

文章编号:1009-9603(2019)06-0062-08

DOI:10.13673/j.cnki.cn37-1359/te.2019.06.008

珠江口盆地惠西南地区新近系岩性圈闭 形成条件及发育类型

朱明¹,陈维涛^{1,2,3},杜家元¹,颜承志¹,刘汉卿¹

(1.中海石油(中国)有限公司深圳分公司,广东深圳518000;2.中国科学院南海海洋研究所
中国科学院边缘海与大洋地质重点实验室,广东广州510301;3.中国科学院大学,北京100049)

摘要:珠江口盆地惠西南地区是南海北部陆架区岩性圈闭勘探的首选靶区,已发现岩性油气藏石油地质储量近亿方,对该区岩性圈闭的形成条件、发育类型进行分析有利于明确岩性圈闭勘探方向,提升陆架区海相沉积体系岩性圈闭的勘探潜力。受多期相对海平面变化和复杂水动力条件影响,新近纪古珠江三角洲沉积形成的多成因砂体具有分带性发育和多层系储盖组合纵向叠置的特点,这为岩性圈闭的发育创造了物质基础;东沙运动使东沙隆起在新近纪晚期抬升,断裂体系发育,这为岩性圈闭形成提供了构造背景。惠西南地区岩性圈闭分为三角洲平原带、三角洲前缘带和条带砂发育带3个区带。三角洲平原带以河道型岩性圈闭为主;三角洲前缘带以岩性上倾尖灭圈闭为主,可进一步细分为前积末端砂体岩性上倾尖灭圈闭、前积内幕砂体岩性上倾尖灭圈闭和退积砂体岩性上倾尖灭圈闭;条带砂发育带以形成于局限古地貌背景下的条带状砂岩圈闭为主。分析不同类型圈闭的发育位置、尖灭特征及储层物性,认为退积砂体岩性上倾尖灭圈闭具有最好的储集物性和圈闭边界条件。

关键词:岩性圈闭;砂体成因;岩性尖灭;古珠江三角洲;惠西南地区;珠江口盆地

中图分类号:TE112.31

文献标识码:A

Formation conditions and development types of Neogene lithologic traps in southwestern Huizhou area, Pearl River Mouth Basin

ZHU Ming¹, CHEN Weitao^{1,2,3}, DU Jiayuan¹, YAN Chengzhi¹, LIU Hanqing¹

(1. Shenzhen Branch, CNOOC, Shenzhen City, Guangdong Province, 518000, China; 2. CAS Key Laboratory of Ocean and Marginal Sea Geology, South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou City, Guangdong Province, 510301, China; 3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing City, 100049, China)

Abstract: The southwest Huizhou area in Pearl River Mouth Basin is the preferred target for lithologic trap exploration in the northeastern continental shelf of South China Sea. Nearly 100 million square meters of petroleum geological reserves have been found in lithologic reservoirs. The analysis of forming conditions for lithologic traps and its developing types is beneficial to clarify exploration direction and enhance exploration potential of lithologic trap in marine sedimentary of the continental shelf. Influenced by multi-stage origin, relative sea-level change and complex hydrodynamic environment, multi-genesis sand bodies formed at Neogene paleo-Pearl River Delta are characterized by zonal development and vertical overlapping of multi-layer reservoir-cap assemblages, which are the material basis for lithologic traps development. Dongsha Movement makes Dongsha Uplift rise upper at the late Neogene and faults relatively develop, which provides tectonic background for lithologic traps formation. The lithologic traps in the southwestern Huizhou area distribute in three belts which are delta plain, delta front, and belt sand development zone. The channel sand bodies mainly develop in delta plain.

收稿日期:2019-07-30。

作者简介:朱明(1963—),男,云南玉溪人,高级工程师,从事油气勘探开发研究工作。联系电话:(0755)26026933, E-mail:zhuming2@cnooc.com.cn。

通信作者:陈维涛(1983—),男,山东潍坊人,高级工程师,硕士。联系电话:(0755)26026746, E-mail:chenwt2@cnooc.com.cn。

基金项目:国家科技重大专项“南海东部海域勘探新领域及关键技术”(2016ZX05024-004)。

The lithologic updip pinchout traps mainly develop at delta front, which can be further subdivided into three categories: the end sand body of progradation, the inner sand body of progradation, and the sand body of retrogradation. The strip sandstone traps develop mainly in strip sandstone development belts formed under the limited paleogeomorphic background. Based on the analysis of the development location, pinchout characteristics and reservoir physical properties of different types of traps, it is concluded that the lithologic updip pinchout traps of the sand bodies of retrogradation have the best reservoir physical properties and trap boundary conditions.

Key words: lithologic traps; sand body origin; lithologic pinchout; paleo-Pearl River Delta; southwestern Huizhou area; Pearl River Mouth Basin

岩性油气藏是由岩性或物性变化形成的圈闭中聚集油气而形成的油气藏,因其具有圈闭形态不规则、发育规律复杂及圈闭边界条件多样等特点,导致其勘探难度加大^[1]。从中外岩性油气藏的勘探历程来看,其与构造油气藏几乎同步勘探,但因识别难度大,大规模针对岩性油气藏的勘探往往在构造油气藏勘探后期展开^[2]。21世纪以来,得益于现代沉积学、层序地层学和地震沉积学的飞速发展,岩性油气藏勘探在地质理论和勘探技术方面均取得了巨大的进展。一方面现代沉积学的发展极大推动了不同地质历史时期砂体成因类型和展布规律的认识,另一方面层序地层学和地震沉积学为精确预测砂体展布提供了技术支持^[3-4]。

