

# 孔雀河地区土什布拉克组砂岩成岩作用及其对孔隙演化的影响

高有峰,刘万洙,王璞珺,白雪峰  
(吉林大学地球科学学院,吉林 长春 130061)

**摘要:**新疆塔里木盆地孔雀河地区下志留统土什布拉克组砂岩,主要为长石岩屑砂岩和岩屑砂岩.压实作用和胶结作用对砂岩孔隙的减小起决定性影响,溶解作用和重结晶作用使成岩期后的孔隙空间有所增加.根据岩性特征和成岩作用强度及表现,把研究区的土什布拉克组划分为三段,下段压实作用强烈,只发育溶解作用形成的部分颗粒内溶孔,平均面孔率 7.6%;中段以胶结作用为主,仅见后期溶解作用形成的胶结物溶孔,平均面孔率 10.5%;上段溶解和重结晶作用发育而压实作用不明显,产生较多次生孔隙,为储层物性最好的层段,平均面孔率 13.3%.

**关键词:**塔里木盆地;孔雀河地区;下志留统;成岩作用;孔隙演化

孔雀河地区东为塔里木盆地东北缘,西接库尔勒鼻隆,西南为北部拗陷,南为阿尔金山造山带,北部毗邻库鲁克塔格断隆和天山造山带,横跨草湖凹陷中东部、库尔勒鼻隆、满加尔凹陷、英吉苏凹陷、孔雀河斜坡 5 个二级构造单元<sup>[1]</sup>.孔雀河地区的志留系主要分布于库鲁克塔格断隆南部,在草湖凹陷、孔雀河斜坡、库尔勒鼻隆及英吉苏凹陷均有钻遇,是一套以碎屑岩为主的沉积建造,称土什布拉克组,该组油气显示丰富,是孔雀河地区的重要勘探层系<sup>[1,2]</sup>.前人研究主要集中在沉积相及宏观地质特征方面,而对孔隙发育规律等微观特征及成岩作用的研究较少<sup>[3,4]</sup>.笔者通过对该组钻井及露头样品的岩性、成岩作用以及孔隙的研究,探讨了砂岩的物质组成、主要成岩作用及其对储层物性演化的影响.

拉克组砂岩主要为长石岩屑砂岩和岩屑砂岩,含少量的岩屑长石砂岩,岩石的成分成熟度低.

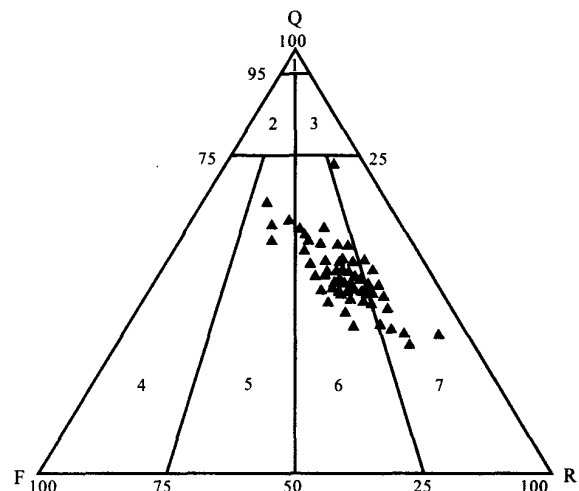


图1 土什布拉克组砂岩类型

Fig.1 Types of sandstone of Tushibulake Formation

1——石英砂岩;2——长石石英砂岩;3——岩屑石英砂岩;4——长石砂岩;5——岩屑长石砂岩;6——长石岩屑砂岩;7——岩屑砂岩

镜下鉴定结果显示研究区砂岩颗粒粒径 0.1~0.7 mm,分选中等,磨圆以次圆状为主,也见少量次棱角状和棱角状颗粒.对 21 个样品进行了粒度分析,利用福克公式求取各个样品的平均粒径和标准差,平均值分别为 0.22 mm 和 0.74,说明土什布拉克组砂岩以细粒为主,分选中等,结合磨圆,可以看出研究区砂岩的结构成熟

## 1 岩石学特征

研究区土什布拉克组砂岩碎屑成分主要为石英、长石和岩屑,部分样品中见有白云母和锆石.从所采集的 300 多个样品中选取典型的 58 个砂岩样品作成分统计,其中石英含量为 30%~72%,平均 45.8%,石英颗粒表面干净;长石含量为 6%~28%,平均 16.4%,斜长石含量高于碱性长石,溶蚀现象明显;岩屑含量 13%~62%,平均 37.8%,主要为火山岩岩屑,蚀变较强,凝灰岩、流纹岩和玻璃质碎屑重结晶作用明显.根据碎屑颗粒含量做成分三角图(图 1)<sup>[5]</sup>,结果表明土什布

