

钱塘江口地区冰后期沉积特征与生物气聚集^{*}

林春明 李从先

(同济大学海洋地质与地球物理系, 上海 200092)

蒋维三

(石油天然气总公司浙江石油勘探处, 浙江杭州 311122)

钱塘江口冰后期底界面是末次冰期低海面时形成的区域不整合面。冰后期沉积可划分为初、早、中、晚 4 期, 对应接受 4 期沉积。初期为河床砂砾沉积, 早期为河漫滩粘土和砂质粘土沉积, 中期为淤泥质粘土沉积, 晚期为粉砂、湖沼粘土和粉粘土沉积。沉积相主要有河床相、河漫滩相、浅海相、河口湾相、湖沼相、滨海相和陆相坡积洪积风化红土等 7 种类型, 它们的分布与古河谷的形成演化和海平面的变化密切相关。河漫滩相和浅海相砂质透镜体为超浅层生物气最有利和较有利的储集带。

关键词 钱塘江口 冰后期 沉积相 河漫滩砂 古河谷 生物气

第一作者简介 林春明 男 33 岁 博士 沉积学与海洋地质学

钱塘江口地区面积约 4 000 km², 西部和南部为山丘, 地势总体上西高东低, 除山丘外, 海拔高程小于 6 m, 水系发育, 在各河流泥砂不断沉积下, 形成低平的第四纪冲积平原。1991 年 10 月, 萧山夹灶浅气田被发现, 之后相继又发现雷甸、义盛(头蓬)、九堡等浅气田。本区浅气田埋深 30~50 m, 为超浅层, 地质时代属于冰后期, 天然气为生物成因甲烷气^{**}。

1 地层划分和对比

研究区距今约 15 000 a 前, 海岸线位于现今东海陆架, 水深 160 m 处^[1]; 7 000 a 前海面在今海面的-4 m 处(此期间海面上升速率为 19.5 mm/a); 6 000 a 前出现比今海面略高的高海面, 此后基本处于稳定状态^[2]。地壳在沿海平原沉降速率为-1~-2 mm/a, 表现为持续缓慢沉降^[3]。对冰后期沉积起控制作用的是流水切割的古地形、海平面升降, 以及物源和沉积物供应量的变化, 而全球性的海平面变化则控制了地层沉积的发生和发展。本文采用层序地层学基本原理, 以海平面升降旋回为主线, 对全区 200 余口取芯井和千余条静力触探曲线进行了地层划分和对比, 即用末次冰期海平面下降造成的区域不整合面作为冰后期地层的底界面, 用冰后期海平面上升形成海进海退沉积旋回、岩性岩相变化对冰后期地层进行分段。据此把冰后期划分为初期、早期、中期和晚期, 古河谷地带对应接受 4 套(I, II, III, IV) 沉积。冰后期地层在剖面上显示粗—细—粗的特点, 最大海侵面位于中段海相层中, 以该面为界, 其下为海侵层序, 其上为海退层序, 共同构成完整的冰后期海侵海退沉积旋回。古河谷和古河间地的岩

* 本文为国家自然科学基金资助项目(编号 49476380)

** 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

收稿日期: 1995-11-13 改回日期: 1997-04-07

性、古生物,甚至沉积时间均不尽相同,但从海侵海退旋回的角度可以进行对比。

钱塘江口晚更新世末低海面时,古钱塘江为主干河流,由于河床基面低,切割侵蚀能力极强,形成深达 60~ 100 m(西浅东深)、宽 15~ 25 km 的深切谷。冰后期沉积层基底在深切谷内主要有硬粘土、含砂砾粘土、基岩及基岩风化壳^[4],在河间地以古土壤(硬粘土)层为基底。冰后期沉积层与基底之间为一不整合面,在古河谷内表现为起伏的流水侵蚀面,在河间地表现为以硬粘土层为基底的沉积间断面(图 1)。不整合面下的基底与其上冰后期松散沉积层有明显的差异,且侵蚀面与沉积间断面为同一地史期产物,是划分冰后期沉积层底界面的可靠标志。

