

文章编号: 1000-0550(2003)04-0607-07

# 大港滩海区第三系湖相混积岩的成因与成岩作用特征<sup>①</sup>

马艳萍 刘立

(吉林大学地球科学学院 长春 130061)

**摘要** 大港滩海第三系沙河街组一段下部分布的混积岩主要为陆源碎屑质—碳酸盐混积岩, 其次为碳酸盐质—陆源碎屑混积岩和含碳酸盐—陆源碎屑混积岩。其中白水头地区的混积岩发育于辫状河—扇三角洲前缘水下分流河道沉积体系之中, 为相缘渐变混合沉积的产物; 而马东—马东东地区的混积岩发育于重力流沉积体系之中, 为浊流沉积的产物。本区混积岩主要经历了压实作用、胶结作用和溶蚀溶解作用。孔隙流体的化学性质经历了由碱性到酸性, 最后又回到碱性的变化历程。其中海绿石、微晶方解石、部分石英溶蚀和连生方解石为碱性流体条件下的共生组合; 次生加大石英、油气侵位、溶蚀溶解、高岭石为酸性条件下的共生组合; 伊利石、绿泥石、钠长石化、孔隙充填方解石和白云石为碱性流体条件下的共生组合。

**关键词** 湖相混积岩 鲕粒 成岩作用 流体演化

**第一作者简介** 马艳萍 女 1976年出生 硕士 盆地流体与成岩作用

**中图分类号** P588.2 **文献标识码** A

混合沉积很早就引起人们的注意, 1984年 Mount 提出“混合沉积物”(mixed sediments)的概念<sup>[1]</sup>, 用以表述陆源碎屑与碳酸盐混合沉积的产物。杨朝青和沙庆安将这种混合沉积物称为混积岩<sup>[2, 3]</sup>, 因此, 混积岩属于碳酸盐岩与陆源碎屑岩之间的过渡类型。近年来, 有关混合沉积的分类及形成机制已引起国内外一些学者的重视<sup>[2~10]</sup>, 这些研究主要集中于探讨海平面变化及构造升降对混合沉积的影响上, 而对湖相混积岩及其成岩作用尚未引起人们的关注。本文试图在湖相混积岩岩石学特征和成因研究的基础上探讨湖相混积岩的成岩作用特征。

研究样品系大港滩海的白水头及马东—马东东地区第三系沙一段下部(板2、板4及滨I油组), 该区位于黄骅裂谷盆地内的北大港潜山构造带的东倾没端, 邻近歧口拗陷, 西侧为沧县隆起, 东南为埕宁隆起, 北部为燕山褶皱带。

研究中采用常规薄片以点记法结合线记法统计并确定混积岩类型、胶结物含量以及接触关系比; 用铸体薄片观察次生孔隙发育情况; 用茜素红-S染色区分方解石和白云石; 利用扫描电镜鉴定粘土矿物。

## 1 混积岩组成与成因

混积岩的分类方案较多<sup>[2, 6, 7]</sup>, 本文采用张雄华的粘土、陆源碎屑(颗粒或灰泥)和碳酸盐三端元分类方

案<sup>[6]</sup>。陆源碎屑颗粒与碳酸盐碎屑的统计表明, 沙一下主要发育陆源碎屑质—碳酸盐混积岩, 其次为碳酸盐质—陆源碎屑混积岩和含碳酸盐—陆源碎屑混积岩(图1)。其中, 陆源碎屑含量为33.8%~81.4%, 为岩

