

# 金湖凹陷阜二段混合沉积特征探讨及其意义

丁娜

(中国石化江苏油田分公司勘探开发研究院,江苏扬州225009)

**摘要:**基于混合沉积文献调研和苏北盆地金湖凹陷古近系阜宁组二段混合沉积研究,对比讨论了混合沉积的定义、混合沉积环境、混积岩分类以及混合沉积成因机理,提出了混合沉积研究存在的两个问题和四个研究方向;总结了金湖凹陷阜二段广义和狭义混积岩的发育特征,明确了干热咸化的水体和充足的陆源供给是阜二段发育混合沉积的基础,建立了阜二段混积岩相分布模式,并对混积岩油气研究的未来方向进行了展望。

**关键词:**混合沉积 混积岩 阜二段 金湖凹陷

**中图分类号:**TE122 **文献标志码:**A

## Study on mixed sedimentary feature of second member of Funing Formation in Jinhu Sag

DING Na

(Exploration and Development Research Institute of Jiangsu Oilfield Company, SINOPEC, Yangzhou 225009, China)

**Abstract:** According to literature survey and previous studies of mixing deposition in the second member of Paleogene Funing Formation in Jinhu Sag, it was discussed the definition, environment, classification and genesis mechanism of mixed sediments. And then it was proposed two existing problems and four research directions on the study of mixing deposition. It was concluded the development features of general and special mixing siliciclastic-carbonate sediments in the second member of Funing Formation in Jinhu Sag. So it was determined clearly the hot-salty water body and the supply of abundant terrestrial sources, which are the basis for mixing deposits in the second member of Funing Formation. Finally, a phase distribution model for the mixing deposits was established, and it was pointed out the future research direction.

**Key words:** mixing deposit; mixed siliciclastic-carbonate sediments; the second member of Funing Formation; Jinhu Sag

在沉积学研究的传统认识中,碳酸盐岩与碎屑岩的沉积环境截然不同:碳酸盐岩是生物化学作用的产物,通常沉积在温暖清澈、不受陆源碎屑影响的水体中,其沉积环境俗称“清水”;碎屑岩沉积受物源供给控制,沉积水体中大量的陆源碎屑颗粒抑制了化学作用的发生,俗称“浑水”。二者此消彼长,故以往常常将碎屑岩沉积体系与碳酸盐岩沉积体系分隔研究。但随着研究的深入,人们逐渐发现除了纯的碳酸盐岩和碎屑岩以外,二者混合沉积现象非常普遍,从现代沉积到钻井取心,从浅水到深水都有发现。

从沉积学的角度来说,混合沉积作为一种特殊的沉积现象对沉积环境的恢复具有特殊意义;

从油气生产的角度来说,混积岩对油气的生成和储集具有重要影响。20世纪80年代以来,国内外学者定义了混合沉积并探讨了混积岩的分类成因<sup>[1-3]</sup>以及混合沉积机制<sup>[4-20]</sup>,分析了不同沉积环境中的混合沉积微相以及建立了相应的相模式<sup>[8-39]</sup>。本文概括了前人主要研究成果,结合金湖凹陷阜二段混积岩实例开展讨论,并提出几点看法供探讨。

收稿日期:2017-12-14;改回日期:2018-03-14。

作者简介:丁娜(1991-),女,助理工程师,从事油气田开发研究工作。E-mail: dingn.jsyt@sinopec.com。

基金项目:国家科技重大专项《高邮-金湖凹陷区页岩油资源潜力与地质评价研究》(编号2017ZX05049001-005)。

# 1 混合沉积研究现状

## 1.1 混积岩的定义

混合沉积现象最早于20世纪50年代被国外学者注意到<sup>[7]</sup>,此后在20世纪80年代开始出现较多关于混合沉积物的描述性研究。1984年,MOUNT J F正式提出了混合沉积的概念,将其定义为“硅质碎屑与碳酸盐在结构上的相互掺杂,或者成分上纯的硅质碎屑岩与碳酸盐岩旋回性互层及侧向彼此交叉”。此概念在上世纪80年代末被国内学者引入<sup>[2-3]</sup>,将混积岩定义为同一沉积环境背景中陆源碎屑与碳酸盐(强调是原生碳酸盐)两种组分相互混合沉积的一类沉积岩,也被称为狭义的混积岩。此后混积岩被衍生为由陆源碎屑、碳酸盐层、狭义混积岩这三类岩性在空间上构成交替互层或夹层的混合<sup>[3,9]</sup>,称为混积层系<sup>[5]</sup>或称为广义的混积岩。

