

文章编号: 0253-9985(2005)01-0104-05

东海西湖凹陷平湖构造带油气分布规律

顾惠荣, 叶加仁, 郝芳

(中国地质大学, 湖北武汉 430074)

摘要: 平湖构造带有正常凝析油、非正常凝析油、轻质原油和正常原油 4 种类型原油。天然气以热解成因的凝析气为主。平湖构造带产出的油气以凝析气为主, 原油次之。花港组油气藏以背斜型油藏为主, 并多被断层所切割; 平湖组油气藏依附于断裂, 多为受同生断层控制的断块和半背斜凝析气藏。

关键词: 平湖构造带; 平湖组; 油气藏; 西湖凹陷

中图分类号: TE111.1

文献标识码: A

Distribution pattern of oil and gas in Pinghu structural zone in Xihu depression, East China Sea

Gu Huirong, Ye Jiaren, Hao Fang

(China University of Geosciences, Wuhan, Hubei)

Abstract: There are four oil types in Pinghu structural zone, i. e. normal condensate, abnormal condensate, light crude oil and normal crude oil. Natural gas is mainly of pyrolysis product- condensate gas. Hydrocarbons produced from Pinghu structural zone are mainly of condensate gas, and then to be followed by crude oil. Reservoirs in the Huarang Formation are mainly of anticlinal type, and most of them have been cut by faults. Reservoirs in the Pinghu Formation are mostly fault block and semi-anticlinal condensate gas pools controlled by contemporaneous faults.

Key words: Pinghu structural zone; Pinghu Formation; oil and gas reservoirs

西湖凹陷位于东海陆架盆地的东北部, 面积约 $5.9 \times 10^4 \text{ km}^2$, 其西侧为虎皮礁、海礁及鱼山凸起, 东邻钓鱼岛岩浆岩带, 新生代最大沉积厚度超过 10 km。根据新生代的构造格局、沉积特点、断裂发育及油气赋存状态等特征, 西湖凹陷由西向东可划分为保俶斜坡带、三潭深凹、浙东中央背斜带、白堤深凹和天屏断裂带 5 个次级构造单元。作为西湖凹陷一个组成部分的保俶斜坡带长期继承性发育, 具备良好的石油地质条件, 是油气运移与聚集的理想场所^[1-3]。平湖构造带位于保俶斜坡带中部, 主体呈北北东向展布, 自北往南由平北、平中及平南 3 个区带组成, 现已发现了平湖、宝云亭、武云亭及孔雀亭等油气田, 其中平湖油气

田是我国在东海海域发现并投入开发的第一个油气田, 具有良好的油气勘探与开发前景。

1 油气藏流体性质

1.1 原油

总体上, 平湖构造带原油具有比重与粘度低(表 1)、饱和烃含量和姥植比高、碳同位素重的特征, 饱和烃含量多大于 90%, 姥植比多大于 7, 绝大部分原油的碳同位素值为 $-2.6\% \sim -2.8\%$ (PDB), 这与本区烃源岩类型密切相关。研究表明, 沉积于半封闭海湾相以 Δ 型干酪根为主的始新统平湖组煤系地层为凹陷主要烃源岩, 平湖组暗色泥岩干酪根的碳同位素值为 $-2.4\% \sim -2.8\%$ (PDB), 平

基金项目: 国家重点科技攻关项目(99-11-04-01)

