

文章编号:0253-9985(2011)05-0733-10

陆架边缘三角洲在层序地层格架中的识别及其意义 ——以南海白云凹陷为例

徐强¹,王英民²,吕明¹,王丹¹,李冬²,王永凤²

(1. 中海石油研究中心, 北京 100027; 2. 中国石油大学, 北京 102249)

摘要:陆架边缘三角洲具有优质的生、储、盖组合和多种圈闭类型。从成因方面来讲陆架边缘三角洲可分为:物源控制型、海平面控制型和两者混合控制型。在海平面相对静止阶段,河流强大的物源供给不断向陆坡运移,可以使陆架坡折逐渐向远陆方向前进,同时在陆架坡折带及上陆坡形成陆架边缘三角洲沉积;在沉积物供给相对稳定期,海平面下降至陆架坡折附近也可以使大量沉积物穿越广阔的陆架地区达到陆架坡折带甚至上陆坡而形成陆架边缘三角洲沉积。正是由于以上特征陆架边缘三角洲沉积体系在层序地层格架中具有了一些可识别的依据。例如陆架边缘三角洲通常具有大型斜交S型前积组合反射结构,前积体顶超面与下超面的水平落差可达百米级,远高于陆架内部三角洲前积体的落差;通常形成于层序格架中的低位域;通常在层序格架中形成向陆和向海两个方向的斜坡楔形体等。通过对白云凹陷近期最新钻井资料的分析和长电缆高质量三维地震资料的解释,在白云凹陷珠海组、珠江组均识别出了陆架边缘三角洲沉积体系,并且伴随陆架坡折的迁移形成了独特的沿陆架坡折带分布的深水储层体系,该发现将有助于指导深水油气勘探。

关键词:深水区;陆架边缘三角洲;层序地层学;白云凹陷;南海

中图分类号:TE122.1

文献标识码:A

Identification of the shelf margin delta in sequence stratigraphic frameworks and its significance: a case study of the Baiyun Sag, South China Sea

Xu Qiang¹, Wang Yingmin², Lü Ming¹, Wang Dan¹, Li Dong² and Wang Yongfeng²

(1. Research Center of CNOOC, Beijing 100027, China; 2. China University of Petroleum, Beijing 102249, China)

Abstract: Shelf margin delta is characterized by high-quality combination of source rocks, reservoirs and caps, and multiple trap types. Based on genetic styles, it can be classified into three types: provenance-dominated type, sea level-dominated type and hybrid type. During the relative quiescence period of sea-level, large amount of sediments are transported to the continental slope by rivers, making the shelf break gradually move seaward. Then shelf margin delta deposits could be formed at the shelf break and continental slope. Moreover, during period with relative stable sediment supply, the lowering of sea level to the shelf break also can transport large amount of sediments crossing broad continental shelf to shelf break, forming shelf margin delta deposits. These characteristics make shelf margin delta system identifiable in sequence stratigraphic framework. For example, shelf margin delta often shows large 'S' progradational reflection structure on seismic profiles, and the thickness between top surface and bottom surface can reach up to hundreds of meters, much thicker than that within continental shelf. Moreover, the shelf margin delta usually occurs in lowstand system tract and is characterized by landward and seaward slope wedges. Based on integrated analysis of recent well logs and high-resolution 3D seismic data from Baiyun sag, a series of Oligocene-Miocene shelf margin deltas were identified in the Zhuhai Formation and Zhujiang Formation, and some unique deep-water reservoir systems were also recognized in the shelf

收稿日期:2011-03-20;修订日期:2011-09-06。

第一作者简介:徐强(1958—),男,研究员,海洋油气沉积地质和深水油气地质。

基金项目:国家重点基础研究发展计划(“973”计划)项目(2009CB219407)。

break. These understandings will be helpful to future deep-water exploration.

Key words: deep-water area, shelf margin delta, sequence stratigraphy, Baiyun Sag, South China Sea

随着墨西哥湾、印度哥伦布盆地 (Columbus Basin)、非洲海岸等地陆架边缘三角洲沉积体系油气勘探不断获得成功^[1], 陆架边缘三角洲已经引起了石油地质学家的重视并成为当前国际学术界研究的热点^[2-3]。由于陆架边缘三角洲沉积体系具有诸多有利于形成优质油气藏的特征, 在过去的 30 年里陆架边缘三角洲沉积体系中已经发现了大量的油气藏, 例如墨西哥湾近 30 年来陆上和陆架地区发现的几乎所有大油田都属于这种陆架边缘三角洲沉积体系。因此, 对于陆架边缘三角洲在层序地层格架中的分布特征和识别标志的研究就显得尤为重要^[4]。尤其在陆架边缘三角洲研究起步较晚的情况下, 更应该在陆架边缘三角洲的发育特征和层序识别标志方面开展更深入、更细致的研究工作, 这样才能紧跟国际研究的前沿, 甚至赶超该领域的国际研究水平, 为我国油气勘探领域提供新的思路。

1 陆架边缘三角洲的研究现状及识别

地质学家对于三角洲的研究一直都很重视, 三角洲的研究经历了从最初的静态三角洲概念的研究, 到后来的半动态三角洲的研究, 最终到现

在以强调相对海平面变化导致三角洲在陆架上的发育特征以及和陆坡深水盆地之间关系的动态三角洲的研究 (图 1), 从而引出了陆架边缘三角洲的概念。陆架边缘三角洲是指发育于大陆架边缘、越过大陆坡折向陆坡延伸发育的三角洲, 随着物源不断向陆坡运移, 陆架坡折带逐渐向远陆方向前进。陆架坡度一般小于 1° , 而陆坡一般为 $3^\circ \sim 6^\circ$, 因此, 物源在被搬运至陆架边缘附近时, 由于重力作用的影响, 相当大一部分会越过陆架坡折沉积, 形成发育于陆架边缘上的巨厚沉积层^[4]。近年来, 陆架边缘三角洲已成为世界深水油气勘探的重点目标, 加强对陆架边缘三角洲的研究, 对于寻找深海陆坡油气藏具有重要意义^[2-5]。

