

The Mixed Clastic-Carbonate Sedimentation Model in Shujiutuo Area, Bohai Bay Basin

Tao Niu, Guangyi Hu, Ting'en Fan, Hui Wang, Xiaoqing Hu

CNOOC Research Institute, Beijing
Email: niutao@cnooc.com.cn

Received: Apr. 7th, 2019; accepted: Apr. 22nd, 2019; published: Apr. 29th, 2019

Abstract

The 1 - 2 member of Shahejie Formation in Shijiutuo Area develops mixed clastic-carbonate deposits. By analyzing areal geology background, characteristics of sedimentary structure and petrologic feature, the study area mainly develops fan delta sediments, carbonate platform deposits developing locally. Influenced by the tectonic movement, palaeoclimate, hydrodynamic condition and provenance supply condition, terrigenous detrital sediment and carbonate deposition trading off and taking turns, the model of mixed deposits is formed by autochthonous mixed and facies mixed.

Keywords

Mixed Sedimentation, Lacustrine Carbonate Rocks, Terrigenous Clastics, The 1 - 2 Member of Shahejie Formation

渤海湾盆地石臼坨地区混积岩沉积模式

牛涛, 胡光义, 范廷恩, 王晖, 胡晓庆

中海油研究总院, 北京
Email: niutao@cnooc.com.cn

收稿日期: 2019年4月7日; 录用日期: 2019年4月22日; 发布日期: 2019年4月29日

摘要

石臼坨地区沙一二段发育湖湘碳酸盐与陆源碎屑的混合沉积。通过对研究区混合沉积的区域地质背景、沉积构造特征、岩石学特征等分析, 研究区主要以扇三角洲沉积为主, 局部发育碳酸盐岩台地沉积。受构造运动、古气候、水动力条件以及物源供给程度等因素的影响, 陆源碎屑沉积和碳酸盐沉积此消彼长, 主要以原地混合、相混合等混合方式形成混合沉积。

关键词

混合沉积, 湖相碳酸盐, 陆源碎屑, 沙一二段

Copyright © 2019 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

混合沉积主要指硅质碎屑与碳酸盐的混合沉积, 是一种沉积机理特殊而又有重要意义的沉积现象[1]。混合沉积的研究, 对了解沉积环境的沉积动力学、海(湖)平面变化、区域沉积速率和沉降速率、古气候和古构造对沉积的控制作用等, 都有着特殊的意义[2]。

关于陆源碎屑与碳酸盐混合沉积的定义可分为狭义的和广义的。狭义混合沉积是指陆源碎屑与碳酸盐组分的混合; 而广义的混合沉积则包括了狭义的混合沉积, 也包括了“纯”碳酸盐和“纯”碎屑岩的交互沉积[3] [4] [5] [6]。按照混合沉积形成作用的特点可分为四类: ① 间断混合, 即由罕见的高强度事件如风暴等造成的本来属不同环境的沉积物的混合; ② 相混合, 即沉积物沿着不同相之间的扩散边界混合, 相过渡带造成的碳酸盐岩与碎屑岩互层也包括在内; ③ 原地混合, 即在陆源碎屑沉积物中有原地生长的生物礁碳酸盐沉积物形成的混合; ④ 受物源影响的混合, 即隆起区的碳酸盐物源区经侵蚀而提供碎屑碳酸盐与陆源硅质碎屑混合。这些混合作用可以单独起作用, 也可共同作用形成混合沉积, 并可在各种沉积环境中出现[7]。

在渤海湾盆地古近系沙河街组中, 多个凹陷发育湖相碳酸盐与陆源碎屑构成的混合沉积, 分布范围广泛, 国内多名学者对渤海湾盆地多个地区的混合沉积进行了系统研究[8] [9] [10] [11] [12]。笔者在前人研究成果的基础上, 对研究区沙一二段混合沉积的岩石学特征、混合沉积特征及混合沉积作用类型等做了详细分析, 并探讨了研究区的沉积类型。

2. 区域地质概况

A 油田位于渤海湾盆地秦南凹陷南侧, 石白坨凸起东倾末端北界断层下降盘的断坡带上, 南依石白坨凸起, 北临秦南生烃凹陷, 西侧紧邻某大型油气构造, 构造位置非常有利(图 1)。