收稿日期:2006-06-27;修订日期:2006-09-30;作者 E-mail: gaoyf\_1982@163.com

第一作者简介:高有峰(1982-),男,内蒙古包头人,硕士研究生,从事石油地质方面研究

● 王璞珺,程日辉,单玄龙,等.塔里木盆地孔雀河地区沉积体系有效烃源岩与选区评价研究,2005

度中等.填隙物含量 10%~21%,平均为 14.8%,填隙物成分主要为粘土质杂基、硅质和钙质胶结物。

## 2 成岩作用

### 2.1 破坏性成岩作用

土什布拉克组储集层,破坏性成岩作用有压实作用、胶结作用和交代作用,压溶作用表现不明显。

压实作用主要表现在以下几个方面:云母及部分岩屑受到刚性颗粒的挤压而弯曲变形,发生波状消光现象(图版 - );大部分样品中见有片状或条状矿物定向排列,同时颗粒间接触紧密,线状和少量凹凸状接触关系明显;个别样品中长石和云母颗粒沿解理缝裂开,形成一些次生孔隙,但数量极微,对机械压实造成的孔隙度减少无太大影响。

压溶作用一般发生在压实作用强烈的部位,与压实作用呈正相关关系<sup>[6]</sup>,在研究区土什布拉克组砂岩中,压实作用强烈的样品压溶作用却不显著,可能与这部分砂岩中的泥质和粘土质填隙物含量高有关。因为这种高含量的泥质和粘土质不同于促进压溶现象发生的碎屑颗粒周围的粘土薄膜,它比粘土薄膜厚很多,对机械压实的作用力有所削弱,而且成分混杂,不利于压溶物质的扩散,使压溶作用不能持续进行。

胶结作用是本区对砂岩物性破坏力最强的成岩作用类型,起胶结作用的物质主要为硅质、钙质、粘土质和浊沸石,其中硅质胶结主要表现在石英颗粒的次生加大上(图版 - ),其沿石英颗粒边缘生长,与原石英颗粒光性一致。通过扫描电镜观察,其加大级别为 1~2 级<sup>[7]</sup>。钙质胶结呈嵌晶状产出,碎屑颗粒间几乎不接触或只有点接触,说明方解石胶结形成于沉积物遭受轻微压实的早期。粘土质主要为绿泥石和伊利石,呈孔隙充填的方式产出。浊沸石胶结主要形成于成岩作用的后期。研究区砂岩起交代作用的物质为方解石和浊沸石,可见的交代类型有方解石交代粘土质填隙物、方解石交代碎屑颗粒使之只剩矿物假象(图版 - )和浊沸石交代硅质胶结物和碎屑颗粒,在其交代的同时也充填了一些剩余粒间孔和碎屑颗粒的溶蚀孔,对孔隙发育不利。

### 2.2 建设性成岩作用

土什布拉克组砂岩建设性成岩作用主要有溶解作用和重结晶作用。

溶解作用可以产生大量次生孔隙<sup>[6]</sup>。研究区砂岩从成岩阶段早期到晚期均有发生,具体表现如下:沿长石解理缝和长石表面发生的溶解作用(图版 - );某些岩屑内部不稳定组分的溶解,溶解后形成颗粒内溶孔(图版 - );对起胶结作用的浊沸石

的溶解,溶解后浊沸石残缺不全(图版 - )。

重结晶作用主要发生在研究区砂岩中含量较高的火山岩岩屑中,包括凝灰岩岩屑、流纹岩岩屑和玻璃质碎屑,其成分都以二氧化硅为主。在成岩过程中,随着温度压力的升高,隐晶质和非晶质的火山岩岩屑发生重结晶作用,在扫描电镜下能看到岩屑表面布满了新生成的石英,新生颗粒间形成部分次生晶间孔隙(图版 - )。

## 3 成岩作用与孔隙的关系

### 3.1 孔隙类型与特征

利用偏光显微镜对普通薄片以及铸体薄片(各 28 个样品)进行观察并做扫描电镜观察。针对研究区砂岩样品的孔隙发育特点,总结出 7 种孔隙类型(表 1),除剩余粒间孔属原生孔隙外,其余 6 种孔隙全部为次生孔隙。其中,剩余粒间孔、颗粒内溶孔和胶结物内溶孔数量较多,为研究区目的层段的主要孔隙发育类型。

