

文章编号:0253-9985(2013)01-0068-09

南苏门答腊盆地 B 区块层序地层格架及有利成藏带

田世存,刘国臣,汤磊,陈辉,孙君书

(中化石油勘探开发有限公司,北京 100031)

摘要:南苏门答腊盆地是新生代弧后裂谷沉积盆地,经历了4个构造演化阶段和1次完整的海进-海退旋回。形成了独特的层序地层充填和沉积体分布模式,发育湖泊、河流、三角洲、浅海陆棚碳酸盐岩及生物礁等多种沉积体系。建立了B区块的层序地层格架,将新生代地层划分为8个三级层序,SQ1—SQ4是主要勘探目的层段。根据古地貌特征,B区块划分为4个构造单元,各构造单元具有不同的沉积特征和勘探目标。纵向上总结了盆地各构造演化阶段,层序格架内发育4套成藏组合。平面上对各期层序构造解释后,应用构造叠合方法,综合分析各成藏要素,全区共划分出5个有利构造带,指出了各构造带的有利因素和勘探潜力,为下一步区块勘探选取钻探目标和落实储量规模提供了指导意义。

关键词:沉积体系;成藏组合;有利成藏带;层序地层格架;南苏门答腊盆地

中图分类号:TE121

文献标识码:A

Sequence stratigraphic framework and play fairways in Block B of the South Sumatra Basin

Tian Shicun, Liu Guochen, Tang Lei, Chen Hui and Sun Junshu

(SINOCHEN Petroleum Exploration & Production Co., Ltd., Beijing 100031, China)

Abstract: South Sumatra Basin is a Cenozoic back-arc rift basin experienced four tectonic evolution stages and a full cycle of transgression-regression. As a result, the basin presents a unique sequence stratigraphy and sedimentary filling pattern and contains diversified depositional systems: lacustrine, fluvial, delta, shallow marine shelf carbonates, organic reef and etc. The Block B in the basin was studied in detail and its sequence stratigraphic framework was established. The Cenozoic strata in the block were divided into eight third-order sequences with Sq1 to Sq4 as the key exploration targets. Based on its paleo-geomorphic characteristics, four structural units with different sedimentary characteristics and exploration target were identified. Vertically, four plays were identified within the sequence stratigraphic framework based on summation of each structural evolution stage. Laterally, the hydrocarbon accumulation conditions were comprehensively analyzed by using structure overlapping method after structure interpretation of each stage, leading to the identification of five prospective structural zones. The study offers a sound foundation for further exploration and development of the block.

Key words: sedimentary system, play, play fairway, sequence stratigraphic framework, South Sumatra Basin

1 概述

南苏门答腊盆地是印度尼西亚第五大产油区,B区块位于南苏门答腊盆地内南巴邻旁次盆

的东北部(图1),面积 $2.366 \times 10^3 \text{ km}^2$,勘探程度很低。二维地震剖面1 097 km,在20世纪早期有探井10口。但一直没有获得大的勘探突破。2008年钻探了该区块第一口探井S. A-1,获得重大发现。为了加快勘探,应用层序地层学的方法,

