

文章编号: 0253-9985(2011)02-0265-09

缅甸 D 区块石油地质特征及勘探潜力

李红^{1,2}, 曹永斌^{1,2}, 王新云¹

(1. 中国石化国际石油勘探开发有限公司, 北京 100728;

2. 中国石化北京温菲尔德石油技术开发有限公司, 北京 100083)

摘要: 缅甸 D 区块位于伊洛瓦底盆地中西部, 主要勘探层系始新统发育东、西两大三角洲沉积体系, 沉积相以三角洲平原-前三角洲亚相以及浅海相为主, 构造演化主要经历了始新世的统一沉降期、渐新世-中新世的差异沉降期和上新世以后的逆冲推覆期 3 个阶段, 形成了南北走向、东西分带的“四隆二凹一斜坡”的构造格局。烃源岩以塔本组的灰色泥岩和煤系泥岩以及朗欣组的暗色泥岩为主, 有机质丰度高, 具有非常好的生烃能力。蓬当组、塔本组和提林组 3 套储-盖组合保证了区域油气的有效聚集和保存。圈闭类型有断层控制的背斜圈闭和砂岩透镜体圈闭两种。烃源岩热演化研究表明, 区域生烃时间、运移方向、储盖组合、圈闭形成等成藏条件配置关系合理, D 区块油气有利富集区主要集中在 3 个构造带上, 分别是 Patolon 背斜带、Mahudaung 背斜带和 Thingadon 复向斜带。

关键词: 石油地质特征; 成藏组合; 有利区带; 勘探潜力; D 区块; 缅甸

中图分类号: TE121.1

文献标识码: A

Petroleum geologic characteristis and exploration potential of Block D in Burma

Li Hong^{1,2}, Cao Yongbin^{1,2}, Wang Xinyun¹

(1. SINOPEC International Petroleum Exploration and Production Company, Beijing 100728, China;

2. Beijing Winfield Oil Technological Development and Service Co. Ltd., SINOPEC, Beijing 100083, China)

Abstract: Block D located in the western-central of Irrawaddy basin in Burma, has two major Eocene deltaic sedimentary systems with one in the east and the other in the west. The main sedimentary facies include delta plain-prodelta and shallow marine facies. Block D experienced three main tectonic evolution phases including the Eocene united subsidence, the Oligocene-Miocene differential subsidence and the post-Pliocene overthrusting. The tectonic framework of Block D is characterized by NS-trending and EW-zoning “four uplifts, two depressions and one slope”. The quality source rocks in Block D are dominated by the Tabyin Formation gray mudstone and coal-seam mudstone, and the Laungshe Formation dark shale. They feature in high organic abundance and high hydrocarbon-generation potential. Moreover, three reservoir-seal combinations in the Pengdang, Kabaw and Tabyin formations provide favorable conditions for effective hydrocarbon accumulation and preservation. There are two trap styles in Block D, including anticline trap controlled by faults and sand lens trap. Study of thermal evolution of source rocks indicates that the timing of hydrocarbon generation, migration, trap formation and reservoir-seal combination is rational. The potential plays of Block D mainly occur in three structural belts including Patolon anticline belt, Mahudaung anticline belt and Thingadon synclinal belt.

Key words: petroleum geologic characteristics, play, favorable zone, exploration potential, Block D, Burma

收稿日期: 2010-08-13; 修订日期: 2011-01-22。

第一作者简介: 李红(1971—)男, 工程师, 现场石油地质监督。

基金项目: 国土资源部科技攻关项目(GTYQQQ2008516)。

D 区块位于缅甸中部第二大城市曼德勒市以西经济相对较为发达的伊洛瓦底江流域,区域面积约 12 384 km²,行政区划属实皆省。其构造位置处于伊洛瓦底盆地中西部,跨越钦敦凹陷和沙林凹陷,包括钦敦凹陷的南端、北纬 22° 凸起和沙林凹陷北端^[1]。伊洛瓦底盆地南北长约 1 600 km,东西宽约 150~200 km,面积约 25.2×10⁴ km²(图 1),是一个以第三系沉积为主的新生代盆地^[2-3]。盆地主要勘探层位经历了三角洲平原—前缘—平原的演化过程(图 2)。图 2 中颜色道用 1~8 八个数字依次表示地层颜色由浅色到深色的变化范围,为无量纲变量。

根据海外油气盆地勘探所取得的成果以及形成的有效勘探方法^[4-8],本文基于缅甸 D 区块的沉积构造特征和石油地质背景,综合利用地质、地震、钻井、测录井、岩心化验以及地球化学等资料,从构造演化、沉积特征、烃源岩、储盖条件和成藏配置关系等多方面,对 D 区块石油地质特征进行分析,明确油气的有利聚集带,探讨其勘探的潜力。

