

文章编号: 1009-3850(2013)04-0060-08

鄂尔多斯盆地北部塔巴庙地区下石盒子组盒3段储层特征及有利区块预测

阳伟^{1,2}, 田景春^{2,3}, 张翔², 王文之²

(1. 四川省煤田地质工程勘察设计院, 四川 成都 610072; 2. 成都理工大学沉积地质研究院, 四川 成都 610059; 3. 成都理工大学油气藏地质及开发工程国家重点实验室, 四川成都 610059)

摘要: 根据野外剖面、钻井岩芯和测井等资料, 系统地对塔巴庙地区下石盒子组盒3段储集砂体的岩石学特征、孔隙类型、成岩作用以及物性进行了详细的分析。研究表明, 储集层的成分和结构成熟度低; 主要孔隙类型有粒间孔、粒内溶孔、晶间溶孔、铸模孔和粒缘缝; 孔隙度为0.7%~18.69%, 平均值为7.82%; 渗透率为 $0.008 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2 \sim 23.01 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 平均值为 $1.111 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 属于物性中-偏低的微孔-溶孔型组合型储集岩。影响储集层的主控因素包括: (1) 河道控制了优质储层的分布范围和规模; (2) 成岩期早期环边绿泥石胶结、溶蚀等建设性成岩作用是形成储层的基础; (3) 成岩相扩大了储层的分布范围, 改善了储层的物性。在上述研究的基础上, 结合储集砂体的沉积微相特征、物性平面展布特征、储集砂体成岩相特征, 在研究区内圈定了II、III两类有利勘探区块, 为研究区下一步的勘探、开发提供了科学依据。

关键词: 塔巴庙; 盒3段; 储层特征; 控制因素; 有利区块

中图分类号: TE122.2⁺³

文献标识码: A

塔巴庙地区是中石化集团在鄂尔多斯盆地拥有勘探权的区块之一, 位于盆地北部, 为一主力产气区, 面积约2000km², 有各类钻井80余口。目前已发现了大牛地气田, 以二叠系山西组和下石盒子组为主要目的层。地层产状平缓, 表现为西倾单斜, 构造圈闭不发育, 气藏的圈闭类型为岩性圈闭, 砂岩储层的发育与否控制了圈闭的分布范围, 因此研究砂岩储层发育的影响和控制因素就显得十分重要^[1]。本文对下石盒子组盒3段储集砂体进行储层特征研究, 并对其有利区块进行预测。

1 储层特征

1.1 储层岩石学特征

通过对岩芯和大量薄片分析, 研究区下石盒子

组盒3段储层以中-粗砂岩、含砾粗砂岩为主。岩石类型主要为岩屑砂岩, 少量的岩屑石英砂岩及长石岩屑砂岩, 其中砂岩颗粒分选性为中-差, 主要为棱角状、次棱角-次圆状。碎屑普遍具颗粒支撑, 接触较紧密, 颗粒间多呈点-线接触、线-凹凸接触。根据砂岩碎屑成分统计, 各类碎屑岩屑平均含量为38.5%, 岩屑成分一般以沉积岩岩屑和浅变质岩岩屑为主, 少量岩浆岩岩屑。石英、长石平均值分别为59.5%和3.5%。砂岩成分成熟指数 $Q/(F+R)$ 在0.1~2.8之间, 表明其成分成熟指数偏低(图1)。粘土杂基主要成分为高岭石和伊利石。高岭石含量在2%~13%之间, 个别岩石中达15%; 伊利石含量一般为2%~15%。胶结物主要为硅质和方解石。硅质胶结物一般以石英次生加大的形式出现或者

以第二世代充填于环边绿泥石剩余粒间孔中,形成绿泥石-硅质胶结,含量一般为1%~5%。方解石胶结物主要呈斑点状充填粒间,含量一般为2%~10%,个别层段方解石含量可达15%~30%。砂岩中填隙物结构类型为杂基-胶结物混合填隙,胶结类型为孔隙式胶结^[2]。

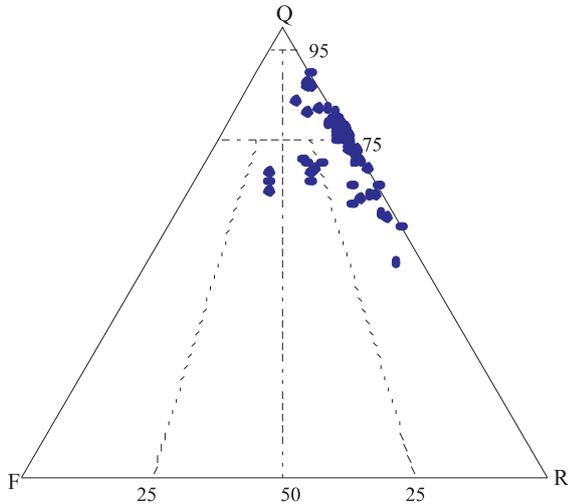


图1 塔巴庙地区下石盒子组盒3段岩石类型图

Fig. 1 Triangular diagram of the rock types in the third member of the Lower Shihezi Formation in the Tabamiao region

