

## 印度尼西亚库泰盆地油气地质特征及勘探方向

张强, 吕福亮, 毛超林, 范国章, 王彬, 王雪峰

(中国石油杭州地质研究院)

**摘要** 库泰盆地是印度尼西亚最大、最深的第三系含油气盆地,也是该国最主要的产油气盆地。盆地经历了断陷期、拗陷期和反转期三个发育阶段,充填的第三系沉积物厚度达 14 km。盆地发育四套烃源岩,其中,中中新统三角洲平原煤和三角洲前缘碳质泥岩是滨浅海区有效烃源岩,上中新统富含碳质碎屑油积岩是深水区有效烃源岩;油气纵向上主要富集于中中新统、上中新统及上新统,平面上主要富集于背斜构造中。综合分析认为,深海平原区上中新统斜坡扇、盆地扇砂岩是下库泰盆地潜在勘探领域,渐新统—下中新统是三马林达复背斜带有利勘探领域,始新统盆地边缘上超尖灭砂体是上库泰盆地潜在勘探领域,始新统—中新统台地生物礁是库泰盆地深层潜在勘探领域。

**关键词** 印度尼西亚; 库泰盆地; 油气地质特征; 勘探潜力; 含油气系统

中图分类号: TE111.1

文献标识码: A

### 1 概况

印度尼西亚库泰盆地(Kutai Basin)位于加里曼丹岛的东部,包括望加锡海峡之下的滨外地区,面积约  $27 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,第三系沉积物厚达 14 km,是印度尼西亚最大、最深的第三系含油气盆地。盆地包括陆上和海上两部分,其中陆上面积约  $11 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,海上面积约  $16 \times 10^4 \text{ km}^2$  (水深小于 500 m 的海域面积约  $9.3 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,水深大于 500 m 的海域面积约  $6.7 \times 10^4 \text{ km}^2$ )。盆地北部以芒卡利哈(Mankalihah)山为界,将其与打拉根(Tarakan)盆地相隔;向东延伸至望加锡海峡深水区;南由阿当(Adang)断层将其与默拉图斯(Meratus)山、巴里托(Barito)盆地和 Paternoster 台地分开;西北以 Kuching 凸起为界;在西面和西南面,中加里曼丹将其与默拉维(Melawi)盆地和 Schwaner 凸起隔开(图1)。三马林达复背斜带将盆地分成三个带:上库泰盆地(Upper Kutai Basin)、三马林达复背斜带和下库泰盆地(Lower Kutai Basin),其中下库泰盆地聚集了库泰盆地几乎所有油气发现<sup>[1]</sup>(图2)。截至 2009 年底共发现 110 个经济可采油气田(单个油

田达到最小经济探明储量)<sup>[2]</sup>,探明储量 15 350 MMboe(百万桶油当量),其中石油 3 430 MMbbl(百万桶)、凝析油 940 MMbbl、天然气 65.9 Tcf(万亿立方英尺),油气比为 1:2.5。

库泰盆地的勘探,虽然始于 19 世纪末,但直至 20 世纪 60 年代才由于国外大型石油公司的进入而

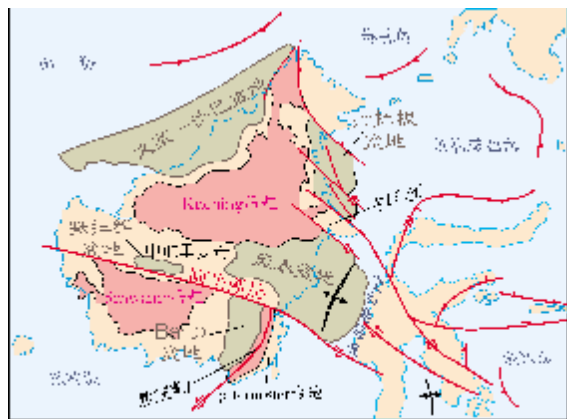


图1 库泰盆地位置图

收稿日期: 2012-5-15; 改回日期: 2012-09-14

张强: 1982 年生, 硕士, 工程师, 2009 年毕业于中国石油大学(北京)矿产普查与勘探专业。现主要从事油气藏形成与分布方面的研究工作。通讯地址: 310023 杭州市西溪路 920 号; 电话: (0571) 85225085