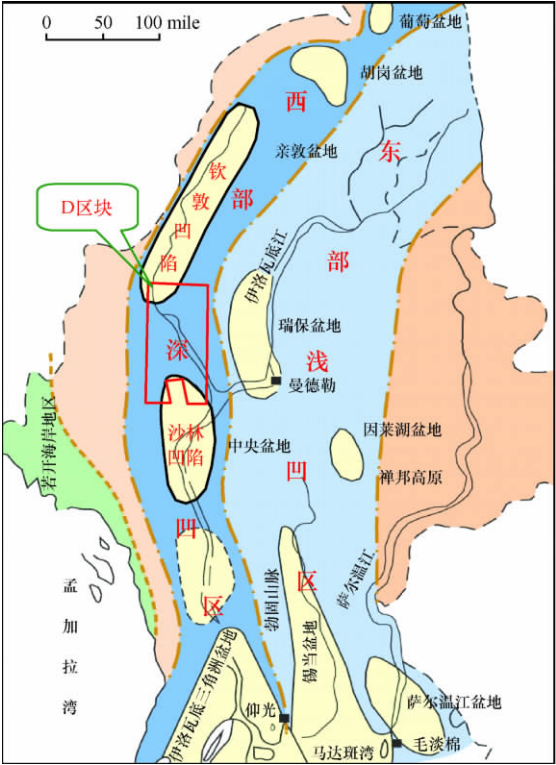


图 1 伊洛瓦底盆地构造单元划分
Fig. 1 Structural units in the Irrawaddy Basin

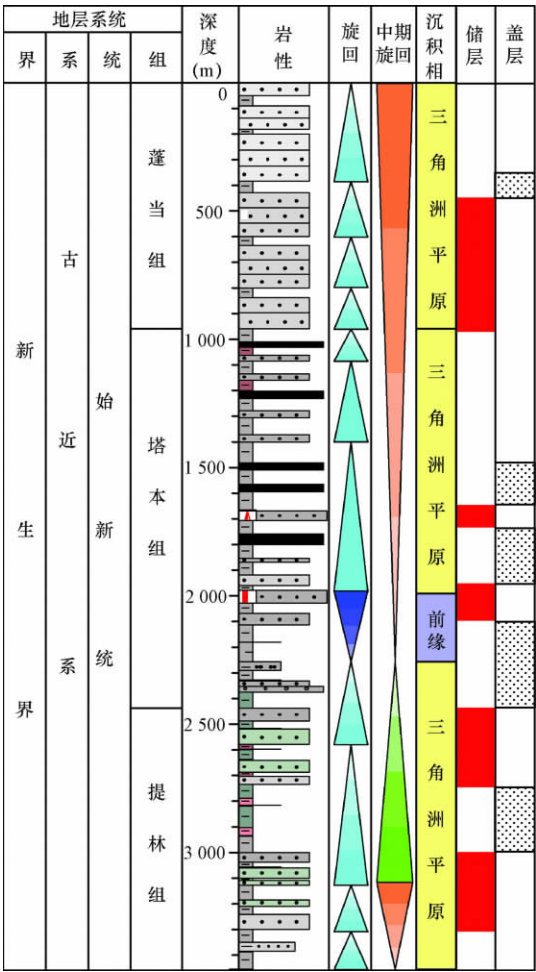


图 2 D 区块沉积演化剖面
Fig. 2 Sedimentary evolutionary profile of Block D

1 区域地质特征

缅甸 D 区块地处伊洛瓦底盆地中西部,在挤压应力场环境下,主要形成了后展式断层相关褶皱的冲断构造样式。受西倾主冲断层控制,该区主要呈现南北走向、东西分带的“四隆二凹一斜坡”的构造格局,自西向东依次为 Gangaw 复背斜带、Htonwaing 复向斜带、Patolon 复背斜带、Thingadon 复向斜带、Mahudaung 复背斜带、Pinlebu 背斜带和 Kani 斜坡带(图 3)。区块地表构造基本与地腹构造一致,向斜宽缓,背斜狭窄。背斜是向斜转折牵引形成的,受控于向斜两翼西倾的逆冲断层,与向斜带没有明显的分界线。这些褶皱冲断构造系以叠瓦状几何结构样式出现^[8]。冲断层的上盘往往残缺不全,最老出露始新统塔本组地层;受两大冲断层控制的断层下盘,往往形成楔形冲断“三角”带。

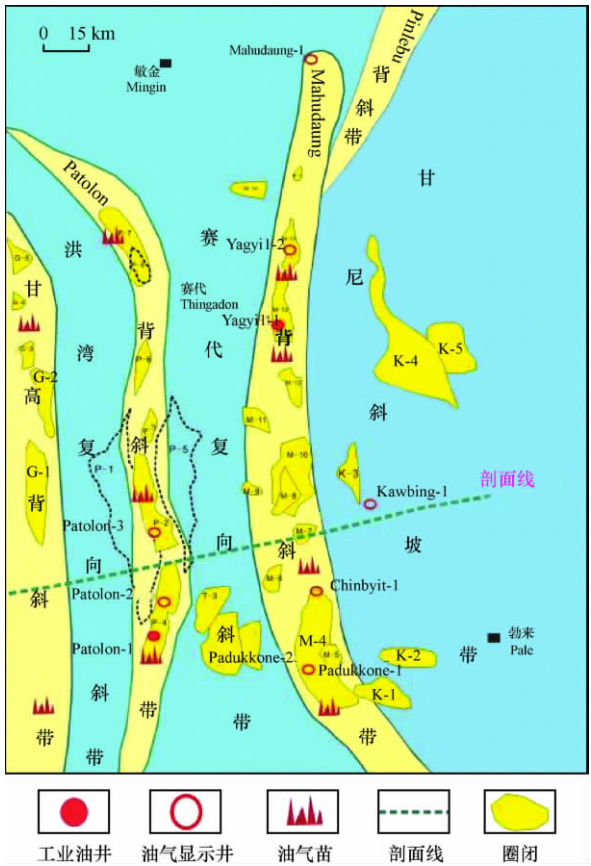


图 3 D 区块区域构造

Fig. 3 Regional structure map of Block D

D 区块的构造演化主要经历了始新世的统一沉降期、渐新世—中新世的差异沉降期和上新世以后的逆冲推覆期 3 个阶段^[9-10],形成了两套区域不整合面。该区构造变形具有“后展式”冲断以及褶皱先成性和多期性的特点(图 4),其变形强度由西向东逐渐减弱。在 D 区块内的两个主要冲

断背斜带中,Mahudaung 背斜带由于早期形成,离西部若开造山带较远,挤压应力相对较弱,构造形变仅次于西部的 Patolon 背斜带;西部的 Patolon 背斜带后期形成,受力较大,因此冲断层下盘变形幅度较大,其下盘形成的圈闭规模和闭合高度亦大。褶皱的形成时间较断层的形成时间早。褶皱在渐新世到中新世晚期开始发育,期间经过了多次叠加。逆冲断层中新世末开始活动,有的现今可能还在活动。

