

文章编号: 1000-0550(2007) 03-0343-08

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

董桂玉^{1,2} 何幼斌² 陈洪德¹ 辛长静² 罗进雄² 王爱丽³ 孙以德³

(1. 成都理工大学沉积地质研究院 成都 610059; 2. 长江大学地球科学学院 湖北荆州 434023; 3. 胜利油田公司临盘采油厂 山东临邑 251507)

摘要 商河地区沙一中广泛发育陆源碎屑与湖相碳酸盐的混合沉积。本文将混积层系、混积岩和呈零星分布的一起定义为广义的混合沉积, 并且对于混合沉积来讲, 没有一个具体的组分含量标准, 只要该沉积物(岩)的确为陆源碎屑与碳酸盐的沉积, 而非成岩作用或以后改造的假混合就可认定为混合沉积。研究区内混合沉积特征为陆源碎屑与湖相碳酸盐以较高的频率交互沉积和同一岩层内陆源碎屑组分与碳酸盐组分混合沉积, 混合沉积的类型分为三类, 即渐变式混合沉积、突变式混合沉积和复合式混合沉积, 其中复合式沉积分为复合式沉积和复合式沉积, 研究区内复合式沉积发育, 复合式沉积不发育。并且本文从研究区混合沉积的区域地质背景、岩石学特征、沉积环境等方面进行了详细分析, 建立了混合沉积相模式, 进而对混合沉积的控制因素进行了讨论。

关键词 商河地区 沙一中 混合沉积特征 混合沉积类型 混合沉积模式

第一作者简介 董桂玉 男 1976年出生 在读博士 沉积学与岩相古地理学 E-mail dguiyuchengdu@sina.com

中图分类号 P512.2 **文献标识码** A

混合沉积很早就引起了国内外学者的注意, 1984年 Mount就提出了“混合沉积物”(mixed sediments)的概念^[1], 用以表述陆源碎屑与碳酸盐混合沉积的产物。1990年杨朝青等首次提出“混积岩”(hunji rock)一词^[2]。20世纪 80年代以前国内外有较多关于碳酸盐与陆源碎屑混合沉积产状研究, 大多为描述性的, 这些研究积累了较为丰富的碳酸盐与陆源碎屑混合沉积的实例。近年来, 有关湖相碳酸盐与陆源碎屑混合沉积的分类和形成机制已引起国内外一些学者的重视^[2~15], 这些研究主要集中于探讨海平面变化及构造升降对混合沉积的影响上, 而针对湖相碳酸盐与碎屑岩混合沉积的研究则相对薄弱, 仅有少数的研究报告, 如罗顺社^[7]等对渤南洼陷沙四段陆源碎屑与碳酸盐混合沉积特征与模式的研究、马艳萍^[8]等对大港滩海区第三系湖相混积岩的成因与成岩作用特征的研究等。

碳酸盐与陆源碎屑混合沉积可分为狭义的和广义的, 狭义的是指陆源碎屑与碳酸盐组分的混合(在同一岩层内)即混合沉积的典型产物—混积岩, 而广义的混合沉积则包括了狭义的和陆源碎屑与碳酸盐交互沉积, 二者可以交替互层、夹层及横向相变^[9]或零星分散于另一类岩石之中。郭福生^[10]将广义的混

合沉积的范畴内的陆源碎屑岩与碳酸盐岩岩层之间频繁交替形成的地层剖面上的互层和夹层组合命名为“混积层系”。本文将混积层系、混积岩和呈零星分布的一起定义为广义的混合沉积。并且对于混合沉积来讲, 没有一个具体的组分含量标准, 只要该沉积物(岩)的确为陆源碎屑与碳酸盐的沉积, 而非成岩作用或以后改造的假混合就可认定为混合沉积^[9]。

湖相碳酸盐与陆源碎屑混合沉积无论是在现代还是古代的沉积中都颇为常见, 从陆地到海洋, 从浅水到深水都有广泛的分布, 并且受到多种因素的影响, 因而其研究难度比单一的碳酸盐沉积体系或陆源碎屑沉积体系更大^[11]。在渤海湾地区, 惠民凹陷沙一中亚段不仅发育碎屑岩, 而且广泛发育湖相碳酸盐沉积。在过去几十年的勘探开发中, 对于商河地区沙一中亚段一直将纯粹的湖相碳酸盐岩与碎屑岩分开独立进行研究, 而没结合起来作为混合沉积来进行研究。

本文通过对区域大量的地质资料、岩心资料、录井资料、测井资料、薄片鉴定结果及化学成分分析结果等对商河地区沙一中混合沉积的岩石学特征、沉积类型、沉积特征和沉积模式方面进行了详细分析, 进而说明其形成机制和控制因素。

研究中采用岩心资料、录井资料和薄片鉴定结果

对研究区混合沉积的岩石类型、沉积类型和沉积特征进行归纳与统计;通过岩石的化学成分分析结果和茜红素 S 染色法来区分方解石和白云石。

在研究区陆源碎屑沉积和湖相碳酸盐沉积的两种相模式基础上,综合各类混合沉积的产出部位、沉积特征及其控制因素,以现在沉积学原理为指导,归纳出商河地区沙一中亚段的混合沉积相模式。

