

南海西北部莺歌海盆地 HBJM39-1 气田储层岩相划分与微相识别

马文宏¹, 马勇新¹, 龚晓峰², 张景茹²

(1 中海石油(中国)有限公司湛江分公司勘探开发部, 广东湛江 524057;

2 中国科学院边缘海地质重点实验室, 广州 510640)

摘要:以 HBJM39-1-1、HBJM39-1-2A、HBJM39-1-3 和 HBJM39-1-4 等 4 口井的取心资料为基础, 结合层序地层学解释, 深入分析了莺歌海盆地 HBJM39-1 气田储层的岩相沉积特征。研究表明, HBJM39-1 气田储层岩相具有颜色深、粒度细、水动力条件弱、生物扰动强且发育风暴沉积等特点。通过地震地质解释、盆地古地貌以及岩心描述等分析研究证实, HBJM39-1 气田储层形成于相对较深的沉积水体环境。莺歌海盆地上新世主要发育滨浅海相沉积, 但根据古水体环境、生物遗迹相、岩相以及测井相等资料揭示, 上新世莺一段至第四系乐东三段尚发育滨外亚相, 不发育前滨及以上亚相沉积。同时, 为了进行储层非均质性研究, 以“泥”、“砂”截然不同的渗流、渗流屏障作用为主线, 亦对滨外亚相等进行了进一步细分和较深入研究。

关键词:莺歌海盆地; HBJM39-1 气田; 储层岩相特征; 滨浅海相特点; 亚相微相判识

中图分类号: TE121.1

文献标识码: A

1 HBJM39-1 气田勘探概况

HBJM39-1 气田位于南海西北部莺歌海盆地中央泥底辟带东南端, 于 1993 年在 HBJM39-1 泥底辟伴生背斜构造南翼钻预探井(HBJM39-1-1 井)而发现, 随后又先后在该构造东翼高部位钻评价井 HBJM39-1-2A 和 HBJM39-1-3 井, 在西北侧低部位钻评价井 HBJM39-1-4 井, 最终完成该气田地质储量评价工作, 并经国家储委审批通过其储量认证。

HBJM39-1 气田储层主要为第四系底部乐东组三段和新近系上新统莺歌海组一段滨浅海相粉细砂岩。根据本区地震剖面框架和本气田探井

及评价井实钻资料, 在层序地层学分析研究的基础上, 结合气田纵向上地层发育特征和电性特征, 自上而下可将 HBJM39-1 气田储层划分为 I、II、III、IV 4 个气组, 且各气组之间均有厚层泥岩隔层分开。其中, I—II 气组属第四系乐东组三段储层(T18—T19), 其 II 气组根据电性差异又可分为 II_上(低阻)和 II_下(高阻)2 个亚气组储层; III—IV 气组属新近系上新统顶部莺歌海组一段储层(T20—T23), 但其 IV 气组在该气田中只有 HBJM39-1-4 井钻遇。总之, HBJM39-1-1、HBJM39-1-2A、HBJM39-1-3 和 HBJM39-1-4 等 4 口气田发现井及评价井的钻探成功, 以及所取得的丰富的钻井取心资料, 均为该气田储层岩相划分和沉积微相识别等奠定了扎实的基础。

收稿日期: 2012-09-25

作者简介: 马文宏(1962—), 男, 高级工程师, 主要从事油气田地质研究与技术管理工作。E-mail: mawh@cnooc.com.cn

2 储层岩相划分与微相识别

2.1 储层岩相特征与划分

岩相是沉积环境在岩性方面的综合表现,包括岩石的颜色、结构、构造特征等内容。岩相的这些特征指示了水动力条件及沉积物搬运方式,故将岩相又称能量单元、水力单元。

HBJM39-1 气田取心井共 4 口 (HBJM39-1-1、HBJM39-1-2A、HBJM39-1-3 及 HBJM39-1-4 井),总进尺为 160.39 m,岩心长为 154.21 m,平均收获率为 96.16%,这些钻井岩心主要分布在第四系乐东组三段 I、II 气组与上新统莺歌海组一段的 III、IV 气组。通过仔细观察与精细分析发现,区内岩相发育比较单一,且具有如下基本特征:①岩石颜色“深”,以灰色、灰褐色为主,仅见少量褐色;②岩石粒度相对“细”,最粗级别为细砂

