

# 匈牙利潘诺尼亚盆地上新世沉积物中 油气的来源

I. Koncz O. Etler (匈牙利)

**摘 要** 在潘诺尼亚盆地具有良好储层特征的上新世沉积中发现了大量油气。上新世沉积属于三角洲相,在0.5~2 km深处有大量的未熟源岩。由于生烃和二次运移的条件悬殊,上新世储层中所聚集的油气来源也极不相同。本文的目的是确定上新世储层所圈闭油气的来源,从而描述运移及聚集系统。对不同地区油气地化特征检验的结果表明,上新世储层中不但有经细菌和早期热解过程在原地生成的干气,还有垂向运移来的富烃的石油伴生湿气,以及从地壳高温区或火山体中生成的富CO<sub>2</sub>天然气。

**关键词** 匈牙利 潘诺尼亚盆地 上新世沉积 烃 二氧化碳 生成 运移

## 1 引 言

匈牙利的上新世沉积物中含有大量能够形成生物成因天然气为主的未熟源岩。在天然气组分变化极大的上新统构造中发现了晚第三纪储层中大部分(64%)天然气和半数被圈闭的石油。66%的天然气是富烃湿气,富CH<sub>4</sub>的干气达24%,另外10%的天然气含大量非烃气体,其中大部分甚至全部是CO<sub>2</sub>。上新统构造中圈闭的所有石油和绝大部分天然气都不是上新世源岩本身生成的。虽然 Sajgó(1984)曾讨论过 Algyő 油田中石油的来源,但天然气的来源此前并未被研究过。

本文目的是确定在上新世储层所圈闭油气的来源,进而描述运移及聚集系统,并通过油气的地化特征验证上新世储层的动态史。

## 2 研究区的石油地质学

潘诺尼亚盆地岩石圈的扩张导致了晚第三纪单独的凹陷或次级盆地的沉积发育(图1)。中生代和古生代的基底杂岩上直接沉积了中新统至第四系,沉积中心总厚度达5~7 km。晚第三纪沉积几乎全是页岩和砂岩。在次级盆地较深部的晚第三纪早期沉积主要是海侵层序。由地震剖面推断,在沉积中心处最大水深达800~900 m。在晚中新世时,潘诺尼亚盆地从开阔海和古地中海东部边缘区分离出来。内陆海的水被更新,凹陷被完全填充。在由北和西北向南推进的三角洲系统中较浅的水下(200~400 m)沉积了海退层序,碎屑流来自阿尔卑斯山脉和西部及东部喀尔巴阡山脉。上新世(上潘诺尼亚)沉积属于这些三角洲体系中的三角洲平原相。褐煤层的广泛出现指示了上新世沉积中的河湖环境。上新世沉积被河

相第四纪沉积所覆盖。

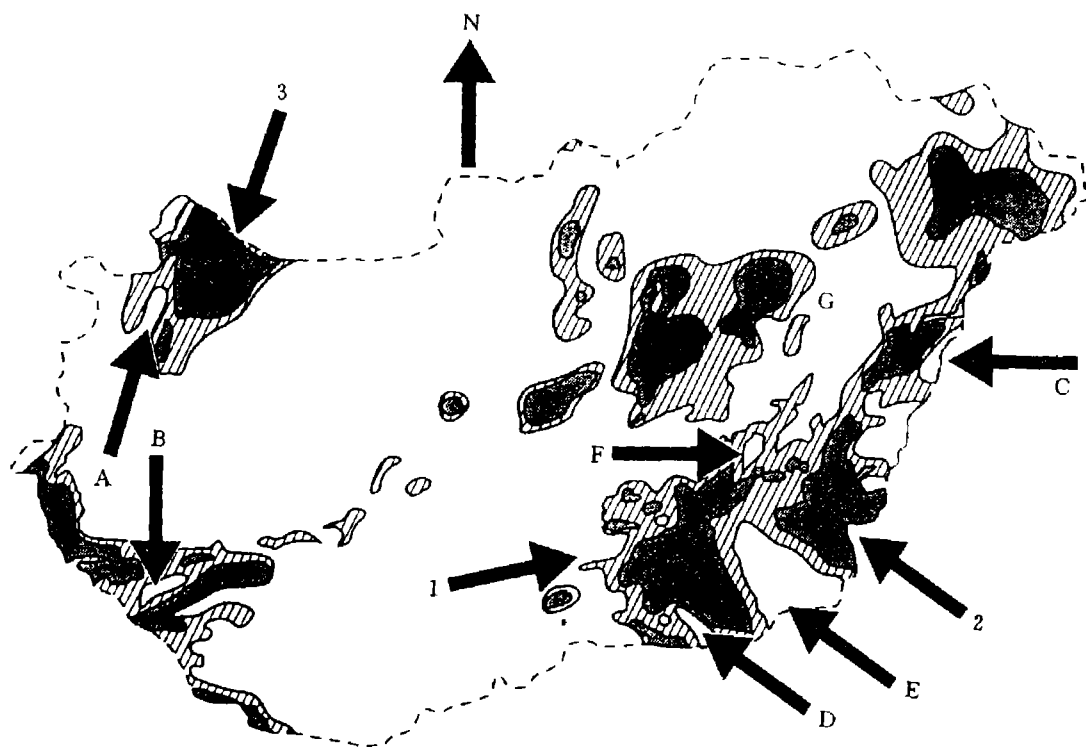


图1 上新世沉积中油气田位置示意图

勘察地区: A. Mihályi 高地; B. Inke 高地; C. Kismarja; D. Algyő; E. Pusztaföldvár-Battonya;  
F. Endrőd; G. Hajduszoboszló。次级盆地: 1. Hódmezővásárhely-Makó; 2. Békés; 3. 小匈牙利平原。