## 1.2 混合沉积环境

21世纪以来,国内外学者在陆相到海相、浅水到深水环境的大量地区发现了混合沉积现象和混积岩,总体而言,混积岩最常出现在海陆过渡带和陆相半咸水-咸水湖盆中。

### (1) 海陆过渡带的混合沉积

海陆过渡带具备碳酸盐沉积的物质条件,同时拥有充足的陆源碎屑供给,因此在基准面升降控制下很容易形成相边缘混合或原地混合沉积。与此同时海陆过渡带也是风暴作用和重力流作用的常见区域,事件混合沉积也较为常见。前人研究表明,滨岸、潮坪、泻湖<sup>[12-14]</sup>以及浅海陆棚环境<sup>[15-21]</sup>是混合沉积最常见的相带。国内学者已针对不同沉积环境中的混合沉积开展研究,建立了南海北部大陆架现代混合沉积模式<sup>[9]</sup>,湖南寒武系第三统浅海陆棚环境混合沉积模式<sup>[21]</sup>,华北地区寒武系潮坪-泻湖环境混合沉积模式<sup>[7]</sup>,等等。有学者甚至在贺兰山奥陶系深水斜坡环境中发现了混合沉积<sup>[23]</sup>。在对海相盆地的研究中,国内学者还尝试在层序地层格架中探讨了混合沉积过程<sup>[7-8]</sup>。

### (2) 陆相湖盆的混合沉积

近十年来,国内学者针对陆相湖盆的混合沉积开展了研究,其中淡水-半咸水湖泊混合沉积以渤海湾盆地古近系最为典型,咸湖混合沉积以柴达木盆地古近系-新近系最为典型。

淡水-半咸水湖泊中的混合沉积可以以碳酸盐岩为主,例如东营凹陷金家地区沙四段上亚段<sup>[24]</sup>,黄骅凹陷北部沙一段<sup>[25]</sup>,豫西济源盆地中侏罗

统<sup>[26]</sup>,沾化凹陷沙二段<sup>[27]</sup>,沾车地区沙四段上亚段<sup>[28]</sup>,等;也可能以陆源碎屑为主,例如渤海石臼坨凸起沙二段<sup>[29]</sup>,大港滩海沙一段下部<sup>[6]</sup>和辽河西部凹陷雷家地区沙四段<sup>[30]</sup>等。

国内有关咸湖混合沉积的报道集中在柴达木盆地与准噶尔盆地<sup>[31-38]</sup>。众多学者对此开展过详细的沉积特征描述,例如柴达木盆地南翼山古近系,柴北缘古近系下干柴沟组下段,柴西古近系-新近系;准噶尔盆地南缘芦苇沟组与吐哈盆地西北缘塔尔朗组等等。陆源碎屑沉淀于咸湖中,通常形成以碳酸盐岩为主的混合沉积。

## 1.3 混合沉积成因机理与主控因素

混积岩的成因是国内外学者长期以来的研究重点(表1)。MOUNT最早在对浅水陆棚沉积的研究中提出了间断混合、相混合、原地混合和蚀源型混合四种类型<sup>[1]</sup>,此后国内学者基于不同的研究对象对其进行了补充修改。张雄华在MOUNT的方案基础上补充提出了岩溶再沉积混合<sup>[4]</sup>;董桂玉根据混积岩与上下岩石成分结构的关系,将间断混合细分为风暴成因与重力流成因两大类<sup>[7]</sup>,将风暴成因的间断混合称为渐变式混合,重力流成因的间断混合称复合式混合沉积Ⅱ;王国忠在南海现代沉积研究中提出了生物礁与陆源碎屑的混合沉积分类<sup>[9]</sup>;徐伟等在对柴达木盆地咸湖开展研究时发现了藻粘结成因的混积岩<sup>[10-11]</sup>,等等。

不同学者的混积岩成因分类存在差别、各有特点,笔者认为混合沉积的类型划分,归根到底是为了反映沉积环境的变化。混合沉积环境通常是均匀变化(相混合)、短暂性突变(间断混合)或长期突变(原地混合)的,因此按照这三种沉积环境变化特征所对应的间断混合-相混合-原地混合的划分方案最能体现成因分类对混合沉积环境研究的意义。

与传统意义上的碎屑岩/碳酸盐岩沉积类似的是,混合沉积作用同样受控于海平面升降、陆源供给、气候变化、构造运动等多方面因素。简单来说,海平面上升,陆源供给受限制,有利于碳酸盐沉淀,海平面下降,陆源供给发育,有利于碎屑岩沉积,并且由于陆源供给抑制碳酸盐沉淀,沉积区距离陆源区的远近也会影响混合沉积的发育程度;气候变化通过地表径流影响陆源供给,同时也影响着生物碳酸盐岩的生长速率;构造作用通过影响可容纳空间大小以及盆地水体的局限/开放性控制着混合沉积,等等。混合沉积的出现,归根结底需要同时满足一定的水体咸度和充足的陆源供给两方面条件,对于

