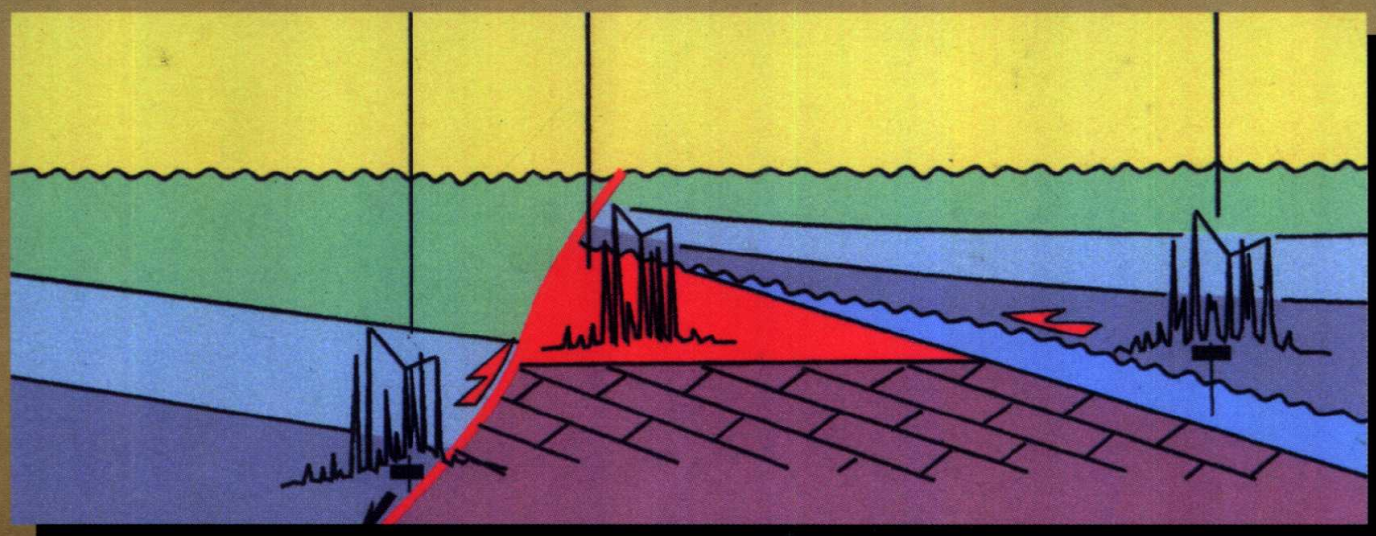


# 冀中坳陷 油气的生成

梁狄刚 曾宪章 王雪平 著  
牟录文 罗 强 刘宝泉



石油工业出版社  
PETROLEUM INDUSTRY PRESS



# 冀中坳陷油气的生成

梁狄刚 曾宪章 王雪平 著  
牟录文 罗 强 刘宝泉

BA1034/11

石油工业出版社

## 内 容 提 要

本书是作者在前华北石油管理局勘探开发研究院 1979~1984 年对冀中坳陷油气生成研究的成果。全书共分六章。第一、二章从原油地球化学特征入手,将冀中坳陷原油分作饶阳型、坝县型、晋县型三类,应用生物标志物进行了油源对比,论证了古潜山原油的新生古储;第三章通过建立典型生油地球化学剖面,研究了下第三系三套生油层的地化特征及分布,对比了不同类型生油凹陷的成油气条件;第四章综合运用沉积相、生物相、氧化还原相、不溶干酪根和可溶有机质、特别是生物标志物,将生油层划分为三类有机相,评价了生油凹陷,预测了生烃潜力和烃类性质;第五章研究了各凹陷、各套生油层的热演化特征,将冀中坳陷下第三系 II 型生油岩的成油门限划在温度 101℃—埋深 2800m,“石油窗”底界划在温度 178℃—埋深 5300m,研究了成熟、高成熟烃源层的分布、成油期、排烃期,并对传统的“液态石油死亡线”进行了讨论;第六章运用盆地模拟和沥青“A”法对冀中坳陷油气资源量进行了测算,预测了有利区带。同时书中对饶阳和廊固两个凹陷的勘探成效为什么明显不同,从地质、地球化学角度进行了分析。

本书可供石油地质、勘探工作者,科研人员及大专院校有关专业师生参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

冀中坳陷油气的生成/梁狄刚等著.

北京:石油工业出版社,2001.5

ISBN 7-5021-3359-3

I. 冀…

II. 梁…

III. 坳陷-油田-石油生成-研究-河北省

IV. P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 24086 号

石油工业出版社出版

(100011 北京安定门外安华里二区一号楼)

北京密云华都印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

\*

787×1092 毫米 16 开本 15.25 印张 400 千字 印 1—500

2001 年 5 月北京第 1 版 2001 年 5 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-3359-3/TE·2518

定价:40.00 元

# 前言

## 一

冀中坳陷是我国第一个以古潜山油气藏为主要类型的含油气盆地。陆相下第三系生油，海相中上元古界、下古生界碳酸盐岩储油——“新生古储”，这是冀中古潜山油气藏的重要特色。近年来进一步探明：陆相第三系本身也蕴藏着丰富的油气资源。此外，中生界下白垩系湖沼相泥岩、上古生界石炭系煤系和中上元古界一下古生界碳酸盐岩本身，也是三套潜在的烃源层。

坳陷西临太行山，东界沧县隆起，北至燕山褶皱带，南至邢衡隆起，呈北北东向延长，面积 30260km<sup>2</sup>。它是一个华北地台解体之后形成的中、新生代断陷盆地，下第三系沉积厚达 3000~9000m。坳陷中共有 12 个沉积凹陷，面积 19870km<sup>2</sup>。它们分别组成东、西两个凹陷带。东部带自北而南是：大厂、廊坊—固安、武清、坝县、饶阳、深县和束鹿凹陷；西部带是北京、徐水、保定、石家庄和晋县凹陷；中间为雁列式的大兴、容城、高阳、刘村—深泽和宁晋中央凸起带所分隔，呈现出多隆多凹的构造格局（见图 1）。

1975 年 7 月任丘古潜山油田发现后，冀中坳陷开始大规模油气勘探。到 1999 年底，共探明 43 个油气田，其中古潜山油气田 16 个，第三系油气田 27 个；探明石油地质储量 9.03 × 10<sup>8</sup>t，天然气地质储量 466.23 × 10<sup>8</sup>m<sup>3</sup>（含溶解气），其中古潜山油气储量占 62%，第三系占 38%。任丘古潜山一个油田占全冀中探明储量的 45%。已知油气藏的分布特点是：第一，几乎全部集中在东部凹陷带，西部带尚未有重大突破；第二，含油气层位多，从太古界、中元古界常州沟组到上第三系明化镇组，共有 24 个组段含油；第三，潜山油气藏比较集中，第三系油气藏则在整个东部凹陷带从南到北都有分布；第四，北部和南部气多油轻，中部气少油重。

