

文章编号:1000-0550(2014)06-1162-09

珠江口盆地白云凹陷古近系沉积相类型

李成海^{1,2} 王家豪¹ 柳保军³ 苏 奥⁴ 徐东浩¹ 罗泉源¹ 刘 姗¹ 牟 川¹

(1.中国地质大学(武汉)资源学院 武汉 430074; 2.中国石油华北油田公司地球物理勘探研究院 河北任丘 062552;
3.中海石油(中国)有限公司深圳分公司 广州 510420; 4.中国石油东方地球物理公司研究院 河北涿州 072750)

摘 要 以珠江口盆地白云凹陷的钻井和地震资料为基础,根据测井相、地震相综合分析白云凹陷文昌组与恩平组主要层序的沉积相发育演化特征。通过有限的单井资料在白云凹陷共识别出了三角洲相、扇三角洲相及湖泊相三种沉积相;三角洲沉积相在测井曲线上表现为从下至上由细变粗的反旋回,局部出现次一级的正旋回;扇三角洲沉积相测井曲线整体表现为从下至上由细变粗的反旋回及次一级的反旋回;湖泊沉积相表现为以泥岩沉积为主,局部夹有砂坝或碳酸盐滩坝。研究区发育9种地震相类型,地震相证据充足,为研究沉积相发育规律提供了可靠的依据。研究表明盆地的持续沉降造就了白云凹陷深湖相发育时间长,形成厚层烃源岩;受番禺低隆起影响,白云凹陷北坡缓坡带发育三角洲相,在西南至南部陡坡带发育扇三角洲相,部分三角洲的发育具有继承性。

关键词 珠江口盆地 白云凹陷 古近系 地震相 沉积相

第一作者简介 李成海 男 1987年出生 硕士 沉积及层序地层 E-mail: li_chenghai_cool@126.com

中图分类号 TE122.2 **文献标识码** A

0 引言

白云凹陷位于珠江口盆地珠二坳陷的东部(图1),是中国南海北部最具代表性的新生代陆坡沉积区(水深300~4 000 m),北边为番禺低隆起,南边与南部隆起带相接,西侧以云开低凸起为界,东邻东沙隆起,总体呈NEE向展布,面积约20 000 km²^[1,2]。白云凹陷经历了断陷、断坳和热沉降坳陷三个阶段^[1,3,4],形成三层盆地结构,从而在时间、空间上构成了有利的生储盖组合条件^[2]。前人对珠江口盆地白云深水扇及浅海三角洲做了广泛的研究,取得了巨大的进展与成果^[1,3~10]。但对白云凹陷古近系仅仅研究了其生烃潜力^[11,12],本文通过测井相、地震相综合分析白云凹陷古近系沉积相类型及展布,为该地区油气勘探提供依据。

白云凹陷为典型的被动陆缘张裂盆地^[3],在始新世至早渐新世处于裂陷发育时期,盆地持续沉降,以湖盆发育为特色^[13]。白云凹陷古近系时期沉积文昌组与恩平组两套地层:文昌时期,白云凹陷处于断陷阶段,凹陷被多组不同向断裂分割成多个半地堑、宽地堑^[14,15],断层控制沉积明显,在靠近断层一侧,沉积最厚,远离断层一侧,地层上超,沉积充填具有分割性和多沉积中心的特点^[16];恩平组时期,白云凹陷

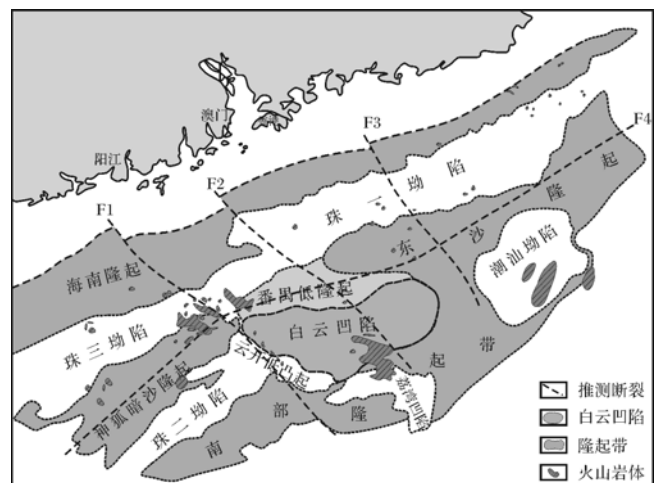


图1 白云凹陷区域构造位置图(据陈长民等,2003)

Fig.1 The geological framework and structures of Baiyun sag (according to Chen Changmin, et al., 2003)

是一个大的断坳湖盆,凹陷北部缓坡区钻遇恩平组的钻井反映为三角洲平原及滨浅湖相沉积,同时在地震剖面上识别出大规模的前积反射,向凹陷中心推进,反映恩平组时期物源主要来自西北部的番禺低隆起,在北坡形成大的三角洲前积体,三角洲前方为湖相沉积环境。本文在文昌组—恩平组中识别出来4个二级层序界面和4个三级层序界面(表1)的基础上,详

细分析每套地层的沉积相类型及分布。

表 1 珠江口盆地白云凹陷文昌组—恩平组层序地层划分表
Table 1 The sequence stratigraphic division of Wenchang-Enping Formation in Pearl River Mouth Basin

地层	层序地层		地震反射 底界	盆地演化 阶段	区域构造 运动
	二级	三级			
珠海组			T70		南海运动
恩平组	III	EPSQ1	T71	断—拗转化幕	珠琼运动二幕
		EPSQ2	T72		
		EPSQ3	T80		
文昌组	II	WCSQ1	T81	裂隙 II 幕	珠琼运动一幕
		WCSQ2	T82		
	I	WCSQ3	T83	裂隙 I 幕	
		WCSQ4	T84		
		WCSQ5	Tg		

1 沉积相的单井分析

目前,白云凹陷内仅有 8 口井(图 2)钻遇文昌—恩平组地层,而且揭示的地层较薄,通过对已有井资料分析,在研究区识别出来三角洲相、扇三角洲相和湖泊相三种类型的沉积相。