陆相湖盆而言,因为水体性质更多受气候控制而非全球海平面升降(近海湖泊可能受海侵影响),因此气候是控制混合沉积的第一要素,干热气候下碳酸盐岩的大量生产是发生混积的基础条件。

表 1 混积岩成因划分方案

MOUNT,1981	张雄华,2000	董桂玉,2007	杨永剑,2011	成因机理	与上下岩石关系	出现频率	混合沉积分类的沉积环境意义
间断混合	事件突变混合	突变式混合  复合式混合 II	突变 I: 碎屑岩为主 突变 II: 碳酸盐岩为主	风暴成因的混合沉积  重力流成因	突变接触  渐变过渡	高	指示短时间的沉积环境突变
相混合	相边缘混合	渐变式混合	渐变型	沉积环境缓慢变化,沉积物沿不同相之间的扩散边界进行混合	渐变过渡	高	指示沉积环境缓慢变化
原地混合	原地沉积混合	复合式混合 I	复合型	沉积环境突变造成的混合,例如生物在陆源沉积物中原地生长	突变接触	中	指示长时间的沉积环境突变
蚀源型混合	侵蚀再沉积混合			碳酸盐岩母源区侵蚀,在碎屑岩区沉积		低	

1.4 存在问题与下步研究方向

数十年来,国内外学者已经针对混合沉积和混积岩开展了大量研究;近年来非常规油气的兴起更是引起了大家对混合沉积的重视,因为细粒沉积物本身就是一种混积岩。但由于混合沉积本身沉积机理、控制因素及成岩作用相对复杂,目前还存在以下两方面问题:

(1)国内目前关于混合沉积的研究主要从现象出发,大多停留在岩相描述阶段,通常只是简单地定性分析混合沉积的控制因素,未能进一步指导混积岩储层预测。

(2)混合沉积在过去通常被用来指代粗粒沉积区碳酸盐与碎屑物质的混合,但随着人们对细粒沉积物研究的深入,混合沉积的概念已经被扩大,应当建立从粗粒沉积区到细粒沉积区的完整的混合沉积模式。

针对上述问题,未来混积岩的研究应当侧重以下四个方面:

(1)从原因出发,尽可能定量地分析不同气候、物源、构造等条件下的混合沉积作用与混积岩特征。例如通过对野外露头或连续取心段的密集取样分析,借助岩心和薄片观察等手段,结合微量元素、同位素等化验分析数据,寻找沉积环境与混合沉积之间的关联;

(2)将岩心信息与测井、地震资料相结合,建立尽可能详细精确的地球物理响应模板,更直观地分析混积岩空间展布特征;

(3)明确不同岩相混积岩的孔喉结构特征与成岩演化序列,建立混积岩储层与油气分布等之间的关系,在非均质性强的混积岩储层中寻找甜点分布

规律;

(4)结合细粒沉积学研究方法,建立跨越粗粒沉积区和细粒沉积区的混合沉积模式,力求更加全面地研究混合沉积体系,为常规和非常规油气勘探提供帮助。

2 金湖凹陷阜二段混合沉积特征

2.1 混积岩发育特征

苏北盆地金湖凹陷古近系阜宁组阜二段( $E_1f_2$ )作为主力烃源岩和重要储层,是一套混合沉积的产物。 $E_1f_2$  自下而上分为  $E_1f_2^3$ 、 $E_1f_2^2$ 、 $E_1f_2^1$  三个亚段。

(1)广义混积岩发育特征

图 1 为横跨金湖凹陷的近南北向剖面,宏观看  $E_1f_2^3$  整体以粉砂岩为主,部分地区见鲕粒灰岩或生物灰岩夹层,形成粉砂岩、生物灰岩与泥岩的层系混积,发育以陆源碎屑为主的混积岩。 $E_1f_2^2$  整体以生物灰岩、泥灰岩为主,局部地区发育粉砂岩夹层,形成以碳酸盐组分为主的混积岩,两个亚段岩性特征在纵向上差异较大。从平面上来看,由南往北随着陆源碎屑供给的减少, $E_1f_2^3$  逐渐由砂岩与泥岩互层(天 X84 井)向砂岩、灰质砂岩和泥岩互层转变(崔 20 井),直至转变为灰质砂岩、碳酸盐岩和泥岩互层的层系混积(桥 2 井),表明当陆源供给充分时,层系混积出现在相对远离物源的区域; $E_1f_2^2$  同样表现出沿砂体搬运方向碳酸盐组分逐渐升高的特征,但在远离物源的地区已经彻底转变为碳酸盐岩(崔 20 井、桥 2 井),层系混积出现在近物源区,表明当陆源供给不充分时,广义的混积岩分布在靠近物源的区域。

