

# 鄂尔多斯盆地靖边气田砂岩储层成岩作用

王军杰<sup>1</sup>, 杨仁超<sup>2</sup>, 樊爱萍<sup>2</sup>, 赵娟<sup>2</sup>

1. 中国石油天然气股份有限公司长庆油田分公司, 陕西靖边 710018
2. 山东科技大学地质科学与工程学院, 山东青岛 266510

**摘要** 靖边气田二叠系砂岩储层的低孔低渗特征成为严重困扰该区天然气生产的关键问题, 为了分析该区储层物性变差的主要原因, 提高储层预测精度, 本文通过系统的薄片鉴定、压汞、阴极发光、扫描电镜等分析, 研究了该区砂岩的成岩作用及其对储集性能的控制作用。研究发现, 靖边气田盒8段砂岩主要为岩屑砂岩、岩屑石英砂岩和石英砂岩, 胶结物主要为碳酸盐、高岭石、绿泥石和硅质胶结, 碳酸盐胶结物含量对储层物性影响较大; 储集空间主要是剩余原生粒间孔、粒间溶孔、粒间溶蚀扩大孔、粒内溶孔、高岭石晶间孔及少量微裂缝, 以次生孔隙为主; 盒8段砂岩主要为II、III类储集岩, I类储集岩较少。研究认为, 沉积微相奠定了储层的物质基础, 决定储层的空间展布, 而成岩作用改造是储层物性好坏的关键因素, 二者共同决定了储层的发育程度。压实作用和胶结作用是储层物性变差的最主要原因, 广泛发育的铝硅酸盐矿物溶解对储层物性的改善起关键作用。

**关键词** 鄂尔多斯盆地, 靖边气田, 砂岩储层, 成岩作用, 成岩相

**中图分类号** TE122.2

**文献标识码** A

**文章编号** 1000-7857(2010)21-0037-06

## Diagenesis of Sandstone Reservoirs in Jingbian Gas Field, Ordos Basin

WANG Junjie<sup>1</sup>, YANG Renchao<sup>2</sup>, FAN Aiping<sup>2</sup>, ZHAO Juan<sup>2</sup>

1. Changqing Oilfield Company, China National Petroleum Corporation, Jingbian 710018, Shaanxi Province, China
2. College of Geological Science and Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266510, Shandong Province, China

**Abstract** The low porosity and low permeability of Permian sandstone reservoirs are the key puzzling issues in gas exploitation in Jingbian gas field, Ordos basin. To analyze the poor property of sandstone reservoirs and improve the accuracy of reservoir forecast, the diagenesis and its controls on reservoir property of sandstone in this area are studied by using systematic slice identification, mercury penetration, cathodoluminescence and scanning electron microscope. It is shown that lithology of P<sub>2</sub>h<sub>8</sub> sandstone in Jingbian gas field is dominated by lithic sandstone, lithic silicarenite and silicarenite with carbonate, kaolinite, chlorite and siliceous cementation. Content of carbonate cementation influences greatly the properties of reservoirs. Reservoir space is dominated by secondary porosity, including the remaining primary intergranular pores, intergranular dissolution pores, intergranular corrosion expanding pores, intragranular dissolved pores, intergranular pores in Kaolinite, and some micro-cracks. Sandstone reservoirs in P<sub>2</sub>h<sub>8</sub> consist mainly of rocks of type II and type III with small portion of rocks of type I. The sedimentary microfacies and the diagenesis controlled development of reservoirs are considered as the main material basis of reservoirs. Well diagenesis alteration is the key factor that determines properties of reservoirs. Compaction and cementation are the main controls on degrading physical properties of reservoirs. Extensively developed dissolution of aluminosilicate minerals plays a key role in improving properties of reservoirs.

**Keywords** Ordos Basin; Jingbian gas field; sandstone reservoirs; diagenesis; diagenesis facies

收稿日期: 2010-09-01; 修回日期: 2010-09-30

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973计划)项目(2003CB214603); 山东省沉积成矿作用与沉积矿产重点实验室开放基金项目(DMSM200803)

