

# 陆相块断湖盆油气生成的地球化学模式

周光甲

(胜利石油管理局地质科学研究院, 山东东营 257015)

陆相生油的基本依据仍是世界上通用的干酪根热降解学说。但是, 济阳坳陷油气勘探中发现这个学说需要补充和发展, 本文提出了两期油气生成的地球化学模式。早期油气生成的母源物质是湖盆中某些生物含有的低化学活性烃类聚合物。富含烃的葡萄藻类, 活体经培植有40%以上的可溶烃, 热模拟后(相当 $R_o < 0.30\%$ )生成饱和烃系列。晚期分为干酪根热解聚和热降解两个阶段。热解聚生成低熟油气, 热降解生成成熟及高熟油气。有利生油气的干酪根母质受生物富集层控制, 形成主力生油层。其生油门限因块断湖盆地温场差异性大, 又为小洼陷沉积单元所控制。

**关键词** 葡萄藻 低成熟油 两期成油论 热解聚 热降解

**作者简介** 周光甲 男 57岁 高级工程师 石油地质

80年代末, 我国以湖相为主的陆相油气生成学说已经具有丰富的实际资料和理论上的一些建树。

陆相湖盆油气生成学说的基本理论依据, 仍是当前世界上通用的地球热力学观点——干酪根热降解油气生成学说。其主要的地球化学模式, 无论是用残留于地下的或是热模拟“原始”的, 都表现为沿温度增高(埋深增大)的烃产率积分曲线。曲线上的突出部分被称为“石油窗”, 它的上下温度(深度)界限, 限定了石油烃类发生、发展的全部过程。

陆相盆地油气勘探中的资源评价, 已经普遍应用了这种地球化学模式。尤其是数值模拟评价盆地油气生成潜力的近代方法, 地质概念模型、地球化学模型及数学模型组成了相互验证、相互修饰、逼近真解的模拟系统。我国几个主要含油气盆地的实际评价业已证明, 合理的油气生成地球化学模型, 乃是影响评价油气资源量的决定性因素。

但是, 随着我国陆相盆地油气勘探工作的进展, 特别是类似济阳坳陷复式含油气区这样的陆相块断盆地, 勘探了30多年, 打了3800口探井, 东营沾化凹陷已达0.11—0.13口井/ $\text{km}^2$ , 是高成熟勘探区。某些凹陷评价计算的资源量, 虽然取了较高的聚集系数, 但目前探明+控制储量竟超过了剩余资源量, 出现了资源评价方法上的危机, 说明了以干酪根热解聚为主要的晚期生油气学说, 似乎难以概括济阳坳陷第三纪的几千万年以来的全部油气生成历史, 因此, 从勘探实际、科学探索、研究深度、学说发展, 都要求我们思索和重新认识一些新的问题。

## 一、生物体含烃对早期油气生成的贡献

现代湖泊地理指明陆相湖泊多形成于河流汇水地区, 河流带来各种有机质, 丰富了湖盆

的营养,使湖盆中繁衍大量水生生物,形成具有陆相特色的生物群。青海湖每平方公里水生生物可达 70 t,其中藻类可形成数百米的绿色堤岸。云南抚仙湖湖水面积 212 km<sup>2</sup>,可以形成浮满湖面的葡萄藻(亦译称丛粒藻)。生物体是油气生成的物质基础;但是,干酪根生成油气学说强调生物体首先要形成干酪根,然后进入生烃门限温度才能大量生成石油烃。B. 杜朗认为“在多数情况下仅占生物物质原始数量的极少一部分,没有经历完全的生物再循环和物理化学分解而进入沉积物中,这一部分就是沉积有机质的主要来源”。这些观点着重考虑了自然界各种营力作用,包括沉积地质作用,对生成油气的母质进行了改造和提炼,集中了那些对

生成油气特别有价值的部分;但是,它可能忽略了生物体中已存在着的低化学活性的烃类聚合物部分,特别是那些富含烃类的生物体,在沉积作用中没有完全遭受物理、化学作用的破坏,就可能不经过干酪根形成阶段,在较低的地温条件下,直接对油气生成作出贡献。也就是说在成岩作用早期,已经发生了油气的生成、运移和聚集。

生物体内含烃及烃类聚合物世界上早有报道,Clark 测定 12 种藻类,含正烷烃  $nC_{14}-nC_{32}$ 。几内亚湾海滩崖石中有“石油虫”,含油量 78.8%,居民用之点灯且无烟。澳大利亚陆地上两种旺盛生长的毒草,每公顷可提取原油 65 桶。澳大利亚达尔文湖葡萄藻,报道含烃类 17%—35%。按含烃 30%计,每年产油 3500 t/km<sup>2</sup>[1]。我国武汉水生生物所培植的云南抚仙湖葡萄藻,氯仿抽提物 47.4%[2]。对于生物体烃类加热模拟转化为饱和烃类,国内做了不少实验。在密封高压釜内加温 320℃、15.5 MPa、恒温 64 h,做了 9 种生物体模拟。浮游动物样品,每克有机碳生成氯仿可溶物和总烃分别为 394 mg 和 198 mg,气 633 mg(主要是 CO<sub>2</sub> 和 Cl);水生生物分别为 282 mg 和 79 mg、气 450 mg;陆生植物为 331 mg 和 83 mg,气 300 mg。模拟后样品饱和烃色谱一般有  $nC_{15}-nC_{31}$  完整系列,但特点不同,生物标记物也不尽

