

文章编号: 1000-0550(2007) 06-0852-06

# 柴达木盆地西部北区 $E_3^1$ 碎屑岩的成岩作用 及其热力学分析

杜彬彬<sup>1</sup> 关平<sup>1</sup> 谭彦虎<sup>2</sup> 张文涛<sup>1</sup> 于红娇<sup>1</sup> 何国源<sup>1</sup>

(1. 北京大学地球与空间科学学院 北京 100871; 2. 青海油田研究院 甘肃敦煌 736206)

**摘 要** 柴达木盆地西部北区  $E_3^1$  地层普遍发育了很好的碎屑岩, 储层物性与成岩作用密切相关。为了认清柴西北区  $E_3^1$  有利储层的分布规律, 在岩心观察、显微分析和各种分析化验的基础上, 划分了本区成岩作用序列, 并通过热力学分析进一步研究了成岩作用的控制因素。研究发现, 本区主要存在四次较大规模的成岩作用, 第一次是白云石胶结及交代作用, 第二次是方解石的胶结与交代作用, 第三次是胶结物的溶解, 第四次是晚期硬石膏的胶结及交代作用, 而油气充注发生在溶解作用之后硬石膏胶结作用之前。另外, 压实和压溶作用贯穿整个成岩作用过程。各种成岩作用都是在一定的热力学体系下进行的, 通过细致的热力学推导, 绘制出包含方解石、白云石和硬石膏等矿物相在内的五组分相图, 从而得到了成岩环境的地球化学特征。

**关键词** 成岩作用 热力学相图 方解石 白云石 硬石膏

**第一作者简介** 杜彬彬 女 1983 年出生 硕士研究生 石油地质

**通讯作者** 关平 E-mail: pguan@pku.edu.cn

**中图分类号** P588.2 **文献标识码** A

柴达木盆地是我国西部一个重要的中生代含油气盆地。柴达木盆地西部北区  $E_3^1$  储层以碎屑岩储层为主, 主要包括各种砂岩、粉砂岩等碎屑岩。根据以往不同地区的文献报道, 储集层物性除受沉积相影响外, 受成岩作用的控制亦很明显<sup>[1~6]</sup>, 然而到目前为止, 尚未有过针对柴西北区  $E_3^1$  碎屑岩成岩作用的系统研究。另一方面, 国内外有关成岩作用的微观研究主要集中在讨论成岩作用的作用类型、演化阶段和时间序列方面, 而缺乏对成岩作用的系统的热力学理论分析。本文不仅对研究区储集层成岩作用进行了系统的研究, 建立起了本区的成岩作用序列, 而且通过热力学方法针对有关的成岩作用特征计算出了相应的相图, 并根据其成岩矿物组合在相图上的相平衡线和平衡点估算出成岩介质的成分和酸碱度等地球化学条件。

## 1 地质背景及储层基本特征

### 1.1 研究区地质背景

柴达木盆地位于青藏高原北缘青海省境内, 四周被祁连、昆仑和阿尔金等褶皱山系及深大断裂所围限。研究区内主要储油构造为南北方向的挤压应力

形成的第三系隆起, 构造从南向北主要包括: 咸水泉—油泉子—开特米里克、盐滩—油墩子、红沟子—南翼山—黄瓜梁、小梁山—大风山、尖顶山—黑梁子—长尾梁。第三系在盆地内分布广泛, 最大厚度可达 6 000 多米, 地层由下至上依次是: 路乐河组 ( $E_{1+2}$ )、下干柴沟组 ( $E_3$ )、上干柴沟组 ( $N_1$ )、下油砂山组 ( $N_2^1$ )、上油砂山组 ( $N_2^2$ )、狮子沟组 ( $N_3$ )。下干柴沟组下段  $E_3^1$  储层主要包括与河流沉积、三角洲沉积及滨浅湖沉积等有关各类砂体。

### 1.2 $E_3^1$ 碎屑岩基本岩石学特性

本区  $E_3^1$  碎屑岩以细砂岩、极细砂岩和粗粉砂岩为主, 其次为细粉砂岩和少量的中砂岩。碎屑岩的成熟度低, 分选中等, 磨圆度多为次圆—一次棱角状, 颗粒支撑, 以线接触为主, 部分凹凸接触, 岩性以长石质岩屑砂岩和次岩屑砂岩为主。在干旱气候条件下, 各大物源水系的流量较小, 并且以暂时性突发水流为主, 这样沉积物堆积速度就较快, 从而导致碎屑岩较低的成分成熟度和结构成熟度。矿屑主要包括石英、长石、云母、绿泥石、铁质矿物和少量其它重矿物, 如锆石等。岩屑成分主要是泥屑、硅屑、变质岩屑 (如变