收稿日期:2011-10-27;修订日期:2013-01-10。

第一作者简介:田世存(1978—),男,高级工程师,油气勘探。

基金项目:国土资源部项目(GT-YQ-QQ-2009-1-02)。

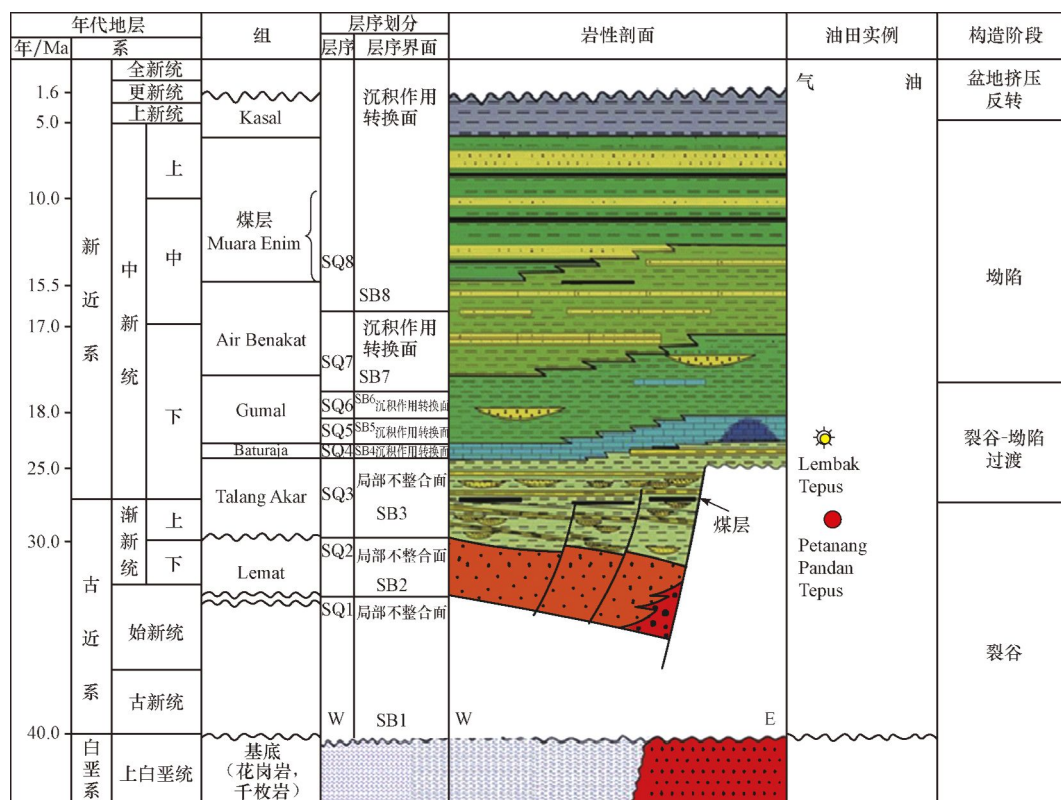


图2 B区块构造地层演化

Fig. 2 Structural stratigraphic evolution of Block B

上依次为 SB1 至 SB8(图3),其中 SB1 至 SB4 为区域或局部不整合面,SB5 至 SB8 为沉积作用转换面。

SB1 界面:古近系砂泥岩地层组直接覆盖于花岗岩和变质岩基底上,地震反射为一套较强的、连续性较好的强反射,古隆起斜坡区上超明显,全区稳定。该界面是岩性突变的区域性不整合面^[4]。

SB2 界面:地震剖面由下部的连续性较好、振幅较强的反射突变至上部的弱反射,连续性中等—较差。由冲积扇—河流相转变为河流相—湖泊相^[5]。盆地边缘和斜坡区上超、削截现象普遍,为一较大的不整合面。界面下为砂岩、砾岩,界面上为细砂岩、中砂岩。

SB3 界面:层序界面上可见上超,该界面为一局部不整合面。地震反射中—强振幅、连续性中等。界面下沉积较细,以泥质砂岩、粉砂岩为主,界面上见粗砂岩、砂砾岩,一般为分流河道底部沉积。界面附近泥岩含碳屑,见薄煤层。

SB4 界面:B 区块深大断裂的上升盘发育碳酸盐岩建隆,是一岩性突变面,由砂泥岩突变为泥粒灰岩,界面特征明显。自然电位、电阻率曲线均出

现突变接触(图4)。界面特征明显,地震上由高连续的强反射突变为弱—空白的连续性差的反射,全区稳定分布,厚度薄。在生物礁发育区,地震剖面上礁体顶部为强反射,在礁体边缘则发生明显的地震极性反转,沉积厚度明显增大,这是本区识别生物礁的一个显著标志。

SB5 界面:地震上强弱分异明显,表现为连续性好的强反射,是岩性突变界面,有大量海绿石、黄铁矿出现。

SB6,SB7 和 SB8 界面:SB6,SB7 可见河道砂岩的底部冲刷面,在全区地震剖面上为低连续弱振幅反射,与下伏地层整合接触,沉积环境的稳定,局部地区可见下伏层序三角洲前积反射的顶超面;SB8 界面在地震上表现为连续性好的中振幅反射,有煤层出现。

3.2 层序地层格架

研究区古近系发育半地堑的构造样式,自下而上依次沉积了裂谷发育阶段的 Lemat 组,裂谷—拗陷过渡阶段的 Talang Akar(TAF) 组,拗陷发育阶段的 Baturaja, Gumai, Air Benakat 和 Muara Enim

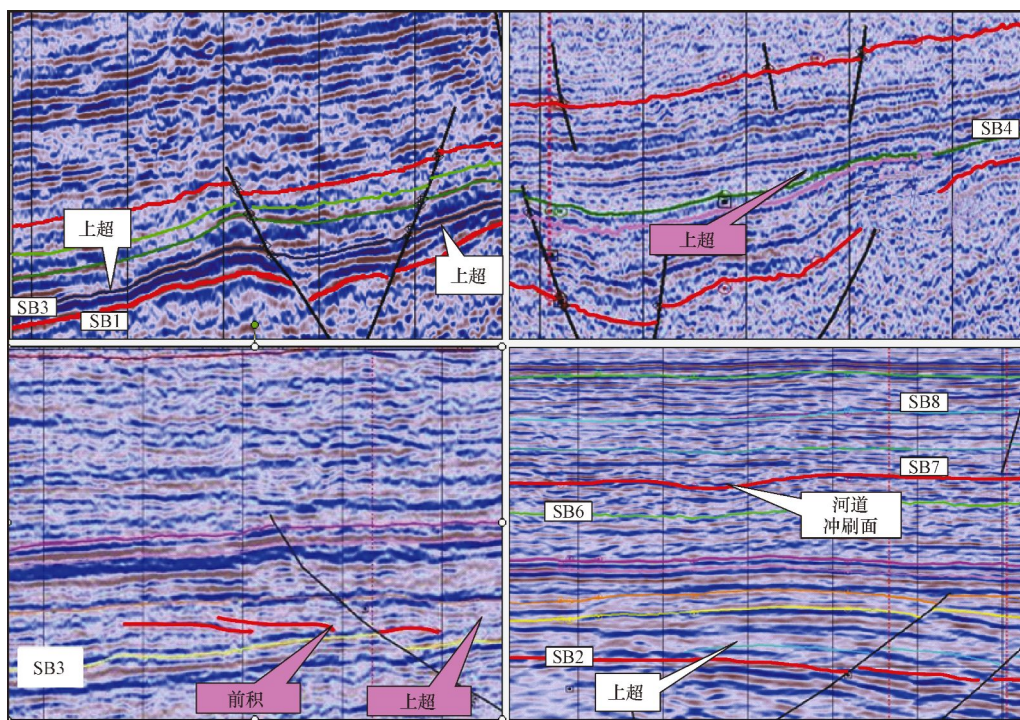


图3 B区块各层序界面在地震剖面上的反射特征

Fig. 3 Reflectance signatures of different sequence interfaces on seismic sections of Block B