1 区域地质背景

惠民凹陷是济阳拗陷中最大的一个次一级的构造单元,长轴大致呈 NNE 走向,面积约 7000 km²,包括临南、滋镇、阳信、里则镇、肖庄等次级洼陷及中央隆起带和南斜坡等次级构造单元。惠民凹陷的构造格局也受渤海湾盆地的控制,应力方式以左旋压扭为主,形成了左旋帚状断裂为主的中央隆起带。在古近纪区域性北东向右旋张应力作用下,形成主体为北东走向的临邑大断裂和临商构造,此后应力作用回转,发育北西向左旋构造和断裂,形成一系列断阶构造。研究区就位于这一系列断阶构造中(图 1)。



图 1 中央隆起带及研究区位置图

Fig 1 Location of the central uplift and the study area

商河地区古近系地层自下而上依次为孔店组、沙河街组和东营组。按照渤海湾盆地的统一划分原则,沙河街组可分为四个岩性段。研究目的层为沙河街组第一段中亚段,简称沙一中,地层发育比较完整,只有部分地层被断失,地层厚度 0~149.0 m,平均厚度 52.07 m,岩性以陆源碎屑岩和湖相碳酸盐岩为主,为湖泊相沉积。湖泊相中主要发育浅湖、半深湖、深湖三个亚相,其中浅湖亚相以浅滩沉积微相、滩缘沉积微相、浅湖砂沉积微相、浅湖泥沉积微相、湖湾沉积微相为主;半深湖、深湖亚相以半深湖泥沉积微相、深湖

泥沉积微相为特征。

2 岩石学特征

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,另有少量火山碎屑岩。

2.1 泥(页)岩

泥(页)岩在研究区内广泛发育,一般为浅灰色、灰色,可见腹足类、介形虫,有的可见植物碎片。部分泥(页)岩因含云(灰)质较多,而成含云(灰)泥(页)岩或云(灰)质泥(页)岩。油页岩在研究区内常见,颜色一般为灰褐色,水平层理发育。

2.2 细砂岩和粉砂岩

研究区内细砂岩和粉砂岩很少,颜色主要为灰白色、灰色、灰绿色,主要在大套的浅灰、灰色泥岩中呈薄层、夹层出现。成分主要为陆源碎屑,少量的碳酸盐成分,极少量火山碎屑物质。

2.3 碳酸盐岩

研究区碳酸盐岩十分发育,岩性多不纯,含陆源碎屑成分,岩石类型有白云岩、石灰岩,颜色一般以灰色、灰黄色为主,主要呈薄层状夹于大套的浅灰、灰色泥岩中。根据其结构特征,可分为具颗粒结构的碳酸盐岩和具晶粒结构的碳酸盐岩两大类。

(1) 颗粒云(灰)岩

颗粒云(灰)岩是指颗粒含量大于 50% 的云(灰)岩。颗粒类型主要有生物碎屑、内碎屑(砾屑、砂屑、粉屑)、鲕粒及一些球粒、藻屑、团块,其中生物碎屑是最主要的。生物碎屑主要为腹足类(螺类)、介形虫及少量的双壳类和藻类。其中研究区内最重要类型的颗粒云(灰)岩是螺云(灰)岩,螺云(灰)岩是指生物碎屑以螺类为主且含量大于 50% 的颗粒云(灰)岩。粒间填隙物为泥晶或亮晶胶结物,按照颗粒间填隙物的类型,可进一步分为亮晶颗粒云(灰)岩和泥晶颗粒云(灰)岩。局部可见角砾灰岩。部分颗粒云(灰)岩中含有 2%~10% 的陆源碎屑砂、粉砂和泥质,陆源砂以石英为主,少量长石和岩屑。岩石中可见明显的交错层理。

(2) 颗粒质泥(粉)晶云(灰)岩

颗粒类型较多,主要有生物碎屑、内碎屑(砾屑、砂屑、粉屑)及一些球粒、藻屑、团块。生物门类主要为腹足类、介形虫及少量的双壳类和藻类。粒间填隙物主要为泥晶,部分重结晶为粉晶。部分颗粒质云(灰)岩中含有 4%~17% 的陆源碎屑砂、粉砂和泥

质, 陆源砂以石英为主, 少量长石和岩屑。

(3) 含颗粒泥(粉)晶云(灰)岩

颗粒主要为腹足类、介形虫, 亦有少量的双壳类和藻类化石, 粒间填隙物主要为泥晶或粉晶。部分含有 5% ~ 21% 的陆源碎屑粉砂和泥质, 陆源粉砂以石英为主, 少量长石。

(4) 泥(粉)晶云岩、泥(粉)晶灰岩

结构组分主要为泥晶或粉晶的白云石或方解石, 局部为细晶到中晶。晶粒较粗者(如粉晶、细晶、中晶)应为重结晶作用的产物。泥晶云(灰)岩中含有 5% ~ 48% 的陆源碎屑粉砂和泥质, 陆源粉砂以石英为主, 少量长石, 泥质含量相对较高并且分布不均匀而呈暗色泥质条带构造, 有的泥质中含有有机物质。部分泥晶灰岩中发育水平层理。

