

中东鲁卜哈利盆地古生界致密砂岩储层特征及评价

郑磊^{1,2}, 金之钧², 张哨楠³

(1. 中国石油大学 地球科学学院, 北京 102249; 2. 中国石化 石油勘探开发研究院, 北京 100083;

3. 西南石油大学 资源与环境学院, 四川 成都 610500)

摘要:中东鲁卜哈利盆地古生界 Unayzah 组和 Sarah 组发育致密砂岩储层。薄片鉴定结果表明,其岩石类型以石英砂岩为主,少量的岩屑砂岩、岩屑长石砂岩、岩屑石英砂岩和长石石英砂岩,孔隙类型主要为残余粒间孔。胶结类型及发育程度与沉积环境密切相关。利用压汞法及电镜扫描结果测定了储层的孔隙结构。结果表明,岩石孔喉分布范围较大,小孔隙、细喉道的样品比例较高。根据毛细管压力曲线特征,大多数样品属于储集岩的范围。分别对每一组致密砂岩储层的岩石样品进行了孔隙度和渗透率的测试,结果表明 Unayzah 组和 Sarah 组储集性能较好。确定储层参数下限,提出了储层分类评价的标准,对储层进行综合评价。结果显示,Unayzah 组纵向上 I 类储层及 II 类储层较为普遍发育,储集性能较好,属于中-好储层;Sarah 组总体储集性能较 Unayzah 组差,以 II 类和 III 类储层居多,属于中-差储层。

关键词:储层特征;储层评价;致密砂岩;古生界;鲁卜哈利盆地;中东地区

中图分类号:TE121.1

文献标识码:A

Features and evaluation of the Palaeozoic tight sandstone reservoirs of the Rub Al Khali Basin in the Middle East

Zheng Lei^{1,2}, Jin Zhijun², Zhang Shaonan³

(1. School of Geoscience, China University of Petroleum, Beijing 102249, China; 2. Exploration & Production Research Institute, SINOPEC, Beijing 100083, China; 3. School of Resources and Environment, Southwest Petroleum University, Chengdu, Sichuan 610500, China)

Abstract: Tight sandstone reservoirs occur in the Palaeozoic Unayzah and Sarah Formations in Rub Al Khali Basin in the Middle East. Thin section analysis reveals that quartz sandstone is the main rock type, with some lithic sandstone, lithic arkose, lithic quartz sandstone and feldspathic quartz sandstone. The main pore type is residual intergranular pore. The cement types and their development degree are closely related with the depositional environment. Measurement of reservoir pore structure through mercury intrusion and SEM indicates that pore throat size distribution is large and the proportion of samples with small pores and narrow throats is large. The capillary pressure curves show that most samples have the proper characteristics of reservoir rocks. The testing data indicates that the Unayzah and Sarah formations have good reservoir quality. On this basis, we determined the lower limits of the reservoir parameters and proposed the evaluation criteria for reservoir classification. The comprehensive evaluation indicates that the Unayzah Formation is moderate-good reservoir, with type I and type II reservoirs widely developed vertically, whereas the Sarah Formation is moderate-poor reservoir, with type II and type III reservoirs being predominate.

Key words: reservoir feature, reservoir evaluation, tight sandstone, Paleozoic, Rub Al Khali Basin, Middle East

致密砂岩可以作为天然气储层,国内很多盆地勘探到致密砂岩气藏,也有很多学者对致密砂岩气藏做了深入的研究^[1-9],典型的有鄂尔多斯盆地、川西前陆盆地、松辽盆地等。鲁卜哈利盆地古生界发育多套储层,国内仅有个别研究者对该区储层进行研究^[10-11],层位包括奥陶系、志留系、泥盆系、石炭系-二叠系。其中二叠系 Khuff 组、Unayzah 组储层是该区古生界主要储层,泥盆系 Jauf 组、志留系 Qusaiba 段砂岩在中阿

拉伯盆地加瓦尔地区发现油气田,寒武系-奥陶系 Sarah 组、Qasim 组、Saq 组在鲁卜哈利盆地见到良好油气显示,并试获低产油气流。

1 地质背景

鲁卜哈利盆地是波斯湾盆地的一个次级构造单元^[12-15],位于阿拉伯板块的中南部陆上和海域,介于

北纬 16°40′—26°50′,东经 43°56′—56°44′之间,地域上包括沙特阿拉伯、卡塔尔、阿拉伯联合酋长国、伊朗、阿曼和也门等国家的部分地区,总面积 875 720 km²,陆上面积约占 89.8%,超过 500 000 km² 的面积被沙漠覆盖,盆地北为中阿拉伯隆起,西与阿拉伯地盾相邻,南靠沿亚丁湾北海岸线分布的 Hadramout 隆起,东为阿曼山,中间被卡塔尔大背斜的南部延伸部分(中央隆起带)分为东、西两个凹陷。文中研究区为西凹陷中部(图 1)。

2 地层特征

区域地层特征为,沿阿拉伯地盾边缘为露头区,越往西地层越老,往东地层越新。盆地地表大部分为第四系沙漠覆盖。在纵向上新生代地层以灰岩为主,夹有碎屑岩和蒸发岩。古生代地层除了二叠系 Khuff 组为碳酸盐岩沉积以外,其余均为以碎屑岩沉积(表 1)。其中中寒武统一奥陶统的 Saq 组、中奥陶统一上奥陶统的 Qasim 组和 Sarah 组、志留系的 Qalibah 组 Qusaiba 段、中泥盆统 Jauf 组以及上石炭统一二叠统 Unayzah 组均为致密砂岩沉积。

