

南祁连盆地三叠系碎屑岩储层特征及综合评价

王力,周立发,李珊

(西北大学 大陆动力学国家重点实验室/地质学系,陕西 西安 710069)

摘要:对南祁连盆地三叠系碎屑岩储层特征及储层发育的控制因素进行了研究。结果表明,研究区三叠系碎屑岩储层以中-细粒长石砂岩为主,砂岩的结构成熟度和成分成熟度均较低。主要储集空间为填隙物内孔隙、溶蚀孔隙和裂缝,具有孔喉细小、分选极差、连通性及渗流能力普遍较差的孔隙结构特征。储层物性条件较差,整体表现为低孔低渗的特点,储层的发育状况主要受沉积作用、成岩作用及构造运动的影响。综合分析,将南祁连盆地三叠系碎屑岩储层划分为V类、Ⅵ类和Ⅶ类储层,整体属于特低孔渗的致密储层。

关键词:南祁连盆地;三叠系;碎屑岩;储层特征;综合评价

中图分类号:P542

文献标识码:A

Reservoir characteristics and comprehensive evaluation of Triassic clastic reservoir in southern Qilian Basin

WANG Li, ZHOU Li-fa, LI Shan

(State Key Laboratory of Continental Dynamics/Department of Geology, Northwest University, Shanxi Xi'an 710069, China)

Abstract: On the basis of thin section, scanning electron microscopy, physical property analysis and mercury injection analysis, the reservoir characteristics and main control factors of Triassic clastic reservoir in Southern Qilian Basin were studied. The results indicate that the clastic reservoir sandstone is mainly composed of medium to fine grained feldspar sandstone and the textural and compositional maturation of the reservoir is low. The main reservoir space types are interstitial content pores, dissolution pores and fractures. In additional, the reservoir pore structure is characterized by mini pore throat, poor sorting, poor connectedness and poor infiltrating ability. The reservoir physical properties are poor, with low porosity and low permeability. Moreover, the development of reservoir is mainly controlled by sedimentation, diagenism and favorable tectonic condition. Comprehensively considering above analysis, the Triassic clastic reservoirs have been divided into type V, type Ⅵ and type Ⅶ, overall belonging to tight reservoirs with ultra-low porosity and permeability.

Key words: southern Qilian Basin; Triassic; clastic rock; reservoir characteristic; comprehensive evaluation

南祁连盆地油气资源潜力巨大,是我国西部重要的油气资源战略区。长期以来对祁连造山带的研究更多地关注于造山带基底演化、洋陆格局与碰撞造山过程^[1-3],而对研究区特别是三叠系碎屑岩储层的研究较为薄弱和笼统。本文通过对三叠系碎屑岩储层的特征进行研究,并开展储层综合评价,为更进一步的油气地质条件研究和勘

探工程部署提供理论依据及基础资料。

1 区域地质概况

南祁连盆地地处祁连山系南部,北侧与广泛发育前寒武系的中祁连山体 and 发育下古生界的北祁连山体相邻,南侧以宗务隆山与柴达木盆地相邻,研究区整体呈北西西向展布,总面积约 6.3 ×

10^5 km^2 ^[1-5]。盆地由多个坳陷及隆起组成,各坳陷之间为基底隆起相隔,构成了南祁连盆地隆-坳相间的基本构造格局(图1)。南祁连盆地的三叠系是分布面积最广的一套地层,具有较理想的石油地质条件,广泛出露于下日哈坳陷、哈拉湖坳陷和木里坳陷,在疏勒坳陷出露较少。自下而上发育了下三叠统下环仓组和江河组、中三叠统大加连组和切尔玛组以及上三叠统尔勒得寺组和阿塔寺组^[4-8]。研究区三叠系以稳定型滨海-浅海-海陆交互-陆相沼泽环境的沉积为特征,其中上三叠统为陆相或海陆交互相沉积,中、下三叠统属典型的海相沉积^[9-12]。

