

doi: 10.19509/j.cnki.dzkq.2019.0403

王玉, 漆智, 杨朝强, 等. 浅海重力流储层沉积模式新认识[J]. 地质科技情报, 2019, 38(4): 16-22.

浅海重力流储层沉积模式新认识

王玉¹, 漆智¹, 杨朝强¹, 马华帅¹, 邹金来¹, 任影²

(1. 中海石油(中国)有限公司湛江分公司, 广东 湛江 524057; 2. 中国石油大学(北京)地球科学学院, 北京 102200)

摘要: D气田黄流组一段为浅海陆架背景下的海底扇沉积, 沉积微相平面展布复杂, 储层具有很强的非均质性。开展沉积机理研究, 对于厘清海底扇沉积微相展布、预测砂体展布具有重要意义。通过压实校正恢复古地貌, 基于粒度标准偏差开展了水动力分析。随后, 在综合分析古物源、古地貌、古水深、古水动力等特征基础上, 明确浅海重力流沉积物的搬运作用明显受到坡折带、洼陷、沟谷等地貌的控制, 并建立了先成洼陷限制性重力流充填—溢出、斜坡坡折下侵蚀—充填—分流、平缓斜坡非限制性漫流3种浅海海底扇沉积模式。

关键词: 海底扇; 古地貌; 古水动力; 重力流; 沉积模式

中图分类号: P618.130.2⁺1

文献标志码: A

文章编号: 1000-7849(2019)04-0016-07

New Understanding of Sedimentary Model of Gravity Flow Reservoir in Shallow Sea

Wang Yu¹, Qi Zhi¹, Yang Zhaoqiang¹, Ma Huashuai¹, Huan Jinlai¹, Ren Ying²

(1. Zhanjiang Branch, CNOOC China Limited, Zhanjiang Guangdong 524057, China;

2. College of Earth Sciences, China University of Petroleum(Beijing), Beijing 102200, China)

Abstract: Submarine fan deposition is developed under the background of shallow shelf in D Gasfield. The distribution of sedimentary micro-facies and the heterogeneity of reservoir is complex. The study of sedimentation mechanism has important implications for clarifying micro-facies distribution and predicting sand bodies. This paper reconstructs paleo-geographic environments through compaction correction and analyzes paleo-hydrodynamics based on deviation of granulometry. Comprehensive analysis of ancient sources, paleo-geography, paleo-water depth and paleo-hydrodynamics clarifies that the handling of gravity flow sediments in the shallow water is obviously controlled by various landforms such as slope break belts, depressions, and valleys. Based on the above study, three types of shallow submarine fan sedimentation model are established: restrictive gravity flow filling-overflow model in pre-depression, gravity flow erosion-filling-shunting model under slopebreak, and non-restrictive overflow model on flat slopes.

Key words: submarine fan; paleo-geographic; paleo-hydrodynamic; gravity flow; deposition mode

相较于深水重力流的沉积特征、成因机制和储层展布等方面的研究^[1-2], 浅海重力流的微相组成、沉积模式和沉积机理等方面的研究程度较低, 缺乏较为系统的认识。其中, 莺歌海盆地浅海陆架背景下的重力流沉积已经过多轮研究, 并取得了一系列

共识, 例如, D区发育一套浅海陆架背景下的非典型海底扇沉积^[3-4], 并受到海平面、古地貌等的影响^[5-6]。笔者拟对莺歌海盆地D区的古地貌、古水动力、古水深和古物源等进行综合分析, 明确这一浅海海底扇沉积的主控因素, 最终建立浅海海底扇沉

收稿日期: 2018-06-22

编辑: 杨勇

基金项目: 国家科技重大专项课题(2016ZX05024-005)

作者简介: 王玉(1991—), 女, 工程师, 主要从事油气田开发地质及储层研究工作。E-mail: wangyu20@cnooc.com.cn

积模式。

1 浅海海底扇沉积特征

D 区位于南海北部大陆架西区的莺歌海盆地内,具体位置在盆地中央泥底辟背斜构造带的西部(图 1),以浅海环境下的重力流沉积为主;气藏较为发育,主力气层位于黄流组一段,孔隙度分布在 16.3%~20.0%之间,具中孔特征,渗透率变化范围较大,分布在 0.45~200 μm^2 之间。在构造和岩性作用下,气藏内部存在多个相互独立的气水系统。气藏驱动类型为高温高压条件下的弹性弱边水驱动气藏,原始地层压力较大(压力系数为 1.70~2.00),地层温度较高(地温梯度为 4.17 $^{\circ}\text{C}/\text{hm}$)。

