

文章编号: 1009-3850(2012)02-0066-06

## 两北地区三叠系深部碎屑岩储层特征及控制因素

张玉玺, 周江羽, 李晓峰

(中国地质大学(武汉)构造与油气资源教育部重点实验室, 湖北 武汉 430074)

**摘要:** 运用钻井岩心、铸体薄片、扫描电镜等资料, 研究了两北地区三叠系深部碎屑岩储层的特征及储层发育的控制因素。研究表明, 三叠系主要岩石类型为长石岩屑砂岩和岩屑砂岩, 具有成分成熟度低和结构成熟度中等的岩石学特征。储集空间以粒间溶孔为主, 其次为裂缝, 属于中孔、中-低渗型储层。在后期成岩作用的改造下, 储集性能明显变好。分流河道和河口坝砂岩具有良好储层物性, 方解石、长石、岩屑在大气水和有机酸的溶蚀作用下, 产生大量的溶蚀孔隙, 改善了储集性能, 溶蚀作用是形成优质深部碎屑岩储层的关键因素。

**关键词:** 储层特征; 控制因素; 碎屑岩; 三叠纪

中图分类号: TE122.2<sup>+1</sup>

文献标识码: A

两北地区位于塔北地区的西部, 主要包括阿瓦提断陷的北斜坡、顺托果勒低隆西北翼和沙雅隆起的西南部, 总面积为 9008.7 km<sup>2</sup> (图 1)。

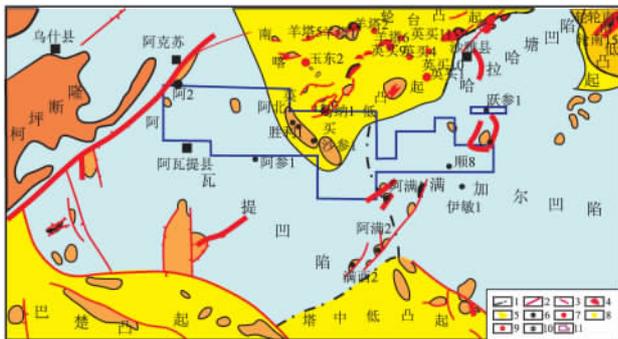


图 1 研究区构造位置图

1. 二级构造单元; 2. 二级断裂; 3. 断裂; 4. 油田/油气田; 5. 气田; 6. 干井; 7. 工业油井; 8. 工业气井; 9. 油气显示井; 10. 正钻井; 11. 中石化登记区块

Fig. 1 Tectonic setting of the study area

1 = second-order tectonic unit; 2 = second-order fault; 3 = fault; 4 = oil/gas field; 5 = gas field; 6 = dry well; 7 = commercial well; 8 = commercial gas well; 9 = oil and gas showings; 10 = drilled well; 11 = SINOPEC block

前人研究表明, 三叠系碎屑岩储层在塔北地区

广泛发育, 储层物性好, 孔隙度大于 10%, 渗透率大于  $100 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ , 是国内外少见的深埋优质碎屑岩储层。现已发现具有工业价值的油气主要分布于轮南断垒、桑塔木断垒及解放渠-吉拉克地区<sup>[1-7]</sup>。研究区位于沙雅隆起和塔中隆起两大油气富集带之间, 处于以下古生界为主体的沙雅古隆起斜坡地带, 该区既是有利储集相带的发育区, 又是油气运移和汇集地区。钻井资料显示, 胜利 1 井和顺 8 井见到少量的沥青质, 北缘的沙南 1 井获得少量轻质油, 表明在较早的地质历史时期有过烃类流体的活动。本文从储层的微观特征入手, 依据铸体薄片、扫描电镜、钻井岩心等各项资料, 开展三叠系碎屑岩储层特征研究, 并分析储层发育的主控因素, 以便有效指导该区三叠系碎屑岩的油气勘探。

### 1 岩石学特征

通过钻井岩心以及铸体薄片分析, 三叠系储层岩性主要为细砂岩和中砂岩; 磨圆度以次棱、次圆-次棱为主, 分选中等; 颗粒之间以点、点-线接触为主; 支撑类型主要为颗粒支撑; 胶结类型以孔隙式为主, 个别可见基底式、孔隙-接触式胶结。