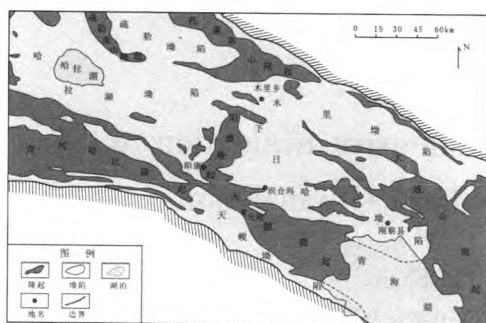


图1 南祁连盆地构造单元划分图

Fig.1 Structural units division of the Southern Qilian Basin

2 储层特征

2.1 岩石学特征

南祁连盆地三叠系以碎屑岩储层为主,碳酸盐储层仅分布于中三叠统大加连组。岩心观察和薄片分析表明,储层岩石类型整体以中-细粒长石砂岩为主,部分为岩屑长石砂岩和长石石英砂岩(图2),岩石结构成熟度和成分成熟度均较低。

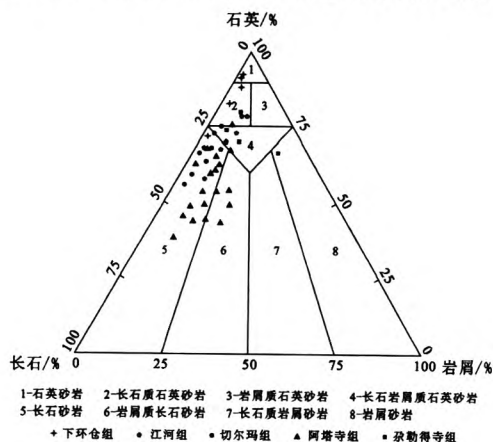


图2 南祁连盆地三叠系砂岩三角分类图

Fig.2 Triangular diagram of Triassic sandstone in southern Qilian Basin

碎屑颗粒分选中等-好,磨圆度为棱角-次棱角状,胶结类型主要为孔隙式胶结。胶结物含量多在5%-15%之间,胶结物以泥质、硅质为主,少数为方解石胶结。碎屑颗粒间接触关系主要为线接触,少部分为点接触关系。碎屑颗粒以石英颗粒为主,其次为长石,岩屑含量相对较少,主要由浅变质岩及花岗岩岩屑组成。

2.2 储集空间类型

根据常规薄片、铸体薄片及扫描电镜资料分析,南祁连盆地三叠系碎屑岩储层储集空间可分为孔隙和裂缝两种类型。

孔隙型。原生孔隙:包括残余粒间孔隙和填隙物内微孔隙(图3a、b)。残余粒间孔隙指碎屑颗粒之间程度不等地充填一些填隙物后残留下来的孔隙,大多呈残留状、孤立状不规则分布。填隙物内孔隙包括陆源粘土杂基收缩形成的微孔隙及自生矿物间的晶间孔隙;此类孔隙个体细小,连通性差,但数量较多,分布普遍,对储集物性条件改善有一定贡献,是主要孔隙类型之一。

次生孔隙:由于储集层原生孔隙发育很差,导致次生孔隙发育程度较弱,仅局部层段发育。溶蚀孔隙相对是次生孔隙的主要来源(图3e),其中粒间溶蚀孔隙一般发育不规则,大小差异较大,仅在局部范围零星分布;粒内溶蚀孔隙常与颗粒边缘相连通,若粒间连通性较好可构成各种流体流动的通道,仅发育于局部层段,规模较小;填隙物内溶蚀孔隙大多出现在碎屑颗粒碳酸盐胶结物内,发育程度弱,一般少见。除溶蚀孔隙外,局部还发育有铸模孔隙和自生矿物晶间微孔隙(图3d)。

裂缝型:裂缝作为一种特殊的孔隙类型,同时起到了储集空间和渗滤通道的作用。研究区三叠系碎屑岩储层裂缝较发育,致使渗透能力增强,物性条件得到大大改善。本区发育的裂缝按成因可分为构造裂缝和压实裂缝(图3c、f)。构造裂缝一般规模较大,呈交叉状、网状或树枝状,组条分明,缝壁平直,多切穿颗粒,延伸较远,期序明显;在部分构造缝边缘可见到溶蚀现象,使裂缝面变得凹凸曲折。压实裂缝多呈不规则状,延伸范围有限,围绕颗粒分布;沿缝合线发育溶蚀作用,形成沿缝合线断续或连续的溶孔、甚至溶缝,对油气运移及储集均有重要意义^[13-15]。

