

泥岩标志层 在海陆过渡沉积环境地层对比中的应用 ——以珠江口盆地陆丰凹陷A油田古近系为例

居宇龙, 唐辉, 刘伟新, 朱义东, 田腾飞, 毛国

(中海石油(中国)有限公司深圳分公司研究院)

摘要 珠江口盆地A油田区古近系海陆过渡沉积环境砂体变化快,由此带来砂体追踪对比的困难。基于测井和地震资料,在恩平组和珠海组共识别出5套具有等时意义的泥岩标志层。在泥岩标志层约束下,建立了目的层段的高分辨率层序地层格架;3个长期旋回、8个中期旋回以及21个短期旋回。在等时地层格架内,短期旋回的砂体平面分布特征研究表明,恩平组为北东向物源的辫状河三角洲沉积,珠海组为北东—南西展布的滨岸沉积;单砂体沉积微相及含油性研究表明,恩平组的辫状河三角洲分流河道和珠海组的滨岸砂坝为含油有利相带,这一认识在后续开发中得到了验证。

关键词 泥岩;标志层;层序;地层格架;古近纪;珠江口盆地

中图分类号: TE121.3

文献标识码: A

珠江口盆地陆丰凹陷A油田深层古近系的发现,有效接替了该区浅层新近系珠江组油藏高含水开发阶段的储量,这对于珠江口盆地东部实施“滚动勘探开发、三维扩储、立体挖潜”的策略具有重要意义^[1-2]。A油田的古近系属海陆过渡相沉积,它经历了从陆相辫状河三角洲到海相滨岸的变化^[3-4],砂体变化快,追踪对比困难,这使得建立可靠的等时地层格架的难度增大。传统地层对比的核心是砂体,而海陆过渡沉积背景下砂泥频繁互层,导致在测井和地震上识别的砂体横向对比性差,砂体对比容易错位,很难保证地层格架的等时性,进而影响后续的油藏描述。因此,建立可靠的等时地层格架对于A油田古近系储层的高效开发至关重要。

稳定发育的泥岩在沉积上多为水体能量弱的沉积相(如前三角洲泥、滨外泥和河漫沼泽等),在平面上能够广泛发育,另外在旋回上,泥岩反映老的沉积旋回的结束和新的沉积旋回的开始,因此泥岩标志层也成为了良好的地层等时划分对比标志^[5-10]。笔者综合测井、地震资料,在A油田古近系海陆过渡带共识别出5套具有等时划分意义的泥岩标志层,并把它们作为层序划分的约束面,用以辅助高分辨率层

序格架的建立和进一步在此等时地层格架下开展砂体平面展布及含油有利沉积相带的预测。

1 地质概况

A油田位于珠江口盆地陆丰凹陷(图1a),目前的10口开发井主要位于两条断层之间(图1b),深层古近系的开发层位为珠海组和恩平组(图1c),共13个含油小层(砂层)。目的层段沉积背景为海陆过渡带(图1c),其中:珠海组为滨岸沉积体系,岩性整体为砂泥岩互层,中部发育厚层砂岩,局部夹薄煤层;恩平组为辫状河三角洲沉积体系,上部为砂岩夹中薄层泥岩,下部为厚层含砾粗砂岩夹泥岩,底部冲刷面明显,局部夹薄煤层。

2 泥岩标志层的识别思路

目前文献中泥岩标志层没有较明确的定义,但普遍认为泥岩标志层具有区域内稳定分布的特点、较明显的测井响应特征以及显著的沉积规律^[5-10],只有符合上述三个特征的泥岩才能作为泥岩标志层。泥岩标志层的识别,需综合应用岩心、测井及地震资料来仔细鉴别筛选。具体而言,区域稳定分布的特

收稿日期: 2016-04-14; 改回日期: 2016-12-13

本文受中国海洋石油总公司重大专项“海相砂岩特高含水期挖潜技术”(编号:CNOOC-KJ 125 ZDXM 06 LTD)资助

居宇龙:1988年生,2013年获中国地质大学(武汉)石油工程硕士学位,现从事储层地质研究工作。通讯地址:518000 广东省深圳市南山区后海滨路(深圳湾)3168号中海油大厦A1306; E-mail: juzl@cnooc.com.cn