3 古生界致密砂岩储层特征

3.1 岩石学特征

盆地内下古生界储层基本上都发育在砂岩中,薄片鉴定岩石类型差别比较小。所有的薄片鉴定资料均表明储层砂岩的岩石类型以石英砂岩为主,少量的岩屑砂岩、岩屑长石砂岩、岩屑石英砂岩和长石石英砂岩。总体上表现为石英含量高,长石含量次之,岩屑比较少见,但是在不同的井段和层位,都有变化。填隙物类型比较复杂,见有石英次生加大、粘土杂基充填、方解石胶结物、菱铁矿胶结物。胶结类型及发育程度与沉积环境密切相关。

3.1.1 Unayzah 组

该组上部砂泥岩段的砂体以粉砂岩、细-中砂岩、粗砂岩和含砾砂岩为主,颜色以紫红为基调,夹有灰、黄等色,横向变化大。砂砾岩多为中部砂岩间的夹层,厚度较薄,砾石成分杂乱,砂岩结构疏松,见板状交错层理及平行层理,在褐灰及紫红色粉细砂岩中见潮汐交错层理。砂岩以石英砂岩、石英杂砂岩、长石石英砂

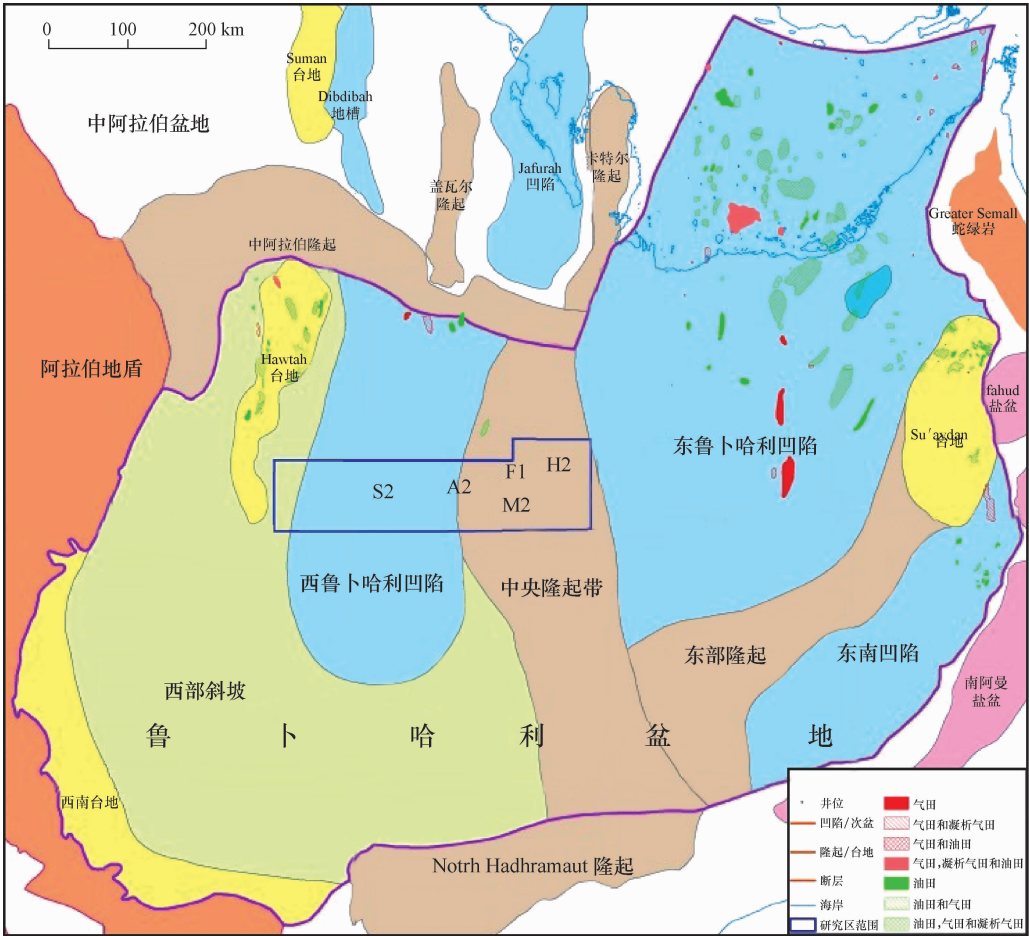


图 1 鲁卜哈利盆地区域构造位置及区带划分

Fig. 1 Regional structural location and zone division of the Rub Al Khali Basin

表1 鲁卜哈利盆地古生界地层单元

Table 1 Stratigraphic units of the Paleozoic in the Rub Al Khali Basin

地层单元				岩性	沉积环境
系	统	组	段		
二叠系	上二叠统	Khuff	A	石灰岩、白云岩、页岩和硬石膏	滨岸－浅海
			B		
			C		
			D		
			E		
	下二叠统	Unayzah	A	砂岩、粉砂岩和页岩	沼泽－三角洲平原
B	砂岩夹砾岩		河流－浅海		
石炭系		上石炭统		C	
	中－下石炭统	Berwath	砂岩、粉砂岩和页岩	陆相	
泥盆系	上泥盆统	Jubah	云母砂岩、泥岩	辫状河	
	中泥盆统	Jauf	石灰岩、砂岩和粉砂质页岩	滨海相－内浅海	
	下泥盆统	Tawil	石英砂岩、泥岩和水道砂岩	滨前带和泻湖	
志留系	上志留统	Qalibah	Sharawra	云母砂岩、粉砂岩和泥岩	浅海
	下志留统		Qusaiba	笔石页岩和粉砂岩	开阔海
			Baq' a	砂岩、杂色泥岩	河流相
奥陶系	上奥陶统	Sarah		冰碛砾岩、砂岩和少量页岩	受冰川作用的河流三角洲
		Zarqa		冰碛岩、粉砂质泥岩和砂岩	冰川－陆相
	中奥陶统	Qasim	Quwarah	页岩、砂岩和少量粉砂岩	海相－陆相
			Ra' an		
			Kahfah		
			Hanadir		
	下奥陶统		Sajir	大型板状交错层理砂岩	辫状河流
寒武系	上寒武统	Saq	Cruziana	泥页岩及泥质粉砂岩,含三叶虫	浅海
	中寒武统		Risha	灰色含砾砂岩及粗砂岩	河流
	下寒武统	Burj		薄层页岩、粉砂岩、灰岩	浅海
		Quweira		黄色粗砂岩、含砾砂岩	冲积平原
		Siq		高能块状砂岩、沿岸风成沙	浅海潮汐、河道
前寒武系			基底	变质岩	

岩和岩屑石英砂岩为主。石英含量一般为 80% ~ 98%,长石含量为 4% ~ 6%,岩屑含量为 7% ~ 13%。偶见云母、细晶柱状金红石、电气石。分选一般为差－中等,磨圆中等偏好,以圆、次圆为主,棱角状次之;其中石英碎屑的圆度都非常好,这种石英砂岩属于风成沉积成因。胶结物以硅质胶结为主、钙质胶结和泥质胶结次之,胶结类型以孔隙式胶结为主,基底式胶结次之。杂基成分主要为棕红色铁泥质。