收稿日期: 2011-05-05; 改回日期: 2011-05-20

作者简介: 张玉玺(1982-), 女, 硕士生, 主要从事石油及天然气地质专业研究。E-mail: zhyx0829@163.com

通过对研究区及周边 8 口井岩心样品的分析,三叠系碎屑岩储层主要岩石类型为长石岩屑砂岩,其次为岩屑砂岩和石英砂岩(图 2)。平均石英含量 44.62%,岩屑含量 36.76%,长石含量 18.62%。其中,上三叠统哈拉哈塘组以岩屑石英砂岩为主,石英含量 40%~78%,平均 60%,岩屑含量 8%~43%,平均 25.75%,长石含量 10%~20%,平均 14.25%;中三叠统阿克库勒组以长石岩屑砂岩为主,石英含量 30%~91%,平均 58.58%,岩屑含量 5%~55%,平均 27.58%,长石含量 4%~25%,平均 13.83%;下三叠统柯吐儿组以长石岩屑砂岩为主,石英含量 10%~89%,平均 44.76%,岩屑含量 5%~83%,平均 36.85%,长石含量 5%~40%,平均 18.39%(表 1)。岩心样品分析表明,三叠系储层成分成熟度低,属于近物源冲积扇-河流-湖泊三角洲沉积。

## 2 储层物性特征

储层物性是决定储层储集性能的关键,其直观地表述为孔隙度和渗透率的大小<sup>[4]</sup>。据岩心资料分析,储层平均孔隙度 16.5%,平均渗透率  $522.6 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。其中,哈拉哈塘组砂岩(仅有 3 个样品数据)孔隙度平均为 22.93%,渗透率为  $20.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,属于中孔低渗储层;阿克库勒组砂岩孔隙度为 3%~26.2%,平均 9.08%,多数样品小于 10%,渗透率为  $0.4 \sim 25.6 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,平均  $10.7 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,属于低孔低渗储层;柯吐儿组砂岩孔隙度为

0.5%~24.8%,平均 15.13%,孔隙度大于 15%的样品占 55.1%,平均渗透率  $585.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,渗透率大于  $100 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  的样品占 29.4%,属于中孔、中-高渗储层(图 3)。因此,三叠纪碎屑岩储层整体属于中孔、中-低渗储层,柯吐儿组储层物性相对较好。

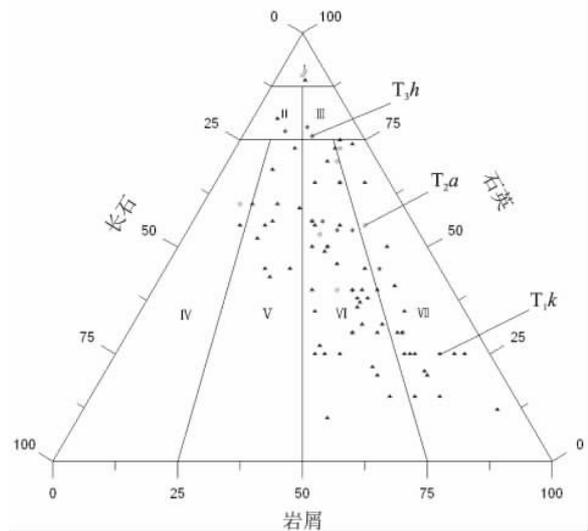


图 2 研究区三叠系储层砂岩组分三角图

I. 石英砂岩; II. 长石石英砂岩; III. 岩屑石英砂岩; IV. 长石砂岩; V. 岩屑长石砂岩; VI. 长石岩屑砂岩; VII. 岩屑砂岩

Fig. 2 Triangular diagram of sandstone compositions in the Triassic reservoir rocks from the Liangbei region, Xinjiang

I = quartz sandstone; II = feldspathic quartz sandstone; III = lithic quartz sandstone; IV = arkose; V = lithic arkose; VI = feldspathic litharenite; VII = lithic sandstone

表 1 研究区三叠系储层不同层段岩石组分特征

Table 1 Compositions in different parts of the Triassic reservoir rocks from the Liangbei region, Xinjiang