从成因方面来讲陆架边缘三角洲可分为: 物源控制型、海平面控制型和两者混合控制型^[6-9]。在海平面相对静止阶段, 河流强大的物源供给不断向陆坡运移, 可以使陆架坡折逐渐向远陆方向前进, 同时在陆架坡折带及上陆坡形成陆架边缘三角洲沉积; 在沉积物供给相对稳定期, 海平面下降至陆架坡折附近也可以使大量沉积物穿越广阔的陆架地区达到陆架坡折带甚至上陆坡从而形成陆架边缘三角洲沉积^[10-14]。

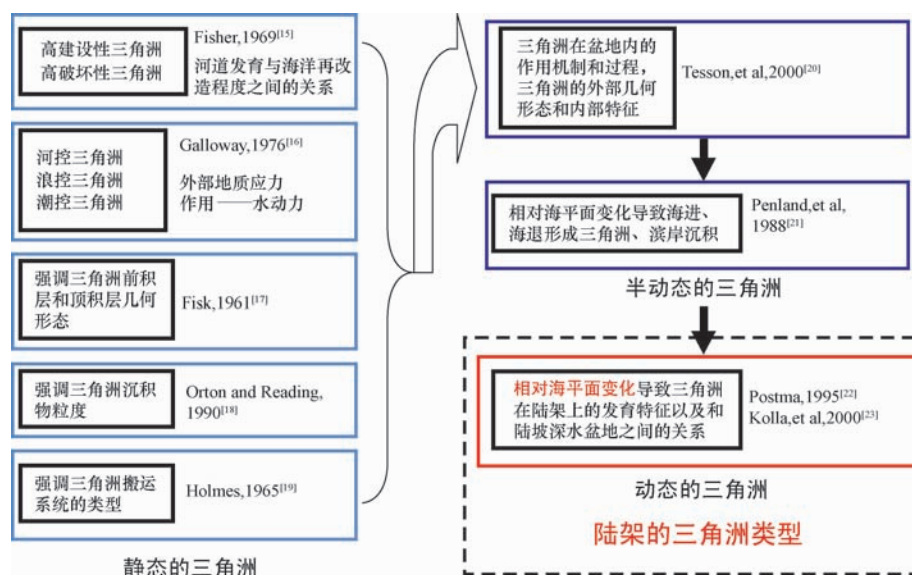


图 1 陆架三角洲研究历史

Fig. 1 Study history of shelf delta

2 陆架边缘三角洲沉积体系在层序地层格架中的识别标志

层序地层格架是一种等时地层格架,它是以层序地层学的基本原理——周期性海平面升降控制旋回性地层沉积为指导建立的。从上世纪地震地层学发展而来的层序地层学,经过 30 多年的不断完善和发展,已成为地球科学中一门新兴的、研究盆地沉积充填和进行资源预测的重要理论和方法体系^[24-25]。陆架边缘三角洲沉积体系作为层序地层格架中一种特殊的三角洲沉积类型,在地震、测井和岩心等资料上具有一定的识别标志,并且与层序的演化有着密切的联系。

2.1 地震识别标志

由于陆架边缘三角洲发育在陆架坡折带这个特殊位置,当三角洲沉积物越过陆架坡折带沉积时,由于陆坡的坡度较陡沉积物依陆坡地形向前搬运较远,因此可以形成较大型的前积体,这明显不同于陆架内部形成的三角洲前积体^[26]。陆架边缘三角洲前积反射的顶超面与下超面水平落差可达 500 m,水平延伸可达数千米,如此大落差和长距离的前积体也只有在陆架边缘才能形成。其次,由于重力作用使得向陆坡供给的沉积物逐渐增多,陆坡的稳定性也逐渐增加,这使得陆架边缘附近成为了最大的沉积、沉降中心。因此陆架边缘三角洲体系往往由向陆和向海方向分别延伸出

现的两个斜坡楔形体构成,这一特征也不同于陆架三角洲的单向前积楔,而该特征在白云凹陷珠海组的陆架边缘三角洲沉积体系中也可以见到(图 2)。

2.2 沉积序列识别标志

陆架边缘三角洲的发育过程往往是一个三角洲由陆架向深水陆坡推进的过程。当陆架边缘三角洲尚未推进至上陆坡时,上陆坡为深海环境(图 3a 钻井位置),往往发育深海泥岩,常具斜层理,见丰富的遗迹化石相组合,指示陆坡较深水的环境;随着三角洲向陆坡推进,由图 2 可知在陆架坡折带快速堆积的前积体在高坡度的陆坡上部稳定性很差,常常会形成重力滑塌,使陆架边缘三角洲前缘沉积物发生二次搬运滑向深水陆坡。因此,最先到达深水陆坡的应该是这些深水重力流沉积物,岩心中常见泥岩夹变形的砂岩,砂岩底部可见冲刷面,砂岩内部常见浅海遗迹相化石,但往往属种单调不成规模,可见浅海的造迹生物是随重力流搬运至深水(图 3b)。其后,三角洲进一步推进前期的重力流沉积物又会被后期进积三角洲前积楔和稳定的阶段的浅海陆架沉积所覆盖(图 3c),岩性主要为中-细粒、中-粗粒和粗粒砂岩及粉砂岩不等厚互层组合,局部可见钙质砂岩。发育块状层理、板状斜层理、槽状斜层理、平行层理、逆粒序层理,常见植物碎片,可见生物遗迹(生物扰动、钻孔等),冲刷面构造。

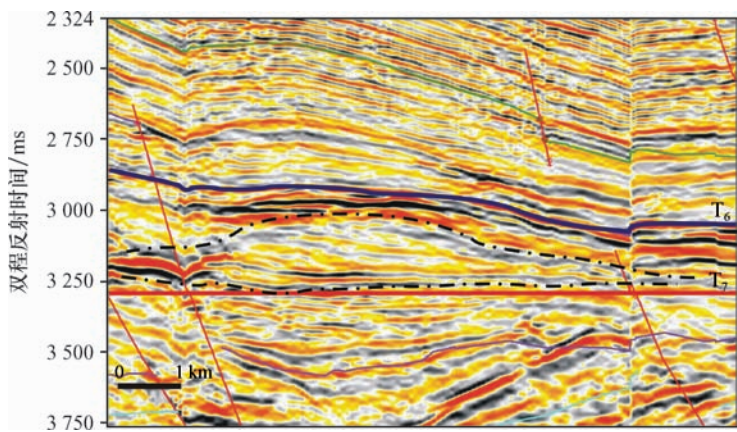


图2 白云凹陷近南北向地震剖面

Fig. 2 NS seismic profile of Baiyun sag

[以 T_7 (红色粗实线) 拉平, T_6 (紫色实线) 和 T_7 之间的珠海组可见大型双向前积楔形体 (黑色虚线)。]