黄流组一段的储集层以浅海背景下的非典型海底扇沉积为主,沉积过程中受到牵引流的改造,岩心上可见块状层理、液化变形构造等重力流沉积特点,亦可见平行层理、脉状层理等牵引流沉积构造(图 2)。海底扇沉积体系又可进一步识别出扇中、扇缘亚相沉积,扇中发育侵蚀水道、水道侧缘、分流水道沉积微相,扇缘发育朵叶体沉积微相(图 2)。黄流组一段沉积时越南蓝江物源供给充足,导致发育的

海底扇规模较大,在蓝江三角洲体系和呈 NE—SW 向展布的沉积坡折带的影响下,海底扇位于蓝江三角洲的前缘远端。其中,海底扇的沉降中心位于 D-2 气田范围内, D-2 气田所在位置地势较低,发育大

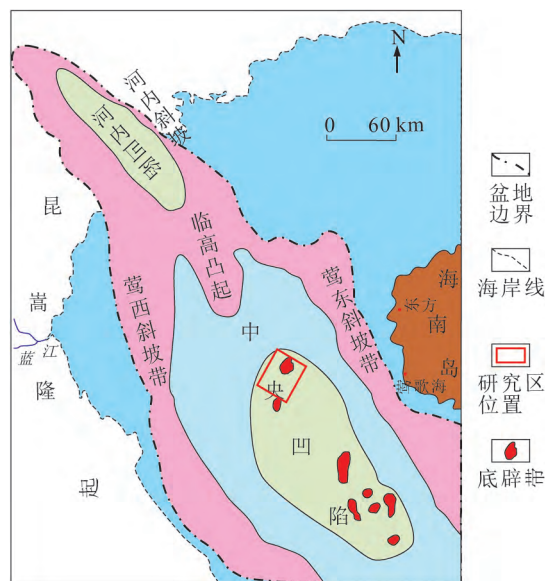
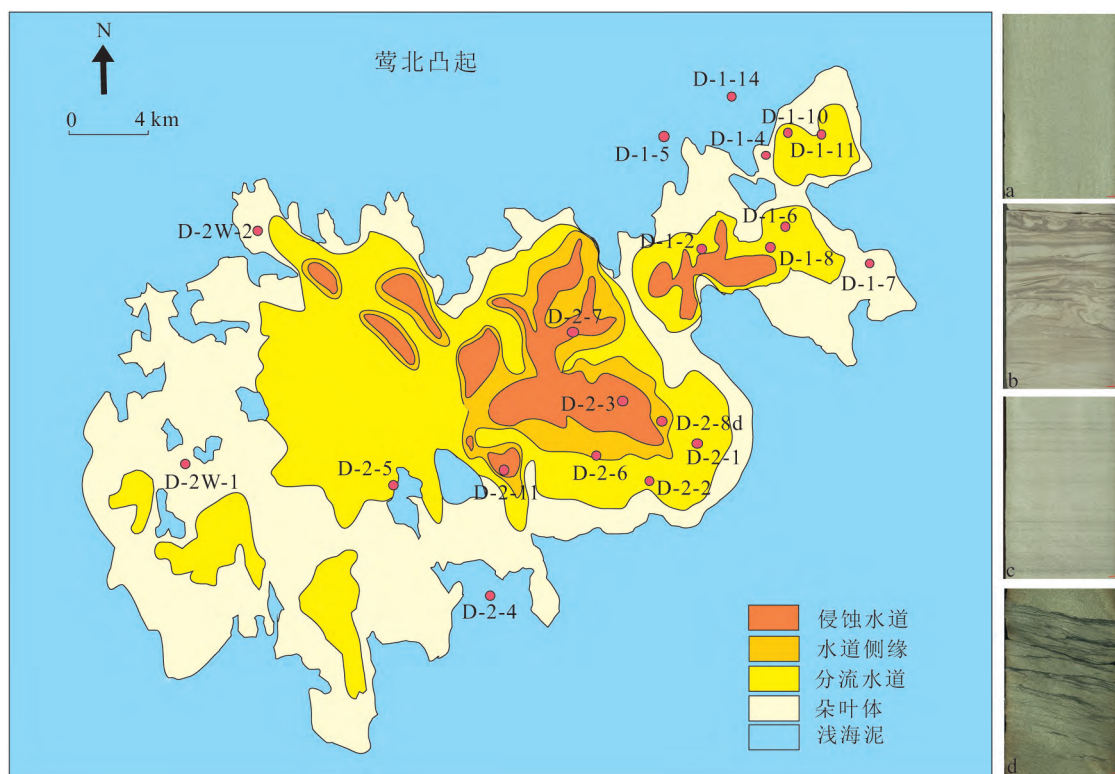


