

珠江口盆地番禺低隆珠江组—韩江组 高精度层序地层

谢利华¹ 林畅松¹ 董 伟¹ 秦成岗² 张忠涛² 熊 亮¹

(1.中国地质大学能源学院,北京 100083;2.中国海洋石油(中国)有限公司深圳分公司,广东 广州 510240)

摘要:以岩心、测井和三维地震等资料分析为基础,结合古生物分析,将珠江口盆地番禺低隆起新近系珠江组到韩江组划分为 7 个三级层序,归为明显削蚀不整合明显上超不整合、底超不整合弱削蚀或上超不整合和整合界面等。每个三级层序内以主要水进面为界划分出 3~4 个四级层序。结合地震属性分析,揭示了四级层序框架内沉积体系的分布和发育。受古地貌和相对海平面变化的控制,高位域三角洲砂体主要分布于隆起及以西地区,低位域三角洲前缘砂体主要分布于隆起—缓坡折带。概括出高精度层序地层格架内 4 种潜在的非构造圈闭发育模式并进行了分布预测,认为东部的低位域三角洲前缘砂体和东南部的断裂坡折带下的低位域三角洲前缘砂体,具有良好的成藏条件,易形成构造—岩性或岩性地层油气藏。

关键词:珠江口盆地;番禺低隆起;新近系;珠江组;韩江组;高精度层序地层;地层圈闭

中图分类号:P539.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2009)02-0366-12

番禺低隆起是珠江口盆地中央隆起带中部的一个三级构造单元,南为白云凹陷,北为恩平凹陷,东邻东沙隆起,西与神狐暗沙隆起毗邻,面积约 7500 km²。基本上为一下断上坳,向北掀斜的低隆起(图 1)。从 2001 年至 2005 年,在三维区内共发现 3 个气田和 4 个含气构造。从该区的钻探和地震资料上来看,油气显示活跃,亮点反射广布,具有良好的油气勘探前景。目前,有利的构造圈闭多已探明,在高精度层序地层格架内寻找有利的非构造圈闭,是该区进一步勘探成功的关键。该区目前还没有进行高精度的层序地层研究。

具有密集的钻井和露头、岩心等资料、生物地层、密集的二维和三维地震资料控制的层序地层学可称为高精度的层序地层学^[1-2],其理论源于 Jervey、Van Wagoner、Posamentier、Cross 等分别提出了“可容纳空间”^[3]、“相对海平面变化”^[4]、“强制性海退”^[5]、

“基准面变化”^[6]等重要概念,其目的是建立更为精细的等时层序地层和岩相格架,进而达到更有效地预测储层分布、储盖组合。层序地层学研究广泛应用于油气勘探开发实践中,进行烃源岩、储层和盖层的时空展布的预测,寻找油气藏。高精度层序地层学的概念和理论可有效地应用于地下地质的研究,为精细的地层对比、沉积相和储层特征等的研究提供了有效的分析方法和预测工具^[7]。李思田^[8]总结世界和中国十余年来隐蔽油藏勘探取得的巨大进展,把高精度的三维地震及在此基础上的层序地层学研究称为其关键技术。二者的结合已被油气产业部门当作勘探中的“权威性技术”。

笔者旨在建立番禺低隆起的高精度层序地层格架,对高精度层序地层格架内的沉积体的分布和发育进行分析,在此基础上建立该区的非构造圈闭模式及进行有利的非构造圈闭预测,为该区的下一步

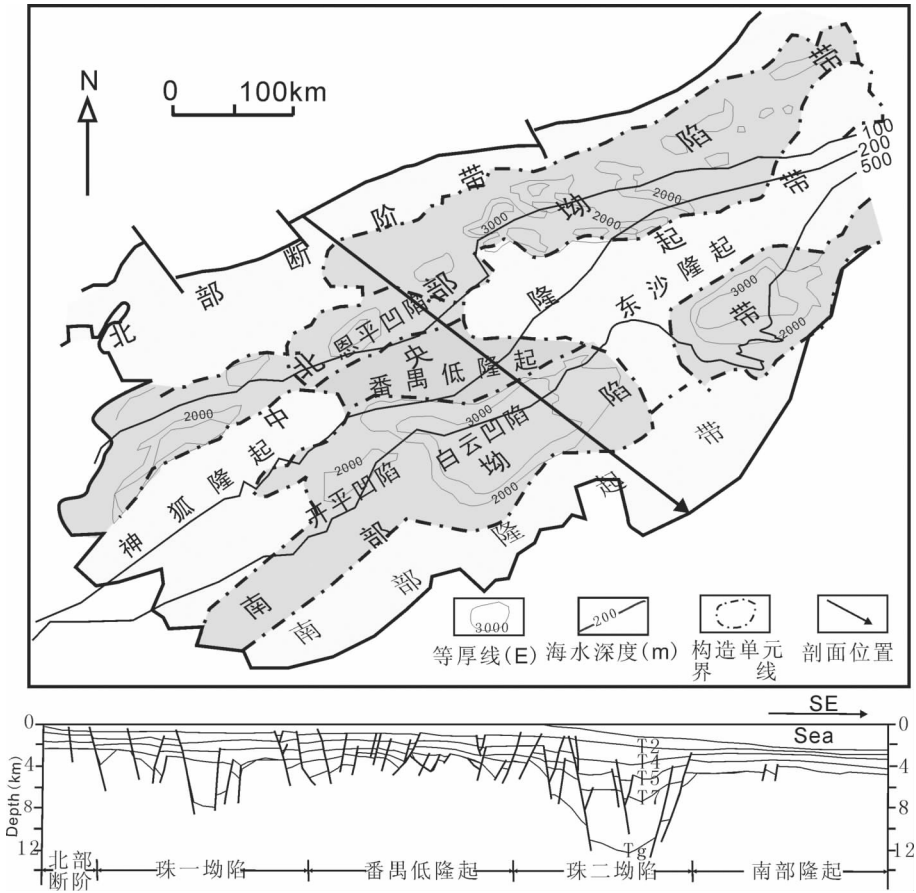


图 1 番禺低隆起区域构造位置及构造格架图 (据中海油深圳分公司整理)

Fig.1 Tectonic position and framework of Panyu Low uplift

勘探提供理论依据。

1 地质背景

1.1 区域构造及演化

珠江口盆地位于海南、台湾两岛之间的广阔大陆架和陆坡区上,呈北东—南西向展布,长 750 km,宽 300 km,面积 $17.5 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。200 m 水深线大体从盆地中部穿过,向南水体变深(图 1)。