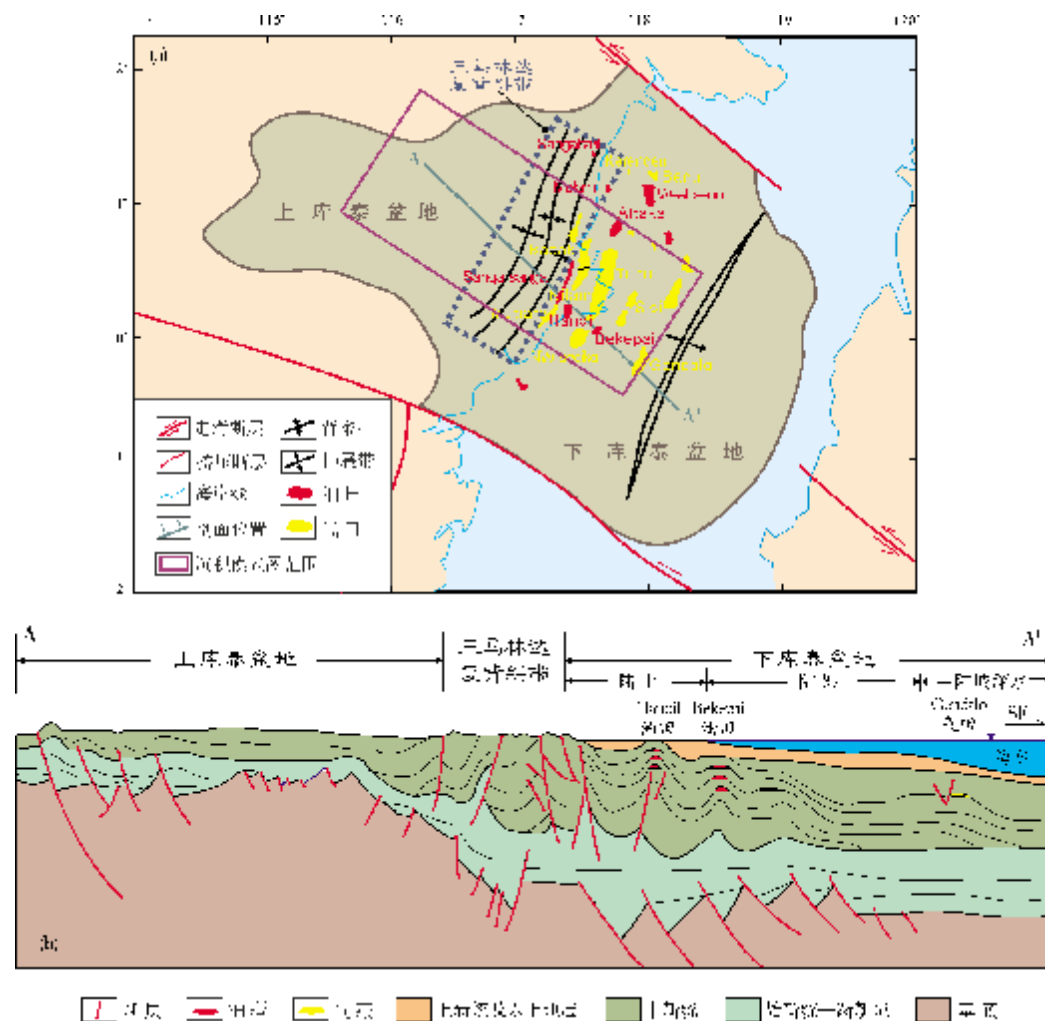


图2 库泰盆地油气田分布(a)及地质剖面(b)(据文献[1],有修改)

开始真正带动了该盆地勘探。因现今盆地区块被各石油公司所登记,加之盆地勘探活动主要集中于下库泰盆地,对上库泰盆地研究较少,故盆地缺乏整体的石油地质研究,加上现今油气发现及所有油气产量都来自中中新统及以上的上部层系,由此也缺乏对盆地深部油气成藏的认识。由于库泰盆地成藏条件较好的区块已被国外大型石油公司所登记,所以,对于我们来说,对整个盆地石油地质的系统研究,特别是对深层及上库泰盆地的油气成藏条件分析及勘探方向优选,就显得尤为重要。

## 2 盆地勘探历程

库泰盆地,于19世纪末(1897年),在Sanga Sanga背斜构造上钻探发现了油气,核实其最终探明

储量达332.6MMboe。随后几十年,在该构造带及相邻构造带进行了钻探,但由于当时油气勘探理论及钻探技术都较落后,如找油主要依据野外油苗,且钻井深度最大只有950m,致使在该地区一直无重大发现。

从1940年开始,库泰盆地勘探完全处于停滞状态,直到20世纪60年代,印度尼西亚政府为振兴石油工业,出台了一系列优惠政策以吸引国际石油公司进入该国进行油气勘探,此时库泰盆地勘探才步入正轨。在国际石油公司先进勘探理论及勘探技术指导下,随后十多年库泰盆地迎来了勘探的黄金期(图3),在盆地的陆上及滨海区陆续有大批大型、特大型油气田被发现。如Unocal石油公司1970年发现了探明储量达1446MMBoe的Attaka油田,Huffco石油公司于1972年和1974年分别发现

