

# 海相三角洲沉积单元划分及其对勘探砂体对比的意义

## ——基于现代珠江三角洲沉积水动力综合研究

李小平<sup>1</sup> 柳保军<sup>1</sup> 丁琳<sup>1,2</sup> 郝建光<sup>1</sup> 龚文<sup>1</sup>

(1.中海石油深圳分公司研究院 广州 510240;2.长江大学地球科学学院 湖北荆州 434023)

**摘要** 从水文地质、地理、地貌学角度,融合河流、波浪、潮汐水动力,对现代珠江三角洲体系中河流、波浪和潮汐的成因单元共存现象进行综合解读,建议引入“沉积单元”的概念,搭积木似组合亚相和相,重建海相三角洲沉积体系。同时认为,对于前积特征明显的三角洲中进行砂体对比,层序地层学等时格架内的砂体多采用前积式(斜层)对比方案,但传统的岩性地层(平层)对比方案也有可取之处。尤其在开发阶段,进行沉积微相导向的砂体对比时,建议结合地震反射特征确定对比方案。在具体对比手段上,应结合沉积砂体展布、油气水关系、邻井对比、动态压降等实际资料,进而建立储层地质模型,使模型既能反映沉积环境,更能预测储层。

**关键词** 珠江 磨刀门 三角洲 沉积单元 微相 砂体对比

**第一作者简介** 李小平 男 1981年出生 硕士 高级工程师 沉积学 E-mail:64785190@qq.com

**中图分类号** P618.13 **文献标识码** A

海相三角洲是珠江口盆地自珠海组以来的主要储层类型,目前绝大部分在生产的油气田与之相关。随着勘探的深入,地层岩性圈闭在本地区的重要性日益增加,与三角洲相关的砂体对比研究也日益受到重视。要做好砂体对比,需要满足两个条件:①砂体划分正确,以便明确其沉积展布,进行后续的地层对比;②对比方案合理,综合考虑地球物理、沉积规律、油气水关系等资料的统一,真实的反映砂体规模、连通性等,从而指导勘探实践。

现代珠江三角洲在不同部位具有河流、波浪、潮汐分别主控或者共存的现象,特征丰富,开展现代珠江三角洲地质考察研究,对将今论古,了解三角洲的水动力发育、砂体展布规律大有裨益。本地区积累了丰富的水文资料和详尽的地理和地质研究成果<sup>[1-10]</sup>,其中水利学和水文地质学重在水动力分析及工程应用,地理学重在现代沉积物形成地貌分析,沉积学重在沉积体成因解释,这些学科均是对大自然的不同角度的解读,各有侧重,适当的学科融合不失为一种实用的研究手段。

本文基于传统沉积学、地球物理方法,参考水文地质学、地理学、地貌学,对珠江口盆地海相三角洲的划分以及砂体对比进行思考,以期对海相三角洲的勘探有所参考。

## 1 海相三角洲划分和对比的问题

目前对于海相三角洲的划分方案,理论上存在不同的解读,常用的是基于地质营力,分河流、潮汐、波浪的三分方案<sup>[11-13]</sup>。而现代地理学、水利工程学的研究<sup>[5,14]</sup>证明,同一个三角洲不同部位,其主控水动力也不一样,客观上造成了单一模式刻画某个三角洲时的顾此失彼;另外,关于勘探开发所关心的砂体,比如常见的河口坝,其是三种水动力综合作用的结果,这种理论与勘探关注点的差异也造成分类方案使用中的迷惑。单一的采用任一种模式,可能都无法正确反映砂体的实际展布特征,有必要采用更具操作性和客观的划分方案。

其次,层序地层学的引入使得等时格架下的砂体对比成为勘探实践热点。表现在“斜层对比方案”(即 Shepherd 倡导的“沉积微相控制下的砂体对比”<sup>[15]</sup>)广受推崇,但是实事求是才是砂体对比的唯一依据。为此,本文试图从地震、地质、开发角度对具体方案选择进行探索。

## 2 海相三角洲划分方案

海相三角洲的划分方案一直是业界讨论的焦点,从 Galloway 的三分方案<sup>[11]</sup>开始,分类方案层出不穷,

从 Orton 增加粒度后的结构—成因分类方案<sup>[12]</sup>,到最近 Ainsworth<sup>[13]</sup>依据三分量的占比进行排列组合的分类等,各有优缺点。但应用于石油勘探中,资料的丰富程度以及现象的直观性大打折扣,导致理论应用于勘探时水土不服;其次,现有分类模式化较强,比如河控三角洲中见不到潮控或者浪控的微相分类,以至于当勘探中发现河控三角洲中发育浪控或者潮控特征砂体时<sup>[16-17]</sup>,往往无所适从;第三,分类的原则要求适用且易用,如果一个分类过细过繁,不利于记忆;但过少又不能反映差别。

基于以上几点,我们提出适于海相三角洲勘探生产实践、易用的分类依据、方法以及方案。

## 2.1 分类依据

于兴河<sup>[11]</sup>提出,三角洲分类应该基于5点准则:体现研究目的、反映成因机制、表征基本属性、具备可操作性、具备推广价值。受此启发,基于珠江口盆地海相三角洲的勘探实际和现代珠江三角洲的实地考察,我们认为分类可以从以下三方面入手:

### (1) 相与亚相保留,微相更细化

油气勘探开发的不同阶段,对相带的划分精度要求不同,勘探时期区分清楚河流、波浪、潮汐等主控因素,研究区发育于三角洲的部位,砂体可能的展布方式等即可,现有三分方案即可满足要求。而在开发和生产阶段,以及地层岩性圈闭勘探阶段,研究对象细化至砂体,分类方案也应进一步精细。

### (2) 模糊三种水动力界限,适当融合

水文地质学成果<sup>[1-2,7-8]</sup>表明:在同一时期,具有“五江八门”特征的珠江三角洲,在不同地方其主控水动力有所不同,比如虎门、蕉门、洪奇门、横门和崖门,潮控特征明显,而磨刀门、鸡啼门和虎跳门则河控特征明显;另一方面,不同时期,三角洲同一位置的主控水动力也在动态变化,比如洪枯季、大小潮、涨落潮时期,在宏观、中观、微观尺度上也一直发生着大自然的角力,如图2中,洪季与枯季咸水和淡水的边界发育于不同位置,枯季甚至可以上溯100多千米到广州<sup>[8]</sup>。从原因上分析,洪季时河流作用强,潮汐和波浪作用相应减弱,但是河流并非恒强,其主控的地貌呈线状,主要影响水道以及天然堤、河口坝附近,而且还随洪枯季、大小潮、涨落潮等的变化而变化。在河流不主控的地方,会发育潮汐或波浪形成的地貌,甚至出现河道与潮道共生。三大水动力系统,是人类认识自然界的方式,其搬运和沉积沉积物的内在机理不随地点的改变而改变,三种水动力在现代珠江三角洲

内无时不在演绎着阴阳耦合,这也正契合“道法自然”的辩证唯物主义哲理<sup>[7-8]</sup>。

关于潮道和河道,二者的平面形态一般都具有弯曲或蜿蜒的特点(图1),但具有以下差别:①能量方向有所不同。河道水系动能主要来自陆地,通常呈由陆向海树状分叉,而潮道水系动能来自海域,也呈树状分叉,但是分叉方向由海向陆。这是因为靠近海洋的河口位置的潮流干道能量最高,远离河口的潮流汉道能量逐渐减弱。②在地貌学上,由这些弯曲潮道水系影响分布的平原地区,称之为潮成平原,曾昭璇(1958)也此种平原为“准点平原”<sup>[8]</sup>,地貌高差小,高潮位期潮成平原极易被潮水淹没。河道则往往发育相对较高的天然堤,二者从地貌上很容易区分。③从水道断面形态看,潮道近岸水域有宽阔的潮滩发育,是高低潮水携带的泥沙淤积而成,潮滩主要由淤泥物质构成,发育成熟的潮滩低潮出露、高潮淹没,呈涨落

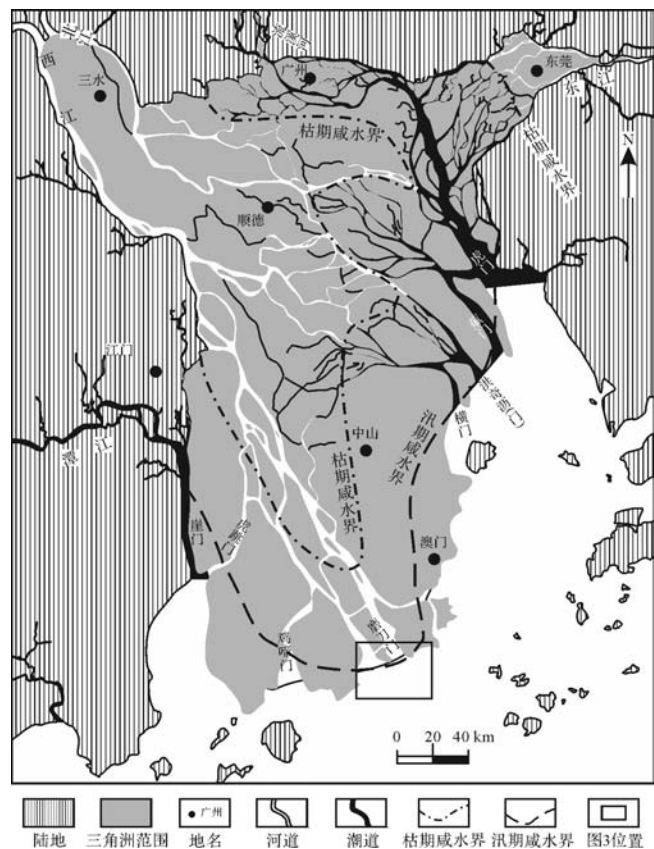


图1 现代珠江三角洲的“五江八门”地貌形态以及河流、潮汐动力耦合图

(据文献[1,7-9]、珠江水利科学委员会 Landsat 8 卫星影像等综合)