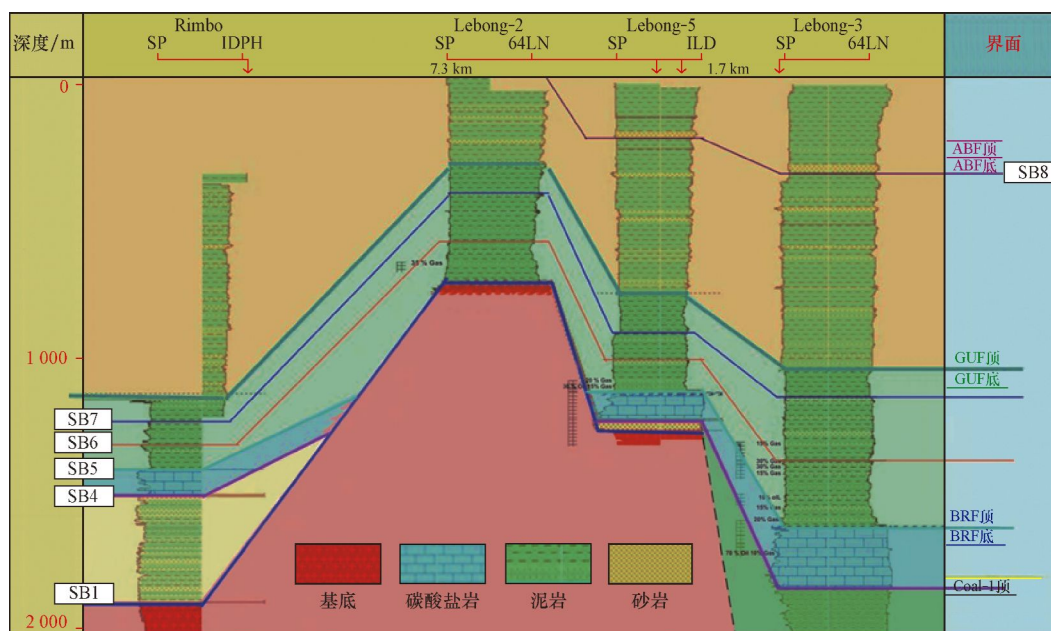


图4 B区块各层序界面在连井剖面上的特征

Fig. 4 Characteristics of different sequence interfaces on cross-well seismic sections of Block B

组,以及盆地反转期的 Kasai 组^[3,6]。

根据各层序界面特征以及测井资料,建立了南苏门答腊盆地南部新生代层序地层格架^[7](图5):Lemat,下TAF,上TAF,BRF组各划分为1个三级层序,Gumai组划分为两个半三级层序,Air Benakat组划分为半个层序。三级层序从下至上

依次命名为SQ1至SQ8,SQ8以上没细分。研究的主要目的层位为SQ2,SQ3和SQ4。

3.3 构造-沉积演化特征

B区块构造特征主要由基底古地貌和断陷期构造控制,总体可分为4个构造单元:南部洼陷、

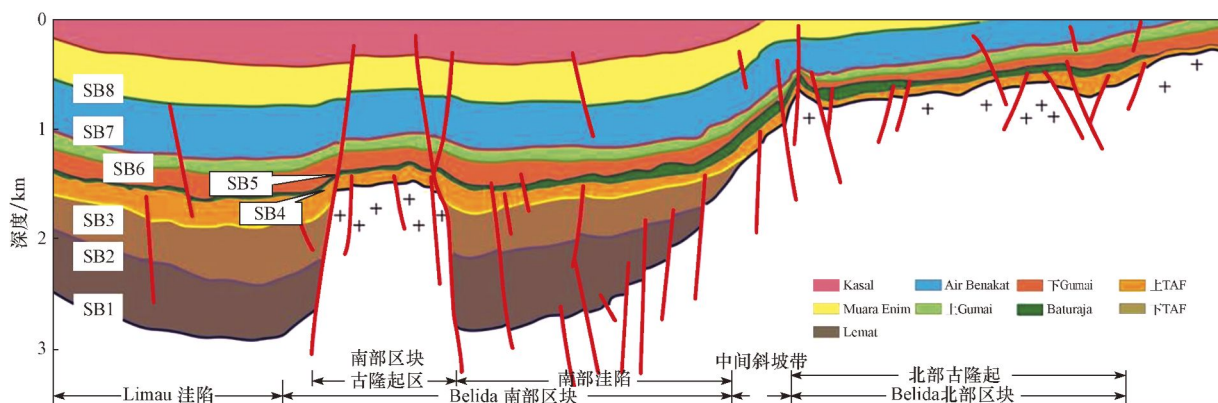


图5 B区块层序地层格架

Fig. 5 Stratigraphic sequence framework of Block B

南部古隆起区、中间斜坡带和北部古隆起区(图5)。系统分析南苏门答腊盆地构造和层序地层特征,搞清盆地的构造演化史,以及不同阶段的沉积特征,对预测区块的储层分布和有利勘探区带具有指导意义^[8-9]。