表 1 土什布拉克组砂岩孔隙类型表

观察手段	孔隙类型	孔隙成因及特征	孔径/ $\mu\text{m}$
偏光显微镜	剩余粒间孔隙	碎屑颗粒周围未被完全压实和胶结的剩余孔隙空间。	20~200
	颗粒内溶孔	长石和岩屑粒内部分溶解形成的孔隙。	10~30
	铸模孔隙	碎屑颗粒被完全溶解,形成的孔隙。	100~250
	胶结物内溶孔	方解石和浊沸石胶结物溶解形成的孔隙。	30~50
扫描电镜	云母解理缝孔隙	云母受挤压变形,解理缝张开形成的孔隙。	<5
	重结晶晶间微孔隙	流纹岩、凝灰岩或玻璃质岩屑内部组分重结晶以及粘土矿物结晶时晶体之间的微孔隙。	0.5~5
	长石解理缝孔隙	长石受挤压变形,解理缝张开形成的孔隙,其间有丝缕状伊利石部分充填。	<2.5

### 3.2 成岩作用对孔隙演化的影响

压实作用、胶结作用、溶解作用和重结晶作用对土什布拉克组砂岩孔隙演化的影响最大,以孔雀 1 井和土什布拉克组向阳村剖面为例加以说明。孔雀 1 井钻穿土什布拉克组地层,在垂向上表现出受成岩作用影响的不同特征;向阳村剖面在垂向上同样可以按成岩作用影响的不同划分出 3 段。

压实作用是导致土什布拉克组下段砂岩孔隙减少的主要原因。通过对该段砂岩的压实率及原始孔隙度的计算,由压实作用造成的平均孔隙度减少为 24.8%<sup>[8]</sup>。同时,在砂岩中有较多塑性云母类矿物存在,这些塑性云母碎屑在压实过程中发生扭曲变形,常常被挤入剩余的粒间孔隙(图版 - ),造成大量的原生粒间孔隙的减少和储层渗透率的降低。

胶结作用主要影响土什布拉克组中段和下段孔隙演化,中段砂岩起胶结作用的物质主要为浊沸石、硅质

和钙质胶结物,下段为浊沸石胶结物与粘土矿物,且中段砂岩的胶结作用比下段强,原生孔隙几乎没有保留。

溶解作用是研究区砂岩储层物性改善的主要途径。土什布拉克组砂岩中长石和岩屑含量较高,薄片可见硅质胶结物稳定存在而斜长石碎屑强烈溶解的现象(图版 - ),说明晚期成岩阶段孔隙流体呈酸性。原因可能为烃源岩中的有机质在向烃类转化过程中产生的  $\text{CO}_2$  影响孔隙流体介质或者是由于泥岩中的干酪根在  $80^\circ\sim 120^\circ$  时含氧官能团因热裂解形成羧酸等有机酸所致<sup>[9]</sup>。此外,对于土什布拉克组中段和下段的砂岩,主要次生孔隙来源于胶结物的溶解。在成岩作用的早期,砂岩主要为硅质胶结,但在溶解作用发生前,浊沸石对硅质胶结物和一部分石英、斜长石颗粒进行了交代(图版 - ),主要是由斜长石蚀变(斜长石与石英和水反应)造成<sup>[10]</sup>。由于浊沸石保持稳定需要高的 pH 值和低的  $\text{CO}_2$  分压条件,所以其在酸性孔隙水的影响下也发生了部分溶解(图版 - )。

重结晶作用主要发生在土什布拉克组上段。在研究区砂岩中大部分火山岩岩屑,例如流纹岩岩屑、玻璃质碎屑等都发生了重结晶作用,使非晶质二氧化硅转变为石英微晶,这一过程可产生重结晶晶间微孔隙。这类孔隙虽然孔径很小,但通过铸体薄片与扫描电镜观察,其数量较多,也可产生一定量的储集空间(图版 - )。

研究区目的层段砂岩除上段外,原生孔隙几乎没有保留,次生孔隙相对发育,在土什布拉克组中段和下段地层中普遍见有胶结物溶孔和颗粒内溶孔。上段由于压实作用和胶结作用表现不明显,原生孔隙发育(图版 - ),其储层物性比中段和下段好,测量数据也反映了这一特点(表 2)。

## 4 结论

(1) 土什布拉克组砂岩岩石类型主要为长石岩

表 2 土什布拉克组砂岩铸体薄片分析数据表  
Table 2 Data of casting sandstone thin section of Tushibulake Formation

组段	平均孔径/ $\mu\text{m}$	平均喉道宽/ $\mu\text{m}$	配位数	平均面孔率	主要成岩作用类型
土什布拉克组上段(11)	86.0	13.3	2~3	13.3%	溶解、重结晶
土什布拉克组中段(10)	50.3	9.5	1~2	10.5%	胶结、溶解
土什布拉克组下段(7)	30.0	6.0	0~1	7.6%	压实、溶解

