

文章编号:1671-4814(2015)02-130-07

亚间冰期以来长江入海口下切河谷充填 型沉积体系与生物气聚集^{*}

徐振宇,方朝刚,殷启春

(中国地质调查局南京地质调查中心,南京 210016)

摘要:分析了江苏省启东市北新镇 NTZK01 孔岩心沉积特征,结合该孔 45 个有机碳样品和 14 个样品的渗透率值,讨论亚间冰期(LG)和冰后期(PG)海侵旋回的层序地层特征及浅层生物气的勘探前景。研究表明,研究区在亚间冰期(LG)海侵旋回,海平面快速下降,地层遭受侵蚀,仅保留部分河床沉积,其最大海泛面也未保存。研究区在冰后期(PG)海侵旋回,发育了一套完整的海侵—海退旋回,下切河谷区自下而上依次发育河流相、浅海相和三角洲相。底部侵蚀面为冰后期(PG)海侵旋回的底界面,最大海泛面发育在淤泥质粘土层中,最大海泛面以下为海侵旋回,最大海泛面以上为海退旋回。

关键词:海侵旋回;海退旋回;生物气;层序地层;最大海泛面

中图分类号:P588.29

文献标识码:A

下切河谷充填型沉积体系可容纳空间大,蕴藏丰富的碳氢化合物,河谷底部地下水系统活跃,而中上部的粉细砂是优质储层,顶部的漫滩相和浅海相粘土层漫滩相是有效的隔挡层,这样的三维叠置关系有利于油气聚集,是油气勘探潜在的重要新领域^[1-3]。在钱塘江地区冰后期地层中已发现了一批浅层天然气田^[4],研究已证实浅层天然气广泛分布于冰后期下切河谷的海侵体系中^[5-12]。长江三角洲冰后期下切河谷地层中也有浅层天然气分布的报道^[13,14],但由于受开发成本和开发技术的限制,目前还未取得较好的勘探效果,对于油气的成藏条件也未开展过系统研究。因此,笔者对冰后期长江古河道的浅层天然气开展静力触探、钻探和物探等工作,探讨研究区气藏形成的有利地质条件,以期对本研究区及东南沿海第四系冲积平原的浅层气勘探提供依据和借鉴。

1 地质背景

长江三角洲地区是广阔的冲积平原,地势西高东低,面积约 $5.2 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。该区可划分为主体和

南北两翼^[15-17]。末次盛冰期以来(约 15000 年),长江三角洲地区经历了一次海侵旋回,被称为“(PG)海侵旋回”^[17]。该时期的长江三角洲地区形成巨大河谷,宽度为 50~60 km,深度达 60~90 m,自镇江向东南方向延伸^[17]。到了末次间冰期,长江的下切河谷经历了 3 个阶段:早期海侵与下切河谷充填阶段、晚期海侵与河口湾发育阶段和河口湾充填及三角洲发育阶段^[15,17-19]。早期海侵与下切河谷充填阶段的主要特征是回水和溯源堆积作用导致的下切河谷充填,早期海侵结束于 9000~10000 年前。晚期海侵与河口湾发育阶段,海水漫出古河谷,形成早期河口湾,至 7000~7500 年,河口湾移至现今三角洲顶部,海侵达最大范围,形成镇江、扬州一带为顶的巨大河口湾^[16,17]。随着海平面上升速率减慢,河口沉积速率超过海平面上升速度,进入了河口湾充填和三角洲发育阶段,相继发育了红桥期、黄桥期、金沙期、海门期、崇明期等河口砂体^[16,17,20-23]。本研究区位于海门期河口坝东侧(图 1),地理位置在江苏省启东市北新镇附近。

^{*} 收稿日期:2014-10-09 改回日期:2014-12-18 责任编辑:谭桂丽

基金项目:中国地质调查局地质调查项目“江浙沿海浅层天然气资源调查和潜力评价”(项目编号:资[2014]03-029-005)资助。

第一作者简介:徐振宇,1978 年生,男,工程师,研究方向为沉积学与岩相古地理。

通讯作者简介:方朝刚,1987 年生,男,助理工程师,研究方向为沉积学与层序地层学。

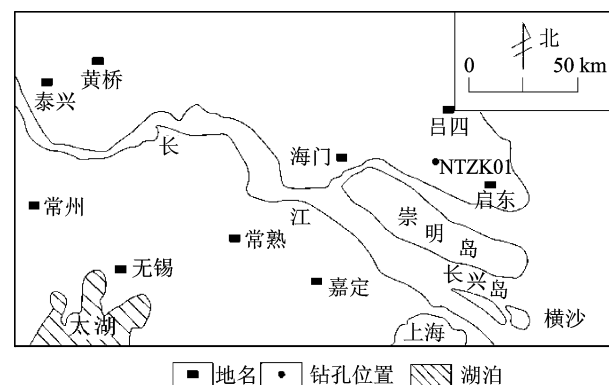


图1 研究区位置及钻孔分布图(据文献[19]修改)

