

长江三角洲浅层天然气

王明义

(江苏邗江石油地质大队)

摘要

在世界各地古老的浅海三角洲体系和陆相河湖三角洲体系中,均已证明存在着巨大的石油天然气聚集。现代三角洲普遍发现浅层天然气显示,曾一度作为油气评价的依据之一。然而,这类显示并不一定与深部油气存在着成因联系,它更多地是属于现代沉积有机质生物化学降解的产物。

长江三角洲区由于其优越的沉积环境,浅层天然气十分发育,自一九五八年进行广泛的普查和开采利用,直至近期仍在打井采气,已成为农村能源的一部分。因此,进一步研究浅层天然气的分布规律,科学的总结和改善钻井、完井方法,更多地注意30米以下的深部浅层气,估算潜在的储量,作出规划,有可能使之成为农村能源的一个稳定组成部分。

本文的目的在于介绍长江三角洲浅层天然气一般地质情况,以期得到进一步讨论,使浅层天然气能够在农业生产和农村生活中发挥更多的作用。

一、长江三角洲地质概况

位于扬州、泰州、海安一线以南,镇江、江阴、太仓、松江一线以北的全新世长江三角洲区,面积5.18万平方公里,其中陆上部分占2.28万平方公里。区内第四纪为一套疏松的碎屑和泥质沉积。东部地区一般可分为五个沉积旋回,即下更新统第一旋回,中更新统第二、三旋回,上更新统第四旋回和全新统第五旋回。本文所讨论的浅层天然气,主要系指全新统中的浅层天然气和部分上更新统顶部的天然气。

全新统主要由灰、青灰、褐灰和灰黄色粉细砂和亚粘土组成。它是在大理冰期的陆相沉积古侵蚀面基础上,由于冰后期海面上升和古长江径流增加形成的海侵层序和三角洲前积层序的复合体。其主要特征为:

1.晚更新世末大理(玉木)冰期,长江三角洲陆上部分为湖沼、洪积、冲积相,顶部一般为暗绿、棕褐色亚粘土,结构紧密,

含大量铁锰结核。其时海岸线退至东海大陆架。由于侵蚀基面下降,长江河床深切,形成了宽30公里、深50~60米的侵蚀型河谷,于河谷两侧发育了海拔高程依次为-40~-45米、-20~-25米和3~-5米的三级阶地。全新统就是在此古地形上发育起来,其最大厚度为50~60米(图1)。