南苏门答腊盆地始新世中期—渐新世末期海平面缓慢上升^[10],盆地拉张,始新世的陆相沉积大多为半地堑式充填,在凹陷区局部海侵。

南苏门答腊古近系盆地内断裂较发育。深大断裂控制了构造和沉积,并伴随了次级基底断裂,这些断裂控制了一系列重要的圈闭,是油气勘探的主要方向(图6)。B区块的南部洼陷区靠近Limau 洼陷(图5),层序SQ1局部分布在半地堑的深洼区,发育多套储层。Lemat 层陆相咸化湖盆环境沉积的页岩,是Limau 洼陷的烃源岩。受古构造和古地形的控制,B区块南北两部分所在的基底构造样式不同,从而导致B区块南北两部区域

发育的储层及其分布特征差异明显。

早、中渐新世南苏门答腊盆地发生大规模海侵。层序SQ2和SQ3是盆地裂谷和坳陷过渡期的地层,断裂发育。沉积的TAF层是盆地主要优质生油岩和储层,并发育多套三角洲砂体,断块圈闭是南部洼陷区在SQ2和SQ3段主要勘探目标。层序SQ2内烃源岩的成熟度高于层序SQ3,两套地层间呈局部不整合接触。储层为海侵砂岩和上部海退砂岩。

中新世早期海侵达到最大规模。盆地填平补齐,沉积了全区分布的层序SQ4。该期沉积环境从向开阔盆地过渡的开阔浅滩、礁前到滨岸礁后沉积。同时在古隆起区和断块高部位发育碳酸盐建隆和生物礁,也是区块的重要勘探目标。

层序SQ5和SQ6是由含有化石的海相页岩、细粒砂岩、粉砂岩和泥岩组成,含有海绿石。海绿石灰岩代表最大范围的海侵,为坳陷期浅—深海环境沉积。SQ5密集段沉积时期的海相页岩是盆地

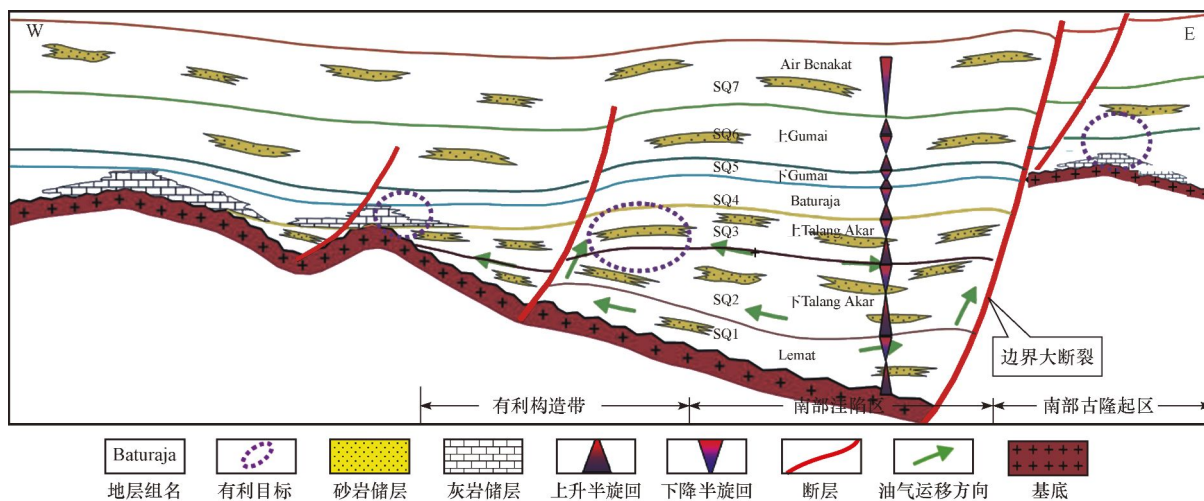


图6 B区块南部地层充填及圈闭发育剖面

Fig. 6 Profile showing sedimentary filling and trap development in southern Block B

生油源岩,成熟度低,对盆地生烃贡献有限。SQ6三角洲进积砂岩,储层物性好,是重要储层,北部古隆起区的断块构造是该层段的主要勘探目标。层序SQ5和SQ6最大海侵期沉积的海相页岩,是盆地区域盖层,是控制盆地油气分布的重要因素之一。

层序SQ7是在坳陷期海退时沉积的地层,盆地地层向上由深海到浅海沉积,是盆地重要储层。以浅海和三角洲沉积相为主。

上新世早期至今由于构造挤压运动,盆地反转,全盆开始海退。层序SQ8是由浅海到陆相砂、泥岩和煤层组成。Kasai(KAF)层是由砂岩、陆相凝灰岩、砾石和薄的煤层组成。区块西部的巴里桑高山带提供充足的碎屑沉积物源,是盆地盖层。由于盆地反转,构造挤压对巴邻旁隆起B区块影响很小,几乎没形成挤压背斜构造。

