

文章编号: 1009-3850(2008)01-0082-06

准噶尔盆地莫西庄地区下侏罗统储层性质

王敏芳, 徐志诚

(1. 中国地质大学 资源学院, 湖北 武汉 430074; 2. 中国石油化工石油勘探开发研究院, 北京 100083)

摘要: 准噶尔盆地莫西庄地区侏罗系储层具有低成分成熟度、富含岩屑、低杂基含量和高结构成熟度的岩石学特征。孔隙类型主要有残余粒间孔、溶扩粒间孔、粒内溶孔、晶间孔和微裂隙等, 其中又以前两种为主, 含量分别为 25% 和 56%。通过对压汞测试 results 和铸体薄片的物性资料统计分析, 笔者认为莫西庄地区砂岩储集性能主要受沉积物粒度、沉积相类型、成岩作用及埋藏条件的控制。其中, 埋藏条件是本区保持好储集性能的基础, 成岩作用对储集性能起着直接的控制作用, 沉积物粒度和沉积相类型对储层的影响是首要的。资料分析均表明, 三工河组二段下亚段是本区的优质储层层段, 八道湾组储集性能相较较差。

关键词: 岩石学特征; 孔隙类型; 沉积相; 成岩作用; 埋藏条件; 准噶尔盆地

中图分类号: TE122.2 **文献标识码:** A

准噶尔盆地是一个大型叠合盆地, 盆地发育中上石炭统一新近系沉积盖层, 最大沉积盖层厚度可达 15000 m, 是我国西部四大含油气沉积盆地之一。在准噶尔盆地, 侏罗系既是主要烃源层, 也是主要储集层, 其油气储量和产量都占全盆地一半以上, 尤其是在准噶尔盆地腹部地区, 侏罗系的生烃能力和储集能力更加不容忽视。自 2001 年, 中石化在莫西庄低幅度背斜钻探了庄 1 井, 获得油气突破后, 先后在莫西庄地区布置了许多钻井。因此, 查明莫西庄地区储层性质对该区甚至整个腹部的下一步油气勘探和开发具有指导意义。

1 储层岩石学特征

了解储层岩石性质是评价储层的基础, 对孔隙类型和结构参数特征的研究是储层评价的前提和依据。前人研究成果表明, 在准噶尔盆地腹部地区下侏罗统八道湾组和三工河组是相对较优储层^[1], 尤

其是八道湾组一段 (J₁^b)、三工河组二段上亚段 (J₂¹) 和三工河组二段下亚段 (J₂²), 这三个层位正是本次研究的目的层位。

准噶尔全盆地侏罗系储集层具有“两低一高”的特征, 即低填隙物含量、低成分成熟度和高结构成熟度^[2]。在莫西庄地区, 这种岩石学特征也得到了很好的表现。

1.1 低成熟度的长石岩屑砂岩

依据对研究区 255 个样品的统计分析表明: 侏罗系碎屑成分以石英为主, 含量一般在 40% ~ 75% 之间, 平均为 55.36%, 石英颗粒阴极发光下表现为蓝紫色和深棕色两种, 反映出石英颗粒的多源性, 既有火山岩来源类型, 也有区域变质岩石; 长石含量一般在 12% ~ 42% 之间, 平均为 22.91%, 砂岩中长石种类多样, 镜下主要有钾长石、钠长石及斜长石系列, 蚀变程度中等; 岩屑含量一般为 7% ~ 45%, 平均为 21.66%, 主要为火山岩屑和变质岩屑。

收稿日期: 2007-04-15 改回日期: 2007-11-04

作者简介: 王敏芳 (1980—), 女, 博士, 主要从事盆地分析和石油地质研究。Tel: 027-62074674; E-mail: wang_minfang@163.com