图 1 D 气田地理位置

Fig. 1 Location of D Gasfield



a. 浅灰色块状层理粉砂岩相,发育块状构造, D-1-2 井, 2 985.08 m; b. 浅灰色变形层理粉砂岩相, 枕状构造, 下部液化变形, D-1-6 井, 2 861.9 m; c. 平行层理细砂岩相, D-1-6 井, 2 861.9 m; d. 灰色复合层理细砂岩相, 可见脉状层理, D-2-8d 井, 3 074.72 m

图 2 D 气田黄流组一段沉积微相和典型沉积构造图

Fig. 2 Sedimentary microfacies and typical sedimentary structure of the Huangliu Formation in D Gasfield

套厚层侵蚀水道充填沉积,周边发育分流水道沉积;与之毗邻的 D-1 气田范围内发育一规模相对较小的侵蚀水道充填沉积,向前端过渡为朵叶体。工区西部以朵叶体沉积为主,局部发育孤立的分流水道。

2 浅海海底扇沉积背景

2.1 古地貌

沉积物的剥蚀、搬运及沉积作用均受到古地貌隆凹格局的影响^[7]。古地貌形态对重力流沉积体系的类型、沉积充填序列等具有显著的控制作用^[8]。在 D 区等时地层格架分析、全区地震解释、时深转换等工作基础上,通过压实校正恢复不同等时界面的古地貌。

黄流组一段沉积时期地形起伏较大,地势复杂,自北西至南东方向,发育多个不同级别的洼陷和坡折,且洼陷大小不等、深浅不一(图 3)。D 气田西区地势较为平坦,为相对平坦的平台区;从 D-2-4 井至 D-2-7 井方向发育一条弧形的坡折带,坡折带以东地势急剧变深,形成低洼的 D 气田区深槽或沟谷,是当时的沉降和沉积中心;D-2 和 D-1 区中间发育明显的小型隆起,并以 D-1-2 井和 D-2-1 井的连线处为边界,北东方向为 D-1 气田低洼区。这种隆凹相间的古地貌格局为 2 个气田侧向上砂体分布的不连续性提供了较为合理的解释。

古地貌特征对海底重力流沉积物的搬运作用和

沉积分布有重要的控制作用。D 区处于浅海背景下的斜坡沉积环境,斜坡坡降小,因此,长流程的深水水道不发育,发育流程较短的分流水道—侵蚀水道—朵叶体的复合沉积体,形成独特的沉积微相组合和砂体分布特征。

2.2 古物源

黄流组一段沉积时期,位于盆地中北部中央坳陷内的 D 区整体处于相对稳定的浅海环境,可能的物源供给包括西北部的红河体系、东部的海南岛隆起物源体系和西部的昆崙隆起物源体系^[4]。D 区黄流组重矿物以赤褐铁矿、白钛矿、锆石、电气石、石榴石、黄铁矿为主,主量元素、微量元素和稀土元素等地球化学信息分析表明,D 区母岩类型为中酸性火成岩,古水流以北西向为主^[9]。

通过地震剖面反射特征分析了研究区目的层段沉积时的物源方向,结果表明 D 区过 D-2-7 井及 D-2-2 井的北西—南东向地震剖面(图 4)具有明显的前积反射特征,地层厚度自边缘向中心有明显的加厚特征。基于上述地震剖面反射特征,判定 D-1 气田和 D-2 气田的物源均来自北西方向。

