

准东下侏罗统三工河组 砂岩成岩作用及其对孔隙的影响

张丽霞 李 民

(新疆石油管理局准东勘探开发研究所, 阜康市 831511)

【摘 要】 准噶尔盆地东部下侏罗统三工河组孔隙类型:主要有剩余原生粒间孔和次生孔隙。剩余原生粒间孔是成岩早期淀粘土及石英加大形成的,它们围绕碎屑边部分布。本地区,在剩余原生粒间孔发育的基础上、发生溶蚀作用,形成一些原生扩大孔,超大孔、粒内溶孔等。成岩早期胶结作用形成剩余原生粒间孔,晚期的溶蚀作用形成次生孔隙。

【关键词】 准噶尔盆地;成岩作用;孔隙

中图法分类号:P619.130;P588.21+2.3;P512.2 /文献标识码 A

0 引言

准噶尔盆地东部位位于新疆阜康县和木垒县一线之东。准噶尔盆地东部东道海子北-五彩湾凹陷及白家海凸起斜坡带,涉及4个构造单元,北到滴水泉断裂,东达沙西断裂及阜1井一线,西到彩16井,南到阜康凹陷西北缘(图1)。钻遇地层有Q,N,E,K₁tg,J₂₋₃sh,J₂x,J₁s,J₁b²,J₁b¹,T,P₂ch,C。前人对准噶尔盆地东部地层、构造、沉积诸多方面做过不少工作^[2,3,4]。

准噶尔盆地东都下侏罗统三工河组(J₁s)是一个有良好前景的含油(气)组合,已在多处获得工业油、气流,储集岩是砂岩和砾岩。25口井1433块孔

隙度,1349块渗透率及159块压汞分析资料综合研究表明,J₁s储集岩平均孔隙度均大于15.5%,平均渗透率均大于 $210 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,物性参数评价属较好-好储集岩,彩8井鼻凸和彩南西断块,虽然渗透率与上述地区相当,但平均孔隙度为13%~14.5%,属较好-中等储集岩,阜北斜坡及阜东斜坡,孔渗性均较低,主要为中等储集岩,部分样品达较好级别,评价标准由(表1)所示^[1]。研究区储盖组合评价图由图2所示。

1 成岩作用

沉积物堆积后,随埋藏深度加大,进入与原始沉积时期截然不同的成岩环境,在温度、压力作用下,

流体性质等因素不断发生变化,沉积物组分之间,沉积物组分与孔隙水之间,则经受一系列的成岩变化。经研究,本区岩石主要历经碎屑+孔隙→压实→绿泥石环边胶结→高岭石胶结交代→含铁方解石胶结交代→溶蚀→进油等成岩作用,现处于晚成岩阶段A期(表2)^[6],成岩变化有:压实压溶作用、胶结作用、溶蚀作用、交代作用及粘土转化作用等。

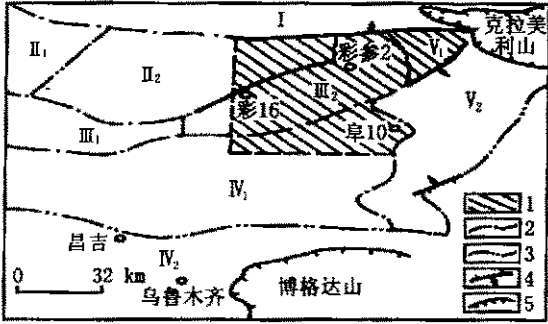


图1 准东构造单元分区及研究区范围示意图

I. 陆梁隆起; II. 中央坳陷; I₁. 莫北凸起; I₂. 东道海子北凹陷; II₁. 中央隆起; II₂. 马桥凸起; II₃. 白家海凸起; IV. 白天山山前拗陷; N₁. 阜康凹陷; N₂. 山前断褶带; V. 东部隆起区; V₁. 五彩湾凹陷; V₂. 彬北断裂带; 1. 工区范围; 2. 一级构造界线; 3. 二级构造界线; 4. 断层; 5. 盆地边界

Fig. 1 Location of the research area and classification of tectonic units for Zhundong region