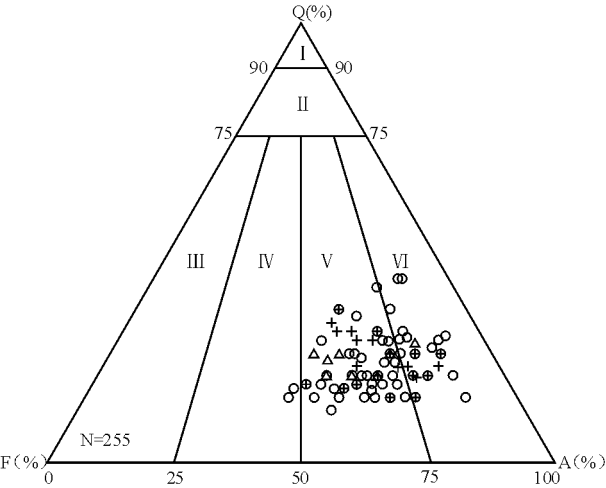


图 1 莫西庄地区侏罗系主力储集层岩石类型

+ 下侏罗统三工河组二段上亚段; ○ 下侏罗统三工河组二段下亚段; △下侏罗统八道湾组一段。I. 纯石英砂岩; II. 石英砂岩; III. 长石砂岩; IV. 岩屑长石砂岩; V. 长石岩屑砂岩; VI. 岩屑砂岩

Fig 1 Rock types of the Jurassic reservoirs in the Moxizhuang region

+ Sandstones in the lower submember of the second member of the Sangonghe Formation; ○ Sandstones in the middle submember of the second member of the Sangonghe Formation; △ Sandstones in the first member of the Badaowan Formation (J₁b). I = pure quartz sandstone; II = quartz sandstone; III= arkose; IV= lithic arkose; V = feldspathic lithic sandstone; VI= lithic sandstone

根据岩石组分分析,莫西庄地区下侏罗统储集层的 Q/(F+R)比值多在 0.67%~3%之间,平均为 1.34%,由此可见具有低成分成熟度,富柔性组分。同样,根据 AFQ分类法,对莫西庄地区下侏罗统不同层位储层的岩石类型进行了分类,结果表明主要为长石岩屑砂岩(V类),部分为岩屑砂岩(V类),其成分成熟度总体偏低(图 1)。

1.2 砂岩中的火山岩屑和变质岩屑

准噶尔盆地侏罗系富含岩屑,尤其是塑性岩屑,在莫西庄地区也不例外。岩屑类型主要为火山岩岩屑和变质岩岩屑,两者的相对含量视距物源区的远近和水体的分异程度而定。其中,火山岩岩屑主要为酸性喷出岩屑及细粒凝灰质岩屑等;变质岩屑主要为千枚岩、泥板岩、云母片岩、变粒砂岩和石英片岩等。研究表明,塑性岩屑含量与砂岩的粒度关系密切,一般在水动力条件较弱的沉积条件下,随着粒度粒级的降低,塑性岩屑含量明显增高,最高可以达到颗粒组分的 45%(图 2)。

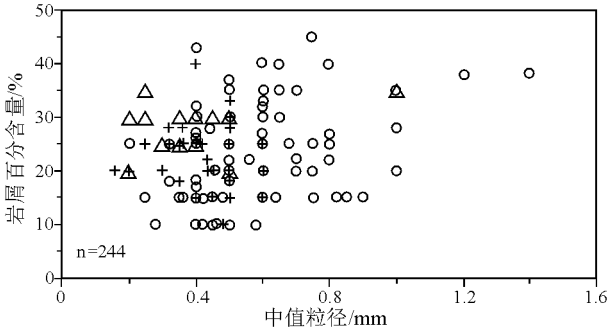


图 2 莫西庄地区侏罗系主力储集层岩屑含量与中值粒径关系图

+ 下侏罗统三工河组二段上亚段; ○ 下侏罗统三工河组二段下亚段; △下侏罗统八道湾组一段

Fig 2 Relationship between debris contents and median sizes of the Jurassic reservoirs in the Moxizhuang region

+ Sandstones in the lower submember of the second member of the Sangonghe Formation; ○ Sandstones in the middle submember of the second member of the Sangonghe Formation; △ Sandstones in the first member of the Badaowan Formation (J₁b)

1.3 低原生杂基中钙质胶结的填隙物特征

填隙物包含胶结物和杂基,莫西庄地区下侏罗统胶结物含量一般为 0.1%~23.1%,平均为 3.7%,胶结物类型多样,主要以高岭石和硅质为主,部分为(含铁)方解石及白云石、菱铁矿、黄铁矿、沸石类和自生粘土矿物等,并且钙质胶结物十分发育,平均含量约 6%,最高含量可以达到 20%;杂基含量普遍偏低,一般为 0.1%~18.2%,平均为 1.8%,主要为泥质环边。