沉积物粒径大小及其组合情况是沉积物物源条件和水动力搬运过程等综合作用的结果,其空间分布可反映沉积物运移、沉积动力过程的能量分配等多种沉积环境信息^[10]。D 区沉积物粒度组分以细砂岩、粉砂岩为主;统计不同井区各粒度组分的平均体积分数,结果显示中砂体积分小于 10%,细砂

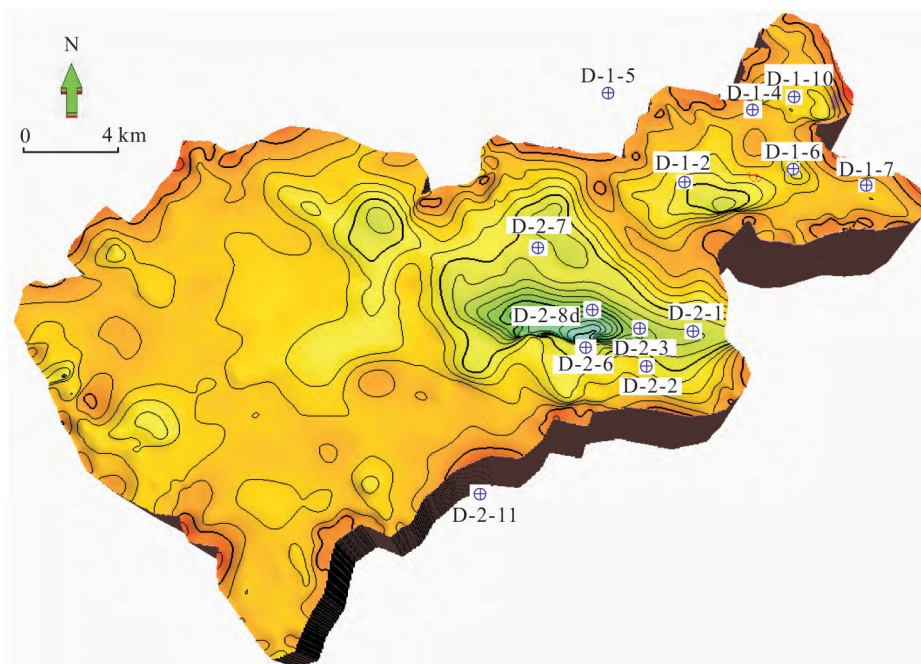


图 3 D 气田黄流组一段沉积前古地貌图

Fig. 3 Pre-deposition paleo-geography of the Huangliu Formation in D Gasfield

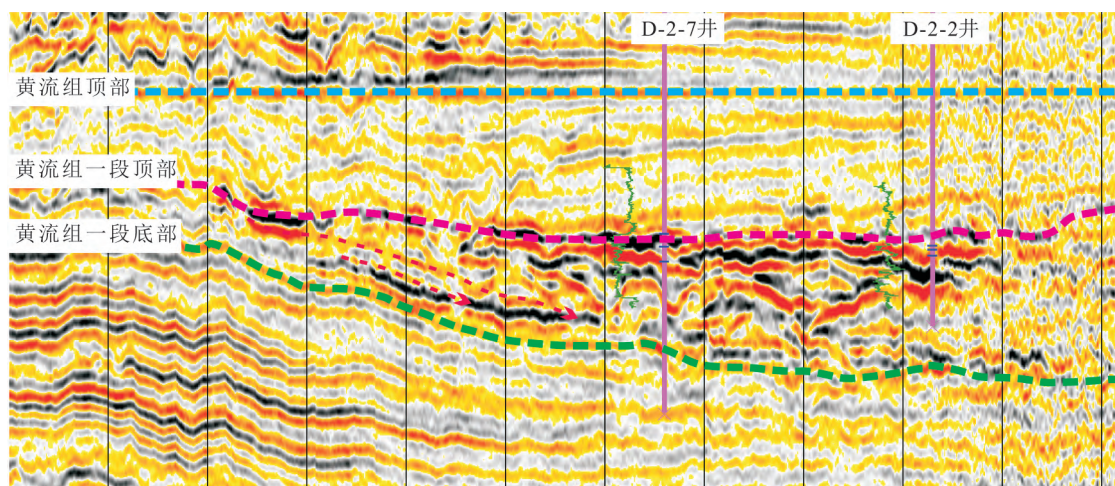


图4 D区过D-2-7井—D-2-2井北西—东南向地震剖面图(黄流组顶拉平)

