

文章编号: 1001-6112(1999)02-0100-04

# 层序地层学在碎屑岩成岩作用研究中的应用

## ——以 YA 13-1 气田下第三系为例

陆永潮 向才富 陈平 叶洪波

(中国地质大学资源系, 武汉 430030)

**摘要:** 本文采用层序中体系域的沉积过程分析与成岩作用分析相结合的方法, 以琼东南盆地崖 13-1 气田的单井剖面综合研究为基础, 结合连井地震剖面的层序解释, 以三级层序中储集体形成的背景环境和原生孔隙水化学性质——成岩环境为单元, 系统分析了不同体系域沉积和成岩标志, 总结出了崖 13-1 气田下第三系崖城组和陵水组的成岩域模式, 探讨了沉积体系域构成与成岩作用的制约关系及其对砂岩储层集性的影响。

**关键词:** 成岩作用; 层序地层; 体系域; 琼东南盆地

**中图分类号:** P618.13; P53

**文献标识码:** A

层序地层学不仅提出了建立盆地等时地层格架, 确定盆地中沉积体系三维配置的理论与方法, 而且大大推动了成岩场和成岩动力学研究。众所周知, 构造、全球海平面升降和沉积物补给等各种动力学因素所控制的相对海平面变化, 不仅造成层序内部沉积体系域发生有序的变化, 而且使其沉积介质或原生孔隙水(主要包括 pH 值、Eh 值和含盐度)也产生相应的变化。而沉积介质或原生孔隙水的 pH 值、Eh 值和含盐度对同生期和早期成岩作用具有直接的控制作用, 并对深埋藏过程中的中、晚期成岩-孔隙演化具有重要影响<sup>[3~4]</sup>。因此, 将等时地层格架中的体系域与成岩作用相结合研究, 则使储集体预测具有更大的准确性和实用性。

崖 13-1 气田是我国目前海上发现的最大气田。该气田位于琼东南盆地崖南凹陷西北端 1 号断裂的上升盘的东北翼上, 东和东南与崖北凸起相接, 东北与西北和三亚隆起相邻, 为一潜山坡覆背斜<sup>[5]</sup>(图 1)。其主要目的层为下第三系, 其中崖城组为主气源岩段, 陵水组为主产气段<sup>[6]</sup>。

据已有钻孔揭露, 结合地震连井剖面 and 测井曲线的解释, 崖 13-1 气田下第三系崖城组和陵水组自下而上可识别出 5 个三级层序。其中崖城组 3 个(层序 I、II、III); 陵水组为 2 个(层序 IV、V)(图 2)。根据层序特征、原生孔隙水性质和层序发育的背景环境, 崖城组、陵水组的充填沉积以层序为单元的成岩环境可分为 3 类。

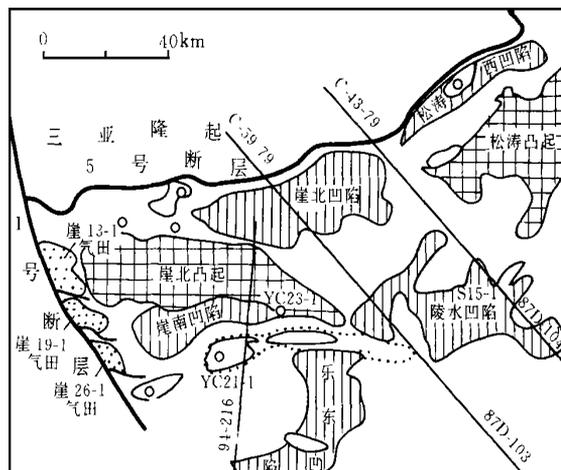


图 1 琼东南盆地崖 13-1 气田地质背景略图

Fig 1 Sketch map of Ya13-1 gas field, the QDN Basin

## 1 崖 13-1 气田下第三系层序划分及其成岩环境

收稿日期: 1998-02-10

基金项目: 国家自然科学基金重点资助项目(49132060)

