

文章编号:1000-0550(2011)04-0695-09

孟加拉湾缅甸若开盆地上新统斜坡水道复合体沉积特征

孙 辉 范国章 吕福亮 徐志诚 马宏霞

(杭州地质研究院 杭州 310023)

摘 要 斜坡水道复合体是孟加拉湾缅甸海上若开盆地上新统最重要深水沉积结构单元之一。研究工作以地震响应与深水储层之间的对应关系为指导,二、三维地震资料中的强振幅属性用以判断水道复合体内的粗粒沉积。利用多种地震技术,包括相干切片分析、地质异常体处理以及三维可视化,将斜坡水道复合体从背景中区分出来,并从斜坡水道复合体的外部几何形态、内部充填特征以及储层性质等方面进行了详细描述。

研究区上新统内刻画出几期规模较大的加积型水道砂,沿着水流方向,水道砂在 7~16 km 范围内变化,宽度不超过 10 km,垂向上由 3~5 个单砂层组成,单砂层之间彼此连通。加积斜坡水道复合体有望成为若开盆地最有利的勘探目标。

关键词 若开盆地 上新统 斜坡水道复合体 侵蚀 加积

第一作者简介 孙辉 女 1969 年出生 高级工程师 勘察地球物理 E-mail: sunh_hz@petrochina.com.cn

中图分类号 P512.2 **文献标识码** A

0 前言

近几年在几内亚湾,人们利用海底地震资料及钻井资料识别出一种新的深水斜坡结构单元——斜坡水道复合体^[1]。斜坡水道复合体也被称为局限性水道复合体,它是由浊流侵蚀、下切产生的长条形的负地形,水流对古老沉积物的侵蚀作用产生一个有限的空间,在此空间内,除了水道砂的沉积以外,也包括同期产生的越岸沉积及天然堤建造,它是斜坡部位的典型沉积特征。在缅甸若开盆地的上新统中,这种类型的水道较常见。在深水沉积体系中,它是非常重要的沉积物输导系统,向上与峡谷相连,向海盆方向演变成孤立弯曲水道、水道前端扇体。石油工业对深水水道已有了足够的重视,这种斜坡水道复合体已被证实为高产储层^[2],因此斜坡水道复合体的研究对海域勘探和战略决策尤为重要。

随着近年来孟加拉湾周缘油气勘探发现的逐年增加,若开盆地也真正成为油气勘探的热点地区,因此有必要针对这种深水沉积体系中的重要储集类型开展深入分析,研究它的分布形态、充填类型、及储层特征等,进而指导油气勘探生产。

1 若开盆地区域地质背景

若开盆地位于孟加拉湾东部边缘以及缅甸西部

沿海地区(图 1),长约 850 km,宽 200 km。它东部

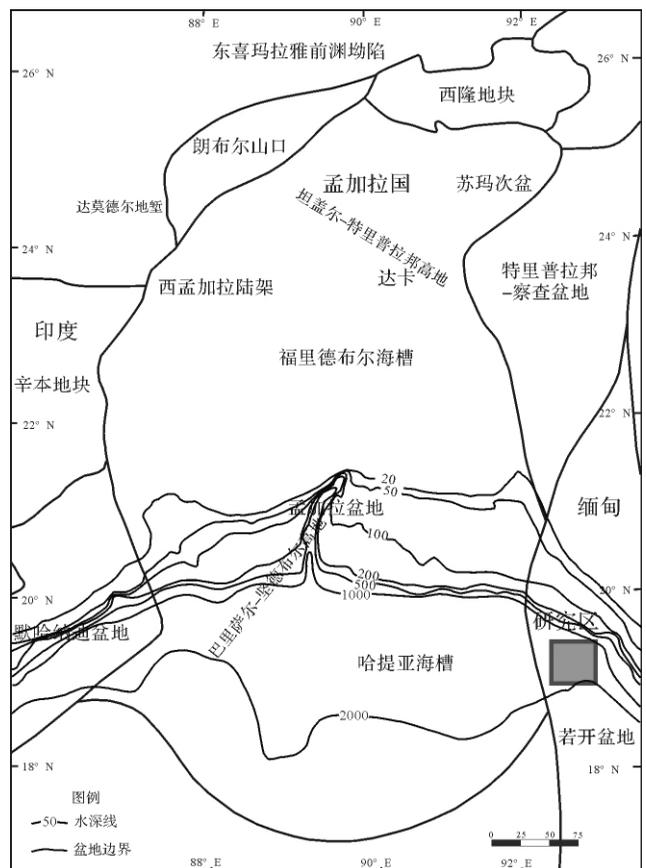


图 1 若开盆地地理位置图

Fig. 1 The geographical location of the Rakhine Basin

收稿日期:2010-07-29; 收修改稿日期:2011-09-26

以印缅蛇绿岩带为界,北部与孟加拉国的吉大港褶皱带、印度的特里普拉邦—加贾尔褶皱带以及迪桑复理石带相连。南部与安达曼—尼科巴—孙刺—爪哇前渊盆地系统相融合。

若开盆地沉积了晚白垩纪—全新世的地层,最大厚度超过20 000 m。同时,它覆盖了孟加拉湾东部的深海平原以及向西迁移的增生楔最新的部分,该增生楔与向东斜向俯冲到缅甸板块之下的印度洋板块相关。