注:组段后括号内数字为铸体样品个数,面孔率测定在大庆油田有限责任公司勘探开发研究院地质实验室

屑砂岩和岩屑砂岩,成分成熟度低,结构成熟度中等。压实作用、胶结作用和交代作用是研究区砂岩的主要破坏性成岩作用,溶解作用和重结晶作用是主要的建设性成岩作用。

(2) 土什布拉克组砂岩可分为 3 段,下段主要受压实、胶结和溶解作用影响,发育少量胶结物溶孔和颗粒内溶孔;中段胶结作用、交代作用和溶解作用明显,发育胶结物溶孔;上段压实作用和胶结作用影响较小,剩余粒间孔隙发育,且配位数较高,反映出孔隙间的连通性较好,其储层物性比中段和下段好。

## 参 考 文 献

- [1] 刘玉魁,阎磊,冯游文.塔里木盆地孔雀河地区油气地质特征及有利勘探目标[J].天然气地球科学,2004,15(3):253-256.
- [2] 邱荣华,李永林,肖学,等.塔里木盆地孔雀河区块石油地质条件与勘探前景[J].河南石油,2003,17(1):2-5.
- [3] 郑秀娟,于兴河,赵德力,等.孔雀河斜坡志留系沉积特征及油气分布规律[J].天然气工业,2005,25(2):28-29.
- [4] 邓广君,赵锡奎,张小兵.塔里木盆地孔雀河地区断层研究及其控油意义[J].地质找矿论丛,2005,20(1):47-52.
- [5] 国家质量技术监督局.GB/T 17412.2—1998 沉积岩岩石分类和命名方案[S].北京:中国标准出版社,2000:5-6.
- [6] 郑浚茂,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,1989:53-84.
- [7] 陈丽华,姜在兴.储层实验测试技术[M].东营:石油大学出版社,1994:298-300.
- [8] Scheler M. Parameters influencing porosity in sandstones: a model for sandstone porosity prediction[J]. AAPG bulletin, 1987, 71: 485-491.
- [9] 罗静兰,张晓莉,张云翔,等.成岩作用对河流-三角洲相砂岩储层物性演化的影响[J].沉积学报,2001,19(4):541-547.
- [10] 黄思静,刘洁,沈立成,等.碎屑岩成岩过程中浊沸石形成条件的热力学解释[J].地质论评,2001,47(3):301-308.

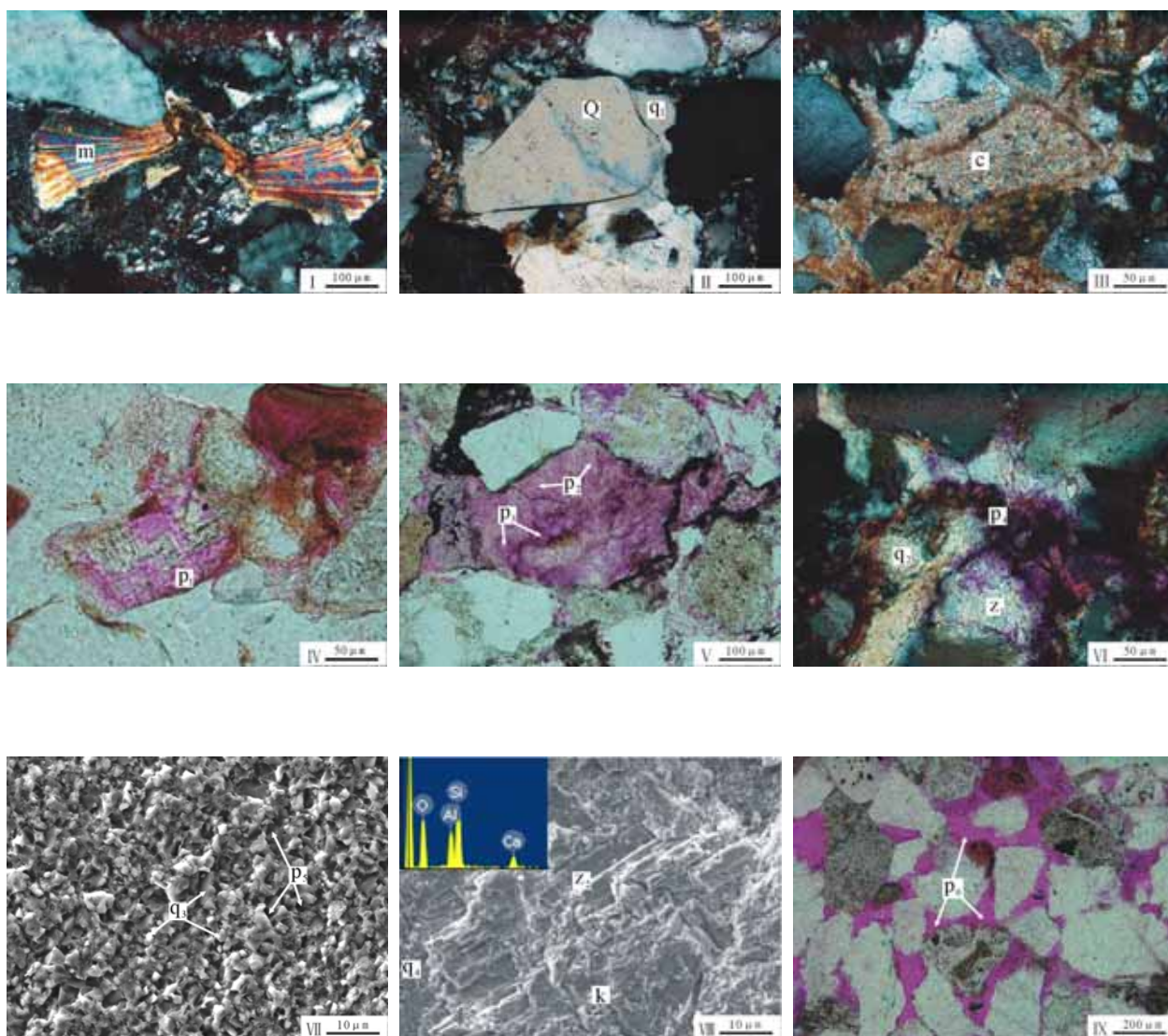
## DIAGENESIS OF SANDSTONE IN TUSHIBULAKE FORMATION AND ITS INFLUENCE ON PORE EVOLUTION, KONGQUEHE REGION

