

陆相断陷湖盆层序对成岩演化控制作用探讨 ——以东营箕状断陷湖盆古近系沙河街组为例

谭先锋^{1,2} 田景春¹ 陈 兰² 张守鹏³ 王伟庆³

(1. 成都理工大学油气藏地质及开发工程国家重点实验室, 四川 成都 610059;

2. 重庆科技学院石油与天然气工程学院, 重庆 401331; 3. 胜利油田地质科学研究所, 山东 东营 257015)

摘要:以层序地层研究为基础, 根据铸体薄片、扫描电镜、镜质体反射率、X 衍射及地球化学等分析, 对东营凹陷沙河街组层序与成岩的关系进行了系统研究。研究表明: 不同层序部位具有不同的成岩响应, 低位体系域主要发育微晶方解石胶结、硬石膏胶结、黄铁矿胶结等, 湖盆扩张体系域主要发育有铁碳酸盐胶结、粘土矿物胶结等; 高位体系域主要发育有白云石胶结、铁白云石胶结、溶蚀作用、粘土矿物胶结等; 层序界面附近主要发育溶蚀现象和铁碳酸盐胶结现象。层序发育过程中, 原始水介质条件及元素富集规律是引起早期成岩响应的主要因素, 并对早期的成岩物质组造成强烈影响; 讨论了层序对成岩演化的控制作用, 主要体现在 3 个方面: a. 层序发育控制了原始成岩组分, 进而控制后期成岩改造; b. 早期成岩作用对层序发育过程具有一定的响应关系, 后期成岩改造掩盖了部分成岩响应; c. 层序界面通过河流作用、沉积间断减缓压实作用、后期成岩流体的侵入作用对成岩演化造成影响。

关键词:层序; 成岩演化; 断陷湖盆; 沙河街组; 早期成岩; 成岩响应

中图分类号: P539.2

文献标志码: A

文章编号: 1000-3657(2010)05-1257-16

传统的成岩作用研究基于对成岩演化作用阶段及其对储层的影响。然而近年来有学者提出将成岩演化作为一个系统来考察^[1-3], 将成岩作用与构造、层序等结合, 采用分级次系统来考察成岩演化过程。这种观点考虑到了诸多实际地质情况, 沉积物形成之后, 除了受沉积环境影响之外, 还受构造活动及分带、异常高压、成岩流体等因素的影响, 要搞清楚目的层位的成岩演化过程, 必须综合考虑这几个方面的因素, 将其放在一个系统内考察。随着层序地层学和成岩演化研究的深入, 研究者认识到两者在一定程度上有重要的联系。众所周知, 成岩演化发生在沉积物形成之后一直到表生阶段之前, 目前的成岩面貌反映了岩石长期的变化过程, 大量成岩现象是由于后期成岩流体的活动改造而形成, 而层序的形成主要发生在沉积物

的形成时期或者是固结作用早期。那么, 层序究竟是如何影响早期成岩作用的呢? 以及对后期成岩演化造成了哪些影响呢? 近年来, 不少学者对层序格架内的成岩作用进行了探讨^[5-16]。起初主要对碳酸盐层序-成岩进行研究^[5-11], 碎屑岩的研究较少, 特别是陆相碎屑岩的研究显得比较薄弱。最近, 不少学者开始注意到这一重要的研究领域^[5-16]。这些研究成果都从不同程度揭示层序发育与成岩作用的关系, 阐述不同体系域、层序界面附近的成岩现象以及储集性能的差异。上述研究大多是从层序界面、体系域的成岩现象和规律进行阐述, 而层序对成岩演化的控制作用, 特别是基准面变化对早期成岩演化的控制作用研究有待深入。本文以东营凹陷沙河街组为例, 对该类陆相断陷湖盆层序格架内的成岩作用及其控制因素进

收稿日期: 2010-03-25; 改回日期: 2010-08-29

基金项目: 中石化重点科技攻关项目《济阳断陷湖盆沉积类型与成岩演化研究》(20070300187) 和重庆市自然科学基金项目 (CSTC, 2009BB7383) 联合资助。

作者简介: 谭先锋, 男, 1982 年生, 博士生, 讲师, 主要研究方向为沉积地质学; E-mail: xianfengtian8299@163.com。

行了深入探讨,提出几点不成熟的看法。

1 层序发育背景

根据构造幕、气候二级旋回和物源供给因素导致的沉积基准面二级升降旋回而产生的不整合及其与之对应的界面,将东营凹陷沙河街组划分出两个二级层序。Es₄—Es₂^下沉积时期,北部陡坡带为深凹的槽谷,槽谷向北部盆缘方向为陡坡。构造运动、物源供给及气候的变化等原因,通过基准面升降的变化,控制着该时期形成的层序充填特征及水介质条件,从而制约着各层序的成岩演化,特别是控制着成岩早期的成岩流体性质。该时期主要形成 Es₄ 和 Es₃—Es₂^下两个二级层序。本文主要研究对象为 Es₄ 和 Es₃—Es₂^下两个二级层序以及 Es₂^上—Es₁ 三级层序。自下而上可以分为 Es₄^下、Es₄^上、Es₃^下、Es₃^中、Es₃^上—Es₂^下、Es₂^上—Es₁ 六个三级层序,为了研究方便,将其分别命名为 SQ₁、SQ₂、SQ₃、SQ₄、SQ₅、SQ₆(图 2)。总体上讲,东营凹陷沙河街组层序发育完整,从 SQ₁~SQ₆ 都有发育,不同的部位层序发育的结构不一样。层序充填为冲积扇—扇三角洲(三角洲)—近岸水下扇(滩坝)—近源浊积扇的充填模式。低位体系域主要发育冲积扇、三角洲和滑塌浊积扇沉积,湖盆扩张体系域主要发育扇三角洲近岸、水下扇砂体、三角洲前缘以及滨浅湖砂体,高位体系域主要发育近岸水下扇、三角洲

和湖泊沉积体系。为了研究的系统性,本文主要针对三级层序格架内成岩现象展开讨论。

2 层序格架内的成岩现象规律

大量研究表明,层序的不同部位以及层序界面附近的成岩现象具有一定的规律性。尽管后期的成岩演化掩盖了一些早期成岩现象特征,早期的成岩信息仍然部分被保留下来。通过对东营凹陷沙河街组,特别是沙四段地层的镜下鉴定,并结合层序的演化规律,发现层序的不同部位具有一定的成岩规律,这些成岩规律主要包括不同体系域内成岩现象和层序界面附近成岩现象的特征及差异。

2.1 层序界面附近成岩现象规律

层序界面附近具有特殊的成岩现象,这种特殊的成岩现象在碳酸盐岩地层中主要体现为溶蚀作用^[3-4],碎屑岩地层,除了具有溶蚀作用之外,还具有一些特殊的成岩现象,前人对碎屑岩层序界面附近的成岩现象进行了深入研究^[9-12]。罗忠等^[9]通过对鄂尔多斯盆地延长组研究表明,层序界面之下多发育浊沸石和方解石,层序界面之上多发育绿泥石等粘土矿物类;孙萍等^[12]对鄂尔多斯盆地延长组研究表明,层序界面之下主要发育浊沸石,层序界面之上主要发育方沸石。另外,碎屑岩层序界面之下的溶蚀现象也比较明显。

通过对东营凹陷沙河街组大量的镜下薄片和扫

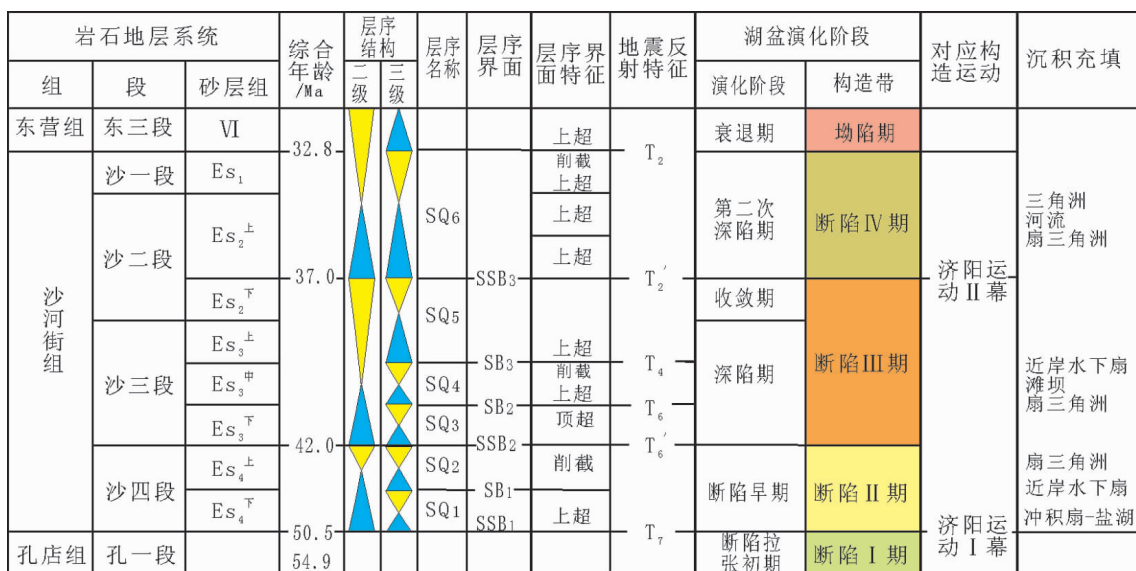


图 1 东营凹陷沙河街组层序-沉积综合柱状图

Fig.1 Comprehensive column of stratigraphic sequence-sedimentation of Shahejie Formation in Dongying sag