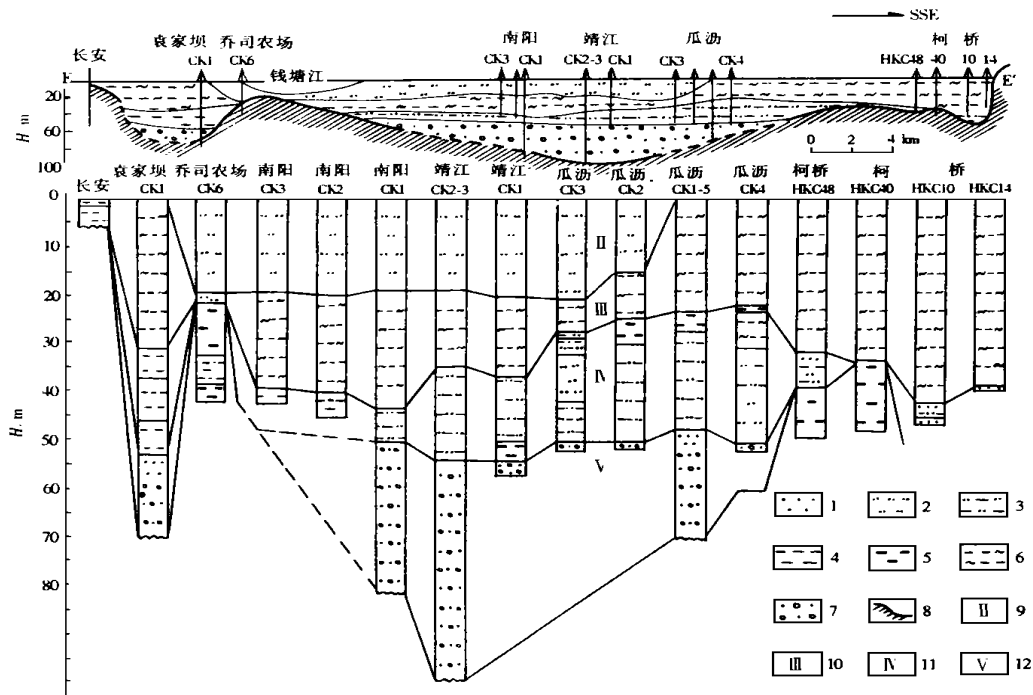


图 1 钱塘江古河谷横剖面图

1-砂;2-粉砂;3-粘土质粉砂;4-粘土;5-硬粘土;6-淤泥质粘土;7-砂砾;8-全新统基底;9-河口湾相;
10-近岸浅海;11-河漫滩;12-河床相

2 单井相分析

2.1 实例

我们在岩芯观察基础上,做了粒度、粗组分、古生物、碳同位素测年等资料分析,并结合静力触探曲线特征*,对夹 3、夹 4 和东 5 井进行了相分析,各井的沉积相序分别如下:

2.1.1 夹 4 井

位于萧山夹灶浅气田,井深 48.6 m,自下而上为河漫滩相、近岸浅海相、河口湾相和沼泽相。各沉积相的岩性岩相、粒度、微体古生物组合、静力触探曲线特征* 等均有明显的差异。

2.1.2 夹 3 井

位于夹灶浅气田,于井深 57.5 m 处出现暗绿色硬粘土层,为全新统基底,其上划分出河漫

* 林春明. 静力触探技术在钱塘江口全新统超浅层天然气勘探中的应用. 南方油气地质, 1995, 1(4): 38~ 46

滩相、近岸浅海相和河口湾相, 各相之间的界限明显。

2.1.3 东 5 井

位于雷甸浅气田, 可以作为东塘、雷甸地区的代表, 自下而上分别为河床相、河漫滩相、近岸浅海相和湖沼相, 与夹 4 井比较缺失河口湾相*。

2.2 沉积相序类型

2.2.1 相序类型 I

底部为侵蚀面与下伏基岩或含砂砾粘土层为界, 缺失硬粘土层, 侵蚀面以上依次为河床、河漫滩、浅海、河口湾和湖沼相。此类型层序的厚度大, 典型钻孔有新萧 3、南阳 CK1、靖江 CK3、东 5、东塘 CK1 等井(图 2)。

2.2.2 相序类型 II

底部为侵蚀面或古土壤层顶面, 与 I 类型的主要区别在于缺失下部的河床相砂砾层及砂层, 河漫滩相直接覆盖在晚更新世不整合面上, 典型的钻孔为九堡 CK1、九堡 CK17、夹 3 井等。