## 二

本书是作者 1979~1983 年在华北油田勘探开发研究院的研究成果，写成于 1984 年，1987 年获国家科技进步三等奖及河北省科技进步一等奖；当时没有公开出版，是作者考虑到作为一项应用基础研究成果，其观点正确与否，不是马上看得出来的，应当回到勘探实践中去接受检验。

16 年过去了。现在公开出版本书，一是冀中坳陷 16 年的勘探证明：书中的主要观点经受了时间与实践的检验，基本上是符合实际的，因此这次出版，对原稿几乎未作改动；二是读者可以根据十几年来来的新鲜资料，反过来看看本书有哪些不足，哪些还可进一步深化；三是便于国内外同行引用。

冀中油气勘探的实践是检验本书的最好标准。例如，本书的一个突出观点，是对比了饶阳与廊坊—固安两个凹陷的成烃条件，结论是：渤海湾盆地早第三纪湖水最深、暗色泥岩最厚（5000m 以上）的廊固凹陷，因为中期多次抬升，下第三系生油层“好的（E<sub>s3</sub> 段）没有熟透，熟透了的（E<sub>s4</sub>—E<sub>k</sub> 组）不好”，成油条件远不如继承性的饶阳凹陷。这在当时是要

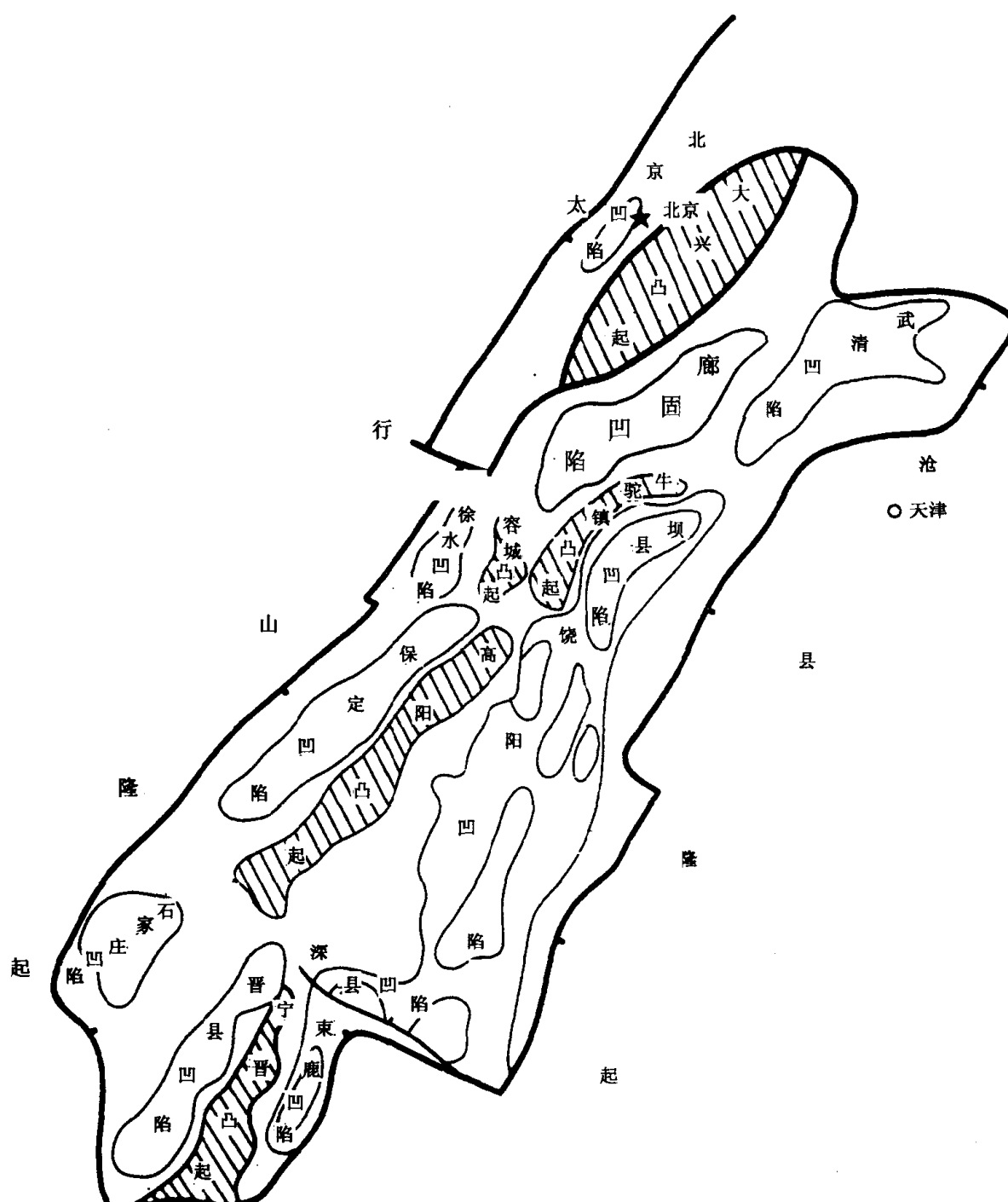


图1 冀中沉积凹陷分布略图

有一点理论勇气的。现在，经过 35 年的勘探，打了 512 口各类探井，廊固凹陷累计探明的石油地质储量不过  $0.71 \times 10^8 \text{t}$ ，仅占全冀中的 7.9%；而饶阳凹陷则占 64%。从本书写成的 1984 年到现在的 16 年间，冀中坳陷新增石油地质储量  $3.09 \times 10^8 \text{t}$ ，其中廊固凹陷只有  $0.36 \times 10^8 \text{t}$ ，仅占 11.7%（还有  $91 \times 10^8 \text{m}^3$  天然气），而饶阳凹陷则新增  $1.27 \times 10^8 \text{t}$ ，占 41.1%，是廊固凹陷新增储量的 3.53 倍。

又如，书中预测，在冀中生油凹陷平均地温梯度为  $3.1^\circ\text{C}/100\text{m}$  的条件下，“液态石油窗”的底界温度高达  $178^\circ\text{C}$ ，埋深可达 5300m；这就将传统的“液态石油死亡线”（温度  $150^\circ\text{C}$ ，在冀中，相应埋深为 4200m）大大向下扩深了 1100m。本书稿写成不久，1985 年果