作者简介: 陆永潮(1961-), 男(汉族), 浙江宁安人, 博士, 副教授, 主要从事沉积学和盆地分析的教学和研究工作

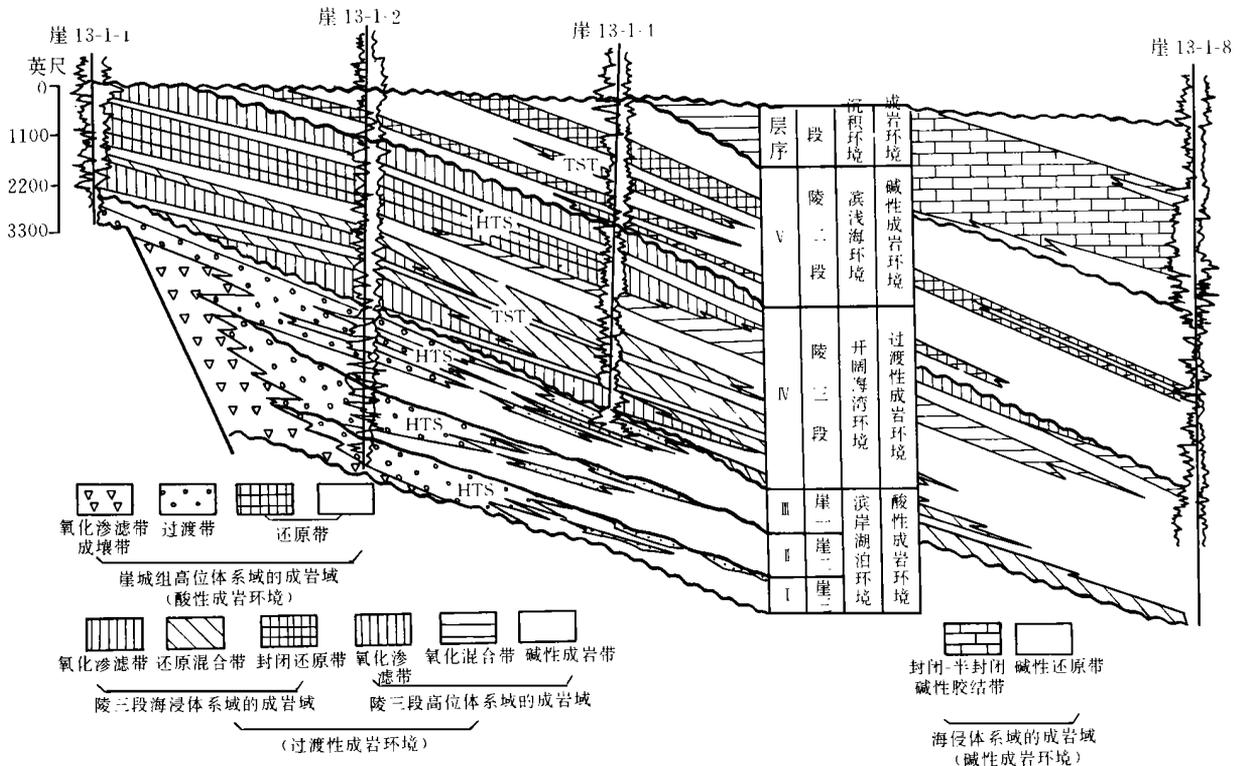


图 2 崖 13-1 气田下第三系层序地层和成岩环境格架图

Fig. 2 The Lower Tertiary sequence stratigraphy and its diagenetic environments in Ya 13-1 gas field

(1) 酸性成岩环境: 相当于崖城组中的层序 I、II、III, 其背景环境为淡化海湾或滨岸湖泊<sup>[7-8]</sup>; 层序由进积型扇三角洲和冲积扇副层序构成的高位体系域组成; 原生孔隙水为富含  $Si^{4+}$ 、 $Al^{3+}$  的酸性水。

(2) 过渡型成岩环境: 相当于陵水组三段的层序 IV, 其背景环境为海陆过渡的开阔海湾<sup>[7-8]</sup>; 层序包括海进和高位两个体系域。海进体系域由潮控退积型的扇三角洲副层序组成, 高位体系域由河控加积-进积型的扇三角洲副层序组成; 原生孔隙水在扇三角洲体系中的不同相带中变化大, 既有富  $Si^{4+}$ 、 $Al^{3+}$  的酸性水, 也有富  $Ca^{2+}$ 、 $Mg^{2+}$  的碱性水及其二者的混合孔隙水。

(3) 碱性成岩环境: 相当于陵水组二段的层序 V, 其背景环境为滨浅海<sup>[7-8]</sup>; 层序由退积型滨岸砂的海进体系域构成; 原生孔隙水为富  $Ca^{2+}$ 、 $Mg^{2+}$  的碱性水。

## 2 崖 13-1 气田下第三系各成岩环境的早期成岩作用

在上述各成岩环境中, 由于体系域及其内部沉

积构成不同, 其原生孔隙水性、沉积物的原生结构、碎屑矿物组成及有机质的含量和类型等因子也不同, 而这些因子直接控制了各体系域中储层的同生期和早期成岩作用, 从而影响中晚期的成岩变化和孔隙演化。