图1

I—河谷 II—河流阶地 III—剥蚀残丘及洪积冲积平原 T₁、T₂、T₃—一、二、三级断层

2.冰后期海面上升,沿古长江河谷自东向西发育了依次超复在河床粗粒沉积之上的海侵河床冲填砂体,继而在广阔的平原上形成了一系列平行古海岸线的海侵滨海砂堤。

自前北方期至大西洋期(距今约7500年)海浸达到最大范围,西抵镇江、扬州,北界泰州—海安,南界上海市以西的外岗—蟠龙—马桥—胡桥一线(图2)。

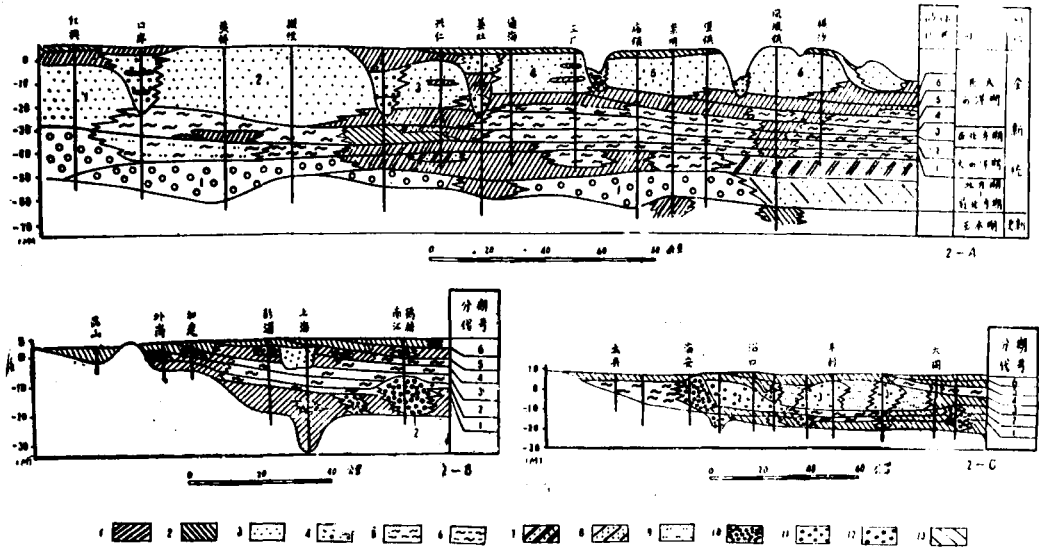


图2 长江三角洲全新统横剖面图

- 1—粘土质粉砂 2—粘土、亚粘土 3—河口坝砂 4—河床、汉道河床砂 5—前三角洲——浅海淤泥质亚粘土 6—淤泥质粉砂 7—砂与粘土质粉砂互层 8—砂与亚粘土互层 9—辐射凹槽粉砂 10—滨海砂堤 11—辐射砂洲 12—海侵河床砂 13—含粘土中砂

3.全新世长江三角洲从距今约2500年前开始,经历了红桥、黄桥、金沙、海门、崇明和长兴六期的亚三角洲发育阶段(图3)。各期亚三角洲均以河口坝为主体,随着长江的主河道逐渐南移,依次前积迭复向东南呈雁行排列,其间没有发生过明显的侵蚀破坏阶段,故在现今的海积——冲积平原之下,保留了完整的三角洲层序。

4.江北由于长江主流南移和沿海南北岸流影响,在废弃的北汉道出口相继形成海湾,发育了独特的伴生沉积体系——辐射沙洲,继而转变为滨海平原。江南发育了广阔的海积平原。

5.沿长江两岸,自北西向东南呈带状分布了冲积平原,在离长江河床较远的地方,其下仍保留了完整的三角洲层序。然而在近

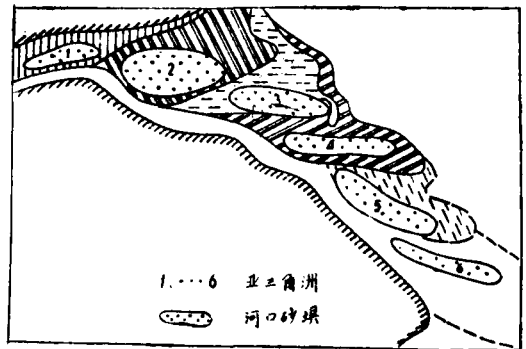


图3 长江三角洲全新世各期亚三角洲发育图

江部位,则被改造成河床层序,上复河漫滩沉积,呈二元结构。

6.长江每年将近5亿吨泥砂输送到河口,进行三角洲建设。全新世以来,三角洲以年平均40米的速度向海伸展,和密西西比河、伊洛瓦底江相当。其沉积速率之高也是少见

的。大体河口沙坝为1.14厘米/年，前缘斜坡为0.54厘米/年，前三三角洲为0.31厘米/年，两侧滨海平原为0.2~0.28厘米/年，比美国西海岸哥伦比亚河(0.4厘米/年)①、我国华北平原东营地区(0.152厘米/年)均高，故潮汐流波及的深度(15~20米)以下的前缘斜坡和前三三角洲，都是有利于有机质快速堆积和埋藏的地区，这就为长江三角洲浅层天然气的生成提供了丰富的物质基础。