I. Luliang uplift; II. central sag; I₁. Mobei swell; I₂. Dongdaohaizi depression; II₁. central uplift; II₂. Maqiao swell; II₃. Beijiahai swell; IV. Beitianshan foreland sag; IV₁. Fukang depression; N₂. foreland fault-fold zone; V. eastern uplift area; V₁. Wucaiwan depression; V₂. Zhangbei fault zone; 1. research area; 2. first order tectonic boundary; 3. second order tectonic boundary; 4. fault; 5. boundary of basin

表1 碎屑岩储层物性评价准表

Table 1 Evaluation criteria for reservoir properties of clastic rock

物性参数	I		II		IV		V	
	极好	好	较好	中等	差	极差		
孔隙度/%	>25	20~25	15~20	10~15	5~10	<5		
渗透率/10 ⁻³ μm ²	>1000	10~1000	10~100	1~10	0.1~1	<0.1		
SH _{gr} >0.1μm/%	>80	70~80	60~70	50~60	40~50	<40		
有效孔隙/%	>20	14~20	9~14	5~9	2~5	<2		

1.1 机械压实作用

机械压实作用在白家海凸起、五彩湾凹陷、东道海子北凹陷下侏罗统三工河组是突出的,特别是富含岩屑的砂岩,它对孔隙的破坏是最强烈的。据80件薄片资料统计,酸性岩类岩屑含量平均值21%,凝灰岩和流纹岩岩屑平均值22%,泥岩千枚岩等型

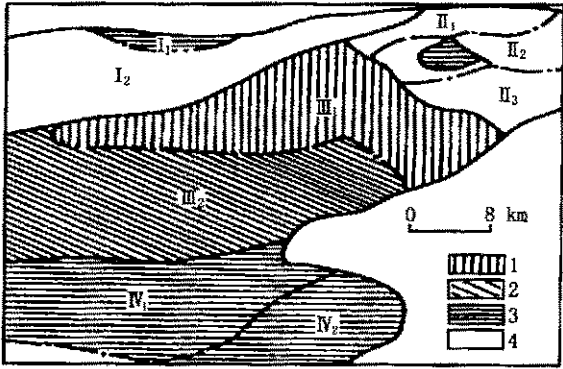


图2 研究区储盖组合评价图

1. 有利区; 2. 较有利区; 3. 中等区; 4. 差区; I₁. 滴南断块; I₂. 东道海子北凹陷南部; I₃. 北部次凹; I₂. 五彩湾背斜; I₃. 南部次凹; II₁. 白家海凸起北部; II₂. 白家海凸起南部; IV₁. 阜北斜坡; N₂. 阜东斜坡

Fig. 2 Evaluation of reservoir-caprock association in the research area

1. most favourable area; 2. favourable area; 3. relatively favourable area; 4. unfavourable area; I₁. Dinan fault block; I₂. southern part of the northern Dongdaohaizi depression; I₃. northern subdepression; I₂. Wucaiwan anticline; I₃. southern subdepression; II₁. northern part of the Beijiahai swell; II₂. southern part of the Beijiahai swell; IV₁. Fubei slope; N₂. Fudong slope

表2 彩参2井J₃砂岩成岩阶段划分及孔隙演化

Table 2 Classification of diagenetic stages and evolution of porosity of J₃ sandstone, Caican well 2

成岩阶段	早 成 岩		晚 成 岩		
	A	B	A	B	C
压 实	—	—	—		
粘土环边胶结	—	—	—		
菱铁矿胶结交代	—				
白云石交代			—		
石英加大胶结		—	—		
高岭石胶结交代		—	—		
铁方解石胶结交代			—		
溶 蚀			—		
进 油			—		
面 孔 率	40—				
演化 0%	20—				

性岩屑含量平均值4%,岩屑抗压强度较差,受力后极易变形或破碎。在地史时期深埋3 000 m以下,以及受到后来的构造运动,导致了部分塑性颗粒的变形,充填粒间孔隙,减少空隙体积,就本区而言,用现今原生孔隙面孔率(包括胶结物占据部分)保存得最好的岩石估算,至少已被压实作用破坏了60%以上的孔隙,塑性、半塑性含量高的砂岩及细砂岩被破坏

的孔隙更多。强大的压力使脆性的颗粒(石英,长石)破裂,也充填了粒间孔隙。同时也产生一些小的裂隙,这些小的裂隙与原粒间孔隙相比表面积增加,将会影响渗透性能,强大的压力使颗粒之间产生压溶,由点接触变为线接触与缝合线接触。