D 区块受东、西双向物源控制,主要勘探层系始新统发育东、西两大三角洲沉积体系,其中又以东部三角洲沉积体系为主,主要发育有三角洲平原—前三角洲亚相以及浅海相沉积(图 5)。提林组沉积时期,在东北、西北部物源的作用下,该区主要为三角洲平原—三角洲前缘亚相,相带呈东西向展布。地层沉积旋回对比表明,提林组可划分为 7 个旋回段,其中的一个旋回段为下降半旋回,其余 6 个旋回段均为上升半旋回,具有向上变细的粒度特征。塔本组沉积时期,发生海侵,物源向东西部退缩,工区主要为三角洲平原—前三角洲亚相以及滨浅海相。塔本组纵向上可分为 5 个旋回段,自下而上第 1、2 旋回段为下降半旋回,岩性为灰—绿灰色泥岩夹薄层细砂岩、粉砂岩,少见煤线;第 3、4、5 旋回段为上升半旋回,以泥岩为主,夹中—薄层细砂岩、煤层,其中第三旋回段上部发育多层煤层。蓬当组沉积时期,区内 22°隆起带初具雏形,发生较大规模的海退,全区以三角洲平原亚相为主,东部沉积体系又可分为北部辫状河三角洲和南部三角洲沉积体系。蓬当组纵向上可分为

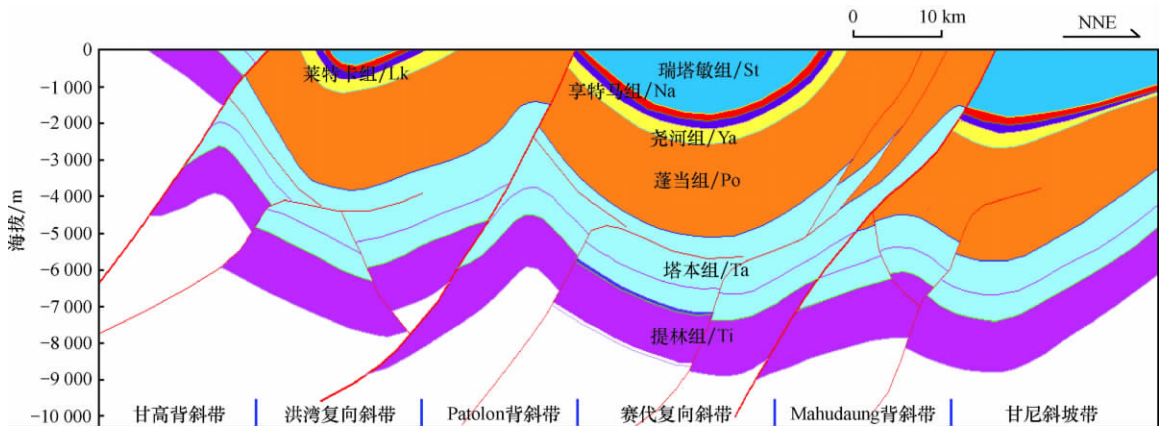


图 4 D 区块的构造演化

Fig. 4 Tectonic evolution of Block D

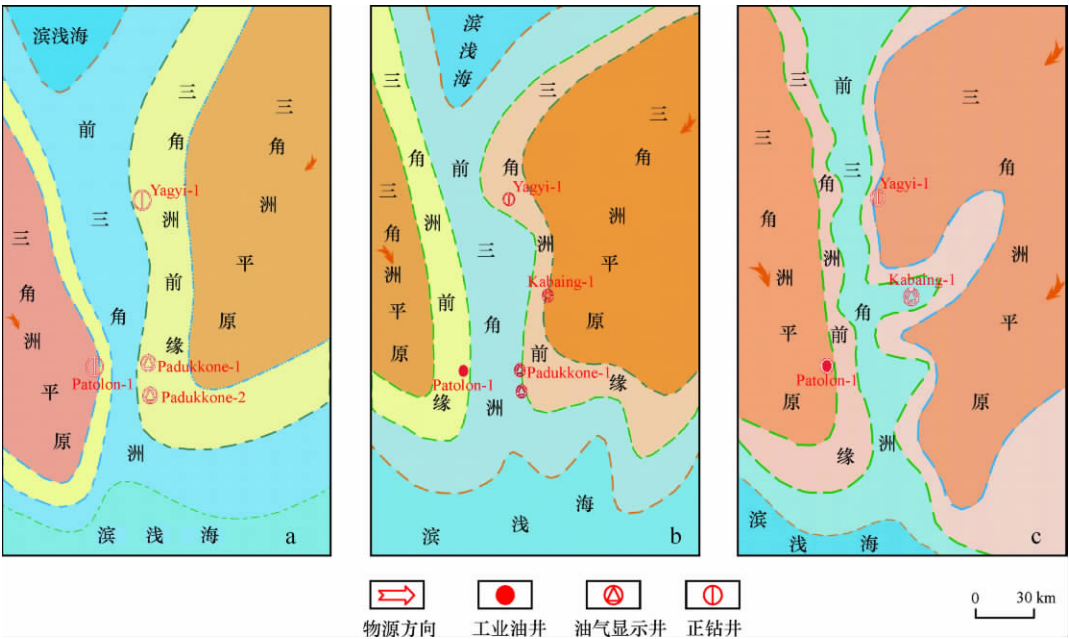


图 5 D 区块不同层系沉积相
Fig. 5 Sedimentary facies of different layers in Block D
a. 提林组; b. 塔本组; c. 蓬当组