1.1 区域构造演化

若开盆地的演化与古新世以来印度板块与缅甸板块的倾斜聚敛密切相关,同时与之后的增生楔的西向迁移也存在紧密联系^[3]。早古新世末期,若开盆地从缅甸中央盆地中分离而单独演化,随着增生楔的逐渐抬升,沿着增生楔海洋变浅,逐渐向西迁移的沉积中心发生快速沉降,这个过程一直持续了整个始新世。早渐新世时期,增生楔作为印缅山脉的原型开始出现。渐新世末期,该区遭受了一次海退,部分地区受到暴露和侵蚀,标志了强烈构造时期的开始^[4]。

随着早中新世的海侵,复理石沉积在盆地中部发生再建造。东南部安达曼海开放以及主要右旋转换断裂系统开始在全区发挥作用,它促使了晚中新世末期主要构造运动阶段的开始。伴随着阿拉干—约马山脉的出现,沉积中心从阿拉干沿海地区进一步向西迁移进入孟加拉湾。早上新世时期,斜坡—盆底扇沉积体系在增生楔的西部迅速建造,它向西迁移进入孟加拉湾。到早更新世时,处于孟加拉湾盆地系统东部边缘的若开盆地形成现今的形态。

1.2 沉积环境

研究区水深1 300~2 100 m,中新统到现今海底主要沉积了世界最大的海底扇——孟加拉扇。孟加拉扇在早始新世开始发育,其形成与喜马拉雅山的抬升密切相关^[3,4]。分别源于喜马拉雅山南、北两麓的恒河和布拉马普特拉河将大量陆源碎屑携至恒河三角洲,通过重力流活动,“无底峡谷”将沉积物从三角洲输送到南部的大陆坡乃至深海平原,经过漫长的地质历史时期形成海底扇体。该海底扇的粗粒沉积物非常缺乏,除了主要活动沟道的深海钻探资料曾揭示一些重要的砂质浊积单元外,其主体(特别是在中扇和下扇区)一般由质地均匀的细砂、粉砂和泥岩组成^[5]。邻区生物地层资料表明研究区东部近陆架上上新统为半深海环境沉积,主要沉积结构单元类型为水道、水道前端扇体、天然堤—越岸沉积以及块体

搬运沉积等。岩芯分析表明研究区地层岩性为砂岩、粉砂岩及泥岩。

2 斜坡水道复合体的沉积特征

2.1 研究方法

根据近两年来针对研究区所开展的工作,我们对研究区上新统内发育的斜坡水道复合体沉积特征进行了详细的总结。由于研究区无钻井资料,主要工作是以地震资料为基础,以地震响应与深水储层之间的对应关系为指导开展研究。许多深海科学钻探研究以及众多深水油气田勘探实践均已证明深水中储层与地震剖面上的强振幅具有非常好的对应关系。深海科学钻探中曾对世界上两个重要盆底扇体进行取芯,ODDP96航次对密西西比扇取芯^[6],ODP155航次对亚马逊扇取芯^[7]。这些成果在建立整个水道充填沉积粒度变化模式的同时,也证明水道充填中的粗粒沉积物对应地震强振幅反射。此外,世界上许多深水油气田储层均表现为强振幅反射特征,如安哥拉吉拉索尔油田,储层为局限性多期叠置的水道复合体砂岩,地震剖面上表现为强振幅特征;印度Dhirubhai气田的深水峡谷充填沉积中强振幅代表含气砂岩。因此在本区,强振幅属性被用以判断水道复合体内粗粒沉积物可能形成的地震响应。

研究方法上,以地震资料为基础开展深水斜坡水道复合体的研究,总结局限性斜坡水道复合体的地震反射特征,外部反射形态和内部反射结构,并分析各种类型局限性水道复合体的平面及剖面展布特征、形态、规模等;三维地震资料使具有复杂内部形态的局限性水道复合体更易成像,利用提取地震振幅属性、相干体分析、地质异常体处理、三维可视化等技术手段,将斜坡水道复合体从背景中分离出来,分析水道复合体内充填沉积的种类、形态、组成以及叠覆特点。参考英国北海、美国墨西哥湾等地区多个深水区块的岩芯分析资料,对深水水道充填储层性质进行描述。

2.2 外部形态

限制性水道是斜坡部位的典型沉积特征,他们向上与峡谷相连,向下演变成水道前端扇体、孤立弯曲水道。与陆上的冲积水道相比,斜坡水道复合体规模巨大,而且有着变化的形态,横剖面上形态较复杂,虽然多数具有U形的外形,但由于深水沉积的复杂程度高,侧向、垂向具有很强的易变性,既使同一水道复合体,其侵蚀能力及局限性特征也会随沉积位置的变化逐渐减弱,最终其外部形态发生明显变化。当水道

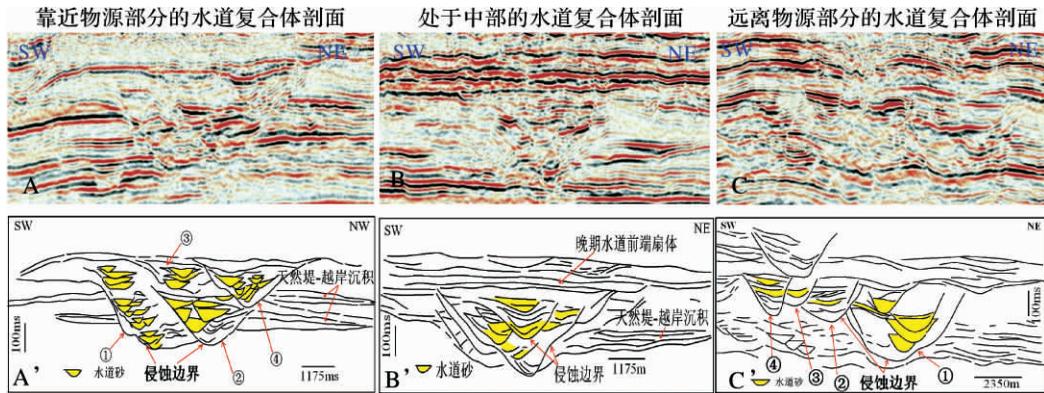


图 2 研究区内同一局限性水道复合体不同部位的地震剖面及沉积模式图

Fig. 2 Seismic profiles and modes showing different parts of a confined channel complex in the study area