了探明储量达1 312.24 MMboe的Badak油田和996 MMBoe的Nilam油气田,Total石油公司于1975年和

1977年分别发现探明储量达1 297 MMBoe的Handil油田和探明储量达2 998.49 MMBoe的Tunu气田。

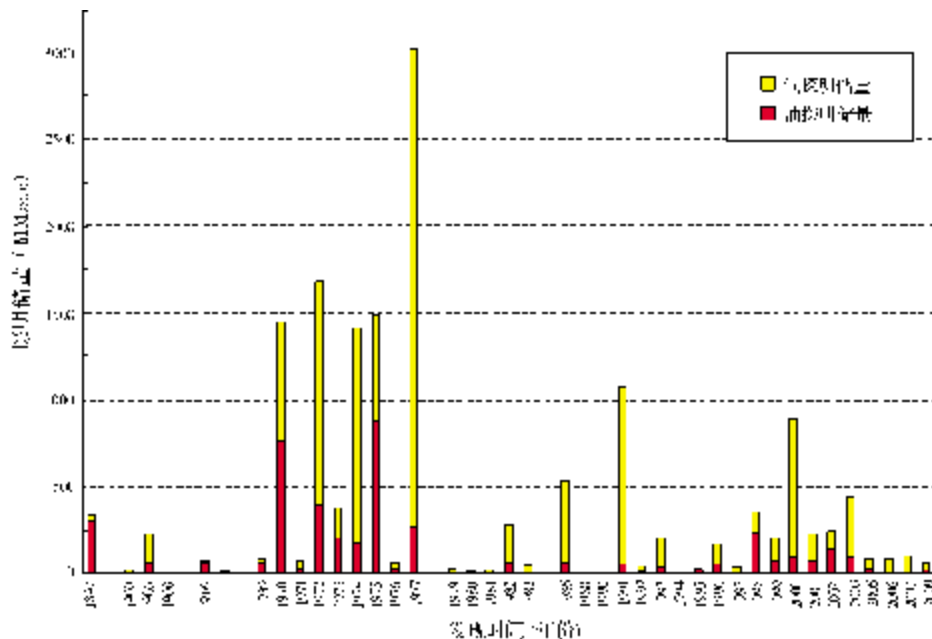


图3 库泰盆地油气发现历程

从1982年至1990年,库泰盆地的油气发现慢慢趋缓。在这期间,Union石油公司于1982年发现探明储量达194MMboe的Kerenden 1 油气田;Total石油公司于1986年发现储量达523 MMboe的Sisi-1油气田。除此之外,整体无重大发现。

进入21世纪,库泰盆地勘探逐渐向深水发展。2001年,在水深963m处,发现West Seno气田,地质储量为690 MMBoe,具有里程碑意义<sup>[3-4]</sup>。原来认为深水区域缺乏烃源岩发育,随着该气田的发现,立即掀开了库泰盆地勘探的新局面<sup>[5]</sup>。至2008年,短短几年间,库泰盆地深水区陆续发现探明储量约2800 MMboe。

### 3 盆地构造演化及沉积充填

库泰盆地的演化可分为三个主要阶段:始新世断陷期、渐新世—早中新世拗陷期及中中新世—现今反转(挤压)期<sup>[6]</sup>。断陷早期以陆相沉积为主,断陷晚期及拗陷期以半深海—深海沉积为主,反转期以三角洲沉积为主。通过文献资料发现,库泰盆地地层名称相当紊乱,往往同一套地层有三个以上名字,为便于统一,本文以下涉及到地层名称时统一用年代地层单位。

#### 3.1 断陷期

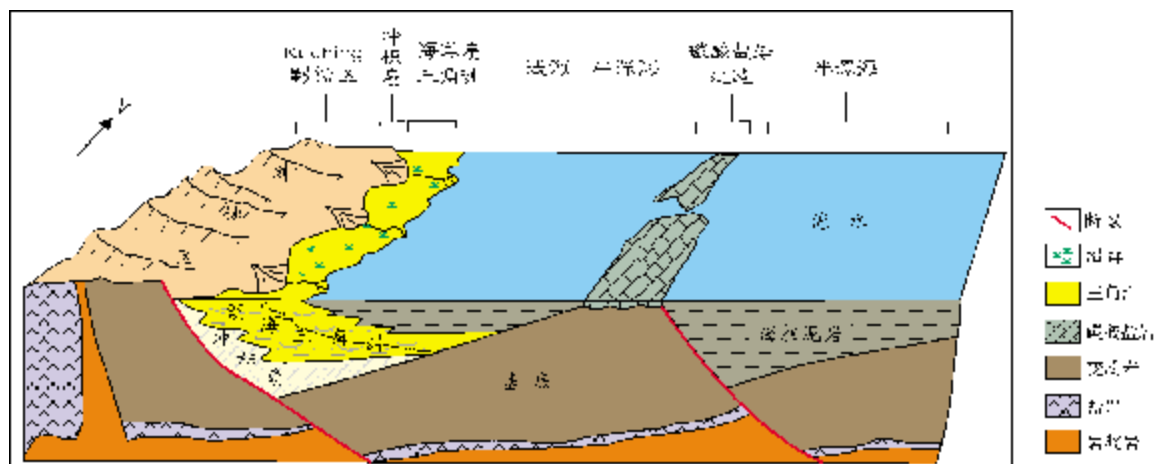
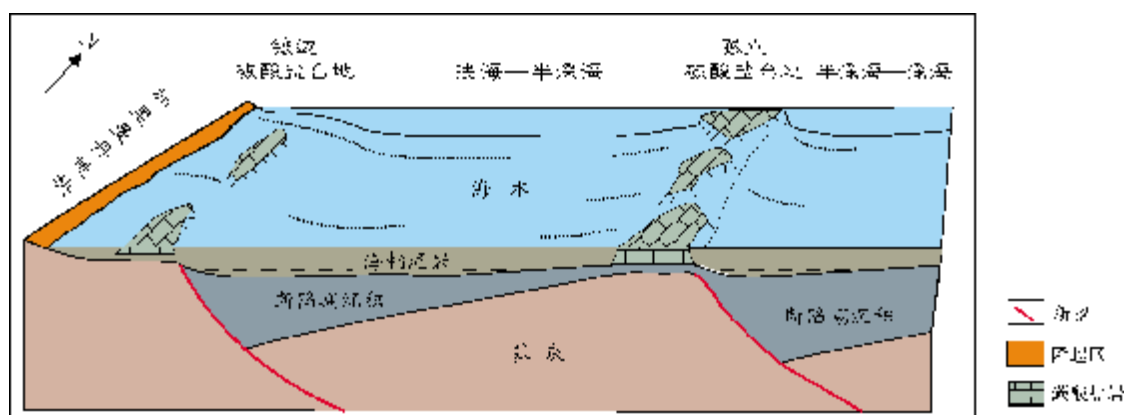
始新世早期,在太平洋板块、印澳板块和东南亚板块聚敛的影响下,东巽他大陆分裂,在前第三纪巽他克拉通内部及其附近形成了裂谷型库泰盆地。始新世早期盆地主要为陆相沉积,以粗粒河流扇三角洲沉积为主。随后盆地快速沉降,海水入侵,在盆地西部以河流、浅海扇三角洲沉积为主,沉积物源主要来自西北部Kuching带,盆地东部进入半深海—深海沉积环境,在局部高部位发育碳酸盐台地<sup>[7-10]</sup>(图4)。