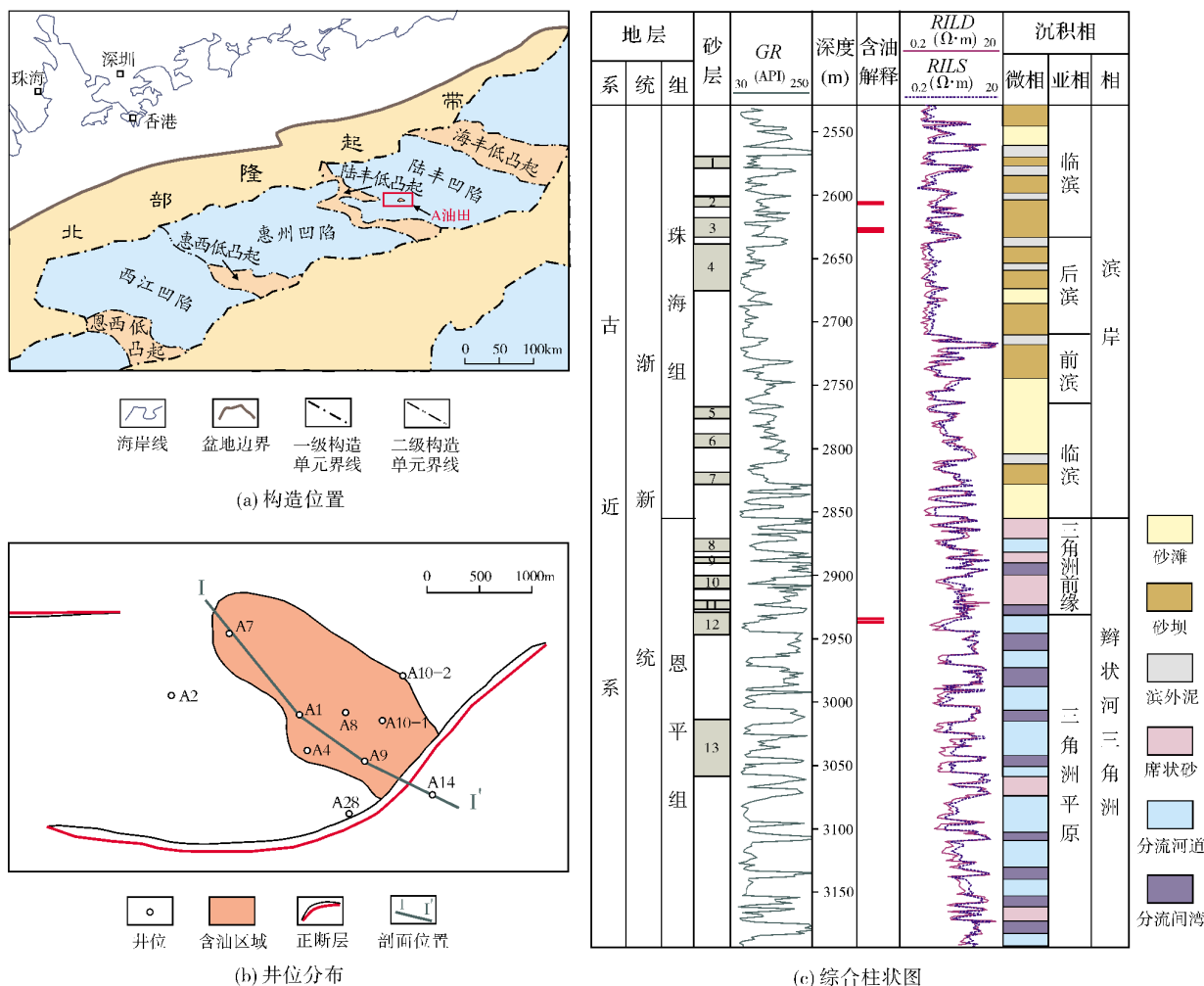


图1 珠江口盆地陆丰凹陷A油田地质背景

征,是指泥岩标志层在地震剖面上具有较好的连续性,且在测井曲线上有区域稳定分布的特征;明显的测井响应特征,是指泥岩标志层具有显著的测井曲线变化规律,且容易被识别;显著的沉积规律,是指泥岩标志层对揭示沉积变化规律有较好的辅助作用,从而能保证泥岩标志层的地质意义。

