

特态矿物法及其 在石油勘探中的应用

甘贵元 著

地质出版社



特 态 矿 物 法 及 其 在 石 油 勘 探 中 的 应 用

甘 贵 元 著

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

内 容 提 要

作者根据沉积岩中自生矿物与下伏地层中所含油气相关关系研究,提出“特态矿物”及“特态矿物指标”的概念,创建了用于油气勘探的新方法——“特态矿物法”。

特态矿物法在石油勘探上有4个方面的应用:正钻井含油气性预测、老探区老探井含油气性重新认识、获工业油气流井的再挖潜、确定油气藏成藏时间。

特态矿物法最大的特点是:①能够对钻井尚未钻到的下伏地层中是否有油气层存在、油气日产量可以达到多少作出判断;②能够对无明显油气层电性特征反映的老探井的含油气性做重新评价。

本书可供从事石油地质研究和油气勘探的技术人员参考,也可作为有关技术培训及有关院校师生的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

特态矿物法及其在石油勘探中的应用/甘贵元著. —北京:
地质出版社, 2011. 5

ISBN 978-7-116-07205-3

I. ①特… II. ①甘… III. ①油气勘探—方法 IV.
①P618.130.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 074286 号

Tetaikuangwu Fa Jiqi Zai Shiyou Kantanzhong De Yingyong

责任编辑:王 超 李 莉

责任校对:李 玫

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京海淀区学院路 31 号, 100083

电 话:(010) 82324508 (邮购部); (010) 82324567 (编辑室)

网 址:<http://www.gph.com.cn>

电子邮箱:zbs@gph.com.cn

传 真:(010) 82310759

印 刷:北京长宁印刷有限公司

开 本:787 mm × 1092 mm ¹/₁₆

印 张:10.25 图版:21 面

字 数:270 千字

版 次:2011 年 5 月北京第 1 版

印 次:2011 年 5 月北京第 1 次印刷

定 价:36.00 元

书 号:ISBN 978-7-116-07205-3

(如对本书有建议或意见,敬请致电本社;如本书有印装问题,本社负责调换)

序

石油勘探的科学技术，形成于勘探生产的实践过程中，并从实践中不断得到发展。作者长期从事石油勘探方法的研究，通过对柴达木盆地西部油区岩心观察，发现次生黄铁矿与油质沥青和含束缚沥青“C”的亮晶方解石共生的现象，从中得到启示，在大量分析和系统研究后，创造性地提出了能够应用于石油勘探生产的新方法——特态矿物法。本书即为系统、详细阐述这一新方法之作。

作者在书中提出了特态矿物、特态矿物指标、特态矿物法 3 个新概念。特态矿物是指沉积地层中的油气藏中烃类组分向地表垂直渗漏过程中形成的次生矿物。它与来自碎屑岩物源区的碎屑铁质矿物和烃源岩中莓粒状黄铁矿存在显著区别。通过特态矿物多项特征的综合分析并与下伏地层含油气程度相关关系研究，划分油气区不同类型特态矿物指标，以判断井下含油气程度。特态矿物法可用于钻井含油气性检测、预测尚未钻达的下伏地层的含油气性及老区老探井含油气性的重新认识。

本书以油气藏中烃类垂向微渗漏产生的地球化学场与矿物学效应为基础，详细阐述了特态矿物形成的理论基础。介绍了油气藏中烃类微渗漏引起的各种效应和异常及有机质与金属矿物的关系；介绍了特态矿物在油气藏上方的纵向分布和矿物类型变化、特态矿物集合体中不同类型矿物的包容关系，以及显微镜下的特征；探讨了矿物对油气形成和保存的作用，分析特态

矿物对形成低阻油气层的影响；介绍特态矿物研究方法，并以柴达木盆地为例阐述了特态矿物法在油气勘探研究中的应用。

特态矿物概念的提出，丰富了油气地球化学理论的内涵，增加了油气勘探的新路径。纵观全书，章节安排合理，图文并茂，以全面的理论体系和实用的工作方法向读者展示了特态矿物法的内容，对我国从事油气勘探的地质工作者具有极为重要的参考价值。