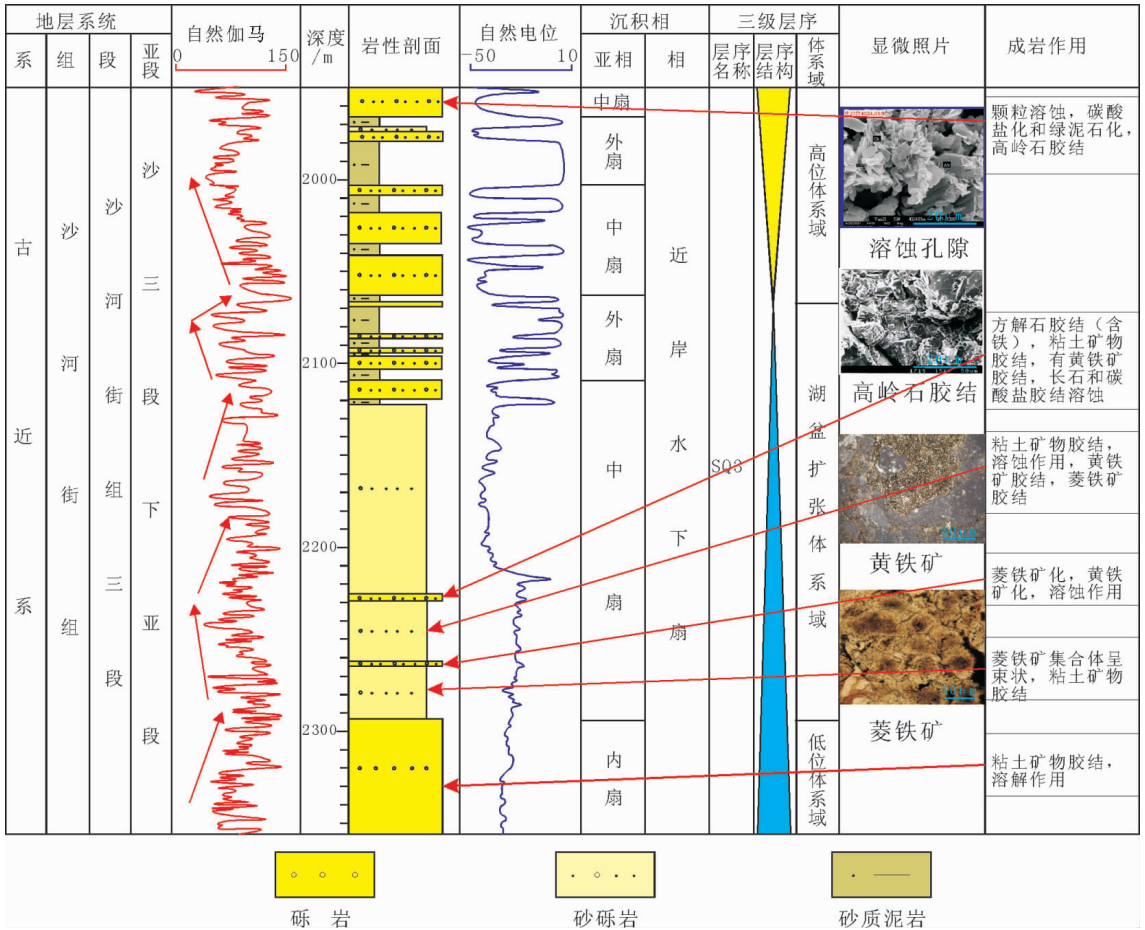


图 2 Y18 井 SQ3 层序成岩综合柱状图

Fig.2 Comprehensive column of stratigraphic sequence-sedimentation of SQ3 in well Y18

描电镜资料进行分析统计,对层序界面附近的成岩现象规律进行了研究。东营凹陷沙四段及沙三下一沙二下亚段发育沙四段底界面(T7)、沙四段与沙三段分界(T6')及沙二下亚段顶界(T2')三个二级层序界面,是全凹陷范围的构造不整合面。此类界面附近发育淋滤、溶解成岩作用,以塑性组分溶蚀成岩作

用为特征。从表 1,图 2 可以看出,二级构造层序界面之下主要成岩作用为碳酸盐胶结和淡水淋滤作用造成的溶蚀作用。多见黄铁矿胶结,水介质多呈还原性。层序界面之上由于湖盆水体的扩张,陆源碎屑物质的注入,粘土矿物增多,特别是在郑家庄地区和盐家地区的冲积扇中和近岸水下扇中,层序界面之上

表 1 东营凹陷层序界面附近典型成岩现象

Table 1 Diagenetic phenomena near the stratigraphic sequence boundary in Dongying sag

井位	层序界面	成岩现象
利 932	SSB2 界面之下	方解石胶结, 白云石胶结, 黄铁矿胶结, 溶蚀作用
坨 826	SSB2 界面之下	溶蚀作用(孔隙连通较好)
坨 15	SSB3 界面之下	少量白云石胶结, 高岭石胶结, 溶蚀作用, 绿泥石
滨 432	SSB2 界面之下	溶蚀作用, 方解石胶结, 白云石胶结, 黄铁矿胶结
盐 100	SSB3 界面之下	淋滤作用, 泥质粘土矿物胶结
永 922	SSB2 界面之下	方解石胶结, 白云石胶结为主, 少量黄铁矿胶结和泥质胶结, 泥质呈鳞片结构, 见长石溶孔
郑 370	SSB3 界面之上	泥质粘土矿物胶结, 连通性较差

的沉积物有大量的泥质粘土充填(图2)。因此,该级别的层序界面通常是流体运移的通道,影响界面上下低水位体系域和高水位体系域内储层的成岩相展布,从而制约其储集性能,控制盆地的主要油气储量分布。

三级层序界面往往在湖盆边缘为不整合面,在湖盆内部为连续沉积界面^[10]。在凹陷内部,通过对东营凹陷陡坡带重点井位不同层序界面附近的成岩作用研究表明,不同界面之下发育铁碳酸盐胶结成岩作用和塑性组分溶蚀成岩作用。如图3为凹陷内部史100井层序顶界面成岩作用主要为塑性组分溶蚀作用,从图中可以看出,SQ₃层序顶界面,即SB₂层序界面之下,成岩作用为溶蚀作用和碳酸盐胶结和绿泥石化。表1显示,盆地边缘的郑370井SQ₆(馆陶组/沙一段)不整合界面之下,成岩作用有菱铁矿胶结和泥质胶结,淋滤作用比较明显导致孔隙连通性比较好。其中碳酸盐胶结和泥质胶结可以为该界面之下的地层不整合油气藏提供遮挡条件。层序界面之上一般

发育碳酸盐胶结、石英次生加大和粘土矿物胶结成岩作用。凹陷的边缘,界面之上沿上超尖灭带主要发育高岭石充填及石英次生加大成岩亚相,对构造坡折带而言,高岭石充填成岩亚相相对提高断层的封闭性起着十分重要的作用。在湖盆内连续沉积的三级层序界面之上,主要在上覆层序的低水位体系域储集层底部发育铁碳酸盐胶结成岩亚相(图4)。

综上所述,从凹陷边缘到盆内,尽管不同级别层序界面附近的成岩作用有所差别,但在盆内,界面均与溶蚀作用与铁碳酸盐的胶结有关,表明碳酸盐矿物在陆相断陷盆地沉积物胶结中具有重要地位,其分布方式也代表了成岩期化学胶结活动的基本形式。

2.2 体系域内成岩现象特征及差异

2.2.1 低位体系域时期

低位体系域对应湖平面快速下降-慢降慢升阶段,该时期主要充填低位砂砾岩体和楔状体。湖平面下降表明湖盆水体相对浓缩,水介质偏碱性且盐度增高(即水体发生咸化作用),故砂砾岩中高岭石相