### 2.1 崖城组酸性成岩环境高位体系域的早期成岩作用

崖城组(层序 I、II、III) 酸性成岩环境的主要沉积和早期成岩特征为: (1) 在崖 13-1 气田各层序仅发育高位体系域, 由进积型的扇三角洲副层序组成。单个扇三角洲体以扇三角洲平原相的辫状河道和河间洼地沼泽、扇三角洲水下平原的水下辫状河道、河口坝和运端坝沉积为主。岩性为分选较差的、高杂基 (> 5%) 和高腐殖物质的含砾长石粗粒杂砂岩、岩屑长石杂砂岩。原生残留孔隙水为富含  $Si^{4+}$ 、 $Al^{3+}$  的酸性水。(2) 其成岩带可分为氧化渗滤带、过渡混合带和还原带。各带的主要同生和早期成岩作用为: 氧化渗滤带以压实、淋滤、铝硅酸盐矿物蚀变, 泥质有机质氧化成壤为特征; 过渡混合带以压实淋滤、铝硅矿物(石英、长石)胶结为特征; 还原带以铝硅酸盐矿物增生、胶结及高价矿物还原成低价矿物

(黄铁矿)为特征。由于副层序组成的旋回性,从而使各成岩带在垂向上叠复交替出现。(3)各成岩带的特征孔隙类型变化较大。氧化渗滤带以淋滤型次生孔隙为主,过渡混合带以淋滤型次生孔和原生残余粒间孔的混合孔隙为主,还原带以原生残余粒间孔隙为主。中、晚期成岩变化和孔隙演化具有明显的继承性,具体表现在酸性成岩环境以铝硅酸盐矿物(石英、长石)多次增生,粘土伊利石化,孔隙在各带进一步改造为特征。

## 2.2 陵三段过渡型成岩环境的早期成岩作用

陵三段过渡型成岩环境包括高位和海进两个体系域(成岩域)。

### 2.2.1 海进体系域(成岩域)的早期成岩作用

海进体系域(或成岩域)位于陵三段下部,主要由退积型的潮控扇三角洲副层序构成。其沉积和早期成岩特征为:(1)在崖 13-1 地区主要由受潮汐作用影响的扇三角洲平原、水下平原相组成,且以水下平原相的水下辫状河道、河口砂坝、远端砂坝为主体。其岩性为分选较差的粗粒长石砂岩、岩屑长石砂岩或含砾砂岩,杂基含量一般小于 3%。由于潮汐再改造,砂层中有机质含量较少,原生孔隙水在淡水和海水不同的相中变化较大。(2)其成岩带可分为氧化渗滤带、还原混合带、还原带。且以还原混合带为主,其同生和早期的成岩作用为:(a)发育有早期散晶状、微晶状方解石或含铁方解石,同时共生有早期自生增生石英和长石,长石溶解较弱;(b)海绿石保存完好,一般不出现褪色,氧化现象;(c)自生粘土多以绿泥石为主,反映碱性条件;(d)不出现氧化渗滤现象。总之,该带早期成岩以压实、自生矿物增生和胶结为主要特征。(3)早期特征孔隙以还原混合带的原生残余粒间孔为主。

### 2.2.2 高位体系域的早期成岩作用

陵三段高位体系域由一套加积-进积型扇三角洲副层序组成,其沉积和早期成岩特征为:(1)在崖 13-1 地区发育的扇三角洲体系主要由扇三角洲平原的分流辫状河道、河间洼地及水下平原相的水下辫状河道、河口砂坝、远端坝组成。其岩性主要为分选差的、结构成熟度和矿物成熟度相对较低的含砾粗中粒长石砂岩、岩屑长石砂岩。杂基含量一般为 1%~5%。由于其原生孔隙水有地表淡水和海湾海水共同供给影响,一般富含  $\text{Si}^{4+}$ 、 $\text{Al}^{3+}$ ,但在远端坝和扇前三角洲中有海水影响。(2)其成岩域据相带不同可划分出氧化渗滤蚀变带、氧化混合带、还原带。

各带的成岩作用为:氧化渗滤蚀变带表现为淋滤、长石和黑云母次生蚀变、泥质和有机质氧化、渗滤砂和粘土出现以及胶结和交代不发育为特征;氧化混合带以长石、石英早期增生胶结,同时不稳定矿物不完全淋滤蚀变为主要特征,且海绿石常因氧化而褪色,某些出现氧化圈;还原带以胶结、交代和压实作用为主,胶结物为微晶状方解石,也可见早期石英加大边,但量少,同时还可见黄铁矿和菱铁矿等还原性自生矿物。(3)各成岩带在垂向上出现 3 次叠复交替,指示扇三角洲主体经历了 3 次大的进积叠复过程。(4)早期特征孔隙类型以淋滤型和原生残余粒间孔隙为主或两者的混合型孔隙,且各成岩带均有特定的特征孔隙,后期孔隙的演化也完全继承了早期成岩的特征。