层位	石英(%)			岩屑(%)			长石(%)		
	最小	最大	平均	最小	最大	平均	最小	最大	平均
T3h	40	78	60	8	43	25.75	10	20	14.25
T2a	30	91	58.58	5	55	27.58	4	25	13.83
T1k	10	89	44.76	6	83	36.85	3	40	18.39

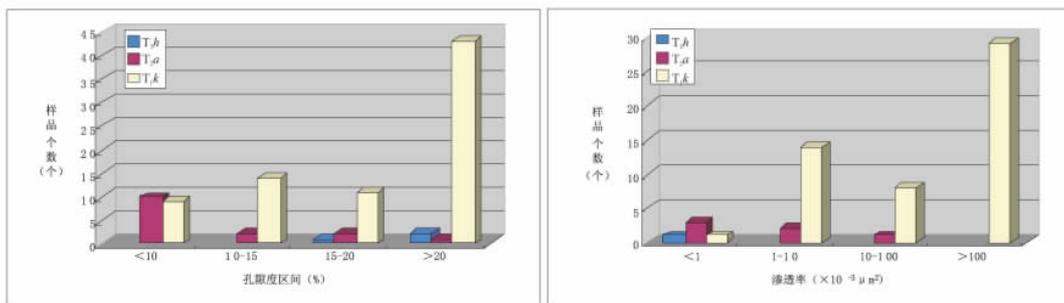


图 3 研究区三叠系储层孔隙度和渗透率分布

Fig. 3 Distribution of the porosity (left) and permeability (right) of the Triassic reservoir rocks from the Liangbei region, Xinjiang

### 3 储集空间类型

通过扫描电镜及铸体薄片分析,认为该区三叠系储层储集空间类型以次生孔隙为主,包括溶蚀粒间孔、粒内溶孔和裂缝,原生孔隙大多被破坏。

溶蚀孔隙是指碎屑颗粒发生选择性溶蚀或者伴生颗粒压碎缝溶蚀而产生的次生孔隙,包括粒内溶孔、铸模孔、粒间溶孔以及溶缝和溶洞<sup>[5]</sup>。从铸体薄片和扫描电镜可见,岩屑、长石等颗粒边缘沿粒间孔周围发生不同程度溶蚀,粒间方解石胶结物和灰泥基质溶蚀较强,普遍见到粒间溶孔,孔隙分布均匀,大部分为收缩状及弯片状喉道,少许呈缩颈喉道,局部喉道发育较好呈连通状(图4a),少量颗粒为粒内溶蚀和浸染状,孔隙式胶结,胶结物以

粘土矿物为主。

裂缝对沟通孔隙、提高储层的渗透率有明显作用,同时也有利于孔隙水和地下水的活动及溶蚀孔隙的发育,从而进一步改善储集性能<sup>[6]</sup>。镜下鉴定及物性资料表明研究区储层裂缝发育,其中大部分裂缝被沥青质、白云石充填或局部充填,也存在未充填裂缝(图4b)。

### 4 储层的控制因素

大地构造背景和古地温从宏观上对储层的演化进行控制,沉积条件是形成优质储层的前提和基础,溶蚀作用是形成优质储层的直接原因,异常高压、膏岩、砂泥岩互层状况、烃类注入以及构造裂缝是形成优质储层的辅助因素<sup>[8-11]</sup>。