Fig.1 Geographic characteristics of modern Pearl River delta showing five distributary channels and eight mouths, as well as the river-tide interconnecting distribution

潮变化。同时在潮道中央有一条冲刷深槽—潮槽存在,往往发育最粗可达粗砂、砾石级别。根据虎门观测点数据,虎门潮槽最深可达30 m,这一较深水位置存在,可以发展航运。河流体系发育河漫滩、江心洲等沉积单元,其沉积物粒度较潮滩的泥质要粗,且呈洪枯季变化,比潮道的涨落潮变化要缓慢。沉积特征上看,河道往往缺少潮汐作用特色的泥质披覆,以及双向交错层理<sup>[18]</sup>。

在河控的磨刀门河口,也有波浪控制的交杯四沙发育,而离磨刀门仅仅3 km的龙屎窟水道,却是潮汐控制的水道<sup>[7-8]</sup>(图2)。同一个地方,发育了三种水动力,砂体展布相应不同,这与传统三角洲模式中截然分开的方案完全不同。

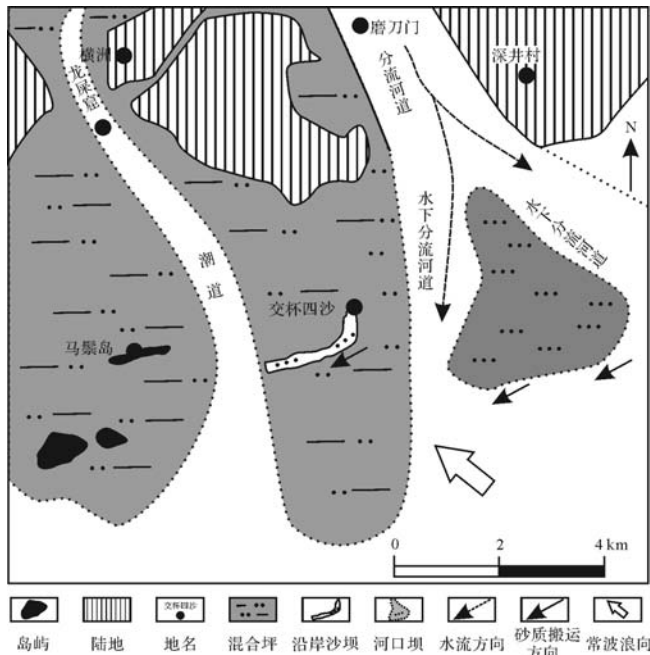


图2 现代珠江磨刀门河口沉积环境解释

图中虚线代表水下环境,工区范围见图1中的黑框

Fig.2 Depositional interpretation of modern Modaomen Mouth in Pearl River delta

### (3) 借鉴“沉积单元”概念,重建三角洲

微相方案的弊端在于不同微相之间的空间配置关系基本确定,有利于预测砂体,却对水动力变化时形成的其他类型砂体不敏感。打破河流、波浪、潮汐的界限之后,不同水动力的砂体组合在一起,会降低平面上的可预测性,却能更好的解释砂体成因。建议借鉴“沉积单元”的概念<sup>[19]</sup>,将砂体划分为相对独立的沉积单元,搭积木似的组合。

以磨刀门河口的交杯四沙为例,其发育在河控三

角洲的水下天然堤上,属于波浪搬运堆积的沿岸沙坝,波浪能量的变化影响砂体形态<sup>[20]</sup>,本地区波浪作用12月份强于10月份,10月份平均波浪作用小,但风暴浪发育,形成的沙滩宽而缓,并保留风暴产生的冲越扇形态,锯齿状明显;12月份整体波浪作用强,但是涌浪为主,不见风暴浪,使得沙坝的纵向冲越作用发育,锯齿状不明显,沙滩高而窄(图3)。可见在河流主控的地区,局部也会发育波浪主控的砂体,且其规模以及形态还受季节的影响。若能借鉴“沉积单元”概念,将不同水动力环境的沉积单元引入,无疑更便于沉积体的解释。

## 2.2 建议方案

鉴于海相三角洲的复杂性,以及勘探生产的便利性,在以上三条分类依据的基础上,本着客观、可操作的原则,建议按照以下方案进行分类。

表1为现有的河控三角洲、波浪、潮坪环境的沉积相—亚相—微相分类表。根据前面讨论,相和亚相级别仍然按照现有方案,微相级别则融合三者(表2)。

以海南博鳌的万泉河三角洲为例,按照传统三角洲的划分,此处河口处的长条形沙坝(图4),将无法进行命名。若按照新方案,直接将障壁岛—潟湖模式中的障壁沙坝引入即可,旁边的水道即为潮道。同理,对于珠江三角洲,其具两侧伶仃洋和黄茅海为潮控,中间磨刀门为河控的“一正两负”体系特征<sup>[7-8]</sup>,在两边的虎门伶仃洋和黄茅海处,水动力以潮汐为主,应该以潮汐环境的单元来命名,如图所示(图1)。对于磨刀门河口,前已提及,其为河流动力为主的水道,应该以河流主控体系命名,而交杯四沙因为主要受波浪沿岸流作用控制,应该称为“沿岸沙坝”。旁边3 km左右的龙屎窟处,呈典型的潮汐作用为主的特征,水深仅约3 m,宽阔的潮滩水深约1 m,适宜养蚝,故龙屎窟水道为潮道,而旁边的浅水区则为潮滩。3 km范围内,河流、波浪和潮汐的三种地貌共存(图2)。因此,融合三种水动力的三角洲沉积单元方案符合实际,值得推广。