中国科学院院士 

2011年4月18日

前 言

在现代石油和天然气藏勘探中，一方面，复杂构造圈闭及非构造圈闭所占的比重正在增大，地震勘探效果又在逐步下降，常规地震资料的解释结果不能直接给出圈闭含油气的信息；另一方面，许多原来早已发现的构造在早期就曾打过探井，但由于油气层识别或油气测试技术的局限而未能发现油气层，留下来的资料即便是用现代发达的科学技术也难以获得有关油气的信息。

几乎是在油气勘探的初期，人们就致力于直接寻找油气方法理论与技术的研究。其中油气地球化学方法就是最早提出的一种直接寻找油气的方法。20世纪60年代初以来，在油气地球化学理论的基础上，地球物理学家依据油气藏中烃类的向上运移激发的地球化学效应可能产生地球物理场的变异特征为基础，于1963年提出了激电法（柯马罗夫，1983）与磁-电效应法（Pirson，1976）等。半个多世纪以来，它历经坎坷，至今，虽然在理论以及方法技术的应用上均取得了长足的进展，但由于其研究仍然缺乏向深层次上的发展，难以排除多解性顽症而不能有效地发挥作用。

磁性矿物与深部油气藏中烃类渗漏相互关系的理论，最初是1979年由美国地质调查所的Donovan博士提出的，他根据美国俄克拉何马州的Cement油田上航磁观测到的一些短波长的磁异常推测在相应的沉积层中存在与烃类垂向运移相关的成岩作用磁铁矿。他还通过地面调查发现位于Cement油田上方地表红层发生明显的褪色作用，并认为这是深部油气藏中烃的渗漏作用形成的“地球化学场”引起的。利用航磁进行直接找油的研究人员，如得克萨斯州地球科学技术公司的Foote，田纳西州Saint JosePh石油公司的Beaver，密苏里大学的Long及休斯敦能源公司总地质师Tompkins et al.，他们也基本承认油气田上方存在的弱磁异常与深部油气藏相关。然而，有些学者提出了不同的看法，如英国地质调查所的Bushy et al.通过对英国Lancashire地区的Formby油田进行高精度航磁与地磁测量，结果认为，没有探测到与烃晕相关的弱磁异常，油田上方的高频弱磁异常主要与地面设施相关，并在钻孔岩屑中发现了许多

钻头脱落的铁屑及碎屑磁性矿物。因此，他们认为，如果存在与油气藏相关的成岩作用磁性矿物的话，其含量一定很少，不足以引起有效的弱磁异常。美国地质调查所的 Reynolds 也认为某些油气田近地表分布的磁铁矿与烃渗漏无关，而是钻头铁屑的污染。但在 Cement 油田钻孔岩心中发现的呈亚铁磁性的磁黄铁矿可能是航磁中高频异常的场源。磁黄铁矿与非常丰富的黄铁矿共生，而黄铁矿的形成是烃渗漏效应的结果。

以美国俄克拉何马大学的 Elmore、加拿大 Alberta 大学的 Machel、阿根廷的 Gillian 等为代表的国外学者致力于深部油气中烃渗漏效应与近地表样品磁学之间相互关系的研究，试图揭示深部油气藏与地表磁性蚀变带之间内在的本质联系，为直接评价圈闭含油气性奠定理论基础。Elmore et al. 对俄克拉何马州南部下奥陶统 Arbuckle 组中的沥青、怀俄明州 Sheep 山 Phosporia 建造中烃类浸染的含有小孔结构白云岩、蒙大拿南部二叠纪 Chugwater 建造红层中的饱和烃、浅色蚀变样品进行的较详细的岩石磁性、有机地球化学成分的测试研究表明，样品中的磁铁矿为自生磁铁矿，它们与深部烃的运移之间存在成因关系。McCabe et al. (1989) 通过美国伊利诺伊州和密西西比州两个采石场沥青样品中发现的次生磁铁矿的研究，提出在原油的生物降解作用与磁性矿物的发育之间存在相互关系，并推测次生磁铁矿与烃类的赋存相关。Elmore et al. 的研究成果表明，在一些油气田上方的含烃砂岩及某些油气井钻孔岩心中存在的磁铁矿与磁黄铁矿所携带的稳定的磁化强度可能与烃的运移有关。

笔者自从 1984 年在柴达木盆地西部油区跃灰 1 井一条油气二次运移的通道中，次生黄铁矿与油质沥青和含束缚沥青“C”的亮晶方解石共生的现象中得到启发后，以各类显微镜为主要工具，以岩石薄片为主要对象，结合油气显示和油气测试资料进行了长时间研究。主要系统研究了铁质矿物类型、含量大小、连续分布井段、集合形态、集合体大小、交代程度等综合特征与下伏地层中含油气程度的相关关系，获得了以下重要成果：

