

# 杭州湾地区全新世典型生物气藏特征分析<sup>①</sup>

林春明<sup>\*</sup> 蒋维三 李从先

(同济大学海洋地质与地球物理系) (浙江石油勘探处) (同济大学海洋地质与地球物理系)

**摘要** 从杭州湾地区全新世超浅层生物气所赋存的沉积背景入手,分析了该区沉积相及其展布,并恢复了与生物气时空分布密切相关的沉积相在古河谷形成演变规律。在此基础上,重点解剖最具代表性的夹灶生物气藏,探讨了超浅层生物气藏典型特征。研究表明:末次盛冰期低海面,河流下切形成40~100m深的钱塘江古河谷,冰后期海平面上升,古河谷被充填和覆盖。河漫滩和浅海泥质沉积物既是气源岩,又是盖层,后者可作为区域盖层;分布在古河谷的河漫滩砂质透镜体为唯一具工业价值的储气层,气藏为岩性圈闭,属自生自储同生型。含气砂层顶界面在浅层横波地震剖面上表现出强的反射面,当含气砂体横向尖灭,反射波急剧减弱,据此可圈定含气砂体的边界。

**主题词** 杭州湾 全新世 生物气 地质特征

## 1 前言

生物成因气(简称生物气)是在低温未成熟条件下由厌氧细菌分解有机物而生成的富甲烷天然气,占世界已发现天然气储量的20%以上<sup>[1]</sup>,D. D. Rice等人关于生物气生成、聚集及远景储量的研究,是最系统的早期经典著作之一,但其重点是研究海相生物气;对陆相生物气,我国柴达木盆地东部第四系气藏是典型的实例,气藏埋深69~1734m<sup>[2]</sup>。本文所谈的杭州湾地区全新世生物气,位于海陆过渡地带,既有海相成因,又有陆相成因特征,埋深小于55m,属于超浅层天然气。笔者从发现最早、资料相对丰富、勘探开发效果最好的夹灶浅气田入手,分析生物气赋存的沉积相及其展布特点,探讨生物气藏典型特征,以便正确认识、评价超浅层生物气,更加经济有效地勘探开发生物气资源。

## 2 气田概况

杭州湾地区位于浙北,主要由杭嘉湖平原和萧绍平原组成。1991年以来先后发现了夹灶、东塘—雷甸、义盛(头蓬)、海盐、黄菇浅气田,其中夹灶浅气田最具代表性。夹灶浅气田位于钱塘江南岸萧绍平原,1991年10月发现,1992年2月正式投产,之后布设了九条4.837km不成网的浅层横波地震,完成静力触探井21口,取心井2口,生产井3口,总进尺1935.0m。在夹3、夹4全取心井中采集了古生物、岩石物理、地球化学等样品242个,圈定含气面积2.21km<sup>2</sup>,控制储量0.15×10<sup>8</sup>m<sup>3</sup>,至1994年底累计产气370×10<sup>4</sup>m<sup>3</sup>。

## 3 沉积背景

### 3.1 沉积相类型及特征

生物气形成于多种沉积环境,本区全新世地层自下而上主要沉积相有:

- (1) 河床相 由砂砾、含砂砾层及粗中砂层构成,粒度自下而上逐渐变小,呈正粒序,厚度0.42~43.5m。
- (2) 河漫滩相 由灰色粘土、砂质粘土和粘土质砂构成,含菱铁矿结核,见蓝铁矿、植物碎屑和根茎,在萧

<sup>①</sup> 国家自然科学基金(编号49476380)及浙江石油勘探处联合资助。

\* 林春明,1986年毕业于大庆石油学院石油地质专业。现为沉积学与海洋地质学博士生。通讯处:上海市四平路1239号同济大学海洋地质与地球物理系。邮政编码:200092。