1.2 储层孔隙类型及特征

通过对研究区储集砂岩铸体薄片观察,根据孔隙分布位置、孔隙与颗粒和填隙物之间的关系,将下石盒子组盒3段储集砂岩的孔隙划分为以下5种主要孔隙类型。

1.2.1 粒间孔

粒间孔包括剩余粒间孔和次生粒间孔。剩余原生粒间孔是环边绿泥石或早期硅质胶结物形成之后剩余的粒间孔隙(图2-I)。剩余原生粒间孔特征明显,呈三角形、多边形,孔隙周边淀绿泥石环边保存完好,无明显溶蚀现象,孔径大小一般在5~200 μm 之间。次生粒间溶孔主要由泥质杂基溶蚀而成。由泥质杂基被溶之后形成的粒间孔隙的面孔率值变化大,在1%~20%之间。

1.2.2 粒内溶孔

研究区储集砂岩的粒内溶孔是由于长石、岩屑不同程度地被溶蚀形成。本区砂岩中岩屑含量高,尤其是易溶的千枚岩、泥板岩大量存在,使粒内溶孔在本区较为发育。铸体薄片下长石、岩屑的粒内溶孔有孤立溶孔、粒内蜂窝状溶孔、粒内微孔(图2-II)。

1.2.3 晶间微孔

主要存在于细小的粘土矿物中,常见于粒间水

云母杂基、泥质杂基、高岭石淀杂基中。本区的高岭石化现象普遍,由碎屑蚀变的高岭石或充填粒间的高岭石中的晶间微孔非常发育(图2-III)。此外还见有泥质杂基中的微孔和泥岩屑中的微孔。微孔孔径 $<0.01\text{mm}$ 是本区一种常见的孔隙类型。

1.2.4 铸模孔

由长石、云母、岩屑等被彻底溶蚀形成,只保留颗粒的外形,有时可见颗粒被溶蚀后仅保留颗粒的绿泥石粘土包壳。铸模孔在研究区发育较好,大部分铸模孔隙为长石的板条状外形。一般在0.1mm以上,面孔率一般不超过2%,为次要的储集空间。如大5井中的长石、岩屑强溶蚀形成的铸模孔较发育。

1.2.5 粒缘缝

为环边绿泥石被溶蚀后形成的沿颗粒边缘分布的微溶缝。缝宽0.01mm左右,常发育于较粗粒碎屑边缘。当环边绿泥石受到强溶蚀时,粒缘缝则呈网状分布。

上述各种孔隙类型构成了研究区储集岩的储集空间,这些储集空间按主要的孔隙类型与次要孔隙类型组合关系,构成各种不同的储集岩类型。研究区对储集砂岩的孔隙度、渗透率达到储层要求的有效储集岩按孔隙大小分类,小于0.01mm的孔隙如粘土杂基微孔以及淀绿泥石中的晶间微孔等,划分为微孔型储集岩。而对大于0.01mm的孔隙,如铸模孔等,划分为溶孔型储集岩。研究区由于高岭石粘土非常发育,同时酸性孔隙水对岩石的溶蚀作用,所以多以微孔-溶孔型组合储集岩为主,微孔型次之^[3]。

1.3 储层物性特征

对研究区下石盒子组盒3段各种砂岩和泥岩中孔隙度 $>4\%$ 、渗透率 $>0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 的样品作物性分析,所得统计数据(表1)表明,研究区储集砂岩孔隙度和渗透率均为中-偏低。其次,对本区储集砂岩的孔隙度、渗透率及其相关性进行分析(图3、4)表明,区内孔隙度和渗透率呈正相关关系(图5),区内盒3段储集物性较好。在上述基础上,通过对研究区有关钻井盒3段孔隙度、渗透率分析,编制孔隙度和渗透率等值线平面图(图8),并进行了叠合,进一步反映了区内盒3段的孔隙度、渗透率在平面上的变化特征。