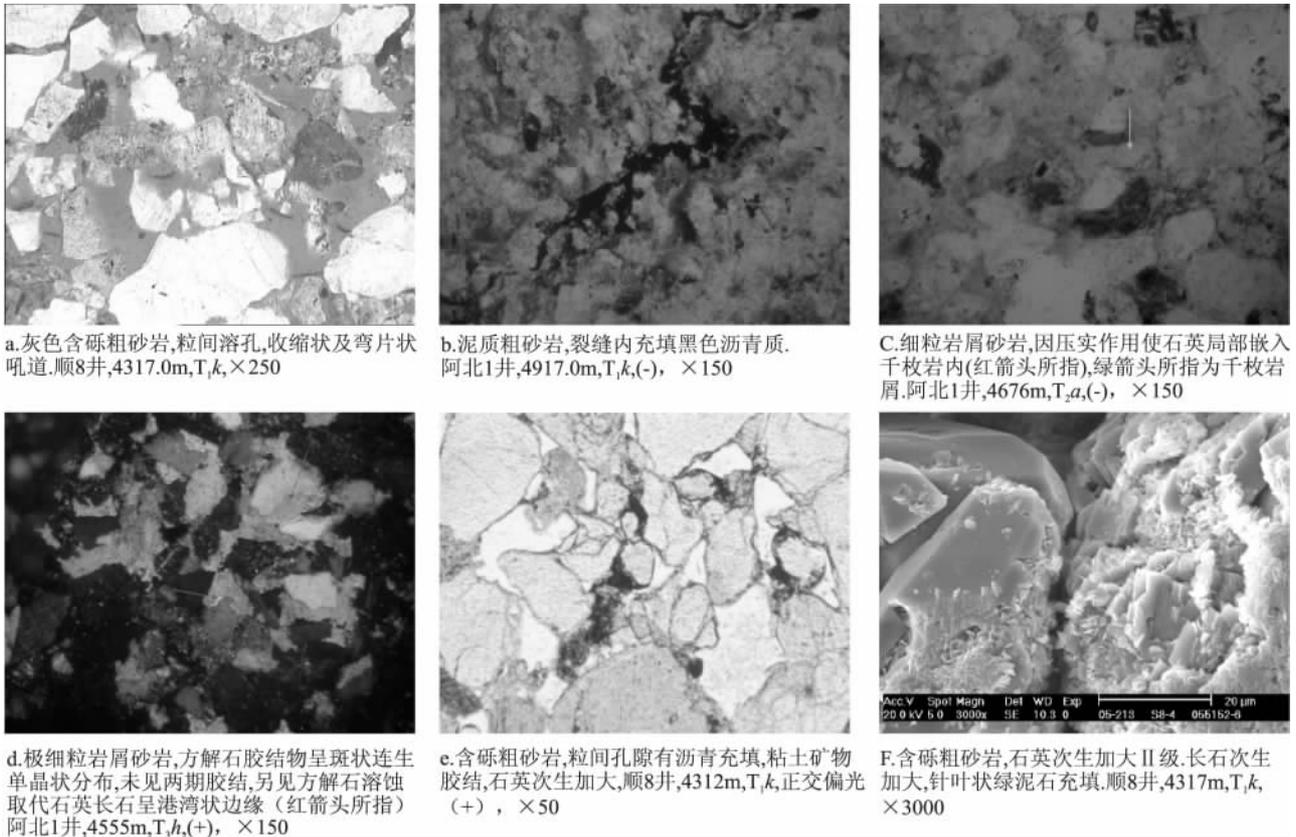


图4 研究区三叠系储层储集空间类型

Fig. 4 Types of the reservoir spaces in the Triassic reservoir rocks from the Liangbei region, Xinjiang

a. Grey gravelly coarse-grained sandstone with intergranular solution openings 4317.0m, Shun-8 well, T<sub>1</sub>k, ×250; b. Muddy coarse-grained sandstone with cracks filled by bitumen 4917.0m, Abei-1 well, T<sub>1</sub>k, plane-polarized light (-), ×150; c. Fine-grained lithic sandstone subjected to compaction 4676m, Abei-1 well, T<sub>2</sub>a, plane-polarized light (-), ×150; d. very fine-grained lithic sandstone with calcite cements as mottled interlocking crystals 4555m, Abei-1 well, T<sub>3</sub>h, cross-polarized light (+), ×150; e. Gravelly coarse-grained sandstone with intergranular solution openings filled by bitumen, cementation of clay minerals and secondary enlargement of quartz, 4312m, Shun-8 well, T<sub>1</sub>k, cross-polarized light (+), ×50; f. Gravelly coarse-grained sandstone with secondary enlargement of quartz and feldspar 4317m, Shun-8 well, T<sub>1</sub>k, ×3000