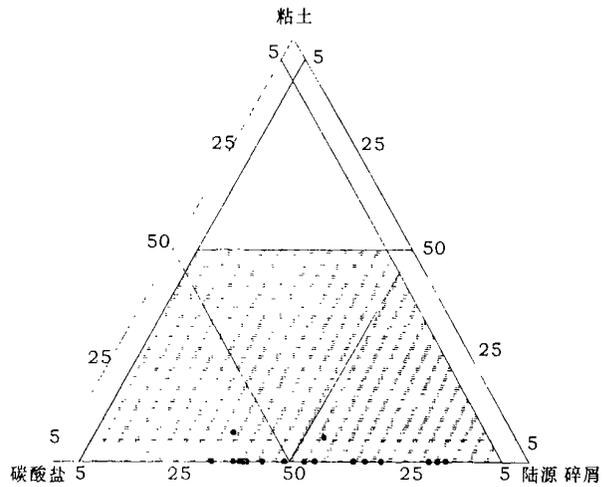


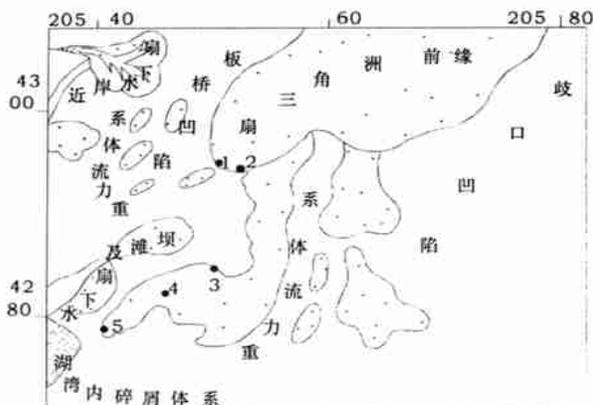
图1 大港滩海沙一下混积岩的类型  
(混积岩分类据张雄华, 2000, 投影点为本次统计结果)

Fig. 1 The types of "Hunji" rock in beach area, Danggang (Classification of "Hunji" rock according to Zhang Xionghua, 2000. Projective points are statistic data of this study)

<sup>①</sup> 研究工作得到中国石油大港油田分公司勘探开发技术研究中心的资助  
收稿日期: 2002-08-21 收修改稿日期: 2002-10-28

屑、长石和石英；碳酸盐内碎屑含量为 0.7% ~ 66.2%，主要为鲕粒<sup>[11]</sup>，其类型复杂，形状不一，主要由表鲕(8.95% ~ 31.1%)、假鲕(0.7% ~ 30.7%)和真鲕(0.4% ~ 21.8%)组成；粘土含量较低，为 5.4% ~ 6.5%，且分布不均。

研究区混积岩主要分布于白水头地区(图2)，见于白10-3井及白10-1井，发育于辫状河一扇三角洲



1. 白10-1井; 2. 白10-3井; 3. 港深67井;  
4. 港深40井; 5. 港深59井

图2 研究区位置与沉积环境

Fig. 2 Map of sedimentary system distribution of the study area

前缘水下分流河道砂体之中。马东—马东东地区也有分布，见于港深40井、港深67井及港深59井，主要发育于重力流沉积体系之中。白水头地区的混积岩为相缘渐变混合沉积<sup>[6]</sup>，其证据主要为：1)混积岩和其上下岩石在成分、结构和沉积构造上为渐变过渡关系，未见突变标志；2)混积岩成分和其上覆及下伏的碳酸盐岩和陆源碎屑岩的成分一致。白水头地区陆源碎屑岩—湖相碳酸盐岩混合沉积体系的形成是由于沉积物受水流作用发生侧向迁移，必然会导致相邻的沉积物在相缘(或相边界)发生混合。而马东—马东东地区的混积岩则为浊流混合沉积，主要是由于浊流作用使混积岩产生在一套细粒浊积岩中，形成含碳酸盐—陆源碎屑混积岩夹在灰岩之中。

## 2 成岩作用

### 2.1 成岩作用类型

#### 2.1.1 机械压实作用

在混积岩中观察到鲕粒与碎屑颗粒之间存在点、线、凹凸接触(图3)。其中，点接触随埋深增加并不是一直减小，在3200m左右，点接触达到约70%；在3700m左右，点接触减少到30%，而线接触和凹凸接

触却达到峰值；在3900~4000m之间，点接触又有了增大，接近80%，而线接触和凹凸接触却减少，这主要是由于埋深在3900~4000m区间内，胶结作用占主导，连生方解石胶结物生成一致密层(见港深67井、白10-3井部分井段)，对压实作用造成屏蔽，减弱了压实作用对物性的影响。

在压实条件下，当塑性颗粒与刚性接触时，塑性颗粒易于变形。然而，薄片观察表明，鲕粒凸进碎屑石英颗粒之中，鲕壳非常完整(照片1)。

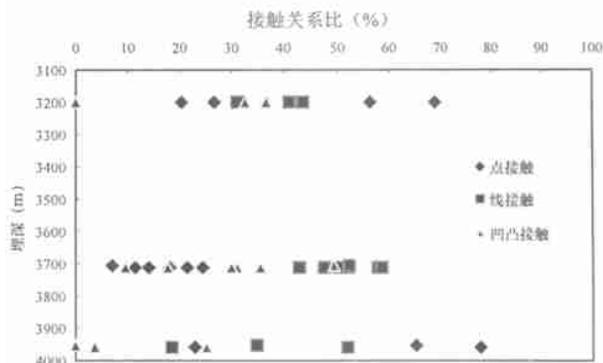
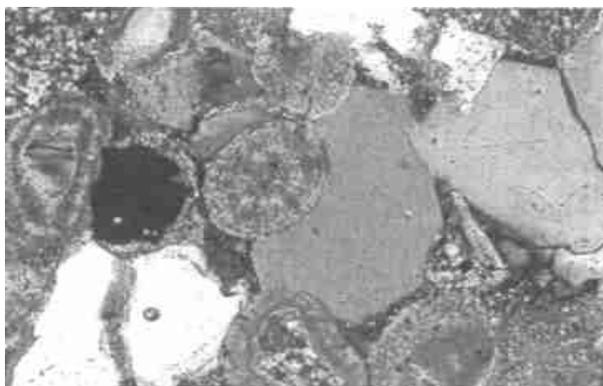