2.2.3 相序类型 III

底部以不整合面与下伏的古土壤层为界, 其上有的为河口湾相粉砂层(乔司农场 CK4 井), 有的为滨海泥质层或大型牡蛎的泥质层(乔司农场 CK3 井和九堡 CK8 井), 有的向上变为滨海相、浅海相和滨海相及淡水湖沼相(柯桥地区)。

不同类型相序代表不同的沉积环境: I 类分布于古河谷中部靠近主流线的部位, 强烈的河流下切使下伏硬粘土侵蚀殆尽, 下切侵蚀有的达到基岩(白垩纪地层), 有的达到第四纪沉积层, 从而产生侵蚀不整合面; II 类处在古河谷的边缘地带, 对应河漫滩位置, 河流下切侵蚀也常使下伏硬粘土层缺失, 与 I 类相比, 河流侵蚀切割能力弱; III 类层序分布于河间地, 未发生河流的下切侵蚀作用, 当时河间地暴露地表, 沉积层缩水变硬, 发育古土壤, 出现沉积间断, 不整合面位于古土壤层的顶面。

3 沉积相

3.1 类型

3.1.1 河床相

由杂色砂砾、含砂砾层及粗中砂层构成, 砾石成分复杂, 有中酸性火山岩、石英岩、燧石、砂

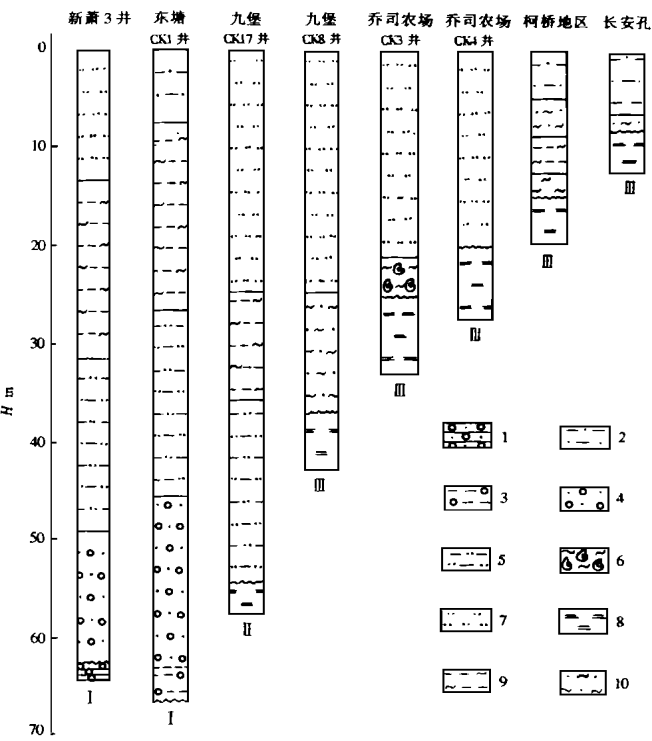


图 2 钱塘江口沉积相序类型图

1 -白垩纪砂砾岩; 2 -湖沼相砂质粘土; 3 -洪积坡积物; 4 -河床相砂砾层; 5 -河漫滩相粉砂质粘土; 6 -牡蛎层; 7 -河口湾相粉细砂; 8 -硬粘土层; 9 -浅海相淤泥质粘土; 10 -滨海相含砂粘土

* 林春明. 静力触探技术在钱塘江口全新统超浅层天然气勘探中的应用. 南方油气地质, 1995, (14): 38~ 46

岩等,自下而上砾径逐渐变小由4~6 cm变为0.6~1.0 cm,砂含量向上增多,砾石含量减少,以至消失。砾石为圆状至次棱角状,亦有长柱形、扁平状或不规则状,磨圆度既有别于下伏含砂砾粘土层中的角砾,也不同于典型的海滩砾石,系短源河流搬运沉积的,厚度0.42~43.5 m。

3.1.2 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、植物根茎和植物碎屑,在萧19井34.07~35.5 m井段发现半碳化木块,产 *Corbicula celsusapica* Huang, *Corbicula leane* Prine, *Valvatidae* 等淡水—微咸水软体动物。其壳体虽受不同程度风化,但壳体完整,成层分布,厚10至数十厘米,并常见两瓣绞合或呈团块状共生者,可见它们系原地自生,代表当时沉积环境。该层同时可见少量有孔虫,且向上及向河口地段含量增大,个体较小,如夹4井等,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。孢粉组合以喜温暖湿润的 *Quercus acutissima*, *Castanopsis* 为主,说明当时气候温暖湿润。河漫滩砂体平均粒径(Φ 值)为2.8~8.6,标准偏差(σ)为1.8~4.0,反映沉积动力极不稳定;概率累积曲线为二段和三段型,显示河流沉积特点。厚度1.8~25.6 m。

