

文章编号: 0253-9985(2011)01-0098-10

黄骅拗陷沙河街组一段下亚段混合沉积成因类型及演化模式

董艳蕾^{1,2}, 朱筱敏^{1,2}, 滑双君³, 成克男⁴, 于学敏³, 李德江⁵, 李桂芝⁶

(1 中国石油大学 地球科学学院, 北京 102249; 2 中国石油大学 油气资源与探测国家重点实验室, 北京 102249

3 中国石油 大港油田勘探开发研究院, 天津 300280; 4 中国石油 长城钻探录井国际业务项目部, 北京 100101;

5 中国石油 勘探开发研究院 廊坊分院, 河北 廊坊 065007; 6 中国石油 华北油田分公司 勘探开发研究院,

河北 任丘 062552)

摘要: 渤海湾盆地黄骅拗陷沙河街组一段下亚段广泛发育碎屑岩与碳酸盐岩的混合沉积, 但由于目前对于混合沉积的研究程度较低, 难以界定沉积相及油藏分布范围、成藏要素及分布规律等一系列问题。为此采用了沉积微相精细研究技术, 在工区层序地层格架建立的基础上, 综合研究了混合沉积的岩石学特征、成因类型、演化模式及层序地层格架对混合沉积分布的控制作用。研究认为, 该区混合沉积大致分为 4 种类型: 母源混合、相缘渐变混合、原地混合和重力流混合沉积。混合沉积在低位体系域最为发育, 高位和湖侵体系域混合沉积作用受到抑制。黄骅拗陷沙河街组一段下亚段是一个典型的现代混合沉积实例。该研究结果可为进一步的勘探和开发提供新的思路 and 依据。

关键词: 层序地层格架; 成因类型; 演化模式; 混合沉积; 沙河街组; 黄骅拗陷; 渤海湾盆地

中图分类号: TE121.3 **文献标识码:** A

Genetic types and evolutionary model of mixed clastic-carbonate deposits in the lower part of the Sha-1 Formation, the Huanghua Depression

Dong Yanlei^{1,2}, Zhu Xiaomin^{1,2}, Hua Shuangjun³, Cheng Kenan⁴, Yu Xuemin³, Li Dejiang⁵ and Li Guizhi⁶

(1 College of Geosciences, China University of Petroleum, Beijing 102249, China; 2 State Key Laboratory of Petroleum Resources and Processing, China University of Petroleum, Beijing 102249, China; 3 Petroleum Exploration & Development Research Institute, PetroChina Daqing Oilfield Company, Tianjin 300280, China; 4 International Business Division, PetroChina Greatwall Drilling Company, Beijing 100101, China; 5 Langfang Branch, PetroChina Petroleum Exploration & Development Research Institute, Langfang Hebei 065007, China; 6 Petroleum Exploration & Development Research Institute, PetroChina Huabei Oilfield Company, Renqiu, Hebei 062552, China)

Abstract This paper makes a study of the mixed clastic-carbonate deposits widely distributed in the lower part of the 1st member of the Shahejie Formation, Huanghua Depression. Since there is little research on this kind of mixed deposits, it is hard to identify sedimentary facies, reservoir distribution, pool-forming elements and their distribution patterns. Therefore, by examining sedimentary micro-facies and based on the sequence stratigraphic framework of the study area, we made a comprehensive study of petrologic features, genetic types and evolutionary patterns of mixed clastic-carbonate deposits and the controlling effect of sequence stratigraphic framework on their distribution. According to this study, we recognize four types of mixed deposits: parent material mixing, mixing due to gradual facies change, in-situ mixing and gravity flow mixing. The mixed deposits are highly developed in lowstand system tract, but poorly developed in highstand and transgression system tracts. The lower part of the 1st member of the Shahejie Formation, Huanghua Depression is a typical example of modern mixed clastic-carbonate deposits. Results from this study can provide thoughts and foundations for further exploration and development in the study area.

收稿日期: 2010-09-27

第一作者简介: 董艳蕾 (1972-), 女, 博士, 讲师, 层序地层学及地震沉积学。

基金项目: 国家重点基础研究发展计划 (“973”计划) 项目 (2006CB202300)。

Key words sequence stratigraphic framework, genetic type, evolutionary pattern, mixed clastic-carbonate deposit, Shahejie Formation, Huanghua Depression, Bohai Bay Basin

混合沉积很早就引起了人们的注意, 1984 年 Mount 首次明确地提出“混合沉积物”(mixed sediments)这一概念^[1], 1990 年杨朝青和沙庆安等首次提出“混积岩”(hunji rock)一词^[2]。所谓混积岩, 是指陆源碎屑与碳酸盐颗粒及灰泥混生在一起的一类沉积岩, 它属于碳酸盐岩和陆源碎屑岩之间的过渡类型^[3-7]。

混合沉积无论是在现代还是在古代的沉积中都是颇为常见的, 从陆地到海洋、从浅水到深水都有广泛的分布^[8-15]。它是一种沉积机理特殊而又有重要意义的沉积现象, 是许多重要的沉积层控矿床的控矿层位^[16]。例如, 湖南桃江奥陶系锰质碳酸盐矿物组成的锰矿产于黑色泥页岩中; 碳酸盐陆架-陆源碎屑沉积的三角洲具有良好的生储盖组合, 对石油的生成及保存极为有利; 煤系地层也经常出现碳酸盐与陆源碎屑沉积的旋回交替。