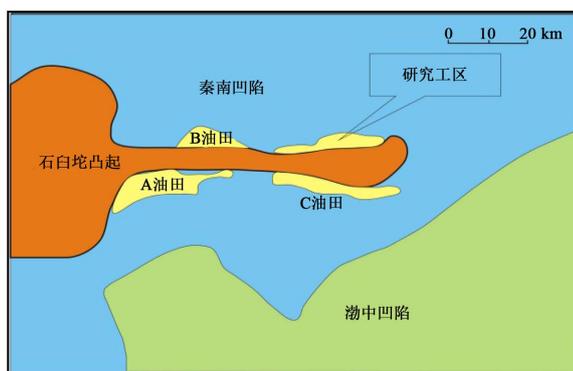


Figure 1. Location of study area

图 1. 研究区位置

根据地震、钻测井和古生物等资料综合分析, 研究区的主要含油气层系为沙一二段, 储层厚度大、岩性复杂, 其古近纪构造演化大致可以分为三个阶段[13](表 1)。E₃S₂~E₃S₁ 阶段为盆地第一个重要的裂后热沉降构造幕的拗陷期。始新世末期的华北运动, 发生大规模的水退, 造成沙三段顶界面的区域性不整合。沙二段沉积时期湖水变浅, 沉积范围缩小, 以滨浅湖相为主, 近岸水下扇和扇三角洲相发育, 局部地区形成碳酸盐岩台地。沙一段沉积时期, 又一次的广泛湖侵, 湖域面积进一步扩大, 滨浅湖相发育广泛, 隆起区物源供给减弱, 造成局部发育碳酸盐岩台地。

Table 1. The paleogene tectonic evolution of the oil-bearing area in bohai sea (Luo Yuhui, Cai Dongsheng, Hou Tinggui, 1999)

表 1. 渤海含油气区古近系构造演化阶段划分(据罗毓晖, 蔡东升, 侯廷贵等, 1999)

地质年代	地层	年龄(Ma)	盆地构造演化阶段		构造沉降速率	盆地成因动力学机理	
			构造期	构造活动幕			
渐新世	东营组	E ₃ d ₁	走滑拉分与再次裂陷阶段	稳定拗陷-萎缩充填 III 幕	100 m/Ma	右旋走滑拉分伴随幔隆和上、下地壳的非均匀不连续伸展	
		E ₃ d ₂			100 m/Ma		
		E ₃ d ₃			190 m/Ma		
古近纪	沙河街组	E ₃ S ₁	裂后热沉降拗陷阶段	初始拗陷 I 幕	80 m/Ma	岩石圈热沉降	
		E ₃ S ₂					
		E ₂ S ₃					强烈拗陷 II 幕
		E ₂ S ₄					220 m/Ma
始新世	孔店组	E ₂ k ₁	伸展拉张裂陷阶段	初始裂陷 I 幕	150 m/Ma	北北西-南南东方向的拉张伸展伴随幔隆	
		E ₂ k ₂					
古新世		E ₁ k ₃					
Pre-E		前古近系基地					

3. 岩石学特征

研究区内沙一二段岩性以湖相碳酸盐岩与陆源碎屑岩为主, 而这些岩性大多不纯, 碳酸盐岩中含有大量的非碳酸盐矿物, 碎屑岩中含有大量的碳酸盐矿物, 是在古气候、构造运动、物源供给程度等多种因素的影响下, 碳酸盐沉积与陆源碎屑沉积交替作用形成的一种混合沉积。

3.1. “纯”碳酸盐岩

工区内存在的主要碳酸盐岩为生物碎屑灰岩和泥晶鲕粒灰岩。

1) 生物碎屑灰岩

岩石主要由生物碎屑、少量表鲕和粒间泥晶白云石组成(图 2)。生物碎屑主要为螺化石及其碎片, 表鲕包壳薄, 核心为石英、中酸性喷出岩岩屑和变质岩岩屑。生物碎屑灰岩中的泥晶碳酸盐岩的含量代表了当时沉积水动力的强弱, 当沉积水动力达到一定强度时泥晶碳酸盐岩就会被冲洗掉而形成“干净”的生物碎屑灰岩(图 2(b))。