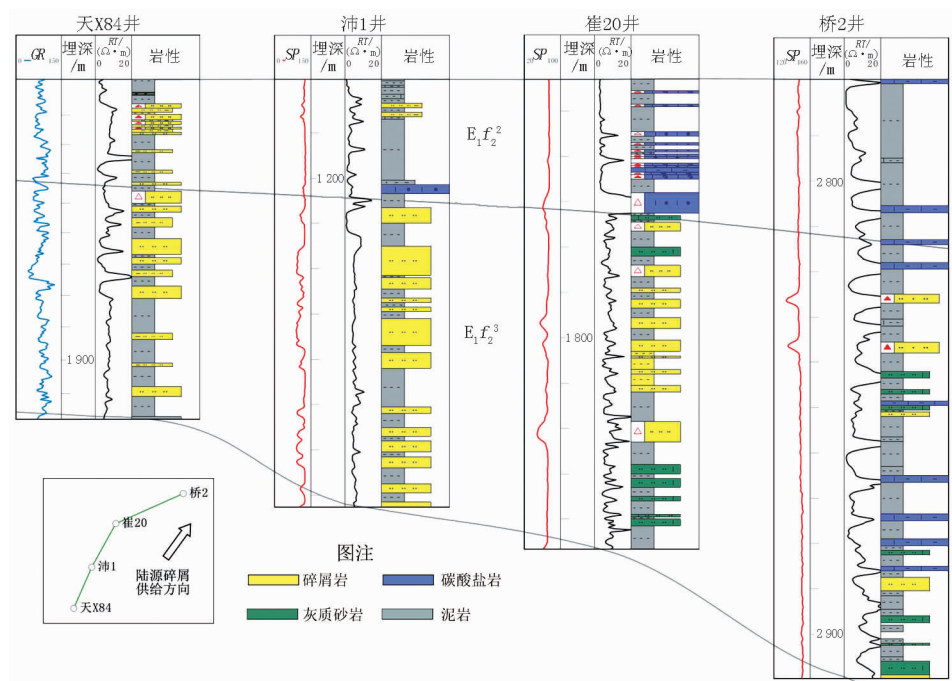


图 1 金湖凹陷  $E_1f_2^{2-3}$  混积特征

(2) 狭义混积岩发育特征

金湖凹陷  $E_1f_2$  不仅发育层系混积(广义混积岩),还发育典型的岩性混积(狭义混积岩)。以位于金湖凹陷西部的河 X4 井及中部的唐 5 井为例,这两口井的  $E_1f_2^3$  均以 1~2 m 厚的粉砂岩、灰质粉