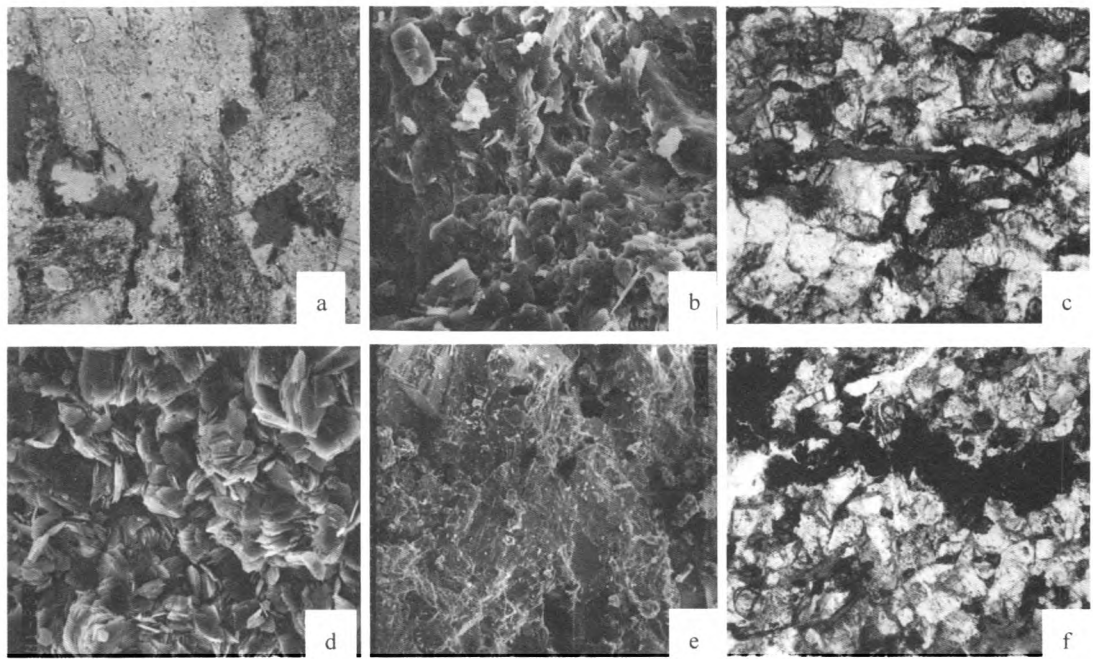


图3 南连盆地三叠系碎屑岩储集空间特征

Fig.3 Reservoir space characteristics of Triassic clastic reservoir in southern Qilian Basin

a 残余粒间孔,单偏光,×63;b 伊利石胶结物内晶间孔隙,电镜,×30/300;c 构造微裂缝,单偏光,×63;
d 自生高岭石晶间微隙,电镜,×2000;e 零星分布的溶蚀孔,电镜,×30/300;f 微裂缝充填有机质,单偏光,×63

3 储层物性及孔隙结构特征

3.1 物性特征

通过对南祁连盆地三叠系不同层位 85 块孔隙度样品和 74 块渗透率样品的分析统计(表 1),表明研究区碎屑岩储集层平均孔隙度为 2.95%,平均渗透率为 $0.0971 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。储层物性整体较差,但不同层位的储层,其物性存在差异。

中、下三叠统碎屑岩储层孔、渗均较低,属很致密储层。上三叠统碎屑岩储层物性较前两者略好,但仍属很致密-致密储层。以上分析结果表明,南祁连盆地三叠系碎屑岩储层物性普遍较差,整体表现为低孔低渗的特点,属很致密-致密储层。