在沉积地层中的铁质矿物有 3 种成因。第一种是来自碎屑岩物源区的碎屑铁质矿物颗粒，往往由于搬运磨蚀和分选作用而形成较为规则的浑圆状外形及较为均匀的颗粒大小，主要分布在粉砂岩及其以上的碎屑岩中，在含有陆源碎屑颗粒的

泥质岩和碳酸盐岩中也可少量出现，成分主要为磁铁矿、白钛矿、赤铁矿等，它们的存在只与物源区岩石类型和物源区远近有关；第二种是以莓粒状颗粒为主，存在于还原环境下形成的泥质岩和碳酸盐岩烃源岩中，其颗粒大小较为均一且分布相当均匀，成分为黄铁矿；第三种则是由于油气藏中烃及非烃组分向地表方向垂直渗漏和扩散作用下形成的次生铁质矿物，它们主要分布在油气藏的上方，其存在和特征直接与下伏地层中油气的富集程度密切相关，主要矿物类型为黄铁矿、磁黄铁矿、磁铁矿和褐铁矿。

基于上述研究，笔者提出了特态矿物概念，把上述第三种成因的各类矿物统称为特态矿物。在一个或多个油气区，通过特态矿物综合特征的研究，可以获得反映下伏地层含油气程度的综合指标，将其称为特态矿物指标。在油气勘探中，应用特态矿物指标来预测、评价和检测下伏地层含油气程度的方法，称为特态矿物法。

特态矿物法可用于正钻井检测和预测尚未钻达的下伏地层的含油气性，以指导钻井钻进工作；可用于老探区老探井含油气性的重新认识；可用来分析现已获得工业油气流储层以下地层中是否还含有油气；也可通过特态矿物形成年龄的测定来研究油气藏形成的时期。

本书以油气藏中烃的垂向渗漏作用产生的地球化学场在油气藏上方赋存的全空间范围内地球化学与矿物学效应的假说为前提，以矿物学综合变异特征为基础，以油气藏与特态矿物综合特征之间相关关系研究为主线，以服务于石油天然气勘探和油气藏研究为目标，应用石油地质学、地球化学、岩石学、矿物学等多学科理论相互交叉综合研究的方法与现代测试手段，详尽阐述特态矿物法及其在油气勘探和油气藏研究应用的初步成果和广阔前景。

全书内容主要分成五大部分：

第一部分（包括第一、第二章）为特态矿物法的理论基础。重点介绍烃及非烃组分渗漏作用的基本模型，特态矿物概念，特态矿物形成的化学作用，并介绍油气藏（层）上方特态矿物存在的实例。

第二部分（包括第三、第四章）重点介绍油气藏中烃及非烃组分微渗漏引起的各种效应和异常及有机质与金属矿物的关系。主要包括烃类物质效应、对地表化学环境 E_h ，pH 值的改变、引起地表放射性元素的重新分布、对原生磁铁矿

矿剩磁稳定性和方向的影响；干酪根、煤、油气运移通道中的黄铁矿和沥青质中的磁铁矿及磁黄铁矿，金、铅锌、铁和铜等矿床形成与有机质的关系。

第三部分（第五章）详细介绍特态矿物特征。包括特态矿物在油气藏上方的纵向分布和矿物类型变化、特态矿物集合体中不同类型矿物的包容关系，在扫描电镜、荧光显微镜、阴极发光和偏光显微镜下的特征等。

第四部分（包括第六、第七章）探讨矿物对油气形成和保存的作用，包括对油气形成的催化作用和对油气藏的封存作用。分析特态矿物对形成低阻油气层的影响，并提出含有特态矿物的低阻油气层曾经是油气运移通道的认识。

第五部分（包括第八、第九章）重点介绍特态矿物研究方法和特态矿物法在油气勘探中的应用。包括偏光显微镜下的常规分析和其他显微镜下的特征研究，目标是特态矿物指标的提取；第九章则以笔者多年来先后进行的柴达木盆地油气田研究成果为基础，重点讲述特态矿物法在油气勘探和油气藏研究中的应用。