该组下部砂岩段的砂体以细－中砂岩为主,颜色主要为浅灰色、灰白色和白色。该砂岩段下部基本为较纯净的中粒砂岩。砂岩以石英砂岩和岩屑石英砂岩为主。石英碎屑以单晶石英为主,圆度中等到高,成分成熟度高。岩屑类型主要为浅变质岩岩屑及少量泥质岩岩屑、云母碎片和重矿物,含量变化大,为 6% ~ 25%。填隙物有硅质胶结物和泥质杂基,硅质胶结物含量一般为 2% ~ 6%,泥质杂基含量为 3% ~ 9%,泥质杂基的重结晶现象明显。

3.1.2 Sarah 组

奥陶系储层自上而下包括冰川消融背景下沉积的 Baqa 组、与冰川沉积有关的及正常海相沉积的 Sarah 组、Qasim 组和 Saq 组。储层主要发育在 Sarah 组和 Qasim 组。为一套以中粗粒为主的灰白色、深灰色石英砂岩和岩屑石英砂岩。岩心中可见水流波纹,微型槽状纹层,多处可见变形层理,也见楔状交错层理及平行层理,还见冰积砾岩。砾石大小混杂,棱角状,分选差、磨圆差,具变形层理,砾块有切入现象,明显受到冰川作用影响。在该段每口井的岩心上均能见到少量的裂缝密度不等的水平缝和斜交缝发育。

Sarah 组砂岩成分特征较为复杂。碎屑物总量 84% ~ 90%,填隙物 10% ~ 16%。碎屑物成分中石英含量 87% ~ 96%、长石含量 0% ~ 8%。岩屑成分类型以变石英岩屑为主,偶见云母碎片、硅质岩、泥板岩屑。

填隙物含量及成分特征:填隙物含量 10% ~ 16%,其中粘土杂基 11% ~ 14%、硅质胶结物 1% ~ 3%,总体为石英砂岩。

分选差,磨圆度中等偏好,以次圆为主,圆状次之,次棱角状少量。颗粒支持,孔隙式胶结为主,接触孔隙式胶结次之,填隙物中粘土杂基分布不均匀,硅质胶结物仅在部分石英碎屑上以加大边方式产出。石英加大边较强,局部可形成石英岩状斑块。点-线接触为主,凹凸接触少量,反映压实、压溶作用中等。成分成熟度以高为主,结构成熟度中等。

3.2 储层物性特征

3.2.1 Unayzah 组

Unayzah 组岩性以砂岩、粉砂岩为主,测试 5 口井 126 个样品,孔隙度-渗透率分布直方图以及交会图见图 2。孔隙度(Φ)平均值 6.22%,渗透率(K)平均值 $8.49 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,物性普遍较好。

3.2.2 Sarah 组

Sarah 组岩性以砂岩为主,测试 3 口井 61 个样品,分别统计了物性和孔渗分布直方图和交会图(图 3)。图表分析表明 Sarah 组属低孔低渗储层,孔隙度主要分布范围为 7% ~ 11%,占全部样品总数的 77%,平均

值 6.56%,渗透率主要分布区间为 $(0.01 \sim 0.5) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,占全部样品总数的 63%,平均值 $0.657 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。总体储集物性较好,孔隙度较高,当孔隙度较高时,渗透率分布范围较大,部分样品具有较高渗透率。

3.3 储层孔隙结构

3.3.1 储层主要孔隙类型

研究区储层储集空间主要为残余粒间孔,其余为次生粒间孔、粒间微孔、粒内溶孔、铸膜孔、残余铸膜孔(粒内晶间孔)和裂缝,孔隙组合以溶蚀孔-残余粒间孔组合为主。常见孔隙类型有粒间孔、残余粒间孔、粒间溶孔和粒内溶孔,粒间孔普遍发育,发育程度差别很大,面孔率高的达 23%,低的小于 1%,孔隙分布不均匀,粒间孔发育时一般连通性都较好。