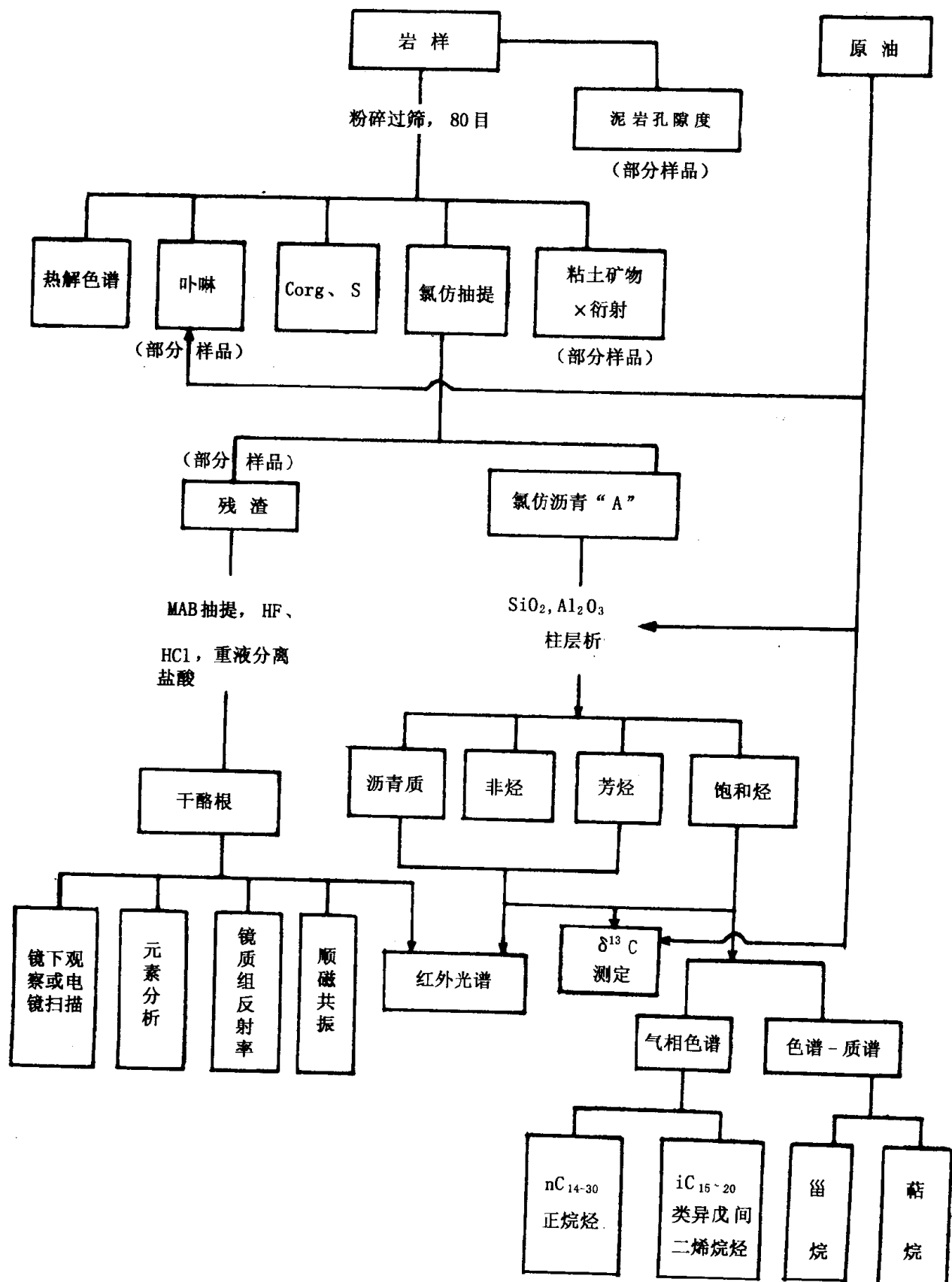


图2 冀中坳陷地球化学分析流程图

然就发现了饶阳凹陷梁村潜山高于庄组油藏，埋深 5109 ~ 5300m，产出的是密度为 0.7928g/cm<sup>3</sup>、凝固点 29℃、含蜡 26.6% 的轻质油，从而证明 178℃/5300m 的“石油窗”底界是正确的。

再例如，书中从地球化学和油气运移的角度出发，在冀中预测了 11 个油气勘探有利目标区。经过 16 年的勘探，这 11 个区带都有了突破，新增储量  $2.2 \times 10^8$ t，占新带新增储量总和的 84.4%。

本书中还提出了一些不同于传统观念的观点。例如：

- 深湖相生油层不一定比浅湖相好，关键在离物源区的远近和水动力的强弱；
- “腐泥型”干酪根会“老化”、“降级”，而高等植物残体在细菌作用下也会“腐泥化”；
- 最早提出冀中晋县凹陷的未熟油不是干酪根热降解的产物，而是在盐湖特殊条件下由可溶有机质转化而成的；
- 提出了划分生油岩母质类型的三种 5 $\alpha$  型甾烷组成三角图；提出了划分生油岩不同热演化阶段的“甾、萜立体化学阶梯”；
- 提出了用干酪根热降解数字模拟法计算总生油量，用氯仿沥青“A”法计算残留（生油）量，用两者之差计算排油量的资源评价方法；
- 对传统的“排油量只占生油岩中残留油量的很小一部分（10% ~ 20%）”提出了质疑，提出在砂泥岩间互、排烃通畅的条件下，排油量甚至可以大于残留油量的观点；
- 研究认为：一个好的生油凹陷，暗色泥岩不必很厚，单层厚度不必很大，有机碳含量不必很高，深湖相泥岩不必很发育，只要成熟生油层有一定厚度和面积，并且远离物源区，母质好，又是继承性凹陷，埋深足够大，成熟层位多，热演化程度较高，就能生成丰富的油气。

所有这些，都是作者极盼通过本书的公开出版，求教于广大同行的。

### 三

本书是在 1316 个生油岩样、90 个原油样品的系统分析基础上完成的，分析流程见图 2。冀中生油研究最初是从任丘古潜山原油的来源开始的，接着发现不同凹陷原油的地化特征明显不同，可以分类；研究工作就从已知到未知，从产物到源岩，首先从原油对比、油源分析入手，提出了问题，然后转入典型解剖，对比了成油条件很不相同的饶阳和廊固两个凹陷，将取得的认识拿到其它凹陷进行检验和补充；最后对整个冀中坳陷的生油条件进行了综合评价，计算了资源量，预测了有利区带。全书的结构，基本上反映了上述研究过程。

应当指出，由于当时的资料所限，书中未讨论石炭系煤成烃问题。1984 年以来，秦建中对此进行了专题研究<sup>[56]</sup>。

在工作中，大庆油田研究院和北京师范大学协助分析了粘土矿物；原石油部研究院中心实验室进行了干酪根电镜扫描和碳同位素测定；中国科学院贵阳地球化学所承担了干酪根顺磁共振分析；华北油田研究院开发实验室测定了泥岩孔隙度；沉积室提供了沉积相和古生态研究成果，进行了孢粉颜色热变指数测定。其余各项有机地球化学分析，都是华北油田研究院生油室丛颖、朱维益、刘闻山、丘平、张明文、李恋、左平、毕钧、赵俊荣、秦丽莎、郭爱民、段贵银、于立正、姜俊良、蔡冰、王瑞明、潘正五、刘明先、张文龙、李江城、王忠然、张振才、刘淑珍、陈献忠、马顺平、张平、王俊林、罗开齐、于国营、江涛、武红、

王银忠、刘焕芝、郭树芝、路金宽、马建勋、王静、赵玉文等同志共同完成的。研究院计算室巢泽林、常建民同志编制了盆地模拟电算程序。伍光平、秦建忠、包永光参加了编图和计算工作。