上新世三角洲沉积的埋藏厚度一般是 500~1 500 m,但在 Hódmező várhely-Makó、Békés、小匈牙利平原这几个次级盆地中达到 2 000~2 200 m。上新世沉积中有机质的成熟度低,镜质体反射率 $<0.6\%$ 。上新统层序中的源岩由于陆源有机质的加入而含有生气型干酪根。在上新世沉积中发生了生物作用和早期热解产气过程。

中中新世(前潘诺尼亚)和最下部的晚中新世(下潘诺尼亚)时代的深水盆地页岩经历了生油的主要阶段。这些深水盆地一般处在现今 $>3$  km 的深度上(图 1)。在深水盆地沉积的泥灰岩和钙质泥灰岩中有一类更利于生油的干酪根。

处在上新世三角洲平原沉积和中中新世深水盆地页岩之间的三角洲斜坡沉积,由于它们的生烃潜力低而不可能产生足够的有工业价值的烃。

### 3 上新世储层所圈闭油气的来源和运移

#### 3.1 不含油的富 $\text{CO}_2$ 天然气

在上新世储层中,几个主要含  $\text{CO}_2$  的气田发现于 Mihályi 高地的构造圈闭和小匈牙利平原的西部、中部(图 1 中 A)。在 Mihályi 高地上,甚至下伏的晚中新世(下潘诺尼亚)和古生代储层中也有  $\text{CO}_2$  含量达 70%~90% 的天然气。上新世储层中明显的氮痕量表明是基底来源。与中新世海侵相应的高盐度水也在上新世储层中发现。氮和高盐度都表明从深部源有

大量的垂向运移。

在古生代基岩中,镜质体反射率为 4%~6%。中新世沉积在 2.6~2.9 km 深度达到了石油窗的顶部(镜质体反射率为 0.6%)。

从碳同位素比值-6‰~-9‰来判断,CO<sub>2</sub> 可能来源于基岩中碳酸盐的热解或盆地中部发现的 Rába 构造线的火山体。碳同位素组成说明富 CO<sub>2</sub> 天然气中的甲烷是在相当低的成熟度下产生的。由碳同位素组成估计出的甲烷成熟度与晚第三纪源岩成熟度一致,所以晚第三纪沉积物可能就是产生甲烷的源。与这些富 CO<sub>2</sub> 天然气伴生的凝析气的庚烷和异庚烷值可解释为反映了在这些晚第三纪沉积中生油的一个早期过渡阶段。

如果可排除延伸到较浅的上新世沉积的生长断层的存在,那么 CO<sub>2</sub> 和晚第三纪来源的热成烃就必然经过三角洲斜坡沉积运移进入上新世储层。

在沿 Inke 高地的圈闭中,富 CO<sub>2</sub> 天然气已经在上新世和下伏的晚中新世储层(图 1 中 B)中被发现。上新世储层水盐度高,表明从深部源显著的垂向运移。富 CO<sub>2</sub> 天然气的存在看来与中新世和始新世时期的火山活动及靠近此地区南缘的构造线有关。

### 3.2 富 CO<sub>2</sub> 的油型气

在 Kismarja 地区,上新世沉积直接覆盖在前寒武变质基岩上(图 1 中 C)。在上新世沉积中已发现了气井和一口具气顶的油井。上新世和前寒武圈闭中这些天然气的组分很不一致。在上新世储层中,CO<sub>2</sub> 含量为 5%~97%,与这种不均一相对应,富 CO<sub>2</sub> 天然气中甲烷的碳同位素比值为-29‰~-38‰,而低 CO<sub>2</sub> 含量的天然气中甲烷碳同位素比值为-43‰~-54‰,CO<sub>2</sub> 的碳同位素比值在富 CO<sub>2</sub> 天然气中为-5‰~-8‰,而在 CO<sub>2</sub> 含量低的天然气中为-10‰~-20‰。油的 API 比重范围是 15~34,但多数以比重 22~24 为特征。石油组分从石蜡质到环烷质变化很大,但大多是这两类间的过渡型。姥鲛烷对植烷的高比值说明这些油的源岩是一个氧化沉积环境。由对成熟度敏感的生物标志化合物参数判断出这些油具有低的成熟度。故而我们认为基岩产物,包括含未熟油的烃类,是混合的。