2 储层主要控制因素

2.1 沉积相与储层发育的关系

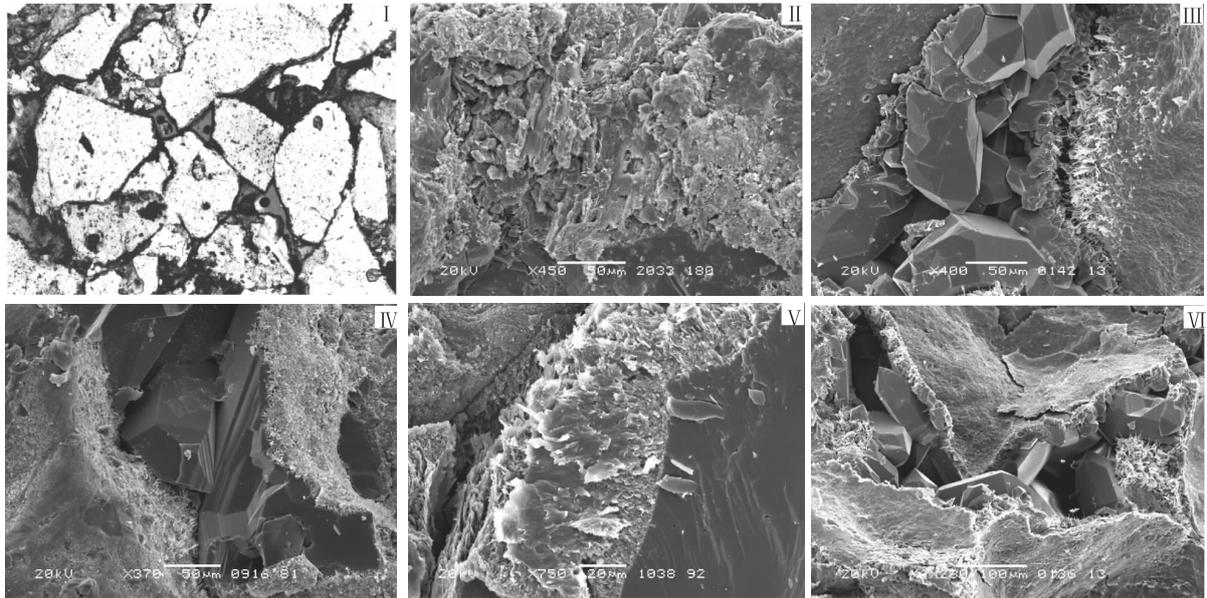


图2 塔巴庙地区下石盒子组盒3段孔隙类型及成岩作用

I. 绿泥石胶结物形成后剩余下的粒间孔, D11 井 2675.01 m, 盒3段, 10×5 (-); II. 长石颗粒被溶蚀形成粒内溶孔, D36 井 2380.66m, 盒3段; III. 粒间孔隙中填充次生石英晶体, 粒间孔隙被改造为晶间孔隙, D36 井 2380.66m, 盒3段; IV. 片状绿泥石集合体呈薄膜结构覆盖于颗粒表面, 次生石英晶体充填于粒间孔隙中, D60 井 2633.78m, 盒3段; V. 颗粒间填充片状伊利石集合体, 片状伊利石溶蚀交代石英颗粒边缘, D68 井 2617.88m, 盒3段; VI. 次生石英晶体充填于孔隙中, 见残留孔隙及晶间孔隙, D36 井 2380.66m, 盒3段

Fig. 2 Porosity types and diagenesis of the third member of the Lower Shihezi Formation in the Tabamiao region

I. Intergranular pores generated by the cementation of the chlorite at the depth of 2675.01 m through the D11 well in the third member of the Lower Shihezi Formation, plane-polarized light, 10×5 ; II. Intragranular solution openings generated by the dissolution of the feldspar grains at the depth of 2380.66 m through the D36 well in the third member of the Lower Shihezi Formation; III. Intercrystal pores originated from the intergranular pores filled by secondary quartz at the depth of 2380.66 m through the D36 well in the third member of the Lower Shihezi Formation; IV. Intergranular pores filled by secondary quartz at the depth of 2633.78 m through the D60 well in the third member of the Lower Shihezi Formation; V. Intergranular filling of the laminated illite aggregates which in turn give rise to the dissolution and replacement of the margins of the quartz grains at the depth of 2617.88 m through the D68 well in the third member of the Lower Shihezi Formation; VI. Residual pores and intercrystal pores filled by secondary quartz at the depth of 2380.66 m through the D36 well in the third member of the Lower Shihezi Formation

表1 塔巴庙地区下石盒子组盒3段储集砂体孔隙度和渗透率统计表

Table 1 Statistics of the porosity (%) and permeability ($10^{-3} \mu\text{m}^2$) of the reservoir sandstones from the third member of the Lower Shihezi Formation in the Tabamiao region

层位	样品数	孔隙度(%)			渗透率K($10^{-3} \mu\text{m}^2$)			有效孔隙度 (%)		有效渗透率 Kr($10^{-3} \mu\text{m}^2$)	
		最小值	最大值	平均	最小值	最大值	平均	个数	平均	个数	平均
盒3段	191	0.7	18.69	7.82	0.008	23.01	1.111	151	9.33	148	1.355