#### 4.1 沉积相对储层发育的控制

由于岩石的成分、粒度、分选、杂基含量和碎屑颗粒组成的差异,引起砂岩原始孔隙发育程度与渗透性能存在差异,宏观上这些因素又受沉积环境控制,因而优质储层多形成于水动力条件较强的高能环境。从沉积相单元上看,主要以三角洲、扇三角洲、滨岸、辫状河三角洲、重力流水道等砂体储层发育好<sup>[12-44]</sup>。两北地区总体发育冲积扇-河流-湖泊-三角洲沉积体系。从储层物性与沉积微相关系分析(图5),储层物性受沉积相影响较大,辫状河道和河口坝砂体物性相对好,孔隙度总体大于15%,河口坝砂体渗透率最高。同一相带渗透率的最大、最小和平均值呈现较为一致的变化趋势,但辫状河道和河口坝孔隙度值变化较大,席状砂、重力流和分流河道的孔隙度变化一致,说明后期成岩作用对辫状河道和河口坝砂体孔隙度的影响相对较大。

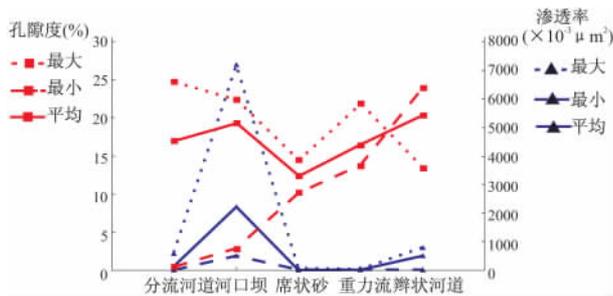


图5 研究区不同沉积微相储层物性对比

Fig. 5 Comparison of the porosity and permeability of the Triassic reservoir rocks in different sedimentary microfacies

#### 4.2 成岩作用对储层发育的控制

沉积物在进入埋藏成岩阶段之后,不同的成岩作用类型及强度对储集层的储集性能起决定性作用<sup>[15-16]</sup>。研究区三叠系成岩作用类型多,且比较复杂,对储层渗透性的影响具有双重性,既有充填和破坏孔隙降低渗透率的一面,又有改善孔隙,提高渗透率的一面。其中溶蚀作用是两北地区三叠系碎屑岩储层物性得到改善的主要影响因素。

##### 1. 破坏性成岩作用

破坏性成岩作用主要是压实作用和胶结作用。压实作用是一种物理成岩作用,容易造成大量原始孔隙的损失,并且这种损失是不可逆转的。两北地区三叠系平均埋深4427m,属于深埋藏范畴,储层的成分成熟度低,岩屑中含有较多的泥质、凝灰岩等塑性、半塑性物质颗粒,这些颗粒在深度达到4000m以下时,很容易受压变形<sup>[17]</sup>。镜下可见石英颗粒局部嵌入干枚岩屑内,黑、白云母片变形且微微定向,

颗粒呈线接触,泥岩屑变形或被硬颗粒嵌入,或变形呈假杂基状,杂基中的水云母粘土物质在局部范围内显定向性以及长石双晶变弯曲(图4c),说明压实作用相对强烈。

胶结作用是指矿物质在碎屑沉积物孔隙中沉淀,形成自生矿物质并使沉积物固结为岩石的作用,它存在于整个成岩作用阶段<sup>[3]</sup>。通过扫描电镜发现,主要胶结物有白云石、方解石、石英、硬石膏和粘土矿物,以白云石、方解石胶结和石英的次生加大为主(图4d);另见高岭石与绿泥石胶结,伊利石和伊/蒙混层在研究区比较少见。胶结作用使许多孔隙遭到破坏,使储层物性变差。

##### 2. 建设性成岩作用

溶蚀作用是深部碎屑岩储层的一种重要的建设性成岩作用,是形成次生孔隙,改善储层物性的主要成岩方式之一。在一定的成岩环境中碎屑岩中的颗粒、杂基、胶结物、自生矿物等都可以发生一定的溶蚀作用,并且以硅酸岩屑的溶蚀最为强烈<sup>[18-22]</sup>。根据薄片资料,镜下可见方解石、长石、岩屑、石英及杂基的溶蚀,石英的次生加大非常普遍(图4e、f),溶蚀作用是研究区三叠系深部碎屑岩储层次生孔隙发育的主要原因,这是因为:

(1) 研究区三叠纪至早第三纪末的近200Ma地质时期,埋深仅1000~1500m;深埋藏发生于晚第三纪。上新世以来的数百万年的短暂区间内,由于大气水侵入的深度可达到地下2km<sup>[4,18]</sup>,深埋之前长时间接受大气水的淋滤溶解作用导致次生孔隙的广泛发育。

