

# 塔中地区石炭系碎屑岩储层成岩作用对孔隙演化控制的定量研究

王 华<sup>1</sup>, 郭建华<sup>2</sup>

(1. 中海石油(中国)有限公司深圳分公司, 广东广州 510240; 2. 中南大学地学与环境工程学院, 湖南长沙 410083)

**摘要:** 通过对10口井岩心、38张薄片的观察, 结合对43个样品的扫描电镜、镜质体反射率及包裹体测温等多种资料的分析, 定量研究了塔中地区石炭系碎屑岩成岩作用对孔隙演化的控制作用。研究表明, 目的层的储集空间以原生粒间孔和被溶蚀作用改造的原生粒间孔(即次生粒间孔)为主; 机械压实作用和胶结作用对孔隙的破坏最大, 压实减小的原生孔隙平均达20.7%, 而胶结作用减少的原生孔隙平均值仅为7.9%, 压实作用对孔隙的破坏远强于胶结作用, 且压实作用在整个孔隙演化中占主导地位; 溶蚀作用是唯一改善储层的成岩作用, 主要集中在早成岩A期、早成岩B期初、早成岩B期末和中成岩A期初4个阶段, 最终因溶蚀作用增加的孔隙度为3.2%。储层成岩定量研究和孔隙演化模式的建立揭示了孔隙演化的阶段性, 对认识储层特征和进一步勘探均具有重要意义。

**关键词:** 石炭系碎屑岩; 成岩作用; 孔隙度演化模式; 定量研究; 塔中地区

中图分类号: P588.21; P618.130.2<sup>+1</sup>

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2009)03-0277-08

## Quantitative research on the control of Carboniferous clastic reservoir diagenesis over pore evolution in Tazhong area

WANG Hua<sup>1</sup> and GUO Jian-hua<sup>2</sup>

(1. Shenzhen Branch of China National Offshore Oil Corp. Ltd., Guangzhou 510240, China;

2. School of Geosciences and Environment Engineering, Central South University, Changsha 410083, China)

**Abstract:** Diagenesis of Carboniferous clastic rocks controlling pore evolution in Tazhong area of Tarim basin was studied quantitatively through core or thin section observation and analysis of data from scanning electron microscope, vitrinite reflectance and inclusion thermometry. The results show that reservoir space of the objective interval is composed of primary intergranular pores and secondary intergranular pores. Mechanical compaction and cementation damaged pores seriously. Compaction decreased the original porosity by 20.7% and cementation only decreased the original porosity by 7.9%. The original porosity was damaged more seriously by compaction than by cementation. Compaction played an important role in the whole process of pore evolution. Dissolution was the only diagenetic action resulting in the improvement of reservoir space and mainly occurred in early diagenetic stage A, the beginning of early diagenetic stage B, the end of the early diagenetic stage B, and the middle diagenetic stage A. In addition, dissolution increased porosity by 3.2%. The research on reservoir diagenesis and the establishment of the porosity evolution model have revealed the stages of pore evolution, which are of great importance to reservoir study and further exploration.

**Key words:** Carboniferous clastic reservoir; diagenesis; pore evolution model; quantitative study; Tazhong area

收稿日期: 2008-03-12; 修订日期: 2009-01-20

基金项目: 高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(20050533019)

作者简介: 王 华(1981-), 男, 汉族, 硕士, 工程师, 主要从事油田开发地质的综合研究, E-mail: wanghua3@cnooc.com.cn.

塔中地区石炭系碎屑岩是该区高产工业性油气流层位之一,前人对其储层做了大量的研究工作(贾承造等,1992;郭建华等,1996;吕修祥等,1997;顾家裕等,1998),但由于其复杂多变的沉积特征,长期以来在成岩作用对孔隙的影响研究方面存在许多争论,特别是压实作用和胶结作用对孔隙演化的影响程度以及溶蚀作用对储层的贡献大小方面争论更多。蔚远江等(1995)认为胶结作用占主导地位,压实作用次之,且溶蚀作用对储层贡献较大;而翟永红等(1996)研究认为胶结作用较弱,储集空间主要为原生粒间孔。同时,次生孔隙形成的原因、期次以及其与压实作用的关系一直没有得到很好的解释。为此,本文选取了该区最具代表性的塔中4井、塔中6井、塔中10井、塔中12井、塔中16井、塔中17井、塔中47井、巴东2井、塘北2井、中1井等探井作为采样井,通过对这些探井的岩心、岩石薄片、扫描电镜、镜质体反射率、包裹体等资料的分析,从成岩作用特征着手,定量计算出石炭系碎屑岩各成岩作用

