

# 盐湖盆地斜坡带碎屑岩成岩作用特征初探

## ——以柴达木盆地阿尔金斜坡第三系碎屑岩地层为例

李玉梅 赵澄林

(石油大学地球科学系 北京 102200)

**提 要** 在柴达木盆地阿尔金斜坡第三系地层中,砂岩中碳酸盐重结晶强烈、压实程度弱、石英自生加大较弱、早期碳酸盐胶结物发育。碳酸盐主要为无机成因,少量与生物气有关,其含量受盐度的影响。泥岩中粘土矿物以伊利石、绿泥石和伊蒙混层为主,缺少蒙脱石和高岭石,随埋深增加,伊利石相对含量变化无规律可循,绿泥石相对含量减少,推测伊利石主要为陆源成因。

**关键词** 盐湖 成岩作用 古水介质条件 碳酸盐 盐度 粘土矿物

**第一作者简介** 李玉梅 女 25岁 博士 沉积学

成岩作用不仅受温度、压力、岩石成份和结构、有机质演化等因素的影响,而且与古水介质条件关系密切。和正常湖泊相比,盐湖盆地斜坡带具有盐度大、强碱性和还原性等特殊的水介质条件,因此其中沉积物的成岩作用必然具有一定的特殊性。下面以柴达木盆地阿尔金斜坡第三系为例,对盐湖盆地斜坡带的成岩作用特点进行探讨。

### 1 地质背景

#### 1.1 构造位置

阿尔金斜坡位于柴达木盆地柴西地区茫崖拗陷的北区,是阿尔金山向柴达木湖盆的过渡带。

该斜坡由七个泉、干柴沟、咸水泉、牛鼻子梁等构造组成(图1),本次研究的样品来自这些构造的7个露头剖面 and 12口井,以第三系干柴沟组和油砂山组砂岩和泥岩为主。

#### 1.2 古水介质条件

据阿尔金斜坡的构造研究,在干柴沟组和油砂山组沉积期,由于阿尔金山的不断抬升,斜坡开始形成,湖盆中心向东迁移,因此当时阿尔金斜坡的沉积受古构造和古湖盆水介质条件的双重控制。

据矿物学分析,斜坡带各构造的干柴沟组和油砂山组沉积物中普遍含有方解石、方沸石、石盐和钠长石,在干柴沟构造的柴北沟剖面上油砂山组中还出现了皂石,反映一种强碱性的富钠、钙环境,其中蒙皂石反映水体的pH值为8.5~9.18(Weaver<sup>(2)</sup>)。

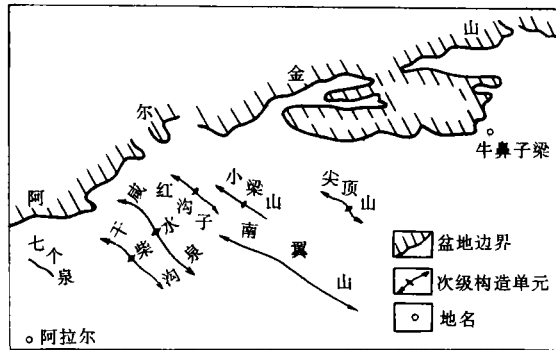


图1 柴达木盆地阿尔金斜坡构造位置图

Fig. 1 Tectonic position of the Aerjin Slope in Qaidam basin

### 2 岩石学特征

阿尔金斜坡第三系砂岩以岩屑细砂岩为主,其次为灰质粉砂岩。岩屑砂岩成份成熟度较低,石英含量60%~70%,岩屑含量20%~30%,长石含量10%~15%,岩屑成份主要是变质石英岩和片岩。砂岩结构成熟度较低,颗粒以细砂和粉砂为主,分选中等,多为次棱角状—棱角状,点—线接触,杂基含量偏低,一般小于10%,胶结物含量10%~30%,以方解石为主,还有少量白云石、石膏和方沸石等。

### 3 成岩作用特征

#### 3.1 砂岩成岩特征

##### 3.1.1 碳酸盐胶结特点

阿尔金斜坡第三系碎屑岩中有大量的碳酸盐胶结物,含量8%~40%,以方解石为主,其次为白云石和铁白云石,少量文石和菱铁矿,其中方解石的沉淀贯穿了整个沉积、成岩过程。