(2) 三叠系储层主要为长石岩屑砂岩,岩屑成分较高,平均含量36.76%,岩屑中酸性喷出岩、凝灰岩和硅质较多,这些岩屑属于易溶组分,在合适的条件下,会发生一定的溶蚀作用,为次生孔隙的发育提供了条件。这些组分的溶蚀还可以将原来没有连通的孔缝进行连通,从而改善了储层物性。

(3) 前人研究表明,塔里木盆地三叠纪古气候温暖潮湿,水介质pH值偏低,三叠系泥岩以Ⅲ型干酪根为主。以Ⅲ型干酪根为主的地区,更有利于有机-无机作用的进行,因为陆源高等植物发育的沉积地区往往属于酸性成岩环境,有利于有机酸的生成与保存,三叠系储层酸性成岩环境的存在为三叠系储层次生溶孔的发育提供了条件<sup>[1,18,20]</sup>。镜下可见大量岩屑和长石被溶蚀的现象,产生溶蚀的主要原因为三叠系的泥岩在埋藏过程中有机质成熟脱羟产生的有机酸。

(4) 由破裂作用形成的裂缝,一方面改善了储集岩的孔渗性,同时为溶蚀作用提供了有利的通道。通过薄片观察,在裂缝发育的地方,大量方解石胶结物及部分颗粒被溶解形成大量粒间溶孔(图4b、d),而裂缝不发育的地方,方解石胶结物则保存完好,难以形成好的次生孔隙。三叠系储层碎裂作用的表现形式有:碎屑颗粒破碎、碎裂条带及裂缝等,这些裂缝很好地改善了储集性能。

研究区三叠纪碎屑岩储层的溶蚀作用发育普遍,既有碎屑岩颗粒如长石颗粒、石英颗粒的溶蚀,又有石英次生加大边等胶结物的溶蚀,这些溶蚀作用产生了大量溶蚀孔隙和溶蚀裂缝,提高了储层的储集性能,从而大大改善了储集性能。

## 5 结论

(1) 研究区三叠系碎屑岩储层具有成分成熟度低、结构成熟度中等的岩石学特征,主要发育岩屑细砂岩、中砂岩、砂砾岩,分选中等,磨圆度为次圆、次棱-次圆状,颗粒多呈点、点-线接触,以孔隙式胶结为主。

(2) 研究区三叠系储层的储集空间类型主要为粒间溶孔,其次裂缝。储层孔隙结构中等,孔隙度平均 16.6%,渗透率平均  $522.6 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,属于中孔、中-低渗型储层。

(3) 研究区三叠系深部碎屑岩储层的发育是多因素控制下的结果,沉积相是储层发育的基本控制因素,分流河道和河口坝沉积的储集性能好;成岩作用是影响深部碎屑岩储层性能的主要因素,深埋导致压实作用强烈,溶蚀作用成为储层物性在成岩作用中得到改善的关键影响因素。