对储层孔隙的破坏和改善程度,总结出储层孔隙演化的阶段,深入剖析了上述争议和疑问。

## 1 工区概况

塔中地区在区域构造上位于塔里木盆地中央隆起带中的二级构造单元塔中低凸起,表现为一个较为完整的由多个次级构造带组成的大型背斜构造(图1)。塔里木盆地是一个稳定的克拉通内坳陷盆地(贾承造等,1992),受古陆及水下低隆封闭条件下周期性的海平面变化、构造沉降、气候及物源条件诸因素的影响,在石炭系发育了一套类型丰富、多旋回的碎屑岩、碳酸盐岩及过渡类型沉积(王毅等,1998)。

碎屑岩储层主要分布在卡拉沙依组砂泥岩段和巴楚组含砾砂岩段。其中含砾砂岩段主要为冲积-河流及滨岸沉积的砂体,局部为扇三角洲沉积砂体;砂泥岩段主要为陆架型扇三角洲沉积的砂体<sup>①</sup>。总

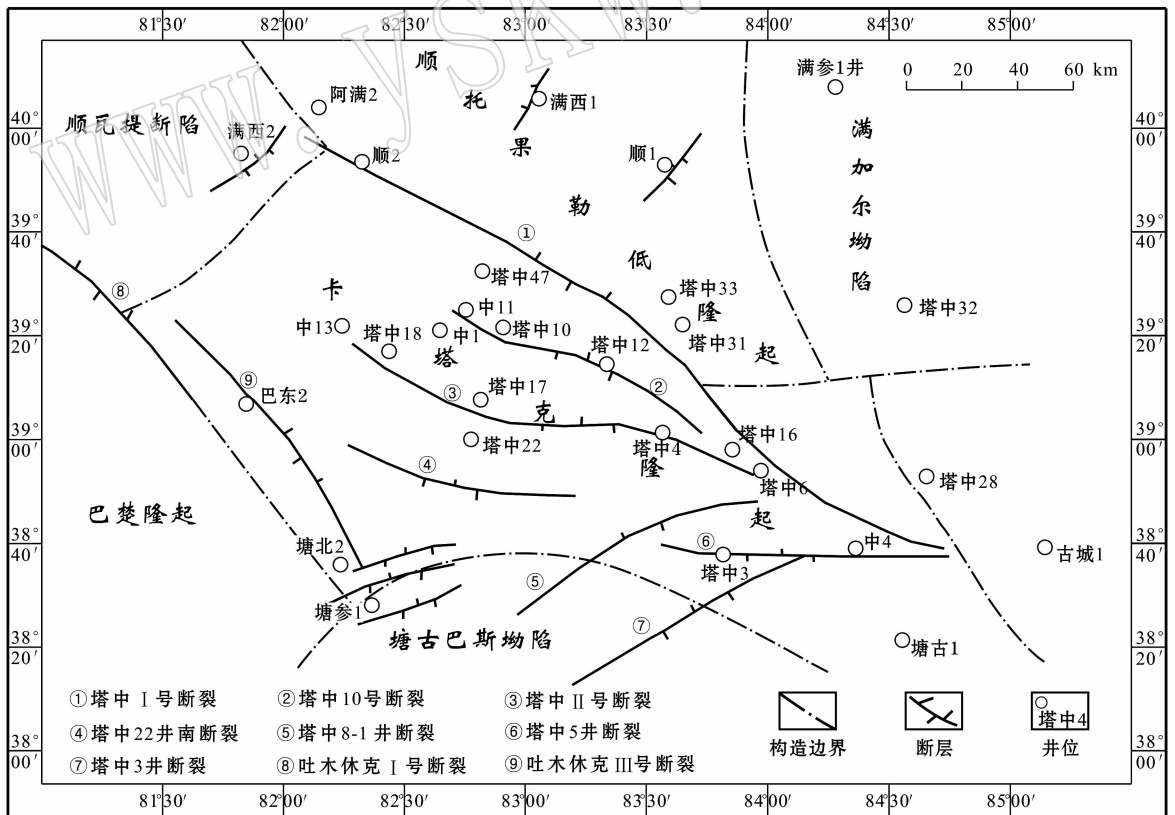


图1 塔中地区构造分区地理位置图

Fig. 1 Schematic map showing tectonic unit division in Tazhong area

① 郭建华,朱美衡,王 华,等. 2005. 塔中坳陷区石炭系-上泥盆统沉积、储层特征及非构造圈闭研究. 中国石化石油勘探开发研究院西部分院内部报告.