二. 浅层天然气地质

1. 气苗的地理分布

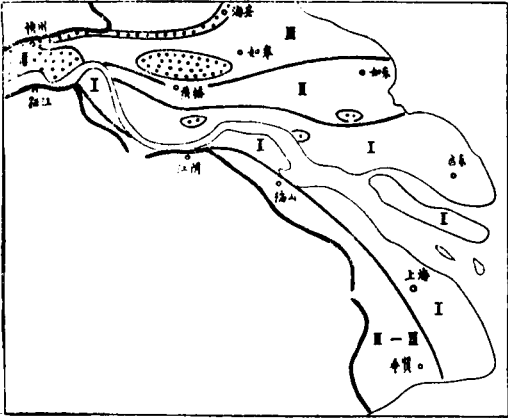


图4 长江三角洲浅层天然气分布图

- I—气苗密集，气藏较多，埋深7~40米
- II—气苗较多，气藏较少，埋深20~40米
- III—气苗零星，偶见小气藏，埋深35米内

气苗的分布具有明显的分带性(图4)，按照气苗的密集程度可分为：
沿江沿海气苗密集分布带；
中部气苗均匀分布带；
西部北部零星气苗分布或无气苗带。
气苗的这种分带性是受全新世沉积的岩性岩相密切相关的，特别是受控于自红桥期以来各期至三角洲的分布状况。普查工作证

明：零星气苗分布的北界没有超过扬州、泰州、海安滨海砂堤，南界没有超过太仓、外岗、马桥一线滨海砂堤。

2. 气层的地质分布

浅气层的发育与否与地面气苗的多寡分布是一致的。

由于全新世沉积基面的东倾，各期亚三角洲自西向东前积，同期底界西浅东深。表1反映了各期亚三角洲底界的深度和主要亚相；表2反映了各主要亚相中浅层天然气显示的深度区间及浅气层的层数。

全新统各期埋深主要亚相 表1

地区	三 角 洲 平 原										滨 海 平 原			
	红 桥	扬 中	南 通	启 东	崇 明	上 海	沙 洲	如 皋	海 门	启 东	上 海	沙 洲	如 皋	海 门
各期底界	埋深 亚相	埋深 亚相	埋深 亚相	埋深 亚相	埋深 亚相	埋深 亚相	埋深 亚相	埋深 亚相	埋深 亚相	埋深 亚相	埋深 亚相	埋深 亚相	埋深 亚相	埋深 亚相
全新统	56 ●	60 ★	64 ★	55 △	66 ★	28 ×	13 ×	26 ×						
红桥期	36 ●	38 ▲	40 △	38 △	42 △	21 △	12 △	23 △						
黄桥期		28 ●	34 ▲	32 △	38 △	18 △	10 △	20 △						
金沙期			26 ●	28 △	34 △	13 △	7 △	18 △						
海门期			18 ●	24 △	32 △	10 △		20 △						
崇明期				18 ●	26 △	7 △		5 △						
长兴期				8~14 ×	4 ×									

- 河床、河口坝 ▲前缘斜坡 △前三三角洲一浅海 ×滨海 ○河口侧翼边滩
- ▽辐射沙洲 ▣泻湖 ★海浸河床

浅层天然气的主要层位及层数 表2

地 区	南 京	镇江、扬州	南 通	启 东	上 海	沙 洲	如 皋
显示层位		黄桥期—红桥—金沙	全新统	全新统	全新统	红桥—黄桥	红桥
主要亚相	冲积、湖积	冲 积	前缘、前三三角洲	浅海—滨海	浅海—滨海	边 滩	浅海
埋深区间(米)	20~30	20~38	20~40	8~55	7~28*	10~13	20~25
气层层数	1~3	2~3	3~4	7~8	4~8	1~2	1~8

* 上海地区向东北方向加深至50米。

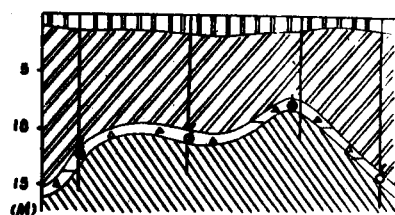
将表1、表2进行对照，浅层天然气大部分集中分布于前三三角洲—浅海亚相区，其次为前缘斜坡、滨海平原，再次为冲积平原和河口侧翼边滩。气层厚度则与储集层的类型有关。从总体看，南通以东的海门、启东和上海地区气层厚度有厚达几公尺至十几公尺