将塔巴庙地区下石盒子组盒3段划分为3个中期基准面旋回(MSC1~MSC3),以中期基准面旋回的上升半旋回相域编制了岩相古地理图(图6)。从图中可以看出,研究区的储集砂体无一例外地发育于三角洲平原的分流河道砂体内。MSC1期总体格局为发育辫状河的三角洲平原,在神1井、大29井至大26井一带,河床滞留砂体、心滩砂体和废弃河道砂体交替发育,构成以辫状河道为主的东支分流河道网状水系,以发育河床滞留砂体为主,砂体厚

度为6~10m,为全区最厚的砂体。MSC2期因受湖水位上升、湖侵扩大、陆源物质供给量有所减少和地形变平缓的多种因素影响,分流河道的性质开始向曲流河转化,分为东支和西支分流河道砂体。其中,东支分流河道以发育河床滞留砂体为主,砂体厚度较薄,为4~6m;西支分流河道发育河床滞留砂体为主,砂体厚度也较薄,为5~6m。MSC3期保持了前期曲流河三角洲平原的沉积特征,发育东、西支分流河道,均以发育4~6m的河床滞留砂体为主。

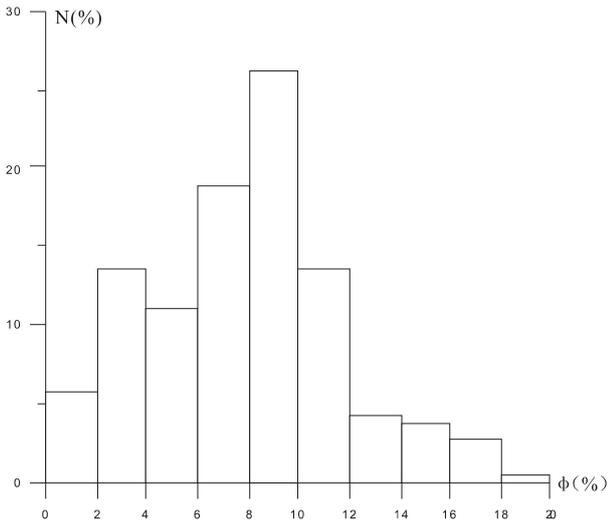


图3 塔巴庙地区下石盒子组盒 3 段砂岩孔隙度频率直方图

Fig. 3 Frequency histogram of the porosity of the reservoir sandstones from the third member of the Lower Shihezi Formation in the Tabamiao region

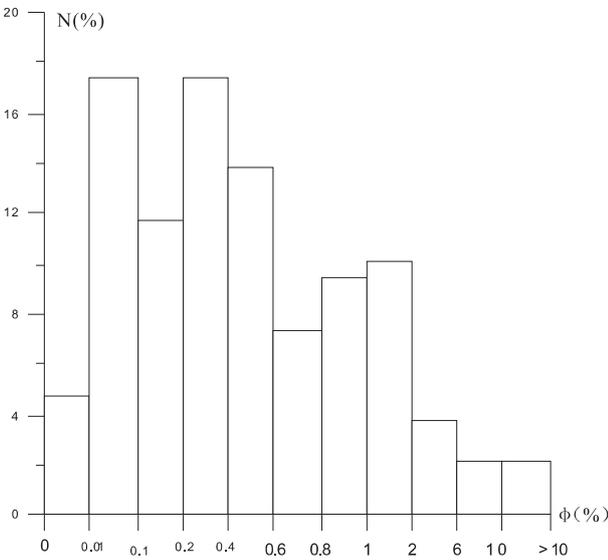


图4 塔巴庙地区下石盒子组盒 3 段砂岩渗透率频率直方图

Fig. 4 Frequency histogram of the permeability of the reservoir sandstones from the third member of the Lower Shihezi Formation in the Tabamiao region

2.2 成岩作用与储层发育的关系

沉积物的成岩作用受其成分、结构、沉积成岩环境及盆地演化等诸多因素的制约^[4-6]。在沉积成岩演化过程中,不同的成岩作用对沉积岩的储集性能产生建设或破坏性作用。通过对研究区下石盒子组盒 3 段 200 多块砂岩薄片的研究,根据薄片、阴极发光、扫描电镜和 X 射线衍射等资料分析,识别

