

# 阜东斜坡侏罗系齐古组一段成岩作用研究

连丽霞, 王桂君, 孟颖, 阿不都·艾尼

中国石油新疆油田分公司实验检测研究院, 新疆克拉玛依, 834000

齐古组是准噶尔盆地阜东斜坡区的重要勘探层系之一。但随着勘探的深入, 发现阜东斜坡区不同井的自然产能存在较大差异, 究其原因不仅与有利储集层空间分布复杂有关, 更与成岩演化程度差异、胶结作用类型多样等形成的储层较强非均质性密切相关。因此对该地区齐古组储层的成岩作用进行系统研究已成为深入认识阜东齐古组岩性油藏特征, 优选下一步勘探目标的关键地质问题之一。

## 1 储层基本特征

西研究区齐古组沉积期气候环境干旱(新疆地矿局, 1982), 受燕山 II 期构造运动影响, 盆地进一步抬升、湖盆范围缩小, 主要发育三角洲沉积体系, 研究区三角洲平原分流河道和三角洲前缘水下分流河道是齐古组主要的储集砂体。

齐古组一段岩性主要为岩屑砂岩, 其次为长石岩屑砂岩。骨架颗粒中岩屑含量高, 类型以中基性火山岩和凝灰岩为主。岩石结构以细—中粒砂岩为主, 次棱角状, 分选中等—好。泥质杂基含量总体偏低, 碎屑颗粒边缘多发育泥质包膜。胶结物以方解石为主, 其次粒间不均匀充填有少量微晶石英、黄铁矿和方沸石等。胶结类型主要为薄膜型、孔隙型和孔隙—压嵌型。齐古组一段总体表现为成分成熟度较低、结构成熟度较高、泥质含量总体偏低的岩矿特征。

## 2 成岩作用特征

成岩作用是直接影响储集砂体孔隙结构的主要因素之一。研究区与储层发育密切相关的成岩作用有压实—压溶作用、胶结作用、溶蚀作用。

### 2.1 压实—压溶作用

齐古组机械压实(压溶)作用的主要表征为: 碎屑颗粒出现定向排列; 塑性岩屑受压变形; 颗粒间以点、线接触为主, 局部出现凹凸接触(图 1a)。这表明研究区砂岩骨架颗粒结构已很稳定, 不易被进一步压实。

### 2.2 胶结作用

#### 2.2.1 自生粘土矿物胶结

研究区粘土矿物类型丰富, 赋存状态有成岩早期的包膜型和较晚成岩阶段的孔隙充填型。据 X 衍射分析, 阜东齐古组粘土矿物以伊/蒙混层为主, 绿泥石次之, 少量伊利石和高岭石(图 1b)。结合微观分析可知, 储层中自生粘土矿物以绿泥石为主, 呈薄膜状沿粒缘分布(图 1d, 1e), 其普遍发育是原生孔隙得以保存并影响自然产能的主要原因之一。关于早成岩期形成颗粒包膜的成因及其与深埋藏砂岩保存大量原生孔隙的关系前人已有较多研究(Heald, 1974; Imam, 1986; 柳益群等, 1996; 黄思静等, 2004; 田建锋等, 2008; 常秋生等, 2013), 普遍认为粘土包膜的形成可以有效抑制胶结物形成, 有利于粒间孔的保存。

#### 2.2.2 硅质胶结

阜东齐古组铸体薄片较少观察到石英次生加大, 这可能缘于粘土矿物包膜对原生孔隙的保护(Morad, 2004)。但铸体薄片及扫描电镜下, 有较多自生微晶石英充填于粒间孔隙中(图 1b)。由于未观察到石英溶解现象, 因此石英压溶不可能是齐古组微晶石英的来源, 推测可能来自于粘土矿物演化释放硅离子并造成硅质胶结物沉淀及有机酸对长石的溶蚀。