识别出泥岩标志层后,即可在高分辨率层序地层学原理的指导下,将泥岩标志层作为地质界面来辅助各级次旋回的划分及等时地层格架的建立。

3 泥岩标志层在A油田等时地层格架建立中的应用

3.1 A油田泥岩标志层的识别

由于目前取心井A10-2井的取心段主要集中在

部分砂岩段(图2),因此A油田泥岩标志层的识别主要依赖测井和地震资料。按照上文提到的泥岩标志层特征,在研究区目的层段识别出5套泥岩标志层:a、b、c、d、e(图2)。下文将详细罗列这5套泥岩标志层的特征。

具有区域分布的特征 泥岩空间展布上的连续性差异在地震和测井资料上有较好的反映。研究区的地震资料品质虽然相对较差,但这5套标志层在地震剖面上仍然有较好的连续性,而其他的非标志层泥岩的横向连续性相对较差(图3)。根据测井解释泥岩的厚度统计(表1,8口井),这5套泥岩标志层的平均厚度分别为7.2、4.2、5.5、8.9、4.9m,较非标志层泥岩(平均厚度为2.7m)更厚。泥岩厚度越厚,其空间分布范围一般越广泛^[11-12]。因此,这5套泥岩标志层具有分布更广泛的特征。

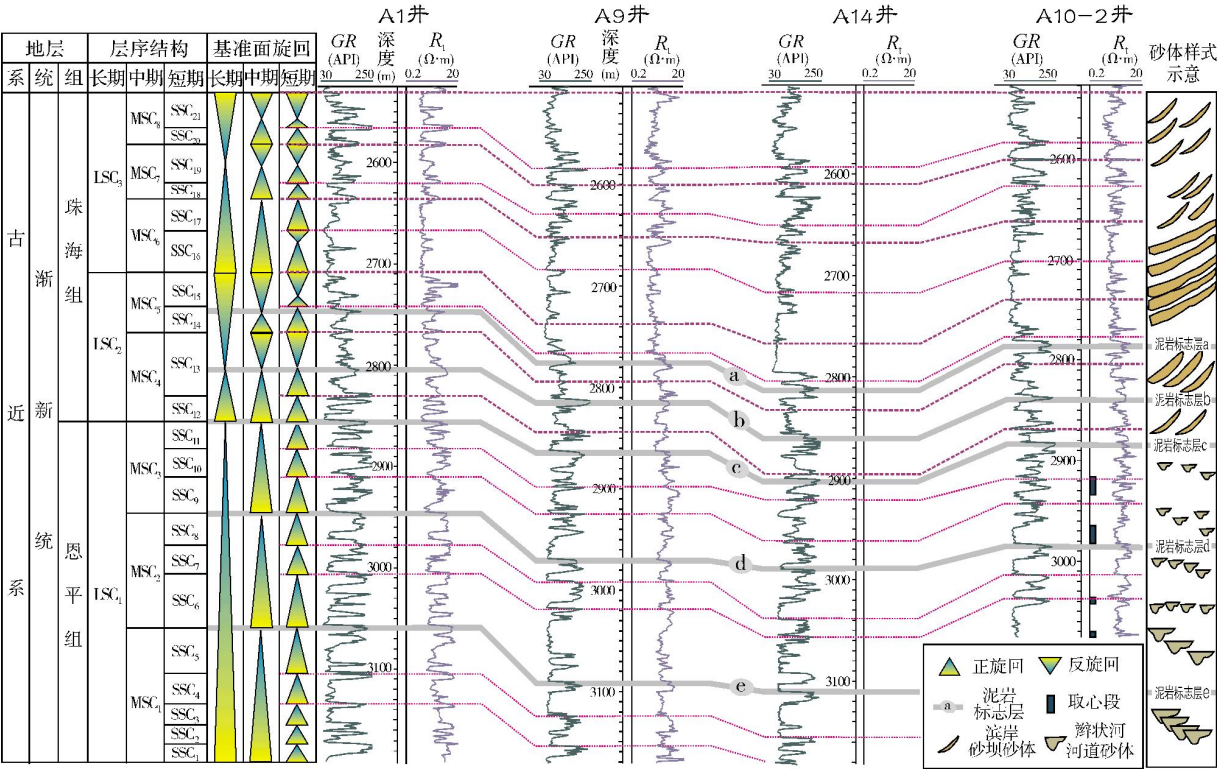


图2 珠江口盆地陆丰凹陷A油田区古近系泥岩标志层及层序旋回综合剖面

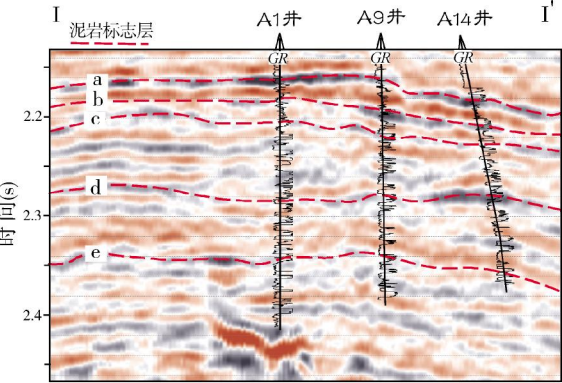


图3 珠江口盆地陆丰凹陷 A 油田区泥岩标志层地震剖面响应特征
I—I'剖面位置见图 1b

具有较明显的测井响应特征 以A9井为例(图2): (1)标志层a,GR值较高,分布范围为123~135 API,对应巨厚滨岸砂体下部厚度约5m的滨外泥岩;(2)标志层b,GR值较高,分布范围为195~212 API,对应厚度约4.8m的分流间湾泥岩;(3)标志层c,GR值较高,分布范围为120~175 API,具有明显的不整合面特征(上下的伽马值突变),对应厚度约12m的分流间湾泥

表1 珠江口盆地陆丰凹陷 A 油田区单井测井解释
泥岩厚度统计 (m)

井名	泥岩标志层厚度					非标志层厚度		
