

文章编号: 1000-0550(2007) 06-0876-09

# 珠江口盆地番禺气田沉积特征与成岩演化研究<sup>1</sup>

于兴河<sup>1</sup> 姜 辉<sup>1</sup> 施和生<sup>2</sup> 侯国伟<sup>3</sup>

(1 中国地质大学 北京 100083; 2 中国海洋石油有限公司深圳分公司 广州 510240

3 中国海洋油研究中心 北京 100027)

**摘 要** 番禺气田含气层为典型的海相三角洲沉积,而主要含气层段 MFS18 5 层以三角洲前缘沉积为主,而 SB13 8 层则为三角洲平原沉积。依据岩心、薄片、扫描电镜、X 衍射等资料,详细研究该气田储集层特征及成岩作用,按照最新碎屑岩成岩阶段划分标准,SB13 8 层处于开启型弱碱性水循环环境 ( $\text{pH} > 7.5$ ),胶结作用不强烈,成岩作用较弱,属于早成岩 B 期;MFS18 5 层属于中成岩 A 期,处于相对封闭型弱酸性水循环环境 ( $\text{pH}$  值  $< 6.5$ ),温度的增加催化了有机酸水溶液对硅酸盐矿物的溶蚀进程,为次生孔隙带的发育提供了条件,并据此建立了海相石英砂岩类储集层的成岩模式。从储集层特征上来看,MFS18 5 层的结构成熟度与矿物成熟度均高于 SB13 8 层,而且呈现出由下向上逐渐降低的趋势;同时 MFS18 5 层比 SB13 8 层受波浪改造的作用要强,其搬运距离要远。从阴极发光和扫描电镜观察的结果可以看出,MFS18 5 层石英次生加大可以到 3 级,且自生高岭石也相当发育。这是 MFS18 5 层砂岩与珠江口盆地其它油田同类储层相比,孔隙度差别不大,但渗透率偏低的重要原因。另外,应用精细的单井盆地模拟,在埋藏史的基础上模拟孔、渗的垂向变化,可以直观而较为准确的分析垂向上多个储盖组合的相互差异与特征。

**关键词** 珠江口盆地 番禺气田 成岩作用 盆地模拟 储盖组合

**第一作者简介** 于兴河 男 1958 年出生 教授 博士生导师 沉积学和油气地质学 E-mail: billyu@cug.edu.cn

**中图分类号** P618.130.2<sup>+</sup>1 TE122.2<sup>+</sup>21 **文献标识码** A

## 1 气田地质概况

### 1.1 区域地理与构造单元

珠江口盆地位于我国广东省大陆外侧南海北部的大陆架上。盆地由北向南可划分为 5 个 NE 向的大型构造单元,即北部断阶带、北部拗陷带、中央隆起带、南部拗陷带和南部隆起带,各个构造单元又可以分为若干个凹陷和低隆起。北部拗陷带与中央隆起带是晚新生古珠江三角洲—滨岸沉积体系形成、发育及演化的主要场所,也是该盆地油气富集的地区<sup>[1]</sup>。

番禺气田位于珠江口盆地中央隆起带中部的番禺低隆起南部边缘(图 1)。气田范围平均水深 200 m,含油气层主要是新近系的粤海组、韩江组和珠江组,岩性以灰色泥岩、砂质泥岩与灰色泥质粉砂岩互层为主,中间夹浅灰色中细砂岩,沉积环境从陆棚逐渐过渡到三角洲<sup>[1,2]</sup>。

### 1.2 地层简介

粤海组主要岩性为海相灰色泥岩、砂质泥岩与灰色泥质粉砂岩互层,并夹有少量棕色粉细砂岩和泥质



图 1 珠江口盆地地理、构造分区及番禺气田位置图

Fig. 1 The map of geography, tectonic zone in Pearl River Mouth basin and location in Panyu gas field

中砂岩薄层,成岩性较差,以陆棚相沉积为主(表 1)。

韩江组主要岩性为泥岩、砂质泥岩和灰质泥岩互层,中间夹浅灰色中细砂岩或中粗砂岩(层序边界附近),中细砂岩多含钙质,主要为陆棚相夹三角洲相沉积。

<sup>1</sup> 高等学校博士学科点专项科研基金(20050491001)资助

收稿日期: 2007-03-26 收修改稿日期: 2007-06-25

珠江组岩性上下两段存在着较大的差异,上段以灰色泥岩、砂质泥岩夹浅灰色粉砂岩为主。下段以灰色、浅灰色细砂—中砂岩夹薄层泥岩为主。其沉积环境由三角洲相沉积逐渐过渡到陆棚相。

珠海组地层与珠江组下部基本相同,主要为灰色泥岩、浅灰色细砂岩,夹灰色中砂岩和薄层灰岩,成岩性较好,为海陆过渡相沉积。

研究区只有一口评价井,并进行了取心,其主力气层为韩江组中下部的 SB13 8 层含砾中粗砂岩和珠江组下部的 MFS18 5 层中一细砂岩。

### 1.3 含气层特征

#### 1.3.1 SB13 8 层

本段取心 9 m,包含了近 5 m 的含气层段。从岩心上看,由于埋深较浅,胶结松散,基本没有固结。该段岩性主要为细砂岩—含砾砂岩,局部出现有砂砾岩和细砾岩。砂岩分选中等—好,磨圆次棱角状—次圆状。由多个粒度向上变细的正韵律夹三个厚度不等的粒度向上变粗的反韵律组成,单个韵律的最大厚度近 2 m。韵律底部见有明显的冲刷现象。

表 1 珠江口盆地主要含油层地层简表

Table 1 The brief table of main oil and gas bearing stratigraphy in Pearl River Mouth basin