同时,伴随着全球范围内油气勘探程度的提高,岩性油气藏逐渐成为各类盆地油气增储上产的重要领域。中国陆相和海相盆地都具有形成岩性油气藏的地质条件,在东部的许多陆相断陷湖盆,因勘探程度较高,已经进入大规模岩性油气藏勘探阶段,并发现大面积集群式岩性油气藏,反映出巨大的勘探潜力。海上油气勘探与陆地油田不同,具有成本高、钻井少、识别难度大以及经济门槛较高等特点,因此尤其需要对岩性油气藏的发育条件和发育类型进行分析,明确其发育规律,从而提高勘探成功的概率。

1 区域地质概况

惠西南地区是指珠江口盆地惠州凹陷西南侧以惠西半地堑烃源岩为主要供烃单元的油气富集区带,包括惠西半地堑、惠西低凸起和东沙隆起部分地区(图1)。同珠江口盆地的大部分地区一样,惠州凹陷自下而上依次发育文昌组、恩平组、珠海组、珠江组、韩江组、粤海组、万山组及第四系^[5-6],目前岩性圈闭勘探的主要目的层为珠江组和韩江组,尤其是珠江组的沉积相带和构造背景匹配良好,是新近系岩性圈闭勘探最为有利的层段^[7-9]。新近纪,

惠西南地区恰好位于古珠江三角洲的侧翼,加之受东沙隆起古地貌影响,形成以三角洲沉积为主,多种相带类型共同发育的特点^[9-10],成为珠江口盆地岩性圈闭勘探最为有利的地区之一。惠西南地区经过30余年的油气勘探,目前构造圈闭越来越少,而规模岩性油气藏发现的数量逐渐增多。为此,对其岩性圈闭的形成条件和发育规律进行分析,划分岩性圈闭发育区带和类型,对该区由构造油气藏为主向构造、岩性油气藏并重的勘探转型具有重要指导意义。

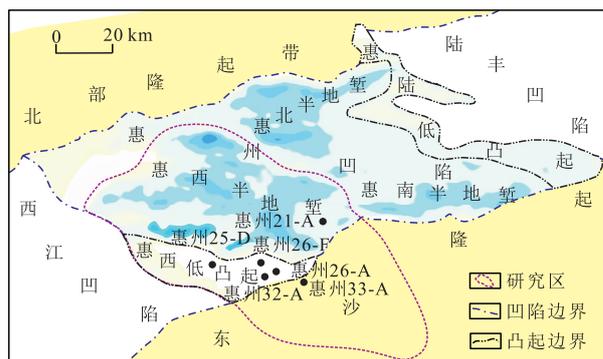


图1 惠西南地区构造位置

Fig.1 Tectonic position of southwestern Huizhou area

2 岩性圈闭形成条件

新近纪,古珠江带来丰富的陆源碎屑物质,在研究区形成三角洲沉积主体。同时,受东沙隆起古地貌影响,波浪、潮汐等水动力条件加剧,古珠江三角洲搬运来的沉积物经改造,在三角洲前缘靠近东沙隆起一侧形成垂直物源方向的条带砂沉积。这些沉积砂体与构造背景或断裂体系相耦合,形成了岩性圈闭发育的有利条件。

2.1 储层发育条件

2.1.1 沉积相

古珠江三角洲沉积体系是南海北部陆缘区最大的富砂沉积体系,形成于渐新世末期,在中新世规模达到最大。古珠江流域面积广,携带了丰富的

陆源碎屑物质,中新世发育的三角洲沉积范围覆盖了珠一坳陷的惠州凹陷至恩平凹陷、中央隆起带的东沙隆起西端至番禺低隆起,最远延伸到白云北坡。据估算,古珠江三角洲叠合面积可达 $6 \times 10^4 \text{ km}^2$,新近纪以来累积地层厚度达3 000 m。惠西南地区恰好处于古珠江三角洲的东北端,位于三角洲侧翼末端,三角洲平原、三角洲前缘和陆架砂等沉积相发育,砂岩不仅成熟度较高、物性好,而且类型丰富^[11-13],有利于岩性圈闭形成(图2)。

2.1.2 砂体成因类型

古珠江三角洲从西北向惠西南地区推进,除发育正常三角洲沉积体系外,在东沙隆起西北侧,受东沙隆起碳酸盐岩台地的影响,在古珠江三角洲与碳酸盐岩台地之间形成北东向的局限台地。受其影响,该区水动力条件变得异常复杂,河流、波浪和潮汐三者共同存在,交互影响,形成多种成因类型的砂体。根据水动力影响程度的不同,可识别出正常河流作用下的河道砂体和河口坝砂体,及受潮汐和波浪共同改造作用下的条带状砂体,不同成因的砂体使岩性圈闭类型也变得丰富多样。

2.1.3 构造背景

发生在距今10~5 Ma的东沙运动使东沙隆起在

新近纪晚期再次抬升,导致惠西南地区中新统发生构造反转,古珠江三角洲前缘由向东沙隆起披覆和下倾变为现今的上倾,致使地层上倾方向与三角洲前缘砂体的尖灭方向一致,为岩性圈闭的发育提供了优越的构造背景。

2.2 成藏条件

2.2.1 储盖组合条件

南海北部陆架宽缓,沉积滨线对相对海平面升降响应敏感,相对较小幅度的海平面升降会导致沉积滨线长距离的向海推进或向陆退缩,形成低海平面时向海推进较远的砂岩与高海平面时向陆推进较远的泥岩叠置,形成有利储盖组合。多期的相对海平面升降形成地层多旋回叠置,进而形成多套有利储盖组合和多个有利岩性圈闭发育层段,且岩性圈闭在纵向上也具有较好的叠置性,使勘探成功率大大增加。