图3 鲕粒与碎屑颗粒之间的接触关系

Fig. 3 The contact relationship between oolites and clastic grains



照片1 鲕粒(Q)与石英(O)凹凸接触(白10-3井, 3708.53m. 正交偏光, 10×10)

Photo. 1 Concavo-convex contact between quartz(Q) and oolite(O)(Well Bai10-3, 3708.53m, Dagang. Crossed polars, 10×10)

#### 2.1.2 胶结作用

混积岩的胶结物主要为方解石胶结物(微晶方解石和亮晶方解石)，其次为次生加大石英、次生加大长石以及白云石(图4)。胶结物含量统计表明，方解石胶结物与次生加大石英呈互为消长的关系。其中，方解石胶结物含量的高峰值在3890~3990m之间，而次生加大石英高峰值在3690~3790m之间。次生加大长石与白云石含量较低，且分布不均一。

### 2.2 成岩共生序列与成岩阶段

根据矿物共生序列的判别标准<sup>[12]</sup>及研究区混积

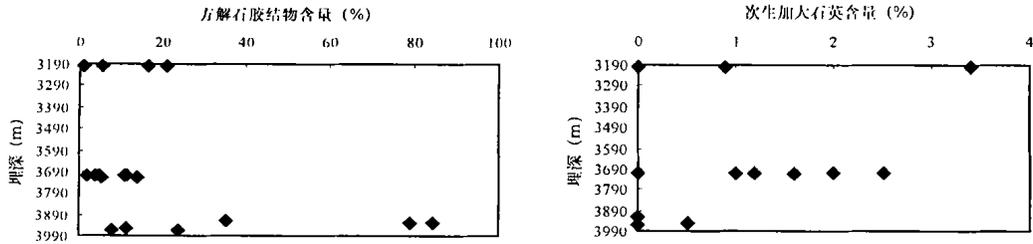


图 4 胶结物含量随埋深变化关系

Fig. 4 The changes of cement content with depth

岩显微镜下观察确定了成岩共生序列, 这一共生序列是综合了研究区所有的混积岩样品。

根据中石化新星石油公司大港油田分公司对大港滩海区成岩阶段的划分, 研究区样品埋深在 3 100 ~ 4 000 m 之间, 处于晚成岩 A 期。自生矿物共生顺序为(图 5): 海绿石、微晶方解石、连生方解石、次生加大石英、高岭石、伊利石、绿泥石、钠长石化、孔隙充填方解石、白云石, 其主要特征为:

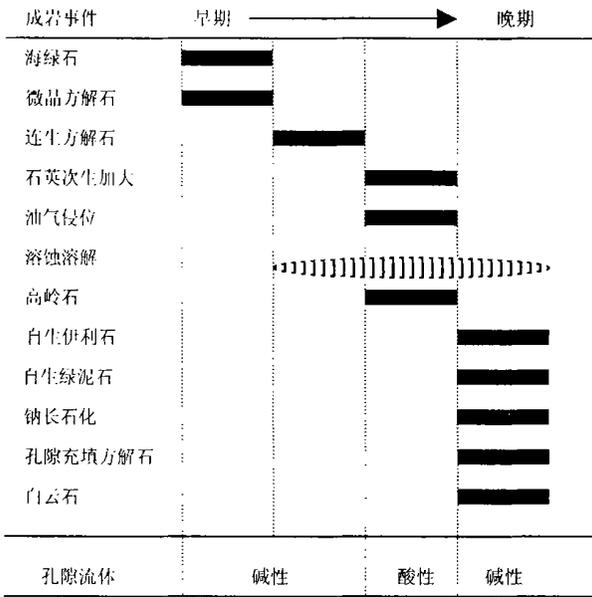


图 5 混积岩成岩共生序列

Fig. 5 Paragenetic sequences of "Hunji" rock

海绿石呈粒状集合体, 为圆形, 绿色集合偏光及较高的双折射率。海绿石一般形成于海相环境, 湖相环境中也可见到。

微晶方解石结晶颗粒细小, 碎屑颗粒之间几乎全为点接触或不接触, 主要见于港深 59 井、港深 67 井及白 10-3 井部分井段。在鲕粒和碎屑颗粒的周边微晶方解石呈针状垂直、等厚分布, 并且在颗粒紧密接触处变薄或消失。微晶方解石包裹的碎屑石英中未见石英次生加大现象, 说明微晶方解石的形成早于石英次生