2) 泥晶鲕粒灰岩

粒屑结构, 岩石矿物成分主要为白云石或方解石, 其次为中粒及细粒石英、长石、酸性喷出岩岩块及花岗岩岩块; 岩石组构主要为鲕粒及泥晶, 鲕粒多为表鲕, 鲕核为石英及长石等陆屑, 部分鲕核被泥晶白云石交代, 泥晶白云石较均匀充填于鲕粒间(图 3)。

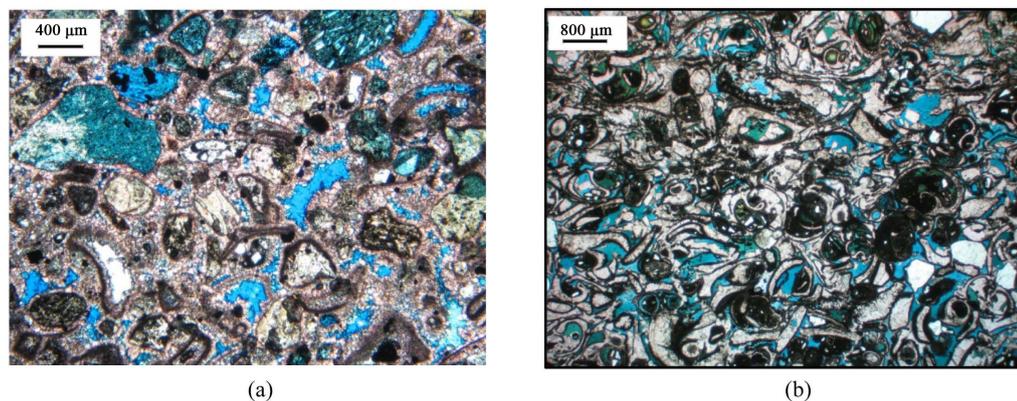


Figure 2. The bio-clastic limestone
图 2. 生物碎屑灰岩

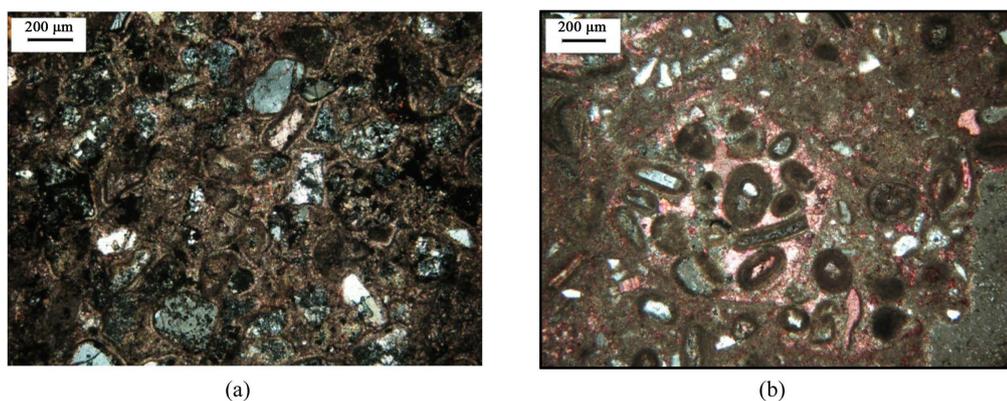


Figure 3. The micrite oolitic gray rock
图 3. 泥晶鲕粒灰(云)岩

3.2. “纯”碎屑岩

研究区内的碎屑岩沉积主要为含灰质长石岩屑砂岩和含凝灰质长石岩屑砂岩(图 4)。碎屑颗粒有石英、长石和火山岩岩块。火山岩岩块主要是中酸性的喷出岩,包括流纹岩和安山岩,粒间填隙物主要是方解石胶结物和少量凝灰质杂基。