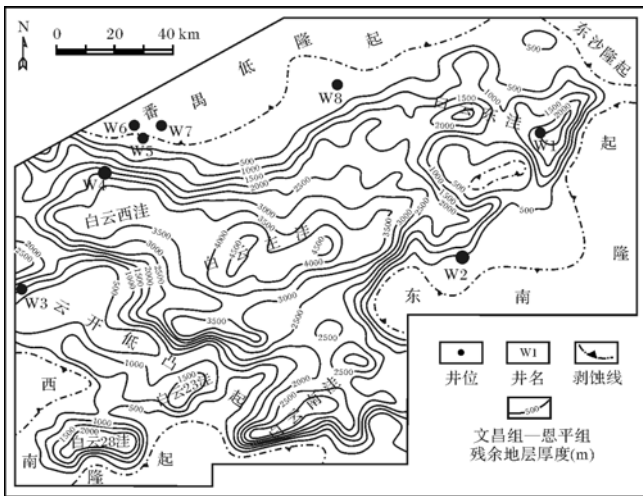


图 2 白云凹陷构造单元及井位分布

Fig.2 Tectonic units and well sites of Baiyun sag

(1) 三角洲相

三角洲相位于河流入湖的河口区,在该地区,受坡度变缓、流速降低、水流分支化的影响,河流携带的大量陆源碎屑在此沉积^[7]。本区 W4 井位于白云西洼北部缓坡带,自下而上钻遇 EPSQ1、EPSQ2、EPSQ3 层序, EPSQ1 层序未完全揭示(图 3)。恩平组 EPSQ3 层序为典型的三角洲沉积,钻井岩性表现为明显的进积型沉积序列,总体从下而上表现为由细到

粗的反旋回,局部出现次一级的由粗到细的正韵律。底部为细粒的前三角洲泥,伽马曲线为高幅度、齿化;向上依次为三角洲前缘水下分流河道砂岩到三角洲平原分流河道砂岩,砂体规模逐渐变大,伽马曲线自下而上为漏斗型—箱型。

从地震剖面(图 3)上来看,该部位向西的前积反射结构十分清晰,三角洲持续发育,层序界面之下普遍见顶超终止反射。W4 井整体表现为典型的三角洲沉积体系,三角洲规模先增大后减小。

(2) 扇三角洲相

扇三角洲是断陷盆地最常见的沉积相类型,发育条件为盆缘地形高差大、距离物源近、物源供给充足,所以一般发育在强烈活动的控凹断裂带。本区 W2 井位于白云东洼南缘,由于该部位恩平组时期控盆边界断层向北迁移,造成恩平组全部缺失,钻遇文昌组上部层序 WCSQ5。W2 井 WCSQ5 层序在钻井上表现为加积型沉积序列(图 4),测井曲线表现为反旋回。底部主要发育扇三角洲前缘,自然伽马曲线呈指状,主要发育薄层的远砂坝,向上过渡为扇三角洲平原,自然伽马曲线呈箱型,砂体规模变大,主要发育辫状分流河道砂。扇三角洲前缘水下分流河道及远砂坝发育,前缘水下分流河道砂体厚,测井响应为高幅齿化箱型、钟形曲线,且由于快速堆积,多个箱型相互叠置,向上箱型厚度逐渐变大(图 5a)。扇三角洲前缘远砂坝,常以夹层的形式出现,测井响应为中—低幅齿化指状曲线(图 5b)。

从地震剖面(图 4)上看 WCSQ5 层序地层位于白云东洼南缘控洼断层上盘,总体呈楔形,靠近断层一侧地层厚度大,远离断层一侧地层厚度减薄,内部反射结构总体以杂乱前积反射为主,近端前积结构较杂乱,前积角度大,远端前积结构相对清晰,前积角度变缓,主要由于近端断裂活动强,形成较大可容纳空间,同时离物源较近,物源供给规模大且供给速率快,导致前积前积结构杂乱且前积角度大,而远端受断层活动影响较小,形成可容纳空间较小,同时远离物源,物源供给规模减小且供给速率减慢,导致前积结构相对清晰且前积角度变缓。根据地震相分析,W2 井 WCSQ5 地层为典型的扇三角洲沉积。