残余粒间孔隙是研究区古生界储层中最常见也是最主要的一种孔隙类型,但是发育程度差别很大,主要取决于两个因素,一是岩石分选性不好,粘土杂基含量高时,残余粒间孔隙不发育,二是岩石分选比较好,但石英次生加大较强,残余粒间孔隙不发育,连通性较差。

溶蚀孔的发育改善了岩石的储集性,溶蚀作用是形成砂岩储层中次生孔隙的一种建设性成岩作用。溶孔类型进一步可分为粒间溶孔和粒内溶孔,还有无选

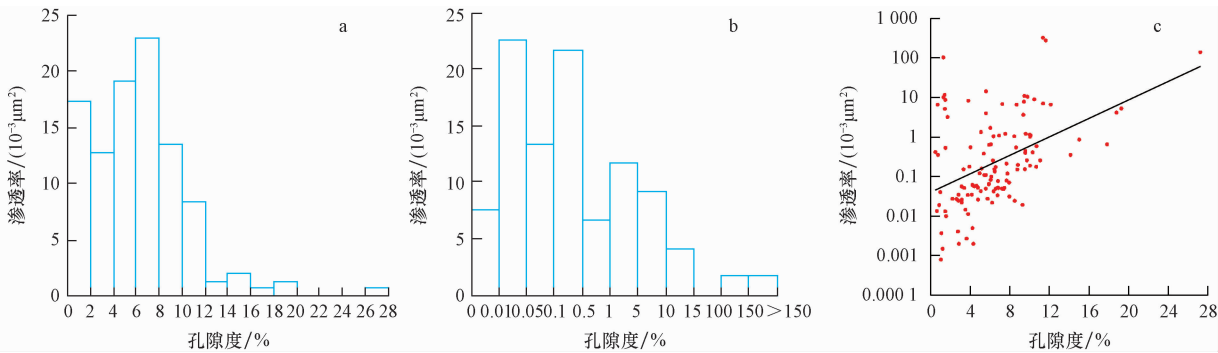


图 2 鲁卜哈利盆地 Unayzah 组孔隙度、渗透率直方图及相互关系

Fig. 2 Porosity and permeability histogram of the Unayzah Formation in the Rub Al Khali Basin and their cross plot

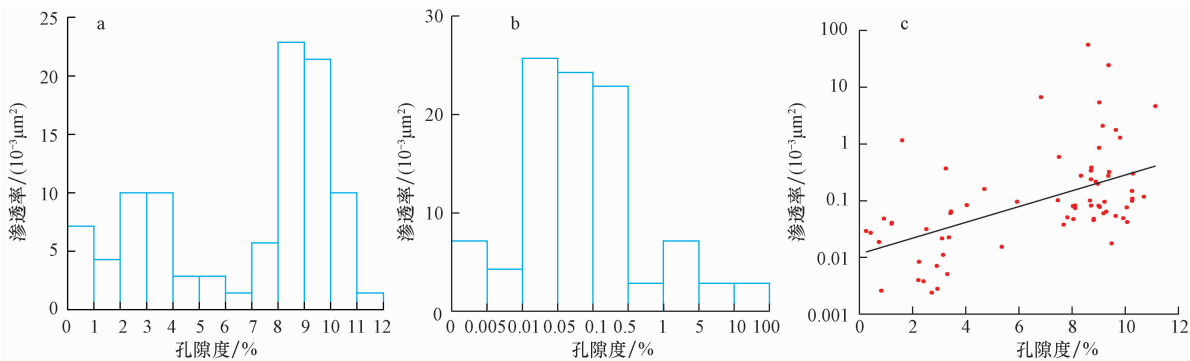


图 3 鲁卜哈利盆地 Sarah 组孔隙度、渗透率直方图及交会图

Fig. 3 Porosity and permeability histogram and cross-plot of the Sarah Formation in the Rub Al Khali Basin

择性溶蚀,如F1井5 097 m,细-中粒石英砂岩中溶孔在微裂缝基础上溶蚀扩大,形成较低的溶蚀缝或较低的溶孔。溶孔能否改善岩石储集性要考虑溶孔性质和发育程度,粒间溶孔发育对孔隙型、渗透性都有明显改善,粒内溶孔的发育对孔隙型明显改善,对渗透性的影响则相对较小。

微孔隙:颗粒填隙物中粘土杂基在不同粒级岩石中含量变化大,是导致胶结类型变化大的主要原因。粒间粘土杂基中形成了许多微小孔隙,这些微孔隙对孔隙型也有建设作用。

微裂缝:岩石中裂缝对渗透性作用明显,薄片中共仅偶见微裂缝存在,如F1井5 092.8 m细-中粒石英砂岩在粒间溶孔发育基础上,发育微裂缝。在致密岩石中发育微裂缝其物性常常为孔隙度低但渗透率较高,若岩石中孔隙较发育,且发育微裂缝时,一般表现为较高孔隙度和较高渗透率特征。

3.3.2 储层孔隙结构

岩石孔隙结构指岩石所具有的孔隙和喉道的几何形状、大小分布以及相互连通关系。岩石孔隙形状和大小根据铸体薄片鉴定及电镜扫描结果确定,喉道的大小、形状是根据压汞法测定的毛细管压力曲线及电镜扫描结果确定。由毛细管压力曲线(图4)分析可见,岩石毛细管压力曲线有明显差别,粗歪度、细歪度的样品都有。毛细管压力曲线表明最大连通孔喉半径(R_{10})范围0.02~8.31 μm ,平均值为2.87 μm ;平均孔喉半径(R_{50})范围0.004~2.99 μm ,平均值为1.18 μm ;大于0.075 μm 的孔喉体积百分数0.35%~93.46%,平均值为65.22%,反映了岩石孔喉分布范围较大,小孔隙、细喉道的样品比例较高。根据毛细管压力曲线