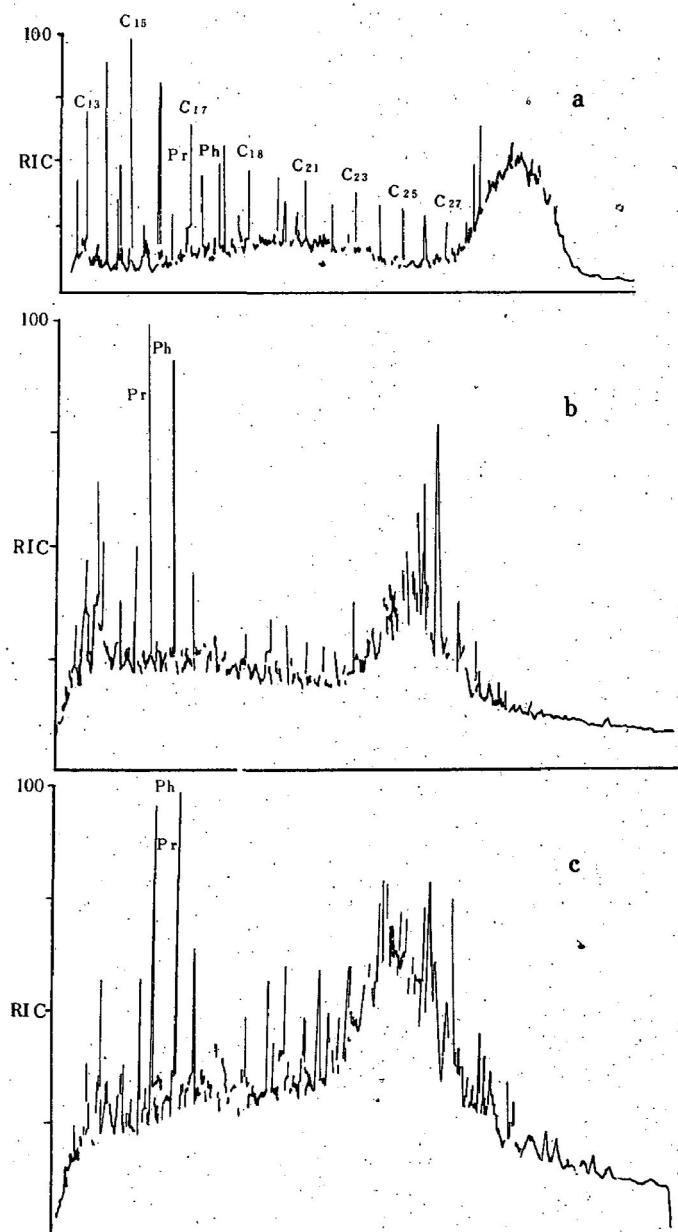


图1 抚仙湖葡萄藻 170℃热模样品(a)和孤东20-1井(b)、孤东14井(c)分析对比

相同<sup>[3]</sup>。近几年,我们利用真空加热模拟方法,将云南抚仙湖和美国淡水湖两种类型葡萄藻进行 170—350℃ 加热模拟,证实从 170℃ 开始(折算  $R_o$  为 0.27%),原样中的总烃即成倍增加。抚仙湖藻种原样中含类异戊二烯烃-葡萄藻烯转化为  $nC_{11}$ — $nC_{31}$  的饱和烃系列,同时有含  $nC_1$ — $nC_5$  的  $CO_2$  气体产生。饱和烃系列类似孤东原油,具有双峰形(图 1)。在 170℃ 时,抚仙湖藻种每克有机碳生成氯仿抽提物和总烃分别为 400 mg 和 520 mg。比以前做的生物样品生烃率要高数倍(表 1, 图 2)。

济阳拗陷内富集葡萄藻化石的地层,首先发现在孤东油田上第三系馆陶组上段含油储层的夹层泥岩内(图 3)。岩性是泥岩或砂质泥岩,灰黄、绿灰、浅灰色。葡萄藻化石最多者,一块载片可达 300 粒以上。镜下见明显的放射性排列结构的球状群体和现代葡萄藻相同。从共生的孢粉化石说明葡萄藻所处生态环境是以常绿、阔叶和针阔叶混交林为主的植被,温暖多雨的亚热带气候,湖盆处于茂盛的森林及山壑之中。湖水古盐度一般  $<10\%$ , 相对 pH 值 9 左右,极相似于云南抚仙湖和澳大利亚达尔文湖的生态环境。进而发现,第三系内包括古新统龙口组(黄县煤田)、始新统、渐新统的生油地层中都含葡萄藻化石,其富集程度、个体大小、颜色深浅都不一样,说明葡萄藻不但在早期成油做出贡献,也参与了晚期成油的干酪根形成和热降解过程。馆陶组富集葡萄藻,其生态环境表明济阳拗陷在中新世并非都是冲积平原相辫状河道沉积,拗陷东北部至埕岛浅海一带,馆陶组最大沉积厚度 900—1000 m,埕东、孤岛、孤东、埕岛等油田亦围绕馆陶组的洼子分布,馆陶组上段有淡水浅湖存在。

在湖盆的生油史中,由于早期生成的油已较为彻底地进行了排驱,目前残余烃产率曲线上无法显示其丰度,因此,虽然在认识上可以恢复其生成模式,但实际上定量评价却是个难题。我们在孤东油田解剖了 1m 厚的葡萄藻富集层,如果按现代葡萄藻的产率和模拟实验估算,1m 富集层可以生油  $2 \times 10^8 t$ 。这是个惊人而不准确的数字,但可以形象地告诉人们,生物体内含烃对油气生成的贡献是不能