3.2 孔隙结构特征

常规物性(孔隙度、渗透率)不能完全反应储

集层岩石的内部特征,只有增加对孔隙结构的了解才能正确反应其储集性能和渗滤特征^[15]。通过对压汞实验资料进行分析,结合薄片和扫描电镜的观察,对研究区储层孔隙结构特征进行研究(表 2)。

盆地东部(阳康隆起以东),孔隙类型以微孔占主要部分,其次为小孔,中孔很少;喉道类型以微喉为主,中喉很少;孔喉配置关系较差,多为微孔微喉型。盆地西部(阳康隆起以西),孔隙类型以小孔为主,其次为中孔、微孔;喉道类型以中喉为主,其次是微喉,粗喉最少;孔喉配置关系整体较盆地东部要好,多为小孔与中喉的配置。另外,排驱压力较高,最大孔喉半径偏细,平均孔喉半径偏小等特征也都表明储层的孔喉整体偏细。总之,盆地内三叠系碎屑岩储层不但孔喉细小,而且连通性较差,从而导致储集性能较差。

表 1 南祁连盆地三叠系碎屑岩储层物性统计表

Tab.1 The physical properties of Triassic clastic reservoir in southern Qilian Basin

层位	孔隙度 / %				渗透率 / $10^{-3} \mu\text{m}^2$			
	样品数	最小值	最大值	平均值	样品数	最小值	最大值	平均值
T3	49	0.20	8.7	3.15	26	0.008 7	9	0.188 7
T2	17	0.33	11.05	3.32	21	0.002 1	2.112 8	0.034 9
T1	19	0.10	3.90	2.38	27	0.004 9	0.26	0.067 8
合计	85			2.95	74			0.097 1

表2 南祁连盆地三叠系碎屑岩储层孔隙结构参数统计表
Tab.2 The pore texture parameters of Triassic clastic reservoir in southern Qilian Basin

地区	层位	样品号	中值压力 /MPa	排驱压力 /MPa	中值孔喉 半径/ μm	平均孔喉 半径/ μm	最大孔喉 半径/ μm	分选系数	歪度	评价			
										孔隙	喉道	分选	歪度
东部	T3	1	0	0.284	0	1.23	2.59	1.04	-0.4	微	微	中等	负偏
		2	0	0.03	0	7.75	24.75	6.65	0.9	微	微	极差	正偏
		3	0	0.017	0	7.38	42.65	12.09	-0.3	微	微	极差	负偏
		4	0	0.03	0	7.24	24.77	6.67	0.69	微	微	极差	正偏
		5	0	0.741	0	0.37	0.99	0.19	-0.29	微	微	极好	负偏
		6	0	0.028	0	10.29	26	9.5	0.2	小	微	极差	正偏
		7	0.11	0.3	6.92	1.01	2.45	0.81	-0.2	微	中	极好	负偏
		8	0	0.025	0	1.22	29.6	4.98	0.88	微	微	极差	正偏
		9	0	0.25	0	9.45	29.41	10.19	0.86	微	微	极差	正偏
		10	0	0.009	0	1	85.49	5.43	0.69	微	微	极差	正偏
	T2	11	0	0.026	0	10.13	28.17	9.68	0.88	微	微	极差	正偏
		12	0	0.044	0	3.2	16.62	5.83	-1	微	微	极差	负偏
		13	0	0.037	0	1.65	19.81	3.94	-1	微	微	极差	负偏
		14	0	0.759	0.0145	0.32	0.988	0.306		中	微	极好	
	T1	15	0	0.024	0	7	30.32	8.75	0.83	微	微	极差	正偏
		16		1.178	0.034	0.155	0.636	0.128		小	微	极好	
		17		0.184	0.003 4	0.382	4.076	0.368		微	微	极好	
西部	T3	18	2.11	0.37	0.35		2.01	5		小	粗	极差	负偏
		19	2	0.48	0.37		1.55	4.67		小	粗	极差	负偏
		20	4.69	0.09	0.16		8.28	4.87		小	中	极差	正偏
	T2	21	13.78	2.63	0.05		0.28	4.29		小	微	极差	正偏
		22	9.37	0.01	0.07		74.5	3.97		小	中	极差	正偏
		23	2.76	4.43	0.3		0.18	4.52		小	中	极差	正偏
		24		0.745	0.1804	0.294	1.006	0.178		中	微	极好	
	T1	25	39	4.39			0.17	4.46		小	微	极差	负偏
		26	2.58	0.01	0.29		74.5	4.16		小	中	极差	负偏
		27	39	4.17			0.18	4.46		小	微	极差	负偏
		28		0.117	0.0109	0.721	6.41	0.687		微	微	极好	

