

黄骅盆地下第三系砂岩成岩作用 的扫描电镜研究

刘德镒

(湖南省地质局实验室, 长沙)

本文研究的样品是大港油田地质研究所选出的十套典型岩心标本(十口井共计543米岩心),是黄骅盆地下第三系中常见的一些砂体类型,时代从渐新世早期到渐新世晚期,还包括了上第三纪馆陶组地层。

本区下第三系含油砂岩的陆源碎屑中石英含量一般不高,在50%以下。长石含量较高,有的可达45%左右,以斜长石和正长石为主,微斜长石较少。岩屑含量除个别井段较高外,一般在25%以下,以火山岩岩屑为主,沉积岩和变质岩岩屑很少。砂岩岩石类型比较简单,以岩屑质长石砂岩和长石砂岩为主,少数为混合砂岩,局部为亚石英砂岩类。

本区含油砂体的埋藏深度一般为1800米—3900米,由于沉积相的多样性,使本区砂岩成岩作用复杂化,其主要表现形式为胶结作用、自生矿物的形成和侵蚀溶解作用。砂岩的胶结物以钙泥质和碳酸盐为主,其次为硅质、硅酸盐及少量黄铁矿和石膏。

本文用扫描电镜来研究某些砂岩的成岩作用,研究其矿物学变化,重塑成岩作用历史,从而了解砂岩的储集性能。

一 研究方法

通常研究成岩作用的方法有岩石薄片、光片的常规显微镜研究、阴极发光、电子显微探针、差热分析、X射线衍射分析和扫描电镜研究等。用扫描电镜研究成岩作用,其注意力集中在研究粘土矿物上,也注意石英增生晶和别的自生矿物的发育及颗粒的表面结构和侵蚀特征。

扫描电镜研究,首先必须制样,从岩心样品上敲下小的碎屑(最好用丙酮洗一下),将新鲜的破碎面向上,镶在铝座上,然后用钼或铝镀膜。一般放大倍数为100倍—10000倍。低倍镜用于观察颗粒间的相互关系,即先观察“全貌”,选择和圈定高倍照像的位置。中倍显示特征矿物的形态细节。高倍视域显示表面结构和非常细小的颗粒细节。最高的放大倍数显示显微晶体集合体的特征,以及那些在低倍下显示完全圆滑的自形表面。

对所有样品还使用了偏光显微镜, 差热分析和X射线衍射分析。

二 成 岩 作 用

1. 成岩作用中的矿物成分

1) 粘土矿物

高岭石 成岩作用中自由生长在砂岩孔隙中的自生高岭石, 常成为假六方片状, 集成“书册状”(图版 I, 1)。它们占据孔隙空间, 使砂岩的孔隙度和渗透率明显降低。

本区东营组三角洲相和沙河街组三段浊流相砂岩中均见有自生高岭石, 但在港深5-5井(深度为3918米)颗粒流相砂岩中也见有高岭石。深井中的高岭石可能和因断块上升所引起的低pH值的浅层地下水对钾长石的再溶淋作用有关。

埃洛石 高倍电镜下为一种丝管状, 花朵状(图版 I, 2), 在本区砂岩孔隙中常可见及。

高岭石和埃洛石的形成, 必须从原始物质中有效地迁移除去铝、硅等元素和氢离子, 因而它们多发育在孔隙连通性好的砂岩中。但是这两种矿物在成因条件上有较大的差别, Bates(1952, 1962)指出原始物质的类型决定了高岭石或埃洛石的形成, 高岭石通常需要获得云母类型的中间产物, 如从钾长石的分解作用而来; 而埃洛石通常从斜长石的直接蚀变中形成。

蒙脱石和蒙脱石-伊利石混层粘土矿物 扫描电镜下蒙脱石常呈菜花状。随着砂体埋藏加深, 将向蒙脱石-伊利石混层矿物转化, 其扫描电镜照片的特点是略具毛刺状和卷边状。

砂岩孔隙中的蒙脱石和混层粘土(图版 I, 3), 往往连接并贯穿显微孔隙, 成为“桥”; 从而减少了孔隙度。

伊利石 伊利石在电镜下为不规则细鳞片集合体, 边缘常卷曲(图版 I, 4), 鳞片状伊利石像“抽丝”一样, 伸向孔隙, 状似柱晶、纤维、竹叶, 树枝, 并有扭曲现象(图版 I, 5、6)。