①国家自然科学基金项目 (批准号: 40573007) 资助

收稿日期: 2007-02-07 收修修改稿日期: 2007-09-28

质石英岩等)及火山岩屑。杂基以粘土矿物为主,含量变化较大。胶结物以碳酸盐矿物为主,其次为硬石膏,见少量硅质胶结物,主要以石英的次生加大方式出现。

## 2 成岩作用序列

柴达木盆地第三系为半咸水至盐湖的沉积,其特定的沉积环境决定了其独特的成岩特征。对研究区碎屑岩观察分析认为,本区成岩作用强烈,成岩现象多样,主要的成岩作用有压实压溶作用、胶结作用、交代作用和溶解作用四种类型。其中压实作用、压溶作用、胶结作用与交代作用对储集层物性起破坏性作用;而溶解作用形成的孔隙,对改善储集层性质起到了较好的建设性作用。本区主要存在四次较大规模的成岩作用,第一次是白云石胶结及交代作用,第二次是方解石的胶结与交代作用,第三次是胶结物的溶解,第四次是晚期硬石膏的胶结及交代作用,而油气充注发生在溶解作用之后硬石膏胶结作用之前。另外,压实和压溶作用贯穿整个成岩作用过程。

### 2.1 压实和压溶作用

随着地层埋深增加,矿物颗粒被压实和压溶。在之后的所有成岩阶段,压实和压溶作用一直伴随着成岩作用的演化。压实作用主要体现在塑性颗粒压实成假杂基、云母压弯变形(图版 I-1)、长石压裂和颗粒凹凸一缝合线接触等方面。但由于胶结作用充填了孔隙,抑制了压实和压溶作用的进一步发展,使得本区的压实和压溶作用不十分强烈。伴随着压实过程,发生了硅质胶结作用,部分石英次生加大(图版 I-2)。

### 2.2 早成岩期白云石胶结及交代作用

本研究区流体中镁离子含量较高,白云石最先从流体中沉淀出来,且往往紧贴围绕骨架颗粒胶结(图版 I-3),少量交代骨架颗粒,但本地区白云石含量普遍较少,可能与后期的去白云岩化和方解石的交代有关。

### 2.3 方解石的胶结及交代作用

方解石在白云石形成后充填在剩余的孔隙中,并交代白云石和骨架颗粒,部分白云石保持完整的自形,部分被方解石交代。方解石胶结与交代作用是一个复杂的过程,这一过程既有阶段性,又有连续性。往往在一个阶段内存在多期作用的现象。阴极发光下可见方解石的世代性(图版 I-4)。另外,由于长期处于埋深较大的封闭环境中,介质中的 Fe<sup>3+</sup> 在高温

缺氧环境下可被还原成二价铁,使得孔隙介质中的二价铁浓度增大。而这些二价铁就进入了方解石等碳酸盐矿物的晶格,从而可形成含铁方解石(图版 I-5)。

### 2.4 溶解作用

由于碳酸盐的大量胶结,本研究区大量原生孔隙被堵死,致使储层物性变差。而溶解作用溶解了前期沉淀胶结的碳酸盐,产生了次生孔隙,为油气的充注提供了空间(图版 I-6)。

### 2.5 硬石膏的胶结及交代

在本区的碎屑岩储层中存在硬石膏沉淀,它们或者作为胶结物沉淀在孔隙中,或者取代碳酸盐而沉淀于原先碳酸盐所处的位置,发生交代作用。本区还可以看到碳酸盐交代骨架颗粒形成很好自形,硬石膏交代碳酸盐并形成假象(图版 I-7)。由于这些硬石膏大多都交代了碳酸盐,可以判断它们的形成时间要比碳酸盐晚。部分硬石膏中可以发现有机质包裹体(图版 I-8),说明硬石膏的形成在油气充注之后或者伴随油气的充注。但是由于本区硬石膏胶结并不发育,很多地区孔隙中充填沥青附近却没有硬石膏胶结,所以硬石膏在油气充注同时形成的可能性较小。