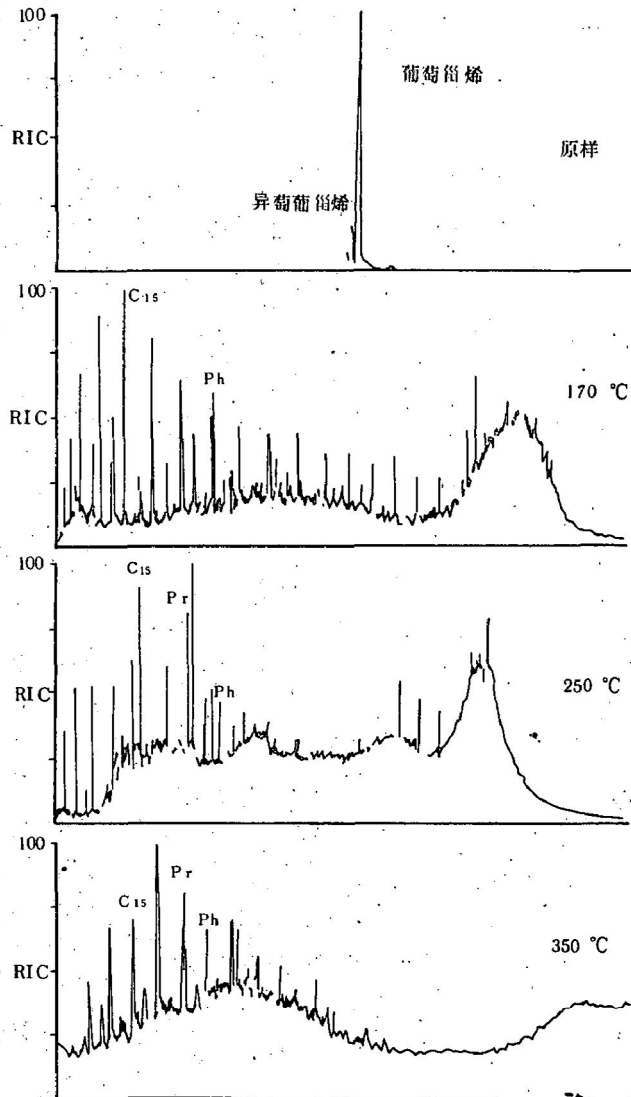


图 2 抚仙湖葡萄藻原样抽提物和热模拟后饱和烃分布

\* 陈致林等. 某些现代生物标志化合物和地化意义. 胜利油田石油技术, 1989, (6), 58.

表1 葡萄藻热模产烃量及组成

| 编号             | 样品    | 样品量(g) | 热模温度(°C) | 颜色 | 含量(%) |           |       |       |       |       |       | 饱和烃<br>芳烃 | 折算<br>$R_o$ % | 总烃(mg)/藻(g) | 总烃(mg)<br>有机碳(g) |
|----------------|-------|--------|----------|----|-------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|---------------|-------------|------------------|
|                |       |        |          |    | 有机碳   | 氯仿<br>抽提物 | 饱和烃   | 芳烃    | 非烃    | 沥青质   | 总烃    |           |               |             |                  |
| B <sub>1</sub> | 扶仙湖藻种 | 0.140  | 原样       | 黄  | 77.45 | 43.22     | 2.27  | 37.35 | 35.08 | 9.23  | 40.62 | 0.06      | 0.08          | 175.6       | 226.7            |
|                |       | 0.363  | 170      | 褐  | /     | 58.91     | 1.06  | 67.14 | 22.61 | /     | 68.20 | 0.02      | 0.27          | 401.8       | /                |
|                |       | 0.600  | 250      | 黑  | 74.27 | 49.50     | 39.34 | 23.12 | 23.12 | 3.30  | 62.46 | 1.70      | 0.57          | 309.2       | 416.3            |
|                |       | 0.519  | 350      | 深黑 | /     | 15.62     | 3.13  | 45.98 | 22.77 | 7.59  | 49.11 | 0.07      | >1.3          | 76.7        | /                |
| B <sub>2</sub> | 美国藻种  | 0.500  | 原样       | 绿  | 40.97 | 25.18     | 0.44  | 0.44  | 24.44 | 49.78 | 0.88  | 1.00      |               | 2.2         | 5.4              |
|                |       | 0.539  | 170      | 黑褐 | /     | 38.37     | 0.40  | 5.56  | 21.43 | 30.95 | 5.96  | 0.07      |               | 22.9        | /                |
|                |       | 0.351  | 250      | 黑  | /     | 30.17     | 6.96  | 4.11  | 23.42 | 36.71 | 11.07 | 1.69      |               | 33.4        | /                |
|                |       | 0.928  | 350      | 亮黑 | /     | 7.52      | 3.03  | 5.56  | 24.75 | 39.90 | 8.59  | 0.55      |               | 6.5         | /                |
| B <sub>3</sub> | 美国藻种  | 0.250  | 原样       | 绿  | 54.20 | 26.68     | 1.85  | 3.70  | 29.26 | 42.69 | 5.55  | 0.50      |               | 14.8        | 27.3             |
|                |       | 0.248  | 170      | 黑褐 | /     | 39.12     | 7.14  | 1.85  | 22.61 | 42.59 | 9.26  | 4.01      |               | 36.2        | /                |
|                |       | 0.503  | 250      | 黑  | /     | 38.91     | 8.17  | 2.94  | 27.78 | 31.78 | 11.11 | 2.78      |               | 43.2        | /                |
|                |       | 0.757  | 350      | 亮黑 | /     | 6.81      | /     | 11.31 | 27.77 | 38.91 | 11.31 | /         |               | 7.7         | /                |