蒙脱石、伊利石形成的有利条件与高岭石和埃洛石不同, 属碱性-弱碱性环境。蒙脱石-伊利石混层粘土随着埋藏加深也会转化成伊利石。

绿泥石 具假六方形, 扫描电镜下呈瓦片状堆积, 有的由长石经成岩蚀变而来, 并沿长石解理方向分布(图版 I, 1), 部分发育在砂岩孔隙中或在自生石英晶体被侵蚀的孔洞中(图版 I, 2)。说明绿泥石形成于较碱性的环境中, 是较晚期的成岩自生矿物, 多见于深井中。

总之, 本区下第三系砂岩中高岭石, 埃洛石、伊利石和混层粘土矿物的量虽然不多, 但分布普遍, 占据了原有的孔隙位置, 减少了孔隙度, 特别是当它们横过孔隙连成一串, 相搭成“桥”时, 就增加了砂岩的比面和孔道的弯曲度, 降低了砂岩渗透率。

2) 石英、长石的次生形成及侵蚀特征

砂岩孔隙中形成的自生石英、自生长石和在相同碎屑颗粒底质上形成的共轴次生加

大型石英和不共轴长石、及再生胶结,是本区砂岩成岩作用的一个特点。

石英次生加大边与主晶石英碎屑颗粒具光学连续性,在薄片,可清楚地识别那些在接触处具有“脏线”的有痕次生加大现象(图版Ⅰ,3)。而对那些无痕次生加大石英需用阴极发光显微镜加以鉴别(Sippel, R, F, 1968)。

长石次生加大边与主晶长石碎屑颗粒光性方位往往不一致。本区次生加大长石中最常见的为正长石和斜长石,而微斜长石少见(图版Ⅰ,4)。

次生加大边往往趋向于形成自形晶体,特别是在孔隙、孔洞和有自由空间的地方。自生石英晶体或锥面(参见图版Ⅰ,1),或有良好的双锥状晶体(参见图版Ⅱ,2),或在孔洞中成为晶簇状(图版Ⅱ,5)。自生长石晶体没有自生石英晶体那么常见,一般在3000米以下的井段中出现(图版Ⅱ,6)。

本区下第三系砂岩薄片中有大片方解石连晶(即嵌晶)胶结物溶蚀交代各种碎屑,包括石英、长石和火山岩屑等。对石英的溶蚀交代最强烈,使碎屑石英成为港湾状或孤岛状,有时全部被溶蚀交代只剩下极少残余。本区砂岩中的压溶现象不明显,颗粒边缘在粘土薄膜的触煤作用进行溶解的过程中,使硅、铝、钠、钾等元素转入孔隙溶液,引起元素重新分配,并在未被溶蚀交代的石英和长石碎屑颗粒上沉淀下来,形成石英、长石等的次生加大边及自生石英、长石晶体。侵蚀石英和侵蚀长石的存在被认为是次生石英和长石的可能来源。用扫描电镜可以揭示出石英等颗粒的表面构造和侵蚀特征。特别值得注意的是本区较早期的自生石英和自生长石晶体往往被侵蚀交代(图版Ⅰ,1、5、6,图版Ⅱ,2、6),说明本区石英、长石的次生成物是在一些颗粒溶解的同时而在另一些颗粒上沉淀下来即在边溶解、边沉淀的过程中形成的。

3)碳酸盐

是本区最重要的成岩化学胶结物,主要为方解石,次为白云石。

泥微晶碳酸盐胶结物(方解石质或白云石质)是一种低能封闭环境下同生或早期成岩的产物,常有白云石化作用,可形成完整的细小菱面体。

方解石亮晶胶结物是本区砂岩的主要胶结物之一,其中有些呈连晶方解石胶结,连晶的晶粒大小可达0.3—1 mm以上,也有2 mm的,每个晶粒中可包含多个砂粒,因此也叫嵌晶式胶结,属基底式。在碱性条件下富钙质的溶液在砂岩孔隙中再沉淀成方解石亮晶(图版Ⅰ,3、5)。