2.2.2 生烃条件

惠西南地区紧邻富生烃的惠西南半地堑,包括惠州26洼、西江30洼、西江23洼和西江24洼等多个富生烃洼陷,生油能力强;如惠州26洼平均生烃强度高达 $1\ 800 \times 10^4 \text{ t/km}^2$,为研究区提供了充足的油源条件。惠州凹陷主要的生油层系是古近系文

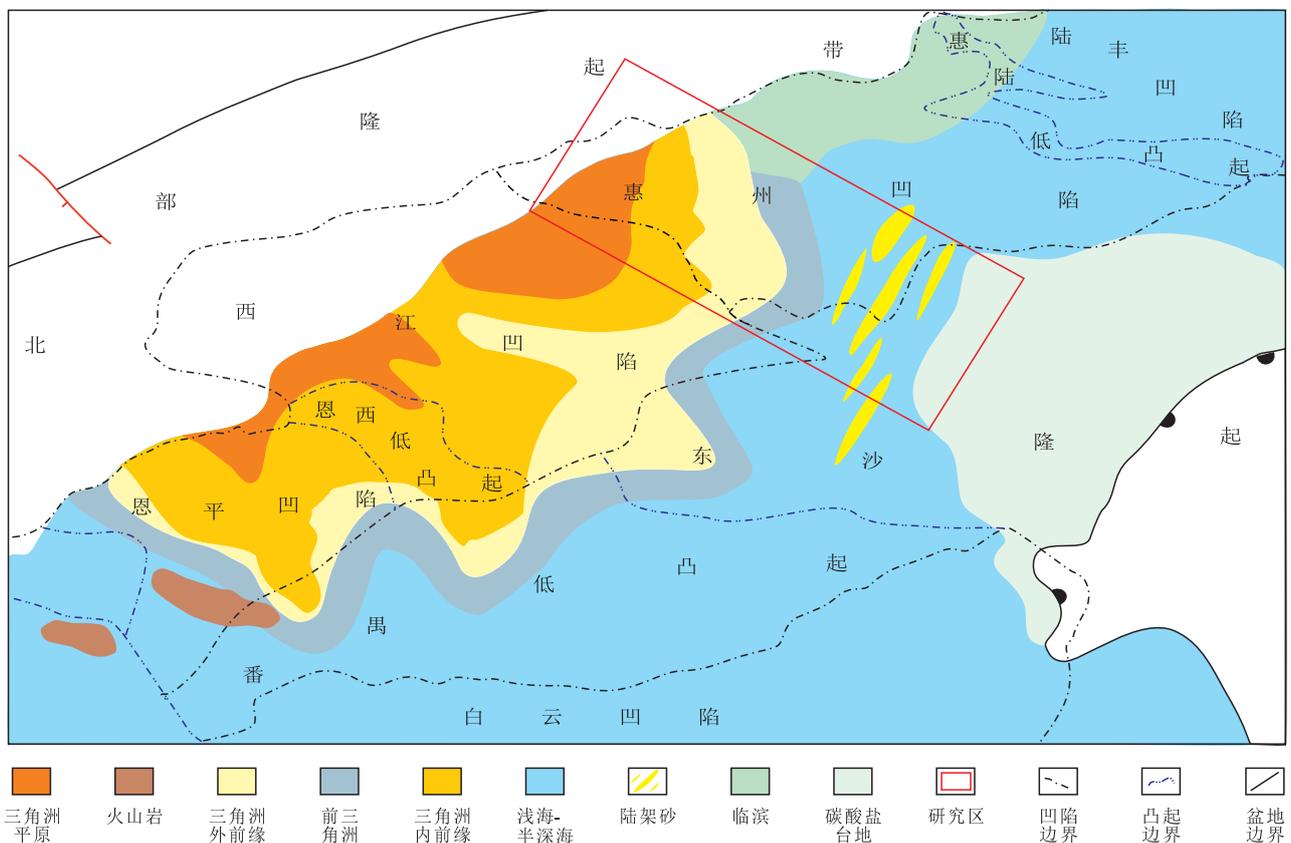


图2 珠江口盆地珠江组沉积时期沉积相平面分布

Fig.2 Sedimentary facies at Zhujiang Formation sedimentary period in Pearl River Mouth Basin

昌组和恩平组,新近系是典型的下生上储式成藏,新构造运动形成的断裂体系沟通了深层烃源岩层和浅部储层,使新近系油气成藏呈现出“断裂沟通、沿脊汇聚”的特征,其中惠西低凸起、惠州21-1构造带及东沙隆起西北侧等3个构造脊的上倾方向既是油气汇聚的方向,也是沉积砂体尖灭的方向,具有最好的岩性圈闭油气成藏条件^[23-25]。

3 岩性圈闭发育类型

古珠江三角洲沉积体系从晚渐新世南海扩张时期开始发育,并成为新近纪以来珠江口盆地发育的主要沉积体系,另外在古珠江三角洲的周缘发育滨岸、浅海陆棚、半深海-深海及碳酸盐岩台地等沉积体系。这些沉积体系与三角洲沉积体系具有一定的耦合关系,随珠江口盆地的演化发生此消彼长或同时消长的变化,由于河流、波浪、潮汐、化学沉积等共同作用,致使其沉积体系的发育类型和展布特征复杂多样。惠西南地区是南海北部陆架区发育多种沉积体系的典型代表地区,形成多个岩性圈闭发育区带和多种圈闭类型。