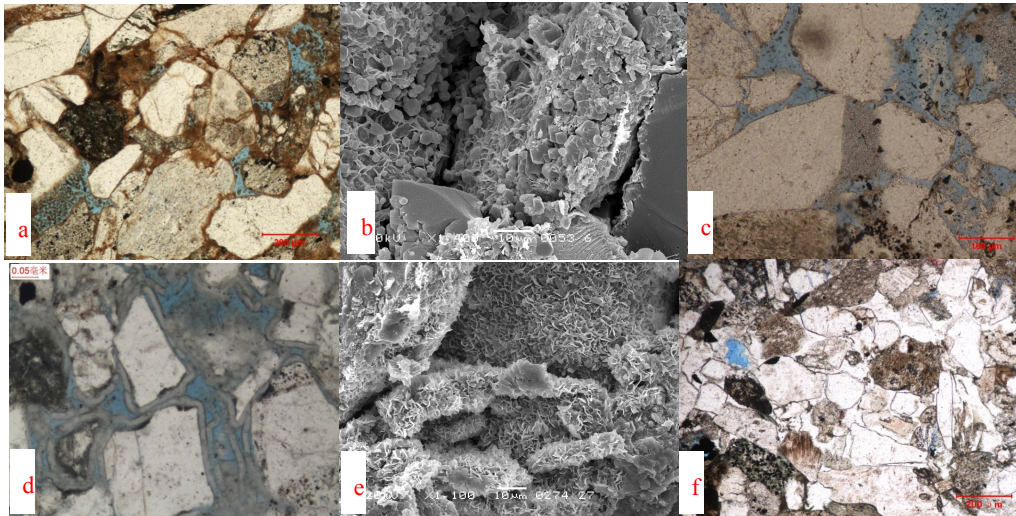


图 1 阜东地区齐古组一段砂岩特征

a—北 38, 1837.7m, 细—中粒岩屑砂岩, 压实(压溶)特征; b—阜东 18, 1927.5m, 中-细粒岩屑砂岩, 绿泥石环边, 单偏光; c—阜东 18, 1927.5m, 中—细粒岩屑砂岩, 片状绿泥石集合体呈薄膜结构附着于碎屑颗粒表面, 扫描电镜; d—北 97, 2911.4m, 细粒岩屑砂岩, 粒状石英晶体及片丝状伊利石附着于颗粒表面, 扫描电镜; e—阜东 16, 2031.4m, 中粒岩屑砂岩, 粒间充填高岭石, 单偏光; f—阜东 2, 2901m, 细粒岩屑砂岩, 方沸石充填, 单偏光

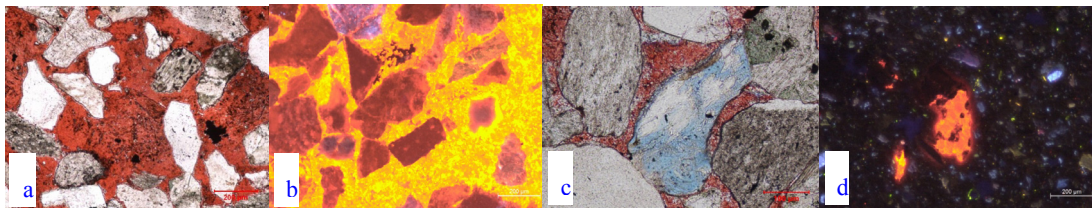


图 2 齐古组一段钙质胶结物显微特征

a—阜东 162, 1999m, 钙质细-中粒岩屑砂岩, 单偏光; b—阜东 16, 2037.4m, 钙质中粒岩屑砂岩, 阴极发光; c—阜东 162, 2006m, 钙质中—细粒岩屑砂岩, 粒内溶孔; d—阜东 16, 2037.4m, 钙质中粒岩屑砂岩, 阴极发光