体上,两套储层的结构成熟度和成分成熟度都比较相近,即由分选中等、矿物成分成熟度中等的含砾中、细砂岩组成。岩石的主要碎屑组分是石英、岩屑和长石,其中石英含量较高,大多数在 60% ~ 90%,最高可达 99%;长石以正长石为主,含量在 3% ~ 10% 之间;岩屑在 10% ~ 30% 之间;胶结物主要为碳酸盐、粘土和硅质,含量分布极不均匀;杂基为泥质,其含量通常小于 10%。

## 2 储层的成岩特性

### 2.1 成岩作用类型

根据岩心、岩石薄片的观察,结合扫描电镜,认为区内碎屑岩的成岩作用类型以机械压实作用、胶结作用和溶蚀作用为主。具体见表 1 和图 2。

表 1 塔中地区石炭系碎屑岩成岩特性表

Table 1 Diagenetic characteristics of Carboniferous clastic rocks in Tazhong area

成岩类型	成岩现象概述	成岩程度
压实作用	碎屑岩是以刚性颗粒为主,具有较强的抗压能力,主要是以线及点-线的过渡方式接触。	中等
胶结作用	胶结物含量大多在 10% 以上,最高的可达 45%。胶结物类型丰富,主要为粘土质、硅质及以方解石为代表的碳酸盐胶结。	中等
溶蚀作用	区内碎屑岩储层的溶蚀作用比较发育,主要是对长石、二氧化硅和碳酸盐三大类矿物的溶解。	中等~强

注:针对整个孔隙演化过程来说,溶蚀作用强度是中等~强。

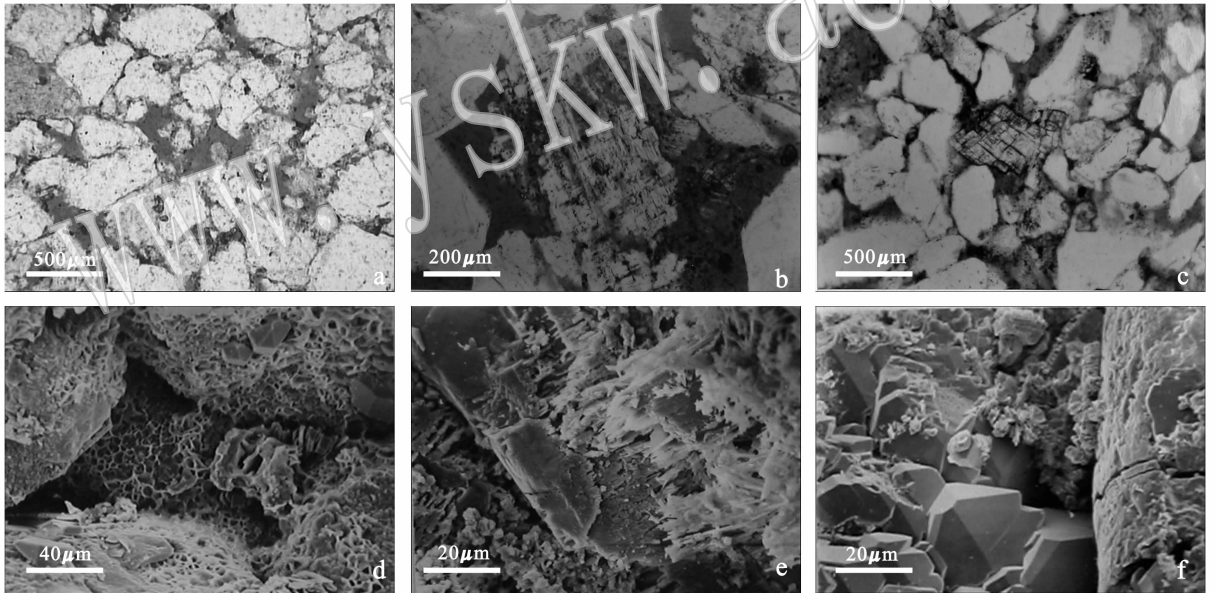


图 2 塔中地区石炭系碎屑岩铸体薄片和扫描电镜照片

Fig. 2 Microphotographs of Carboniferous clastic rocks in Tazhong area

a—粒间溶孔和粒内溶蚀孔,缝合线接触,铸体薄片,单偏光,中 1 井,巴楚组,4 430.8 m; b—长石沿解理缝破裂,粒内溶蚀孔发育,铸体薄片,单偏光,塔中 4 井,卡拉沙依组,3 301.93 m; c—铁白云石胶结及石英砂的粘土薄膜,铸体薄片,单偏光,塔中 10 井,卡拉沙依组,4 210.06 m; d—粒间溶孔、颗粒表面形成粘土衬垫并有自生石英,扫描电镜,塔中 6 井,卡拉沙依组,3 755.42 m; e—长石溶蚀形成的溶蚀孔及高岭石化,扫描电镜,塔中 10 井,卡拉沙依组,3 867.17 m; f—粒间缝、石英加大及高岭石填充,扫描电镜,塔中 6 井,卡拉沙依组,3 331.7 m  
a—intergranular pore and intragranular pore, sutured boundary. Thin section of casting, plainlight, Zhong 1, Bachu Formation, 4 430.8 m; b—feldspar fractures along cleavages. Thin section of casting, plainlight, Tazhong 4 well, Kalashayi Formation, 3 301.93 m; c—cement of ankerite and clay membrane of arenaceous quartz. Thin section of casting, plainlight, Tazhong 10 well, Kalashayi Formation, 4 210.06 m; d—intergranular pore, particle surface covered by clay membrane and overgrowth of quartz. Scanning electron microscope, Tazhong 6 well, Kalashayi Formation, 3 755.42 m; e—corrosion pore of feldspar and kaolinization. Scanning electron microscope, Tazhong 10 well, Kalashayi Formation, 3 867.17 m; f—intergranular crack, overgrowth of quartz and filling of kaolinite. Scanning electron microscope, Tazhong 6 well, Kalashayi Formation, 3 331.7 m