书中汲取了华北油田研究院费宝生、刘玉英、张振才、王忠然、赵玉文、郭树芝、路金宽、段贵银、王银忠等同志历年来的生油专题研究成果。本书的执笔人是：梁狄刚（第一、第三章并统编全书）、曾宪章（第二章）、牟录文（第四章）、王雪平（第五章）、罗强（第六章）。刘宝泉在油源对比和生油岩热演化方面做了大量工作，参加了全书的讨论，提出了修改意见。史习慧、刘绍昌自始至终关心本书的编写，给予了很大支持和帮助；华北油田原总地质师吴华元、梁生正审阅了全书；在这里一并致以衷心的感谢。



# 目 录

|                                |               |
|--------------------------------|---------------|
| <b>第一章 原油和天然气的地球化学特征 .....</b> | <b>( 1 )</b>  |
| 第一节 古潜山原油“新生古储”的主要依据 .....     | ( 1 )         |
| 第二节 三种不同类型的原油 .....            | ( 4 )         |
| 一、坝县型 .....                    | ( 4 )         |
| 二、饶阳型 .....                    | ( 9 )         |
| 三、晋县型 .....                    | ( 10 )        |
| 第三节 三类原油的成因分析 .....            | ( 11 )        |
| 一、原油的成熟度不同 .....               | ( 11 )        |
| 二、母质类型不同 .....                 | ( 13 )        |
| 三、特殊的盐湖环境 .....                | ( 19 )        |
| 第四节 三类原油的地质分布及其在勘探中的意义 .....   | ( 20 )        |
| <b>第二章 油源对比 .....</b>          | <b>( 29 )</b> |
| 第一节 冀中六个凹陷的油源对比 .....          | ( 29 )        |
| 一、廊坊—固安凹陷 .....                | ( 29 )        |
| 二、坝县凹陷 .....                   | ( 37 )        |
| 三、饶阳凹陷 .....                   | ( 44 )        |
| 四、深县凹陷 .....                   | ( 55 )        |
| 五、束鹿凹陷 .....                   | ( 58 )        |
| 六、晋县凹陷 .....                   | ( 65 )        |
| 第二节 几点认识 .....                 | ( 70 )        |
| 第三节 对比指标的讨论 .....              | ( 71 )        |
| 一、三类指标的有效性 .....               | ( 71 )        |
| 二、指标评价 .....                   | ( 71 )        |
| <b>第三章 生油层 .....</b>           | <b>( 79 )</b> |
| 第一节 三套主要生油层 .....              | ( 79 )        |
| 一、冀中早第三纪古湖泊的形成和发展 .....        | ( 79 )        |
| 二、暗色泥岩的发育 .....                | ( 85 )        |
| 第二节 生油层的有机质丰度 .....            | ( 89 )        |
| 一、生油层分级标准 .....                | ( 89 )        |
| 二、三套主要生油层的有机质丰度 .....          | ( 90 )        |
| 三、有机质丰度的平面变化 .....             | ( 95 )        |
| 第三节 几类典型的生油剖面 .....            | ( 97 )        |

|                             |        |
|-----------------------------|--------|
| 一、继承性下沉的浅湖相生油剖面 .....       | ( 97 ) |
| 二、先期沉降, 后期抬升的深水湖相生油剖面 ..... | (107)  |
| 三、山前冲积平原上的古湖沼生油剖面 .....     | (118)  |
| 四、古盐湖生油剖面 .....             | (121)  |
| 五、中生代古湖沼生油剖面 .....          | (126)  |
| 六、小结 .....                  | (130)  |

#### 第四章 生油层的有机相 .....

(131)

|                         |       |
|-------------------------|-------|
| 第一节 有机相的概念 .....        | (131) |
| 一、问题的提出 .....           | (131) |
| 二、有机相的概念 .....          | (134) |
| 第二节 有机相的划分标志 .....      | (136) |
| 一、沉积相 .....             | (136) |
| 二、生物相 .....             | (136) |
| 三、氧化还原相 .....           | (136) |
| 四、有机质的地球化学标志 .....      | (136) |
| 第三节 冀中拗陷主要生油层的有机相 ..... | (155) |
| 一、有机相类型及有机相图 .....      | (155) |
| 二、有机相在油气勘探中的作用 .....    | (159) |

#### 第五章 生油层有机质的热演化 .....

(161)

|                                        |       |
|----------------------------------------|-------|
| 第一节 冀中地温场的分布 .....                     | (161) |
| 一、地温的纵向变化不规则, 泥页岩段地温梯度相对较高 .....       | (161) |
| 二、地温场的平面变化高低悬殊, 东高西低, 隆起带高, 凹陷中低 ..... | (162) |
| 三、今地温一般大于古地温 .....                     | (165) |
| 四、小结 .....                             | (167) |
| 第二节 继承性凹陷——饶阳凹陷生油层的热演化 .....           | (167) |
| 一、不溶有机质——干酪根的热演化 .....                 | (168) |
| 二、可溶有机质的热演化 .....                      | (170) |
| 三、热演化阶段的划分 .....                       | (177) |
| 第三节 后期抬升型凹陷——廊固凹陷生油层的热演化 .....         | (181) |
| 一、生油层的埋藏史及最大埋深的恢复 .....                | (181) |
| 二、沙三段(湖花介层)生油岩的热演化 .....               | (182) |
| 三、沙四段—孔店组生油层的热演化 .....                 | (185) |
| 第四节 其它凹陷的成熟门限值 .....                   | (186) |
| 一、坝县、深县、束鹿凹陷 .....                     | (186) |
| 二、保定凹陷 .....                           | (188) |
| 三、晋县、南宫凹陷 .....                        | (188) |
| 四、石家庄、北京、丘县凹陷 .....                    | (189) |

|                                       |       |
|---------------------------------------|-------|
| 第五节 冀中坳陷成熟生油层的分布 .....                | (190) |
| 一、成熟面的分布 .....                        | (190) |
| 二、各组段成熟生油层的分布 .....                   | (193) |
| 三、高成熟区——成气区的分布 .....                  | (196) |
| 第六节 主要生油层的成油期与排烃期 .....               | (196) |
| 一、不同凹陷、不同生油层的成油期 .....                | (196) |
| 二、泥岩压实与大量排烃深度的确定 .....                | (199) |
| 第七节 问题讨论 .....                        | (201) |
| 一、关于“液态石油死亡线” .....                   | (201) |
| 二、不同母质类型生油岩的热演化特征 .....               | (201) |
| 三、冀中坳陷原油的热演化序列 .....                  | (203) |
| 四、101℃/2800m 的成熟门限值在渤海湾地区有一定代表性 ..... | (205) |
| <b>第六章 资源评价</b> .....                 | (206) |
| 第一节 评价方法 .....                        | (206) |
| 一、改进沥青“A”法参数的取值 .....                 | (206) |
| 二、对蒂索法温度参数的非线性处理 .....                | (206) |
| 三、对蒂索法计算生气量公式的应用作了改进 .....            | (207) |
| 四、抬升区的模拟 .....                        | (208) |
| 第二节 盆地模拟参数 .....                      | (209) |
| 一、成熟生油层体积 .....                       | (209) |
| 二、埋藏史参数 .....                         | (210) |
| 三、地质时间 .....                          | (210) |
| 四、地温史参数 .....                         | (212) |
| 五、干酪根类型 .....                         | (212) |
| 六、干酪根含量 .....                         | (212) |
| 七、氯仿沥青“A”含量 .....                     | (212) |
| 第三节 评价步骤 .....                        | (214) |
| 第四节 评价结果 .....                        | (220) |
| 第五节 廊固、饶阳两个凹陷的勘探成效为什么这样不同? .....      | (225) |
| <b>结束语</b> .....                      | (228) |
| <b>参考文献</b> .....                     | (230) |