\*以 UMSP-50 显微荧光分光光度计分析葡萄藻颜色光谱。用 Q 值方法和 I 型干酪根数据折算,李佩珍同志提供。

被忽视的。在新的资源评价方法中,要注意浅埋藏的地层有油气生成、排驱、聚集的可能性。

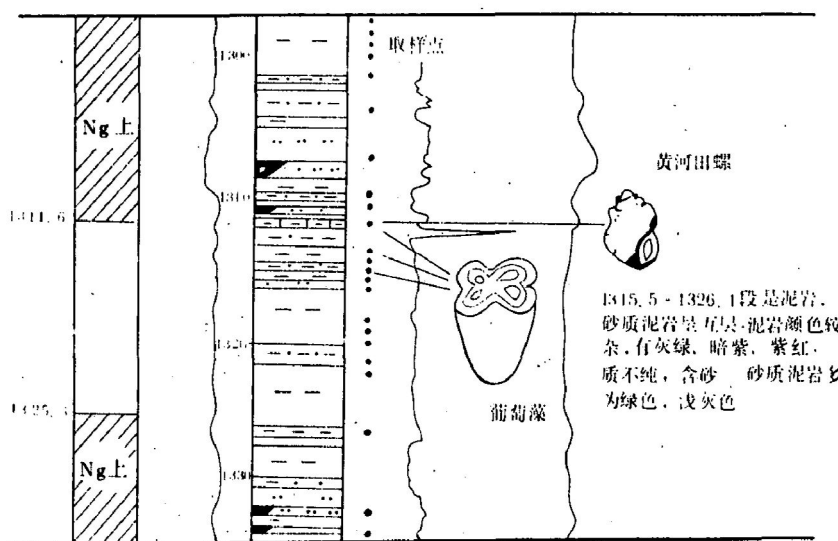


图3 孤东14井的葡萄藻化石富集层

表2 山东北部地区第三系主要岩芯剖面葡萄藻统计表

| 地 层 |      |    | 地 区 | 剖 面   | 岩 性                       | 含 量<br>粒/片 | 特 征 描 述        |                           |                                         |
|-----|------|----|-----|-------|---------------------------|------------|----------------|---------------------------|-----------------------------------------|
| 统   | 组    | 段  |     |       |                           |            | 颜 色            | 群体大小<br>( $\mu\text{m}$ ) | 其 它                                     |
| 中新统 | 馆陶组  | 上段 | 孤东  | 孤东34井 | 绿灰色砂质泥岩                   | 20         | 浅黄<br> <br>黄色  | 30<br> <br>50             | 单个细胞2—3.5 $\mu\text{m}$ , 放射状清晰, 边缘波浪状  |
|     | 东营组  | 三段 |     |       |                           |            | 浅黄<br> <br>黄色  | 25<br> <br>60             |                                         |
| 渐新统 | 沙河街组 | 一段 | 东营  | 观18井  | 灰绿色砂质泥岩及灰色、深灰色、灰褐色泥岩、油页岩。 | 56         | 黄色<br> <br>褐黄色 | 30<br> <br>70             | 单个细胞2.5—5 $\mu\text{m}$ , 放射状不太清晰, 边缘较平 |
|     |      | 二段 |     |       |                           |            | 褐黄             | 20<br> <br>35             |                                         |
|     | 沙河街组 | 三段 | 东营  | 面5井   | 灰色泥岩                      | 6          | 黄褐色            | 20<br> <br>50             | 单个细胞3—6 $\mu\text{m}$ , 放射状不明显, 边缘平滑    |
|     |      | 四段 |     |       |                           |            |                | 30<br> <br>60             |                                         |
| 古新统 | 龙口组  |    | 黄县  | 主检查孔  | 灰色泥岩                      | 15         | 黄褐<br> <br>红褐  | 30<br> <br>75             | 单个细胞3—5 $\mu\text{m}$ , 放射状明显, 边缘呈波状    |

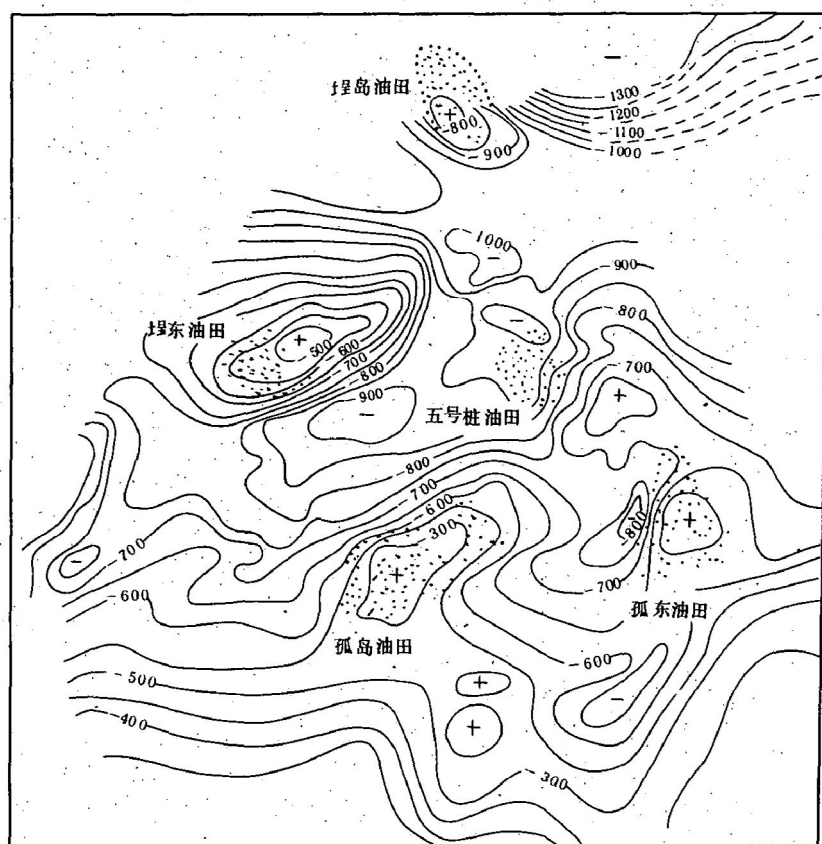


图4 馆陶组沉积等厚图和馆陶组油藏分布图

## 二、未成熟生油岩中低熟原油的生成

干酪根热降解学说所积极倡导的“石油窗”和大量烃类的生成门限,在我国油气勘探实践中,对其提出的疑义愈来愈多。石油地质家和地球化学家无论如何也不能确信,地下油气生成存在一个截然的界线。正如傅家谟同志指出的“生油门限仅代表了有机质开始大量转化成烃的拐点,拐点上下变化是逐渐的,而非截然地变化,有时门限以上层位的沥青和烃类含量也并不低”<sup>[4]</sup>。80年代以来色质联机等现代化手段引入于油气勘探,进行了大量的油源对比工作。各油田已见到不少原油的生物标志物特征和未成熟生油岩相似,于是低熟油的报道和研究也日益增多,人们正在突破“门限值”概念,使干酪根热降解成油理论有了新进展。