本书使用了笔者提出的3个新名词：特态矿物（the peculiar state mineral）、特态矿物指标（the index of the peculiar state mineral）和特态矿物法（the method of peculiar state mineral）。

值得指出的是，由于本书研究内容涉及多个学科理论的相互交叉与渗透，研究领域和部分应用研究成果又处地学前缘，限于笔者的知识和研究范畴，因此，尽管在整个研究过程中，笔者不断向有关学科专家、教授请教并讨论，但仍难以弥补书中存在的不足，敬请读者批评指正。

笔者的研究得到了许多专家、教授的关心和支持，尤其是吉林大学孙春林教授、孙革教授，中国石油勘探开发研究院陈丽华教授级高工，中国石油大学（北京）徐怀民教授对该研究给予了大力支持和帮助，在此表示感谢。

甘贵元

2010年4月8日

目 录

序

前 言

第一章 特态矿物及其成因	(1)
第一节 特态矿物概念	(1)
第二节 烃类物质	(3)
第三节 烃类组分微渗漏模式	(7)
第四节 特态矿物的形成	(11)
第五节 特态矿物形成的化学作用	(17)
第二章 油气藏上方的特态矿物	(20)
第一节 铁矿物	(20)
第二节 碳酸盐矿物	(22)
第三节 硫化物和氧化物	(24)
第三章 烃类微渗漏引起的效应和异常	(28)
第一节 烃类及非烃类物质效应	(28)
第二节 对地表化学环境 E_h , pH 值的改变	(31)
第三节 红色土壤褪色和植物异常分布	(33)
第四节 地表放射性元素的重新分布	(34)
第五节 地温增温	(36)
第六节 次生矿物分布异常	(36)
第四章 有机质与金属矿物	(38)
第一节 干酪根中的黄铁矿	(38)
第二节 煤中的黄铁矿	(42)
第三节 层控金矿床中的有机质	(46)
第四节 铁矿床形成与有机质	(49)
第五节 铜矿床形成与有机质	(52)
第五章 特态矿物特征	(56)
第一节 纵向分布特征	(56)
第二节 特态矿物类型在纵向上的变化	(59)
第三节 相互包容现象	(61)
第四节 特态矿物的交代现象	(62)
第五节 扫描电镜下特态矿物的特征	(64)
第六节 特态矿物与油气的伴生关系	(65)
第七节 特态矿物的 14 种集合体形态	(68)
第八节 特态矿物的 X-射线衍射和电子探针分析	(72)

第六章 矿物对油气形成和保存的作用 (75)

 第一节 矿物对油气形成起催化作用 (75)

 第二节 特态矿物对油气的封存作用 (77)

第七章 特态矿物对油气层电阻率的影响 (79)

 第一节 低阻油气层概念及成因分类 (79)

 第二节 低阻油气层形成机理 (81)

 第三节 含特态矿物的低阻油气层曾经是油气运移通道 (84)

第八章 特态矿物法研究方法 (86)

 第一节 常规分析方法 (87)

 第二节 特态矿物与油气关系的研究 (88)

 第三节 其他现象及特征的研究 (89)

 第四节 特态矿物指标的提取 (92)

第九章 特态矿物法在油气勘探中的应用 (101)

 第一节 特态矿物指标 (101)

 第二节 正钻井含油气性预测 (101)

 第三节 老探区、老探井含油气性评价 (118)

 第四节 获工业油气流井（构造）的再认识 (133)

 第五节 油气藏形成时期的确定 (144)

参考文献 (145)

图版说明及图版 (149)

第一章 特态矿物及其成因

本章提出并阐述特态矿物、特态矿物指标和特态矿物法 3 个概念，论述油气藏中油气微渗漏作用下在油气藏上方形成特态矿物的机理、特态矿物形成的物理-化学作用等。

第一节 特态矿物概念

Price (1986) 在对近地表石油勘探方法的文献进行广泛深刻的评述后，得出结论：“烃类微量渗出的存在是毫无疑问的。同样这个事实也是无疑的，即它能导致清楚地圈绘出烃类矿床的地表踪迹的异常”。Prison S J (1982) 将油气藏中烃类“垂直”向上渗漏称为“烟筒效应”。实际上，烃类的垂直向上渗漏中还伴有非烃组分 (H_2S , CO_2 , H_2 , CO 等)，不只是油气藏中的烃及非烃组分向上渗漏，油气尚未富集成藏但有一定程度的积聚后同样产生烃及非烃组分向地表方向的垂直迁移。这些组分向上渗漏的浓度一般在油气藏边缘较中央大，近油气藏处较远处大 (图 1-1)。