综合惠西南地区岩性圈闭形成条件,根据主要沉积特征将惠西南地区岩性圈闭划分为3个区带共5种类型,区带1为三角洲平原带,主要发育三角洲平原河道型岩性圈闭;区带2为三角洲前缘带,主要发育三角洲前缘岩性尖灭型岩性圈闭,可进一步细分为前积末端砂体岩性上倾尖灭圈闭、前积内幕砂体岩性上倾尖灭圈闭和退积砂体岩性上倾尖灭圈闭3种类型;区带3为条带砂发育带,主要形成构造背景下的条带砂型岩性圈闭。

3.1 三角洲平原河道型

三角洲平原河道型岩性圈闭发育于三角洲平原相带,该相带主要位于惠西南地区西侧,整体含砂率较高,为30%~60%,砂体类型主要为分流河道

砂体;因平原区地势平坦,河流迁移摆动频繁,分流河道砂体易相互切割叠置,形成岩性圈闭的条件相对苛刻。目前在惠西南地区构造油田的开发过程中,已发现三角洲平原相带河道的侧翼尖灭形成岩性油气藏,主要有2种情况:①位于最大海泛面之上的河道,在发生海泛后,随下一期海平面下降,早期发育的河道往往切割下伏的海泛期泥岩,其周缘的泛滥平原也较为发育,使河道砂体侧翼较容易被泥岩封堵,形成岩性圈闭。②低位体系域发育时期陆架区强烈下切的河道,低位体系域发育时期相对海平面往往下降到陆架坡折附近,广大的陆架区呈暴露状态,并发育大型下切河谷,与围岩之间形成侧向封堵,从而形成岩性圈闭。目前在惠西南地区发现的三角洲平原河道型岩性圈闭主要是第1种情况,在整体富砂的背景下,含砂率较低的层段因河道侧向尖灭而形成岩性圈闭。

3.2 三角洲前缘岩性尖灭型

三角洲前缘岩性尖灭型圈闭主要发育在三角洲前缘带。三角洲前缘带是岩性圈闭最发育、类型最多样的区带,该带主要位于惠西低凸起中部至东沙隆起西北侧,含砂率为10%~30%,其根据在层序中的位置可进一步细分为高位体系域和海侵体系域。在高位体系域发育时期,海平面相对稳定或缓慢下降,沉积物供应充足,主要形成三角洲前缘朵叶体带与前三角洲过渡的岩性变化带,砂体类型以水下分流河道和河口坝砂体为主。三角洲在向海前积的过程中形成的前积内幕和末端砂体均可形成岩性圈闭。在海侵体系域发育时期,海平面上升,三角洲沉积主体向后退缩,形成海侵退积三角洲前缘与海侵泥岩过渡的岩性变化带,砂体类型以受波浪改造的三角洲前缘砂为主,其直接被后期的海泛泥岩覆盖,往往具有良好的圈闭条件(图3)。

前积末端砂体岩性上倾尖灭圈闭 在高位体系域发育时期,最后一期前积砂体直接跟前三角洲

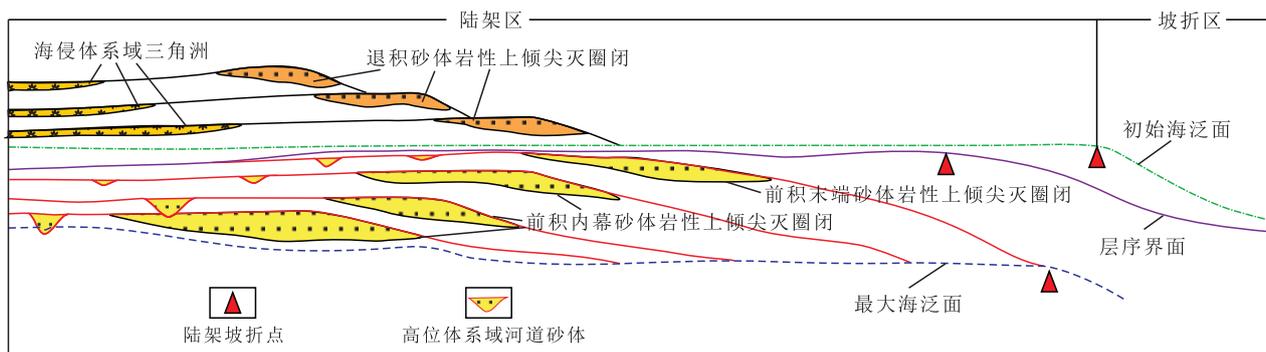


图3 惠西南地区三角洲前缘岩性尖灭型圈闭沉积模式

Fig.3 Sedimentary mode of lithologic traps in pinchout zone of delta front,southwestern Huizhou area

泥岩接触,形成前积末端砂体岩性上倾尖灭圈闭。因其位于前积砂层组最后一期三角洲的末端,前方即为广泛发育的前三角洲泥岩,圈闭的封闭条件一般都比较好。该类圈闭岩性尖灭较为缓慢,在地震剖面上主要表现为同相轴振幅变弱,并逐渐合并消失,因此,可以根据同相轴合并的位置确定尖灭线位置,但因其岩性递变缓慢且穿插于泥岩中,岩性尖灭也可能是一个岩性过渡带。此类圈闭处于三角洲向海方向的最远端,砂体主要是远砂坝或席状砂,粒度普遍较细,砂体较薄,物性中等—偏差。惠西南地区已经发现的该类岩性圈闭以惠州26-F油田为代表。