低熟原油应泛指那些浅于成熟门限的沉积有机质(干酪根)所生成的石油,目前可以认为是未成熟生油岩中所生成的烃类。众所周知,生油岩的成熟度是以镜煤反射率 $R_o$ 值并参照其他地化指标而划分的。原油中不可能测定 $R_o$ ,但原油和生油岩中均有反映成熟度的生物标志化合物。作者曾用广义对应分析方法讨论生物标志物指标,发现原油中甾烷 $5\alpha$ 、 $C_{27}\beta\beta/\alpha\alpha+\beta\beta$ (或 $C_{29}$ )和 $5\alpha$ 、 $C_{29}20S/20S+20R$ 两个异构化指标有区分不同成熟度的较强能力,且能和其他成熟度指标相对应<sup>[5]</sup>。因此,以其为桥,搭接原油和生油岩,确定原油的成熟度。用济阳坳陷170个原油样品作两个指标的相关图,其回归方程为直线方程, $Y=0.9551X-0.0236$ ,相关系数0.86,直线反映了原油从低熟至高熟的成熟序列。对生油岩样品也作出两个指标的

相关直线, 回归方程为  $Y = 0.9147X - 0.0620$ , 相关系数 0.93。这样二者叠合, 按  $R_o < 0.44\%$  界线, 就可以确定低熟油和未成熟生油岩的关系。低熟原油相应的低异构化程度指标为:  $5\alpha$ 、 $C_{27}\beta\beta/\alpha\alpha + \beta\beta < 0.25$ ,  $5\alpha$ 、 $C_{29}20S/20S + 20R < 0.35$ 。在两个指标的相关图上可以划分出低熟油区。

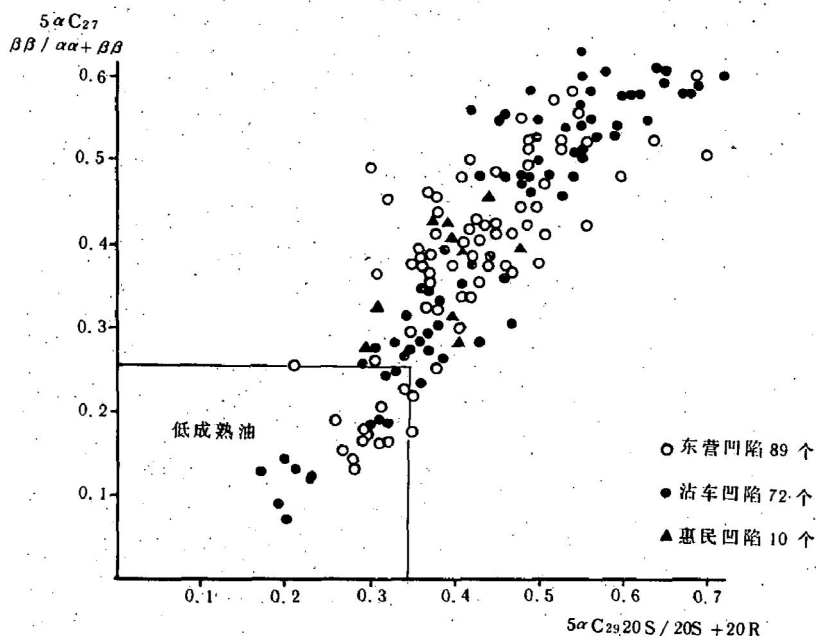


图5 济阳凹陷原油成熟度分布图

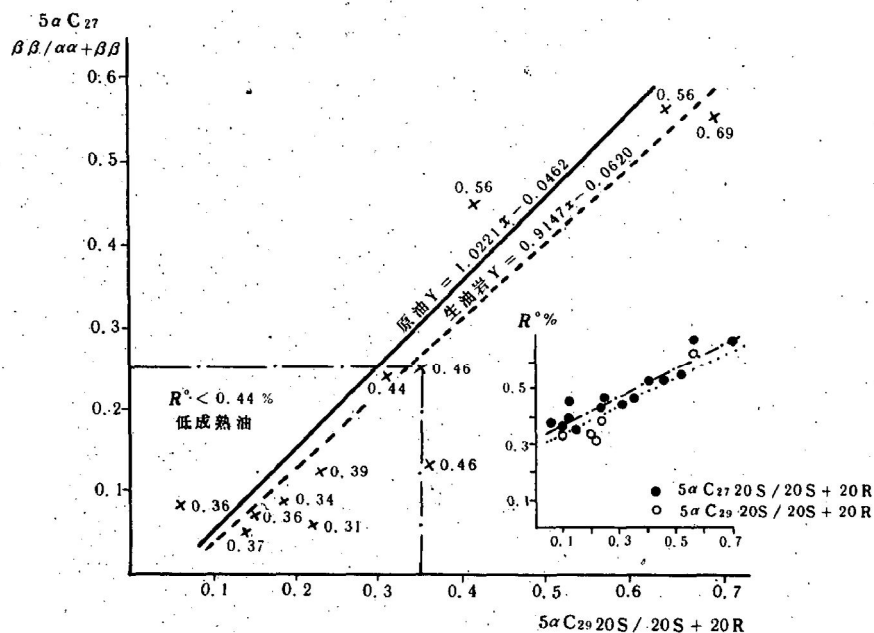


图6 济阳凹陷原油和生油岩成熟度对比

低熟原油不仅有生物标记物的低异构化特征, 而且有自己的化学特征。除去一些受生物降解的低熟油样, 一般表现为:

(1) 烃类组成表现为饱和烃低、芳烃高、饱和烃/芳烃比值低, 平均为 3.2 (17 个样品)。

(2) 饱和烃一般为  $C_9-C_{35}$ , 但  $OEP$  变化范围大, 由 1.05—1.30。主峰碳多在  $C_{23}-C_{25}$ , 少数还出现偶奇优势。

(3) 芳烃多含 6 环以上的重芳烃, 轻芳烃含较多的 3 甲基菲和 2 甲基菲。芳烃红外光谱说明芳环上的长侧链  $(-CH_2)_n (n \leq 4)$  结构的  $720 cm^{-1}$  处有较多吸收。芳烃组分中的 H 原子, 主要分布于高碳数芳烃结构的长侧链上, 组成了非特征性芳烃。

(4) 低异构化的甾烷是主要特征。低熟油的甾烷指纹简单; 壬烷、重排甾烷、4 甲基甾烷均不发育, 主要是规则甾烷系列。低熟油的  $5\alpha$ 、 $C_{27}\beta\beta/\alpha\alpha+\beta\beta$  变化在 0.05—0.25;  $5\alpha$ 、 $C_{29}20S/20S+20R$  为 0.15—0.35。低限约相当生油岩  $R_o=0.30\%$ 。藿烷不发育, 大部分低熟油只含少量的三环二萜烷, 但伽玛蜡烷都比较发育。

胜利油区自 1986 年提出浅层可能有低熟油藏富集<sup>[5]</sup>以来, 在勘探中不断发现低熟原油。现在油源对比研究已经确定, 济阳块断湖盆主要生油层沙一、三、四段, 都有低熟原油生成, 各具生物标志物特征。渤南油田沙一段自生自储的白云岩中的低熟原油 (埋深 2800 m), 以含  $5\alpha$  甾烷  $C_{26}-C_{29}$  系列、 $5\beta$  甾烷  $C_{27}-C_{29}$  较高的伽玛蜡烷为特征, 生油岩干酪根为 I 型。东营凹陷南坡的低熟油以八面河油田为代表, 油源岩为牛庄洼陷中的沙四段, 干酪根为 I 和 II 型。原油 (埋深 1300—1700 m, 沙四、沙三段) 中含高丰度植烷、 $\beta$ -胡萝卜烷和类胡萝卜烷系列 ( $C_{14}H_{28}-C_{31}H_{62}$ ) 是重要标志。此外, 二环倍半萜发育, 主要构型是  $8\beta(H)$  的  $C_{15}$  锥满烷和高锥满烷,  $C_{14}$  二环烷烃含量高。伽玛蜡烷, 升藿烷  $C_{35}$ ,  $C_{34}$  含量大于  $C_{33}$ 。生物标志物某些特点反映了油源岩的强还原环境和较高盐度的生态环境, 与沙四段生油岩特征是一致的。最近在临清拗陷北部的德一井发现低熟原油 (埋深 2400 m), 确定油源岩为沙三段, 干酪根为混合型。该原油含蜡高 (37%), 有宽范围 ( $C_{11}-C_{38}$ ) 的正烷烃分布, 主峰碳在  $C_{28}$ , 甾烷低异构特点。这些情况说明不同类型干酪根的沉积有机质, 都有低熟成油阶段, 而不同类型的低熟原油, 又都带有母源岩有机质的生物标志物特征。

济阳拗陷的低熟原油分布在中生界、下第三系的沙四、沙三、沙一、东营各组段及上第三系馆陶组储层, 仅沙二段三角洲相砂体储层未见到。低熟油埋深从 1000—3000 m, 以 1000—2000 m 居多。但是从各组段油气生成古湖盆演化来看, 低熟原油大部分分布在湖盆边缘上倾超覆的地层中。东营凹陷的沉降中心和沉积中心在下第三系全部沉积中继承性好, 南部斜坡的羊角沟、八面河、草桥一带, 在沙三、沙四、馆陶组的上倾地层中形成了低熟油藏的聚集。沾化凹陷渤南油田沙一段低熟油藏今埋深 2800 m, 但原处于沙一段古湖盆的边部, 在白云岩透镜体储层中储集了低熟原油。

依据低成熟原油成熟度低于生油门限和在湖盆边缘浅处储集的地质特点, 推测低成熟原油形成在干酪根热降解大量成烃作用之前, 秦匡宗教授称之为“热解聚阶段”。未熟干酪根具有大分子多聚物性质, 在热解聚阶段中其活化能比热降解生油要低的多, 因此可形成解聚烃类。随着压实作用, 早期解聚的烃更具有排驱通畅的条件, 因此常在湖盆边部储层中聚集。低熟油藏聚集量的定量估算也是个难题, 还需对不同类型的未熟生油岩做大量热模实验以求得定量参数。不过, 从目前东营凹陷已找到的探明+控制储量中, 约有 1/6 是低熟油, 占整个地质预测储量 (聚集量) 的 1/10。折算低熟油生油量为  $40 \times 10^8 t$ 。

### 三、干酪根热降解学说应用的进展

从70年代开始,陆相生油学说已经完全接受了干酪根是生油母质的概念。80年代初,各油田都陆续发表了不同干酪根类型的烃类生成演化曲线。并将有机质丰度(有机碳和氯仿抽提物)、类型(干酪根分为三或四类)、成熟度(成油门限,上限和下限)这三个基本要素,作为定性和定量评价盆地油气生成潜力的主要地球化学指标。1984年由北京勘探开发科学研究院地质所汇总了各油田生油岩评价成果,统一划分了有机质丰度、类型和成熟门限的数值界限。以氯仿A法,对陆上具有生油评价条件的25个盆地(80个生油凹陷),计算了生油量和预测了油气资源量。与此同时,胜利石油管理局地质科学研究院、北京勘探开发科学研究院、海洋局研究中心等引进和发展了盆地数值模拟评价油气资源量的方法,干酪根热降解生烃的地球化学模式更加得到充分的应用。