特征、孔隙结构参数通常符合储集岩的划分标准,大多数样品属于储集岩的范围。而均值小于15,变异系数小于0.10,大于0.075 μm 孔喉体积百分数小于40%,孔隙度小于5%,渗透率小于 $0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 的样品一般属于非储集岩。

按照储层喉道类型的分类标准,31个压汞样品中,小喉道的是4个样品,比例为38.71%;中喉道的是8个样品,比例为25.81%;微喉道的是7个样品,比例为22.58%;大喉道的是4个样品,比例为12.9%。样品孔喉以小喉道、中喉道和微喉道为主。

1) 大喉道类型

孔隙类型主要为残余粒间孔,面孔率为11%,孔隙直径为0.5~0.02 mm,平均值为0.16 mm,属于粗孔范围。岩心孔隙度为6.03%,渗透率为 $15.28 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均孔喉半径(R_{50})为2.99 μm ,平均孔喉半径大于0.075 μm 的孔喉体积百分数为92.76%,全孔喉均值为8.61,变异系数为0.29。表明岩石孔隙大,喉道粗,孔隙发育程度不高,但连通性好,储集性好,构成了较好储集岩。

2) 中喉道类型

中粒长石石英砂岩,孔隙类型主要为粒间溶孔-粒间孔、粒内溶孔-粒间孔,平均孔隙直径为0.07 mm,面孔率为10%,连通性较好。岩心孔隙度为11.84%,渗透率为 $9.52 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均孔喉半径(R_{50})为0.33 μm ,孔喉半径分布主要范围0.147~2.34 μm ,平均孔喉半径大于0.075 μm 的孔喉体积百分数为87.2%,全孔喉均值为11.23,变异系数为0.18。岩石中孔隙较发育,孔喉连通性较好。孔隙不是很发育,但孔隙较大,喉道较粗,孔喉连通性好,储集性比较好,构成了较好储集岩。

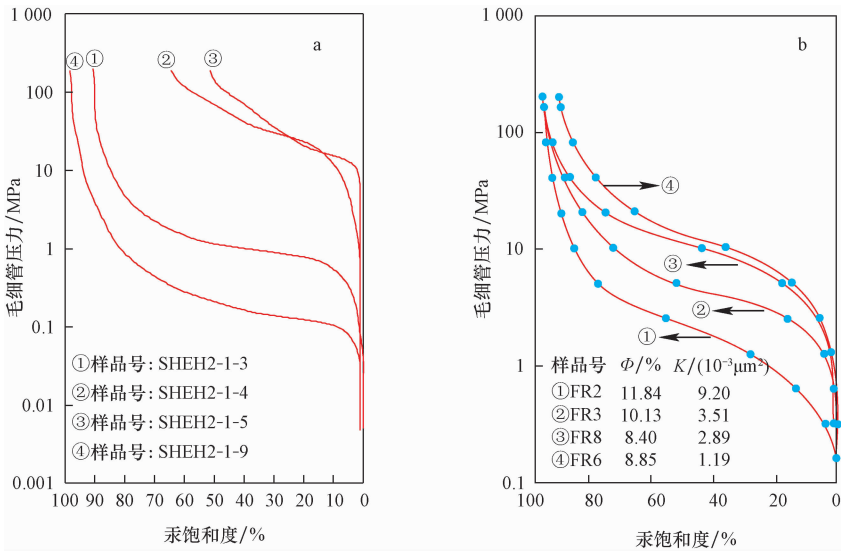


图4 鲁卜哈利盆地储层典型毛细管压力曲线

Fig. 4 Typical capillary pressure curves of reservoirs in the Rub Al Khali Basin

3) 小喉道类型

细粒砂岩,孔隙类型为粒间溶孔、微孔、粒间孔为主,平均孔隙直径为 0.05 mm,孔隙发育较差,连通性也较差。岩心孔隙度为 8.68%,渗透率为 $1.2 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均孔喉半径(R_{50})为 0.052 μm ,孔喉半径分布主要范围为 0.025 ~ 0.146 μm ,孔喉体积大于 0.075 μm 为 36.85%,全孔喉均值为 13.78,变异系数为 0.12。孔隙度、渗透率较高,但孔隙结构和孔隙分布及连通性较差,为储集性较差的岩石。

4) 微喉道类型

典型样品为 M2 井 Sarah 组,井深 4 962 m,为不等粒石英砂岩,可见孔不发育,孔隙为微孔隙和溶孔,孔隙直径一般小于 0.01 mm,连通性差,孔隙度为 2.86%,平均孔喉半径为 0.015 μm ,孔喉半径分布主要范围 0.004 ~ 0.146 μm ,孔喉半径大于 0.075 μm 的孔喉体积百分数为 12.51%,全孔喉均值为 15.15,变异系数为 0.11,岩石储集性很差。

4 储层综合评价

4.1 储层类型

4.1.1 储层物性参数下限确定

综合各种资料,参考鄂尔多斯盆地上古生界二叠系山西组储层下限标准和川西地区须家河组储层参数下限值,确定研究区储层参数下限。

1) 孔喉半径下限

在已有的研究成果基础上,根据压汞资料中渗透率的累积贡献值为 99.99%时,所对应的平均喉道半径为 0.05 μm ,这里将孔喉半径下限定为 0.05 μm 。即孔喉半径小于 0.05 μm 的孔喉体积为天然气不能进入的孔喉体积,相应地孔喉半径小于 0.05 μm 孔喉体