20 世纪 80 年代以前国内外有较多关于陆源碎屑与碳酸盐混合沉积产状研究, 大多为描述性的, 这些研究积累了较为丰富的实例^[17-18]; 20 世纪 80 年代开始对混积岩的分类、成因、因素、环境等进行研究和讨论, 并且混合沉积的研究逐渐引入层序领域, 有一些稳定盆地背景下的研究实例相继发表^[19-28]; 20 世纪 90 年代前后, 混合沉积研究发展趋势主要集中于混合沉积机制研究上, 即海平面变化对混合沉积体系的影响及沉积环境、构造升降对混合沉积的控制作用, 以及风暴流、浊流等事件作用和气候变化对混合沉积的控制及影响; 近年来关于混合沉积的研究集中在混合沉积微相类型和相模式方面, 并且逐渐开始针对混积岩成岩作用特征和沉积构造等方面的研究^[15, 28]。

但是对于混合沉积的研究程度却远远落后于陆源碎屑岩和碳酸盐岩。由于在沉积研究中, 总是忽略混合沉积这一特殊的沉积现象, 因此逐渐暴露出局部区域构造不清、沉积相不清、油层识别困难、储量不落实、层间剩余油分布状况不清、储量动用不平衡、注采网欠完善和油气采收率低等一系列问题。对广泛分布的混合沉积给予足够的重视, 无疑将会对沉积动力学、古地理环境、地壳演变状态及相关成矿作用的研究提供新的思路和依据^[2, 4]。本文所探讨的渤海湾盆地黄骅拗陷沙河街组一段

下亚段就广泛发育碎屑岩与碳酸盐岩的混合沉积。

黄骅拗陷位于燕山褶皱带以南, 沧县隆起以东, 埕宁隆起以西, 东部伸向渤海, 面积为 17 000 km² (图 1)。沙河街组一段是黄骅拗陷含油范围最广、油层分布最稳定的勘探开发层系, 在港西凸起以北厚度为 500~1 200 m, 属湿热气候条件下湖泊环境沉积。其中沙河街组一段上亚段发育灰色泥岩夹砂岩, 沙河街组一段中亚段发育深灰色泥页岩, 沙河街组一段下亚段发育暗色砂泥岩、生物灰岩、白云岩、钙质砂岩、白云质砂岩、砂质灰岩、泥质灰岩等混合沉积 (图 2)。经过多年的勘探实践, 已经在沙河街组一段下亚段见到了工业油气流, 例如白 7 井在 2 999.2~3 012.0 m, 鲕状灰岩、生物灰岩与钙质砂岩的混合层系中试气, 获日产气 789 m³。但是由于多年来地质工作者一直忽视对该类沉积的研究, 因此针对该区混合沉积的研究较为薄弱^[27-28], 本文将主要针对混合沉积的层序发育、沉积成因类型、演化模式、控制因素等方面进行探讨。

1 层序地层格架

根据地震、钻测井和古生物等资料的综合分析, 黄骅拗陷古近系沙河街组一段可被划分为 3 个三级层序, 即 $E_s^{I(上)}$, $E_s^{I(中)}$, $E_s^{I(下)}$, 分别对应于

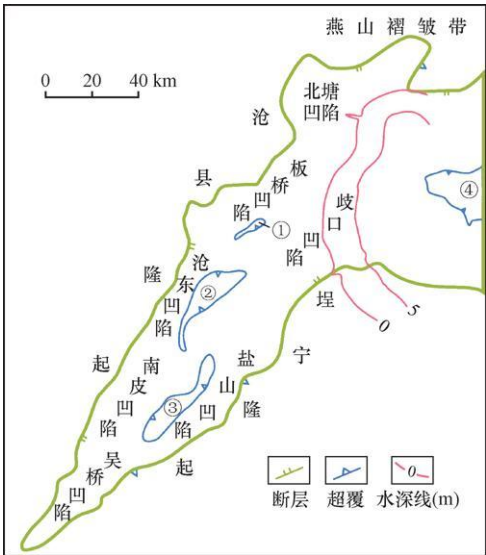


图 1 黄骅拗陷地理位置

Fig. 1 Location of the Huanghua Depression

①港西凸起; ②孔店凸起; ③徐黑凸起; ④沙垒田凸起

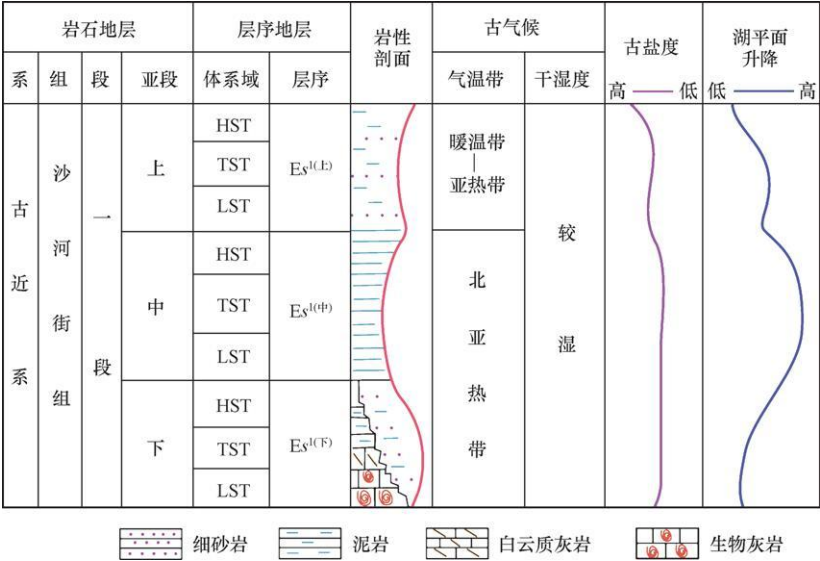


图 2 黄骀坳陷沙河街组一段层序地层格架

Fig 2 Sequence stratigraphic framework of the 1st member of the Shahejie Formation in the Huanghua Depression

沙河街组一段上亚段、沙河街组一段中亚段和沙河街组一段下亚段, 每个三级层序发育完整的低位体系域 (LST)、湖侵体系域 (TST) 和高位体系域 (HST) (图 2)。

