

文章编号:1673-5005(2007)05-0001-06

低渗透储层成岩储集相及储集空间演化模式

李海燕, 彭仕宓

(中国石油大学 资源与信息学院, 北京 102249)

摘要:以砂西油田古近系下干柴沟组下段(E_3^1)为例,综合应用取心井的岩石铸体薄片、图像分析、扫描电镜、电子探针能谱、阴极发光、粘土矿物 X 衍射分析、镜质体反射率等实验测试资料,对 E_3^1 储层的成岩作用、成岩演化序列和成岩阶段划分方法进行了研究,分析了低渗透储层成岩作用对储集物性的影响,详细阐述了低渗透储层中各类成岩储集相的特征及其形成机制,并探讨了其储集空间类型及演化模式。研究表明,本区储层砂岩较低渗透率的主要成因是成岩期各种自生矿物的充填和胶结作用。根据成岩作用及其特有的储集空间组合,可将 E_3^1 储层划分为 4 种成岩储集相类型,即不稳定组中强溶解次生孔隙成岩储集相(A 相)、中等胶结中强压实残余粒间孔成岩储集相(B 相)、碳酸盐强胶结成岩储集相(C 相)和早期硬石膏强胶结成岩储集相(D 相),其中 A 类储集相的储集性能最好, D 类最差,为差储层或非储层。

关键词:砂西油田;古近系;下干柴沟组;成岩作用;成岩储集相;储集空间演化

中图分类号:TE 112.2

文献标识码:A

Diagenetic reservoir facies and pore space evolution pattern of low permeability reservoir

LI Hai-yan, PENG Shi-mi

(Faculty of Resource and Information Technology in China University of Petroleum, Beijing 102249, China)

Abstract: Taking first member of lower Ganchaigou formation of Paleogene (E_3^1) at Shaxi Oilfield as an example, the diagenesis, diagenetic sequences and stages were studied based on the analytic data of casting thin section, image analysis, scanning electron microscope, electron probe energy spectrometry, cathodoluminescence microscope, X-ray diffraction of clay minerals, vitrinite reflectivity of well core samples. The effects of low permeability reservoir diagenesis on the reservoir properties were analyzed. The characteristics and forming mechanism of each diagenetic reservoir facies were expatiated on, and the pore space types and evolution pattern were discussed. The results indicate that the forming mechanism of the low permeability in this area is the filling and cementation of autogenetic mineral during diagenesis. According to the diagenesis and characteristic pore space combination, the reservoir rocks of E_3^1 can be divided into four types of diagenetic reservoir facies (DRF). DRF A is middle to strong dissolution of unstable ingredients to form secondary pores. DRF B is middle to strong compaction and middle cementation with residual intergranular pores. DRF C is strong carbonate cementation. DRF D is strong cementation of early anhydrite. The reservoir properties of type A diagenetic reservoir facies are the best, while that of type D are the worst and they are poor reservoirs or non-reservoirs.

Key words: Shaxi Oilfield; Paleogene; lower Ganchaigou formation; diagenesis; diagenetic reservoir facies; pore space evolution

低渗透储集层质量是控制低渗透油田油气分布的重要因素,如何有效地确定低渗透储集层质量,是该类储集层评价的一个难题。为了更精确地预测有

效储集层的分布及储集性质的差异,需要研究低渗透储集层发育主控因素之间的相关关系及低渗透储集层综合成因机理。为此,笔者拟以成岩储集相为

收稿日期:2006-12-10

基金项目:国家“973”重大基础研究前期研究专项(2002CCA00700)