前积内幕砂体岩性上倾尖灭圈闭 高位体系域中前积内幕砂体同样也可以形成岩性尖灭带,其尖灭条件主要取决于海平面下降过程中朵叶体的推进速度,当海平面下降较快,朵叶体推进速度快,下一期三角洲的近端叠置在前一期三角洲的远端之上时,前期形成的三角洲前缘带具有较好的尖灭条件,对应的岩性圈闭类型为前积内幕砂体岩性上倾尖灭圈闭。该圈闭类型是前积砂层组中某一期内幕砂体形成的岩性上倾尖灭圈闭,当海平面下降较快,每个三角洲朵叶体的近端叠置在前一期的远端之上时,尖灭条件相对较好;而当海平面下降缓慢,多期砂体叠置在一起时,内部砂体互相连通,不易形成岩性圈闭。前积内幕砂体岩性上倾尖灭圈闭的成因和前积末端砂体岩性上倾尖灭圈闭的成因一样,物性相似,但由于受后期砂体的叠加和改造,尖灭位置识别难度更大,应结合地震反射结构和连井砂体对比综合确定。目前,该类圈闭还未有特别典型的勘探成功案例,但逐渐受重视,是一种有潜力的岩性圈闭类型。

退积砂体岩性上倾尖灭圈闭 主要位于各三级层序的海侵体系域,尤其以距今21~18.5 Ma的海侵体系域最为典型。海侵退积叠置砂体的每一期均直接与前三三角洲泥岩接触,同时,海侵期往往受较为强烈的波浪改造,使三角洲前缘带变窄,砂体更加富集且物性较好,而海侵泥岩将其直接覆盖,有利于封闭,因此每一期砂体都具有较好的尖灭条件,在地震剖面上也具有较为清晰的识别特征,成为惠西南地区最好的岩性上倾尖灭圈闭类型。相对于前积砂体,退积砂体的岩性尖灭较为突变,在地震剖面上主要表现为同相轴的突然中止,振幅属性显示圈闭边界也较为清晰,虽横向追踪发现并不是在任何地区尖灭点都能很好的识别,但可以综合各种方法确定^[22]。该类圈闭砂体为河口坝

沉积,由于受海侵期较强波浪的顶托作用,水下分流河道延伸较短,河口坝紧邻入海口发育,物性最好。惠西南地区已经发现的该类油气藏有惠州32-A和惠州25-D等油田,其中,惠州32-A油田单层岩性油气藏石油地质储量超过 $2\ 900\times 10^4\text{ m}^3$,截至目前采出量超过 $2\ 000\times 10^4\text{ m}^3$,充分说明该类岩性油气藏不仅具有较好的圈闭条件,而且砂体的物性好,具有较高的采收率。而惠州25-D油田单层岩性油气藏石油地质储量超过 $2\ 000\times 10^4\text{ m}^3$,充分证明该类岩性圈闭的勘探潜力。

3.3 构造背景下的条带砂型

新近纪以来,珠一坳陷基本被填平补齐,呈现出宽缓陆架的特征,但东沙隆起的构造背景仍对惠西南地区具有重要的影响,进而形成特殊的岩性圈闭类型——条带砂型岩性圈闭。珠江组沉积早期是珠江口盆地开始进入坳陷期、海水入侵到珠一坳陷的初期,强烈的构造运动虽已结束,基底地貌却仍不稳定,导致古珠江三角洲物源供给非常丰富,在珠江组下段发育了一套富砂沉积。随海平面上升,三角洲向后退缩,而东沙隆起海水变深,为碳酸盐岩的发育创造了有利条件,而碳酸盐岩的发育又使东沙隆起区持续呈现水下隆起的地形。这样古珠江三角洲沉积主体与碳酸盐岩台地之间构成了一个局限的通道,其内潮汐作用增强,从而发育一系列条带状砂体。研究认为:当海平面较高时,通道相对开阔,潮汐作用弱,物源供给较少,以泥质或泥质粉砂沉积为主,物性较差;当海平面较低时,通道相对局限,潮汐作用增强,将三角洲前缘砂体改造,进而形成垂直于三角洲物源方向、平行于碳酸盐岩台地边缘呈北东向展布的条带状砂岩沉积。条带状砂岩沉积与构造背景相结合形成惠西南地区特有的岩性圈闭(图4)。

构造背景下的条带砂型岩性圈闭主要分布在东沙隆起周缘,呈现两侧尖灭特征,其尖灭的可靠程度往往取决于潮汐水流的强度和对砂体的改造程度。在惠西南地区,该类砂体主要位于层序界面SB18和SB17.5附近,其靠近三角洲一侧粒度相对较粗,物性较好,而靠近东沙隆起一侧粒度较细。已发现的该类油气藏有惠州33-A、惠州26-A和惠州21-A等油田。