19井34.07~35.5m井段发现半碳化木块。产高顶篮蚶(*Corbicule Celsusapica Huang*),华丽篮蚶(*Corbicula leana Prine*),盘螺科(*Valvatidae*)等淡水—微咸水生活的软体动物,其壳体受不同程度风化,但完整,常见两瓣绞合或呈团块状共生者,可见它们系原地自生的,代表当时的沉积环境。贝壳常成层分布,厚十至数十厘米。该层亦见少量有孔虫,且向上及向河口地段含量增大,个体较小,推断它们是潮汐搬运而来,说明河漫滩沉积受海水影响,为入海河流段。河漫滩平均粒径为(2.8~8.6) $\Phi$ ,标准偏差为(1.8~4.0) $\sigma$ ,反映沉积动力极不稳定。砂体概率累积曲线为二段和三段型,显示河流沉积特点,厚度1.8~25.6m。河漫滩中含砂质透镜体,厚度不一,埋深一般30~55m,是生物气的主要储集体。

(3) 浅海相 主要由灰色含粉砂淤泥质粘土组成,夹1~2mm厚粉砂纹层,显水平层理。质软,含水量高,有较多的有孔虫,50g干样中常多达数百枚,底栖有孔虫的含量高达90%~95%,主要有毕克卷转虫变种(*Ammonia beccarii Var*),阿卡尼五块虫圆形亚种(*Qinqueloculine austaese rounda*),粒形五块虫(*Q. grandalifonmis*),希望虫(*Elphidium sp.*),九字虫(*Cribrimonion sp.*)等近20个种,分异度高。介形虫主要为中华美介、中华洁面介、真花介、纯艳花介未定种等。孢粉组合以喜热湿的青冈、栲属(*Q. lauca, castanopsid*)为主,其次是麻栎(*Q. acutissima*)、松(*P. inus*)和水龙骨科(*Polypodiaceas*),反映气候温热湿润,厚5.0~32.5m。

该层常夹有粉砂、砂层,亦见有砂砾层,厚1~2m,以靠近山麓地带为多,是生物气较有利储集体。浅海沉积物平均粒径为(7.2~8.8) $\Phi$ ,标准偏差(2.5~3.2) $\sigma$ ;粗组份分析以陆源碎屑为主,含一定量片状矿物,说明浅海水深不大,靠近物源区,水流环境相对稳定。

(4) 河口湾相 由灰色粉砂、含粘土粉砂及粉细砂构成,含贝壳碎片、海相自生矿物海绿石及有孔虫。沉积物粒度向上变细,反映水动力由强变弱。孢粉组合以麻栎(*Q. acutissima*)—黎科(*Cheuropodiaceae*)为主,反映气候温暖湿润,厚6~21m。

(5) 湖沼相 主要由粉砂质粘土组成,含大量植物根系和植物碎屑。

### 3.2 沉积相时空分布与古河谷形成演化

为了解沉积相在纵横向形成、迁移递变规律,笔者对钱塘江古河谷进行若干条连井剖面沉积相对比分析可知<sup>[3]</sup>,古河谷在钱塘江口宽15~25km,在杭州湾海域宽达80km,谷底深40~100m,自西向东逐渐加深,古水流显然自西向东流。全新世沉积受地形控制,河床分布在古河谷靠近主流线部位,位于现今钱塘江南岸;河漫滩亦分布在古河谷内,叠置在河床之上,分布范围比河床广,厚度因受水流侵蚀而不同;浅海相覆盖在河漫滩之上,稳定分布在古河谷和河间地,因后期水流冲蚀,海相沉积变薄,在河间地甚至消失殆尽;河口湾位于浅海相之上,分布在古河谷和河间地,但范围远小于浅海范围。