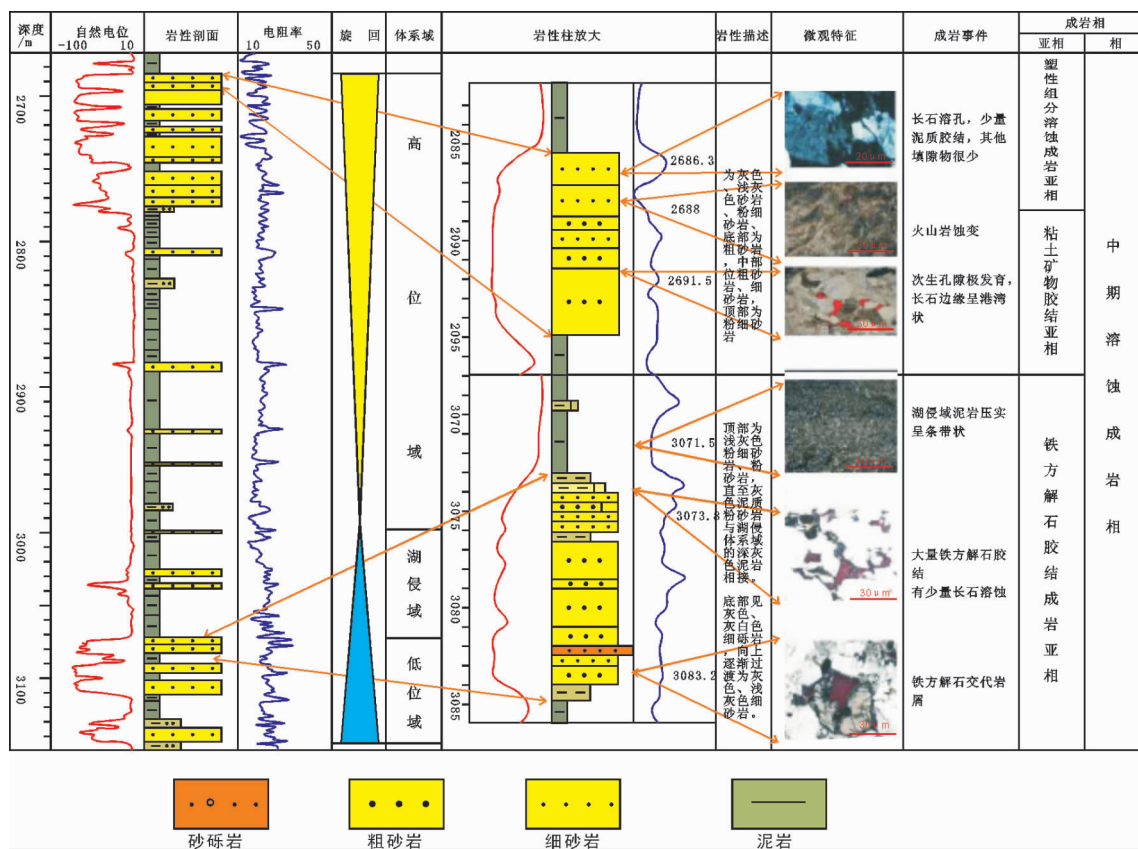


图3 史100井SQ5层序顶界面(SSB3)及低位域成岩特征(据邱桂强^[10],有修改)
Fig.3 Diagenetic characteristics of top stratigraphic sequence boundary and low tract of SQ5 of S100

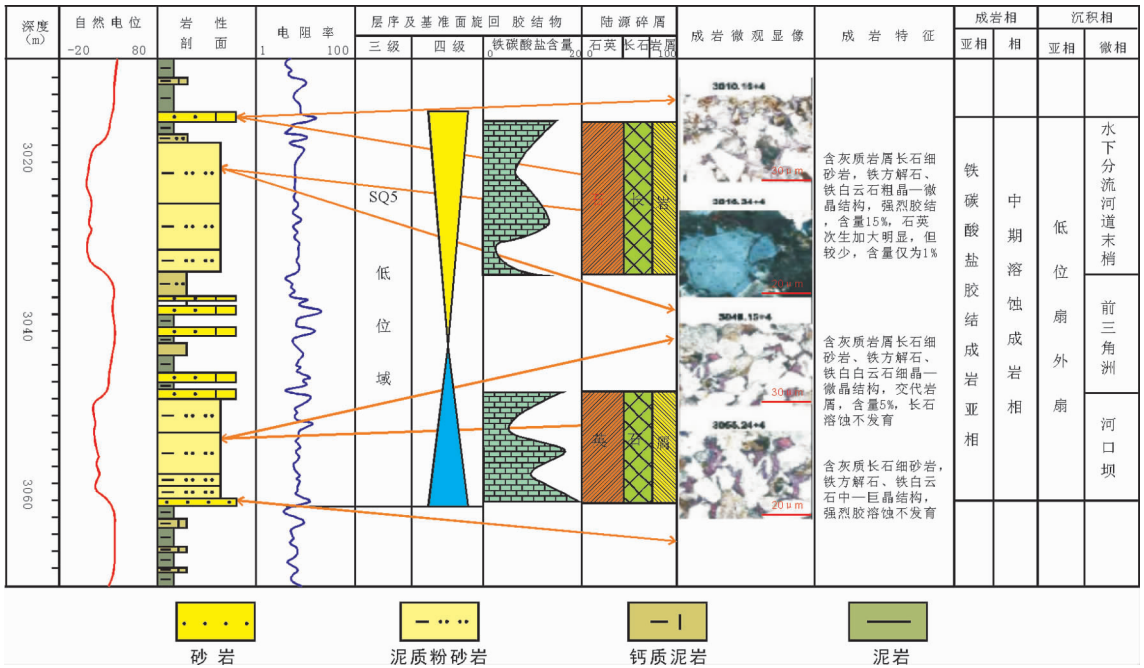


图 4 F115 井 SQ5 层序底界面(SB3)及低位域成岩特征

Fig.4 Diagenetic characteristics of bottom stratigraphic sequence boundary and low tract of SQ5 of F115

对的质量分数减少,而蒙脱石则相应增多^[17-18]。由于湖水的浓缩作用,该时期沉积物保留了原始的沉积特征。低位扇砂砾岩体以及楔状体等低位时期的沉积物保留了原始沉积特征。这些原始沉积流体对后期的成岩改造有重大影响。纪有亮等(2004)认为伊利石及伊利石+伊蒙混层+蒙脱石和高岭石+绿泥石呈现规律性变化,能较好地反映一个陆相高分辨率层序地层单元旋回过程中湖盆水体的物理化学条件波动,因为这几种粘土矿物的大量出现与湖盆水介质的偏碱性及古盐度的相对偏高密切相关^[18]。因此,早期基准面的变化引起了粘土矿物含量的变化,进而对后期的成岩改造造成一定的影响。

研究区沙河街组沉积时期低位体系域时期,湖盆范围比较窄,主要为盐湖环境。低位扇以及楔状体等沉积物受原始水介质的影响,岩石中保留了一些典型的胶结类型。如硬石膏胶结、早期微晶方解石胶结(图5-A),粘土矿物胶结等(图2),菱铁矿胶结(图2),特别是沙四段早期,即SQ₁层序低位沉积时期,湖盆水体盐度较高,容易形成硬石膏胶结和微晶方解石胶结(图6)。对研究区低位时期的成岩现象研究表明了低位时期主要成岩类型有硬石膏胶结、微晶方解石胶结、粘土矿物胶结、菱铁矿胶结等(图3、4、6),一定意义

上指示了低位时期的原始流体性质。

2.2.2 湖盆扩张体系域时期

湖盆扩张体系域对应湖平面快速上升阶段,分界面为初始湖泛面和最大湖泛面,由于湖盆扩张体系域沉积时期,大气淡水的大量注入,湖水盐度下降,总体偏酸性,高岭石含量增加^[17-18]。前人研究表明,海侵(湖侵)体系域,早期成岩作用主要以压实、自生矿物增生、胶结作用为主要特征^[9]。湖盆扩张体系域时期由于湖盆快速扩张,后期又受到高位体系域时期的还原环境的影响,沉积物形成之后尚未脱离水体,总体处于还原环境,早期成岩作用必然保留了一些特征性的矿物胶结。谢武仁等^[13]通过粘土矿物中高岭石、蒙脱石、伊利石的含量多少来判断层序的发育情况,粘土矿物成分变化一定程度上能反映水体的性质。但目前的成岩现象是经历了多次成岩流体的改造后的产物,其粘土矿物的种类及含量并不能说明层序发育的原始沉积时期的粘土矿物的含量。通过对研究区沙河街组三级层序湖盆扩张体系域时期薄片研究表明,三级层序湖盆扩张体系域存在一些层序发育时期的特征矿物。这些特征性矿物主要包括早期黄铁矿胶结、粘土矿物胶结(图2、图7)、方解石胶结等,方解石胶结后期转化形成铁方解