扫描电镜下,我们还可以通过其菱面体解理来识别碳酸盐(图版Ⅱ,5)。

对井区各井段含油砂岩的观察发现,被连晶方解石胶结的部位,没有含油的迹象。显然碳酸盐胶结物对砂岩孔隙度和渗透率的降低有明显影响。

4)黄铁矿

本区砂岩中黄铁矿数量很少,但分布普遍。草莓状黄铁矿是早期成岩产物,但多数细小晶粒状黄铁矿却是成岩晚期形成的。它常与有机质伴生,因此认为是在有机质形成的局部还原环境下,从溶液中沉淀而成的。

2.砂岩成岩作用基本特征

1)砂岩胶结物的组合、成岩环境和阶段 砂岩中的化学胶结物属成岩阶段产物,可以是单一矿物组成的,也可以是两种至多种矿物组成的。其沉淀顺序模式如表1所

表 1 砂岩中化学胶结物及其沉淀顺序模式

Table 1 Mineral composition and precipitation order model of chemical cements in sandstone

一种胶结物	二种胶结物	三种胶结物	四种胶结物	五种胶结物
方解石	1. 石英	1. 长石(或石英)	1. 石英(或长石)	1. 石英(或长石)
	2. 方解石	2. 石英(或长石)	2. 白云石	2. 长石(或石英)
	或	3. 方解石	3. 方解石	3. 白云石
	1. 白云石	或	1. 硬石膏	1. 方解石
	(或方解石)	1. 石英(或长石)	或	5. 硬石膏
	2. 方解石	2. 白云石	1. 石英	或
	(或白云石)	3. 方解石	2. 长石	1. 长石
		或	3. 白云石	2. 石英
		1. 石英(或长石)	4. 方解石	3. 方解石
		2. 白云石		4. 白云石
		3. 硬石膏		5. 硬石膏

示,表中的多种模式与Waldschmidt(1941)总结美国洛杉矶地区中生代砂岩中化学胶结物的四种模式(石英-方解石,石英-白云石-方解石,石英-白云石-硬石膏,石英-白云石-方解石-硬石膏)基本类似,但本区还有较晚期形成的白云石和较早期形成的长石,因而模式类型较复杂。

本区成岩矿物的相互交代作用中未见到假象、幻影构造等强烈的交代作用现象,只有在连晶方解石(或亮晶方解石)比较强烈地交代碎屑矿物的薄片,成岩矿物相互间穿插交代现象才较明显,表明交代作用是在碱性溶液中长时间进行的结果。

本区下第三系各沉积相的砂岩,因成因各异,岩性不同,成岩作用表现也不同。如滩相和某些滨湖相可能由于富含钙质生物,且由于这些钙质生物壳的溶解形成富碳酸钙的饱和溶液,又由于本区地下水溶液向深处碱性增强,所以在这些沉积相砂岩中普遍发育亮晶方解石及连晶方解石。冲积相中的粘土质砂岩不利于次生加大型石英和长石发育。但在局部pH不高的环境中可在砂岩未被填满的少数孔隙中有少量次生加大石英。在笔者所观察的十口井中,只在港深5-5井3900—4000米颗粒流相分选砂岩中次生加大石英和长石最发育。这和颗粒流相砂岩富石英、长石、少粘土质有关,也和这些砂岩分选较好,孔隙度和渗透率较高有关。

本区砂岩的镜下观察表明,大部分颗粒间以点接触为主。有些紧密接触类型的砂岩,并非强烈机械压实,而是次生加大石英发育的砂岩。所以次生加大石英开始形成于砂粒未被紧密压实的中-早期成岩阶段。

砂岩中的碳酸盐胶结物和沉积环境的关系较密切。如泥晶碳酸盐胶结物是同生阶段或与沉积环境有一定联系的早期成岩阶段的产物。若存在蒸发作用而产生富镁溶液,则

在早期成岩阶段还可使泥晶方解石产生白云石化作用。富镁溶液也可沿埋藏的碎屑颗粒边缘隙间流动,交代方解石形成泥晶白云石薄膜胶结,并形成镶边状白云石菱形小晶,一些白云石菱形晶可在孔隙中分散存在。亮晶和连晶方解石一般说来,它们是中(早)期成岩阶段形成的,但后者也可能是砂岩原生孔隙度,渗透率较高或碱性溶液侵蚀交代砂岩中碎屑颗粒的结果。在晚期成岩阶段,由于孔隙碱性溶液的活动仍有可能发育不同时期的方解石。在孔隙式亮晶方解石中可形成个别大的白云石菱形晶。