3 混合沉积特征

研究区内混合沉积主要特征是陆源碎屑与湖相碳酸盐以较高的频率交互沉积和同一岩层内陆源碎屑组分与碳酸盐组分混合沉积。

3.1 陆源碎屑与碳酸盐交互混合沉积

3.1.1 泥岩与生物云(灰)岩交互沉积

此类混合沉积在研究区内广泛分布, 主要分布在研究区的北部和中部。经岩石学特征和沉积相分析, 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)岩主要分布在浅湖亚相的浅滩微相和滩缘微相中。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 2)。

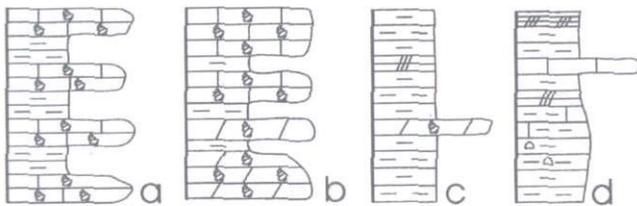


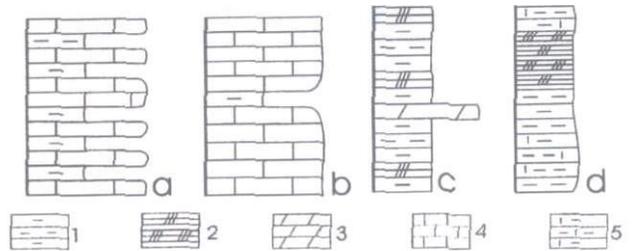
图 2 泥岩和生物灰(云)岩交互沉积类型

Fig 2 Sedimentary type of mudstone interbedded with bioturbated limestone (dolostone)

a 螺灰岩与泥岩互层 (S8-15 井 1672~ 1678.6 m); b 螺云(灰)岩夹泥岩 (S44 井 1500~ 1506.6 m); c 泥岩夹螺云岩 (S24 井 1498.2~ 1504.8 m); d 泥岩中零星分布介形虫灰岩 (S8~ 45 井 1728.5~ 1735.1 m)

3.1.2 泥岩与泥(粉)晶云(灰)岩交互沉积

此类混合沉积主要分布在研究区的南部。经岩石学特征和沉积相分析, 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 3)。



1. 泥岩; 2. 油页岩; 3. 泥晶白云岩; 4. 粉晶石灰岩; 5. 泥岩中零星分布泥晶石灰岩

图 3 泥岩和泥(粉)晶灰(云)岩交互沉积类型

Fig 3 Sedimentary type of mudstone interbedded micritic limestone (dolostone)

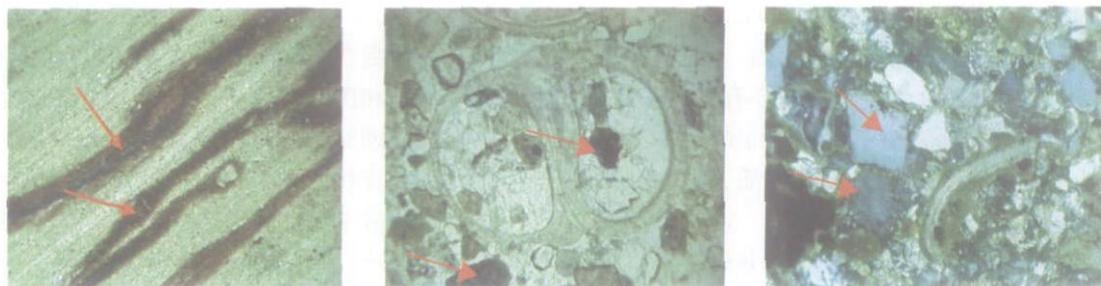
a 石灰岩与泥岩互层 (S13~ 6 井 1821~ 1815.1 m); b 石灰岩夹泥岩 (S62 井 2033.6~ 2027.7 m); c 泥岩夹白云岩 (S70 井 1947.5~ 1953.4 m); d 泥岩中零星分布泥晶石灰岩 (S8~ 45 井 1727.4~ 1733.3 m)

3.2 同一岩层中陆源碎屑组分与碳酸盐组分混合沉积

研究区内此类型的混积岩分布广泛。岩石学特征和沉积相研究表明构成此类混积岩的陆源碎屑组分与碳酸盐组分从浅湖亚相到半深湖、深湖亚相都有分布。陆源碎屑组分与碳酸盐组分混合沉积形成的岩石类型多样, 陆源碎屑组分主要为石英、长石和少量岩屑, 碳酸盐组分为方解石和白云石。有的岩层陆源碎屑含量高, 为含碳酸盐陆源碎屑岩或为碳酸盐质陆源碎屑岩; 有的岩层碳酸盐组分含量高, 为含陆源碎屑碳酸盐岩或为陆源碎屑质碳酸盐岩(图 4)。

4 混合沉积类型

研究区内混合沉积总的格局是在陆源碎屑沉积占优势的背景下, 分布着类型多样的湖相碳酸盐岩。有关混合沉积的成因众说纷纭, Mount^[1, 12]曾着重对浅水陆棚环境中的狭义的混合沉积做了全面的论述, 提出了四种混合沉积类型(过程), 即: 间断混合、原地混合、相源混合和蚀源混合。杨朝青和沙庆安^[2]以云南曲靖中泥盆统曲靖组和鲁西下一中寒武统馒头组、毛庄组和徐庄组进行了具体解剖研究, 对混合沉积作用进行了详细描述; 张廷山^[13]等在川西北也