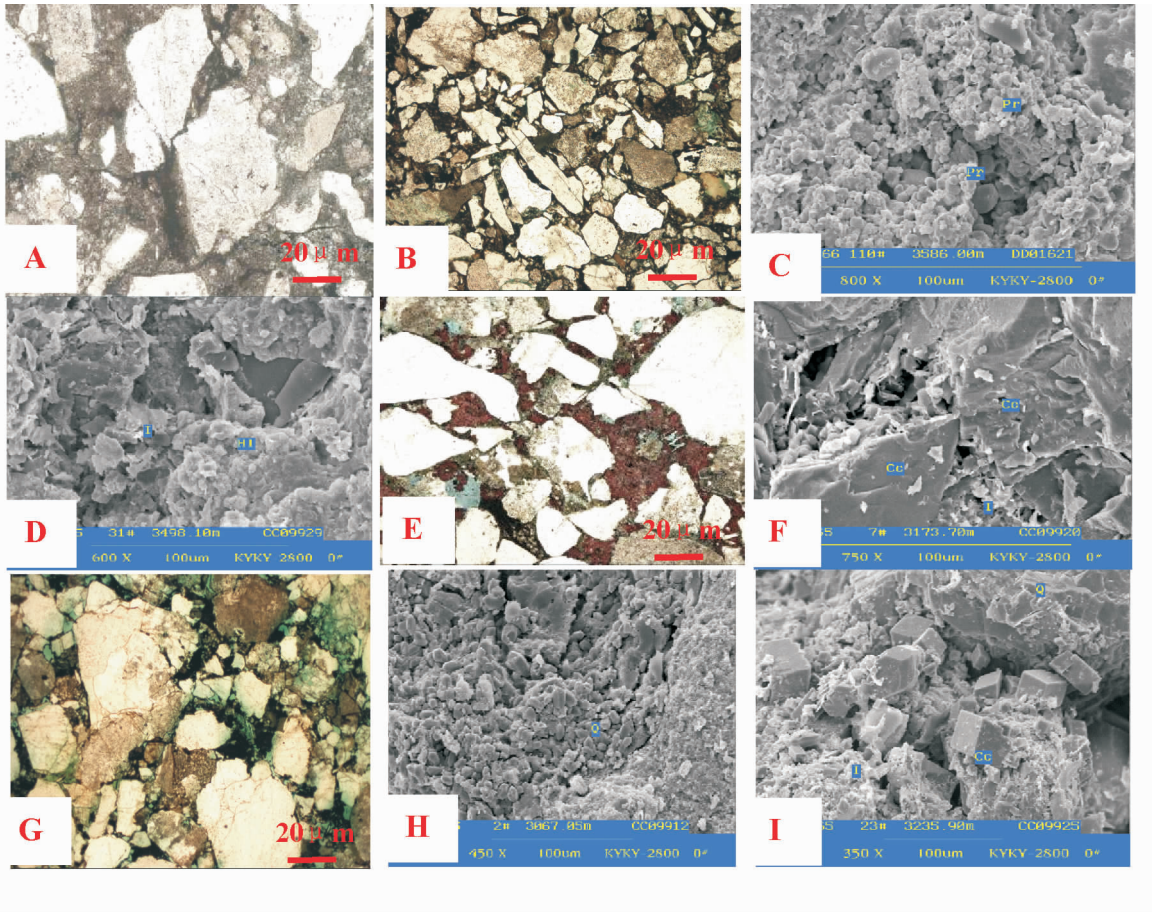


图5 东营凹陷不同体系域内典型成岩现象

A—SQ₁ 低位体系域时期,原始沉积微晶方解石胶结,FS1,4495m;B—SQ₂ 低位体系域时期,粘土矿物胶结,Y922,2787m;
 C—SQ₁ 低位体系域时期,伊利石和含铁方解石胶结,T166,3587.2m;D—SQ₁ 低位体系域时期,伊利石和食盐晶体充填,
 T165,3498.1m;E—SQ₂ 湖盆扩张体系域时期,铁碳酸盐胶结,Y921,2468.54m;F—SQ₂ 湖盆扩张体系域时期,粘土矿物胶结和铁
 方解石胶结,T165,3173m;G—SQ₂ 高位体系域时期,颗粒溶蚀现象明显,Y922,2768m;H—SQ₂ 高位体系域时期,伊利石和白云
 石胶结,T165,3067m;I—SQ₁ 高位体系域时期,伊利石胶结和含铁方解石胶结,T165,3235.9m

Fig.5 Typical diagenetic phenomena in different tracts of Dongying sag

A—Primary sedimentary microcrystalline calcite cementation, LST of SQ₁, FS1, 4495 m; B—Clay mineral cementation, LST of SQ₂, Y922, 2787 m; C—Illite and ferrous calcite cementation, LST of SQ₁, T166, 3587.2 m; D—Illite and salt filling, LST of SQ₁, T165, 3498.1 m; E—Ferrous calcite cementation, EST of SQ₂, Y921, 2468.54m; F—Clay mineral and ferrous calcite cementation,T165, 3173 m; G—Corrosion of grain, HST of SQ₂, Y922, 2768 m; H—Illite and dolomite cementation, HST of SQ₂, T165, 3067 m; I—Illite and ferrous calcite cementation, HST of SQ₁, T165, 3235.9 m

石或铁白云石胶结(图5-E、F),这显然与湖盆扩张时期形成的方解石胶结有关。

2.2.3 高位体系域

高位体系域时期处于层序演化的慢升慢降时期,该时期湖盆水体最为宽泛,淡水作用较强。总体来说缺乏盐度较高的矿物组合。但由于高位时期形成的沉积物在下一个低位时期处于暴露状态。因而,容易形成一些具有典型特征的矿物组合。高位体系域前积体形成之后,水体快速下降,进入了低位体系

域时期。高位时期形成的沉积物从盆地边缘到中央,可分为氧化带、氧化还原混合带和还原带^[9],分别对应高位时期堆积的三角洲平原、三角洲前缘和前三三角洲沉积。氧化带高位时期形成的进积复合体遭受暴露,加之东营凹陷沙四段时期为盐湖环境,蒸发作用的加强使高位时期形成的大量的钙质胶结以及少量泥-微晶灰岩遭受白云岩化。这与贾振远等(1997)^[9] 提出的高位时期容易遭受白云岩化是相符合的。通过对东营凹陷大量钻井资料研究表明,高位

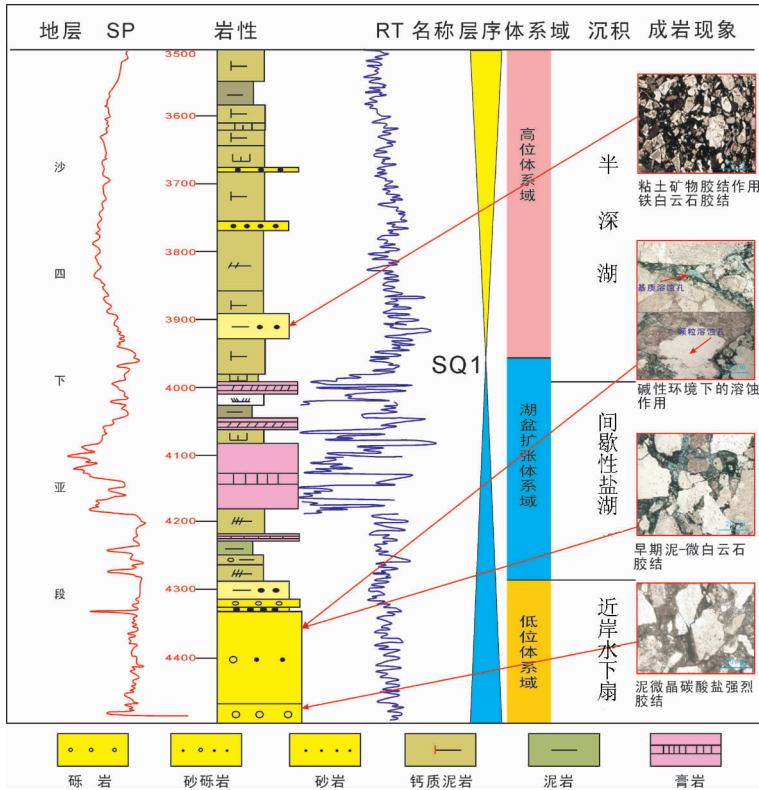


图 6 丰深 1 井层序成岩综合柱状图

Fig.6 Comprehensive column of stratigraphic sequence-sedimentation of SQ1 of well FS1

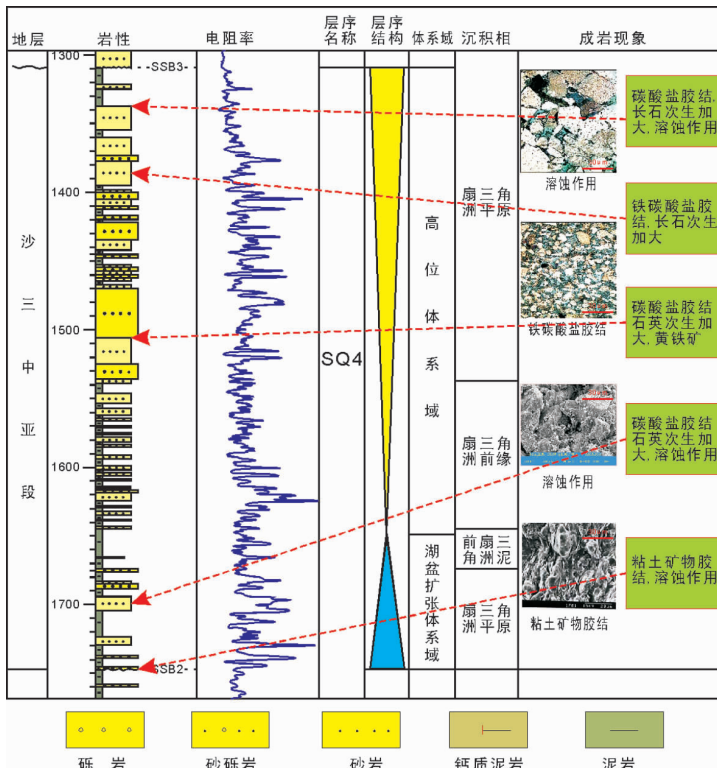


图 7 永 79 井层序成岩综合柱状图

Fig.7 Comprehensive column of stratigraphic sequence-sedimentation of SQ1 of well Y79

体系体系域广泛发育泥-微晶白云岩以及白云质砂岩等(图 5-H,I)。这类白云岩化主要跟暴露时期的强烈蒸发作用形成的蒸发泵模式有关;除此之外,氧化带还发育氧化矿物,在薄片鉴定中发现一些具有氧化成因的矿物组合,如褐铁矿。由于氧化带高位时期形成的沉积物在低位时期处于暴露状态或者是水体变浅状态。因此,成岩早期的溶蚀作用比较明显,这些溶蚀作用主要表现为碳酸盐溶解以及不稳定碎屑组分的溶解(图 5-G),这种溶解现象在高位体系域或是层序界面之下比较普遍。

还原带尚未脱离水体,由于高位时期形成的沉积物尚未强烈固结,低位体系域时期的上覆水体对高位时期形成的沉积物造成了强烈的影响。水介质条件对还原带上的高位沉积物进行了改造。从而在使还原带上的高位沉积物出现了少量硬石膏胶结和微晶方解石胶结,但这种胶结类型相比低位时期的充填物规模要小得多。