3.4 主要沉积体系展布

河流、三角洲砂体和发育于古隆起上的碳酸盐岩建隆是南苏门答腊盆地南部B区块重要的勘探目标。

B南部发育有两大物源体系:北部早期物源和西北部晚期物源(图7),早期物源是盆地裂谷充填期的主要物源;早、中古新世盆地填平补齐后,西北部物源在中晚古新世以后起主导作用。始新世晚期—渐新世晚期部分地区开始海侵,早

期物源通过发育于三角洲上的河流,将碎屑物质从北部的巴邻旁隆起区搬运到Limau洼陷的低洼区沉积,从而在层序SQ1内沉积了盆地最主要的储层和烃源岩。在南部区块的洼陷区形成小型三角洲沉积。在层序SQ2内以冲积—河流—三角洲沉积为主,在层序SQ3内,以河流—三角洲—浅海沉积为主。S.A-1井在层序SQ3内三角洲砂岩获得油气发现(图7)。

中新世早期开始大规模海侵,盆地迅速扩张,沉积了层序SQ4。B区块SQ4内发育浅海陆棚、生物礁、近滨碳酸盐岩3种沉积环境(图8),南部区块和北部区块的西部是浅海陆棚沉积,在古隆起区是发育生物礁的有利区带。B北部区块的西部位于巴邻旁隆起生物礁发育区,是区块勘探的主要目标。B北部区块部分区域由于基底抬升很高,层序SQ4遭受剥蚀(图8)。

4 层序格架内成藏组合模式

层序格架内,储集砂体主要发育于低位域和高位域,区域性的泥岩盖层主要发育于水进体系域^[5,11-13]。根据南苏门达腊盆地构造演化特征、生储盖组合特征与油气富集特点,可将其油气成藏组合自下而上划分为深部、下部、中部和上部4套大的生储盖组合^[1](图9)。但在B区块还没找到第四种组合,以前3种成藏组合为主。

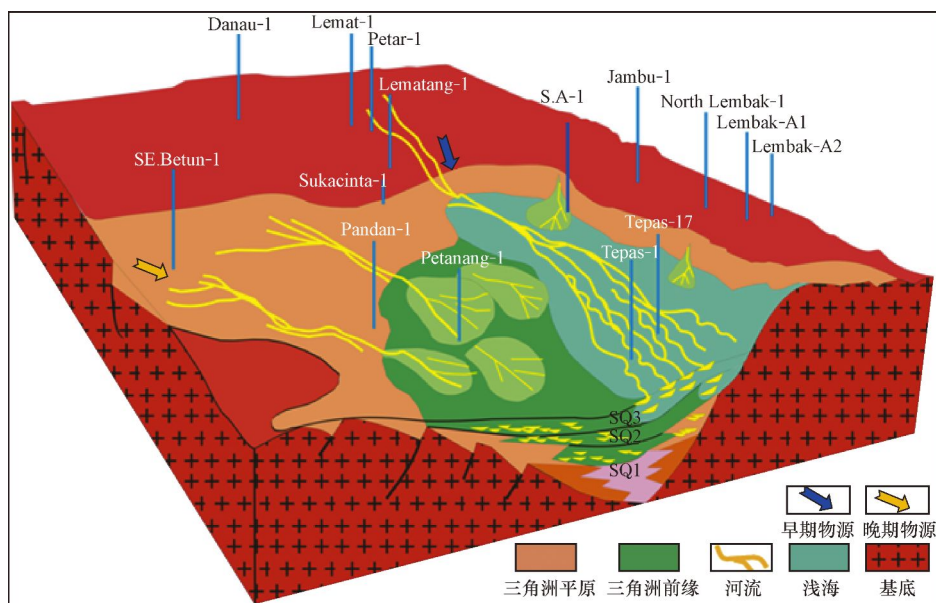


图7 B区块南部层序格架内沉积相示意图

Fig. 7 Schematic diagram showing sedimentary facies within sequence stratigraphic framework in southern Block B