复合体流过的地形坡度大、内部水流速度快以及流过的可容空间较小时,它对下伏斜坡地层形成强烈侵蚀,具有明显的侵蚀边界;但当沉积物间断发生溢岸时,一个多期侵蚀—沉积的水道复合体的边界在地震剖面上比较难于识别,主要侵蚀界面也并不连续。从近物源区到远物源区,有组织的沉积模式伴随着水道复合体局限特征的减弱而发生改变,形成无明显规律的水道接触方式。图 2 中为沿着水流方向,同一水道复合体不同部位的地震剖面(上部)及对应的沉积模式图。图 2A 和 2A' 是一个局限性水道复合体组,由四期水道复合体组成,它们各自都具有多期充填的特点,每次充填过程都是在一个局限的侵蚀边界内,由早到晚分别用①②③④表示。图 2B 和 2B' 显示了多期水道充填沉积发育于同一个局限空间内,但内部侵蚀边界不明显,内部充填难以分出有规律的期次,局限性水道复合体的“组”特征消失;图 2C 和 2C' 不具有“局限”性特征,水道分布分散,虽也可分辨出四期,但这些水道很难与近源端的水道复合体形成一一对应的关系。

沿着水流方向,局限性水道复合体的平面形态是变化的。在近物源地区水道复合体的视宽度较小,在相对远离物源的位置视宽度会明显增大。图 3 中显示了 3D 工区内沿着一条斜坡水道复合体底部边界的沿层相干切片。水道复合体近物源处水道宽度仅 1.75 km,而在远离物源的部位其宽度显著增大,可达 7 km。此外,沿着水流流动的方向,水道充填类型也将发生变化,水道由侵蚀作用占据主导地位而改变为加积作用占据主导地位,外部天然堤—越岸沉积增加,内水道不断横向迁移、叠覆,最终导致水道复合体的宽度增加。

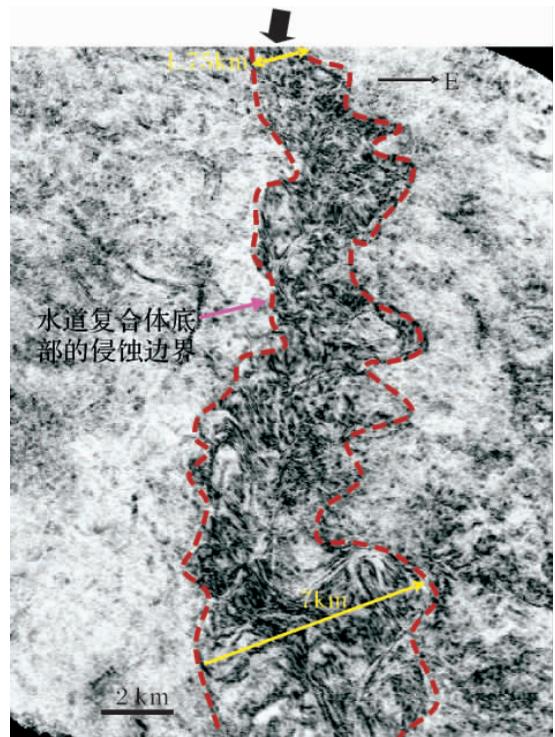


图 3 东部三维工区内水道复合体的沿层相干切片
Fig. 3 A horizontal time slice of channel complexes in the Eastern 3D area

2.3 充填类型

水道充填特性变化显著,沉积物包括砾、砂、泥及混合沉积,这主要取决于构造、气候和沉积物供应^[8-9],水道内部叠加模式可能取决于主水道的宽度、厚度、水道内的位置及横向沉积过程。一个局限性水道复合体通常是由多个单水道组成,同时,多个局限性水道复合体又可以组成一个水道复合体组^[11]。从水道与下伏地层的关系上,研究区局限性水道复合体可划分为 3 类充填方式:侵蚀局限型,侵

蚀—外部加积局限型、加积局限型。侵蚀局限型的特点是对底层侵蚀(包括滑塌)形成的水道,它没有或很少有天然堤—越岸沉积;侵蚀—外部加积局限型表现为水道复合体对底部侵蚀,天然堤—越岸沉积在水道两侧加积,覆盖范围较大;加积局限型形成于侵蚀和沉积混合过程中,或者是同沉积,或者是单旋回沉积。这三种类型与早期一些学者提出的深水中的三种沉积充填方式^[10-13]相近。侵蚀水道充填有时与水道砂体合并或大水道有关,而加积水道充填有时涉及到天然堤水道充填或低起伏水道天然堤^[14,15]。

研究区西北部上下新统主要发育了前两种类型:底部侵蚀型局限性水道复合体以及侵蚀—外部加积型局限性水道复合体。研究区东部三维工区上下新统发育众多的加积型局限性水道复合体。图4中水道复合体b属于第一类型,水道与下伏地层间存在明显的侵蚀边界,外部无天然堤建造;a和c为第二类型,侵蚀水道的外部存在外部加积天然堤。