碳酸盐胶结物的重结晶作用极不明显。在本区成岩作用中重结晶不占重要地位。压溶现象在本区成岩作用不占重要地位,只有个别受构造应力较强的地区才发生石英等碎屑颗粒略呈平行排列的紧密线接触。因此在本区成岩作用过程中,温度和溶液化学性质起主导作用。

2)成岩作用对砂岩储集性能的影响

砂岩孔隙中粘土矿物的发育和成岩自生矿物的形成,使孔隙度减少;孔隙中自生粘土的存在,必然会增加砂岩的比面和弯曲度,阻碍石油流动,降低砂岩的渗透率。

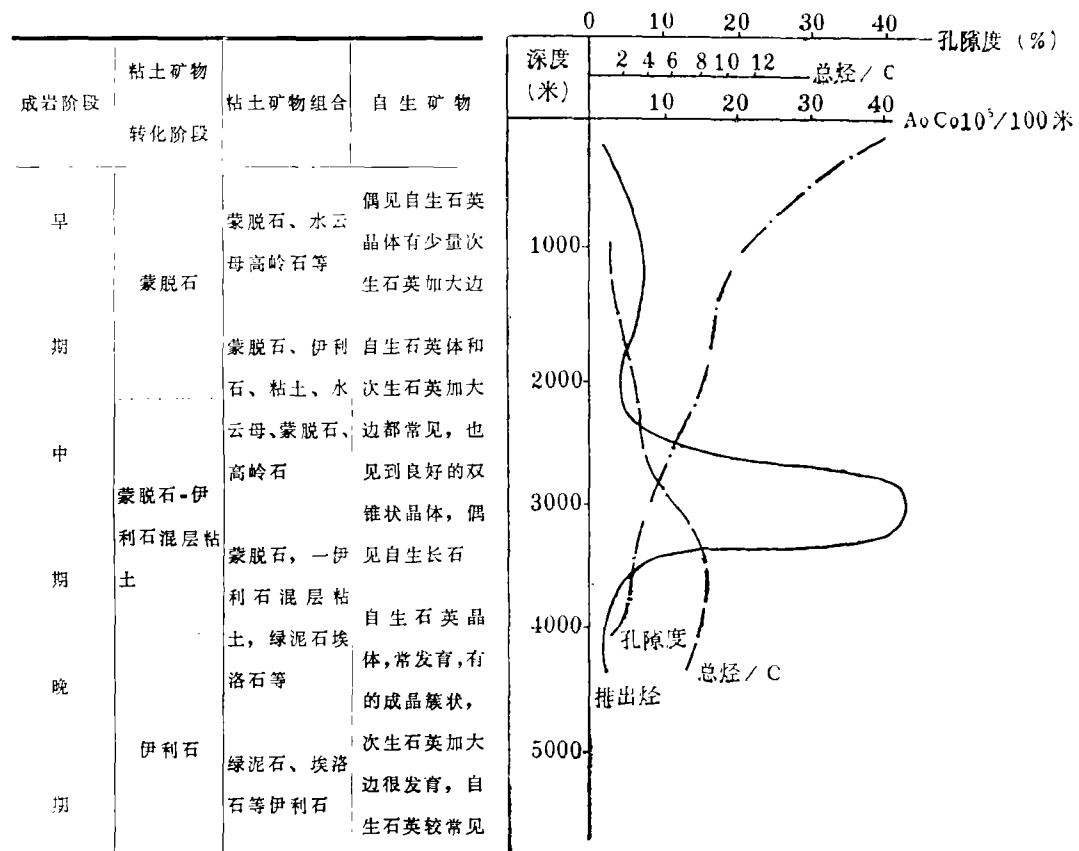


图1 成岩特征与砂岩储集性能之间的关系

Fig. 1 Relationship between the diagenetic characteristics and reservoir behavior in sandstone