作者简介:李海燕(1973-),女(汉族),河北丰润人,讲师,2004 年博士后出站,从事油藏开发地质研究。

思路,以砂西油田古近系 E_3^1 为例开展低渗透储集层质量评价工作。

1 研究区概况

砂西油田位于柴达木盆地西部南区,构造位置为茫崖坳陷尕斯库勒断陷内的一个三级潜伏鼻状构造,西临红柳泉构造,东侧与尕斯库勒油田、油砂山油田毗邻,北翼与狮子沟构造游园沟高点相邻。砂西油田 E_3^1 储层岩性以细砂岩和粗粉砂岩为主,另有少量中、粗砂岩、含砾砂岩及砾岩。砂岩类型以长石砂岩、岩屑长石砂岩为主,另有部分长石岩屑质石英砂岩和长石岩屑砂岩。油层埋藏深度一般为 3600 ~ 3950 m,分为 4 个油层组,平均孔隙度为 13.3%,平均空气渗透率为 $22.97 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,属低孔低渗油藏。沉积主体为一套氧化环境下褐色砂岩、棕红色、棕褐色泥岩、泥质粉砂岩及含砾砂岩、砾质砂岩,发育曲流河三角洲平原亚相(包括分流河道微相、决口水道微相和泛滥平原微相)和辫状河三角洲平原亚相(包括辫状河道微相和泛滥平原微相)。该区地层埋深层段跨度较大,成岩作用类型较多,直接影响着储层的发育。成岩作用及成岩储集相研究一直是该区力图解决的难题之一。

2 成岩作用及其对储集物性的影响

2.1 压实作用

本区 E_3^1 储层已进入深埋藏环境,除发生机械压实作用外,在石英颗粒之间局部发生压溶作用,使石英颗粒之间呈镶嵌状,石英次生加大普遍发育。另外,该区还具有压实作用不均匀的特点。

2.2 自生矿物胶结作用

本区 E_3^1 储层中胶结作用类型有碳酸盐矿物胶结作用、盐类矿物胶结作用、自生粘土矿物胶结作用、方沸石胶结作用以及自生石英和长石的胶结作用。由于胶结作用普遍,使原生孔隙大量损失,其损失的孔隙比压实作用损失的孔隙更多。虽然胶结作用使原生孔隙减少,但胶结作用又可对后期压实作用起“缓冲”作用,从而为中成岩期溶解作用形成次生孔隙创造条件。

2.3 交代作用

本区 E_3^1 储层各种自生矿物的交代作用普遍存在,主要存在方解石交代碎屑组分、方解石交代硬石膏、白云石交代方解石、硬石膏交代碎屑组分等交代作用。

2.4 溶解作用

溶解作用可形成次生溶蚀孔隙,本区 E_3^1 储层中所见溶解作用主要有:① 碎屑组分溶解。主要为长石碎屑的溶解,溶解作用强烈。另见少量岩屑溶解,形成岩屑内溶孔。② 胶结物溶解。硬石膏溶解作用较弱,而粒间方解石胶结物发生强烈溶解,形成粒间胶结物次生溶孔。

上述分析结果表明,压实作用、胶结作用和交代作用都是使本区 E_3^1 储集性变差的成岩作用,而溶解作用是使储集性变好的成岩作用。

3 成岩演化序列和成岩作用阶段划分

3.1 成岩演化序列

通过对储层的岩石学特征、碎屑组分的成岩变化、自生矿物的类型、分布、形成的先后顺序及相互交代关系、各种成岩作用特征的分析,总结出本区 E_3^1 储层的成岩演化序列^[1](图 1),其特点如下:(1) 半干旱、氧化、咸化湖盆环境中湖泊三角洲沉积物形成;(2) E_3^1 沉积后在上覆沉积物的覆盖下进入浅埋藏环境;(3) 早成岩期存在泥、粉晶方解石、白云石、菱铁矿、硬石膏、石盐、方沸石胶结作用及交代作用;(4) 早成岩期压实作用弱;(5) 随埋深增大,进入深埋藏环境,压实作用中强;(6) 中成岩期存在亮晶方解石、粉细晶铁白云石、硬石膏胶结作用及交代作用;(7) 存在自生石英、长石形成作用,石英次生加大 II ~ III 级;(8) 中成岩期存在碎屑组分及胶结物溶解作用,形成次生溶孔。