#### 3.2 拗陷期

始新世晚期至渐新世,伴随望加锡海峡张开及东加里曼丹挤压应力停止,库泰盆地进入拗陷阶段。盆地以半深海—深海沉积环境为主,在局部隆起区发育碳酸盐台地(图5),在此期间主要沉积了巨厚海相页岩<sup>[7-10]</sup>。

#### 3.3 反转期

中新世早期,澳大利亚板块北西向向欧亚板块聚敛,加里曼丹地块南缘处于挤压应力场中,同时南

图4 库泰盆地始新世沉积模式图<sup>[7-8]</sup>(图解所包含范围见图2a)图5 库泰盆地早渐新世—晚渐新世沉积模式图<sup>[7-8]</sup>(图解所包含范围见图2a)

沙地块向南与加里曼丹地块碰撞,加里曼丹地块普遍造山,盆地西北部Kuching凸起的抬升造成盆地内的海退,广海沉积范围缩小,同时受挤压应力及早期地层的重力滑脱作用,盆地开始回返。此时西北面Kuching凸起仍然是盆地的主要物源区,向盆地提供粗碎屑。由于沉积物供给超过盆地沉降,沉积中心向东迁移,滨海相沉积向东扩展,河流—三角洲砂岩和煤向东进积在较老深水沉积地层之上<sup>[7-10]</sup>(图6)。

随着区域挤压的继续,中中新世开始,盆地完全反转,盆地中部三马林达复背斜带形成,将库泰盆地分为西北部的上库泰盆地和东南部的下库泰盆地,上库泰盆地由于遭受强烈挤压抬升而停止接受沉积。此时,三马林达复背斜成为下库泰盆地的主要物源区,为下库泰盆地提供沉积物源。遭剥蚀的碎屑物,随马哈坎河向东形成进积的马哈坎三角洲,向望

加锡海峡推进<sup>[6-7]</sup>(图7,图8)。巨厚进积型三角洲沉积为油气生储盖提供了优越条件,库泰盆地所有商业油气发现全部集中于该套三角洲沉积地层。

## 4 盆地石油地质特征

### 4.1 烃源岩特征

库泰盆地区域上发育四套烃源岩(图8):上中新统富含碳质碎屑的深水浊积岩,中中新统三角洲平原煤及三角洲前缘碳质泥岩,下中新统滨海浅相页岩和始新统—渐新统半深海—深海页岩,断陷期碳质泥岩。