Fig.1 Location of studied area and distribution of drill holes

2 典型钻孔沉积特征

2.1 NTZK01 孔地层特征及环境

NTZK01 孔(图2)位于江苏省启东市北新镇民新村(图1),孔深112 m,获得无扰动岩心97.5 m,岩心采取率87%,除中下部砂砾石层取芯率较低外,其余基本连续。该孔分为19层(图2、图3),自下而上依次为:

(1)110~112 m:灰色、灰绿色粉细砂,主要成分为细砂(含量约60%),粉砂(含量约38%),岩心松散,含白云母碎片等片状矿物,具水平纹理。该层与下伏地层接触不明,推测为河床沉积。

(2)106.75~110 m:灰—灰黄色含砾粗砂夹粉细砂。砾石含量达25%,成分不一,呈次磨圆—次棱角状,分选性差,直径1~5 cm。粉细砂含量约20%,呈夹层状,单层厚5~7 cm。该层可见两套砂砾石相对较富集的层位(图3-a),发育冲刷面构造。该层与下伏地层呈突变接触,推断本层为河床沉积。

(3)88~106.75 m:灰绿色、青灰色粉细砂与灰色中细砂为主,夹薄层粘土与粉砂(图3-b)。发育透镜状层理、单斜纹理、水平纹理、脉状层理和槽状交错层理。粘土与粉砂互层,组成“千层饼状”。在101.7 m处,发育黑褐色木屑层(图3-c)。在94.4~94.6 m处,发育20 cm宽的姜结石层(图3-d)。该层与下伏地层呈渐变接触,推测本层以河床沉积为主,而粉砂与粘土夹层推测为漫滩相沉积。

(4)86.7~88 m:灰、青灰色含砾粗砂,底部夹2 cm粘土。砾石含量约5%,直径约2~5 mm不等,次圆状或扁平状,分选性一般,分布不均匀,含少量生物壳碎屑。总体上,上一中部为含砾石(以石英岩、砂岩、脉石英等)粗砂,下部—底部多为粘土泥砾和薄层粘土,泥砾0.2~3 cm不等,呈不规则状,有搬运现象,发育冲刷面构造(图3-e)。该层与下伏地层呈突变接触,推测本层为河床沉积。

(5)83.4~86.7 m:灰—灰褐色粘土夹粉细砂薄层,泥质结构,富含有机质,具轻微臭味。发育水平层理,水平纹理。85.3~86 m处发育灰—青灰色粉细砂夹层,含量约85%以上,粉砂10%左右,偶见少量砾石,呈次圆状或扁平状,分选差。砾石成分主要为石英砂岩,石英岩等,发育水平层理和平行层理。该层与下伏地层呈渐变接触,推测本层为河漫滩沉积。

(6)74.6~83.4 m:灰—灰白色含砾中粗砂(图3-f)夹灰—灰黄色细砂,中粗砂占主要成分,含较多砾石(图3-g),砾石含量约15%~20%,砾径为0.5~5 mm,呈次圆状,分选性较好,且砾石含量从该层底部到顶部具有明显增多的趋势。该层发育灰—灰黄色细砂夹层,见水平层理,韵律层理;局部夹炭屑薄层,厚度约1 cm,发育冲刷面构造。该层与下伏地层呈突变接触关系,推测该层为河床沉积。

(7)72.1~74.6 m:灰黄色—灰白色粉细砂,可分为三段:上段72.1~73 m,灰黄色粉细砂与灰色粘土互层(图3-h),以粉细砂为主,粉细砂单层厚度约20 mm。粘土层单层厚度约3 mm,该层发育水平层理,水平纹理;中段73~73.9 m,灰黄—灰白色粉细砂,以粉砂为主,约80%~85%,细砂约15%~20%,炭屑呈层状和透镜状分布,含少量生物碎屑;下段73.9~74.6 m,灰黑色粉砂质粘土,主要为粘土,粉砂含量约20%~30%。该层与下伏地层呈渐变接触,推测该层为河漫滩沉积。

(8)70.4~72.1 m:灰白—青灰色含砾中细砂夹青灰色粉砂,砾石含量约5%,粒径约2 mm,次圆状,分选性较好,中砂约50%,细砂约40%,粉砂约5%。发育冲刷面构造,平行层理,炭屑呈层状和透镜状,含生物屑碎片。青灰色粉砂夹层,粉砂状结构,见水平纹理。该层与下伏地层呈突变接触,推测该层为河床沉积。