作者简介: 王军杰, 工程师, 研究方向为天然气勘探开发, 电子信箱: 929020028@qq.com

## 0 引言

靖边气田位于鄂尔多斯盆地伊陕斜坡中部,发育古生界奥陶系和二叠系两套含气层系,其中二叠系气藏是以河流、三角洲相砂岩为储层的岩性气藏<sup>[1]</sup>。随着气田勘探开发的不断深入,发现其主力气层盒8段砂岩储层岩性致密,多为低孔低渗储层<sup>[2]</sup>。因此,深入研究靖边气田储集砂岩的成岩作用,探索储层物性变差的主控因素,寻找相对优质储层的分布规律,成为该区天然气勘探开发的关键。魏红红等<sup>[3]</sup>认为优质储层多出现在辫状河三角洲平原以及曲流河河道砂体中,碎屑组成、粒级、填隙物含量和成岩作用均对储层性能有重要影响;黄思静等<sup>[4]</sup>研究认为孔隙环边衬里方式产出的绿泥石是深埋地层中孔隙保存的重要机制,环边绿泥石的沉淀及其在成岩过程中的再生长不仅提高了岩石的机械强度和抗压实能力,还降低了自生石英在碎屑颗粒上的成核数量并抑制石英的次生加大,从而使砂岩中的原生和次生孔隙得以保存;朱宏权等<sup>[2]</sup>分析了鄂尔多斯盆地北部地区砂岩储层的影响因素,并统计分析了储层物性与沉积微相、岩性之间的关系;兰朝利等<sup>[5]</sup>对比分析了鄂尔多斯盆地苏里格气田和榆林气田储层的特征,并分析了储层气井产能差异的主要因素,认为造成两个气田气井产能差异的主要地质因素是储层的孔隙结构和储层规模,并提出横向连续、孔隙结构较好的三角洲沉积是优质储层的发育相带<sup>[6]</sup>;朱筱敏等<sup>[6]</sup>分析了气层与非气层成岩相的差异,认为中粗粒与细粒沉积物成岩演化途径不同,中粗粒沉积物次生孔隙发育,残余一定的原生孔隙,易形成气层;杨仁超等<sup>[6-7]</sup>通过对马家山—小涧子油田砂岩成岩作用的研究,建立了成岩相与孔隙发育、孔隙演化之间的关系;樊爱萍等<sup>[8]</sup>通过对惠民凹陷商河砂体沉积微相与成岩作用研究,认为沉积微相控制了砂体的空间展布和碎屑物质组分,而成岩作用改造决定了砂岩的孔隙结构特征和储层类型;袁珂等<sup>[9]</sup>研究了靖边气田盒8段砂岩的储集空间类型、特征及其影响因素,并建立了储集性能与岩性、沉积相之间的关系。

上述研究不仅从沉积微相、粒度、岩性组分等角度探讨了储集性能的影响,而且从成岩矿物、成岩相、成岩作用与孔隙演化等角度综合分析了储层发育的控制因素。由此可见,加强成岩作用研究,探索储层发育的控制因素,对于储层综合评价和储层预测具有十分重要的意义。二叠系石盒子组盒8段是该气藏的主力气层,也是本文研究的重点,通过系统的薄片鉴定、铸体、压汞、阴极发光显微镜、扫描电子显微镜等分析,全面研究了靖边气田砂岩的成岩作用及其对储集性能的控制作用。

## 1 储层岩性特征

依据大量薄片鉴定及其统计分析结果,发现靖边气田盒8段砂岩主要由岩屑砂岩、岩屑石英砂岩和石英砂岩3类岩石构成,以岩屑砂岩(59.02%)和岩屑石英砂岩(36.10%)为

主,石英砂岩含量仅为4.88%。根据研究和生产需要,将石盒子组盒8段分为上、下2个亚段,由上至下进一步分为盒8<sub>上</sub>、盒8<sub>中</sub>、盒8<sub>下</sub>、盒8<sub>下</sub>共4个小层。对4个小层的统计表明,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<sub>中</sub>段砂岩,岩屑砂岩含量最低,而岩屑石英砂岩含量最高,达到60%以上。

## 2 储层孔隙类型特征

通过大量的铸体、扫描电镜分析,发现研究区盒8段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、粒间溶蚀扩大孔、粒内溶孔和高岭石晶间孔,此外,砂岩中可见未充填的微裂缝。

1) 剩余原生粒间孔。原生粒间孔为储层经过机械压实作用、胶结作用等成岩过程后剩余的原始孔隙空间。孔隙形状多为石英加大边所限制,没有看到明显的溶蚀痕迹,呈角孔状,主要发育于石英砂岩中,其余大部分样品中见到的均为已溶蚀扩大的粒间溶孔。此类孔隙在总孔隙中所占比例一般不会超过20%。