## 3 成岩作用的热力学相图分析

目前成岩作用大多数都集中在定性描述和岩石学分析上,定量分析成岩地球化学环境的研究较少。为了更好的研究成岩作用发生的控制因素及成岩环境的变化,我们通过热力学推导,从理论上定量的分析了本区主要成岩作用的成岩环境地球化学特征。根据上文的成岩作用研究,发现本区最活跃的成岩矿物是方解石、白云石和硬石膏。由此可以判断出本区成岩作用的活性组分是由 CaO、MgO、SO<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>和 H<sub>2</sub>O 组成的,因此是一个五组分热力学体系。据此,我们利用热力学方法<sup>[7]</sup>,从理论上计算并绘制出了包含方解石、白云石和硬石膏在内的五组分相图。

在计算相图时,首先要有物质组分的热力学参数。各物质的标准摩尔生成自由能可以在兰氏化学手册(Dean J A, 1999)中查到。各物质在任意温度下的摩尔生成自由能可通过兰氏化学手册种给定不同温度的摩尔生成自由能采用 HKF 模型计算得出<sup>[8,9]</sup>。

由于各物质的热力学参数受温度、压力和离子浓度影响,因此在针对每个特定地区计算热力学相图时,需要确定最能反应该地区地质情况的温度、压力条件和地下水离子浓度值。在确定温度方面,通过

碳、氧同位素测温,得到本区碳酸盐矿物的沉淀温度主要为 82~123°C 和 146~164°C 两个温度段,而硬石膏沉淀发生在碳酸盐后,并且由于本研究区碎屑岩深度小于 5 500 m,高于 170°C 的温度不符合地温梯度规律,所以可以认为硬石膏胶结与交代作用发生时的古地温约为 160~170°C。由此可见,本区主要的成岩作用发生的温度接近 160°C,因此我们在计算相图时将温度选定为 433 K (160°C)。

在确定压力时,由于研究区 CO<sub>2</sub> 含量较低,没有形成气体相,而对固体和流体来说,在沉积岩发生成岩作用的阶段,压力变化引起的体积变化很小,其对反应的 Gibbs 自由能变化的影响可以忽略不计,因此我们取压力为恒定值 450 × 10<sup>5</sup> Pa。

本体系中各离子在地层中的实际浓度通常不超过 10<sup>-2</sup> mol/L<sup>[10]</sup>,以此作为最接近实际情况的参数值。我们依据本区的实际情况做出了 lg[Ca<sup>2+</sup>] (lg[Mg<sup>2+</sup>])—pH、lg[HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>]—pH、lg[Ca<sup>2+</sup>] (lg[Mg<sup>2+</sup>])—lg[HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>] 几类二元相图。

根据绘制出的热力学相图可以分析各种成岩作用发生的条件和影响因素。为了便于考察各种不同地球化学环境下的成岩作用情况,我们在做图时考虑了不同的成岩地球化学条件,并绘制了不同条件下的热力学相图。从图 1 可以看出,当 [Ca<sup>2+</sup>]/[Mg<sup>2+</sup>] = 2 时, pH 值越高,越有利于白云石和方解石的沉淀。在 [Mg<sup>2+</sup>] 和 [Ca<sup>2+</sup>] 都很小的情况下,方解石的溶解平衡曲线更靠近右侧相对高 pH 值区域,即白云石比方解石先发生沉淀,方解石的沉淀需要更高的 pH 值和 Ca<sup>2+</sup> 浓度,或者说方解石比白云石更易溶于酸。另外,硬石膏只有在 pH < 6 并且 [Ca<sup>2+</sup>] > 10<sup>-3.7</sup> mol/L 的情况下才能发生沉淀。图中还存在方解石、白云石和硬石膏共同沉淀的区域,当 Ca<sup>2+</sup> 的浓度大于 10<sup>-3</sup> mol/L, pH 在 4.6~5.2 之间时,三种矿物共存。本区成岩作用中对孔隙影响最大的是方解石的胶结作用,又由于方解石胶结在白云石胶结之后,由图 1 可以看出方解石稳定区域的 pH 值的最大变化范围为 5.7~8.6 [Ca<sup>2+</sup>] 的最大变化范围为 10<sup>-6.9</sup>~10<sup>-3</sup> mol/L。

由图 2 可以看出,当 [Ca<sup>2+</sup>]/[Mg<sup>2+</sup>] = 9 时,方解石和硬石膏的稳定区域没有变化,白云石的沉淀溶解曲线向右上方移动了一段距离,与方解石的沉淀溶解曲线重合,使得白云石的稳定区域不复存在,这是最极端的情况,所以本区成岩作用发生时的钙/镁比应当小于 9。