## 3 “沉积单元”方案对砂体对比的意义

对现代珠江三角洲砂体单元的划分,是为了发现客观规律,以期更好的指导勘探与开发实践,为下一步的砂体对比提供基础。从对比方案上看,在层序地层学引入勘探实践后,等时格架下的砂体对比(因为其往往呈倾斜的砂体对比方式,以下简称“斜层对



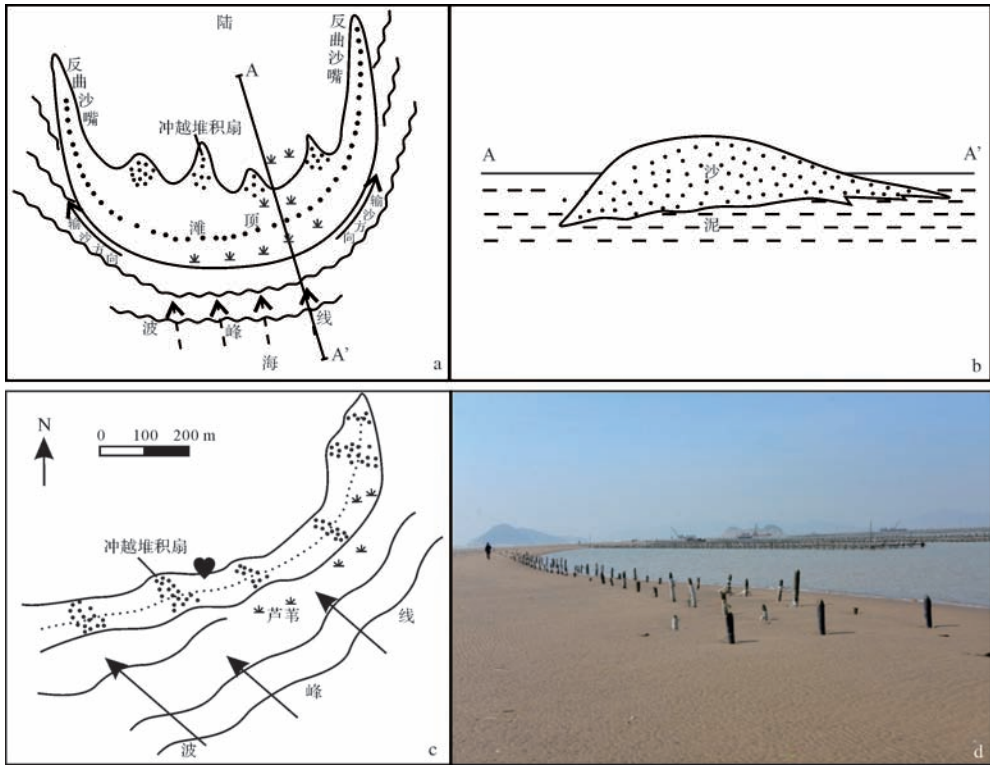


图3 磨刀门交杯四沙10—12月的地貌变化

a.2014年10月时交杯四沙的形状;b.过交杯四沙的南北向剖面,可见南缓北陡,剖面位置见a图的A-A';c.交杯四沙2014年12月的形状,相比10月份,交杯四沙的位置更靠北,沙滩变窄,冲越扇更圆滑;d.12月时在交杯四沙上拍到的蚝架已经被冲越扇埋住大半,拍摄点见c图中的黑色心形处,镜头朝西。

Fig.3 Geographic change through October to December of Jiabeisisha sand in Modaomen

表1 现有的河控三角洲以及滨岸、潮坪与潮控陆棚划分方案

Table 1 Existing definition of river dominated delta, strandplain, tidal flat and tidal-dominated shelf in use

相	亚相	微相
河控三角洲	三角洲平原	主河道,分流河道,天然堤,决口扇,泛滥平原,沼泽
	三角洲前缘	水下分流河道,水下分流间湾,水下决口扇,河口坝,远沙坝,席状沙
	前三角洲	前三角洲泥,浊积沙,滑塌重力流
滨岸	后滨	滩脊,后滨沙丘,风成沙丘,千尼尔岗
	前滨	沿岸沙坝,障壁沙坝
	临滨	水下沙坝
潮坪	潮上带	潮沟,泥坪
	潮间带	潮道,涨潮三角洲,落潮三角洲,冲流坝
	潮下带	潮道,潮流沙脊