侵蚀局限型

该种类型在地震剖面上易于识别,它可以是独立的斜坡水道复合体,也可以是斜坡水道复合体组,图2A、2A'以及图4中的b属于此种类型。水道复合体具有明显的侵蚀边界,出现在海底易被侵蚀的地方,其内部发育有垂向加积并同时侧向迁移的内水道,内水道边缘存在泥质天然堤(弱振幅反射),侵蚀边界内侧发育有滑塌沉积体。水道复合体的顶部有时会被一套席状砂沉积,有时会以末期分布范围较大的水道砂充填作为结束。

侵蚀—外部加积局限型

图4中的局限性水道复合体a、c与前人划分的

第二类型——侵蚀加积型相近但并不完全相同,第二类型只是沉积物直接越过堤岸,在侵蚀水道顶部形成加积的水道及天然堤的砂、泥岩互层沉积,水道与天然堤的沉积是同时发生的;但在a、c中,海鸥翼形状的天然堤存在于水道复合体的外部,地震剖面上表现为极弱反射特征,水道复合体与外部天然堤之间始终存在明显的侵蚀边界,水道复合体内部呈现出明显的多期充填的特征。水道复合体a侵蚀面以内的底部,由低频强振幅反射同相轴组成,为粗粒的水道砂沉积,之后水道向南西方向发生侧向迁移,水道内部砂体垂向加积,形成一系列靠近水道复合体边缘的厚层叠覆的水道砂沉积,在局限性水道复合体的内部水道砂的北东方向,细粒的内部天然堤垂向加积,地震剖面上呈现出连片弱振幅的特征,这种沉积方式导致水道砂仅仅分布于水道复合体的边缘位置,而水道复合体的主体部位以细粒的天然堤泥岩充填为主。水道复合体c可以分出两期水道复合体沉积,晚期发育的水道复合体沉积于早期的内部,从地震反射特征上推断,早期水道复合体内底部以滑塌沉积为主,仅在中部沉积了少量的水道砂,而晚期复合体内的地震反射能量较强,水道砂沉积更发育。

加积局限型

加积局限型内部粗粒沉积比其它两种类型更发育,对油气勘探生产意义更大。在研究区东部,利用地质异常体处理的方法,从三维地震资料中成功地将研究层内存在的一个加积型局限性水道复合体内彼此连通、外部形状不规则的各种组份刻画出来。

图5A是两条垂直于物源方向、没有显示水道砂的地震剖面,用于反映该加积型水道近物源位置及远

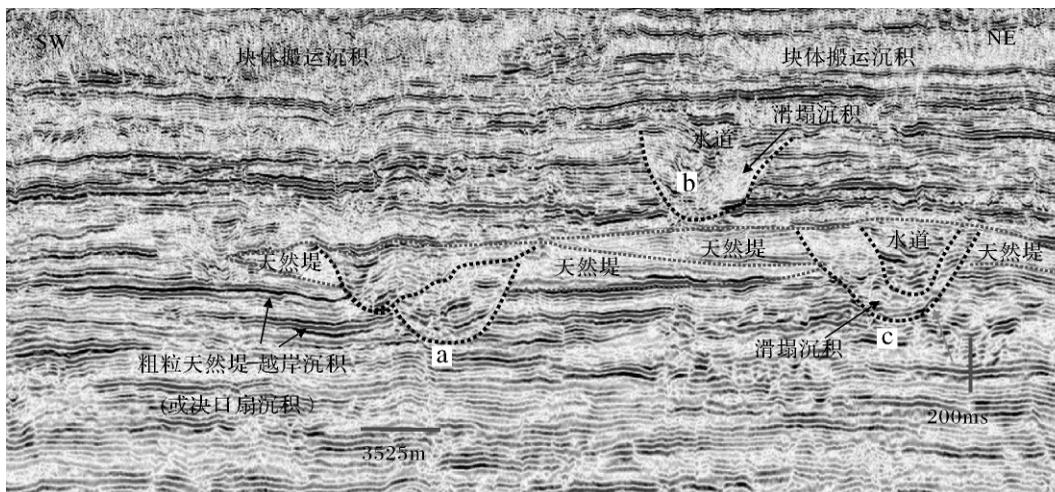


图4 下上新统内局限性水道复合体的两种叠加方式

Fig. 4 Two stacked patterns of confined channel complexes in Pliocene

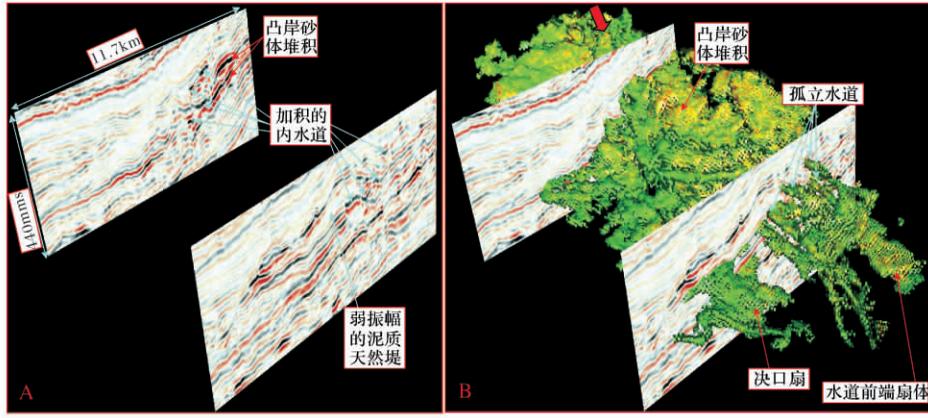


图 5 加积型水道复合体的近物源地区及远物源地区的地震剖面反射特征的差异
 Fig. 5 The difference of seismic reflection characteristics in an aggradational channel complex between near source area and far source area