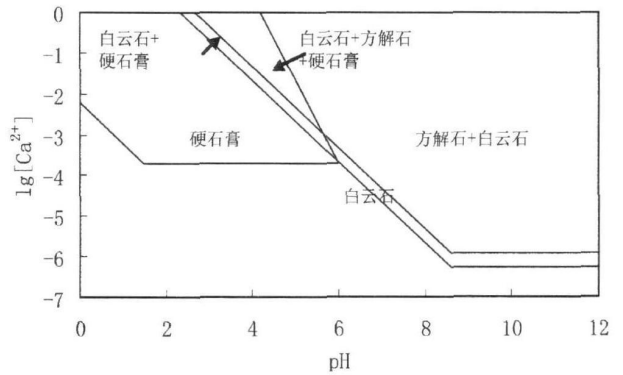


图 1 lg[Ca<sup>2+</sup>]-pH 相图 ([HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>] = 0.000 mol/L, [SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>] = 0.01 mol/L, [Ca<sup>2+</sup>]/[Mg<sup>2+</sup>] = 2, T = 160°C)

Fig 1 lg[Ca<sup>2+</sup>]-pH phase diagram ([HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>] = 0.000 mol/L, [SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>] = 0.01 mol/L, [Ca<sup>2+</sup>]/[Mg<sup>2+</sup>] = 2, T = 160°C)

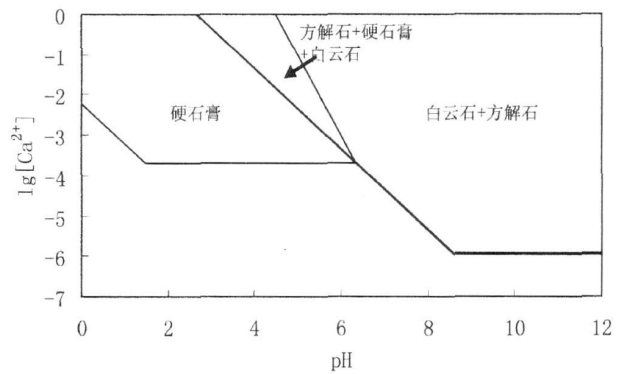


图 2 lg[Ca<sup>2+</sup>]-pH 相图 ([HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>] = 0.000 mol/L, [SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>] = 0.01 mol/L, [Ca<sup>2+</sup>]/[Mg<sup>2+</sup>] = 9, T = 160°C)

Fig 2 lg[Ca<sup>2+</sup>]-pH phase diagram ([HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>] = 0.000 mol/L, [SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>] = 0.01 mol/L, [Ca<sup>2+</sup>]/[Mg<sup>2+</sup>] = 9, T = 160°C)

图 3 中可以看出, [HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>] 的增大和 pH 值的增大都使得方解石发生沉淀而硬石膏发生溶解。当 pH 值在 5.7~8.6 之间时,方解石稳定区域的碳酸氢根离子浓度约在 10<sup>-6.2</sup>~10<sup>-3.4</sup> mol/L 之间。

图 4 和图 5 反映在一定的 pH 值条件下,温度和离子浓度的变化对成岩反应的影响。容易看出,阳离子 (Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>) 浓度的增加有利于各种矿物 (方解石、白云石、硬石膏) 的沉淀。HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 浓度的增加则会造成方解石的沉淀和硬石膏的溶解。由图 4 可知,当方解石胶结或交代白云石时,溶液的碳酸氢根浓度约为 10<sup>-5.4</sup>~10<sup>-2</sup> mol/L,又由图 3 的限定,得到碳酸氢