# 第一章 原油和天然气的地球化学特征

冀中坳陷油气生成的直接产物，是丰富多彩、各种各样的原油和天然气。这里既有甲烷含量高达 98% 的纯气藏和凝析油藏，也有高密度、高硫、高胶质沥青质的重质稠油，还有含量高达 95% 的  $\text{H}_2\text{S}$  气藏。油气地化性质本身，能够提供大量关于生油层成熟度、母质和环境的信息。近 20 年来数以百计各种生油指标的提出，主要是建立在对石油本身越来越深入的解剖基础上，然后把生油层同它作比较。所以，我们就从油气分析入手，讨论冀中坳陷油气的生成。

## 第一节 古潜山原油“新生古储”的主要依据

冀中坳陷探明油气储量的 62%（截至 1999 年底），尽管产自海相下古生界、中上元古界古潜山碳酸盐岩之中，但是原油地化特征同下第三系原油基本一致，具备典型陆相原油的特点，来源于陆相下第三系生油层，我们把它叫做“新生古储”。

“新生古储”的地质依据是：冀中坳陷含油的古潜山都同下第三系陆相暗色泥岩或以断面、或以超覆不整合面直接、间接相接触；凡不具备这一条件的古潜山，一般都不含油。

这里有正、反两个典型实例：一个是饶阳凹陷中部的任丘潜山，它的主体部分由中上元古界雾迷山组硅质白云岩组成，裂缝孔洞十分发育，成为良好的储集体。它的西侧通过落差达 3300m 的任丘断层，与下第三系渐新统沙河街组  $\text{Es}_1$ 、 $\text{Es}_3$  段暗色泥岩直接相接触，面积达  $90\text{km}^2$ ；它的东侧通过下第三系与奥陶、寒武系和雾迷山组之间的超覆不整合面，也可同  $\text{Es}_3$  段暗色泥岩相接触，面积达  $450\text{km}^2$ 。这样一来，油气就可在西侧沿断面、在东侧沿超覆不整合面源源不断进入潜山储集体，形成山头块状油藏和山坡层状油藏相复合的任丘大型潜山油气藏（见图 1-1 (a)）。

相反的例子是不含油的肃宁潜山。它同任丘潜山相似，都是位于饶阳凹陷中心，储集体也都是雾迷山组白云岩；不同的是，潜山山头和山坡被  $\text{Es}_4$ — $\text{Ek}$  组红层所覆盖，厚达 1000~1500m 的红层将  $\text{Es}_3$  段和  $\text{Es}_1$  段暗色泥岩同潜山隔开；另外，潜山西侧断层的断距只有数百米，小于红层厚度；这条断层后期活动又很微弱，断不开红层，沟通不了下第三系暗色泥岩与潜山储集体。所以，肃宁潜山尽管位于冀中最好的生油凹陷中心，也没能获得油气（见图 1-1 (b)）。

“新生古储”的地球化学依据如下：

(1) 古潜山原油高蜡（7.31%~25.6%）、低硫（0.02%~0.48%），与下第三系陆相原油基本一致，而与海相原油的低蜡、高硫明显不同。例如我国四川盆地古生界海相石灰岩中的原油，含蜡量为 2.7%，含硫量 > 7%。

(2) 任丘古潜山原油的孢粉组合（图 1-2），与陆相下第三系沙河街组地层的孢粉相同。根据 4 口井 227 粒孢粉化石的鉴定结果<sup>[1]</sup>，95% 以上的孢粉均属早第三纪常见分子，其中菌类和藻类占孢粉总数 50% 以上。藻类中主要有粒面球藻、皱面球藻、光面球藻等沙一段常见化石，还有皱面渤海藻、副渤海藻、盘星藻等沙二、三段常见化石；菌类孢子中主要有颗粒无孔单胞孢、披针无孔多胞孢、蠕形无孔多胞孢、锥形无孔多胞孢等；裸子植物花粉