沉积相时空分布与本区古河谷形成、演化密切相关。除古地形外,海平面变化对全新世地层、沉积相的发生和发展起着重要控制作用。根据沉积相分布规律和各沉积相沉积等厚图、岩相古地理图,可恢复钱塘江古河谷形成、演化历史(图1)。①末次盛冰期(20000~15000年前)深切河谷形成,海平面下降,海岸线位于现今东海陆架水深150~160m<sup>[4]</sup>,在本区形成钱塘江古河谷,谷内沉积物来自上游河段下运的河床滞留沉积物(图1-a);②冰后期(全新世)初,早期(约15000~7500年前)古河谷充填,随气候转暖,海平面开始回升,海水首先沿钱塘江古河谷内侵,钱塘江口向陆退缩,但未达本区,沉积物来自上游河段下运,为海进河床和河漫滩沉积物充填(图1-b,c);③全新世中期(约7500~4000年前)海水覆盖,为海侵鼎盛时期,海水溢出古河谷,浸没相邻河间地,继而直达山麓脚下,海相沉积物覆盖本区(图1-d);④全新世晚期(约4000年前到今)河口湾、湖沼形成和萎缩,气候温暖湿润,海平面趋于稳定,沉积速率超过相对海平面上升速率,海岸向海方向伸展,接受河口湾或湖沼相沉积物(图1-e)。以上看到,河漫滩相仅发育于古河谷内,而超浅层生物气主要赋存于河漫滩环境,故超浅层生物气主要分布于古河谷内。

① 林春明等,浙江杭州湾地区第四系浅层天然气勘探区块地质综合评价报告,1994。

### 4 生物气藏特征

解剖夹灶浅气田(图2,3),可以看到全新世生物气藏具有如下一些典型特征:

#### 4.1 生气层特征

生气层中的近岸浅海灰色淤泥质粘土层,有机碳含量一般为0.3%~0.5%,氯仿沥青“A”平均为 $153.6 \times 10^{-6}$ (18个样),干酪根为腐泥腐殖型或含腐泥腐殖型(II<sub>2</sub>),全区分布稳定,残留厚度一般10~20m;另外,受海水影响的河漫滩深灰—灰黑色粘土和淤泥质粘土层,有机碳一般在0.3%~0.8%,氯仿沥青“A”平均为 $268.1 \times 10^{-6}$ (16个样),干酪根主要为腐殖型(III),分布于古河谷内,连续性较好,残留厚度10~15m。有机碳和氯仿沥青“A”含量随深度增加(由浅海相→河漫滩相)而增加,从沉积环境、沉积时间、古气候、海平面变化、地壳沉降和沉积速率、水介质等因素看,河漫滩相生气层的生气能力比浅

