

# 珠江口盆地惠北地区文昌期构造-沉积响应 及对优质烃源岩的控制

高翔, 刘杰, 牛胜利, 徐乐意, 梁杰, 何陵沅, 郭佳

中海石油(中国)有限公司 深圳分公司

**摘要** 珠江口盆地惠北地区处于勘探初期,目前缺少对文昌期构造-沉积响应的系统研究,严重制约了勘探进程。基于新采集的高分辨率三维地震资料及新钻探井,通过井-震联合解释,对惠北地区构造-沉积响应及其对优质烃源岩的控制作用进行了深入分析。研究认为:①受控于控注断裂时空演化和惠州运动的构造响应,惠北地区各洼陷文昌期构造-沉积特征差异显著:HZ08洼与HZ14洼构成地堑,构造活动较弱,主要受HZ08转换带盆外物源输入影响,发育辫状河三角洲、浅湖沉积;HZ10洼为受惠州运动强烈改造形成的箕状半地堑,构造活动最强,主要受盆内惠陆低凸起物源影响,发育半深湖—深湖及辫状河三角洲沉积。②构造演化和源-汇特征的差异耦合导致文昌组烃源岩具有“东西分带”的特征:HZ08洼、HZ14洼以浅湖—沼泽相烃源岩为主,HZ10洼以半深湖—深湖相优质烃源岩为主。③HZ10洼强烈断陷期为“广盆少源”型洼陷,与相邻洼陷水体连通形成复合湖盆,半深湖—深湖相优质烃源岩广泛分布;断陷萎缩期为“旋转扩容”型洼陷,惠州运动造成缓坡高角度旋转,HZ10洼呈典型箕状半地堑,湖盆范围缩减,仅在湖盆中心发育半深湖—深湖相烃源岩。

**关键词** 构造演化;构造-沉积响应;烃源岩;文昌组;惠北地区;珠江口盆地

中图分类号:TE121.2

文献标识码:A

## 0 前言

惠州凹陷是珠江口盆地油气勘探的主战场,其中惠西为勘探成熟区,目前在生产油田均集中于惠西。勘探研究表明,惠西地区各洼陷主力烃源岩均为文昌组半深湖—深湖沉积。惠北地区为勘探新区,勘探和研究程度均较低,尚未取得商业突破。惠北地区各洼陷烃源岩差异显著:HZ10洼主要发育文昌组半深湖—深湖相烃源岩,HZ08洼、HZ14洼主要发育恩平组浅湖—沼泽相烃源岩。由于惠北地区已钻井揭示的油气以恩平组烃源岩贡献为主,因此前人关注的重点在恩平组,而对文昌组构造-沉积特征的研究较少<sup>[1-6]</sup>,这严重制约了惠北地区油气资源潜力的客观评价及勘探进程。

HZ10洼的构造演化与沉积充填具有一定特殊性:典型箕状半地堑以发育楔状地层为主,缓坡带构造活动较弱,通常以辫状河三角洲沉积为主<sup>[7-9]</sup>,

而HZ10洼发育席状地层,缓坡带构造活动强烈,在缓坡高部位仍发育厚层半深湖—深湖沉积。HZ10洼的演化机制如何,对烃源岩的发育有怎样的影响,针对这些问题尚未进行过系统研究。本文基于新采集三维地震和新钻探井资料,对惠北地区文昌期构造-沉积响应进行了系统研究,首次明确了文昌期各洼陷构造演化、沉积充填的多样性和差异性以及半深湖—深湖相优质烃源岩的展布特征和发育模式。研究成果可为下一步勘探部署提供依据,同时对具有相似特征的箕状半地堑的构造-沉积响应研究和油气勘探具有一定参考意义。

## 1 区域地质概况

珠江口盆地位于南海北部陆缘,是在中生代主动陆缘、被动陆缘演化的基础上发展而来,动力学背景复杂,受印度—澳大利亚板块、欧亚板块和太平洋板块共同影响<sup>[2-3]</sup>。珠江口盆地自南向北划分

收稿日期:2021-06-15;改回日期:2022-02-08;网络出版日期:2022-08-31

本文受“十三五”国家科技重大专项之课题“南海东部海域勘探新领域及关键技术”(编号:2016ZX05024-004)资助

**第一作者:**高翔,工程师,主要从事石油地质与油气勘探综合研究工作。通信地址:518054 广东省深圳市南山区后海滨路(深圳湾段)3168号中海油大厦A座;E-mail: gaixiang18@cnooc.com.cn

为5个构造单元,分别为南部隆起带、南部拗陷带(珠二拗陷和潮汕拗陷)、中央隆起带、北部拗陷带(珠三拗陷和珠一拗陷)、北部隆起带(图1a)。本文研究的惠北地区位于惠州凹陷北部(图1b),包括了HZ10洼、HZ14洼和HZ08洼3个洼陷。

珠江口盆地的构造演化包括同裂陷期和裂陷后期两大阶段。同裂陷期包括文昌期和恩平期2个

裂陷幕,珠琼运动二幕是两幕裂陷之间主要的构造运动<sup>[10]</sup>,对应于区域不整合面T80。最新研究成果表明在早、晚文昌期之间存在一期构造转换,即惠州运动<sup>[6]</sup>,该期构造运动在不同地区形成一定范围的不整合界面,在地震剖面上对应于T83(表1)。裂陷后期可划分为南海扩张和南海俯冲2个阶段,自下而上发育了珠海组、珠江组、韩江组、粤海组和万山组。

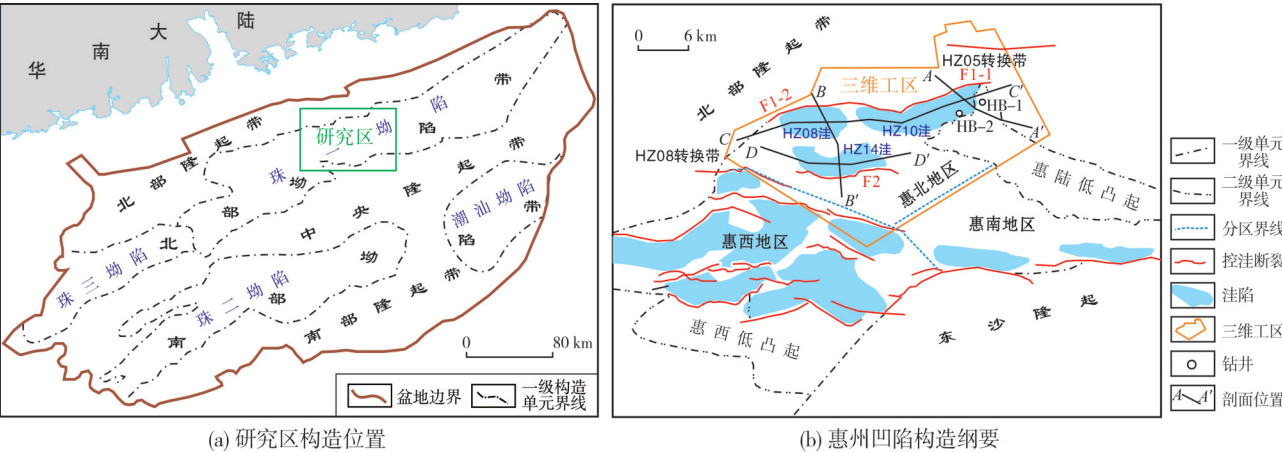


图1 珠江口盆地惠州凹陷区域位置及构造纲要图  
Fig. 1 Regional location and structural outline of Huizhou Sag, Pearl River Mouth Basin

表1 珠江口盆地惠北地区始新统地层层序简表  
Table 1 Eocene stratigraphy-sequence table  
in the northern Huizhou Sag, Pearl River Mouth Basin