盆地是在前古近系基底上发展起来的一个新生代大陆边缘伸展盆地。早白垩世为珠江口盆地的裂前阶段,燕山期太平洋板块向西北方向俯冲,使南海产生第一次扩张,形成原始南海。广东沿海及大陆架一直处于隆起状态。晚白垩世至早渐新世的裂谷阶段,晚白垩世到早古新世发生神狐运动,使得珠江口盆地北部断陷开始形成;早中始新世的珠琼运动一幕使盆地形成分隔的南北断陷;中晚始新世发生的珠琼二

幕,在珠二凹陷和番禺低隆起上形成近东西向断陷,开始形成本区南北分带、东西分块的构造格局。晚渐新世至中中新世的拗陷阶段,发生裂后热沉降。中中新世至第四纪的断块升降阶段,强烈的断裂活动不仅使原有断裂复活,并产生了大量的新断裂,其中不少断至下构造层甚至基底。经过上述一系列盆地演化,平面上,在北东向展布的主干正断裂控制下,珠江口盆地由北向南划分为 5 个北东向的大型构造带,即北部断阶带、北部坳陷带、中央隆起带、南部坳陷带和南部隆起带,在北西向调节正断层的作用下,各个构造带又可分若干个凹陷和低隆起(图 1)。

1.2 区域地层

珠江口盆地古近纪和新近纪地层的沉积厚度巨大,下部为陆相沉积,上部主要为海相沉积,总体为海进趋势。从裂陷期至裂后期主要发育的地层有(图 1):裂陷期陆相沉积的古近系文昌组—神狐组—恩平

组(Tg-T7)、从断坳过渡期海陆过渡相到坳陷期浅海陆棚沉积的新近系珠海组(T7-T6)-珠江组(T6-T4)-韩江组(T4-T2)、断块升降期陆架斜坡边缘沉积的新近系粤海组(T2-T1)-新近系万山组(T1-T0)-第四系。

2 层序地层

2.1 层序划分的基本原则

一个沉积层序是在一个海平面升降变化周期中形成的,是一套相对整齐的、成因上具有联系的地层,以不整合面或与之对应的整合面为界^[4,9]。

I级和II级层序被公认为受全球和区域性构造因素控制,其界面常属区域性的不整合面,代表重要的间断。III级层序被认为是层序地层单元中的基本层序。在 Exxon^[7]的层序地层理论中,层序或III级层序是由不整合及其与之对应的整合面所限定的地层单元,它被当作基本的层序地层单位,尽管随着研究资料精度的不断提高,III级层序的规模不断变小,但仍然可以观察到的不整合及其对应的整合面为界。在理论上,III级层序内不应存在明显的不整合面。

四级层序是高精度层序地层格架中的基本地层单位,其层序界面可以四级的海(湖)平面或沉积基准面旋回的水进界面或水退界面为界^[10]。Van Wagoner^[4]认为,当四级的海平面变化旋回中的下降期较明显时,可以水退界面划分出四级层序。四级层序的识别是在三级层序的框架中进行的,要建立精确的四级层序地层格架,首先要建立精确的三级层序地层格架。

五级层序或准层序是四级层序内进一步划分出的若干以次一级的海或湖泛面为界的层序或准层序,总体叠置形式一般显示出从进积到退积的层序结构。

2.2 三级层序及界面特征

根据不同级别的层序地层的划分原则,运用地震、测井、钻井、岩心、古生物等资料,通过地震相、测井相和岩心相的分析以及精细古生物对比,在年代地层格架内,按不同的沉积旋回延续的时间周期和沉积相在盆地格架内垂向演化趋势、准层序的叠置关系、超微化石以及有孔虫的丰度及含量的变化、沉积和构造背景在盆地演化的不同阶段对沉积作用、沉积类型及充填型式控制。将番禺低隆起珠江组—韩江组的层序划分为7个三级层序组,其中,珠

江组4个、韩江组3个,每个三级层序中又细分为3~4个四级层序(图2~4)。三级层序的时间周期为1.0~3.5 Ma,四级层序的时间周期为0.3~0.5 Ma,均在王鸿祯^[11]划分的对应级别旋回的时间周期之内,因此认为是合理的。

本区的三级层序识别主要是根据地震资料,结合测井资料、钻井资料和古生物分析资料进行的^[12]。确定了三级层序界面和主要海泛面,要用VSP测井或合成地震记录把最终的钻井分层结果标定到地震剖面上,结合所解释的骨干地震剖面,运用地震地质解释软件,进行全三维地震工区的追踪和闭合,建立该区的三级层序地层格架。得出番禺低隆起的珠江组至韩江组7个三级层序的界面大体可归为明显削蚀不整合界面、明显上超不整合界面、底超不整合界面、弱削蚀或上超不整合和整合界面等。并对初始海泛面和下超终止面进行了识别(图3)。

明显削蚀不整合的界面有Sqzj1底(SB23.8)、Sqhj2底(SB13.8),表明出现过明显的水退(图3)和构造抬升或掀斜剥蚀作用。界面之上发育退积型的滨海三角洲,以三角洲前缘沉积为主,底部中粗粒或含细砾粗粒长石石英砂岩,有明显的冲刷,向上粒度变细,自然伽马曲线为高幅座钟型。Sqzj1底(SB23.8)可看出层序界面有明显的冲刷、界面上下颜色明显不同,界面下为棕红色粗砂岩,Sqzj1底(SB23.8)、Sqhj2底(SB13.8)之下为进积型的高位三角洲沉积,以三角洲前缘中粗粒石英砂岩沉积为主,Sqhj2底(SB13.8)之下在工区南部发育中强振幅的S型前积结构,自然伽马曲线为高幅漏斗型,北部与上部地层呈突变接触。Sqhj2底(SB13.8)在研究区的西侧隆起区具有明显的下切充填及削蚀,东侧缓坡区表现为明显的上超不整合或整合接触;Sqzj1底(SB23.8)在工区的西北部具有明显的削蚀,东南部弱削蚀或下超不整合接触(图3)。

明显上超不整合的界面为Sqhj1底(SB15.5)、Sqhj2底(SB13.8)、Sqzj4底(SB16.5)。三个界面的上超不整合均位于工区的东侧,这是由于该区东部一直处于隆起—斜坡坡折带,西部为隆起区。隆起—斜坡坡折带制约着盆地充填可容纳空间的变化^[13],制约着低位域的分布。低位域沉积时期,坡折带为持续沉降区,海平面相对上升,形成一系列的上超不整合。Sqhj1底(SB15.5)上下在工区东北部发育三角洲前缘中细粒的石英砂岩,自然伽马曲线上为中高幅