### 3.3 石油和富烃湿气

大多圈闭在上新世储层中的油气资源是在 Hódmezővásárhely-Makó 海沟西南缘的 Algyő 地区中发现的(图 1 中 D)。Algyő 油气田是匈牙利最大的油气田。油气分布在古生代到中生代基底构造和基底隆起上的晚第三纪压实背斜中。其中大部分聚集在 1.7~2.1 km 深度的上新世砂岩储层中。

对晚第三纪盆地沉积相的研究表明这一地区中存在一个前积三角洲体系。大量含有生气干酪根的未熟源岩存于上新世三角洲平原沉积中,这些沉积物中含有夹杂的褐煤和褐煤层。由于三角洲斜坡和前三角洲沉积物的生烃潜力很小,所以不会产生有意义的油气资源。而在晚第三纪坳陷的最深处则找到了含有一类更利于生油的干酪根的深水盆地页岩。这些厚层的深水盆地页岩由中中新世(前潘诺尼亚)和晚中新世(下潘诺尼亚的最下部)的钙质和粘土质泥灰岩组成,其埋深已超过了生油窗,并且现在正处于产生湿气或干气的主要阶段。前晚第三纪基岩因其成熟度高而不能认为是源岩。

天然气的组分以含烃类高(大于 90%)为特征(表 1)。气态烃中 C<sub>2+</sub> 含量大多在 5%~20% 的范围内。由碳同位素比值可判定甲烷是热成因的。大多天然气的碳同位素比值介于-33‰和-44‰之间,而甲烷碳同位素比值范围是-29‰~-47‰(表 1)。天然气藏中甲烷