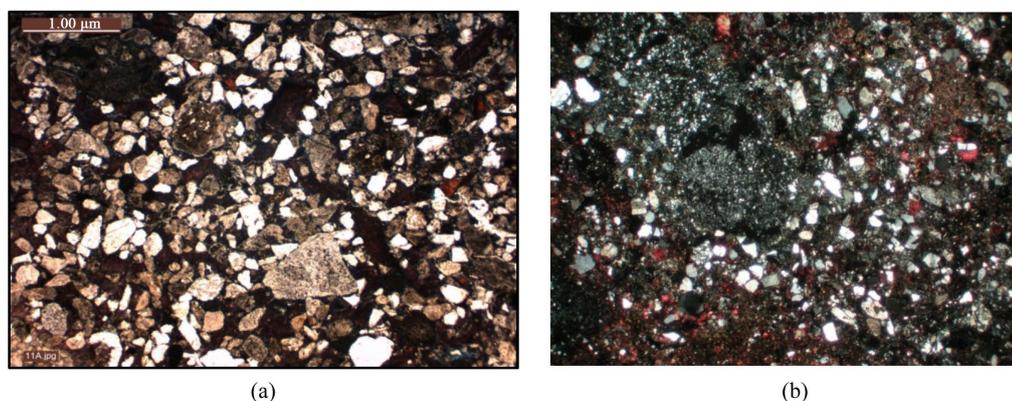


Figure 4. (a) The calcareous feldspathic lithic sandstone; (b) The tuffaceous feldspathic lithic sandstone
图 4. (a)含灰质长石岩屑砂岩; (b)含凝灰质长石岩屑砂岩

3.3. 混积岩

混积岩是研究区内存在的主要岩石类型，主要包括：

1) 生物碎屑、陆源碎屑、表鲕粒的混合沉积；

岩石具有粒屑结构，粒屑主要是内碎屑，包括鲕粒和生物碎片(图 5(a))，含少量的陆源碎屑。粒屑成分主要为表鲕粒，鲕心有陆源碎屑、介屑、砂屑等。陆源碎屑成分主要为喷出岩屑、石英碎屑，少量石英岩屑、长石碎屑等。生物碎屑局部富集，粒内、粒间溶蚀孔发育。

2) 生物碎屑、陆源碎屑的混合沉积；

含生屑泥晶结构，岩石主要由陆源碎屑、生物碎片和分布其间的泥晶方解石和白云石组成(图 5(b))。生物碎片定向分布，见少量鲕粒发育，粒屑成分占 20%；陆源碎屑主要见石英、长石和酸性喷出岩岩屑。粒间泥晶方解石与白云石混杂分布，部分亮晶方解石分布粒间，占总成分的 40%。

3) 陆源碎屑和表鲕粒的混合沉积；

粒屑结构，岩石矿物成分主要为方解石、白云石及陆源碎屑，陆屑主要为中粒石英及长石，少量岩屑(图 5(c))。岩石组构主要包括大量鲕粒、生物碎屑及亮晶胶结物，鲕粒主要为陆屑为鲕核的表皮鲕，鲕壳多为泥晶白云石，部分鲕核被泥晶白云石交代，偶见鲕核被方解石交代。