2) 粒间溶孔。包括粒间溶蚀扩大孔、粒间溶孔和杂基微溶孔(图1(a)),是研究区盒8段砂岩储层的主要孔隙类型。在剩余原生粒间孔的基础上,溶蚀铝硅酸盐碎屑组分边缘或部分碎屑颗粒形成的孔隙为粒间溶蚀扩大孔;其中粒间杂基或其他粒间自生矿物溶解形成的为粒间溶孔(图1(b)),而杂基溶蚀形成杂基内的微溶孔(图1(c))。前两者的共同特点是具有“港湾状”边缘。

3) 粒内溶孔和铸模孔。碎屑颗粒内的溶孔常见于长石和岩屑颗粒内。当粒内孔与其他类型孔隙连通时,可增大砂岩的孔渗性(图1(a))。但因砂岩中长石含量很少,且长石多已高岭石化,岩屑中的溶孔比较分散、孤立,因此该类孔隙在总孔隙中不占主导地位(图1(d)、(e))。

4) 高岭石晶间孔。孔径在1~8μm之间(图1(b)、(c)、(f)、(g)),主要有两种类型:① 充填在粒间溶孔中的自生高岭石晶间孔,由于晶体生长时有足够的空间,晶体自形很好,晶间隙较宽;② 长石蚀变或高岭土杂基重结晶后形成的高岭石,此类高岭石生长紧密,晶间有泥质或仅留下极窄的晶间隙,镜下难以观察到,但在扫描电镜下清晰可见。

5) 微裂缝。砂岩中常见有沿着颗粒边缘的粒缘缝或穿过颗粒的微缝,以及溶蚀缝等(图1(h)),微裂缝的发育对改善本区砂岩储集性能有较大贡献,微裂隙发育的地区,储层渗透性能显著提高。

盒8段的孔隙组合基本以高岭石晶间孔-溶孔孔隙组合为主,有少量的粒间孔。孔隙结构较差,岩石喉道半径主要为单峰分布,大小在0.05~1μm之间,构成了研究区特有的次生孔隙型低孔低渗天然气储集层。