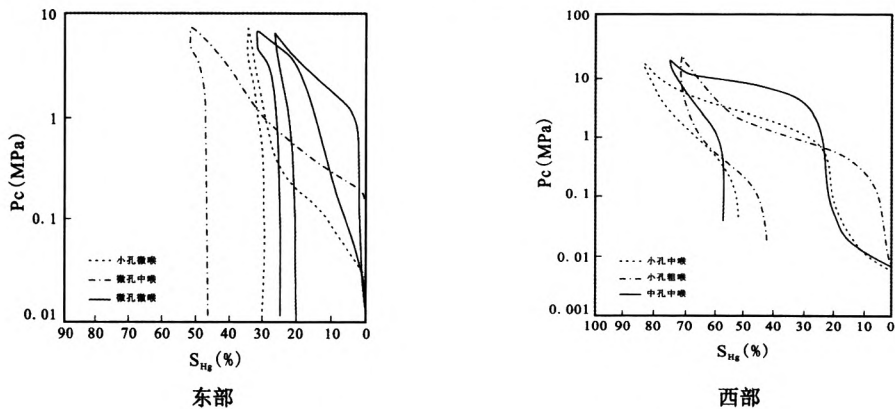


图4 南祁连盆地三叠系碎屑岩储层毛管压力曲线图
Fig.4 The capillary pressure curve of Triassic clastic reservoir in southern Qilian Basin

岩石孔喉半径大小越集中,则孔喉分选性越好,储集层储集性能越好,对应的毛细管压力曲线的中间平缓段越长^[16]。从图4可以看出,大部分毛细管压力曲线是倾斜的,基本无中间平缓段,表

明储集层孔喉分选性差;只有少部分毛细管压力曲线有一个较缓的中间平台段,反应孔喉大小分布有一定的分选性。另外,表2统计的28块样品中,分选极好的有7块,占25%,分选中等的1块,

占4%,分选极差的20块,占71%。综合以上分析,可以看出储层孔喉分选性参差不齐,但以分选极差为主要特点,说明储层的物性和储集性能普遍较差。

4 储层发育的控制因素

研究区碎屑岩储集层的发育状况受控于原始沉积时的沉积作用和沉积后的成岩演化过程及所经受的构造运动。

4.1 沉积作用

盆地内沉积作用对储层物性的控制主要是碎屑组分和水动力条件这两个方面。研究区三叠系碎屑岩储层的碎屑组分富含陆源粘土基质,除其本身堵塞孔隙外,在压实过程中可起润滑作用,加快压实作用对原生孔隙的破坏^[17];杂基及岩屑含量较高,压实效应进一步加强,致使成岩作用晚期有机质成熟时排出酸性水的通过能力减弱,不易产生大量的次生孔隙。另外,储层沉积物沉积时水动力条件较弱,碎屑颗粒分选较差、粒度较细,陆源粘土杂基含量高,导致原生孔隙减少,储层孔隙结构、物性条件变差。

4.2 成岩作用

研究区三叠系成岩作用类型较多且比较复杂,对储层物性的影响具有双重性,即可充填和破坏孔隙、降低渗透率,又可改善孔隙、提高渗透率^[18-20]。

压实压溶作用是三叠系砂岩储层表现最为明显的一种成岩作用,是储层物性条件普遍较差的主要影响因素之一。在强烈的压实压溶作用下,碎屑颗粒紧密排列,多呈线状-凹凸状接触,流动孔隙减少,束缚孔隙增加,储集层物性条件明显变差。另外,压溶作用为硅质胶结物的沉淀提供了大量溶解氧化硅,使砂岩的孔隙度和渗透率进一