我们有下列几点新的认识:

(1) 主力生油层段控制了大部分生油量,要选取主力生油层段的样品,表征生油组段的丰度、有机质类型和烃产率曲线。

过去评价一个生油组段,不注意选择代表性样品或是采取平均方法计算参数,故不能正确地反映丰度、类型和成熟度,给资源评价带来误差。近年我们解剖分析了东营凹陷牛庄洼陷牛38井606m沙三段中一下部暗色生油岩岩芯,共取样96个,发现有机质不是均匀的,有机碳含量0.46%—3.4%,最下段90m明显是富集层,藻类化石极其丰富,氯仿A最高可达0.48%,其生油量占333m生油层段的50%左右。济阳坳陷第三系大段暗色泥岩中有很多生物富集层,如沙四段枝管藻灰岩,沙三段的介形虫层(称芝麻饼),沙一段颗石藻层、生物灰岩层,馆陶组葡萄藻层、螺灰岩层等,都可能成为主力生油层。通过钻井、测井和地震地层学资料,确定一个组段内有几个主力生油层段,再测定地化参数,这样比采取大平均值评价要准确、合理。

(2) 采取有机岩石学方法,对干酪根组分深入研究,提高确定生油组段有机质类型的准确度。

在显微镜下观察生油岩干酪根组分,据其组分比例计算类型指数,以划分干酪根类型,这是常用的方法。类型的优劣,固然受控于湖盆沉积物中输入生物体的性质,但类型准确与否,直接影响着烃产率曲线及门限值的选择。

目前,国内观察、鉴定干酪根有两种分类基础,即孢粉学和煤岩学的分类体系;但两种方法都割裂了有机物和岩石无机物的联系。我们提倡采用有机岩石学的全岩分析,以透射光、反射光、荧光综合观察,确定生油岩有机质类型的方法。已有的两种分类都把I型干酪根中富集的无定形视为对生油最有利的组分,但无定形有富氢和贫氢两种,以透射光和荧光观察,能区分出来源于水生藻类和高等植物两种无定形,从而修正了原来鉴定的类型。早期生油如葡萄藻类残余和提供低熟烃类的有机残体,也需要在干酪根的镜下观察中仔细确认,以确定最有利于生油的有机质类型。

(3) 块断湖盆地温场的差异性大,凹陷中不可能有统一的成熟门限,以小洼陷为评价单元,才能提高评价精度。

1980年我们确定东营凹陷沙三段生油岩成熟门限为2200 m, 相应地温93℃、 $R_o = 0.44\%$ \*。尔后在济阳凹陷作数值模拟评价时, 已感到四个凹陷不能用统一的门限深度。近几年研究更加证实, 在一个凹陷内没有统一的门限深度(温度)。东营凹陷的滨南油田北部洼陷, 以叶绿素和卟啉确定的生油门限深度为1500 m左右; 临南洼陷用芳香甾烷等新指标确定的门限值为2800 m\*\*; 沾化凹陷中的孤南洼陷沙一段门限深度为2000 m。总之, 块断湖盆由于既分割又统一的基底状况, 其地温场是复杂的, 以坳陷或凹陷作为数值模拟评价单元, 势必掩盖了差异, 不能提高定量评价的精度。

研究结果说明, 应用干酪根热降解研究成烃模式是可以发展的。对于济阳坳陷这种陆相块断湖盆, 进行油气资源数值模拟评价, 应以小洼陷为计算和评价单元, 首先确定各生油组段的主力生油层, 准确地取得丰度、类型、成熟度等参数, 才能提高定量评价的精度。最近我们与南京大学合作, 建立以单井数值模拟评价为基础的定量评价方法, 将有利于发展干酪根热降解成烃地球化学模式的应用。

#### 四、陆相块断湖盆成烃的地球化学模式

济阳坳陷是渤海湾盆地中有代表性的第三系陆相块断湖盆。中生代以后, 它以持续沉降、快速堆积、有机质大量富集为特色, 在四千多万年内演绎出一部绚丽的油气生成、运移、聚集史。其油气生成的地球化学模式归纳为早、晚两期成烃史(图7)。

湖盆形成早期, 局部地区汇水, 淡水或盐度不高的水体适应富烃藻类或植物的发育, 形成了早期生油的基础。富烃的有机体, 在快速沉降和堆积的地质条件下, 没有遭受微生物或其他物理、化学营力的完全破坏, 于成岩作用早期, 即受地温影响而转化为烃类。通畅的水动力条件, 非常有利于压实排驱, 在疏松的储集层中形成早期油气藏的聚集。济阳坳陷的油气聚集有1/3储量在浅于1500 m的地层中, 在没有充足的从深部大规模油气运移证据的前提下, 早期成烃可能是一种符合实际的认识。