1.4 高结构成熟度

从莫西庄地区下侏罗统储集砂岩的低杂基含量看,研究区储集砂岩的结构成熟度较高,反映形成于水流淘洗比较充分的沉积环境^[2]。

2 孔隙类型及其结构参数特征

不同类型储层的储集条件和微观孔隙结构不同,导致其含油性及其内部渗流机制存在差异。因此,对孔隙类型及其结构参数特征的研究是储层性质研究的前提和依据。

2.1 孔隙类型

根据岩心、铸体薄片和扫描电镜等分析资料,综合其成因、产状及几何形态等特征,将莫西庄地区下侏罗统孔隙类型主要分为以下几种主要类型(表 1)。

表 1 莫西庄地区下侏罗统储集层中的主要孔隙类型

Table 1 Main pore space types of the Jurassic reservoirs in the Moxizhuang region

孔隙类型	特征描述	单体规模	含量	有效性
残余粒间孔	颗粒之间被胶结物充填残余下来的孔隙	中等	25%	较好
溶扩粒间孔	残余粒间孔经溶蚀作用改造而形成的孔隙	中等大	56%	较好 好
粒内溶孔	局限于颗粒内部的溶蚀孔隙	小 中等	16%	差 中
晶间孔	局限于晶体间的孔隙	小	3%	中
微裂隙	受构造应力作用形成的裂隙	大	<1%	好

1. 残余粒间孔

残余粒间孔又名称余粒间孔孔隙, 在莫西庄地区常见于中粗粒度砂岩中, 呈三角形和不规则多边形, 多为钙质胶结、高岭石自生矿物及其他胶结物的填充不发育时, 经弱压实改造后的残余粒间孔隙, 孔径大小相对均匀, 一般为 20~70 μm , 属于小孔^[3]。

2 溶扩粒间孔

该孔是残余粒间孔隙发生溶蚀作用的改造而形成的孔隙, 也是莫西庄地区最主要的孔隙类型 (数量约占 56%), 多呈港湾状, 孔径可达 200 μm , 属于大孔^[3]。

3 粒内溶孔

莫西庄地区粒内溶孔多为火山岩屑、变质岩屑和长石颗粒内的溶孔, 一是由颗粒本身在埋藏过程中发生部分溶解而形成, 为组分内溶孔的主要组成部分; 二是颗粒先被交代而后交代矿物局部或全部被溶形成的粒内溶孔。在镜下, 孔隙大小不等, 最大可以达到数十个微米, 形态不规则, 呈斑点状分布。

4 晶间孔

莫西庄地区主要是高岭石晶间孔隙, 这种孔隙类型含量较低, 最大孔径可以达到 10 μm , 属于微孔。

5 微裂隙

刚性颗粒如石英等, 在应力的作用下, 发生强烈的破碎。尽管在莫西庄地区这种孔隙类型小于 1%, 但由于破碎微裂缝缺少硅质胶结充填, 具有一定的储集空间, 可作为良好的渗流通道。

2.2 孔隙结构参数特征

准噶尔盆地腹部, 下侏罗统三工河组和八道湾组是主力储集层, 尤其是三工河组二段和八道湾组一段储集砂岩。基于压汞测试分析资料^[4], 对莫西庄地区侏罗系三个主力储集层段孔隙的基本结构参数特征进行了研究。

1. 三工河组二段上亚段 (J₂¹)

在莫西庄地区, J₂¹砂岩排驱压力为 0.0291~0.2961MPa, 平均为 0.1478MPa, 连通孔喉半径为

2.4843~25.2578 μm , 平均为 8.8956 μm ; 中值压力为 0.5923~5.8637MPa, 平均为 2.2954MPa, 中值孔喉半径为 0.1253~1.2409 μm , 平均为 0.5384 μm 。总的来说, 莫西庄地区 J₂¹砂岩毛管压力曲线形态为粗中偏度, 喉道分选性差, 以微细孔喉类型居多 (图 3-A)。