碳酸盐胶结物对孔隙度、渗透率下降的影响较明显，使滩相等原生孔隙度较好的砂岩储集性能变差，如歧86井和歧643井的砂岩就是例子。特别是连晶方解石形成嵌晶胶结时，对砂岩孔隙度和渗透率的降低影响最大，如在歧86井、高5井和港深5-5井中连晶方解石出现的井段，砂岩中滴油不含。

次生加大石英和长石既有堵塞孔隙的不利作用，又有支撑岩石保存剩余孔隙的有利作用，故次生加大石英和长石发育的某些砂岩中仍可储油，如港深5-5井（深3950多米）中的颗粒流相砂岩就是一例。因此深井中这种再生胶结的砂岩仍可成为储油层。

砂岩的储集性能不仅取决于不同沉积相砂岩的原生孔隙度，渗透率，也决定于砂岩的成岩变化。图1显示了成岩自生矿物，粘土矿物组合、成岩阶段、排烃量与砂岩孔隙之间的关系，可以看出，多在2000~4000米深度形成主要油藏，主要储油岩层多分布在混层粘土带中，此深度带大体上也是石油烃生成到裂解的范围。

笔者深切感谢地质学院北京研究生部何镜宇教授对本文的指导，感谢研究生部电镜室老师的支持帮助。

（收稿日期 1982年10月29日）

参 考 文 献

- [1] Bates, T. F., 1952, "Interrelationships of structure and genesis in the kaolinite group." Amer. Inst. Min. Metal. Eng., Problems of clay and laterite genesis, 144-153.
- Bates, T. F., 1962, "Halloysite and gibbsite formation in Hawaii." Clay and clay minerals, 9, 315-328.
- [2] Sippel, R. F., 1968, "sandstone petrology, evidence from luminescence petrography," Jour. Sed. Petrology, 38, PP. 530-554.
- [3] Werle, B. & Schneider, H. E. 1979, "Scanning electron microscope observations of diagenesis in the Triassic sandstones of the Saar area, west Germany.": Aspects of diagenesis, PP. 355-362.
- [4] Whitaker, J. H. Mcd., 1979, "Diagenesis of the Brent Sand Formation: A scanning electron microscope study.": Aspects of diagenesis, PP. 363-378.
- [5] Waldschmidt, W. A.: 1941, Cementing materials in sandstones and their influence on migration of oil. Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol., V. 25, P. 1839-1879.