砂岩夹 0.5 m 左右的鲕粒灰岩构成广义的混积岩(图 2)。

薄片观察表明,混积层系中的砂岩或碳酸盐岩都含有异质成分,由石英、长石与碳酸盐颗粒混积而成,属于典型的狭义混积岩。

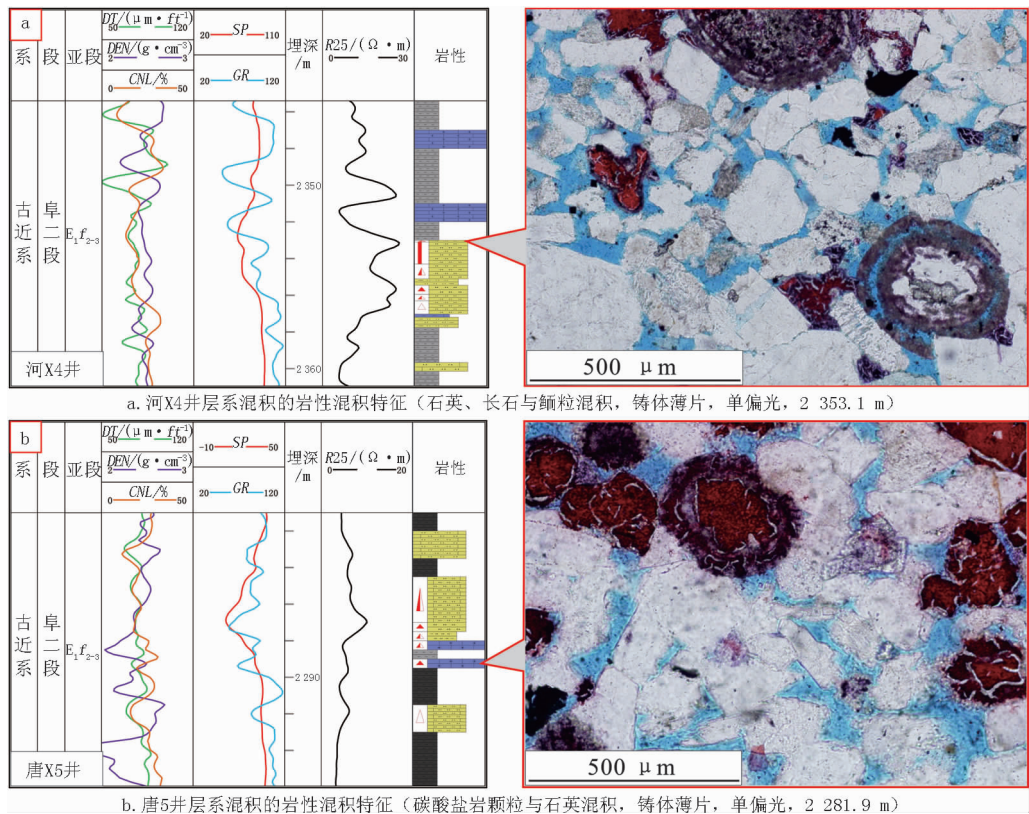


图 2 苏北盆地金湖凹陷  $E_1f_2$  混合沉积特征

狭义混积岩的发育意味着传统的碎屑岩/碳酸盐岩的岩相分类方案不足以准确指示金湖凹陷  $E_1f_2$  沉积环境意义,不利于开展准确的储层预测。陆相湖盆混合沉积的出现通常指示了相对咸化的水体:当河流进入咸化湖盆时,较大的沉积区水体密度很可能导致河水所携沉积物呈羽状,在水体表层漂浮扩散,不易在河口处发生沉积,因此混积岩储层展布特征往往不同于正常淡水湖泊沉积。例如, $E_1f_2^3$  沉积时期金湖凹陷南部的三角洲沉积体系主要发育在张八岭隆起至铜城断裂带以西约 20 km 跨度的地区,而从铜城断裂带到闵桥地区约 35 km 的广大地区都以浅湖亚相砂坪、砂坝沉积为主,这与其上部阜三段沉积时期金湖凹陷南部整体发育三角洲沉积的

特征差异较大,表明砂体空间展布整体规律很可能与沉积水体性质密切相关。

## 2.2 混合沉积主控因素

(1)干热咸化水体是金湖凹陷  $E_1f_2$  发育混合沉积的基础

苏北盆地  $E_1f_2$  沉积时期水体咸化程度相当高(表 2),这是金湖凹陷发生混合沉积的物质基础。有学者认为  $E_1f_2$  水体咸化与海侵有关,甚至认为应当把苏北盆地  $E_1f_2$  归属到海陆过渡环境的泻湖沉积而非湖泊沉积。这是因为苏北盆地  $E_1f_2$  含有孔虫、多毛纲虫管、新单角介、沟鞭藻等指示海相或与海有关的生物化石,并且  $E_1f_2$  碎屑岩中存在原生海绿石,这些证据都表明苏北盆地曾遭受海侵。

表 2 河参 1 井阜二段泥岩微量元素特征

样品 埋深/m	B/( $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ )	盐度	B/Ga	Sr/( $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ )	Ba/( $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ )	Sr/Ba	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /%
	淡水 <60 咸水 >100		湖水 3-3.3 海水 4.5-5	海水常量元素	盐度高 易沉淀	淡水 <1 咸水 >1	指示陆源碎屑
3 103.76	144	高	5.4	607	566	1.07	15.7
3 107.61	126	高	4.3	765	515	1.49	16.7
3 118.61	81	低	3.5	2 758	575	4.8	7.1
3 128.86	113	高	4.7	1 515	591	2.56	14.1
3 136.80	68	低	2.4	3 568	648	5.51	2.9
3 154.51	108	高	3.6	1 771	422	4.2	12.0
3 196.89	125	高	4.0	530	279	1.9	15.6