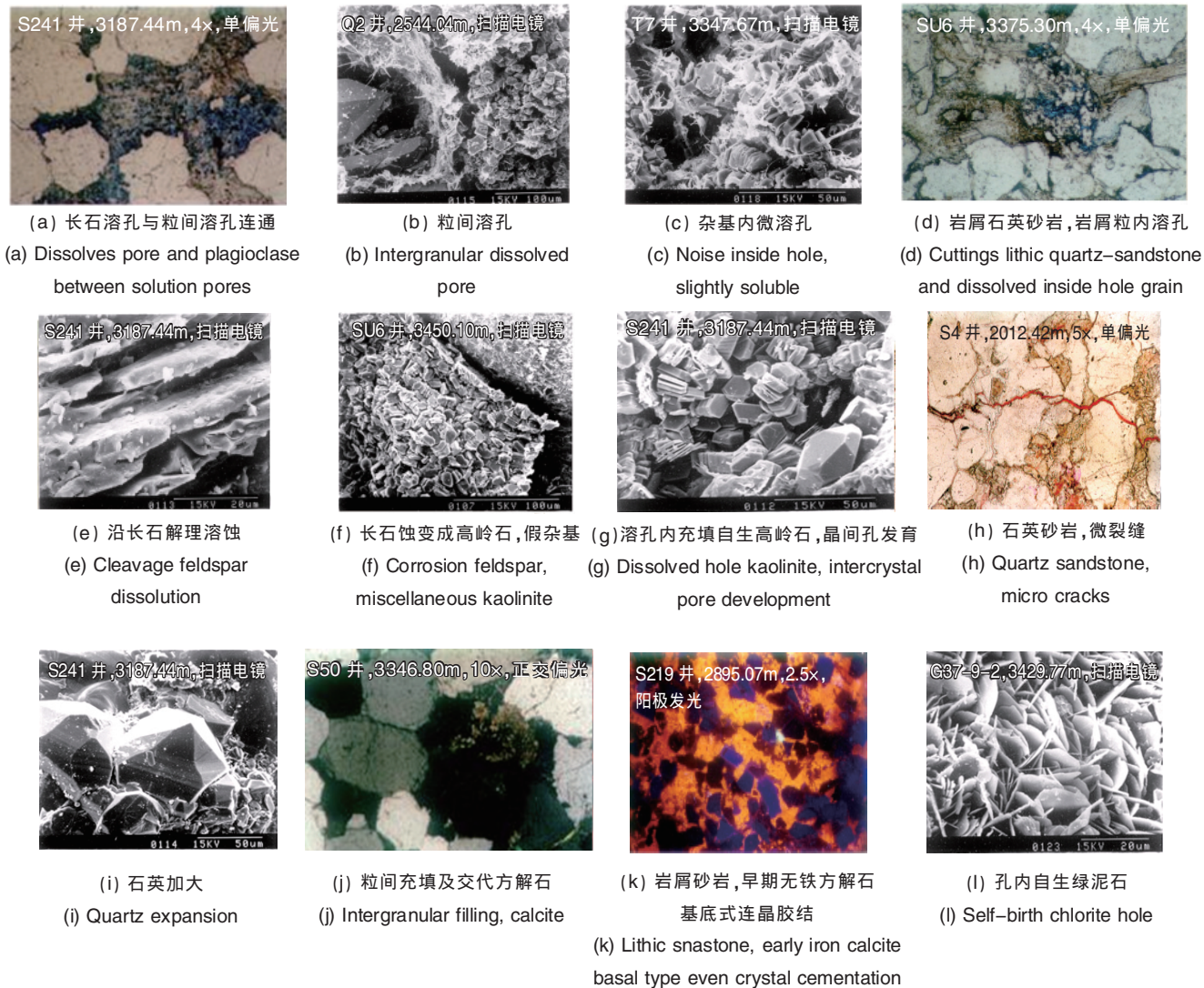


图 1 靖边气田盒 8 段砂岩储层岩性与孔隙结构

Fig. 1 Lithology and pore structure of sandstone reservoirs of He8 Member in jingbian Gas Field

### 3 成岩对储层发育的控制作用

沉积物沉积之后, 孔隙体积的变化主要取决于沉积物所受成岩作用的类型和强度。研究发现, 对研究区盒 8 段砂岩孔隙演化起控制作用的主要为机械压实、胶结、压溶、溶解和蚀变等成岩作用。

#### 1) 压实作用对储层的影响。

研究区各类砂岩, 即石英砂岩、岩屑石英砂岩和岩屑砂岩, 压实作用表现不尽相同。其强弱一般同砂岩中碎屑颗粒的粒度、分选、刚性(或塑性)、颗粒含量、泥质含量及砂体厚度等有关, 单层厚度大、粒度粗、分选好、泥质含量低、刚性颗粒含量高的砂体, 压实强度相对较小。石英砂岩的颗粒组分中以石英类的刚性颗粒为主, 机械压实一般只在埋深小于 2000m 的井段表现明显, 随着埋深增大, 则代之以压溶作用。研究区石英砂岩、岩屑石英砂岩中的碎屑颗粒多以线接触和凹凸接触为主, 少数样品可见缝合线接触, 埋深大的砂岩中

石英颗粒还见有细裂纹。

岩屑砂岩中易变形的软颗粒组分较多, 在淡水、偏酸性介质水的条件下, 发生强烈蚀变和泥化, 或被溶解。泥化的颗粒受上覆负载的压力变形, 很容易被压实以及重新排列, 造成孔隙度大幅度下降。加之岩屑中火山岩组分的水化作用以及蚀变, 大量被泥化, 使岩石更容易强烈压实, 普遍可见的假杂基就是重要的佐证(图 1(f)), 故可认为机械压实是破坏此类砂岩孔隙空间的主要成岩作用。

压实作用是导致研究区盒 8 段砂岩孔隙度下降的最主要因素。据王允诚等<sup>[10]</sup> 计算表明, 压实使砂岩孔隙度损失 29%, 属于强压实。统计分析表明, 压实作用与孔隙度的减小呈负相关线性关系, 由于强烈的压实作用, 当砂岩密度约大于 2.55g/cm<sup>3</sup> 时, 岩石孔隙度急剧下降至 5% 以下, 成为无有效孔隙的压实致密层(图 2)。