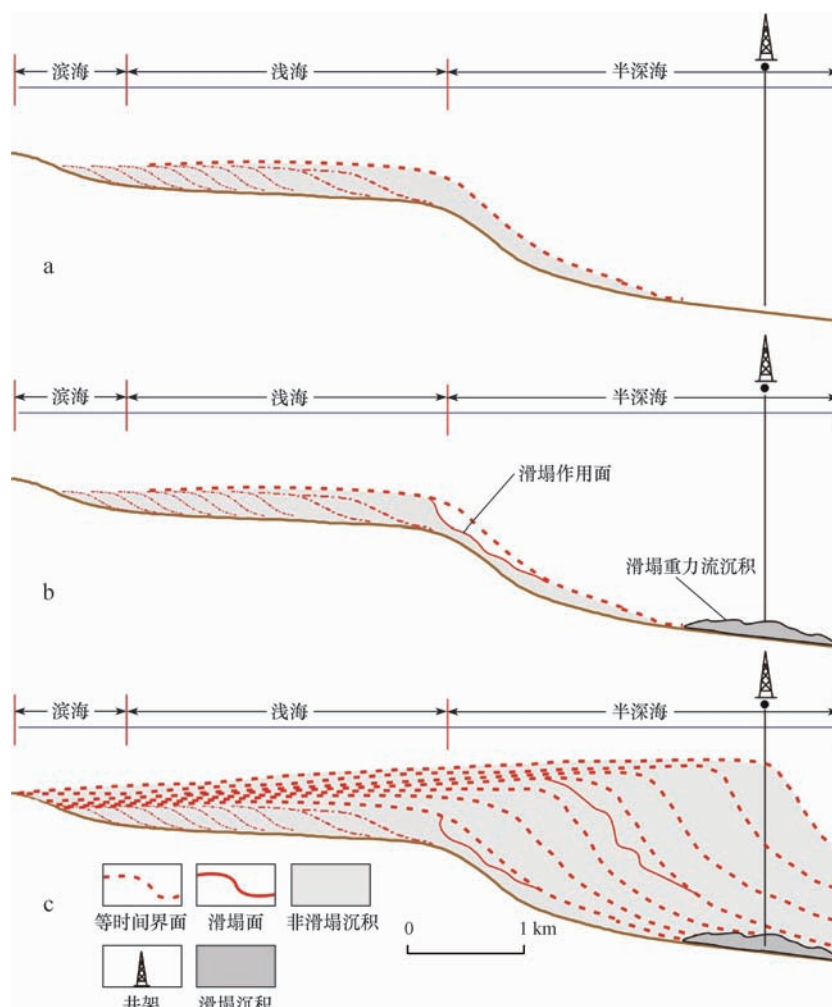


图3 陆架边缘三角洲进积序列示意图

Fig. 3 Schematic diagram showing shelf margin delta progradation sequence

2.3 层序识别标志

陆架边缘三角洲的发育受物源条件、陆架坡折带形态和海平面变化等因素的共同控制,但海平面变化的控制作用最为强烈^[20]。

首先,陆架边缘三角洲通常发育在低位域海平面相对下降时期。因为相对海平面下降时期,三角洲改变了被动发育的局面,充足的物源供给和下降的海平面共同驱动三角洲前积体的发育,并不断促使三角洲向海推进。随着相对海平面继续下降,三角洲前缘逐渐逼近陆架边缘,随着进积的不断进行三角洲主体可能越过陆架边缘到达上陆坡。之后相对海平面缓慢上升,陆架边缘三角洲前积体和陆坡滑塌沉积体逐渐形成,随着海平面继续缓慢上升,陆架边缘三角洲前积楔形体形成,陆坡及陆架均向海推移。当海平面快速上升

进入水进体系域时,迫使三角洲向陆退积,三角洲前缘分布在陆架坡折以上地区,形成陆架三角洲,由向海发育的纵向分布转化为沿陆架走向的横向分布,相对海平面的上升抑制了三角洲的前积作用,三角洲前缘规模变小且沉积薄,发育进入相对缓慢的停歇期。因此,高位域海平面上升时期陆架边缘三角洲的发育较少见,但是在三角洲沉积物供给充足的情况下仍可以形成陆架边缘三角洲。

3 白云凹陷陆架边缘三角洲体系的发现及其特征

白云凹陷是珠江口盆地内面积最大、沉积地层最厚、烃源潜力最大的凹陷^[27],具有开展深水油气勘探的巨大潜力。该凹陷陆架边缘三角洲的发现及精细研究有助于明确勘探目标,降低勘探风险,也为我国深水油气勘探提供了新的思路。

3.1 区域地质特征

白云凹陷位于中国南海北部珠江口盆地南部(图4),是南海最具代表性的第三系深水陆坡沉积区。由于其处于欧亚板块、太平洋板块和印-澳板块作用的交汇地带,盆地发育、演化复杂。这与国外深水勘探成功地区如西非的 Gabon,巴西的 Campos 等典型被动大陆边缘断陷盆地有所不同。白云主凹南北由断裂带所限,宽约 80 km,沉积基底埋深大于 11 km,在剖面(南北向)上呈大致对称的深碟形;南凹宽约 70 km,沉积基底深约 9 km,剖面(近东西向)上呈“W”型。白云凹陷经历了断陷、断坳、坳陷的盆地发育演化过程^[28],这显然是在特殊地质条件下发生的。白云凹陷位于中生代俯冲带的构造软弱带,处于减薄的洋陆过渡地壳和盆地构造转换带位置,此处是构造形变集中区。在区域拉张背景下,幔源上升,岩浆活动较强烈,地壳减薄,导致岩石圈强度急剧降低并发生韧性变形。在经历了较短暂的脆性变形发育一系列半地堑之后即进入“又断又坳”的韧性伸展阶段,产生了垂向沉降变形,形成大型的断-坳凹陷^[28-29]。