物源位置的地震反射特征; 图 5B 是水道砂与地震剖面的对应关系, 用于展示加积型水道砂近物源区及远物源区地震剖面与其平面各组份的对应关系, 其中红色箭头代表水流方向; 图 5A 和图 5B 展示的为两条对应相同的地震剖面。过该加积水道砂的加积型局限性水道复合体沉积出现在水流携带能力减小的阶段, 水道充满后开始向附近海底溢流时, 天然堤开始建造, 决口扇砂岩开始发育。加积型水道复合体内北部近物源部位发育大量砂质内天然堤, 地震剖面上表现为强振幅特征, 在远源位置侧翼会形成隆起的天然堤建造, 天然堤建造内部地震反射能量极弱。水道复合体的轴部由一些孤立水道沉积组成, 这些孤立水道在由近物源至远物源变化过程中, 地震反射呈现出

“长”而“强”反射同相轴演变为“短”而“弱”的地震反射同相轴的变化特点。

图 6 中详细解剖了与图 5 中相同的加积型局限性水道复合体的平面分布形态及构成。其中的加积型水道砂是由一个均方根振幅体处理而成, 左上角的地震剖面是背景中过该水道砂的地震剖面反射特征。水道复合体由“内”水道、越岸沉积及决口扇组成。图中可以看出清晰存在的“内”水道, 由至少三期迁移叠覆的孤立水道组成, 在“内”水道边界以外可以识别出越岸沉积, 水道前端扇体, 外部决口扇。内水道外部的侵蚀边界非常清晰, 沿着水道延伸方向宽度变化也很快, 宽度由处于工区边部近物源端的 1.8 km 逐渐形成三个各自宽度约 0.5 km 的孤立弯曲水

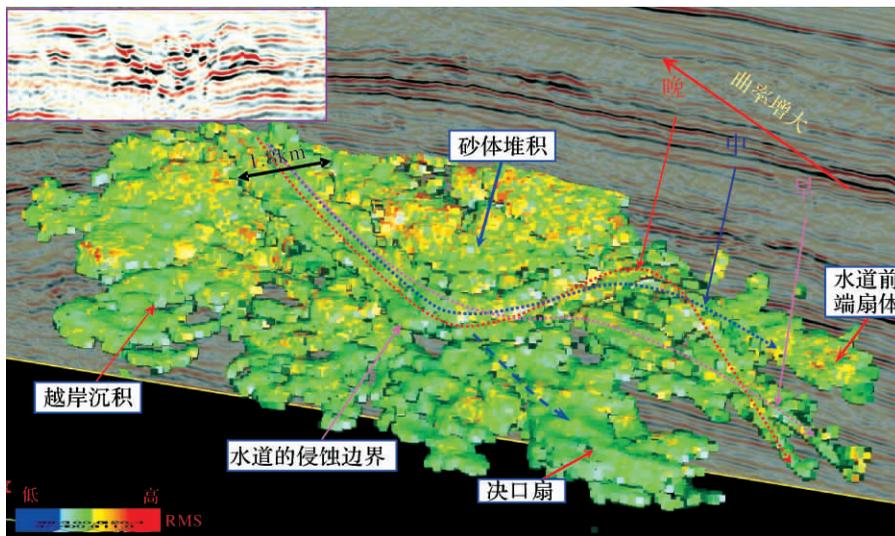


图 6 下上新统加积型局限性水道复合体的平面分布形态及构成
 Fig. 6 The distribution and configuration of an aggradational confined channel complex in early Pliocene

道。弯曲水道的末端并非都会形成水道前端扇体沉积,图中蓝色虚线指示的水道末端发育有小型水道前端扇体沉积,但早期及晚期的弯曲水道(粉色及红色)末端均无这种沉积。当然也存在一种可能就是水道前端扇体内砂体较薄,该地区的地震分辨率不足以分辨出,因此没有被刻画出来。

决口扇与越岸沉积位于水道边界线以外,地震剖面上表现为由近水道的低频强振幅逐渐演变为远离水道部位频率增高振幅能量减弱的反射特征。决口扇位于“内”水道的凸岸的外缘,平面上呈扇形,舌状;而越岸沉积则位于“内”水道的两侧,沿河道两侧呈楔形发育,仅仅依据地震资料刻画出的平面分布形态而不考虑岩石类型、沉积构造、化石等因素并不足以区分决口扇或越岸沉积。沿水道轴向移动的越岸沉积是由水道内重力流沉积物溢出形成。重力流沉积物的分异过程与其在弯曲水道之中运动是同时的^[16],该过程可能沿着弯曲水道的外弯,那里浊流流体加速,与水道中的流体相似。当高速沉积重力流体不能变弯,导致水道岸决口时,沉积物在天然堤外以分支形式从弯曲水道中顺流通过而形成决口扇。内水道的内弯处可见水道演化过程中由于侧向迁移所形成的砂体堆积。