## 2.3 碱性成岩环境——陵二段(层序 V)的早期成岩作用

陵二段层序 V 由海侵体系域组成。在崖 13-1 地区主要表现为岸线退积的海滩砂为特征,由于其原生孔隙水为还原的富  $\text{Ca}$ 、 $\text{Mg}$  碱性水为主,因此该环境的沉积和早期成岩作用主要表现为:(1)陵二段储层砂岩的结构成熟度和矿物成熟度普遍较高。岩性由粗、中粒的长石石英砂岩为主,杂基含量 < 2%,同生孔隙水为富  $\text{Ca}$ 、 $\text{Mg}$  的碱性水。(2)砂岩的早期成岩除机械压实外,主要是以早期自生矿物的胶结和交代作用为主,胶结物为微晶或嵌晶状方解石或含铁方解石,含量 > 5%。长石、黑云母蚀变弱,无早期石英和长石增生,海绿石呈绿色,保存完整。(3)早期成岩的特征孔隙类型为原生残余粒间孔隙,无次生淋滤和蚀变孔隙。

## 3 早期成岩模式及其对孔渗控制

从上述各成岩域的同生和早期成岩作用特征,我们把崖 13-1 气田的早期成岩作用归纳如下:(1)机械压实作用在各层序的不同体系域中是最主要的,也是最直接的作用。(2)海进体系域的成岩域以还原混合带和还原带为早期的主要成岩作用范围,胶结和交代作为其成岩的主要表现。如陵三段 IV 层序以方解石和长石、石英混生胶结为主,陵二段 V 层序则以方解石胶结为主。(3)高位体系域的成岩域以氧化渗滤蚀变带(或成壤带)、氧化混合带为主。其早期成岩主要表现为氧化、蚀变、淋滤,而胶结和自生矿物的增生不太发育。(4)早期次生孔隙在海进体系

域中以原生残余粒间孔隙为主。高位体系域则以次淋滤扩大孔或淋滤型次生扩大孔和原生残余粒间孔隙的混合孔隙为主。

值得指出的是, 各层序体系域的早期成岩和孔隙演化对中期和晚期的成岩和孔隙演化有着重要的影响。在崖 13-1 气田这种影响具有明显的继承性。据崖 13-1-6 井的孔渗资料, 其孔渗变化可以看出<sup>[9]</sup>: (1) 各体系域的储层类型可分为 3 类。第一类为高孔高渗型, 该型储层孔隙度较高, > 15%; 高渗透率 > 100MD, 具有较高的粒间扩大孔及连通好的溶蚀孔隙度(渗滤溶蚀孔隙的发育易造成连通好的特征)。第二类为低孔低渗型, 即低孔隙度, < 10%, 低渗透率 < 1MD, 粒间孔隙度、溶蚀孔隙度都比较小。储层粒度细, 粘土矿物压实及石英、长石增生导致较高的微孔隙度, 较高表面积, 小的孔隙开口。低渗透率及高残余水饱和度等特征。第三类为高孔低渗型, 较高的孔隙度和低渗透率。具有由碳酸盐胶结物和可溶骨架物质蚀变溶解形成孤立的溶蚀孔隙, 从而显示高的总孔隙度和低渗透率。(2) 崖 13-1 气田下第三系各成岩环境中, 海侵体系域其储层以高孔低渗型为主。在还原混合带的河道、河口坝砂及海滩砂中可见高孔高渗型储层。而在还原带和远端坝中则见低孔低渗型储层。高位体系域其储层以高孔高渗型为主。尤以氧化渗滤带和氧化还原带中储层为最好, 并且也是主要的次生孔隙发育带。而在废弃河道和河间洼地和远端坝也可见低渗低孔型储层。

## 4 结论

崖 13-1 气田下第三系崖城组和陵水组的充填沉积中划分出了酸性、过渡型和碱性 3 大成岩环境。其中, 崖城组 3 个层序发育在酸性成岩环境中, 各层序由高位体系域组成, 其相对应的成岩域可划分出氧化渗滤带、过渡混合带和还原带。陵三段为过渡型成岩环境, 包括高位和海进两个体系域, 对应于海进体系域的成岩域可划分出氧化渗滤带、还原混合带和还原带; 而对应于高位体系域的成岩域可划分出