Fig. 4 Northwest-southeast seismic profile through wells D-2-7 to D-2-2 in D Gasfield

体积分数分布在14.72%~45.53%之间,粉砂体积分数分布在39.31%~61.46%之间,泥质体积分数分布在11.84%~25.12%之间。平面粒度分布图揭示出D区自北西向南东中砂含量由有到无,细砂含量逐渐减少,泥质和粉砂含量自北西向南东逐渐增多(图5),推测D区局部物源可能来自北西方向,具体分布在D-1气田和D-2气田中间过渡的区域;此外,D-1-5与D-1-2井钻井证实其不含中砂组分,且粉砂含量高,推测D-1气田和D-2气田具有不同的沉积

物源。

综合研究区的沉积背景、重矿物组合特征、粒度展布以及地震剖面等分析结果,综合认为研究区的物源主要来自西部的蓝江三角洲体系。

2.3 古水深

古水深恢复是古沉积环境研究的重要内容,也是确定古代海平面变化、古地貌恢复的关键内容。D区取心井岩心中可见动藻迹,表征外浅海沉积环境;居住迹和觅食迹的比值反映水体在外浅海区与

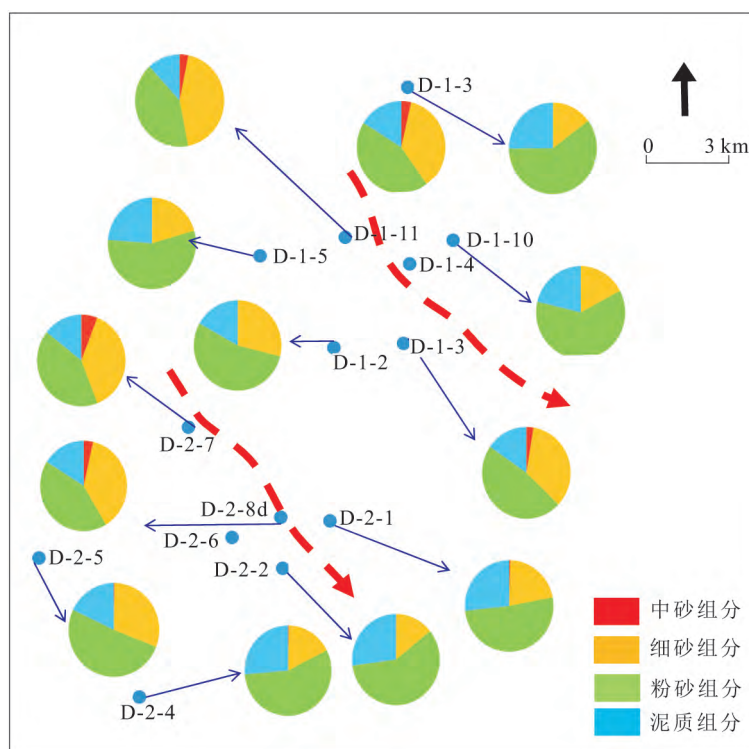


图5 D区黄流组一段粒度平面展布图

Fig. 5 Exhibition layout of particle size components in D Gasfield

内浅海区经历了 4 次浅深变化;藻类化石多为海相甲藻类;孢粉组合中红树林花粉含量变化大;元素地球化学特征中 Sr/Ba 比值在 0.12~0.56 之间;Walker“相当 B”含量在 149.11~307.62 之间;Couch 古盐度在 0.16‰~0.29‰ 之间,上述 3 个指标均指示微咸水环境。综合古生物特征、生物遗迹特征、元素地球化学特征等信息均指示研究区属于浅海沉积环境^[9]。

2.4 古水动力

古水动力条件是指沉积时期的波痕和水体的运动状况,既是重建古地理环境的重要研究内容,也是重建古地理环境的有效手段。位于浪基面之下的浅海环境存在多种水动力作用,如潮流、风暴潮、海流、重力流等。现今北部湾海域海流呈现季节性特征,冬季环流稳定,沿海南岛西侧进入湾内并表现为逆

时针环流;夏季环流具有与之相反的结构,外海水由越南沿岸进入湾内,沿岸北上并呈现为顺时针环流,整体上冬季环流较为明显。北部湾海域海流在海南岛附近呈现回转流特征,大部分地区以南北向往复流为主^[11-12]。