岩,且仅在局部分布;③水动力条件相对“弱”,见板状及波状交错层理,偶见小型槽状交错层理和炭屑纹层,未发现冲洗交错层理;④生物扰动较“强”,发现丰富的生物遗迹相,其中生物扰动构造广泛分布,粉细砂岩中生物扰动构造相对丰富;⑤发育风暴流沉积,发现丘状交错层理、截切、渠模等沉积构造。

考虑到岩相划分的实用性和简约性,根据研究区岩性与沉积构造的类型,参考前人有关文献资料^[1-4],初步总结出 10 种岩相(表 1),分别为:强烈生物扰动泥质粉细砂岩相(Sbd)、复合层理泥质粉砂岩相(Sc)、块状层理粉细砂岩相(Sm)、生物扰动泥质粉砂岩相(Fbd)、复合层理泥质粉砂岩相(Fc)、水平层理泥质粉砂岩相(Fh)、块状层理泥质粉砂岩相(Fm)、生物扰动泥岩相(Mbd)、水平层理泥岩相(Mh)、块状泥岩相(Mm)。

这些岩相特征主要反映滨外的细砂岩、粉砂岩及泥岩沉积(表 1)。

表 1 HBJM39-1 气田岩相特征及其沉积环境解释

Table 1 Facies characteristics and depositional environment interpretation of HBJM39-1 Gas Field

序号	岩相名称及代码	岩性特征	沉积构造及相标志	岩心照片	沉积环境解释
1	块状泥岩相(Mm)	块状层理,泥岩或粉砂质泥岩	生物遗迹,弱生物扰动,块状层理		滨外泥沉积
2	水平层理泥岩相(Mh)	水平层理,泥岩或粉砂质泥岩	发育虫孔,弱生物扰动,水平层理		滨外泥沉积
3	生物扰动泥岩相(Mbd)	粉砂质泥岩,发育虫孔和生物扰动	发育虫孔,生物扰动		滨外泥沉积
4	块状层理泥质粉砂岩相(Fm)	块状层理,泥质粉砂质岩	发育有孔虫,块状层理		滨外浅滩沉积
5	水平层理泥质粉砂岩相(Fh)	水平层理,泥质粉砂岩	水平层理,发育水平虫孔		滨外浅滩沉积

续表

序号	岩相名称及代码	岩性特征	沉积构造及相标志	岩心照片	沉积环境解释
6	复合层理泥质粉砂岩相(Fc)	复合层理,泥质粉砂岩	泥质条带,发育复合层理,波状层理		滨外浅滩沉积
7	生物扰动泥质粉砂岩相(Fbd)	生物扰动,泥质粉砂岩	强烈生物扰动,局部受风暴影响,可见生物逃逸		滨外浅滩沉积 (风暴影响)
8	块状层理粉细砂岩相(Sm)	块状层理粉细砂岩	块状层理,粉细砂岩,夹不规则泥质条带		滨外砂坝沉积
9	复合层理泥质粉砂岩相(Sc)	复合层理、波状层理、丘状交错,泥质粉细砂岩	复合层理为主,局部沉积受风暴影响,可见丘状交错层理,泥质粉砂岩与粉细砂岩互层		滨外砂坝沉积 (风暴影响)
10	强烈生物扰动泥质粉细砂岩相(Sbd)	大量生物介壳,可见生物扰动,泥质粉细砂岩	局部受风暴影响,可见大量生物介壳,强烈生物扰动		滨外砂坝沉积 (风暴影响)

注:岩相代码的大写字母代表岩性或粒度,小写字母反映其所具有的沉积构造,其中,S为细砂岩代码,F为粉砂岩代码,M为泥岩代码;bd表示生物扰动构造,c表示复合层理,h表示水平层理,m表示块状层理。