该作用随着埋深不同,塑性岩屑含量多少及沉积物粒度粗细导致了不同埋深或同一埋深不同岩石类型的砂岩其压实作用的差异性。

1.2 胶结作用

准东侏罗统三工河组的胶结物以淀粘土和硅质为主,碳酸盐次之。淀粘土以环边形式存在,硅质胶结物以加大边形式存在。早期胶结物对孔隙不仅有建设性,也有破坏性,以建设性为主。建设性是早期胶结物起抗压作用,保护原生粒间孔隙。而早期及后期胶结物占据原生粒间孔,缩小孔隙,表现为破坏性。

1.2.1 含铁方解石的胶结、充填及交代

在下侏罗统三工河组中,含铁方解石胶结交代作用分布极不均一。含铁方解石含量大于10%的砂岩在砂岩总量中占据较少,仅占6.3%~11.3%,最多27%。含铁方解石多呈细一连晶占据孔隙,晶间孔隙极少。由于含铁方解石胶结交代作用总体较弱。因而对下侏罗统三工河组的储集性破坏不大。

1.2.2 硅质胶结物

在白家海凸起阜北斜坡和东到海子北凹陷的砂岩中石英加大胶结较普遍,在五彩湾凹陷粒状石英胶结较普遍。

石英加大边的存在是准东下侏罗统三工河组砂岩剩余原生粒间孔隙得以部分保存的主要原因之一。因为石英加大一般开始较早,在碎屑间起支撑作用,有效地抗拒压实,使剩余原生粒间孔隙得以长期保留,保存下来的剩余原生粒间孔隙多数棱角分明呈多边形。其含量与石英碎屑含量成正比。石英加大边固然占据了一定孔隙,但由于它的存在而使更多的剩余原生粒间孔隙得以保留。石英加大边在一定深度超过一定范围、石英加大普遍强烈时,则对孔隙起了破坏作用。

1.2.3 淀粘土胶结物

作为砂岩填隙物质的粘土物质,广泛分布于岩屑砂岩中,其中自生粘土矿物显著的特点是,具有纤细的、精致的结晶习性,如淀高岭石呈假六方鳞片状、书页状、蠕虫状,淀绿泥石呈针叶片状等。在上侏罗统三工河组中自生粘土主要是淀高岭石、淀绿泥石,其次是淀伊利石。

淀高岭石 淀高岭石在电镜中呈鳞片状假六边

形的晶体,集合体呈手风琴状或蠕虫状,单体淀高岭石约5 μm,呈充填式胶结。一般将剩余粒间孔隙转化为晶间孔隙,对孔隙度破坏不大,但对渗透率破坏较大。下侏罗统三工河组储集岩普遍含淀高岭石,当含量达6%以上,对储集性产生严重破坏。

淀绿泥石 淀绿泥石在下侏罗统三工河组中分布较广泛,主要是以淀绿泥石环边存在,保留剩余粒间孔。

淀伊利石 淀伊利石在五彩湾凹陷,白家海凸起和阜北斜坡的砂岩中,分布不及淀高岭石和淀绿泥石广泛,仅少量分布,附着在石英或其他颗粒的表面,形成一包壳层保留剩余粒间孔,也有少部分以粒间孔隙充填,对孔隙的影响甚微。

2 孔隙特征

下侏罗统三工河组储集空间类型主要是剩余粒间孔及次生孔隙。研究区的储集空间在不同的地区差别较大,东道海子北凹陷主要是剩余粒间孔,次生孔隙较少。白家海凸起则剩余粒间孔和次生孔隙约各占一半,其余孔隙较少。阜北斜坡以剩余粒间孔为主,次生孔隙次之,其他孔隙较少(见表3)。

表 3 下侏罗统三工河组储层储集空间类型表
Table 3 Reservoir types for Sangonghe Formation of Lower Jurassic

地区	代表井	岩 性	面孔率/%	剩余原生粒间孔/%	次生孔隙/%
东道海子北凹陷	海南 1	粗粒岩屑砂岩和细砾岩	5.88~6.34	90	9
			6.11(2)		
白家海凸起	彩参 2, 彩 002, 彩 006, 彩 8, 彩 9, 彩 16, 彩 18	细-粗粒长石岩屑砂岩和岩屑砂岩	0.002~16.23	49	47
			5.25(107)		
阜北斜坡	阜 4	细-粗粒长石岩屑砂岩	0.01~6.8	70	28
			2.9(11)		