环境敏感粒度组分分析是一种从多峰态的频率分布曲线中分离出单一粒度组分以进行沉积水动力研究的方法,不同能量的水动力具有不同的环境敏感粒度组分^[13-14]。采用粒级—标准偏差变化可以计算沉积物的环境敏感粒度组分。

将反映全样沉积物粒度特征的粒度概率曲线图和反映单一沉积物粒度组分特征的粒级—标准偏差图相结合(图 6),揭示出研究区浅海底扇沉积时期存在 5 种环境敏感粒度组分(①~⑤),并分析其所表征的浅海水动力类型。环境敏感粒度组分⑤与

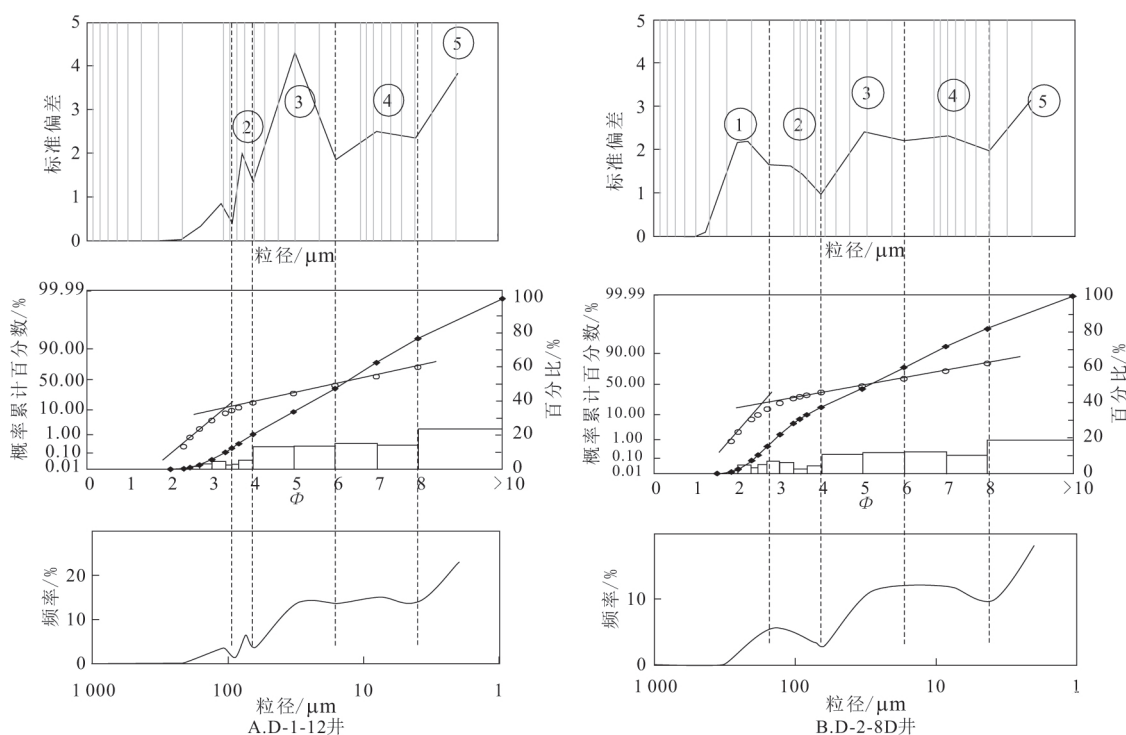


图 6 D 区不同类型曲线叠合图(①~⑤为环境敏感粒度组分)

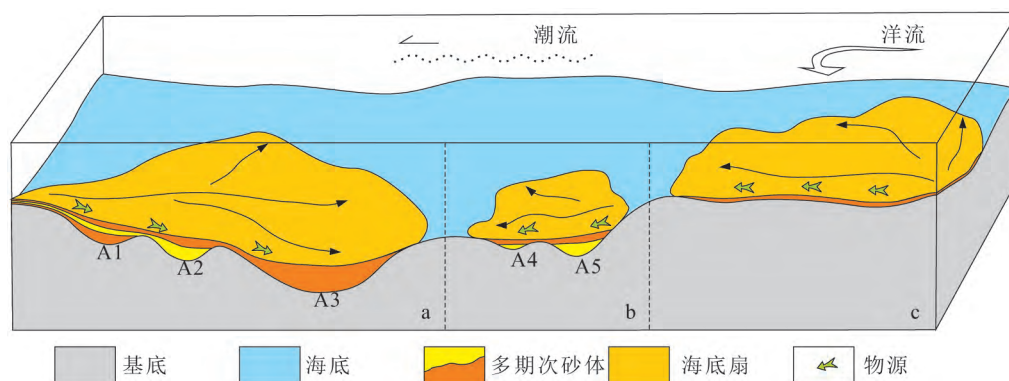
Fig. 6 Congruent diagrams of different types of grain-size curves in D Gasfield