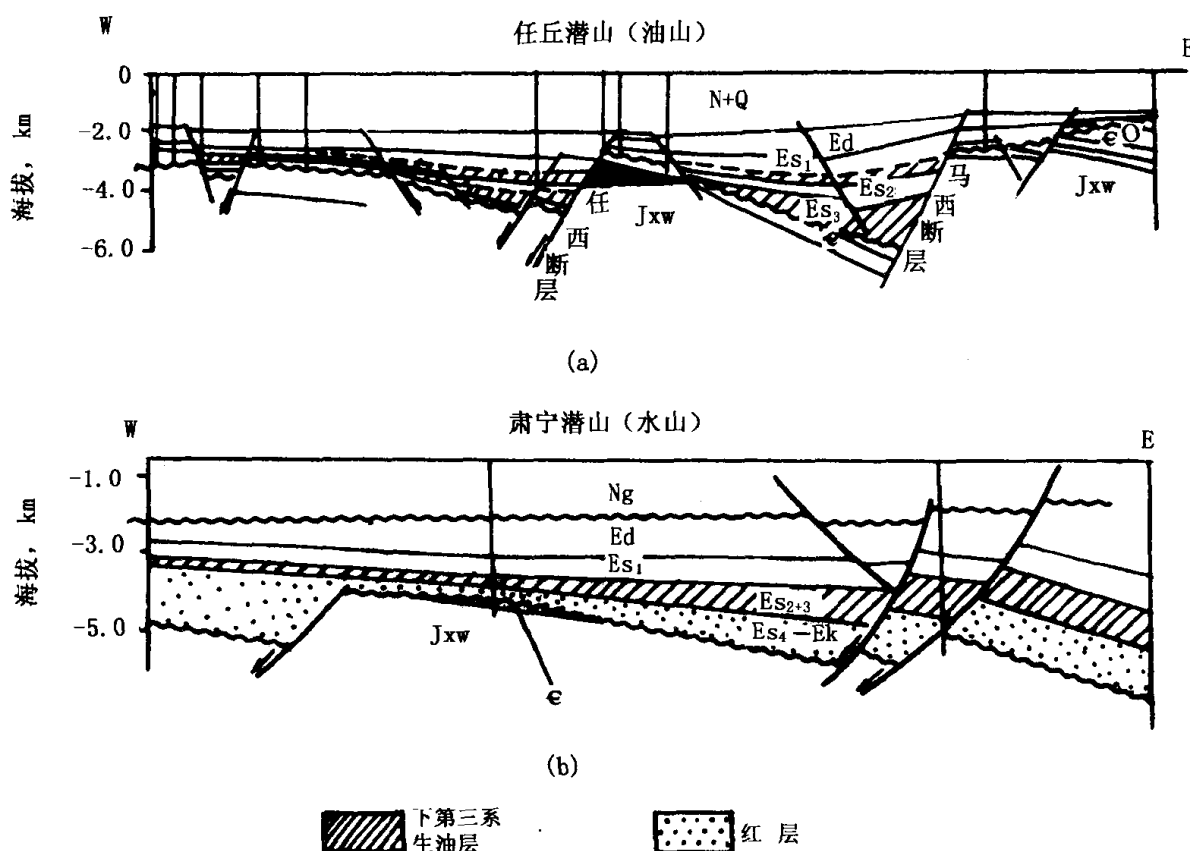


图 1-1 冀中坳陷含油与不含油潜山油源条件的比较

主要有松粉、皱球粉、破隙杉科粉、大拟落叶松粉等；被子植物花粉主要有栎粉和榆粉。在全部 227 粒孢粉中，只在两口井见到 5 粒上元古界近似小雾迷山糙面球藻。潜山原油中早第三纪孢粉化石占了绝对优势，而上元古界化石十分罕见，足以证明任丘潜山的油源来自下第三系陆相沙河街组。

(3) 古潜山原油中的卟啉化合物主要是镍卟啉 ( $0.75 \sim 31.75 \mu\text{g/g}$ )，数量级与陆相沙河街组原油 ( $2.5 \sim 62.5 \mu\text{g/g}$ ) 相近；钒卟啉未检出。原油的  $V/Ni < 1$  ( $0.08 \sim 0.82$ )，也是陆相原油的特点（见图 1-3）。

(4) 冀中古潜山原油的稳定碳同位素  $\delta^{13}\text{C}$  为  $-28.22\text{‰} \sim -29.12\text{‰}$ ；下第三系陆相原油的  $\delta^{13}\text{C}$  为  $-27.78\text{‰} \sim -28.86\text{‰}$ ；16 个陆相沙河街组—孔店组生油岩氯仿沥青“A”的  $\delta^{13}\text{C}$  为  $-26.8\text{‰} \sim -29.48\text{‰}$ ，平均为  $-28\text{‰}$  左右。从图 1-4 中可以看出，它们之间十分相近，并且同松辽盆地下白垩统陆相原油 ( $\delta^{13}\text{C} = -27.1\text{‰} \sim -29\text{‰}$ ) 也很一致。这就充分说明：冀中古潜山原油与第三系陆相原油同源，都是来自下第三系陆相生油层。另一方面，它们的碳同位素值既不同于华北地区下古生界一中、上元古界海相碳酸盐岩原生油苗和抽提物 ( $\delta^{13}\text{C} = -30\text{‰} \sim -35\text{‰}$ ) 又不同于华南四川三叠系海相原油  $\delta$  ( $\delta^{13}\text{C} = -29.2\text{‰} \sim -32.3\text{‰}$ )。更重要的是，潜山原油与组成潜山的 Jxw 组白云岩抽提物的  $\delta^{13}\text{C}$  值 ( $-35.02\text{‰}$ ) 相差达  $-6\text{‰}$  之多，表明它们之间没有亲缘关系（见图 1-4）。

(5) 作为反证的是，冀中廊固、坝县和深县古潜山寒武、奥陶系原油的  $\text{Pr/Ph}$  都大于 1.6 ( $1.66 \sim 2.70$ )，类异戊间二烯烷烃轻重比  $\frac{iC_{15+16+18}}{iC_{19} + iC_{20}} > 0.4$  ( $0.44 \sim 2.23$ )；与此相反，



图 1-2 任丘油田潜山原油中的早第三纪孢粉化石照片

组成潜山的寒武、奥陶系碳酸盐岩， $Pr/Ph$  都小于 1 (0.14 ~ 0.74, 个别为 1.16),  $\frac{iC_{15+16+18}}{iC_{19} + iC_{20}}$  则小于 0.4 (0.12 ~ 0.37), 与潜山原油差别很大。饶阳凹陷潜山原油与组成潜山的碳酸盐岩  $Pr/Ph$  虽然相近, 但正烷烃分布却明显不同——原油主峰碳数为  $C_{22}$  或  $C_{23}$ ; 碳酸盐岩抽提物的正烷烃则多数在  $C_{17}$  或  $C_{19}$ , 并且在  $C_{27}$ 、 $C_{29}$  或  $C_{25}$  出现一个高碳数后峰群, 有的甚至超过了前主峰。所有这些都说明: 古潜山原油与潜山碳酸盐岩之间, 没有明显的亲