出 8 类成岩作用。

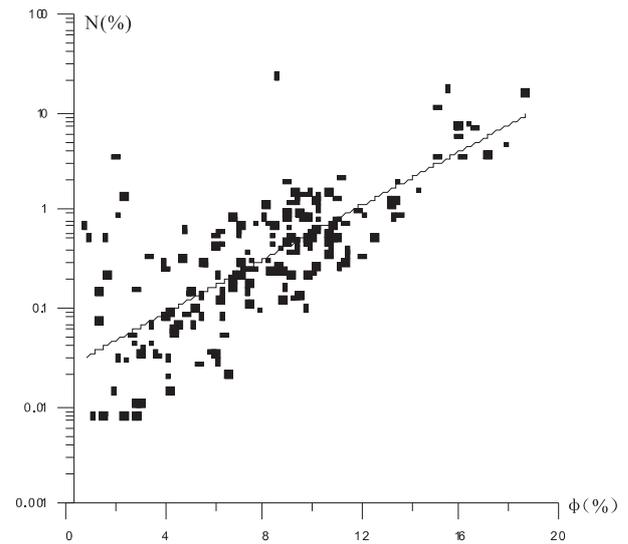


图5 塔巴庙地区下石盒子组盒 3 段砂岩孔隙度与渗透率关系图

Fig. 5 Relationship between the porosity and permeability of the reservoir sandstones from the third member of the Lower Shihezi Formation in the Tabamiao region

2.2.1 建设性成岩作用

(1) 成岩早期环边绿泥石胶结作用

砂岩中普遍发育环边绿泥石沿粒间孔壁生长形成第一世代胶结,环边厚 0.02 ~ 0.07mm。受环边绿泥石保护,抗机械压实作用能力增强,使得砂岩中部分原生粒间孔保存完好(图 2-IV)。同时环边绿泥石在酸性水作用下可发生溶解形成粒缘缝而有利于油气的运移与存储^[7-8]。

(2) 碎屑及填隙物的溶蚀作用

研究区的储集砂岩组分中,填隙物和碎屑颗粒均受到不同程度的溶蚀作用,特别是碎屑颗粒普遍受到淡水或酸性孔隙水作用而发生溶蚀(图 2-II)。此外,部分粘土杂基也受到溶蚀。溶蚀作用大大地改善了砂岩储层的孔渗性能,形成了区内储集层的主要的储集空间。

(3) 高岭石化作用

研究区的储集砂岩表现出强烈的高岭石化作用,同时自生高岭石具有明显的纵向分带性。高岭石大多是由碎屑蚀变而来。最常见的是由泥板岩、千枚岩、云母蚀变而来,部分由长石及中酸性火山岩蚀变而来。出现强高岭石化对微孔的增加无疑具建设性作用。