3.2 层序特征及陆架边缘三角洲的识别

通过对地震及钻测井资料进行层序界面划分,并结合地层学分析和解释及该地区地质沉积背景,将白云凹陷珠海组划分为 6 个三级层序,分别为 ZHSQ1 (T_7^0 —ZHSB2), ZHSQ2 (ZHSB2—ZHSB3), ZHSQ3 (ZHSB3—ZHSB4), ZHSQ4 (ZHSB4—ZHSB5), ZHSQ5 (ZHSB5—ZHSB6) 和 ZHSQ6 (ZHSB6—SB23.8)。目前深水区除了 LWX 井钻遇上述层序外,其他井均出现不同程度的缺失。不过,在区域上从三级层序边界和沉积层序的发育上具有明显的规律性。

从珠海组层序格架的地震资料分析发现白云凹陷珠海组地层发育大量自北向南前积反射地震相组合(图5),且具有典型陆架边缘三角洲前积组合反射结构特征,这些前积反射的顶超面与下超面水平落差可达 400 m,水平延伸可达数公里,还可见到陆架边缘三角洲特有的双向斜坡楔形体(图3)。而且在这样的快速前积作用下陆架坡折带会向南逐渐推移。

珠江组底界面为 SB23.8,该界面为一沉积事件转换面^[30],表现出明显受构造作用控制的二级层序边界特征:在 LWX, LWY, LWZ, LHX 和 LHY