表 1 Algyő 及其邻近地区(图 1 中 D)天然气的组分及碳同位素比值

| 油气井/ 深度 |      | 气体组分(v/v%) |        |        |       | $C_2+$ / $C_{1-10}$ |         | $\delta^{13}C$ | 油气井/ 深度   |      | 气体组分(v/v%) |        |        |       | $C_2+$ / $C_{1-10}$ |         | $\delta^{13}C$ |
|---------|------|------------|--------|--------|-------|---------------------|---------|----------------|-----------|------|------------|--------|--------|-------|---------------------|---------|----------------|
| 油气田     | (m)  | $C_1$      | $C_2+$ | $CO_2$ | $N_2$ | (%)                 | (‰,PDB) |                | 油气田       | (m)  | $C_1$      | $C_2+$ | $CO_2$ | $N_2$ | (%)                 | (‰,PDB) |                |
| 上新世储层   |      |            |        |        |       |                     |         |                | 中新世到古生代储层 |      |            |        |        |       |                     |         |                |
| A       | 1709 | 71.62      | 24.48  | 0.70   | 3.20  | 25.5                | -28.6   |                | A         | 2220 | 88.62      | 9.14   | 1.39   | 0.85  | 9.4                 | -44.0   |                |
| A       | 1718 | 73.60      | 23.25  | 0.73   | 2.42  | 24.0                | -41.6   |                | F         | 2227 | 89.75      | 5.14   | 3.54   | 1.30  | 5.7                 | -36.6   |                |
| A       | 1718 | 69.89      | 26.26  | 0.70   | 3.15  | 27.3                | -34.3   |                | A         | 2280 | 91.32      | 5.78   | 2.38   | 0.52  | 6.0                 | -46.3   |                |
| A       | 1735 | 70.65      | 26.08  | 0.87   | 2.40  | 27.0                | -40.0   |                | FK        | 2282 | 83.27      | 11.57  | 4.64   | 0.52  | 12.2                | -33.4   |                |
| A       | 1777 | 81.48      | 15.69  | 0.77   | 2.06  | 16.1                | -31.6   |                | F         | 2316 | 77.44      | 8.86   | 3.32   | 10.38 | 10.3                | -42.1   |                |
| A       | 1778 | 81.06      | 16.36  | 0.84   | 1.74  | 16.8                | -37.5   |                | F         | 2355 | 88.86      | 6.06   | 4.33   | 0.75  | 6.4                 | -32.7   |                |
| A       | 1778 | 83.39      | 13.81  | 0.96   | 1.84  | 14.2                | -37.9   |                | A         | 2440 | 75.02      | 21.73  | 2.96   | 0.29  | 22.5                | -33.3   |                |
| A       | 1814 | 71.78      | 24.68  | 0.87   | 2.67  | 25.6                | -36.5   |                | A         | 2450 | 87.19      | 9.42   | 1.94   | 1.45  | 9.8                 | -44.5   |                |
| A       | 1845 | 85.85      | 11.64  | 0.69   | 1.82  | 11.9                | -31.7   |                | A         | 2476 | 85.70      | 9.72   | 4.37   | 0.21  | 10.2                | -38.7   |                |
| A       | 1852 | 85.68      | 10.26  | 0.76   | 3.30  | 10.7                | -37.7   |                | A         | 2478 | 84.25      | 12.86  | 1.70   | 1.19  | 13.2                | -44.1   |                |
| A       | 1889 | 80.20      | 17.12  | 0.80   | 1.88  | 17.6                | -37.0   |                | A         | 2479 | 90.60      | 7.88   | 0.85   | 0.67  | 8.0                 | -46.9   |                |
| A       | 1892 | 87.20      | 10.82  | 0.69   | 1.29  | 11.0                | -43.0   |                | A         | 2530 | 84.29      | 10.72  | 4.60   | 0.39  | 11.3                | -35.7   |                |
| A       | 1900 | 88.60      | 8.60   | 0.80   | 2.00  | 8.9                 | -38.8   |                | A         | 2559 | 82.86      | 11.62  | 4.53   | 0.99  | 12.3                | -33.1   |                |
| A       | 1900 | 90.00      | 7.43   | 0.93   | 1.64  | 7.6                 | -39.1   |                | Do        | 2761 | 61.69      | 28.34  | 7.95   | 2.02  | 31.5                | -39.4   |                |
| A       | 1914 | 79.49      | 18.40  | 1.23   | 0.88  | 18.8                | -38.8   |                | Do        | 2778 | 75.15      | 15.65  | 7.45   | 1.75  | 17.2                | -38.6   |                |
| A       | 1916 | 87.86      | 8.58   | 1.60   | 1.96  | 8.9                 | -37.3   |                | Sze       | 2793 | 75.90      | 15.38  | 7.42   | 1.30  | 16.8                | -44.6   |                |
| A       | 1927 | 87.00      | 10.59  | 0.85   | 1.56  | 10.9                | -43.4   |                | Sze       | 2795 | 72.46      | 17.23  | 8.43   | 1.88  | 19.2                | -40.9   |                |
| A       | 1930 | 86.19      | 11.51  | 1.09   | 1.21  | 11.8                | -31.4   |                | F         | 2806 | 87.52      | 7.61   | 3.13   | 1.74  | 8.0                 | -35.0   |                |
| A       | 1936 | 86.76      | 10.65  | 1.19   | 1.40  | 10.9                | -37.8   |                | Do        | 2808 | 78.52      | 12.99  | 6.80   | 1.69  | 14.2                | -43.5   |                |
| A       | 1937 | 86.86      | 10.49  | 0.98   | 1.67  | 10.8                | -30.2   |                | Do        | 2843 | 75.07      | 15.79  | 7.51   | 1.63  | 17.4                | -44.5   |                |
| A       | 1942 | 85.12      | 13.65  | 0.08   | 1.35  | 13.8                | -41.0   |                | Do        | 2884 | 72.25      | 17.41  | 7.04   | 3.30  | 19.4                | -40.1   |                |
| A       | 1952 | 90.15      | 7.14   | 0.91   | 1.53  | 7.6                 | -39.5   |                | Do        | 3015 | 59.10      | 30.67  | 6.68   | 3.55  | 34.2                | -44.3   |                |
| A       | 1953 | 70.98      | 3.14   | 0.00   | 25.88 | 4.2                 | -33.5   |                | Do        | 3028 | 67.75      | 24.86  | 4.47   | 2.92  | 26.8                | -36.1   |                |
| A       | 1956 | 87.90      | 10.21  | 0.73   | 1.16  | 10.4                | -45.8   |                | Do        | 3048 | 64.97      | 29.37  | 2.31   | 3.35  | 31.1                | -35.3   |                |
| A       | 1958 | 86.54      | 10.77  | 1.51   | 1.18  | 11.1                | -40.8   |                | Do        | 3050 | 58.95      | 27.66  | 7.30   | 6.09  | 31.9                | -42.3   |                |
| A       | 1981 | 89.32      | 8.56   | 1.04   | 1.08  | 8.7                 | -39.4   |                | Do        | 3085 | 71.41      | 20.03  | 6.84   | 1.72  | 21.9                | -40.2   |                |
| A       | 1982 | 90.80      | 7.61   | 1.04   | 0.55  | 7.7                 | -45.1   |                | Do        | 3100 | 68.91      | 22.04  | 7.00   | 2.05  | 24.2                | -34.4   |                |
| A       | 2030 | 84.83      | 11.11  | 1.10   | 0.96  | 13.4                | -40.2   |                | Do        | 3116 | 62.30      | 5.16   | 31.57  | 0.97  | 7.6                 | -36.1   |                |
| A       | 2030 | 90.39      | 7.31   | 0.95   | 1.35  | 7.5                 | -41.3   |                | D-1       | 3406 | 52.22      | 11.93  | 35.48  | 0.37  | 18.6                | -35.7   |                |
| A       | 2068 | 89.30      | 8.53   | 0.95   | 1.22  | 8.7                 | -46.5   |                | M-3       | 4158 | 83.35      | 15.73  | 0.05   | 0.87  | 15.9                | -41.7   |                |
|         |      |            |        |        |       |                     |         |                | M-2       | 4158 | 90.72      | 8.50   | 0.08   | 0.7   | 8.6                 | -33.3   |                |
|         |      |            |        |        |       |                     |         |                | M-2       | 4338 | 83.95      | 14.43  | 0.48   | 1.14  | 14.7                | -38.4   |                |
|         |      |            |        |        |       |                     |         |                | M-2       | 4666 | 86.00      | 10.65  | 2.03   | 1.32  | 11.0                | -32.6   |                |
|         |      |            |        |        |       |                     |         |                | M-2       | 4816 | 74.01      | 4.98   | 18.38  | 2.63  | 6.3                 | -32.8   |                |
|         |      |            |        |        |       |                     |         |                | M-2       | 4878 | 81.25      | 9.88   | 7.14   | 1.73  | 10.8                | -30.2   |                |