第一作者简介: 顾惠荣, 男, 40 岁, 博士生, 石油地质

收稿日期: 2004-12-05

均为- 2.61% (PDB); 煤干酪根的同位素值为- 2.3%~- 2.8%(PDB), 平均为- 2.56%(PDB)^[4]。

概括起来, 平湖构造带分布有正常凝析油、非正常凝析油、轻质原油和正常原油等 4 种类型原油(表 2)。

1) 正常凝析油: 具有低比重、低凝固点、低粘

度和低蜡、低胶质、低沥青质含量及高轻烃含量(六低一高)等特征, 其一般产出于高温常压凝析气藏中, 如平湖四井平湖组中所产的凝析油。

2) 非正常凝析油: 具较高胶质、沥青质含量及较低轻烃含量等特征, 储层处于高温超压环境, 如平湖一、二、三井平湖组中下段产层中的凝析油。

表 1 平湖构造带原油物理性质

Table 1 Physical properties of crude oil in Pinghu structural zone

区带	密度/(g·cm ⁻³)	粘度/(mPa·s)	凝固点/℃	含蜡/%	含硫/%
平中	0.754 3~ 0.819 9	1.01~ 1.48	- 30~ 22	0.12~ 7.85	0.02~ 0.15
平北	0.748 7~ 0.875 2	0.94~ 2.12	- 30~ 27	0.07~ 26.81	0.03~ 0.42

表 2 平湖构造带原油分类表

Table 2 Classification of cride oil in Pinghu structural zone

原油类型	比重 (D ₂₀ ⁴)	含蜡 量/%	胶质+ 沥青 质/%	凝固 点/℃	粘度/ (mPa·s)	族组分/%				产出环境
						饱	芳	非	沥	
正常凝析油	< 0.80	< 1.0	< 1.0	< 0	0.5~ 1.0	95~ 96	3~ 4	0~ 0.4	0	高温常压
非正常凝析油	< 0.82	1~ 10	0.1~ 1	> 0	0.5~ 3.0	77~ 88	6~ 18	0.7~ 2.4	0~ 2.9	高温超压
轻质油	< 0.80	0.1~ 1.0	< 1.0	< 0	0.5~ 2.0	94~ 96	3~ 5	0.2~ 0.3	0	中温常压
正常原油	> 0.83	10.0~ 24.0	0.5~ 3.0	> 10	> 1.0~ 2.0	80~ 93	6~ 18	0.5~ 3.0	0~ 0.4	高温常压

3) 轻质原油: 具有“六低一高”的特征, 储层处于中温常压环境, 如平湖油气田花港组的原油。

4) 正常原油: 与我国一般陆相原油特征相似, 具有比重大、凝固点高、轻馏分少、高蜡和胶质、沥青质含量等特征, 储层多处于高温常压环境之中, 如平北区带宝云亭二井、武云亭一井和孔雀亭一井中所见的原油。

4 种原油在平湖油气田具有较明显的纵向分带性, 即上部产轻质油, 中部产正常凝析油, 下部

产非正常凝析油; 在平面上, 平北区带原油的比重和含蜡量相对较高, 平中区带的原油比重和含蜡量相对较低。平北区带的原油密度有随埋深减小而逐渐增大的趋势, 反映了原油的运移效应。

1.2 天然气^[5~ 7]

目前在平湖构造带所发现的天然气多为湿气, 甲烷含量一般为 70%~ 90%(表 3); 从类型上均属凝析气, 从成因上多属热解气, 另可能有生物成因气、早期降解气等类型。

表 3 平湖构造带天然气性质

Table 3 Properties of natural gas in Pinghu structural zone

区带	相对密度	组分含量/%			干燥指数
		N ₂	CO ₂	C ₁	
平中	0.63~ 0.85	0.03~ 3.73	0.06~ 3.11	70.43~ 92.41	0.61~ 0.98
平北	0.68~ 0.83	0.20~ 13.58	0.06~ 3.40	79.03~ 90.38	0.82~ 0.93

1) 生物成因气: 为沉积有机质在厌氧环境下由微生物作用形成, 如平湖一井和平湖四井渐新统花港组顶部“油帽子”中的两个气样(位于 2 300~ 2 381.5 m 井段), 具有甲烷含量高(一般大于 85%)、甲烷碳同位素轻(小于- 5.2%)、干燥指数大(大于 0.93)等特征, 多以伴生气或气显示形式存在, 无工业价值。

2) 早期降解气: 为有机质处于低成熟阶段

(0.40%< R_o< 0.60%)形成的非生物气, 其成分以甲烷为主, 干燥指数大于 0.93, 甲烷碳同位素为- 4.2%~- 5.2%, 目前主要发现于平中区带, 深度为 2 400~ 2 800 m。