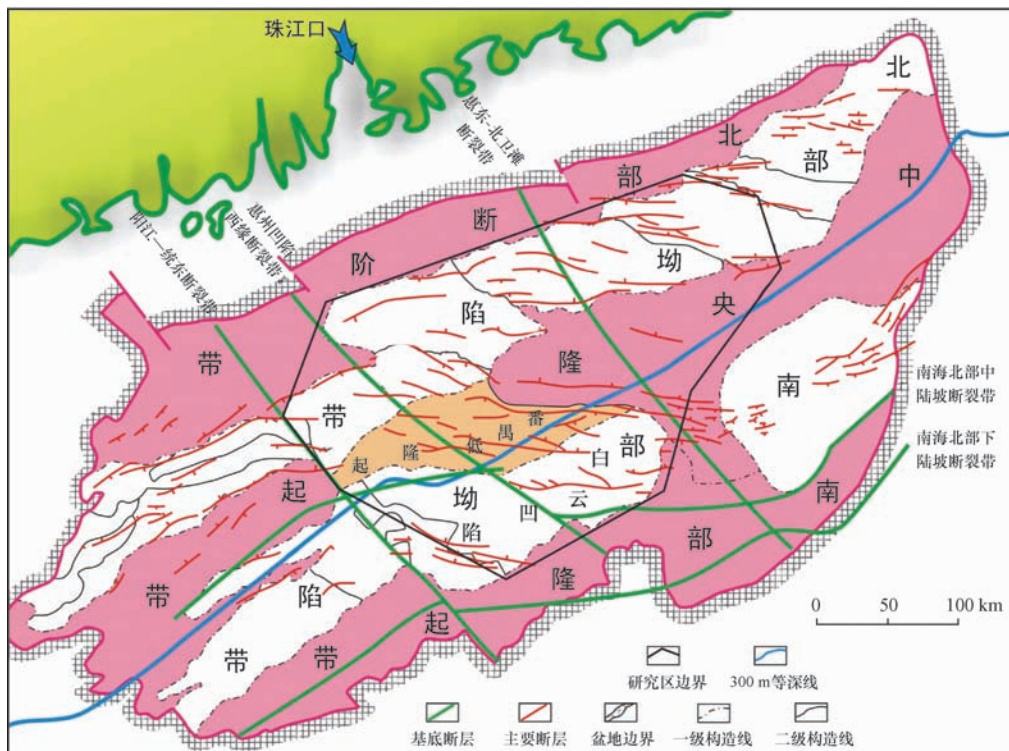


图4 珠江口盆地地理位置及构造格局

Fig. 4 Location and tectonic framework of the Pearl River Mouth Basin

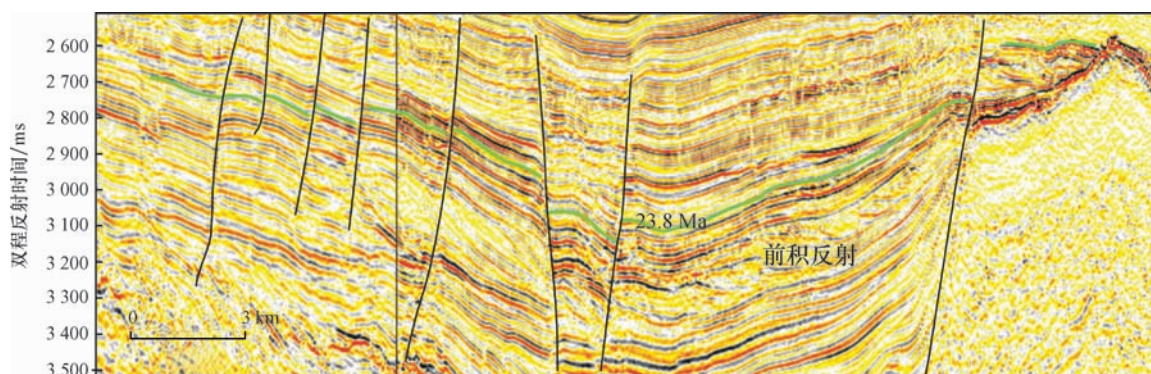


图5 白云凹陷南北向高分辨率地震剖面

Fig. 5 NS high-resolution seismic profile of Baiyun sag

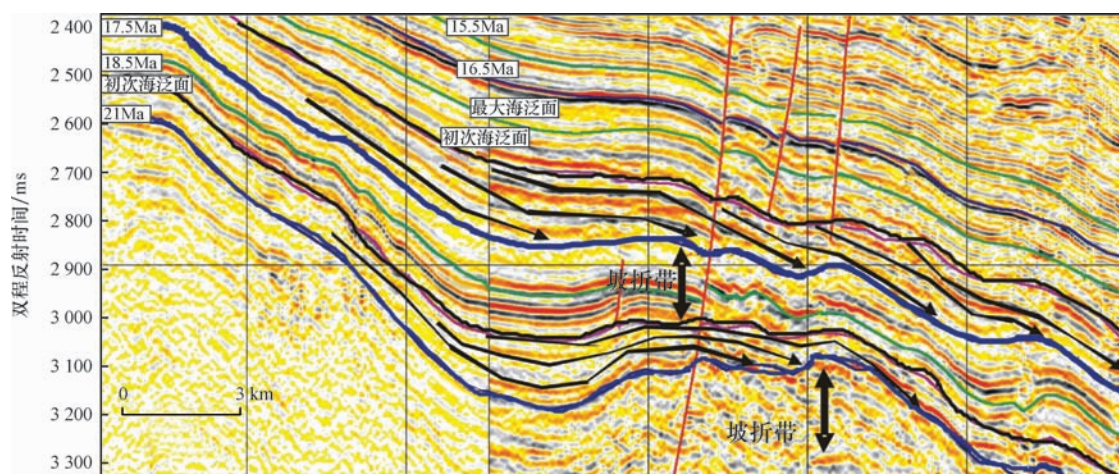


图6 珠江组低位期陆架边缘三角洲特征

Fig. 6 Features of shelf margin delta in lowstand of Zhujiang Formation

等井上该界面之下为浅海三角洲陆架沉积,之上就是深水沉积。根据全区的对比结果显示珠江组(包括SB23.8)发育4个三级层序边界,3个三级层序:SQ23.8(SB23.8—SB21.0),SQ21.0(SB21.0—SB17.5),SQ17.5(SB17.5—SB16.5)和SQ16.5。

从白云凹陷珠江组地震剖面还可以看出,SQ21.0到SQ17.5的沉积过程中,海平面开始下降,低位域古珠江三角洲在陆架边缘显示为前积的楔状体和“S”形前积,持续向海推进,向海方向由于白云凹陷的快速沉降作用,促成陆架坡折带的形成,并使陆架坡折带区域可容空间增大,沉积厚度变大,三角洲前缘在坡折处沉积变厚,坡折上沉积变薄。越过坡折带后,三角洲前缘带继续沉积,由于坡度的快速变化和构造活动,使三角洲前缘碎屑物在自身重力的作用下向陆坡内滑动,形成沿陆架边缘分布的深水扇,从而形成陆架边缘三角洲沉积体系(图6)。

从平面分布来看,低位期的古珠江三角洲主要在坡折带两侧发育,且前缘带的沉积中心靠近坡折带,呈现宽度较大的新月形或者弓形。同时,相对海平面下降和充足的物源供给使三角洲向海进积,而陆架坡折带向陆偏移,使三角洲前缘带不断向陆架坡折带以下沉积,规模和沉积范围亦有增大,这也和SQ21.0,SQ17.5低位域砂岩厚度和含砂率的分布相对应。

17.5Ma以后进入水进域和高位域沉积时期,此时古珠江三角洲处于缓慢发育期,沉积厚度小,规模不大,多限制在坡折带以北地区。同时,高位域的三角洲沉积要大于水进域的三角洲沉积。但是进积作用仍然无法将三角洲推进到坡折带附近,无法形成陆架边缘三角洲,只能形成陆架三角洲。从98口钻井统计来看,SQ17.5水进域发育时期,惠州凹陷西部、东部、西江凹陷主要为加积式叠置样式,恩平凹陷、番禺低隆起和东沙隆起西部

为进积式叠置样式,番禺低隆起南缘为退积式叠置样式,表现了三角洲向陆退积。高位域沉积时期,加积范围扩大,逐渐向西南番禺低隆起推进。进积继续向南扩大到白云凹陷北坡。

通过地震剖面精细解释发现古珠江三角洲在不同体系域内变化不同(图7)。低位域沉积时期,海平面下降到陆架边缘,且限制在研究区西南部番禺低隆起的低洼地带,三角洲进积到陆架边缘,形成厚层的陆架边缘三角洲前缘沉积,并进积到坡折带以下,之后顺峡谷水道沉积到上陆坡内的白云凹陷内,形成深水扇,完成了“源-渠-汇”

的沉积过程,而水进域和高位域时期只能形成陆架三角洲。

白云凹陷陆架边缘三角洲除了在地震和层序特征上有明显表现之外,在岩心特征上也有体现。由于陆架边缘三角洲形成于陆架坡折处,这里生长断层发育,地形坡度变大,容易发生重力滑塌沉积,所以陆架边缘三角洲沉积体系中常夹有大量重力流沉积,这样的沉积组合序列在珠海组和珠江组岩心中均有反映。LWX井第二、三、四次取心均为珠海组。第四次取心岩心特征为底部泥岩段发现了大量的 *Zoophycos* 和部分 *Nereites*, *Cruziana*