(9)68.9~70.4 m:以青灰色粘土与灰白—青灰色粉细砂为主。青灰色粘土泥质结构,发育水平纹理,水平层理。灰白—青灰色粉细砂主要成分为细砂,含量约80%,其余为粉砂,见平行层理。该层与下伏地层呈渐变接触,推测该层为河床沉积和河漫滩沉积交替发育。

(10)68.1~68.9 m:灰黄、青灰色含砾中粗砂,砾石约5%~10%,大小为2~5 mm,次圆状,分选性一般,砾石成分主要为石英岩和石英砂岩。粗砂约40%,中砂约30%,粉细砂约20%。68.7 m处见少量贝壳,类型分别为螺和牡蛎,螺大小(5×4×3) mm,螺纹不清晰,牡蛎大小(15×5×5) mm,纹饰不清晰。偶见贝壳碎片,贝壳较破碎,纹理清晰,壳壁厚约2 mm。该层与下伏地层呈突变接触,推测该层

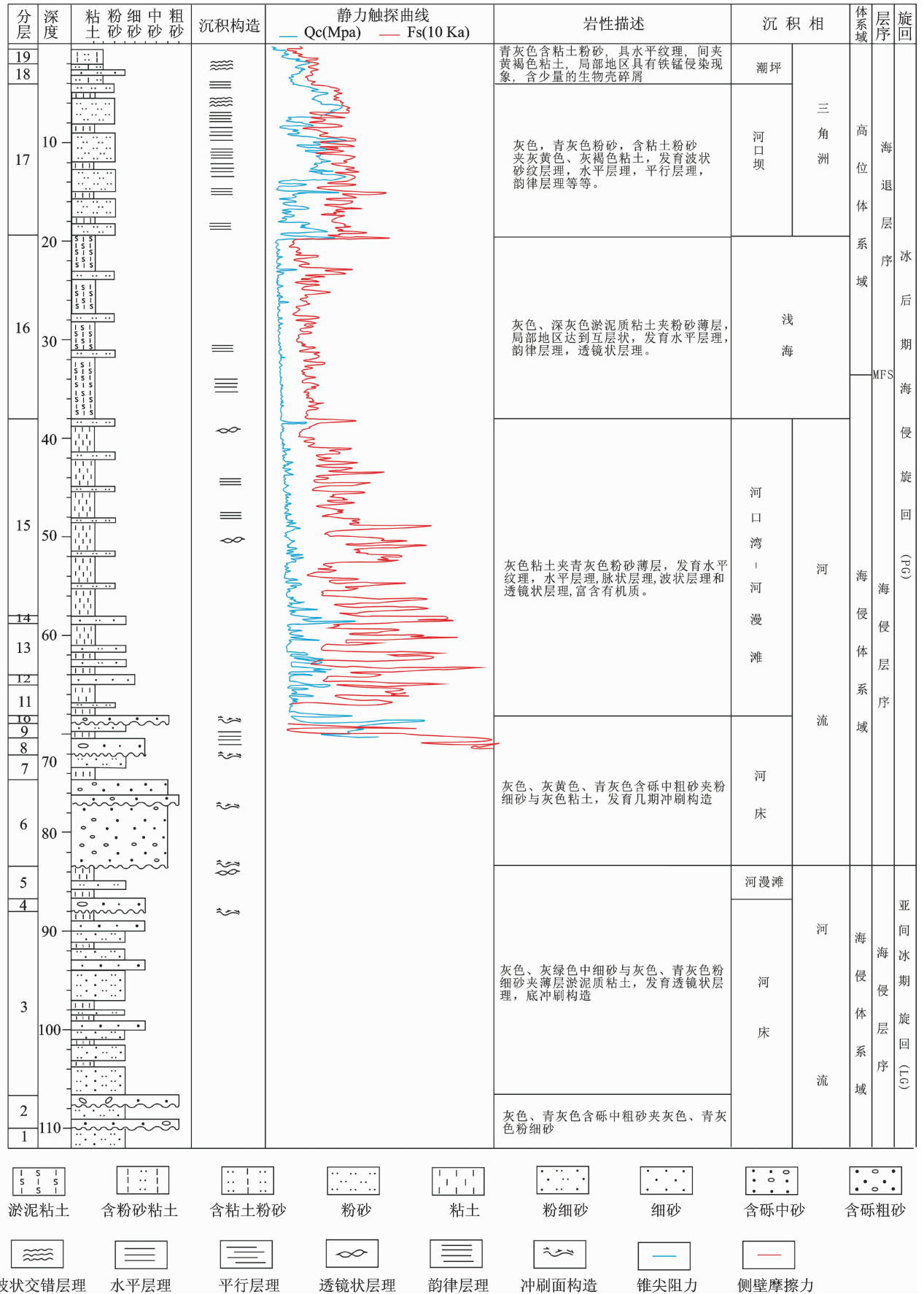


图2 启东地区 NTZK01 孔综合地层柱状图

Fig. 2 Comprehensive stratigraphic column of drill hole NTZK01 in Qidong area

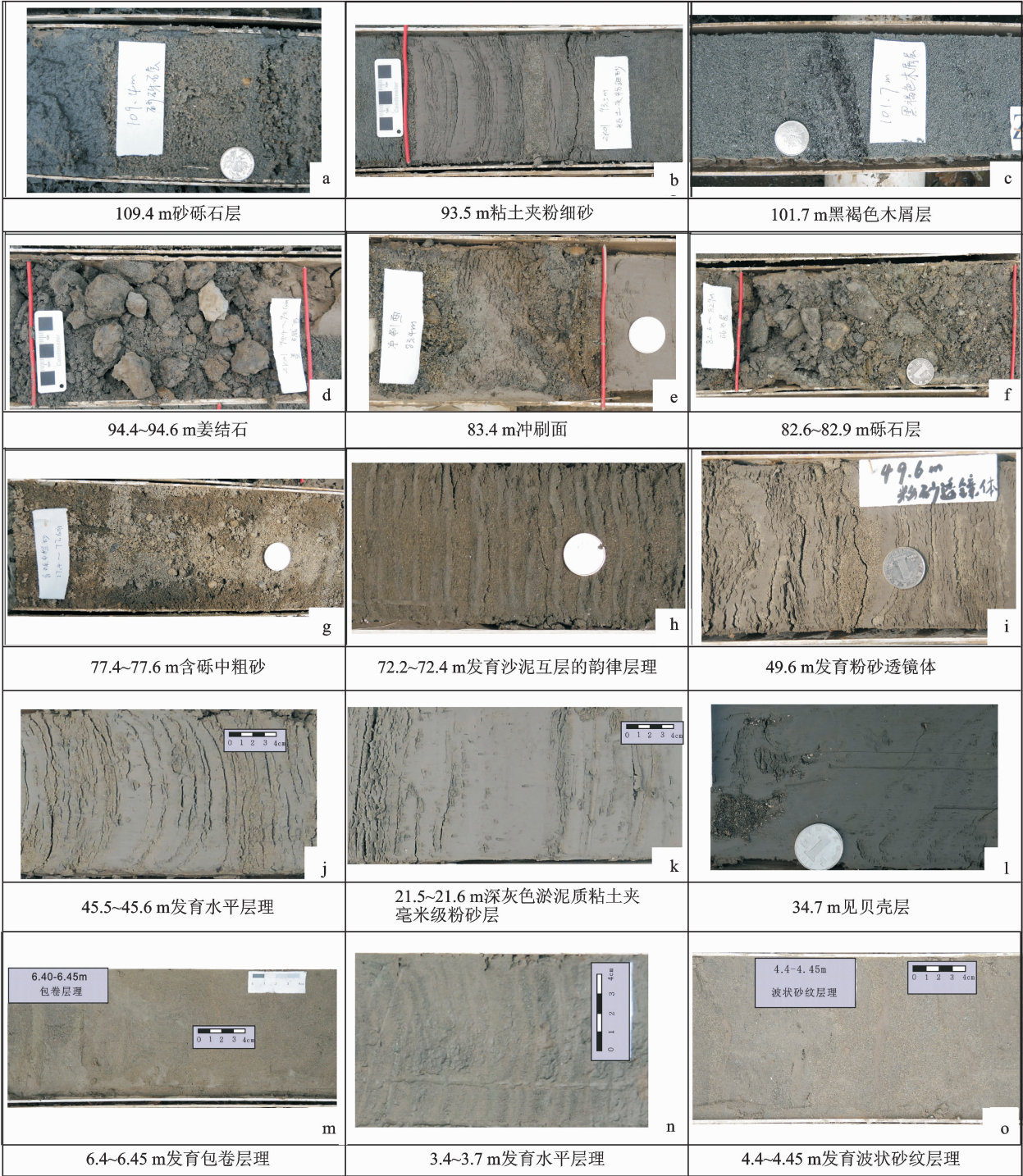


图 3 启东地区 NTZK01 孔主要岩心照片

Fig. 3 Photos showing the main drilling cores of drill hole NTZK01 in Qidong area