3) 热解气: 为平湖组暗色泥岩与煤及其以下地层在高成熟阶段(1.3%< R_o< 2.2%)热解形成, 目前在平湖构造带乃至整个西湖凹陷内发现的主要产气层中的天然气均属该类型。其干燥指数

变化范围较大,一般为0.66~0.98; $\delta^{13}\text{C}_1$ 值范围为-3.0‰~-5.2‰, $\delta^{13}\text{C}_2$ 值范围为-2.4‰~-2.9‰,且 $\delta^{13}\text{C}_1 < \delta^{13}\text{C}_2 < \delta^{13}\text{C}_3$ 。平湖构造带天然气相对密度在纵向上随深度变化的规律性不明显;在横向上,平北区带的天然气相对密度(0.732)(与空气的比值)略大于平中区带(0.707)。

2 油气源对比^[8~10]

统计分析表明,西湖凹陷原油的钒镍比(V/Ni)为0.033,芴硫芴比(F/SF)为2.75。一般情况,若原油的钒镍比小于1,芴硫芴比大于0.5,则其为陆相成因;反之,则为海相成因。显然,西湖凹陷原油属于陆相成因。

2.1 油源对比

平湖构造带原油的饱和烃碳同位素($\delta^{13}\text{C}$)值分布在-2.21‰~-3.22‰(PDB),芳烃的为-2.34‰~-3.04‰(PDB)。由于芳烃对微生物有较强的抗蚀力,且不易受运移的影响,其与成油母质和环境具有一定的相关性,因此可利用芳烃碳同位素进行油-油和油-源对比。对比不同层位源岩及原油的芳烃碳同位素分布特征可知(图1),平湖构造带原油主要来自平湖组源岩。

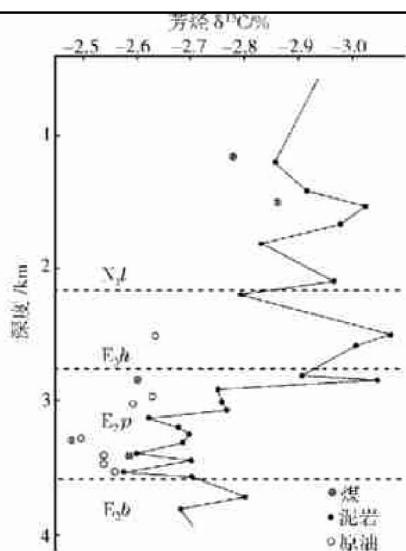


图1 平湖构造带源岩原油芳烃 $\delta^{13}\text{C}$ 对比

Fig. 1 Correlation of aromatic hydrocarbon $\delta^{13}\text{C}$ from source rock and crude oil in Pinghu structural zone

经多种方法和参数(如轻烃指纹曲线、轻烃组分、类异戊间二稀烷烃及生物标志化合物等)进行

油源对比^[11],平湖构造带花港组原油主要来源于平湖组烃源岩(泥岩和煤),平湖组原油来源于平湖组及其以下源岩。

2.2 气源对比

平湖构造带平湖组源岩成熟度(R_o)为0.8%~1.7%。平中区带天然气的成熟度多为1.65%~1.83%;平北区带宝云亭区块天然气的成熟度为1.80%~2.03%,武云亭区块的为1.75%左右,孔雀亭区块的为1.44%~1.55%。从天然气的 $\delta^{13}\text{C}_2$ 特征分析,平北区带天然气的母质类型以腐殖型为主;综合其他方法与参数对比结果可得,平湖构造带的天然气主要来源于成熟度较高的始新统平湖组及其以下地层。

3 油气分布规律

已钻探井的油气显示层段和发现的油气藏展布特征可知,保俶斜坡平湖构造带产出的油气以凝析气为主,原油次之,油气藏主要分布于始新统平湖组内,渐新统花港组次之,其中始新统平湖组油气藏主要为凝析气,渐新统花港组油气藏主要为原油。