2.2.4 层序格架内成岩构型及流体模式

层序的底界面由两部分组成,一部分为断层面,另一部分为地层单元之间的不整合面或整合面。断层面及上超点附近以高岭石充填成岩或者石英次生

加大成岩作用为主,常发育石英次生加大、塑性组分溶蚀等成岩作用。在层序的顶底界面附近以含铁碳酸盐胶结为主,呈双壳式。由于陡坡带流体比较活跃,位于层序界面附近的成岩作用主要为铁碳酸盐胶结成岩、塑性组分溶蚀成岩、高岭石充填及石英次生加大成岩亚相(图 8),其中,高岭石胶结成岩亚相对北部陡坡带断层的封闭性起到良好的作用。

3 层序发育过程中的元素富集规律

层序发育的不同时期,成岩作用类型呈现不同的特征,这与层序发育过程中水介质中元素的迁移和富集规律有着必然的联系。前人研究表明^[17-19],不同体系域及层序界面附近地球化学特征有一定差异。事实上,仅仅对层序不同部位进行成岩作用规律性总结是不够的。纵观目前对层序发育及成岩作用关系的研究相关的成果,大部分都集中对每个层序部位发育何种成岩作用进行定性的总结和描述,这是不够全面的。原因在于尽管层序发育过程中成岩作用类型有所差异,但是成岩演化过程中多期次成岩流体的侵入,使得后期的成岩现象更加复杂。因此,不能仅仅依据某种成岩现象去断定某种层序部

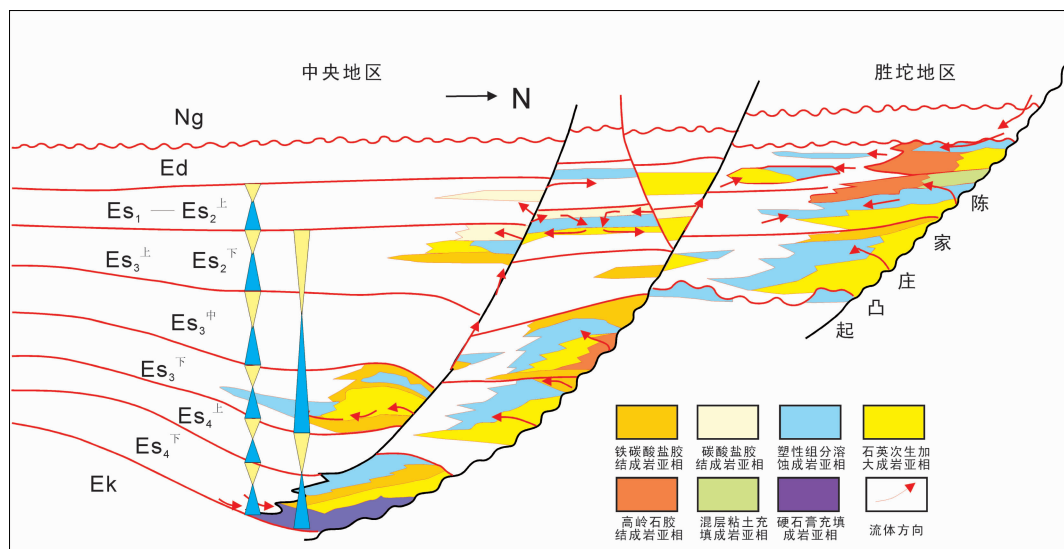


图 8 东营凹陷陡坡断裂坡折带层序地层格架内成岩相构型模式

Ng—馆陶组;Ed—东营组;Es₁—沙河街组一段;Es₂^上—沙河街组二段上亚段;Es₂^下—沙河街组二段下亚段;Es₃^上—沙河街组三段上亚段;Es₃^中—沙河街组三段中亚段;Es₃^下—沙河街组三段下亚段;Es₄^上—沙河街组四段上亚段;Es₄^下—沙河街组四段下亚段;Ek—孔店组

Fig.8 Diagenetic facies model for the sequence-stratigraphic framework of the north steep slope zone in Dongying depression
Ng—Guantao Formation;Ed—Dongying Formation;Es₁—Sha 1 Member in Shahejie Formation;Es₂^上— Upper Sha 2 Member in Shahejie Formation;Es₂^下— Lower Sha 2 Member in Shahejie Formation;Es₃^上— Upper Sha 3 Member in Shahejie Formation;Es₃^中— Middle Sha 3 Member in Shahejie Formation;Es₃^下— Lower Sha 3 Member in Shahejie Formation;Es₄^上— Upper Sha 4 Member in Shahejie Formation;Es₄^下— Lower Sha 4 Member in Shahejie Formation;Ek—Kongdian Formation

位就发育某种特征矿成岩作用类型。那么,层序与成岩的关系究竟如何呢?前人研究表明^[6],层序对成岩演化的控制作用主要体现在早期成岩作用,进而影响了后期的成岩演化。早期成岩作用势必跟早期水介质条件有关,沉积物没有完全固结之前,水介质中元素的富集条件必然影响早期成岩作用。综上所述,要深入研究层序发育过程中成岩作用的规律,必然要研究原始沉积条件下水介质的性质及元素富集规律。

3.1 水介质演化规律

沙四段—沙二段为东营凹陷古近系构造层序主旋回发育时期^[20]。前人研究表明^[20-22],SQ₁层序发育时期主要为盐湖沉积环境,水体性质主要为CaCl₂和NaHCO₃水型,沉积一套盐岩和膏盐层,湖湘碳酸盐和碳酸盐胶结作用比较发育;SQ₂层序发育时期,水体性质主要为CaCl₂,NaHCO₃含量降低,地层水活动比较微弱,处于封闭状态;SQ₃层序发育时期,水体性质受水体扩张的影响,主要为CaCl₂、NaHCO₃,其次为Na₂SO₄和MgCl₂;SQ₄层序发育时期,该时期水体性质CaCl₂下降,NaHCO₃上升;SQ₅层序发育时期,CaCl₂升高,NaHCO₃降低。总体上可以看出,水体性质呈现旋回变化,决定了早期胶结作用的类型。对于一个完整的层序旋回来讲,基准面旋回的变化会引起粘土矿物含量、碳酸盐胶结、铁质胶结的变化。如砂岩中粘土矿物的种类和质量分数受到水介质的酸碱性和盐度影响,酸性水介质条件下形成高岭石,碱性水介质条件下形成蒙脱石。湖平面上升,湖盆水体冲淡,水介质偏酸性,高岭石大量生成;湖平面下降,湖盆水体浓缩,水介质偏碱性,蒙脱石为主要的粘土矿物类型;早期形成的粘土矿物经过后期的成岩演化成不同的粘土矿物类型。

3.2 层序发育过程中无机元素响应

地壳中元素的迁移富集规律,一方面取决于元素本身的物理化学性质,另一方面又受地质环境的影响^[18],无机元素及某些元素比值可以有效地反映湖盆水体深浅、水体盐度以及古气候等诸多沉积环境信息^[21]。因此,在不同级别的层序地层单元的基准面旋回过程中,沉积物中化学元素变化与湖平面变化有一定的响应关系^[18]。水体介质无机元素的变化会引起元素在砂砾岩体中富集规律性变化,从而引起砂砾岩体沉积物的基质成分的变化。Sr/Ba、Sr/Ca比值的变化指示了湖盆水体的盐度变化,从表2来看,SQ层序低位时期均Sr/Ba较小、Sr/Ca较高,指

示了浓缩的盐湖环境;湖盆扩张体系域时期沉积的砂岩,主要位于湖盆水体中,Sr/Ba大于1,Sr/Ca较小,表明了总体处于淡水和盐湖过渡的沉积环境;高位时期Sr/Ba较大,Sr/Ca较大,指示了层序旋回上部水体盐度回升的变化。Fe/Mn比值的变化对水体的变化具有良好的指示作用,该值越大说明水体较浅,比值越小,水体较深。表2显示,低位时期Fe/Mn比值较大,反应了水体较浅的环境,湖盆扩张时期,Fe/Mn比值具有逐渐变小的趋势,显示了湖盆水体变深的趋势,高位体系域时期,Fe/Mn总体较小,显示了水体较深的环境下沉积而形成。表2还显示了由于元素富集而形成的胶结物类型,如高Sr含量的元素水体性质会形成天青石胶结,高Ba含量的水体性质形成重晶石的典型胶结物。

总之,层序发育过程中,水体性质的变化引起了早期成岩胶结物的变化,从而造成了成岩现象的差异性。这种差异性主要体现在两个方面:①湖盆水体的变化过程中,受陆源物质的影响,水体性质会发生变化,这种变化会引起充填在体系域中的沉积物胶结物元素富集的变化,从而引起后期的成岩改造的变化。如低位盐湖环境下,由于盐度较高,Ca²⁺富集,容易在碎屑岩中形成硬石膏胶结和早期微晶碳酸盐胶结;②水体性质的变化同样会引起原有沉积物的变化,如碱性盐湖环境下,原有沉积物容易发生物质成分的改变,造成早期成岩作用的变化,如容易造成早期石英的溶解现象。