SCANNING ELECTRON MICROSCOPE STUDIES ON DIAGENESIS OF EOGENE SANDSTONES OF HUANGHUA BASIN

Liu Deyi

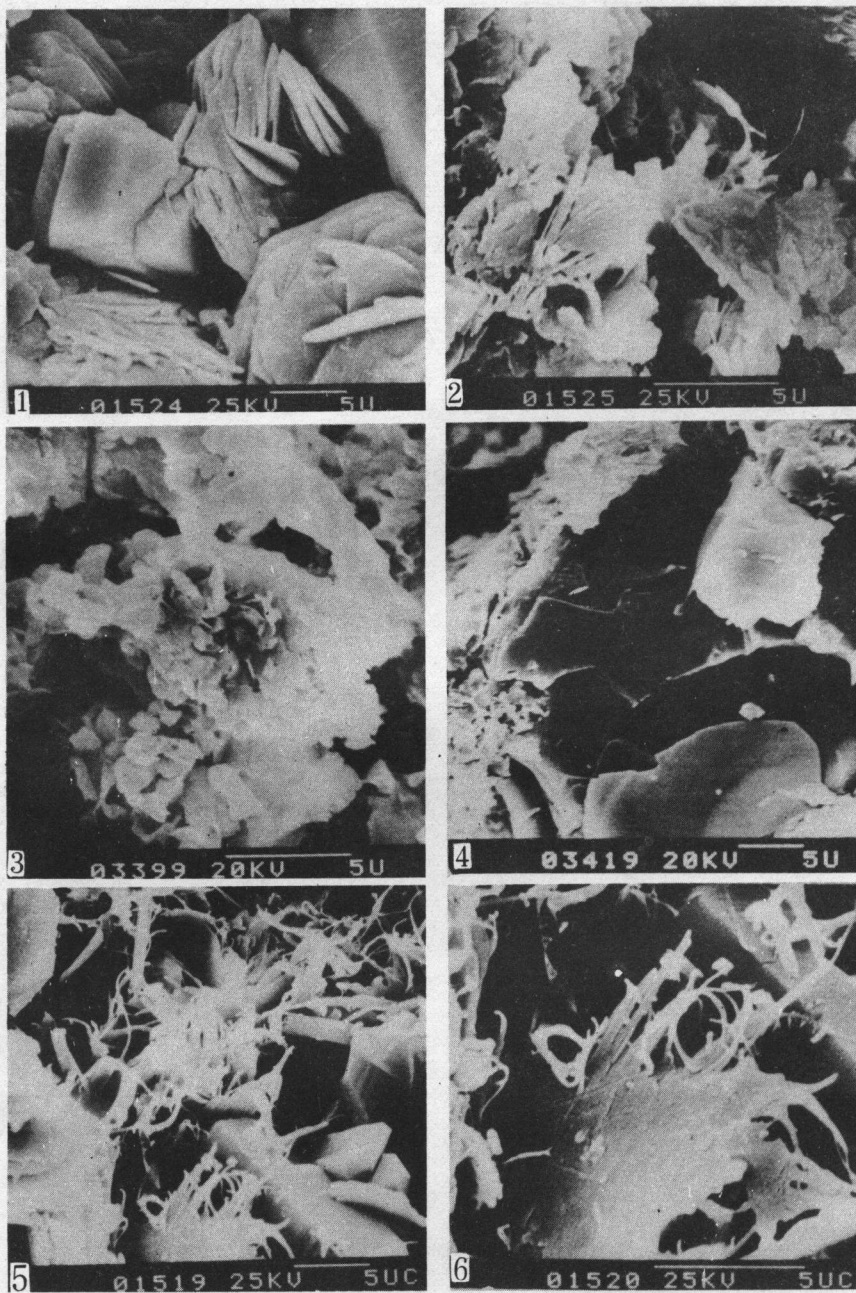
(Geological Laboratory of Hunan)

Abstract

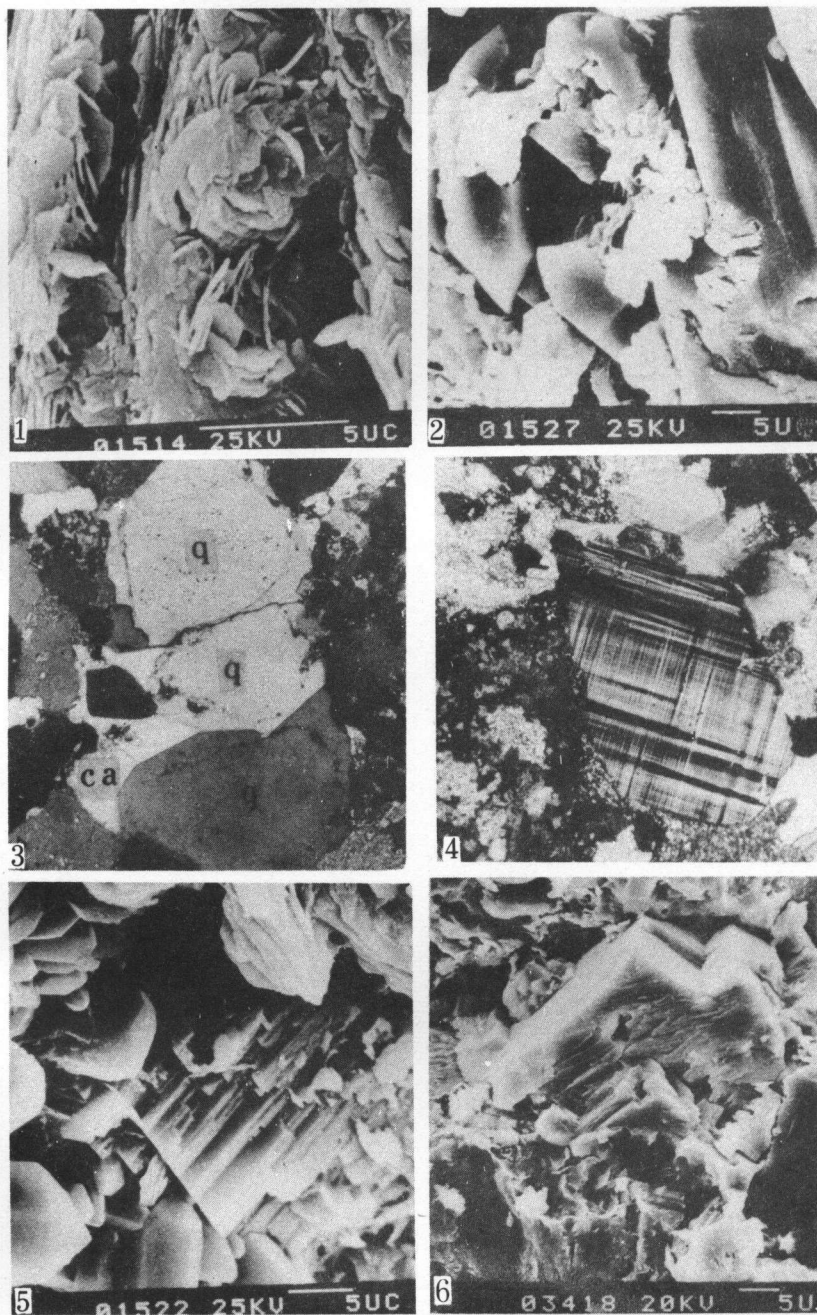
Huanghua Basin, an important oil-bearing basin in eastern China, is one of the Mesozoic and Cenozoic fault-subsidence basins.