积百分数近似于岩石的束缚水饱和度。

2) 孔隙度、渗透率下限

鄂尔多斯盆地大牛地气田、苏里格气田石盒子组与山西组、太原组,四川盆地川西须家河组致密砂岩的物性参数下限如下:①石盒子组,孔隙度下限为 4.5%,渗透率下限为 $0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$;②山西组和太原组,孔隙度下限为 4%;渗透率下限为 $0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$;③须家河组,孔隙度下限为 4%,渗透率下限为 $0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

根据压汞实验,统计渗透率与喉道半径关系(图 5)可见,0.05 μm 喉道半径对应的渗透率约为 $0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,此时 $0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 的渗透率值可以作为渗透率下限。由孔隙度-渗透率关系(图 6)可确定孔隙度下限为 4%。文中所确定的孔隙度和渗透率下限与上述鄂尔多斯和四川盆地的相当,数据可靠。

3) 饱和度确定

饱和度的确定采用了多种方法综合分析,分别进行了压汞分析、半渗透隔板法和稳定流相渗透率曲线分析。半渗透隔板法是确定束缚水饱和度经典的方法,综合其他方法分析确定饱和度如下:束缚水饱和度(S_{wi})为 45%;含气饱和度为 55%;残余气饱和度为 25%;临界气饱和度为 25%。

4.1.2 储层分类标准

储层分类标准按照国内《石油天然气行业标准 1998》结合该地区地层情况,考虑到研究区范围大、层位多、岩性变化大和资料较少等因素,根据物性参数与岩性的关系,初步确定了研究区致密砂岩储层分类评价标准(表 2)。

I 类储层:主要岩性为中-粗粒石英砂岩,泥质含量小于 5%,孔隙度大于 12%,渗透率大于 $20 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,以大孔隙、粗喉道为主,束缚水饱和度小于 25%,这类储层是研究区较好的储层。

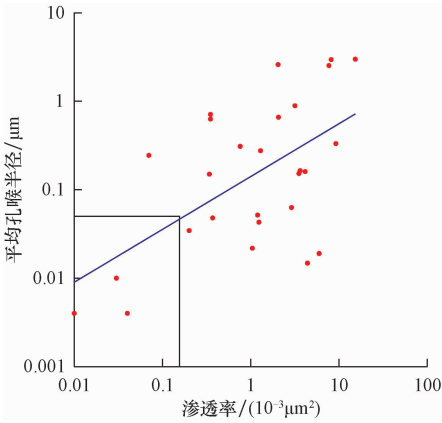


图 5 鲁卜哈利盆地储层渗透率与喉道半径关系
Fig. 5 Relationship between permeability and throat radius of reservoirs in the Rub Al Khali Basin

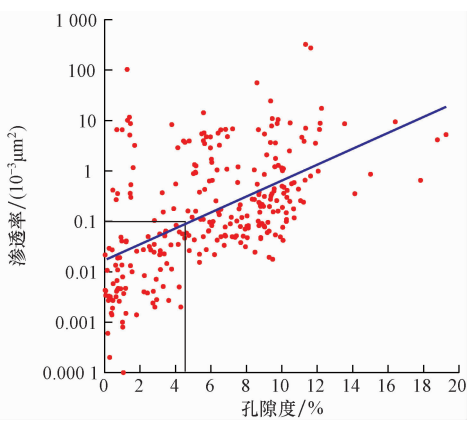


图 6 鲁卜哈利盆地储层孔隙度、渗透率交会图
Fig. 6 Porosity and permeability cross-plot of reservoirs in the Rub Al Khali Basin

表2 鲁卜哈利盆地古生界致密砂岩储层分类评价标准

Table 2 Classification and evaluation criteria of the Paleozoic tight sandstone reservoirs in the Rub Al Khali Basin								
储层类型	$\Phi/\%$	$K/(10^{-3}\mu\text{m}^2)$	$S_{\text{wi}}/\%$	$R_{10}/\mu\text{m}$	$R_{50}/\mu\text{m}$	含量泥质/ $\%$	主要岩性	储层评价
I	≥ 12	≥ 20	≤ 25	≥ 15	≥ 2	< 5	中-粗粒石英砂岩	好
II	8 ~ 12	3 ~ 20	25 ~ 35	2 ~ 15	1 ~ 2	5 ~ 10	中粒砂岩	中
III	4 ~ 8	0.1 ~ 3	35 ~ 45	1 ~ 2	0.2 ~ 1	10 ~ 15	杂砂岩、细粒砂岩	差
IV	< 4	< 0.1	> 45	< 1	< 0.2	> 15	泥质砂岩、细粉砂岩	非储层

II类储层:主要岩性为中粒砂岩为主,泥质含量为5%~10%,孔隙度为8%~12%,渗透率为 $3\times 10^{-3}\sim 20\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$,束缚水饱和度为25%~35%,这类储层是研究区中等储层。

III类储层:主要岩性为大部分杂砂岩及细粒砂岩,泥质含量为10%~15%,孔隙度小于4%~8%,渗透率为 $0.1\times 10^{-3}\sim 3\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$,小孔隙细喉道为主,束缚水饱和度为35%~45%,这类储层在研究区属于差储层。

IV非储层:主要岩性为大部分泥质砂岩及细粉砂岩,泥质含量大于15%,孔隙度小于4%,渗透率小于 $0.2\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$,束缚水饱和度大于45%,这类储层在研究区砂岩属于非储层。

