\text{m}^2)$	区间	0.0045 - 51.586	0.0074 - 16.705	0.0075 - 400.5	0.0027 - 43.7	0.0027 - 400.5
	平均值	0.7961	0.4599	1.3226	0.6187	0.797
含水饱和度, %	区间	24.18 - 96.88	10 - 99.98	24.23 - 97.94	2.87 - 99.36	2.87 - 99.98
	平均值	71.69	72.04	68.04	64.71	68.05

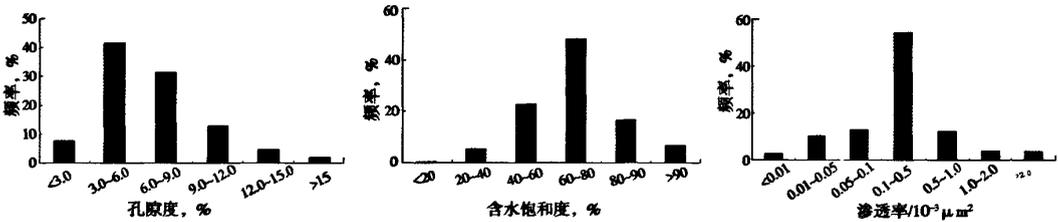


图2 盒8段砂岩孔隙度、渗透率及含水饱和度分布

处于两端的去掉,取渗透率值为 $(0.05 \sim 2) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 样品。这部分样品的平均渗透率为 $0.3303 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,占样品总数的80%左右,这个值可以认为砂岩的基质渗透率,而样品中大于 $2 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,一般认为是裂缝存在。

综上所述,靖边气田盒8段地层砂岩基质的平均孔隙度为6.61%,平均渗透率为 $0.3303 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,为低孔、低渗近致密储层。有4%左右的样品存在裂缝,裂缝的存在有效地改善了储层的渗透性能。

1.2.2 孔隙度、渗透率关系

研究区盒8段地层部分样品做孔隙度和渗透率关系(图3)认为,整个盒8段地层的孔隙度和渗透率呈正相关趋势,但由于裂缝的存在,相关程度不是很高。

1.3 储层孔隙结构特征

1.3.1 孔隙类型

研究区上古生界储层砂岩的储集空间主要是孔隙,包括剩余原生粒间孔、粒间溶孔、粒间溶蚀扩大

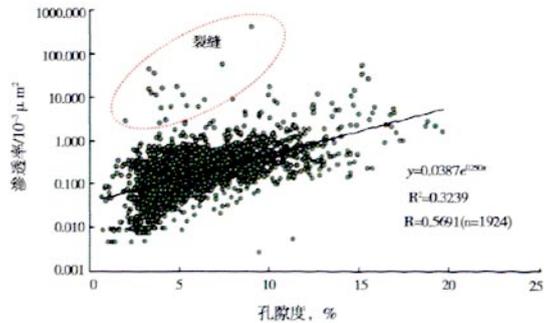


图3 盒8段地层砂岩孔隙度-渗透率关系

孔、粒内溶孔和高岭石晶间孔^[2-3],此外,砂岩中还未见充填的微裂缝。

综合对盒8段储集空间类型分析认为(图4),盒8段储集空间孔隙基本上以高岭石晶间孔-溶孔孔隙组合为主,发育少量粒间孔、粒内溶孔、铸模孔和微裂缝,构成本区特有的次生孔隙型低孔、特低渗储集层。

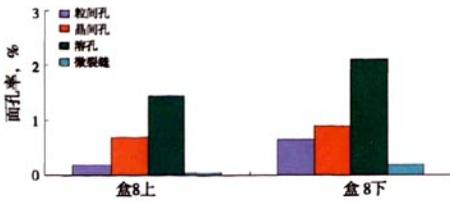


图4 盒8段上、下两层砂岩孔隙类型分布

1.3.2 孔隙结构特征

根据盒8段砂岩部分样品压汞测试,毛管压力曲线形态从粗歪度-细歪度均有分布。其参数特征: R_{10} 的分布范围 $0.057 \sim 1.624 \mu\text{m}$, 平均值 $0.6191 \mu\text{m}$; R_{50} 的分布范围 $0.006 \sim 0.2562 \mu\text{m}$, 平均值 $0.0677 \mu\text{m}$; V 大于 $0.1 \mu\text{m}$ 孔喉体积百分数分布范围 $3.41\% \sim 77.38\%$, 平均值 34.09% ; 均值分布范围 $11.7602 \sim 15.946$, 平均值 14.01 ; 分选系数分布范围 $1.3637 \sim 3.237$, 平均值 2.1617 ; 变异系数分布范围 $0.0857 \sim 0.2323$, 平均值 $0.1566^{[2]}$ 。样品的岩石喉道半径分布于 $1 \sim 0.005 \mu\text{m}$ 之间, 储集性好的样品喉道主要分布范围为 $0.1 \sim 1 \mu\text{m}$ 之间。从样品孔喉分布来看, 绝大多数样品的孔喉分布为单峰形态, 表现出盒8段砂岩孔隙类型的单一性, 这与该地区铸体薄片观察到的砂岩孔隙类型主要为粒间溶孔的结果一致。