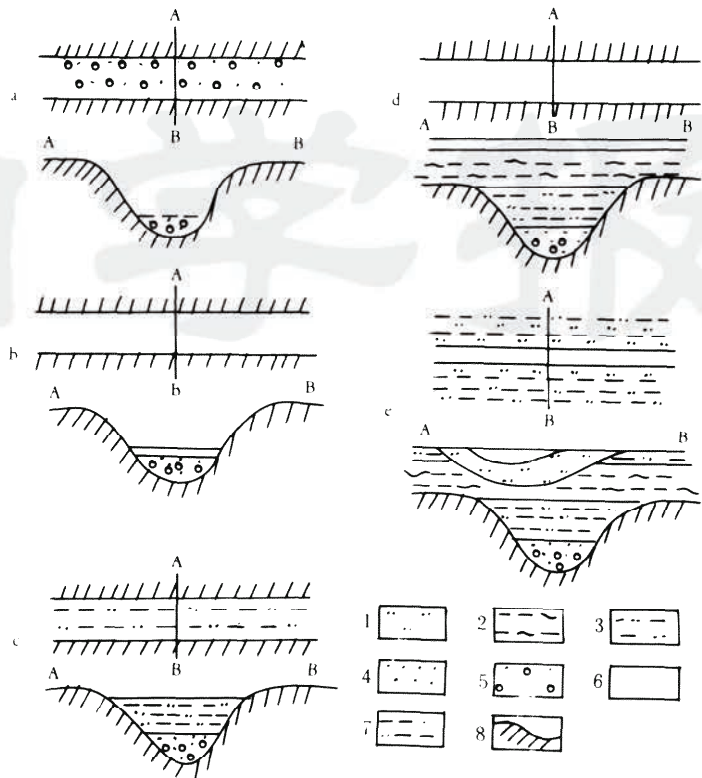


图1 钱塘江古河谷演化模式

Fig.1 The evolution pattern of the Qiantangjiang former River Valley

1—粉砂;2—淤泥质粘土;3—粘土质粉砂;4—砂;5—砂砾;  
6—水体;7—粉砂质粘土;8—全新统基底

海相要强。16个气源岩热解成果,最大热解温度均低于430℃,一般370~410℃,属未成熟阶段。

#### 4.2 储层特征

储层类型自下而上有:①河床砂砾、砂层,在古河谷内连通性好,不易形成圈闭,常含水,当气来源丰富、砂层顶部具局部圈闭条件时,才有可能储集生物气;②河漫滩砂、粉砂、砂砾透镜体;③近岸浅海相所夹砂质透镜体含气层,因厚度小及盖层较薄,生产周期短,利用价值不大;④河口湾粉砂及粉细砂,厚度虽大,但因缺少盖层或盖层极薄,不具开采价值。

从目前勘探成果看,河漫滩砂体为主力产气层,故对其重点剖析。夹灶浅气田主气层埋深36~50m,厚度5.4~7.7m,最大达十余米,平均7.0m,储集体被非渗透性粘土包围,呈大小不等的串沟状或条带状透镜体(图3),经测试,孔隙率