2.4 演化过程

不同类型的局限型水道复合体具有不同的垂向演化特征,侵蚀局限型及侵蚀—外部加积局限型水道复合体演化过程相似,表现为多重水道充填的特征,水道的变化过程可以存在差异。研究区存在两种演化过程,建造—充填—迁移—再充填过程以及建造—充填—侵蚀—充填过程,前者与 Mayall 和 Stewart 等^[2]描述的模式相一致,这种过程可以是多次重复进行(图 2A、2A'),也可以是只有一次变化(图 4a);后一种在研究区以图 4c 为代表。在图 7 中,底部的偏蓝色背景是过一早上新世局限型水道复合体的沿层均方根振幅分布图,红色箭头代表水流方向,上部不同颜色(绿色、红色、紫色等)代表了通过地质异常体处理方法得到的该水道复合体内沉积的单砂体,不同颜色砂体之间彼此不连通。在这条局限性水道复合体上,近物源部位呈现出侵蚀/加积型水道复合体特征,远物源部位则呈现出明显的加积型水道复合体特征。右侧放大的地震剖面主要为了展示过侵蚀/加积型水道复合体部位的地震剖面反射特征。在早期建造阶段,水流对河床的侵蚀使河床失稳,产生朝向水道内部的滑塌,侵蚀/加积型局限型水道复合体沉

积早期通常沉积一些滑塌块体,它在地震剖面上表现为弱振幅、杂乱反射特征,一些强振幅所代表的连片发育的水道砂沉积于水道复合体演化的晚期,位于局限性水道复合体的上部。

加积型局限性水道复合体与侵蚀型局限性水道复合体的垂向演化存在明显差异。这种水道复合体沉积早期通常表现为顺直水道沉积,伴随着盆地基准面的上升、流速的降低以及可容空间的增大,水道逐渐弯曲,曲率逐渐增大。图 8A 是 3D 地震工区东部加积型水道复合体底部沿层相干切片,图 8B 为对应层的沿层均方根振幅切片。相干切片中显示的晚期改道后的弯曲水道在图 6 中显示得更加清晰,早期沉积的弯曲水道,以粉色虚线表示,之后演变为蓝色水道,最后为红色水道,图 6 中可以看出晚期水道曲率明显增大。

2.5 储层特征

由于研究区无井,邻区虽然存在一些钻井资料,但由于所处位置不同,沉积环境及主要沉积结构单元存在差别,邻区内并无井钻遇斜坡水道复合体。因此难以对上新统内水道复合体的储层的岩性、物性特征获得直接的认知,这里仅通过对世界范围内其他地区的深水水道的储层特征的论述,进而对研究区可能的储层性质获得初步了解。据《深水环境油气地质导论》^[17]介绍,深水水道充填具多样性,储层厚度变化很大,从几米(如美国新墨西哥东南 Indian Draw 油田;美国墨西哥湾北部 Ram-Powell 油田 N 砂岩)到几百米(英国北海 21/10、22/6a 区块, Forties 区域;墨西哥湾深水区北部 Garden Banks191)均可见到。储层一般具有较好的垂向连通性,但它的横向连续性变化较快。砂岩的粒度变化范围也较大,可以是非常细的粉砂岩,也可能为中砂岩,部分水道中可见完整的鲍马序列存在。通常情况下,储层的物性与粒度、单层厚度具有相关性,如英国北海 21/10、22/6a 区块、Forties 地区,它们的粗粒砂岩孔隙度平均 27%,渗透率大于 $300 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ (一般大于 $1\ 000 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$);细粒砂岩孔隙度为 23%~25%,渗透率为 $100 \times 10^{-3} \sim 200 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。墨西哥湾深水区北部 Garden Banks191 较厚层砂体孔隙度约为 17%~34%,渗透率约 $1 \times 10^{-3} \sim 2\ 500 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。较薄层、粒度较细的砂体孔隙度和渗透率较低,但孔隙度仍能分别达到 24%~29%,渗透率达到 $100 \times 10^{-3} \sim 550 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