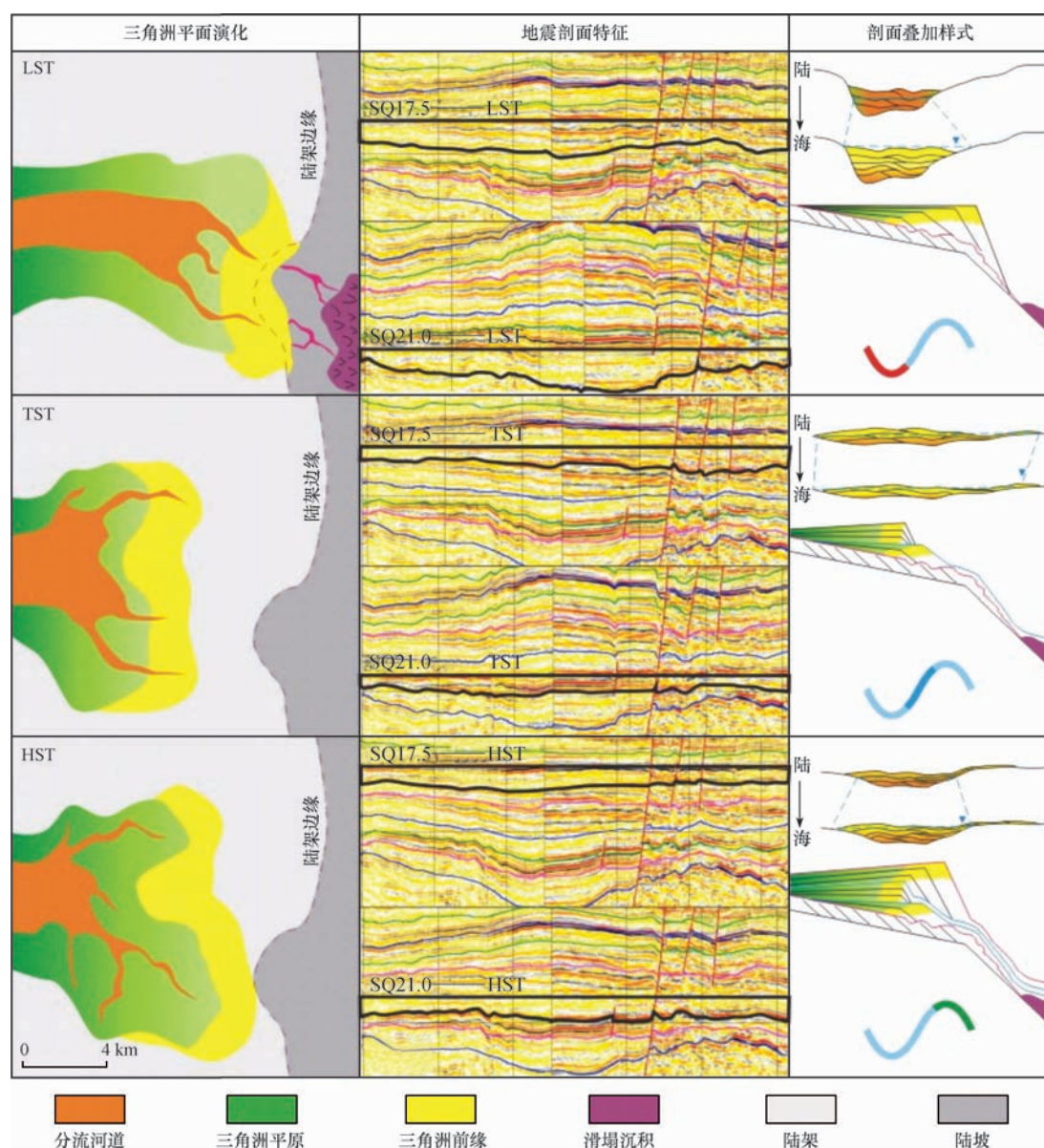


图7 古珠江三角洲类型转化特征

Fig. 7 Characteristics of delta type transformation of ancient Pearl River

深水遗迹化石群组合,反映外陆架至上陆坡深水环境,同时受到重力流沉积的影响。中部砂岩虽多 *Cruziana* 浅水遗迹化石,但种属单调,且泥岩夹层中仍为 *Zoophycos* 深水遗迹相化石,说明砂岩很可能是随重力流搬运至深水的。上部泥岩虽然是大套厚层泥岩,但水平层理不多,仅隐约见斜层,反映沉积时的坡度较大,所以还应为深水陆坡环境。此外,同属于珠海组下部的 LWY 井、LWZ 井取心段发现了抱球虫灰岩,这也表明白云凹陷珠海组早期沉积环境为上陆坡深水环境。LWX 井第二、三次取心岩心总体呈下细上粗的反旋回特征,主要发育三角洲前缘的各种微相,以发育水下分流河道砂体为主,顶部往往为大型底冲刷面或暴露面,发育板状斜层理、槽状斜层理等沉积构造。以上特征表明 LWX 第二和第三回次取心段为浅海陆架-陆架边缘三角洲沉积体系。LWX 井珠江组的岩心反映岩性以粗粒和中-粗粒长石岩屑砂岩为主,往往由略显正韵律结构的块状层理的单砂体相互截切和连续叠置,同时也见深灰色、暗色泥岩和粉砂质泥岩,具水平层理、压实变形和撕裂构造,偶尔夹有深流沉积或风暴沉积的沙纹层理粉砂岩和滑塌碎屑流沉积的泥质同生砾岩,部分泥岩中生物扰动构造发育,有孔虫等化石发育。部分砂岩发育变形、撕裂、冲刷面构造,含有生物碎片、小泥砾等。这些都符合深水浊流的沉积特征。同时在岩心中我们还发现了代表深水沉积环境的 *Zoophycos* 遗迹化石,部分取心段的砂岩中的生物碎屑定向排列,且岩石薄片显示结构成熟度与成分成熟度均较高。粒度分析数据也表明该砂岩属于牵引流沉积或成分成熟度较高的颗粒流沉积,这些特征均不同于典型的浊流沉积。综上所述,结合 LWX 井位于上陆坡位置,岩心特征说明珠江组该位置的沉积物主要是陆架坡折带的三角洲前缘带的碎屑物质不断经过陆架外的水道、下切谷和峡谷向上陆坡内白云凹陷搬运,同时间歇性的发育浊流等重力流沉积,从而形成了与陆架边缘三角洲相关的沿陆架坡折带分布的深水扇体系。白云凹陷陆架边缘三角洲沉积体系是一个从陆架到陆架坡折再到陆坡深水区的复杂沉积体系,它既有陆架三角洲的特点又有陆架边缘三角洲独有的特征,既包括牵引流驱动的前积楔和斜坡水道沉积,也有重力驱动的浊流沉积。白云凹陷陆架边缘三角洲的发现首次把三角洲沉积与重

力流沉积统于一个成因系统中,从此结束了孤立的看待重力流沉积和三角洲沉积成因的分析方法。更重要的是陆架边缘三角洲的发现使得我们对寻找巨型深水扇储集体的勘探思路产生了质疑,并提出了以陆架边缘三角洲沉积体系为线索的寻找大型储集体的新的思路。从最新的钻井结果来看,沿陆架坡折方向的钻井都获得了商业油流,发现了良好的储层,而在垂直于陆架坡折带的深海方向砂层薄、物性差不能成为良好的储层,而且钻井和地震剖面均未发现具有良好储集性能的巨型深水扇沉积体系。由于陆架边缘三角洲的特殊位置以及斜坡水道体系的存在决定了三角洲前缘带在特定的地区与峡谷水道相连,形成陆架与陆坡的物质通道连接,并在后续发育中产生重力流沉积,进而形成深水扇^[31]。但这种深水扇沉积并非滑向远深海的大型浊流扇体,而是沿陆架坡折带分布由斜坡水道输送沉积物的小型重力流沉积,有时可能夹有牵引流沉积。因此,白云凹陷的勘探重点要转向沿陆架边缘方向分布的与陆架边缘三角洲沉积体系有关的大型储集体。