(3) 湖泊相

湖泊相以细粒沉积物为主,岩性为泥岩、炭质泥岩,泥岩厚度大,可划分为滨湖、浅湖、深湖亚相。

滨湖亚相主要发育于盆地缓坡部位,受湖进湖退影响较大,波浪作用为主,岩性以泥岩为主,常发育滨

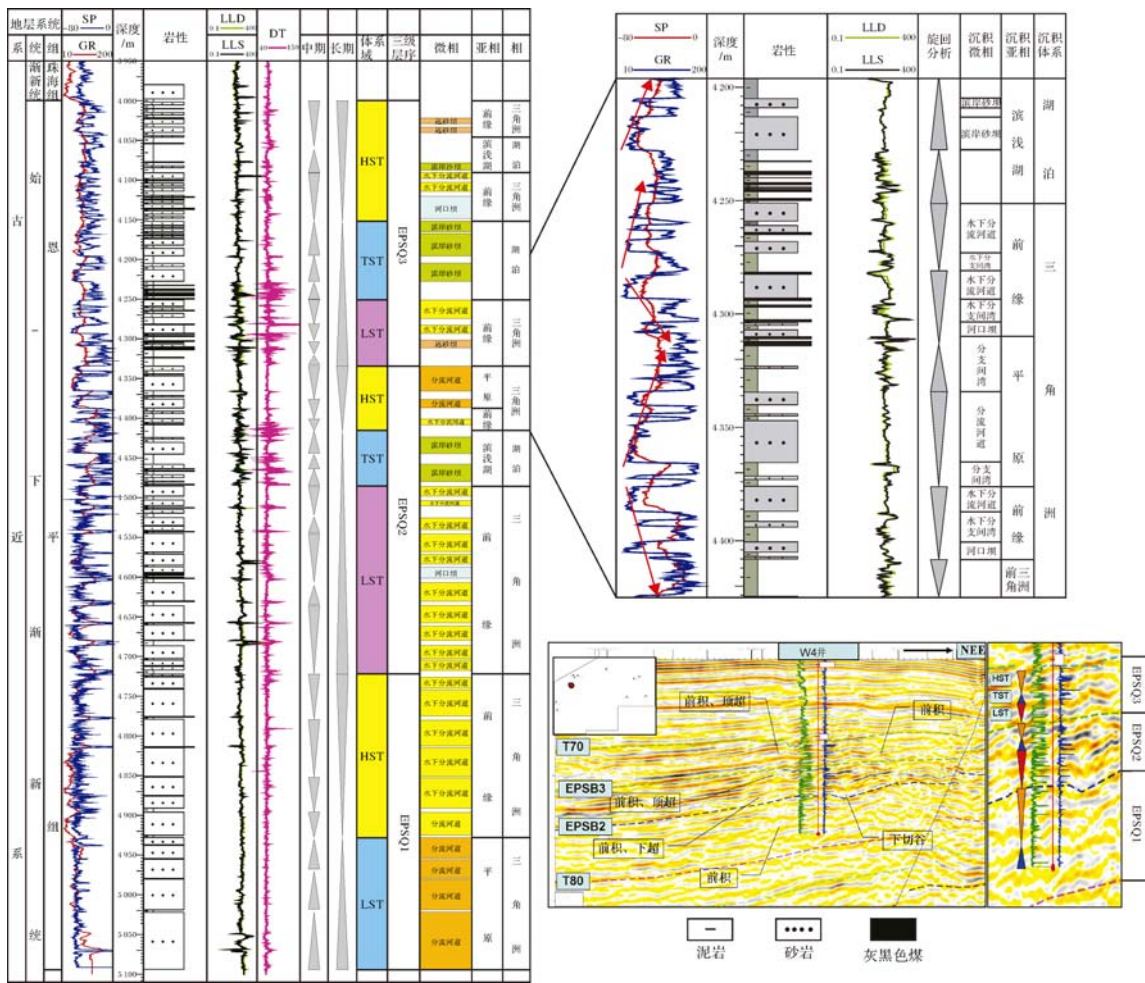


图3 W4井层序地层综合柱状图及过井剖面

Fig.3 The vertical sedimentary sequences of Well W4 and its corresponding to seismic reflection

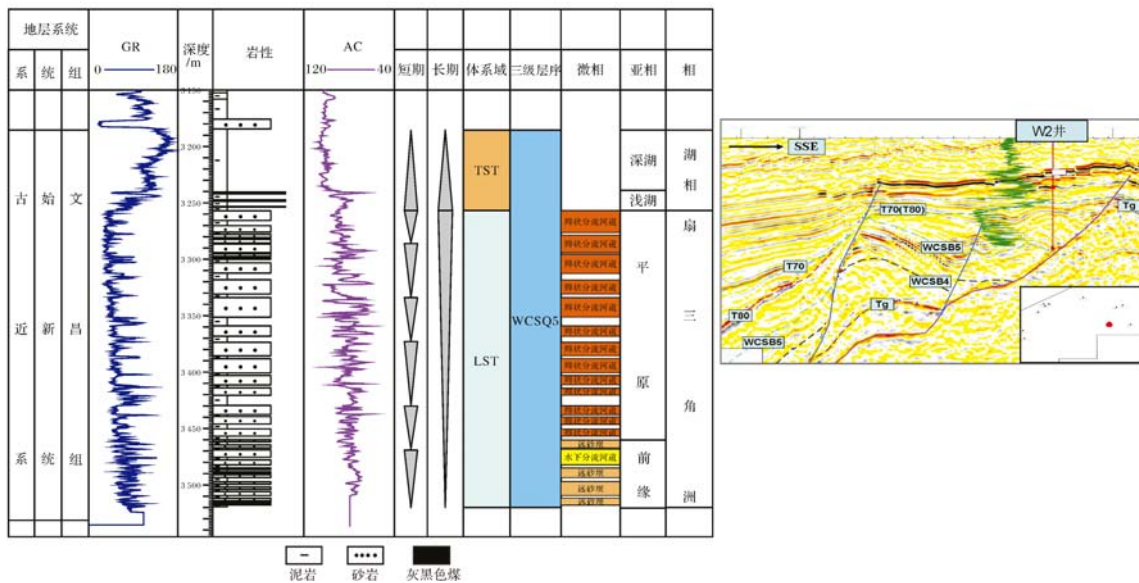


图4 W2井层序地层综合柱状图及过井剖面

Fig.4 The vertical sedimentary sequences of Well W2 and its corresponding to seismic reflection

岸砂坝,由于单层砂坝厚度薄,测井响应为中—高幅平滑指状(图 6a)。浅湖亚位于深湖相外围的邻近湖岸,波浪和湖流作用为主,岩性以深灰—灰黑色泥岩为主,测井响应为低幅度平滑或微齿化曲线(图 6b)。

深湖亚相位于水体最深位置,波浪作用无法涉及,水体安静、封闭。岩性以呈灰黑色泥岩为主,质纯。测井响应为大套的低幅平滑曲线。

2 地震相分析

我国东部断陷盆地大量的地震相研究表明,地震相类型与盆缘背景、沉积物供给、基底沉降紧密相关,具有特定的分布规律^[17]。前积类型与沉积相类型具有一定的对应关系。结合研究区的实际情况,主要归纳总结了 9 类地震相类型(图 7)。这些地震相与沉

积相之间建立了良好的对应关系,其反射结构样式、分布及对应的沉积相的类型分析如下。

(1) 水道充填地震相:不同层序界面下切谷的发育程度不同,这主要与边界断裂间断式的活动导致可容空间的重新分配有关,边界断裂活动强时,湖盆缓坡带的可容空间迅速减少,下切谷开始发育,而下切谷发育的位置又与物源区的供给速率、物源规模的大小有关^[18]。受番禺低隆起丰富物源的供给,下切谷在白云凹陷北坡成群发育。白云凹陷古近系下切谷主要分布在文昌组至恩平组下部层序界面,而恩平组上部 EPSB2、EPSB3 界面基本不发育。文昌组底界面 T_g 下切谷发育尤为广泛,规模大,在文昌组时期长期侵蚀切割,输送沉积物,这与文昌组早期为盆地的初始裂陷期,断裂活动强烈有关。