#### 2) 胶结作用对储层的影响。

胶结物的形成总是占据砂岩的储集孔隙空间, 因此胶结

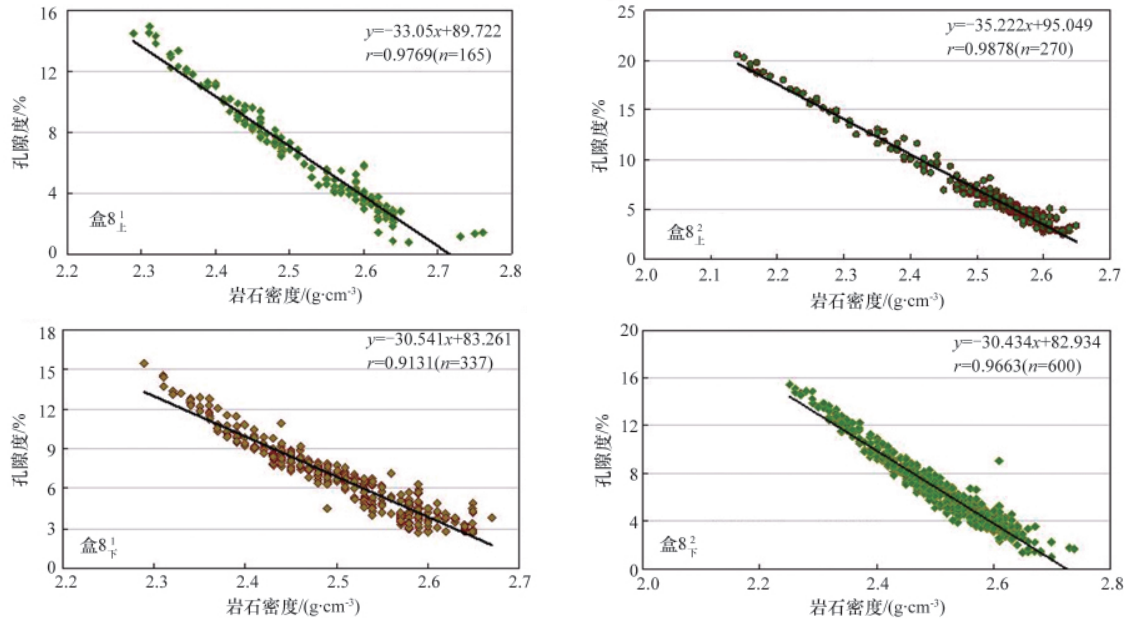


图2 盒8段4小层砂岩孔隙度与岩石密度关系

Fig. 2 Correlation of porosity and density of sandstone in No.4 layer of  $\text{P}_2\text{h}_8$

作用促使砂岩的储集物性变差。现有资料统计分析结果表明,随着胶结物含量的增加,研究区盒8段4小层砂岩地层的孔隙度、渗透率均呈现降低趋势。

不同的胶结物存在含量、形成时间、形成背景等方面的差异,且在砂岩的孔隙演化过程中所起的作用也不尽相同。如果胶结物的形成时间较早,则在成岩作用过程中增加砂岩的抗压实能力,从而有利于砂岩原生孔隙的保存,当胶结物的这种作用大于对孔隙的破坏作用时,在整个孔隙演化过程中,这种胶结物成为对孔隙有利的因素。研究区石英类胶结物以次生加大边形式产出充填于孔隙中,降低了孔隙空间(图1(b)、(i))。但另一方面,石英类胶结物的含量可以反映砂岩中溶蚀、蚀变作用的强弱,当石英胶结物含量较多时,对

砂岩原生孔隙起破坏作用,但溶蚀、蚀变作用较强,形成的次生孔隙较多,又可改善砂岩的储集性能。

研究区常见的碳酸盐矿物为含铁方解石、方解石和菱铁矿。盒8段发育少量钙质砂岩,此类砂岩是早期连晶方解石基底胶结的砂岩,方解石含量在20%以上(图1(j)、(k))。早期成岩阶段方解石胶结物的存在极大降低了岩石的孔隙空间,而晚成岩阶段方解石的溶蚀对砂岩孔隙起到一定促进作用。但上述各种成岩矿物和成岩现象表明,本区盒8段砂岩尚未达到碳酸盐矿物大量溶解的晚成岩作用阶段。从碳酸盐含量与砂岩孔隙度的交汇图(图3)来看,研究区砂岩碳酸盐含量一般小于10%,最高达60%。当碳酸盐含量小于5%时,孔隙度分布范围较宽,说明其对物性影响不大;当碳酸盐