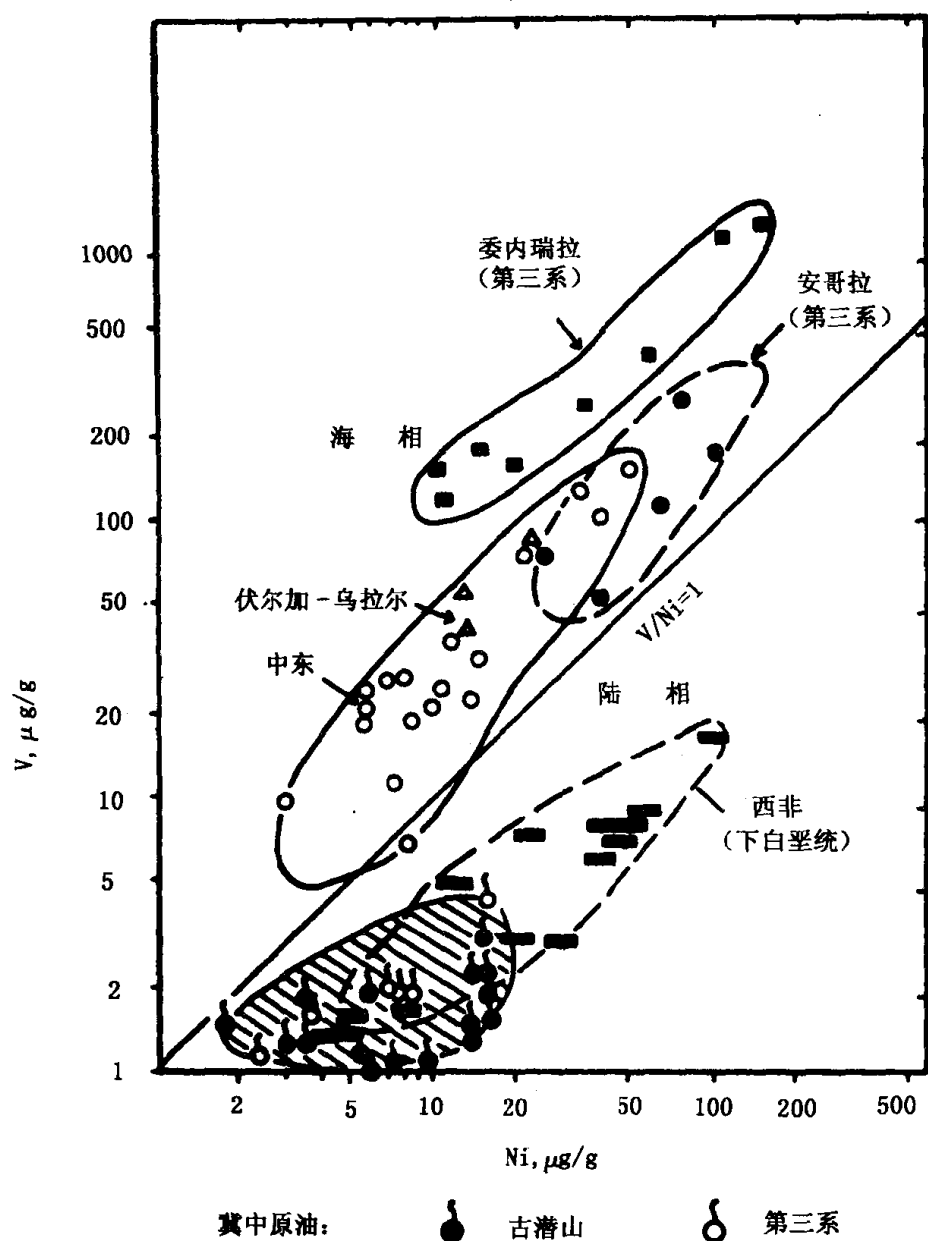


图 1-3 冀中潜山和第三系原油的钒、镍含量分布

缘关系。

这样一来，研究冀中坳陷油气的生成，实际上就是研究下第三系陆相油气的生成；寻找古潜山油气田，首先就要圈定下第三系油源区。

## 第二节 三种不同类型的原油

冀中坳陷中上元古界、下古生界和上、下第三系 24 个组段的原油，按其地球化学特征，可以明显分为三种类型（见图 1-5 及表 1-1）。

### 一、坝县型

这种原油的分类标志主要有两个：

- (1) 姥鲛烷多于植烷， $\text{Pr}/\text{Ph} > 1$ ，其中少数第三系原油  $> 0.7$ ；

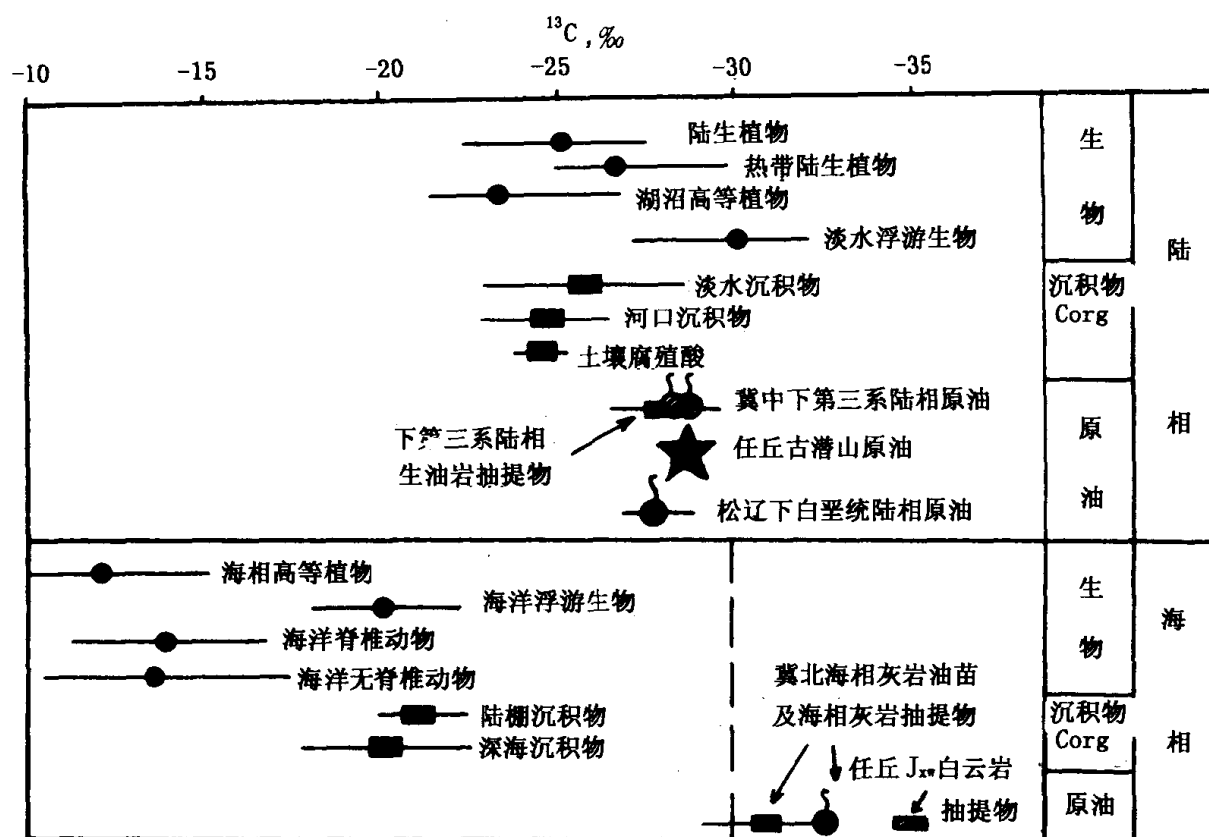


图 1-4 海相与陆相生物、沉积物有机质和原油的  $\delta^{13}\text{C}$  值

表 1-1 冀中坳陷三种类型原油的地球化学划分标志

| 分 类 标 志                |                                                   | 坝 县 型                                                | 饶 阳 型                               | 晋 县 型                                       |                                   |
|------------------------|---------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------|
| 正 烷 烃                  | 碳数分布曲线形态<br>主峰碳数                                  |                                                      | 单峰型<br>$C_{15}$ 或 $C_{17}$          | 双峰型<br>主峰 $C_{22,23}$ ; 次主峰 $C_{17,18}$     | 偶碳优势<br>$C_{14}$ (或 $C_{18}$ )    |
|                        | $C_{21}/C_{22}$                                   | <u>一般范围</u><br>中 值                                   | $\frac{>1}{1.33 (44)}$              | $\frac{<1}{0.86 (46)}$                      | $\frac{>1}{1.37 (4)}$             |
| 类异戊间二烯烷烃               | 姥 鲛 烷<br>植 烷                                      | <u>一般范围</u><br>中 值                                   | $\frac{>1}{1.49}$                   | $\frac{<1}{0.48}$                           | $\frac{<0.4}{0.23}$               |
|                        | $\frac{iC_{15}+iC_{16}+iC_{18}}{iC_{19}+iC_{20}}$ | <u>一般范围</u><br>中 值                                   | $\frac{>0.5}{0.70}$                 | $\frac{<0.5}{0.29}$                         | $\frac{<0.33}{0.16}$              |
|                        | $\frac{\sum i^*}{\sum n} \%$                      | <u>一般范围</u><br>中 值                                   | $\frac{<16}{11.40}$                 | $\frac{>16}{24.56}$                         | $\frac{41}{(1)}$                  |
|                        | $Ph/nC_{18}$                                      | <u>一般范围</u><br>中 值                                   | $\frac{<0.8}{0.35}$                 | $\frac{>0.8}{1.82}$                         | $\frac{1.13 \sim 2.58}{1.97}$     |
| 环 烷 烃                  | 萜 烷                                               | $\frac{\gamma\text{—蜡烷}}{C_{31}Hop./2}$              | 多数不含 $\gamma$ —蜡烷;<br>少数油样比值 $<0.5$ | $\gamma$ —蜡烷丰富; 比值<br>$>0.5$ , 中值 $=1 (41)$ | $\gamma$ —蜡烷很丰富;<br>中值 $4.22 (2)$ |
|                        | 甾 烷                                               | $\frac{\text{重排甾烷}}{5\alpha (C_{27}+C_{28}+C_{29})}$ | 重排甾烷多,<br>中值 $0.87 (34)$            | 重排甾烷少,<br>中值 $0.19 (42)$                    | 中值 $0.80 (2)$                     |
|                        |                                                   | $\frac{5\alpha-C_{27}St.}{5\alpha-C_{29}St.}$        | 多数 $\leq 1$ , 中值<br>$0.91 (34)$     | 多数 $>1$ , 中值<br>$1.11 (44)$                 | 中值 $1.53 (4)$<br>含丰富的孕甾烷系列        |
|                        |                                                   | 4—甲基甾烷                                               | 多                                   | 无 或 极 少                                     | 无                                 |
| 镍 卟 啉<br>( $\mu g/g$ ) |                                                   | <u>最大值</u><br>中值                                     | $\frac{41.5}{3.12}$                 | $\frac{62.5}{14.5}$                         | 未 测                               |

续表

| 分 类 标 志 |                                          |                                                                                                            | 坝 县 型                                  | 饶 阳 型                                  | 晋 县 型                                                    |