层位		年代 /Ma	岩性	沉积环境
新 生 系 界	上新统	T <sub>1</sub> 5	灰色泥岩,夹灰色泥质粉砂岩和砂质泥岩薄层。	主要为海相陆棚—三角洲
	上 粤海组		灰色泥岩、砂质泥岩与灰色泥质粉砂岩互层。	
	中新统	T <sub>2</sub> 10	泥岩、砂质泥岩和灰质泥岩互层,夹浅灰色细—粗砂岩。	
	中 韩江组		灰色泥岩、砂质泥岩、浅灰色细砂岩、泥质中砂岩。	
	渐新统	T <sub>4</sub> 16.5	灰色泥岩、砂质泥岩、浅灰色细砂岩、泥质中砂岩。	
	古近系	T <sub>5</sub> 18.5	浅灰色细砂岩、泥质中砂岩。	
	T <sub>6</sub> 21			

#### 1.3.2 MFS 18 5 层

取心井囊括了整个含气层段。从岩心观察与粒度分析资料可以看出,其岩性主要为细砂岩到粗砂岩,局部夹泥质粉砂岩和泥岩夹层。相对上面的 SB13 8 层,本段的胶结要好。在上部含钙质比较严重。分选性比较好,颗粒的磨圆好,说明沉积物经过了长距离的搬运。沉积构造非常发育,层理类型繁多,以板状交错层理为主,可见高角度和低角度下切

型板状交错层理两种;在中下部常见到断续的波状泥质纹层。另外还见到有楔状交错层理、水平层理等,偶见明显的冲刷面。生物扰动比较强烈,虫孔大量发育,最大的虫孔直径达到 5 cm,最小的为 2 mm 左右。局部见有生物介屑和大量的黄铁矿;富含海绿石。

## 2 储层特征

### 2.1 沉积微相划分

通过精细岩心观察与分析,结合取心资料的粒度分析将气田的 SB13 8 和 MFS18 5 层的沉积砂体归纳为六种不同的沉积微相类型。它们各自的特征与成因分述如下:

#### 2.1.1 三角洲平原分流河道微相

三角洲平原分流河道沉积的特征与一般河道沉积基本相同,但是它的颗粒较之中上游河流沉积要细,分选性也变好,但总体表现为中等<sup>[3,4]</sup>。剖面上岩性为砂砾岩、含砾中—粗砂岩和砂岩,砂砾岩在整个层序中占有主导地位,粒序为向上变细的正韵律(图 2),见块状层理。粒度分析表现为跳跃部分  $\Phi$  值在 -1~3 跳跃总体的斜率大约为 45°,说明粒度范围宽,含有砾石。S 截点部分为一个过渡带,反映出水动力条件由强到弱的一个渐变过程。

#### 2.1.2 三角洲前缘水下分流河道微相

水下分流河道是三角洲平原分流河道向海内的继续延伸,由于位于水下,故称为水下分流河道。

水下分流河道是本区三角洲相中出现最多的一种微相。底部为细—粗砂岩沉积,局部见有砾石,向上逐渐变细为粉砂岩,结构成熟度和成分成熟度中等—较好,岩性剖面表现为多个小正韵律砂岩叠合而形成的砂体。沉积构造比较发育,中下部砂岩中发育低角度下切型板状交错层理,体现出河流具有一定的弯曲度和侧向加积的特点,即砂体曾发生过明显的迁移,上部的细粉砂岩中发育有流水小型沙纹交错层理。虫孔发育,生物扰动中等—强,说明此类组合形成于三角洲前缘。粒度概率曲线上  $\phi$  值范围在 1~3 之间,反映了岩性主要集中在细砂岩和中砂岩。S 截点部分仍为一明显的过渡带(图 3),说明颗粒从跳跃到悬浮是一个渐变过程<sup>[5]</sup>,同样反映出水动力条件在该区变化不明显,为三角洲前缘水下分流河道的典型沉积产物。

#### 2.1.3 三角洲前缘河口坝微相

河口坝是三角洲中最具特色的砂体,它出现的位置有两种可能:水下分流河道不发育的三角洲,河口坝位于三角洲平原分流河道入海的河口处;反之,则

位于水下分流河道的末端,其重要性和特征远不如前一种。本区所发育的是后一种,即位于水下分流河道的末端,岩性主要是细砂岩和粉砂岩。由于受到河流和海水波浪双重营力的作用,河口坝的沉积物能得到