B 元素含量通常被用作指示水体盐度最直接的指标,地球化学研究中最经典的两类古盐度计算公式都是基于元素 B 含量展开的。元素 B 含量通常在淡水中小于 60  $\mu\text{g/g}$ ,而在咸水中大于 100  $\mu\text{g/g}$ ,据此标准,金湖凹陷  $E_1f_2$  沉积水体基本属于咸水。常用于指示水体盐度的另一项地化指标是元素 Sr,通常用 Sr/Ba 比值来表示,这是因为  $\text{BaSO}_4$  的溶解度远远小于  $\text{SrSO}_4$ ,因此随着水体盐度的增加( $\text{SO}_4^{2-}$ 增多), $\text{Ba}^{2+}$ 含量将迅速降低。金湖凹陷  $E_1f_2$  地化指标存在这样一个有趣的现象:元素 B 与 Sr/Ba 值所指示的古盐度特征是矛盾的(表 2 中元素 Sr 的高值对应着元素 B 的低值)。笔者大胆推测这很可能意味着金湖凹陷  $E_1f_2$  沉积时期在干旱还原气候下形成了盐度极高(高于同时期海水)的湖水,期间存在着至少两期海侵(表 2 中对应低 B 含量和高 Sr 含量特征),但海侵的结果反而是造成了湖水盐度的下降。这是因为元素 Sr 虽然是湖水中的微量元素,却同时是海水中的常量元素,因此海侵必然造成 Sr 含量的增加;而元素 B 含量与水体盐度

关系更加直接,当  $E_1f_2$  湖水盐度大于海水时,海侵造成湖水淡化(B 含量降低)也就不足为奇了。事实上,指示陆源供给的 Al 等元素的含量变化也与上述推论一致:发生海侵时陆源供给减少,Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量亦明显降低。

关于苏北盆地  $E_1f_2$  水体咸化的成因还有待更多证据的支持。通过上述地化资料可以明确认识:金湖凹陷  $E_1f_2$  沉积时期水体盐度很大,同时由于金湖凹陷南部的隆起区持续提供大量陆源碎屑,因此混合沉积广泛发育,这样的混积成因很可能与渤海湾盆地沙河街组类似。

(2)充足的陆源供给是金湖凹陷  $E_1f_2$  混积岩发育的必要条件

金湖凹陷  $E_1f_2^2$  发育以碳酸盐为主的混积岩, $E_1f_2^3$  发育以碎屑组分为主的混积岩,二者之间必然存在着沉积环境的长时间突变,属于典型的原地混合。而在  $E_1f_2^2$  或  $E_1f_2^3$  内部,在某一特定的地质历史时期中,稳定的沉积环境下金湖凹陷某一地区可能发育浑水三角洲沉积体系或清水碳酸盐岩台地沉



积体系。此后随着沉积背景的缓慢变化,不同地区的相带边界将会发生扩散,这就导致了整体沉积序列上层系混积的出现、不同相带边缘岩性混积的出现。本文在研究金湖凹陷不同地区钻、测井资料的基础上总结了混合沉积岩相分布概略模式(图 3):

当碎屑物质供给充足时,例如  $E_1f_2^3$  沉积时期,金湖凹陷汉涧斜坡和西斜坡地区主要发育三角洲砂体,大量碎屑物质抑制了碳酸盐岩的生成,仅见少量生物灰岩作为夹层零星分布在西斜坡内坡带;闵桥地区此时正处火山喷发期,大量火山营养物质有利于生物生长,因此玄武岩中常见生物灰岩。此阶段受湖平面升降和陆源供给的影响,广义混积岩相对常见,而狭义混积岩主要出现在受陆源物质影响较弱的西斜坡和汉涧斜坡内坡带。

当碎屑物质供给不足时,例如  $E_1f_2^2$  沉积时期,金湖凹陷整体以发育碳酸盐岩台地沉积为特征,主要在西斜坡、闵桥地区火山岩隆起等水下高部位发育了生物灰岩和颗粒灰岩,其他低能环境则以沉积泥晶灰岩、泥质灰岩等为特征;相对较纯的砂岩仅出现在汉涧斜坡外坡带,分布相当局限。此阶段金湖凹陷沉积背景十分有利于碳酸盐岩的生产,混积岩的发育受到限制,局限分布在陆源供给相对充足的汉涧斜坡附近。