	a	b	c	d	e	范围值	平均值	层数
A1	4.7	5.8	6.3	13.2	6.1	0.3-3.7	1.7	28
A2	3.4	4.2	5.9	—	—	0.4-5.2	1.9	27
A4	8.9	3.4	4.2	6.3	5.2	0.5-13.5	3.1	34
A7	3.7	3.3	2.8	3.1	3.2	0.4-6.3	2.3	34
A9	7.3	4.9	9.1	7.9	3.5	0.5-6.7	3.0	26
A10-1	10.4	4.7	4.5	17.2	5.7	0.3-13.2	3.7	27
A10-2	10.1	2.9	5.6	10.2	4.2	0.3-8.3	2.5	20
A14	9.2	4.5	5.9	4.6	6.7	0.8-11.2	3.5	22
平均厚度	7.2	4.2	5.5	8.9	4.9		2.7	

岩;(4)标志层d,GR值较高,分布范围为120~185 API,具有明显的顶部冲刷特征,对应厚度约11m的分流间湾泥岩;(5)标志层e,GR值较高,分布范围为112~132 API,具有明显的顶部冲刷特征,对应厚度约8m的分流间湾泥岩。

可较好地反映沉积演化规律 从图2的砂体样式解析可见,标志层a上部为巨厚砂岩(大于 100m),

GR曲线呈箱状;标志层a到标志层c之间滨岸砂体的厚度逐渐减薄;标志层c为珠海组与下伏恩平组的界线,具有明显的不整合面特征;标志层c、d、e将恩平组的辫状河沉积体系分为三个段,从下往上,河道砂体的厚度逐渐变薄,河道砂体样式逐渐从叠置式过渡到孤立式(图2)。

3.2 等时地层格架的建立

借鉴基准面旋回的划分方案^[13-14],利用5套泥岩标志层辅助层序旋回的划分,这5套泥岩标志层对应着中期旋回的湖(海)泛面(图2)。珠江口盆地陆丰凹陷A油田区恩平组划分了1个长期旋回(LSC₁),3个中期旋回(MSC₁~MSC₃)和11个短期旋回(SSC₁~SSC₁₁);珠海组划分了2个长期旋回(LSC₂~LSC₃),5个中期旋回(MSC₄~MSC₈)和10个短期旋回(SSC₁₂~SSC₂₁)(图2)。