The diagenetic characteristics of the Eocene sandstone of the Huanghua Basin can be recognized by the scanning electron microscopy (SEM), aided by thin section and reflected-light microscopy, differential thermal analysis and X-ray diffraction. In this area the diagenetic clay minerals are kaolinite, montmorillonite, illite, illite/montmorillonite mixed clay minerals, chlorite, etc., and the chemical cementing or binding materials are calcite, dolomite, secondary overgrowth on quartz grains and authigenic quartz crystals, secondary overgrowth on feldspar grains and authigenic feldspar crystals and anhydrite in the sandstones. Among them, the relationship between carbonatite cements and the depositional environments is closer, while silica and cements are more related to the diagenetic environments. The chemical properties and/or temperature of pore solution are important factors for affecting chemical cement development.

The authigenic clay minerals and carbonatite cements obviously reduce porosity and permeability of the sandstones, and secondary overgrowth quartz and feldspar can not only fill pore space but also prop up rocks to keep the remainder pore space of the sandstones. Therefore the sandstones in deep well, where the cement is well-developed, can still become the reservoir. The reservoir of the studied area is mainly distributed in the mixed clay zone, while the main reservoir is often within the depth of 2000—4000m.



1. 砂岩孔隙中的书册状高岭石和自生石英晶体，后者锥面较柱面发育，港深5—5井(S)。 2. 花朵状的埃洛石和手风琴状的高岭石，港深5—5井(S)。 3. 砂岩孔隙中的蒙脱石和混层粘土矿物，港521井(S)。 4. 具卷边状的鳞片状伊利石，像花环一样围绕石英颗粒。高5井(S)。 5. 砂岩孔隙中伊利石，有的相互搭成“桥”，另见有自生石英晶体(有溶蚀)和自生长石，港深5—5井(S)。 6. 照片5的局部放大，示伊利石的形态(S)。



1. 沿碎屑长石解理分布的成岩自生绿泥石, 高 5 井 (S)。 2. 自生绿泥石发育在双锥状自生石英晶体被侵蚀溶解的孔洞中, 港 8—55 井 (S)。 3. 砂岩中石英的有痕次生加大边形成局部再生胶结, 并见亮晶方解石 (Ca) 作孔隙式充填, 港中 8—55 井 (8), 正交, 85 倍。 4. 具格子状双晶的微斜长石次生加大边, 样号同 9, 正交, 156 倍。 5. 砂岩中的菱面体方解石, 在扫描电镜下依其菱面体解理来加以识别, 孔洞中还有晶簇状石英和高岭石, 港深 5—5 井 (S)。 6. 板状自生石英晶体, 有溶蚀现象, 高 5 井 (S), 为扫描电镜二次电子图像。