|---------|------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| 微量金属元素  | Ni<br>$\mu\text{g/g}$                    | 一般范围<br>中值                                                                                                 | $\leq 3.5$<br>1.1                      | $\frac{5 \sim 15}{7.5}$                | 14~8.4                                                   |
|         | V/Ni                                     | 一般范围<br>中值                                                                                                 | $\geq 0.4$<br>0.73                     | $\frac{\leq 0.42}{0.15}$               | 0.2~2.0                                                  |
| 芳烃红外光谱  | 两类初级 H 原子吸收峰强度                           |                                                                                                            | 746>816 ( $\text{cm}^{-1}$ )           | 746 $\leq$ 816 ( $\text{cm}^{-1}$ )    | 746 $\geq$ 816 ( $\text{cm}^{-1}$ )                      |
|         | 芳烃结构指数<br>816/746 ( $\text{cm}^{-1}$ )   | 一般范围<br>中值                                                                                                 | $\frac{0.68 \sim 0.97}{0.87}$ (20)     | $\frac{0.93 \sim 1.11}{1.00}$ (11)     | $\frac{0.89 \sim 1.07}{0.93}$ (3)                        |
|         | 芳烃“取缩比”<br>1380/746 ( $\text{cm}^{-1}$ ) | 一般范围<br>中值                                                                                                 | $\frac{0.90 \sim 1.52}{1.18}$          | $\frac{1.50 \sim 2.16}{1.77}$          | $\frac{1.73 \sim 2.58}{2.11}$                            |
| 族组成     | 饱和烃<br>(%)                               | 第三系原油<br>潜山原油                                                                                              | $\frac{63.64}{74.60}$ (22)<br>(13)     | $\frac{53.19}{63.53}$ (22)<br>(20)     | $\frac{22.47}{/}$ (1)                                    |
|         | 非烃+沥青质<br>(%)                            | 第三系原油<br>潜山原油                                                                                              | $\frac{19.37}{11.88}$                  | $\frac{29.26}{20.10}$                  | $\frac{32.66}{/}$                                        |
| 油气物化性质  | 原油                                       | $d_4^{20}$<br>S 含量 (%)                                                                                     | $< 0.85$<br>$< 0.1$                    | $> 0.85$<br>$> 0.1$                    | $> 1$<br>$> 1$                                           |
|         | 天然气                                      | 相对密度<br>CH <sub>4</sub> 含量 (%)<br>iC <sub>4</sub> /nC <sub>4</sub><br>H <sub>2</sub> S+CO <sub>2</sub> (%) | $< 0.75$<br>$> 70$<br>$> 0.6$<br>$< 5$ | $> 0.75$<br>$< 70$<br>$< 0.6$<br>$> 5$ | 0.9~1.77<br>$< 70$<br>$< 0.6$<br>H <sub>2</sub> S 高达 95% |

注：括号内数字系样品数。

$$\bullet \sum i / \sum n = \frac{iC_{15-20}}{nC_{14-30}} \%$$

(2) 正烷烃分布呈单峰型，主峰为 C<sub>17</sub>或 C<sub>15</sub>、C<sub>14</sub>。

其它标志还有：

(1) 五种类异戊间二烯烷烃总量相对较低， $\sum i / \sum n$  ① 普遍 $< 20\%$ ，多数 $< 16\%$ （见图 1-6、图 1-7）；Ph/nC<sub>18</sub> $< 1$ ，绝大多数 $< 0.8$ （图 1-8）；与此同时，低碳数的法呢烷（iC<sub>15</sub>）、异 16 烷（iC<sub>16</sub>）和降姥鲛烷（iC<sub>18</sub>）相对含量高， $\frac{iC_{15+16+18}}{iC_{19}+iC_{20}} > 0.5$ （图 1-7），最大可达 3.08。

(2) 正烷烃轻重比大，C<sub>21</sub><sup>-</sup>/C<sub>22</sub><sup>-</sup> 普遍大于 1，凝析油可高达 5.37。

(3) 环烷烃组成中，重排甾烷较多， $\gamma$ -蜡烷含量甚微，4-甲基甾烷往往很明显，5 $\alpha$ -C<sub>29</sub>（豆、谷甾烷）多数 $\geq 5\alpha$ -C<sub>27</sub>（胆甾烷），陆生植物标记奥利烷（Oleanane）时有发现（见图 1-5、图 1-9）。

(4) 原油中镍卟啉含量低，一般小于 10 $\mu\text{g/g}$ ，并有近 1/3 油样不含镍卟啉；与此相应，原油灰分中 Ni 含量也低，一般小于 3.5 $\mu\text{g/g}$ ，V/Ni $> 0.4$ 。

(5) 原油中饱和烃含量高，潜山原油 $> 70\%$ ，第三系原油 $> 50\%$ ；非烃+沥青质含量

①  $\sum i / \sum n = iC_{15-20} / nC_{14-30} \%$ 。