## 2.2 成岩作用阶段划分

依据中华人民共和国石油天然气行业标准《碎屑岩成岩阶段划分规范》(2003),目前石炭系正处于中成岩 A 期,部分进入中成岩 B 期(郭建华等,1996)。其主要的指标<sup>①</sup>为:①镜质体反射率  $R_o$  测定值为 0.59% ~ 1.23%,个别 > 1.3%,有机质主要处于成熟阶段;②根据包裹体测温数据,古地温大多分布在 59.5 ~ 140℃ 之间,少数 > 140℃;③长石、岩屑碎屑颗粒及碳酸盐均有溶解现象,常见溶解残余,次生孔隙发育;④大部分石英和长石具次生加大,而且自形晶面较发育,石英次生加大多为 I、II 级,少见 III 级次生加大;⑤粘土矿物蒙皂石几乎全部转化为伊利石和伊-蒙混层,且大部分井泥质岩中蒙皂石层占伊-蒙混层的 50% ~ 15% 以下。

## 2.3 储集空间

砂岩储层的孔隙按成因可分为原生和次生两大类。区内碎屑岩孔隙类型主要有原生粒间孔、次生粒间孔、粒内溶孔、超大孔、晶间微孔等(表2)。在对43个铸体样品图像分析统计中,有33个具有面孔率,碎屑岩储集空间几乎都为孔隙,没有缝、洞的出现。

表2 塔中地区石炭系碎屑岩的孔隙类型及成因  
Table 2 Pore types and genesis of Carboniferous clastic rocks in Tazhong area

孔隙分类	孔隙结构	形成作用	孔隙成因	所占比例
原生孔隙	原生粒间孔	沉积、胶结作用	压实和胶结作用后剩余粒间孔	27.5%
	晶间微孔	沉积作用	粘土矿物晶体间的孔隙	9.7%
次生孔隙	次生粒间孔	-	由颗粒边缘溶蚀、填隙物溶蚀所产生	48.2%
	粒内溶孔	溶蚀作用	由长石、岩屑内部溶蚀产生	14.7%
	超大溶孔	-	由粒间溶孔与邻近粒间孔合并而成	-

## 3 定量分析成岩作用对孔隙演化的控制

当沉积物进入埋藏成岩阶段后,其储集空间的再分配主要受各种成岩作用的控制。

## 3.1 成岩作用的定量分析

为了确定各成岩作用在孔隙演化中扮演的角色,对塔中地区部分井的原始孔隙度、压实率、胶结以及溶蚀程度进行了定量测算(表3)。

### (1) 原始孔隙度的确定

恢复砂岩原始孔隙度是定量评价不同类型成岩作用对原生孔隙改造(破坏或改善)的基本前提。不同分选状况下的未固结砂岩的初始孔隙度(Beard and Weyl, 1973)  $\Phi_{原} = 20.91 + 22.90/S_o$ ,式中  $\Phi_{原}$  为原始孔隙度;  $S_o$  为 Trask 分选系数 [Trask =  $(Q_1/Q_3)^{1/2}$ ,  $Q_1$  和  $Q_3$  相当于粒度累积曲线 25% 和 75% 处的粒径大小]。

### (2) 压实损失的孔隙度和损失率

压实损失的孔隙度  $\Phi_{压损} = \Phi_{原} - \text{粒间孔面孔率} / \text{总面孔率} \times \text{实测孔隙度}$ ; 压实孔隙度的损失率 =  $\Phi_{压损} / \Phi_{原}$ 。

### (3) 胶结损失的孔隙度和损失率

胶结损失的孔隙度  $\Phi_{胶损} \approx \text{胶结物的含量}$ ; 胶结孔隙度的损失率 =  $\Phi_{胶损} / \Phi_{原}$ 。

### (4) 溶蚀增加的孔隙度

由于溶蚀作用发生在多个时期,且受其他成岩作用的影响,因此各个时期溶蚀增加的孔隙度很难定量统计,能定量统计的次生孔隙度都是经过多种成岩作用后剩余的次生孔隙,即现今最终保留的次生孔隙。溶蚀增加的孔隙度  $\Phi_{溶} = \text{溶蚀孔面孔率} / \text{总面孔率} \times \text{实测孔隙度}$ 。