4) 陆源碎屑和泥晶灰岩的混合沉积。

岩石主要由陆源碎屑、少量表鲕和粒间泥晶方解石组成(图 5(d))。岩石成分主要见均匀分布的泥晶方解石。陆源碎屑主要为石英、长石、酸性喷出岩岩屑。

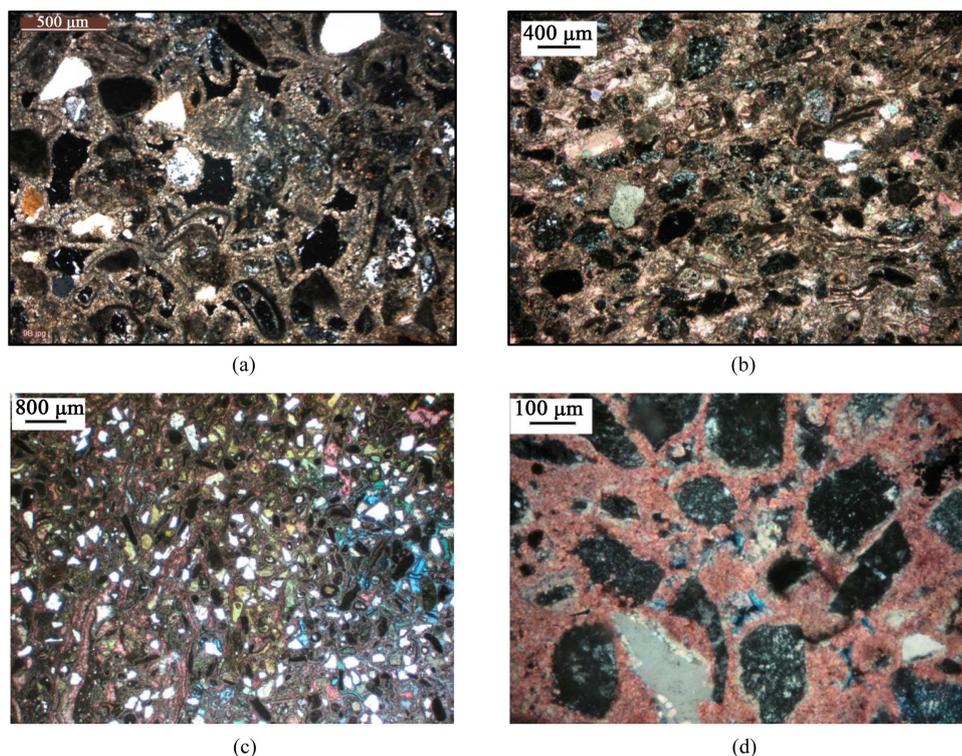


Figure 5. (a) The mixed deposition of bioclasts, terrigenous clasts and surface oolites; (b) The mixed deposition of bioclasts, terrigenous clasts; (c) The mixed deposition of bioclasts and surface oolites; (d) The mixed deposition of terrigenous clasts and micrite limestone

图 5. (a) 生物碎屑、陆源碎屑、表鲕粒的混合沉积；(b) 生物碎屑、陆源碎屑的混合沉积；(c) 陆源碎屑和表鲕粒的混合沉积；(d) 陆源碎屑和泥晶灰岩的混合沉积

4. 混合沉积类型及模式

研究区由于构造活动,沙二段时期盆地下降、剥蚀区上升以及物源区近、搬运距离短,河流携带的粗碎屑可直接入海,形成了扇三角洲的混合沉积。在研究区多口井中都发现了大量的碳酸盐沉积,包括泥晶碳酸盐、亮晶碳酸盐、生物碎屑以及表鲕粒。在垂向上岩性表现为生屑灰岩、鲕粒灰岩、岩屑砂岩以及各组分组成的混积物交替沉积出现,主要存在3种交替沉积类型(图6),3种类型分别代表水体环境以及陆源碎屑供给强度的变化规律。基准面的升降和沉积物沉积速率控制了可容空间的变化,可容空间的大小在一定程度上反映了水体的深度,而水体深度是影响水体环境的重要因素之一。生物的生长以及碳酸盐的沉积受水体环境和陆源碎屑供给强度的影响较大,因此图6中的3种类型是基准面升降、沉积速率和陆源碎屑供给强度等因素同时影响下的结果。

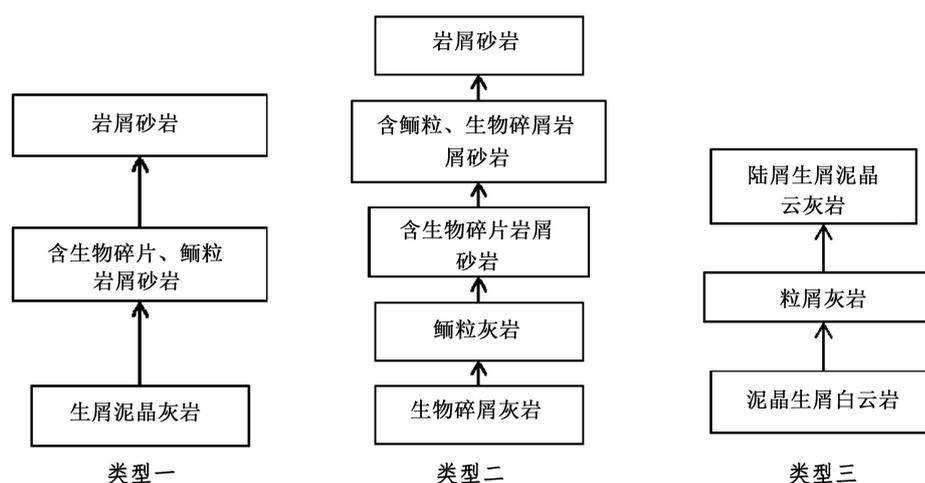


Figure 6. The vertical lithologic interactive sedimentary type
图6. 垂向岩性交互沉积类型

1) 类型一

类型一是一水体深度由浅变深,陆源碎屑供给逐渐增强的过程。沉积早期为含陆屑生屑泥晶灰岩,水体较浅,陆源碎屑供给不足,适合生物的生长和碳酸盐沉积。岩石主要是由生物碎片、泥晶、亮晶方解石以及少量的陆源碎屑组成。其中的生物碎屑个体较为完整,杂乱排列,为原地沉积。随着基准面升高,水体变深,陆源碎屑供给增多,生物数量减少。到沉积后期岩性变为含生屑陆屑泥晶云灰岩,生物碎屑含量明显下降,而陆源碎屑的含量达到了30%以上。当陆源碎屑供给充足的时候,岩性变为细粒长石岩屑砂岩。