6 个旋回段,第 1、2、3、4 旋回段为上升半旋回,下部以大套细砂岩为主夹薄层泥岩,向上砂岩厚度减小、泥质含量增加;第 5 旋回段为下降半旋回,从下往上砂岩厚度增大;第 6 旋回段中发育大量火山角砾岩。

2 石油地质特征

2.1 烃源岩条件

地球化学资料可以对比烃源岩与原油的碳同位素特性,进而分析油气成藏的过程和类型^[11]。D 区块主要生烃凹陷包括钦敦凹陷和沙林凹陷,两个凹陷中发育多套潜在烃源岩,其中两套主力烃源岩层系为塔本组和朗欣组。原油和烃源岩提取物地球化学资料分析表明,塔本组和朗欣组烃源岩与原油间具亲缘关系。图 6 是 Patolon-1 井塔本组埋深 2 015~2 052 m 烃源岩与油砂的甾萜对比。从图中可以看出,两者之间烷烃和碳同位素的分布形态基本相同,特征烷烃(T_s 、 T_m 、奥利烷、伽马蜡烷)和关键碳同位素(C_{27} 、 C_{28} 、 C_{29} 、 C_{30})的峰值和分布特征基本接近。由此可知,储层的原油分别来自两套主力烃源岩层系的运移成藏。

由于原油成熟度明显比露头区烃源岩成熟度高,因此提供油源的母岩应该来自埋深更大的凹陷中部烃源岩。

塔本组属于一套三角洲前缘相沉积,下部岩性为灰色的泥岩夹砂岩组合,上部以煤系泥岩为主。泥岩厚度较大,根据取心井和相关测井曲线可以判断全区从 2 420~2 660 m 都有分布;暗色泥岩累计厚 183 m,连续厚度可以达到 29.5 m。有机质类型以 I 型和 II 型为主。根据塔本组 54 个岩心的数据统计分析,塔本组生油岩有机质丰度较高,为该区发育比较好的烃源岩(表 1)。朗欣组属于一套浅海相沉积,有机质类型以 I 型为主,生油岩岩性为暗色泥岩。根据朗欣组 38 个岩心的数据统计分析,朗欣组为中等烃源岩级别(表 1)。

2009 年野外地质调查和油气藏调研表明,D 区块及邻区油气显示丰富,地面油苗众多,油气苗邻近生烃凹陷,平面上沿构造带线性展布,分别位于 D 区块西缘、沙林凹陷北部、Mahudaung 构造带和 Patolon 构造带。此外,Patolon-1 井和 Yagyi-1 井的钻探成功进一步表明 D 区块及邻区具有较好的油源条件。

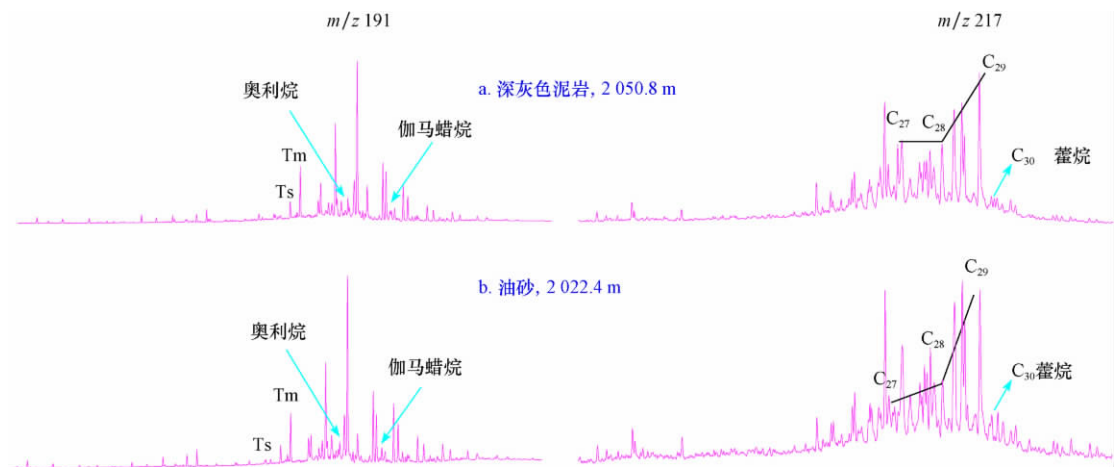


图 6 Patolon-1 井塔本组烃源岩与油砂岩、萘质量色谱对比

Fig. 6 MS correlation of sterane and terpane of oil sand with that of source rocks in the Tabyin Fomation of Well Patolon-1

表 1 塔本组和朗欣组烃源岩层地化资料对比

Table 1 Comparison of geochemical characteristics between the source rocks in the Tabyin and Laungshe formations

层位	有机质类型	有机碳含量, %	氯仿沥青“A”含量, %	生烃潜能/($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)
塔本组	I 型、II 型	0.82 ~ 1.48 (1.26)	0.08 ~ 0.20 (0.12)	1.30 ~ 2.90 (2.10)
朗欣组	I 型	0.59 ~ 1.91 (0.95)	0.01 ~ 0.03 (0.02)	0.24 ~ 1.14 (0.48)

注: 括号内为平均值。

2.2 储-盖组合

D 区块主要勘探层位为始新世地层,其中蓬当组、塔本组和提林组是储层发育的主要层段,具有砂岩层数多、单层厚度大的特点。蓬当组储层厚度一般在 300 m 以上,单层厚度一般为 0.5 ~ 20 m,属于中低孔-特低渗储层;塔本组储层厚度一般在 400 m 以上,单层厚度一般 1 ~ 10 m,属于中高孔-低渗储层;提林组储层厚度在 100 m 左右,单层厚度一般为 1 ~ 10 m,属于中孔-低渗储层(表 2)。