4 勘探潜力

惠西南地区岩性圈闭发育条件优越,类型多样,勘探潜力大,主要体现在5个方面:①退积砂体

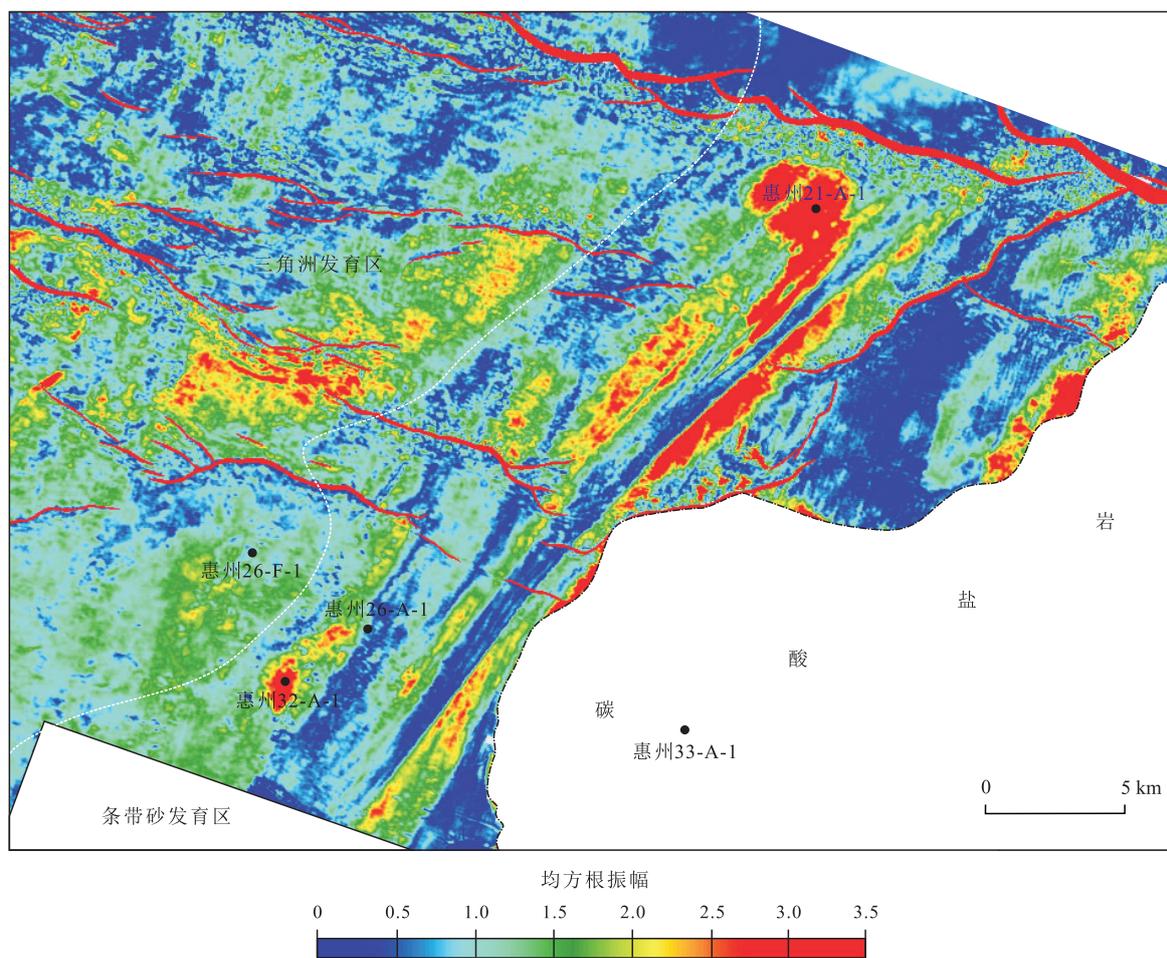


图4 惠西南地区某砂层组条带砂展布特征

Fig.4 Strip distribution feature of one sand group in southwestern Huizhou area

岩性上倾尖灭圈闭往往具有最好的尖灭条件和储层条件,是能够发现规模岩性油气藏的最有利圈闭类型。该类型在各个三级层序的海侵体系域均有发育,前期的勘探重点主要集中在珠江组三段和四段,对其他三级层序的海侵体系域因进一步重点刻画,落实各个层序海侵退积砂体尖灭线的位置,找出能够与上倾构造背景相匹配的尖灭砂体进行评价。此外,应在三级层序的基础上分析更高频层序的叠置样式,有可能落实更多的有利层段。从构造背景来看,重点的有利区带主要位于惠西低凸起和惠州21构造带西侧。②前积末端砂体岩性上倾尖灭圈闭也具有非常好的尖灭条件,形成的圈闭通常比较落实,但到了最后一期三角洲的末端,砂岩粒度可能会较细,储层物性偏差。此类岩性圈闭在各个三级层序均有发育,但考虑到储层情况,应重点关注三角洲主体正前方的位置;重点的有利区带包括惠西低凸起、东沙隆起西缘和惠州21构造带西侧。③构造背景下的条带砂型圈闭发育位置相对

局限,但勘探成效良好,前期也针对该类型做过大量的研究和探索。今后可沿已经识别出的条带砂体,沿古水流方向向南北两侧拓展,有利区带主要位于东沙隆起与惠州凹陷的过渡地带,同时可根据海平面的升降幅度,向物源方向和远物源方向拓展。④三角洲前缘前积内幕砂体岩性上倾尖灭圈闭的发育范围广、数量多,是值得重点研究的类型,但由于该种类型的岩性圈闭边界条件落实难度大,应优选考虑勘探程度高的惠西低凸起区,通过井-震对比和已钻井的含油气性落实有利层段和有利区带,明确发育规律之后再向周边拓展。⑤三角洲平原河道型岩性圈闭已展现出较好的勘探潜力,应进一步细分河道的类型,找出最易识别的河道,目标区带主要位于惠西南地区西侧^[26-27]。

5 结论

惠西南地区岩性圈闭的形成受物源供给、相对

海平面变化、复杂的水动力环境和东沙运动等因素的综合影响。其中,古珠江三角洲为岩性圈闭发育提供了物质基础,高频的相对海平面变化形成了多套储盖组合和纵向叠置性较好的岩性圈闭,东沙隆起碳酸盐台地形成的局限地形导致复杂的水动力环境,形成了受潮汐和波浪控制的条带砂型岩性圈闭,东沙运动导致的构造反转为三角洲前缘砂体上倾尖灭创造了条件。岩性圈闭的分布主要受到沉积相带的控制,不同的沉积条件发育不同类型的岩性圈闭。三角洲平原带以河道型为主,三角洲前缘带以岩性上倾尖灭型为主,根据体系域和叠置样式将三角洲前缘岩性尖灭型圈闭进一步细分为前积末端砂体岩性上倾尖灭圈闭、前积内幕砂体岩性上倾尖灭圈闭和退积砂体岩性上倾尖灭圈闭。构造背景下的条带砂型岩性圈闭主要受控于三角洲前缘与东沙隆起碳酸盐台地形成的古地貌,是一种特殊的岩性圈闭类型。