加大。

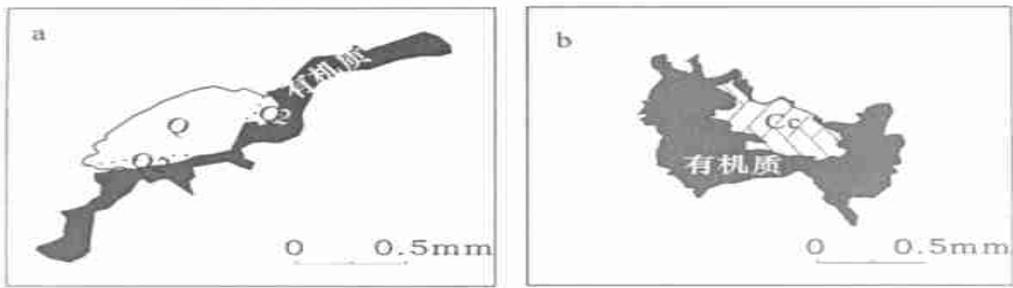
一般情况下, 连生方解石沉淀于微晶方解石的外侧(靠近孔隙)。在连生方解石胶结的碎屑石英中仅见极个别的次生加大现象, 说明连生方解石主要形成于次生加大石英之前。孔隙充填方解石充填在石英次生加大后剩余的孔隙空间, 并明显交代了次生加大石英, 这说明次生加大石英形成早于孔隙充填方解石。总体上看方解石的形成是多期的。

白云石交代方解石, 粉晶白云石充填于孔隙充填方解石沉淀后剩余的孔隙空间之中, 并且也交代了次生加大石英, 说明白云石的形成晚于孔隙充填方解石。

薄片及扫描电镜观察表明, 石英胶结物以次生加大石英和微晶或粗晶孔隙充填方式产出。加大边一般不完整, 形状不规则。在这里有一个特别现象需要指出, 在次生加大石英与碎屑石英之间存在不连续线状分布的微晶方解石, 即粘土线位置并非粘土而为微晶方解石, 其宽度最大可达 0.2 mm, 这也说明次生加大石英形成于微晶方解石之后。

从 3 400 m, 油气开始大规模侵位, 并抑制了自生矿物的形成。在薄片观察到烃类分布于次生加大石英的外侧(图 6a), 说明油气侵位晚于石英次生加大。实际上, 在次生加大石英中已观察到有机包裹体, 说明小规模的烃类运移几乎与次生加大石英同步。

铸体薄片和扫描电镜观察分析表明, 本区溶蚀溶解作用主要为部分长石、石英和岩屑的溶蚀和方解石胶结物、鲕粒的溶解。长石边缘被溶成港湾状、圆弧状、齿状等不规则形状。还可见长石被溶蚀, 有的见长石沿解理缝溶蚀成不规则状, 有的沿聚片双晶溶蚀, 有的长石内溶成蜂窝状, 强烈溶蚀时长石只存留残骸, 甚至被溶成铸模孔。岩屑边部被溶成不规则状, 形成粒间溶孔, 有的岩屑内部的不稳定矿物也被溶蚀掉, 残留石英小颗粒, 形成粒内溶孔。还可见石英及加大边部位亦被溶蚀为圆弧状和齿状等不规则形状。方解石胶结物边缘及内部被溶成不规则状, 有的方解石胶结物残留在有机质中(图6b), 说明方解石胶结物的溶解发



a. 有机质分布在石英次生加大(Q2)一侧, 港深 40 井, 4195.34m (Organic distributed along quartz overgrowth, Well Gangshen 40, 4195.34m); b. 有机质包裹方解石(CC), 且方解石边缘被溶, 港深 59 井, 3950.52 m (Calcites distributed in organic and the margin of calcite was dissolved, Well Gangshen 59, 3950.52m)