### 2.2.3 方解石胶结

研究区方沸石较少出现, 多充填粒间孔(图 1f)。大量发育的凝灰岩碎屑可能是方沸石的物质来源, 因为凝灰岩含有大量低温时不稳定矿物, 受溶液作用迅速分解后可释放出大量  $K^+$ 、 $Na^+$ 、 $Ca^{2+}$ 、 $Mg^{2+}$  等离子, 使溶液呈强碱性, 有利于沸石的形成(朱世发等, 2010)。

### 2.2.4 钙质胶结

阜东齐古组钙质胶结较普遍, 研究发现存在两期钙质胶结。早期较普遍且相对较强, 含量可高达 30%, 碎屑颗粒多呈悬浮状分布于连晶状碳酸盐胶结物中(图 2a), 阴极发光强, 发亮黄色光(图 2b)。较晚期钙质胶结主要表现为充填原生粒间孔隙(图 2c) 或交代碎屑颗粒两种形式, 阴极发光下发橙红

色光(图 2d)。充填粒间孔隙的方解石并未充填粒内溶孔, 因此, 该赋存方式的方解石形成时间早于溶蚀作用时间(图 2c)。

### 2.3 溶蚀作用

据镜下观察, 研究区溶蚀作用较弱, 有少量长石碎屑或含长石的岩屑等的溶蚀现象(图 2c), 发生时间相对稍晚, 对储层物性的改善较为有限。

## 3 成岩阶段划分及孔隙演化

### 3.1 成岩阶段划分

研究区齐古组成岩阶段划分主要考虑了与古地温等有关的三方面证据: 自生矿物组合、分布、演化及形成顺序; 粘土矿物及混层粘土矿物的转

化；岩石的结构构造特点。研究区发育如下成岩现象：碎屑岩原生孔隙较多，次生孔隙相对不发育，颗粒以线接触、点线接触为主；多见方解石胶结（图 2）；自生粘土矿物较发育，薄片常见粘土矿物呈薄膜状包围颗粒，扫描电镜下常见叶片状绿泥石、丝状伊利石以及蜂窝状伊/蒙混层，X 衍射分析粘土矿物主要为伊/蒙混层，齐古组一段平均为 66.7%，混层比 10~95%。

综上所述，根据我国石油行业标准（SY/T5477-2003），阜东齐古组一段主要处于早成岩 B 期，部分处于中成岩 A 期。

### 3.2 成岩序列及孔隙演化

根据对成岩作用及各种自生矿物形成先后次序的分析，确定阜东齐古组砂岩的成岩序列为：早期成岩现象包括压实作用、凝灰质的蚀变、粘土矿物环边胶结、早期钙质胶结；中期成岩包括方解石、方沸石、溶蚀作用、晚期钙质充填、自生高岭石、自生微晶石英。从自生矿物沉淀组合来看，早期和中期弱碱性孔隙水，局部为强碱性孔隙水（有利于方沸石的形成），较晚期为酸性孔隙水。由于各成岩作用的发生和自生矿物的生成都需要一定时间，因此同一时间段内可能发生着多种成岩作用，它们的早晚只是相对而言，其成岩序列及孔隙演化见图 3。