粒度概率曲线图的悬浮次总体对应良好,是悬浮搬运的环境敏感粒度组分。环境敏感粒度组分③的粒度是研究区普遍发育的环境敏感粒度组分,结合 D-1-12 井岩心及成像测井资料综合分析,推断粒度组分③是潮流水动力环境的环境敏感粒度组分。环境敏感粒度组分①反映水动力条件较强,推测应为重力流水动力。环境敏感性粒度组分②为环境敏感组分①的延续,推测其可能为事件沉积后,沉积物本身携带的牵引力水动力。粒度组分④的粒度对应悬浮组分的细粒组分,可能为海流。综合上述分析结果,

认为研究区以重力流沉积为主,同时受到浅海海流和潮流的共同影响。

3 浅海海底扇沉积模式

D 区黄流组一段海底扇的微相组成与砂体分布主要受物源供给、海平面变化、古地貌和水动力条件等多种因素的控制。在 D 区沉积体系及沉积微相空间展布研究的基础上,结合古物源、古水深、古水动力、古地貌等的研究成果,建立了 D 区黄流组一



a. 先成洼陷限制性重力流侵蚀—充填—溢出沉积模式; b. 斜坡坡折下侵蚀—充填—分流沉积模式; c. 平缓斜坡非限制性漫流沉积模式

图7 D区浅海海底扇沉积模式

Fig. 7 Deposition mode of shallow sea in D area

段浅海海底扇沉积模式:海底扇沉积总体处于蓝江三角洲供源、挠曲坡折控砂的浅海背景下,具多物源、富砂的沉积特征,平面上海底扇沉积由多个朵叶体侧向复合而成。受区内多级坡折、先存洼陷、平缓斜坡等古地貌单元控制,海底扇内部的不同区域发育不同的沉积—充填模式,主要包括如下3种。

(1)先成洼陷限制性重力流侵蚀—充填—溢出模式

陆架斜坡上有多个规模不等的先成洼陷,重力流沉积物沿着斜坡纵断面向下移动,依次经历充填—溢出—再充填—再溢出的沉积过程。如图7-a所示,沉积物首先进入限制性先存洼陷A1内,开始侵蚀充填,直至充填满A1洼陷的有效可容纳空间,随后沉积物漫出并进入先存A2洼陷内开始侵蚀充填,至A2洼陷充填满后,沉积物再次漫出并进入A3洼陷内开始充填沉积。这一模式以D-2气田D-2-3/6井区内半限制性的侵蚀水道—分流水道带为典型实例(图2),发育在北东向展布的弧形坡折带以东,主体为近东西向长轴状、厚度巨大的多期叠置侵蚀—充填水道沉积,在侵蚀充填水道以南形成多个侧向迁移、叠置的分流水道。D-2气田沉积过程中受潮流、洋流改造明显,发育双黏土层、复合层理等多种牵引流沉积构造。

(2)斜坡坡折下侵蚀—充填—分流沉积模式

重力流沉积物在流经大型的斜坡坡折带后,流速大大增大,对下伏地层形成强烈的侵蚀作用,随后发生充填沉积作用;随着可容纳空间被侵蚀—充填水道占据,重力流沉积物向两侧发生分流,形成分流水道沉积(图7-b)。地形的剧烈变化可以导致浊流流态发生变化,由超临界流体转化为亚临界流体,相应地,发生侵蚀—沉积—侵蚀的转换。此外,侵蚀水道的规模与斜坡坡折的坡度相关。这种沉积模式由