图 6 成岩序列素描图

Fig. 6 The sketch map of paragenetic sequence

表 1 混积岩各类孔隙大小统计

Table 1 Size of porosity in "Hunjí" rock

| 样号      | 埋深/m     | 长石溶孔/% | 石英溶孔/% | 岩屑溶孔/% | 方解石溶孔/% | 鲕粒溶孔/% | 原生孔隙/% | 混合孔隙/% |
|---------|----------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|
| W10-3-2 | 3 960    | 30.1   | 9.6    | 1.9    | 5.1     | 6.5    | 18.6   | 28.2   |
| W10-3-5 | 3 713.47 | 26     | 7.7    | 2.5    | 5.1     | 11.7   | 2.5    | 22     |
| G40-1   | 4 195.34 | 49.4   | 4.9    | 7.4    | 0       | 17.3   | 3.7    | 17.3   |
| G40-2   | 4 194.88 | 42.2   | 6      | 9.6    | 1.2     | 21.7   | 13.3   | 6      |

注: 混合孔隙为分辨不清原生孔隙与次生孔隙边界的孔隙

生在油气侵位之后。

此外, 鲕粒内溶孔为混积岩区一大特色, 可见鲕粒内部不稳定矿物如长石、重结晶方解石等被溶蚀, 也可见部分微晶方解石环被溶解, 形成鲕粒的环状溶解。也有的鲕粒边缘及内部一起被溶蚀。用线记法统计混积岩铸体薄片孔隙大小(表 1), 结果表明长石比方解石易于发生溶解, 鲕粒溶孔所占的孔隙仅次于长石溶蚀孔隙, 因此其可作为重要的流体运移通道。

薄片观察表明, 高岭石集合体在单偏光镜下多色性为淡黄色, 正交偏光镜下呈一级灰黑干涉色。在扫描电镜下, 高岭石集合体呈页片状。高岭石充填于次生加大石英外侧, 局部还可见高岭石被孔隙充填方解石交代, 说明高岭石的形成晚于次生加大石英, 早于孔隙充填方解石。

伊利石和绿泥石, 特别是绿/伊混层在本区也有分布。在扫描电镜下伊利石呈片状集合体, 并见有搭桥状现象, 绿泥石呈叶片状集合体。

长石的钠长石化包括钾长石的次生加大、斜长石的次生加大和孔隙中的自生钠长石晶体, 这些都属于钠长石化。钠长石化在镜下见到颗粒表面比较脏, 而钠长石化部分比较明亮。根据薄片观察, 次生加大长石早于孔隙充填方解石, 而连生方解石包裹的长石中从未见到次生加大现象, 说明次生加大长石的形成

时间与次生加大石英类似, 晚于连生方解石, 早于孔隙充填方解石。虽然未见到次生加大长石与次生加大石英之间的交切关系, 但是, 一般情况下次生加大石英的沉淀温度低于次生加大长石的形成温度范围。因此, 可以推断次生加大石英的形成早于次生加大长石。

### 3 成岩流体演化

不同的胶结物与自生矿物及其沉淀顺序反映孔隙流体温度、压力和成分的变化<sup>[13]</sup>。研究表明, 研究区混积岩的孔隙流体的化学性质经历了由碱性到酸性, 最后又回到碱性的变化历程。其中海绿石、微晶方解石、部分石英溶蚀和连生方解石为成岩早期碱性流体条件下的成岩序列; 次生加大石英、油气侵位、溶蚀溶解和高岭石沉淀为酸性流体条件下的成岩序列; 伊利石、绿泥石、钠长石化、孔隙充填亮晶方解石和白云石为晚期碱性流体条件下的成岩序列。

#### 3.1 早期碱性流体阶段

成岩早期的碱性环境是由沉积水体继承来的。在研究区的南部沉积有碳酸盐内碎屑灰岩和泥晶灰岩, 说明该时期的沉积水体偏碱性。海绿石、黄铁矿、微晶方解石和连生方解石的沉淀也反映了当时的孔隙水为碱性。

在这种环境中, 石英等碱不稳定矿物会受到一定

程度的溶解,已有许多学者对石英溶解的可能性进行过探讨<sup>[14]</sup>。这一阶段形成了鲕粒与碎屑石英颗粒之间特殊的凹凸接触现象。这一现象可以根据压溶作用原理解释<sup>[12]</sup>(图7),但又不同于传统的石英颗粒之间的压溶作用,它不出现缝合接触。这主要是由于相互接触的两个颗粒成分不同,对溶蚀它们的流体碱度要求也就不同,不象两个石英颗粒在同一流体条件下都会溶蚀进而在应力作用下产生缝合接触。成岩早期的浅埋阶段,碱性孔隙流体使得石英被溶解,在鲕粒与石英颗粒的接触点上来自上覆地层负荷压力的分压占优势,其高于接触点与孔隙空间接触处所受的压力。由于应力集中,从而促进了石英的溶蚀,随着溶解物质被迁移到其它地方,石英的表面逐渐内凹,鲕粒逐渐占位,便形成了鲕粒与碎屑石英之间的凹凸接触关系,而迁移走的硅质在适合的微环境下沉淀,形成了次生加大石英。