为河床沉积。

(11)65~68.1 m:深灰色粘土夹灰白色粉细砂薄层。深灰色粘土呈泥质结构,富含有机质,具轻微臭味。灰白色粉细砂含少量生物壳碎屑,顶部含炭屑斑块,发育水平层理和水平纹理,夹少量粘土薄层。该层与下伏地层呈渐变接触,推测该层为受潮汐影响的河漫滩沉积。

(12)64~65 m:深灰—灰黑色含泥砾含粘土

细—粉砂,具水平纹理。该层含 5%泥砾,呈不规则状,分布不均匀,多为扁平状。该层粘土约 20%,细砂 15%~20%,粉砂 55%~60%,在砂层中含少量生物壳碎屑。该层与下伏地层呈渐变接触,推测该层为受潮汐影响河漫滩沉积。

(13)58.8~64 m:深灰色粘土夹深灰色含粘土粉砂,局部夹粉细砂与粘土互层。深灰色粘土呈泥质结构,富含有机质,具轻微臭味,具有水平纹理。

深灰色含粘土粉砂具水平层理和水平纹理,底部有铁锰结核。粉细砂与粘土互层呈透镜状和脉状分布,具有水平层理和波状层理。该层与下伏地层呈渐变接触,推测该层为受潮汐影响的河漫滩沉积。

(14)58~58.8 m:青灰色含泥砾细砂,粘土含量<10%,含少量生物碎屑,见泥砾,分布不均,大小一般0.5~2 cm。该层与下伏地层呈突变接触关系,推测该层为受潮汐影响的河床沉积。

(15)38~58 m:灰色粘土夹青灰色粉砂薄层,泥质结构,岩心整体夹大量粉砂薄层和粉砂透镜体(图3-i)。粉砂薄层单层厚1~5 mm,局部达1 cm左右,发育水平层理(图3-j)、脉状层理、波状层理和透镜状层理,富含有机质。该层与下伏地层呈渐变接触,推测该层为河漫滩-河口湾沉积。

(16)19.4~38 m:深灰色淤泥质粘土夹粉砂(图3-k),富含有机质,有轻微臭味,具水平纹理、透镜状层理、脉状层理与波状层理,局部有轻微的铁锰侵染,见0.1 cm大小的铁锰小结核,见贝壳层(图3-l)。该层与下伏地层呈渐变接触,推测为浪基面之下的前三三角洲浅海沉积。

(17)4~19.4 m:黄绿色含粘土粉砂夹粘土。浅黄绿色含粘土粉砂夹细砂透镜体,发育水平纹理,包卷层理(图3-m)、水平层理(图3-n)、波状砂纹层理(图3-o)、韵律层理。该层发育1 cm左右宽的炭屑夹层,可见少量生物碎屑,发育粘土质粉砂与粘土互层,组成“千层饼状”,两者单层厚粉砂为0.3~0.5 cm,粘土为0.2~0.5 cm,沙泥比2:1。该层与下伏地层呈渐变接触,推测该层为三角洲前缘的河口坝沉积。

(18)2~4 m:青灰色含粘土粉砂,间夹黄褐色粘土,局部具铁锰侵染现象,含少量生物壳碎屑,粘土夹层宽约1 cm。该层与下伏地层呈渐变接触,推测该层为三角洲平原潮坪沉积。

(19)0.5~2 m:棕黄色含粉砂粘土,具水平纹理,含少量铁锰结核,发育铁锰结核小斑块。该层与下伏地层呈渐变接触,推测该层为三角洲平原潮坪沉积。

2.2 NTZK01 孔主要界面和层序结构

2.2.1 亚间冰期(LG)海侵旋回的底部侵蚀面和层序界面

亚间冰期(LG)海侵旋回之前的低海面时期(即氧同位素4期或包括3期的早期),距今约60000年前,现今的长江三角洲地区可划分为古河谷和古河间地两个古地貌单元。古河谷内缺少硬粘土层,其底部为侵蚀面,古河谷及其底部的侵蚀面主要形成于氧同位素4期最低海平面。古河谷北界大致在江都—泰州一线,南部在瓜州—扬州—靖江—福山—

上海的崇明一线^[15]。因此,NTZK01孔发育的启东地区正处于亚间冰期(LG)海侵旋回时古河谷之内。层1发育灰色、灰绿色粉细砂,顶部具侵蚀面,缺失细粒河漫滩层理,是一个不完整的河流层序。层2发育的灰色含砾粗砂岩夹青灰色粉细砂,同样是不完整的河流层序,层3发育灰绿色、青灰色粉细砂与灰色中细砂为主,夹薄层粘土与粉砂,是河床相和河漫滩相构成的河流二元结构,但由于下切河谷的侵蚀作用强,因此二元结构不典型。在长江古河道区,亚间冰期(LG)海侵旋回的底界面是砂砾石沉积,因此该孔1~3层沉积物是河床底部侵蚀的一部分,但并未到河床最底部,推断NTZK01孔底界面不是亚间冰期(LG)海侵旋回的底部侵蚀面。