4.2 储层分布评价

4.2.1 Unayzah 组

Unayzah 组储层较发育,I类储层所占比例为0~17.50%,II类储层所占比例5.27%~55.70%,III类储层所占比例5.34%~51.41%,IV类非储层所占比例21.45%~79.40%。I类、II类储层比较发育的井为H2井,储层厚度合计为73.20%,M2井储层厚度合计为39.23%,主要分布在地层中部。其次为S2井储层厚度合计为26.78%,F1井厚度合计18.67%,主要分布在地层上部和中部。A2井I类、II类储层厚度合计13.93%,主要分布在地层中部。Q1井I类、II类储层发育较差,主要分布在下部。Unayzah 组储层总体较发育,尤其是II类储层及I类储层较为普遍发育。

Unayzah 组不论从野外的剖面观察或者是钻井岩心分析,有利储层发育的是河流比较发育的地区,以及三角洲发育的地区。在野外Unayzah 组辫状河流沉积的砂岩非常疏松,砂体发育也比较好,薄片Unayzah 组岩石都有溶蚀作用的发育,孔隙类型中次生孔隙所占比例比较高,而在分选比较好的岩石中,石英的次生加大发育,充填粒间孔隙,对储层的发育和保存不利。因此,Unayzah 组的储层既要有好的沉积相带,最好匹配一部分的不稳定矿物的存在,如长石,这样有利于次生孔隙的发育。从目前钻井揭示的情况来看,在F1井地区三角洲发育,可能是勘探Unayzah 组最为有利的地区。

4.2.2 Sarah 组

Sarah 组储层较发育,I类储层在H2井所占比例为56.01%,F1井所占比例为49.23%。II类储层所占比例2.54%~28.55%,III类储层所占比例0~33.72%,IV类非储层所占比例22.22%~89.97%。储层较发育的井为H2井,F1井,I类储层所占比例为49.23%,主要分布在地层下部,II类储层所占比例28.55%,分布在地层上部,IV类非储层所占比例22.22%。其次为A2井、M2井,II类、III类储层所占比例约为40%~45%,主要分布在地层中、下部。S2井以III类储层为主,Q1井储层发育较差,II类、III类储层所占比例约为10%,主要分布在地层上部。F1井储层不发育,大部分为IV类非储集岩,储层中I类储层发育。M2井全部为IV类非储集岩。

综合分析各井Sarah 组分布特征为,H2井基本上为II类储层,其余为IV类非储集岩。S2井、A2井储层发育,砂岩中大部分为III类储层。Sarah 组的储层尽管都可以看到孔隙的发育,然而最好的储层发育位置在A构造上,A构造上Sarah 组的储层特征最好,岩石明显受到海水的改造,分选比较好,粘土杂基含量少,压实作用和胶结作用都不强,而且见到沥青的存在,说明油气对该地区进行过运移,这种运移通道可能和断层有关,因为在薄片见有热液活动的证据。在野外看到的Sarah 组砂岩也是比较好的储层,碎屑分选比较好,粒度也比较均一,粘土杂基的含量也不高,尽管属于冰川沉积,显然是经过了后期地下水或者地表径流的改造,然而,要准确给出区块内冰川运移或者活动过的主要通道还有很多困难,原因是埋藏深,地震资料的分辨率识别不出。现实的结论是在A地区寻找好的Sarah 组储层。

5 结论

1) 致密砂岩储层岩石类型以石英砂岩为主,少量的岩屑砂岩、岩屑长石砂岩、岩屑石英砂岩和长石石英砂岩。总体上表现为石英含量高,长石含量次之,岩屑比较少见,但是在不同的井段和层位,都有变化。填隙物类型比较复杂,见有石英次生加大、粘土杂基充填、

方解石胶结物、菱铁矿胶结物。

2) 致密砂岩储层储集空间主要为残余粒间孔,其余为次生粒间孔、粒间微孔、粒内溶孔、铸膜孔、残余铸膜孔(粒内晶间孔)、裂缝,孔隙组合以溶蚀孔-残余粒间孔组合为主。常见孔隙类型有粒间孔、残余粒间孔、粒间溶孔和粒内溶孔,粒间孔普遍发育,发育程度差别很大,面孔率高的达23%,低的小于1%,孔隙分布不均匀,粒间孔发育时一般连通性都较好。

3) 孔隙度和渗透率的测试结果表明 Unayzah 组和 Sarah 组储集性能较好。岩石孔隙结构分为4种类型:①大喉道类型,孔隙不是很发育,但孔隙大,喉道粗,孔喉连通性好,储集性好,构成了较好储集岩;②中喉道类型,孔隙不是很发育,但孔隙较大,喉道较粗,孔喉连通性好,储集性比较好,构成了较好储集岩;③小喉道类型,孔隙不发育,为小孔、小喉道,连通性差,储集性较差的岩石;④微喉道类型,可见孔不发育,孔隙为微孔隙和溶孔,孔隙直径一般小于0.01 mm,连通性差,岩石储集性很差。

4) Unayzah 组纵向上 I 类储层及 II 类储层较为普遍发育,储集性能较好,属于中-好储层,平面上在 F1 井地区三角洲发育,可能是能够比较确定的 Unayzah 组勘探的最有利地区;Sarah 组总体储集性能较 Unayzah 组差,以 II 类和 III 类储层居多,属于中-差储层,在 A 地区 Sarah 组的储集性能最好,为勘探的有利区域。