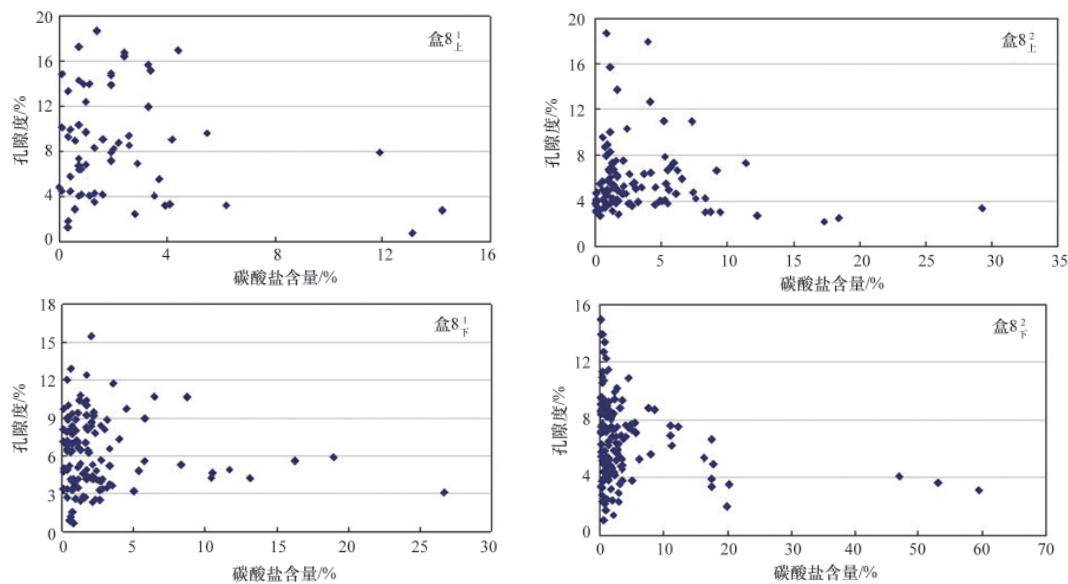


图3 盒8段4小层砂岩孔隙度与碳酸盐含量关系

Fig. 3 Correlation of porosity and carbonate content of sandstone in each layer of  $\text{P}_2\text{h}_8$

含量大于 5% 时,随着碳酸盐含量的增加,砂岩的物性有明显变差的趋势。

高岭石对孔隙空间也存在两个方面的影响。如果高岭石是由泥质杂基、泥板岩岩屑、干枚岩岩屑以及长石、云母等不稳定组分在酸性介质作用下蚀变而成(图 1(c)、(f)),由于在蚀变过程中脱出  $\text{Na}^+$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{SiO}_2$  等组分使体积减小,形成高岭石晶间隙,使砂岩的孔隙度增大;如果为自生高岭石,有较大的生长空间,形成的晶间孔隙较大,这样会对已形成的溶蚀孔隙进行充填,从而使得孔隙空间减小(图 1(g))。

绿泥石对砂岩孔隙空间的影响较为复杂,绿泥石一般以环边的形式产出,如果环边绿泥石属于第一世代胶结物,表明其形成于成岩早期,对原生孔隙的保存起到积极作用。但绿泥石在砂岩孔隙演化过程中所起的作用往往为双重的,一方面可增加砂岩的抗压实能力,有利于原生孔隙的保存;另一方面,绿泥石占据了砂岩的储集空间,对砂岩的孔隙起破坏作用<sup>[4]</sup>。而研究区绿泥石薄膜少见,绿泥石多以充填孔隙的方式出现,对砂岩孔隙造成不利的影(图 1(l))。

3) 溶蚀作用对储层的影响。

在酸性水的作用下,长石、泥板岩岩屑、干枚岩岩屑等岩屑颗粒及杂基中不稳定组分蚀变成高岭石形成晶间隙,易溶组分溶蚀形成溶孔。研究区盒 8 段砂岩以次生溶孔为主,因

此溶蚀、蚀变作用的强弱对砂岩物性的好坏起决定作用。

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溶解作用,其中包括长石碎屑颗粒的溶蚀、岩屑中长石组分的溶解、黑云母碎屑和部分杂基组分的溶解以及少量次生石英胶结物的溶解,碳酸盐胶结物的溶解也较常见。长石溶蚀大多沿解理缝和破裂缝进行,形成粒内溶孔,多伴生有高岭石,大部分呈残余状,溶蚀程度强时,形成蜂巢状溶孔和铸模孔。中酸性喷出岩中的长石斑晶以及浅成岩中的长石组份溶蚀,形成岩屑内溶孔,这类孔隙数量少、孔径小,对孔隙度贡献小。杂基的溶蚀形成粒间溶蚀微孔等。研究发现,研究区砂岩中所见到的长石全部经历了溶蚀作用,溶蚀作用使砂岩中残存的长石减少,而石英及其他不溶矿物含量相应增加,在 4 小层中,盒 8<sub>1</sub>与盒 8<sub>2</sub>小层,石英含量相对较高,储层物性可能相对较好。上述各类溶蚀作用对改善砂岩的孔渗性能起到了重要的作用(图 1(a)、(d)、(f)、(g))。