D 区块 3 个主力储层的岩性以岩屑砂岩为主,成分成熟度低,平面上从东、西两侧向中部结构成熟度逐渐增高,反映了该区具有东、西双向物

源。提林组沉积时期,以东部物源为主,主要发育三角洲平原-前缘亚相;塔本-蓬当组沉积时期,受东、西两侧物源影响,发育三角洲平原-前缘亚相和滨浅海亚相。储层以粒间溶孔为主,物性较好,总体呈现中孔、低渗的特征;伊/蒙混层粘土矿物含量较高,具有较强的水敏性和酸敏性及中等-偏弱碱敏的特征。依据岩心的镜下分析和铸体薄片的研究发现,蓬当组属于早成岩晚期阶段,塔本组属于早成岩晚期-中成岩早期阶段,提林组属于中成岩早期阶段,溶蚀作用成为储层物性的主要影响因素。综上所述可以看出,纵向上蓬当组、塔本组中下部和提林组均发育有比较好的储层,平面上从工区中部向东、西两侧储层有不断变好的趋势。提林组以中孔-低渗储层为主,塔本组发育高孔-

表 2 D 区块主要储层特征参数

Table 2 Main characteristic parameters of reservoirs in Block D

层位	岩心个数 (孔/渗)	地层厚度/ m	储层厚度/m		砂岩与 地层厚 度比	孔隙度, %			渗透率/($10^{-3} \mu\text{m}^2$)		
			最大单 层厚度	累积 厚度		最小值	最大值	平均值	最小值	最大值	平均值
蓬当组	58/46	956	28.0	344	0.73	6.8	16.2	12.4	0.015	6.480	2.535
塔本组	67/52	1 881	34.5	424	0.30	21.6	24.3	22.9	1.020	9.010	3.920
提林组	51/36	948	21.5	103	0.44	7.6	18.1	13.5	0.014	24.100	6.695

中低渗储层,蓬当组以低孔-低渗储层为主。

钻井揭示,D 区块主要存在 3 套储-盖组合。一是塔本组中下部砂岩-塔本组中上部煤系泥岩和三角洲前缘亚相泥岩储-盖组合。该套组合主要由塔本组下部泥岩提供烃源,具有良好的含油气性,已得到 Patolon-1 井钻探证实。该井位于 Patolon 构造①号圈闭南高点,主力含油层位是提林组和塔本组。从岩心分析资料可以看出,塔本组平均孔隙度为 23.8%、渗透率为 $6.85 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,提林组平均孔隙度为 22.4%、渗透率为 $4.38 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,属于中高孔-低渗储层。录井资料表明,两个储层段有良好的油气显示(40 层,91.29 m)。依据测井资料,塔本组共解释油层 6 层,总计 57.2 m;而提林组中下部以水层为主,共解释油水层 3 层,总计 23.3 m。其中,对 2 360 ~ 2 480 m 井段共计 5 个小层进行了完井测试。试油结果显示,共有油气层 4 层,干层 1 层,平均日产油 9.76 m^3 ,日产气 $5.86 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。二是提林组细砂岩-提林组中部三角洲平原亚相泥岩和下部三角洲前缘亚相泥岩储-盖组合。该套组合主要由朗欣组提供烃源,目前已见到荧光显示。三是蓬当组中下部砂岩-蓬当组上部河道间或河漫沉积泥岩储-盖组合。该组合通过断层沟通下部烃源岩层,也具有较好的含油气性,并被 Yagyi-1 井钻

探证实。该井位于 Mahudaung 复背斜带 M-12 圈闭上,主力含油层位是塔本组和蓬当组。从岩心分析资料可以看出,塔本组平均孔隙度为 14.52%、渗透率为 $2.21 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,提林组平均孔隙度为 13.18%、渗透率为 $0.34 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,属于中孔-特低渗储层。录井资料表明,该井没有明显的油显示,气显示较活跃(114 层,335.95 m)。全井测井共划分储层 229 层,解释了气层 21 层,差气层 4 层,含气层 9 层,可疑气层 5 层,共计 39 层,395.70 m。通过对 4 个层段的完井测试可以得出,平均日产气量为 50 m^3 。

2.3 圈闭类型

根据区块构造解释成果,结合地震剖面 and 钻井资料研究发现,缅甸 D 区块主要发育构造和岩性两种圈闭类型。其中,构造圈闭主要以背斜、断背斜或者断块式构造油气藏为主,全区自东向西广泛分布,是 D 区块最主要的圈闭类型;岩性圈闭以砂岩透镜体油气藏为主,主要分布在构造边部。图 7 是 Patolon 背斜带上过 Patolon-1 井的断块式构造油气藏模式。从图中可以看出,Patolon 背斜带被断层切割形成断层封闭的背斜油气藏,主力储层为塔本组的岩屑砂岩,断层上盘和断层下盘均以构造油气藏为主;断层下盘深部朗欣组可能存在油