地层			地震反 射界面	三级 层序	构造运动	构造演化阶段	
统	组	段					
始新统	恩平组	恩一段	T70	EPSQ3	南海运动 (33.9 Ma)	裂陷 II 幕	断陷萎缩期
		恩二段	T72	EPSQ2			强烈断陷期
		恩三段	T73	EPSQ1		裂陷 I b 幕	初始断陷期
		恩四段	T80	WCSQ6			断陷萎缩期
	文昌组	文一段	T81	WCSQ5	珠琼运动二幕 (39.0 Ma)	裂陷 I b 幕	断陷萎缩期
		文二段	T82	WCSQ4			
		文三段	T83	WCSQ3			
		文四段	T84	WCSQ2	惠州运动 (43.0 Ma)	裂陷 I a 幕	强烈断陷期
		文五段	T85	WCSQ1			
		文六段	Tg	WCSQ1			
					珠琼运动一幕 (49.0 Ma)	裂陷 I a 幕	初始断陷期

2 文昌期构造-沉积响应

2.1 洼陷地质结构

基于最新的三维地震资料,根据不整合、古生物、测井相、地震相等层序界面识别方法构建了惠北地区三级层序格架(表1)。文昌期总体发育6个三级层序,与6个岩石地层段具有对应性。基于井-震联合解释结果分析:HZ10洼为受断裂F1-1控制的箕状半地堑,北断南超,断裂活动强度大,沉积地层厚度达2 513 m;HZ08洼受断裂F1-2控制,HZ14洼受断裂F2控制,HZ08洼、HZ14洼整体上呈地堑形态,断裂活动较弱,最大地层厚度分别为1 753 m和1 482 m。从具体地层发育情况看:文昌期HZ10洼发育文六段一文二段,未沉积文一段(图2a);HZ08洼发育文五段一文三段,未沉积文二段、文一段;HZ14洼仅发育文四段、文三段(图2b)。恩平期各洼陷均发育恩四段一恩一段(图2)。

2.2 构造演化特征

惠北地区构造演化主要受控于控洼断裂的生



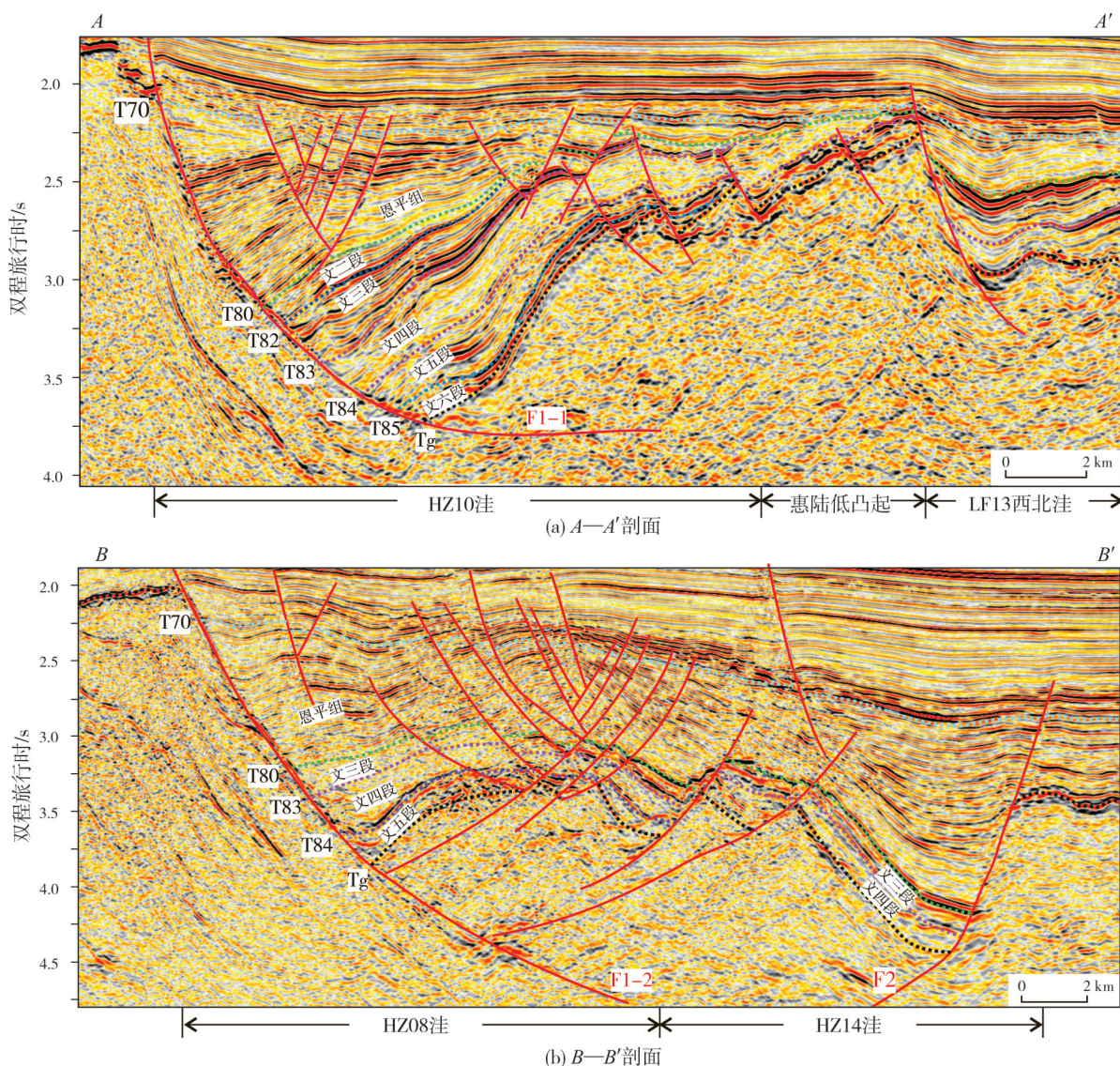


图2 惠北地区主要洼陷地质结构地震地质解释剖面

Fig. 2 The seismic interpretation sections of geological structures of main sub-sags in the northern Huizhou Sag

长演化和惠州运动的构造响应。控洼断裂作为裂陷盆地最重要的构造要素控制着沉积层序和洼陷的演化,惠州运动在惠北地区主要表现为基底隆升和地层剥蚀,对盆地原型有重要改造作用。

### 2.2.1 控洼断裂的生长演化

断层的生长演化是指由分段的小断层逐步连接形成统一的边界大断层,一个完整演化过程包括为孤立、连接和贯通3个阶段<sup>[11-15]</sup>。在初始孤立阶段,断层多、位移小,断层之间孤立径向伸展;在连接阶段,断层间相交并发生硬连接,形成几何学上连通的断层,这时仍发育多个活动中心;在贯通阶段,以发育具有统一的运动学特征的大型控洼断裂

为特征,断层长度和位移达到最大,最大断距迁移至连接后的断裂中心。惠北地区控洼断裂的生长演化是基底先存断裂和文昌期应力背景综合作用的结果,文昌期的构造演化可划分为初始断陷期、强烈断陷期和断陷萎缩期(图3)。

初始断陷期(文六段—文五段沉积期) 根据重磁资料及前人研究成果<sup>[16-18]</sup>,珠江口盆地中生代发育NWW和NEE向2组先存断裂,在惠北地区主要发育3条NEE向(F1-1、F1-2、F2)和3条NWW向(F3、F4、F5)先存断裂,F4错断F1形成了Z字形先存断裂组合(图3a)。先存断裂是力学上的薄弱带<sup>[19-20]</sup>,在后期构造运动中一般优先活化并继承性发育,通常作为控洼断裂影响着洼陷的发育<sup>[21-22]</sup>。



HZ08洼、HZ10洼是在先存Z字形断裂组合基础上活化形成。在早始新世NW—SE向伸展应力背景下,NEE向的F1-1和F1-2正交于应力方向,优先活化,断层活动速率分别为133 m/Ma和65 m/Ma(图4),形成了HZ10洼和HZ08洼(图3b)。该时期控洼断裂处于孤立生长阶段,洼陷彼此分割,湖盆范围较小。