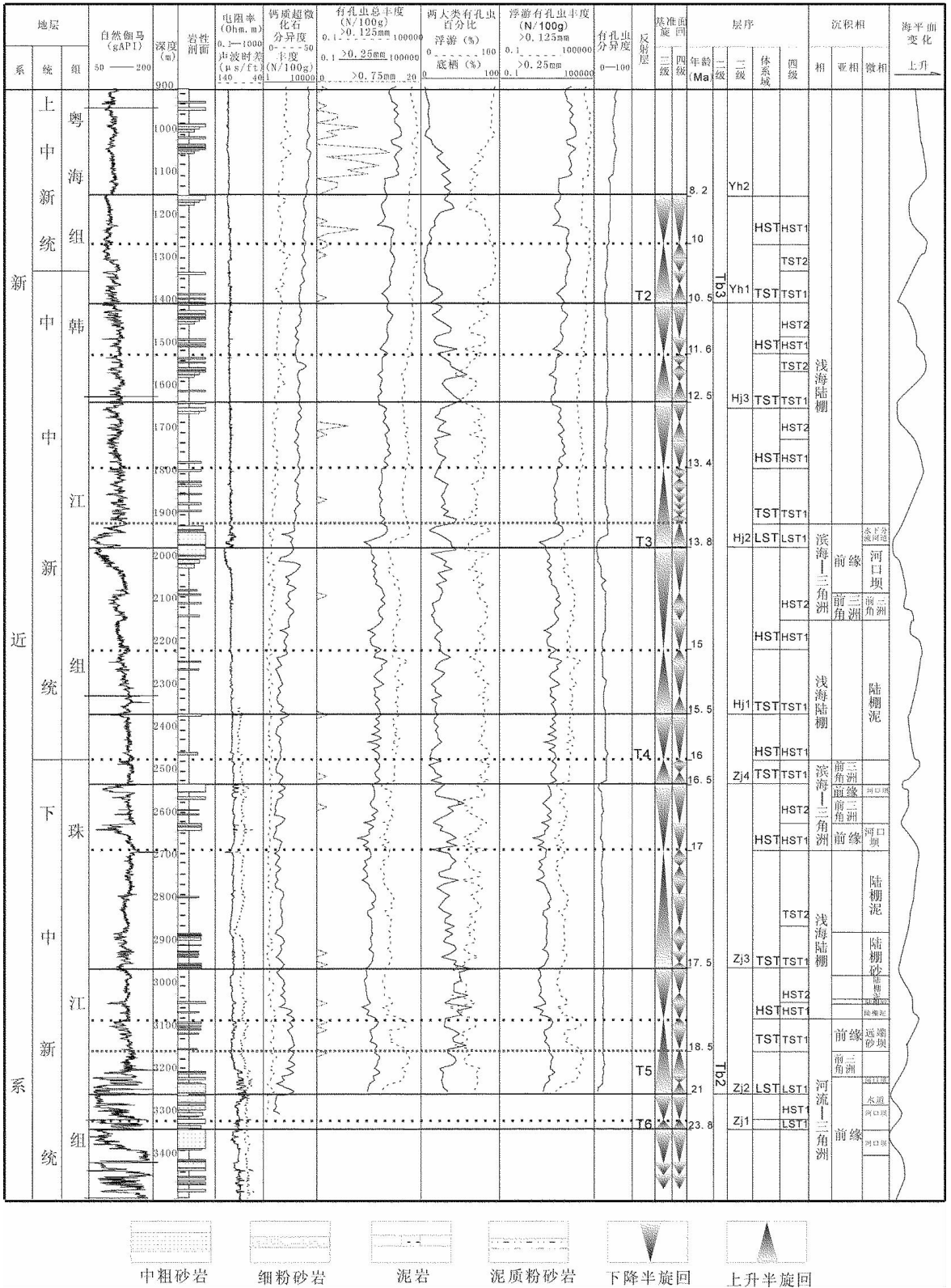


图 2 高精度层序地层划分综合图

Fig.2 Composite diagram showing high resolution sequence stratigraphic division

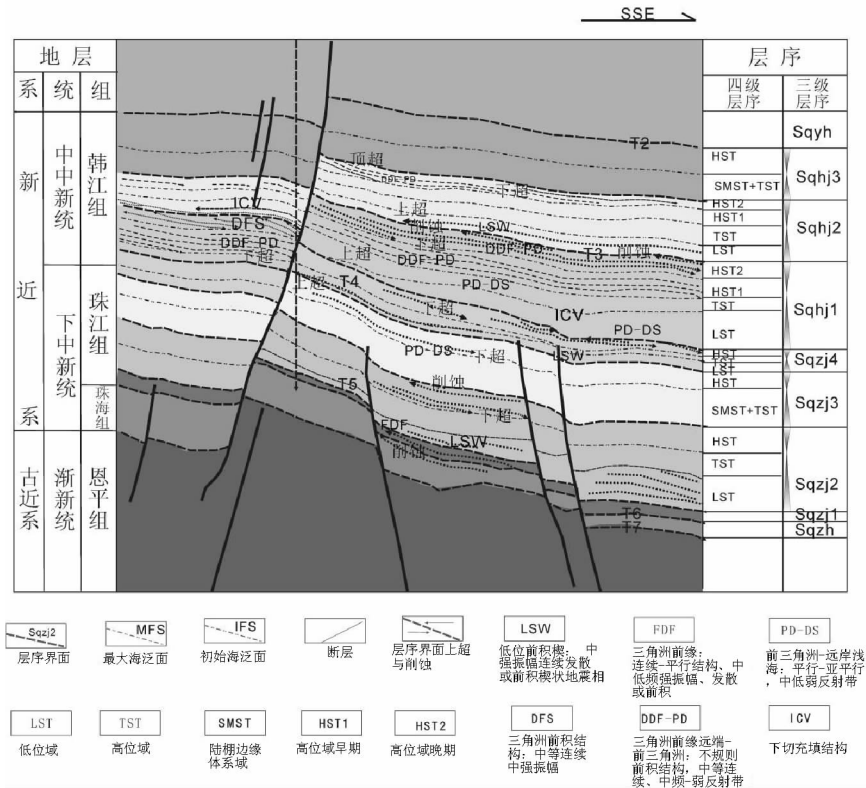
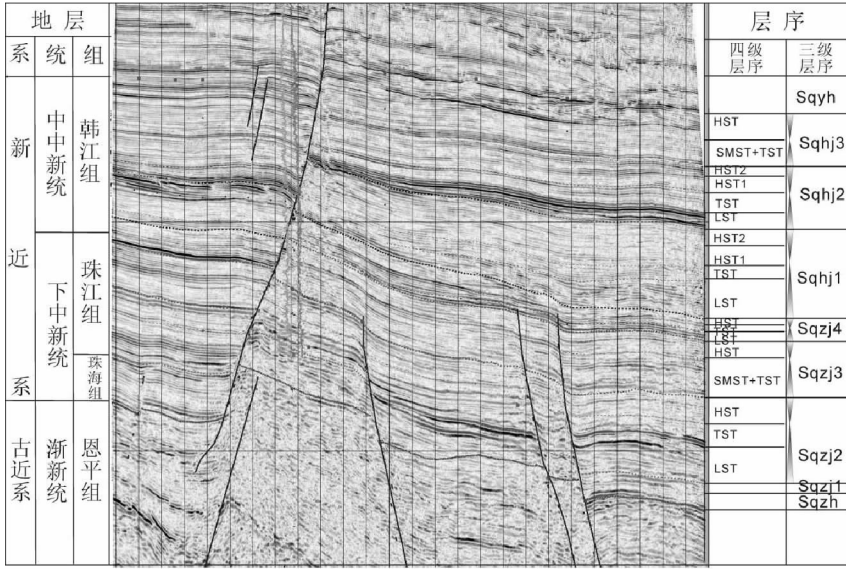