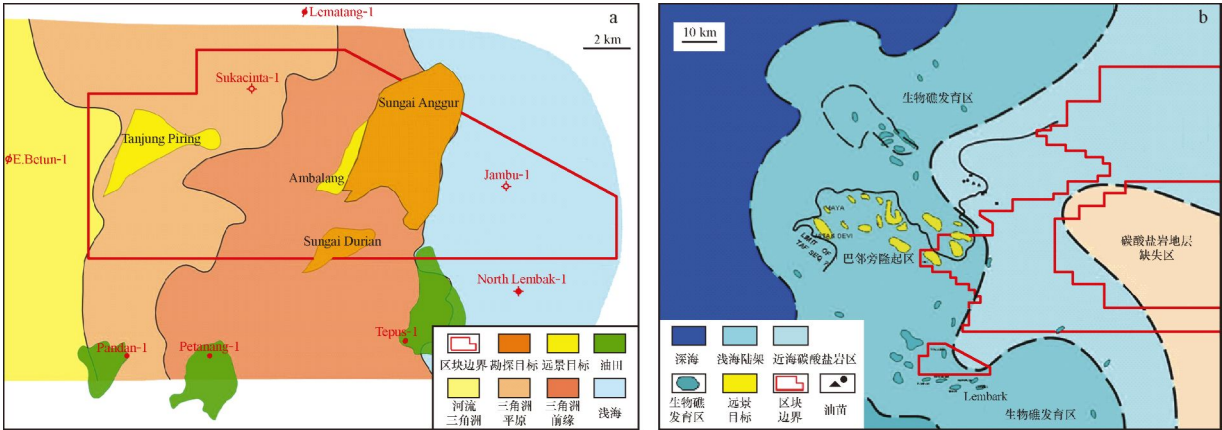


图 8 B 区块南部 SQ3(图 a) 和 SQ4(图 b) 内沉积相
Fig. 8 Map showing sedimentary facies within SQ3 and SQ4 in southern Block B

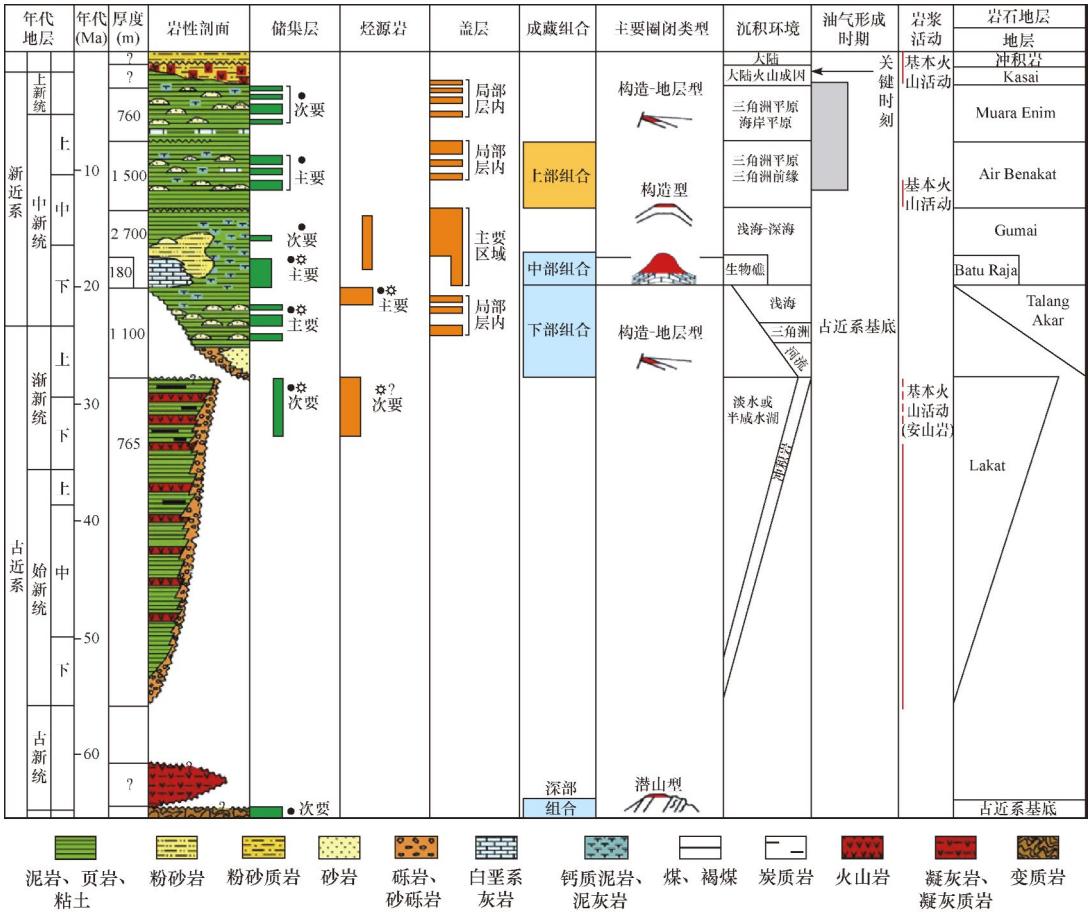


图 9 南苏门答腊盆地生储盖组合特征(据 Rashid 等,1998 修改)
Fig. 9 Source rock-reservoir-cap rock characteristics in the South Sumatra Basin

4.1 断陷期深部新生古储式基底裂缝油气藏组合

该组合分布于 B 北部区块 Rimbo-Lebong 古隆起区(图 1), 储层是层序 SQ5 低位浊积砂和变质

岩风化壳,影响储层质量的因素是裂缝发育程度,裂缝孔隙可达 7%^[2]。油源是 B 南部区块 SQ1 内的湖相页岩,油气向东北部通过远距离运移成藏。盖层为层序 SQ3 和 SQ6 的泥岩。B 北部区块的

Lebong 气田已证实这种组合(图4)。

4.2 断陷期下部自生自储式为主的油气藏组合

该组合分布于B南部区块③号和⑤号构造带(图1),为自生自储式,以层序SQ2和SQ3内的三角洲砂体为储层。SQ3内部泥岩为盖层,如B南部区块边界外的Tepus等油田(图8)。这种储盖组合方式的特点是埋藏深,储集物性好,盖层条件好,发育多套储层但单个储层薄,邻近Limau生烃洼陷,油气主要通过深大断裂垂向运移。是南苏门答腊盆地南部新近系最主要的储盖组合。