2.3 三工河组二段下亚段 (J₂²):

在莫西庄地区, J₂²砂岩排驱压力较 J₂¹砂岩低, 为 0.0291~0.7379MPa, 平均为 0.1934MPa, 连通孔喉半径为 0.9961~25.2578 μm , 平均为 9.6848 μm , 中值压力为 0.0882~10.9035MPa, 平均为 3.0824MPa, 中值孔喉半径为 0.0674~8.3333 μm , 平均为 0.9807 μm 。总的来说, J₂²砂岩毛管压力曲线形态为粗偏度, 孔喉分选性偏差, 孔隙结构整体上优于 J₂¹, 属于微细孔喉型。

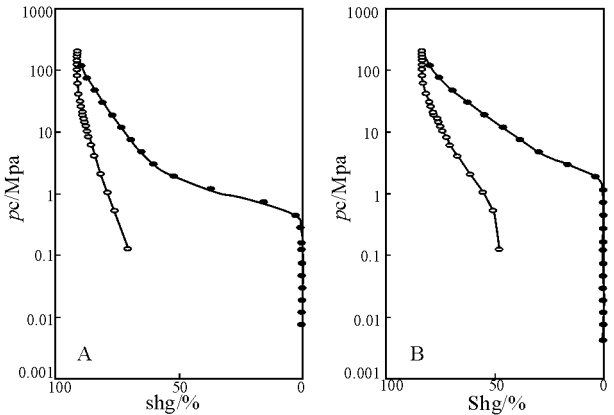


图 3 莫西庄地区侏罗系主力储集层压汞曲线特征 (据郝芳等, 2004)

A J₂²砂岩; B J₁¹砂岩

Fig 3 Mercury injection curves for the Jurassic reservoirs in the Moxizhuang region

A Sandstones in the lower submember of the second member of the Sangonghe Formation (J₂²); B Sandstones in the first member of the Badaowan Formation (J₁¹)

3 八道湾组一段 (J₁b):

在莫西庄地区, 由于未对八道湾组进行压汞测试分析, 故对该组砂岩的孔隙结构参数特征分析时, 借鉴了位于莫西庄北部的沙窝地地区的沙 1井的压汞测试数据。统计表明, 八道湾组砂岩排驱压力偏高, 为 0.1534~2.9263MPa, 平均为 1.1970MPa; 连通孔喉半径为 0.2512~4.7903μm, 平均为 0.9115μm; 中值压力为 2.9188~30.1522MPa, 平均为 10.3876MPa; 中值孔喉半径为 0.0244~0.2518μm, 平均为 0.1086μm。总的来说, 八道湾组砂岩毛管压力曲线形态为细偏度, 少量为中粗偏度, 分选性差, 孔隙结构整体较三工河组上、下亚段均差些 (图 3-B)。前人研究成果表明, 准噶尔盆地沙窝地与莫西庄具有很好的连通性 (孟闲龙等, 2004), 因

此, 沙窝地地区的八道湾组的储集砂岩孔隙结构特征与莫西庄地区该组的砂岩孔隙结构应该具有很好的相似性。

依据压汞测试分析资料可以看出, 总体来说, 莫西庄地区下侏罗统储集性能以三工河组二段下亚段最优 (J₂^s), 八道湾组一段相对较差 (J₁b), 图 2也表明八道湾组一段中值粒径普遍较三工河组小, 这说明了它们之间储集性能的差异。

3 储层物性特征及其影响因素分析

3.1 储层物性特征

依据对莫西庄地区庄 1、庄 3、庄 4和庄 102井, 共 147个物性资料进行统计 (表 2), J₂^s砂岩孔隙度为 2.0%~16.7%, 平均为 10.46%, 渗透率为

表 2 莫西庄地区下侏罗统主力储集砂岩物性特征表
Table 2 Physical Properties of the Jurassic reservoirs in the Moxi Zhuang region