步降低。

胶结作用对储层物性的破坏具体表现在硅质胶结物的沉淀、充填,方解石胶结物和自生粘土矿物伊利石、绿泥石进一步充填残余粒间孔隙及堵塞喉道,使孔喉展布更加复杂,物性条件变差。另一方面早期的碳酸盐胶结物可以抑制压实作用的进行,为后期的溶蚀作用提供物质基础^[18,21]。

溶蚀作用是形成次生孔隙、改善储层物性的主要成岩作用之一,一方面使原有孔隙系统进一步扩大,孔隙间连通性变好;另一方面对储集层的碎屑组分进行新的改造,形成次生孔隙^[19-21]。研究区仅局部地区及层段可见少量溶蚀现象,多形成零星分布的孤立状溶蚀孔隙,对物性条件改善所起贡献有限。

4.3 构造运动

构造运动对储层物性的影响主要表现在构造运动使得岩层褶皱断裂,产生大小不等的裂缝及大量微裂缝,改善储集层的渗流条件^[21]。构造运动在盆地内碳酸盐岩储层中表现明显,但在碎屑岩储层中产生的微裂缝发育程度较差,以致溶蚀作用不能大面积产生,对改善储层物性条件贡献有限。

5 储层综合评价

根据中国石油天然气总公司新区事业部青藏经理部颁发的《碎屑岩储层评价标准》^[22],对南祁连盆地三叠系碎屑岩储层进行综合评价,评价结果如表3。

上三叠统主要为一套陆相碎屑岩类储集层,由下而上分为阿塔寺组和尕勒得寺组。盆地东部(阳康隆起以东)储层初步认定为Ⅵ+Ⅶ类储层,储集物性相对较差;盆地西部(阳康隆起以西)储层初步评价为Ⅴ+Ⅵ类储层,储集性能较东部相对要好。中三叠统碎屑岩储层主要是切尔玛组碎

表3 南祁连盆地三叠系碎屑岩储层综合评价

Tab. 3 Comprehensive evaluation of Triassic clastic reservoir in southern Qilian Basin

层位	地区	平均孔隙	平均渗透率	孔隙类型/%				吼道类型/%			储层类型
		度/%	/10 ⁻³ μm ²	微	小	中	大	微	中	粗	
T3	东部	2.4	0.115 5	90	10			90	10		Ⅵ + Ⅶ
	西部	3.75	0.285 1		100				33	67	V + Ⅵ
T2	东部	3.06	0.033 2	75		25		100			Ⅵ
	西部	3.42	0.100 8		50	25	25	50			V + Ⅵ
T1	东部	1.404	0.027 6	67	33			100			Ⅵ + Ⅶ
	西部	2.999	0.088 7	25	75			75	25		Ⅵ

屑岩。盆地东部厚 117.9 m, 初步评价为 VI 类储层, 储集性能相对较差; 盆地西部厚 177.2 m, 初步评价为 V + VI 类, 储层储集性能较东部要好。下三叠统碎屑岩储集层主要指下环仓组与江河组的碎屑岩段。盆地东部厚 134 m, 储集性能相对较差, 初步评价为 VI + VII 类储层; 盆地西部储层厚 178.8 m, 初步评价为 VI 类储层, 储集性能较东部好。

综上所述, 南祁连盆地三叠系碎屑岩储层储集性能普遍较差, 绝大部分属特低孔渗的致密储层。其中以上三叠统储层质量最好, 其次为中三叠统, 下三叠统相对最差; 盆地西部储层质量整体优于盆地东部相应储层。虽然三叠系各层位储集性能均较差, 但由于研究区裂缝系统发育, 大大改善了其储集性能, 因此仍具有很大的储集潜力。