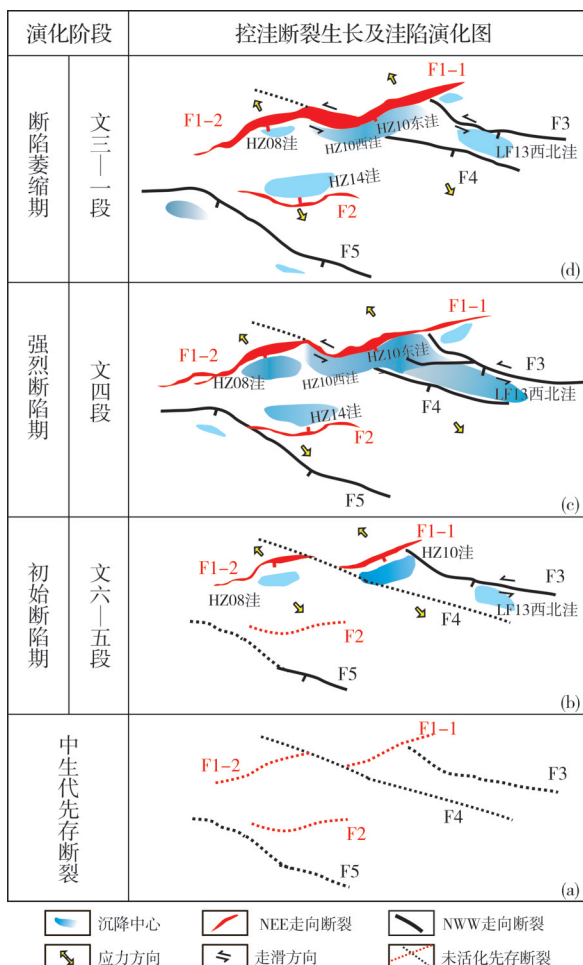


图3 惠北地区文昌期控洼断裂及洼陷演化平面图

Fig. 3 Evolution plans of sub-sags and controlling faults in Wenchang period in the northern Huizhou Sag

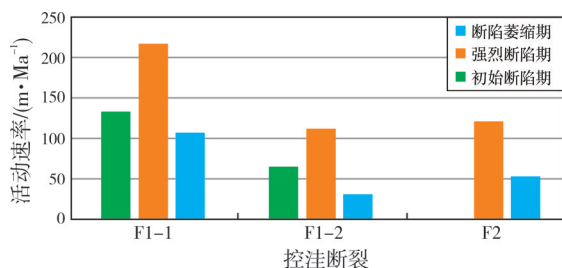


图4 惠北地区文昌期控洼断裂平均活动速率直方图

Fig. 4 Histogram of average activity rate of sub-sag controlling faults in Wenchang period in the northern Huizhou Sag

强烈断陷期(文四段沉积期) HZ10洼、HZ08洼的控洼断裂F1-1、F1-2活动强度达到最大,活动速率分别为217 m/Ma和112 m/Ma,这两条控洼断裂在F4先存断裂薄弱面上发生硬连接(图3c)。此时处于连接与贯通阶段的过渡阶段,断裂活动中心开始向新形成的断裂中心迁移,同时NW向的F4断裂具有一定的走滑拉分作用,在断层连接和走滑拉分共同作用下形成HZ10西洼。近东西向的HZ14洼控洼断裂F2在此阶段也开始活化(图3c),活动速率为121 m/Ma(图4),HZ14洼开始接受沉积。该时期惠北地区各洼陷裂陷强度均达到峰值,进入湖盆鼎盛期,表现为各洼陷水体连通,湖盆范围达到最大。

断陷萎缩期(文三段—文一段沉积期) 惠北各洼陷的控洼断裂活动强度均有所减弱,HZ10洼、HZ14洼和HZ08洼控洼断裂活动速率依次为107 m/Ma、53 m/Ma和31 m/Ma(图4)。HZ10洼、HZ08洼的控洼断裂F1-1和F1-2未完成向贯通阶段的演化(图3d)。

总体而言,HZ10洼的控洼断裂F1-1在各演化阶段活动强度相对较大(图4),该洼陷为惠北沉降和沉积中心。

## 2.2.2 惠州运动对惠北地区盆地原型的改造作用

盆地原型是指某一地史阶段在一种地球动力机制(环境)下形成的一个结构构造形式和沉积实体单元,复杂盆地通常由若干个不同类型的盆地原型组合而成<sup>[23]</sup>。惠北地区盆地原型具有“东西分带”的特征:西部HZ08洼与HZ14洼呈南北双断的地堑结构(图2b),在文昌期总体表现为持续地均衡沉降,未遭受明显剥蚀;东部的HZ10洼受惠州运动影响,盆地原型发生突变,文四段遭受强烈剥蚀,整体呈北断南超的箕状断陷结构(图2a)。

43 Ma左右,在印度板块与欧亚板块开始硬碰撞、太平洋板块俯冲方向发生变化以及岩石圈由初始张裂到快速减薄变化的综合作用下,珠江口盆地发生惠州运动,造成了显著的构造转变,表现为裂陷作用迁移、基底隆升及岩浆底侵等<sup>[6]</sup>。惠州运动在惠北地区形成了T83大型角度不整合界面,在HZ10洼缓坡可见明显的地层上超下削特征(图2a)。通过趋势外推法对惠州运动的剥蚀量进行了恢复(图5),结果表明剥蚀范围主要分布在HZ10洼缓坡及现今惠陆低凸起,最大剥蚀厚度为364 m。



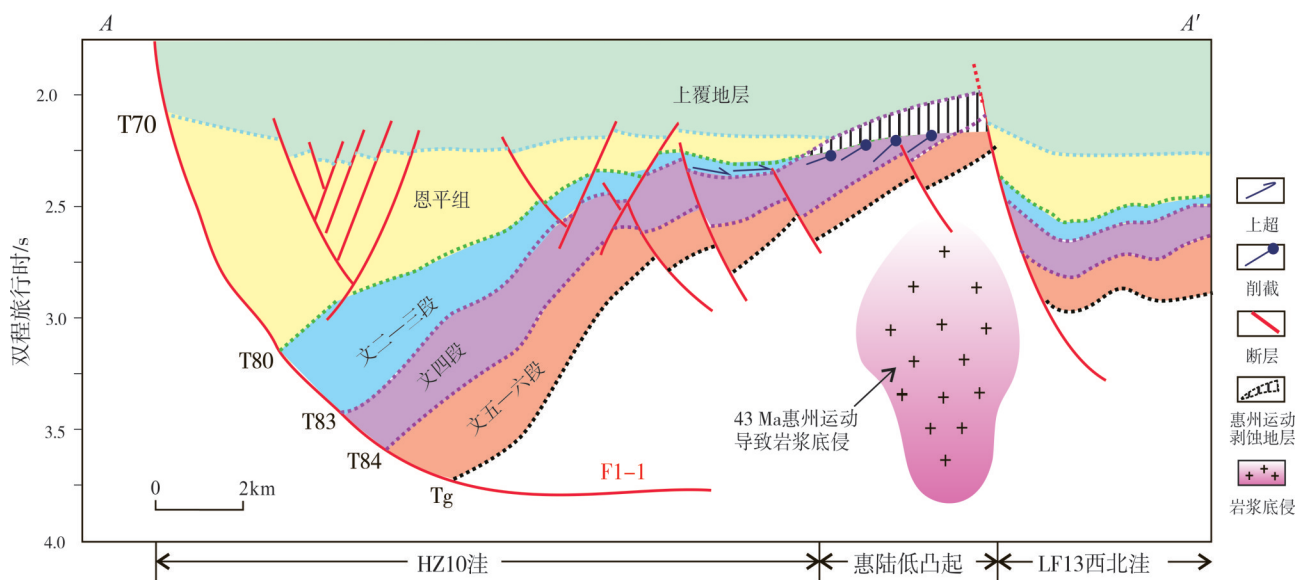


图5 惠北地区文昌期盆地原型恢复

Fig. 5 The basin prototype restoration of Wenchang period in the northern Huizhou Sag