2) 类型二

类型二是在水动力强弱交替变化和陆源碎屑供给程度不断变化的影响下形成的。沉积早期主要是含有大量生物碎屑的粒屑灰岩沉积,反映此时水动力较强、物源供给量速率较慢,生物大量繁殖。随着水体能量的增强以及物源供给强度的进一步减弱,开始有鲕粒出现,鲕粒多为表鲕,鲕核主要是石英、长石等陆源碎屑。这说明当时的水体条件既能满足鲕粒的生长条件又能维持生物生长所需要的营养,从而使鲕粒和生物共生,而且由于水动力较强颗粒之间少有泥晶碳酸盐沉积。而后水动力减弱,对沉积物的淘洗作用减弱,在鲕粒和生物碎屑颗粒之间沉积了大量的泥晶碳酸盐。随着水动力的进一步减弱和陆源碎屑供给的增强,岩性逐渐变为含碳酸盐的细粒岩屑砂岩。

3) 类型三

类型三主要是一以碳酸盐沉积为主的环境下水深逐渐加深的过程,岩性以碳酸盐岩为主,陆源碎屑含量较少。沉积早期岩性为生屑云岩,岩石成分主要是生物碎屑、表鲕和粒间泥晶白云石组成,随着水深的增大以及物源供给的持续减少,岩性变为生屑泥晶云灰岩,生物碎屑含量减少,泥晶灰岩含量增高。

根据研究区内岩性的组成特点和垂向上的变化特征,认为工区内的混合沉积以狭义的混合沉积为主,广义混合沉积中的互层沉积次之。在顺物源的地震剖面上可以清楚看到沉积区坡折带末端发育明显的凸起,经过综合分析认为研究区内的水下凸起在适宜的沉积环境下形成了碳酸盐台地相,在不同的水体环境下发育了生物滩和鲕粒滩,并与靠物源的扇三角洲前缘沉积主要通过相扩散的方式发生不同程度的混合,形成了垂向上复杂的岩性组合。

按照 Mount 对混合沉积类型的分类,研究区内的混合沉积主要为原地混合沉积和相混合沉积。底部的含陆屑生屑泥晶灰岩是在硅质碎屑岩之上直接沉积的,即“清水”期间发生碳酸盐沉积,“浑水”期间陆源碎屑物质沉积,两者此消彼长,此时的沉积为原地混合沉积。随着沉积环境的变化沉积相随之发生改变,原来沉积的地方变为两种相之间的过渡地带,相当于“清水”和“浑水”的过渡地带,在过渡环境中发生了狭义的混合沉积作用(图 7)。