## 3.2 孔隙的破坏

孔隙的破坏主要是由机械压实作用和胶结作用所造成的。

### 3.2.1 机械压实作用对储层的影响

机械压实作用对孔隙的破坏是不可逆的,因此压实程度直接影响着储层的储集物性。目的层的压实程度属于中等:一方面,碎屑岩以刚性颗粒为主,具有较强的抗压能力;另一方面,早期的胶结物(碳酸盐、粘土矿物)填充了原生孔隙,起了很好的支撑作用,较大程度上抑制了压实的效果。虽然区内的压实作用不强烈,但因压实作用减少的原生孔隙达 13.0% ~ 26.0%,平均值为 20.7%,占总孔隙度的 56.2%,因此压实作用依然是对孔隙破坏最大的成岩作用。

① 郭建华,朱美衡,王 华,等. 2005. 塔中坳陷石炭系-上泥盆统沉积、储层特征及非构造圈闭研究. 中国石化石油勘探开发研究院西部分院内部报告.

表3 塔中地区石炭系碎屑岩孔隙演化数据表

%

Table 3 Pore evolution data of Carboniferous clastic rocks in Tazhong area

井名	原始孔隙度	压实损失孔隙度	压实损失率	胶结损失孔隙度	胶结损失率	溶蚀增加孔隙度	现今孔隙度
塔中4	38.2	20.6	53.8	6.4	16.6	4.2	15.5
塔中6	32.4	-	-	5.6	17.2	-	4.3
塔中10	37.2	21.8	58.6	5.7	15.3	4.5	14.2
塔中12	36.3	18.6	51.4	8.5	23.5	3.9	13.0
塔中16	36.4	26.0	71.5	1.2	3.2	4.4	13.6
塔中17	37.0	24.0	64.7	3.0	8.1	1.4	11.5
塔中47	35.3	13.0	36.9	14.4	40.7	0.6	8.5
巴东2	31.5	-	-	18.1	57.5	-	2.9
塘北2	33.4	-	-	8.5	25.4	-	3.9
平均值	35.3	20.7	56.2	7.9	23.1	3.2	9.7

3.2.2 胶结作用对储层的影响

胶结作用对孔隙的破坏主要表现为碳酸盐、粘土和硅质的胶结。根据塔中地区部分探井孔隙演化数据,因胶结损失的原始孔隙度为1.2%~18.1%,绝大部分都小于8.5%,平均值仅为7.9%,占总孔隙度的23.1%。由此可见,压实作用对孔隙的破坏远强于胶结作用。

(1) 碳酸盐的胶结

通过对10口井取心38张薄片的鉴定,塔中地区石炭系碳酸盐平均含量在5%左右。从图3可以看出,碳酸盐的含量与物性没有明显的相关性,即碳酸盐胶结物对储层影响较小。由于胶结物充填总是减少孔隙,因而可认为胶结物的含量大致相当于孔隙的减少量。因此,胶结减少的孔隙量约为5%。

(2) 硅质胶结

硅质胶结虽然较常见,但其总体含量较低,通过薄片鉴定统计其含量平均不到2%,且加大程度以I、II级为主,少数达到III级,还没有大规模占据孔

隙,因此对原生和次生孔隙的破坏程度较小。

(3) 粘土矿物的胶结 粘土矿物在目的层中的含量相对较低,通过薄片鉴定统计其含量在3%~6%,粘土矿物所占比例即为粘土矿物致使孔隙减少的量,平均在5%左右,可见其对孔隙有一定的影响。

3.2.3 压实作用和胶结作用对孔隙影响程度比较

为了更清晰地认识压实作用和胶结作用对储集层影响的程度,以中1井、塔中2井、塔中10井、塔中17井为例,利用Houseknecht(1987)建立的压实作用和胶结作用相对作用大小的概念,用上述压实损失的孔隙度和胶结损失的孔隙度的计算公式作进一步研究。

从图4中可以看出,因胶结作用减少的原生孔隙占总损失孔隙的5%~40%,而压实作用减少的原生孔隙达30%~70%,这也说明压实作用对储层的破坏比胶结作用强。

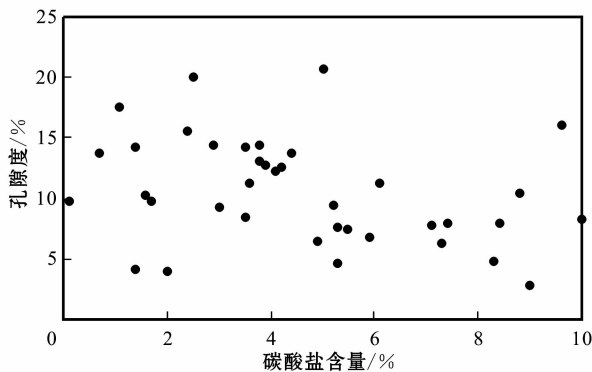


图3 10口取心井38个样品点的碳酸盐含量与物性的关系图  
Fig. 3 Relationship between carbonate content and porosity of 38 sampling sites

