ISSN 1009-2722 CN37-1475/P

文章编号:1009-2722(2012)04-0050-07

# 孟加拉湾深水盆地油气勘探潜力

韩 冰<sup>1</sup>,李学杰<sup>1</sup>,吕建荣<sup>2</sup>,姚永坚<sup>1</sup>,万 玲<sup>1</sup>,杨楚鹏<sup>1</sup>,万荣胜<sup>1</sup>,王春修<sup>3</sup>
 (1国土资源部广州海洋地质调查局,广州 510760;
 2中石油新疆油田分公司,新疆克拉玛依 834000;3 中海石油研究中心,北京 100027)

摘 要:孟加拉湾深水盆地位于印度洋东北部,是亚太地区深水油气勘探最有希望的盆地之一。以前人研究成果为基础,结合 DSDP 217、218 号钻孔资料,对孟加拉湾深水盆地石油地质特征作了初步分析,认为:孟加拉湾深水盆地地层可划分为 3 个地震层序,垂向上可识别出古印度陆隆和孟加拉扇 2 期沉积;构造演化与印度板块裂离冈瓦纳大陆过程密不可分;虽然有机质丰度较低,但已进入成熟区;孟加拉扇水下辫状河道砂体为良好的储集体,孟加拉扇中扇是岩性油气藏最有利的勘探区。
 关键词:油气;勘探潜力;深水盆地;孟加拉湾
 中图分类号:P618.13 文献标识码:A

20世纪80年代中期以来,随着技术的进步 和世界各国对能源需求的不断增长,以及陆上和 海上浅水区油气田发现难度的增大,油气勘探的 方向逐渐转向深水区<sup>[1,2]</sup>。亚太地区许多国家也 都开始积极开展深水油气勘探或开发<sup>[3]</sup>。南亚孟 加拉湾深水区是未开发的新领域,也是中国海洋 石油总公司海外投资的重点,昭示未来大有希望, 亦或许是南亚的北海<sup>[4]</sup>。

## 1 盆地概况

孟加拉湾深水盆地位于印度洋东北部,为孟 加拉湾陆架边缘及 500 m 水深线所围限的区域。 盆地西临印度和斯里兰卡,北临孟加拉,东部与缅 甸和安达曼—尼科巴海脊相邻,南部以斯里兰卡 的栋德拉高角与苏门答腊的西乌累卢埃角的连线 为界,面积近 200×10<sup>4</sup> km<sup>2</sup>(图 1),最大水深为 5 258 m,平均水深为 2 586 m,其底部被世界最 大的深海扇——孟加拉扇所覆盖。





map is the satellite free-air gravity anomaly of the basin)

**收稿日期:**2011-12-29

基金项目:国家专项"全球油气地质综合研究与区域优选" (GT-YQ-QQ-1-03)

**作者简介:**韩 冰(1983—),男,硕士,工程师,主要从事海洋 油气地质研究工作. E-mail:abing1789@foxmail.com

## 2 油气勘探历程

1972年,以海底地球科学研究为目的的深海 钻探计划第22航次,深海钻探船"格洛玛·挑战 者"号在孟加拉湾陆坡和坡脚上分别打下217号 和218号钻孔(位置见图1),钻遇了上白垩统顶 部,并获取了大量岩心资料,为今后孟加拉湾深水 油气勘探初步奠定了基础。

20世纪90年代末,印度开展了孟加拉湾深 海底综合研究计划,目的是认识和了解中新世之 前沉积学、地貌学及大地构造事件的历史<sup>[7]</sup>。这 一研究计划也将对孟加拉湾的综合地质认识提升 到新高度。

2002年,印度在紧邻孟加拉深水盆地西部边 缘的克里斯纳一哥达瓦里盆地深水区(水深2000 ~3000m)发现了巨型石油和天然气田。

目前,孟加拉湾油气主要产于深水盆地边缘的陆架和陆坡区,而深海区的浊积岩储层则勘探 程度很低。通过近几年印度的勘探活动可以看 出,向孟加拉湾深水盆地进军已成为印度的主要 勘探方向。