表2 建议采用沉积单元方案的三角洲划分表

Table 2 Recommended delta identification through depositional elements method

相	亚相	沉积单元
三角洲	三角洲平原	主河道,分流河道,天然堤,决口扇,泛滥平原,沼泽,潮沟,泥坪,千尼尔岗,风成沙丘,后滨沙丘
	三角洲前缘	水下分流河道,水下分流间湾,水下决口扇,河口坝,远沙坝,席状沙,沿岸沙坝,障壁沙坝,冲流坝,水下沙坝,潮道,涨潮三角洲,落潮三角洲,潮流沙脊
	前三角洲	前三角洲泥,浊积沙,滑塌重力流

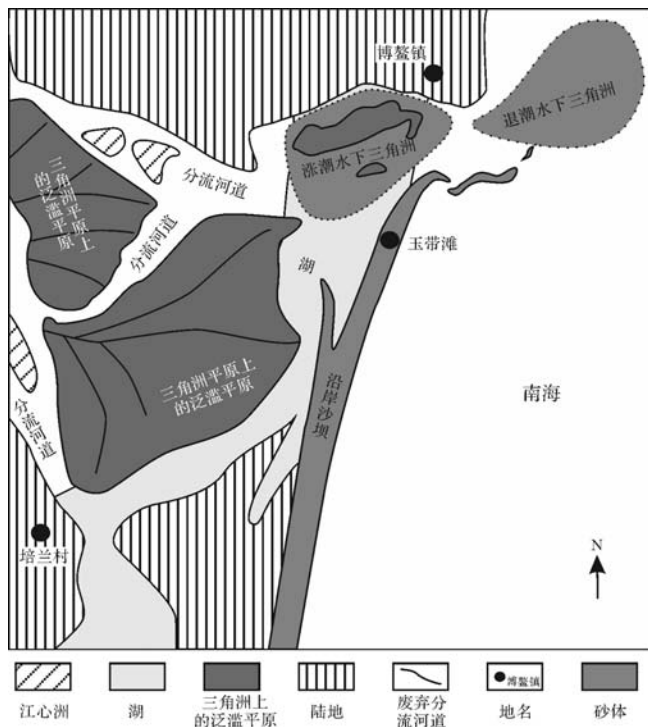


图4 万泉河三角洲采用沉积单元方案后的地貌识别

Fig.4 Geographic identification of Wanquanhe delta through depositional elements method

比”)就受到广泛关注,以前常用的、根据测井曲线的相似性进行砂体对比的模式(因其往往平行对比,以下简称“平层对比”)被摒弃。然而,斜层对比虽有其固有的优势,也较能反映沉积砂体展布规律,值得大力推广<sup>[15,21-22]</sup>。但是实际工作中,特别是在珠江口盆地钻井数量有限的情况下,采用何种模式往往会有多种选择,而最终方案的选择可能对勘探成果产生重大影响,有必要认真对待此问题。

具体砂体对比方法方面,勘探开发实践中多采用地球物理反演、油气水关系、测井曲线相似性等技术,手段略显单一,若砂体划分较粗或者不符合实际,往往导致对比矛盾。若采用“沉积单元”方案,可综合利用砂体的叠加样式、展布规律、规模大小、连通性等手段,从而提高预测可靠性。具体工作时,可从以下几方面入手:地震反射特征、沉积展布规律、井间距、压降等。

### 3.1 地震反射定样式

遵循从宏观到微观的原则,首先做好合成记录标定,将砂体标定到正确的地震轴上。随后依据地震反射特征,选择合适的宏观对比方案。对于图5中的砂体a,A井和B井之间的地震轴呈明显的前积样式,

反映砂体逐渐前积,砂体对比中应该采用斜层方案,此时不能根据测井曲线的相似性,将砂体直接连通。而对于B井和C井,两口井相距较近,而地震轴明显连续,对砂体b进行对比时应该优选平层对比方案。