在温度、压力和浓度梯度等因素影响下，烃及非烃组分向地表的“垂直”渗漏，是通过上覆岩层中孔缝系统来进行的。其结果使孔缝周围某些金属元素还原，在油气藏上方形成一个由孔缝系统构成的次生“还原柱”。这个“还原柱”的存在只取决于下伏地层的含油气性，而与地层本身的沉积环境无关。

在渗漏的烃类及非烃组分的作用下，油气藏上方岩层中的氧化还原电位 (E_h)、酸碱度指标 (pH)，以及岩石的矿物成分均发生变化。在油气藏上方有烃及非烃组分渗漏的地带，pH 值一般要比外围背景值高出 15% ~ 20%，随着深度加大 pH 值平均由 6 增大到 9。众所周知，pH < 6.5 相当于酸性环境，pH = 6.5 为中性环境，pH > 6.5 为碱性或还原环境。pH 值变化时改变了 E_h 指标。在油气藏上方的地层剖面上部， E_h 值低于背景值，并且沿含油气边缘 (在近垂直带上) 该 E_h 值降低可达 23% ~ 25%，而在中心部分 (油气藏上方)，则为 4% ~ 10%，这使得形成的矿物呈环带状分布。随着深度的加大， E_h 值变小。

烃及非烃组分向地表的“垂直”渗漏是造成油气藏上覆地层 E_h 值及 pH 值变化、

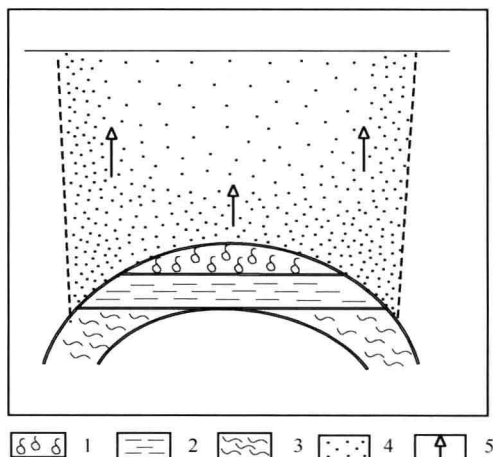


图 1-1 油气藏中烃类组分向地表渗漏模式图
1—气；2—油；3—水；4—烃类组分；5—渗漏方向

特态矿物出现的根本所在。向地表“垂直”渗漏的烃类 (C_nH_m) 主要是在常温下为气态的轻烃 ($C_1 \sim C_5$)，轻烃分子较小而动能较大，渗漏能力强，尤其是甲烷 (CH_4)。李鹤庆通过对塔里木盆地、松辽盆地等含油气盆地岩屑酸解烃的井中化探研究，找到了确凿的烃类垂向运移十分明显的形迹：除甲烷外，其他组分 ($C_2 \sim C_4$) 从油层或气层向上逐渐降低，湿度比 ($W_h = C_2^+ / C_1^+$) 和 $C_3 / C_1 \times 10^3$ 等比值曲线自油层或气层向上递减。

同气态烃类同时向地表微渗漏的非烃组分主要是 H_2S , CO_2 , H_2 , CO 等，这些非烃气体组分的来源有两种途径：一种途径是本身就存在于石油和天然气中，随着烃类渗漏而一起渗漏；另一种途径是来自大气水中的厌氧细菌以油气中的烃类为食物，其结果分解产生 H_2S , CO_2 , H_2 , CO 等。

主要由气态烃及非烃组分构成的、从油气藏向上方地层中的微渗漏，形成了主要分布在油气藏上方的、能够指示下伏地层含油气性的各类特态矿物，也形成了地表土壤吸附烃晕、热异常晕、红层褪色化晕、低价铁富集晕、粘土化晕、碳酸盐岩矿化晕、地植物异常晕和放射性晕等“烃类微渗漏晕”。

由于烃及非烃组分向地表的“垂直”渗漏，引起其所通过或充填的孔缝系统物理-化学环境的改变，发生次生矿物的形成作用。可以形成氧化硅、氧化铝、方解石、菱铁矿、闪锌矿、方铅矿、重晶石、萤石、黄铁矿、磁黄铁矿、胶黄铁矿、磁铁矿、褐铁矿、白铁矿等。