参 考 文 献

- [1] 伏海蛟,汤达祯,许浩,等.致密砂岩储层特征及气藏成藏过程.断块油气田,2011,19(1):47-50.
Fu Haijiao, Tang Dazheng, Xu Hao, et al. Tight sandstone reservoir characteristics and gas pool [J]. Fault Block Oil and Gas Fields, 2011, 19(1): 47-50.
- [2] 仓辉,张海霞,郝巍,等.巴喀下侏罗致密砂岩储层评价[J].吐哈油气,2010,15(2):232-236.
Chang Hui, Zhang Haixia, Hao Wei, et al. Baka Lower Jurassic tight sandstone reservoir evaluation [J]. Tuha Oil, 2010, 15(2): 232-236.
- [3] 胡明毅,李士祥,魏国齐,等.川西前陆盆地上三叠统须家河组致密砂岩储层评价[J].天然气地球科学,2006,17(4):456-462.
Hu Mingyi, Li Shixiang, Wei Guoqi, et al. Foreland basin of the Upper Triassic Xujiahe tight sandstone reservoir evaluation [J]. Natural Gas Geoscience, 2006, 17(4): 456-462.
- [4] 王洪辉,黎鹏,段新国.四川盆地须家河组低孔致密砂岩孔隙度测井解释研究[J].成都理工大学学报(自然科学版),2009,36(3):249-252.
Wang Honghui, Li Peng, Duan Xinguo. Low-porosity sandstone porosity logs interpretation of Xujiahe formation in Sichuan basin [J]. Chengdu University of Technology Journal (Natural Science Edition), 2009, 36(3): 249-252.
- [5] 张永贵,刘振峰.鄂尔多斯盆地北部上古生界致密砂岩气藏储层建模[J].石油与天然气地质,2011,32(4):560-567.

- Zhang Yonggui, Liu Zhenfeng. Ordos Basin Paleozoic tight sandstone gas reservoir modeling [J]. Oil and Gas Geology, 2011, 32(4): 560-567.
- [6] 孟万斌,吕正祥,刘家铎,等.川西中侏罗统致密砂岩次生孔隙成因分析[J].岩石学报,2011,27(8):2371-2380.
Meng Wanbin, Lv Zhengxiang, Liu Jiaduo, et al. Causes of Middle Jurassic tight sandstone secondary porosity in Sichuan basin [J]. Acta Petrologica Sinica, 2011, 27(8): 2371-2380.
- [7] 雷卞军,刘斌,李世临,等.致密砂岩成岩作用及其对储层的影响[J].西南石油大学学报(自然科学版),2008,30(6):57-61.
Lei Bianjun, Liu Bin, Li Shiling, et al. tight sandstone diagenesis and its effect on the reservoir [J]. Southwest Petroleum University Journal (Natural Science Edition), 2008, 30(6): 57-61.
- [8] 李嵘,吕正祥,叶素娟.川西拗陷须家河组致密砂岩成岩作用特征及其对储层的影响[J].成都理工大学学报(自然科学版),2011,38(2):147-154.
Li Rong, Lv Zhengxiang, Ye Sujuan. Xujiahe tight sandstone diagenesis and its effect on the reservoir in West Sichuan depression [J]. Chengdu University of Technology Journal (Natural Science Edition), 2011, 38(2): 147-154.
- [9] 胡玉双,乔柱,乔德武,等.松辽盆地徐家围子断陷登二段致密砂岩之有利储层预测[J].矿物岩石地球化学通报,2012,31(4):361-367.
Hu Yushuang, Qiao Zhu, Qiao Dewu, et al. D2 member tight sandstone reservoir prediction in Xujiaheizi depression Songliao Basin [J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2012, 31(4): 361-367.
- [10] 张哨楠.沙特鲁卜哈里盆地 Unayzah 组砂岩储层特征[J].沉积学报,2010,28(5):945-952.
Zhang Shaonan. Unayzah sandstone reservoir characteristics in Rub Al Khali Basin [J]. Deposition Sinica, 2010, 28(5): 945-952.
- [11] 袁井菊,万晓迅,陈明.中东地区鲁卜哈利盆地古生界地震反射构型特征与储层预测[J].现代地质,2009,23(5):940-946.
Yuan Jingju, Wan Xiaoxun, Chen Ming. Seismic reflection configuration characteristics and reservoir prediction in Rub Al Khali Basin [J]. Geoscience, 2009, 23(5): 940-946.
- [12] Ziegler M A. Late Permian to Holocene paleofacies evolution of the Arabian plate and its hydrocarbon occurrences [J]. GeoArabia, 2001, 6(3): 445-504.
- [13] 杜建波,田景春,胡俊卿,等.洛阳-伊川地区三叠系致密砂岩油气藏地质特征[J].石油与天然气地质,2013,34(2):174-178.
Du Jianbo, Tian Jingchun, Hu Junqing, et al. Geological characteristics of the Triassic tight sandstone oil and gas reservoirs in Luoyang-Yichuan area [J]. Oil & Gas Geology, 2013, 34(2): 174-178.
- [14] 林小兵,刘莉萍,田景春,等.川西拗陷合兴场-丰谷地区须家河组致密砂岩气藏精细勘探[J].石油与天然气地质,2013,34(1):77-84.
Lin Xiaobing, Liu Liping, Tian Jingchun, et al. Fine exploration of tight sandstone gas reservoirs in the Xujiahe Formation, Hexingchang-Fenggu area, the western Sichuan Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2013, 34(1): 77-84.
- [15] 侯瑞云.大牛地气田盒一段低孔渗砂岩储层特征[J].石油与天然气地质,2012,33(3):467-478.
Hou Ruiyun. Reservoir characteristics of low porosity and permeability sandstone of Member of Xiashihezi Formation in Daniudi gas field, Ordos Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(3): 467-478.