河漫滩中含砂质透镜体,厚数10厘米至数米,最大可达10余米,埋深一般30~55 m;有时可夹细砾质透镜体,厚约数10厘米。

3.1.3 浅海相

主要由灰色含粉砂淤泥质粘土组成,夹厚约1~2 mm粉砂纹层,显水平层理,质软,含水量高。该层含丰富有孔虫,每50 g干样中常多达数百枚,底栖有孔虫高达90%~95%,浮游有孔虫不足5%,且多为幼体,壳体受到磨损,系搬运来的。有孔虫中主要有 *Ammonia beccarii*, *Quinqueloculina akneriana rotunda*, *Quinqueloculina grandalifonmis*, *Elphidium* sp., *Cribrimonion* sp., *Florilus* sp., *Brizalina* 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、纯艳花介等;孢粉组合以喜热湿的 *Quercus glauca* Thanb 为主,其次是 *Quercus acutissima*, *Pinus* Linn 和 *Polypodiaceae*, 反映气候温热湿润。

该层厚5.0~32.5 m,常夹有粉砂、砂层,亦见有砂砾层,一般厚1~2 m,以靠近山麓地带为多。浅海沉积物平均粒径(Φ 值)为7.2~8.8,标准偏差(σ)2.5~3.2;粗组分分析结果以陆源碎屑为主,含一定量片状矿物,说明浅海水深不大,靠近物源区,但水流环境相对稳定。

3.1.4 河口湾相

由灰色粉砂、含粘土粉砂以及粉细砂构成,粉砂为60%~80%,粘土和砂一般均不足10%。在河口湾相底部常有1~3 m不等的粉细砂层,其中含贝壳碎片和海相自生矿物海绿石。在触探曲线上,该层的锥尖阻力和侧壁摩擦力均增高,其值自下而上逐渐减小,反映沉积物向上变细,如夹4井*。有孔虫丰富,50 g干样中可达百枚(夹3井,19.4 m井段),主要属种有 *Ammonia beccarii*, *Globigerina* sp., *Elphidium* sp. 等。有孔虫数量虽多,但分异度较低,个体小,多为幼体,壳体受到强烈磨损,系在强水动力条件下搬运来的,河口湾是它们的埋藏环境,而非生态环境。以上特征与现今钱塘江河口湾相似,应为动荡的河口湾环境。厚度6~21 m。

* 林春明. 静力触探技术在钱塘江口全新统超浅层天然气勘探中的应用. 南方油气地质, 1995, 1(4): 38~46

3.1.5 湖沼相

由粉砂质粘土和粘土质粉砂组成, 因暴露地表而缩水, 略有固结, 在触探曲线上, 侧壁磨擦力为另一高值带^{*}。偶见水平层理, 含大量植物根系和植物碎屑。重矿物为赤(褐)铁矿和片状矿物, 可见盾形化石(植物硅酸体)和极少量广盐性有孔虫, 如毕克卷转虫, 属淡水沼泽环境, 分布在北部东塘、雷甸地区。厚度 1.0~ 5.0 m。

3.1.6 滨海相

发育在古河间地, 大多位于硬粘土层之上。沉积物一般为粉砂质粘土, 含少量有孔虫, 如 *Ammonia* var. *beccarii*, *Protelphidium* 等, 个体和属种数量少, 分异度低。在九堡地区, 个别钻孔于 20 m 左右显示牡蛎礁沉积, 牡蛎长达 20 cm, 礁沉积厚约 2 m。牡蛎系典型的滨海浅水生物, 一般水体盐度越小, 牡蛎的个体越大。杭州西湖底部滨海相中可见 *Corbicula japonica* Yokoyama, 是一种生活在淡水至微咸水的瓣鳃类; 暖水 *Ammonia tepida* Cushman 占有孔虫种群的 91%, 优势度很高, 是世界上分布最广的一种广盐性有孔虫, 此外尚有 *Sinocytheriadea latiovata* Hou et Chen, 这是一种我国特有的广盐性介形虫^[5]。