3.1 油气藏类型

与圈闭类型相对应,平湖构造带目前钻遇揭示的油气藏类型主要为构造油气藏,其中花港组油气藏以背斜型为主,并多被断层所切割;平湖组油气藏依附于断裂,多为受同生断层控制的断块和半背斜(图2)。在横向上,平北区带主要为断块型油气藏,平中区带多为背斜型和断块型油气藏;在纵向上,平中区带的油气主要储集于平湖组和花港组之中,平北区带的油气则主要储集于平湖组之中。

3.2 油气分布特征

目前平湖构造带内钻井集中在平中区带和平北区带,揭示了花港上、花港下、平湖上、平湖中及平湖下等5个油气层组(表4),发现十多个油气藏,埋深从2300m到4200m。花港组为轻质油藏,平湖组为凝析气藏,油气藏的压力系数从上面的1.0左右向下可增大到1.8。

油气源对比结果表明,花港组原油和平湖组凝析油具有相同的地球化学属性^[11],主要来源于平湖组源岩;天然气除花港组少量天然气属生物气外,其余均属热解气,主要来源于平湖组及其以下源岩。

轻质油藏处于正常压力系统,原油相对密度为0.74~0.79,含硫量和含蜡量均较低,多小于1%。

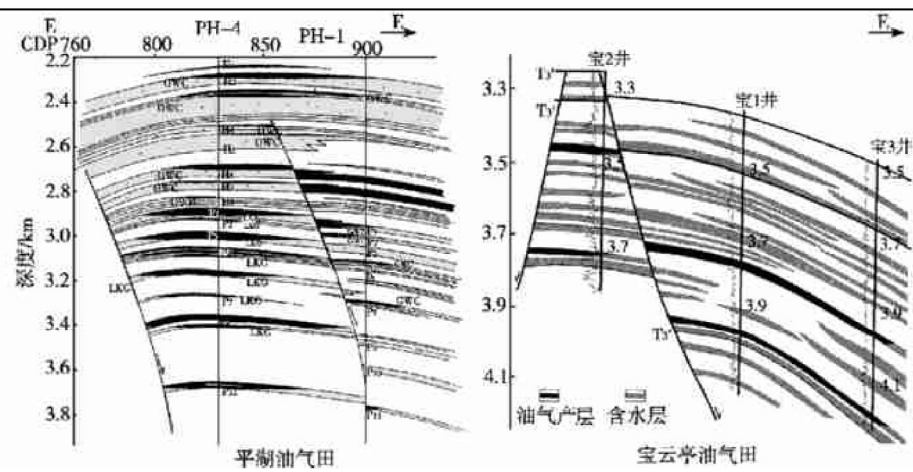


图 2 平湖构造带油气藏剖面示意图

Fig.2 Diagrammatic cross section of oil and gas reservoirs in Pinghu structural zone

表 4 平湖构造带含油气层位分布表

Table 4 Distribution of oil and gas bearing horizons in Pinghu structural zone

层位	平湖一井		平湖二井		平湖三井		平湖四井	
	层数 / 层	厚度 / m	层数 / 层	厚度 / m	层数 / 层	厚度 / m	层数 / 层	厚度 / m
花港组上段	3	19.4	1	2.4	1	2.6	7	64.3
花港组下段	2	6.1	3	11.1	无	无	9	116.1
平湖组上段	6	27.8	1	11.0	无	无	7	54.7
平湖组中段	12	63.8	8	53.2	无	无	10	79.5
平湖组下段	21	65.8	11	80.4	13	41.8	2	22.5

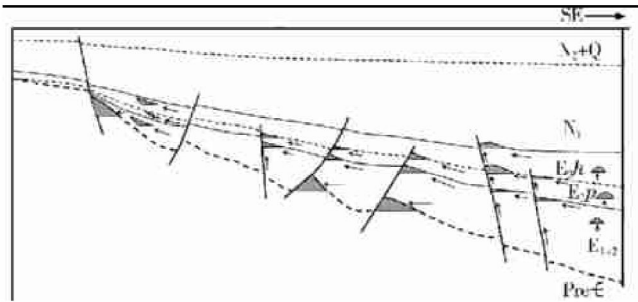


图 3 平湖构造带油气成藏模式示意图

Fig.3 Sketch map showing pool-forming model in Pinghu structural zone

凝析气藏的埋深多在 2 800~ 4 200 m, 处于两套压力系统之中, 大致以 3 500 m 为界, 之上为常压凝析气藏, 之下为高压凝析气藏。天然气相对密度为 0.631~ 0.853, 凝析油相对密度为 0.76~ 0.85, 天然气甲烷含量为 70%~ 92%, 凝析油含硫量为 0.02%~ 0.11%。