产出状态主要分为两大类: 一类是同一岩层中陆源碎屑组分与碳酸盐组分混合沉积, 即狭义的混合沉积 (图 3a—f); 另一类是碳酸盐岩与陆源碎屑岩高频率交互产出, 即广义的混合沉积^[29-30] (图 3g—l)。

2 混合沉积岩石学特征

2.1 同一岩层中陆源碎屑与碳酸盐混合沉积

研究区混合沉积岩石类型多样, 岩石结构复杂, 主要为陆源碎屑岩和湖相碳酸盐岩, 少量火山碎屑岩及碎屑岩—碳酸盐岩的混合沉积。混合沉积的

研究区内此类型的混积岩分布广泛, 主要岩石类型包括钙质砂岩、白云质砂岩、砂质灰岩和泥质灰岩等 (图 3a—f)。

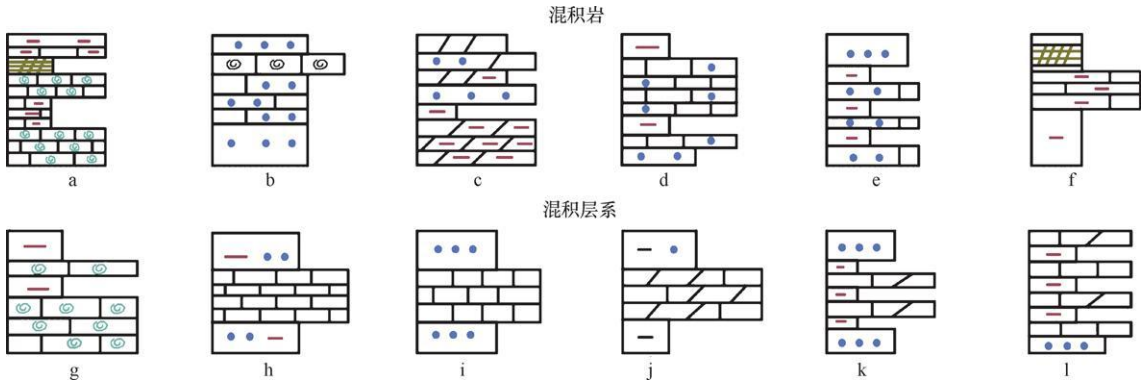


图 3 黄骀坳陷沙河街组一段下亚段混合沉积岩石类型

Fig 3 Rock types of mixed deposits in the 1st member of the Shahejie Formation in the Huanghua Depression

a. 歧北 11 井, $E_{s1}^{(F)}$, 鲕粒灰岩与泥灰岩、油页岩互层; b. 灯伞 1 井, $E_{s1}^{(F)}$, 钙质砂岩、砂岩夹鲕粒灰岩; c. 庄浅 2 井, $E_{s1}^{(F)}$, 白云质砂岩与泥质白云岩互层; d. 港深 75 井, $E_{s1}^{(F)}$, 砂质灰岩与泥岩互层; e. 歧南 2 井, $E_{s1}^{(F)}$, 钙质砂岩与泥岩互层; f. 仙 3 井, $E_{s1}^{(F)}$, 泥岩、油页岩夹泥质灰岩; g. 旺 29 井, $E_{s1}^{(F)}$, 鲕粒灰岩与泥岩互层; h. 歧南 2 井, $E_{s1}^{(L)}$, 泥质砂岩夹灰岩; i. 歧南 2 井, $E_{s1}^{(M)}$, 砂岩夹灰岩; j. 房 5 井, $E_{s1}^{(F)}$, 泥岩、砂质泥岩夹灰质云岩; k. 歧南 6 井, $E_{s1}^{(M)}$, 白云质灰岩与泥岩互层; l. 扣 32 井, $E_{s1}^{(F)}$, 白云质灰岩、灰岩与泥岩互层

2. 1. 1 砂质生物碎屑灰岩(白云岩)和钙质(白云质)砂岩

岩性呈灰白色 – 浅褐灰色, 薄 – 中层状 (图 4a c— e), 颗粒以陆源碎屑为主, 常含一定数量的鲕粒、生物碎屑等。粒间为灰泥或云泥胶结, 多发育溶蚀孔隙。岩石发育块状层理或交错层理。