## 3 地层特征

Mukhopadhyay 等<sup>[8]</sup>利用美国国防部地图绘制局资料确定孟加拉湾深水盆地发育于印度板块 过渡壳和洋壳之上。盆地东临缅甸西部活动性大 陆边缘,西接印度东部被动大陆边缘。基底之上 的沉积盖层为古印度东缘陆隆浊流和孟加拉扇沉 积,地层最大厚度达 22 km<sup>[9]</sup>。

目前尚未有足够覆盖全区的深海钻井以完全确 定孟加拉湾深水盆地的岩石地层。利用前人对该区 的地震波速研究成果<sup>[5]</sup>,结合 DSDP 217、218 号钻孔 资料,笔者将该区岩石地层对应地震层序,相应划分 为3个层序(严格意义上讲为超层序级别)(图 2)。



(部分资料来源于 DSDP217、218)



层序Ⅱ 对应始新世一中新世早期地层,岩 性主要为陆源粉砂岩及半远洋泥岩,层序早期 见白垩层。顶部以中中新统与上中新统之间的 上超面为界,代表晚中新世板内变形不整合。 此期代表印度板块与亚洲板块碰撞后,随着碰 撞强度加大,北部碰撞带隆起物源供给也逐步 增强。

层序Ⅲ 对应上中新世及以来的地层,岩性 主要为粉砂岩、粉砂质泥岩及泥岩。此期代表印 度板块与亚洲板块强烈碰撞板缘变形的远程效应 引起的孟加拉湾地区板内变形,伴随巨大区域沉 降,北部孟加拉陆架表现最为明显。

前下白垩统为绿片岩变质岩结晶基底。

## 4 沉积特征

孟加拉湾盆地位于由裂谷作用或沿深断裂强 烈迁移而产生的陆壳巨大破碎带向海洋出口处。 多条特大河流如恒河、布拉马普特拉、哥达瓦里和 马哈纳迪河都位于从强烈裂谷作用时期继承下来 的深断裂破碎区,从这些河流输运来的大量陆源 物质,不仅集中在三角洲中,并且分布在巨大的水 下冲积扇中。受印度板块与欧亚板块碰撞影响, 导致地壳的进一步拗陷,结果形成了至今厚达 20 km 的弱变形沉积体,由早始新世前的古印度大 陆隆和孟加拉扇组成<sup>[5]</sup>。

## 4.1 古印度陆隆

早白垩世(133.5 Ma),自印度板块裂离南极 洲板块起,孟加拉湾盆地以古印度大陆隆沉积为 主,厚度可达6 km,宽度达 500 km<sup>[9]</sup>。物源主要 来自印度大陆,从2个方向注入孟加拉湾,沉积中 心位于古陆隆边缘<sup>[5]</sup>。

根据地温梯度及载荷压力计算,并结合地震 反射波速度,推测此期沉积物已发生变质作用,极 有可能为绿片岩变质岩相<sup>[9]</sup>。

#### 4.2 孟加拉扇

孟加拉扇从印度东北部的孟加拉盆地向印度 洋东北的海域延伸,构成了孟加拉湾新生代地向 斜,沉积厚度可达 16 km,此期沉积速度达 320 m/Ma,沉积中心位于现今孟加拉三角洲处<sup>[5]</sup>。 受印度板块与亚洲板块碰撞影响,物源主要来自 北部碰撞带隆起区,尤其是始新世以来,喜马拉雅 山的隆升为孟加拉深水盆地提供了相当丰富的陆 源碎屑。

受印度板块与亚洲板块碰撞过程的控制,孟加 拉扇可分为早期孟加拉扇和现代孟加拉扇沉积<sup>[8]</sup>。

第1期为早期孟加拉扇,沉积从中始新世至 中中新世。此期孟加拉扇表现为地层强烈变形的 特征。此时印度板块与欧亚板块强烈碰撞,导致 孟加拉湾盆底变形,海底水道改道频繁。