在石油地质学范畴内，研究者更多关注的矿物是那些与油气生成、运移、微渗漏、保存有关的次生矿物，希望能够提取与油气有关的信息，服务于油气勘探。在综合国内外有关研究的基础上，在对柴达木盆地西部及北缘油气区进行系统分析研究后，为了将油气藏(层)中烃及非烃组分向地表渗漏、逸散过程中，在沉积层岩石孔缝体系形成的次生矿物与其他来源及地质作用形成的矿物区分开，并有效地服务于石油天然气勘探及油气藏研究，笔者提出特态矿物概念。

特态矿物的定义是：指由于油气运移、成藏作用过程中及其成藏后的烃及非烃组分向地表“垂直”渗漏、逸散而导致形成的次生矿物，它能够反映下伏地层有无油气存在。特态矿物还包括那些在晶体中留有直接或间接的、能够指示下伏地层有无油气存在，但本身的形成与油气活动无关的次生矿物。

特态矿物概念有如下 5 个含义：①主要存在于油气藏上方；②主要分布在沉积地层岩石的孔缝体系中；③形成与油气组分活动密切相关且含有可指示油气存在与否的信息；④是次生矿物；⑤从各种特征的综合分析，可提取下伏地层有无油气及油气丰度的信息。

根据特态矿物是否存在、矿物类型、分布井段长度、出现频度大小、含量高低、集合体大小、集合形态特征等的综合研究，可以得到区域性的、衡量下伏地层含油气程度的标准，称为特态矿物指示下伏地层含油气性指标，简称特态矿物指标。

在油气勘探中根据特态矿物检测、预测、评价井(或构造)含油气性等的方法，称为特态矿物法。

在柴达木盆地，最具实际意义的特态矿物是黄铁矿、磁黄铁矿、磁铁矿、褐铁矿。

第二节 烃类物质

一、烃类物质的组成

烃类物质是指碳氢化合物以及伴生或共生有机物，其主要成分为碳、氢，次要成分为硫、氮、氧等。

烃类物质的矿产种类主要有天然气、石油、煤、油页岩等。

1. 天然气的组成

实际研究与应用中，天然气是指沉积岩石中以烃类为主的气藏中的天然气和可为工业所利用的二氧化碳气、硫化氢气、氮气等。

气藏中的天然气从成分上分为两种：一种是以烃类物质为主的天然气，主要是甲烷气，一般情况下甲烷含量达80%以上；其次为重烃，约占10%；微量气体有氮气、二氧化碳气、硫化氢气等；另一种是非烃气为主的天然气，主要有氮气、二氧化碳气、硫化氢气等。

根据雅库琴尼（1976），烃类天然气藏占世界气藏总数的95%以上，而非烃类天然气藏占世界气藏总数的5%以内。图1-2显示出世界上2000个气藏约15000个分析数据构制的三角变化图，它有力地说明了天然气藏的主要成分分布状况。

2. 石油的组成

石油是以液态形式存在于地下岩石孔隙中，具有不同结构的碳氢化合物，是可燃的有机矿产。

石油的元素组成主要为碳、氢，其次为硫、氮、氧等。对于平均元素组成，不同学者的估算不同。亨特的统计结果是碳占质量的84.5%，氢占13.0%，硫占1.5%，氮占0.5%，氧占0.5%。据潘钟祥（1986）：中国、美国、苏联的石油元素含量列于图1-3中，与亨特的统计结果相似。

石油的化合物，可分为烃类与非烃类，前者包括正构烷烃、异构烷烃、环烷烃、芳烃和环烷芳烃等，后者主要有氮、硫、氧的化合物、有机金属化合物等。

正构烷烃的碳数为 $C_1 \sim C_{60}$ 。根据主峰碳数的位置及形态，正构烷烃曲线（图1-4）分为3种基本类型：①主峰小于 C_{15} ，且主峰区较窄；②主峰大于 C_{25} ，主峰区较宽；③主峰区在 $C_{15} \sim C_{25}$ 之间，主峰区宽。