4 结论

从世界范围来看,陆架边缘三角洲的层序识别标志可归纳为以下几点:

- 1) 大型斜交 S 型前积组合,顶超面与下超面的水平落差可达百米级;
- 2) 陆架的坡度一般小于 1° ,陆坡坡度一般为 $3^{\circ} \sim 6^{\circ}$,因此陆架三角洲的前积层坡度较小,而陆架边缘三角洲前积层依陆坡地势而沉积坡度较陡;
- 3) 层序格架中往往由向陆和向海方向各自出现的两个斜坡楔形体构成;
- 4) 形成于层序格架中的低位域,明显可见晚期分流河道切割早期三角洲前缘沉积,因此陆架边缘三角洲沉积常位于低位期的侵蚀面之上或直接沉积于早期陆架边缘和陆坡之上;
- 5) 多发育重力滑塌、变形层理、生长断层等构造。

陆架边缘三角洲沉积体系是一个从陆架到陆架坡折再到陆坡深水区的复杂沉积体系,它既有陆架三角洲的特点又有陆架边缘三角洲独有的特征。陆架边缘三角洲的发现为三角洲研究打开了新的空间,拓宽了思路,为世界油气勘探提供了新

的理论依据。白云凹陷陆架边缘三角洲的发现首次把三角洲沉积与重力流沉积统于一个成因系统中,从此结束了孤立的看待重力流沉积和三角洲沉积成因的分析方法。更重要的是白云凹陷陆架边缘三角洲沉积体系理论的提出为该区油气勘探提供了新的思路。

参 考 文 献

- [1] Muto T, Steel R J. In defense of shelf-edge delta development during falling and lowstand of relative sea level[J]. *Journal of Geology*, 2002, 110: 421–436.
- [2] Plink-Bjorklund P, Steel R J. Sea level fall below the shelf edge, without basin-floor fans[J]. *Geology*, 2002, 30: 115–118.
- [3] Sydow J, Roberts H H. Stratigraphic framework of a Late Pleistocene shelf-edge delta, northeast Gulf of Mexico[J]. *AAPG Bulletin*, 1994, 78: 1276–1312.
- [4] 吴小红, 吕修祥, 周心怀, 等. 黄河口凹陷浅水三角洲沉积特征及其油气勘探意义[J]. *石油与天然气地质*, 2010, 31(2): 165–172.
Wu Xiaohong, Lv Xiuxiang, Zhou Xinhui, et al. Depositional characteristics and hydrocarbon exploration significance of shallow deltas in the Yellow River Mouth Sag[J]. *Oil & Gas Geology*, 2010, 31(2): 165–172.
- [5] Mayall M J, Yeilding J D, Oldroyd A J, et al. Facies in a shelf-edge deltaan example from the subsurface of the Gulf of Mexico, middle Pliocene, Mississippi Canyon, Block 109[J]. *AAPG Bulletin*, 1992, 76: 435–448.
- [6] Edward M B. Upper Wilcox Rosita delta system of South Texas growth-faulted shelf-edge deltas[J]. *AAPG Bulletin*, 1981, 65: 54–73.
- [7] 姜在兴. 沉积体系及层序地层学研究现状及发展趋势[J]. *石油与天然气地质*, 2010, 31(5): 535–541.
Jiang Zaixing. Studies of depositional systems and sequence stratigraphy: the present and the future[J]. *Oil & Gas Geology*, 2010, 31(5): 535–541.
- [8] Suter J R, Berryhill Jr H L. Late quaternary shelf-margin deltas, northwest gulf of Mexico[J]. *AAPG Bulletin*, 1985, 69: 77–91.
- [9] Elliot T. Deltaic systems and their contribution to an understanding of basin-fill successions//[C]. Whateley M K G, Pichering K T, eds. *Deltas: sites and traps for fossil fuels*. Geological Society Special Publication, 1989, 41: 3–10.
- [10] 肖朝晖, 王招明, 姜仁旗, 等. 塔里木盆地寒武系碳酸盐岩层序地层特征[J]. *石油与天然气地质*, 2011, 32(1): 1–10.
Xiao Zhaohui, Wang Zhaoming, Jiang Renqi, et al. Sequence stratigraphic features of the Cambrian carbonate rocks in the Tarim Basin[J]. *Oil & Gas Geology*, 2011, 32(1): 1–10.
- [11] Porebski S J, Steel R J. Shelf-margin deltas: their stratigraphic significance and relation to deepwater sands[J]. *Earth-Science Reviews*, 2003, 62: 283–326.
- [12] Porebski S J, Steel R J. Deltas and Sea-Level Change[J]. *Journal of Sedimentary Research*, 2006, 76: 390–403.
- [13] Steel J R, Cristian C, Andrew L P, et al. Shelf and shelf-margin growth in scenarios of rising and falling sea level[J]. *Special Publication-Society for Sedimentary Geology*, 2008, 90: 47–71.
- [14] Burgess P M, Hovius N. Rates of delta progradation during highstands: consequences for timing of deposition in deep-marine systems[J]. *Journal of Geological Society of London*, 1998, 155: 217–22.
- [15] Fisher W L, Brown L F. Delta systems in the exploration for oil and gas [M]. Austin, TX, United States: Publication of Texas University, 1969: 54–66.
- [16] Galloway W E. Sediments And Stratigraphic Framework Of The Copper River Fan-Delta, Alaska[J]. *Journal of Sedimentary Petrology*, 1976, 46: 726–737.
- [17] Fisk H N. Bar-finger sands of Mississippi delta[C]//Fisk H N. *Geometry of sandstone bodies*, United States: US Geological Survey, 1961: 25–28.
- [18] Orton G J, Reading H G. Deltas: the missing grain size component[J]. *Journal of Geology*, 1990, 25: 299.
- [19] Holmes G W. Geologic reconnaissance along the Alaska Highway, Delta River to Tok Junction, Alaska[J]. *US Geological Survey Bulletin*, 1965, B 1181: H1–H19.
- [20] Tesson M, Posamentier H W, Gensous B. Stratigraphic organization of Late Pleistocene deposits of the western part of the Golfe du Lion Shelf (Langedoc Shelf), western Mediterranean Sea, using high-resolution seismic and core data[J]. *AAPG Bulletin*, 2000, (84): 119–150.
- [21] Penland S, Boyd R, Sutter J R. Transgressive depositional systems of the Mississippi delta plain: a model for barrier shoreline-and shelf sand development[J]. *Sedimental Petrology*, 1988, 58: 932–949.
- [22] Postma G. Causes of architectural variability in deltas//[C]. Oti M N, Postma G, eds. *Geology of Deltas*. Rotterdam: Balkema, 1995: 3–16.
- [23] Kolla V, Biondi P, Long B, et al. Sequence stratigraphy and architecture of the late Pleistocene Lagniappe delta complex, northeast Gulf of Mexico//[C]. Hunt D, Gawthorpe R L, eds. *Sedimentary responses to forced regressions*. Geological Society of London: Special Publication, 2000: 172: 291–327.
- [24] 刘铁树, 何仕斌. 南海北部陆缘盆地深水油气勘探前景[J]. *中国海上油气(地质)*, 2001, 15(3): 164–170.
Liu Tieshu, He Shibin. Oil-gas exploration prospect of deep-water area in North of South China Sea[J]. *China Off shore Oil and Gas (Geology)*, 2001, 15(3): 164–170.
- [25] 代一丁, 庞雄奇. 珠江口盆地珠二坳陷石油地质特征[J]. *中国海上油气(地质)*, 1999, 13(3): 169–174.