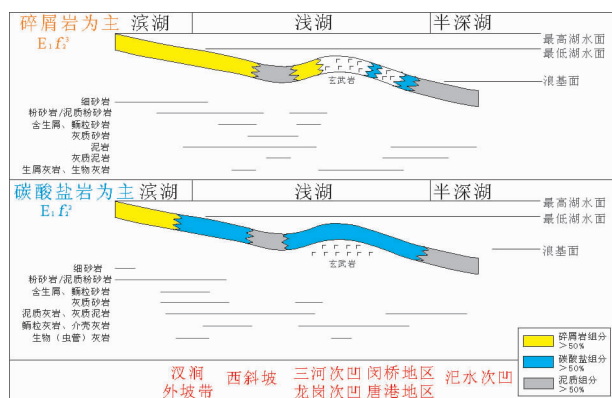


图 3 苏北盆地金湖凹陷  $E_1f_2$  碎屑主控和碳酸盐主控的混合沉积岩相分布概略模式

### 2.3 混积岩油气勘探研究方向

前人已经认识到金湖凹陷  $E_1f_2$  存在混合沉积现象<sup>[40]</sup>,但目前在  $E_1f_2$  通常只考虑层系混积,对不同层段分别采用碎屑岩储层或碳酸盐岩储层的研究思路开展工作。因此金湖凹陷  $E_1f_2$  常规油气领域的未来研究应包含两方面:一方面应建立混合沉积模式寻找有利相带,指导砂坝和生物灰岩的预测;另一方面,  $E_1f_2$  以碎屑岩为主的层段普遍低孔低

渗<sup>[41]</sup>,不同地区储层物性存在明显差异,应当分区带研究混积岩相特征并总结混合沉积对成岩作用的影响,指导甜点区预测。

此外,金湖凹陷  $E_1f_2$  作为主力烃源岩也是非常规油气勘探的有利区。未来的细粒沉积研究应当跳出金湖凹陷,建立整个东台拗陷  $E_1f_2$  从陆源供给区到半深湖-深湖区的完整混合沉积模式,明确细粒沉积物特征及空间展布规律,为非常规油气勘探提供帮助。

## 3 结论

(1)混合沉积现象在自然界普遍存在,混积岩的定义包含层系混积和岩性混积两方面,受海平面升降、气候变化等因素控制的咸化水体和构造活动、物源供给等因素控制的充足陆源供给是大多数混合沉积作用的基础。

(2)苏北盆地金湖凹陷  $E_1f_2$  干热气候下形成的咸化水体和凹陷西南部充足的陆源供给控制了混积岩的形成和分布,  $E_1f_2$  广义和狭义混积岩均很常见,不同岩相在空间上有规律地展布。

(3)混合沉积研究目前还存在混积主控因素量化程度有限、混积模式对储层预测指导不足等方面的问题。未来金湖凹陷的混合沉积研究应侧重于粗粒沉积物的成岩作用分析和细粒沉积物的空间分布预测两方面。

### 参考文献:

- [1] MOUNT J F. Mixing of siliciclastics and carbonate sediments in shallow shelf environments[J]. *Geology*, 1984, (12): 432-435.
- [2] 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): 87-92.
- [3] 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.
- [4] 张雄华. 混积岩的分类和成因[J]. *地质科技情报*, 2000, 19(4): 31-33.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 李祥辉,刘文均,郑荣才. 龙门山地区泥盆纪碳酸盐与硅质碎屑的混积相与混积机理[J]. *岩相古地理*, 1997, 17(3): 1-9.
- [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, 3(2): 47-54.
- [10] 徐伟,陈开远,曹正林,等. 咸化湖盆混积岩成因机理研究[J]. *岩石学报*, 2014, 30(6): 1804-1816.
- [11] 杨永剑,刘家铎,田景春,等. 塔里木盆地上奥陶统桑塔木组