3.2 成岩作用阶段划分

根据 Alaa 等^[2]提出的成岩阶段划分方案及其标志,结合岩石结构、孔隙类型、自生矿物分布及形成顺序、粘土矿物类型及转化结果^[3],认为砂西油田 E_3^1 储层主要处于中成岩 B 期(图 2),其主要成岩特征如下:(1) E_3^1 储层已进入中深埋藏环境;(2) 颗粒之间为点—线接触,且以线接触为主,压实作用强度中等—强烈,尚保留部分原生残余粒间孔隙;(3) 自生粘土矿物组合为伊利石、I/S 混层、绿泥石、C/S 泥层及少量高岭石,I/S 混层中 S 层含量小于 15%,未见蒙脱石,说明 I/S 混层大量向伊利石转化;(4) 自生矿物胶结物中,除早期硬石膏、石盐和方解石外,晚期石英次生加大 II ~ III 级,并自生长石,出现中成岩期的含铁方解石和铁白云石胶结物;(5) 有机质成熟排出的大量有机酸及混层粘土矿物转化释放的富 CO_2 层间水对矿物溶蚀,可产生大量的次生孔隙;(6) 孔隙组合类型以次生溶孔为主,具少量压实、胶结后的残余原生粒间

孔隙;(7) R_o 值为 0.97% ~ 1.35%,说明有机质已处于成熟阶段。

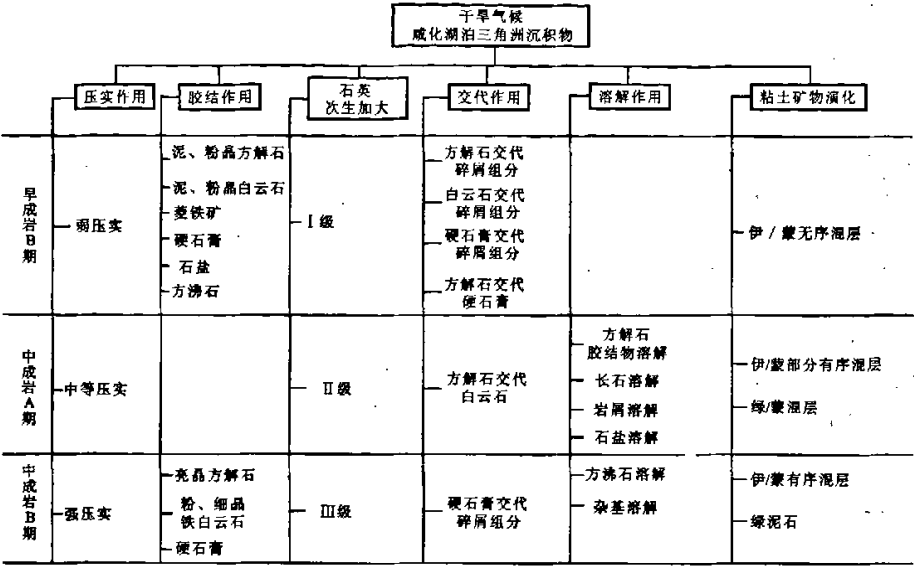


图 1 砂西油田下干柴沟组下段(E₃)储层成岩演化序列

层位	组段	成岩阶段	埋深 D/m	R _o /%	有机成熟度	I/S 混层含量/%	自生矿物										溶解作用		胶结物	杂基	颗粒接触关系	储集空间类型	储集空间演化
							伊利石	I/S 混层	C/S 混层	高岭石	绿泥石	石英次生加大	长石次生加大	方解石	白云石	铁白云石	硬石膏	石盐	长石	岩屑			
下干柴沟组	上段 E ₃ ¹	A 期	3400	0.53	低成熟	21																点—线	次生溶孔、粒间孔
			3500	0.97	成熟																		
			3600																				
	下段 E ₃ ¹	I 期	3700			15																线—点、镶嵌	次生溶孔、残余粒间孔
			3800	0.97 ~ 1.35	成熟																		
		B 期	3900																				
			3950																				

图 2 砂西油田下干柴沟组下段(E₃)储层成岩作用阶段划分

4 储集空间及喉道类型

4.1 孔隙类型

薄片鉴定、扫描电镜观察及铸体薄片图像分析表明,E₃¹ 储层发育 7 种孔隙类型,其中以粒间溶孔为主。

(1)粒间溶孔:为本区储层的主要孔隙类型。根据其孔隙大小可分成 3 种组合类型:①发育于粉砂岩和部分细砂岩中的粒间溶孔,孔径一般为 0.02 ~ 0.04 mm;②发育于细砂岩中的粒间溶孔,孔径一般为 0.07 ~ 0.10 mm;③发育于中、粗砂岩中的粒