(4) 岩屑及矿物的水化作用

水化作用是指不含水或含水较少的矿物与水接

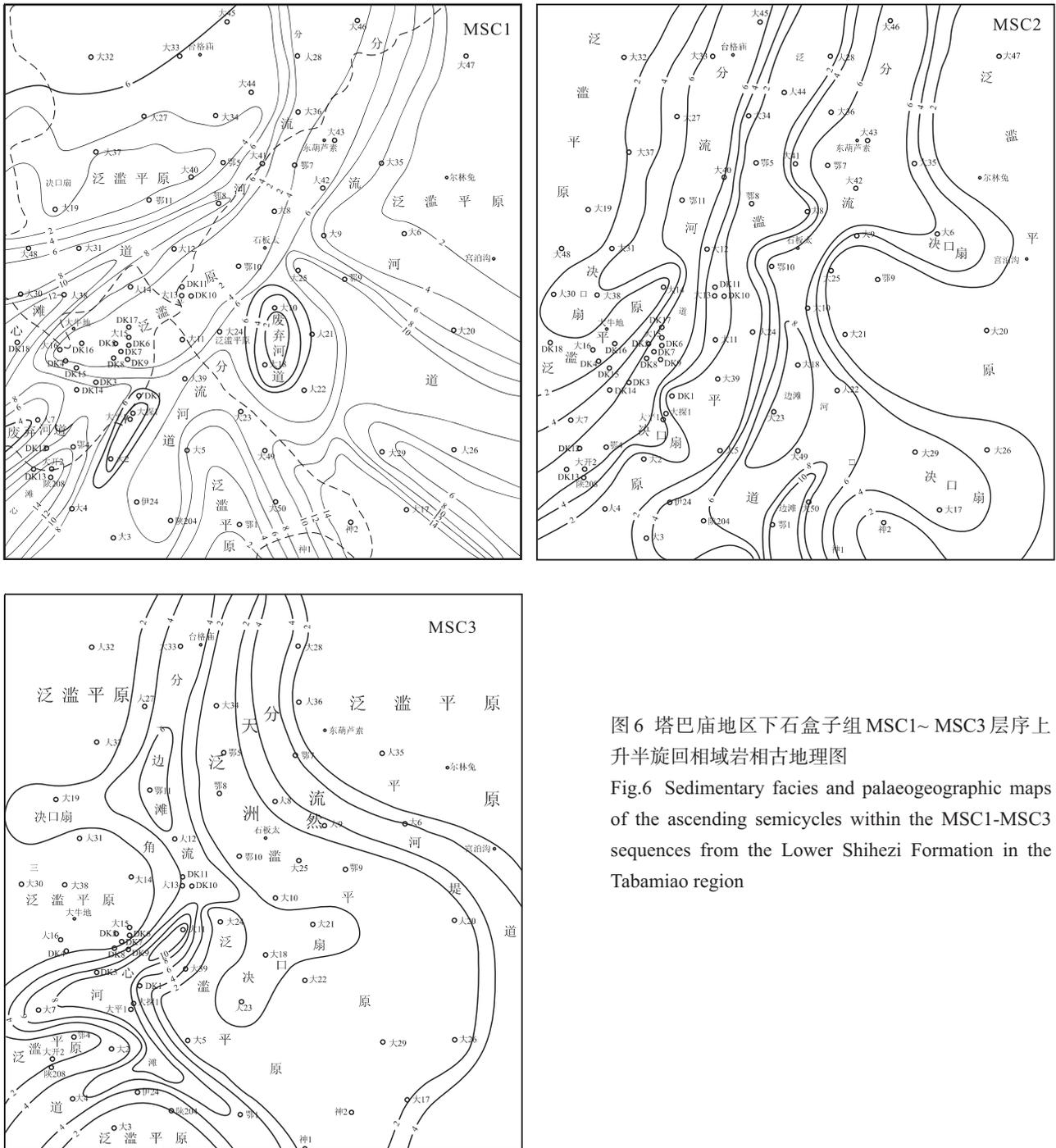


图6 塔巴庙地区下石盒子组 MSC1~ MSC3 层序上升半旋回相域岩相古地理图

Fig.6 Sedimentary facies and palaeogeographic maps of the ascending semicycles within the MSC1-MSC3 sequences from the Lower Shihezi Formation in the Tabamiao region

触转变成含水或含水较多的矿物。包括各种岩屑，尤其是火山岩岩屑，构成含水矿物和碎屑的水化现象。本区岩石中的伊利石、绿泥石、绢云母等矿物在大气淡水、酸性孔隙水介质下发生水化，增加了储层的渗透率。

2.2.2 破坏性成岩作用

(1) 机械压实作用

根据对研究区砂岩的 200 余个薄片的观察，储集砂岩在上覆地层压力不断加大时，颗粒趋于紧密堆积，碎屑多呈点-线接触或线-凹凸接触，部分塑性

岩屑、云母发生弯曲变形，泥岩屑变形呈假杂基。区内储集砂岩经受的压实作用属中-强压实。该区经压实作用后保留下来的原生粒间孔隙度为 8% ~ 13%。

(2) 胶结作用

胶结物的形成过程是缩小原生粒间孔隙的过程。研究区储集砂岩中，环边绿泥石胶结物较普遍。绿泥石胶结物呈等厚环边状分布于粒间孔隙周边，形成第一代胶结物。部分原生粒间孔隙可被胶结物完全充填，对孔隙起到堵塞作用。

(3) 交代作用

交代作用是储集砂岩中较为广泛发育的成岩作用现象。本区交代作用主要发生在碎屑与碎屑之间、填隙物与填隙物之间。最常见的是含铁方解石充填粒间后对碎屑长石、石英普遍发生的交代作用(图2-V),并见有方解石交代碎屑假像。

(4) 次生加大作用

硅质胶结物以石英加大边的形式出现,加大边多出现在石英颗粒的局部边缘,向粒间孔中心扩展,并占据部分粒间孔隙,对砂岩的孔隙度有一定影响。硅化作用在区内具有较广泛意义,因此对孔隙的充填破坏性较大(图2-VI)。

2.3 成岩相类型与储层的关系

经大量岩石薄片、铸体薄片观察后,发现区内储集砂岩中存在不同的成岩相^[7-8],但均以压实—胶结成岩相为主,胶结成岩相次之。并根据岩石孔隙发育情况进行统计后所得的平均值反映的溶蚀程度,得到下石盒子组盒3段的成岩相图(图7),其中储集砂岩主要成岩相特征如下:

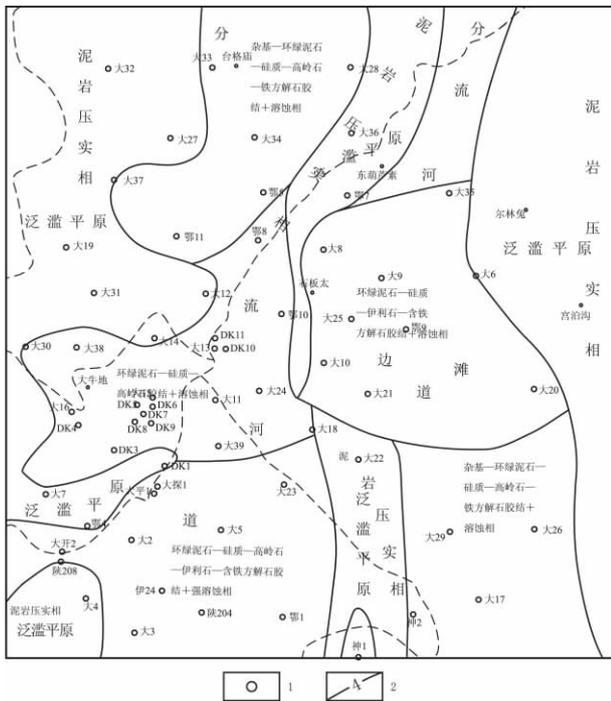


图7 塔巴庙地区下石盒子组盒3段储集砂体成岩相图

1. 已钻井; 2. 砂体等厚线(m)