图3 高精度层序地层解释

Fig.3 High resolution sequence stratigraphic interpretation

箱型或钟型,下部为中高幅漏斗型,界面为进积向退积叠置方式的转换面。

弱的削蚀或上超不整合面有 Sqzj3 底(SB17.5)和 Sqhj3 底(SB12.5),具有 II 型层序界面的特点,界面之上发育浅海陆棚沉积,自然伽马曲线表现为加

积到退积的特征(图 2)。Sqzj3 底(SB17.5)之下发育浅海陆棚沉积,Sqhj3 底(SB12.5)之下发育弱振幅前积结构的前三角洲沉积(图 3),自然伽马曲线为中低幅的漏斗型,界面上下发育薄层状的灰色粉砂岩或泥质粉砂岩。

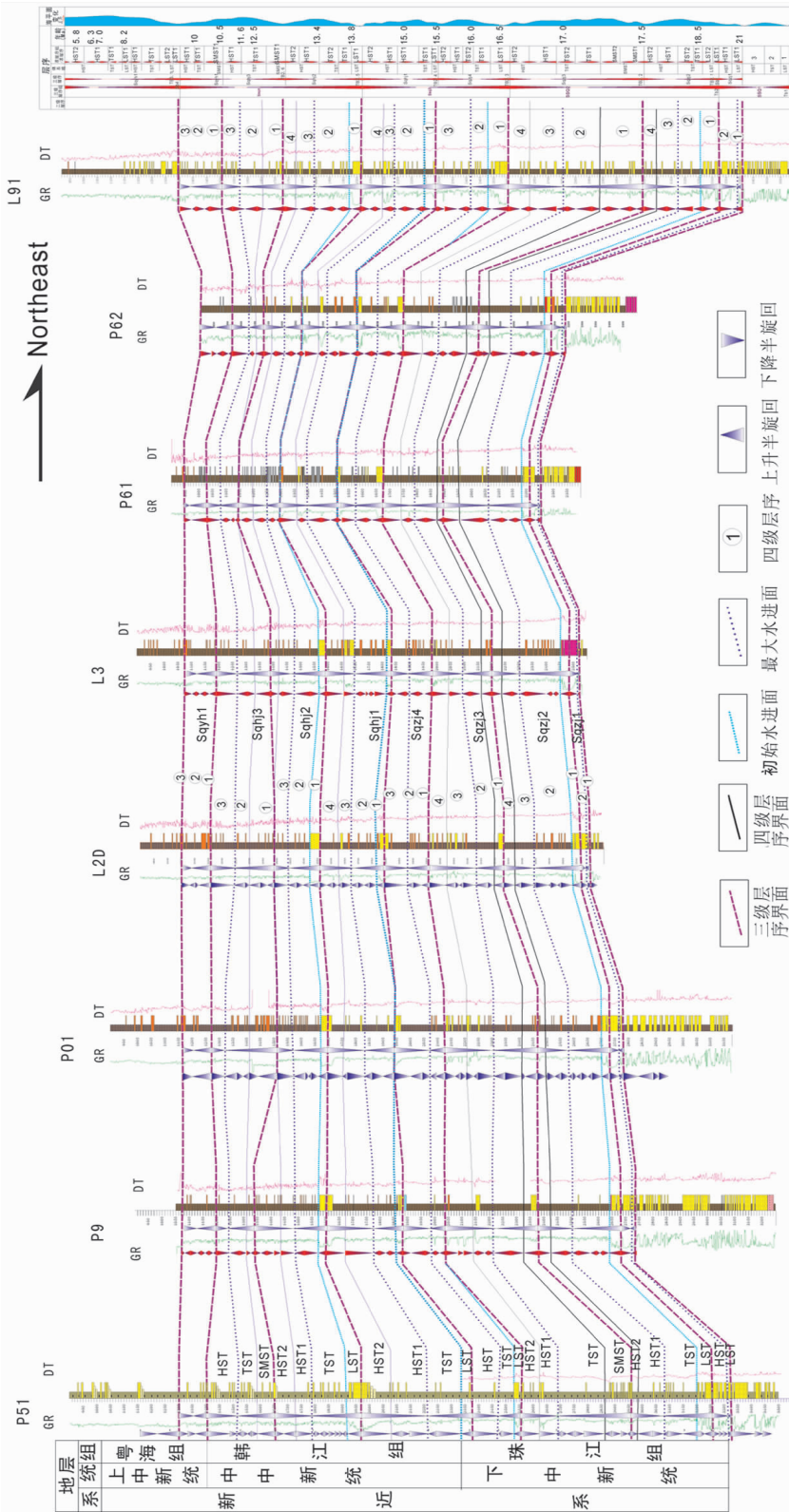


图 4 番禺低隆起高精度层序地层对比格架

Fig.4 High resolution sequence stratigraphic correlation framework of Panyu low uplift

底超不整合界面为 SQzj2 底(SB21.0),在工区的南部,不整合面之上形成低位前积楔状体,下超于界面之上(图 3)。界面之上近源区测井曲线为钟形,远源区为漏斗型,三角洲前缘水下水道沉积;之下为漏斗形,发育有以中粗粒砂岩为主的辫状河三角洲前缘河口砂坝。在三维工区识别出 3 个明显上超的初始海泛面(IFS)(图 3),位于 Sqzj4、Sqhj1 和 Sqhj2。最大海泛面(MFS)为一系列下超的终止面,在本工区识别出 6 个明显的下超终止面(图 3),两个均位于 Sqhj1 的内部,其中下面一个为最大海泛面,上面的一个是高位体系域早期及晚期的主要海泛界面,其上为具有明显中、强振幅前积反射结构的高位域晚期体系域,其下为弱振幅不规则前积反射结构的高位早期体系域。在 Sqzj2、Sqzj3、Sqzj4、Sqhj2 中各有一个下超终止面,位于 Sqzj2、Sqzj3 和 Sqzj4 的为最大海泛面(图 3)。位于 Sqhj2 的为高位体系域早期及晚期的主要海泛界面。