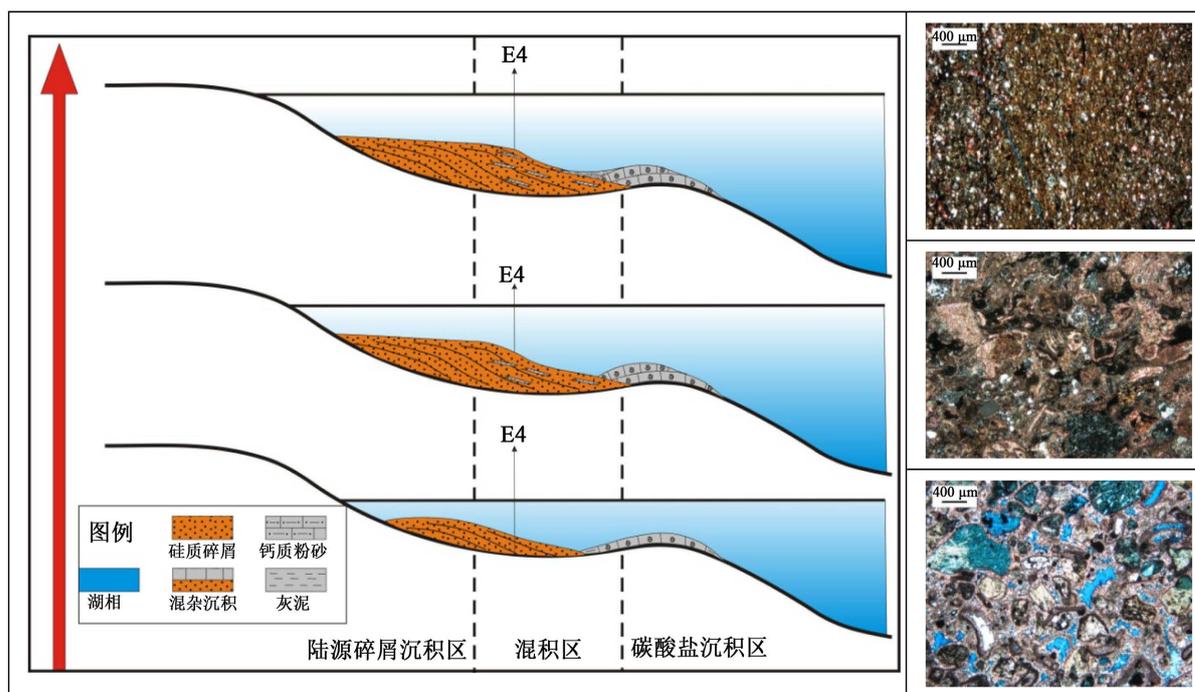


Figure 7. The sedimentary model of narrow sedimentary rocks

图 7. 狭义混积岩沉积模式

当物源持续供给程度比较强时,就抑制了碳酸盐的形成,此时碳酸盐岩几乎不发生沉积,从而形成“纯”的碎屑岩沉积。而在古气候、构造运动等条件的影下物源供给减弱甚至无供给量的情况下,碳酸盐岩开始形成。此时的碳酸盐岩沉积可以是湖水咸化条件下的化学沉积,可以是生物特别是藻类大量繁殖形成,也可以是凸起上发育的生物滩或鲕粒滩。当沉积环境发生改变,陆源碎屑沉积作用增强时,沉积物又变为碎屑岩为主,这样就在垂向上形成了陆源碎屑和碳酸盐岩的互层沉积,即广义的混合沉积(图 8)。