于沉积速度较快,受牵引流改造较小。典型的实例是D-1气田D-1-2井至D-1-8井区发育的先存小洼陷,源自北西方向的重力流首先充填D-1-2井区深洼陷,形成圆坑状限定性厚层的充填水道沉积,充填满后向下游溢出,形成分流水道,进入D-1-10井区小洼陷,继续充填沉积作用直至充填满后溢出,形成分流水道、水道边缘沉积。

(3)平缓斜坡非限制性漫流沉积模式

平缓斜坡条件下,重力流沉积形成的分流水道,或发生侧向迁移摆动,或形成坡面漫流沉积,并以加积作用为主,侵蚀作用相对较弱(图7-c)。沉积物厚度一般较薄,侧向连续性中等—较差,重力流沉积能量相对减弱,海流、底流等牵引流的改造较强。典型的实例为黄流组一段沉积时期,D-2西区为平缓的斜坡,位于坡折带之上平台段的D-2气田区,形成披覆性的、薄层的、席状重力流沉积,并受到潮流和洋流的改造而产生牵引流沉积构造。

4 结 论

(1)D区黄流组一段储层总体为蓝江三角洲供源的浅海斜坡背景、多物源、富砂的海底扇沉积,海底扇由多个朵叶体侧向复合而成。各气田、各气组的沉积微相平面分布特征较复杂。

(2)气田区黄流组沉积前古地貌复杂,存在平缓斜坡、阶梯状斜坡,坡折带、限制性的圆形小洼陷、槽状洼陷等多种微地貌单元。浅海重力流沉积物搬运和沉积明显受坡折带、洼陷、沟谷等各种地貌的控制。

(3)受区内地貌单元控制,海底扇内部的不同区域发育不同的沉积—充填模式。侵蚀—充填—溢出分流模式合理地解释了短轴圆坑状侵蚀水道的成

因;坡折加强了重力流对下伏地层的侵蚀,在负地形中形成厚层的侵蚀—充填沉积。沉积水动力主要为低水位时期洪水成因重力流,外缘受到浅海底流(潮汐、海流等)的改造。

参考文献:

- [1] 刘嘉玲,刘君荣.深水沉积及海底扇相模式研究进展[J].长江大学学报:自然科学版,2013,10(14):30-32.
- [2] 孙国桐.深水重力流沉积研究进展[J].地质科技情报,2015,34(3):30-36.
- [3] 谢玉洪,范彩伟.莺歌海盆地东方区黄流组储层成因新认识[J].中国海上油气,2010,22(6):354-386.
- [4] 钟泽红,刘景环,张道军,等.莺歌海盆地东方区大型海底扇成因及沉积储层特征[J].石油学报,2013,34(增刊2):102-111.
- [5] 谢玉洪,王振峰,解习农,等.莺歌海盆地坡折带特征及其对沉积体系的控制[J].地球科学:中国地质大学学报,2004,29(5):569-574.
- [6] 裴健翔,陈杨,郝德峰,等.莺歌海盆地中央坳陷中新世海底扇识别及其形成控制因素[J].东北石油大学学报,2016,40(5):46-52.
- [7] 刘峰,裴健翔,汪洋,等.古地貌对海底扇沉积过程的控制及与油气富集的关系[J].中国海上油气,2015,27(4):36-45.
- [8] 向淑敏,魏刚,李建平,等.渤东凹陷古近系沙三段构造—古地貌对沉积的控制[J].大庆石油地质与开发,2010,29(3):18-21.
- [9] 黄银涛,姚光庆,周锋德,等.莺歌海盆地黄流组浅海重力流砂体物源分析及油气地质意义[J].地球科学,2016,41(9):1526-1537.
- [10] 刘付程,张存勇,彭俊,等.海州湾表层沉积物粒度的空间变异特征[J].海洋科学,2010,34(7):54-58.
- [11] 孙洪亮,黄卫民.北部湾潮汐潮流的三维数值模拟[J].海洋学报,2001,23(2):1-8.
- [12] 俎婷婷.北部湾环流及其机制的分析[D].青岛:中国海洋大学,2005.
- [13] 操应长,王健,刘惠民.利用环境敏感粒度组分分析滩坝砂体水动力学机制的初步探讨[J].沉积学报,2010,28(2):274-283.
- [14] 孙有斌,高抒,李军.边缘海陆源物质中环境敏感粒度组分的初步分析[J].科学通报,2003,48(1):83-86.