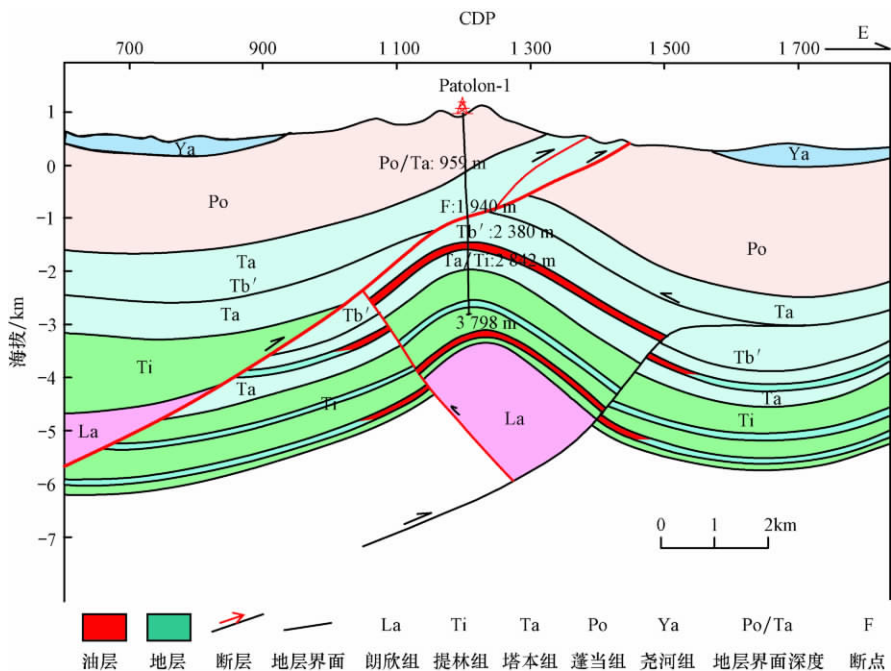


图 7 Patolon 背斜带断块式构造油气藏剖面

Fig. 7 Profile showing structural oil/gas reservoirs of fault-block type in the Patolon anticlinal zone

气藏,是下一步勘探的重点方向。

2.4 成藏配置关系

油气藏的形成是一个非常复杂的过程,只有当生、储、盖、圈、运、保等各个因素在时间和空间上搭配合理时才能最终形成油气藏^[12-16]。因此,成藏配置关系的研究对于解剖油气藏的形成、预测有利区带的分布和确定下一步勘探的方向有着非常重要的指导作用。缅甸 D 区块烃源岩热演化研究表明,塔本组下部烃源岩在早中新世进入成熟期,晚中新世上部烃源岩也进入成熟期;下部烃源岩经历了以液态烃为主的排烃阶段后,达到高成熟演化阶段;直至 5 Ma,受区域构造运动的影响,D 区块大幅度抬升,塔本组烃源岩的热演化程度仍停留在 5 Ma 左右。朗欣组下部烃源岩在中始新世进入成熟期;晚始新世上部烃源岩也进入成熟期,下部烃源岩经历了以液态烃为主的排烃阶段后,达到高成熟演化阶段;目前,朗欣组烃源岩已经完成热演化(图 8a)。依据烃源岩热演化过程,从 D 区块含油气系统的分析中可以看出,区内主要油气聚集带和圈闭在始新世末已经基本形成,基本上与油气大量生成、运移的时间同步,为油气藏的最终形成提供了必要条件(图 8b)。蓬当组和提林组主要形成下生上储型油气藏,而塔本组则以自生自储型油气藏为主。区内成藏配置关系合理,容易形成比较好的油气聚集带。

3 有利区带预测和勘探潜力分析

在已有地震资料的基础上,以现代山前构造带断层相关褶皱理论为指导^[17-20],对缅甸 D 区块开展了多轮精细构造解释和评价工作,明确了 D 区块“四隆二凹一斜坡”的构造格局。结合烃源岩、储-盖层组合、圈闭类型和成藏配置关系的研究,明确了研究区主要的油藏类型以断层控制的背斜为主。以区域构造背斜带为依据预测油气富集的有利区带,主要集中在以下 3 个方面。

1) Patolon 背斜带

该区带位于 Htonwaing 复向斜带和 Thingadon 复向斜带之间,走向由近南北向转为北北西向和北北东向。深层背斜形态比较完整,在背斜基础上有数个次高点,圈闭形态较好。该带跨越钦敦凹陷和沙林凹陷,所处位置及构造形态(“背驮式”构造)与沙林凹陷和钦敦凹陷边缘的其他油气田类似,试油结果获得高产油气流,综合地质评价认为该区带为油气富集的有利区带。

2) Mahudaung 背斜带

该区带位于 Thingadon 复向斜带与东部斜坡带之间,向北延伸至钦敦凹陷东南缘倾没,向南沿沙林凹陷东缘转为北北西向。该区带局部构造类型较为丰富,有断鼻、背斜、断背斜;除构造形态落实外,储-盖组合也比较好,Pondaung 组砂岩作为主要