随着埋深的增加,碎屑颗粒之间已初步紧密接触,由于颗粒之间的相互支撑作用,使得压实作用受到遏制,孔隙水的碱性程度逐渐升高,石英溶解作用开始变得显著,从而形成了一定规模的石英溶蚀型次生孔隙。

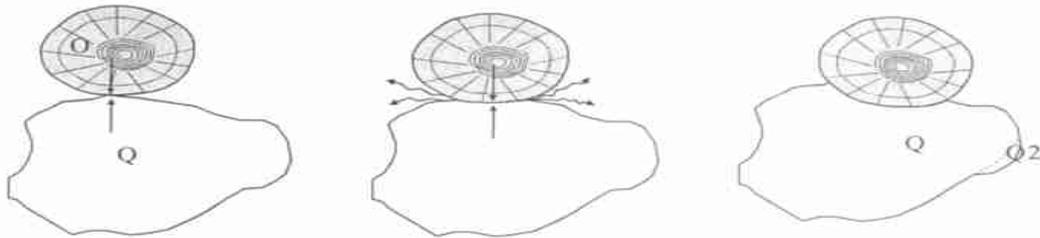


图7 鲕粒与石英凹凸接触演化素描图

Fig. 7 Sketch map showing development of Concavo-convex contact between quartz(Q) and oolite(O)

又转变为碱性,而导致晚期孔隙充填方解石、白云石的沉淀和胶结,并且碱性孔隙流体正适合长石加大的发生<sup>[16]</sup>。

钠长石化包括钾长石的钠长石化和斜长石的钠长石化<sup>[17]</sup>。

(1) 钾长石的钠长石化反应,可以看作是钠对钾的置换:



尽管钠长石对钾长石的交代为等体积反应,但大量的岩石薄片研究显示,成岩过程中钾长石的溶解速度远远超过了钠长石的沉淀速度,因此上述反应增加了岩石中的次生孔隙,对储层发育有利。

(2) 钾长石的钠长石化伴随着其它铝硅酸盐矿

早期碳酸盐矿物一连生方解石也在这时开始沉淀,分布于经初步压实的颗粒之间。

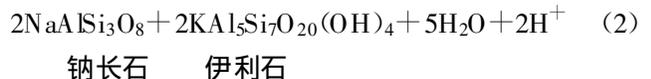
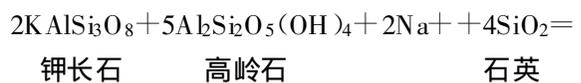
### 3.2 酸性流体阶段

随伴有机质的成熟,流经或注入砂岩中油气比例不断增加,有机质演化而产生的有机酸及酚类在地层压实作用过程中进入储层,孔隙流体逐渐转变为以酸性为主,这使正常的成岩环境发生巨大变化,原来的水—岩反应系统变成水—油—岩三相反应系统。有机酸对早期碳酸盐胶结物及部分长石造成溶解,而且酚类对石英也有一定的溶解<sup>[14,15]</sup>,溶解的物质经转移在另一处沉淀形成高岭石及次生加大石英。

### 3.3 晚期碱性流体阶段

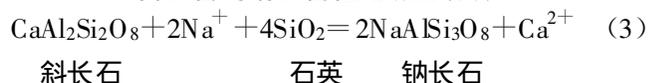
随着有机质生烃及有机酸的能力下降,加之有机酸热脱羧作用的开始,石英的溶解又开始明显<sup>[14,15,16]</sup>,在埋藏成岩作用条件下,石英和长石的稳定条件不同。在pH值大于8或8.5的流体中石英不稳定,而长石却是稳定的。此外,由早期碳酸盐胶结物的溶解、粘土矿物在压实过程中以及粘土矿物在成岩演化过程中所释放的Ca、Fe、Mg、CO等离子以及伴随有机质脱羧而释放出的CO<sub>2</sub>等的影响,使孔隙溶液复

物和不稳定硅质岩屑的消耗:



钾长石、高岭石和石英被钠长石与伊利石取代。高岭石在这一反应中起着钾陷作用,即捕获反应释放的K<sup>+</sup>。

(3) 斜长石的钠长石化,反应式为:



反应释放的钙可以呈碳酸盐沉淀,或被粘土矿物吸附。前一种情况更常见。反应式(2)、(3)均伴随着石英或硅质岩屑的溶解,其综合结果使岩石次生孔

隙增加。

钠长石为成岩反应的重要自生矿物,广泛地存在于储层砂岩中。它可以呈独立钠长石矿物存在,也可以交代钾长石和斜长石,在二者的边部及内部沿其解理或裂缝分布。自生钠长石的出现,一方面指示富钠的碱性流体加入,另一方面表明水-岩反应强烈。