4 储层综合评价

结合靖边气田平面勘探开发分区情况,利用测井解释结果和岩心测试结果,参照长庆油田公司天然气储层评价标准(表 1),对盒 8 段砂岩储层进行了综合评价。研究发现,盒 8 段砂岩地层平均渗透率为  $0.3303 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ , 平均孔隙度

表 1 盒 8 段储集岩分类评价表

Table 1 Classification and evaluation of sandstone reservoirs in P<sub>2</sub>h<sub>8</sub>

类别	孔隙度 /%	渗透率 /( $10^{-3} \mu\text{m}^2$ )	最大连通孔喉半径/ $\mu\text{m}$	平均孔喉半径/ $\mu\text{m}$	岩石中大于 $0.1 \mu\text{m}$ 孔喉体积百分数/%	全孔喉平均值	变异系数	岩性	评价
I	>12	>1	>1	>0.5	>60	<11	>0.25	粗粒(含砾)岩屑石英砂岩、岩屑砂岩	好储层
II	8~12	0.3~1	0.5~1	0.1~0.5	40~60	13~11	0.2~0.25	中粒岩屑石英砂岩、粗-中粒岩屑砂岩	中等储层
III	6~8	0.1~0.3	0.1~0.5	0.01~0.1	20~40	13~15	0.15~0.2	细-中粒岩屑石英砂岩、中粒岩屑砂岩	差储层
IV	<6	<0.1	<0.1	<0.01	<20	>15	0.1~0.15	细粒砂岩	非储层

表 2 不同沉积微相类型砂岩物性统计表

Table 2 Statistics of property of sandstone in different sedimentary microfacies

沉积微相		辫状河道	网状河道	三角洲平原分流河道	前缘水下分流河道	浅湖滩坝
有效厚度/m	最小值	0.8	0.8	0.4	1	1.2
	最大值	23.8	14.9	20.1	11.7	22
	平均值	4.4	4.49	4.65	4.55	5.05
孔隙度/%	最小值	4.4	3.6	4.92	4.9	5.29
	最大值	15.4	15.47	15.4	13.72	13.77
	平均值	9.81	8.87	8.73	9.16	9.64
含气饱和度/%	最小值	16.01	31.7	35.17	39.9	30.76
	最大值	87.84	86.22	85	81.55	86.76
	平均值	60.54	64.3	61.42	62.79	55.92
巴克系数	最小值	3.01	3.38	2.37	4.89	3.66
	最大值	107.39	106.03	112.46	87.85	140.97
	平均值	26.19	26.01	24.44	26.62	28.6
样品数		162	247	183	55	70

6.61%,为低孔低渗储层,孔隙度总体上自北向南逐渐减小,北部平均达 8.86%,南部平均值为 3.91%。

储层的发育受沉积微相的控制较为明显(表 2),因此,物性的研究应该建立在沉积微相的研究基础之上。结合沉积微相研究成果,对盒 8 段各小层孔隙度平面分布进行分析。从相控下的孔隙度平面分布来看,平面上孔隙度高值区呈零星状分布,主要位于辫状河道和三角洲前缘水下分流河道末端、网状河道交汇处、三角洲平原河道拐弯处、浅湖滩坝,说明沉积微相在一定程度上控制了砂体物性。储层综合评价结果表明,靖边气田上古生界盒 8 段 I 类储集岩较少,平面上呈零星状分布,4 小层中以盒 8<sub>2</sub> 小层 I 类储集岩相对较多,砂岩储层主要为 II、III 类储集岩。

### 5 结论

1) 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组成,主力气层盒 8<sub>2</sub> 小层储层岩性呈现高岩屑石英砂岩含量和低岩屑砂岩含量的特征。储集空间主要为剩余原生粒间孔、粒间溶孔、粒间溶蚀扩大孔、粒内溶孔和高岭石晶间孔,见未充填的微裂缝,以次生孔隙为主,孔隙结构较差,盒 8 段砂岩平均孔隙度和渗透率较低,构成了研究区特有的次生孔隙型低孔低渗天然气储层。