2.1 剩余粒间孔

在东道子北凹陷、白家海凸起、阜北斜坡,剩余粒间孔均较发育,淀绿泥石环边胶结作用是本研究区剩余粒间孔得以保存的主要因素之一,淀绿泥石环边是最早占据原生孔隙的胶结物,围绕碎屑边缘较均匀的分布。由于淀绿泥石环边胶结较早,分布比石英加大边普遍,有效地阻碍碎屑间的位移,降低岩石的压实强度而利于剩余粒间孔保存。石英加大边的存在是本组砂岩剩余粒间孔得以部分保存的主要

原因之一,因为石英加大一般开始较早,在碎屑间起支撑作用,可有效地增强岩石的抗压实性,使剩余粒间孔得以长期保留。保存下来的剩余粒间孔多数呈棱角分明的多边形。

2.2 次生孔隙

溶蚀作用是改善岩石孔渗性的主要因素。研究区的溶蚀作用是在原生孔隙基础上发展起来的,溶蚀从原生孔隙与碎屑边缘开始,并逐渐向碎屑内溶蚀扩展形成原生扩大孔、超大孔、粒内溶孔等。被溶物以长石,绿泥石化岩屑,安山岩岩屑及富绿泥石或长石的岩屑等为主,石英质酸性岩岩屑及高岭石胶结物次之。

在薄片和电镜扫描中,常见沿长石解理面或晶面缺陷部位被淋滤溶蚀而形成蜂窝状或不规形状的粒内溶孔,孔隙大小在 $(0.5\sim 3)\mu\text{m}$ 。溶蚀的结果使砂岩孔渗得到了提高,特别是渗透率,高者可达 $(3\,000\sim 6\,764)\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$,有效地改善了砂岩的储集性。

白家海凸起溶蚀作用最强,溶孔约是总孔隙的一半(表3),形成剩余粒间孔-溶孔组合的储集空间类型,五彩湾凹陷南部彩24井一带及阜北斜坡阜4井一带溶蚀较弱,溶孔所占含量还不到总孔隙的三分之一。东道海子北凹陷溶蚀作用极弱,溶孔含量还不到十分之一,五彩湾东北部可能与此类似。从被溶物推测,起溶蚀作用的水体属酸性有机热液,就一般情况而言,酸性有机热液主要由生油岩系在演化过程中产生。本组能提供大最酸性有机热液的地区可能是阜康凹陷。水体可能由此向东北方向运移,因白家海凸起构造位置较低,是水体的有利汇聚带,利于砂岩溶蚀作用的进行,从而导致该区孔渗性较高。据此推测,在阜北斜坡带只要有构造存在,都有发生溶蚀的可能。其溶蚀的强弱则取决于该构造是否有利于水体的聚集和循环。

3 埋深和岩相对储集岩的影响

3.1 埋深对储集岩孔隙的影响

储集岩的孔渗性并不明显地受埋深的控制,也不是简单地随埋深增加,孔隙就随之消亡,不同的地区高孔渗发育深度各不相同。不同地区不同深度下侏罗统三工河组砂岩的孔渗分析资料表明,东道海子北—五彩湾凹陷及彩8井低凸带孔渗发育深度带为1 800 m~2 200 m,白家海凸起彩参2井平台则为2 300 m~2 425 m,东道海子断块及白家海鼻状隆起西部为2 500 m~2 699 m。阜北斜坡则是3 774

m~3 848 m,阜东斜坡为3 450 m~3 533 m。高孔渗带的分布深度自北而南随着地层埋深增大,高孔渗带的孔隙度变化不大,仅差2%~4%,但渗透率变化较大。孔隙度的弱差异说明埋深增大施加的压实作用对储层的孔隙破坏并不强烈,显然与早期胶结作用增强了砂岩的抗压性和溶蚀作用较弱有关,若溶蚀作用强烈孔渗性仍可很高,尤其是改善储层的渗透率最明显,如阜4井溶蚀强烈的样品其孔隙度为17.3%,渗透率可高达 $340\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$,其孔渗性不亚于埋藏较浅的砂岩。