4.3 坳陷早期中部古生新储式油气藏组合

该组合分布于B南部区块生物礁发育区。为下生中储上盖式,以发育于层序SQ4内古隆起的碳酸盐岩台地生物礁和SQ4内低位浊积砂体为储集层,以层序SQ6内的厚层泥岩为区域盖层。通过深大断裂将深部油气与上部储层沟通,是南苏门答腊盆地南部新近系重要的储盖组合。位于古隆起区的Lembak气田是典型的这种类型油气藏(图8)。

4.4 坳陷晚期生储盖组合

该组合分布于B北部区块Ujung Pulau背斜带。以层序SQ6内三角洲进积充填体系和SQ7内三角洲平原-河流体系砂体为储集层,背斜圈闭是该组合的主要圈闭类型。具有储集物性好,埋藏浅的优点,但储层薄。油气通过深大断裂和不整合面运移,在砂体尖灭、逆断层遮挡的背斜圈闭中聚集成构造-岩性油气藏,构成该地区新近系的另一主要储盖组合,南苏门答腊盆地在该组合已发现许多重要油气田,但在本区还未获得大发现。

5 有利成藏带分析

通过建立层序地层格架,详细研究了层序格架内区块油气成藏要素及其时空配置和油气分布规律。将构造层勘探目标进行了精细解释,在平面上将各层圈闭叠合,并通过对各成藏要素的分析。研究区共划分为5个有利油气聚集带(图1)。

南苏门答腊盆地地层变化明显,陆相、海相和海陆过渡相均发育,沉积体类型丰富多样,导致本区发育多种类型油气藏^[5,12]。由于各成藏要素在时空上不同组合配置,共发育了4种油气藏。主

要发育构造-地层复合油气藏、构造油气藏、生物礁油气藏和不整合油气藏(图9)。

①号构造带以构造-地层复合油气藏和不整合油气藏为主,发育地垒断块、地层超覆和不整合遮挡等油气藏类型,以深部、中部和上部组合为主。但该区由于基底抬升很高,地层沉积薄,埋藏浅,层序SQ6和SQ7出露地表而遭受剥蚀(图4),侧向封堵差,远离油源。B区块北部Lebong气田已证实油气远距离运移和具备成藏的条件。因此,推测具有一定的勘探潜力。

②号构造带是发育于北部区块的背斜构造,位于北部陡坡带的顶部,背斜幅度高。背斜是盆地最有利的构造形态。但北部区块整体沉积层比较薄,有效储层规模有限。因此,推测也具有一定的勘探潜力。

③号构造带属于典型的断块构造油气藏。构造面积在整个区块最大,主要勘探目的层是层序SQ2和SQ3内的三角洲砂体^[14]。已经在层序SQ3内获得了油气发现,发育于三角洲平原上的河道砂是最有利的储集体。该构造距离油源近,边界断裂沟通油源,SQ6的厚层泥岩是区域盖层,保存条件好。同时推测该构造带还发育地层超覆和岩性透镜状油气藏。因此,③号构造带是B南部区块最主要的有利构造带。

④号构造带主要以层序SQ4的BRF生物礁目标为主。BRF以微晶灰岩为主,上部地层在早、中新世晚期暴露,孔隙得到改善。但整体比较致密,储层质量差。该构造带也具有勘探潜力。

⑤号构造带发育于半地堑的斜坡区,断阶状的断层控制构造,始新世晚期部分地区开始海侵,层序SQ2和SQ3砂岩在斜坡区上倾尖灭与断阶状的断层相配置可形成构造-岩性复合油气藏。在基底斜坡区可形成很多有利的构造和地层圈闭,该构造带是形成构造-岩性油气藏的有利区带(图6)。该构造带是受雁列式断裂控制的有利构造带,近油源,主要勘探三角洲平原砂体,勘探目标多。但单个构造规模小,埋藏深。

6 结论

1) 建立了位于南苏门答腊南巴邻旁次盆内B区块的层序地层格架。将新生代地层划分为8个三级层序。SQ1—SQ3是主要勘探目的层段;SQ4

在基底古隆起区发育生物礁;SQ6泥岩厚度大,分布稳定,是全区最主要的盖层。SQ6—SQ7处于拗陷发育阶段的海退时期,是区块潜在储层。SQ8以上地层是晚中新世和上新世沉积地层,是盆地盖层。

2) 南苏门答腊盆地经历了4个构造演化期。根据古地貌特征,B区块划分为4个构造单元。区块内发育两大物源体系,主要发育湖泊相、河流、三角洲、陆棚碳酸盐岩、生物礁等多种沉积体系。烃源岩、储层、盖层和疏导体系在时空上相互配置,发育裂谷期深部、裂谷—拗陷过渡期下部、拗陷期中部和上部4套储盖组合,形成了4种类型的油气藏。