①李永植 《地质地球化学》 1979.1

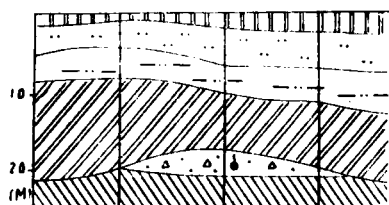
者，而西部和南北两翼一般厚度仅几十公分至几公尺，且较少能富集成有开采价值的浅气藏。在层位和层数上和各期沉积分布相一致，而东部沿海地区在距今只有1700~200年的崇明、长兴期沉积都有浅气藏存在。

3. 储气层的主要类型及其分布

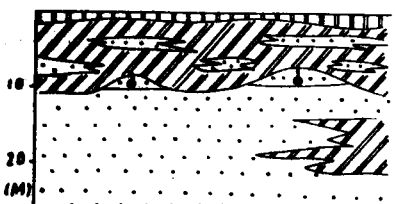
浅层天然气的主要储层类型包括滨海砂堤、滨海河口砂透镜体，三角洲前缘斜坡薄砂层与粘土互层，前三三角洲—浅海相多孔淤泥质亚粘土以及河口沙坝和冲积平原亚相中的砂岩透镜体。按岩性可分为：



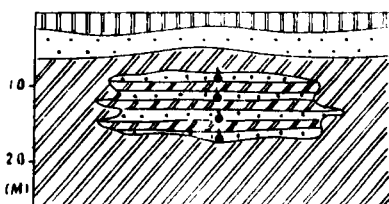
a. 浦东大道口滨海贝壳堤气藏



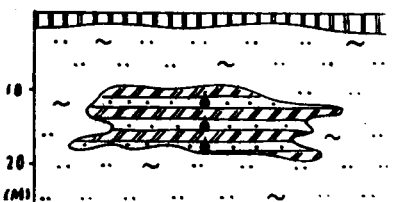
b. 川沙北蔡滨海贝壳砂透镜体气藏



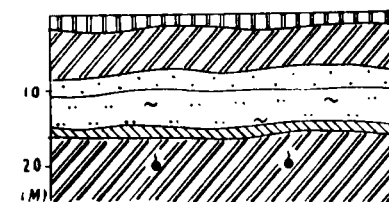
c. 太兴求安洲河道砂气藏



d. 启东东元前三三角洲千层饼状气藏

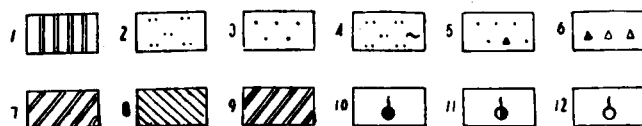


e. 启东吕泗辐射砂洲千层饼状气藏



f. 启东汇龙前三三角洲——浅海多孔亚粘土气层

图5 各种典型的浅气藏



1. 表土 2. 粉砂 3. 砂 4. 淤泥质粉砂 5. 含贝壳砂 6. 贝壳层 7. 亚粘土 8. 粘土
9. 多孔亚粘土 10. 无水气藏 11. 含水气藏 12. 气显示

(1) 贝壳层 (图5a)：位于滨海高潮线，呈鞋带状的连续或不连续延伸，厚度几公分至几十公分，其孔隙度大达65~70%。主要分布于上海滨海平原，自红桥期至崇明

期由西向东平行海岸线分布了五条滨海砂堤 (图2B)，除红桥期、黄桥期已接近或出露地表外，主要产气层位属海门、金沙期。

(2) 贝壳砂层 (图5b)：一般位于贝

壳层下方和东倾方向,物性及地质分布同贝壳层。启东沿海一带也有分布,唯含泥砂较多,时间晚于上海,属长兴期。

以上两类埋藏浅,仅7~14米,气层压力0.8~1.5大气压,合理流量50~100米³/日,可连续生产3~6个月。这是由于储层下方为自低潮线以下至浅海淤泥生气层,上方为滨海平原亚粘土作盖层,故一般出水较迟。