异构烷烃的碳数以小于 C_{10} 为主，环烷烃也以小于 C_{10} 低分子量环烷烃为主。芳烃和环

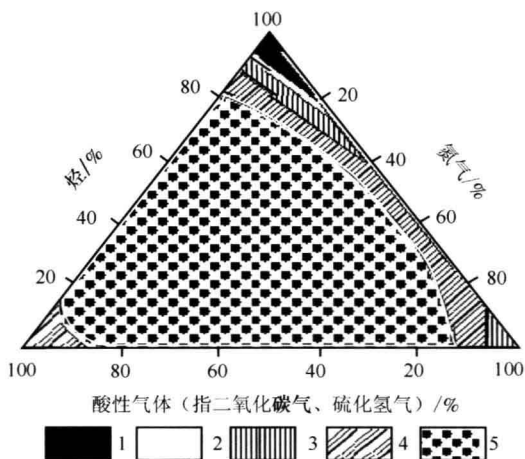


图1-2 世界气藏成分图

- 1—出现次数>50%；2—出现次数为10%~50%；
3—出现次数为1%~10%；4—出现次数为0.1%~1%；5—出现次数<0.1%

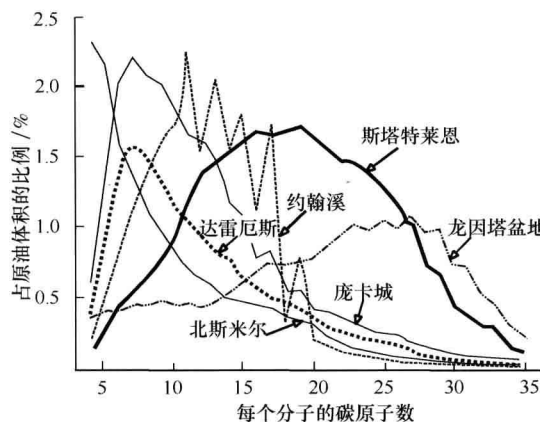


图 1-3 石油的元素组成
(据潘钟祥, 1986)

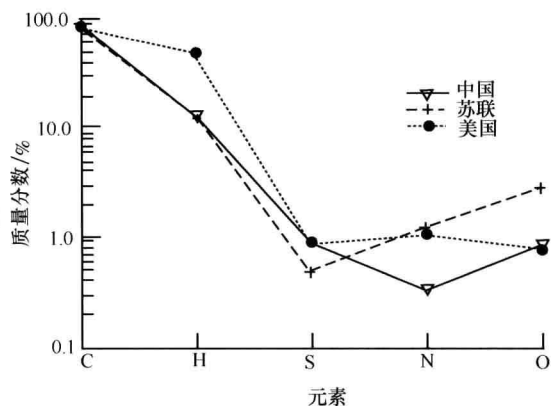


图 1-4 不同类型石油的正构烷烃分布曲线
(据 Martin R L et al., 1986)

烷芳烃的基本类型有苯、萘、菲，分子量一般较大。

石油中的非烃类物质，一是含氮、硫、氧化合物，主要有硫酸、硫醚、噻吩和二硫化物等，低分子量者存在于石油的轻、中馏分中，分子量较大者存在于胶质、沥青质中；二是有机金属化合物，主要是汞、铅等的化合物。

3. 煤的组成

煤是由地质时期植物遗体在地下经复杂的生物、物理、化学作用而变质形成的固体可燃的有机矿产。

煤的组成元素，主要为碳与氢，其次为氧、氮、硫、磷和其他元素。碳与氢占有机可燃物质量的 70% 以上。挥发分根据煤的变质程度不同而异，一般在 5% ~ 55% 之间（图 1-5）。

煤中的碳和氢，多以凝胶化组分（包括木煤、木质镜煤、结构镜煤、无结构镜煤、凝胶化基质）、丝炭化组分（包括丝炭、木质镜煤丝炭、镜煤丝炭、丝炭化基质）、稳定组分（包括木柱层、角质层、孢子和花粉、树脂体）等组成，以固态形式存在，在显微镜下可以观察到。煤中的无机物，主要有与有机质同时沉积的陆源矿物、化学或（和）生物成因的矿物（如黄铁矿、粘土、菱铁矿等的结核），以及后生矿物（如裂隙中的黄铁矿、方解石、高岭土等），它们也以固态形式存在。