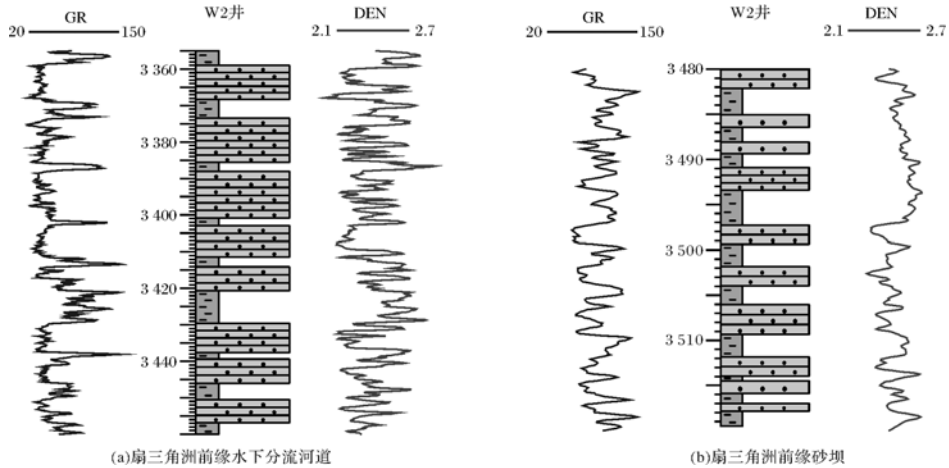


图 5 扇三角洲前缘水下分流河道和远砂坝测井相

Fig.5 The logging facies of underwater distributary channel and distal sandbar of fan-delta front

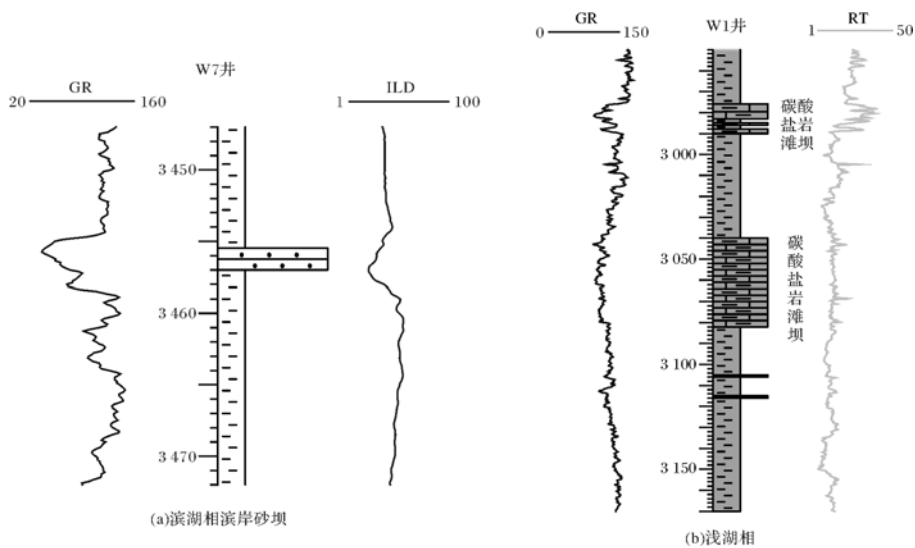


图 6 滨湖相滨岸砂坝和浅湖测井相

Fig.6 The logging facies of offshore bar of lakeshore and mere

地震相类型	分布位置	对应沉积相	结构示意图	典型实例	地震相类型	分布位置	对应沉积相	结构示意图	典型实例
水道充填地震相	古隆起、缓坡带,代表地层暴露剥蚀和河流回春	下切谷或古河流	前积充填 双超充填 复合充填		小型丘状反射	挠曲坡折带的下部至平坦湖底部	湖底扇		
“S”型前积反射地震相	缓坡带,盆地基底沉降速率较高,沉积物供给相对较弱。	三角洲(纵向)			楔状杂乱前积反射	控盆断层的上盘	扇三角洲		
斜交前积反射地震相	缓坡带,盆地基底沉降速率低,沉积物供给强,沉积物厚度大于新增可容纳空间速率。	三角洲(纵向)			带状前积反射	控盆断层的上盘,盆地构造期,可容纳空间新增速率大于沉积速率。	近岸水下扇		
大型丘状双向前积反射		三角洲(横切面) 三角洲(斜切面)	对称 不对称		低频强振幅连续反射地震相	凹陷中心深陷带	深湖		
	缓坡带				中频中一弱振幅连续反射地震相		浅湖		

图 7 地震相类型及其对应沉积相

Fig.7 The types of seismic facies and its corresponding to sedimentary facies

(2) “S”型前积反射地震相:在研究区分布广泛,文昌—恩平组均有分布,以白云凹陷北坡 EPSQ3 发育最为典型,主要发育于缓坡坡折带背景下,总体呈梭状,中间厚两头薄,前积反射层呈 S 形反射结构,近端顶超于上覆地层,远端下超于下伏地层。前积层位于斜坡中部,呈倾斜状,以侧向加积为主;底积层位于斜坡下端,呈近水平或微倾斜状,以垂向加积为主。研究区“S”型前积反射地震相顶积层厚度薄,前积层厚度大,延伸远,顶积层(T)/前积层(P)<1,反映了基底沉积速率高,沉积物供给相对较弱,水流能量低的河控三角洲沉积。

(3) 斜交前积反射地震相:在研究区较多见,主要分布于白云主洼北坡及白云西洼南侧,发育于缓坡坡折带附近、斜坡带或坡度较缓的断坡带背景。与“S”型前积反射相比,该类型与无顶积层,只保留底积层,具低角度切线状下超,反映为一种较高水流能量的沉积,受沉积物供给快和盆地沉降相对缓慢的共同作用,沉积物接近或超过基准面,在水流过路冲刷作用下,顶积层得不到保存,往往代表水流能量高的河控三角洲。

(4) 大型丘状双向前积反射地震相:该类型在白云西洼的 NNE 向测线和白云主洼西侧的 NEE 向测线发育典型。其外部呈上凸下平形态,内部具向两侧

双向下超和双向前积的反射结构,对称或不对称。大型的丘状双向前积反射为三角洲横剖面的特点,与纵向上的“S”型或斜交前积反射地震相相联系。不对称的丘状双向前积反射地震相为三角洲的斜切面的反射特点。