间溶孔,孔径较大,一般为 0.015 ~ 0.25 mm,孔隙连通性较好。

(2)粒内溶孔:主要为长石和岩屑内溶孔。长石内部溶解形成呈蜂巢状、残缕状的晶内溶孔;部分岩屑内部发生溶蚀,形成岩屑内溶孔。

(3)杂基内溶孔:部分粘土杂基发生溶解,形成杂基内溶孔。

(4)残余粒间孔:为储层受压实作用和硬石膏、方解石、石英次生加大胶结作用后残余的部分原生粒间孔,孔径小,相互连通性差,其边缘含油。

(5)贴粒缝:为碎屑颗粒与填隙物之间的孔隙,

见于较粗的含砾粗一中砂岩和砾岩中。

(6)晶间孔:硬石膏、石盐、方解石、白云石晶体形成的晶间孔以及石英次生加大后自形晶面之间的晶间孔。

(7)微孔隙:粘土杂基晶体之间的微小孔隙。

4.2 喉道类型

E_3^1 储层中,主要发育窄片状、宽片状、缩颈型、孔缩型和微喉道共5种喉道类型。在不同的储层段,其喉道组合也不相同。粉砂岩储层中以微喉道和缩颈型喉道为主,另有少量窄片状喉道;细砂岩储层中以窄片状和宽片状喉道为主,少见缩颈型喉道。扫描电镜下常见由于孔隙中自生石英、长石生长,形成窄片状喉道的现象。中粗砂岩储层中则以孔缩型和宽片状喉道为主,其次为窄片状和缩颈型喉道。

表1 砂西油田下干柴沟组下段(E_3^1)储层各类成岩储集相特征

相类型	岩性	微相类型	主要成岩作用	压实作用	胶结作用	溶解作用	储集空间类型	孔隙度 $\varphi/\%$	平均渗透率 $k/10^{-3} \mu\text{m}^2$	储层孔隙结构分类
A相	粉砂岩、细砂岩	曲流河三角洲平原的分流河道、决口水道及辫状河三角洲平原的辫状河道	溶解作用	中等	中等	强烈	粒间溶孔、粒内溶孔、粒间胶结物内溶孔	13~17	25~47.3	I类 中低孔低渗型
B相	细砂岩、中砂岩、砾岩	辫状河三角洲平原的辫状河道	压实作用、胶结作用	强	强	中等	残余粒间孔、粒间溶孔	10~15	12~26	II类 低孔低渗型
C相	粉砂岩、细砂岩、钙质砂岩	曲流河三角洲平原的分流河道、决口水道	碳酸盐胶结作用	中等	强	弱	残余粒间孔、溶孔	7.5~12.5	1~16.5	III类 低孔特低渗型
D相	中粗砂岩及细砂岩	曲流河三角洲平原的分流河道	硬石膏胶结作用	中等	强	弱	残余粒间孔	<8	<1	IV类 特低孔特低渗型

(1)A相(不稳定组分中强溶解次生孔隙成岩储集相)。在埋藏成岩过程中,由于成岩环境的改变,致使碎屑组分、胶结物或杂基发生溶解,形成不稳定组分中强溶解次生孔隙成岩储集相。碎屑组分以长石溶解为主,次为岩屑溶解,石英仅边缘发生溶解。偏光镜下见长石溶解成蜂巢状、残骸状,形成粒内溶孔及溶蚀扩大粒间孔;粒间方解石、石盐和方沸石胶结物发生溶解,形成粒间胶结物溶孔。镜下常见粒间残存较小的、零星分散状分布的方解石溶解残余,也见粒间粘土杂基发生溶解的现象。储集空间组合为粒间溶孔、粒内溶孔、粒间胶结物内溶孔。孔隙度为13%~17%,渗透率为 $(25\sim47.3)\times10^{-3}\mu\text{m}^2$ 。此类成岩储集相主要发育于曲流河三角洲平原的分流河道细砂岩、决口水道粉细砂岩及辫状河三角洲平原的辫状河道砂砾岩中,形成中低孔低渗储层。