沉积于中中新统的三角洲平原煤与三角洲前缘碳质泥岩,为库泰盆地最主要烃源岩,碳质泥岩TOC普遍大于2%,煤层TOC介于50%~80%,含烃

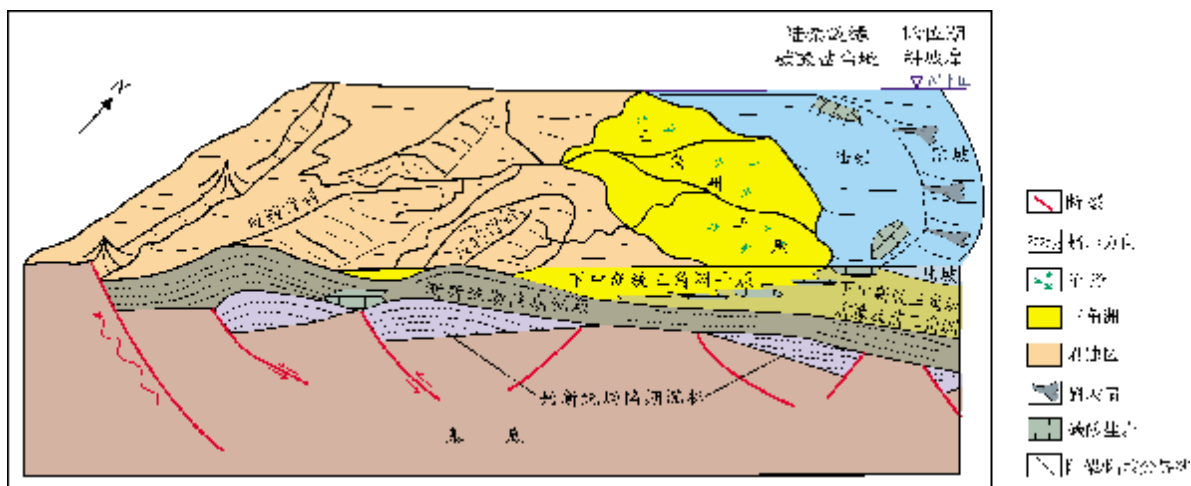


图6 库泰盆地早中新世沉积模式图<sup>[7-8]</sup> (图解所包含范围见图2a)

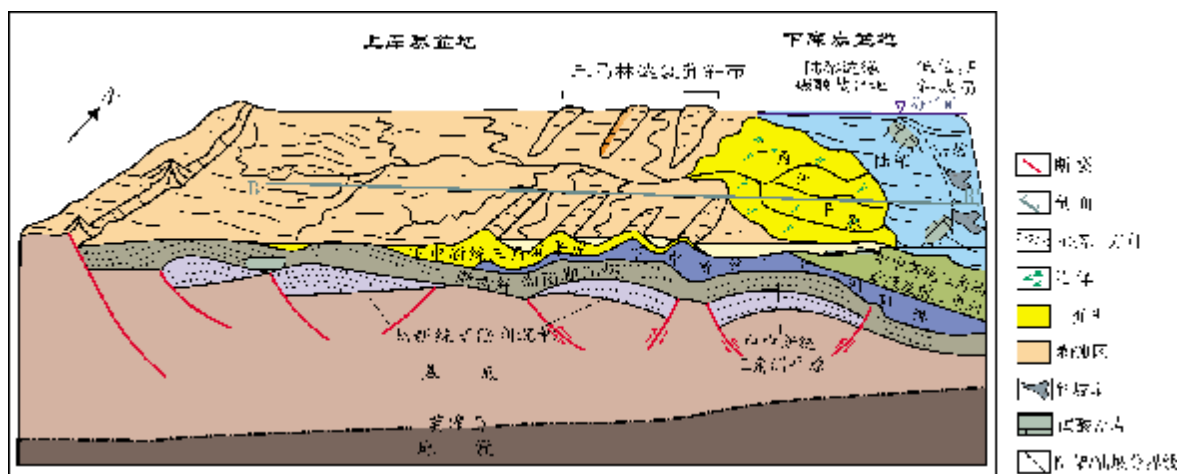


图7 库泰盆地中中新世至今沉积模式图<sup>[7-8]</sup> (图解所包含范围见图2a)

指数 350~400 mg/g。该套烃源岩对盆地现今滨浅海区油气生成起主要贡献作用。

研究认为, 现今库泰盆地勘探最热门的陆坡—陆隆半深海—深海区, 烃源岩为富含煤屑及碳质碎屑的浊积岩, 平均有机碳为 1%~2%, 少数可达 2%~5%, 最大达 50%, 氢指数 50~183 mg/g, 最大可达 400 mg/g<sup>[11]</sup>。它的沉积模式, 为低位体系域时期重力流将陆架区的中—上中新统煤及碳质泥岩搬运至陆坡至陆隆区域快速沉积<sup>[4,12-13]</sup>。

下中新统紧邻前三三角洲的海相页岩, 平均有机碳 0.5%~1.0%, 有机质类型为Ⅲ型, 氢指数 100~150 mg/g, 为该盆地一套潜在的烃源岩。

始新统—渐新统半深海—深海页岩和断陷期碳质泥岩, 为盆地另一套潜在的烃源岩。

若把  $R_o=0.6\%$  作为有机质成熟度的顶界, 则盆地的成熟门限深度为 2 300~3 500 m。

## 4.2 储集层特征

盆地发育四套、三种类型储层(图 8): 中中新统—上新统河流三角洲砂岩、中中新统—上新统深水陆坡浊积砂岩、始新统—中新统碳酸盐岩和断陷期盆地边缘上超粗碎屑砂岩。

中中新世至上新世三角洲平原和前缘环境下沉积的砂岩, 为盆地主要储层。如 Handil 油田, 储集层为中中新世至上新世沉积的三角洲平原分流河道、河口坝及前三三角洲砂体, 随着三角洲的迁移, 这些砂体相互叠置, 该油田至少有 58 个宽度为 0.5~2 km