4 层序对成岩演化的控制作用讨论

层序发育对成岩作用及其储层有一定的控制作用。在前人研究的基础上^[3-13],结合对东营凹陷沙河街组层序与成岩作用研究,总结了几点关于层序对成岩演化的控制因素。层序对成岩演化的控制作用主要体现在3个方面:①层序发育和充填控制原始成岩组分及早期成岩流体。构造、湖平面升降和沉积物补给等各种动力学因素所控制的相对湖平面变化,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;②层序对晚期成岩演化的控制作用,早期在层序格架内形成的特殊成岩组分,在受到晚期的改造之后,保留了特定的演

表 2 东营凹陷坨 166 井 SQ₁ 不同体系域成岩与地球化学特征
 Table 2 Diagenesis and geochemistry in different tracts of SQ₁ of T166 in Gongying sag

体系域	井深	岩石类型	组分含量 / %			白云石 胶结物	黄铁矿 [*]	特殊胶结物	地球化学指标			
			Q	F	R				Sr/Ba	Sr/Ca	Fe/Mn	V/Ni
SQ ₁ 高位体系域	3379.58	含白云质岩屑长石砂岩	35	33	23	20		1.274971623	43.57904947	0.003462749	1.336326225	
	3380.30	含白云质岩屑长石砂岩	38	37	23	10		1.359820322	89.21747967	0.004390116	1.568365696	
	3380.60	含白云质岩屑长石砂岩	38	39	21.5	18		2.93657689	105.7351408	0.004944227	1.27418766	
	3380.90	含白云质岩屑长石砂岩	38	39	21.5	18		0.783301618	38.46962617	0.004619313	2.127249357	
	3381.60	岩屑长石砂岩	40	37	21.5	5	5	0.570638704	58.57142857	0.00936591	1.679083095	
	3382.60	含白云质岩屑长石砂岩	40	40	15	15	0.5	2.229144667	55.16550523	0.004603774	1.576045627	
	3384.02	白云质粉砂岩				45	0.5	1.343625937	98.8961039	0.011346154	1.336350471	
	3384.60	含白云质岩屑长石砂岩	40	39	20	10		7.295217152	187.9603399	0.004272287	1.41300578	
	3385.50	岩屑长石砂岩	40	40	18	8	5	0.865724382	59.5623987	0.006497431	1.807665011	
	3386.13	岩屑长石砂岩	38	37	23	8	0.5	1.220647773	84.92957746	0.003770567	1.521384929	
	3386.32	含白云质岩屑长石砂岩	40	30	25	10		0.748901002	57.01472557	0.005125061	1.575462185	
	3387.90	含白云质岩屑长石砂岩	40	37	21.5	10	3	0.787220971	55.30935252	0.00486631	2.18864598	
	3388.23	岩屑长石砂岩	35	35	29	5	5	3.59312135	129.9765258	0.013494968	1.491760905	
3388.53	岩屑长石砂岩	38	33	26	5	5	4.333260822	90.9890411	0.011127013	1.477453581		
3461.30	含白云质中细砾岩				20		0.855137712	31.53320313	0.005950783	1.037591101		
3462.00	含白云质岩屑长石砂岩	42	40	18.5	20	2	0.744378392	38.29787234	0.007566638	1.529881657		
3462.80	砾质长石岩屑砂岩	30	30	40.5	5	4	1.015355086	61.20661157	0.007210488	1.293627655		
3463.80	含白云质长石岩屑砂岩	30	30	40	10	2	1.238787375	72.93398533	0.017121588	1.279642502		
3464.80	砾岩						0.162428276	160.8409091	0.024970273	0.451995685		
3586.00	含白云质砾岩				15		0.309242695	130.3015075	0.008155196	0.874393531		
3587.20	长石岩屑砂岩	20	36	44	1	0.5	0.322251773	114.1884817	0.014274062	1.844544096		
3588.30	含白云质长石岩屑砂岩	20	40	40	10	0.5	0.860885609	103.2300885	0.022559524	1.150631681		

化特征,这些特征成岩现象一定程度上揭示了层序对成岩演化的控制作用;③层序界面的成岩信息,层序界面对层序界面之下储层的后期成岩作用也有着重要的影响,特别是沿着层序界面发育的溶蚀作用具有重要的意义。

4.1 层序对沉积组分的控制

沉积相及微相对成岩演化的控制作用已经得到广大学者的认可,不少学者就沉积微相对成岩作用的控制作用进行过研究^[23-25]。层序发育直接控制了沉积充填及原始沉积组分,原始沉积组分对后期成岩作用有着重要的控制作用^[2]。层序发育过程中由于湖平面的升降变化,导致了沉积作用过程和沉积充填差异很大,进而决定了沉积原始组分。东营凹陷沙河街组 SQ₁~SQ₆。总体上讲为浅-深-浅的变化过程,每个完整的三级层序发育过程中,低位体系域发育冲积扇-盐湖沉积环境,湖盆扩张体系域主要发育扇三角洲-半咸水湖泊的沉积环境,高位体系域主要发育三角洲、扇三角洲-淡水湖泊的沉积环境。每种沉积充填,由于受沉积物源和气候的影响,沉积组分存在较大差异。如表 3 所示,高位体系域时期,主要为长石砂岩和岩屑长石砂岩为主,泥质杂基含

量较高,胶结物主要为方解石胶结、白云石胶结;低位时期主要为岩屑砂岩,泥质杂基含量较低,胶结物类型主要为硬石膏胶结、黄铁矿胶结。这种差异造成了后期成岩改造存在较大差异。表 3 还显示了不同地区由于沉积分带作用,沉积物空间配置存在较大的差异,沉积组分存在较大差异。

4.2 层序发育对早期成岩的控制

通过对东营凹陷沙河街组层序格架内的成岩现象研究表明,低位体系域时期,特别是盐湖发育时期,对层序具有响应的成岩现象类型为微晶方解石胶结、硬石膏胶结和黄铁矿胶结;湖盆扩张体系域时期,对层序具有响应的成岩现象类型为铁碳酸盐胶结、粘土矿物胶结;高位体系域时期,对层序具有响应的成岩现象类型为白云石胶结、溶蚀作用、粘土矿物胶结作用(多以高岭石为主)(图 9)。众所周知,沉积物的成岩过程经历了后期多次成岩流体的改造,从而掩盖了部分早期成岩作用特征。即便如此,现今的成岩面貌仍然保留了部分早期成岩信息。这些早期成岩信息为层序格架内的成岩演化研究、早期成岩流体性质、成岩层序研究提供了有力的证据。层序演化以及体系域充填结构反映了湖盆水体的变

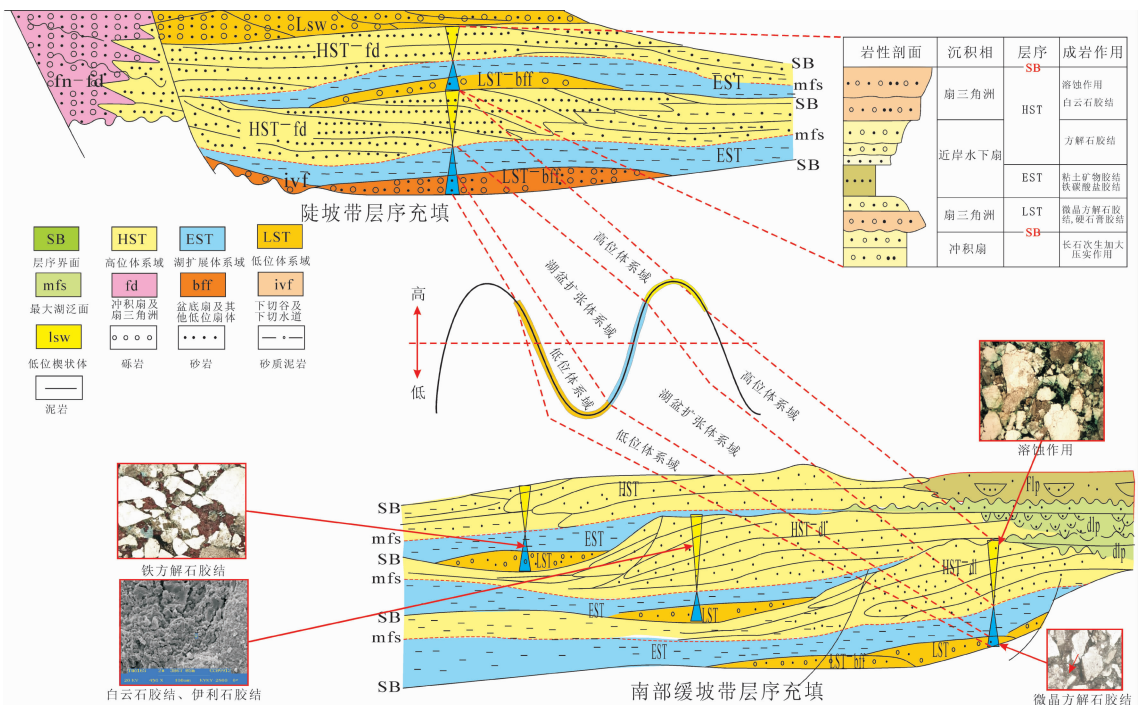


图 9 东营凹陷沙河街组层序充填与成岩综合模式

Fig.9 Stratigraphic sequence filling and diagenetic comprehensive model of Shahejie Formation in Dongying sag

表 3 东营凹陷沙河街组层序格架内成岩组分特征
 Table 3 Characteristics of diagenetic components in stratigraphic sequence framework of Shahejie Formation in Dongying sag