第2期为现代孟加拉扇,沉积从更新世至现 今。此期孟加拉扇地区地层变形较弱,受印度、亚 洲板块碰撞的远程效应控制,区域构造活动进入 相对稳定期。

## 5 构造特征及演化

#### 5.1 主要构造单元划分

根据前人重力异常研究成果<sup>[6,10]</sup>,孟加拉湾 深水盆地由 2 个构造隆起(85°E海岭和 90°E海 岭)和 2 个盆地(西部盆地和中央盆地)组成,呈近 SN 向延伸。

(1) 西部盆地

位于印度东大陆边缘和 85°E 海岭之间,呈南 宽北窄的喇叭状。随 85°E 海岭向北延伸并入印 度大陆架,盆地北界终止于维沙卡帕特南以北。 由南向北,沉积物厚度逐渐增大,且陆一洋边界有 远离印度大陆边缘的趋势。

(2)中央盆地

为孟加拉扇沉积的主体部位,西、东分别以 85°E和90°E海岭为界。中央盆地前始新世地层 沉积厚度小,始新世后地层沉积厚度大。

#### 5.2 构造演化

孟加拉湾底部岩石圈演化与印度陆块裂离东 冈瓦纳大陆时间等问题,目前仍存在较大争议<sup>[6]</sup>, 这就不能决然定论孟加拉湾盆地性质。

前人通过板块重建的方法<sup>[11-13]</sup>证实,在晚侏 罗世,印度板块、澳大利亚板块和南极洲板块连在 一起,共同构成东冈瓦纳古陆。孟加拉湾盆地的 形成就是印度板块裂离东冈瓦纳古陆,及与亚洲 板块碰撞的过程。在 Curray 等<sup>[14]</sup>研究基础上, 结合后续应用重磁资料的研究成果<sup>[15,16]</sup>,本文将 东北印度洋的演化划分为 3 个阶段(图 3)。

(1) 早白垩世— 早始新世(约133.5~53 Ma)

印度板块裂离澳大利亚和南极洲板块最初开 始于 133.5 Ma<sup>[16]</sup>,裂离方向近 NW,与 NE—SW 方向延伸的印度大陆边缘垂直,与此同时孟加拉 湾新洋底开始形成(图 3b)。分离持续至 90 Ma, 板块边缘发生重组,分离转向近 SN 方向,平行于 东经 90°海岭北延部分东部的一系列转换断层 (图 3c)。自 90 Ma 到 53 Ma,印度大陆迅速向北 漂移,于早始新世开始与亚洲板块相撞。此阶段 孟加拉湾盆地主要为古印度大陆隆沉积,沿印度 东大陆架边缘分布。

(2)晚始新世—早渐新世(约53~32 Ma)

在 53 Ma,南北方向扩张结束。同时,澳大利 亚和南极洲开始分裂,东南印度洋扩张脊形成,东 印度洋北部洋脊沿 NE-SW 向扩张,之后的 20 Ma,澳大利亚、南极洲、印度进一步分离,喜马拉 雅地槽封闭褶皱成陆,印度大陆与亚洲大陆拼合, 即早喜马拉雅运动(图 3d)。此阶段孟加拉湾盆 地以来自北部印一亚碰撞带的孟加拉扇沉积为 主,地层伴有强裂的变形特征。



图 3 东北印度洋及孟加拉湾演化阶段示意图(据文献[14])

Fig. 3 Sketch map showing evolutionary stages of Northeast Indian Ocean and the Bay of Bengal (after reference [14])

(3) 早渐新世—全新世(32 Ma 至今)

此期间东印度洋沿东南印度洋底扩张脊增 生,向北强烈挤压欧亚大陆、喜马拉雅和青藏高原 隆起,并于巽他俯冲带消减形成今日的格局,即对 应晚喜马拉雅运动(图 3e)。此阶段仍以孟加拉 扇沉积为主。