世界上 114 个大气田统计结果^[18],以砂岩为主

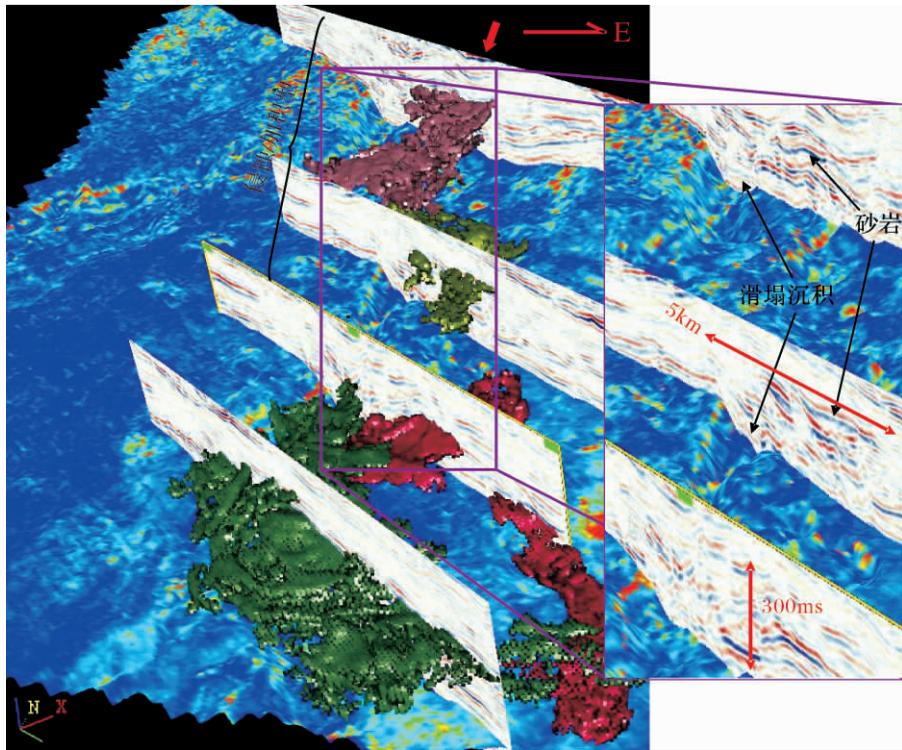


图 7 水道复合体内的滑塌沉积及水道砂沉积
 Fig. 7 Slumps and sands in a confined channel complex

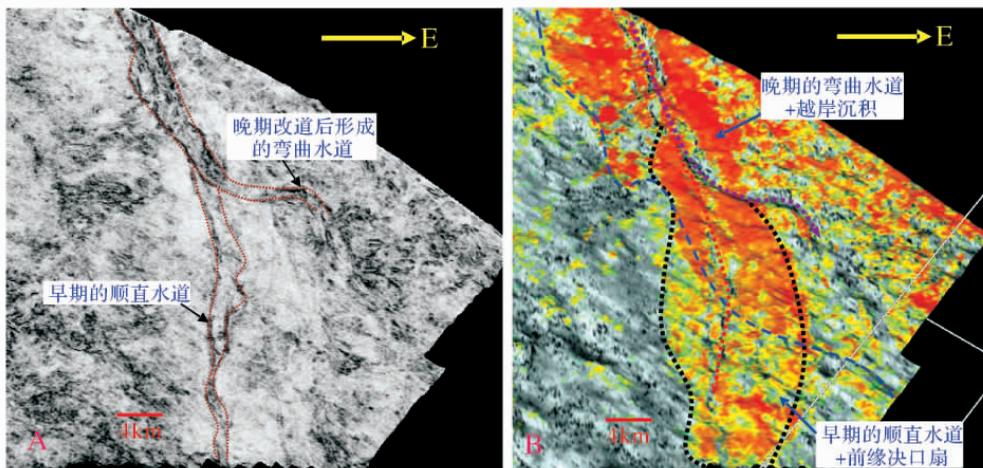


图 8 下上新统的一个加积型局限性水道复合体早期的演化
 A 沿层相干切片上的水道 水道边界清晰; B 为与 A 相同层的沿层均方根振幅切片
 Fig. 8 Early evolution of an aggradational channel complex in early Pliocene
 (A) Channels with clearly boundary on a horizontal time slice generated by a coherence volume;
 (B) A horizontal time slice in accordance with (A) generated by a RMS volume

要储层的大气田,储集空间主要是孔隙型,纯产层厚度一般在 25 ~ 45 m,有效孔隙度主要在 15% ~ 35% 之间,渗透率一般是 $50 \times 10^{-3} \sim 500 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。大气田砂岩纯产层的厚度下限为 6 m,有效孔隙度下限

为 9%。因此从深水水道复合体的物性情况看,它具备天然气富集成藏的有利储层条件。

研究区——若开盆地内,利用地震资料解释出多期加积局限型水道复合体砂岩,单个砂体都由垂向上

3~5层不等的、彼此连通的单砂层组成。尽管单砂层储层横向岩性变化快,但由于砂体具有较好的垂向连通性及物性条件,这种储层仍利于形成高流量、高最终采收率(HRHU)油气藏^[19]。已发现的最好HRHU油气藏的储层是复合席状砂和复合水道充填沉积,它们具有良好的油藏驱动、储层物性和原油品质。由此证明了若开盆地加积型局限性水道复合体可以成为深水油气勘探的最有利的目标之一,为我们进一步开展深水勘探生产研究指明了方向。

3 结论

(1) 缅甸若开盆地上新统斜坡水道复合体发育,剖面形态复杂,延伸方向上形态及充填特征不断变化。

(2) 研究区共存在3种充填方式,底部侵蚀局限型,侵蚀—外部加积局限型,加积局限型,其中加积局限型水道复合体可形成规模储层。

(3) 加积局限型内部各种粗粒沉积发育,可发育“内”水道、水道前端扇体、决口扇以及越岸沉积,利用地质异常体处理方法可以将加积局限型水道砂从三维地震资料中刻画出来。

(4) 加积局限型水道复合体具有较大的厚度及较好的垂向连通性及物性条件,可形成高流量、高最终采收率油气藏,对深水油气的勘探生产具有重大意义。

参考文献 (References)