(2)B相(强胶结中强压实残余粒间孔成岩储集相)。在成岩过程中,胶结作用强烈,主要有斑块状硬石膏、方解石、石英次生加大胶结。压实作用中

据铸体薄片图像分析,喉道宽度一般在 $2\sim30\mu\text{m}$,而以 $5\sim10\mu\text{m}$ 居多。

5 成岩储集相和储集空间演化模式

5.1 成岩储集相

成岩储集相是沉积物在某一种或几种沉积、成岩作用下形成的储集特征的综合反映,它反映沉积岩的当前面貌,这一面貌是其在沉积成岩过程中所经历的一系列成岩变化的综合结果^[4-6]。通过对各项资料的分析,综合考虑沉积微相、岩石类型、粒度和分选性、砂岩中碎屑组分(石英、长石和岩屑)特征及含量、杂基含量、胶结物类型及含量、储集空间类型、压实作用、胶结作用和溶解作用的强弱等因素,将本区 E_3^1 储层分为4种成岩储集相类型(表1)。

等一强烈,其强弱与胶结物含量及分布有关。硬石膏和方解石胶结物呈不均匀分布,有硬石膏胶结物分布处,颗粒呈点一悬浮接触,孔隙或基底式胶结,未见石英次生加大,孔隙不发育;无硬石膏胶结物分布处,颗粒呈点一线接触,石英次生加大发育,呈镶嵌状,发育压实、胶结作用后的残余粒间孔,且孔中含油。溶解作用中等,发育溶孔。储集空间组合为残余粒间孔和溶孔。孔隙度为10%~15%,渗透率为 $(12\sim26)\times10^{-3}\mu\text{m}^2$ 。此相岩性以分选、磨圆较好的含油细砂岩为主,部分为中砂岩,主要发育于辫状河三角洲平原的辫状河道砂岩中,形成低孔低渗储层。

(3)C相(碳酸盐胶结成岩储集相)。干旱咸化湖泊沉积环境有利于早期方解石的沉淀,早期方解石为无铁方解石,呈嵌晶式胶结及强烈交代碎屑颗粒;晚期碳酸盐胶结物主要为铁方解石和铁白云石,形成于深埋藏成岩过程中,常呈粒状结构分布于粒间并交代碎屑颗粒及早期硬石膏。由于碳酸盐胶结

作用,致使储集物性变差,储集组合类型为残余粒间孔和少量粒间溶孔。孔隙度为 7.5% ~ 12.5%,渗透率为 $(1 \sim 16.5) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。此相主要发育于曲流河三角洲平原分流河道钙质砂岩、决口水道粉细砂岩中,形成低孔特低渗储层。

(4)D 相(早期硬石膏强胶结成岩储集相)。在早成岩期硬石膏胶结作用强烈,硬石膏胶结物主要发育于分选、磨圆中等一好的中粗砂岩及细砂岩中,且在不同层段、不同岩性、甚至同一岩性不同部分呈不均匀分布,并多呈斑块状或连晶式胶结,颗粒呈点一悬浮状接触。强烈的胶结作用使储层孔渗下降,储集物性变差。粒间孔隙几乎全部被硬石膏充填,仅有少量残余粒间孔。孔隙度小于 8%,渗透率小于 $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。此相主要发育于曲流河三角洲平原分流河道微相的粗砂岩及细砂岩中,形成特低孔特低渗储层。

综上所述,本区 E_3^1 储层中发育 4 种成岩储集相,其中以不稳定组分中强溶解次生孔隙成岩储集相储集性能最好,为最有利储层;强胶结中强压实残余粒间孔成岩储集相储集性能次之,为有利储层;碳酸盐胶结成岩储集相储集性能较差,为较有利储层;而硬石膏强胶结成岩储集相储集性能最差,为差储层或非储层。