整体上层序旋回特征明显:恩平组的短期、中期和长期旋回皆为向上“变深”的非对称旋回,这表示可容纳空间远小于沉积物供给增长率($A/S \ll 1$),沉积物快速堆积,易表现出明显的河道下切作用,有明显的整合面;珠海组为具有完整的上升半旋回和

下降半旋回的对称型旋回,对称型的旋回特征反映出在经历了恩平组沉积时期可容纳空间逐步变大后,珠海组的沉积物供给量和可容纳空间增长量接近平衡,其中,在珠海组沉积中期(LSC₂下降半旋回和LSC₃上升半旋回),由于洪泛面的下降,发育明显的厚层砂岩。A油田的旋回特征表明,恩平组的低位水体高能沉积环境下发育快速堆积砂体,随着海泛面的持续上升,沉积能量逐步变弱;到珠海组沉积中期,随着海泛面局部下降,连续性地发育高位水体的相对低能砂体。

4 等时地层格架的应用

砂体平面展布特征能够反映沉积物源及储层的发育规律^[15-18]。笔者选取重点含油短期旋回期次(恩平组:SSC₉、SSC₁₀;珠海组:SSC₁₃、SSC₁₉)进行砂体平面展布分析(图4)。需说明的是,认定砂体的标准按测井解释孔隙度大于12%。由图4可见,SSC₉和SSC₁₀代表的恩平组砂体为北东向物源的辫状河三角洲沉积,且砂体平面展布的变化体现出该时期辫状河河道频繁迁移的特点;SSC₁₃和SSC₁₉代表的珠海组砂体为北东—南西向条带状展布的滨岸沉积。