Fig.7 Diagenetic facies diagram for the reservoir sandstones from the third member of the Lower Shihezi Formation in the Tabamiao region

1 = drilled well; 2 = sandstone isopach

2.3.1 环边绿泥石-硅质-高岭石胶结+溶蚀相

该成岩相主要发育在分流河道环境,其储集主

要空间为环边绿泥石剩余原生粒间孔和高岭石淀杂基中的晶间微孔隙,以及溶蚀作用造成的次生孔隙,主要见长石及岩屑粒内溶孔、泥质杂基溶蚀孔隙。该成岩相主要位于研究区中西部,大12井-大13井-大39井一线。

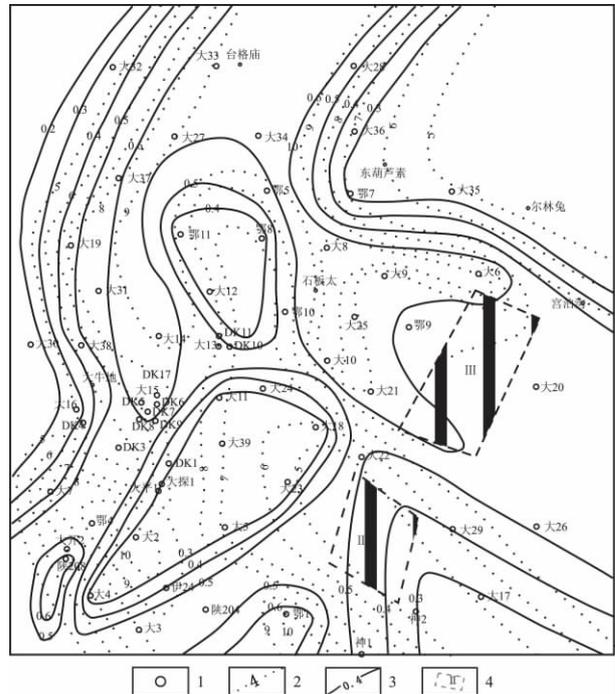


图8 塔巴庙地区下石盒子组盒3段物性平面展布图

1. 已钻井; 2. 砂体孔隙度等值线; 3. 砂体渗透率等值线; 4. 有利区块

Fig.8 Planar distribution of the physical properties of the reservoir sandstones from the third member of the Lower Shihezi Formation in the Tabamiao region

1 = drilled well; 2 = porosity isoline; 3 = permeability isoline; 4 = favourable block

2.3.2 杂基-环边绿泥石-硅质-高岭石-铁方解石胶结+溶蚀相

该成岩相见于分流河道砂岩中,主要受成岩压实和胶结作用控制,部分孔隙中保留泥质杂基,大多数孔隙中见有环边绿泥石及含铁方解石充填。岩石孔隙主要以溶蚀粒间孔和长石、岩屑粒内溶孔为主,发育少量水云母晶间微孔及粒间微缝。该成岩相主要分布于研究区西北和东南两个地区。

2.3.3 环边绿泥石-硅质-伊利石成岩相+溶蚀相

主要分布于分流河道及泛滥平原相中,二世代伊利石可以生长于环边绿泥石剩余粒间孔中,也可以与其它胶结物共生。发育次生粒间孔、次生粒内孔(有沥青进入)、微裂缝等储集空间。该成岩相主要分布于研究区西南和中东部地区。

3 有利储层发育区块预测

在上述研究的基础上,结合储集砂体的沉积微相特征(图6)、物性平面展布特征(图8)和储集砂体成岩相特征(图7),在研究区划分出了Ⅱ、Ⅲ两类有利勘探区(图8)。其中Ⅱ类勘探区为分流河道沉积,砂体累计厚度为12~14m,为杂基-菱铁矿-硅质-高岭石-含铁方解石胶结+溶蚀相,砂体孔隙度为5%~6%,渗透率为 $(0.4 \sim 0.6) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$;Ⅲ类勘探区也为分流河道沉积,砂体累计厚度为8~10m,环边绿泥石-硅质-高岭石-含铁方解石胶结+溶蚀相,砂体孔隙度为7%~9%,渗透率 $> 0.6 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