根据盆地原型恢复, HZ10洼在强烈断陷期(文四段沉积期)与现今的箕状半地堑结构不同, 缓坡带与LF13西北洼连通, 地层广泛分布, 楔状特征并不明显。文四段沉积末期, 惠州运动导致HZ10洼缓坡和惠陆低凸起强烈隆升, 文四段地层遭受剥蚀, 基底的隆升导致HZ10洼缓坡强烈旋转, 与LF13西北洼分割, 使文三段—文二段具有明显的楔状特征, 形成了典型的箕状半地堑构造样式。

### 2.3 沉积充填演化特征

惠北地区的物源背景受控于断裂体系的演化及惠州运动的响应。NEE向和NNW向先存断裂在始新世的活化形成了继承性发育的大型控洼断裂体系, 2组断裂的交会叠置在惠北地区形成了HZ08、HZ05两大转换带物源体系(图1b, 图6)。大型的低坡降转换带背景有利于捕获长源水系, 在盆地内部形成了富砂的三角洲体系。HZ05转换带主要向陆丰地区提供物源, 同时对惠北地区陡坡带起到了一定的屏蔽作用, 使控洼断裂的下降盘仅发育了小规模近岸扇体。HZ08转换带为HZ08洼、HZ14洼提供物源, 供给量充沛。受惠州运动的影响, 惠陆低凸起是HZ10洼的主要物源区, 剥蚀范围具有大一小的动态变化趋势, 导致HZ10洼的沉积物供给量变化较大。构造演化和源-汇特征的差异耦合, 导致惠北地区在不同演化阶段沉积充填特征差异明显(图6)。

**初始断陷期** 自惠陆低凸起物源区至HZ10洼陷中心, 发育一套低频、连续、强振幅反射的大型前积体(图7a), 为裂陷早期的低位辫状河三角洲沉积, 反映该时期物源供给十分充沛。湖相沉积仅在HZ10洼沉降中心少量发育。HZ08转换带在该时期已形成, 转换带水系开始向HZ08洼输送沉积物, 近物源区域以粗碎屑沉积为主。初始断陷期HZ08洼沉积厚度、湖盆规模均不及HZ10洼, 仅在远物源端发育规模较小的浅湖相沉积(图6a)。

**强烈断陷期** 为湖盆发育的鼎盛期。由于持续湖侵, 惠北各洼陷水体连片, 迅速进入深湖环境, 具有“广盆深湖”的特征(图6b)。原始沉积厚度在HZ10洼达931 m, 在HZ08洼达712 m, 在HZ14洼达895 m。惠陆低凸起物源范围大幅缩减, 沉积物供给强度有限, 仅在东部物源区周缘形成小规模展布的辫状河三角洲沉积, 而在HZ10洼至LF13西北洼之间的广阔区域形成大规模展布的半深湖—深湖沉积。由于可容空间持续增加而物源供给非常有限, 因此半深湖—深湖沉积基本为较纯的泥岩, 在地震相上表现为中低频、中连续、弱振幅的平行反射特征(图7a)。HZ08洼、HZ14洼虽然都受到转换带物源影响, 但两洼的辫状河三角洲沉积体系的推进范围不同。HZ08洼受转换带物源影响较大, 自转换带至HZ08洼主体部位以弱振幅的叠瓦状前积反射为主, 表明HZ08洼沉降中心发生过充填, 洼陷主体以辫状河三角洲沉积为主(图7b)。HZ14洼受转

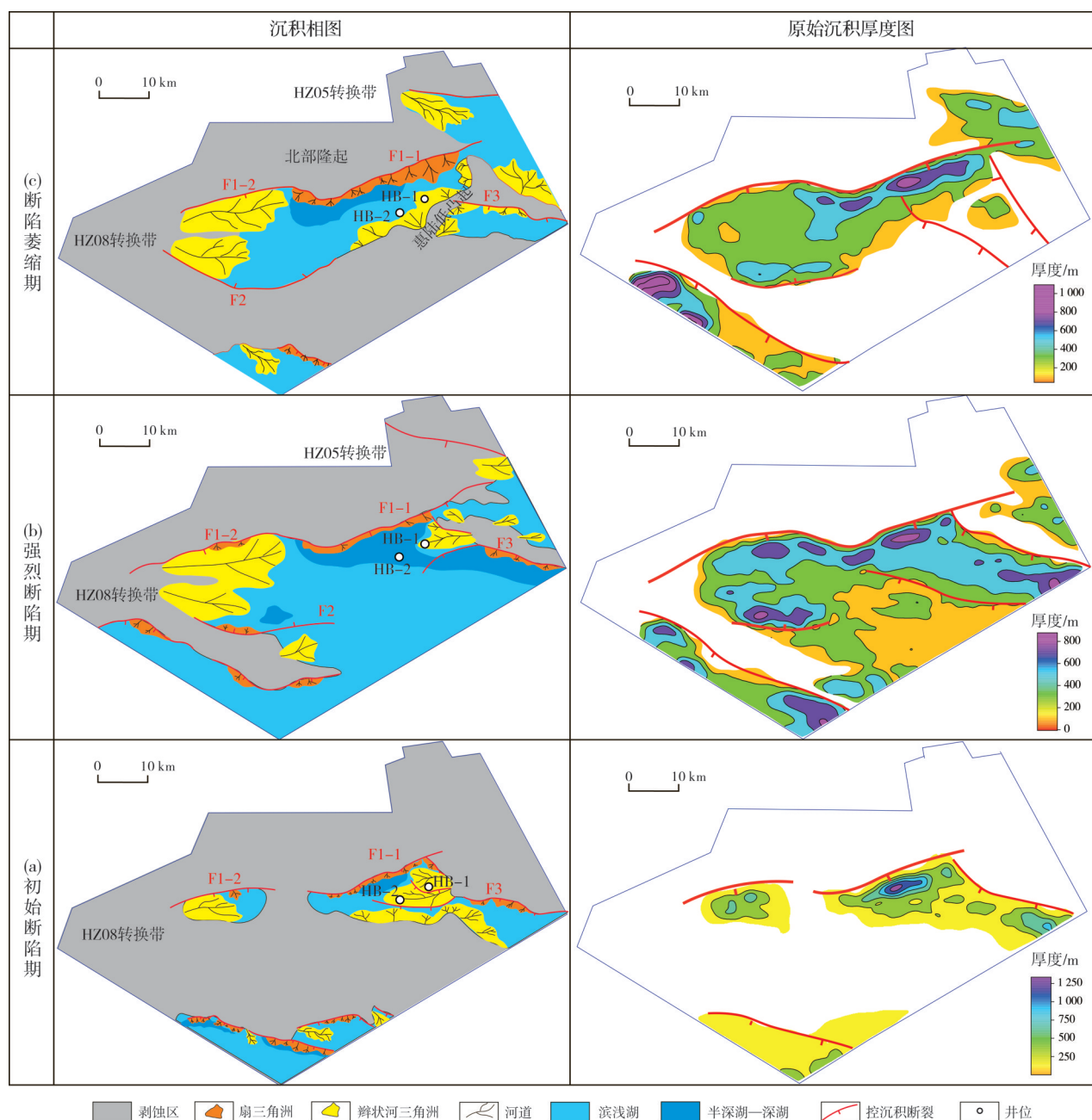


图6 惠北地区文昌期沉积相及原始沉积厚度演化

Fig. 6 The evolution of sedimentary facies and original sedimentary thickness of Wenchang period in the northern Huizhou Sag

换带物源的影响相对有限,转换带的前积反射与洼陷中心的空白反射存在明显的界面特征,反映辫状河三角洲推进距离较短,洼陷中心以湖相沉积为主(图7c)。由于HZ14洼裂陷作用较弱,推测洼陷中心以浅湖相沉积为主,半深湖—深湖相发育规模有限。

断陷萎缩期 受惠州运动影响,HZ10洼缓坡及惠陆低凸起强烈隆升,HZ10洼湖盆规模减小,同时下伏文四段遭受剥蚀,惠陆低凸起物源区范围及供给强度有所增加。在惠陆低凸起周缘形成了裙带