含粉砂泥质泥晶云岩 (S70-6井) 砂质粉晶螺灰岩 (S84-12井) 含生屑钙质粉—细砂岩 (S84-12井)
(正交光,物 2.5)(1825.6m) (单偏光,物×2.5)(1912.7m) (正交光,物×10)(1911.2m)

图 4 陆源碎屑组分与碳酸盐组分混合沉积类型 (红色箭头所指为陆源碎屑组分)

Fig. 4 Mixed sedimentary type of terrigenous fragment constituent and carbonate constituent

做过类似研究。特别是王国忠等^[14]以涠洲岛珊瑚礁为例讨论了现代礁区生物碳酸盐碎屑与陆源碎屑的混合作用, 其将混合作用的类型分为三种: 随机混合沉积、相变式混合沉积和随机—相变式混合沉积。张雄华^[15]在总结前人的研究基础上, 结合湖南和江西古生代地层的有关资料, 将陆源碎屑和碳酸盐的混合沉积的作用归为五种类型: 事件突变沉积混合、相缘渐变沉积混合、原地沉积混合、侵蚀再沉积混合和岩溶穿插沉积混合。本文在结合前人的研究成果和商河地区沙一中的实际资料的基础上并根据混合沉积的定义“混合沉积是指陆源碎屑和碳酸盐之混合沉积而不是成岩作用或以后经改造的假混合^[9]”, 将混合沉积作用的类型分为三类即渐变式混合沉积、突变式混合沉积和复合式混合沉积, 其中复合式沉积分为复合式沉积和复合式沉积, 研究区内复合式沉积发育, 复合式沉积不发育。

(1) 渐变式混合沉积: 指由正常沉积事件形成的一类岩石, 其与上下岩石在成分、结构、构造方面为渐变过渡关系, 没有突变标志。比如研究区内由于湖平面的升降导致沉积环境逐渐发生改变, 不同的沉积环境下就会产生不同类型的沉积物, 即“清水”期间发生碳酸盐沉积, “浑水”期间陆源碎屑物质沉积, 二者互为消长, 在二者过渡环境中发生狭义的混合沉积作用 (图 5), 形成的混积岩与上下岩石在成分、结构和构造方面为渐变过渡关系。文献记录的相缘渐变沉积混合是指由于相邻沉积相虽然在纵向和横向上都有其边界, 但是他们并非绝然接触, 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, 由此本文将相缘渐变沉积混合归为渐变式混合沉积。

(2) 突变式混合沉积: 指由突发性沉积事件形成

的一类岩石, 其与上下岩石间为突变接触。此类型的混合沉积作用形成的混积岩成分复杂, 粒度相差较大, 有时发育块状层理及滑动变形构造。研究区内由于生物浅滩沉积范围比较广阔, 顶面平坦、进积迅速, 前斜坡明显, 因此在斜坡上部未固结或弱固结的碳酸盐沉积物在重力的作用被撕裂、扯碎使其滑塌或沿斜坡向下滑动, 并在滑动过程中与其它的碎屑物质进行混合, 在半深湖、深湖处形成此类混合沉积。比如在研究区深湖环境内可以见具有滑动变形构造的生物碎屑灰岩, 这种混积岩就属于突变式混合沉积 (图 5)。此类混合沉积与文献上记录的事件突变沉积混合不同, 因为事件突变沉积混合所形成的混积岩与上下岩石的接触关系可以为突变的 (风暴成因) 也可以是渐变的 (浊流成因)^[15]。

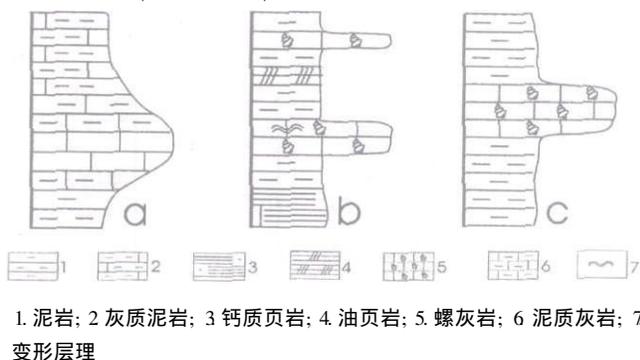


图 5 陆源碎屑与湖相碳酸盐混合沉积类型

Fig. 5 Mixed sedimentary type of terrigenous fragment and carbonate of lagoonal facies

a 渐变式混合沉积 (S58井 1880.8~1875.8m); b 突变式混合沉积 (S1~15井 1657.5~1662.5m); c 复合式混合沉积 (S8~15井 1669.4~1664.4m)