GAO You-feng, LIU Wan-zhu, WANG Pu-jun, BAI Xue-feng  
(College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun Jilin, 130061, China)

**Abstract:** The main sandstone types in Tushibulake Formation of Lower Silurian are feldspathic lithic sandstone and lithic sandstone in Kongquehe region of Xinjiang. The mechanical compaction and cementation are the main factors causing the loss of porosity for the sandstones, while the dissolution and recrystallization improve the properties in the later diagenetic stage. According to the lithologic characteristics and the diagenesis, we divide the sandstone of Tushibulake into three members. The below member suffered compaction strongly and a small part of intragranular solution pores were developed with the average area percent of pore of 7.6% which resulted from dissolution. Cementation is primary in the middle member. Solution pore in the cement can be found, resulted from dissolution in the later period and its average area percent of pore is 10.5%. The upper member is the best reservoir for the well-developed secondary pores with the average area percent of pore of 13.3%, resulted from the dominating dissolution and recrystallization as well as weak compaction.

**Key words:** Tarim Basin; Kongquehe region; Lower Silurian; diagenesis; pore evolution

图版



图版说明

——孔雀河地区向阳村剖面土什布拉克组下部,正交,压实作用造成黑云母(m)强烈弯曲变形; ——孔雀河地区向阳村剖面土什布拉克组中部,正交,石英颗粒(Q)的次生加大边(q<sub>1</sub>); ——孔雀河地区向阳村剖面土什布拉克组中部,正交,方解石(c)完全交代碎屑颗粒; ——孔雀1井,2 810.4 m,土什布拉克组中部,铸体,长石的粒内溶孔(p<sub>1</sub>); ——孔雀1井,2 411.6 m,土什布拉克组上部,铸体,岩屑内部晶间孔(p<sub>2</sub>)和溶蚀孔(p<sub>3</sub>); ——孔雀1井,2 805.54 m,土什布拉克组上部,铸体,浊沸石(z<sub>1</sub>)交代硅质胶结物(q<sub>2</sub>)后被溶蚀形成溶蚀孔隙(p<sub>4</sub>); ——孔雀1井,2 411.6 m,土什布拉克组上部,扫描电镜,岩内部重结晶作用生成的石英颗粒(q<sub>3</sub>)和颗粒间晶间孔(p<sub>5</sub>); ——孔雀1井,2 805.54 m,土什布拉克组中部,扫描电镜及浊沸石能谱图,浊沸石(z<sub>2</sub>)交代硅质胶结物(q<sub>4</sub>)和斜长石颗粒(k); ——孔雀1井,2 406.72 m,土什布拉克组上部,铸体,剩余粒间孔(p<sub>6</sub>)