状展布的辫状河三角洲沉积,半深湖—深湖仅在HZ10洼中心部位发育,其展布规模较强烈断陷期有所减小(图6c)。可容空间减小和物源供应量增加,使洼陷中心岩性变为砂岩、泥岩互层,与文四段半深湖—深湖相泥岩不同,表现为中频、中连续、强振幅平行反射特征(图7a)。HZ08转换带持续提供物源,HZ08洼仍然为过充填沉积;HZ14洼由于控洼断裂活动强度减弱,远物源区域以浅湖沉积为主(图7b,7c)。



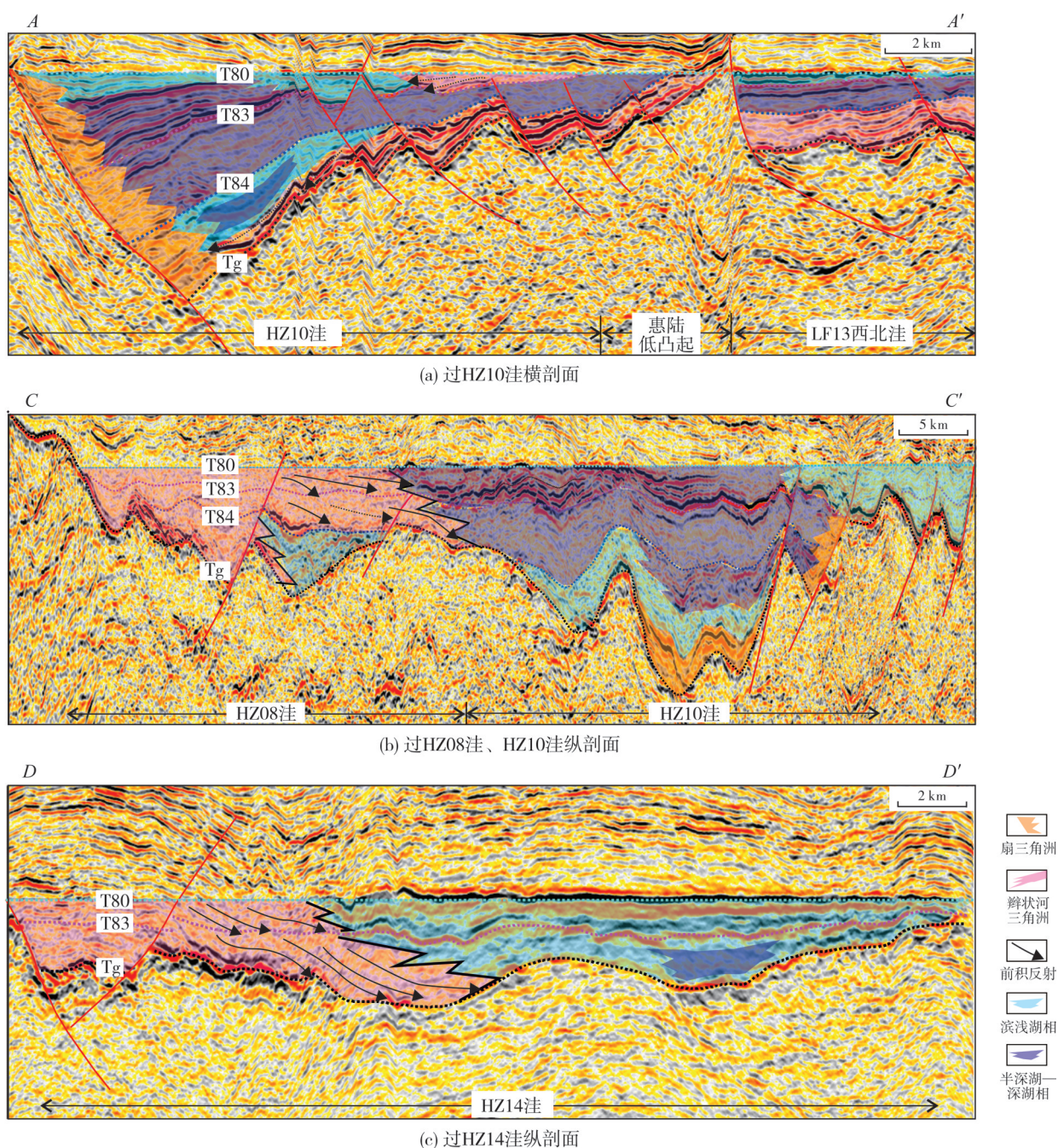


图7 惠北地区典型剖面文昌组地震相特征(T80层拉平;剖面位置见图1b)

Fig. 7 Typical sections showing seismic facies of Wenchang Formation in the northern Huizhou Sag (flatten T80; section location is shown in Fig. 1b)

### 3 优质烃源岩发育模式及实钻情况

#### 3.1 优质烃源岩发育模式

从惠州凹陷勘探实践来看,半深湖—深湖相泥岩是优质烃源岩,从生排烃强度和规模而言均明显优于浅湖—沼泽相烃源岩<sup>[24-26]</sup>。通过对惠北地区构造—沉积响应的综合分析,认为文昌期烃源岩发育

具有“东西分带”的特征:HZ08洼、HZ14洼以浅湖—沼泽相烃源岩为主;HZ10洼以半深湖—深湖相优质烃源岩为主。HZ10洼不同演化阶段的烃源岩发育模式不同(图8),且为缓坡带HB-1井、HB-2井2口探井所证实(图9)。

强烈断陷期发育模式为“广盆少源”(图8a)。HZ10洼与相邻的LF13西北洼水体连通形成复合湖

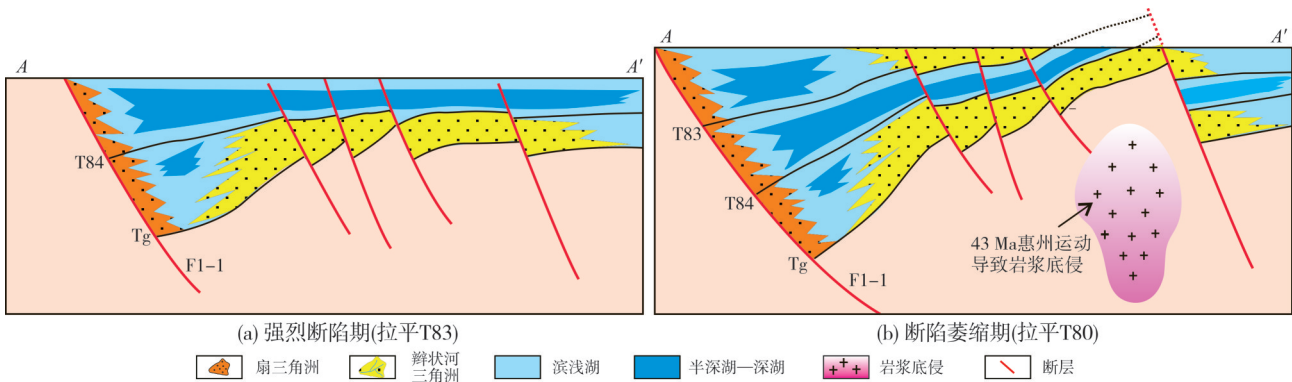


图8 惠北地区HZ10洼文昌组半深湖—深湖相烃源岩发育模式(剖面位置见图1b)

Fig. 8 Development model of semi deep-deep lacustrine source rocks of Wenchang Formation in Huizhou-10 sub-sag of the northern Huizhou Sag (section location is shown in Fig. 1b)