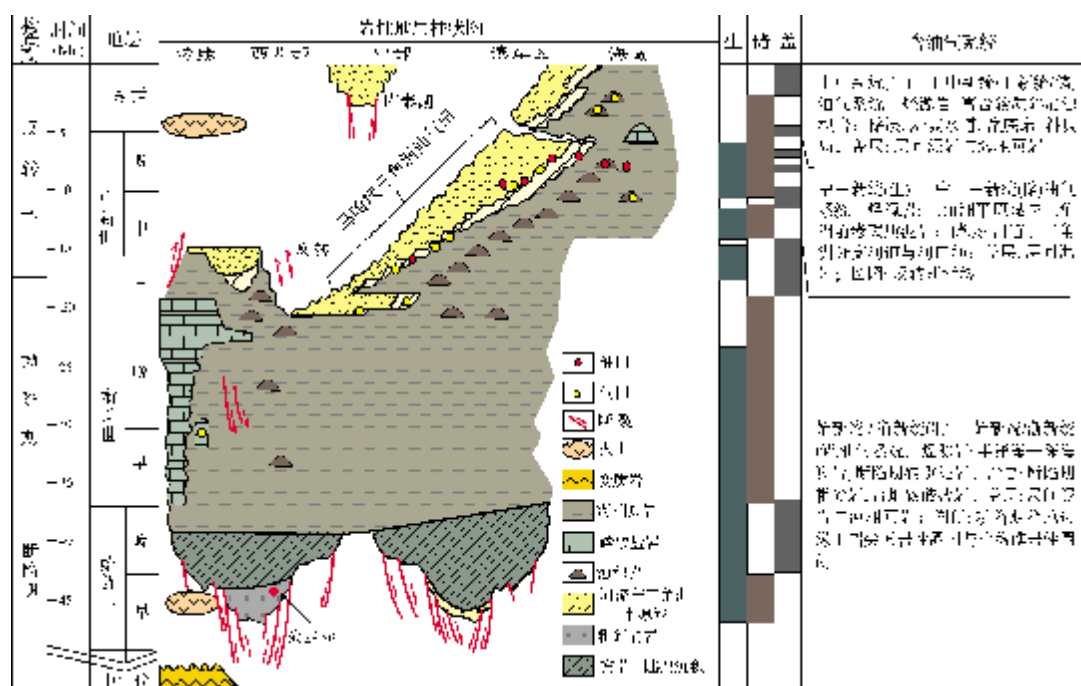


图8 库泰盆地综合柱状图(据文献[7-8],有修改,BB'剖面位置见图7)

互不相连的砂体。储集层孔隙度介于2%~39%之间,且一般为中至高孔隙度;渗透率普遍较高,主要在 $(30\sim5\,000)\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ 之间。

深水区盆底扇、斜坡扇及深水水道中的砂岩是盆地次要储层,但它们却是现今库泰盆地最主要的勘探对象<sup>[14]</sup>,如位于水深963m的West Seno气田,储层为上中新统陆坡水道砂岩,孔隙度17%~33%,渗透率 $(5\sim2\,000)\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ 。

台地碳酸盐岩礁滩体是盆地潜在的储层<sup>[15]</sup>,尤其对于盆地深层,由于礁抗压能力强,它能够很好地保存构造形态而使油气藏免遭破坏。

断陷期沉积的粗粒砂岩为盆地深层潜在的储层。

### 4.3 盖层特征

现今主要勘探区——下库泰盆地,主要为三角洲沉积充填。随着三角洲的发育演化,储层上部细粒三角洲平原泥岩、前三角洲泥岩及短期海侵页岩,都可作为直接盖层而对下伏油气起封堵作用。而对于陆坡深水区浊积岩储层而言,其上覆的半深海—深海页岩可作为良好盖层。

### 4.4 圈闭特征

盆地圈闭分为三种类型:背斜—半背斜圈闭、地

层岩性圈闭和生物礁岩性圈闭。

背斜—半背斜圈闭 是盆地最主要的圈闭类型。现今盆地所发现的绝大部分油气都富集于该类型圈闭中,其应力机制有挤压和重力滑脱两种<sup>[16]</sup>。挤压背斜主要位于三马林达复背斜带,重力滑脱背斜主要位于下库泰盆地陆架及陆坡区域。

地层岩性圈闭 是盆地潜在的圈闭类型,位于盆地断陷期始新统。

生物礁岩性圈闭 处在远离陆缘的台地区,其上直接沉积海相页岩,构成储盖组合。

### 4.5 含油气系统特征

盆地发育三套含油气系统:中中新统(生)—中上新统(储)为盆地陆架滨浅海区主要含油气系统,上中新统(生)—上中新统/上新统(储)为陆坡陆隆深水区主要含油气系统,始新统/渐新统(生)—始新统/渐新统(储)为盆地深层潜在的含油气系统(图8)。

中中新统(生)—中上新统(储),是库泰盆地现阶段对油气贡献最主要的含油气系统,其烃源岩为中新统沉积的三角洲平原煤及三角洲前缘碳质泥岩,储层为河道、三角洲分支河道和河口坝砂体,圈闭主要为晚期形成的背斜,油气生成期主要为上新世至今(图9)。