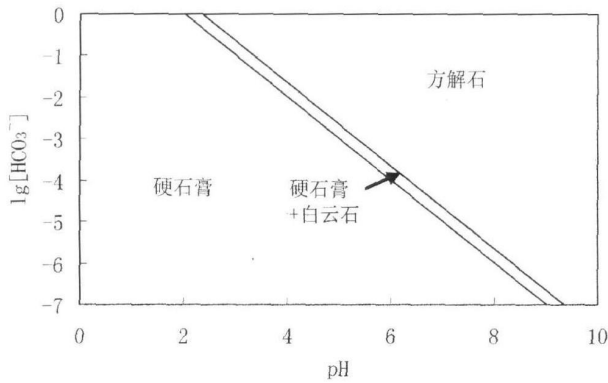


图 3  $\lg[\text{HCO}_3^-]$  - pH 相图 ( $[\text{SO}_4^{2-}] = 0.01 \text{ mol/L}$ ,  $[\text{Ca}^{2+}] = 0.0002 \text{ mol/L}$ ,  $[\text{Mg}^{2+}] = 0.0001 \text{ mol/L}$ ,  $T = 160^\circ\text{C}$ )  
 Fig 3  $\lg[\text{HCO}_3^-]$  - pH phase diagram ( $[\text{SO}_4^{2-}] = 0.01 \text{ mol/L}$ ,  $[\text{Ca}^{2+}] = 0.0002 \text{ mol/L}$ ,  $[\text{Mg}^{2+}] = 0.0001 \text{ mol/L}$ ,  $T = 160^\circ\text{C}$ )

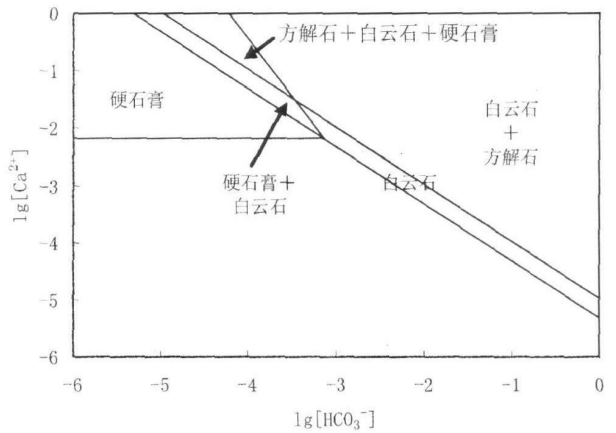


图 5  $\lg[\text{Ca}^{2+}]$  -  $\lg[\text{HCO}_3^-]$  相图 ( $[\text{SO}_4^{2-}] = 0.01 \text{ mol/L}$ ,  $[\text{Ca}^{2+}] / [\text{Mg}^{2+}] = 2$ ,  $\text{pH} = 7$ ,  $T = 100^\circ\text{C}$ )  
 Fig 5  $\lg[\text{Ca}^{2+}]$  -  $\lg[\text{HCO}_3^-]$  phase diagram ( $[\text{SO}_4^{2-}] = 0.01 \text{ mol/L}$ ,  $[\text{Ca}^{2+}] / [\text{Mg}^{2+}] = 2$ ,  $\text{pH} = 7$ ,  $T = 100^\circ\text{C}$ )

根浓度约为  $10^{-5.4} \sim 10^{-3.4} \text{ mol/L}$ , 此时, 图 4 中钙离子浓度约为  $10^{-5} \sim 10^{-3} \text{ mol/L}$ 。在图 1 中, 当  $[\text{Ca}^{2+}]$  为  $10^{-5} \sim 10^{-3} \text{ mol/L}$  时, pH 值为 5.6~7.7。另外, 比较图 4 和图 5 可知, 高温条件下硬石膏的稳定区域明显减小, 且方解石在低温时沉淀比高温时沉淀需要多的  $[\text{Ca}^{2+}]$  和  $[\text{HCO}_3^-]$ 。

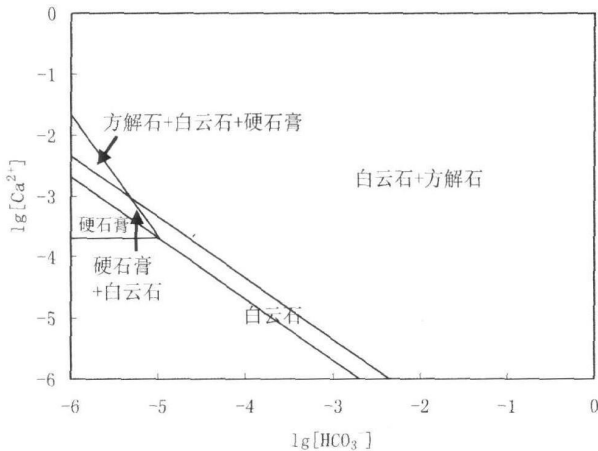


图 4  $\lg[\text{Ca}^{2+}]$  -  $\lg[\text{HCO}_3^-]$  相图 ( $[\text{SO}_4^{2-}] = 0.01 \text{ mol/L}$ ,  $[\text{Ca}^{2+}] / [\text{Mg}^{2+}] = 2$ ,  $\text{pH} = 7$ ,  $T = 160^\circ\text{C}$ )  
 Fig 4  $\lg[\text{Ca}^{2+}]$  -  $\lg[\text{HCO}_3^-]$  phase diagram ( $[\text{SO}_4^{2-}] = 0.01 \text{ mol/L}$ ,  $[\text{Ca}^{2+}] / [\text{Mg}^{2+}] = 2$ ,  $\text{pH} = 7$ ,  $T = 160^\circ\text{C}$ )