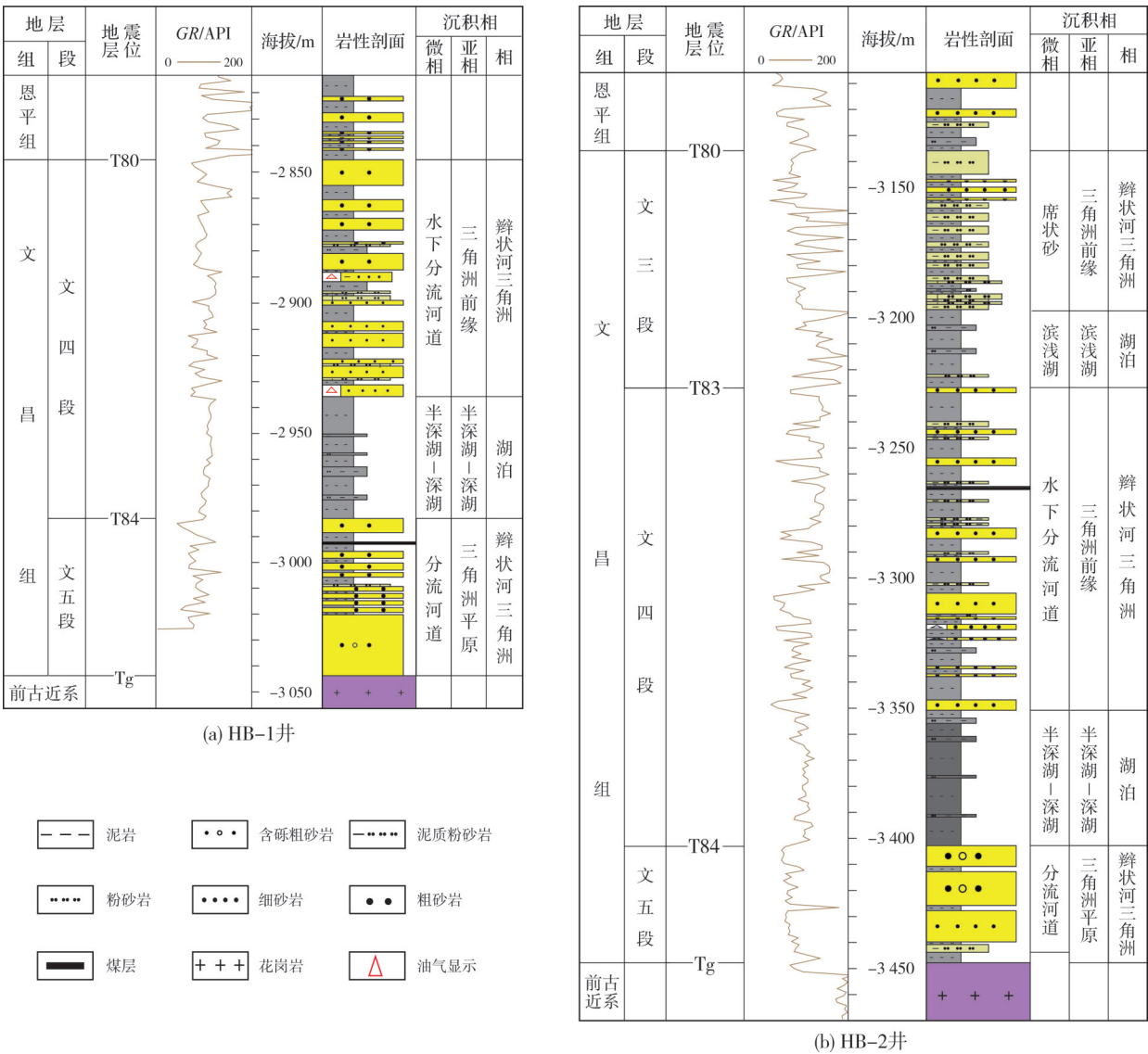


图9 惠北地区HZ10洼HB-1井、HB-2井文昌组地层综合柱状图

Fig. 9 Stratigraphic comprehensive column of Wenchang Formation of Well HB-1 and Well HB-2 in Huizhou-10 sub-sag of the northern Huizhou Sag



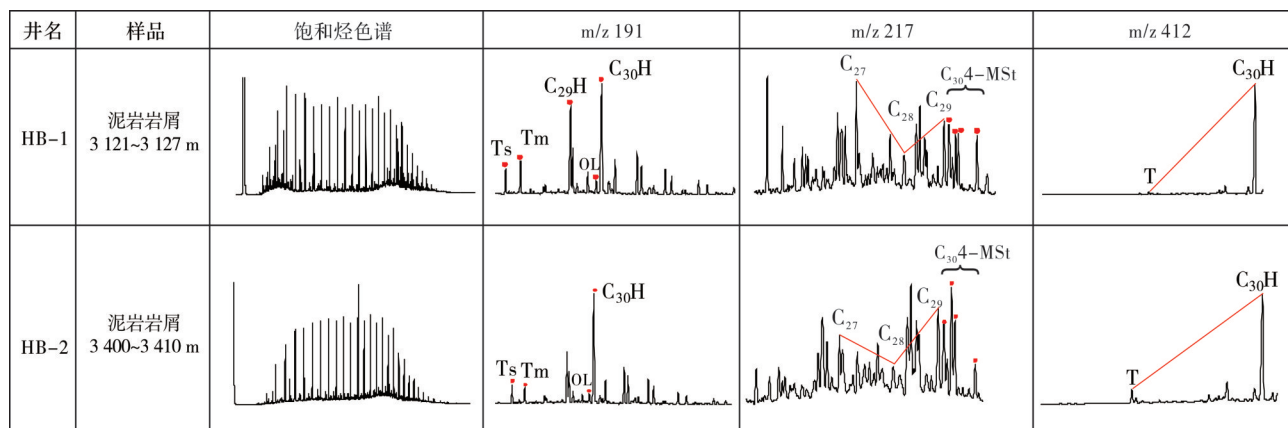
盆,缓坡方向始终保持较深的水体环境和较大可容空间。受文四段沉积期持续湖侵的影响,惠陆低凸起大部分没入水下,湖盆范围达到304 km<sup>2</sup>,而物源区范围仅有27 km<sup>2</sup>,向HZ10洼输送的碎屑物质十分有限。充足的可容空间和有限的物源输入使HZ10洼形成欠补偿沉积环境,形成了广泛分布的文四段半深湖—深湖相烃源岩。这一点与常见的箕状半地堑有明显差异:典型箕状半地堑由于断块旋转作用,往缓坡方向通常可容空间大幅减小。

断陷萎缩期发育模式为“旋转扩容”(图8b)。文四段沉积末期,惠州运动所产生的基底隆升作用导致HZ10洼缓坡带高角度旋转,形成典型箕状半地堑结构,使得湖盆范围大幅缩减。但缓坡带的高角度翘倾使湖盆中心仍然具有较为充足的可容空间,同时惠陆低凸起作为盆内发散型物源,对于HZ10洼的沉积物供给量适中。可容空间与沉积物供给量的耦合使得晚文昌期在湖盆中心仍然