井号	层位	孔隙度 (%)	渗透率 ($\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$)	样品数 (个)	井号	层位	孔隙度 (%)	渗透率 ($\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$)	样品数 (个)	
庄 1	J ₂ ^s	10.4~15.0	1.32~71.41	9	庄 3	J ₁ ^s	7.90~17.90	0.03~642.0	41	
		12.16	18.53				13.56	54.45		
	J ₂ ^s	8.9~17.3	0.32~395.0	37	庄 4	J ₁ ^s	2.0~12.40	0.02~4.43	7	
		13.38	37.33				4.84	0.85		
	J ₁ b ₁	6.79~11.3	0.03~5.64	9	庄 102	J ₁ ^s	7.7~13.6	0.25~31.9	13	
		8.44	1.03				11	0.53		
庄 3	J ₂ ^s	5.6~16.7	0.07~49.15	8		J ₁ ^s	5.6~18.3	0.06~280	23	
		13.93	23.92				12.98	72.02		

(0.02~71.4)×10⁻³μm², 平均为 12.68×10⁻³μm²; J₂^s砂岩孔隙度为 3.90%~18.30%, 平均为 13.36%, 渗透率为 (0.03~642)×10⁻³μm², 平均为 52.04×10⁻³μm²; J₁b砂岩孔隙度为 6.79%~11.3%, 平均为 8.44%, 渗透率为 (0.03~5.64)×10⁻³μm², 平均为 1.03×10⁻³μm²。从物性统计结果来看, 莫西庄地区下侏罗统 J₂^s段砂岩储层物性最优, J₂^s段砂岩储层较优, 而 J₁b段砂岩储层最差。这与通过储层特征及参数分析得出的结果是一致的。

3.2 影响因素分析

莫西庄地区砂岩储集性能主要受控于沉积物粒度、沉积相类型、埋藏过程中的成岩作用及埋藏条件的控制。

1. 沉积物粒度与储集性能关系

利用莫西庄地区庄 1、庄 3、庄 4和庄 102井, 共 143组物性资料, 对下侏罗统三工河组二段上、下亚

段分别进行了沉积物粒度与孔隙度和渗透率的相关分析, 结果发现砂岩的储集性能受沉积物粒度的影响较大 (图 4)。一般为粗中粒砂岩孔渗性均较高, 尤其是渗透率, 为细砂岩的 12~43倍, 粉砂岩孔渗性的 78~285倍。其原因主要有两点, 一是粗粒砂岩本身具有较高的孔渗性, 抗压能力强, 保存原生孔隙能力强; 二是准噶尔盆地细粒砂岩中普遍含较高的塑性岩屑, 抗压能力弱, 不利于原生孔隙的保存。

2. 沉积相与储集性能关系

沉积物粒度是由沉积作用和沉积环境所决定的^[5], 这就意味着高能环境和低能环境具有不同的储集性能 (图 5)。侏罗系沉积期, 准噶尔盆地腹部古地形坡度小, 分流河道广泛发育并容易频繁改道, 庄 1、庄 3、庄 4和庄 102等钻井显示多期分流河道叠置, 因此, 分流河道砂体成为本区主要的储集单元, 孔隙度平均为 10.2%, 渗透率平均为 43×10⁻³μm², 甚至高达 229×10⁻³μm², 形成了良好的储集性能;