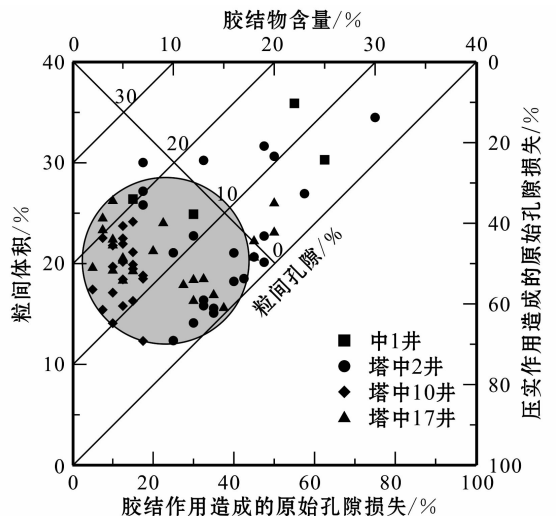


图4 压实作用与胶结作用对孔隙演化影响评价图  
Fig. 4 Impact of compaction and cementation on pore evolution

### 3.3 孔隙的改善

分析表明,溶蚀作用是唯一能改善储集空间的成岩作用。溶蚀作用对储层改善最明显的阶段集中在早成岩 B 期,这主要是由于早成岩 B 期为有机质成熟期,在有机质成熟过程中会排出大量的有机酸和无机酸(游国庆等,2006)。在酸性环境下长石、岩屑和碳酸盐容易发生溶蚀(刘林玉等,1998),因此,有机酸控制了溶蚀孔隙在时间和空间上的分布。

从塔中地区部分探井孔隙演化数据来看,溶蚀作用增加的孔隙度为 0.6% ~ 4.4%,平均在 3.2%。前文已经提到,次生孔隙形成过程中必定会被压实和胶结作用所破坏,因此实际统计出来的次生孔隙度是受其他成岩破坏之后保留下来的次生孔隙,它并不能完全真实地反映整个孔隙演化过程中溶蚀作用的强度,但它对孔隙演化过程的推导有非常大的意义。

#### 3.3.1 长石的溶蚀

长石属于易溶矿物,在酸性成岩环境下,长石往往沿其解理破裂、溶蚀(姚光庆等,2003)。工区内局部长石颗粒基本被完全溶蚀,颗粒所占的空间几乎全部转化为次生孔隙(图 2)。但由于区内长石含量较低,仅为 3% ~ 10%,从镜下长石颗粒被溶蚀的比例来看,长石溶蚀增加的孔隙度为 2% ~ 4%<sup>①</sup>,在一定程度上改善了储集物性。

#### 3.3.2 碳酸盐的溶蚀

碳酸盐也是属于易溶物质,由于早期形成的碳酸盐胶结物不发育,溶蚀主要是针对后期碳酸盐,但无论是溶蚀程度还是规模都非常有限:一方面,由于目的层到达成岩中期后属于深埋藏阶段,石炭系中上部缺少有机流体的运移通道;另一方面,在中成岩期时主要是以碱性环境为主,不利于碳酸盐的溶解。因此,后期胶结的碳酸盐矿物溶解程度很低,对储层几乎没有改善,贡献甚微。

#### 3.3.3 二氧化硅的溶蚀

二氧化硅的溶蚀在区内较为普遍,镜下表现为石英的加大边溶蚀(图 2)。但由于二氧化硅溶蚀需要碱性环境(郑浚茂等,1989),而工区到中成岩 A 期后才逐渐转变为碱性环境,正是由于所处碱性环境的时间较短,同时还受压实作用胶结作用的影响,因此导致二氧化硅溶蚀虽然普遍,但其对储层的改

善有限,仅增加孔隙 1% ~ 2%<sup>①</sup>。

二氧化硅的溶蚀作用分析,正好验证了为什么石炭系碎屑岩储层的储集空间以原生粒间孔和被溶蚀作用改造的原生粒间孔(即次生粒间孔)为主。

## 4 孔隙的演化模式

通过对孔隙形成、演化及控制因素的剖析,结合诸多影响孔隙演化的因素,如沉积环境、构造演化等,作出了塔中地区石炭系碎屑岩的孔隙演化模式图(图 5)。

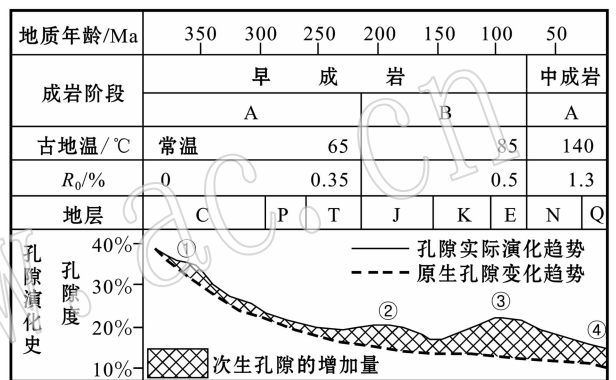


图 5 塔中地区石炭系碎屑岩储层孔隙演化模式

Fig. 5 Pore evolution model of Carboniferous clastic reservoir in Tazhong area

从图 5 中可以看出,机械压实作用自始至终伴随整个孔隙的演化过程,且在演化中占有重要地位。根据次生孔隙的形成期次,塔中石炭系碎屑岩储层的孔隙演化可分 4 个阶段:

① 在早成岩 A 期,沉积物埋深较浅,成岩作用以机械压实排出粒间孔隙水、孔隙急剧减少为特征;同时,石炭系沉积完初期发生一次小幅度抬升,使石炭系短期暴露地表发生剥蚀,受大气淡水淋滤作用的影响,储层物性得到较大的改善,增加次生孔隙 2% ~ 5%。随后地层稳定沉降,压实作用对孔隙的影响较大。Beard 和 Weyl(1973)认为,埋藏压实达到早成岩 A 期末,原始孔隙减少量最大,该结论在本工区也得到了较好地验证。当持续到早成岩 A 期末时,孔隙度降低至 20% 左右;

② 在早成岩 B 期初,有机质进入生烃期,排出有机酸,使长石和岩屑发生溶蚀,对储层有明显的改

① 郭建华,朱美衡,王 华,等. 2005. 塔中坳陷区石炭系-上泥盆统沉积、储层特征及非构造圈闭研究. 中国石化石油勘探开发研究院西部分院内部报告.

善作用,此时机械压实作用对储层的影响仍然较大,但净增的孔隙依然达到3%~5%;

③ 当演化到达早成岩 B 期末时,随着古地温的升高,有机质进入生烃高峰期,大量排出有机酸,沉积物进入 Surdam 等(1989)所划分的“强成岩带”,溶蚀产生的次生孔隙达到10%左右,对储层有非常大的改善作用,此时孔隙度达到了深埋藏期的最大值。但同时随着地层继续沉降,上覆压力不断增加,且自生石英和自生粘土矿物也开始沉淀,最后净增加的孔隙量在6%~10%;

④ 当进入中成岩 A 期后,温度在120~160℃范围时,有机酸大幅度降低,溶蚀作用减弱;同时,CO<sub>2</sub>分压升高,进入亚铁碳酸盐沉淀时期,粘土矿物、碳酸盐和硅质胶结物大量生成并胶结沉淀,胶结作用占主导地位,次生孔隙不断减少。

最终,塔中石炭系碎屑岩储层的储集空间以原生粒间孔和被溶蚀作用改造的原生粒间孔(即次生粒间孔)为主,实际孔隙度在10%~16%之间。

## 5 结论

(1) 在结合扫描电镜资料分析的基础上,根据10口井的岩心观察以及38张薄片鉴定,确定研究区内的目的层段发育的主要成岩作用包括压实作用、胶结作用和溶蚀作用。其中压实程度中等、胶结程度中等、溶蚀程度为中等~强。

(2) 对研究区储层的孔隙具有破坏作用的成岩作用包括机械压实作用和胶结作用。压实减小的原生孔隙平均达20.7%;胶结作用可分为碳酸盐胶结、硅质胶结和粘土矿物胶结,因胶结损失的原生孔隙平均值为7.9%。

(3) 溶蚀作用是唯一能改善储集空间的成岩作用。长石、碳酸盐以及二氧化硅的溶蚀在早成岩 B 期最为显著,最终因溶蚀作用增加的孔隙度平均值为3.2%。

(4) 根据次生孔隙的形成期次,研究区碎屑岩储层的孔隙演化可分早成岩 A 期、早成岩 B 期初、成岩 B 期末和中成岩 A 期4个阶段。最终,形成的储集空间以原生粒间孔和被溶蚀作用改造的原生粒间孔为主,实际孔隙度在10%~16%之间。