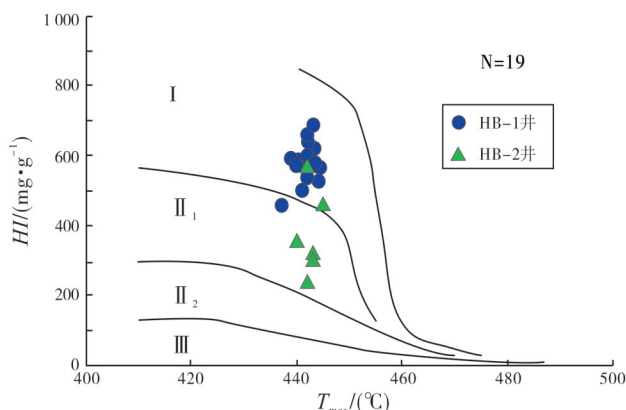
以欠补偿沉积为主,发育了一定规模的半深湖—深湖沉积。

### 3.2 烃源岩实钻情况

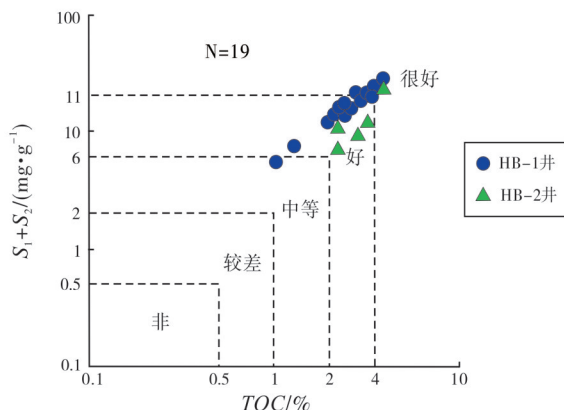
在HZ10洼缓坡带上钻了HB-1井、HB-2井2口探井(位置见图1b)。在这2口井钻探之前HZ10洼尚无井钻至文昌组,因此以上2口井钻探的重要目的之一是证实新区新洼的烃源潜力。两口井均位于缓坡高部位,未完整揭示文昌组,HB-1井仅钻遇文四段—文五段,HB-2井仅揭示了文三段—文五段。两口井均在文四段底部钻遇一套厚约50 m的连续厚层深灰色、褐灰色泥岩(图9)。两口井的半深湖—深湖泥岩生物标志物特征相似(图10a),均含丰富的C<sub>30</sub>4-甲基甾烷(C<sub>30</sub>4-MSI),树脂T化合物、奥利烷含量极低,Ts与Tm含量相当。有机地球化学分析表明:两口井的泥岩有机质类型为I—II<sub>1</sub>型(图10b),TOC为1.93%~3.87%,为好—很好烃源



(a) 生物标志化合物特征



(b) 有机质类型划分



(c) 有机质丰度评价

图10 惠北地区HZ10洼HB-1井、HB-2井文四段泥岩有机地球化学特征

Fig. 10 Organic geochemical characteristics of mudstone in Wenchang Member 4 of Well HB-1 and Well HB-2 in Huizhou-10 sub-sag of the northern Huizhou Sag

岩(图 10c)。

两口井的钻探证实了 HZ10 洼缓坡带高部位发育文昌组半深湖—深湖相优质烃源岩, 表明 HZ10 洼具有良好勘探前景。这使得惠北地区勘探关注的重点由 HZ08 洼、HZ14 洼恩平组浅湖—沼泽相烃源岩体系转变为 HZ10 洼文昌组半深湖—深湖相烃源岩体系, 对于下一步勘探工作具有推动作用和指导意义。

## 4 结 论

(1) 珠江口盆地惠北地区各洼陷文昌期构造-沉积特征差异显著: 西侧的 HZ08 洼与 HZ14 洼构成地堑, 文昌期构造活动较弱, 主要受 HZ08 转换带盆外物源输入影响, 以辫状河三角洲、浅湖沉积为主; 东侧的 HZ10 洼为受惠州运动强烈改造形成的箕状半地堑, 文昌期构造活动最强, 主要受盆内惠陆低凸起物源影响, 以半深湖—深湖及辫状河三角洲沉积为主。

(2) 文昌期构造演化和源-汇特征的差异耦合导致烃源岩发育具有“东西分带”的特征: HZ08 洼、HZ14 洼以浅湖—沼泽相烃源岩为主, HZ10 洼以半深湖—深湖相优质烃源岩为主。

(3) HZ10 洼不同演化阶段发育模式不同: 强烈断陷期为“广盆少源”型, 断陷萎缩期为“旋转扩容”型。其差异主要体现在 3 方面: ①可容空间的产生机制不同, 强烈断陷期主要是断裂强烈活化导致湖盆整体深陷, 而断陷萎缩期主要是惠州运动所导致的断块旋转。②沉积物供给量不同。强烈断陷期惠陆低凸起大部分没入水下, 物源供给量极小; 而断陷萎缩期, 惠陆低凸起的隆升导致物源供给量增加。③优质烃源岩发育规模不同。可容空间和沉积物供给的耦合关系决定了强烈断陷期半深湖—深湖相烃源岩发育规模大于断陷萎缩期。

研究成果与认识对惠北地区下一步的勘探部署具有指导意义。HZ10 洼为箕状半地堑的构造-沉积响应的研究提供了独特案例。

## 参 考 文 献

- [1] 刘鸿洲. 珠江口盆地惠东地区古近系沉积、沉降与堆积中心时空耦合及地质意义[D]. 武汉: 中国地质大学, 2016.
- LIU Hongzhou. Temporal-spatial coupling of depocenter, subsidence and accumulation centers and its geologic significance in the Paleogene, Huidong area, Pearl River Mouth Basin[D]. Wuhan: China University of Geosciences, 2016.
- [2] 袁才, 彭光荣, 温华华, 等. 珠江口盆地惠州凹陷恩平组源岩特征及勘探潜力[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2017, 37(2): 149-159.
- YUAN Cai, PENG Guangrong, WEN Huahua, et al. A new source rock in Huizhou Sag of Pearl River Mouth Basin and its exploration potential[J]. Marine geology & Quaternary geology, 2017, 37(2): 149-159.
- [3] 郭建宇. 惠州凹陷古近系层序地层及隐蔽油气藏勘探[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2007.
- GUO Jianyu. Sequence stratigraphy and subtle pool exploratory for Paleogene in Huizhou Depression[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2007.
- [4] 田巍, 何敏, 杨亚娟, 等. 珠江口盆地惠州凹陷北部边界断裂复合联接和转换[J]. 地球科学(中国地质大学学报), 2015, 40(12): 2037-2051.
- TIAN Wei, HE Min, YANG Yajuan, et al. Complex linkage and transformation of boundary faults of northern Huizhou Sag in Pearl River Mouth Basin[J]. Earth science (Journal of China University of Geosciences), 2015, 40(12): 2037-2051.
- [5] 李丙喜. 珠江口盆地惠州凹陷古近系文昌组—恩平组油气资源潜力与成藏研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2010.
- LI Bingxi. Study on the oil and gas resource and accumulations of the Paleogene Wenchang and Enping Formations in the Huizhou Sag, Pearl River Mouth Basin[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2010.
- [6] 施和生, 杜家元, 梅廉夫, 等. 珠江口盆地惠州运动及其意义[J]. 石油勘探与开发, 2020, 47(3): 447-461.
- SHI Hesheng, DU Jiayuan, MEI Lianfu, et al. Huizhou movement and its significance in Pearl River Mouth Basin, China[J]. Petroleum exploration and development, 2020, 47(3): 447-461.
- [7] 宋国奇, 郝雪峰, 刘克奇. 箕状断陷盆地形成机制、沉积体系与成藏规律: 以济阳凹陷为例[J]. 石油与天然气地质, 2014, 35(3): 303-310.
- SONG Guoqi, HAO Xuefeng, LIU Keqi. Tectonic evolution, sedimentary system and petroleum distribution patterns in dustpan-shaped rift basin: a case study from Jiyang Depression, Bohai Bay Basin[J]. Oil & gas geology, 2014, 35(3): 303-310.
- [8] 徐长贵, 陆相断陷盆地源-汇时空耦合控砂原理: 基本思想、概念体系及控砂模式[J]. 中国海上油气, 2013, 25(4): 1-11, 21.
- XU Changgui. Controlling sand principle of source-sink coupling in time and space in continental rift basins: basic idea, conceptual systems and controlling sand models[J]. China offshore oil and gas, 2013, 25(4): 1-11, 21.