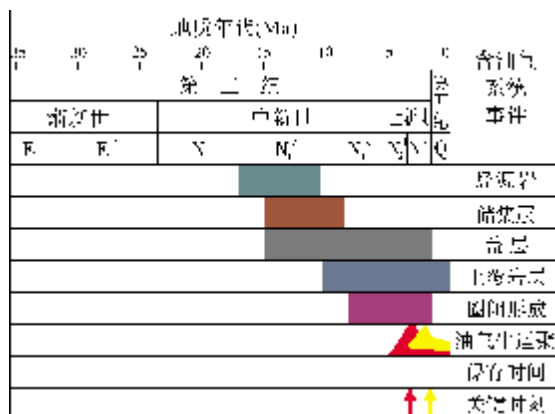


图9 库泰盆地中中新统—上中新统油气系统事件图

上中新统(生)—上中新统/上新统(储),为盆地深水区最主要含油气系统,也是库泰盆地现今勘探最热的一套含油气系统。在1995年以前,由于认识上的不足,该套油气系统一直未被发现。2001年,Unocal石油公司发现West Seno气田,该套油气系统才浮现出来。该系统中烃源岩为富含碳质碎屑的浊积岩,这些碳质碎屑是在低位体系域时,通过重力流的形式搬运至陆坡与深海平原区域快速埋藏而保存下来的。其平均有机碳为1%~2%,少数可达2%~5%,最大达50%,氢指数50~183 mg/g,最大可达400 mg/g<sup>[13]</sup>。储层为上中新统—上新统盆底扇、斜坡扇和水道砂体,圈闭为逆冲背斜,生烃期为上新世至今(图10)。

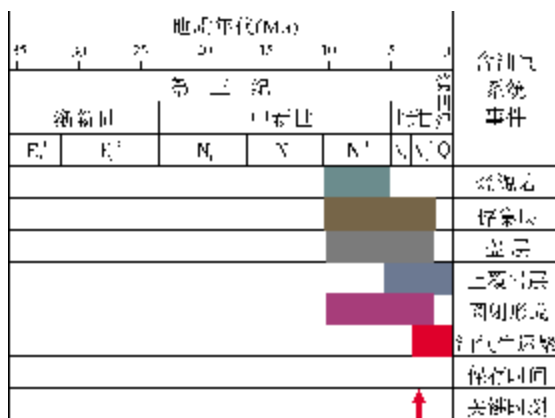


图10 库泰盆地上中新统—上中新统/上新统油气系统事件图

始新统/渐新统(生)—始新统/渐新统(储),为盆地深层潜在的含油气系统,尤其在上库泰盆地,该套油气系统较下库泰盆地埋藏浅,具一定勘探价值。

## 5 油气分布特征及有利勘探方向

从所发现的油气田分布来看,它们几乎全部集中于几大背斜构造带中(图2);从含油气层位统计发现,油气基本富集于中中新统、上中新统—上新统(表1)。在陆上及近海地区主要富集于中中新统,海上主要富集于上中新统—上新统,呈现出越往东油气富集层位越新的趋势。

表1 库泰盆地油气储量纵向分布表

地 层	油(MMbbbl)	气(MMboe)
上中新统—上新统	2315.62	4852.92
中中新统	1953.08	6044.40
下中新统	34.43	11.97
渐新统	20.00	41.67
始新统	1.00	12.50

下库泰盆地滨浅海区的中中新统—上新统三角洲沉积,由于勘探程度较高,盆地现今大部分经济储量都富集于该套地层,其剩余资源有限。

陆坡深水区的斜坡扇、盆底扇和斜坡水道,是现今库泰盆地勘探热点之地,望加锡海峡深海平原区将是潜在勘探区域。

三马林达复背斜带顶部,虽遭受强烈剥蚀,但深层的渐新统—下中新统保存完好,能够形成良好储盖组合。

第三纪早期,上库泰盆地边缘砂体上超尖灭,可形成地层岩性圈闭。这类圈闭虽然晚期遭受强烈构造运动,但地层岩性圈闭有较强的抗破坏性,且上库泰盆地第三系埋藏相对较浅,是最为现实的勘探目标。

盆地深层始新统一中新统的台地生物礁储层,普遍具较强抗压实性,虽晚期遭受强烈构造运动,但内部油气却能得到很好的保存,如Kerendan 1井,于渐新统生物礁内有良好油气发现,便是很好例证。

## 6 结 论

(1)盆地经历了三期构造运动,断陷期、拗陷期和反转期。断陷早期以陆相沉积为主,断陷晚期及拗陷期,以半深海—深海沉积为主,反转期以三角洲沉积为主。

(2)盆地发育三套含油气系统,中中新统(生)—中中新统/上新统(储),是盆地现阶段对油气贡献最大的含油气系统;上中新统(生)—上中新统/上新统(储)

是盆地深水区最主要的含油气系统,始新统/渐新统(生)—始新统/渐新统(储)为盆地深层潜在的含油气系统。

(3)深海平原区盆底扇是下库泰盆地潜在勘探领域,渐新统一下中新统是三马林达复背斜带的有利勘探领域,始新统盆地边缘上超尖灭砂体是上库泰盆地潜在勘探领域,始新统一中新统台地生物礁是库泰盆地深层潜在勘探领域。