(5) 小型丘状双向前积反射地震相:其规模较小,一般分布在坡折带下部至平坦湖底部。向斜坡方向上超,向湖盆中心方向具前积反射结构,是湖底扇识别的良好标志。

(6) 楔状杂乱前积反射地震相:主要分布在控盆边界断裂的上盘,尤其以文昌组时期断裂活动较强,形成的该类地震相规模较大。总体呈近端厚、远端减薄的楔状,近端前积结构较杂乱,前积角度大;远端前积结构相对清晰,前积角度变缓,反映断裂活动形成较大可容纳空间;同时,物源供给强,导致前积角度大,指示扇三角洲沉积相类型。

(7) 带状前积反射地震相:在控盆边界断裂上盘文昌组少量发育。结构上,自下而上反射轴前积推进距离逐渐减小,前积坡度逐渐增加,下超于下伏地层之上,逐渐向控盆断层收缩呈带状。该类型发育于盆地的强烈断陷活动期,反映断裂活动导致的可容纳空间增加超过了沉积物堆积速率,以致沉积体渐次向控盆断层收缩分布,形成独特的带状形态,指示了深水

陡坡的沉积背景,对应于近岸水下扇沉积相类型。

(8) 低频强振幅连续反射地震相:分布在凹陷中心,反射平行连续,尤其以低频特征区别于其它类型,反映了稳定、静水条件下的慢速细粒沉积,为深湖相烃源岩识别的良好标志。

(9) 中频中—弱振幅连续反射地震相:分布在凹陷缓坡带中部,反射连续或较连续,频率中等,对应为中等能量、岩性较稳定的浅湖相。由于沉积环境能量、岩性组成的变化,从深湖—浅湖—滨湖相,地震反射的频率由增高至降低、振幅由强至弱、连续性逐渐变差的趋势。对于滨湖相,主要分布于缓坡带湖盆边缘,分布较局限,总体表现为反射连续性差,波状起伏,振幅不均一,低频多见,反映环境不稳定、岩相变化快。总体上,从湖盆中心向边缘,地震反射连续性逐渐变差。

3 层序格架下的沉积体系平面分布特征

3.1 典型剖面解剖

如图 8,该剖面从北到南依次跨越番禺低凸起,白云主洼,为典型的“箕状断陷”,地层厚度由北向南逐渐增厚,主洼中心为沉降中心,整体形成“南断北超”的半地堑型层序格架,南端的控凹主生长断层以铲式正断层为特色。文昌组各个层序都发育,早期初始裂陷时期,白云主洼中心并非最早裂陷的地方,因此造成 WCSQ1 层序薄且分布局限。文昌组的底界面 Tg 为区域不整合面,剖面上表现为强振幅同向轴,连续性较好,界面之下地层模糊,杂乱,成层性差,多

见削截反射,Tg 界面缓坡带下切谷较发育,且规模较大。文昌组的顶界面 T80 为区域的角度不整合面,界面之下,削截反射普遍且波及范围广。内部 WCSB2 界面少量下切谷发育,顶超、削截等反射现象少,WCSB3 界面之下顶超反射清晰,界面之上上超反射明显。WCSB4 为新厘定的二级层序界面,靠近断层一侧,界面之上可见大型帚状前积反射,缓坡带界面之下,顶超现象丰富,且角度高,反映该时期,断层活动强烈,物源供给丰富。剖面中部 WCSB5 界面之下见少量削截,顶超,界面之上见大规模的下超。恩平组顶界面 T70 为区域的角度不整合面,界面之上上超清晰,界面之下,削截反射清晰。恩平组内部层序界面 EPSB2 界面之下见清晰顶超反射结构,界面之上缓坡带上端见上超反射结构。EPSB3 界面之下向缓坡及向洼陷中心方向,顶超现象丰富,且界面之上见少量上超。

总体来说,番禺低隆起提供物源丰富,为古近系的主物源区,且文昌—恩平组时期都持续供源。而南缘断裂带,文昌组时期,构造活动强烈,物源供给比较丰富,形成大规模的三角洲、近岸水下扇,而恩平组时期,断层活动减弱,物源供给减少,扇三角洲小规模发育或不发育。

3.2 沉积相平面展布

通过对研究区剖面的整体分析及地震相的平面分布,从而得出了在三级层序控制之下的沉积相平面分布及演化规律:

(1) WCSQ1:文昌组SQ1为裂陷 I 幕的开始,为

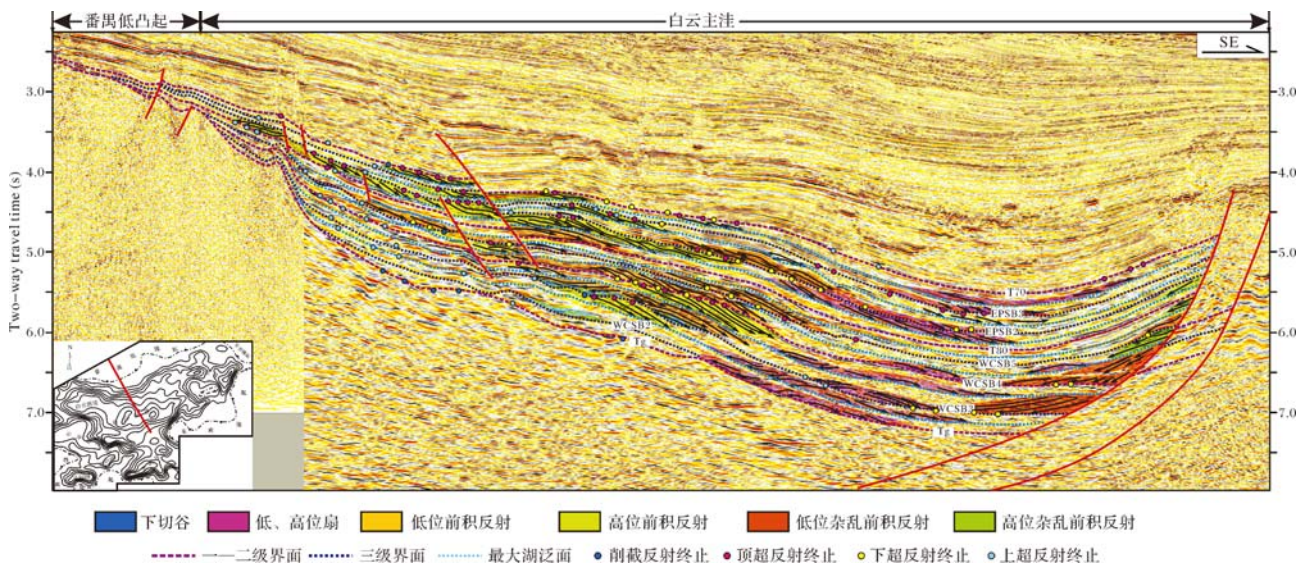


图 8 白云凹陷文昌组及恩平组地震反射相结构剖面

Fig.8 The seismic reflection and structure of Wenchang and Enping Formation in Baiyun depression