综合以上各图的限定, 我们总结出了本区方解石胶结作用发生时的成岩环境的地球化学条件的最大变化范围: pH 值约为 5.7~7.7, 钙离子浓度约为  $10^{-5} \sim 10^{-3} \text{ mol/L}$ , 钙镁比小于 9, 碳酸氢根离子约

为  $10^{-5.4} \sim 10^{-3.4} \text{ mol/L}$ 。综合上述分析和各图的相互限定, 方解石沉淀集中发生在 pH 值为 7~7.8 钙离子和碳酸氢根离子浓度为  $10^{-5} \sim 10^{-4} \text{ mol/L}$  的条件下。

通过以上热力学分析可以看出, 对于柴西北区 E<sub>3</sub><sup>1</sup> 地层的成岩作用来说, 起主要作用的控制因素是流体的 pH 值和各离子的浓度。方解石和白云石的胶结及交代作用需要成岩环境的 pH 值在中性或者偏碱性范围, 方解石在偏酸性的环境下需要具有较高的碳酸根离子浓度。方解石交代白云石取决于  $[\text{Ca}^{2+}] / [\text{Mg}^{2+}]$  变化。硬石膏的胶结及交代作用表示流体 pH 值向酸性条件转化并且具有较高的硫酸根浓度。

### 4 结论

我们对柴西北区第三系 E<sub>3</sub><sup>1</sup> 地层的成岩作用特征进行了研究, 并运用热力学方法分析了其中主要成岩作用阶段的成岩环境特征及其影响因素。综合以上分析, 可以得出如下结论:

本区发育有四次主要的成岩作用事件: 第一次是白云石胶结及交代作用, 第二次是方解石的胶结与交代作用, 第三次是胶结物的溶解, 第四次是晚期硬石膏的胶结及交代作用, 而油气充注发生在溶解作用之后硬石膏胶结作用之前。另外, 压实和压溶作用贯穿整个成岩作用过程。针对本区对孔隙影响最大的成岩作用——方解石的胶结, 热力学分析认为方解石沉

淀集中发生在 pH 值为 7~7.8 钙离子和碳酸氢根离子浓度为  $10^{-5} \sim 10^{-4}$  mol/L 的条件下。

从热力学分析可见, 酸碱度对成岩反应的发生起着十分重要的作用, pH 值的降低会造成硬石膏的沉淀及对碳酸盐矿物的交代, 并导致白云石和方解石的溶解; 反之, pH 值的升高则会造成方解石、白云石的沉淀和硬石膏的溶解。另外, 阳离子 ( $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ ) 浓度增加有利于各矿物的沉淀, 而阴离子  $\text{HCO}_3^-$  浓度的增加则会造成方解石、白云石的沉淀和硬石膏的溶解。温度亦对成岩作用有较大的影响, 方解石在低温时沉淀需要的钙离子和碳酸氢根离子浓度比高温时沉淀需要的离子浓度大。