2.2 储层沉积微相及亚相划分方案

有关 HBJM39-1 气田沉积学及储层的研究,以往均采用地貌特征分类方案。1997 年龚再升等研究认为^[5],莺歌海组储层沉积相为泥底辟水下高地上形成的滨外滩坝,其后他在《中国近海大气田》专著^[6]中又强调指出:HBJM39-1 气田至少处于外陆架环境,周围水体较深,只是由于局部泥底辟活动大致在构造范围形成局部的水下高地,或是由于地层沉积的继承性,前期沉积的地层在地形上已经形成了局部的地形高,使得储层砂岩沉积时地形幅度高于周围的外陆架背景。在这种水下高地或地形高上沉积的储层砂体具有类似于正常滨海环境的滩坝沉积的特征。

在前人研究的基础上^[7-10],结合大量地震及钻井岩心资料进行综合分析认为,HBJM39-1 气田储层形成于相对较深的沉积环境,无论在地震剖面分析方面及盆地古地貌特征上,还是在岩心描述上,都能够找到充分的地质地球物理及古地

理等方面的证据。

(1) 从 HBJM39-1 气田沿红河水系方向地震剖面的分析可以看出,沿红河水系方向,YUAF 气田地层变化较大,而 HBJM 气田地层发育比较平稳,反映了 HBJM 气田相对较深的水体环境。

(2) 从 HBJM39-1 气田沿海南岛方向地震剖面的分析还可以看出,沿海南岛方向,HBJM 气田距离盆地边缘较远,明显处于盆内位置,反映了相对较深的水体环境。

(3) 从莺歌海盆地古地貌图(图 1)上也可以看出,相对 YUAF 气田而言,HBJM 区气田处于盆内位置,结合区域地质资料及前人大量地质地球物理研究成果^[11-13],综合判识 HBJM39-1 气田区可能处在相对较深的水体环境中。

(4) 在 HBJM39-1 气田岩心图版(图 2)上可以看出,莺歌海组一段(T20—T23)的岩性为粉砂质泥岩、泥质粉砂岩和粉细砂岩,总体上岩性较细,沉积构造主要有板状交错层理和波状交错层理,反映了相对较弱的水体环境。