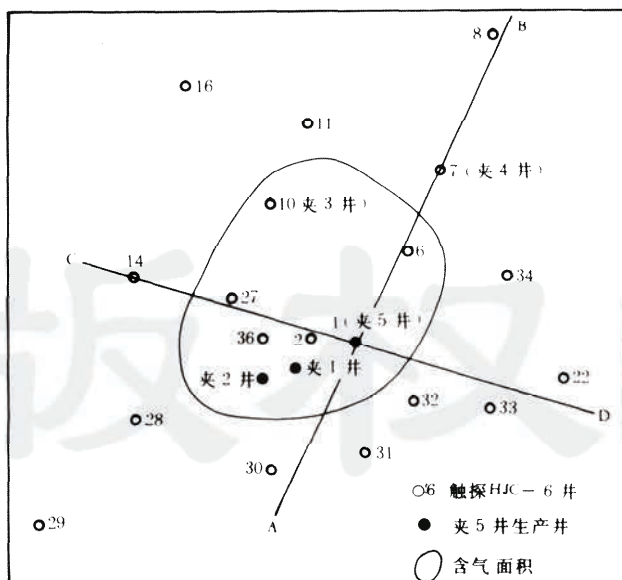


图2 夹灶浅气田平面图

Fig.2 Plan view of Jiaozao shallow gas field

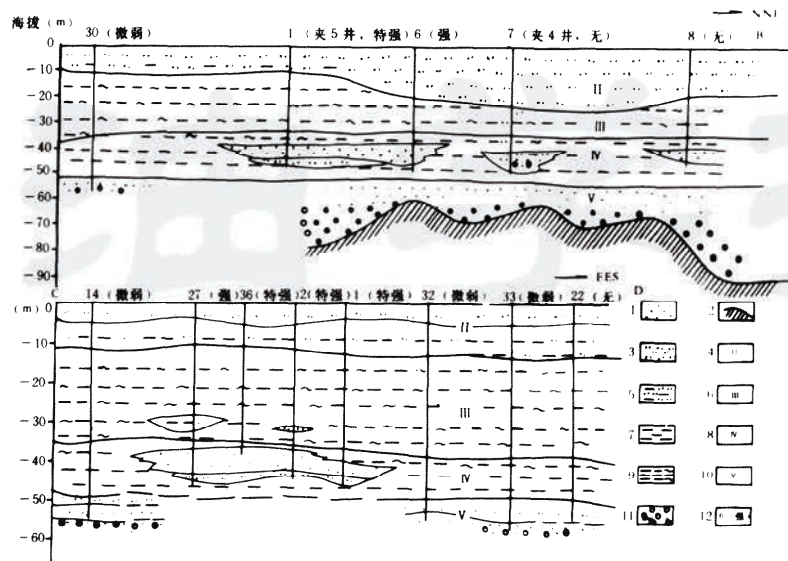


图 3 夹灶浅气藏剖面综合解释图

Fig. 3 Synthetic explanation of Jiacao shallow gas pool profile

- 1—砂; 2—全新统基底; 3—粉砂; 4—河口湾相; 5—粘土质粉砂; 6—近岸浅海相; 7—粘土;  
8—河漫滩相; 9—淤泥质粘土; 10—河床相; 11—砂砾; 12—勘探井位(气显示程度)

28.0%~36.1%，渗透率 $(360.8\sim 818.8)\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ ，按容积法和压降法计算的储量进行换算，推测气层有效厚度为 5.6m。其它浅气田主气层埋深一般在 40m 左右，厚 2~6m，气层有效厚度因资料所限难以估算，孔隙率、渗透率实测如表 1。表 1 对比结果，细砂储集性能最好，其次为粉砂，然后是含砾中粗砂。因储集体处于未固结松散状态，取心难度较大，实测样品多少含一些泥质，其真实孔隙率和渗透率应较实测值大些，一般孔隙率在 33%~50% 左右。

表 1 杭州湾地区全新世生物气田储层物性

Table 1 Reservoir physical properties of Holocene biogas field in Hangzhou Bay area

浅气田名称	井 位	井深 (m)	岩 性	孔隙率 (%)	渗透率( $10^{-3}\mu\text{m}^2$ )
夹灶	夹 3 井	38.0	含砂质粉砂	36.1	360.8
		40.2	含砂质粉砂	28.0	818.8
东塘   雷甸	东 5 井	31.6	浅灰黄色细砂	40.8	1033.0
		36.3	上黄色含砾砂	29.4	723.5
	雷 5 井	25.3	灰黄色细砂	33.9	158.9
黄 菘	雷 8 井	35.6	灰黄色含砾中粗砂	28.8	272.0
	黄 1 井	53.7	浅灰绿色细砂	30.9	488.3
	黄 3 井	34.9	浅黄绿色细砂	37.5	1678.0
	黄 4 井	63.0	黄绿色粉砂	43.2	564.0
	黄 5 井	54.1	灰绿色细砂	30.5	60.8
海盐	海 1 井	20.0	灰绿色粉细砂	40.2	707.7
		23.5	灰绿色粉砂	40.1	197.2
	洪 1 井	15.0	浅黄色细砂	39.5	537.0

### 4.3 盖层特征

储层之上的生气层均可作为盖层,尤以浅海相软塑—流塑性淤泥质粘土为佳,为本区良好的区域盖层。据勘探开发实践经验,盖层厚度一般应在10m左右,才能对生物气起到良好的封堵作用。

### 4.4 压力、产量、圈闭等特征

夹灶气田原始压力为(0.36~0.41)MPa,夹1井、夹2井、夹5生产井6mm油咀日产量分别为2075、1481、2300m<sup>3</sup>,储量为千万立方米数量级,气藏属于岩性圈闭气藏,根据静力触探井资料和气藏压力相关性,推测夹灶气田为单独砂体,含气面积为2.21km<sup>2</sup>。一个气藏开采年限很短,只能保持3~5a稳定期,气藏具底水,采气过量,易水淹和泥沙堵。其它气田原始压力在(0.25~0.46)MPa,单井产量在6mm油咀的工作制度下达(1400~6413)m<sup>3</sup>/d,单个气藏面积2~5km<sup>2</sup>,多个含气砂体在平面上错叠连片,从而形成一个浅气田,储量及圈闭类型与夹灶气田相似。