氧化渗滤蚀变带、氧化混合带、还原带。陵二段(层序 V)为碱性成岩环境, 由海侵体系域组成, 难以进行成岩分带, 主体表现为碱质、还原的特征。

各成岩域的早期成岩作用主要受控于体系域的沉积相构成和原生孔隙水变化, 其储层性质、成岩分带和孔渗变化与层序发育的背景环境和沉积体系域有着直接的关系, 同时对深埋藏过程中的中、晚期成岩-孔隙演化具有重要影响。因此在等时的地层框架内进行成岩作用研究为有利储集体的预测提供了可靠基础。

在工作过程中得到了南海西部石油公司研究院的大力支持, 孙永传、李惠生老师的悉心指导, 在此致以衷心的感谢。

## 参 考 文 献

- 1 孙永传等. 中国东部某些含油气盆地成岩作用研究. 北京: 地质出版社, 1995
- 2 李惠生, 陈红汉. 精细埋藏史分析在砂岩成岩-孔隙演化模式研究中的重要性. 地学前缘, 1995, 2(3): 78
- 3 陈红汉, 孙永传等. 莺-琼盆地的独特埋藏史. 中国海上油气地质, 1994, 8(5): 329~ 336
- 4 张璞瑚等. 成岩体系与油气. 石油实验地质, 1992, 14(2): 333~ 343
- 5 龚再升, 李思田等. 南海北部大陆边缘盆地与油气聚集. 北京: 科学出版社, 1997
- 6 张启明等. 莺-琼盆地高温高压环境及油气运移机制. 中国海上油气(地质), 1992, 6(1): 1~ 10
- 7 Chen Jishu, Xu Shice, Sang Jinyu. The depositional characteristics and oil potential of paleo-Pearl River delta systems in the Pearl River Mouth Basin, South China Sea. *Tectonophysics* 1994, (235): 1~ 11
- 8 Chen P H, Chen Z Y, Zhang Q M, Sequence stratigraphy and continental margin development of the North-western Shelf of the South China Sea. *AA PG Bulletin*, 1993, 77: 842~ 862
- 9 李雨梁等. 崖 13-1 气田的热异常. 中国海上油气(地质), 1992, 6(5): 33~ 39

(下转第 118 页)

## SEQUENCE STRATIGRAPHY STUDY OF CARBONATE SLOPE DEPOSIT

Q N Jianxiong ZEN G Yongfu CHEN Hongde TIAN Jingchun

(*Institute of Deposit, Chengdu College of Technology, Chengdu, Sichuan 610059, China*)

### Abstract

Study on the Permian Sequence Stratigraphy of the Youjiang Basin reveals that gravity flow develops during every period of eustatic cycles and it displays individual characteristic internal configuration and genetic framework of sequences. Low stand is characterized by basin margin-downslope miscellaneous lithic turbidites, and gravity flow is relatively less in shelf marginal systems. During transgressive periods, gravity flow is dominated by calcarenaceous clastic flow and its recomposed sand deposit. The deposit of gravity flow in highstand has large thickness, wide distribution and rich genetic patterns, and is mainly characterized by well-developed calcarenaceous colluvial rocks, grain flow, liquefied sediment flow, clastic flow, and turbidity flow.

**Key words:** Sequence Stratigraphy; slope systems; sequence framework; gravity-flow deposit

---

(上接 103 页)

## APPLICATION OF SEQUENCE STRATIGRAPHY TO THE STUDY OF DIAGENESIS OF SILICLASTIC ROCK

—Take the Lower Tertiary of Ya13-1 gas field as an example

LU Yongchao XIANG Caifu CHEN Ping YE Hongbo

(*China University of Geosciences, Wuhan 430030, China*)

### Abstract

On the basis of comprehensive study of the single well section and the sequence analysis of the link-well seismic cross-section in Ya13-1 gas field in QDN basin, South China Sea, this paper analyzed the sedimentary and diagenetic marks of various system tracts by combining the sedimentary process analysis and the diagenesis analysis of the system tracts in the sequence. On the unit of the third-class sequence diagenetic environment, including reservoir-forming background surroundings and the origin water chemistry of the reservoir, it summed up the diagenetic unit model of the lower Tertiary Yacheng Fm and Lingshui Fm which are comparable to the system tracts. It also inquired into the interact relation between the sedimentary system tracts and the diagenesis and its influences on the sandstones reservoirs.

**Key words:** diagenesis; sequence stratigraphy; system tracts; QDN basin