本区层序界面和最大海泛面与有孔虫及钙质超微化石的丰度和分异度均有良好的对应关系(图 2)。一是层序边界(SB),浮游有孔虫丰度和百分含量低,出现近岸类型的有孔虫组合,岩性偏粗等特征,有孔虫总的丰度和分异度也达到最低。二是最大海泛面(Mf),浮游有孔虫丰度和百分比突然增加,出现深水类型的有孔虫组合,沉积物变细等特征,有孔虫总的丰度和分异度也增加,它们有很好的对应关系。结合年龄值把界线划在浮游有孔虫曲线和百分含量曲线的高峰处^[14]。

2.3 高精度层序地层

近年来,层序地层学的研究不断从盆地规模的层序和沉积体系域分析向沉积微相和储层规模的高精度层序地层分析深化。大量的研究已表明,综合地质和高分辨率的地球物理资料建立的高精度的层序地层格架可为精细的沉积体系、沉积相分析和砂体分布预测提供更有效的地层对比框架。但当前对高精度的层序划分方案等存在多种学派和争议。

高精度的层序单元是指三级层序内的四级地层,可以水进界面,包括体系域(准层序组)、四级旋回层序单元(四级旋回的准层序组)^[10];或水退界面为界的四级简单层序^[4,15];或 Cross 以基准面旋回为基础的高分辨率成因地层单元^[6,16]。

区内各三级层序内的四级简单层序不易划分和追踪对比,而以四级旋回海泛面为界的准层序组相对

易于划分和追踪,具有操作性和可对比性;这些单元在测井曲线上易于识别,部分在地震剖面上可以追踪,可划分为相对富砂的和相对富泥的两种类型。本次研究对下列四级、五级层序地层单元进行了划分:

(1)四级旋回的准层序组:以追踪四级旋回的水进面进行划分,部分事实上与体系域一致。

(2)五级层序地层单元或准层序,以追踪四级旋回的水进面进行划分,仅在钻井剖面中易于识别。

通过钻井取心和测井资料仅是一孔之见,想要建立全区高精度的层序地层格架,只有通过井震结合,在地震剖面上进行,因此要考虑地震资料的精度和层序是否易追踪。基于这个原则,在珠江组至韩江组 7 个三级层序内易于追踪的主要海泛面划分出高精度的四级层序地层单元共 24 个(图 2~4)。一般的三级层序内可划分出 3~4 个四级的层序地层单元,通过井-震标定四级层序可在三维地震剖面上追踪,它们的发育和分布决定着三级层序的内部结构特征。

Sqzj1(SB23.8)据测井曲线可划分出低位、水进及高位体系域,但低位和水进体系域不易区分,可划分为与低位-水进和高位体系域对应的两个四级地层单元,东南部发育大型的前积结构地震相。整体以滨海三角洲前缘广泛发育为特征。低位域由一到两个退积型准层序组成,自然伽马曲线为中、低幅的钟型。以含砾砂岩为主,向上粒度变细,单砂体厚度 10 m 左右。最大海泛面为上升半旋回与下降半旋回的转换面,也是两个四级层序的分界线,自然伽马曲线为高值,在地震剖面上不易追踪。高位域由一个或几个进积型的准层序组成,整体表现为进积型的叠加,测井曲线为中高幅漏斗型,以中粗、中细长石英砂岩为主,向上粒度变粗,单砂体厚度一般 20~30 m。PY34-1 块单砂体厚度达 50 m 左右。

Sqzj2(SB21)在测井曲线上可划分出 4 个四级层序单元,其中,低位域和水进体系域分别对应于两个四级层序,高位体系域中划分出两个四级层序,在地震剖面上易于追踪的只有初始海泛面和最大海泛面,与四级层序界面对应。低位域在全区广泛发育滨海三角洲体系的进积准层序组,以三角洲前缘广泛发育为特征,东南部断裂坡折带发育低位前积楔状地震相,大部分地区为高连续强幅度平行结构席状地震相,发育细砂岩,单砂体厚度 10~20 m。水进域和高位域时期,珠江口盆地相对海平面处于快速上

升期,研究区主要处于浅海陆棚沉积,自然伽马曲线为低幅齿状,电阻率低。录井显示为大套暗色泥岩夹薄层粉砂。水进域表现为进积或加积的叠加样式。高位域在测井曲线上可划分为两个四级层序,分界线在地震剖面上不易追踪,中部发育北东向的陆棚砂条带,西北和东南也有小面积的陆棚砂沉积。

Sqzj3 (SB17.5) 一般可划分为 4 个四级层序单元,与陆棚边缘体系域、水进域及高位域早期和高位域晚期对应。由于相对海平面的进一步上升,整个层序以浅海陆棚沉积为主,地震剖面上主要发育平行、亚平行中低弱反射带。陆棚边缘体系域由退积式准层序组成,测井曲线为低幅,主要为粉砂岩或泥质粉砂岩;水进域发育大套的泥岩,测井曲线平直。陆棚边缘体系域、水进域西部以北东向展布的浅海陆棚砂为主;东部浅海陆棚泥岩沉积为主。高位域早期由前积的准层序组成,测井曲线为中幅的漏斗型;高位域晚期由加积到前积的准层序组组成,南部发育粉细砂岩夹层,测井曲线为中幅指状,钻遇单砂体厚度一般小于 10 m。高位域早期和晚期以前三角洲及浅海泥质沉积为主,仅在中西部发育三角洲前缘砂坝及前缘席状砂沉积,砂分散体系呈北东向展布,物源主要为西部。

Sqzj4(SB16.5)一般以主要海泛面为界可划分为 3 个四级层序单元,分别与低位域、水进域和高位域体系域相对应。低位域位于工区的东部,向西超覆于隆起上,发育退积式的准层序组,PY34-1 块钻遇粉细砂岩,向上粒度变细,单砂体厚度 10 m 左右,测井曲线中幅钟型;南部断裂坡折带发育微弱前积的楔状地震相,北部发育中高频强振幅楔状地震相。受北东向隆起—缓坡折带的控制,低位楔呈北东展布于该区的东部,PY24 同沉积断层下降盘发育三角洲前缘水下河道和前缘砂坝沉积。而西北侧为暴露区。低位楔主要为水下河道、三角洲前缘近端口坝砂质沉积。水进域发育加积式准层序组,测井曲线低幅微齿状,以平行、亚平行中低弱反射带为主。高位域由前积式准层序组组成,西北部发育平行强反射带,钻遇中细长石石英砂岩,测井曲线总体为中高幅漏斗型,其他地区以平行、亚平行中低弱反射带前三角洲或浅海陆棚为主。水进域三角洲前缘和高位域三角洲前缘沉积呈朵状分布于隆起区及以西地区,东侧发育前三角洲及浅海陆棚泥沉积,砂分散体系呈北东向展布,物源为北西向。高位域继承了水进域的