平湖油气田的大部分储量分布于放鹤亭构造(约占 74%)和八角亭构造(约占 24%), 有关运移参数(如甲苯/*n*C₈)由放鹤亭构造(平湖三井、平湖四井、平湖一井)向八角亭构造(平湖二井)方向迅速降低, 指示油气由放鹤亭构造向八角亭构造方向运移。

3.3 成藏模式

综合各项研究成果, 可概括出平湖构造带的油气成藏模式如图 3 所示。

从图中可知, 平湖构造带的油气主要来自于邻近的三潭生烃凹陷, 另有部分来自自身深部的平湖组和中、下始新统及古新统成熟烃源岩, 这些

烃源岩生成的油气在势能差的作用下, 沿不整合面、断层及渗透性砂层等输导层向平湖构造带运移、汇聚; 油气主要储集于始新统平湖组之中, 部分储集于渐新统花港组、中、下始新统、古新统及前第三系等地层之中; 油气藏类型有断块型、背斜型、断鼻型、半背斜型、砂岩上倾尖灭型、透镜型、古潜山型及构造-岩性复合型等类型, 其中以断块型和背斜型最为重要; 生储盖组合类型主要有自生自储、下生上储及新生古储等, 油气运移以侧向运移为主。另外, 在平南区带可能存在与岩体有关的油气藏类型^[12]。

比较起来, 平湖构造带内的平北区带与平中区带的成藏特征又有所差别, 其中平北区带以宝云亭油气田为典型代表, 平中区带以平湖油气田为典型代表。宝云亭油气田的油气藏类型以断块或断鼻型为主, 储集层位主要为始新统平湖组, 主要产天然气, 控制圈闭的主干断层在后期基本不

活动,生储组合以自生自储型为主;平湖油气田的油气藏类型以反转背斜型最为重要,储集层位主要为始新统平湖组和渐新统花港组,上油下气,控制圈闭的主干断层后期活动,生储组合有自生自储和下生上储两种类型。

4 油气勘探前景

迄今为止,已在平湖构造带的平北与平中区带钻探井 13 口,其中在 11 口探井中试获工业性油气流,探井成功率高达 85%,并发现了平湖、宝云亭、武云亭和孔雀亭等 4 个油气田,显示了平湖构造带良好的油气勘探前景。平湖构造带油气预测储量达 $3.9 \times 10^8 \text{t}$ (表 5),现今在平湖、宝云亭、武云亭及武北等油气田探明与控制储量仅为 $7\,584.9 \times 10^4 \text{t}$ 。显然,平湖构造带具有较大的油气勘探潜力。

表 5 平湖构造带油气预测储量表
Table 5 Predicted oil and gas in place in
Pinghu structural zone

区 带		T_2^4	T_3^0	T_4^0	累计	总计/ (10^8t)
平北	气/(10^8m^3)	0	2 000.4	2.4	2 002.8	3.9
平中	油/(10^4t)	3 321.6	0	0	3 321.6	
平中	气/(10^8m^3)	0	934.0	5.0	939.0	
平南	气/(10^8m^3)	0	349.5	302.8	652.3	

注:1 t 油= 1 000 m^3 气

参 考 文 献

1 王果寿,周卓明,肖朝辉,等. 西湖凹陷春晓区带下第三系平湖组、花港组沉积特征[J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(3): 257~ 261
Wang Guoshou, Zhou Zhuoming, Xiao Zhaohui et al. Sedimentary characteristics of Eocene Pinghu Formation and Huagang Formation in Chunxiao zone of Xihu sag[J]. Oil & Gas Geology, 2002, 23(3): 257~ 261