岩性圈闭发育条件和类型的分析对于岩性圈闭目标的勘探具有重要的指导意义。一方面可以迅速锁定岩性圈闭发育区带和层段,并预测类型;另一方面可通过已钻探落实的岩性尖灭线外推,以发现相同尖灭线控制下的其他圈闭,并进行尖灭条件和物性的类比。

参考文献

- [1] 李丕龙,陈冬霞,庞雄奇.岩性油气藏成因机理研究现状及展望[J].油气地质与采收率,2002,9(5):1-3.
LI Pilong, CHEN Dongxia, PANG Xiongqi. Research progress and prospect about origin mechanism of lithologic deposit [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2002, 9(5): 1-3.
- [2] 张厚福,徐兆辉.从油气藏研究的历史论地层-岩性油气藏勘探[J].岩性油气藏,2008,20(1):114-123.
ZHANG Houfu, XU Zhaohui. Discussion on stratigraphic-lithologic reservoirs exploration in the aspect of the research history of reservoirs [J]. Lithologic Reservoirs, 2008, 20(1): 114-123.
- [3] 李明刚,庞雄奇,漆家福,等.东营凹陷砂岩岩性油气藏分布特征及成藏模式[J].油气地质与采收率,2008,15(2):13-15.
LI Minggang, PANG Xiongqi, QI Jiafu, et al. Hydrocarbon accumulation models and distribution features of sandstone lithologic hydrocarbon reservoir in the Dongying Depression [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2008, 15(2): 13-15.
- [4] 贾承造,赵文智,邹才能,等.岩性地层油气藏地质理论与勘探技术[M].北京:石油工业出版社,2008:1-26,162-180.
JIA Chengzao, ZHAO Wenzhi, ZOU Caineng, et al. Geological theory and exploration technology of lithologic stratigraphic reservoirs [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2008: 1-26, 162-180.
- [5] 施和生,朱俊章,姜正龙,等.珠江口盆地珠一坳陷油气资源再评价[J].中国海上油气,2009,21(1):9-14.
SHI Hesheng, ZHU Junzhang, JIANG Zhenglong, et al. Hydrocarbon resources reassessment in Zhu I depression, Pearl River Mouth basin [J]. China Offshore Oil and Gas, 2009, 21(1): 9-14.
- [6] 李友川,陶维祥,孙玉梅,等.珠江口盆地惠州凹陷及其邻区原油分类和分布特征[J].石油学报,2009,30(6):830-834,842.
LI Youchuan, TAO Weixiang, SUN Yumei, et al. Classification and distribution of oil in Huizhou Depression of Pearl River Mouth Basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 2009, 30(6): 830-834, 842.
- [7] 杜家元,施和生,丁琳,等.珠江口盆地(东部)地层岩性油气藏勘探有利区域分析[J].中国海上油气,2014,26(3):30-36,55.
DU Jiayuan, SHI Hesheng, DING Lin, et al. An analysis of favorable exploration areas for stratigraphic-lithologic hydrocarbon accumulation in the eastern Pearl River Mouth basin [J]. China Offshore Oil and Gas, 2014, 26(3): 30-36, 55.
- [8] 陈维涛,杜家元,龙更生,等.珠江口盆地惠州地区珠江组控砂机制及地层-岩性圈闭发育模式[J].石油与天然气地质,2012,33(3):449-458.
CHEN Weitao, DU Jiayuan, LONG Gengsheng, et al. Factors controlling sandbody development and models of stratigraphic-lithologic traps of Zhujiang Formation in Huizhou area, Pearl River Mouth Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(3): 449-458.
- [9] 龙更生,施和生,杜家元.珠江口盆地惠州地区中新统地层岩性圈闭形成条件分析[J].中国海上油气,2006,18(4):229-235.
LONG Gengsheng, SHI Hesheng, DU Jiayuan. An analysis of creation conditions for Miocene stratigraphic and lithologic traps in Huizhou area, Pearl River Mouth basin [J]. China Offshore Oil and Gas, 2006, 18(4): 229-235.
- [10] 陈维涛,杜家元,龙更生,等.珠江口盆地海相层序地层发育的控制因素分析[J].沉积学报,2012,30(1):73-83.
CHEN Weitao, DU Jiayuan, LONG Gengsheng, et al. Analysis on controlling factors of marine sequence stratigraphy evolution in Pearl River Mouth Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2012, 30(1): 73-83.
- [11] 姜在兴.沉积学[M].北京:石油工业出版社,2005:257-260,375-402.
JIANG Zaixing. Sedimentology [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2005: 257-260, 375-402.
- [12] 董贵能,姜在兴,张本琪.济阳坳陷埕东地区新近系馆上段下部三角洲沉积特征[J].油气地质与采收率,2007,14(3):22-25.
DONG Guineng, JIANG Zaixing, ZHANG Benqi. Delta sedimentation of upper Guantao Formation of the Neogene in Chengdong area of Jiyang Depression [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2007, 14(3): 22-25.
- [13] 谢灏辰,于炳松,谭聪.鄂尔多斯盆地延长组米氏旋回分析及层序划分[J].大庆石油地质与开发,2016,35(1):43-47.
XIE Haochen, YU Bingsong, TAN Cong. Analyses of Milankovitch cycle and sequence classification for Yanchang Formation in Ordos Basin [J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2016, 35(1): 43-47.
- [14] 乔向阳,朱晴,孙建峰.高家河地区盒8段地层地震-沉积响应