(3) 厚砂层(图5c):主要属河口坝砂、汉道河床砂、海侵河床砂和滨海河口砂体,含少量贝壳或贝壳碎片,局部夹有3~5米厚的重砂质粘土,一般以细砂为主,孔隙度30~40%或更大,能否储气决定于上覆泥质盖层厚度和原始沉积构造。这类砂体的下方多为前期的三角洲前缘——前三三角洲淤泥生气层。在有利条件下气层厚度可厚达3~5米或更大,底部具明显的气水界面;气层压力与埋深有关,具正常压力系数,最高达5.2大气压(启东县寅阳镇气层深度51.6米,属红桥期前海侵河床砂顶部)。合理流量为50~150米³/日,可生产半年以上,若管理不善,则很快底水锥进淹。

浅气层的主要层位,江北为红桥期前的海侵河床砂顶部、金沙、海门、崇明期河口坝砂、汉道河床砂、滨海河口砂以及上海沿江沿海地带的崇明期滨海河口砂。由于这些砂体经常含有较多的泥质和粉砂,常表现为强流砂层,气水分离不好,不能稳定生产。

(4) 砂和粘土互层储集层(图5d、e),俗称“千层饼状气层”,系由1公分左右的砂、粘土的准等厚互层组成,并具有波状—水平层理,总厚达5~10米,发育于前三三角洲、河口侧翼边滩和潮间带,它们可能是由于长江输砂量和潮流强弱周期性改变的结果。位于前三三角洲、河口侧翼边滩中的储层产于泥质带中,或底部为淤泥质粉砂衬托,分布较广,气层层位启东地区为金沙

期、崇明期、长兴期,上海东部为黄桥—海门期;气藏初期无水,压力1.5大气压,合理流量<200米³/日(图5d)。位于潮间带(包括辐射沙洲)中的储层产于粘土质粉砂中,呈扁豆体,由于被水包围,气水同层不能正常出气(图5e)。

(5) 多孔亚粘土储层(图5f):岩性主要为粉砂质淤泥质粘土,也有重淤泥质粘土粉砂层,页理发育且分布层面粉砂,具蜂房状垂向气孔,孔径1毫米左右,上大下小,总孔隙度可达40~60%。气孔发育程度与层面粉砂发育程度有关,一般层面粉砂较多而均匀时气孔发育完好;其连续厚度与粘土中的粉砂量和埋深有关,一般质纯的粘土无气孔,深度超过30米气孔消失。

这类气层以启东、上海东部最发育。启东属金沙、海门期浅海相和崇明期河口侧翼边滩亚相,上海为黄桥、金沙期浅海相。气藏边界不明显,压力普遍较低(0.8~1.2大气压),产量低(3~50米³/日不等),但可生产较长时间,见水缓慢,出水后仍可正常生产。

以上五类储气层(气藏),第一、二、三类属近距离运聚的次生气藏,第四、五类属原生气藏。

由此可见,石油地质学中关于油气聚集的一般原理,对探讨浅层天然气藏的形成同样是适用的,只不过初次运移占主导地位,运移的规模要小得多,气藏圈闭受沉积岩相和原生储盖组合的控制更加突出。例如红桥、黄桥期亚三角洲主体——河口坝砂已出露地表,因而缺乏浅气层;同一区域的永安洲和扬中县中段,处于红桥期三角洲前缘斜坡,其后交替发育了河道砂和冲积平原亚相,因而出现了深浅两层。上海浦东地区金沙、海门期古海岸线位置的滨海砂堤,形成了有规律的浅层气富集带;南汇、川沙和启东沿江、沿海在前三三角洲——浅海淤泥质沉