4 结论

(1) 研究区下石盒子组盒3段砂岩主要为岩屑砂岩。砂岩颗粒分选中-差,主要为棱角状、次棱角-次圆状,具颗粒支撑,颗粒间多呈点-线接触、线-凹凸接触。胶结物主要为硅质和方解石。砂岩中孔隙物结构类型为杂基-胶结物混合充填,胶结类型为孔隙式胶结。

(2) 盒3段储层发育的主控因素可归结为3点:①河道控制了优质储层的分布范围和规模;②成岩早期环边绿泥石胶结、溶蚀等建设性成岩作用是形成储层的基础;③成岩相扩大了储层的分布范围,改善了储层的物性。

(3) 在上述研究的基础上,结合储集砂体的沉积微相特征和储集砂体成岩相特征,在研究区划分

出Ⅱ、Ⅲ两类有利勘探区。其中Ⅱ类勘探区为分流河道沉积,为杂基-菱铁矿-硅质-高岭石-含铁方解石胶结+溶蚀相;Ⅲ类勘探区也为分流河道沉积,为环边绿泥石-硅质-高岭石-含铁方解石胶结+溶蚀相,对区内下一步的勘探开发具有良好的借鉴意义。

参考文献:

- [1] 贾会冲,张哨楠.鄂北塔巴庙地区上古生界储层发育的控制因素[J].天然气工业,2001,21(增刊):18-23.
- [2] 王树昆,陈红汉,徐兴永.塔巴庙区块下石盒子组盒一段储层岩石成分和成岩作用对物性的影响[J].南方油气,2006,19(1):20-23.
- [3] 谢风猛,陈克勇,张哨楠,等.塔巴庙上古生界砂岩储层成岩作用对孔隙结构的影响[J].物探化探计算技术,2007,29(3):224-229.
- [4] 王代国.鄂尔多斯盆地塔巴庙地区二叠系下石盒子组盒1段砂岩成岩相与储集性能关系[J].地球科学与地球学报,2006,28(1):32-36.
- [5] 孙治雷,黄思静,张玉修,王庆东,等.四川盆地须家河组砂岩储层中自生绿泥石的来源与成岩演化[J].沉积学报,2008,26(3):459-464.
- [6] 蔡开平,樊世海,张本健,等.川西南部地区沙溪庙组沉积成岩特征与储层关系研究[J].天然气勘探与开发,2004,27(3):11-17.
- [7] 王京,赵彦超,刘琨,王家豪.鄂尔多斯盆地塔巴庙地区上古生界砂岩储层/酸性+碱性O叠加溶蚀作用与储层质量主控因素[J].地球科学—中国地质大学学报,2006,31(2):222-228.
- [8] 胡江柝,张哨楠,李德敏.鄂尔多斯盆地北部下石盒子组-山西组成岩作用与储层的关系[J].成都理工学院学报,2001,28(2):169-173.

Reservoir characteristics and prediction of favourable blocks in the third member of the Lower Shihezi Formation in the Tabamiao region , northern Ordos Basin

YANG Wei^{1,2} , TIAN Jing-chun^{2,3} , ZHANG Xiang² , WANG Wen-zhi²

(1. *Research Institute of Geological Engineering Exploration and Design , Sichuan Bureau of Coalfield Geology , Chengdu 610072 , Sichuan , China*; 2. *Institute of Sedimentary Geology , Chengdu University of Technology , Chengdu 610059 , Sichuan , China*; 3. *State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation , Chengdu University of Technology , Chengdu 610059 , Sichuan , China*)

Abstract: The present paper gives a detailed description of lithology , porosity types and diagenesis on the basis of cores , thin sections and well logs of the reservoir sandstones from the third member of the Lower Shihezi Formation in the Tabamiao region , northern Ordos Basin. These reservoir sandstones have lower compositional and textural maturity. The porosity types include intergranular pores , intragranular solution openings , intercrystal solution openings , moldic pores and grain-margin fissures. The porosity between 0.7% and 18.69% with an average of 7.82% and the permeability from $0.008 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ to $23.01 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ with an average of $1.111 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ indicate the micropores-type and solution openings-type reservoir rocks. The channels may exercise a major control on the distribution and range of the excellent reservoir rocks. The constructive diagenetic processes such as rimmed chlorite cementation and dissolution during the early diagenesis are considered as the basic conditions for the generation of reservoir rocks. The diagenetic facies play an indispensable role in the further expansion of the reservoir area and improvement of the reservoir quality of reservoir rocks. The favourable blocks are delineated in terms of sedimentary microfacies of the reservoir sandstones , planar distribution of the physical properties and diagenetic facies of the reservoir sandstones. The results of research in this study may provide a geological basis for the further exploration in the study area.

Key words: Tabamiao; third member of the Lower Shihezi Formation; reservoir characteristics; controlling factor; favourable block