2. 1. 2 纹层状泥质、泥晶白云岩

泥晶白云石纹层厚 0. 03~ 0. 50 mm 不等, 少数可达 1 mm; 泥质纹层厚度不定, 小于 0. 1 mm 到大于 1 mm 都有 (图 4b)。

2. 1. 3 碳酸盐质泥岩和泥质碳酸盐岩

岩性主要为灰质泥岩、白云质泥岩、泥质灰岩和泥质白云岩 (图 4f), 褐灰色 – 深灰色, 纹层状 – 块状, 常与泥晶灰岩、泥晶白云岩和油页岩等呈不等厚互层。

2. 2 陆源碎屑与碳酸盐交互混合沉积

2. 2. 1 泥岩与生物灰岩交互沉积

此类混合沉积在研究区内广泛分布, 主要分布在黄骅拗陷的中南区。经岩石学特征和沉积相

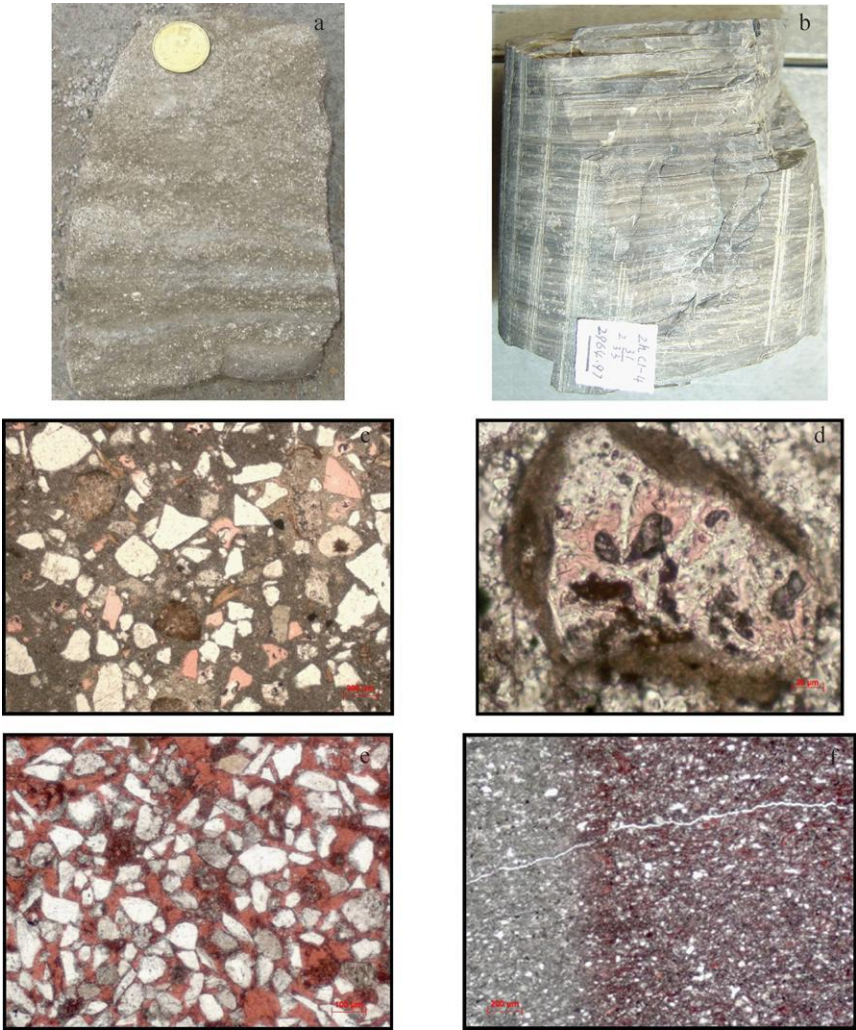


图 4 黄骅拗陷沙河街组一段下亚段混合沉积岩心及镜下显微照片

Fig 4 Core and microscopic photos of the mixed deposits in the 1st member of the Shahejie Formation in the Huanghua Depression

a. 浅褐灰色含钙质砂质白云岩, 发育斜层理, 孔 74 井; b. 深灰色 – 褐灰色纹层状含泥质泥晶白云岩, 张参 1– 4 井; c. 砂质白云岩, 碎屑颗粒呈棱角状, 单偏光, 孔 74 井; d. 含砂质生屑鲕粒灰岩, 铸体薄片, 沈 6 井; e. 钙质砂岩, 碎屑颗粒呈棱角状, 单偏光, 扣 16 井; f. 含泥质 – 生物白云质灰岩, 生物为介形虫等, 单偏光, 歧北 11 井

分析,泥主要为半深湖、深湖亚相的沉积产物,浅湖亚相中也有其分布;生物云(灰)岩主要分布在碳酸盐岩台地中。混合沉积特征主要为泥岩与生物云(灰)岩互层沉积或以夹层的形式出现或零星分散于另一种类型的岩石之中(图 3g)。

2.2.2 砂岩与灰岩交互沉积

此类混合沉积主要分布在坳陷边界陆源碎屑沉积与湖盆中央碳酸盐岩台地沉积之间的过渡带,或是沉积在有碎屑岩供给的内部凸起与湖相沉积之间。经岩石学特征和沉积相分析,砂岩来自坳陷边界的陆源碎屑岩,主要为辫状河三角洲和三角洲沉积,而灰岩是在浅湖—半深湖内的台地或斜坡上所沉积的,二者以互层或夹层的形式出现或零星分散于另一种类型的岩石之中(图 3h i)。

2.2.3 泥岩与泥(粉)晶白云质灰岩、钙质白云岩交互沉积

此类混合沉积主要分布在研究区的中南部。经岩石学特征和沉积相分析表明,泥岩和泥(粉)晶云(灰)岩主要为浅湖亚相的浅湖泥微相、湖湾微相、半深湖亚相和深湖亚相所沉积,二者以互层或夹层的形式出现或零星分散于另一种类型的岩石之中(图 3j-l)。

3 混合沉积成因类型

Mount 曾将海相碳酸盐岩和陆源碎屑岩的混合作用分为 4 种类型:间断混合、相缘混合、原地混合和母源混合^[1]。笔者在通过对混合沉积的岩石类型、分布位置、沉积背景等的综合分析认为,湖相碳酸盐岩和陆源碎屑岩的混合作用有许多相似之处,黄骅坳陷 $E_s^{1(F)}$ 混合沉积大致分为 4 种类型:母源混合、相缘渐变混合、原地混合和重力流混合沉积,其中母源混合、相缘渐变混合沉积占主要地位,在坳陷内分布较广。

3.1 母源混合沉积

通过对黄骅坳陷周边隆起区的岩性分析可知,西北方向的沧县隆起主要出露稳定的海相碳酸盐岩沉积;东北方向的燕山褶皱带以中酸性喷出岩、酸性侵入岩、石英岩为主;东南方向的埕宁

隆起以海陆交互相的碎屑岩、煤系地层夹碳酸盐岩为主,因为剥蚀了侏罗系,所以露头还提供了大量火山岩。由于坳陷中南区古构造活动性弱,缺少充足的陆源碎屑补给,所以外部古生界灰岩露头通过地表水、地下水的溶蚀渗流作用不断提供碳酸盐类沉积,水体清浅,最终形成了稳定的碳酸盐岩相沉积。在陆源碎屑与碳酸盐岩沉积相邻的环境,这两种沉积体系可以同时进行作用,形成广泛的混合沉积。因此,黄骅坳陷母源混合沉积主要发生在埕宁隆起和沧县隆起南段附近的陆源碎屑物质注入较少的地区(图 5 中 I)。