- [9] 李青松, 张世奇, 程浩, 等. 陆相箕状断陷湖盆沉积差异性研究: 以冀中富油凹陷为例[J]. 科学技术与工程, 2015, 15(17): 34-41.
- LI Qingsong, ZHANG Shiqi, CHENG Hao, et al. Study on sedimentary difference of the continental fault lacustrine basin: taking Jizhong oil-rich depression as an example[J]. Science technology and engineering, 2015, 15(17): 34-41.
- [10] 王家豪, 刘丽华, 陈胜红, 等. 珠江口盆地恩平凹陷珠琼运动二幕的构造-沉积响应及区域构造意义[J]. 石油学报, 2011, 32(4): 588-595.
- WANG Jiahao, LIU Lihua, CHEN Shenghong, et al. Tectonic-sedimentary responses to the second episode of the Zhu-Qiong movement in the Enping Depression, Pearl River Mouth Basin and its regional tectonic significance[J]. Acta petrolei sinica, 2011, 32(4): 588-595.
- [11] NOLL C A, HALL M. Normal fault growth and its function on the control of sedimentation during basin formation: a case study from field exposures of the Upper Cambrian Owen Conglomerate, West Coast Range, western Tasmania, Australia[J]. AAPG bulletin, 2006, 90(10): 1609-1630.
- [12] MORLEY C K. Evolution of large normal faults: evidence from seismic reflection data[J]. AAPG bulletin, 2002, 86(6): 961-978.
- [13] 葛家旺, 朱筱敏, 雷永昌, 等. 多幕裂陷盆地构造-沉积响应及陆丰凹陷实例分析[J]. 地学前缘, 2021, 28(1): 77-89.
- GE Jiawang, ZHU Xiaomin, LEI Yongchang, et al. Tectono-sedimentary development of multiphase rift basins: an example of the Lufeng Depression[J]. Earth science frontiers, 2021, 28(1): 77-89.
- [14] KIM Y S, SANDERSON D J. The relationship between displacement and length of faults: a review[J]. Earth-science reviews, 2005, 68(3/4): 317-334.
- [15] GAWTHORPE R L, LEEDER M R. Tectono-sedimentary evolution of active extensional basins[J]. Basin research, 2000, 12(3/4): 195-218.
- [16] 陈汉宗, 吴湘杰, 周蒂, 等. 珠江口盆地中新世主要断裂特征和动力背景分析[J]. 热带海洋学报, 2005, 24(2): 52-61.
- CHEN Hanzong, WU Xiangjie, ZHOU Di, et al. Meso-cenozoic faults in Zhujiang River Mouth Basin and their geodynamic background[J]. Journal of tropical oceanography, 2005, 24(2): 52-61.
- [17] ZHOU Di, YAO Bochu. Tectonics and sedimentary basins of the South China Sea: challenges and progresses[J]. Journal of earth science, 2009, 20(1): 1-12.
- [18] 刘海伦. 珠江口盆地珠一坳陷裂陷结构: 基底属性与区域应力联合制约[D]. 武汉: 中国地质大学, 2018.
- LIU Hailun. Rift style controlled by basement attribute and regional stress in Zhu I Depression, Pearl River Mouth Basin[D]. Wuhan: China University of Geosciences, 2018.
- [19] MORLEY C K, HARANYA C, PHOOSONGSEE W, et al. Activation of rift oblique and rift parallel pre-existing fabrics during extension and their effect on deformation style: examples from the rifts of Thailand[J]. Journal of structural geology, 2004, 26(10): 1803-1829.
- [20] 童亨茂, 蔡东升, 吴永平, 等. 非均匀变形域中先存构造活动性的判定[J]. 中国科学: 地球科学, 2011, 41(2): 158-168.
- TONG Hengmao, CAI Dongsheng, WU Yongping, et al. Activity criterion of pre-existing fabrics in non-homogeneous deformation domain[J]. Scientia sinica (terrae), 2011, 41(2): 158-168.
- [21] HOLDSWORTH R E, STEWART M, IMBER J, et al. The structure and rheological evolution of reactivated continental fault zones: a review and case study[M]// Geological Society of London special publications 184, 2001: 115-137.
- [22] BONINI L, BASILI R, TOSCANI G, et al. The effects of pre-existing discontinuities on the surface expression of normal faults: insights from wet-clay analog modeling[J]. Tectonophysics, 2016, 684: 157-175.
- [23] 刘池洋, 王建强, 赵晓辰, 等. 盆地“原型”及其相关外延称谓与研究[J]. 石油实验地质, 2020, 42(5): 720-727.
- LIU Chiyang, WANG Jianqiang, ZHAO Xiaochen, et al. The prototype basin and its nomenclatures and research[J]. Petroleum geology & experiment, 2020, 42(5): 720-727.
- [24] 朱明, 张向涛, 黄玉平, 等. 珠江口盆地烃源岩特征及资源潜力[J]. 石油学报, 2019, 40(增刊1): 53-68.
- ZHU Ming, ZHANG Xiangtao, HUANG Yuping, et al. Source rocks characteristics and resource potential in Pearl River Mouth Basin[J]. Acta petrolei sinica, 2019, 40(S1): 53-68.
- [25] 朱俊章, 施和生, 舒誉, 等. 珠江口盆地烃源岩有机显微组分特征与生烃潜力分析[J]. 石油实验地质, 2007, 29(3): 301-306.
- ZHU Junzhang, SHI Hesheng, SHU Yu, et al. Organic maceral characteristics and hydrocarbon-generating potentials of source rocks in the Pearl River Mouth Basin[J]. Petroleum geology & experiment, 2007, 29(3): 301-306.
- [26] 史玉玲, 侯读杰, 马宁. 惠州凹陷生烃潜力及油源对比[J]. 石油天然气学报, 2011, 33(10): 15-19.
- SHI Yuling, HOU Dujie, MA Ning. Potential and correlation of oil sources in Huizhou oil enriched depression[J]. Journal of oil and gas technology, 2011, 33(10): 15-19.

## **Tectonic-sedimentary response and influence on high-quality source rocks during the depositional period of Wenchang Formation in the northern Huizhou Sag, Pearl River Mouth Basin**

GAO Xiang, LIU Jie, NIU Shengli, XU Leyi, LIANG Jie, HE Lingyuan, GUO Jia

**Abstract:** Due to the lacking of systematic research on the tectonic-sedimentary response of Wenchang Formation in northern Huizhou Sag, Pearl River Mouth Basin, the exploration process is seriously restricted. Based on the new high-resolution 3D seismic data and new wells, the tectonic-sedimentary response and its control over high-quality source rocks in northern Huizhou Sag are deeply analyzed through well-seismic joint interpretation. It is considered that: (1) Mainly controlled by the spatio-temporal evolution of the sag-controlling faults and the tectonic response of the Huizhou movement, the tectonic and sedimentary characteristics of each sub-sag in Huibei area are significantly different in Wenchang period. Huizhou-08 and Huizhou-14 sub-sags are characterized by graben with weak tectonic activity in Wenchang period, and braided river deltas and shallow lacustrine facies are developed under the influence of the provenance of Huizhou-08 transition zone outside the basin. Huizhou-10 sub-sag is a half graben with the strongest tectonic activity in Wenchang period, and semi deep-deep lacustrine and braided river delta are developed under the influence of the provenance of the Huilu Low Uplift. (2) The differential coupling of tectonic evolution and sedimentary characteristics leads to the "east-west zoning" of sources rocks of Wenchang Formation. Source rocks of shallow lacustrine-swamp facies are mainly developed in Huizhou-08 and Huizhou-14 sub-sags, and the high-quality source rocks of semi deep-deep lacustrine facies are mainly distributed in Huizhou-10 sub-sag. (3) The development models of source rocks of Huizhou-10 sub-sag in different period are different. During the strong rift period, Huizhou-10 sub-sag was connected with the adjacent sub-sag, and most of the provenance in the gentle slope zone was under water, which resulting in a large accommodation space and little sediment source input, consequently the semi deep-deep lacustrine facies are developed extensively throughout the sub-sag. About 43 Ma, the magma intrusion induced by the Huizhou movement caused a high-angle rotation of the gentle slope zone of Huizhou-10 sub-sag, and the current dustpan-shaped half-graben formed, which greatly reduced the scope of the lake during the atrophic rift period, and the semi deep-deep lacustrine deposits only develop near the controlling faults. This study has great significance to the next exploration in this area. At the same time, it gives a unique case of tectonic-sedimentary evolution of half graben.

**Key words:** tectonic evolution; tectonic-sedimentary response; source rock; Wenchang Formation; northern Huizhou Sag; Pearl River Mouth Basin

**GAO Xiang**, First author: Engineer, mainly engaged in comprehensive research on petroleum geology and oil and gas exploration. Add: Shenzhen Branch of CNOOC China Limited, No. 3168 Houhaibin Rd., Nanshan District, Shenzhen, Guangdong 518054, China