### 4.5 地球物理特征

图4为ES2420型地震仪采集的6次覆盖,道间距2m,记录长度1000ms,采样间隔1/2ms,采用横向枕木捶击方式激发所获得的浅层横波地震剖面。图中见有四套明显的地震反射层序,为T<sub>4</sub>-T<sub>3</sub>、T<sub>3</sub>-T<sub>2</sub>、T<sub>2</sub>-T<sub>1</sub>和T<sub>1</sub>以上段,经地质标定,分别代表河床、河漫滩、浅海和河口湾相沉积,其中T<sub>4</sub>为一凹凸不平的反射面,在桩号3050、3400、3650点附近,上覆地层明显可见上超点,往北端T<sub>4</sub>底界逐渐加深,有三个阶梯坡度,这表明T<sub>4</sub>反射面代表不整合面,应为全新世沉积层底界面,该剖面上还可以识别一些透镜体、前积层理等,储气砂层顶界常形成强反射,当含气砂体横向尖灭,反射波也急剧减弱,据此可圈定含气砂体的边界,如HJC-6井含气砂体向北至2200点附近,砂体顶界由强反射急剧减弱,并出现同相轴下拉,这与柴达木盆地台南气田纵波地震剖面的特征恰恰相反<sup>[5]</sup>。

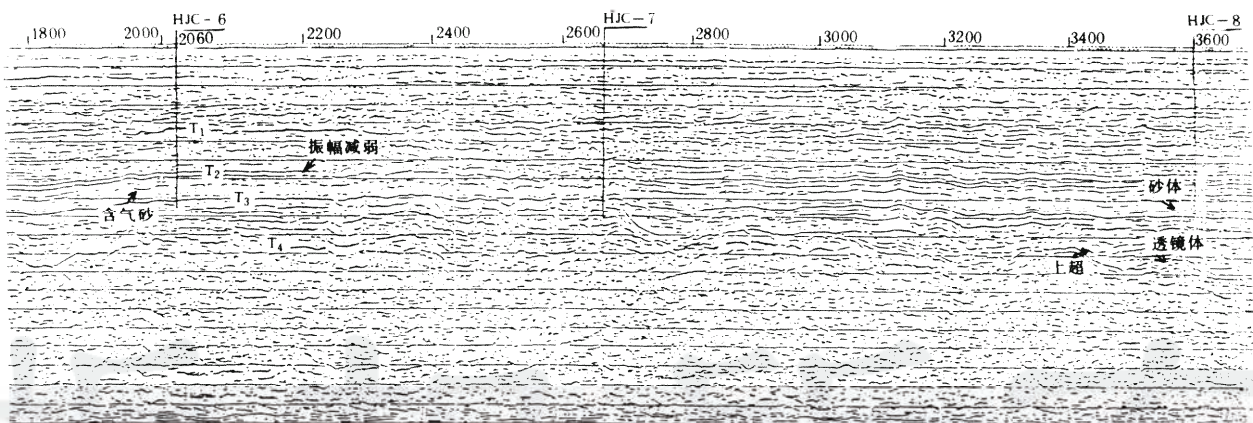


图4 夹灶浅气田浅层横波地震Jz4线过井剖面

Fig 4 Shallow S-wave seismic Jz4 line crossing profile well at Jiaozao shallow gas field