3.2 相缘渐变混合沉积

相缘渐变混合沉积是指由于相邻沉积相虽然在纵向和横向上都有其边界,但是它们并非绝然接触,必然存在一个过渡环境,因此沉积物沿不同相之间的扩散边界发生侧向迁移至相带间的过渡环境而产生混合^[1]。相缘渐变混合沉积主要发育在坳陷边界与湖相碳酸盐岩发育区之间的过渡地带。黄骅坳陷相缘渐变混合沉积是分布最为广泛的一种混合沉积类型,主要分布在滩海地区、沧东凹陷、南皮凹陷、盐山凹陷中辫状河三角洲、三角洲和碳酸盐岩相邻的地区(图 5 中 II)。下面以白水头地区为例,阐述其成因机理。

白水头地区位于板桥凹陷以南、北大港潜山构造带的东倾没端。该区北部发育来自于沧县隆起的辫状河三角洲,南部为浅—半深湖碳酸盐岩沉积,由于两类沉积发育位置较近,沉积物受水流作用发生侧向迁移,导致相邻的沉积物在相缘发生混合,从而形成该区陆源碎屑岩—湖相碳酸盐岩混合沉积体系。具体而言,其证据主要为:①白 7 井在 $E_s^{1(F)}$ 见鲕状灰岩和钙质砂岩,主要为碎屑岩与碳酸盐岩的混积层系(图 6a);②混积岩和其上、下岩石在成分、结构和沉积构造上为渐变过渡关系,未见突变标志;③混积岩成分和其上覆及下伏的碳酸盐岩和陆源碎屑岩的成分一致。

混积层系中的陆源碎屑岩与碳酸盐岩本身都可以作为油气储层,特别是粗粒陆源碎屑岩或颗粒碳酸盐岩一般都有很好的储层物性,是油气聚集的良好场所。例如白 7 井 3 007~3 012 m 鲕状灰岩与砂岩的混合层系中试气获得日产气 789 m^3 、水 218 m^3 的工业气流(图 6a)。

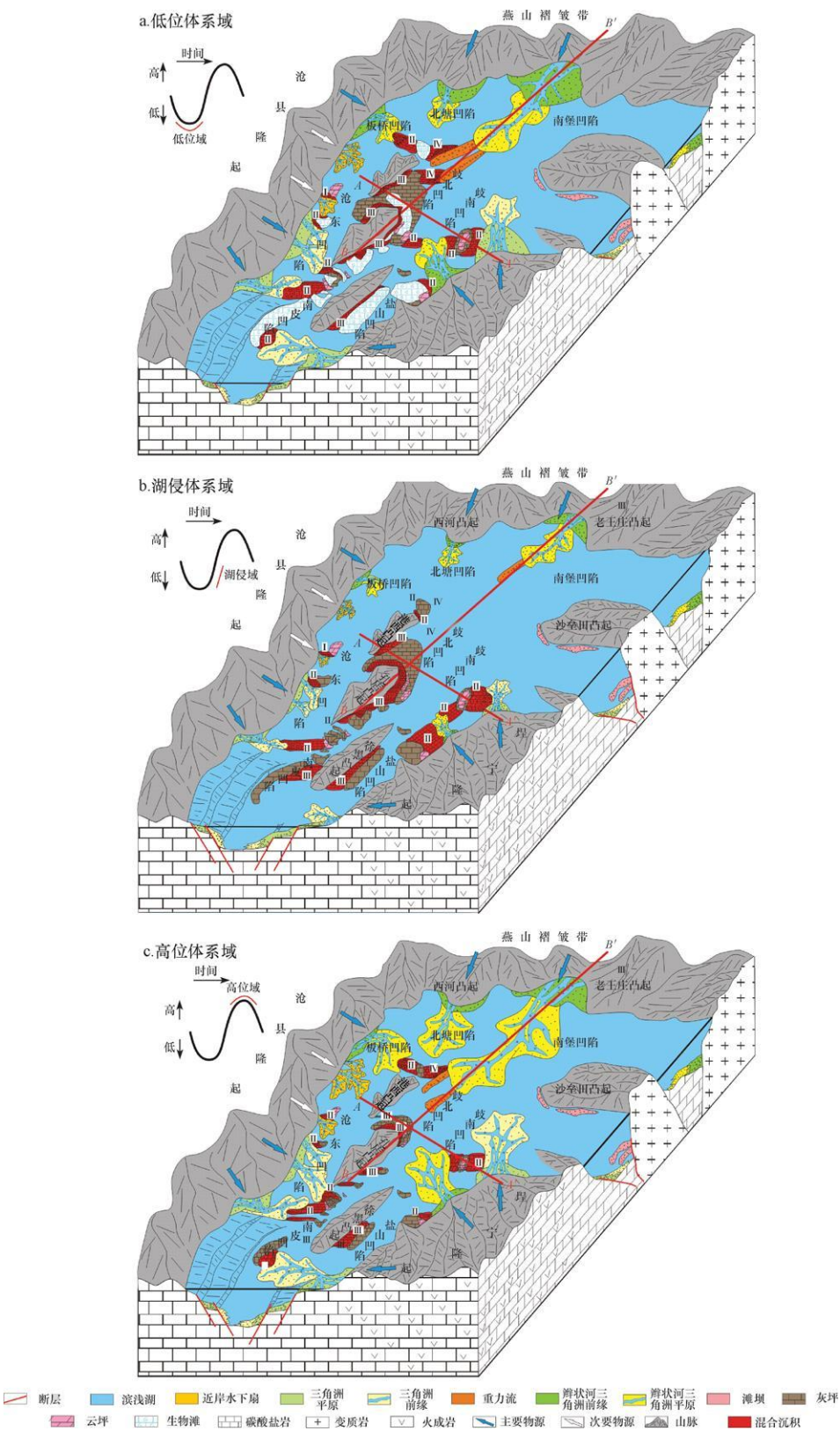


Fig. 5 Evolutionary patterns of the mixed deposits in the lower part of the 1st member of the Shahejie Formation in the Huanghua Depression