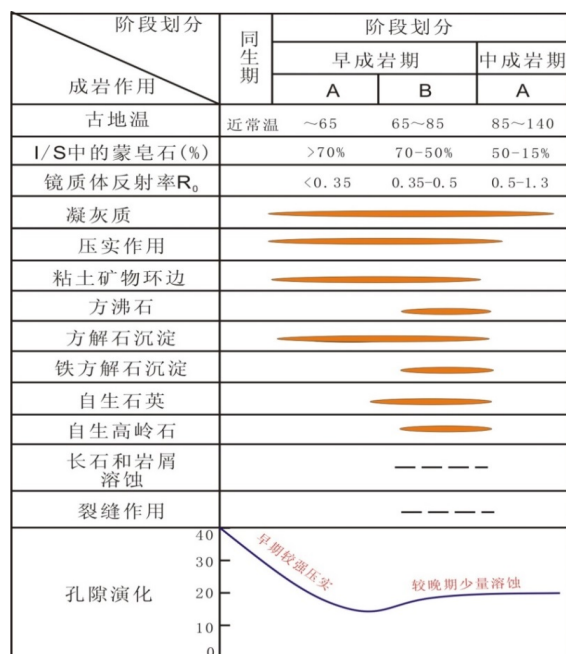


图 3 阜东齐古组成岩演化序列

## 4 成岩相特征

### 4.1 齐古组一段成岩相划分

依据铸体薄片、扫描电镜和孔渗分析等测试数据，结合沉积相分析成果，将研究区齐古组一段砂岩成岩相划分出如下几种典型类型：

(1) 压实相：压实作用强弱决定了砂岩储层中颗粒排列方式和接触紧密程度，相应控制了原生粒间孔隙的纵向分布特征。对于早期钙质胶结和自生绿泥石环边胶结的砂岩，压实程度较弱；而泥质杂基含量较高的砂岩压实程度较强。

(2) 胶结相：研究发现齐古组一段储层中虽然胶结作用类型多，但胶结物含量较低，对储层物性影响相对较小。特别是自生粘土矿物环边对储层原生粒间孔有保存作用，形成自生粘土矿物（以绿泥石为主）环边胶结相砂岩。而部分砂岩的钙质胶结作用相对较强，实测物性较差，因此有必要将这类储层划分出来。

### 4.2 成岩相组合

在压实相、胶结相分析基础上，划分出 3 种典型成岩相组合：

(1) 早期钙质胶结—弱压实相（图 4a）：厚度较小，但普遍分布在齐古组砂体中，处于早成岩阶段 A→B 期弱碱性环境，但造成的砂岩致密化对储层的影响可延续到中成岩阶段。砂岩组构表现为早期方解石连晶胶结或重结晶，颗粒呈“悬浮状”。粒间孔几乎全被方解石充填，仅发育少量长石和岩屑选择性溶蚀形成的粒内、粒间溶孔，连通性差，排驱压力大。早期钙质胶结是造成中浅层储层物性差和非均质性强的主要原因。这类储层平均孔隙度小于 10%，平均渗透率小于  $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ，属特低孔特低渗储层。

(2) 自生粘土矿物环边胶结—弱压实相：碎屑颗粒之间以点接触为主，塑性颗粒轻微变形，颗粒周缘发育自生粘土矿物包膜，有利于原生孔隙保存。孔隙类型以原生粒间孔为主，孔隙连通性很好。实测样品平均孔隙度  $> 10\%$ ，平均渗透率  $> 50 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ，属中高孔中高渗储层，是最有利储层的成岩相。

(3) 较强压实—弱胶结相：胶结物较少，压实作用较强，颗粒之间以线接触为主，塑性颗粒较

强烈变形, 往往形成堵塞孔隙的假杂基而不利于原生孔隙的保存。仅发育极少量粒间孔或粒内溶孔, 孔隙连通性差。孔隙度一般 $<10\%$ , 平均渗透率 $<50 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ , 属低孔低渗储层。

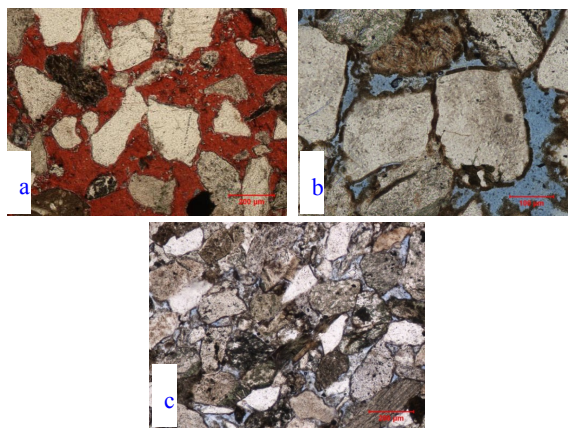


图4 阜东地区齐古组不同成岩相组合显微特征

a—早期钙质胶结-弱压实相, 阜东 16 井, 2037.4m; b—自生粘土矿物环边胶结—弱压实相, 阜东 161, 2052m; c—较强压实-弱胶结相, 阜东 161 井, 2055.80m