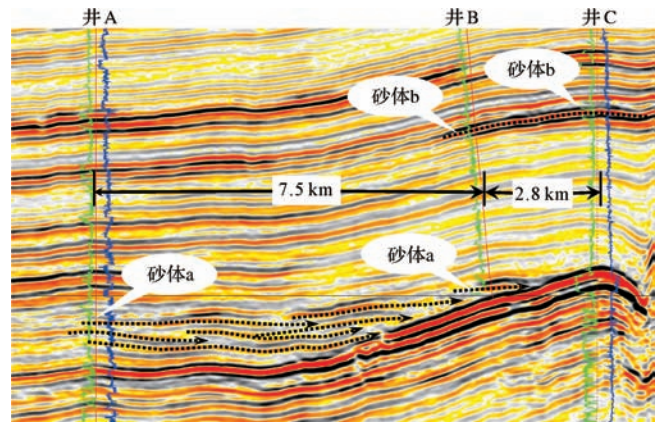


图5 依据地震反射对比砂体

左边曲线为自然伽马,右边曲线为声波时差

Fig.5 Sand correlation according to seismic reflection

### 3.2 沉积规律定展布

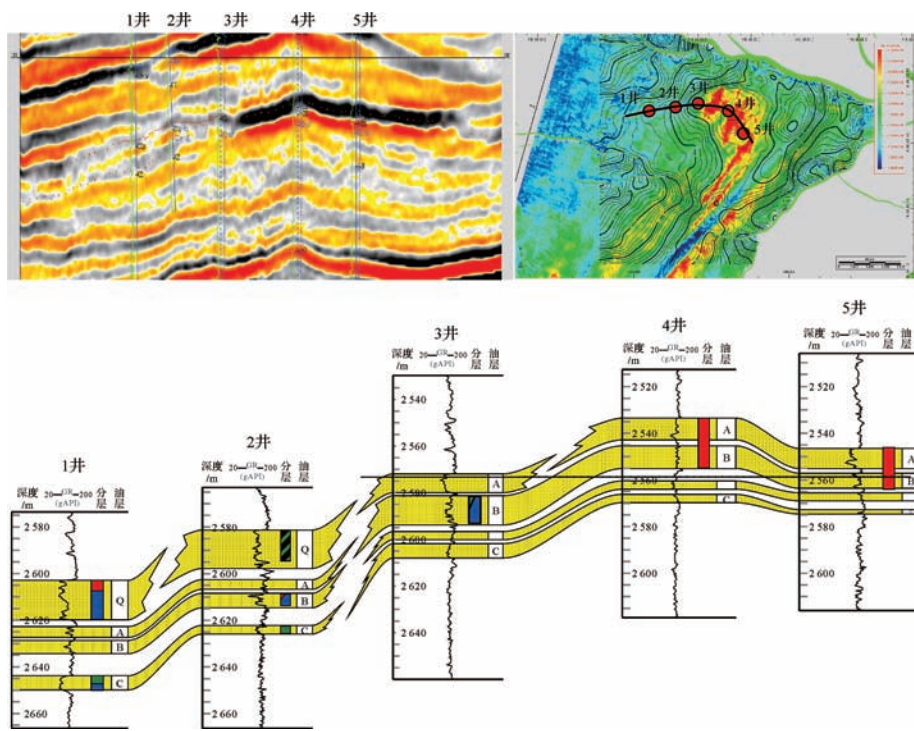
沉积微相控制的砂体对比需要考虑沉积展布规律。比如水道砂体,顺物源方向砂体连续性好,垂直物源方向则较差;对于沙坝类型砂体,其前积方向朝海,进行顺物源方向对比时,“斜层对比”方案更可靠,而垂直物源方向短距离内应采用“平层对比”方案。当然,对比时还需要综合考虑海平面变化等其他因素。总之,不同方向砂体的连通规模不一,需要综合考虑物源方向,海平面变化等因素。

### 3.3 邻井对比定规模

单砂体的展布有局限性,若井间距超过但砂体最大展布范围,连通性就需要重新考量其中隔夹层是否存在。比如曲流河河道,宽度往往小于1000 m,超过此范围,尽管存在河道的迁移摆动,往往有冲刷面或者薄层泥岩等阻隔,这些隔夹层可能防止生产过程中的快速水窜,利于油气稳定的生产。

### 3.4 动态压降定连通

对在生产油田进行滚动勘探时,新钻遇的砂体与在生产砂体的关系可以利用压力资料辅助判断。生产中油田砂层压力往往有所降低,若新钻井地层压力梯度小于1,或者接近油田压力梯度,但小于正常地层压力梯度(该值会随着地区的改变而变化),则其砂体很可能与在生产油田的砂岩沟通;反之,若油田压力梯度已经很低,新钻井的砂体压力梯度却接近于1,二者的不连通的可能性就增大了。



地层压力系数(0.94) 地层压力系数(0.9) 地层压力系数(0.87) 地层压力系数(0.3) 地层压力系数(0.3)

图6 珠江口盆地某油田波浪改造的三角洲砂体井震对比

左上图为过井地震剖面,剖面位置见右上图中的黑色实线,该图为目的层均方根振幅属性图,下图为联井剖面;分层中红色代表气层,绿色代表油层,带斜杠的蓝绿色代表差油层,蓝色代表水层

Fig.6 Well correlation and seismic section of wavy-modified delta in one oilfield of Pearl River Mouth Basin

图6显示珠江口盆地某油田受波浪改造的三角洲砂体的对比,均方根属性展示多个条带状,地震剖面也显示断续的特征,但是砂体之间的连通性未知。由于已开发的4井、5井的A/B/C层均产气,而1,2,3井的则主要为油层,且4,5井的地层压力系数已经达到0.3,1,2井的压力系数为0.94,0.9,反映为初开地层,砂体应该与4,5井不连通。至于1,2井之间的连通性,可通过油水层的关系区分,3井的压力为0.87,明显小于初开地层,但是与已经开发的4,5井的处于气油界面之下,而2井位于构造低部位,却是气层,故2,3井不连通,3,4井则可能连而不畅。

以上适合海相三角洲砂体对比的新方法,在珠江口盆地产生了良好的效果。目前常用的砂体连通性判断如地球物理反演方法以及油气水关系法,以及油藏工程方面,对于气层采用的物质平衡法以及成藏机理分析方法,作为宏观的把握,也值得借鉴。

总之,在海相三角洲砂体对比中,建议采用“沉积单元”方案,结合地震反射特征、沉积砂体展布、油气水关系,甚至井间距等实际资料,优选更贴近实际的对比方案,建立储层地质模型。具体来说,首先地