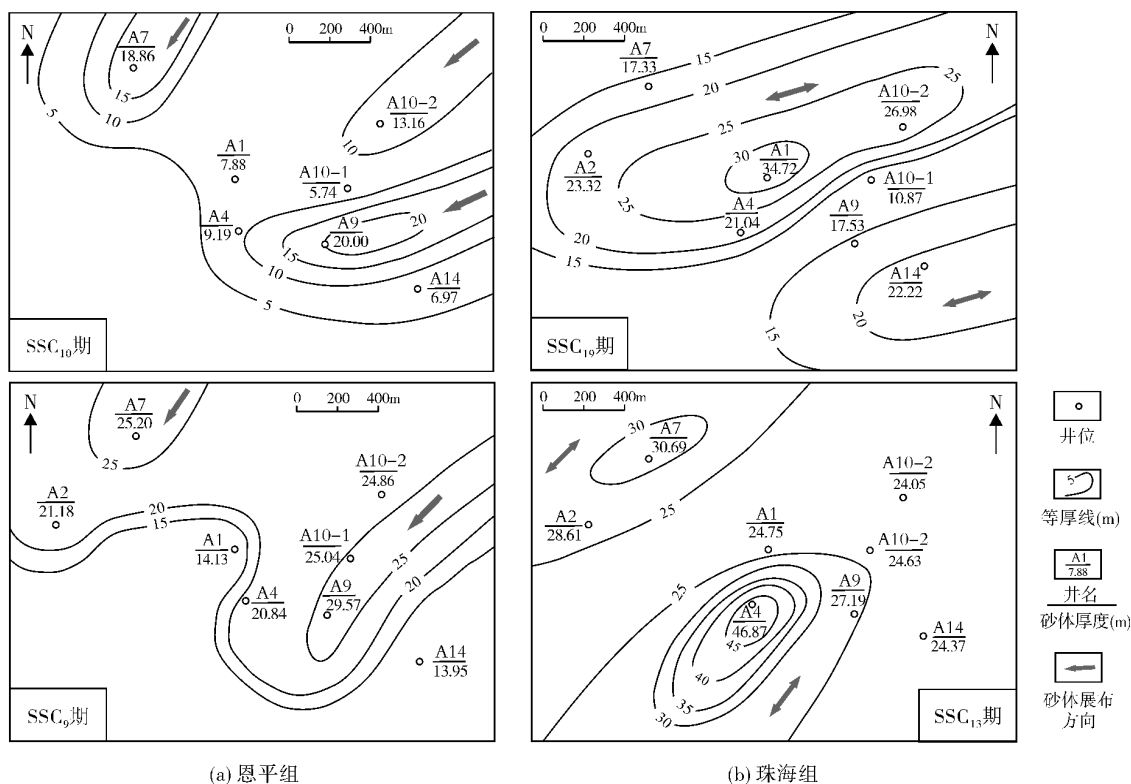


图4 珠江口盆地陆丰凹陷A油田区重点短期旋回期次砂体厚度分布

高分辨率地层格架下的沉积微相研究,是储层非均质性分析及储层预测的重要方法^[19-22]。建立测井相和沉积相的模板是相关研究的重要步骤,而单井的测井相通常是在单砂体的级次上进行的。笔者将恩平组SSC₉短期旋回划分两期砂体(SSC₉₋₁和SSC₉₋₂),SSC₁₀短期旋回划分三期砂体(SSC₁₀₋₁、SSC₁₀₋₂和SSC₁₀₋₃),将珠海组SSC₁₉短期旋回

划分三期砂体(SSC₁₉₋₁、SSC₁₉₋₂和SSC₁₉₋₃),在此基础上,绘制相应的沉积微相图,图5仅展示了储量较大的恩平组SSC₉₋₁、SSC₉₋₂期的和珠海组SSC₁₉₋₂、SSC₁₉₋₃期的。对各类沉积微相的钻井含油比例进行统计(表2),结果表明,恩平组的含油有利沉积微相为辫状河三角洲分流河道,珠海组的则为条带状的滨岸砂坝。