凹陷的初始裂陷期, WCSQ1 地层仅分布在白云主注的西部和白云西注, 表现为受西南缘和东北缘断裂控制的双断凹陷。凹陷形成之初, 边缘断层的活动, 为此套地层的沉积提供了可容纳空间, 物源从西南和东北两个方向导入, 南部边界断裂活动强, 发育 4 个扇三角洲; 东北断裂活动较弱, 形成 2 个辫状河三角洲; 此外, 还存在西北缘的轴向物源供给, 形成 1 个小型辫状河三角洲。

(2) WCSQ2: 文昌组 SQ2 时期凹陷进一步裂陷, WCSQ2 地层主要分布在白云主注、白云西注和白云南注, 此时, 白云东注从东北缘开始裂陷, 未与主注连通。白云主注中心为广泛的深湖相区, 尤其是白云主注的西部范围大, 向东逐渐变窄。其北缘受番禺低隆起丰富物源供给, 形成 2 个大型三角洲复合体, 可细分为 A~E 共 5 个朵体。西南部受南部隆起—云开低凸起物源供给, 发育 H、I、J 共 3 个较大型扇三角洲; 东南部受白云低隆起和南部隆起的物源供给, 发育 2 个扇三角洲 K、L, 扇三角洲 K 的远端在盆内断层形成的二台阶背景下, 进一步输送形成小型近岸水下扇。白云南注初具规模, 但总体表现为水体较浅, 以滨—浅湖相为主。除了南缘断控陡坡背景下发育小型扇三角洲之外, 西北缘十分宽缓, 发育小型三角洲。

(3) WCSQ3: 文昌组 SQ3 时期, 凹陷范围继续全面扩张, 白云东注与白云主注开始连通, 白云东注北部开始裂陷, 但为孤立洼陷, 尚未与东注的主体相连通, 云开低凸起上小型次注开始发育。白云主注东部深湖相面积明显增加。白云西注—主注北部继续发育大型三角洲, 同样地可识别为 A~E 共 5 个朵体, 分布位置与 WCSQ2 层序大体一致, 体现了较强的继承性, 尤其以三角洲 B、D 规模巨大, 朵状特征明显。白云东注发育 4 个小型三角洲, 相比西部三角洲前积层厚、前积距离远的特点, 东部三角洲虽然规模较大, 但前积层薄。白云凹陷南部继续发育 H~M 共 6 个较大型扇三角洲, 同样具有较强的继承性, 其中扇三角洲 H 规模减小, 而扇三角洲 I、J、K 规模均不同程度增大, 是文昌—恩平组扇三角洲最为发育时期。白云南注水体加深, 临近南部断控陡坡带附近发育小范围深湖相, 并发育小的浊积扇, 南部陡坡带发育小型扇三角洲, 北缘缓坡带三角洲规模较 WCSQ2 层序增大。

(4) WCSQ4: 文昌组 SQ4 为裂陷 II 幕的开始, 对应于一幕新的构造运动, 该时期湖盆迅速扩张, 表现为白云东注湖盆水域显著扩大, 白云东低凸起的范围

大幅度萎缩; 白云西注向西扩展。与 WCSQ3 层序相比, 该时期不同部位扇三角洲、三角洲继承性发育, 但规模均有不同程度减小。白云西注—主注北部继续发育大型三角洲, 同样地可识别为 A~E 共 5 个朵体, 但与 WCSQ3 层序相比, 三角洲前缘远端普遍分支为细枝状, 呈现由朵状至伸长状的演变趋势。白云东注的北部出现窄条带的深湖相区, 受番禺低隆起和东北低凸起的物源供给, 发育小型三角洲。白云主注南部断控陡坡背景下, 继续发育 H~M 共 6 个扇三角洲, 扇三角洲规模有所下降, 同时在南坡靠近深湖相的断层的控制下发育两个浊积扇。白云南注北缘缓坡带坡度小且开阔, 受南部隆起物源供给, 继续发育枝状—鸟足状三角洲为其主要特色。

(5) WCSQ5: 文昌组 SQ5 时期, 凹陷范围继续扩张, 湖盆面积进一步增大, 白云东注向北扩张, 云开低凸起上白云 23 洼向东扩张, 与白云主注开始连通, 凹陷东南缘, 湖盆面积略有收缩。与 SQ4 相比, 该时期三角洲、扇三角洲仍为继承性发育, 规模有所增大, 白云西注—主注北部的三角洲群依旧发育, 且三角湖前缘远端细枝化更加明显; 白云东注北缘三角洲规模减小, 东侧开始发育小型三角洲, 东北低凸起附近三角洲规模减小。白云主注南部断层活动增强, 扇三角洲规模增大。

(6) EPSQ1 (图 9): 恩平组时期盆地演化进入断—坳转化的新阶段, 恩平组 EPSQ1 时期云开低凸起范围减小, 低凸起上的小型洼陷都与主注开始连通, 东北隆起范围增大。相比 WCSQ5 层序, 该时期白云主注北缘三角洲规模明显增大, 前积层普遍厚, 呈复合朵叶状, 也是恩平组三角洲规模最大的时期。白云西注三角洲主体呈南西方向前积推进, 前积角度较平缓, 前积层薄, 规模居中。东部三角洲 J 是各个层序中规模最大的时期, 尽管如此, 与西部相比, 东部三角洲前积角度较平缓, 前积层薄。各个三角洲远端不同程度地发育小型浊积扇。南部扇三角洲分布位置与 WCSQ5 层序相当, 规模略有增加。白云南注北缘缓坡带坡度小且开阔, 受南部隆起物源供给, 枝状—鸟足状三角洲的继续发育。扇三角洲、三角洲远端发育小型浊积扇是该层序的重要特色。