充分的筛选,泥质被淘走,而保留下来的则是分选好、质地较纯净的石英砂和粉砂。由于地形坡度的变陡,河口坝的沉积速度快,因而它的砂层厚度也比较大,具有明显的反韵律。

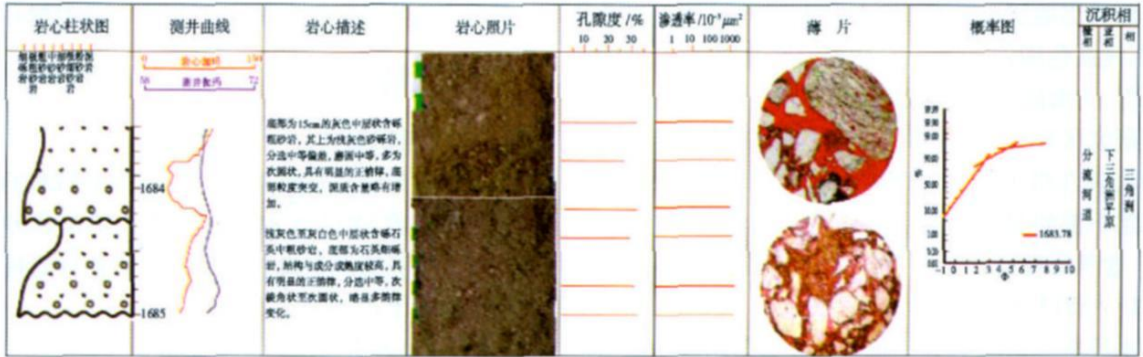


图 2 分流河道微相综合特征图

Fig. 2 The integrated characteristics of distributary channel microfacies

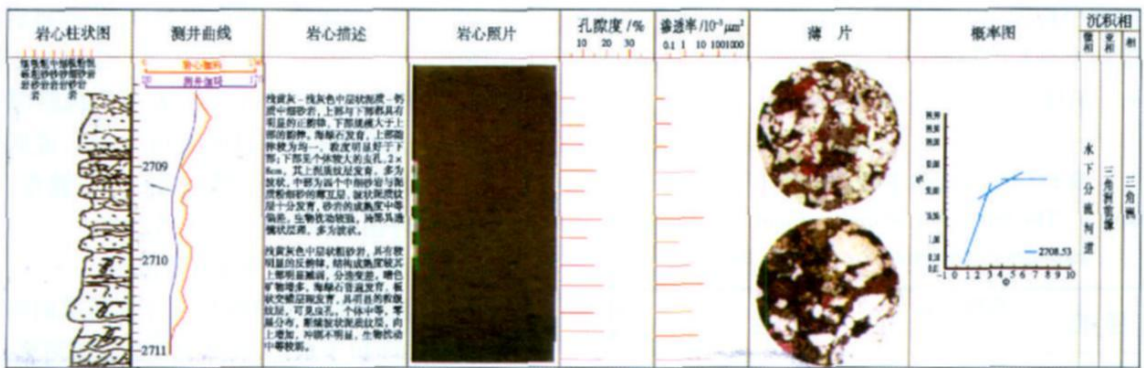


图 3 水下分流河道微相综合特征图

Fig. 3 The integrated characteristics of subaqueous distributary channel microfacies

其沉积构造比较发育,有高角度和低角度的板状交错层理(图 4),还见有包卷层理,说明这种砂体的沉积地形略有所变化,而且后期沉积速度较快,局部曾发生过重力流的滑塌或滑动的现象,但由于坡度不大,因而其规模相对较小。底部粉砂岩中见有小型的波状泥质纹层。虫孔发育,生物扰动中等一强。粒度概率曲线上:跳跃部分较陡,该总体的倾角约为 60°,分选较好。 $\phi$  值范围在 1~3 之间,反映了岩性主要集中在细砂岩和中砂岩。S 截点部分仍为一明显的过渡带,说明颗粒从跳跃到悬浮是一个渐变过程,同样反映出水动力条件在该区变化不明显,主要为河口坝沉积。

2.1.4 三角洲前缘席状砂微相

前缘席状砂是由于三角洲前缘的河口坝、远砂坝

经海水冲刷作用使之再重新分布于其侧翼而形成的厚度变化较大的砂层,并向海或湖逐渐变薄。由于距物源较远,沉积物的供给不足,通常沉积厚度不大,多在几十厘米。这种砂层分选好,质较纯,当沉积厚度较大时,可以成为极好的储集层。本区席状砂不是很发育,主要是以细砂岩沉积为主,上部为粉砂岩,顶部出现少许泥岩。发育波状层理,局部出现透镜状层理;见有生物扰动和大量的生物介屑(图 5)。

2.1.5 三角洲前缘远砂坝微相

远砂坝位于河口坝向海一侧的坝前地带,坡度向海缓缓倾斜。远砂坝沉积物较河口坝要细,本区沉积物主要为粉—细砂岩和少量粘土,常形成粘土质粉砂层,粒序上和河口坝相同,都是粒度向上逐渐变粗的反韵律。沉积构造见有小型浪成沙纹层理、波状交错

层理和波痕 (图 6)。由于波浪的改造, 这种砂坝的粒度相对较细, 厚度不大, 多平行于岸线分布, 可见低角度下切型板状交错层理, 说明砂坝发生过较为明显的迁移, 体现了远砂坝的特点。该地带可有底栖生物, 含有生物化石和潜穴遗迹, 生物扰动构造非常发育。其累积概率曲线为标准的两段式, S截点明显, 说明水动力条件从强到弱是一个突变过程, 直接从跳跃负载转变为悬浮负载, 说明沉积物卸载较快。粒度变化

可以很大, 图中线段陡、缓不一, S截点对应的  $\phi$  值从 1 到 4 差别很大。

2.1.6 前三三角洲泥微相

前三三角洲位于三角洲前缘的前方, 即浪基面以下的部位。处于开阔海地带, 由于距离物源较远, 主要是悬移物质进入较深水中的静水沉积物, 沉积物以暗色泥岩为主, 夹薄层粉砂岩, 实际上属于浅海相沉积。层理构造不发育 (图 6), 以色深质纯泥岩为特点。

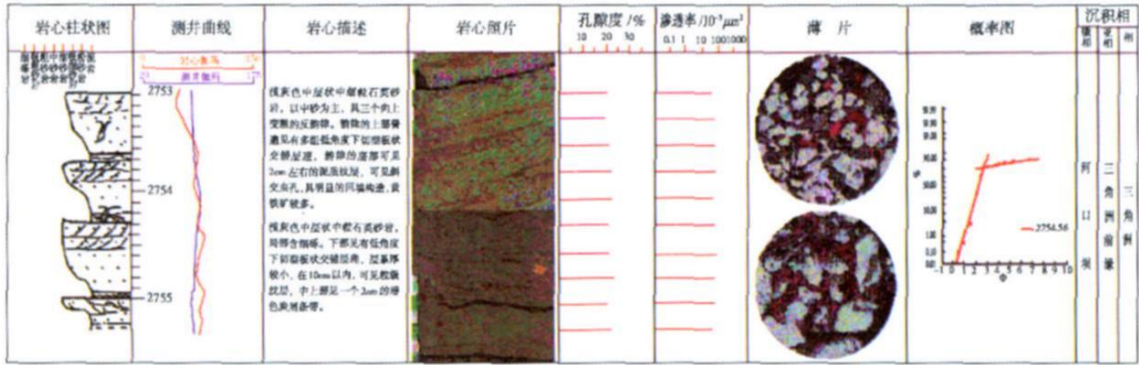


图 4 河口坝微相综合特征图

Fig. 4 The integrated reservoir characteristics of distributary mouth bar microfacies