积上发育起来的崇明、长兴期的滨海河口砂体，成了浅层（<18米）最主要的气藏区。发育于启东的砂与粘土互层和多孔亚粘土气层，则反映了苏北咀的沉积环境有别于南汇咀。河口坝砂、河床砂是规模巨大、物性很好的储集体，形成原始沉积隆起也时有存在（如金沙期），即使在具备盖层的条件下，对浅层气来讲，由于潜水、层间水的活跃，巨大的储集空间和生气量的不相称，一般也只能形成以溶解气或少量游离气的方式产出。象启东寅阳镇全新世海浸河床砂顶部的气藏是少见的，而象南通市食品厂的全新统底部和上更新统中的溶解游离气则较为普遍。

4. 浅层天然气的组份和变化

长江三角洲浅层天然气95%以上属甲烷类型的干气，含85~95%的甲烷、0.7~2%的乙烷以上组份为特征。经吸附炭浓缩后红外光谱分析，曾鉴别出 C_5H_{12} 和 C_4H_8 分子，但是这种组份是和 NH_3 、 $He + H_2$ 共生的，因此不能说由生物化学成因的浅层天然气中不会有重烃存在。至于重烃的来源，很可能是生物体分解过程中产生的可溶性组份。

除上述甲烷型外，曾见有以 N_2 气为主（54~93%）的浅层气和处于两者之间的过渡型。

如表3所示，气体成分呈现出某些规律性的变化。

（1）甲烷型天然气中 N_2 含量向长江三角洲的两翼增加向上游顶端减少，反映了生化降解过程中，动物类有机体多少的直接影响。南通县、如东、嘉定三地区在全新世中长期发育了滨海—辐射沙洲或滨海平原，较之处于长江口区的前三角洲可能更有利于海生动物的繁殖，犹如现今苏北琼港、三余海湾区的大片海涂那样。

（2）氮气型天然气大都是呈零星分布

浅层天然气化学组份 表 3

类 型	地 区	气 体 组 份 (%)							主 要 沉 积 环 境
		CH ₄	CaH ₄	N ₂	O ₂	CO ₂	H ₂	NH ₃	
甲 烷 型	上海	91.65	1.12	3.67	0.40	2.79	0.20	0.10	浅海—滨海
	启东	88.62	1.65	7.67	1.0	0.58	0.46	/	浅海—前三角洲
	南通市	89.15	0.72	7.86	0.76	1.60	0.13	0.02	前三角洲—三角洲前缘
	南通县	71.07	0.19	25.83	0.72	1.82	0.39	/	三角洲前缘—海积
	如东	79.30	0.32	30.10	1.11	2.02	0.15	/	滨海—辐射沙洲
	嘉定	76.70	1.22	20.00	0.65	1.35	0.13	/	滨海
	常熟	82.20	0.92	3.33	3.54	0.83	0.22	/	河口侧缘边滩—滨海
	口岸	83.63	0.11	3.01	0.40	2.80	0.05	/	前缘斜坡—冲积
氮 气 型	扬中	84.87	1.96	1.29	0.20	1.40	0.28	/	冲积
	南京	81.94	0.36	1.82	0.30	5.51	0.07	/	冲积
氮 气 型	启东	1.85	0.13	86.70	1.0	10.24	0.04	/	浅海—滨海
	南汇	6.54	0.48	93.00	1.45	0.35	0.17	/	滨海
	嘉定	48.07	0.92	54.78	1.22	0.81	0.26	/	滨海
	江浦	22.15	1.01	87.90	1.96	0.77	0.20	/	冲积—海积

注：转引自《长江三角洲第四纪地质及浅层天然气》，南通专区地质队，1962

的。在三角洲区，几乎都只与滨海潮间带有关，产于贝壳、贝壳砂等滨海砂堤或辐射沙洲；江浦的氮气与长江中下游淡水湖泊软泥相中常见的氮气型相似，也都与一定的沉积环境有关。常见同一地点相距不远的两口井或同一口井上下两个气层中，出现甲烷型和氮气型两种截然不同的气体，前者如丹阳县化工局内，后者如江浦汤家乡、扬中三茅镇、启东海乡等。这种现象既说明了浅层气气源与深部油气无关，基本上属未经运移的浅层原生气，也说明沉积过程中环境的差异性，导致动物遗体的可能局部堆积。