滨海相沉积有的埋在浅海相之下, 有的上覆于浅海相, 有的上、下滨海相合并为一连续的滨海相层。

3.1.7 陆相坡积洪积和风化红土沉积

分布于基岩山丘的周围, 为砂砾粘土层。

3.2 相展布

从冰后期基底埋深图(图 3)可以看到, 末次冰期低海面, 本区主要存在 3 个古河谷: (1) 钱塘江古河谷。(2) 西北地区 NW - SE

向的古河谷, 可能向北延伸至太湖, 东侧界线在双林、长安一线。过去推断其经杭州市附近注入钱塘江^[6], 从基底埋深图及杭州市西部河床相砂砾层的存在和厚度判断, 古河道未曾流经杭州市区, 而是在余杭以东和袁家坝一带注入钱塘江。(3) 西部 SW - NE 向的古河谷, 在东塘、塘栖一带注入太湖而来的古河谷中。钱塘江古河谷基底埋深最大, 为主要河谷, 在丘山、乔司、宁围、萧山和南部山丘之间形成了北、中、南三个支谷, 中支为主河谷, 两侧支河谷切割较浅, 主河谷有自西向东逐渐加深之势, 显然古水流方向自西向东。以冰后期初期为例(图 4), 可看到当时沉积相平面展布和推测的古水流流向, 河床和河漫滩相分布在古河谷内, 洪积坡积物紧靠山体, 冲入河中即被河流改造为河床相砂砾, 此时河间地发育古土壤。

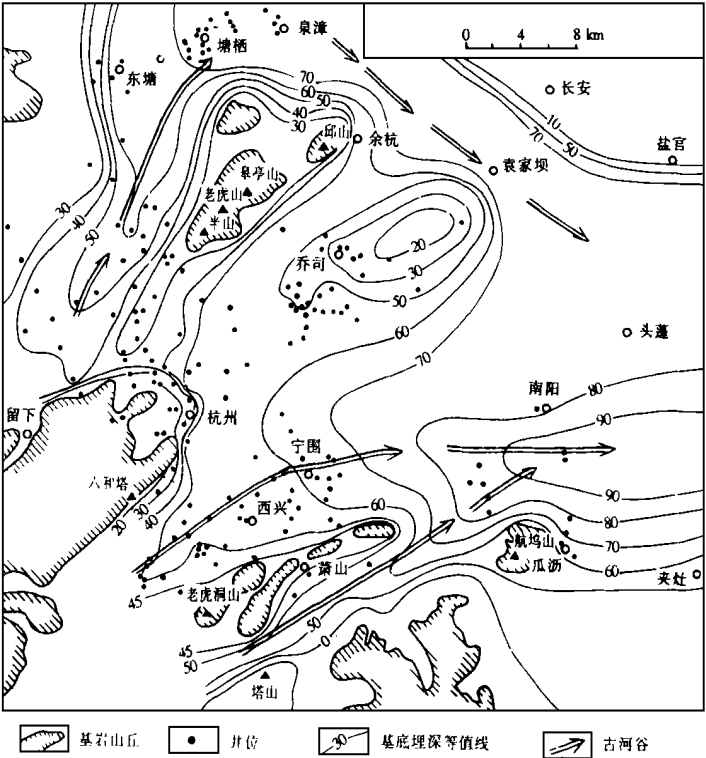


图 3 钱塘江口冰后期基底埋深图

冰后期沉积受地形控制, 河床相分布在古河谷靠近主流线部位, 位于现今钱塘江南岸, 最厚可达 43.5 m, 一般在古河谷最深部位厚度最大, 古河谷深度与河床厚度的一致性, 反映河床相是在基面抬升情况下逐渐加积的。此外, 河床相厚度达 30~ 40 m, 也远厚于现代河流相^[7], 进一步说明系河流基面升高所致。根据前述冰后期海平面上升速率远大于地壳沉积速率, 钱塘江基面抬升主要应是冰后期海平面上升引起的, 因此, 古河谷充填也主要是冰后期海平面上升所致。河漫滩相叠置在河床相之上, 分布范围比河床相广, 厚度因受水流侵蚀而不同; 浅海相覆盖在河漫滩相之上, 分布稳定, 除因底部地形起伏的相变外(如在河间地变为滨浅海), 一般无明显的变化; 河口湾相位于浅海相之上, 范围远小于浅海。