I . 母源混合; II . 相缘渐变混合; III. 原地混合; IV. 重力流混合

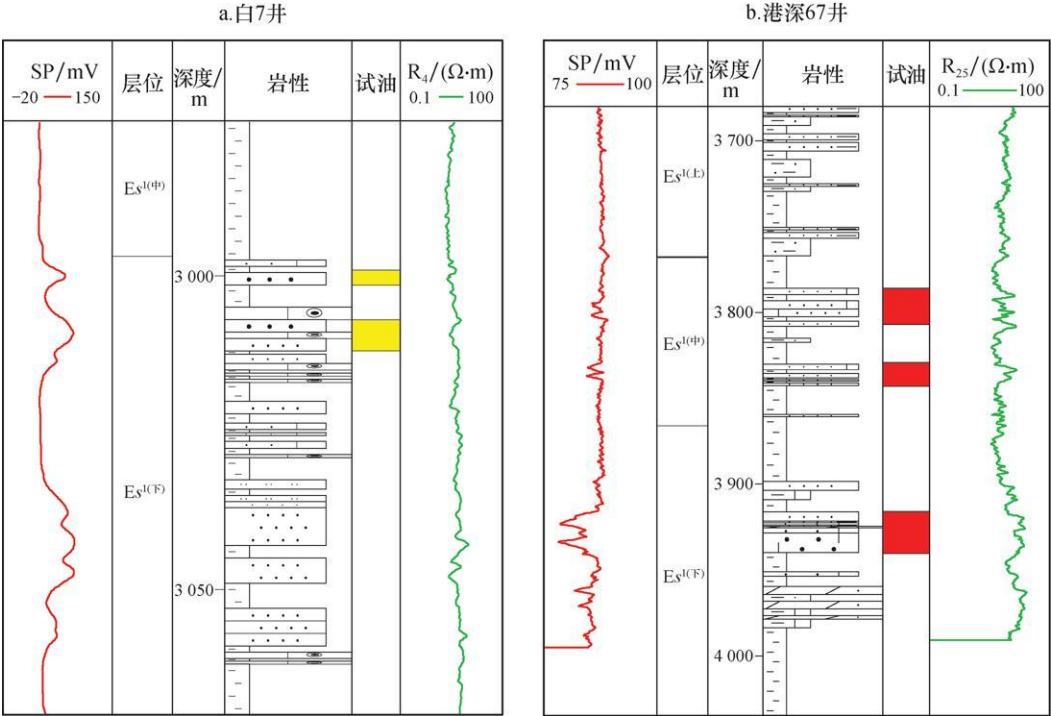


图 6 白 7 井、港深 67 井 $E_{s1}^{(下)}$ 不同类型混合沉积岩—电特征及试油成果

Fig. 6 Lithological and electrical characteristics and formation testing results of different types of mixed deposits in the lower part of the 1st member of the Shahejie Formation in Bai-7 well and Gangshen-67 well

黄骅拗陷相缘渐变混合沉积是分布最为广泛的一种混合沉积类型, 主要分布在白水头地区、滩海地区、沧东凹陷、南皮凹陷、盐山凹陷中辫状河三角洲、三角洲和碳酸盐岩相邻的地区(图 5 中 II)。

3.3 原地混合沉积

原地混合沉积是指由堆积在陆源碎屑基底之内或之上的原地死亡的钙质生物所组成的碳酸盐组分与陆源碎屑物质的混合沉积, 这类混合作用产生的混积岩中的碳酸盐质全为死亡的生物遗骸^[1]。黄骅拗陷原地混合沉积主要分布在孔店、徐黑、港西等内部凸起的周围(图 5 中 III)。

3.4 重力流混合沉积

湖相的重力流混合沉积是 Mount 提出的间断混合的一种特例, 间断混合是指由高强度事件, 如风暴、重力流等把沉积物从一个沉积环境搬到另一个沉积环境。黄骅拗陷的重力流混合沉积只发生在歧北凹陷北部地区, 下面以该区为例说明重力流混合沉积的特点。

该区港深 59 井见 4 m 钙质砂岩, 港深 67 井见 18 m 钙质粗砂岩、20 m 钙质细砂岩、14.5 m 钙质泥岩、12 m 砂质白云岩。港深 67 井在 3 915.6~3 936.5 m 的 $E_{s1}^{(中)}$ 钙质粗砂岩中获工业油流, 日产油 37.9 t 气 28 162 m³, 累计产油 324.2 t 为高产油气流井(图 6b)。该地区的混合沉积应为重力流混合沉积, 主要是由于重力流作用使混积岩产生在一套细粒浊积岩中, 形成含碳酸盐—陆源碎屑混积岩夹在灰岩之中(图 5 中 IV)。

总之, 上述 4 种成因类型虽然形成机制各不相同, 但它们之间又构成了一个统一的整体。对该地区进行混合沉积研究时要注意这 4 种类型之间的联系与区别, 并从不同的研究角度开展工作。例如, 母源混合沉积需要考虑周边露头的岩性特征, 相源渐变和重力流混合沉积主要考虑的是研究区的沉积相, 而原地混合沉积需要研究地层的垂向叠加和纵向演化。