震反射结构确定砂体展布方式以及结构特征;其次区域对比确定宏观地貌,结合地震平面属性图确定砂体分布范围;再次,邻井对比确定砂体规模;最后,利用生产动态资料确定砂体连通性。

## 4 结论

(1) 根据现代珠江三角洲考察以及珠江口盆地的勘探实践,建议海相三角洲的砂体沉积微相划分可以借鉴“沉积单元”概念,打破河流三角洲、波浪、潮汐环境的微相界限,按照亚相融合后,搭积木似重建海相三角洲。但是,此方法仅适合海相三角洲,对于陆相扇三角洲或者辫状河三角洲等,由于缺乏海洋潮汐或者波浪等水动力,该方法暂不适用。

(2) 砂体对比时常采用油气水关系以及地球物理反演等手段,基于实事求是的原则,建议按照地球物理反射特征、沉积展布规律、井间距、压力梯度等资料进行砂体对比,客观且可操作性强。

## 参考文献 (References)

- 1 黄镇国,张伟强. 珠江河口磨刀门的整治与地貌演变[J]. 地理与



- 地理信息科学, 2005, 21(6): 61-65, 73. [Huang Zhenguo, Zhang Weiqiang. The administration and geomorphological evolution in Modaomen River mouth of Zhujiang Estuary [J]. Geography and Geo-Information Science, 2005, 21(6): 61-65, 73.]
- 2 李春初, 雷亚平, 何为, 等. 珠江河口演变规律及治理利用问题[J]. 泥沙研究, 2002(3): 44-51. [Li Chunchu, Lei Yaping, He Wei, et al. Evolutional processes of the Pearl River Estuary and its protective regulation and exploitation [J]. Journal of Sediment Research, 2002(3): 44-51.]
- 3 王世俊. 珠江磨刀门河口研究现状与展望[J]. 人民长江, 2013, 44(21): 19-23. [Wang Shijun. Research status and prospect of Modaomen estuary of Pearl River [J], Yangtze River, 2013, 44(21): 19-23.]
- 4 王世俊, 胡达, 李春初. 磨刀门河口近期演变及其排洪效应[J]. 海洋通报, 2006, 25(2): 21-26. [Wang Shijun, Hu Da, Li Chunchu. The recent evolution of Modaomen Estuary and its effect on flood drainage [J]. Marine Science Bulletin, 2006, 25(2): 21-26.]
- 5 贾良文, 任杰, 徐治中, 等. 磨刀门拦门沙区域近期地貌演变和航道整治研究[J]. 海洋工程, 2009, 27(3): 76-84. [Jia Liangwen, Ren Jie, Xu Zhizhong, et al. Morphological evolution in recent years and waterway regulation of the sandbar area in the Modaomen Estuary [J]. The Ocean Engineering, 2009, 27(3): 76-84.]
- 6 梁娟. 磨刀门河口沉积物粒度特征与沉积环境[J]. 热带地理, 2005, 25(2): 117-122. [Liang Juan. Characteristics of the sediment and sedimentary environment in the Modaomen Estuary [J]. Tropical Geography, 2005, 25(2): 117-122.]
- 7 Li Chunchu, Lei Yaping, He wei, et al. Land-Ocean interaction in modern delta formation and development: a case study of the Pearl River Delta, China [J]. Science in China (Series B): Chemistry, 2001, 44(1): 63-71.
- 8 李春初. 珠江河口陆海互动论[M]//李春初. 学思集-李春初地理文选. 香港: 中国评论学术出版社, 2009: 59-66. [Li Chunchu. Land-Ocean interaction in Pearl River Mouth [M]//Li Chunchu. Learning and Thought Set-Geographic Literacy Selections of Lichunchu. Xiang-gang: China Review Academic Publishing Limited, 2009: 59-66.]
- 9 王世俊, 易小兵, 李春初. 磨刀门河口水沙变化与地貌响应[J]. 海洋工程, 2008, 26(3): 51-57. [Wang Shijun, Yi Xiaobing, Li Chunchu. Variation of flow and sediment and response of morphology in Modaomen estuary of Xijiang River [J]. The Ocean Engineering, 2008, 26(3): 51-57.]
- 10 包芸, 黄宇铭, 阮波. 磨刀门水道具有垂向间断和连续结构的盐水楔[J]. 中国科学: 物理学 力学 天文学, 2011, 41(10): 1216-1223. [Bao Yun, Huang Yuming, Ruan Bo. Salt wedge with vertical structure of discontinuous and continuous distribution in Modaomen waterway [J]. Scientia Sinica: Physica, Mechanica & Astronomica, 2011, 41(10): 1216-1223.]
- 11 于兴河, 李胜利, 李顺利. 三角洲沉积的结构—成因分类与编图方法[J]. 沉积学报, 2013, 31(5): 782-797. [Yu Xinghe, Li Shengli, Li Shunli. Texture-genetic classification and mapping methods for deltaic deposits [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2013, 31(5): 782-797.]
- 12 Ainsworth R B, Vakarelov B K, Nanson R A. Dynamic spatial and temporal prediction of changes in depositional processes on clastic shorelines: toward improved subsurface uncertainty reduction and management [J]. AAPG Bulletin, 2011, 95(2): 267-297.
- 13 冯增昭. 沉积岩石学[M]. 北京: 石油工业出版社, 1993. [Feng Zengzhao. Sedimentary Petrology [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1993.]
- 14 邱立国, 韦惺, 莫文渊, 等. 十到百年尺度动力形态模型在珠江磨刀门河口的应用[J]. 海洋学报, 2012, 34(4): 135-146. [Qiu Ligu, Wei Xing, Mo Wenyuan, et al. A long-term numerical model of morphodynamic evolution and its application to Modaomen Estuary [J]. Acta Oceanologica Sinica, 2012, 34(4): 135-146.]
- 15 Shepherd M. The reservoir framework [M]//Shepherd M. Oil Field Production Geology. Tulsa, Okla: American Association of Petroleum Geologists, 2009: 81-92.
- 16 施和生, 李文湘, 邹晓萍, 等. 珠江口盆地(东部)砂岩油田沉积相研究及其应用[J]. 中国海上油气(地质), 1999, 13(3): 181-188. [Shi Hesheng, Li Wenxiang, Zou Xiaoping, et al. A study on sedimentary facies of sandstone oil fields in Eastern Pearl River Mouth Basin [J]. China Offshore Oil and Gas (Geology), 1999, 13(3): 181-188.]
- 17 赵宁, 邓宏文. 珠江口盆地惠州凹陷A区块珠江组下段和珠海组滨岸—潮汐沉积储层特征及物性评价[J]. 现代地质, 2009, 23(5): 835-842. [Zhao Ning, Deng Hongwen. Characteristics and physical property evaluation of shoreline-tidal depositional reservoirs of Lower Zhujiang Member and Zhuhai Formation in block A of Huizhou depression, Pearl River Mouth Basin [J]. Geoscience, 2009, 23(5): 835-842.]
- 18 Shanmugam G, Poffenberger M, Alava T J. Tide-dominated Estuarine facies in the Hollin and Napo ("T" and "U") Formations (Cretaceous), Sacha Field, Oriente Basin, Ecuador [J]. AAPG Bulletin, 2000, 84(5): 652-682.
- 19 李思田. 含能源盆地沉积体系: 中国内陆和近海主要沉积体系类型的典型分析[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1996. [Li Sitan. Depositional Systems in Energy-Resources-Bearing Basins: Case Studies of the Continental and Paralic Depositional Systems in China [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1996.]
- 20 丁晓英, 喻丰华. 近30年磨刀门拦门沙演变遥感监测分析[J]. 人民珠江, 2011, 32(4): 3-5, 27. [Ding Xiaoying, Yu Fenghua. Remote sensing Scrutiny on Mouth bar evolution of Modaomen in the near 30 years [J]. Pearl River, 2011, 32(4): 3-5, 27.]
- 21 王光付, 战春光, 刘显太, 等. 精细地层对比技术在油藏挖潜中的应用[J]. 石油勘探与开发, 2000, 27(6): 56-57, 62. [Wang Guangfu, Zhan Chunguang, Liu Xiantai, et al. The application of fine formation correlation to reservoir productivity improvement in oil field [J]. Petroleum Exploration and Development, 2000, 27(6): 56-57, 62.]
- 22 李劲松, 郑晓东, 高志勇, 等. 高分辨率层序地层学在提高储集层预测精度中的应用[J]. 石油勘探与开发, 2009, 36(4): 448-455. [Li Jinsong, Zheng Xiaodong, Gao Zhiyong, et al. Application of high-resolution sequence stratigraphy in improving the precision of res-