上面描述的孔隙水的演化阶段记录了混积岩中的流体运移,并导致了各种胶结物及自生矿物的形成。

## 4 结论

通过以上研究得出,大港滩海区沙一下湖相混积岩主要为陆源碎屑质-碳酸盐混积岩(36.8%),其次为碳酸盐质-陆源碎屑混积岩(31.6%)和含碳酸盐-陆源碎屑混积岩(31.6%)。

根据沉积环境和岩石学特征得出本区混积岩的两种混合沉积成因,即白水头地区的相缘渐变混合沉积及马东-马东东地区的浊流混合沉积。

本区混积岩主要经历了压实作用、胶结作用和溶蚀溶解作用。从胶结物与自生矿物沉淀及溶解顺序共划分出4个成岩共生组合,经历3种孔隙流体演化。

鲕粒与碎屑颗粒之间特殊的凹凸接触关系成为混积岩中最具特色的成岩现象,它是混积岩有别于陆源碎屑岩和碳酸盐岩的成岩作用。

### 参考文献(References)

- 1 Mount J F. Mixing of silicilastics and carbonate sediments in shallow shelf environments[J]. *Geology*, 1984, 12: 432~435
- 2 杨朝青,沙庆安. 云南曲靖中泥盆统曲靖组的沉积环境:一种陆源碎屑与海相碳酸盐的混合沉积[J]. *沉积学报*, 1990, 8(2): 59~66 [Yang Chaoqing and Sha Qing'an. Environment of Qujing Formation of Yunnan Qujing: A mixed sedimentation of marine carbonates and terrigenous clastics[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1990, 8(2): 59~65]
- 3 沙庆安. 混合沉积和混积岩的讨论[J]. *古地理学报*, 2001, 3(3): 63~66 [Sha Qing'an. Discussion on mixing deposit and Hunji rock[J]. *Journal of Palaeogeography*, 2001, 3(3): 63~66]
- 4 Myrow P M and Landing E. Mixed siliciclastic-carbonate deposition in an early Cambrian oxygen-stratified basin, Chapel Island Formation, Southeastern Newfoundland[J]. *Journal of Sedimentary Petrology*, 1992, 62: 455~473
- 5 Yose L A and Heller P L. Sea level controls of mixed siliciclastic-carbonate gravity flow deposition, lower part of the Keeler Canyon Formation(Pennsylvanian)Southeastern California[J]. *G S A Bulletin*, 1989, 101: 422~439
- 6 张雄华. 混积岩的分类和成因[J]. *地质科技情报*, 2000, 19(4): 31~34 [Zhang Xionghua. Classification and origin of mixosedimentite[J]. *Geological Science and Technology Information*, 2000, 19(4): 31~34]
- 7 Mount J F. Mixing of silicilastics and carbonate sediments: a proposed first-order textural and compositional classification[J]. *Sedimentology*, 1985, 32: 435~442
- 8 江茂生,沙庆安,刘敏. 华北地台下中寒武统碳酸盐碎屑与陆源碎屑的混合沉积—以山东张夏地区为例[J]. *沉积学报*, 1996, 8(1): 59~66 [Jiang Maosheng, Sha Qing'an, Liu Min. Mixed siliciclastic-carbonate sediments during the lower-middle Cambrian in the North China platform[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1996, 8(1): 59~66]
- 9 王国忠. 南海北部大陆架现代礁源碳酸盐与陆源碎屑的混合沉积作用[J]. *古地理学报*, 2001, 3(2): 47~54 [Wang Guozhong. Mixed sedimentation of recent reefoid carbonates and terrigenous clastics in the North continental shelf of the South China sea[J]. *Journal of Palaeogeography*, 2001, 3(2): 47~54]
- 10 蔡进功,李从先. 内蒙西南部石炭系碎屑岩-碳酸盐岩混合沉积特征[J]. *石油与天然气地质*, 1994, 15(1): 80~86 [Cai Jingong, Li Congxian. Characteristics of carboniferous mixed siliciclastic and carbonate sediments in Southwest Inner Mongolia[J]. *Oil & Gas Geology*, 1994, 15(1): 80~86]
- 11 金瞰昆. 江苏徐州大北望寒武系鲕粒及鲕粒灰岩特征[J]. *岩相古地理*, 1998, 18(5): 21~27 [Jin Kankun. The Cambrian oolites and oolitic limestones in the Dabewang section in Xuzhou, Jiangsu[J]. *Sedimentary and Palaeogeography*, 1998, 18(5): 21~27]
- 12 王东坡,刘立,高福红等. 沉积岩石学[M]. 长春:吉林科学技术出版社,1994 [Wang Dongpo, Liu Li, Gao Fuhong, et al. *Sedimentology* [M]. Changchun: Jilin Sciences and Technology Publishing House, 1994]
- 13 Cookenboo H O, Bustin R M. Pore water evolution sandstones of the Groundhog Coalfield, northern Bowser Basin, British Columbia[J]. *Sedimentary Geology*, 1999, 123: 129~146
- 14 Patricia M. Dove the dissolution kinetics of quartz in sodium chloride solutions at 25°C~300°C[J]. *American Journal of Science*, 1994, 294: 665~712
- 15 Surdam R C, Crossey L J, Hagen E S, Heasler H P. Organic-inorganic interaction and sandstone diagenesis[J]. *AAPG Bulletin*, 1989, 73(1): 1~23
- 16 邱隆伟,姜在兴,操应长等. 泌阳凹陷碱性成岩作用及其对储层的影响[J]. *中国科学(D辑)*, 2001, 31(9): 752~759 [Qiu Longwei, Jiang Zaixing, Cao Yingchang, et al. Alkaline diagenesis of Miyang Depression and its effect on reservoir[J]. *Science in China (series D)*, 2001, 31(9): 752~759]
- 17 Mohammed B B, Bertrand F, et al. Diagenetic albittization of K-feldspar and plagioclase in sandstone reservoirs: thermodynamic and kinetic modeling[J]. *Journal of Sedimentary Petrology*, 1993, 63(6): 1100~1109