(3) 复合式混合沉积: 复合式混合沉积指由正常沉积事件形成的一类岩石, 其与上下岩石为岩性突

变接触。复合式混合沉积 指由突发沉积事件形成的一类岩石,其与上下岩石在成分、结构、构造方面为渐变过渡关系(如浊流沉积成因的混合沉积)。研究区内浅湖亚相中浅滩沉积微相内出现的生物灰岩很少含有陆源碎屑成分,为正常沉积事件沉积,但其与上下的泥岩为岩性突变接触,因此此类混合沉积为复合式混合沉积(图 5)。文献记录的原地沉积混合,从其与上下岩石的接触关系来看,沉积岩中正常事件形成的碳酸盐岩与上下的接触关系为突变接触,因此本文将原地沉积混合归为复合式混合沉积。

在地质剖面上虽然可以明显地区分出上述三种混合沉积类型,但是各种混合沉积常相互叠加、频繁交替,形成类型复杂的混合沉积复合体。

5 混合沉积相模式

在研究区内陆源碎屑沉积和碳酸盐沉积的两种相模式基础上(图 6 图 7),综合各类混合沉积的产出部位、沉积特征及其控制因素,归纳出研究区内的

混合沉积相模式(图 8)。研究区内的混合沉积相为湖泊混合沉积相,湖泊混合沉积相中主要发育浅湖、半深湖、深湖三个混合沉积亚相。混合沉积浅湖亚相以浅滩混合沉积微相、滩缘混合沉积微相、浅湖泥混合沉积微相、湖湾混合沉积微相为主;半深湖、深湖混合沉积亚相以半深湖泥混合沉积微相、深湖泥混合沉积微相为特征。

5.1 浅湖泥混合沉积微相

位于最低湖水面以下,水体相对较浅,陆源泥质较多,细砂、粉砂较少,混合沉积以泥和晶粒碳酸盐混合为主。可见水平层理,偶见生物碎片(介形虫)。混合沉积类型以渐变式混合沉积为主。

5.2 湖湾混合沉积微相

位于湾岸或三角洲间的湖湾部位,其沉积常沿湖岸或浅滩的岸侧分布。水体清澈,环境相对安静,仅在研究区的局部分布。混合沉积以泥、粉砂和晶粒碳酸盐混合为主。水平层理发育,偶见生物碎屑(介形虫)。混合沉积类型以渐变式混合沉积为主。

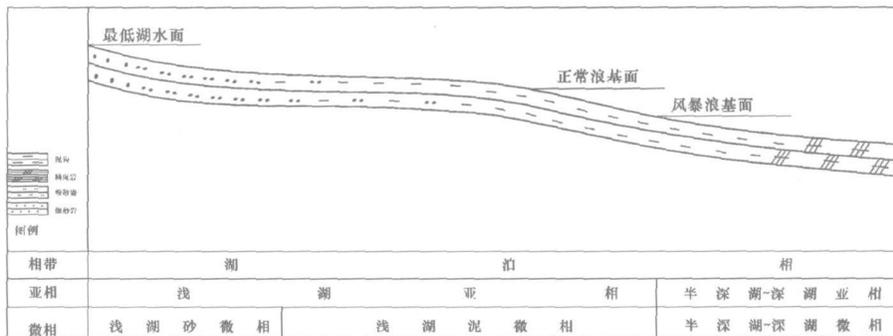


图 6 研究区沙一中碎屑岩沉积模式图

(根据研究区中部 S9-1井 - S8-73井 - S18井 - S20井一带以北 281口井资料所得)

Fig 6 The sedimentary model for detrital rock of the middle submember of Member 1 of Shahejie Formation in the study area

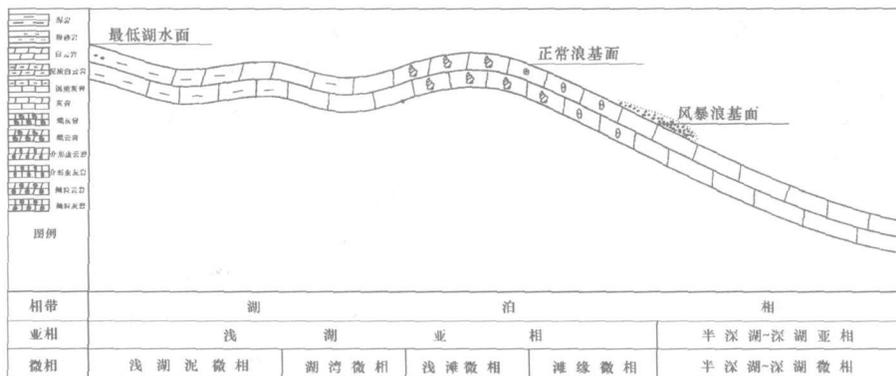


图 7 研究区沙一中碳酸盐岩沉积模式图

(根据研究区南部 S620井 - S18-4井 - S9-4井 - S73-1井一带以北 152口井资料所得)

Fig 7 The sedimentary model for carbonate rock of the middle submember of Member 1 of Shahejie Formation in the study area