$\delta^{13}C$ , 甲烷碳同位素比值

的碳同位素比值取决于成熟度、母体有机质种类和运移聚集过程中原生气的混入。在研究的聚集区中,1.7~2.1 km 深度的上新世储层里甲烷的碳同位素比值和 2.2~4.9 km 深度的

中新世到古生代储层里甲烷的碳同位素比值并无明显差别(图 2)。我们认为无论是在上新世还是在中新世到古生代构造中储存的天然气因形成和混合而导致的同位素差异都是相近的。因此,上新世储层中圈闭的天然气所经历的垂向二次运移比较显著,在 Békés 盆地中也发现了类似的长距离垂向运移(图 1)。

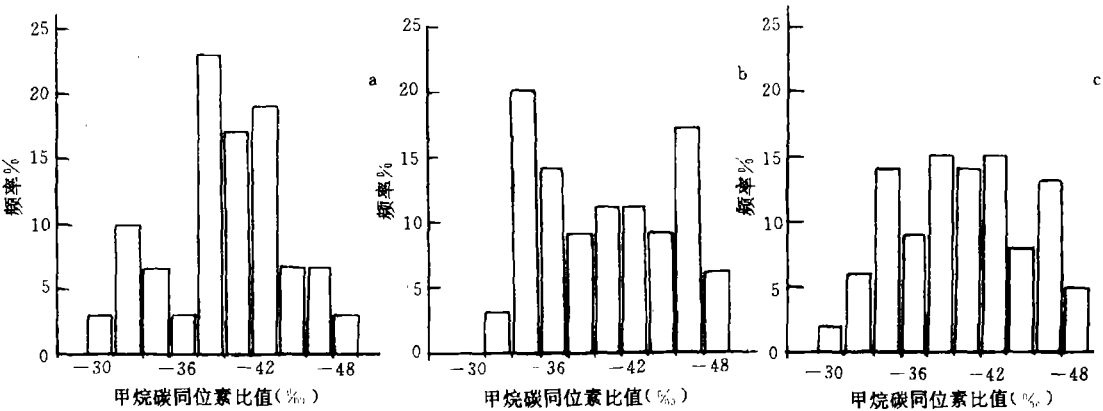


图 2 圈闭在(a)上新世、(b)中新世到古生代和(c)上新世到古生代储层中的甲烷碳同位素比值(‰)

在研究的储集区中还发现了含硫量很低的石蜡质轻油。在 Algyő 油气田中观察到随着生产区段的深度增加,油的密度也增大。由对成熟度敏感的生物标志化合物参数判断,Algyő 油气田中的石油还显示出一个不常见趋势,即热成熟度随着埋藏深度的增加而降低。所有这些不常见的趋势都表明热成熟度最高的石油已圈闭在较浅的储层之中。

上新世(上潘诺尼亚)源岩抽提物与上新世储层圈闭的石油两者的正构烷烃分布和 GC—MC 色质谱的比较结果表明石油不是由上新世源岩生成的。采用敏源参数的聚类分析表明,石油和岩石抽提物可分为两个主要的成因组。大多数来自深水

表 2 图 1 中 D 处油气田的判源参数平均值

|        |            | 来源敏感参数 |       |       |      |      |    |    |    |
|--------|------------|--------|-------|-------|------|------|----|----|----|
|        |            | 1      | 2     | 3     | 4    | 5    | 6  | 7  | 8  |
| A 组:石油 | 上新统        | -23.7  | -23.3 | -23.7 | 0.96 | 0.38 | 30 | 32 | 38 |
|        | 中新统一古生界    | -24.3  | -24.9 | -24.2 | 1.16 | 0.52 | 32 | 31 | 37 |
|        | 抽提物 深水盆地页岩 | -24.6  | -24.3 | -24.8 | 1.51 | 0.50 | 31 | 32 | 37 |
| B 组:石油 | 中新统        | -24.7  | -24.9 | -25.9 | 1.32 | 0.00 | 31 | 29 | 40 |
|        | 抽提物 上新统    | —      | -29.1 | -29.0 | 0.95 | 0.00 | 27 | 25 | 48 |
|        | 抽提物 深水盆地页岩 | -26.7  | -26.2 | -26.4 | 1.36 | 0.02 | 30 | 20 | 50 |

1. 残油(高于 200 ℃)整体的碳同位素比值(‰); 2. 残油中饱和烃的碳同位素比值(‰); 3. 残油中芳香烃的碳同位素比值(‰); 4. 姥鲛烷对植烷比值; 5. 奥利烷对荷烷比值; 6. C<sub>27</sub>甾烷(aaa-20R 构形)%; 7. C<sub>28</sub>甾烷(aaa-20R 构形)%; 8. C<sub>29</sub>甾烷(aaa-20R 构形)%; ND 未定。