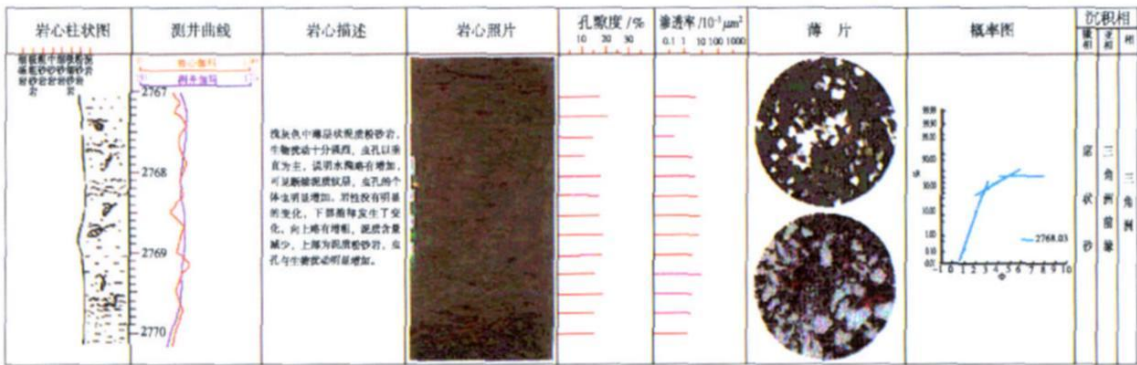


图 5 席状砂微相综合特征图

Fig. 5 The integrated reservoir characteristics of sheet sand microfacies

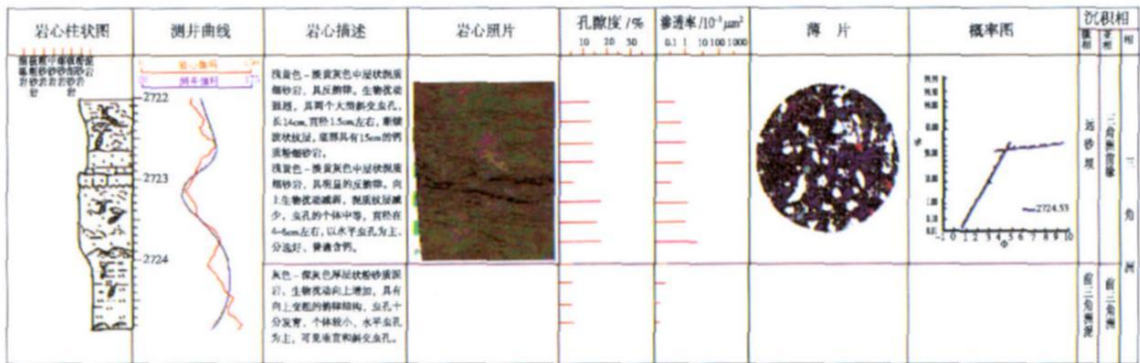


图 6 远砂坝和前三三角洲微相综合特征图

Fig. 6 The integrated characteristics of distal bar and prodelta microfacies

### 2 2 沉积微相与储层物性的关系

岩心常规物性分析表明,在番禺气田的储层中,SB13 8层岩性主要为含砾中粗粒长石石英砂岩,分选中等,属于高孔特高渗型储层;MFS18 5-iv层岩性为细粒—中粗粒石英岩屑砂岩和中细粒长石石英砂岩,泥质含量高,储层物性较差,属于低—中孔、中—低渗型储层;MFS18 5-⑦层岩性为细中粒石英砂岩,属于中孔高渗型储层;MFS18 5-⑧层岩性为含泥细粒—细粒石英砂岩和中粗粒岩屑石英砂岩,泥质含量较高,属于中孔、低—中渗型储层。

根据本区 328 块岩心样品的物性分析统计,工区内各沉积微相的物性有着较大的差异。三角洲平原分流河道微相、三角洲前缘水下分流河道微相和河口坝微相的储层物性较好,三角洲前缘远砂坝微相和席状砂微相次之,前三角洲泥的物性最差(图 2~ 6)。这种数据上的差别不仅反映出每种微相的储层物性特征,同时也符合各自沉积微相形成时的水动力条件。三角洲平原的分流河道微相和三角洲前缘的水下分流河道微相距离物源最近,形成时的水动力条件强,属于高能环境,泥和泥质粉砂岩等细粒物质不容易沉积而被搬运至下游,沉积下来的都是一些粒度比较粗的物质,使得这两种微相的孔隙度和渗透率值较高;到了河口坝微相时,由于砂体经过长距离的搬运

和淘筛,砂体颗粒的分选和磨圆都较好,储层的储集物性增强;远砂坝和席状砂两种微相虽然砂体颗粒的分选和磨圆更好,但由于粒度太细,且泥岩和砂岩的互层又比较频繁,致使孔隙度和渗透率值下降,物性变差,不是优质储层发育的有利相带。

## 3 成岩阶段划分与机理分析

### 3 1 成岩阶段划分及特征

根据该气田详细取心资料的分析化验资料,按国家标准(SY/T 5477—2003)对该气田的碎屑岩成岩阶段进行了详细的划分。该气田主要产层砂岩的成岩阶段处分别于早成岩 B 期和中成岩 A 期。

#### 3 1. 1 早成岩期

早成岩 A 期:对岩样测试分析资料的研究发现,该亚期应处在取心深度之上,从  $R_0$  的实测值就可说明此点。 $R_0$  最小值在 0.39%,平均值为 0.42%。

早成岩 B 期:研究区的地温梯度约为 3.6~4.0°C/100m。该成岩阶段的地温为 65~80°C,深度 1300~1940m,  $R_0$  介于 0.44%~0.48% (图 7), SB 13 8 层属于该期。该期岩石(砂岩)为未固结—弱固结,多呈散砂状,碎屑颗粒主要为点接触,胶结类型以基底—孔隙式为主,原生孔隙发育(孔隙度最高可达 33.8%)。此成岩期自生矿物不发育,高岭石含量平