- Dai Yiding, Pang Xiongqi. Petroleum geological characteristics of Zhu II depression, Pearl River Mouth basin, China [J]. China Off shore Oil and Gas (Geology), 1999, 13 (3): 169 - 173.
- [26] Januszczak N, Eyles N. ODP drilling leads to a new model of shelf and slope sedimentation along the Antarctic continental margin [J]. Geoscience Canada, 2001, 28(4): 203 - 210.
- [27] 彭大钧, 陈长民, 庞雄, 等. 南海珠江口盆地深水扇系统的发现 [J]. 石油学报, 2004, 25(5): 18 - 23.
Peng Dajun, Chen Changmin, Pang Xiong, et al. Discovery of deep-water fan system in South China sea [J]. Acta Petrolei Sinica, 2004, 25(5): 18 - 23.
- [28] 李俊良. 珠江口盆地西部珠江组潮流砂脊的分布、形态和水动力机制 [J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(5): 671 - 677.
Li Junliang. Distribution geometry and hydrodynamic mechanism of tidal sand ridges in the Zhujiang Formation, the western Zhujiangkou basin [J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(5): 671 - 677.
- [29] 庞雄, 陈长民, 彭大钧, 等. 南海北部白云深水区之基础地质 [J]. 中国海上油气, 2008, 20(4): 215 - 222.
- Pang Xiong, Chen Changmin, Peng Dajun, et al. Basic geology of Baiyun deep-water area in the northern South China sea [J]. China Offshore Oil And Gas, 2008, 20(4): 215 - 222.
- [30] 庞雄, 陈长民, 施和生, 等. 相对海平面变化与南海珠江深水扇系统的响应 [J]. 地学前缘, 2005, 12(3): 167 - 177.
Pang Xiong, Chen Changmin, Shi Hesheng, et al. Response between relative sea-level change and the Pearl River deep-water fan system in the South China Sea [J]. Earth Science Frontiers, 2005, 12(3): 167 - 177.
- [31] 熊利平, 刘延莉, 霍红. 西非海岸南、北两段主要含油气盆地油气成藏特征对比 [J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(4): 410 - 419.
Xiong Liping, Liu Yanli, Huo Hong, et al. Comparison of the hydrocarbon accumulation patterns of petroliferous basins between the north and south parts of the West African coast [J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(4): 410 - 419.

(编辑 高岩)

国家重点基础研究发展计划(“973”计划)项目《中国早古生代海相碳酸盐岩层系大型油气田形成机理与分布规律》通过论证

经过近一年的充分准备和三次国家科技部论证,中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院申请的国家重点基础研究发展计划(“973”计划)《中国早古生代海相碳酸盐岩层系大型油气田形成机理与分布规律》正式获得国家科技部批准,这一项目是继该院承担《中国海相碳酸盐岩层系油气富集机理与分布预测》项目以来,再次在海相碳酸盐岩勘探领域获得的国家“973”计划资助。

与前期“973”计划项目相比,该项目进一步聚焦在塔里木盆地、中上扬子地区的早古生代碳酸盐岩层系,围绕中国早古生代海相碳酸盐岩层系油气多期成藏机理与大型油气田保存规律的科学问题,以成藏要素与成藏动态演化过程为主线开展研究。重点开展以下三个方面的研究:早古生代有机质多元成烃机理与油气示踪技术、下古生界碳酸盐岩储层多期改造机理与分布预测及下古生界大型油气藏有效保存机理与分布规律。

针对上述科学问题,项目共设6个课题,其中中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院牵头承担3个课题,依次为:早古生代海相层系烃源特征与成藏过程示踪、下古生界碳酸盐岩优质储层形成与分布预测和中国下古生界大型油气田保存条件与分布预测。其他3个课题分别由南京大学、成都理工大学及中国地质大学(武汉)牵头承担。

项目将在5年研究中,预计在理论层面完善和形成中国早古生代海相碳酸盐岩层系大型油气田形成与分布预测理论,指导油气勘探的重大突破;在技术层面形成适用于下古生界油气勘探的成烃成藏地球化学示踪体系和以储盖层预测为核心的地质-地球物理综合预测技术。该项目的实施,将进一步培养和壮大中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院海相油气勘探队伍,丰富和完善海相油气勘探理论与核心技术,同时发表一批高级别论文并申报一系列专利等。

(刘全有 供稿)