2) 对靖边气田盒 8 段砂岩孔隙演化起控制作用的成岩作用主要有:机械压实、胶结、压溶、溶解和蚀变等。压实和胶结是储层物性变差的最主要原因,研究区胶结物主要为碳酸盐、高岭石、绿泥石和硅质胶结,胶结物含量与储层物性负相关,尤其是碳酸盐胶结物含量越高,储层物性越差;广泛发育的铝硅酸盐矿物溶解对储层物性的改善起关键作用。

3) 靖边气田上古生界盒 8 段砂岩主要为 II、III 类储集岩,I 类储集岩较少。研究认为,沉积微相奠定了储层的物质基础,决定储层的空间展布,而成岩作用改造是储层物性好坏的关键因素,二者共同决定了储层的发育程度。相控下的孔隙度分布结果表明,物性较好的储层主要发育于辫状河道和三角洲前缘水下分流河道、网状河道交汇处、三角洲平原分流河道拐弯处及浅湖滩坝。

### 参考文献 (References)

[1] 兰朝利,何顺利,门成全,等. 鄂尔多斯盆地上古生界气藏产能差异探讨[J]. 天然气工业, 2007, 27(12): 99-101.  
Lan Chaoli, He Shunli, Men Chengquan, et al. *Natural Gas Industry*, 2007, 27(12): 99-101.

[2] 朱宏权,徐宏节. 鄂尔多斯盆地北部上古生界储层物性影响因素[J]. 成都理工大学学报:自然科学版, 2005, 32(2): 133-137.  
Zhu Hongquan, Xu Hongjie. *Journal of Chengdu University of Technology: Science & Technology Edition*, 2005, 32(2): 133-137.

[3] 魏红红,李文厚,邵磊,等. 苏里格庙地区二叠系储层特征及影响因素分析[J]. 矿物岩石, 2002, 22(3): 42-46.  
Wei Honghong, Li Wenhou, Shao Lei, et al. *Journal of Mineralogy and Petrology*, 2002, 22(3): 42-46.

[4] 黄思静,谢连文,张萌,等. 中国三叠系陆相砂岩中自生绿泥石的形成机制及其与储层孔隙保存的关系[J]. 成都理工大学学报:自然科学版, 2004, 31(3): 273-281.  
Huang Sijing, Xie Lianwen, Zhang Meng, et al. *Journal of Chengdu University of Technology: Science & Technology Edition*, 2004, 31(3): 273-281.

[5] 朱筱敏,孙超,刘成林,等. 鄂尔多斯盆地苏里格气田储层成岩作用与模拟[J]. 中国地质, 2007, 34(2): 276-282.  
Zhu Xiaomin, Sun Lei, Liu Chenglin, et al. *Geology in China*, 2007, 34(2): 276-282.

[6] 杨仁超,樊爱萍,韩作振,等. 马家山-小涧子油田砂岩成岩作用及其对储层的影响[J]. 中国地质, 2007, 34(2): 283-288.  
Yang Renchao, Fan Aiping, Han Zuozhen, et al. *Geology in China*, 2007, 34(2): 283-288.

[7] 杨仁超,樊爱萍,韩作振,等. 姬塬油田砂岩储层成岩作用与孔隙演化[J]. 西北大学学报:自然科学版, 2007, 37(4): 626-630.  
Yang Renchao, Fan Aiping, Han Zuozhen, et al. *Journal of Northwest University: Natural Science Edition*, 2007, 37(4): 626-630.

[8] 樊爱萍,韩作振,杨仁超,等. 惠民凹陷商河砂体沉积微相与成岩作用研究[J]. 山东科技大学学报:自然科学版, 2009, 28(1): 14-19.  
Fan Aiping, Han Zuozhen, Yang Renchao, et al. *Journal of Shandong University of Science and Technology: Natural Science Edition*, 2009, 28(1): 14-19.

[9] 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.  
Yuan Ke, Zhou Wen, Guan Sen, et al. *Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration*, 2009, 31(3): 271-276.

[10] 王允诚,向阳,邓礼正,等. 油层物理学[M]. 成都:四川科学技术出版社, 2006.  
Wang Yuncheng, Xiang Yang, Deng Lizheng, et al. *Petrophysics*[M]. Chengdu: Sichuan Publishing House of Science and Technology, 2006.

(责任编辑 刘志远)

### 本期完词填空答案

	卡		家	书	抵	万	金
独	夫	民	贼			里	
	卡					长	
		公	务	员		征	
		积		外	星	人	
普	希	金				未	
吉				买	棋	还	珠
岛							