##### (1) 方解石

泥-粉晶方解石 常见,形成于同生沉积期和成岩早期,与泥质混杂堆积,在岩石中分布均匀,含量10%~40%,化学成分为CaO 23.28%~34.4%,MgO 0.6%~0.89%。

方解石包壳 即“灰泥皮壳”(黄杏珍等<sup>[1]</sup>),是泥晶方解石在同生沉积期沉淀于颗粒外围形成的,对压实起到了一定的抑制作用。

马牙状-栉壳状方解石 较少见,往往分布于颗粒边缘,为早期方解石重结晶形成。

嵌晶状方解石 在埋藏浅、孔隙水流动较快且陆源碎屑供应较少的条件下,方解石大量沉淀可形成嵌晶式胶结,含量一般大于25%。化学成份为CaO 44.74%~48.56%,MgO 0.67%~0.7%。

自形方解石 在裂缝或溶孔中常见到方解石的自形微晶、细晶或中晶的胶结充填,伴生的有石英或钠长石,含量一般小于10%,化学成份CaO 97.58%~98.27%,MgO 1.73%~2.42%,形成于晚成岩阶段。

含铁方解石 在电镜下呈片状、纤状分布于粒间,或呈晶簇状分布于粒表,或与自生钠长石共生于溶孔中。含量小于5%,形成于早成岩晚期和晚成岩期。

铁方解石 较少见,一般形成于晚成岩期。

##### (2) 白云石

一般晚于方解石沉淀,是Mg/Ca比值增加后的粒间沉淀产物。有的呈自形晶充填溶孔和裂缝,有的沿粒表呈马牙状胶结,有的呈衬垫式充填粒间。孔隙水中富含 $Fe^{2+}$ 、 $Mg^{2+}$ 时形成铁白云石,一般呈自形晶充填孔隙和裂缝,且多与菱铁矿共生,部分位于颗粒表面或交代颗粒。它的化学成份CaO 9.05%~25.98%,MgO 6.72%~22.67%,FeO 2.67%~6.81%。

(3)和正常湖泊相比,盐湖盆地中的碳酸盐胶结主要有以下特点:

#### 第一,碳酸盐强烈重结晶并交代颗粒

砂岩中碳酸盐胶结物尤其是方解石大都发生重结晶作用,同时交代颗粒,甚至鲕粒的同心包壳中也可见重结晶成因的方解石晶粒,反映孔隙水介质浓度大且为强碱性。

#### 第二、成岩早期方解石胶结物普遍发育

在第三系砂岩储层中,同生期和早成岩期有大量泥粉晶方解石沉淀,还有少量石膏。前人研究宁波盆地膏盐区后得出结论:该区广泛发育早期碳酸盐和硫酸盐胶结物,且由于孔隙水中金属离子浓度过大而降低了溶解度,使该区缺乏次生孔隙。

#### 第三,碳酸盐胶结受盐度影响

盐度,作为盐湖盆地一项重要的水介质条件,对碎屑岩地层中的碳酸盐矿物沉淀有重要而复杂的影响。黄杏珍<sup>[1]</sup>研究了柴达木盆地第三系盐度和氯离子含量的关系,发现氯离子含量对盐度变化很灵敏,二者呈线性关系,因此为了解盐度对碳酸盐沉淀的影响,本文用氯离子含量代替盐度,对七个泉、咸水泉和干柴沟构造氯离子含量与碳酸盐含量之间的关系进行了研究,总结了以下两种模式:

##### A 七个泉构造(图2)

以七23井为例。七23井中,氯离子含量变化为 $1\ 000 \times 10^{-6} \sim 5\ 000 \times 10^{-6}$ ,碳酸盐含量变化与氯离

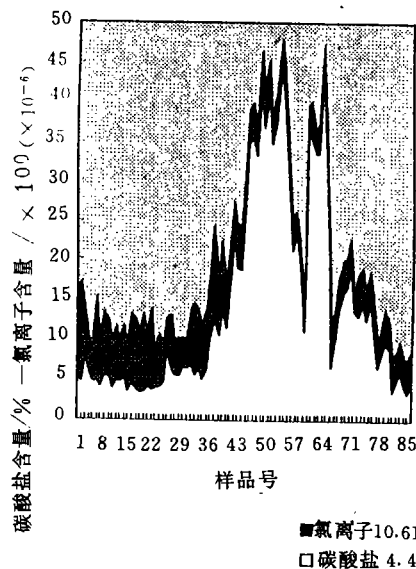


图2 七个泉构造七23井碳酸盐含量—氯离子含量对比图

Fig. 2 Correlation of the content of carbonate and  $Cl^{-}$  in well Qi 23 in Qigequan structure