沉积和物源,但范围向东推进。

Sqhj1 (SB15.5)以主要海泛面为界可划分为 4 个四级层序。分别对应低位域、水进域、高位域早期和高位域晚期,低位域分布于工区的东部,以发散楔状地震相为特征,在北部发育滨海三角洲前缘砂体,钻遇中细砂岩,单砂体厚度 10~20 m,测井曲线为箱型或漏斗型,为中强振幅反射,南部为弱振幅。水进域以平行亚平行弱反射为特征,测井曲线平直,以浅海陆棚泥岩沉积为主。高位域早期由一个或多个叠加的前积型准层序组组成,在北部发育三角洲前缘前积朵体,高频强振幅前积地震相,测井曲线为中幅漏斗型,单砂体厚度 10~20 m;南部发育中等连续中频—中弱振幅不规则前积地震相,发育大套前三角洲或滨浅海泥岩。高位域晚期三角洲前缘前积朵体迁移到中南部,南部 PY34-1 区域钻遇大套的中粗砂岩,单砂体厚度 20~40 m,测井曲线为高幅漏斗型,为反粒序,发育连续—中等连续中强振幅—弱振幅席状前积地震相。从 SB 13.8 下 15 ms 向下提取的 15 ms 时窗的均方根振幅显示,强振幅的前积体呈环带状由西、西北向东、东南进积,向盆地推进,朵体受控于古地貌及相对海平面变化,主要分布于隆起及以西地区,砂体展布受控于沉积环境,水下河道和前缘河口坝砂体最厚(图 5)。

Sqhj2(SB13.8)一般可划分为 4 个四级层序单元,分别对应低位域、水进域、高位域早期和高位域晚期。低位域位于工区的东部,上超于西部隆起区主要发育粗粒的滨海三角洲沉积体系,下切河道冲刷明显,分布广泛,形成于海平面相对明显下降期。物源来自西部的古珠江水系,除了东南部发育前缘席状砂,西北部为隆起剥蚀区外,三角洲前缘水下河道及近端河口坝,呈北东向分布于东部隆起—缓坡折带,西南部发育南西向的下切谷,LH19-5-1 井处西部发育一北东向的下切谷。测井曲线上为退积的准层序组组成,发散结构楔状地震相,中粗粒、中细粒含砾长石石英砂岩,单砂体厚度 20~30 m,未固结。西南部发育南西向的充填状地震相;西部发育北西向的充填状地震。水进域和高位域相对富泥,测井曲线表现为低幅齿状,水进域表现为退积到加积特征,高位域整体表现为前积的叠加样式。水进域和高位域早期由平行、亚平行中弱振幅的席状地震相组成,相对海平面快速上升,该区处于浅海陆棚环境。到高位域晚期,由于海平面的下降,古珠江

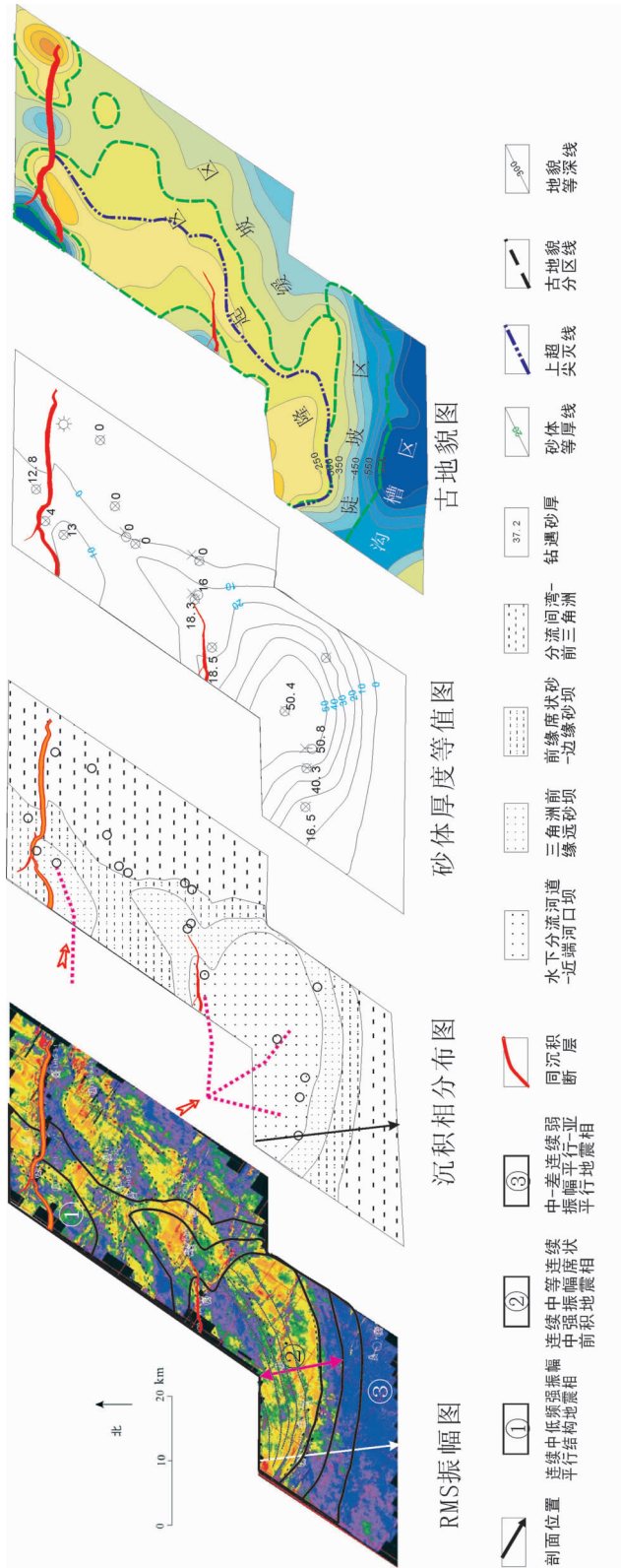


图5 沉积相分布与砂体分布、古地貌、地震属性匹配图(Sq1j1 高位晚期)

Fig.5 Facies distribution, sand body distribution, paleogeomorphology and RMS amplitude match

三角洲向前推进,在该区形成中弱振幅中低频弱连续不规则前积结构地震相。

Sqhj3(SB12.8)可划分 3 个四级层序单元,与陆棚边缘体系域、水进域和高位域相对应。此期相对海平面上升,均属于浅海陆棚沉积环境,整体富含泥,测井曲线为低幅齿状,地震相类型为平行、亚平行中弱振幅的席状地震相。