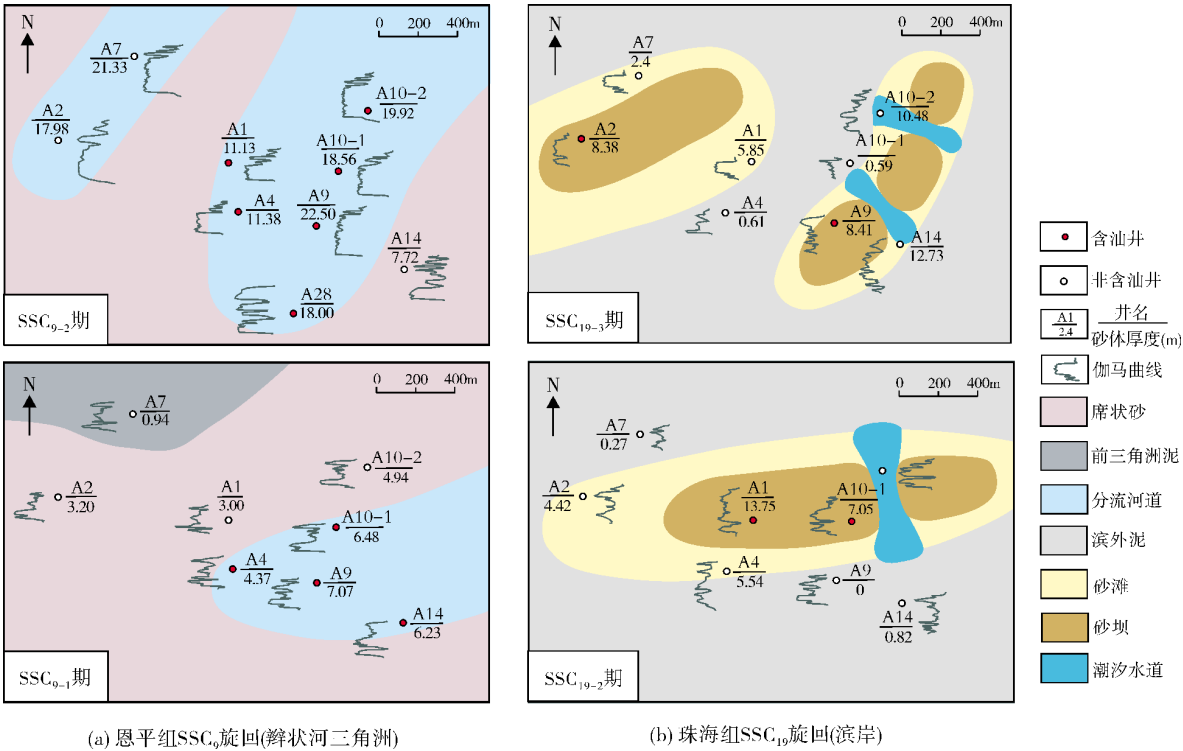


图5 珠江口盆地陆丰凹陷A油田区重点短旋回单砂体沉积微相展布

表2 珠江口盆地陆丰凹陷A油田区单砂体沉积微相类型和钻井含油性统计

单砂体沉积微相类型	滨岸沉积体系(珠海组)				辫状河三角洲沉积体系(恩平组)				
	砂坝	沙滩	潮汐水道	滨外泥	席状砂	分流河道	河口坝	远砂坝	前三角洲泥
总井数	7	8	3	6	16	18	2	1	3
含油井数	4	0	0	0	4	13	2	0	0
含油比例(%)	57.14	0	0	0	25	72.22	100	0	0

上述关于含油有利沉积相带的认识,在后期的开发生产中得到了验证。例如,SSC₉₋₂期砂体中(图5a),A2井钻遇分流河道,应属含油优势沉积微相,虽然早期的测井含油性解释为非储层,但经过测井的再解释,现认为A2井该期砂体为薄油层;另外,A28井是后期钻的新井,根据该地区砂体北东向展布的特点,钻前预测该井处于分流河道含油优势沉积微相,钻后的测井相和测井含油性解释结论均验证了前期

的预测,A28井实际钻遇18 m厚的多期叠置河道砂体,油层厚度约4.3 m。

5 结 论

(1)珠江口盆地陆丰凹陷的A油田区,在古近系珠海组和恩平组内共识别出5套泥岩标志层,它们区域上稳定发育,平均厚4.2~8.9 m,在测井和地震资料上有较好的响应特征,且具有较强的地质阶段划分意义。

(2)在5套泥岩标志层约束下,建立了目的层段的高分辨率层序地层格架;恩平组划分为1个长期旋回,3个中期旋回和11个短期旋回;珠海组划分为2个长期旋回,5个中期旋回和10个短期旋回。

(3)短期旋回砂体的平面展布特征表明,恩平组为北东向物源的辫状河三角洲沉积,河道迁移特征明显,珠海组的砂体为北东—南西向条带状展布的滨岸沉积。单砂体沉积微相与含油性研究表明,辫状河三角洲分流河道和滨岸沉积的临滨砂坝分别为恩平组和珠海组的含油有利沉积相带。