早始新世或 53 Ma,印度和欧亚板块开始碰 撞。也即此时,印度洋板块相对运动发生变化,海 底扩张迅速减慢,孟加拉湾出现广泛的区域不整 合。这次碰撞可能导致早始新世的喜马拉雅海 侵,形成代表浅海、潟湖环境沉积,但未见喜马拉 雅山抬升的证据,可见碰撞发生于印度大陆和亚 洲大陆临海的边缘盆地、岛弧之间,因此,有始新 世软碰撞一说。硬碰撞(陆壳与陆壳碰撞)发生于 中新世,至此,喜马拉雅山开始强烈隆升<sup>[14]</sup>,为孟 加拉扇沉积提供丰富的陆源物质。

## 6 石油地质特征

#### 6.1 烃源岩条件

迄今进行深水勘探的大多数区域,沉积物中 的分散有机质都非常丰富,由于较深的海水覆盖, 原始有机质保存条件优越,不仅生成了大量生物 成因气,而且这些生物气可以在一些沉积微构造 富集,并通过邻近的沉积中心和断层运移至圈闭 中。孟加拉湾深水盆地陆源有机质供给充足,但 主要聚集于近陆架深水区。

## 6.1.1 有机质丰度

Hunt<sup>[17]</sup>利用 DSDP 钻探资料对 217、218 钻

孔样品作了有机质鉴定分析,孟加拉湾有机质既 有陆相有机质(木、草本),又有海相有机质(无定 形)。通过对 DSDP 217、218 号钻孔样品 C<sub>4</sub>—C<sub>7</sub> 烃含量分析发现:218 号钻孔样品中有机质存在 生成汽油的烃组分,但生烃深度需进一步确定; 217 号钻孔有机质含量低,218 号钻孔有机质含量 较高,但绝对值仍较小,这很可能与钻孔位置远离 大陆架有关。钻孔均位于深水区,远离陆架,无充 足的陆源有机质输入,这很可能是有机质含量较 低的主要原因。

#### 6.1.2 有机质成熟度

Ismail 等<sup>[18]</sup>对 Hatia 海槽海区钻井进行了有 机质成熟度的测定。从结果可以看出,有机质成 熟的埋深至少为3500m,对应下上新统地层。 将此结果类比孟加拉湾深水区,潜力层位应为中 新统及其以下地层。这与周边盆地的主力产层为 苏尔玛群相对应。

Simoneit 等<sup>[19]</sup>对 217 号钻孔样品进行了有 机质成熟度分析,有机质正烷烃分布见图 4,图中 可以看出沉积物有机质已进入成熟阶段。



a 灰绿色富泥钙质超微化石软泥,第四系;b 淡黄一灰色钙质超微化石,上渐新统; c 淡黄色钙质超微化石白垩,古新统;d 生物泥晶灰岩、燧石,上白垩统

图 4 孟加拉湾盆地 DSDP 217 有机质正烷烃分布(据文献[19])

Fig. 4 Organic n-alkanes distribution map of the site DSDP 217 in the basin of Bengal (after reference [19])

对比世界其他深水盆地判定,孟加拉湾深水 区烃源岩发育条件成熟,但主要集中于陆架边缘 深水区,由于孟加拉扇下扇有机质含量较低,最有 利的有机质发育区应为中扇上部。

#### 6.2 储盖条件

#### 6.2.1 储层

世界其他深水油气储层主要发育于新生界, 迄今为止,几乎 90%的储层属于浊积岩储层<sup>[3]</sup>, 由于深水区浊积岩经过长距离搬运,一般物性较好。

孟加拉湾深水区储层单元主要为水道砂体和 浊积砂体。其中水道分为:侵蚀型水道,因侵蚀下 伏底质且没有或很少有漫滩一决口扇沉积;沉积 型水道,决口扇一漫滩地层加积形成一个插入的 下凹地貌,水道和决口扇地层交互;侵蚀一沉积复 合型水道。孟加拉湾深水储集单元以复合型水道 为主(图 5,A—J),且多发育于孟加拉扇中扇。一 般活动水道充填粗粒沉积物,死水道充填细粒泥 质(图 5,K)。