4 层序地层格架控制下的混合沉积成因模式

混合沉积受双重机制制约, 具有复杂的成因

相,在孔店凸起以北地区,水动力变弱,发育灰坪沉积。4种混合沉积成因类型均有发育:在边界大断层根部能够提供碳酸盐岩的古生界露头附近,与陆源碎屑混合发生母源混合沉积;在生物滩、灰坪与坳陷内部凸起之间的地区就会发生原地混合沉积;边界大断层附近发育的三角洲沉积也会与湖区内的碳酸盐岩沉积发生相缘渐变混合沉积;局部地区有重力流沉积物的滑动及崩塌作用的发生,在较深水区发生重力流混合沉积(图 5a)。

湖侵体系域发育时期,湖平面上升,陆源碎屑供给作用受到抑制,并且随着水体深度的增加而逐步增强,陆源碎屑注入量大大减少,灰坪沉积主要分布在坳陷南区和歧北凹陷。由于坳陷边界的辫状河三角洲和三角洲沉积范围明显缩小,相应地重力流沉积范围距灰坪发育的歧北凹陷较远,因此湖侵体系域重力流混合沉积不发育,只发育母源混合沉积、原地混合沉积和相缘渐变混合沉积(图 5b)。

高位体系域时期,陆源碎屑注入量有所增加,坳陷周边发育的陆源碎屑沉积分布面积最大、向坳陷中心延伸最远。但由于该时期,碳酸盐岩沉积不十分发育,因此混合沉积发育也受到影响,混合沉积分布范围减小,4种混合沉积均有发育(图 5c)。

总之,黄骅坳陷 $E_3^{(下)}$ 的混合沉积在低位体系域最为发育,高位和湖侵体系域混合沉积作用受到抑制。

6 结论

1) 研究区混合沉积岩石类型主要为陆源碎屑岩和湖相碳酸盐岩,产出状态主要分为两大类:一类是同一岩层中陆源碎屑组分与碳酸盐组分混合沉积;另一类是碳酸盐岩与陆源碎屑岩高频率交互产出。

2) 黄骅坳陷沙河街组一段下亚段混合沉积大致分为 4 种类型:母源混合、相缘渐变混合、原地混合和重力流混合沉积。其中,母源混合、相缘渐变混合沉积占主要地位,在坳陷内分布较广。

3) 黄骅坳陷沙河街组一段下亚段的混合沉积在低位体系域最为发育,高位和湖侵体系域混合沉积作用受到抑制。

4) 黄骅坳陷沙河街组一段下亚段混合沉积

中具有良好的油气生、储、盖组合,其中泥页岩、灰岩、云岩、泥质云/灰岩、钙/云质泥岩等既可以做生油层、也可以做盖层,而钙质砂岩、云质砂岩等可以作为储层。目前勘探证明在此类沉积体系中已发现良好的油气资源,是寻找新的油气勘探区的重要战场。

参 考 文 献

- [1] Mount J F. Mixing of siliciclastics and carbonate sediments in shallow shelf environments [J]. *Geology*, 1984, 12 (7): 432–435.
- [2] 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作用 [J]. *沉积学报*, 1990, 8(2): 59–65
Yang Chaqing, Sha Qing'an. Sedimentary environment of the middle Devonian Qujing Formation, Qujing Yunnan province: a kind of mixing sedimentation of terrigenous clastics and carbonate [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1990, 8(2): 59–65
- [3] 董桂玉,陈洪德,何幼斌,等.陆源碎屑与碳酸盐混合沉积研究中的几点思考 [J]. *地球科学进展*, 2007, 22(9): 931–939
Dong Guiyu, Chen Hongde, He Youbin, et al. Some problems on the study of the mixed siliciclastic carbonate sediments [J]. *Advances in Earth Science*, 2007, 22(9): 931–939
- [4] 江茂生,沙庆安.碳酸盐与陆源碎屑混合沉积体系研究进展 [J]. *地球科学进展*, 1995, 10(6): 551–554
Jiang Maosheng, Sha Qing'an. Research advances in the mixed siliciclastic-carbonate sedimentary systems [J]. *Advances in Earth Sciences*, 1995, 10(6): 551–554
- [5] 张锦泉,叶红专.论碳酸盐与陆源碎屑的混合沉积 [J]. *成都地质学院学报*, 1989, 16(2): 89–92
Zhang Jinquan, Ye Hongzuan. A study on carbonate and siliciclastic mixed sediments [J]. *Journal of Chengdu University of Technology*, 1989, 16(2): 89–92
- [6] Mount J F. Mixed siliciclastic and carbonate sediments: a proposed first-order textural and compositional classification [J]. *Sedimentology*, 1985, 32(3): 435–442.
- [7] Dolan J F. Eustatic and tectonic controls on deposition of hybrid siliciclastic/carbonate basinal cycles: discussion with examples [J]. *AAPG Bulletin*, 1989, 73 (10): 1233–1246
- [8] 江茂生,沙庆安,刘敏.华北地台中下寒武统碳酸盐与陆源碎屑混合沉积 [J]. *沉积学报*, 1996, 14(增刊): 71–73
Jiang Maosheng, Sha Qing'an, Liu Min. Mixed siliciclastic-carbonate sediments during the Lower-Middle Cambrian in the North China Platform [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1996, 14 (Supplement): 71–73.
- [9] 王国忠.南海北部大陆架现代礁源碳酸盐与陆源碎屑的混合沉积作用 [J]. *古地理学报*, 2001, 2(3): 48–49
Wang Guozhong. Mixed sedimentation of recent reefoid carbonates and terrigenous clastics in the north continental shelf of

the South China Sea[J]. Journal of Palaeogeography, 2001, 2 (3): 48– 49

[10] 蔡进功, 李从先. 内蒙西南部石炭系碎屑岩- 碳酸盐岩混合沉积特征[J]. 石油与天然气地质, 1994, 15 (1): 80– 86

Cai Jingong Li Congxian. Characteristics of carboniferous mixed siliciclastic and carbonate sediments in southwest Mongolia[J]. Oil & Gas Geology, 1994, 15 (1): 80– 86.