（3）江北甲烷型天然气中，甲烷组份有逆流向西从启东的88.62%增加到扬中的94.87%，含氧、含氢量相对减少的特征。就其原因除了受有机质的原始组合成份影响外，还与生物化学作用进行的深化程度相关。表3所例的数据是各地区组份百分含量的平均值，它在总体上反映了东部的层位较新（海门期后）、西部的层位较老（金沙期前）。显然，深度适中、埋藏历史较久会有利于细菌降解作用的充分进行。启东县城井下10~20米深灰色泥砂岩心（主要相当于崇明期），在嫌氧条件下的“发酵”试验（表4），它不仅提供了浅层天然气生化成因的直接证

华北煤成气形成的地质条件探讨

谢征康 杨复兴

(地质矿产部第二石油指挥部)

华北是我国重要的煤产地,石炭、二迭系煤系地层广泛分布在燕山、大别山、吕梁山、郯卢断裂的范围。总面积为53万平方公里,部分遭受剥蚀,残存面积约20万平方公里,大致呈北东东-南西西或近东西向。厚度1500米,分属太原组、山西组及上、下石盒子组四个成煤期,含煤80余层,煤层总厚20~40米,煤种从肥煤至无烟煤较为齐全。近几年来,随着煤田地质勘探与煤矿生产,相继发现天然气点,证明华北上古生界煤系地层有煤成气生成和运移过程。

本文据有关的省、市区域地质、煤田地质、石油物探及煤矿瓦斯资料,对华北上古生界煤成气形成的地质条件进行探讨,提出

一些肤浅看法。

一.华北石炭、二迭系沉积概况及煤层分布规律

(一) 沉积概况

华北地台自中奥陶世整个上升后,到中石炭世才受到来自北方的海浸,中、晚石炭世普遍发育一套海相和海陆交互相的含煤沉积。早二迭世除个别地区有短暂的海浸外,均转化为内陆河湖相含煤沉积。晚二迭世北纬36度以北地区出现红色内陆盆地沉积,其南部地区则仍为内陆河湖相含煤沉积。局部地区(京西)稍有变质外,余者均为正常沉

据,而且证明了“发酵”时间的长短对甲烷含量的影响。

启东县城10—20米深灰色泥砂

表 4 岩心密封发酵试验

气 样	成 份 (%)							说 明
	CH ₄	C ₂ H ₆	CO ₂	O ₂	H ₂	N ₂	NH ₃	
岩心10.20厘米	35.59	0.25	1.40	0	0	62.20	/	泥砂体积20公升,历时三个月总生气量8公升
发酵10.20厘米	36.33	0.27	1.10	0	0	62.01	/	
原气罐气样	74.72	0.33	1.80	22.37	0.11	0.63	0	

(4) 在几乎所有的样品中都含有少量的氧和氢,这一矛盾的现象显示了生物降解作用尚处在好气细菌作用到厌氧细菌作用的过渡阶段,它至少说明对长江三角洲而言,全新世浅层天然气的发生期尚未结束。氧的

存在是由于长江三角洲与气层有关的潜水、层间水和地表水仍有较强的联通,使细菌耗氧并不完全;地面气苗的大量存在同样说明了地下浅气层与地表的沟通。氢的存在反映了厌氧细菌正在发生作用,二氧化碳被氢还原成甲烷。表3中氢含量相对较高者,二氧化碳含量则相对较低,可能就是这一过程的反映。由此可见在浅层天然气中是不大可能普遍存在类似于密封发酵试验那样的厌氧地质条件的,这是浅层天然气的一大特点。

附记:本文引用的第四纪地质资料,主要来源于同济大学研究成果,在此不再一一列出,并顺致敬意。