孟加拉湾深水区储层主要为上始新统一中新统。随陆源碎屑供给加强,从下至上储层逐渐发育,且储集体以辫状水道砂体为主。

6.2.2 盖层

孟加拉湾深水区盖层比较发育,主要为深海 相泥岩及泥质粉砂岩,亦见良好的致密泥灰岩。 两者都可以构成封盖良好的区域盖层(图 5)。

## 6.3 圈闭条件

孟加拉湾深水区常见圈闭有构造圈闭、地层 圈闭以及复合圈闭3大类型。其中,地层圈闭 有3种:①超覆和尖灭圈闭;②区域倾向和相变 圈闭;③下切谷充填和下切谷削蚀圈闭。孟加 拉扇下部扇(始新世一中新世沉积期)受印度板 块与亚洲板块碰撞影响,构造变形强烈,具备生 成大型构造圈闭的条件。孟加拉扇的地层圈闭 主要为下切谷充填和下切谷削蚀圈闭(图 5)<sup>[20]</sup>。



图 5 孟加拉湾深水盆地水道沉积地震相特征(据文献[20])

Fig. 5 Seismic characteristics of channel deposits in the Bay of Bengal deep water basin (after reference [20])

## 7 讨论

孟加拉湾深水盆地研究主要处在重磁普查阶段,勘探程度较低,但某种意义上说,亦具有广阔的油气资源勘探空间。通过对前人研究成果及 DSDP资料总结、归纳认为:

(1)孟加拉湾深水盆地识别出2个大型不整 合面:晚古新世不整合和晚中新世不整合。2个 不整合将地层划分为3个沉积层序:碰撞前古印 度大陆隆沉积层、早期孟加拉扇沉积层和现代孟 加拉扇沉积层。

(2) 孟加拉湾深水盆地演化分为3个阶段: ①早白垩世—早始新世,印度板块裂离原东冈瓦 纳大陆到与亚洲大陆碰撞;②晚始新世—早渐新 世,印度大陆与亚洲大陆强烈碰撞期,造成喜马拉 雅地槽封闭褶皱成陆,印度大陆与亚洲大陆拼合, 即早喜马拉雅运动;③早渐新世—全新世,随印度 洋扩张,印度洋板块向北强烈挤压,喜马拉雅和青 藏高原隆升,即晚喜马拉雅运动。

(3) 孟加拉湾深水盆地烃源岩发育条件好,有 充足的陆源有机质,且中新统及其以下地层烃源 岩成熟度较高。孟加拉扇中扇区储集体发育,主 要为辫状水道砂和浊积砂体,且以岩性圈闭为主, 是油气资源潜力区。

#### 参考文献:

- [1] 王春修. 国外深水油气勘探动态及经验[J]. 中国海上油气
  (地质),2002,16(2):141-144.
- [2] 李大伟,李德生,陈长民,等. 深海扇油气勘探综述[J]. 中 国海上油气,2007,19(1):18-24.
- [3] 金春爽,乔德武,姜春艳.国内外深水区油气勘探新进展[J].海洋地质动态,2003,19(10):20-23.
- [4] 鸣 午. 能源新贵崛起孟加拉湾[N/OL]. 中国石油报(网络版),[2010-06-01]. http://dzb.zgsyb.com.cn/syb/html/2005-08/12/node\_2.htm#.
- [5] Curray J R, Emmel F J, Moore D G. The Bengal fan: morphology, geometry, stratigraphy, history and process[J].
  Marine and Petroleum Geology, 2003, 19: 1 191-1 223.
- [6] Krishna K S, Michael L. Geoid and gravity anomaly data of

conjugate regions of Bay of Bengal and Enderby Basin—new constraints on breakup and early spreading history between India and Antarctica[J]. Solid Earth,2009, 114(3): 1-37.