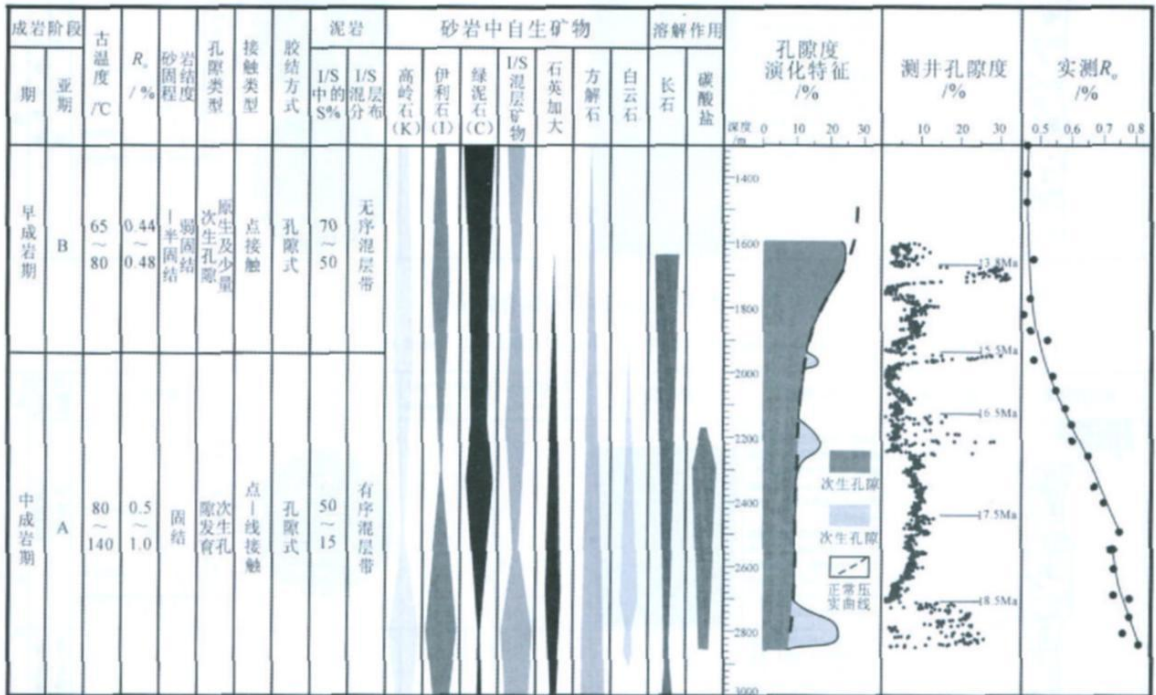


图 7 番禺气田成岩演化序列

Fig 7 The paragenetic sequence of Panyu gas field

量平均为 61.0%; 伊利石含量区间为 5% ~ 15%, 平均 11.0%; 绿泥石含量偏低 6% ~ 9%, 平均为 7.6%; 伊蒙混层矿物含量为 10% ~ 25%, 平均 20.4%。钾长石平均含量为 9.46%, 碳酸盐含量微弱。可见个别石英 iv 级加大现象, 具窄的加大边或自形晶面, 但观察到少量长石有溶蚀现象。

以上特征说明本期成岩作用较弱, 溶解和交代作用对孔隙结构的影响并不强烈, 次生孔隙还未开始大量出现。

### 3.1.2 中成岩期

中成岩 A 期: 整个 MFS18 5 层都属于该期, 地温梯度为 80~140°C, 深度为 1 940~2 850 m,  $R_o$  介于 0.5% ~ 1.0% 之间。该成岩期砂岩完全固结, 碎屑颗粒以点—线接触为主, 胶结类型为孔隙式, 次生孔隙开始大量发育。在孔隙度随深度演化曲线上, 有三个较为明显的次生孔隙发育带, 深度分别是 1 940~1 980 m (SB15 5), 2 130~2 290 m 和 2 710~2 880 m, 其中 2 710~2 880 m 处次生孔隙发育规模较大。另外, 本期还有砂岩的次生孔隙随着深度的增加更为发育的显著规律 (图 7)。

混层矿物成分变化由无序转变为有序, I/S 混层中 S 占 15%, 高岭石、伊利石和伊蒙混层矿物都有不同程度的增加。胶结物含量也明显增加, 其中方解石类胶结物在 MFS18 5-iv 层达到最大 (58.9%), 平均为 17.10%, 辅之以铁质胶结物 (菱铁矿、黄铁矿, 含量范围 0.5% ~ 3.2%); 白云石类胶结物在 MFS18 5-iii 层大量出现, 含量最高达 59.4%, 平均值也达 15.07%。

石英次生加大发育。在镜下观察铸体薄片, 可见石英自形晶面, 加大边较宽, 多呈镶嵌状, 为 iii 级加大。粒间溶孔相当发育, 交代作用明显, 自生高岭石大量发育, 充填粒间, 方解石充填粒间并交代石英颗粒, 具有多环结构的含铁白云石交代、充填颗粒间。粘土矿物的含量也有一定的变化, MFS18 5 层的高岭石平均值为 64.69%, I/S 平均值为 22.45%, 伊利石平均值为 13.07%。依据最新的成岩阶段划分标准, 因未见绿泥石, 说明 MFS18 5 层刚进入中成岩 A 期阶段。

以上特征共同反映了本期成岩作用比较强烈, 孔隙性相对于早成岩 B 期较差; 但在压溶、溶解和交代作用的共同作用下, 方解石和白云石大量交代长石和岩屑, 石英次生加大发育, 长石自身也在不断溶蚀, 它们为次生孔隙的大量发育提供了有利的条件。

中成岩 B 期: 从钻井资料来看, 未钻遇该成岩期的层位, 说明气田的含气层段未经历此成岩期。

## 3.2 成岩机理与成岩模式

### 3.2.1 成岩机理

就本区孔隙的形成和演化而言, 处于早成岩 B 期的 SB13 8 层, 绿泥石和蒙脱石以微量存在; 胶结物含量很低 (主要为极少量的泥质), 胶结作用极不强烈, 成岩作用较弱, 原生孔隙度的逐渐降低主要受压实作用的影响。出现上述情况的主要原因是 SB13 8 层位于气水界面 (1 681 m) 附近, 地层水呈弱碱性,  $pH > 7.5$  导致自生矿物和粘土矿物的含量不是很高, 这就说明此产气层段 SB13 8 层处于开启型弱碱性水循环环境。