(7) EPSQ2: 恩平组 EPSQ2 时期, 西部隆起范围进一步缩小, 东北隆起范围增大。相比 EPSQ1 层序, 白云西注—主注北缘三角洲位置相当, 但规模大为减小, 前积层厚度减小。其中, 三角洲 D 规模最大, 具有前积结构最清晰、前积角度高、前积层厚等特点; 三

角洲 A 面积较大,但前积层薄。东洼三角洲少且规模小, EPSQ1 层序较大型的三角洲 F 在该时期消失, 由于构造活动减弱导致盆缘坡度缓, 深湖相范围减小, 早期的扇三角洲普遍转变为辫状河三角洲。

(8) EPSQ3: 该时期, 盆地构造活动减弱—停滞, 云开低凸起再次暴露, 主洼迅速萎缩, 地层厚度小; 白云东洼强烈萎缩, 几近消亡。由于构造活动减弱导致盆缘坡度缓, 深湖相范围减小, 早期的扇三角洲普遍转变为三角洲; 隆起区范围扩大, 但三角洲的规模并未因此增加, 相反呈现减小的趋势。在白云西洼—主洼北缘, 三角洲发育位置与 EPSQ2 层序相当, 包括 A~E 共 5 个三角洲。其中, 三角洲 D 朵体规模最大, 前积结构清晰, 厚度大, 前积距离远, 甚至越过凹陷中心; 三角洲 C 次之, 纤细, 前积距离远, 推进至凹陷中心, 呈鸟足状; 三角洲 B 规模小, 前积层薄; 三角洲 A 位于白云西洼, 分布面积大, 呈朵状, 但前积层较薄。总体上, 由于盆缘坡度缓, 在低位和高位体系域时期, 三角洲远距离推进, 但三角洲规模大为减小, 与此前的叠合连片呈朵状的面貌不同, 该时期三角洲彼此独立。

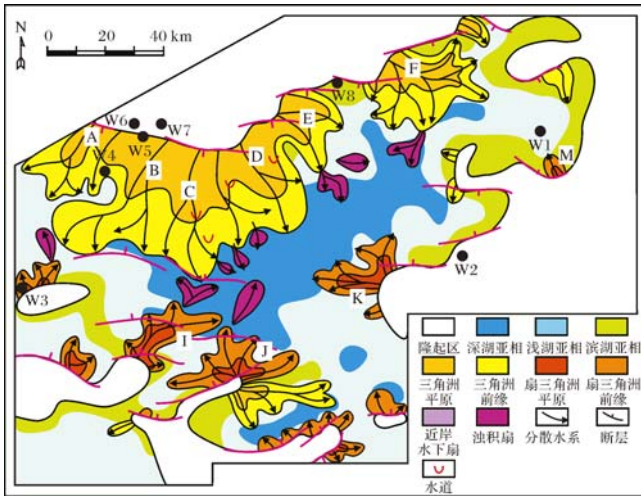


图9 EPSQ1 层序沉积相平面展布

Fig.9 The distributions of sedimentary facies in EPSQ1 sequence

4 结论

(1) 白云凹陷的持续沉降造就了凹陷内深湖相持续发育, 形成了大面积、巨厚的烃源岩, 主要分布在白云主洼, 在西洼和东洼十分有限。

(2) 受番禺低隆起物源供给, 白云西洼—主洼的北部缓坡带持续发育 A~E 共 5 个三角洲, 具有前积层厚, 推进距离远, 普遍叠合连片, 构成超大型朵状沉

积体; 东部物源供给弱, 三角洲规模小, 前积层薄, 推进距离近。

(3) 在西南—南部陡坡带持续发育 H~L(M) 等 5~6 个较大型的扇三角洲, 在多级断阶背景下, 扇三角洲的远端还发育水下扇和浊积扇。

(4) 文昌组时期, 断陷作用强烈, 盆缘坡度大, 陡坡带发育扇三角洲和近岸水下扇。恩平组时期, 断陷作用减弱, 拗陷作用增强, 盆缘坡度变缓, 扇三角洲逐渐演化为三角洲。

参考文献 (References)

- 1 庞雄, 陈长民, 朱明, 等. 南海北部陆坡白云深水区油气成藏条件探讨[J]. 中国海上油气, 2006, 18(3): 145-149 [Pang Xiong, Chen Changmin, Zhu Ming, et al. A discussion about hydrocarbon accumulation conditions in Baiyun deep-water area, the northern continental slope, South China Sea [J]. China Offshore Oil and Gas, 2006, 18(3): 145-149]
- 2 柳保军, 庞雄, 颜承志, 等. 珠江口盆地白云深水区沉积充填演化及控制因素分析[J]. 中国海上油气, 2011, 23(1): 19-25 [Liu Baojun, Pang Xiong, Yan Chengzhi, et al. An analysis of deposition evolution and its controls in Baiyun deep-water area, Pearl River Mouth basin [J]. China Offshore Oil and Gas, 2011, 23(1): 19-25]
- 3 庞雄, 陈长民, 彭大钧, 等. 南海珠江深水扇系统及油气[M]. 北京: 科学出版社, 2007: 1-303 [Pang Xiong, Chen Changmin, Peng Dajun, et al. The Pearl River Deep-water Fan System or Petroleum in South China Sea [M]. Beijing: Science Press, 2007: 1-303]
- 4 彭大钧, 陈长民, 朱明, 等. 南海珠江口盆地深水扇系统的发现[J]. 石油学报, 2004, 25(5): 17-23 [Peng Dajun, Chen Changmin, Pang Xiong, et al. Discovery of deep-water fan system in the South China Sea [J]. Acta Petrolei Sinica, 2004, 25(5): 17-23]
- 5 彭大钧, 庞雄, 陈长民, 等. 南海珠江深水扇系统的形成特征与控制因素[J]. 沉积学报, 2006, 24(1): 10-17 [Peng Dajun, Pang Xiong, Chen Changmin, et al. The characteristics and controlling factors for the formation of deep-water fan system in South China Sea [J]. Acta Sedi-mentologica Sinica, 2006, 24(1): 10-17]
- 6 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 deepwater fan system in the South China Sea [J]. Earth Science Frontiers, 2005, 12(3): 167-177]
- 7 庞雄, 申俊, 袁立忠, 等. 南海珠江深水扇系统及其油气勘探前景[J]. 石油学报, 2006, 27(3): 11-15 [Pang Xiong, Shen Jun, Yuan Lizhong, et al. Petroleum prospect in deep-water fan system of the Pearl River in the South China Sea [J]. Acta Petrolei Sinica, 2006, 27(3): 11-15]
- 8 庞雄, 陈长民, 彭大钧, 等. 南海珠江深水扇系统的层序地层学研究[J]. 地学前缘, 2007, 14(1): 220-229 [Pang Xiong, Chen Changmin, Peng Dajun, et al. Sequence stratigraphy of Pearl River deep-water fan systems of the South China Sea [J]. Earth Science Frontiers,