5.2 成岩和储集空间演化模式

5.2.1 成岩演化模式

成岩演化模式是指碎屑沉积物在埋藏成岩过程中所经历的特定的成岩史与孔隙演化史^[7]。成岩作用、成岩标志、成岩演化序列的研究表明,本区 E_3^1 储

层为深埋藏半封闭的成岩模式。区域岩相古地理、古生态及古气候研究表明, E_3^1 沉积时期,砂西油田为亚热带、半干旱气候条件下的咸化湖泊三角洲沉积。

E_3^1 沉积后进入浅埋藏成岩环境(早成岩 B 期),高矿化度的咸化湖盆孔隙水及开放氧化的成岩环境,致使其沉淀了大量的早期硬石膏、盐岩胶结物及早期碳酸盐胶结物。随着埋深进一步增加,发生了机械压实作用,此阶段主要发育早期硬石膏强胶结成岩储集相和碳酸盐胶结成岩储集相;当埋深超过 3 300 m 时进入深埋藏成岩环境(中成岩 A 期),压实作用进一步加强,并发生压溶作用,形成石英次生加大胶结。泥岩压实水进入砂岩孔隙中,形成晚期亮晶方解石和铁白云石胶结,此时泥岩已达到生油门限,有机质成熟,并产生大量有机酸,在上覆压力及本身热膨胀作用下运移进入三角洲平原分流河道、辫状河道及决口水道储集砂体中,使砂岩中不稳定组分(方解石、长石、岩屑、石盐、方沸石、杂基)发生强烈溶解,形成深部次生溶蚀孔隙发育带。该阶段主要发育强胶结中强压实残余粒间孔成岩储集相和不稳定组分中强溶蚀次生孔隙成岩储集相。

5.2.2 储集空间演化模式

本区 E_3^1 储层的储集空间是沉积作用和成岩作用的综合产物,沉积作用决定沉积物的原始物性,成岩作用则对物性起进一步的改造作用。通过以上对成岩作用类型、成岩序列、成岩作用阶段、成岩储集相类型、储集空间类型及特征的研究,总结出本区 E_3^1 储层的储集空间演化模式^[8],见图 3。

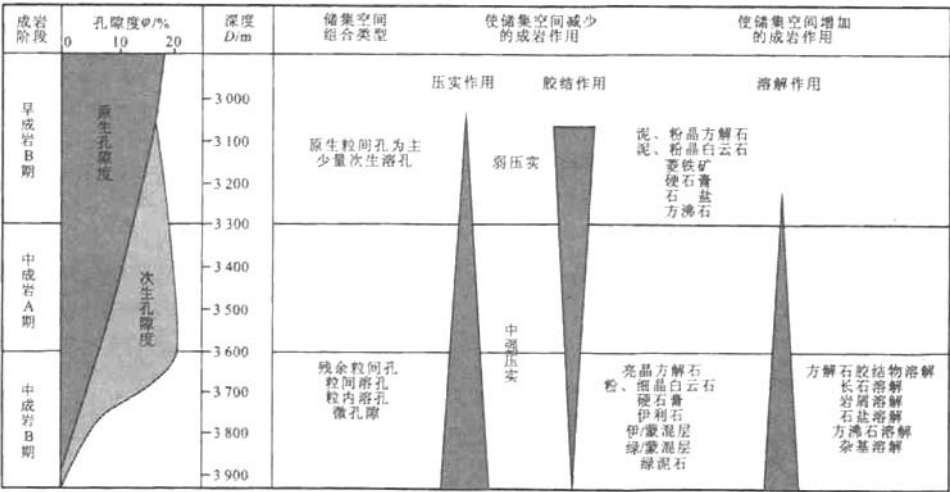


图 3 砂西油田下干柴沟组下段(E_3^1)储层储集空间演化模式

分析结果表明:(1)使本区储层储集空间减少的成岩作用主要为胶结作用,其次为压实作用;(2)使本区储层储集空间增加的成岩作用主要为溶解作用;(3)储层经历了浅埋藏环境的弱压实和中深埋藏的中、强压实作用,原生粒间孔急剧减少;(4)早成岩B期的早期泥、粉晶方解石、白云石、硬石膏、石盐和方沸石、自生粘土矿物胶结物充填粒间孔,使粒间孔减少,此时溶解作用弱,仅形成少量次生溶孔,另外粘土矿物晶体之间可形成少量晶间微孔,因而此期形成了以粒间孔为主,少量次生溶孔和微孔混合储集空间组合;(5)中成岩A期,溶解作用使储集空间得以改善,主要有碳酸盐胶结物的溶解作用形成粒间胶结物溶孔,长石、岩屑的溶解形成粒内溶孔,此外石英次生加大形成的自形晶面之间可形成晶间孔,自生粘土矿物晶体之间形成晶间微孔,因而此期形成了粒间溶孔、粒内溶孔、残余粒间孔、晶间孔及微孔的储集空间组合。