## Sedimentary and Diagenetic Characteristics of Paleogene Lacustrine “Hunji” Rock in Beach District, Dagang

MA Yan-ping LIU Li

(College of Earth Sciences Jinlin University, Changchun 130061)

**Abstract** “Hunji” rocks of the lower part of number 1 of Shahejie Formation, Beach district, Dagang, are dominantly terrigenous clastic-carbonate “Hunji” rock, subordinately carbonatic-terrigenous clastic “Hunji” rock and carbonate bearing-terrigenous clastic “Hunji” rock. “Hunji” rock of Baishuitou district lies in braided stream-fan delta front subfluvial branching river deposits, which mixed by gradual facies change. While Madong-Madongdong district is distributed in gravity flow deposit systems mixed by turbidites. “Hunji” rocks of this area experienced compaction, cementation and dissolution/alteration process. Pore fluid experienced alkaline to acid and return to alkaline. The association of glauconite and micro-calcite cement, calcite precipitation and a part of quartz dissolution is with alkaline pore fluid; The association of hydrocarbon emplacement, dissolution, quartz overgrowth and kaolinite precipitation is with acid pore fluid; And the association of illite, chlorite, albitization, pore-filling calcite and dolomite is with alkaline pore fluid.

**Key words** lacustrine “Hunji” rock, oolite, diagenesis, pore fluid evolution

(Continued from page 570)

Many aspects of anastomosing river appear particular characteristics compared with other river patterns. In the planform architectures, the multiple channels joining each other enclose flood basins on which vegetation, swamps and lakes develop basically. Longitudinal gradients of the channels are very low while the channel width/depth ratios are smaller than 40. In the depositional architectures of cross profiles, some isolated sand-bodies of channel deposits are “floating” in the mud-bodies of flood basins. In the half-logarithm diagram of width/depth ratios of stream cross profiles vs. discharges, the scatters of anastomosing rivers are below compared with that of other river patterns. The stream powers of anastomosing rivers are very low compared with the old trunk channel from which it diverted because the channel gradients and discharges of every anastomosing channel are smaller than that of the old trunk channel. The specific stream power of the anastomosing channels: eastern Songzi River, western Songzi River, Hudu River, Ouchi River, northern Ouchi River and Songliheliu River are  $3.0 \text{ W/m}^2$ ,  $5.5 \text{ W/m}^2$ ,  $2.8 \text{ W/m}^2$ ,  $6.4 \text{ W/m}^2$ ,  $3.7 \text{ W/m}^2$  and  $2.7 \text{ W/m}^2$ , respectively. Obviously, all of them are smaller than  $10 \text{ W/m}^2$ . But the specific stream power of anabranching Changjiang trunk channel is  $140 \text{ W/m}^2$ . All of the characteristics of anastomosing rivers indicate that this river pattern is different from the anabranching rivers represented by the lower Changjiang River, especially from other river patterns.

**Key words** anastomosing river, discharge, width/depth ratio, stream power, high effect in transporting sediment