盆地页岩的石油和岩石抽提物属于 A 组。圈闭在上新世储层中的石油不但与在 2.2~4.2 km 深度的中新世、中生代和古生代构造中聚集的大部分石油相似,还与大多深水盆地页岩的抽提物都是相似的。划为 B 组的油苗及一些盆地页岩抽提物之所以异于 A 组,是因为奥利烷对荷烷的比值低、C<sub>29</sub>甾烷占优势,以及有机碳同位素值较低(表 2)(上新世源岩抽提物属于 B 组)。

表 3 中列出了石油和岩石抽提物的成熟度敏感参数。根据成熟度指标的平均值,圈闭在上新世储层中的石油与 2.2~4.8 km 深度的中新世至古生代圈闭中聚集的石油两者成熟

度是相同的(表 4)。上新世和中新世至古生代两个储层中的石油根据轻烃成熟度参数形成于成熟至过熟阶段。石油成熟度与 2.7~4.1 km 的源岩成熟度相同(表 4)。按岩石抽提物中正构烷烃分布特征可认为,约 3 km 深度的烃与上新世圈闭中储集的烃热成熟度相似(图 3(b))。

表 3 Algyő 及其邻近地区(图 1 中 D)中石油和岩石抽提物的成熟度指标

| 油气田/井     | 深度<br>(m) | 成熟度指标 |    |      |      |      | 油气田/井      | 深度<br>(m) | 成熟度指标 |    |    |   |   |
|-----------|-----------|-------|----|------|------|------|------------|-----------|-------|----|----|---|---|
|           |           | 1     | 2  | 3    | 4    | 5    |            |           | 1     | 2  | 3  | 4 | 5 |
| 石油        |           |       |    |      |      |      | 岩石抽提物      |           |       |    |    |   |   |
| 上新世储层     |           |       |    |      |      |      | 上新世下储层     |           |       |    |    |   |   |
| Do        | 1619      | 1.85  | 60 | 49   | ND   | ND   | A          | 1943      | 1.02  | 18 | 15 |   |   |
| A         | 1719      | ND    | ND | ND   | 0.36 | 2.86 | 晚第三纪深水盆地页岩 |           |       |    |    |   |   |
| A         | 1777      | 3.57  | 58 | 65   | ND   | ND   | Sze        | 2721      | ND    | 38 | 36 |   |   |
| A         | 1786      | ND    | ND | ND   | 0.36 | 2.90 | Do         | 2820      | 2.77  | 41 | 48 |   |   |
| A         | 1824      | 2.78  | 58 | 63   | 0.32 | 2.58 | M-1        | 2897      | ND    | 62 | 30 |   |   |
| A         | 1824      | ND    | ND | ND   | 0.34 | 2.63 | D-1        | 2915      | 2.69  | 30 | 28 |   |   |
| A         | 1873      | 3.57  | ND | ND   | ND   | ND   | UD-1       | 2920      | 2.56  | 44 | 71 |   |   |
| A         | 1890      | 2.70  | 58 | 60   | 0.33 | 2.47 | Do         | 3076      | 2.46  | 48 | 24 |   |   |
| A         | 1909      | 3.23  | 57 | 48   | ND   | ND   | UD-1       | 3085      | 2.50  | 53 | 89 |   |   |
| A         | 1927      | 2.70  | 56 | 50   | ND   | ND   | UD-1       | 3200      | 2.10  | 67 | 79 |   |   |
| A         | 1948      | 2.17  | 51 | 21   | ND   | ND   | Sz-1       | 3230      | 2.04  | 58 | 93 |   |   |
| A         | 1954      | 2.13  | 55 | 41   | 0.29 | 1.70 | UD-1       | 3244      | 2.63  | 27 | 76 |   |   |
| A         | 1961      | 2.38  | 55 | 52   | ND   | ND   | U-2        | 3259      | 3.33  | 53 | 74 |   |   |
| 中新世到古生代储层 |           |       |    |      |      |      | D-1        | 3275      | 2.78  | 57 | 80 |   |   |
| Kz        | 2263      | 3.12  | 63 | 73   | 0.34 | 2.53 | U-2        | 3277      | 3.33  | 38 | 78 |   |   |
| FK        | 2284      | 3.20  | ND | ND   | ND   | ND   | U-1        | 3300      | 2.56  | 40 | 77 |   |   |
| F         | 2397      | ND    | ND | 0.28 | 2.47 | D-1  | 3312       | 2.38      | 26    | 40 |    |   |   |
| F         | 2420      | 3.85  | 66 | 69   | ND   | ND   | U-1        | 3660      | 2.70  | 63 | 86 |   |   |
| A         | 2434      | 2.22  | 48 | 30   | 0.32 | 2.16 | M-3        | 4143      | 5.26  | 55 | 67 |   |   |
| Sze       | 2748      | 3.23  | 64 | 46   | ND   | ND   |            |           |       |    |    |   |   |
| Do        | 2808      | ND    | ND | ND   | 0.35 | 1.77 |            |           |       |    |    |   |   |
| Do        | 2829      | 2.56  | 66 | 52   | 0.33 | 1.88 |            |           |       |    |    |   |   |
| Do        | 3014      | ND    | ND | ND   | 0.33 | 1.92 |            |           |       |    |    |   |   |
| Do        | 3020      | 2.14  | ND | ND   | 0.33 | 1.91 |            |           |       |    |    |   |   |
| Do        | 3085      | 2.78  | 63 | 88   | 0.36 | 1.95 |            |           |       |    |    |   |   |
| UD-2      | 3129      | 2.26  | ND | ND   | 0.38 | 2.00 |            |           |       |    |    |   |   |
| D-1       | 3403      | 3.39  | ND | ND   | 0.39 | 2.99 |            |           |       |    |    |   |   |
| Zs-1      | 3442      | 2.21  | 72 | 93   | ND   | ND   |            |           |       |    |    |   |   |
| U-1       | 3767      | 3.03  | 64 | 76   | 0.38 | 3.64 |            |           |       |    |    |   |   |
| M-1       | 4156      | 6.25  | ND | ND   | 0.29 | 2.95 |            |           |       |    |    |   |   |
| M-3       | 4158      | 4.76  | 55 | 88   | 0.28 | 3.14 |            |           |       |    |    |   |   |