亚间冰期(LG)海侵发生在氧同位素3期的海平面上升之时,海侵首先波及河谷,溯源堆积形成河流相沉积。由保存下来的河床相含砾砂岩判断,当时的河流沉积是相当厚的,后期的侵蚀改造使该海侵旋回大部分被破坏^[17]。NTZK01孔3~5层发育的受海侵影响的河流相沉积,以灰色中细砂和粉细砂为主,夹薄层粘土,厚约24 m。

最大海泛面(MFS)是海侵达到最大范围的侵蚀面,在河口地区取决于底部坡度、河流泥沙来量、海平面上升速率等多种因素^[19]。由于亚间冰期(LG)海侵旋回受后期侵蚀以及包括在海退时期沉积下来的三角洲沉积在NTZK01孔都没有保留下来。

2.2.2 冰后期(PG)海侵旋回的底部侵蚀面和层序界面

冰后期(PG)海侵旋回是发育于亚间冰期(LG)海侵旋回之上的一套沉积旋回,距今约15000年左右。在末次盛冰期(氧同位素2期),亚间冰期(LG)海侵旋回在现今的长江三角洲地区形成巨大河谷,宽度50~60 km,深度达60~90 m。古河谷的底部侵蚀面和河流间地的古土壤层构成区域不整合面,冰后期(PG)海侵旋回即在该不整合面上沉积^[17]。NTZK01孔由于位于古河谷发育区,第5层顶部为灰绿色砂泥质沉积物,结构较致密,顶部为侵蚀面,上覆第6层是遭氧化的黄灰色砂砾层和含砾砂层,两者之间可定为末次冰期下切河谷的底部侵蚀面,与区域大体一致。

此后冰消期开始,海平面上升,基面抬高,出现回水。回水造成流速减慢,发生沉积。溯源堆积依次叠置从而形成厚的海侵河谷充填层序。NTZK01孔第7~10层发育灰白色含砾中砂与粉细砂即是海侵河谷充填的沉积物,且向上沉积物整体具有变细的趋势。

海平面继续上升,海侵扩展,岸线西移,海水漫出河床进入河流间地,距今约10000~12000年(即

全新世),开始晚期海侵^[17]。NTZK01 孔在 36~58 m 层段发育深灰色淤泥质粘土夹粉砂,海相有孔虫大量增加,是受后期潮汐影响的河漫滩沉积。

依据实际情况并遵循以下原则确定研究区最大海泛面:最大海泛面位于冰后期(PG)海侵旋回下切河谷层序中的海相性程度最高的细粒沉积层中。全新世长江三角洲海侵达到最大范围时约在 7 ka BP^[17]。依据该原则,NTZK01 孔在 34~36 m 沉积的淤泥质粘土不含粉砂夹层,且颜色最深,出现大量微生物壳体。在静力触探曲线上(图 2)该位置的侧壁摩擦力(Fs)和锥尖阻力(Qc)都处于最小值。因此最大海泛面就应该在该段的 33.8 m 处,该层为浪基面之下的前三三角洲浅海沉积。

冰后期最大海侵时,现今三角洲形成巨大河口湾,当海平面上升速率与河口沉积趋于平衡后三角洲开始沉积,形成冰后期(PG)海侵旋回的海退层序。NTZK01 孔在 4~18 m 发育青灰色—灰色粉砂为主,在静力触探曲线上(图 2)呈现一个多回次

河口坝叠置的沉积组合。在 0~4 m 层段发育青灰色含粉砂粘土夹红褐色粘土为主,为三角洲平原亚相潮坪沉积。

3 沉积相带与生物气聚集的关系

3.1 生物气的烃源岩

丰富的有机质来源是生物气大量形成的物质基础。浅海相深灰—灰黑色淤泥质粘土层有机碳含量 0.19%~0.52%,平均 0.34%(表 1),且海相有孔虫富集,说明浅海相深灰—灰黑色淤泥质粘土层形成时水深最深,是一个还原沉积环境。残留有机质在全区分布广且稳定,形成于晚期海侵结束阶段,沉积速率慢,研究区残留厚度 15~20m 左右。受海侵影响的漫滩-河口湾相粘土层有机碳含量 0.19%~0.65%,平均 0.46%(表 1),海相有孔虫的数量随海平面上升增加,形成于晚期海侵的开始阶段,沉积速率快,有机质保存好,研究区残留厚度达 30 m 左右。