层序	体系域	井号	井深	岩石类型	组分含量 / %				填隙物 / %				
					Q	F	R	泥质杂基	方解石胶结物	白云石胶结物	黄铁矿	其他胶结物	
S _{Q2}	高位体系域	滨 656	3083.00	含泥质极细粒长石砂岩	47	32	21	10	4	4			
		滨 656	3085.80	含泥质极细-细粒长石砂岩	46	30	24	10	3	4			
		滨 656	3088.70	含泥灰质极细粒长石砂岩	44	33	23		1	1	0.5		
		滨 656	3091.40	含泥灰质极细粒长石砂岩	43	33	24	8	1	1	0.5		
S _{Q2}	高位体系域	利 934	2815.10	含白云质含泥质极细粒长石砂岩	55	30	15	12		12	1		
		利 934	2817.10	白云质粉砂岩		0	0	8		30			
		利 934	2820.60	泥质极细粒长石砂岩	60	30	10	25		6	0.5		
S _{Q2}	高位体系域	坨 165	3067.05	含灰质中粒岩屑长石砂岩	28	50	22.5	2	13	1			
		坨 165	3068.20	含灰质中粒岩屑长石砂岩	29	51	20.5	5	20	3			
S _{Q1}	低位体系域	坨 166	3587.20	含砾不等粒长石岩屑砂岩	20	36	44	3	1	1	0.5		硬石膏
		坨 166	3588.30	含白云质含砾不等粒长石岩屑砂岩	20	40	40	8		10	0.5		硬石膏
S _{Q3}	低位体系域	坨 160	2469.5	含泥质不等粒长石岩屑砂岩	25	25	50	19	1	8			

化过程,控制着湖盆的水介质条件,进而控制了早期成岩作用的类型与特征。

东营凹陷为一断陷湖盆,层序充填结构具有典型的箕状断陷结构,层序的充填过程对早期成岩作用有着重要的影响(图 9)。层序对早期成岩作用的影响主要有 3 个方面的含义:①层序的发育,对湖盆水体变化有着重要的控制作用。通过影响水介质条件、控制早期元素的富集状态,进而控制了早期沉积物的杂基和胶结物的性质;②水介质的变化,对早期形成的半固结沉积物也有重要影响,通过与半固结岩石进行流-岩反应,从而产生新的成岩作用类型。如东营凹陷沙四段早成岩期形成的石英溶解现象,为碱性流体的侵入溶蚀而形成;③早期形成的原始杂基和胶结物,在漫长的成岩演化过程中,受到后期多期次流体的改造,形成新的成岩现象。如早期方解石胶结,后期受到含 Fe²⁺流体的侵入作用,而发生流-岩反应,形成铁方解石胶结,这种现象在东营凹陷沙河街组地层中比较普遍。

4.3 层序界面对成岩作用的控制

层序界面代表了短暂的沉积间断,包含了丰富的地质信息,对晚期成岩演化有着重要的控制作用。层序界面对层序的控制作用主要体现在 3 个方面:①层序发育期,层序界面的形成为快速湖退到下一个湖平面扩张之前(图 9),在这个时期,广大的区域都处于暴露状态,处于干旱炎热的环境,河流的回春作用比较明显,导致了上一个高位时期形成的沉积物遭受了冲刷作用和淡水的淋滤作用,从而控制了早期的溶蚀作用。研究区沙河街组早期碳酸盐岩胶结的溶蚀作用主要发生在该时期;②层序界面之下的高位体系域沉积,由于沉积物形成之后发生了沉积间断,导致了高位时期的压实作用比较弱,产生了层序界面上下压实作用的差异(图 10);③成岩演化期,层序界面作为流体的通道,对层序界面的成岩改造起到了很好的通道作用,一些酸性流体或碱性流体沿着层序界面流动,对层序界面附近的岩石矿物造成了溶解。研究区层序界面的长石溶解和岩屑溶解属于这样一种溶蚀作用所造成。

5 结 论

(1)东营凹陷沙河街组层序格架内具有典型的成岩现象特征,低位体系域主要发育微晶方解石胶结、硬石膏胶结、黄铁矿胶结等,湖盆扩张体系域主

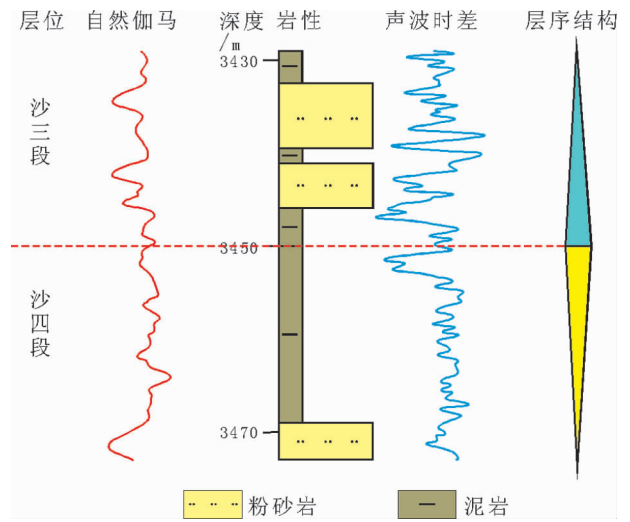


图 10 层序界面上下压实作用不同而导致声波时差响应不同,Z103^[24]

Fig.10 Different well logging responses generated by the different compactions of sequence interface,Z103

要发育有铁碳酸盐胶结、粘土矿物胶结等,高位体系域主要发育有白云石胶结、铁白云石胶结、溶蚀作用、粘土矿物胶结等;层序界面附近主要发育溶蚀作用和铁碳酸盐胶结现象。

(2)层序发育过程中湖盆水体变化是引起早期成岩作用差异的主要因素,湖盆水介质的元素富集规律和状态决定了早期沉积物的杂基和胶结物的性质,从而影响后期的成岩演化。并与早期形成的半固结岩石进行流-岩反应,形成新的特征成岩现象。

(3)层序对成岩演化的控制作用主要体现在 3 个方面:层序对原始沉积-成岩组分的控制,通过对原始沉积组分的控制进而控制后期的成岩改造;层序对早期成岩演化的控制,层序发育过程中,沉积物中的成岩现象对层序发育变化有一定的响应作用,这种响应作用经历了后期改造会发生一定变化,但仍然具有特定的特征,如铁碳酸盐胶结;层序界面对成岩作用的控制作用,主要通过早期的河流回春作用、沉积间断减缓压实作用、后期成岩流体的侵入作用对成岩演化造成影响。

致谢:感谢胜利油田地质研究院地层室给予的帮助!

参考文献(References):

[1] Curtis C D. Possible link between sandstone diagenesis and depth-related geochemical reactions occurring in enclosing mudstones [J].