### 4.6 运移和聚集特征

目前,对埋深小于55m,地层压力小于0.5MPa,温度小于25℃的生物气的运移和聚集机理研究很少,笔者根据他人生物气模拟试验结果<sup>[6,7]</sup>,结合本区地质情况提出粗浅看法。本区地层水为NaCl型,浅气田储层中的Na<sup>+</sup>、Cl<sup>-</sup>浓度大大高于非气层地层水中的Na<sup>+</sup>、Cl<sup>-</sup>浓度,夹灶浅气田矿化度高达(10020.4~10885.7)mg/l,淤泥质粘土和粘土层含水率一般为30%~50%。对甲烷气来说,在低压条件下,矿化度对其溶解度影响较小,

溶解度主要受压力和温度变化的影响<sup>[8]</sup>,当温度小于 80℃或 82℃时,甲烷气在水中的溶解度随地层埋深增大而减小<sup>[1,7,8]</sup>。甲烷开始生成时受地层水的溶解和粘土的吸附,大部分溶解在粘土层水中呈水溶态,当甲烷气在地层水中溶解达到饱和后,才会出现游离态。因此,当埋深加大后,粘土层的水被逐渐排出,尤以埋深 0~100m 排出水量最多<sup>[7]</sup>,水溶气随之被排出,流体(含水溶气)流向是由粘土层到砂层,既有向上又有向下的,因下部粘土比上部粘土的压实程度略高些,故流体向上运移量要大些,这样流体遇上、下储层得以聚集。随着埋深继续增加,甲烷气的溶解度减小,同时生气量持续进行并向高产率接近<sup>[6,7]</sup>使得水溶气从水体分离,并聚集在砂体顶部;对游离气而言,其动力主要是浮力,随埋深和甲烷不断生成,进而突破粘土层毛细管阻力束缚,呈气泡或气团向上运移,遇储层而聚集,这可能就是超浅层生物气运移和聚集的过程,也可能是本区下部河漫滩相储层含气丰富,而上部海相层中的储层含气不理想的一个原因。

本区晚第四纪以来,除地壳和海平面升降运动外,基本没有经受褶皱运动,含气地层处于水平状态(图 3 和图 4),气体以垂向运移为主,横向二次运移较弱,当砂透镜体顶面出现上隆部分时,气体易向此聚集,当砂体倾斜时,气体向岩性尖灭端聚集,而气体在储层内的侧向运移不象构造气藏那样明显。这样就出现含气面积很广而丰度很低、气层很薄见底水现象。

## 5 讨 论

1. 图 3 中触探 7 井(夹 4 井)和触探 8 井为何钻遇河漫滩砂体却无气?从夹 4 取心井看<sup>[9]</sup>,河漫滩砂体之上的淤泥质粘土均含有较多的粉砂条带或透镜体,且淤泥质粘土层相对薄;从图 4 看,砂层顶无强反射,T2 以上反射波振幅弱,亦说明砂质含量多,这样使触探 7(夹 4 井)盖层薄而质量差,气体得不到有效的圈闭而逸散。触探 8 井无气显示,可能是触探井遇钻的砂体是低部位所致,从图 4 看,似乎应在 3400 点附近为砂体的高部位,因触探 8 井东西向无任何资料,砂体高部位在何处不清楚,尚需进一步工作。

2. 河漫滩沉积物发育在深切谷内,离物源区较近,并受海水的影响,在其发育时期,河流上游河段泥沙向下游搬运,特别是洪水期形成较多的泥沙,由于相对海面的快速上升,河流基面抬升,河口向陆地迁移等因素,泥沙在本区沉积,经重力分异和潮汐淘洗作用,使泥与沙分离沉积,从而形成较纯的串沟砂质透镜体。