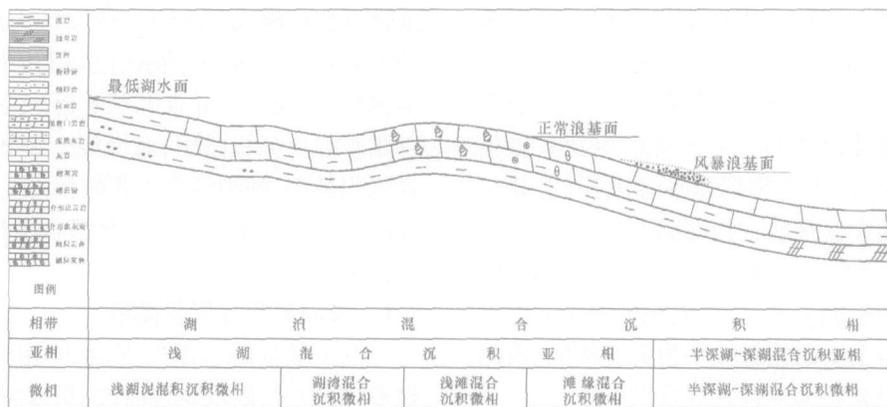


图 8 研究区沙一中混合沉积模式图 (根据研究区内 433 口井资料所得)

Fig 8 The mixed sedimentary model of the middle submember of Member 1 of Shahejie Formation in the study area

5.3 浅滩混合沉积微相

位于水下隆起的顶部, 顶面平坦、进积迅速、前斜坡明显, 由于较强的波浪与湖流作用, 水体强烈搅动, 能量很高, 阳光充足, 适于生物生长, 所以多种类型的生物云(灰)岩和颗粒云(灰)岩发育。浅滩微相的碳酸盐岩与深湖半深湖的泥(页)岩构成混积层系, 浅滩微相内的少量陆源碎屑物质和颗粒碳酸盐及少量晶粒碳酸盐以组分混合的形式沉积。发育交错层理和平行层理, 化石以大量的腹足类、介形虫为主及少量的双壳类和藻类(中国枝管藻)。混合沉积类型以渐变式和复合式混合沉积为主。

5.4 滩缘混合沉积微相

位于滩前斜坡地带, 水深变化较大, 水体较为动荡, 处于向深水过渡的正常浪基面至风暴浪基面之间。滩缘微相的碳酸盐岩与深湖半深湖的泥岩、页岩和油页岩构成混积层系, 滩缘微相内的陆源碎屑物质和晶粒碳酸盐及少量颗粒碳酸盐以组分混合的形式沉积。发育交错层理, 可见滑动变形沉积构造, 化石以介形虫为主, 次为少量腹足类、双壳类。混合沉积类型以渐变式混合沉积为主, 可见复合式混合沉积。

5.5 半深湖泥—深湖泥混合沉积微相

位于风暴浪基面之下的地带, 沉积物受波浪作用的影响小, 主要受湖流作用的影响, 地处乏氧的弱还原—还原环境。混合沉积以泥、少量粉砂与具晶粒结构的碳酸盐岩混合为主, 发育水平层理和滑动变形沉积构造及条带构造, 化石以浮游生物为主, 少量异地生物碎屑, 底栖生物不发育。混合沉积类型以渐变式混合沉积为主, 可见复合式混合沉积和突变式混合沉积。

作用, 以陆源碎屑物质(泥、粉砂等)与晶粒碳酸盐和颗粒碳酸盐混合为主。混合沉积在地质剖面上以互层、夹层或不成层零星分布及组分混合沉积产出。混合沉积类型有渐变式、突变式和复合式, 其中以渐变式和复合式为主。

6 混合沉积控制因素讨论

陆源碎屑与湖相碳酸盐的混合沉积岩石类型复杂, 混合沉积类型多样, 空间分布跨度大, 影响混合沉积的因素多而复杂, 大多数情况下因素间相互牵制, 互为影响。通过研究, 归纳出影响研究区内混合沉积的主要控制因素为构造作用、气候条件和湖平面变化, 次为物源、水动力条件和湖泊的演化历史。

(1) 构造作用: 构造作用也通过控制盆地的形态和类型来控制混合沉积; 盆地的下沉速率和沉积速率的配置也明显影响着混合沉积^[7, 15], 构造沉降小而沉积速率较大时, 盆地水体变浅, 不断充填, 沉积空间随之减小, 形成的混合沉积的地层较薄, 反之与其正好相反^[15]。研究区在沙一中时期构造活动缓和, 研究区北部较南部受临商断裂带的影响小, 水下坡度不大, 水体较浅, 有利于碳酸盐岩的生成, 因此北部较南部混合沉积发育; 沙一中处于湖盆沉降与沉积作用缓慢补偿的层段, 湖盆开阔、水域广布, 可使腹足类和介形虫等生物大量生长和繁殖, 从而浅湖的浅滩和滩缘生物碳酸盐发育, 由此其以组分混合形成的混积岩不发育, 但其随湖平面的升降及其它因素的影响可与半深湖、深湖所沉积的陆源碎屑在地质剖面上构成了以互层和夹层形式呈现的混积层系。

(2) 气候条件: 湖泊是个动力系统, 对气候的变化特别敏感。各种气候条件, 如降雨期和枯水期或干

综上所述, 研究区内从浅湖到深湖都有混合沉积

旱和潮湿以及温暖期和寒冷期的交替变化均能直接和明显的影响混合沉积。降雨量可以影响物源的供给及能量程度来实现, 当湖泊处于枯水期时, 因地表径流的减弱, 陆源供给丰度降低, 陆源沉积的抑制作用减弱, 碳酸盐可随之大量沉积, 降雨期则相反, 在枯水期和降雨期的过渡时期则利于陆源碎屑和碳酸盐的混合沉积; 气候温暖则有利于生物的生长, 生物化学作用占主导地位, 生物碳酸盐的生长率提高, 气候寒冷则物理作用占主导地位, 生物碳酸盐的生长率大大降低, 进而陆源随屑沉积占主导地位, 温暖期和寒冷期的频繁交替则形成互层或夹层状的混合沉积。研究区在沙一中时期气候温暖, 生物碳酸盐的生长率相对较高, 伴随研究区内降雨期和枯水期的更替变化, 互层或夹层状的混合沉积发育。