### 参考文献:

- [1] 顾家裕. 塔里木盆地沉积与储层[M]. 北京: 石油工业出版社 2003.
- [2] 康玉柱. 中国塔里木盆地石油地质特征及资源评价[M]. 北京: 地质出版社, 1996.
- [3] 于兴河. 碎屑岩油气储层沉积学[M]. 北京: 石油工业出版社 2008.
- [4] 王根长. 塔里木盆地碎屑岩储层基本特征[J]. 石油实验地质, 2001 23(1): 62-67.
- [5] 庞雯, 赵靖舟. 塔北隆起三叠系储层评价及储盖组合[J]. 西安石油学院学报 2002, 17(2): 1-4.
- [6] 刘春, 张惠良, 韩波, 等. 库车坳陷大北地区深部碎屑岩储层特征及控制因素[J]. 天然气地球科学, 2009 20(4): 504-512.
- [7] 李会军, 吴泰然, 吴波, 等. 中国优质碎屑岩深层储层控制因素综述[J]. 地质科技情报 2004 23(4): 76-82.
- [8] 钟大康, 朱筱敏, 王红军. 中国深层优质碎屑岩储层特征与形成机理分析[J]. 中国科学, 38(增刊 I): 11-18.
- [9] 史基安, 王琪. 影响碎屑岩天然气储层物性的主要控制因素[J]. 沉积学报, 1995, 13(2): 138-139.
- [10] 李会军, 程文艳, 张文才, 等. 深层异常温压条件下碎屑岩成岩作用特征初探[J]. 石油勘探与开发 2001 6(28): 28-31.
- [11] GAUPP R, MATTER A, PLATT J et al. Diagenesis and fluid evolution of deeply buried Permian (Rotliegende) gas reservoir, Northwest Germany [J]. AAPG Bulletin, 1993, 77(7): 1111-1128.
- [12] 陈纯芳, 赵澄林, 李会军. 板桥和歧北凹陷沙河街组深层碎屑岩储层物性特征及其影响因素[J]. 石油大学学报, 2002, 1(26): 4-7.
- [13] 高勇, 张连雪. 板桥-北大港地区深层碎屑岩储集层特征及影响因素研究[J]. 石油勘探与开发 2001 2(28): 36-39.
- [14] 闫建萍, 刘池洋, 张卫刚, 等. 鄂尔多斯盆地南部上古生界低孔低渗砂岩储层成岩作用特征研究[J]. 地质学报, 2010 84(2): 272-279.
- [15] 于兴河, 李胜利. 碎屑岩系油气储层沉积学的发展历程与热点问题思考[J]. 沉积学报 2009 27(5): 880-896.
- [16] 杨永剑, 刘家铎, 孟万斌, 等. 柴达木盆地北缘潜西地区古近系储层发育特征及主控因素[J]. 岩性油气藏, 2010, 22(增刊): 60-66.
- [17] 张顺存, 刘振宇, 刘巍, 等. 准噶尔盆地西北缘克百断裂下盘二叠系砂砾岩储层成岩相研究[J]. 岩性油气藏, 2010, 22(4): 43-52.
- [18] 杨晓宁, 陈洪德, 寿建峰, 等. 碎屑岩次生孔隙形成机制[J]. 大庆石油学院学报 2004 28(1): 4-6.
- [19] 李子甲, 张志强, 付国民. 塔河油田 AT1 区三叠系中油组储层成岩作用及其对物性影响[J]. 岩性油气藏 2011 23(1): 34-39.
- [20] 朱世发, 朱筱敏, 王一博, 等. 准噶尔盆地西北缘克百地区三叠系储层溶蚀作用特征及孔隙演化[J]. 沉积学报, 2010 28(3): 547-556.
- [21] SULLIVAN K B, MCBRIDE E F. Diagenesis of sandstones at shale contacts and diagenetic heterogeneity, Frio Formation, Texas [J]. AAPG Bulletin, 1991 75(1): 121-138.
- [22] OSBORNE M J, SWARBRICK R E. Diagenesis in North Sea HPHT clastic reservoirs - consequences for porosity and overpressure prediction [J]. Marine and Petroleum Geology, 1999, 16(4): 337-353.

## Reservoir characteristics and controlling factors of the Triassic clastic rocks in the Liangbei region , Xinjiang

ZHANG Yu-xi , ZHOU Jiang-yu , LI Xiao-feng

( *Key Laboratory of Tectonics and Petroleum Resources under the Ministry of Education , China University of Geosciences , Wuhan 430074 , Hubei , China* )

**Abstract:** The present paper deals , on the basis of cores , cast sections and scanning electronic microscopic examination , with the reservoir characteristics and controlling factors of the Triassic clastic rocks in the Liangbei region , Xinjiang. The rock types in the Triassic clastic rocks mostly consist of feldspathic litharenite and lithic sandstone which are characterized by low compositional maturity , moderate textural maturity , abundant intergranular solution openings and minor fissures suggesting the moderate-porosity , and moderate- to low-permeability reservoir rocks. The controlling factors of the reservoir development include sedimentary facies and diagenesis. The distributary channel and channel mouth bar sandstones are interpreted to have good porosity and permeability. Affected by meteoric water and organic acids , the dissolution of calcite , feldspar , lithoclasts , quartz and matrix result in the generation of abundant solution openings , and thus are believed to be the key factors for the formation of excellent clastic reservoir rocks in the study area.

**Key words:** reservoir characteristics; controlling factor; clastic rock; Triassic