3 非构造圈闭发育模式及分布预测

在高精度层序地层格架内,结合古地质特征,概括出该区共有 4 种非构造圈闭类型:低位域砂体上超不整合圈闭、断裂坡折带^[13,17]下低位域砂体与断层形成的构造-岩性圈闭、沿斜坡上超的水进域砂体不整合圈闭、高位域砂体削蚀不整合带形成的削蚀不整合圈闭(图 6)。

低位域砂体上超不整合圈闭:初始水进面以下的低水位下切水道、低位楔三角洲前缘砂体等,是形成岩性地层圈闭的有利砂体类型。砂体上倾方向上超于层序界面或不整合面,可与下伏高位域的泥质层相接,上覆为水进期泥岩,具有较好的封盖条件。如 SB16.5、SB15.5、SB13.8 等层序界面上存在这类圈闭类型,这种类型的圈闭主要发育于工区的北部。因

为根据该区的沉积体发育分布,该区的北部下伏高位域的砂体不发育,而低位域砂体发育。

断裂坡折带^[13,17]下低位域砂体与断层形成的构造-岩性圈闭:研究区南部、东南侧同沉积断裂活动可形成局部的断裂坡折带,对低位域和水进域砂体或珠海、珠江组中下部的砂体具有控制作用。规模较大的断裂活动控制沿断裂走向分布的砂体,由于下部地层为泥岩,使同沉积断层面泥岩涂抹和上倾方向断层上升盘的泥岩一起构成侧向封堵,具有良好的成藏条件,形成构造-岩性或岩性地层圈闭。如 Sqzj2(SB21)、Sqzj4(SB16.5)的低位域砂体可形成此类圈闭。

沿斜坡上超的水进域砂体不整合圈闭:砂体向上上超并尖灭于层序界面,上覆水进域泥质盖层。砂体类型包括岸线砂坝、三角洲前缘的边缘砂坝等海进期砂体。SB16.5、SB15.5、SB13.8 及 SB12.5 的层序界面上都可形成这类圈闭。

高位域砂体削蚀不整合带形成的削蚀不整合圈闭:Sqhj2(SB13.8Ma)层序的底界具有强烈的冲刷削蚀现象,在东南侧斜坡带发育有削蚀不整合带,下伏被削蚀的三角洲砂岩与上覆水进泥岩可形成地层圈闭。这种圈闭主要发育在工区的南部高位域砂体发育的

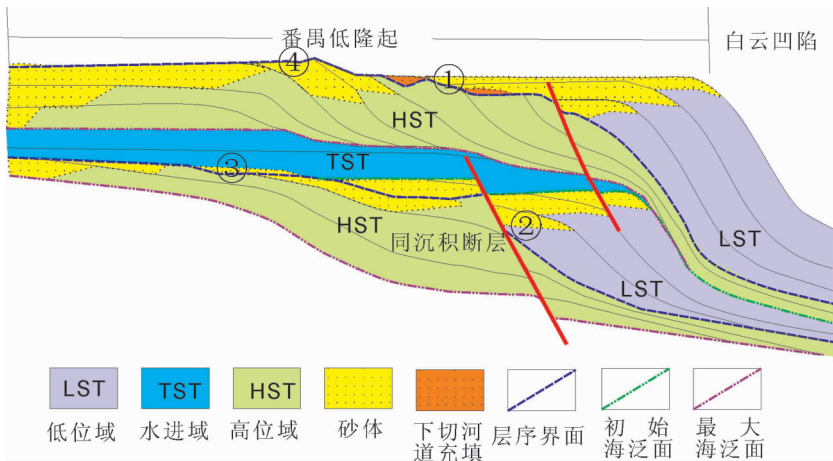


图 6 番禺低隆起 I 型层序格架及地层圈闭模式

- ①—低位域三角洲前缘砂体-上超不整合圈闭;
- ②—断裂坡折带下低位域三角洲前缘砂体-构造-岩性圈闭;
- ③—水进域三角洲前缘砂体-上超不整合圈闭;
- ④—高位域三角洲前缘砂体-削蚀不整合圈闭

Fig.6 Framework and stratigraphic trap model of Type 1 sequence, Panyu low uplift

- ①—Delta frontier sand body of lowstand system tract: overlapping unconformity trap;
- ②—Delta frontier sand body of lowstand system tract under the fault slope-break zone: structural-lithological trap;
- ③—Delta frontier sand body of transgressive system tract: overlapping unconformity trap;
- ④—Delta frontier sand body of highstand system tract: truncation unconformity trap

地区,但这种圈闭的风险是与低位域的砂体相接。

4 结 论

(1)低隆起新近纪的珠江组到韩江组地层共划分为7个三级层序,大体可归为明显削蚀不整合、明显上超不整合、底超不整合弱削蚀或上超不整合和整合界面等。明显削蚀不整合或/和下切的界面是由明显的海退和构造抬升或掀斜剥蚀作用引起的。持续沉降的东部斜坡坡折带使东部地区在相对海平面上升时易形成一系列的上超。有孔虫和超微化石的丰度及含量与最大海泛面和层序界面有很好的对应关系。

(2)由于主要海泛面发育稳定且易于追踪,兼顾横向分辨率及纵向分辨率,四级层序界面宜以主要海泛面为界。番禺低隆起一般的三级层序内可划分出3~4个四级的高精度层序地层单元。四级层序格架内沉积体系受构造演化、构造演化形成的古地貌、顺向同沉积断层和控洼反向同沉积断层及海平面相对变化的控制。三角洲前缘砂体主要分布于相对海平面下降期的Sqzj1、Sqzj4、Sqhj1的低位和高位体系域、Sqzj2和sqhj2的低位体系域。高位域三角洲砂体主要分布于隆起及以西地区,低位域三角洲前缘砂体主要分布于隆起-缓坡坡折带,且呈现北东向展布,物源方向为北西或西。浅海陆棚沉积主要发育于海平面相对上升时期的水进域和陆棚边缘体系域。

(3)位于Sqzj4、Sqhj1、Sqhj2的低位域砂体易形成不整合圈闭;Sqzj2(SB21)和Sqzj4(SB16.5)在东南部的断裂坡折带下低位域砂体,具有良好的成藏条件,易形成构造-岩性或岩性地层圈闭。这种类型的圈闭在高精度层序地层研究的基础上目前已成功钻遇。

参考文献 (References):

- [1] Henry W Posamentier, Paul Wei Mer. Siliciclastic sequence stratigraphy and petroleum geology—where to from here [J]. AAPG Bulletin, 1993, 77(5):731-742.
- [2] 林畅松,张燕梅,刘景彦,等.高精度层序地层学和储层预测[J].地质前缘,2000,7(3):111-118.
Lin Changsong, Zhang Yanmei, Liu Jingyan, et al. High resolution sequence stratigraphy and reservoir prediction [J]. Earth Science Frontiers, 2000, 7(3):111-118 (in Chinese with English abstract).
- [3] Jervey M T. Quantitative geological modeling of siliciclastic rock sequences and their seismic expression[C]//Wilgus C K(ed.). Sea-Level Changes:An Integrated Approach. Soc. Econ. Palaeontol. Mineral. Spec. Publ.,1988, 42:47-69.
- [4] Van Wagoner J C, Mitchum R M, Campion K M.Siliclastic

sequences stratigraphy in well logs,cores and outcrops:concepts for high-resolution correlation of time and facies[J]. AAPG Methods in Exploration Series, 1990, 7:1-57.