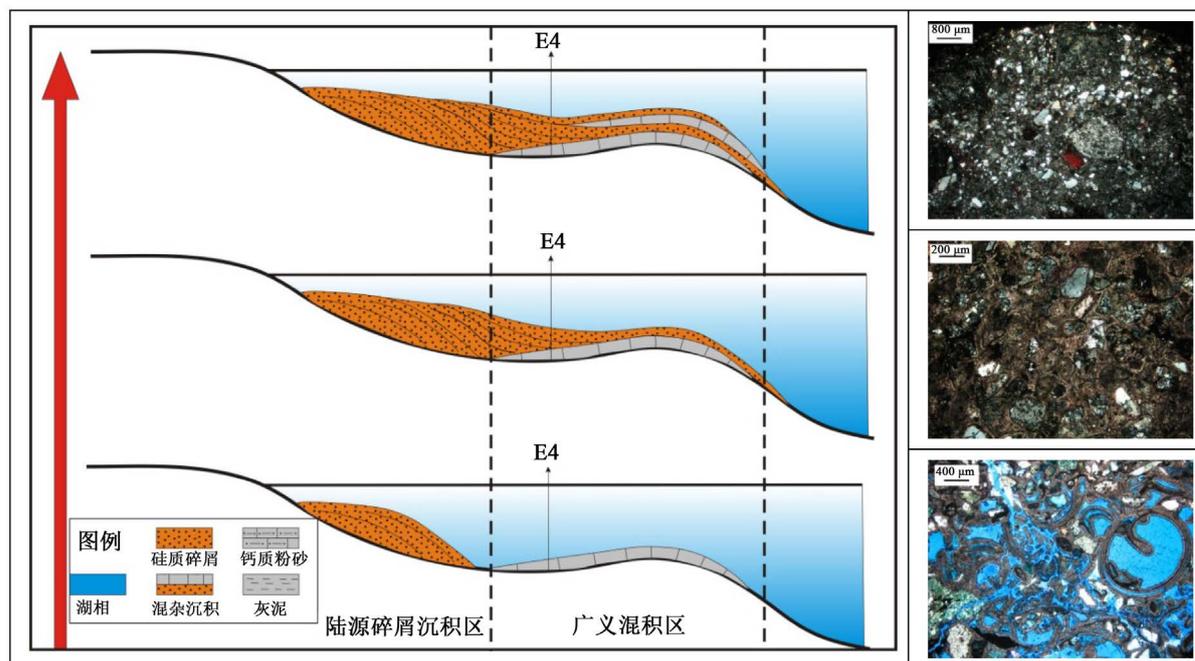


Figure 8. The sedimentary model of generalized sedimentary rocks
图 8. 广义混积岩沉积模式

5. 结论

本文初步讨论了古湖泊滨岸带的混合沉积，并论述了其形成的沉积过程。经过沙三段末期的区域性抬升后，沙一二段沉积时期滨浅湖广泛发育，近岸水下扇、扇三角洲等广泛发育，局部发育碳酸盐台地沉积。受滨岸带湖浪回流和横向流等因素的影响，扇三角洲和碳酸盐台地的相边缘沉积物发生扩散，形成了陆源碎屑、生物碎屑、鲕粒、泥晶碳酸盐等多种沉积物的混杂沉积，同时受沉积水动力、物源供给等因素的影响在垂向上形成了多种交替沉积类型。经过综合分析研究区内“纯”的碳酸盐岩和“纯”的碎屑岩交替沉积形成的互层(广义混积岩)较少，研究区内的混积岩主要是在相过渡带以狭义混合沉积为主形成的。

参考文献

- [1] Mount, J.F. (1984) Mixing of Silicilastics and Carbonate Sediments in Shallow Shelf Environments. *Geology*, **12**, 432-435. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1984\)12<432:MOSACS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1984)12<432:MOSACS>2.0.CO;2)
- [2] 冯增召. 中国沉积学[M]. 北京: 石油工业出版社, 1994: 623-624.
- [3] 郭福生, 严兆彬, 杜杨松. 混合沉积、混积岩和混积层系的讨论[J]. 地学前缘, 2003, 10(3): 62-67.
- [4] 郭福生. 浙江江山藕塘底组陆源碎屑与碳酸盐混合沉积特征及其构造意义[J]. 沉积学报, 2004, 22(1): 136-141.
- [5] 杨朝青, 沙庆安. 云南曲靖中泥盆统曲靖组的沉积环境: 一种陆源碎屑与海相碳酸盐的混合沉积[J]. 沉积学报, 1990, 8(2): 59-64.
- [6] 张雄华. 混积岩的分类和成因[J]. 地质科技情报, 2000, 19(4): 31-33.
- [7] 张锦泉, 叶红专. 论碳酸盐与陆源碎屑岩的混合沉积[J]. 成都地质学院学报, 1989, 16(2): 87-62.
- [8] 赵会民. 辽河西部凹陷雷家地区古近系沙四段混合沉积特征研究[J]. 沉积学报, 2012, 30(2): 283-290.
- [9] 罗顺社, 刘魁元, 何幼斌. 渤南洼陷沙四段陆源碎屑与碳酸盐混合沉积特征和模式[J]. 江汉石油学院学报, 2004, 26(4): 19-21.
- [10] 马艳萍, 刘立. 大港滩海区第三系湖相混积岩的成因与成岩作用特征[J]. 沉积学报, 2003, 21(4): 607-613.

-
- [11] 董桂玉, 何幼斌, 陈鸿德, 等. 惠民凹陷沙一中湖相碳酸盐与陆源碎屑混合沉积[J]. 沉积学报, 2007, 25(3): 343-350.
- [12] 张娣, 侯中健, 王亚辉, 等. 板桥—北大港地区沙河街组沙一段湖相碳酸盐岩沉积特征[J]. 岩性油气藏, 2008, 20(4): 92-97.
- [13] 罗毓晖, 蔡东升, 侯廷贵, 等. 渤海盆地构造演化及成因动力学研究[R]. 渤海: 渤海石油研究院, 1999.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2163-3967, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: ag@hanspub.org