#### 参考文献

- [1] Hall R, Cloke I R, Nur' Aini S, et al. The North Makassar Straits: What lies beneath? [J]. *Petroleum Geoscience*, 2009, 15(2): 147-158.
- [2] IHS. IHS oil & gas field, reservoir & reserves data [DB/OL]. (2009-10-07). <http://www.ihs.com/products/oil-gas-information/field-reservoir-data>.
- [3] Redhead R B, Lumadyo E, Saller A, et al. West Seno Field discovery, Makassar Straits, East Kalimantan, Indonesia [C]// Gulf Coast Section SEPM Foundation 20th Annual Research Conference, Deep-water reservoirs of the world, 2000: 862-876.
- [4] Chudunov D, Terry A, Partono Y, et al. Field overview of West Seno [C]// Offshore Technology Conference, 2004: 1-8.
- [5] Guritno E, Salvadori L, Syaiful M, et al. Deep water Kutei Basin: A new petroleum province [C]// Proceedings of Industrial Petroleum Association 29th Annual Convention, IPA03-G-175, 2003.
- [6] Andrew A, Richard A A. Origin and evolution of the Tertiary hydrocarbon bearing basin in Kalimantan (Borneo), Indonesia [J]. *AAPG Bulletin*, 1992, 76(11): 1778-1803.
- [7] Moss S J, Chambers J L C. Tertiary facies architecture in the Kutei Basin, Kalimantan, Indonesia [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 1999, 17(1-2): 157-181.
- [8] Moss S J, Chambers J L C. Depositional modeling and facies architecture of rift and inversion episodes in the Kutei Basin, Kalimantan, Indonesia [C]. Indonesian Petroleum Association, 2000: 467-486.
- [9] Satyana A H, Nugroho D, Surantoko I. Tectonic controls on the hydrocarbon habitats of the Barito, Kutei, and Tarakan Basins, Eastern Kalimantan, Indonesia: Major dissimilarities in adjoining basins [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 1999, 17(1-2): 99-122.
- [10] Calvert S J, Hall R. The Cenozoic geology of the Lariang and Karama regions, Western Sulawesi: New insight into the evolution of the Makassar Straits region [C]// Indonesian Petroleum Association, Proceedings 27th Annual Convention, 2000: 1-22.
- [11] Curiale J, Lin R, Decker J. Isotopic and molecular characteristics of Miocene-reservoired oils of the Kutei Basin, Indonesia [J]. *Organic Geochemistry*, 2005, 36(3): 405-424.
- [12] Peters K E, Snedden J W, Sulaeman A, et al. A new geochemical-sequence stratigraphic model for the Mahakam Delta and Makassar Slope, Kalimantan, Indonesia [J]. *AAPG Bulletin*, 2000, 84(1): 12-44.
- [13] Saller A, Lin R, Dunham J. Leaves in turbidite sands: The main source of oil and gas in the deep-water Kutei Basin, Indonesia [J]. *AAPG Bulletin*, 2006, 90(10): 1585-1608.
- [14] Saller A H, Noah J T, Ruzuar A P, et al. Linked lowstand delta to basin-floor fan deposition, offshore Indonesia: An analog for deep-water reservoir systems [J]. *AAPG Bulletin*, 2004, 88(1): 21-46.
- [15] Alam H, Paterson D W, Syarifuddin N, et al. Reservoir potential of carbonate rocks in the Kutei Basin region, East Kalimantan, Indonesia [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 1999, 17(1-2): 203-214.
- [16] McClay K, Dooley T, Ferguson A, et al. Tectonic evolution of the Sanga Sanga Block, Mahakam Delta, Kalimantan, Indonesia [J]. *AAPG Bulletin*, 2000, 84(6): 765-786.

编辑:金顺爱

## Petroleum Geology and Exploration Prospect in Kutai Basin, Indonesia

Zhang Qiang, Lü Fuliang, Mao Chaolin, Fan Guozhang,  
Wang Bin, Wang Xuefeng

**Abstract:** Kutai Basin, the biggest and the deepest Tertiary petroliferous basin in Indonesia, has undergone development stages of basin faulting, depression and reversion and is filled with 14km thick Tertiary sediments. Four sets of source rocks develop in the basin, among which the middle Miocene littoral deltaic plain coal and delta front carbargillite and the upper Miocene deep-sea carbon-rich clastic turbidite are the effective source rocks. Hydrocarbon are enriched in the middle and upper Miocene and Pliocene rocks in longitudinal and within the anticlinal structures in plane. It is suggested that the petroleum potential areas are the upper Miocene deep-sea slope fan sandstone and basin-floor fan sandstone in Lower Kutai Basin, the Eocene basin-marginal onlap pinch-out sand bodies in Upper Kutai Basin, Oligocene-lower Miocene rocks in Samarinda composite anticline belt and the Eocene-Miocene deep platform organic reefs.

**Key words:** Petroleum geology characteristics; Petroleum system; Exploration potential; Kutai Basin; Indonesia  
Zhang Qiang; male, Master, Geology Engineer. Add: PetroChina Hangzhou Research Institute of Geology, 920 Xixi Road, Hangzhou, Zhejiang, 310023, China