### 参考文献 (References)

- 1 马达德, 寿建峰, 胡勇, 等. 柴达木盆地柴西南区碎屑岩储层形成的主控因素分析. 沉积学报, 2005, 23(4): 589-595 [Ma Dade, Shou Jianfeng, Hu Yong, et al. Analysis of the main controlling factors on the formations of clastic reservoirs in the southwestern area of the Qaidam Basin. Acta Sedimentologica Sinica 2005, 23(4): 589-595]
- 2 王鹏, 赵澄林. 柴达木盆地北缘地区第三系成岩作用研究. 西安石油学院院报, 2002, 17(4): 1-4 [Wang Peng, Zhao Chenglin. Study on diagenesis of tertiary reservoirs in the north border of Qaidam basin. Journal of Xi'an Petroleum Institute 2002, 17(4): 1-4]
- 3 褚喜准, 王琪, 史基安. 鄂尔多斯盆地盐池坳陷地区三叠系长 2 砂岩成岩演化特征与优质储层分布. 矿物岩石, 2005, 25(4): 98-106 [Zhuo Xizhun, Wang Qi, Shi Jihan. Diagenetic evolution and distribution of high quality reservoir of Chang 2 sandstones (upper Triassic) in Yan di Ji yuan area, Ordos basin. Journal of Mineralogy and Petrology, 2005, 25(4): 98-106]
- 4 何自新, 郑聪斌, 陈安宁, 等. 长庆气田奥陶系古沟槽展布及其对气藏的控制. 石油学报, 2001, 22(4): 35-38 [He Zixin, Zheng Congbin, Chen Anning, et al. The distribution of ancient delve (Ordovician) in Changqing gas field and its controlling to gas reservoir. Acta Petrologica Sinica 2001, 22(4): 35-38]
- 5 应凤祥, 罗平, 何东博, 等. 中国含油气盆地碎屑岩储集层成岩作用与成岩数值模拟. 北京: 石油工业出版社, 2004 [Ying Fengxiang, Luo Ping, He Dongbo, et al. The Diagenesis of Clastic Rock Reservoir and Diagenesis Numerical Modeling in China Hydrocarbon Bearing Basin. Beijing Petroleum Industry Press 2004]
- 6 熊金玉, 关平, 等. 江汉盆地白垩系储集层中硬石膏的成岩作用及其对油气分布的控制. 石油勘探与开发, 2007, 17(4): 39-42 [Xiong Jinyu, Guan Ping, et al. Diagenesis of anhydrite in the Cretaceous reservoir and its influence on the hydrocarbon distribution in southeast Jianghan Basin. Petroleum Exploration and Development 2007, 17(4): 39-42]
- 7 关平, 张文涛. 江汉盆地白垩系渔洋组砂岩的成岩作用及其热力学分析. 岩石学报, 2006, 22(8): 2144-2150 [Guan Ping, Zhang Wentao. Diagenesis of the Cretaceous sandstone in Yuyang Formation of Jianghan basin and its thermodynamic analyse. Acta Petrologica Sinica 2006, 22(8): 2144-2150]
- 8 Bowers T S. Equilibrium Activity Diagrams For Coexisting Minerals and Aqueous Solutions at Pressures and Temperatures to 5 KB and 600  $\mu\text{C}$ . Berlin New York: Springer-Verlag 1984
- 9 王高尚, 李鹏九. 热液平衡计算数据手册. 北京: 地质出版社, 1992 1-21 [Wang Gaoshang, Li Pengjiu. Manual of Calculation Data for Equilibrium of Thermal Fluid. Beijing Geological Publishing House 1992 1-21]
- 10 王焕夫. 柴达木盆地深层地下水成矿模式及其成矿规律. 盐湖研究, 2001, 9(2): 13-21 [Wang Huanfu. The mineralization pattern and laws of deep groundwater in the Qaidam Basin. Journal of Salt Lake Research, 2001, 9(2): 13-21]