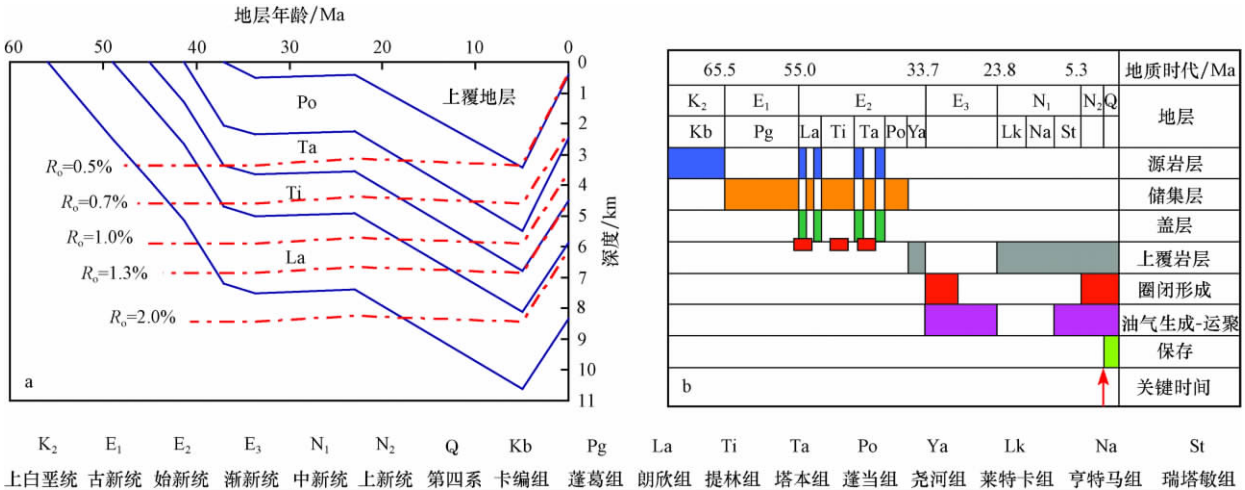


图 8 D 区块成藏配置关系
Fig. 8 Reservoir-seal combinations of Block D
a. 埋藏-成烃史; b. 含油气系统

储层物性好、厚度大。Yagyi-1井钻探证实,该带断层上盘 Pondaung 组具有一定的储集性能和含油性,是下一步勘探的有利区带。

3) Thingadon 复向斜带

该区带位于 Patolon 背斜带和 Mahudaung 背斜带之间,处于始新统生烃向斜的中心,发育多个断鼻、断块型局部圈闭。该带埋深比较适中,主力储层塔本组在 2 800 ~ 3 200 m 都有发育,为较有利构造带,是拓展勘探领域的有利区带。

4 结论

缅甸 D 区块石油地质条件优越,始新统塔本组的灰色泥岩和煤系泥岩以及朗欣组的暗色泥岩有机质丰度高,具有非常好的生烃能力。蓬当组、塔本组和提林组是该区储层发育的主要层段,具有砂岩层数多、单层厚度大的特点,总体上储层物性呈现中高孔-低渗的特征;3套储-盖组合保证了区域油气的有效聚集和保存,是油气藏形成的必要条件。D 区块主要发育构造和岩性两种圈闭类型:构造圈闭以断层控制的背斜油气藏为主,全区自东向西广泛分布;岩性圈闭以砂岩透镜体油气藏为主,主要分布在构造边部。烃源岩热演化研究表明,区域生烃时间、运移方向、储-盖组合、圈闭形成等成藏条件配置关系合理,形成了良好的生、储、盖组合,容易形成比较好的油气富集区。

预测 D 区块油气富集的有利区带主要集中在 3 个构造带上,分别是 Patolon 背斜带、Mahudaung 背斜带和 Thingadon 复向斜带,在这些有利区带上有 I 类圈闭 10 个,II 类圈闭 14 个。其中 P-2 和 M-15 两个圈闭勘探风险较小,勘探潜力巨大,是下一步勘探的重点目标区域;另外 P-8、T-1、M-4、M-10、G-2、P-4、P-5 等 7 个圈闭地质风险评价也比较小,可以作为拓展勘探领域的有利区带。

参 考 文 献

- [1] Wandrey C J. Eocene to Miocene composite total petroleum system, Irrawaddy-Andaman and north Burma geologic provinces, Myanmar [M]. Reston, Virginia: US Geological Survey, 2006: 21-52.
- [2] Evans P, Sansom C A. The geology of British oilfields 3: the oilfields of Burma [J]. Geological Magazine, 1941, 78(3): 321-350.
- [3] Tainsh H R. Tertiary geology and principal oil fields of Burma

- [J]. AAPG Bulletin, 1950, 34(4): 456-461.
- [4] 谢寅符, 季汉成, 苏永地, 等. Oriente-Maranon 盆地石油地质特征及勘探潜力 [J]. 石油勘探与开发, 2010, 37(1): 51-56. Xie Yinfu, Ji Hancheng, Su Yongdi, et al. Petroleum geology and exploration potential of Oriente-Maranon Basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 2010, 37(1): 51-56.
- [5] Gonzaga F G. Petroleum geology of the Amazonas Basin, Brazil: modeling of hydrocarbon generation and migration [J]. AAPG Memoir, 1989, 73(4): 159-174.
- [6] Genik G J. Petroleum geology of Cretaceous-Tertiary Rift Basin in Niger, Chad, and Central African Republic [J]. AAPG Bulletin, 1993, 77(8): 1405-1434.
- [7] 郑俊章, 周海燕, 黄先雄. 哈萨克斯坦地区石油地质基本特征及勘探潜力分析 [J]. 海外勘探, 2009, 16(2): 80-85. Zheng Junzhang, Zhou Haiyan, Huang Xianxiong. Basic Characteristics of petroleum geology and exploration potential analysis in Kazakhstan [J]. Oversea Exploration, 2009, 16(2): 80-85.
- [8] 刘景东, 蒋有录. 根据储层成岩特征差异性判断浅层油气藏油气充注时间——以哈萨克斯坦 A 油田为例 [J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(3): 315-320. Liu Jingdong, Jiang Youlu. Timing of hydrocarbon charging in shallow reservoir by differences of diagenetic characteristics of reservoir—an example from an oilfield of Kazakhstan [J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(3): 315-320.
- [9] Verma R K, Mukhopadhyay M, Ahluwallia M S. Seismicity, gravity, and tectonics of northeast India and northern Burma [J]. Bulletin of the Seismological Society of America, 1976, 66(5): 1683-1694.
- [10] Hsin Yiling, Chandra R, Karkare S G. Tectonic significance of Eocene and Cretaceous radiolaria from South Andaman Island, north-east Indian Ocean [J]. Island Arc, 1996, 5(2): 166-179.
- [11] 张水昌. 我国有机地球化学研究现状、发展方向和展望——第十二届全国有机地球化学学术会议部分总结 [J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(3): 265-270. Zhang Shuichang. Status, trend and outlook of organic geochemistry research in China—a summary of the Twelfth National Conference on Organic Geochemistry [J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(3): 265-270.
- [12] 何家雄, 夏斌, 王志欣, 等. 南海北部边缘盆地西区油气运聚成藏规律与勘探领域剖析 [J]. 石油学报, 2006, 27(4): 8-14. He Jiaxiong, Xia Bin, Wang Zhixin, et al. Hydrocarbon accumulation and exploratory orientation in the western marginal basin of the northern South China Sea [J]. Acta Petrolei Sinica, 2006, 27(4): 8-14.
- [13] Xu Huaimin, Xu Zhaohui, Zhang Shanwen, et al. Layer structure, petroleum accumulation system and characteristic of subtle reservoir of continental basins in eastern China: taking Jiyang depression for example [J]. Science in China (Series D: Earth Sciences), 2008, 51(2): 146-155.