# Depositional Elements Definition of Marine Delta and Significance to Sand Body Correlation in Petroleum Exploration: From hydrodynamic analysis on modern Pearl River Delta

LI XiaoPing<sup>1</sup> LIU BaoJun<sup>1</sup> DING Lin<sup>1,2</sup> HAO JianGuang<sup>1</sup> GONG Wen<sup>1</sup>

(1. Shenzhen Branch of CNOOC Ltd., Guangzhou 510240, China;

2. College of Geosciences, Yangtze University, Jingzhou, Hubei 434023, China)

**Abstract:** Ignited by the existence of fluvial, wavy, tidal sediments deposited together in Pearl River mouth-Modaomen, and the land-ocean interaction theory, considering the reality of microfacies definition of delta, we introduced the hydrogeology, geography and geomorphology in to the delta-define scheme, and suggested to integrate fluvial, wavy and tidal microfacies, to re-organize the depositional elements to reconstruct marine delta. This scheme also reveals that referring to the neighbor science like hydrogeology, geography and geomorphology can be fruitful for sedimentological research, especially for petroleum exploration. Based on the field research on Modaomen, those sand bodies which distribute various styles on different orientation show that when we correlate the sand layers during petroleum exploration and development, we should consider the seismic reflection, sedimentary distribution, hydrocarbon-water relations pressure, and even the distance between wells.

**Key words:** Pearl River; Modaomen; delta; depositional elements; microfacies; sand body correlation