(3) 湖平面变化: 湖平面的升降从陆源物质的供应和生物发育程度两方面影响着混合沉积作用的进行及其强度。当湖平面相对上升, 形成湖进的过程中, 如果浅滩和滩缘生物的生长能跟上湖平面上升的速度, 则生物有良好的发育前景, 此时混合沉积则向湖岸后发展; 如果不能跟上湖平面上升的速度, 则生物被淹没, 形成渐变式或复合式混合沉积。当湖平面相对下降时, 出现湖退, 随陆源补给的增多, 出现岸进层序, 此时浅滩和滩缘生物的生长速度将决定混合沉积作用的方向和类型, 如果生物的迁移速度能跟上湖面下降的步伐, 则混合沉积将向湖推进; 如果生物生长受到抑制, 则可能被陆源物质所覆盖, 形成渐变式或复合式混合沉积。研究区在沙一中时期总体上处于缓慢湖侵过程中, 局部有短暂的湖退现象。在缓慢湖侵时期, 浅滩和滩缘生物的生长速度大于湖平面上升的速度, 生物生长和繁殖迅速, 此时混合沉积则向湖岸后发展; 在短暂的湖退时期, 生物生长受到抑制, 被陆源物质所覆盖, 形成渐变式或复合式混合沉积。

(4) 物源: 物源受构造和气候条件的控制, 对混合沉积是一个很重要的影响因素^[7]。根据研究区周围地区相关资料及沉积相的展布特征来看, 其主要物源为南部的鲁西隆起, 次为北部的埕宁隆起。由于研究区沙一中时期气候较为干燥, 滨湖亚相不发育, 距物源区较远, 形成有利的碳酸盐沉积环境。陆源沉积的抑制作用相对较弱时期, 只要湖水中碳酸盐的浓度达到饱和则两者可同时沉积, 混合沉积多为组分内混合沉积; 陆源沉积的抑制作用相对较强时期, 陆源碎屑沉积占主导地位, 薄层碳酸盐岩多夹于厚层的陆源

碎屑岩中或呈零星分散的形式出现。

(5) 水动力条件: 湖泊的水动力因素主要有河流和波浪。河流基本上不可能对湖泊的生物遗体进行广泛的搬运和再分配, 其作用主要是搬运陆源碎屑物质到湖盆, 抑制湖相碳酸盐的生产, 从而间接地影响到混合沉积作用。研究区内风浪波高可达 1.6~2.0 m, 速度为 0.246 m/s 足可以产生能搬运砂级沉积物^[16], 并使它们充分地混合, 在一定的部位堆积下来形成混合沉积。此外活跃的水动力条件有利于筛选泥质物质, 有利于浅湖生物碳酸盐的生产, 在一定程度上抑制了狭义的混合沉积。如果水动力条件过于活跃或环境过于恶化, 可失去维持生物繁衍所需要的营养, 进而导致生物碳酸盐沉积的难度加大, 混合沉积也因此不发育。

(6) 湖泊的演化历史: 湖泊一般都经历早期蒸发、中期相对稳定和晚期收缩的三个发展阶段。湖相碳酸盐岩主要发育在蒸发期和稳定期。沙一中时期, 研究区处于湖泊相对稳定的时期, 生物繁盛, 有少量陆源碎屑物质注入^[16], 因此研究区在沙一中时期陆源碎屑和湖相碳酸盐的混合沉积比较发育。

参考文献 (References)

- 1 Mount J.F. Mixing of siliciclastics and carbonate sediments in shallow shelf environments. *Geology*, 1984, (12): 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: 陆源碎屑与海相碳酸盐的混合沉积. *沉积学报*, 1990 8(2): 60-63 [Yang Chaqing, Sha Qing'an. Sedimentary environment of the Middle Devonian Qujing Formation, Yunnan Province: a kind of mixing sedimentation of terrigenous clastics and carbonate. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1990 8(2): 60-63]
- 3 Mount J.F. Mixing of siliciclastics and carbonate sediments: a proposed first-order textural and compositional classification. *Sedimentology*, 1985, 32: 435-442
- 4 Yose L.A. and Heller P.L. Sea level controls of mixed siliciclastic-carbonate gravity flow deposition: lower part of the Keeler Canyon Formation (Pennsylvanian), Southeastern California. *GSA Bulletin*, 1989, 101: 422-439
- 5 Myrow P.M. and Candling E. Mixed siliciclastic-carbonate deposition in an early Cambrian oxygen-stratified basin: Chapel Island Formation, Southeastern Newfoundland. *Journal of Sedimentary Petrology*, 1992, 62: 455-473
- 6 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. *沉积学报*, 1996, 14(增刊): 71-73 [Jiang Maosheng, Sha Qing'an and Liu Min. Mixed siliciclastic-carbonate sediments during the Lower-Middle Cambrian in the North China Platform. *Acta Sedimentologica Sinica* 1996, 14(Suppl): 71-73]
- 7 罗顺社, 刘魁元, 何幼斌, 等. 勃南洼陷沙四段陆源碎屑与碳酸盐