子含量变化有很好的正相关性,在氯离子含量大于  $2\ 000 \times 10^{-6}$  时相关性最好。

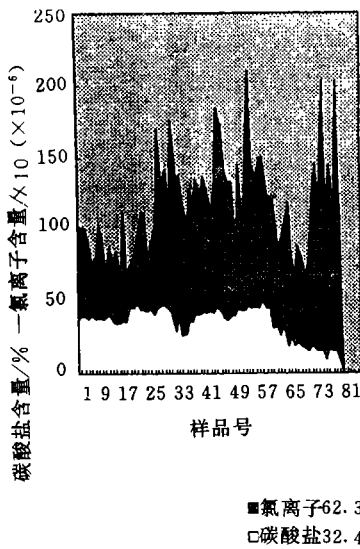


图 3 咸水泉构造咸 7 井碳酸盐含量—氯离子含量对比图

Fig. 3 Correlation of the content of carbonate and  $\text{Cl}^-$  in well Xian 7 in Xianshuiquan structure

B 咸水泉构造(图 3)

以咸 7 井为例。氯离子含量变化为  $700 \times 10^{-6} \sim 2\ 100 \times 10^{-6}$ ,碳酸盐含量变化与氯离子含量变化相关性较差,表现在氯离子含量变化幅度大,而碳酸盐含量变化相对较小。

从以上两个模式可以看出,盐度对碳酸盐沉淀有一定的影响,盐度较大时(研究层位为氯离子含量大于  $2\ 000 \times 10^{-6}$ ),碳酸盐胶结物含量与盐度有良好的正相关性。

3.1.2 压实作用较弱

根据碎屑岩成岩阶段划分标准,晚成岩期岩石颗粒接触类型一般以线接触为主,但本次研究发现在大量已进入晚成岩期的样品中,岩石颗粒以点接触为主,少量线接触,反映压实程度比正常湖泊沉积弱,原因有三个方面:一是碳酸盐胶结物的普遍发育和重结晶对压实有抑制作用,二是杂基含量少,一般少于 10%,三是部分样品中颗粒有方解石泥晶套,在一定程度上可抑制压实作用。

3.1.3 石英自生加大较弱

石英自生加大较少见,到晚成岩期也仅有窄的加大边,个别样品中石英自生加大成自形。石英自生

加大所需的  $\text{SiO}_2$  一般来源于蒙脱石向伊蒙混层的转化,但 Weaver<sup>[2]</sup>指出当湖水处于强碱性时,碎屑蒙脱石和高岭石多转化为钾长石和方沸石,少量蒙脱石转化为富伊利石的伊蒙混层,因此这一转化所提供的  $\text{SiO}_2$  较少。通过分析发现,有石英自生加大的岩石往往与含生物碎片或介壳的灰岩以及泥质含量偏高的粉砂岩相邻。而且砂岩中无明显的石英压溶和长石蚀变,因此硅质主要来源于硅质生物骨骼或介壳的溶解以及少量蒙脱石向伊蒙混层的转化。

3.1.4 碳酸盐以成岩碳酸盐为主

成岩碳酸盐即无机成因碳酸盐,是由孔隙水中的  $\text{Ca}^{2+}$  和  $\text{CO}_3^{2-}$  结合沉淀而成,其中形成  $\text{CO}_3^{2-}$  的  $\text{CO}_2$  系无机成因。根据对 43 块砂岩样品中碳酸盐胶结物的碳氧同位素组成测定,碳同位素值为  $-9.399\text{‰} \sim 5.515\text{‰}$ ,多数为负值,氧同位素值为  $-10.71\text{‰} \sim -1.206\text{‰}$ ,多数大于  $-10\text{‰}$ ,从图 4 可以看出,碳酸盐胶结物多为无机成因,少量与生物气有关。