1.  $n_{C_{17}}$ 对姥鲛烷比值; 2.  $C_{25}$ 甾烷的  $14\beta,17\beta$  构形(%); 3. 三环甾烷的  $C_{20}/(C_{20}+C_{28})$ (%); 4. 庚烷值/100;  
5. 异庚烷值; ND 未定

使用判源参数得出的石油—源岩相关性和成熟度指标可推断,Algyő 油田在 1.6~2 km 深度的上新世储层中圈闭的石油是由深度大于 3 km 的晚第三纪深水盆地页岩生成的。如果断至浅部的晚第三纪沉积的生长断层不能作为前述的烃运移途径,那么由于这一地区的前晚第三纪基岩台地一般不会被盖层岩石

表 4 图 1 中 D 处油气田的成熟度指标平均值  
(成熟度指标的说明见表 4)

|         | 深度(km)  | 成熟度敏感指标 |    |    |      |      |
|---------|---------|---------|----|----|------|------|
|         |         | 1       | 2  | 3  | 4    | 5    |
| 石油      |         |         |    |    |      |      |
| 上新统     | 1.6~2.0 | 2.71    | 56 | 50 | 0.33 | 2.52 |
| 中新统一古生界 | 2.2~4.8 | 3.67    | 62 | 65 | 0.34 | 2.57 |
| 抽提物     |         |         |    |    |      |      |
| 上新统     | 1.9     | 1.02    | 18 | 15 | —    | —    |
| 深水盆地页岩  | 2.7~4.1 | 2.81    | 47 | 63 | —    | —    |