- 混合沉积特征及控制因素[J]. 地质论评, 2011, 57(2): 185 - 192.
- [12] 尹柯惟, 刘树根, 宋金民, 等. 川北南江地区中下寒武统混积特征研究[J]. 天然气技术与经济, 2014, 8(6): 5 - 8.
- [13] 马伯永, 王根厚, 李尚林, 等. 羌塘盆地东部中侏罗统陆源碎屑与碳酸盐混合沉积成岩特征[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2015, 45(5): 1310 - 1321.
- [14] 张雄华. 雪峰古陆边缘上石炭统陆源碎屑和碳酸盐混合沉积[J]. 地层学杂志, 2003, 27(1): 54 - 58.
- [15] BASSANT P, JANSON X, BUCHEM F V, et al. Mut Basin, Turkey: Miocene carbonate depositional styles and mixed systems in an icehouse setting [J]. AAPG Bulletin, 2017, 101(4): 533 - 541.
- [16] 张丽媛, 刘瑛, 卜晓阳, 等. 费尔干纳盆地巴特肯地区混合沉积的特征及成因[J]. 科技导报, 2016, 34(18): 209 - 220.
- [17] 李小平, 施和生, 杜家元, 等. 珠江口盆地番禺低隆起东部珠江组沉积环境的恢复[J]. 海相油气地质, 2015, 20(1): 25 - 35.
- [18] 谭先锋, 李志军, 蒋艳霞, 等. 渝东南地区下志留统石牛栏组混合沉积作用及对生物礁发育的制约[J]. 油气地质与采收率, 2014, 21(3): 6 - 14.
- [19] 伏美燕, 张哨楠, 赵秀, 等. 塔里木盆地巴楚—麦盖提地区石炭系混合沉积研究[J]. 古地理学报, 2012, 14(2): 155 - 164.
- [20] 郝彬, 刘伟, 汪泽成, 等. 四川盆地奥陶统混合沉积特征[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2015, 42(5): 579 - 588.
- [21] 梁薇, 牟传龙, 周恩恩, 等. 湖南寒武系第三统混积岩沉积特征与成因探讨[J]. 地质论评, 2016, 62(4): 881 - 895.
- [22] 董桂玉, 何幼斌, 陈洪德, 等. 湖南石门杨家坪下寒武统杷榔组三段混合沉积研究[J]. 地质论评, 2008, 54(5): 593 - 601.
- [23] 李灵波, 许淑梅, 冯怀伟, 等. 贺兰山下古生界陆源碎屑—碳酸盐岩混合沉积特征[J]. 地质科学, 2015, 50(2): 597 - 610.
- [24] 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.
- [25] 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.
- [26] 郑德顺, 程涌, 李明龙, 等. 济源盆地中侏罗统马凹组上段混合沉积特征及其控制因素[J]. 沉积与特提斯地质, 2015, 35(1): 102 - 108.
- [27] 王金友, 张立强, 张世奇, 等. 济阳拗陷沾化凹陷沙二段湖相混积岩沉积特征及成因分析[J]. 地质论评, 2013, 59(6): 1085 - 1096.
- [28] 毕彩芹, 朱强, 胡志方, 等. 渤海湾盆地济阳拗陷沾车地区沙四上亚段湖相碳酸盐岩储层特征[J]. 石油实验地质, 2017, 39(2): 203 - 212.
- [29] 刘志刚, 周心怀, 李建平, 等. 渤海海域石臼坨凸起东段 36 - 3 构造古近系沙二段储集层特征及控制因素[J]. 石油与天然气地质, 2011, 32(54): 832 - 838.
- [30] 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.
- [31] 嵇喜准, 王琪, 张瑞, 等. 柴达木盆地北缘下干柴沟组下段湖相混合沉积发育特征及其对储层的影响[J]. 沉积学报, 2013, 31(4): 724 - 729.
- [32] 宋永, 周路, 郭旭光, 等. 准噶尔盆地吉木萨尔凹陷芦草沟组湖相云质致密油储层特征与分布规律[J]. 岩石学报, 2017, 33(4): 1159 - 1170.
- [33] 张宁生, 任晓娟, 魏金星, 等. 柴达木盆地南翼山混积岩储层岩石类型及其与油气分布的关系[J]. 石油学报, 2006, 27(1): 42 - 46.
- [34] 张敏, 尹成明, 寿建峰, 等. 柴达木盆地西部地区古近系及新近系碳酸盐岩沉积相[J]. 古地理学报, 2004, 6(4): 391 - 400.
- [35] 陈登钱, 沈晓双, 崔俊, 等. 柴达木盆地英西地区深部混积岩储层特征及控制因素[J]. 岩性油气藏, 2015, 27(5): 211 - 217.
- [36] 司马立强, 杨毅, 吴丰, 等. 柴西北小梁山地区狮子沟组混积岩储层评价[J]. 现代地质, 2014, 28(1): 173 - 180.
- [37] 任晓娟, 魏金星, 康有新, 等. 柴西南翼山地区藻灰岩层储层特征及成因分析[J]. 沉积学报, 2006, 24(2): 217 - 222.
- [38] 冯进来, 胡凯, 曹剑, 等. 陆源碎屑与碳酸盐混积岩及其油气地质意义[J]. 高校地质学报, 2011, 17(2): 297 - 307.
- [39] BRIAN P. Coffey, RICHARD F. Sunde. Lithology - based sequence - stratigraphic framework of a mixed carbonate - siliciclastic succession, Lower Cretaceous, Atlantic coastal plain [J]. AAPG Bulletin, 2014, 98(8): 1599 - 1630.
- [40] 苏娟, 刘辰生, 于汪. 金湖凹陷西斜坡阜宁组灰岩段成因机理[J]. 石油实验地质, 2015, 37(2): 172 - 178.
- [41] 马英俊. 苏北盆地金湖凹陷阜二段砂岩物性影响因素分析[J]. 石油实验地质, 2017, 39(4): 477 - 483.

(编辑 杨芝文)