表 1 NTZK01 孔不同沉积环境泥质沉积物有机质丰度

Table. 1 Organic matter abundance of muddy sediments in drill hole NTZK01 at different sedimentary environment

埋深/m	岩 性	沉积环境	有机碳/%		
			最大值	最小值	平均值
20.00~38.00	灰色—灰黑色淤泥质粘土	近岸浅海	0.52	0.19	0.34(7)
38.00~83.00	灰色—灰黑色粘土	河漫滩	0.65	0.19	0.46(38)

3.2 生物气的储集层

河床相的砂砾石层连通性好,底水活跃,驱赶生物气到河床顶部的细砂和河漫滩粉细砂体富集,且上部粘土层封闭性好,如遇古河床地貌的高部位则形成大型气藏。

对 NTZK01 孔 14 个渗透率样品(表 2)统计可知,该区在孔深 70 m 附近孔孔出气且气感很强,粉细砂的渗透率>100Md,说明粉细砂连通性好,储集

性能优越。河口湾—浅海相的砂、粉砂透镜体,多以频繁夹层出现,含气饱和度高,盖层条件良好,呈现自生自储的状态。该储层的横向与纵向连续性都较差,难以形成较大气藏。三角洲相的粉砂、粉细砂以及含粘土粉砂,厚度大,储集性能好,但盖层条件差,含气饱和度低,很难使生物气达到富集状态。

3.3 生物气的盖层

受海侵影响的河漫滩粘土层和浅海相的淤泥质粘土层是良好的盖层,尤其是浅海相的软塑—可塑性淤泥质粘土最佳。由表 2 可以看出,粘土和淤泥质粘土的渗透率都 < 1mD,其中淤泥质粘土渗透率最低,样品 NTZK01-K1 仅为 0.0450 mD,表明粘土层连通性差,封堵作用好。钻孔附近区域的盖层累计厚度达 50 m,对下部生物气储集形成很好的封堵。

表 2 NTZK01 孔渗透率检测结果

Table. 2 Results of permeability about drill hole NTZK01

序号	样品编号	采样深度/m	渗透率/ml	岩性
1	NTZK01-K1	34.80~35.00	0.0450	淤泥质粘土
2	NTZK01-K2	46.80~47.00	0.0824	含粉砂粘土
3	NTZK01-K3	50.80~51.00	0.2047	粘土
4	NTZK01-K4	53.80~54.00	0.2341	含粉土粘砂
5	NTZK01-K5	63.00~63.20	211.5403	粉砂
6	NTZK01-K6	63.20~63.40	0.0453	粘土
7	NTZK01-K7	64.35~64.55	122.8765	细-粉砂
8	NTZK01-K8	69.05~69.25	0.4840	含粘土粉砂
9	NTZK01-K9	71.10~71.30	279.6602	粉-细砂
10	NTZK01-K10	77.20~77.40	263.4010	含砾中粗砂
11	NTZK01-K11	79.00~79.20	66.9856	含砾中粗砂
12	NTZK01-K12	82.10~82.30	652.4491	含砾中粗砂
13	NTZK01-K13	89.80~90.00	0.5228	粘土
14	NTZK01-K14	90.20~90.40	15037.0286	细-中砂

4 结论

(1)研究区(钻孔附近区域)由于在亚间冰期(LG)海侵旋回末期,海平面快速下降,河床下切和扩宽,亚间冰期 LG 海侵旋回地层遭受侵蚀,仅保留了部分河床粗粒沉积,其最大海泛面也未保留下来。

(2)研究区在冰后期(PG)海侵旋回期间,发育了一套完整的海侵—海退旋回,下切河谷区自下而

上依次发育河流相、浅海相和三角洲相。

(3)研究区冰后期(PG)旋回底部的侵蚀面为该沉积层序的底界面,最大海泛面发育在浅海相中的沉积物最细、海相性最强的淤泥质粘土层。最大海泛面以下为海侵旋回,最大海泛面以上为海退旋回。生物气主要富集于冰后期(PG)旋回的砂体中,浅海相深灰—灰黑色淤泥质粘土层和漫滩相粘土层是优质的烃源岩,河床相顶部及漫滩相连续性好的粉细砂是良好的储层,受海侵影响的河漫滩粘土层和浅海相的淤泥质粘土层是有效的盖层。