- [5] Henry W Posamentier, Allen P, James D P, et al. Forced Regressions in a sequence stratigraphic framework:concepts, examples and exploration significance[J]. AAPG Bulletin, 1992, 76: 1687-1709.
- [6] Cross T A, Baler M R, Chapin M A, et al. Application of high resolution sequence stratigraphy to reservoir analysis [C]//Eschard R, Dolgez B (eds.). Subsurface Reservoir Characterization from Outcrop Observations. Paris:Editions Techniq, 1993, 11-33.
- [7] Aitken J F, Howell J A. High resolution sequence stratigraphy: innovations,application sand future prospects [J]. Geological Society Special Publication, 1996, 104:1-9.
- [8] 李思田,潘元林,陆永潮,等.断陷湖盆隐蔽油藏预测及勘探的关键技术—高精度地震探测基础上的层序地层学研究 [J]. 地球科学—中国地质大学学报, 2002, 27(5):592-598.
Li Sitian, Pan Yuanlin, Lu Yongchao, et al. Key technology of prospecting and exploration of subtle trap in lacustrine fault basins: sequence stratigraphic researches on the basis of high resolution seismic survey [J]. Earth Science—Journal of China University of Geoscience, 2002, 27(5):592-598 (in Chinese with English abstract).
- [9] Vail P R, Bowman S A, Eisner P N, et al. The stratigraphic signatures of tectonics,eustasy and sedimentology—an overview [C] //Einsele.Cycles and Events in Stratigraph. Berlin, Heidelberg:Springer Verlag, 1991. 617-659.
- [10] 林畅松,刘景彦,刘丽军,等.高精度层序地层分析:建立沉积相和储层规模的等时地层格架[J].现代地质,2002,16(3):276-281.
Lin Changsong, Liu Jingyan, Liu Lijun, et al. High resolution sequence stratigraphy analysis:Construction of chronostratigraphic sequence framework on facies and reservoir scale [J]. Geoscience, 2002, 16(3):276-281(in Chinese with English abstract).
- [11] 王鸿祯,史晓颖.沉积层序及海平面旋回的分类级别-旋回周期的成因讨论[J].现代地质,1998,12(1):1-16.
Wang Hongzhen, Shi Xiaoying. Hierarchy of depositional sequences and eustatic cycles—a discussion on the mechanism of sedimentary cycles [J]. Geoscience, 1998, 12 (1):1-16 (in Chinese with English abstract).
- [12] 朱筱敏.层序地层学[M].东营:石油大学出版社,2003.
Zhu Xiaomin. Sequence Stratigraphy [M]. Dongying:China University of Petroleum Publishing House, 2003 (in Chinese).
- [13] 林畅松,潘元林,肖建新,等.构造坡折带-断陷盆地层序分析和油气预测的重要概念 [J]. 地球科学—中国地质大学学报, 2000, 25(3):260-266.
Lin Changsong, Pan Yuanlin, Xiao Jianxin, et al. Structural slope-break zone:key concept for Stratigraphic sequence analysis and petroleum Forecasting in fault subsidence basins [J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 2000, 25 (3):260-266(in Chinese with English abstract).
- [14] 秦国权.微体古生物在珠江口盆地新生代晚期层序地层学研究中的应用[J].海洋地质与第四纪地质,1996,16(4):1-17.

- Qin Guoquan. Application of micropaleontology to the sequence stratigraphic studies of late Cenozoic in the Zhujiang River Mouth Basin[J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 1996, 16(4): 1–17 (in Chinese with English abstract).
- [15] Mitchum J R M, Van Wagoner J C. High frequency eustatic cycles [J]. *Sedimentary Geology*, 1991, 70: 131–160.
- [16] 邓宏文, 王红亮, 祝永军, 等. 高分辨率层序地层学——原理及应用[M]. 北京:地质出版社, 2002.
- Deng Hongwen, Wang Hongliang, Zhu Yongjun, et al. High Resolution Sequence Stratigraphy——Principle And Application [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2002 (in Chinese).
- [17] 李思田, 解习农, 王华, 等. 沉积盆地分析基础与应用[M]. 北京: 高等教育出版社, 2004.
- Li Sitian, Xie Xinong, Wang Hua, et al. Sedimentary Basin Analysis: Principle and Application [M]. Beijing: Higher Education Press, 2004 (in Chinese).

High-resolution sequence stratigraphy of Zhujiang Formation and Zhuhai Formation in Panyu low uplift of the Zhujiang River mouth basin

XIE Li-hua¹, LIN Chang-song¹, DONG Wei¹,
QIN Cheng-gang², ZHANG Zhong-tao², XIONG Liang¹

(1. School of Energy Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

2. Technology Department, Shenzhen Branch Company, CNOOC Ltd., Guangzhou 510240, Guangdong China)

Abstract: The Neogene Zhujiang Formation and Hanjiang Formation of Panyu low uplift in the Zhujiang River mouth basin were divided into seven sequences on the basis of an analysis of outcrops, cores, logs, 3D seismic information and palaeobiologic characteristics. Some were assigned to obvious truncation or obvious overlapping and unconformity, and the others to gentle truncation or overlapping unconformity and conformity. Every third-order sequence was divided into system tracts and fourth-order sequences whose boundaries seem to be main flooding surfaces. Combined with the seismic attributes, the distribution and development of the depositional systems in the fourth-order sequences were revealed. Under paleogeomorphologic conditions and relative sea-level change control, the deltaic sand bodies in the lowstand tract system were distributed in the uplift-gentle slope-break zone. In the highland system tracts, however, they were distributed in or west of the uplift zone. This paper has divided the stratigraphic traps into four types with a prediction of their distribution. The lowstand sand bodies in the southeastern syndepositional fault slope-break zone and in the east have good hydrocarbon pool-forming conditions, which are hence considered to be favorable for the formation of structural-lithologic traps or lithologic traps.

Key words: Zhujiang River mouth basin; Panyu low uplift; Neogene; Zhujiang Formation; Hanjiang Formation; high-resolution sequence stratigraphy; stratigraphic trap

About the first author: XIE Li-hua, female, born in 1971, senior engineer, doctor candidate, mainly engages in the study of depositional system and sequence stratigraphy; E-mail: xlhua02@sohu.com.