[11] 王宝清, 胡明毅, 胡爱梅, 等. 湖北南漳中三叠统巴东组碳酸盐与陆源碎屑混合沉积[J]. 石油与天然气地质, 1993, 14 (4): 285– 291

Wang Baoqing Hu Mingyi Hu Aimei et al Mixed carbonate- terrigenous clastic sediments of Middle Triassic Badong formation in Nanzhang Hubei[J]. Oil & Gas Geology, 1993, 14 (4): 285– 291

[12] 王国忠, 吕炳全, 全松青. 现代碳酸盐和陆源碎屑的混合沉积作用——涠洲岛珊瑚岸礁实例[J]. 石油与天然气地质, 1987, 8 (1): 15– 27

Wang Guozhong Lü Bingquan, Quan Songqing Mixed sedimentation of recent carbonates and terrigenous clastics— example of the coral reef of the Weizhou Island[J]. Oil & Gas Geology, 1987, 8 (1): 15– 27

[13] 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

Luo Shunshè, Liu Kuíyuán, He Yóubīn Mixed sedimentary characteristics and mode of terrigenous clastics and carbonate in Es⁴ of Bonan depression[J]. Journal of Jianghan Petroleum Institute 2004, 26 (4): 19– 21

[14] 董桂玉, 何幼斌, 陈洪德, 等. 惠民凹陷沙一中湖相碳酸盐与陆源碎屑混合沉积——以山东商河地区为例[J]. 沉积学报, 2007, 25 (3): 343– 350

Dong Guiyu, He Youbin, Cheng Hongde et al Mixed sedimentation of carbonates of lagoonal facies and terrigenous clastics of the Middle Submember of Member 1 of Shahejie Formation in Huimin Sag taking Shanghe area in Shandong Province for an example[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2007, 25 (3): 343– 350

[15] 张金亮, 司学强. 断陷湖盆碳酸盐与陆源碎屑混合沉积——以东营凹陷金家地区古近系沙河街组第四段上亚段为例[J]. 地质论评, 2007, 53 (4): 448– 453.

Zhang Jinliang Si Xueqiang Mixed siliciclastic-carbonate sediment in rift lacustrine basin— a case on the upper part of the Fourth Member of the Eocene Shahejie Formation in Jinjia area Dongying Depression[J]. Geological Review, 2007, 53 (4): 448– 453

[16] 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]. 地质前缘, 2003, 10 (3): 68

Guo Fusheng Yan Zhaobin, Du Yangsong Discussion of mixed deposit hunji rock and mixed stratigraphy[J]. Geoscience Frontiers 2003, 10 (3): 68

[17] Button A, Vos R G. Subtidal and intertidal clastic and carbonate sedimentation in a macrotidal environment: an example of the Lower Proterozoic of Africa[J]. Sedimentary Geology, 1977, 1 (3): 18

[18] Price I. Deposition and derivation of clastic carbonate on a Mesozoic continental margin, Orfidi Greece [J]. Sedimentology, 1977, 24: 529– 546

[19] Mount J F. Mixing of siliciclastics and carbonate sediments: a proposed first-order textural and compositional classification[J]. Sedimentology, 1985, 14: 28– 31.

[20] Robt Cawthorpe. Sedimentation during carbonate ramp-to-slope evolution in a tectonically active area Bowland Basin (Dinartian), Northern England[J]. Sedimentology, 1986, (1): 33

[21] Ustin J A, Schlager W. Leg 101— an overview[C]// Austin J A, ed. Proceedings of the ocean drilling program, scientific results Tex. College Station, 1999

[22] Roberts H H. Modern carbonate-siliciclastic transitions humid and arid tropical examples[J]. Sedimentary Geology, 1987, 50 (1– 3): 25– 65.

[23] Doherty L J, Roberts H H. Development in sedimentology[M]. New York: Elsevier Science Ltd, 1988: 30– 65

[24] Dolan J F. Eustatic and tectonic controls on deposition of hybrid siliciclastic/carbonate basinal cycles: discussion with examples [J]. AAPG Bulletin, 1989, 73 (10): 1233– 1246.

[25] Davies H R, Byers C W. Shelf sandstones in the Mowry Shale: evidence for deposition during Cretaceous sea level falls[J]. Journal of Sedimentary Research, 1989, 59 (4): 548– 560

[26] Boardman M R, Neumann A C, Baker Paul A, et al Bank top responses to Quaternary fluctuations in sea level recorded in Peper platform Sediments[J]. Geology, 1977, 1 (3): 18

[27] 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

Ma Yanping Liu Li Sedimentary and diagenetic characteristics of paleogene lacustrine “Hunji” rock in beach district Dagang [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2003, 21 (4): 607– 613.

[28] 郭士明, 刘立. 大港滩海区沙一段下部混积岩成岩作用研究[J]. 断块油气田, 2006, 13 (5): 20– 22

Guo Shiming Liu Li Diagenetic characteristics of Paleogene Lacustrine “Hunji” rock below Shahejie Group of Dagang Tanhai Zone[J]. Fault Block Oil & Gas Field, 2006, 13 (5): 20– 22

[29] 张雄华. 混积岩的分类和成因[J]. 地质科技情报, 2000, 19 (4): 31– 34.

Zhang Xinghua Classification and origin of mixed sedimentite [J]. Geological Science and Technology Information, 2000, 19 (4): 31– 34.

[30] 沙庆安. 混合沉积和混积岩的讨论[J]. 古地理学报, 2001, 3 (3): 63– 66.

Sha Qing'an. Discussion on mixing deposit and hunji rock[J]. Journal of Palaeogeography, 2001, 3 (3): 63– 66.

(编辑 张亚雄)