相对于 SB13 8 层来说, 处于中成岩 A 期的 MFS18 5 层属于一个封闭型弱酸性水循环系统, 地层水的  $pH < 6.5$ 。在这种环境下, 不断升高的地层温度 (80~140°C) 一方面使得成熟度高的有机质逐渐脱羧基, 溶解于水后使地层水进一步酸化, 促使溶解作用成为次生孔隙带发育的必要条件<sup>[8]</sup>; 另一方面, 大量的长石 (钾长石) 蚀变成高岭石, 蒙脱石转化为结晶程度更高的伊利石, I/S 混层矿物由无序转变为有序 (混层比不小于 15), 有利于酸性溶液进入孔隙, 溶解颗粒周围的胶结物, 从而增大孔隙空间, 为次生孔隙的大量出现提供了充分条件。从  $R_o$  的实测值也可以说明此点, 当深度超过 1 940 m 后, 不仅实测  $R_o$  值大于 0.5%, 且其变化速率明显加快, 说明热演化程度加剧, 温度对本期成岩演化起到了明显作用。

### 3.2.2 成岩模式

成岩作用对储集层孔隙发育有重要影响<sup>[9-11]</sup>。根据铸体薄片与 X 衍射分析的结果, 结合成岩阶段特征分析, 确定本区储集层岩性均为石英砂岩类, 以长石岩屑石英砂岩、岩屑长石石英砂岩和岩屑石英砂岩为主。其成岩过程及孔隙演化模式如下 (图 8):

在成岩阶段的早期 (早成岩 B 期), 主要发生机械压实作用, 使颗粒堆积紧密, 可见个别颗粒被压碎、压裂, 颗粒之间以点接触为主, 此时孔隙仍较大。随着深度的增加, 压力也随之增大, 原生孔隙开始大幅降低。由于地温的增加, 颗粒间的接触点上出现小范围的压溶现象, 并伴有个别石英的次生加大<sup>[12]</sup>。进入中成岩期后, 随着碳酸盐胶结物和硅质 (主要是石英) 胶结物的大量出现, 胶结作用和溶解作用开始起主导作用。

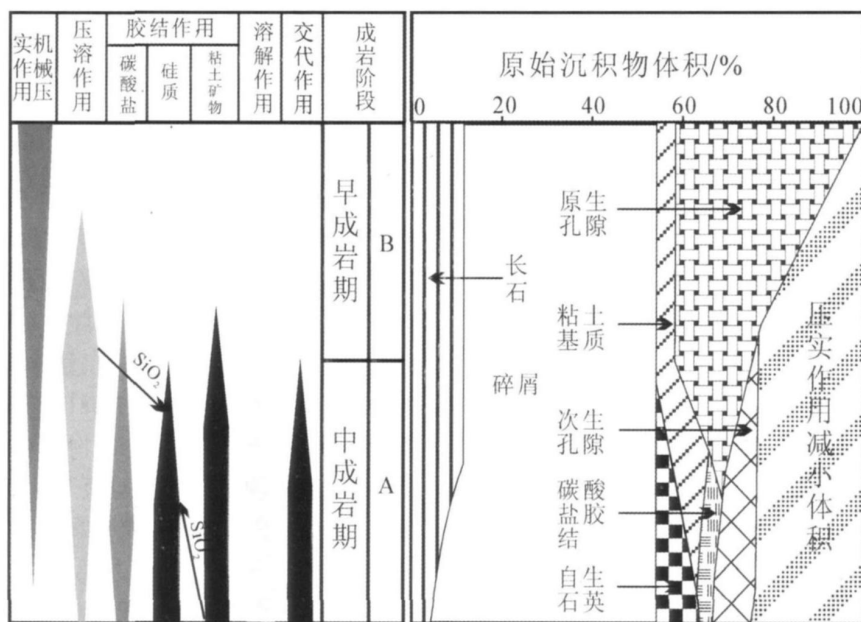


图 8 石英砂岩成岩过程及孔隙演化模式图

Fig 8 The pattern of diagenetic process and porous evolution of quartz sandstone

在中成岩 A 期, 石英加大 (⊕、⊙级) 现象十分普遍, 胶结物含量可以平均占到岩石体积的 10%, 使得原生孔隙丧失到不足 10%。在不断加温温压条件下, 长石大量被溶蚀, 粘土矿物之间相互转化, 主要是蒙脱石在有机酸的作用下向伊利石转变。受溶解作用的影响, 可溶性颗粒和易溶的胶结物发生溶蚀和交代现象, 从而促成次生孔隙大量发育<sup>[13]</sup>。随着深度的继续增加, 砂岩本身被自生石英胶结, 孔隙度整体不断降低, 导致本区成熟度高的石英砂岩储集性并不是很好。

## 4 盆模与储盖组合分析

由于取心井没有全井段的实际孔、渗数据, 为此应用盆地模拟软件, 采用流体压实与瞬变热流模型, 并依据钻井段各三级层序界面划分的依据, 在建立埋藏史的基础上, 模拟出孔隙度与渗透率在垂向上的变化特征 (图 9), 以此来反映垂向上的储盖组合。

### 4.1 孔隙度

从孔隙度的演化特征看 (图 9-A), SB17.5 与 MFS18.5 为一个良好的储盖组合, 孔隙度在 1900 m 以下具有明显降低的趋势, 但 MFS18.5 孔隙度相对较好。同时该图也说明该区的埋藏史经历过三个阶段: 21.5~17.5 Ma 为稳定沉降阶段; 17.5~13.8 Ma 为快速沉降阶段; 13.8 Ma~ 至今为稳定沉降阶段。其中全新世 (2 Ma) 以来其沉降速率相对较大。

### 4.2 渗透率

就渗透率的垂向变化而论 (图 9-B), 具有四个良好的储层, 分别为: SB13.8 & SB15.5 & SB16.5 和 MFS18.5。其中, SB13.8 最好, 其次为 MFS18.5, 第三为 SB15.5 & SB16.5 相对较差。但从储盖组合上看, MFS17.0~MFS18.5 为最好的储盖组合; 其次为 MFS13.4~SB13.8 & MFS15.0~SB15.5 也为一个较好的组合。这就进一步说明该气田的主要产层为 MFS18.5 和 SB13.8 两层; 同时也说明用盆地模拟的方法进行储盖组合研究是一个值得推广的方法。