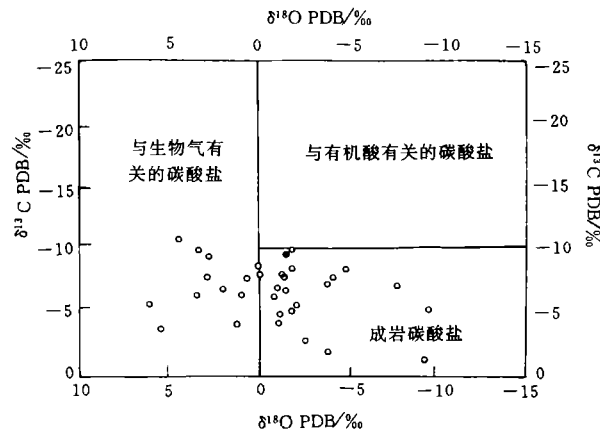


图 4 七个泉构造七 23 井碳酸盐含量—氯离子含量对比图

Fig. 4 Distribution of C and O isotope of carbonate cement in Tertiary in Aerjin Slope

3.2 泥岩成岩特征

粘土矿物的形成和演化受温度、压力、水介质条件(浓度、酸碱性、氧化还原性)等诸多因素的影响,而盐湖盆地有特殊的水介质条件,因此盐湖盆地中的粘土矿物无论在组合类型、成因还是在演化规律方面都与正常湖泊沉积有一定的差异。

3.2.1 粘土矿物组合特征

在分析的 125 块样品中,有 110 块样品为伊利

石—伊蒙混层—绿泥石组合,占样品总数的90%,其中伊利石相对含量37%~73%,绿泥石11%~35%,伊蒙混层9%~42%,反映伊利石相对含量较高。

从粘土矿物的组合特征可以看出,研究区缺少蒙脱石和高岭石。

华保钦等<sup>[3]</sup>曾指了柴达木盆地第三系地层粘土矿物的主要成分为伊利石,蒙脱石含量不多,同时指出蒙脱石相对含量偏低这一现象在中国中、西部盆地的中、生代沉积物中以及青海湖、青海盐湖等现代沉积中很普遍,并将其原因归结为受物源区粘土矿物成分和古气候条件的影响。通过本次研究得出结论:蒙脱石在同生期和成岩早期就已完全转化为其它矿物,这是研究层位缺少蒙脱石的根本原因。柴达木盆地盐湖卤水多为K、Na、Mg//Cl、SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O体系(于升松<sup>[4]</sup>),且粘土矿物所含K<sub>2</sub>O偏高(徐昶<sup>[5]</sup>),石盐、方沸石、钠长石和钾长石常见,说明古水介质富含Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>且长期保持碱性,在这种环境下易发生伊利石化加快以致观察不到其转化过程的现象,赵杏媛(1991)<sup>①</sup>也曾强调:蒙脱石向伊利石和绿泥石转化是连续的递进转化过程,如果环境适宜,这种转化在沉积后和成岩(有效埋藏)之前就已开始,而柴达木盆地阿尔金斜坡第三系沉积时的古水介质无疑满足了其转化条件,因此在第三系中蒙脱石已全部转化为伊蒙混层和其它矿物是完全可能的,其它矿物包括钾长石和方沸石,Weaver<sup>[2]</sup>认为在强碱性水体中,一些蒙脱石转化为富伊利石的伊蒙混层,在部分蒙脱石转化为钾长石和方沸石。

据X-衍射粘土分析测定,在七个泉、干柴沟、咸水泉等构造的少数样品中,高岭石相对含量6%~10%。华保钦<sup>[3]</sup>通过红外光谱分析发现柴达木盆地第三系地层中高岭石相对含量很低,均小于10%,这与本次粘土分析的结果是一致的。

### 3.2.2 粘土矿物演化特征

关于柴达木盆地第三系地层中粘土矿物的演化,前人已做过一些研究,例如华保钦<sup>[3]</sup>发现早2井和跃110井中伊利石含量变化具有不同的规律:早2井中伊利石含量从浅到深略有降低,而跃110井中伊利石含量随埋深增加而增加。据林西生等<sup>①</sup>对柴达木盆地凹陷内早2井粘土矿物的系统研究,结果表明是一系统的蒙脱石—蒙绿混层—绿泥石演化剖面,反映一种富Mg环境。