参考文献

- [1] Harms J C. Stratigraphic traps in a valley fill, western Nebraska[J]. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 1966, 50: 2119-2149.
- [2] Van Wagoner J C, Mitchum R M, Campion K. M, et al. Siliciclastic sequence stratigraphy in well logs, cores, and outcrops: concepts for high-resolution correlation of time and facies[J]. American Association of Petroleum Geologists, Methods in Exploration Series, 1990, 7: 55.
- [3] Allen G P, Posamentier H W. Sequence stratigraphy and facies model of an incised valley fill: The Gironde estuary, France[J]. Journal of Sedimentary Petrology, 1993, 63: 378-391.
- [4] 张文昭,程永才. 浙江省第四系浅层天然气勘探新进展[J]. 天然气工业, 1995, 15(1): 6-10.
- [5] 林春明,蒋维三. 钱塘江口超浅层生物气成藏的有利地质条件[J]. 天然气地球与科学, 1996, 15(6): 839-852.
- [6] 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[J]. 南方油气地质, 1995, 1(4): 38-45.
- [7] 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[J]. 浙江地质, 1996, 12(2): 35-41.

- [8] 林春明,蒋维三,李从先. 杭州湾地区全新世典型生物气藏特征分析[J]. 石油学报, 1997, 18(3): 44-50.
- [9] 林春明,黄志诚,朱嗣昭,等. 杭州湾沿岸平原晚第四纪沉积特征和沉积过程[J]. 地质学报, 1999, 73(2): 120-130.
- [10] 林春明,李广月,卓弘春,等. 杭州湾地区晚第四纪下切河谷充填物沉积相与浅层生物气勘探[J]. 古地理学报, 2005, 7(1): 12-24.
- [11] 林春明,李广月,李艳丽,等. 杭州湾地区晚第四纪浅层生物气藏勘探方法研究[J]. 石油物探, 2006, 45(3): 202-209.
- [12] 张霞. 强潮型钱塘江河口湾及其下切河谷体系研究[D]. 南京:南京大学, 2013.
- [13] 王明义. 长江三角洲浅层天然气[J]. 天然气工业, 1982, (3): 3-8.
- [14] 郑开富. 江苏地区第四系浅层天然气的分布与勘探前景[J]. 天然气工业, 1998, 18(3): 20-24.
- [15] 吴标云,李从先. 长江三角洲第四纪地质[M]. 北京:海洋出版社, 1987.
- [16] 李从先,陈庆强,范代读,等. 末次盛冰期以来长江三角洲地区的沉积相和古地理[J]. 古地理学报, 1999, 1(4): 12-25.
- [17] 李从先,汪品先. 长江晚第四纪河口地层学研究[M]. 北京:科学出版社, 1998.
- [18] 李保华. 冰后期长江下切河谷体系与河口湾演变[D]. 上海:同济大学, 2006.
- [19] 李保华,王强,李从先. 长江三角洲亚三角洲地层结构对比[J]. 古地理学报, 2010, 12(6): 839-852.
- [20] 同济大学三角洲科研组. 全新世长江三角洲的形成和发育[J]. 科学通报, 1978, 23(5): 310-313.
- [21] 李从先,王靖泰,李萍. 长江三角洲沉积相的初步研究[J]. 同济大学学报, 1979, (3): 1-14.
- [22] 许世远. 长江三角洲地区风暴沉积研究[M]. 北京:科学出版社, 1997.
- [23] 李从先,张桂甲. 下切古河谷高分辨率层序地层学研究的进展[J]. 地球科学进展, 1996, 11(2): 216-219.

Filling type sedimentary system and biogas accumulation in incised valley of the Yangtze River estuary since sub-interglacial stage

XU Zhen-yu, FANG Chao-gang, YIN Qi-chun

(Nanjing Center, China Geological Survey, Nanjing 210016, China)

Abstract: Based on analyzing the sedimentary characteristics of the drill hole NTZK01 in Beixin County, Qidong city in Jiangsu Province, combined with the forty-five samples of organic carbon and fourteen values of permeability in this drill hole, it discusses the sequence stratigraphic characteristics and exploration prospect of shallow biogenic gas in sub-interglaciation(LG) and postglacial (PG) period. The research shows that the stratum were corroded and some riverbeds were persisted because of rapid falling of the sea level during transgressive cycle in the subinterglaciation(LG) period. A set of complete transgressive-regressive cycle was developed during transgressive cycle in the postglacial(PG) period, and the fluvial facies, neritic facies and delta facies were developed successively in incised valley area from bottom to top. The bottom surface of postglacial transgressive cycle was the bottom erosion surface, and the maximum flooding surface was mainly developed in the silt clay layer, below the maximum flooding surface was progressive cycle and above was regressive cycle.

Key words: progressive cycle; regressive cycle; biogenic gas; sequence stratigraphy; maximum flooding surface