- reservoirs [J]. Oil & Gas Geology 2007 28(3):315-319.
- [12] 岑芳, 赖枫鹏, 姜辉, 等. 改进定容含硫气藏储量计算方法[J]. 石油与天然气地质 2007 28(3):320-323.
Cen Fang, Lai Fengpeng, Jiang Hui, et al. An improved calculation method for reserve of constant-volume sour gas reservoirs [J]. Oil & Gas Geology 2007 28(3):320-323.
- [13] 冉启佑, 胡向阳, 赵庆飞, 等. 新区经济可采储量计算方法[J]. 石油勘探与开发 2004 31(5):83-86.
Ran Qiyu, Hu Xiangyang, Zhao Qingfei, et al. Calculation of the economic recoverable reserves in the undeveloped area [J]. Petroleum Exploration and Development 2004 31(5):83-86.
- [14] 冉启佑, 赵庆飞, 方开璞, 等. 水驱油田剩余经济可采储量计算方法[J]. 石油与天然气地质 2005 26(3):379-383.
Ran Qiyu, Zhao Qingfei, Fang Kaipu, et al. Calculation methods of remaining economic recoverable reserves in waterflooding oilfields [J]. Oil & Gas Geology 2005 26(3):379-383.
- [15] 张玲, 张建荣, 庄丽. 储量价值评估在油田勘探效益分析中的应用[J]. 油气地质与采收率, 2008 15(1):107-110.
Zhang Ling, Zhang Jianrong, Zhuang Li, et al. Application of reserves value evaluation to the analysis of exploration benefit in oilfields [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2008 15(1):107-110.
- [16] 张伦友, 彭宽军. 石油天然气储量价值评估方法研究[J]. 天然气勘探与开发 2005 28(3):69-72.
Zhang Lunyou, Pen Kuanjun. The research of estimation method in the reserves value of oil and gas [J]. Gas Exploration and Development, 2005 28(3):69-72.

(编辑 张亚雄)

(上接第264页)

- Zhang Qinglong, Ge Rongfeng, Zhao Liwen, et al. Structural evolution and model of hydrocarbon accumulation in buried hills in the central Liaohe Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment 2010 32(3):211-217.
- [16] 蔡东升, 罗毓晖, 武文来, 等. 渤海浅层构造变形特征、成因机理与渤中坳陷及其周围油气富集的关系[J]. 中国海上油气(地质) 2010 15(1):35-43.
Cai Dongsheng, Luo Yuhui, Wu Wenlai, et al. Shallow tectonic deformation and its relationship to hydrocarbon enrichment in Bozhong depression and adjacent areas, Bohai Bay Basin [J]. China offshore Oil and Gas 2010 15(1):35-43.
- [17] 邓运华. 郯庐断裂带新构造运动对渤海东部油气聚集的控制作用[J]. 中国海上油气(地质) 2010 15(5):301-305.
- Deng Yunhua. Control of the new tectonism along tancheng-Lujiang fracture zone on hydrocarbon accumulation in the eastern Bohai sea [J]. China offshore Oil and Gas 2010 15(5):301-305.
- [18] 范昌育, 王震亮, 李萍. 新构造运动对东濮凹陷北部古近系烃源岩生烃的影响及其对浅层油气成藏的意义[J]. 石油与天然气地质 2010 31(3):386-392.
Fan Changyu, Wang Zhenliang, Li Ping. Influence of Neotectonics on hydrocarbon generation in the Paleogene source rocks of the northern Dongpu Depression and its implications for the forming of oil/gas pools in shallow strata [J]. Oil & Gas Geology, 2010 31(3):386-392.

(编辑 高岩)

(上接第272页)

- [14] 谭锋奇, 李洪奇, 武鑫, 等. 砾岩油藏水淹层定量识别方法研究——以克拉玛依油田六中区克下组为例[J]. 石油与天然气地质 2010 31(2):154-162.
Tan Fengqi, Li Hongqi, Wu Xin, et al. Study of quantitative identification methods to conglomerate reservoir waterflooded zone—an example of Kexia Group reservoir of the Sixth Central Block in Karamay oilfield [J]. Oil & Gas Geology, 2010 31(2):154-162.
- [15] Welte D H, Yukler M A. Petroleum origin and accumulation in basin evolution—a quantitative model [J]. AAPG Bulletin, 1981 65(8):1387-1396.
- [16] Siddiqui F I, Lake L W. A dynamic theory of hydrocarbon migration [J]. Mathematical Geology 1992 24(3):305-327.
- [17] 邵雨, 陈伟, 张伯友. 断层相关褶皱理论在准噶尔盆地南缘山前带构造研究的应用[J]. 地球科学与环境学报 2005, 27(1):26-29.
- Shao Yu, Cheng Wei, Zhang Boyou. Application study of the piedmont structure zone by fold theories related to fault in the southern margin of the Juggar Basin [J]. Journal of Geoscience and Environment 2005 27(1):26-29.
- [18] Storti F, Salvini F, McClay K. Fault-related folding in sandbox analogue models of thrust wedges [J]. Journal of Structural Geology 1997 19(3):583-602.
- [19] 何登发, Suppe J, 贾承造. 断层相关褶皱理论与应用研究新进展[J]. 地学前缘 2005 12(4):353-364.
He Dengfa, Suppe J, Jia Chengzao. Application and new progress of fold theories related to fault [J]. Geoscience Front, 2005 12(4):353-364.
- [20] Suppe J. Geometry and kinematics of fault-bend folding [J]. American Journal of Science 1983 28(3):684-721.

(编辑 李军)