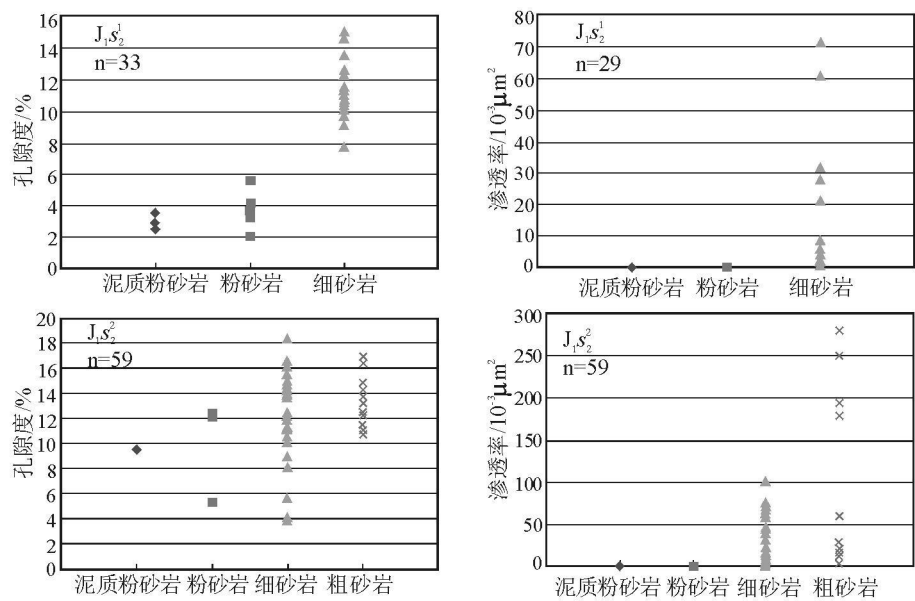


图 4 沉积物粒度与储集性能的关系

Fig 4 Relationship between sediment grain sizes and reservoir quality

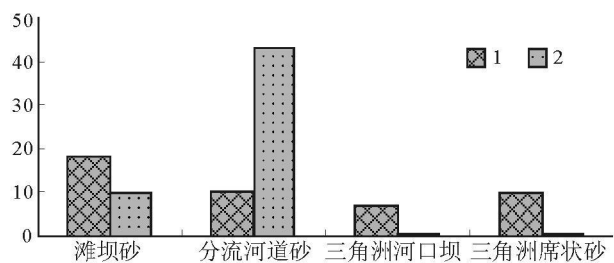


图 5 不同沉积相的储集性能比较

1 孔隙度 %; 2 渗透率 /10⁻³μm²

Fig 5 Comparison of the reservoir quality in different sedimentary facies

1= Porosity/%; 2= Permeability/10⁻³μm²

随着湖盆水体的升降变迁,也发育有滨浅湖滩坝砂体,孔隙度平均为 17.9%,渗透率平均为 9.74×10⁻³μm²,形成较好的砂岩储集体;三角洲前缘砂坝及席状砂也很发育,孔隙度平均值分别为 6.6%和 9.7%,渗透率平均值分别为 0.76×10⁻³μm²和 0.44×10⁻³μm²,可以作为本区的有效储层。由此可以看出,高能环境下形成的分流河道砂,由于水体能量较高,砂、砾被强烈淘洗致使粒间杂基含量极低,原生孔隙性较好,是莫西庄地区较好的储集层。相较之下,三角洲席状砂和河口坝等沉积相的储集性能相对差些。

3 成岩作用与储集性能关系

总体上说,成岩作用对砂岩储集性能起到了直接的控制作用。一般而言,压实作用、胶结作用是砂

岩原生储集性能破坏的主导因素,而后期的溶蚀及微裂缝化,使储集物性得到了一定的改善。在莫西庄地区侏罗系,刚性颗粒抗压实能力强,孔隙得到很好的保存,而塑性颗粒则由于自身抗压实能力弱,储集性能明显变差;而胶结作用在本区则起到了建设性作用,早期为环边胶结和硅质胶结,虽然占据原生孔隙,缩小了孔隙体积,但同时增强了储集砂岩的抗压实性,保护了剩余粒间孔;后期的溶蚀作用则可大大改善了储层的孔渗性,尤以提高渗透度最为重要^[6];微裂缝并不能增加砂岩绝对孔隙空间,但可以使局部储集性能得到改造(表 1)

4 埋藏条件与储集性能关系

埋藏条件主要包括温度场条件和压力场条件。实验表明,温度升高可引起更强烈的压实,其孔隙较常温下大约降低 10%。三叠纪后的准噶尔盆地是典型的冷盆地,地温梯度仅 2.2℃/100m^[7],相对于热盆地而言在相同埋藏深度下侏罗统砂岩压实作用进程比较弱。

准噶尔盆地在盆地腹部普遍发育超压,主要发育在侏罗系内。超压的存在对储集性能,尤其是深部储层的储集性能,有一定的影响。超压的形成,一方面阻止了超压体系内流体的运动和能量交换,减缓或抑制成岩作用和胶结作用,使深部储层保持较高的孔隙度和渗透率;同时,超压还可以支撑部分上覆岩体的荷重,减小地层的有效应力,减缓对超压层系的压实作用并抑制压溶作用,从而使较高孔隙度与渗透率的储集空间能够得以保存;另外,异常高压