#### 4.3 成岩相平面分布特征

(1) 已钻井揭露的三角洲平原分流河道和三角洲前缘水下分流河道砂体, 绝大部分都属于最有利储层发育的自生粘土矿物环边—弱压实相, 部分砂体由于强烈的钙质胶结, 易形成钙质胶结—弱压实相的不利储层。

(2) 三角洲前缘河口坝砂体由于沉积物快速沉积, 易出现较强压实—弱胶结相。

(3) 分流间洼地、泛滥平原和下水天然堤等沉积微相水动力条件较弱, 砂岩颗粒细小且泥质杂基含量较高, 原生孔隙少, 连通性较差, 给后期酸性流体的溶蚀造成困难, 通常形成泥岩致密相。

## 5 结论

(1) 阜东斜坡齐古组一段储层成岩现象丰富, 起破坏作用的有压实、压溶和胶结作用, 建设性成岩作用有早期粘土矿物包膜的形成, 而不甚发育的溶蚀作用贡献不大。目前主体处于早成岩阶段 B 期。

(2) 齐古组一段至少存在两期钙质胶结, 早期钙质胶结较普遍, 方解石含量高, 阴极发光中发亮黄色光; 较晚期钙质胶结有充填原生粒间孔隙和交代碎屑颗粒两种形式, 阴极发光中发橙红色光。

(3) 齐古组一段共划分出早期钙质胶结—弱压实相、自生粘土矿物环边胶结—弱压实相和较强压实—弱胶结相三种典型成岩相组合类型, 其中自生粘土矿物环边胶结—弱压实相为有利储层发育相带。

## 参 考 文 献 / References

- 常秋生, 万敏, 孙自金, 王睿, 王忠泉, 陈洪, 郑艺. 2013. 阜东斜坡头二段储集层成岩作用及成岩相研究. 新疆石油地质, 24(1): 10~13.
- 黄思静, 谢连文, 张萌, 武文慧, 沈立成, 刘洁. 2004. 中国三叠系陆相砂岩中自生绿泥石的形成机制及其与储层孔隙保存的关系. 成都理工大学学报: 自然科学版, 31(3): 273~281.
- 柳益群, 李文厚. 1996. 陕甘宁盆地东部上三叠统含油长石砂岩的成岩特点及孔隙演化. 沉积学报, 14(3): 87~96.
- 田建锋, 陈振林, 凡元芳, 李平平, 宋立军. 2008. 砂岩中自生绿泥石的产状、形成机制及其分布规律. 矿物岩石地球化学通报, 27(2): 200~205.
- 新疆地矿局. 1982. 新疆维吾尔自治区区域地质志. 北京: 地质出版社.
- 朱世发, 朱筱敏, 王一博, 徐兆辉, 李德江, 鲜本忠, 龚文强. 2010. 准噶尔盆地西北缘克百地区三叠系储层溶蚀作用特征及孔隙演化. 沉积学报, 28(3): 547~555.
- Heald M T, Larese R E. 1974. Influence of coatings on quartz cementation. Journal of Sedimentary Petrology, 44: 1269~1274.
- Imam M.B. 1986. Scanning electron microscopy study of the quartz overgrowths within Neogene sandstones of Bengal Basin, Bangladesh. Journal of Geological Society of India, 28: 407~413.
- Morad S, Khalid A R, Ketzer J M, et al. 2010. The impact of diagenesis on the heterogeneity of sandstone reservoirs: A review of the role of depositional facies and sequence stratigraphy. AAPG, 94(8): 1267~1309.