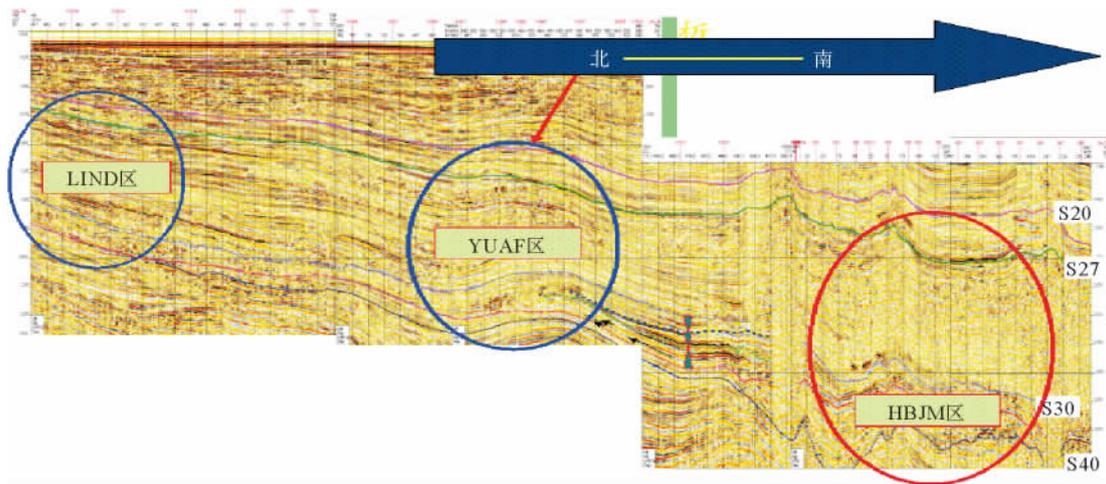


图1 莺歌海盆地古地貌

Fig. 1 Paleogeomorphology of Yinggehai Basin



HBJM39-1-3井, 1 581.05 m, III气组, 层面见较多炭屑



HBJM39-1-3井, 1 579.23~1 579.33 m, III气组, 槽状交错层理夹炭屑纹层

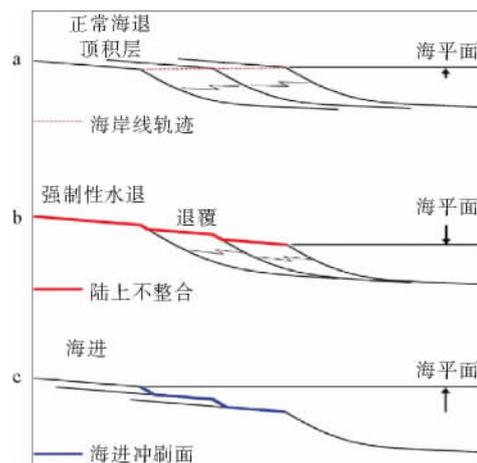
图2 HBJM39-1气田局部浅水岩心

Fig. 2 Core photos from HBJM39-1 Gas Field

而炭屑以及能够反映浅水特征的某些其他地质现象都只是零星地出现在岩心中,不能反映总体的沉积环境和格局,只能说明在相对较深的沉积背景下,因水体的影响带来了一些反映浅水的

沉积物。

基于上述对莺歌海盆地水深环境的研究结果,再结合强制性水退的地震反射特征(图3),笔者认为上新统莺歌海组沉积物不是强制性水退形成的产物。在地震剖面上,强制性水退表现出明显的阶梯状进积的特征^[14-16]。



a 沉积物源驱动的进积作用;海岸线沉积速率超过基准面 上升的速率;沉积趋势:伴生加积的进积作用。

b 基准面下降驱动的进积作用;海岸线被迫海退,与沉积陆 源无关;沉积趋势:伴生降阶的进积作用。

c 基准面上升引起的海蚀后退,海岸线基准面上升的速率 超过沉积速率;沉积趋势:海蚀后退。

图3 强制性水退地震反射特征(据文献[20])

Fig. 3 Seismic reflection characteristics of a forced regression sequence(from reference[20])

HBJM39-1 气田莺一段地层(T20—T23)前积体顶部没有明显的阶梯状进积的特点,而是表现为削截的特征(图 4)。

鉴此,考虑到其沉积的外陆架背景,一般将这种沉积称之为滨外浅滩、滨外砂坝沉积。可见,以往沉积学及储层研究中将广阔的陆架古地貌环境,划分为内、中、外 3 大亚环境,然后将沉积较粗的范围定义为砂坝、水位较低、沉积较细的范围定义为浅滩,这样在内、中、外 3 大环境中各分砂坝、浅滩微相,亦是较符合地质规律的。

滨浅海相自下而上包括滨外、(下)临滨(近滨)、前滨、后滨、海岸沙丘几个亚相。区域研究成果表明^[17-19],莺歌海盆地自中新世晚期以来,即新构造运动时期,泥底辟活动强烈,形成了不同类型的泥底辟伴生构造及其古地貌格架,进而控制了沉积充填特征与油气运聚成藏。在上新世时期,莺歌海盆地主要发育滨浅海沉积,其古水体环境、生物遗迹相、岩相以及测井相等资料揭示,上新统莺一段至第四系乐东三段主要发育滨外亚相,但不发育前滨及以上亚相。因此,为便于储层及其非均质性研究,以“泥”、“砂”截然不同的渗流、渗流屏障作用为主线,将滨外亚相进一步细分为滨外泥、滨外浅滩、滨外砂坝 3 个微相(表 2),这样可能会更符合研究区地质实际。

表 2 HBJM39-1 气田上新统及第四系储层沉积亚相及沉积微相划分

Table 2 Sedimentary subfacies and microfacies of Pliocene and Quaternary reservoirs, HBJM39-1 Gas Field

亚相	微相	岩心与地质特点	测井特征	成因	作用
滨外	砂坝	灰色粉细砂岩与泥质粉细砂岩,反韵律为主,不规则分布,规模较小,常见中等强度生物扰动	低伽玛,较平滑、漏斗形	选积	形成储层
	滩砂	灰褐色泥质粉细砂岩,反韵律为主,集中分布,范围较大,平面上无明显的方向性。可见生物扰动,但单个虫孔个体则不发育	中伽玛,低幅、箱形	垂积与风暴	形成储层
	泥	深灰色中薄层泥岩及粉砂质泥岩,具明显的水平层理,厚度较大,无韵律,生物扰动不太发育。偶见个体十分细小的虫孔	高伽玛,低幅、平滑线形	海泛	形成隔、夹层