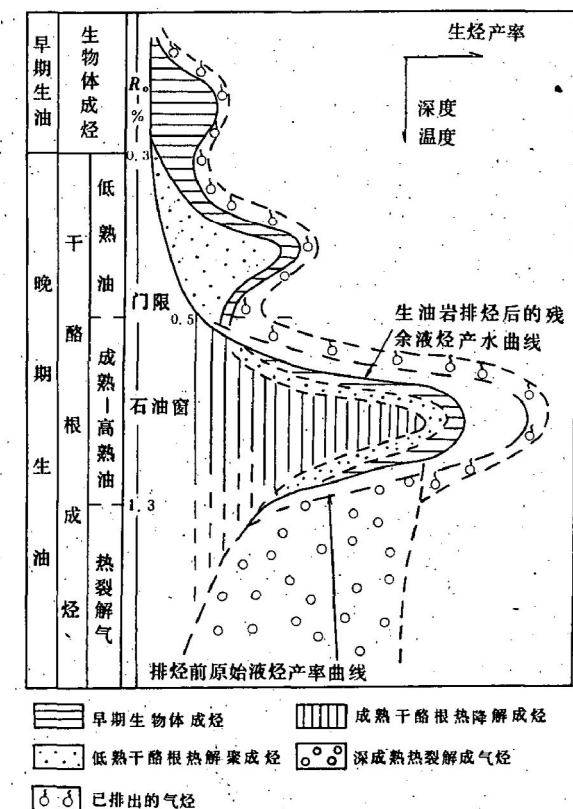


图7 陆相块断湖盆油气生成的地球化学模式

成岩过程中, 有机质经一系列的物理、化学变化形成了干酪根。在未达到大量降解生烃的埋藏深度(温度)之前, 低活化能的大分子聚

\* 张曼秋. 论东营凹陷沙三段泥岩烃类的演化及济阳坳陷各凹陷生油评价. 胜利油田勘探开发研究报告, 第1集, 1978.

\*\* 洪志华等. 临邑盆地、茌生物标志化合物地球化学应用. 胜利油田勘探开发研究报告集, 地化专刊1, 1984. 93.

合物由于热解聚作用，也可生成一定数量的低熟烃类。这部分烃类在合适的湖盆地质条件下，压实排驱至上倾超覆的浅部储集层中，也可形成相当规模的油气藏。

当不同类型的有机质富集层，分别埋藏达到一定的深度时，即依据各自所需的活化能及反应的频率因子条件而产生大量烃类。由于地史时期所处的压力场和应力场的空间位置不同，产生了不同类型的油气运移和聚集。块断湖盆油气生成、运移、聚集的全部历史，实际上是沉积有机质在不同时空条件下，与湖盆沉积物的温度场、压力场和应力场相互作用和制约的复杂过程，也是形成复式油气田的内涵所在。

陆相块断湖盆的油气生成地球化学模式应是早期生油和晚期生油的二元论，它为油气勘探工作展示了广阔的前景；但是如模式图所示，当前地层中的残余烃产率曲线已是油气生成地史作用的结果，早期的和低熟的烃类已经发生了运移、聚集，这就造成了在定量评价上的困难，需要我们进一步研究，为数值模拟定量评价求取一些古参数。

### 参 考 文 献

- 1 Hillen L W, Wake L V. Solar-oil-liquid hydrocarbon fuels from solar energy via algae, air national conference; Newcastle. [s.l.] [s.n.], 1979. 5-9.
- 2 许常虹, 俞敏娟. 成油藻——布朗葡萄藻的研究. 水生生物学报, 1988, 12 (1), 90-93.
- 3 王新州. 烃类类型及其生物成因探讨——生物相模拟热解试验. 石油实验地质, 1982, 4 (3), 200-205.
- 4 傅家谟等. 有机质演化与沉积矿床成因 (1)——油气成因与评价. 沉积学报, 1903, 1 (3), 40-57.
- 5 周光甲等. 常用的甾烷、萜烷类生物标志物指标应用有效性探讨. 见: 有机地球化学和陆相生油. 北京: 石油工业出版社, 1986. 39-51.

## GEOCHEMICAL MODEL OF OIL-GAS GENERATION

### IN CONTINENTAL FAULTED BASIN

Zhou Guangjia

(Geological Research Institute, Shengli Petroleum Administration)

#### Abstract

The basic data about continental oil generation is still the theory on thermal degradation of kerogen commonly used in the world. But during the exploration of hydrocarbon in Jiyang Depression, it was found that the theory should be added and improved. A geochemical model of oil-gas generation in two stages—the early and late stages—has been proposed in this paper. The parent materials to generate oil and gas in the early stage was hydrocarbon polymer parts with low chemical activity contained in some organisms lived in lacustrine basins such as hydrocarbon-rich *Botryococcus braunii* which contained more than 40% soluble hydrocarbon when cultured living body and generated saturate hydrocarbon series after thermal simulation ( $R_o < 0.30\%$ ). Two stages of thermal

depolymerization and thermal degradation were divided in the late stage. low-matured oil and gas were generated in thermal depolymerization, matured and high-matured oil and gas were generated in thermal degradation. The parent materials of kerogen, favourable for hydrocarbon generation were controlled by biology-rich zones, which would generate the major source beds. As there are much differences in geothermal fields, the source threshold would be controlled by sedimentary units in minor sags.

## 《中国石油天然气的勘查与发现》出版

《中国石油天然气的勘查与发现》最近由地质出版社出版,这部共3篇35章70万字的专著,是在原地矿部部长孙大光同志的倡导下,由石油地质海洋地质局各专业的100多位专家携手合作、历时四年完成的。

该书着重介绍了自新中国成立以来至1990年我国石油与天然气勘查的历程、成就和经验。对中国各含油气盆地从地质勘查到油气田的发现,作了真实的记录。更可贵的是,探讨了各盆地油气的形成和分布规律,以及在油气勘查中所积累的宝贵经验;同时对我国石油地质专家、学者的理论、观点、勘查技术方法等作了系统介绍。全书资料丰富,具有较高的历史文献价值和学术研究水平。

该书列举的事实表明:油气勘查每一次的重大突破和发现,都为国家提供了新的油气开发基地,使中国的油气工业得到新发展。书中所总结四十年的根本经验是:油气勘查工作,必须以辩证唯物主义为指导,从中国地质实际出发,实事求是,按照油气地质规律去指导勘查实践。

此书也是一部油气勘查与发现的创业史、奋斗史,它的光辉业绩,可以告慰先行者,激励后来人。

(阎秀刚)