总之, 该地区砂岩物性参数与孔隙结构参数都有较好的相关性, 孔喉结构总体较好。

2 储层发育的影响因素

根据现有储层资料以及已取得研究的成果, 下面主要从沉积微相和成岩作用两方面探讨其对储层发育的控制作用。

2.1 原始陆源组分及沉积微相对储层发育的控制作用

原始陆源组分对储层的影响有四个方面^[4-6]。

(1) 碎屑成分。研究区内砂岩的碎屑成分以石英和岩屑为主, 长石含量普遍偏低, 绝大多数样品未

见或仅零星分布。由于石英属刚性矿物, 抗机械压实作用较强, 而且石英含量较高, 矿物也容易产生裂隙, 并可以使裂隙得以较好的保存。石英和岩屑的相对含量受物源成分和沉积条件的共同影响。

(2) 砂岩粒度。根据砂岩的粒度分析资料, 研究区内盒8段砂岩随着砂岩粒度的变细, 其物性变差。但由于较粗的砂岩的存在, 从而保留了较多的原生孔隙, 为以后砂岩储集空间的进一步改造创造了更为有利的条件。总之, 盒8段岩石物性与粒度成正比, 即粒度粗的岩石物性较好, 粒度细的岩石物性差。

(3) 泥质含量。从泥质含量与孔隙度的关系来讲, 岩石孔隙度随泥质含量增加而降低的趋势较为明显, 盒8段也不例外。在盒8段砂岩中, 当泥质含量小于 10% 时, 孔隙度、渗透率明显增高。因此, 在划分储集层时, 泥质含量也可作为一个重要的考虑依据。

(4) 砂层厚度。研究区盒8段砂层厚度变化较大, 从小于 1m 到几十米的砂层均有分布。通过对研究区不同厚度范围对砂岩物性进行的统计发现, 当砂层厚度小于 2m 时, 其储集物性相对较差; 而当砂层厚度大于 2m 时, 随着砂层厚度的增大, 其物性逐渐变好, 这与砂岩物性随着粒度变粗变好的趋势是一致的。

沉积微相对储层的控制作用^[7-9]: 结合沉积相分析成果, 对不同沉积微相砂体的有效厚度、孔隙度、含气饱和度等物性参数进行的统计(表3)认为, 沉积相对砂岩物性的影响是多方面的。研究区有利的沉积微相为辫状河道砂、浅湖滩坝沉积砂。因此, 沉积微相的分布基本上决定了有利储层的分布。

2.2 成岩作用对储层发育的控制作用

根据研究区内盒8段砂岩的成岩作用和成岩演化特征, 对砂岩孔隙演化起控制作用的成岩作用主要有: 机械压实作用、胶结作用、溶蚀作用和蚀变作用等。

表3 盒8段不同微相类型物性统计

参数	辫状河道砂	网状河道砂	三角洲平原河道砂	三角洲前缘河道砂	浅湖滩坝砂	
有效厚度/m	区间	0.8-23.8	0.8-14.9	0.4-20.1	1.0-11.7	1.2-22
	平均值	4.4	4.49	4.65	4.55	5.05
孔隙度, %	区间	4.4-15.4	3.60-15.47	4.92-15.40	4.90-13.72	5.26-13.77
	平均值	9.81	8.87	8.73	9.16	9.64
含气饱和度, %	区间	16.01-87.84	31.70-86.22	35.17-85.00	39.90-81.55	30.24-86.76
	平均值	60.54	64.30	61.42	62.79	55.92
巴克系数	区间	3.01-107.39	3.38-106.03	2.37-112.46	4.89-87.85	3.66-140.97
	平均值	26.19	26.01	24.44	26.62	28.6
样品数	162	247	183	55	70	