## 5 结论

(1) 该气田为典型的海相三角洲沉积, 可划分出六种沉积微相, 而主要含气层段 MFS18.5 层以三角洲前缘沉积为主, 而 SB13.8 层则以三角洲平原沉积为主。

(2) 依据岩心、薄片、扫描电镜、X 衍射等资料对气田的储集层进行岩石学和矿物学分析, 按照最新碎屑岩成岩阶段划分标准, 建立了海相石英砂岩类储集层的成岩模式。该区的两套主力气层 SB13.8 层处于早成岩 B 期, MFS18.5 层处于中成岩 A 期。前者属于开启型弱碱性水循环环境, 胶结作用不强烈, 成岩作用较弱; 后者则属于一个相对封闭型弱酸性水循环环境, 温度的增加催化了溶蚀作用的进程, 为次生孔隙带的发育提供了充分必要条件。

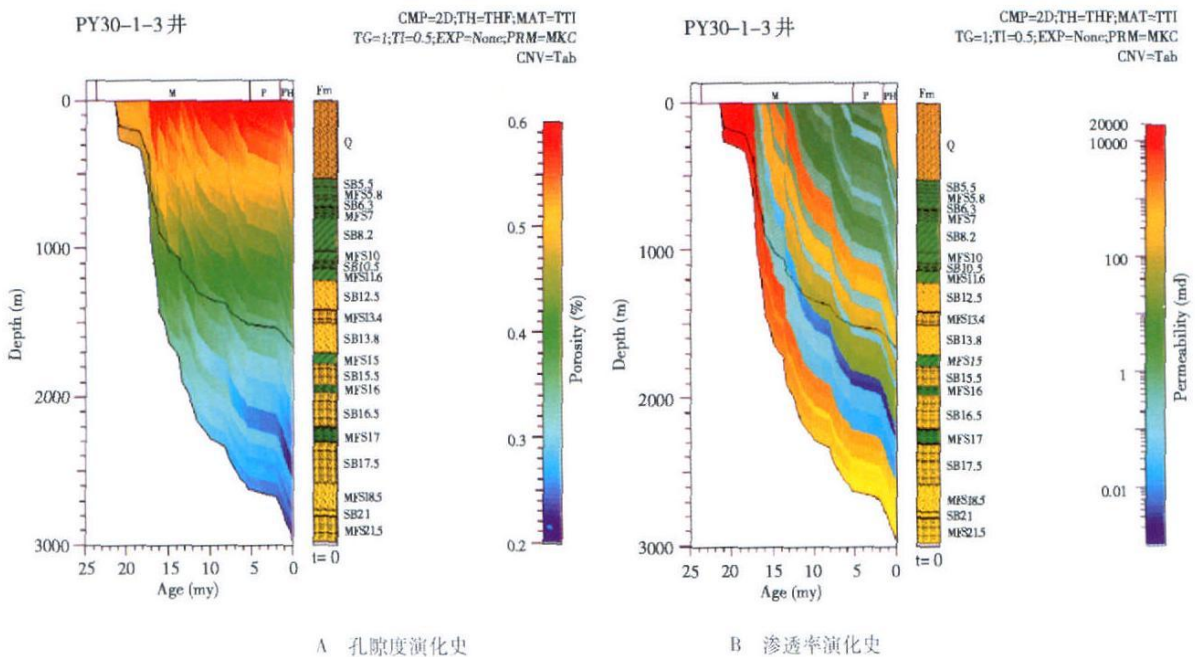


图 9 孔隙度与渗透率随埋藏史演化

Fig 9 The evolvements of porosity and permeability in burial history

(3) 从储集层特征上来看, MFS18 5 层的结构与成分成熟度要高于 SB13 8 层, 而且呈现出由下向上逐渐降低的趋势; 同时说明 MFS18 5 层比 SB13 8 层受波浪改造的作用要强或搬运距离要远。而且, SB13 8 层砂岩属未固结—弱固结, 胶结物很少; MFS18 5 层砂岩泥质含量交较多, 局部方解石和铁白云石胶结物富集也对物性有一定影响, 石英次生加大可以达到 3 级, 自生高岭石也相当发育。这就是 MFS18 5 层砂岩与珠江口盆地其它油田同类储层相比, 孔隙度差别不大, 但渗透率偏低的重要原因。

(4) 精细的单井盆地模拟可以很好的分析油气田的储盖组合特征, 尤其是在埋藏史的基础上模拟孔、渗的垂向变化, 渗透率的变化可以直观而较为准确的分析垂向上多个储盖组合的相互差异与特征, 对主力产层的预测具有很好的借鉴作用。

### 参考文献 (References)

- 1 陈长民, 施和生, 许仕策, 等. 珠江口盆地 (东部) 第三系油气藏形成条件. 北京: 科学出版社, 2003 [Chen Changmin, Shi Hesheng, Xu Shice, et al. The Condition of Forming Tertiary Reservoir in Pearl River Mouth Basin (EAST). Beijing Science Press 2003]
- 2 吴崇筠, 薛叔浩. 中国含油气盆地沉积学. 北京: 石油工业出版社, 1992 [Wu Chongjun, Xue Shuhao. Sedimentology of Petroleum Basin in China. Beijing Petroleum Industry Press 1992]
- 3 于兴河. 碎屑岩系油气储层沉积学. 北京: 石油工业出版社, 2002

[Yu Xinghe. Petroleum Reservoir Sedimentology of Clastic Rocks. Beijing Petroleum Industry Press 2002]