## References

- Beard D C and Weyl P K. 1973. Influence of texture on porosity and permeability of unconsolidated sand[J]. AAPG Bulletin, 57(2): 349~369.
- Gu Jiayu, Ning Congqian and Jia Jinhua. 1998. High-quality reservoir features and genetic analysis of clastic rocks in the Tarim basin[J]. Geological Review, 44(1): 83~89(in Chinese).
- Guo Jianhua, Zhai Yonghong, Liu Shengguo, et al. 1996. Carboniferous Sequence Stratigraphy and Non-structure in Tazhong Area[M]. Beijing: Geological Publishing House.
- Houseknecht D W. 1987. Assessing the relative importance of compaction processes and cementation to reduction of porosity in sandstones[J]. AAPG Bulletin, 71: 633~642.
- Industry Criterion of Oil and Gas of P R C. 2003. SY/T 5477-2003, Division criterion of clastic rock diagenetic stage[S]. Beijing: Petroleum Industry Press(in Chinese).
- Jia Chengzao, Yao Huijun, Wei Guoqi, et al. 1992. The structure evolution and the geological characteristic of the main tectonic units in Tarim Basin[A]. Tong Xiaoguang and Liang Digang. The Collection of the Oil & Gas Exploration in Tarim Basin[C]. Publishing House of Technology and Sanitation, 207~225(in Chinese).
- Liu Linyu, Chen Gang, Liu yiqun, et al. 1998. Analysis on influencing factors of solution-type secondary pore-evolution in clastic reservoirs[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 16(2): 97~101(in Chinese).
- Lü Xiuxiang, Hu Xuan, Xiong Jihui, et al. 1997. Hydrocarbon accumulation and distribution in Tazhong low uplift of Tarim basin[J]. Oil & Gas Geology, 18(4): 288~293(in Chinese).
- Surdam R C, Crosseg L J, et al. 1989. Organic-inorganic interactions and sandstone diagenesis[J]. AAPG Bulletin, 73(1): 1~23.
- Wang Yi, Ji Youliang, Xiong Jihui, et al. 1998. Sequence stratigraphic analysis of the Neodevonian-Carboniferous in the Tarim basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 16(2): 75~81(in Chinese).
- Wei Yuanjiang, He Yuanbi and Yang Youyun. 1995. Preliminary research on diagenesis and evolution characteristics of CI Oil Group reservoir of Carboniferous system in Tazhong-4 well area[J]. Journal of Xi'an Petroleum Institute, 10(1): 8~13(in Chinese).
- Yao Guangqing and Sun Shangru. 2003. Characteristics of authigenic clay minerals in coarse-grained and low permeability reservoirs in coal measures and its effect on reservoir property——an example of oil reservoir in jurassic sangonghe formation in yanqi basin[J]. Oil & Gas Geology, 24(1): 65~69(in Chinese).
- You Guoqing, Pang Jiahua, Liu Shuqin, et al. 2006. Diagenesis and pore evolution of Paleogene sandstone reservoir in Dongying depression[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 25(3): 237~242(in Chinese with English abstract).
- Zhai Yonghong, Guo Jianhua and Liu Shengguo. 1996. Study on the origin of quality clastic rocks reservoir in Carboniferous from Tazhong area[J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 16(2): 55~61(in

Chinese).

Zheng Junmao and Pang Ming. 1989. Diagenesis Study of Clastic Rock [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press(in Chinese).

### 附中文参考文献

顾家裕,宁从前,贾进华. 1998. 塔里木盆地碎屑岩优质储层特征及成因分析[J]. 地质论评,44(1):83~89.

郭建华,翟永红,刘生国,等. 1996. 塔中地区石炭系层序地层学与非构造圈闭[M]. 北京:地质出版社.

贾承造,姚慧君,魏国齐,等. 1992. 塔里木盆地板块构造演化和主要构造单元地质构造特征[A]. 童晓光,梁狄刚. 塔里木盆地油气勘探论文集[C]. 新疆科技卫生出版社,207~225.

刘林玉,陈刚,柳益群,等. 1998. 碎屑岩储集层溶蚀型次生孔隙发育的影响因素分析[J]. 沉积学报,16(2):97~101.

吕修祥,胡轩,熊继辉,等. 1997. 塔里木盆地塔中低凸起油气聚集

与分布[J]. 石油与天然气地质,18(4):288~293.

王毅,纪友亮,熊继辉,等. 1998. 塔里木盆地上泥盆统与石炭系层序地层特征分析[J]. 沉积学报,16(2):75~81.

蔚远江,何远碧,杨友运. 1995. 塔中4井区石炭系CI油组储层成岩作用及其演化特征[J]. 西安石油学院学报,10(1):8~13.

姚光庆,孙尚如. 2003. 煤系粗粒低渗储层自生粘土矿物特征及其对储层特征的影响——以焉耆盆地侏罗系三工河组油层为例[J]. 石油与天然气地质,24(1):65~69.

游国庆,潘家华,刘淑琴,等. 2006. 东营凹陷古近系砂岩成岩作用与孔隙演化[J]. 岩石矿物学杂志,25(3):237~242.

翟永红,郭建华,刘生国. 1996. 塔中地区石炭系碎屑岩深埋藏优质储层成因探讨[J]. 矿物岩石,16(2):55~61.

郑浚茂,庞明. 1989. 碎屑储集岩的成岩作用研究[M]. 武汉:中国地质大学出版社.

中华人民共和国石油天然气行业标准. 2003. SY/T 5477-2003, 碎屑岩成岩阶段划分规范[S]. 北京:石油工业出版社.

www.yskw.ac.cn