**致谢** 本文完成过程中得到张家强博士和易万霞硕士的帮助,谨致谢意。

## 参 考 文 献

- 1 Rice D D and Claypool G E. Geogeneration, Accumulation, and Resource Potential of Biogenic Gas, AAPG-Bulletin 1981, 65: 5~25.
- 2 周嘉虹等. 柴达木盆地东部第四纪气源岩地化特征与生物气前景. 石油勘探与开发, 1994, 21(2): 30~36.
- 3 林春明. 末次冰期深切谷的识别及其在生物气勘探中的意义——以钱塘江深切谷为例. 浙江地质, 1996, 12(2): 35~41.
- 4 朱水其等. 关于东海大陆架晚更新世最低海面. 科学通报, 1979, (7): 317~320.
- 5 吴光大. 柴达木盆地东部第四系典型气藏特征. 石油学报, 1995, 16(1): 10~15.
- 6 陈安定等. 生物甲烷形成试验与生物气聚集的有利地质条件探讨. 石油学报, 1991, 12(3): 7~15.
- 7 李明宅等. 生物气的生成演化模式和初次运移特征. 石油实验地质, 1995, 17(2): 147~155.
- 8 郝石生, 张振英. 天然气在地层水中的溶解度变化特征及地质意义. 石油学报, 1993, 14(2): 12~22.
- 9 蒋维三, 林春明. 杭州湾地区浅层生物气田形成的古地理环境及其特征. 南方油气地质, 1994, (创刊号): 47~53.

(本文收到日期 1995-10-23)

(修改稿收到日期 1996-08-31)

(编辑 孟伟铭)

## ANALYSIS ON THE FEATURE OF THE TYPICAL HOLOCENE BIOGAS POOL AT HANGZHOU BAY AREA

Lin Chunming Jian Weisan Li Congxian

(Tongji University) (Zhejiang Oil Exploration Bureau) (Tongji University)

### Abstract

From the study of depositional setting of Holocene ultra-shallow biogas, sedimentary facies and its distribution at Hangzhou Bay area are analyzed, and the forming and evolution regularity of the sedimentary facies in close relationship with space-time distribution of the biogas in the former river valley are pointed out. Jizao biogas pool which is the most typical is analyzed and then some typical features of ultra-shallow biogas pool are discussed. The study shows that the river downcutted and then the Qiantangjiang old channel with depth of 40-100 meters was formed during the last Glaciation at low sea level, and the old channel was infilled and covered during sea level rising in post-glacial period. Muddy sediments of flood plain facies and shallow-sea facies are not only gas source rocks, but also cap rocks, the latter may be regional cap rocks. Sandy lenticular body of flood plain facies distributing in the old channel is the sole gas-bearing reservoir which has industrial value. The gas pool is of lithologic trap and of authigenic and autostoring and syngenetic type. On shallow S-wave seismic profiles, top interface of gas bearing sand layer shows stronger reflecting boundary, and this reflection wave will sharply decline when gas-bearing sand layer pinches-out in transverse. Thus, gas-bearing sand body can be outlined based on this result.

**Key words** Hangzhou Bay Holography biogenic gas geologic feature

### SPE 亚太地区石油天然气工程会议和展览会 在马来西亚召开

中国石油学会组织 SPE 北京分部、大庆分部、胜利分部,以李虞庚同志为团长的 10 人代表团,参加了 1997 年 4 月 14 日至 16 日在马来西亚首府吉隆坡召开的“亚太地区 SPE 石油天然气工程会议和展览会”。

这次会议的主题是:“在挑战的环境下开发石油,特别的重点是天然气”。

会议除了安排半天大会发言外,其余是分两个会场进行学术交流、宣讲论文。大会发言的主要内容是关于全球能源及亚太地区能源的供需现状和预测,石油天然气面临 21 世纪的机遇与挑战,以及东南亚地区、马来西亚天然气的生产、供需及综合利用、管道建设等内容。

两个分会场交流的论文共有 61 篇,大致内容有:石油与天然气油气藏工程、储层分析评价技术、数值模拟技术、水平井开采技术、稠油开采技术以及环境保护、经济评价分析技术等。

胜利油田王华芬高级工程师作了“平方王油田气顶油藏开发与层系串通的研究”论文介绍,受到与会者的欢迎和较高评价。

(本刊编辑部)