(1) 压实作用。本区纯石英砂岩、石英砂岩中的碎屑颗粒大多以线接触和凹凸接触为主,少数样品可见到缝合线接触,埋深大的砂岩中石英颗粒还可见有细裂纹。采用 Lundegard(1992)的计算孔隙度压实作用损失的公式,其计算结果表明,压实作用使砂岩孔隙度损失了 29%,应属于强压实^[2]。因此,可以认为压实作用是导致研究区盒 8 段砂岩孔隙度下降的重要因素。

(2) 胶结作用。现有资料统计结果表明,研究区盒 8 段砂岩储层随着胶结物含量的增加,盒 8 段四个小层砂岩的孔隙度、渗透率都呈现降低的趋势。

(3) 溶蚀和蚀变作用。研究区盒 8 段砂岩以次生溶孔和高岭石晶间隙为主,因此溶蚀、蚀变作用的强弱对于砂岩物性的好坏起着决定性的作用。已有的薄片观察结果表明,盒 8 段砂岩中存在广泛的铝硅酸盐矿物和碳酸盐矿物溶解作用。比如,长石溶蚀大多沿解理缝和破裂缝进行形成粒内溶孔,溶蚀程度强时,形成蜂巢状溶孔和铸模孔。总的来讲,溶蚀孔隙的连通性对改善砂岩的孔渗性能有重要的作用。

(4) 成岩相作用。一般来说,砂岩层中孔隙发育状况直接受制于发育的成岩相类型,根据本次及前人研究,认为研究区较有利于孔隙发育的各成岩相如下(据王允诚等,2004)^[1]:①二氧化硅+方解石充填相;②方解石+二氧化硅充填相;③溶蚀+二氧化硅充填相、溶蚀+方解石充填相;④孔隙类型主要为粒间溶蚀扩大孔和粒内溶孔;⑤自生矿物弱充填相。

综上分析可知,影响研究区盒 8 段砂岩物性的成岩作用主要包括破坏性成岩作用(机械压实作用)和建设性成岩作用(溶蚀和蚀变作用),以溶蚀+二氧化硅充填相、溶蚀+方解石充填相和自生矿物弱充填相等成岩相物性较好。

3 结论

(1) 靖边气田盒 8 段岩性以岩屑砂岩和岩屑石英砂岩为主,其平均孔隙度为 6.61%,平均渗透率为 $0.3303 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,为低孔、特低渗储层。储集层在研究区分布广泛,厚度稳定(55~65 m),属于河流-三角洲沉积。

(2) 盒 8 段储层的孔隙组合基本上以高岭石晶

间孔-溶孔孔隙组合为主,发育少量的粒间孔、粒内溶孔、铸模孔和微裂缝。通过对孔、渗、饱特征及孔渗关系的研究,该区孔渗相关较差,微裂缝的存在,大大改善砂岩储层渗透性能,故研究区是特有的次生孔隙型低孔低渗天然气储集层。

(3) 影响该研究区储层发育的控制因素有沉积微相、成岩过程中的成岩后生变化中的溶蚀和蚀变作用。研究区较为有利的沉积微相为辫状河道砂和浅湖滩坝沉积砂;在本区的主要成岩作用中,溶蚀和蚀变作用为主要的建设性成岩作用,而机械压实作用为主要的破坏性成岩作用。

参考文献

- [1] 王允诚,孔金祥,李海平,等. 气藏地质[M]. 北京:石油工业出版社,2004:350-361
- [2] 袁珂,周文,关森,等. 鄂尔多斯靖边气田盒 8 段砂岩储层特征[J]. 物探化探计算技术,2009,31(3):271-276
- [3] 李剑齐,李维峰. 靖边气田上古生界储集层孔隙结构研究[J]. 石油天然气学报(江汉石油学院学报),2005,27(3):442-444
- [4] 昌俊杰,罗顺社,王正允,等. 靖边潜台南奥陶系马五₁亚段储层特征研究[J]. 石油地质与工程,2008,22(5):41-44
- [5] 付晓燕,周锋德,唐金星,等. 麻黄山油田低渗透率储层物性影响因素分析[J]. 石油地质与工程,2009,23(1):29-31
- [6] 陈小梅. 鄂尔多斯盆地镇泾地区延长组长 6、长 8 油层组储层特征研究[J]. 石油地质与工程,2007,21(6):29-32
- [7] 文华国,郑荣才,高红灿. 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
- [8] 何自新,郑聪斌,王彩丽,等. 中国海相油气田勘探实例之二-鄂尔多斯盆地靖边气田的发现与勘探[J]. 海相油气地质,2005,10(2):37-44
- [9] 陶莹,于雷,刘人和,等. 新疆乌尔禾白垩系油砂矿地质特征及资源评价[J]. 石油地质与工程,2009,23(2):37-40

编辑:吴官生