还可促进更多微裂缝的形成,增加超压体系内的储集空间、改善储集层的连通性、增强储集层的渗透性能;超压还有助于深部储层次生孔隙的保存和改善。超压流体的周期性排放可以增强储层中深解物质的交换、促进淋滤作用发生和发育次生孔隙;另外,由于超压对有机质演化和油气生成的抑制,扩大了超压盆地中有机酸的释放空间和它对砂岩成岩作用的影响范围,而有机酸是使砂岩胶结物和碎屑颗粒溶解和形成次生孔隙的主要因素^[8]。

因此,莫西庄地区下侏罗统储集性能与准噶尔全盆的埋藏条件背景关系密切,低地温梯度和高地压力埋藏条件对孔隙的保存起到了建设性作用。

4 结 论

通过对莫西庄地区下侏罗统储集岩的岩石学特征、孔隙类型及结构特征和储集岩的物性特征分析可知,盆地腹部莫西庄地区,下侏罗统三工河组二段是本区的优质储层,尤以下亚段为最优,其孔隙度为39.0%~18.3%,平均为13.36%,渗透率为 $(0.03\sim 642)\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$,平均为 $52.04\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$,八道湾组一段储集性能相对较差。

通过对莫西庄地区储集性能影响因素分析,笔者认为埋藏条件是本区保持好储集性能的基础,成岩作用对储集性能起着直接的控制作用,沉积物粒

度和沉积相类型对储层的影响是首要的。

笔者在完成该文过程中,得到了中石化西部新区勘探指挥部准中联合项目组的大力支持,在此对准中联合项目组所有成员的指导和帮助,表示诚挚的谢意。

参考文献:

[1] 况军,唐勇,朱国华,等.准噶尔盆地侏罗系储集层的基本特征及其主控因素分析[J].石油勘探与开发,2002,29(1):52-55.
[2] 况军,姚根顺,朱国华,等.准噶尔盆地腹部地区侏罗系三工河组相对优质储集层的成因[J].石油勘探与开发,2001,28(6):34-37.
[3] 陈丽华,许怀先,万玉金.生储盖层评价[M].北京:石油工业出版社,1999.
[4] 张博全,王岫云.油(气)层物理学[M].武汉:中国地质大学出版社,1989.
[5] 王良忱,张金亮.沉积环境和沉积相[M].北京:石油工业出版社,1996.
[6] 张丽霞,李民.准东下侏罗统三工河组砂岩成岩作用及其对孔隙的影响[J].矿物岩石,2000,20(1):61-65.
[7] 查明,张卫海,曲江秀.准噶尔盆地异常高压特征、成因及勘探意义[J].石油勘探与开发,2000,27(2):31-35.
[8] 陈中红,查明,曲江秀.沉积盆地超压体系油气成藏条件及机理[J].天然气地球科学,2003,14(2):97-102.

Reservoir quality of the Jurassic strata in the Moxizhuang region, Junggar Basin, Xinjiang

WANG Min-fang XU Zhi-cheng

(Faculty of Resources, China University of Geosciences, Wuhan, Wuhan 430074, Hubei, China)

Abstract: The Jurassic reservoirs in the Moxizhuang region, Junggar Basin, Xinjiang are characterized by low compositional maturity, abundant debris, low matrix contents and high textural maturity. The pore space types include residual intergranular pores, intergranular solution openings, intragranular solution openings, intercrystal pores and microfissures, of which the former two are main types accounting for 25% and 56%, respectively. According to mercury injection curves and physical properties of cast sections, the reservoir quality of the sandstones in the Moxizhuang region is mostly constrained by sediment grain sizes, sedimentary facies types, diagenesis and burial conditions. The burial conditions are considered as a basis for the good reservoir quality, diagenesis as a direct control on the reservoir quality and sediment grain sizes and sedimentary facies types as the most important factors influencing the reservoir quality. The reservoir quality is excellent in the lower submember of the second member of the Sangonghe Formation while worst in the Badaowan Formation.

Key words: petrology, pore space type, sedimentary facies, diagenesis, burial condition, Junggar Basin