- [7] 艾万铸,李桂香.海洋科学与技术[M].北京:海洋出版 社,2000.
- [8] Mukhopadhyay M, Krishna M R. Gravity field and deep structure of the Bengal Fan and its surrounding continental margins, northeast Indian Ocean [J]. Tectonophysics, 1991, 186: 365-386.
- [9] Curray J R. Possible greenschist metamorphism at the base of a 22-km sedimentary section, Bay of Bengal[J]. Geology, 1991, 19: 1 097-1 100.
- [10] Subrahmanyam C, Thakur N K, Rao T G. Tectonics of the Bay of Bengal : new insights from satellite-gravity and ship-borne geophysical data[J]. Earth and Planetary Science Letters, 1999, 171: 237-251.
- [11] Smith A G, Hallam A. The fit of the southern continents[J]. Nature, 1970, 225: 139-144.
- [12] Lawver L A, Scotese C R. A revised reconstruction of Gondwanaland[J]. Geophys, 1987, 40: 17-23.
- [13] Scotese C R, Gahagan L M, Larson R L. Plate tectonic reconstructions of the Cretaceous and Cenozoic Ocean Basins[J]. Tectonphysics, 1988, 55: 27-48.
- [14] Curray J R, Emmel F J, Moore D G, et al. Structure, tectonics and geological history of the northeastern Indian

Ocean[J]. The Ocean Basins and Margins, 1982, 6: 399-450.

- [15] Royer J Y, Sclater J G, Sandwell D T, et al. Indian Ocean plate reconstructions since the Late Jurassic[J]. AGU, 1992, 70: 471-475.
- [16] Ramana M V, Ramprasad T, Desa Maria. Seafloor spreading magnetic anomalies in the Enderby Basin, East Antarctica[J]. Earth and Planetary Science Letters, 2001, 191: 241-255.
- [17] Hunt J M. Hydrocarbon and kerogen studies [J]. Deep Sea Drilling Project Initial Reports, 1974,22: 673-675.
- [18] Ismail M, Shamsuddin A H M. Organic matter maturity and its relation to time, temperature and depth in the Bengal foredeep, Bangladesh[J]. Journal of Southeast Asian Earth Sciences, 1991(5):381-390.
- [19] Simoneit B R, Burlingane A L. Preliminary organic geochemical analyses of the site 217 core samples in the Bengal Basin[J]. Deep Sea Drilling Project Initial Reports, 1974,22: 681-692.
- [20] Schwenk T, Spieβ V, Breitzke M, et al. The architecture and evolution of the Middle Bengal Fan in vicinity of the active channel-levee system imaged by high-resolution seismic data[J]. Marine Petroleum Geology. 2005, 22: 637-656.

## PETROLEUM EXPLORATION POTENTIAL IN THE BAY OF BENGAL DEEP WATER BASIN

HAN Bing<sup>1</sup>, LI Xuejie<sup>1</sup>, LV Jianrong<sup>2</sup>, YAO Yongjian<sup>1</sup>,

WAN Ling<sup>1</sup>, YANG Chupeng<sup>1</sup>, WAN Rongsheng<sup>1</sup>, WANG Chunxiu<sup>3</sup>

(1 GuangZhou Marine Geological Survey, Ministry of Land and Resources, Guangzhou 510760, China;

2 Xinjiang Oilfield Company Research Institute of Exploration and Development, Karamay 834000, Xinjiang, China;

3 CNOOC Research Center, Beijing 100027, China)

Abstract: Located in the Northeast Indian Ocean, the deep water basin of the Bay of Bengal is one of the most potential petroliferous basins in Asia-Pacific Region. Based on previous studies and the data of DSDP sites 217 and 218, this article deals with the petroleum geological characteristics of the deep water basin. The results show that (1) the strata of the basin can be divided into 3 seismic sequences, and two stages of sedimentation, the Bengal fan and pre-Bengal fan. (2) The tectonic evolution of the basin has close relation with the separation of Indian plate from Gondwana. (3) Even though the organic matter is low in the deep water basin, it has entered into the a mature stage. (4) Braided channel sandstone in the Bengal fan could be good reservoir bodies. In conclusion, there are possibilities to find lithologic oil and gas reservoirs in the Middle-fan of Bengal.

Key words: petroleum; exploration potential; deep water basin; Bay of Bengal