## Diagenesis and Thermodynamics Analysis in Clastic Reservoir $E_3^1$ of North Area of West Qaidam Basin

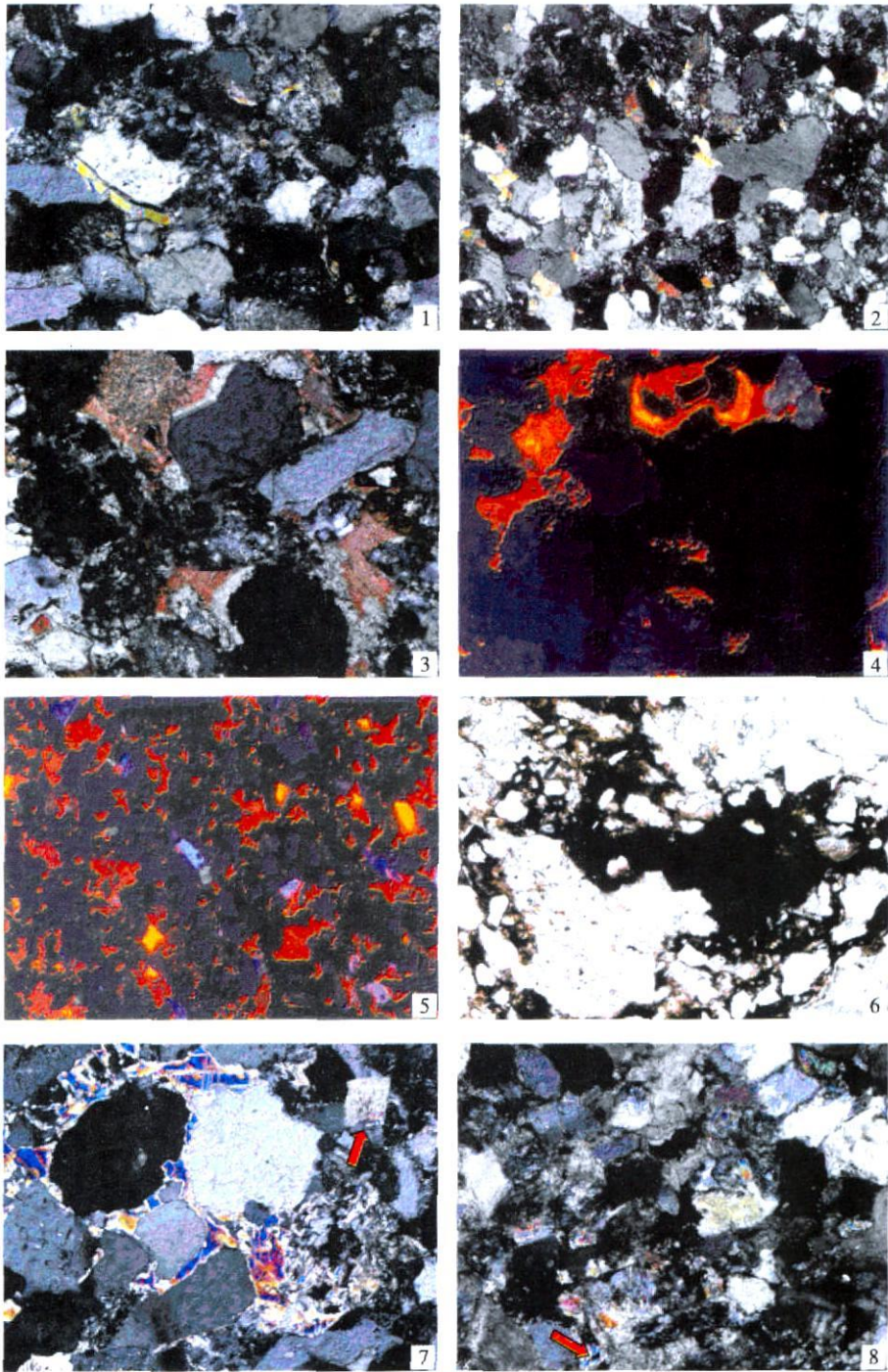
DU Bin-bin<sup>1</sup> GUAN Ping<sup>1</sup> TAN Yan-hu<sup>2</sup> ZHANG Wen-tao<sup>1</sup>  
YU Hong-jiao<sup>1</sup> HE Guo-yuan<sup>1</sup>

(1 School of Earth and Space Sciences, Peking University, Beijing 100871;

2 Qinghai Oilfield Academic, Dunhuang Gansu 736206)

**Abstract** Layer  $E_3^1$  in north area of west Qaidam Basin develops good clastic rock Reservoir properties and diagenesis have a big relevance. To recognize favorable reservoir in  $E_3^1$  in North area of west Qaidam Basin, we divide diagenesis sequence of this area on the basis of core observation, microscope research and analyses experiments, and research the controlling factors of diagenesis further through thermodynamic analyses. In this area, there are four times of wide-scale diagenesis mainly. The first is dolomite cementation and replacement. The second is calcite cementation and alternation. The third is dissolution and the fourth is anhydrite cementation and alternation. The oil flow happens between dissolution and anhydrite cementation. In addition, compaction and pressolution run through the whole diagenesis. Each diagenesis proceeds in thermodynamic system. Through carefully deduction, we draw five component phase diagram including calcite, dolomite and anhydrite, etc. and get the geochemistry characteristics of diagenesis environment.

**Key words** diagenesis, thermodynamic, constitutional diagram, calcite, dolomite, anhydrite



图版 I 说明: 1 云母挤压弯曲变形 (F2 4 640 m); 2 石英次生加大正交光 (F2 4 605 m); 3 白云石环绕颗粒胶结, 方解石充填在剩余孔隙中 (F2 4 835 m); 4 方解石的世代性 (F2 4 975 m); 5 含铁方解石阴极发光 (J5 3 128 m); 6 沥青充填次生孔隙 (N10 4 262 m); 7 硬石膏交代骨胶颗粒及交代碳酸盐形成假象; 8 硬石膏包裹有机质 (F2 4 605 m)