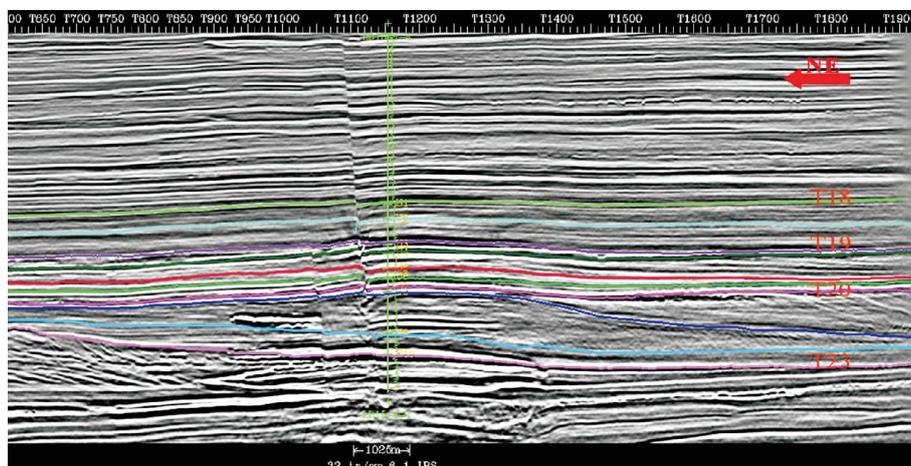


图 4 HBJM39-1 气田莺一段地震反射特征

Fig. 4 Seismic reflection characteristics of the 1st Member of Yinggehai Formation, HBJM39-1 Gas Field

3 结论与认识

(1) HBJM39-1 气田 4 口钻井的取心资料分析及层序地层学解释表明, HBJM39-1 气田储层岩相具有颜色深、粒度细、水动力条件弱、生物扰动强、发育风暴流沉积等特点。

(2) 从地震剖面分析看, HBJM 区气田比 YUAF 区气田储层发育相对稳定, 上新统莺歌海组一段地层(T20—T23)前积体顶部没有明显的阶梯状进积特点, 而是表现为削截的特征; 在莺歌海盆地古地貌图上, HBJM 气田较东方气田处于盆内位置; 在岩心图版上, 亦看到莺歌海组一段(T20—T23)总体上岩性较细, 储层沉积构造主要有板状交错层理和波状交错层理, 这从多个方面证实了 HBJM 气田处于相对较深的沉积水体环境。

(3) 区域研究成果表明, 莺歌海盆地在上新统主要发育滨浅海沉积。另外, 古水体环境、生物遗迹相、岩相以及测井相等研究成果揭示, 上新统莺歌海组一段至第四系乐东三段发育滨外亚相, 不发育前滨及以上亚相。因此, 为便于储层非均质性研究, 可以“泥”、“砂”截然不同的渗流、渗流屏障作用为主线, 进一步将滨外亚相细分为滨外泥、滨外浅滩、滨外砂坝 3 个微相进行研究, 可能更符合研究区实际地质条件。

参考文献:

- [1] 袁静楠. 碎屑岩储层沉积基础[M]. 北京: 石油工业出版社, 1987.
- [2] 于兴河. 碎屑岩系油气储层沉积学[M]. 北京: 石油工业出版社, 2002: 18-25.
- [3] 袁静. 惠民凹陷古近系风暴沉积研究[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2006, 30(4): 1-6.
- [4] 张金亮. 东濮凹陷沙三段的风暴沉积[J]. 沉积学报, 1988, 6(1): 50-57.
- [5] 龚再升, 李思田. 南海北部大陆边缘盆地分析与油气聚集[M]. 北京: 科学出版社, 1997.
- [6] 龚再升. 中国近海大油气田[M]. 北京: 石油工业出版社, 1997.
- [7] 吕明, 等. 莺歌海盆地层序地层学研究[R]. 湛江: 中国海洋石油总公司湛江分公司, 2004.
- [8] 朱伟林, 张功成, 杨少坤, 等. 南海北部大陆边缘盆地天然气地质[M]. 北京: 石油工业出版社, 2007: 3-391.
- [9] 何家雄, 刘海龄, 姚永坚, 等. 南海北部边缘盆地油气地质及资源前景[M]. 北京: 石油工业出版社, 2008: 1-185.
- [10] 龚再升, 杨甲明, 郝芳, 等. 莺歌海盆地与琼东南盆地成藏条件的比较及天然气勘探方向[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2001, 26(3): 286-290.
- [11] 殷秀兰, 李思田, 杨计海, 等. 莺歌海盆地超压流体活动与断裂系统的相互关系[J]. 地球学报, 2002, 23(2): 141-146.
- [12] 黄保家, 李绪深, 谢瑞永. 莺歌海盆地输导系统及天然气主运移方向[J]. 天然气工业, 2007, 27(4): 4-6.
- [13] 郝芳, 邹华耀, 黄保家. 莺歌海盆地天然气生成模式及其成藏流体响应[J]. 天然气工业, 2002, 32(11): 889-895.
- [14] 冯增昭. 沉积岩石学[M]. 北京: 石油工业出版社, 1992: 76.
- [15] 姜在兴, 赵澄林, 刘孟慧. 东濮凹陷西部湖相风暴沉积的初步研究[J]. 沉积学报, 1990, 8(2): 107-113.
- [16] 李胜利, 于兴河, 张志杰, 等. 珠江口盆地西江 30-2 油田新近系中新统沉积微相及层序地层分析[J]. 古地理学报, 2004(1): 56-68.
- [17] 何家雄, 夏斌, 张树林, 等. 莺歌海盆地泥底辟成因、展布特征及其与天然气运聚成藏关系[J]. 中国地质, 2006, 33(6): 1 336-1 334.
- [18] 黄春菊, 陈开远, 李思田. 莺歌海盆地泥底辟活动期次分析[J]. 石油勘探与开发, 2002, 29(4): 44-47.
- [19] 朱光辉. 莺歌海盆地天然气成藏动力学机制及勘探前景展望[J]. 中国海上油气, 2004, 16(3): 145-150.
- [20] 吴因业, 张天舒, 张志杰, 等. 沉积体系域类型、特征及石油地质意义[J]. 古地理学报, 2010, 12(1): 69-81.

THE LITHOFACIES AND MICROFACIES OF HBJM39-1 GAS RESERVOIR IN YINGGEHAI BASIN OF NORTHWESTERN SOUTH CHINA SEA

MA Wenhong¹, MA Yongxin¹, GONG Xiaofeng², ZHANG Jinru²

(1 Zhanjiang Branch of CNOOC Limited, Zhanjiang 524057, Guangdong, China;

2 Key Laboratory of Marginal Sea Geology, Guangzhou Institute of Geochemistry,
Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China)

Abstract: Based on drilling data from the wells of HBJM39-1-1, HBJM39-1-2A, HBJM39-1-3 and HBJM39-1-4, in connection with the seismic sequences, we deeply studied the lithofacies of HBJM39-1 gas reservoir in the Yinggehai Basin. Results show that the lithofacies of the HBJM39-1 gas reservoir is characterized by deep color and fine grained deposits with bioturbation and intercalation of storm deposits, formed under weak hydrodynamic conditions. Palaeogeomorphological reconstruction with seismic and core data indicate that the HBJM39-1 gas reservoir was formed in a relatively deep-water environment. Littoral and shallow marine facies dominate the sequences from the 1st member of Yinggehai Formation of Pliocene up to the 3rd member of the Quaternary Ledong Formation. However, facies analysis based on water chemistry, ichnofacies, lithology and logging facies reveal that there also occurs subtidal subfacies. No foreshore and shoreface deposits have been found so far. We also studied in this paper the permeability of the reservoir based on mud and sand ratio. And offshore marine subfacies are also deeply studied.

Key words: Yinggehai Basin; HBJM39-1 Gas Field; sedimentary facies; characteristics of littoral and shallow marine facies; recognition of subfacies and micro facies