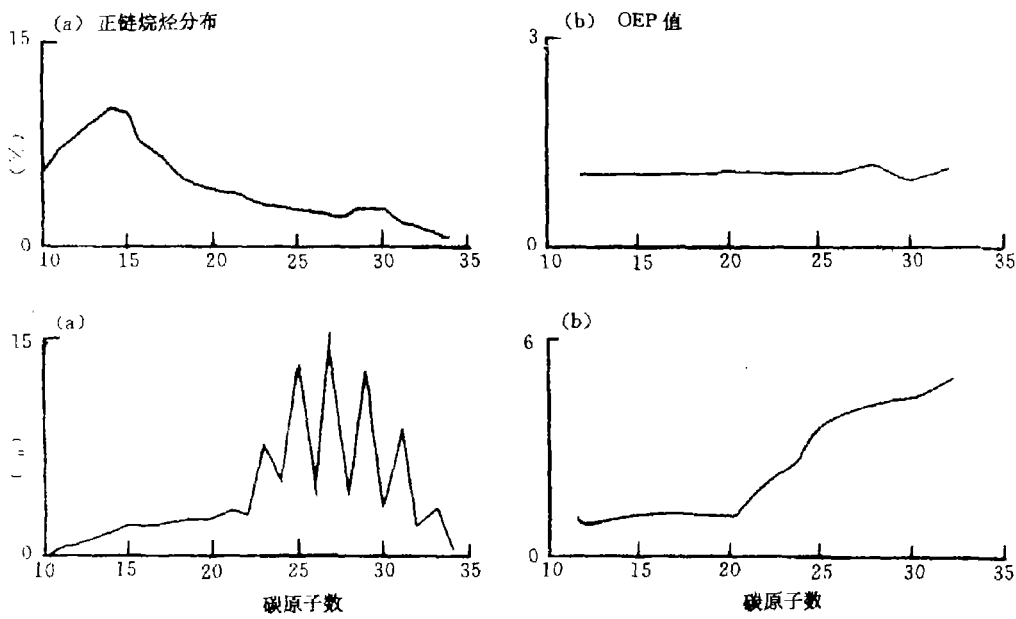


图 3 (a)上新世储层中圈闭的石油和(b)上新世源岩抽提物的正链烷烃分布

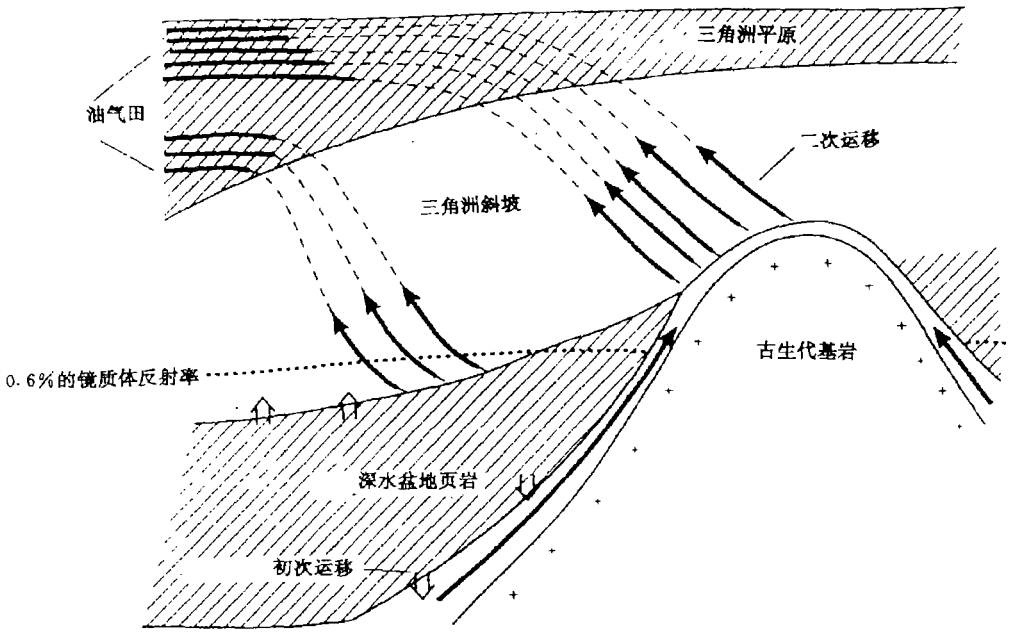


图 4 图 1 中 D 处 Algyo 油气田的沉积及运移模型示意图

所覆盖,我们就可推断,烃开始时必定沿着上第三系和前上第三系岩石间的不整合面运移,然后经过三角洲斜坡沉积向上新世储层运移(图 4)。这样,成熟度最高的石油就被圈闭在较浅的储层中,而由深水盆地较上部分的页岩产生的低演化的石油就聚集在上新世沉积中较深的储层里。

### 3.4 干气

在 Pusztaföldvár—Battonya 地区,在 Hódmezővásárhely-Makó 和 Békés 次级盆地之间的构造高地中发现了油气井(图 1 中 E)。在 0.6~1.1 km 深度的上新世储层中蕴藏了富  $\text{CH}_4$  的干气。这些气中烃  $\text{C}_{2+}$  含量为 0~0.3%。因为碳同位素比值范围是  $-51\text{‰} \sim -58\text{‰}$ ,所以这些气中的甲烷可认为是细菌成因的。而生物成因和早期热成因气在一定程度混合的可能性也不能排除。

在 Eneröd 地区,1~1.8 km 深度的上新世储层中蕴藏有甲烷碳同位素值低的干气(图 1 中 F)。这些气中烃  $\text{C}_{2+}$  含量为 0.1%~0.5%。甲烷碳同位素比值范围是  $-51\text{‰} \sim -57\text{‰}$ 。考虑到这些未熟气产自较深较热(约 100 °C)的环境,可认定在盆地的这一深度有利于生物成因气的保存。

在 Hajdusaoboszló 地区,在 0.7~1.2 km 深度的上新世储层中发现了甲烷碳同位素值低的富  $\text{CH}_4$  干气(图 1 中 G)。烃中  $\text{C}_{2+}$  含量为 0~4%。这些气中的甲烷以  $-50\text{‰} \sim -59\text{‰}$  的碳同位素比值为特征。相对高的  $\text{C}_{2+}$  含量和直接下伏在中新世储层中热成因气的存在说明一定发生过生物成因气和热成因气的混合。

## 4 结 论

由于烃生成和二次运移的条件悬殊,所以石油的来源及天然气在上新世储层中的聚集差别也很大。

因为上新世源岩的有机质是未熟的,所以上新世源岩仅产生了生物成因和少量热成因来源的干气。这些原地生成的天然气没有经过长距离的垂向运移。上新世储层中成熟烃(热成气和熟油)及富  $\text{CO}_2$  天然气的存在表明在上新世储层和更深的埋藏源之间必定在某阶段存在运移途径。此时垂向运移距离很长。上新世储层中蕴藏了由晚第三纪深水盆地页岩产生的成熟烃(图 1 中 D)。在上新世储层中,由前晚第三纪基岩或火山体产生进而聚集成的流体含有大于正常量的非烃气体,其中绝大多数甚至全部都是  $\text{CO}_2$ 。

秦承志. 译自 Org., Geochem., 1994, 21(10/11): 1069~1080. 刘文汇校.