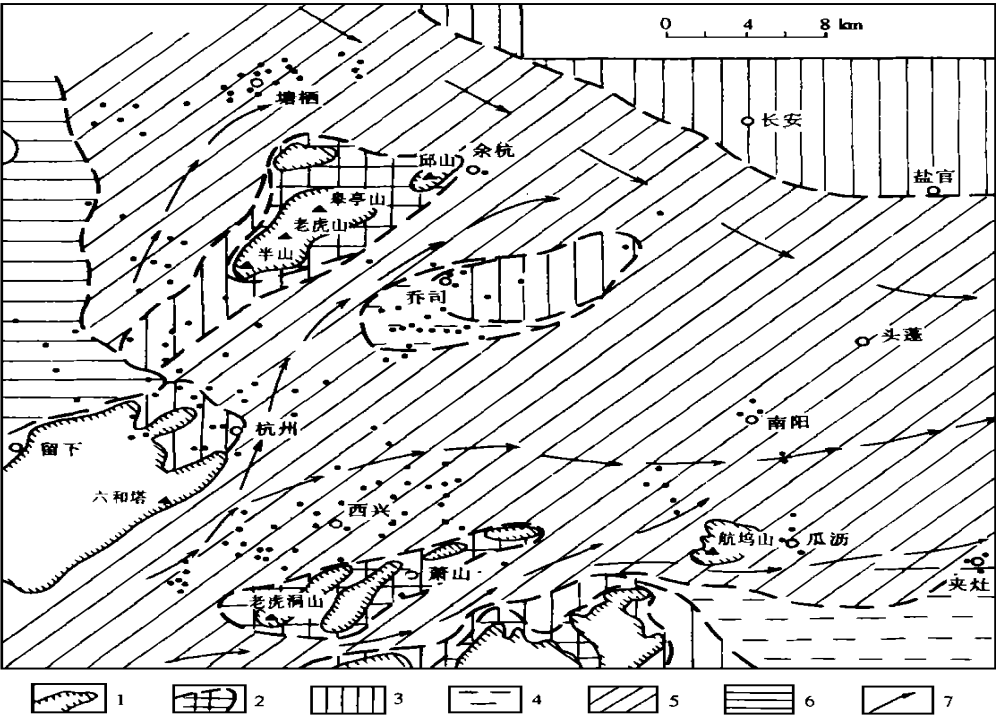


图 4 钱塘江口冰后期初期岩相古地理图

1 - 山丘; 2 - 坡积-洪积砂质粘土; 3 - 河间地古土壤; 4 - 河漫滩砂质粘土; 5 - 河床砂砾层;
6 - 冲积扇(砂质粘土); 7 - 落潮流

根据沉积相分布规律和各沉积相沉积等厚图、岩相古地理图以及分析化验资料, 可恢复钱塘江古河谷形成、演化历史: (1) 末次冰期深切河谷形成, 此时海平面下降, 最盛时期距今约 15 000 a 前, 海岸线位于现今东海陆架水深 160 m 处, 在本区形成古河谷, 谷内沉积物为河床滞留沉积物; (2) 冰后期初期古河谷充填, 距今约 15 000~ 12 000 a, 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, 沉积物为海进河床充填物; (3) 冰后期早期古河谷充填, 距今约 12 000~ 7 500 a, 气候温暖湿润, 海平面上升速度快, 海水沿古河谷逆流而上, 河口仍未退到本区, 古河谷接受河漫滩沉积物充填; (4) 冰后期中期海水覆盖, 距今约 7 500~ 4 000 a, 为海侵鼎盛时期, 海水溢出古河谷, 淹没相邻河间地, 继而直达山麓脚下, 海相沉积物覆盖本区; (5) 冰后期晚期河口湾、湖沼形成和萎缩, 距今约 4 000 a 至今,

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。

4 沉积相与生物气聚集的关系

(1) 近岸浅海相灰色淤泥质粘土层, 有机碳 0.3 %~ 0.5 %, 氯仿沥青“ A ”平均为 153.6×10^{-6} (18 个样), 干酪根为腐泥腐殖型或含腐泥腐殖型, 全区分布稳定, 残留厚度 10~ 15 m; 受海水影响的河漫滩深灰-灰黑色粘土和淤泥质粘土层, 有机碳一般为 0.3 %~ 0.8 %, 氯仿沥青“ A ”平均为 268.1×10^{-6} (16 个样), 干酪根主要为腐殖型, 分布于古河谷, 连续性好, 残留厚度一般 10~ 15 m, 它们良好的生气层。