- 混合沉积特征和模式. 江汉石油学院学报, 2004, 26(4): 19-21 [Luo Shunsheng, Liu Kuiyuan and He Youbin. Mixed sedimentary characteristics and mode of terrigenous clastics and carbonate in Es-4 of Beinan Depression. Journal of Jianghan Petroleum Institute, 2004, 26(4): 19-21]
- 8 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. 沉积学报, 2003, 21(4): 607-613 [Ma Yanping, Liu Li. Origin and diagenetic characteristics of Paleogene Lacustrine "Hunji" Rock in Beach District, Dagang. Acta Sedimentologica Sinica, 2003, 21(4): 607-613]
- 9 沙庆安. 混合沉积和混积岩的讨论. 古地理学报, 2001, 3(3): 65-66 [Sha Qing'an. Discussion on mixing deposit and Hunji Rock. Journal of Palaeogeography, 2001, 3(3): 65-66]
- 10 郭福生, 严兆彬, 杜杨松, 等. 混合沉积、混积岩和混积层系的讨论. 地学前缘, 2003, 10(3): 312-314 [Guo Fusheng, Yan Zhaobin and Du Yangsong et al. Discussion on mixing deposit, Hunji rock and Hunji sequence. Earth Science Frontiers, 2003, 10(3): 312-314]
- 11 江茂生, 沙庆安. 碳酸盐与陆源碎屑混合沉积体系研究进展. 地球科学进展, 1995, 10(6): 551-554 [Jiang Maosheng, Sha Qing'an. Research advances in the mixed siliciclastic-carbonate depositional systems. Advances in Earth Science, 1995, 10(6): 551-554]
- 12 Mount J.F. Mixing of siliciclastics and carbonate sediments in shallow shelf environments. Geology, 1984, (12): 607-613]
- 13 张廷山, 兰光志, 陈晓慧, 等. 川西北早志留世陆源碎屑-碳酸盐沉积缓坡. 沉积学报, 1995, 13(4): 27-35 [Zhang Yanshan, Lan Guangzhi, Chen Xiaohui et al. Early Silurian siliciclastic-carbonate ramp deposits in NW Sichuan. Acta Sedimentologica Sinica, 1995, 13(4): 27-35]
- 14 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. 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. Journal of Palaeogeography, 2001, 2(3): 48-49]
- 15 张雄华. 混积岩的分类和成因. 地质科技情报, 2000, 19(4): 32-34 [Zhang Xinghua. Classification and origin of mixed sediment. Geological Science and Technology Information, 2000, 19(4): 32-34]
- 16 王秉海, 钱凯. 胜利油区地质研究与勘探实践. 山东东营: 石油大学出版社, 1992. 177-218 [Wang Binhai, Qian Kai. Geologic Research and Exploration Experience of Shengli Oil Field. Dongying Shandong Petroleum University Press, 1992. 177-218]

Mixed Sedimentation of Carbonates of Lagoonal Facies and Terrigenous Clastics of the Middle Submember of Member 1 of Shahejie Formation in Humin Sag—taking Shanghe area in Shandong Province for an example

DONG Guoyu^{1,2} HE Youbin² CHENG Hongde¹ XIN Changjing²
LUO Jinxiong² WANG Aili³ SUN Yide³

(1. Institute of Sedimentary Geology, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059;

2 College of Geoscience, Yangtze University, Jingzhou Hubei 434023;

3 Linpan Production Plant of Shengli Oilfield Branch Company, Linyi Shandong 251507)

Abstract Mixed deposits which is composed of terrigenous fragment and carbonate of lagoonal facies develops extensively in the middle submember of Member 1 of Shahejie Formation of Shanghe Area. This paper defines mixed deposited which includes Hunji sequence, Hunji rock and some sporadic distribution, and as far as mixed deposits in a broad sense, and there is not a concrete standard range, if only it is for the reason the sediment or sedimentary rock deposits to terrigenous fragment and carbonate not for false mixed to sedimentation or transformation of sedimentation, it can be deeply convinced to be mixed deposits. In the study area, the characteristics of mixed deposits are interbedded strata between terrigenous fragment and carbonate of lagoonal facies in high frequency and mixing deposited between terrigenous fragment constituent and carbonate constituent in one layer. Mixed sedimentary type can be divided into 3 categories: blended mixed deposits, salutatory mixed deposits and complex mixed deposits, and the complex mixed deposits can be divided into complex mixed deposits and complex mixed deposits. In the study area, complex mixed deposits is developing and complex mixed deposits is not developing. This paper analyses the mixed deposits of study area carefully, such as geological setting, petrological characteristic and depositional environment, etc., establishes mixed sedimentary model and discusses controlling factor of the mixed deposits.

Key words Shanghe region, the middle submember of Member 1 of Shahejie Formation, mixed sedimentation characteristics, mixed sedimentary type, mixed sedimentary model