- 2007, 14(1): 220-229]
- 9 彭大钧, 庞雄, 陈长民, 等. 从浅水陆架走向深水陆坡—南海深水扇的研究[J]. 沉积学报, 2005, 23(1): 1-11 [Peng Dajun, Pang Xiong, Chen Changmin, *et al.* From shallow-water shelf to deep-water slope—The research of deep-water fan systems in South China sea [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2005, 23(1): 1-11]
 - 10 柳保军, 申俊, 庞雄, 等. 珠江口盆地白云凹陷珠海组浅海三角洲沉积特征[J]. 石油学报, 2007, 28(2): 49-56 [Liu Baojun, Shen Jun, Pang Xiong, *et al.* Characteristics of continental delta in Zhuhai Formation of Baiyun depression in Pearl River Mouth Basin [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2007, 28(2): 49-56]
 - 11 陈长民, 施和生, 许仕策, 等. 珠江口盆地(东部)第三系油气藏形成条件[M]. 北京: 科学出版社, 2003: 1-30 [Chen Changmin, Shi Hesheng, Xu Shice, *et al.* Original Condition of the Tertiary Oil and Gas Accumulation, Pearl River Mouth Basin [M]. Beijing: Science Press, 2003: 1-30]
 - 12 代一丁, 庞雄. 珠江口盆地珠二凹陷石油地质特征[J]. 中国海上油气: 地质, 1999, 12(3): 169-180 [Dai Yiding, Pang Xiong. Petroleum geological characteristic of Zhu II depression, Pearl River Mouth Basin [J]. *China offshore Oil and Gas: Geology*, 1999, 12(3): 169-180]
 - 13 米立军, 张功成, 沈怀磊, 等. 珠江口盆地深水区白云凹陷始新统一渐新统沉积特征[J]. 石油学报, 2008, 29(1): 29-34 [Mi Lijun, Zhang Gongcheng, Shen Huailei, *et al.* Eocene-Lower Oligocene sedimentation characteristics of Baiyun sag in the deep water area of Pearl River Mouth Basin [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2008, 29(1): 29-34]
 - 14 连世勇, 何敏, 庞雄, 等. 珠江口盆地深水区白云凹陷始新世洼陷结构研究[J]. 石油学报, 2007, 28(3): 13-16 [Lian Shiyong, He Min, Pang Xiong, *et al.* Research on Eocene structure of Baiyun sag in deep-water area of Pearl River Mouth Basin [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2007, 28(3): 13-16]
 - 15 孙珍, 庞雄, 钟志洪, 等. 珠江口盆地白云凹陷新生代构造演化动力学[J]. 地学前缘, 2005, 12(4): 489-498 [Sun Zhen, Pang Xiong, Zhong Zhihong, *et al.* Dynamics of Tertiary tectonic evolution of the Baiyun sag in the Pearl River Mouth Basin [J]. *Earth Science Frontiers*, 2005, 12(4): 489-498]
 - 16 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]
 - 17 张万选, 张厚福, 曾洪流. 陆相地震地层学[M]. 北京: 石油大学出版社, 1993: 1-43 [Zhang Wanxuan, Zhang Houfu, Zeng Hongliu. *Continental Seismic Stratigraphy* [M]. Beijing: Petroleum University Press, 1993: 1-43]
 - 18 鲜本忠, 姜在兴. 断陷湖盆中下切谷的形成机理初探—以泌阳凹陷为例[C]//全国沉积学大会摘要论文集, 2001: 122-123 [Xian Benzong, Jang Zaixing. The preliminary research of the development of the incised valley in lacustrine fault basins — takes Miyang depression as an Example [C]// Abstract of Sedimentological Congress in China, 2001: 122-123]

Types and Distribution of the Paleogene Sedimentary Facies in Baiyun Depression of Pearl River Mouth Basin

LI Cheng-hai^{1,2} WANG Jia-hao¹ LIU Bao-jun³ SU Ao⁴ XU Dong-hao¹
LUO Quan-yuan¹ LIU Shan¹ MU Chuan¹

(1. School of Earth Resources China University of Geosciences, Wuhan 430074;

2. Geophysical Exploration Research Institute of PetroChina Huabei Oilfield Company, Renqiu, Hebei 062552;

3. Shenzhen Branch of CNOOC, Guangzhou 510420;

4. Geophysical Research Institute, BGP, CNPC, Zhuozhou, Hebei 072750)

Abstract: Based on the drilling and seismic data in Baiyun Depression, development and evolution of sedimentary facies are comprehensively analyzed in the Wenchang and Enping Formation, Baiyun Depression of Pearl River Mouth Basin. Through the limited well data, three sedimentary facies, delta facies, fan-delta facies and lacustrine facies, are identified in Baiyun Depression; Logging curve of delta facies shows an inverse cycle, but subset normal cycle in some parts; Logging curve(γ -ray) of fan-delta curve shows an inverse cycle and subset normal cycle overall; Lacustrine facies mainly are mudstone deposition, partly mingled with sand bar or carbonate beach bar. Nine types of seismic facies are identified in Baiyun Dpression. The research shows that the continuous subsidence of the basin causes the long time of the deep lacustrine facies development and the formation of the thick-layer resource rock. Influenced by lower Panyu Uplift, a delta facies developed in the northern gentle slope in Baiyun Depression, fan-delta facies developed from southwestern to southern abrupt slope. And the development of partial delta facies has a succession.

Key words: Pearl River Mouth Basin; Baiyun depression; Paleogene; seismic facies; sedimentary facies