- 4 施和生, 李文湘, 于兴河, 等. 珠江口盆地 (东部) 砂岩油田沉积相及其应用. 中国海上油气 (地质), 1999, 13(3): 181-188 [Shi Hesheng, Li Wenxiang, Yu Xinghe, et al. A study on sedimentary facies of sandstone oil fields in Eastern Pearl River Mouth Basin. China Offshore Oil and Gas (Geology), 1999, 13(3): 181-188]
- 5 郑浚茂. 陆源碎屑沉积环境的粒度标志. 北京: 武汉地质学院北京研究生部出版社, 1982 [Zheng Junmao. The Granular Symbol of Depositional Environment of Continental Clastic. Beijing Press of Postgraduate Department (Beijing) of China University of Geosciences (Wuhan), 1982]
- 6 裘怿楠. 中国陆相碎屑岩储层沉积学的进展. 沉积学报, 1992, 10(3): 16-25 [Qiu Yanan. The development of sedimentology of continental petroclastic rocks in China. Acta Sedimentologica Sinica, 1992, 10(3): 16-25]
- 7 Ian A McIlreath, David W Morrow. Diagenesis. Geological Association of Canada. IV Series. Ottawa: Ontario The Runge Press Ltd, 1990
- 8 郑浚茂, 庞明. 碎屑储集岩的成岩作用研究. 武汉: 中国地质大学出版社, 1989 [Zheng Junmao, Pang Ming. Diagenesis of Petroclastic Rocks. Wuhan Press of China University of Geosciences, 1989]
- 9 于兴河, 郑浚茂, 宋立衡, 等. 构造、沉积与成岩综合一体化模式的建立. 沉积学报, 1997, 15(3): 8-12 [Yu Xinghe, Zheng Junmao, Song Liheng, et al. The establishment of integrated model on structure, deposition and diagenesis. Acta Sedimentologica Sinica, 1997, 15(3): 8-12]
- 10 王少依, 王行信, 韩守华. 影响我国陆相碎屑岩储集层黏土矿物组合和分布的因素. 石油勘探与开发, 2002, 29(6): 19-21 [Wang Shaoyi, Wang Xingxin, Han Shouhua. Factor affecting the clay mineral



- al components and distributions of continental clastic reservoir in China Petroleum Exploration and Development 2002, 29(6): 19-21 ]
- 11 于兴河, 张道建, 李胜利, 等. 辽河油田东西部凹陷深层沙河街组成岩演化规律. 石油实验地质, 1999, 21(4): 291-295 [ Yu Xinghe Zhang Daojian Li Shengli *et al*. The diagenetic evolutive law of deep burial strata at Shahejie formation in eastern and western depressions of Liahe oil field. *Experimental Petroleum Geology*, 1999, 21(4): 291-295 ]
- 12 陈丽华, 缪昕, 于众, 著. 扫描电镜在地质上的应用. 北京: 科学出版社, 1986 [ Chen Lihua Miu Xin, Yu Zhong. *The Application on Geology of Scanning Microscope*. Beijing: Science Press, 1986 ]
- 13 刘孟慧, 赵澄林, 等. 碎屑岩储层成岩演化模式. 山东东营: 石油大学出版社, 1993 [ Liu Menghui Zhao Chenglin, *et al*. *The Evolution Pattern of Reservoir Diagenesis of Clastic Rocks*. Dongying Shandong Petroleum University Press, 1993 ]
- 14 朱国华. 碎屑岩储集层孔隙的形成、演化和预测. 沉积学报, 1992, 10(3): 114-123 [ Zhu Guohua. The formation, evolution and forecast of pores of clastic rocks. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1992, 10(3): 114-123 ]
- 15 吴胜和, 熊琦华, 等. 油气储层地质学. 北京: 石油工业出版社, 1998 [ Wu Shenghe Xiong Qihua, *et al*. *The Geology on Reservoir of Petroleum and Gas*. Beijing Petroleum Industry Press, 1998 ]

## Study on Depositional Characteristic and Diagenetic Evolutionment in Panyu Gas Field of Peal River Mouth Basin

YU Xing-he<sup>1</sup> JIANG Hu<sup>1</sup> SHI He-sheng<sup>2</sup> HOU Gou-wei<sup>3</sup>

(1. China University of Geosciences, Beijing 100083; 2. Shenzhen Branch of CNOOC Ltd, Guangzhou 510240;

3. CNOOC Research Center, Beijing 100027)

**Abstract** The main gas-bearing layers at Panyu gas field was belong to delta deposits of marine facies. The main bearing gas layer SB13-8 layer was as main sediments of deltaic plain, but MFS18-5 layer was the depositing product of deltaic front. Based on the data of core, thin section, scanning microscope, X-diffraction, etc., the reservoir characteristics and diagenesis of Panyu gas field had been studied in detail. According to the latest classified criterion on diagenetic stage of clastic reservoirs, SB13-8 layer, one of the two main gas bearing layers, its stratum water circulating environment was an open type of alkalinescence ( $\text{pH} > 7.5$ ), which was belong to stage B in early diagenesis with weak cementation and feeble diagenesis. MFS18-5 Layer, another gas bearing layer, its stratum water circulating environment was an relative closed type of feeble acid ( $\text{pH} < 6.5$ ), which was belong to stage A in middle diagenesis. So, the augnent of temperature had been catalyzed the dissolution course of organic acid water solution for silicate minerals, which had provided sufficient and indispensable conditions for the development of the secondary porous zones. Hereby, the diagenetic pattern of marine quartzite sandstone reservoir has been established. As the view of reservoir characteristics, the texture and mineral component mature of MFS18-5 layer was higher than that of SB13-8 layer and it descended from lower to upper. Meanwhile, MFS18-5 layer had been reconstructed by waves and transported with long distance that was much more than those of SB13-8 layer. According to the results on cathode luminescence and scanning microscope, the secondary enlargement of quartzs was to be the third degree and autogenetic kaolinite was well developed. This is the reason why the sandstone of MFS18-5 layer has the lower permeability and poor porosity contrasting with other reservoirs in Peal River Mouth basin. On the other hand, using specify basin simulating method of single well, the vertical change of porosity and permeability on the basis of burial history have been simulated, which can intuitively and more accurately analyze one another difference and characteristics of vertical multiply.

**Key words** Peal River Mouth basin, Panyu gas field, diagenesis, Basin simulation, multiply