- Geol. Soc. Lond. 1978, 135:107-114.
- [2] 李忠, 韩登林, 寿建峰. 沉积盆地成岩作用系统及时空属性[J]. 岩石学报, 2006, 22(8):2151-2164.
- Li Zhong, Han Denglin, Shou Jianfeng. Diagenesis systems and their spatio-temporal attributes in sedimentary basins [J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22(8):2151-2164(in Chinese with English abstract).
- [3] 孙永传, 李蕙生. 层序地层学在成岩作用研究中的应用 [J]. 地学前缘, 1995, 2(34):154.
- Sun Yongchuan, Li Huisheng. Application of sequence stratigraphy to the study of diagenesis[J]. Earth Science Frontiers, 1995, 2(3-4): 154(in Chinese with English abstract).
- [4] 贾振远, 蔡忠贤. 成岩地层学与层序地层学 [J]. 地球科学, 1997, 22(5):538-543.
- Jia Zhenyuan, Cai Zhongxian. Diagenesis stratigraphy and sequence stratigraphy[J]. Earth science, 1997, 22(5):538-543(in Chinese with English abstract).
- [5] 陆水潮, 向才富, 陈平, 等. 层序地层学在碎屑岩成岩作用研究中的应用——以 YA13-1 气田古近系为例 [J]. 石油实验地质, 1999, 20(2), 100-118.
- Lu Yongchao, Xiaing Caifu, Chen Ping, et al. Application of sequence stratigraphy to the study of diagenesis of siliciclastic rock[J]. Experimental Petroleum Geology, 1999, 20(2), 100-118(in Chinese with English abstract).
- [6] Morad S, Ketzer J M, De Ros L F. Spatial and temporal distribution of diagenetic alterations in siliclastic rocks: implications for mass transfer in sedimentary basins [J]. Sedimentology, 2000, 47(s1):95-120.
- [7] Al-Ramadan K, Morad S, Pmst J N, et al. Distribution of diagenetic alterations in siliclastic shoreface deposits within a sequence stratigraphic framework: evidence from the Upper Jurassic, Boulonnais, NW France [J]. Journal of Sedimentary Research, 2005, 75(5):943-959.
- [8] 李熙喆, 张满郎, 谢武仁, 等. 鄂尔多斯盆地上古生界层序格架内的成岩作用[J]. 沉积学报, 2007, 25(6):923-933.
- Li Xizhe, Zhang Manlang, Xie Wuren, et al. The diagenesis in sequence stratigraphic framework of the Upper Paleozoic, Ordos basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2007, 25 (6):923-933(in Chinese with English abstract).
- [9] 罗忠, 罗平, 张兴阳, 等. 层序界面对砂岩成岩作用及储层质量的影响——以鄂尔多斯盆地延河露头上三叠统延长组为例 [J]. 沉积学报, 2007, 25(6):903-914.
- Luo Zhong, Luo Ping, Zhang Xingyang, et al. Effect of sequence boundary on sandstones diagenesis and reservoir quality: an outcrop study from the Upper Triassic [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2007, 25(6):903-914(in Chinese with English abstract).
- [10] 邱桂强. 东营凹陷古近系成岩层序特征与储集差异性分析[J]. 沉积学报, 2007, 25(6):915-922.
- Qiu Guiqiang. Analysis on Lower Tertiary diagenetic sequence characteristics and their differences of reservoirs in Dongying Sag[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2007, 25 (6):915-922 (in Chinese with English abstract).
- [11] 田景春, 谭先锋, 孟万斌, 等. 箕状断陷湖盆陡坡带层序地层格架内成岩演化研究[M]. 北京:地质出版社, 2008.
- Tian Jingchun, Tan Xianfeng, Meng Wanbin, et al. Research on the Diagenetic Evolution in Sequence Stratigraphic Framework in the steep-Slope Zone of Halfgraben-like Rift Basin [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2008 (in Chinese with English abstract).
- [12] 孙萍, 罗平, 阳正熙. 基准面旋回对砂岩成岩作用的控制 [J]. 岩石矿物学杂志, 2009, 28(2):179-184.
- Sun Ping, Luo Ping, Yang Zhengxi. The control of the sequence boundary over the sandstone reservoir and diagenesis: a case study of Yanchang Formation outcrop along the Ruishui River profile [J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 2009, 28(2):179-184(in Chinese with English abstract).
- [13] 谢武仁, 邓宏文, 王洪亮, 等. 渤中凹陷古近系层序格架内的成岩作用[J]. 断块油气田, 2008, 15(2):23-26.
- Xie Wuren, Deng Hongwen, Wang Hongliang, et al. Diagenesis in sequence stratigraphic framework of Paleogene strata in Bozhong Depression[J]. Fault-block Oil & Gas Field, 2008, 15(2):23-26(in Chinese with English abstract).
- [14] 谭先锋, 田景春, 白建平, 等. 陆相断陷湖盆陡坡断裂带沉积响应及充填过程[J]. 中国地质, 2010, 37(2):298-310.
- Tan Xianfeng, Tian Jingchun, Bai Jianping, et al. Depositing response and filling process on steep slope rift belt in Terrestrial fault-depressed Basin [J]. Geology in China, 2010, 37(2):298-310 (in Chinese with English abstract).
- [15] 夏景生, 王成明, 王志坤, 等. 山东东营凹陷东部深层浊积扇储层的微观特征及影响因素[J]. 中国地质, 2008, 35(5):975-983.
- Xia Jingsheng, Wang Chengming, Wang Zhikun, et al. Micro-properties and influence factors of deep turbidite fan reservoirs in the eastern Dongying subbasin, Shandong [J]. Geology in China, 2008, 35(5): 975-983 (in Chinese with English abstract).
- [16] 何星, 杨建国, 李映雁. 依-舒地堑方正断陷古近系构造演化与沉积相带展布特征[J]. 中国地质, 2008, 35(5):902-910.
- He Xing, Yang Jianguo, Li Yingyan. Paleogene structural evolution and distribution characteristics of sedimentary facies in the Fangzheng fault depression of the Yishu graben [J]. Geology in China, 2008, 35(5): 902-910 (in Chinese with English abstract).
- [17] 胡受权, 颜其彬, 张永贵. 陆相层序界面的岩石地球化学标志探讨[J]. 石油学报, 1999, 20(1):24-29.
- Hu Shouquan, Yan Qibing, Zhang Yonggui. Research of litho-

- geochemistry mark of sedimentary sequence boundary of continental facies [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 1999, 20 (1):24-29(in Chinese with English abstract).
- [18] 纪友亮, 胡光明, 张善文. 沉积层序界面研究中的矿物及地球化学方法[J]. *同济大学学报*, 2004, 32(4):455-460.
- Ji Youliang, Hu Guangming, Zhang Shanwen. Mineralogical and geochemical methods in study of sedimentary sequence boundary [J]. *Journal of Tongji University*, 2004, 32(4):455-460(in Chinese with English abstract).
- [19] 胡受权, 张永贵, 颜其彬. 泌阳断陷下第三系核三段上段陆相层序个体域岩石地球化学旋回性特征 [J]. *地质地球化学*, 1998, 26(2):45-52
- Hu Shouquan, Zhang Yonggui, Yan Qibin. lithologic-geochemical cyclicity in every system tract of terrigenous sequence in the upper member of Eh3 of Biyang fault depression [J]. *Geology and Geochemistry*, 1998, 26(2):45-52(in Chinese with English abstract).
- [20] 陈中红, 查明, 刘太勋. 东营凹陷古近系古湖盆演化与水化学场响应[J]. *湖泊科学*, 2008, 20(6):707-714.
- Chen Zhonghong, Cha Ming, Liu Taixun. Response and evolution of formation water chemical fields of the paleogene in Dongying sag[J]. *J. Lake Sci.* 2008, 20(6):707-714(in Chinese with English abstract).
- [21] 陈中红, 查明, 等. 东营凹陷古近系深层湖盆演化中的无机元素响应[J]. *沉积学报*, 2008, 26(6):925-932
- Chen Zhonghong, Cha Ming, et al. Mineral elemental response to the evolution of Terrestrial brine faulted-basin:a case study in the Paleogene of Well Haoke -1, Dongying Sag [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2008, 26 (6):925-932 (in Chinese with English abstract).
- [22] 查明, 陈中红. 山东东营凹陷前古近系水化学场、水动力场与油气成藏[J]. *现代地质*, 2008, 22(4):567-575.
- Cha Ming, Chen Zhonghong. Formation water chemical and hydrodynamic fields and their relations to the hydrocarbon accumulation in the pre-Tertiary of Dongying depression, Shandong[J]. *Geoscience*, 2008, 22(4):567-575(in Chinese with English abstract).
- [23] 孟元林, 高建军, 牛嘉玉, 等. 扇三角洲体系沉积微相对成岩的控制作用[J]. *石油勘探与开发*, 2006, 33(1):36-39
- Meng Yuanlin, Gao Jianjun, Niu Jiayu, et al. Controls of the fan-delta sedimentary microfacies on the diageneses in the south of western Liaohe Depression, Bohai Bay basin [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2006, 33 (1):36-39 (in Chinese with English abstract).
- [24] 张胜斌, 王琪, 李小燕. 川中南河包场须家河组砂岩沉积—成岩作用[J]. *石油学报*, 2009, 30(2):225-231
- Zhang Shengbin, Wang Qi, Li Xiaoyan. Depositional-diagenetic coupling complex of Xujiuhe sandstone in Hebaochang Block in the south part of the Central Sichuan Basin[J]. *Acta Petroli Sinica*, 2009, 30(2):225-231(in Chinese with English abstract).
- [25] Jin Cheul Kim, Yong Il Lee a, Ken-ichiro Hisada. Depositional and compositional controls on sandstone diagenesis, the Tetori Group (Middle Jurassic - Early Cretaceous), central Japan [J]. *Sedimentary Geology*, 2007, 195:183-202.
- [26] 谭先锋, 田景春, 李祖兵, 等. 碱性沉积环境下碎屑岩的成岩演化[J]. *地质通报*, 2010, 29(4):535-543.
- Tan Xianfeng, Tian Jingchun, Li Zubing, et al. Diagenetic process of fragmental reservoir in alkali sediment environment [J]. *Geological Bulletin of China*, 2010, 29 (4):6-14 (in Chinese with English abstract).

The control role of stratigraphic sequence in diagenetic evolution in the terrestrial fault basin: a case study of Paleogene Shahejie Formation in Dongying half basin

TAN Xian-feng^{1,2}, TIAN Jing-chun¹, CHEN Lang²,
ZHANG Shou-peng³, WANG Wei-qing³

(1. State Key Laboratory for Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China; 2. Chongqing University of Science and Technology, Chongqing 401331, China;
3. Geological Institute of Shengli Oilfield, Dongying 257015, Shandong, China)

Abstract: Based on stratigraphic sequence, thin-section analysis, SEM observation, vitrinite reflectance, X-ray diffraction and geochemical investigation, the authors systematically studied the relationship between the stratigraphic sequence and diagenesis. The results show that different stratigraphic sequence tracts have different diagenetic responses: crypto-crystal carbonate, anhydrite, iron pyrite are existent in the low tract; ferrous carbonate cementation and clay mineral cementation occur in the expanded tract; dolomite cementation, ferrous dolomite cementation, corrosion, clay mineral cementation exist in the high tract, and corrosion phenomenon and ferrous carbonate cementation are found near the stratigraphic sequence boundary. During the development of the stratigraphic sequence, the original fluid and the enrichment regularity of elements made up the main factors for generating the diagenetic response and affected the components of diagenesis. The control role of the stratigraphic sequence in diagenetic evolution finds expression in three aspects: a. The development of stratigraphic sequence controlled the original components of diagenesis and further controlled the reconstruction of late diagenesis. b. Early diagenesis had some response to the stratigraphic sequence development, whereas late diagenesis covered up most of the diagenetic response. c. Stratigraphic sequence boundary affected the diagenetic evolution by stream action, depositional interruption slowing down the compaction, and late fluid invasion.

Key words: stratigraphic sequence; diagenetic evolution; fault lake basin; Shahejie Formation; early diagenesis; diagenetic response

About the first author: TAN Xian-feng, male, born in 1982, lecturer, engages in the study of sedimentology; E-mail: xianfengtan8299@163.com.