参考文献

- [1] 罗东红,梁卫,李熙盛,等.珠江口盆地陆丰 13-1 油田古近系恩平组突破及其重要意义[J]. 中国海上油气,2011,23(2): 72-75.
- [2] 何家雄,陈胜红,刘士林,等.南海北缘珠江口盆地油气资源前景及有利勘探方向[J]. 新疆石油地质,2008,29(4): 458-461.
- [3] 程涛,王振奇,张尚峰,等.海陆交互相三角洲高分辨率层序地层探析——以珠江口盆地惠州凹陷珠海组为例[J]. 油气地质与采收率,2007,14(3): 47-51.
- [4] 罗东红,刘伟新,戴宗,等.珠江口盆地(东部)深层储层评价关键技术及应用——以陆丰 13-1 油田古近系恩平组储层为例[J]. 中国海上油气,2015,26(3): 56-60.
- [5] 何金先,段毅,张晓丽,等.鄂尔多斯盆地林镇地区延安组延 9 油层组地层对比与沉积微相展布[J]. 天然气地球科学,2012,23(2): 291-298.
- [6] 李树同,王多云,陶辉飞,等.坳陷湖盆湖泛层沉积特征及其石油地质意义——以鄂尔多斯盆地三叠系延长组为例[J]. 西安石油大学学报:自然科学版,2012,26(6): 14-20.
- [7] 渠芳,陈清华,连承波.河流相储层细分对比方法探讨[J]. 西安石油大学学报:自然科学版,2008,23(1): 17-21.
- [8] 郑文波,吴修利,邓宏文.阿尔及利亚扎尔则油田 F4 层段地层与储层分布规律[J]. 地球科学 中国地质大学学报,2012,37(1): 181-190.
- [9] 柳兴邦,史彦尧,陈绪清.滑塌浊积砂体精细地层划分对比方法——以大芦湖油田樊 107 块沙三段中亚段为例[J]. 油气地质与采收率,2009,16(3): 26-29.
- [10] 高志勇,朱如凯,许坤,等.苏丹 M 盆地地下白垩统泥岩标志层的发现及意义[J]. 天然气工业,2007,27(2): 29-31.
- [11] 王梓媛,潘懋,师永民,等.塔里木盆地东河 1 油藏滨岸砂岩隔夹层识别及空间展布[J]. 石油学报,2015, 36(8): 966-975.
- [12] 崔建,李海东,冯建松,等.辫状河储层隔夹层特征及其对剩余油分布的影响[J]. 特种油气藏,2013,20(4): 26-30.
- [13] 邓宏文,王洪亮,李熙喆.层序地层与基准面的识别、对比及应用[J]. 石油与天然气地质,1996,17(3): 177-184.
- [14] 郑荣才,彭军,吴朝容.陆相盆地基准面旋回的级次划分和研究意义[J]. 沉积学报,2001,19(2): 249-255.
- [15] 赵红格,刘池洋.物源分析方法及研究进展[J]. 沉积学报,2003,21(3): 410-415.
- [16] 钟玮,蒲秀刚,何幼斌,等.渤海湾盆地黄骅坳陷孔南地区古近系孔店组二段物源分析[J]. 古地理学报,2012,14(6): 707-718.
- [17] 王峰,田景春,张锦泉,等.鄂尔多斯盆地姬塬—胡尖山地区长 6 油层组的物源和优质储层分布[J]. 天然气地球科学,2006,17(6): 783-788.
- [18] 张有平.百 21 井区夏子街组二段沉积物源方向及沉积相特征[J]. 新疆石油地质,2014,35(2): 153-157.
- [19] 刘安然,陈洪德,徐胜利,等.川西坳陷中段上侏罗统遂宁组岩相古地理及砂体展布[J]. 岩性油气藏,2013,25(1): 35-39.
- [20] 郑荣才,王海红,韩永林,等.鄂尔多斯盆地姬塬地区长 6 段沉积相特征和砂体展布[J]. 岩性油气藏,2008,20(3): 21-26.
- [21] 王卫红,田景春,李君文,等.鄂尔多斯盆地堡子湾地区延长组长 6 储集砂体发育特征及有利区带预测[J]. 油气地质与采收率,2009,15(5): 27-30.
- [22] 李伟,余华琪,邓鸿斌.四川盆地中南部寒武系地层划分对比与沉积演化特征[J]. 石油勘探与开发,2012,39(6): 681-690.

编辑:董庸

Identification of Mudstone Markers and Its Application in Stratigraphic Correlation in Transitional Sediments: A Case of the Paleogene in Oilfield A, Lufeng Sag, Zhujiangkou Basin

Ju Zilong, Tang hui, Liu Weixin, Zhu Yidong, Tian Tengfei, Mao Yuan

Abstract: The rapid change of sand body in the Paleogene transitional sediments makes the sand body tracking and isochronal correlation difficult in the oilfield A, Lufeng sag, Zhujiangkou Basin. According to well log and seismic data, five sets of mudstone markers with isochronal significance are identified in Zhuhai Formation and Enping Formation. Under the constraints of the mudstone marker layers, a high-resolution sequence stratigraphic framework of the target interval is established: 3 long-term cycles, 8 mid-term cycles, and 21 short-term cycles. The result of the distribution of sand bodies in short-term cycles shows that the braided river delta from northeastern source developed in Enping Formation, and the coastal deposition developed in a NE-SW direction in Zhuhai Formation. The study on the microfacies and oil-bearing properties of the single sand body shows that the distributary channels of the braided river delta in Enping Formation and the coastal sand dams in Zhuhai Formation are the favorable phase of oil-bearing zone, which has been verified by follow-up development.

Key words: Mudstone; Marker bed; Sequence; Stratigraphic framework; Paleogene; Zhujiangkou Basin

Ju Zilong: MSc, Geological Engineer. Add: Research Institute of CNOOC Shenzhen Branch Company, 3168 Houhaibin Rd., Shenzhen, Guangdong, 518000, China