夏文武<sup>②</sup>研究,江汉盆地在淡水期伊蒙混层演

化遵循一般规律,而在盐碱期则存在伊利石化加快以至观察不到演化过程的现象。

本次研究发现,在下干柴沟组地层中,随埋深增加,伊利石相对含量变化高低起伏,无明显规律可循,绿泥石相对含量减小(图5)。

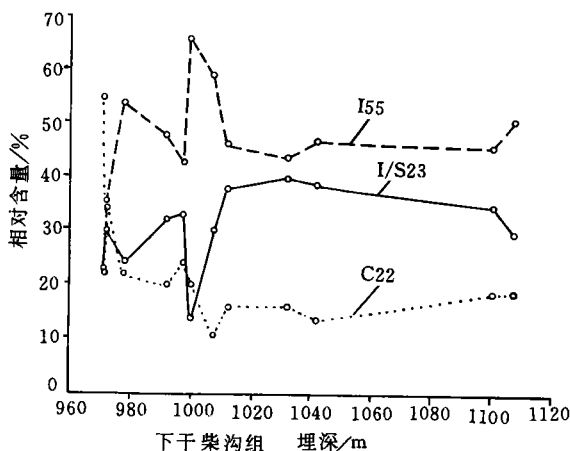


图5 七个泉构造七心1井E<sub>3</sub>粘土矿物相对含量变化图

Fig.5 Variation of the relative content of clayminerals(E<sub>3</sub>) in well Qixing 1 in Qigequan structure

### 3.2.3 粘土矿物成因

关于盐湖盆地现代沉积中粘土矿物的成因,前人已取得了一定的认识。Droste(1963从著作 clay, Muds and shales 中摘录)对美国西部60多个盐湖的现代沉积物中的粘土矿物进行了分析,认为非海相成因的蒸发序列(通常富Na<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup>)一般不利于自生粘土矿物的形成,同时他发现盐湖盆地沉积物中的粘土矿物组合与母岩中的粘土矿物组合含量极为相近,因此认为盐湖盆地中粘土矿物大多为碎屑成因。徐昶<sup>[5]</sup>对柴达木盆地某些盐湖现代沉积中的粘土矿物研究后,认为盐湖中粘土矿物基本上是陆源碎屑成因,但不排除部分盐湖中有少量粘土为自生成因。

通过本次研究认为,柴达木盆地阿尔金斜坡第三系伊利石主要为陆源成因,依据是:第一,正常湖泊沉积中,随埋深的增加,泥岩中伊利石相对含量增加,而研究层位伊利石相对含量变化基本上不受埋

① 中国含油气盆地粘土矿物研究及其在石油勘探开发中的应用,1991,赵杏媛等

② 非公开发表的私人资料(夏文武,石油勘探开发科学研究所人员)

深的影响,反映伊利石的形成和演化可能较受少温度和压力的影响,而与母岩关系较密切;第二,据扫描电镜观察,多数伊利石的结晶程度很差,无完整晶形,据此推测为陆源伊利石。

#### 参 考 文 献

- 1 黄杏珍,邵宏舜,顾树松等. 柴达木盆地的油气形成与寻找油气田方向. 兰州:甘肃科学技术出版社,1993. 80~106
- 2 Weaver C E. Clays, Muds, and Shales. Elsevier Science Publishing Company Inc. 1989. 270~278
- 3 华保钦,林锡祥. 柴达木盆地异常地层压力及其成因探讨. 沉积学报,1983,1(4):61~78
- 4 于升松. 柴达木盆地盐湖化学特征,海洋与湖沼. 1984,1(4):340~358
- 5 徐昶. 柴达木盆地某些盐湖沉积剖面中粘土矿物的初步研究. 沉积学报,1983,1(3):123~128

## Study on Diagenesis in the Slope of the Saline Lake Basin: An Example From the Tertiary of the Aerjin Slope in Caidam Basin

Li Yumei Zhao Chenglin

(Geoscience Department, University of Petroleum, Beijing 102200)

#### Abstract

The Tertiary in the Aerjin Slope in Caidam Basin is characterized by strong carbonate recrystallization, weak compaction, weak quartz overgrowth and enrichment of the early-stage carbonate. The carbonate cement, influenced by the salinity to some degree, is mainly inorganic with few relation to biogas. In muds clay assemblage is illite-illite/montmorillonite-chlorite. With the increase of depth the relative content of illite fluctuates and that of chlorite decreases. The illite may be terrestrial origin.

**Key Words** salt lake diagenesis carbonate salinity clay mineral