- Sprague A R, Sullivan M D, Campion K M, *et al.* The physical stratigraphy of deep-water stratal a hierarchical approach to the analysis of genetically-related stratigraphic elements for improved reservoir prediction[C]. AAPG Annual Convention Abstracts, Houston, TX, 2002: 10-13
- Mayall M, Stewart I. The architecture of turbidite slope channels[C] // Weimer P, Slatt R M, Coleman J L, Rosen N, *et al.*, eds. Global Deep-Water Reservoirs: Gulf Coast Section SEPM Foundation 20th Annual Bob F. Perkins Research Conference, 2000: 578-586
- Curry J R. Sediment volume and mass beneath the Bay of Bengal[J]. Earth and Planetary Science Letters, 1994, 125: 371-383
- Curry J R, Emmel F J, Moore D G. The Bengal Fan: morphology, geometry, stratigraphy, history and processes[J]. Marine and Petroleum Geology, 2003, 19: 1191-1223
- 洪菲, 胡天跃. 深海油气地震勘探进展和展望[J]. 地球物理学进展, 2002, 17(2): 230-236 [Hong Fei, Hu Tianyue. Advance and prospect of deepwater hydrocarbon exploration[J]. Progress of Geophysics, 2002, 17(2): 230-236]
- Bouma A H, Coleman J M, Myer A W, eds. Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project Leg 96[M]. U. S. Government Printing Office, Washington, D. C., 1986: 824
- Piper D J W, Flood R D, Cisowski S, *et al.*, Synthesis of stratigraphic correlations of the Amazon Fan[C] // Flood R D, Piper D J W, Klaus A, *et al.* eds. Proceedings of the Ocean Drilling Program: Scientific Results, 1997, 155: 595-609
- Reading H G, Richards M. Turbidite systems in deep-water basin margins classified by grain size and feeder system[J]. AAPG Bulletin, 1994, 78: 792-822
- Richards M, Bowman M. Submarine fans and related depositional systems II: variability in reservoir architecture and wireline log character[J]. Marine and Petroleum Geology, 1998, 15: 821-839
- Mutti E, Normark W R. Comparing examples of modern and ancient turbidite systems: problems and concepts[M] // Leggett J K, Zuffa G G, eds. Marine Clastic Sedimentology. London, Graham and Trotman, 1987: 1-38
- Mutti E, Normark W R. An integrated approach to the study of turbidite systems[M] // Weimer P, Link M H, eds. Seismic Facies and Sedimentary Processes of Submarine Fans and Turbidite Systems. New York: Springer-Verlag, 1991: 75-106
- Clark J D, Pickering K T. Submarine Channels: Processes and Architecture[M]. London: Vallis Press, 1996: 231
- Morris W R, Normark W R. Scaling, sedimentologic and geometric criteria for comparing modern and ancient sandy turbidite elements [M] // Weimer P, Slatt R M, Coleman J L, *et al.* eds. Global Deep-Water Reservoirs: Gulf Coast Section-SEPM Foundation 20th Annual Bob F. Perkins Research Conference, 2000: 606-628
- Mayall M, O'Byrne C. Reservoir prediction and development challenges in turbidite slope channels: OTC conference proceedings, contribution No. 14029. Gardner M H, Borer J M, 2000, Submarine channel architecture along a slope to basin profile, Brushy Canyon Formation, West Texas[C] // Bouma A H, Stone C G, eds. Fine-Grained Turbidite Systems: AAPG Memoir 72/ SEPM Special Publication, 2002, 68: 195-214
- Saller A H, Noah J T, Ruzuar A P, *et al.* Linked lowstand delta to basin-floor deposition, offshore Indonesia: An analog for deepwater reservoir systems[J]. AAPG Bulletin, 2004, 88: 21-46
- Piper D J W, Normark W R. Turbidite depositional patterns and flow characteristics, navy submarine fan, California borderland[J]. Sedimentology, 1983, 30: 681-694
- Paul Weimer, Roger M Slatt. Introduction to the petroleum geology of deepwater settings[J]. AAPG Studies in Geology, 2007, 57: 248-267
- 张子枢编著. 世界大气田概论[M]. 北京: 石油工业出版社, 1990: 268 [Zhang Zishu. Introduction of Giant Gas Field in the World[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1990: 268]
- Worrall D M, Bourque M W, Steele D R. Exploration in deep water basins where next? [C] // Fillon R H, Rosen N C, Weimer P, Lowrie A, *et al.*, eds. Petroleum Systems of Deepwater Basins: Global and Gulf and Mexico Experience: Gulf Coast Section SEPM Foundation Bob F. Perkins 21st Annual Research Conference, 2001: 273

Sedimentary Characteristics of Pliocene Slope Channel Complexes in the Rakhine Basin , Offshore Myanmar

SUN Hui FAN Guo-zhang LÜ Fu-liang XU Zhi-cheng MA Hong-xia
(Hangzhou Research Institute of Petroleum Geology , Hangzhou 310023)

Abstract Slope channel complex is one of the most important sedimentary architecture elements in Pliocene in Rakhine Basin , offshore Myanmar. This study is carried out under the guidance of the relationship between the seismic response and deepwater reservoir. The strong amplitude attributes on 2D and 3D seismic data are applied to deduce coarse sediment existing in slope channel complexes. Technologies that include coherence slice analysis , geonomaly processing and 3D visualization are used for distinguishing slope channel complexes from background. Detailed descriptions , involving the external geometric shape , the nature of internal fill and reservoir characters are executed.

Three kinds of slope channel complexes have been observed and identified based on the 3D seismic data. Multiple phase aggradational confined channel complexes have been detected in Pliocene in Rakhine Basin. Several large sand bodies , ranging from 7 km to 16 km in the down-current direction and usually no more than 10 km in width , have been indentified. These sands comprised 3 ~ 5 layers vertically and are related with each other.

Channel complexes analysis and characterization in this research area result in the recognitions that the confined channel complexes with complicated shapes and sustainable change on morphology and packing characteristics downstream in lower Pliocene are developed. The confined channel complexes in Pliocene can be characterized by three major categories of erosional confined channel complexes , erosional/external aggradational confined channel complexes and aggradational confined channel complexes according to the difference of sedimentary fill. This study reveals that aggradational channel complexes are richer in reservoir than other two types. They are composite features made up of smaller various sand-rich sub-environments , such as inside channels , frontal splays , crevasse splays and overbanks that can be identified by seismic anomaly process method. It is inferred that some sands with larger thickness and high vertical continuity probably exit in aggradational confined channel complexes according to the data measured by previous researchers. It is hoped to become High-rate , high-ultimate-recovery reservoirs and be considered as the most beneficial targets in the Rakhine Basin.

Key words Rakhine Basin; Pliocene; slop channel complex; erosion; aggradation