综上所述,研究区砂岩均有发育高孔渗带的可能性。

3.2 岩相对储集岩的影响

岩相对储集岩的影响主要表现为两个方面:其一岩相宏观上控制砂体的纵横分布,其二岩相粗略的决定了砂体原生孔隙的发育程度。研究区内纵横分布稳定的砂体主要发育于冲积扇相,辫状河三角洲平原水上和水下分流河道砂体及三角洲前缘河口坝砂体。

沉积能量的高低对砂岩孔渗性具明显的影响,通过对本研究区不同粒度的物性分布资料统计表明砂岩的孔渗性受粒度的影响较大。特点为砾岩,粗中砂岩孔渗性均较高,尤其是渗透率,一般是细砂岩的12~43倍,是粉砂岩孔渗性的78~285倍。尽管这种孔渗性的差别是由于后期溶蚀改造的结果,但是这种溶蚀主要是在原生孔隙的基础上发展起来的,即砾岩,中粗砂岩比细-粉砂岩有利于孔渗性的发育,因为粗粒级沉积物一般是高能沉积环境中的产物,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,原生孔隙性较好以及更易于发生早期胶结作用和后期溶蚀作用的结果。河流相,三角洲平原水上和水下分流河道,三角洲前缘河口砂坝砂体均具此特征。相反,低能环境下的沉积物粒度较细,粒间泥质杂基和灰泥含量高,原生孔隙在沉积期就受到了较大的破坏,其较低的原生孔隙度不利于后期的溶蚀热液渗流,次生孔隙相对不发育而储集性较差。

综上所述,研究区内三角洲平原水上和水下分流河道及三角洲前缘河口砂坝亚相砂岩是最有利的储集相带,以白家海凸起及阜康凹陷最主要,是储集意义最大的储层。河流相,冲积扇相砂岩次之,其余相带砂岩较差。

4 结论

本区碎屑岩储集层主要成岩作用是机械压实作

用、胶结作用和溶蚀作用,以后两种作用对保护和改善储层的孔隙性起建设性作用,早期淀粘土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,保护剩余粒间孔。而后期溶蚀作用则可大大改善储层的孔渗性,

尤以提高渗透度最为重要。因而研究区的孔隙空间剩余粒间孔和次生孔隙组合。

衷心的感谢成都理工大学沉积所夏文杰教授、新疆石油局准东勘探经理单金榜总工程师的关心和指导!

参考文献

- 1 袁亦楠,薛叔浩等. 油气储层评价技术[M]. 北京:石油工业出版社,1994.
- 2 丘东洲,张继庆等. 准噶尔盆地西北缘三叠—侏罗系储层沉积成岩与评价[M]. 成都:成都科技大学出版,1994.
- 3 童崇光. 准噶尔盆地油气地质特征及油气勘探[J]. 新疆石油地质,1989,(3).
- 4 胡惟元等. 新疆准噶尔盆地南缘侏罗系砂岩成岩作用及其孔隙演化特征[J]. 石油与天然气地质,1990,(2).
- 5 郑俊茂. 碎屑储集岩的成岩作用研究[M]. 武汉:中国地质大学出版,1989.
- 6 王旭等. 准噶尔盆地东部、二叠、三叠系储层特征及储盖组合评价[J]. 中国石油实验地质,1997,(1).

DIAGENESIS OF SANDSTONE OF SANGONGHE FORMATION OF LOWER JURASSIC AND ITS INFLUENCE ON POROSITY EASTERN ZHUNGAER BASIN

ZHANG Li-xia LI Min

(*Institute of Zhundong Exploration and Exploitation, Xinjiang*
Petroleum Administration Bureau, Fukang 831511)

Abstract Based on the study of diagenesis two types of pore in Sangonghe Formation of Lower Jurassic in Zhungaer basin have been recognized. They are mainly residue original intergranular pore and secondary pore. Residue original intergranular pore has been preserved by the authigenic clay minerals and quartz overgrowth. Enlarged pore, oversized pore and intragranular pore have been developed on the base of residual original intergranular pore by the dissolution of framework constituents. Residual original intergranular pore developed during early diagenesis of sandstone, secondary pore was created by dissolution in late diagenesis.

Key words Zhungaer basin; diagenesis; porosity