2 顾惠荣,贾健谊,叶加仁. 东海西湖凹陷含油气系统特征[J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(3): 295~ 297
Gu Huirong, Jia Jianyi, Ye Jiaren. Characteristics of oil and gas bearing system in Xihu sag in the East China Sea[J]. Oil & Gas Geology, 2002, 23(3): 295~ 297

3 胡芬,叶加仁,刘俊海. 东海西湖凹陷平湖构造带油气运聚特征[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2003, 23(1): 95~ 102

Hu Fen, Ye Jiaren, Liu Junhai. Petroleum migration and accumulation characteristics of Xihu sag, the East China Sea[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2003, 23(1): 95~ 102

4 李贤庆,钟宁宁,熊波,等. 西湖凹陷煤系源岩的有机质热演化研究[J]. 中国煤田地质, 1997, 9(1): 33~ 36
Li Xianqing, Zhong Ningning, Xiong Bo, et al. Study on coal series source rock organic geothermal evolution of Xihu sag[J]. Coal Geology of China. 1997, 9(1): 33~ 36

5 王明明,李本亮,魏国齐,等. 柴达木盆地东部第四纪水文地质条件与生物气成藏[J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(4): 341~ 345
Wang Mingming, Li Benliang, Wei Guoqi, et al. Quaternary hydrogeologic condition and biogenic gas accumulation in eastern Qaidam basin[J]. Oil & Gas Geology, 2003, 24(4): 341~ 345

6 黄泽新,罗小平. 洞庭盆地第四系生物气地质特征及远景分析[J]. 石油与天然气地质, 1996, 17(1): 62~ 67
Hang Zexin, Luo Xiaopin. Quaternary biogenic gas geological characteristics and potential analysis of Dongting Basin[J]. Oil & Gas Geology, 1996, 17(1): 62~ 67

7 丁国生,田信生. 中国浅层天然气资源及开发前景[J]. 石油与天然气地质, 1996, 17(3): 226~ 23
Ding Guosheng, Tian Xinseng. Shallow gas resources and development prospect[J]. Oil & Gas Geology, 1996, 17(3): 226~ 231

8 刘华,蒋有录,杨万琴,等. 东营凹陷中央隆起带油-源特征分析[J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(1): 39~ 43
Liu Hua, Jiang Youlu, Yang Wanqing, et al. Oil-source characteristics analysis in central uplift zone of Dongying sag[J]. Oil & Gas Geology, 2004, 25(1): 39~ 43

9 贾健谊,须雪豪,孙伯强. 东海西湖凹陷原油与天然气的地球化学特征[J]. 海洋石油, 2000, (2): 1~ 7
Jia Jianyi, Xu Xuehao, Sun Boqiang. Oil/gas geochemical characteristics in the Xihu sag of the East China Sea[J]. Offshore Oil, 2000, (2): 1~ 7

10 冯建辉,谈玉明,罗小平,等. 东濮凹陷白庙构造油气源与成藏史[J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(2): 130~ 135
Feng Jianhui, Tan Yuming, Luo Xiaoping. Oil and gas source and accumulation history of Baimiao structure in Dongpu sag[J]. Oil & Gas Geology, 2003, 24(2): 130~ 135

11 叶军,郭迪孝. 东海西湖凹陷天然气地化特征[J]. 石油实验地质, 1996, 18(2): 174~ 181
Ye Jun, Guo Dixiao. Natural gas geochemical characteristics of Xihu sag in the East China Sea[J]. Petroleum Geology & Experiment, 1996, 18(2): 174~ 181

12 叶加仁,王连进,邵荣. 油气成藏动力学中的流体动力场[J]. 石油与天然气地质, 1999, 20(2): 182~ 185
Ye Jiaren, Wang Lianjin, Shao Rong. Fluid dynamics of oil and gas accumulation dynamics[J]. Oil & Gas Geology, 1999, 20(2): 182~ 185