(2) 受海影响的河漫滩相砂、粉砂、砂砾透镜体, 厚度和分布面积相对大, 储集性能好, 含气饱和度高, 盖层条件良好, 是生物气聚集的最有利相带。近岸浅海相所夹粉砂、砂、砾质透镜体, 储集性能良好, 但厚度和面积相对小, 含气饱和度低, 盖层质量较差, 为生物气聚集的较有利相带。河床相砂砾、砂层, 在古河谷内连通性好, 不易形成圈闭, 常含水, 为生物气不利相带, 但当气源丰富, 砂层顶部具局部圈闭条件时, 才有可能储集。河口湾粉砂、含粘土粉砂以及粉细砂, 厚度虽大, 但因缺少盖层或盖层极薄, 基本不含气。

(3) 受海水影响的河漫滩深灰-灰黑色粘土、淤泥质粘土层和近岸浅海相灰色淤泥质粘土层为良好盖层, 尤以浅海相含水量较高的软塑-可塑性淤泥质粘土最佳。据勘探开发实践经验, 盖层厚度一般应在 10 m 左右, 才能对生物气起到良好的封堵作用, 埋深相对较大的气层 (如 40 m 左右) 比埋深较浅的 (如 20 m 左右) 所需直接盖层更薄一些。

致谢: 陈庆强、蔡雅萍和韩雪等同志参加部分研究工作, 谨此致谢。

参 考 文 献

1 朱永其, 李承伊, 曾成开等. 东海大陆架晚更新世最低海面. 科学通报, 1979, 24(7): 317~ 320
2 王宗涛. 浙江海岸冰后期海面变迁. 海洋地质研究, 1982, 2(2): 79~ 87
3 胡惠民, 黄立人, 杨国华. 长江三角洲及其邻近地区的现代地壳垂直运动. 地理学报, 1992, 47(1): 22~ 29
4 李从先, 陈刚, 钟和贤等. 冰后期钱塘江口沉积层序和环境演变. 第四纪研究, 1993, (1): 16~ 23
5 汪品先, 叶国梁, 卞云华. 从微体化石看杭州西湖的历史. 海洋与湖沼, 1979, 10(4): 370~ 382
6 严钦尚, 黄山, 何越教等. 杭嘉湖平原冰后期沉积环境的演变. 地理学报, 1987, 42(1): 1~ 15
7 Allen G P, Posamentier H W. Sequence stratigraphy and facies model of an incised valley fill: the Gironde estuary, France. Journal of Sedimentary Petrology, 1993, 63(3): 378~ 381

SEDIMENTARY CHARACTERS AND BIOGAS ACCUMULATION IN
POSTGLACIAL STRATA OF QIANTANGJIANG
RIVER MOUTH REGION

Lin Chunming Li Congxian

(Department of Marine Geology and Geophysics, Tongji University, Shanghai)

Jiang Weisan

(Zhejiang Petroleum Exploration Bureau, Hangzhou, Zhejiang)

Abstract

The bottom boundary of the postglacial strata in Qiantangjiang River Mouth region is recognized as the surface of the regional unconformity formed during the lower sea level period of the last glacial age. The postglacial strata can be divided into four sets corresponding to primary, early, mid and late stages. Channel gravels deposited in the primary stage, alluvial flat clay rock and sandy clay rock deposited in the early stage, mudstone deposited in the middle stage, silty clay and limnic clay deposited in the late stage. Sedimentary facies include river bed, alluvial flat, neritic, river mouth and limnetic, littoral, weathered continental drift bed and flood deposit facies. It is suggested that the sandy lenticular bodies of alluvial flat and neritic facies are favourable reservoir zones for ultra-shallow biogas exploration.

(上接第 331 页)

APPLICATION OF FLUID INCLUSIONS TO PETROLEUM GEOLOGICAL STUDY AND DISCUSSION

Liu Shaobo

(Graduate School, China University of Science and Technology, Beijing)

Gu Jiayu

(Beijing Institute of Petroleum Exploration and Development, CNPC, Beijing)

Abstract

This paper summarizes the research advances and application methods of fluid inclusion homogenization temperature, especially in the aspects of determining the time of oil reservoir formation, petroleum expulsion, oil migration, history of deposition and uplift and geothermal gradient. Some problems relating to the criteria of homogenization temperature resetting and pressure correction, the application of fluid inclusion homogenization temperature and petroleum geology are discussed.