6 结论

1) 南祁连盆地三叠系碎屑岩储层广泛分布于除中三叠统大加连组以外的三叠系各个层段之中, 以中 - 细粒长石砂岩为主, 砂岩的结构成熟度和成分成熟度均较低。

2) 研究区碎屑岩储层储集空间可分为孔隙和裂缝两种类型, 其中以填隙物内孔隙、溶蚀孔隙和裂缝为主。储层孔喉配置关系以微孔微喉和小孔微喉为主, 具有孔喉细小、分选极差、连通性及渗流能力普遍较差的孔隙结构特征。

3) 研究区储层物性条件及储集能力普遍较差, 整体表现为低孔低渗的特点。储层的发育状况主要受沉积作用、成岩作用及构造运动的影响。

4) 综合储层物性条件和孔隙结构特征的分析, 将南祁连盆地三叠系碎屑岩储层划分为 V 类、VI 类和 VII 类储层。其中上三叠统储层质量最好, 其次为中三叠统, 下三叠统最差; 盆地西部储层质量整体优于盆地东部。

参考文献:

- [1] 向鼎璞. 祁连山地质构造特征[J]. 地质科学, 1982 (4): 364 - 370.
- [2] 冯益民, 何世平. 祁连山及其邻区大地构造基本特征[J]. 西北地质科学, 1995, 16(1): 92 - 103.
- [3] 黄瑞华. 祁连山地区大地构造演化及其性质特征[J]. 大地构造与成矿学, 1996, 20(2): 95 - 104.
- [4] 符俊辉, 周立发. 南祁连盆地三叠纪地层及石油地质

特征[J]. 西北地质科学, 2000, 21(2): 64 - 72.

- [5] 符俊辉, 周立发. 南祁连盆地石炭 - 侏罗纪地层区划及石油地质特征[J]. 西北地质科学, 1998, 19(2): 47 - 53. [6]
- [6] 谢其锋, 周立发, 马国福, 等. 南祁连盆地三叠系烃源岩有机地球化学特征[J]. 北京大学学报, 2011, 47(6): 1034 - 1040.
- [7] 胡超. 南祁连盆地三叠纪构造 - 沉积演化研究[D]. 西安: 西北大学, 2011.
- [8] 赵俊辉, 周立发. 南祁连盆地碳酸盐岩储层特征与评价[J]. 岩性油气藏, 2012, 24(2): 31 - 36.
- [9] 王永, 刘训, 傅德荣, 等. 南祁连地区二叠 - 三叠纪沉积构造演化[J]. 中国区域地质, 1995 (3): 245 - 251.
- [10] 杨遵义. 南祁连山三叠系[M]. 北京: 地质出版社, 1983.
- [11] 青海省地质矿产局. 青海省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1991.
- [12] 饶荣标, 徐济凡, 陈永明, 等. 青藏高原的三叠系[M]. 北京: 地质出版社, 1987.
- [13] 郑俊茂, 庞明. 碎屑储集岩的成岩作用研究[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1989.
- [14] 高喜龙. 埕岛地区中生界碎屑岩储层特征及综合评价[J]. 天然气地球科学, 2011, 22(3): 391 - 398.
- [15] 张关龙, 陈世悦, 王海方. 济阳坳陷二叠系储集层特征及其控制因素[J]. 石油勘探与开发, 2009, 36 (5): 575 - 582.
- [16] 于兴河. 油气储层地质学基础[M]. 北京: 石油工业出版社, 2009.
- [17] 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): 128 - 139.
- [18] 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.
- [19] 裘怿楠, 薛叔浩, 应凤祥, 等. 中国陆相油气储集层[M]. 北京: 石油工业出版社, 1997.
- [20] 张玉玺, 周江羽, 李晓峰, 等. 两北地区三叠系深部碎屑岩储层特征及控制因素[J]. 油气地质与采收率, 2012, 19(4): 10 - 13.
- [21] 王艳忠, 操应长, 陈世悦, 等. 济阳坳陷中生界碎屑岩储层特征及其控制作用[J]. 中国石油大学学报, 2007, 31(5): 7 - 17.
- [22] 赵政璋, 李永铁, 叶和飞, 等. 青藏高原中生界沉积相及油气储盖层特征[M]. 北京: 科学出版社, 2001.

(责任编辑 刘存英)