6 结 论

(1)压实、胶结、溶解作用是砂西油田 E_3^1 储层最主要的3种成岩作用类型。造成本区储层砂岩较低渗透率的主要成因是成岩期各种自生矿物的充填和胶结作用;造成储层砂岩溶解的主要原因是二次层间水脱出形成的 CO_2 酸性孔隙水和有机质演化形成的有机酸作用,有机酸分布的不均匀导致了溶蚀孔隙带及成岩储集相在平面上分布的不规则。

(2)本区 E_3^1 储层中发育4种成岩储集相,其中以不稳定组分中强溶解次生孔隙成岩储集相储集性能最好,为最有利储层;强胶结中强压实残余粒间孔成岩储集相储集性能次之,为有利储层;碳酸盐胶结成岩储集相储集性能较差,为较有利储层;而硬石膏强胶结成岩储集相储集性能最差,为差储层或非储层。

(3)提出了在低渗透油田开发调整阶段应用成岩储集相进行储层质量评价的方法。有利的沉积相及有利的成岩储集相的有机结合,可以形成高质量储层;反之,则形成质量较差储层。

参考文献:

- [1] 刘成林,朱筱敏,曾庆猛. 苏里格气田储层成岩序列与孔隙演化[J]. 天然气工业,2005,25(11):1-3.
LIU Cheng-lin, ZHU Xiao-min, ZENG Qing-meng. Reservoir diagenetic sequence and pore evolution of Sulige gas field in E'erdusi Basin[J]. Natural Gas Industry, 2005,25(11):1-3.
- [2] ALAA M, SALEM S, MORAD S. Diagenesis and reservoir-quality evolution of fluvial sandstones during progressive burial and uplift: evidence from the Upper Jurassic Boipeba Member, Revoncavo Basin, Northeastern Brazil [J]. AAPG Bulletin, 2000,84(7):1015-1040.
- [3] 宋子齐,王静,路向伟,等. 特低渗透油气藏成岩储集相的定量评价方法[J]. 油气地质与采收率,2006,13(2):21-23.
SONG Zi-qi, WANG Jing, LU Xiang-wei, et al. An quantitative assessment method of the diagenetic reservoir facies in extra-low permeability oil-gas reservoir[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2006,13(2):21-23.
- [4] 黄述旺, 窦齐丰. 吉林四五家子油田下白垩统泉二段储层成岩储集相及储集空间演化[J]. 地球科学——中国地质大学学报,2002,27(6):723-728.
HUANG Shu-wang, DOU Qi-feng. Characteristics of diagenesis-reservoir facies and pore space evolution of the second member of Quantou formation at Siwujiashi Oilfield, Jilin Province[J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 2002,27(6):723-728.
- [5] 李海燕, 彭仕宓, 黄述旺, 等. 渤南油田古近系沙河街组沙二、沙三段低渗透储层成岩储集相[J]. 古地理学报, 2004,6(4):503-513.
LI Hai-yan, PENG Shi-mi, HUANG Shu-wang, et al. Diagenetic reservoir facies of low permeability reservoir of the Member 2 and Member 3 of Shahejie Formation of Palaeogene in Bonan Oilfield, Shandong Province[J]. Journal of Palaeogeography, 2004,6(4):503-513.
- [6] 李海燕, 彭仕宓. 应用遗传神经网络研究低渗透储层成岩储集相——以胜利渤南油田沙河街组为例[J]. 石油与天然气地质, 2006,27(1):111-117.
LI Hai-yan, PENG Shi-mi. Study diagenetic reservoir facies of low permeability reservoir with genetic neural network: take Shahejie Fm in block 3 of Bonan oilfield as an example[J]. Oil & Gas Geology, 2006,27(1):111-117.
- [7] 裘怿楠, 陈子琪. 中国油藏管理技术手册:油藏描述[M]. 北京:石油工业出版社,1996:122-134.
- [8] 胡宗全, 朱筱敏. 准噶尔盆地西北缘侏罗系储层成岩作用及孔隙演化[J]. 石油大学学报:自然科学版, 2002,26(3):16-19.
HU Zong-quan, ZHU Xiao-min. Diagenesis and pore evolution of Jurassic reservoir in north western edge of Junggar basin[J]. Journal of the University of Petroleum, China (Edition of Natural Science), 2002,26(3):16-19.

(编辑 陈淑娟)