- 特征研究[J].特种油气藏,2017,24(5):32-36.
- QIAO Xiangyang, ZHU Qing, SUN Jianfeng. Features of seismic-sedimentation responses in He-8 interval of the Gaojiahe area[J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2017, 24(5): 32-36.
- [15] 夏景生, 刘晓, 李文华, 等. 南堡凹陷西斜坡中深层高精度层序地层及沉积体系研究[J]. 中国石油勘探, 2017, 22(5): 72-81.
- XIA Jingsheng, LIU Xiao, LI Wenhua, et al. Study on high-resolution sequence stratigraphy and sedimentary system of middle-deepbeds on western slope, Nanpu sag[J]. China Petroleum Exploration, 2017, 22(5): 72-81.
- [16] 贾东力, 田景春, 张翔, 等. 塔里木盆地东河砂岩层序地层及沉积演化规律[J]. 石油与天然气地质, 2017, 38(6): 1123-1134.
- JIA Dongli, TIAN Jingchun, ZHANG Xiang, et al. Sequence stratigraphy and sedimentary evolution of Donghe sandstone in Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2017, 38(6): 1123-1134.
- [17] 杜家元, 陈维涛, 张昌民. 珠江口盆地新近系地层岩性圈闭形成条件及发育规律分析[J]. 石油实验地质, 2014, 36(5): 555-561.
- DU Jiayuan, CHEN Weitao, ZHANG Changmin. Formation conditions and development features of Neogene stratigraphic-lithologic traps in Pearl River Mouth Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2014, 36(5): 555-561.
- [18] 宋洪亮, 李云鹏, 刘宗宾, 等. 辫状河三角洲前缘亚相储层分布模式分析及应用——以JX油田东块沙河街组为例[J]. 油气地质与采收率, 2018, 25(1): 37-42.
- SONG Hongliang, LI Yunpeng, LIU Zongbin, et al. Understanding and application of reservoir pattern in braided river delta front: A case study of the Shahejie Formation in the east block of JX Oilfield[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2018, 25(1): 37-42.
- [19] 刘成鑫, 纪友亮, 罗顺社, 等. 孤东地区古近系储层成因类型及其特征[J]. 油气地质与采收率, 2005, 12(6): 29-30.
- LIU Chengxin, JI Youliang, LUO Shunshe, et al. Type and characteristic of the origin of the Eocene reservoirs in Gudong area[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2005, 12(6): 29-30.
- [20] JANOK Bhattacharya. Deltas[J]. SEPM Society for Sedimentary Geology, 2006, 84: 237-292.
- [21] OLARIU C, BHATTACHARYA J P. Terminal distributary channels and delta front architecture of river-dominated delta systems [J]. Journal of Sedimentary Research, 2006, 76(2): 212-233.
- [22] 郭华军, 陈能贵, 徐洋, 等. 地震沉积学在阜东地区沉积体系分析中的应用[J]. 岩性油气藏, 2014, 26(3): 84-88.
- GUO Huajun, CHEN Nenggui, XU Yang, et al. Application of seismic sedimentology to the analysis of sedimentary system in Fudong area[J]. Lithologic Reservoirs, 2014, 26(3): 84-88.
- [23] 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, 196-208.
- CHEN Changmin, SHI Hesheng, XU Shice, et al. Tertiary hydrocarbon accumulation condition in Pearl River Mouth Basin [M]. Beijing: Science Press, 2003: 1-30, 196-208.
- [24] 李群, 郜建军, 何金海, 等. 隐蔽圈闭解释模式的地层学意义及应用实例[J]. 石油实验地质, 2012, 34(6): 571-574, 581.
- LI Qun, GAO Jianjun, HE Jinhai, et al. Stratigraphic meaning and application case of interpretation mode of subtle trap [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2012, 34(6): 571-574, 581.
- [25] 陈维涛, 杜家元, 施和生, 等. 珠江口盆地惠西南地区复式油气成藏特征及富集规律[J]. 石油勘探与开发, 2015, 42(2): 194-199, 208.
- CHEN Weitao, DU Jiayuan, SHI Hesheng, et al. Compound hydrocarbon accumulation and enrichment in southwestern Huizhou area, Pearl River Mouth Basin, Southern China Sea [J]. Petroleum Exploration and Development, 2015, 42(2): 194-199, 208.
- [26] 施和生. 油气勘探“源-汇-聚”评价体系及其应用——以珠江口盆地珠一坳陷为例[J]. 中国海上油气, 2015, 27(5): 1-12.
- SHI Hesheng. “Source-migration-accumulation” evaluation system and its application in hydrocarbon exploration: a case study of Zhu I depression in Pearl River Mouth basin [J]. China Offshore Oil and Gas, 2015, 27(5): 1-12.
- [27] 柳保军, 庞雄, 颜承志, 等. 珠江口盆地白云深水区渐新世-中新世陆架坡折带演化及油气勘探意义[J]. 石油学报, 2011, 32(2): 234-242.
- LIU Baojun, PANG Xiong, YAN Chengzhi, et al. Evolution of the Oligocene-Miocene shelf slope-break zone in the Baiyun deep-water area of the Pearl River Mouth Basin and its significance in oil-gas exploration [J]. Acta Petrolei Sinica, 2011, 32(2): 234-242.

编辑 单体珍