3) 共划分出5个有利成藏带:①号和②号构造带推测发育多种类型的油气藏,油气田规模小,具有一定的勘探潜力;生物礁构造带(④号)随着勘探程度的提高将进一步落实;⑤号构造斜坡带也是主要的有利构造带,勘探目标多,规模小,埋藏深,勘探下部组合为主;③号构造带是区块最主要的有利构造带。

参 考 文 献

- [1] 薛良清,杨福忠,马海珍,等. 南苏门答腊盆地中国石油合同区块成藏组合分析[J]. 石油勘探与开发,2005,32(3):130-134.
Xue Liangqing, Yang Fuzhong, Ma Haizhen, et al. Petroleum play analysis of the PetroChina Contract Blocks in the South Sumatra Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2005,32(3):130-134.
- [2] Bishop M G. South Sumatra Basin province, Indonesia: The Lahat/Talang Akar-Cenozoic total petroleum system[R]. USGS Open-file report,2000:99-50.
- [3] Moore D E, Hickman S, Lockner D A. Hydrothermal minerals and microstructures in the Silangkitang geothermal field along the Great Sumatran fault zone, Sumatra, Indonesia[J]. Geological Society of America Bulletin, 2001,113(9):1179-1192.
- [4] 毛治国,樊太亮,刘亚明,等. 南苏门答腊盆地北部新生代层序地层格架及有利储层分布[J]. 中南大学学报(自然科学版),2007,38(6):1226-1231.
Mao Zhiguo, Fan Tailiang, Liu Yaming, et al. Phanerozoic sequence stratigraphic framework and reservoir distribution in the north of South Sumatra Basin[J]. Journal of Central South University Science and Technology, 2007,38(6):1225-1230.
- [5] 毛治国,樊太亮,王宏语,等. 层序地层格架下岩性—地层油气藏成藏与分布——以南苏门答腊盆地北部为例[J]. 石油勘探与开发,2009,36(1):120-126.
Mao Zhiguo, Fan Tailiang, Wang Hongyu, et al. Formation and distribution of litho-stratigraphic reservoirs inside sequence stratigraphic framework, north of South Sumatra Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2009,36(1):120-126.
- [6] Carlos T, Miharwatiman J S, Aisyah A, et al. Redevelopment of rayun oil field(South Sumatra): a seismic success story[C] //IPA99-G-125. Jakarta: Indonesia Petroleum Association, 2000:65-81.
- [7] 纪友亮,周勇,王改为,等. 下扬子地区古生界海相碳酸盐岩层序地层发育模式及储层预测[J]. 石油与天然气地质,2011,34(32):724-732.
Ji Youliang, Zhou Yong, Wang Gaiwei, et al. Sequence stratigraphic models and reservoir prediction of the Paleozoic marine carbonates in the lower Yangtze area[J]. Oil & Gas geology, 2011,34(32):724-732.
- [8] 邓宏文. 美国层序地层学研究中的新学派—高分辨率层序地层学[J]. 石油与天然气地质,1995,16(2):89-97.
Deng Hongwen. A new school of thought in sequence stratigraphic studies in US: High-resolution sequence stratigraphy[J]. Oil & Gas geology, 1995,16(2):89-97.
- [9] 邓宏文,王洪亮. 层序地层基准面的识别、对比技术及应用[J]. 石油与天然气地质,1996,17(3):177-184.
Deng Hongwen, Wang Hongliang. Identification and correlation techniques of sequence stratigraphic base-levels and their application[J]. Oil & Gas geology, 1996,17(3):177-184.
- [10] 刘亚明,薛良清,杨福忠,等. 印尼J区块层序地层与沉积相特征研究[J]. 西南石油大学学报(自然科学版),2008,30(6):45-49.
Liu Yaming, Xue Liangqing, Yang Fuzhong, et al. Sequence stratigraphy and sedimentary facies characteristics in J Block Indonesia[J]. Journal of Southwest Petroleum University (Science & Technology Edition), 2008,30(6):45-49.
- [11] 王居峰,邓宏文,蔡希源. 准噶尔盆地中部侏罗系层序地层格架[J]. 石油勘探与开发,2005,32(1):23-26.
Wang Jufeng, Deng Hongwen, Cai Xiyuan, et al. Jurassic sequence stratigraphic frames in the Middle Junggar Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2005,32(1):23-26.
- [12] 瞿辉,赵文智. 层序格架在油气勘探中的作用[J]. 石油勘探与开发,2000,27(5):40-43.
Qu Hui, Zhao Wenzhi. The application of sequences framework to oil and gas exploration[J]. Petroleum Exploration and Development, 2000,27(5):40-43.
- [13] Carlos T, Miharwatiman J S, Aisyah A, et al. Redevelopment of rayun oil field(South Sumatra): a seismic success story[C] //IPA99-G-125. Jakarta: Indonesia Petroleum Association, 2000:65-81.
- [14] 朱筱敏,董艳蕾,胡廷惠,等. 精细层序地层格架与地震沉积学研究——以泌阳凹陷核桃园组为例[J]. 石油与天然气地质,2011,32(4):615-624.
Zhu Xiaomin, Dong Yanlei, Hu Tinghui, et al. Seismic sedimentology study of fine sequence stratigraphic framework: a case study of the Hetaoyuan Formation in the Biyang Sag[J]. Oil & Gas geology, 2011,32(4):615-624.

(编辑 高 岩)