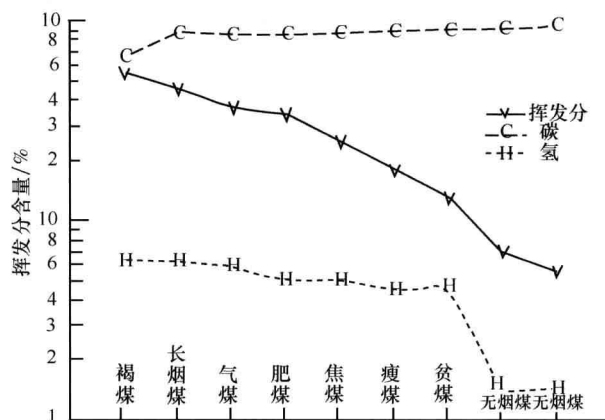


图 1-5 煤的主要组成成分
(据陆春元, 1987)

含碳页岩也是烃类有机质的重要存在形式，与煤相似，碳以固态存在。

总体上，煤是固态的烃类物质，分子量很大；石油是液态的烃类物质，分子量中等；天然气主要是气态的烃类物质，分子量很小。下面讨论这 3 类烃类物质的形成过程以及相互关系。

二、烃类物质的形成

天然气、石墨、煤的形成过程以及相互关系见图 1-6。烃类物质共同的主要物质来源是地表存在的生物有机质。生物有机质主要是动物、植物的遗体。由于地表及近地表的生物作用，特别是细菌活动的活跃，动物、植物的遗体一大部分经生物降解作用等过程形成生物成因的天然气，很少的部分则经沉积掩埋，进入地下。

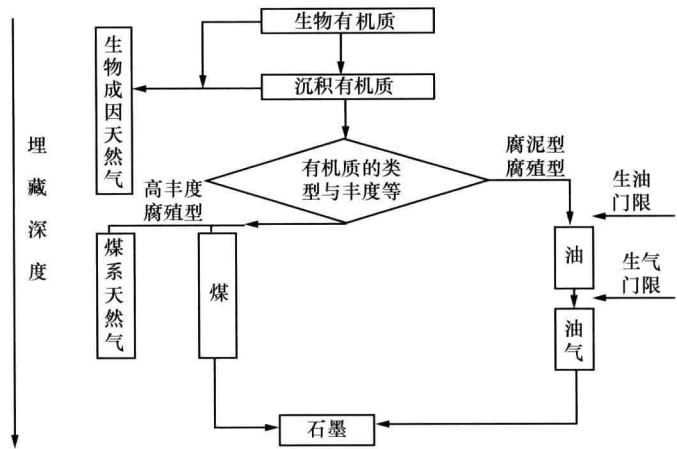


图 1-6 天然气、石墨、煤形成过程示意图

在地下一定深度，生物作用减弱。再进入到更大的深度，压力增大，地温增高，热压作用增强，沉积有机质经热催化、热裂解，有机质开始成熟。①高丰度的腐殖型有机质向煤方向转化，依次形成泥炭、褐煤、长阳煤、气煤、肥煤、焦煤、瘦煤、贫煤、无烟煤，同时形成大量的以甲烷为主的煤系天然气。②腐泥型有机质和一部分腐殖型有机质，进入到生油门限温度后，形成石油与石油气。如果有有机质进入到更高温高压的地层埋深，所形成的煤、石油、天然气则向石墨方向转化。石油与煤的形成过程，均伴随着有机烃气体的形成。其成因早期以微生物作用为主，晚期则以热动力作用为主。

三、烃类物质的赋存状态

气态的天然气、液态的石油、固态的煤，它们在地下的赋存形式，特别是能为工业应用的赋存形式，存在很大的差异。这种差异，往往决定了勘探方法的不同。

1. 天然气的赋存状态

天然气赋存状态见表 1-1。目前具广泛工业意义的有气顶气、气藏气、凝析气、煤层气。

表 1-1 天然气的赋存状态表

相态	赋存	主要成因	开发状况
游离态	气顶气 气藏气 凝析气	石油气 石油气、煤系天然气、生物气 石油气、煤系天然气	3 种均是主要的开发对象
溶解态	油内溶气 水内溶气	石油气或其他类型 各种类型	
吸附态	煤层气 沉积岩吸附气	煤系天然气 煤系天然气、石油气、生物气	煤层气是主要的开发对象
固态气水合物	冰中的天然气		

气顶气与石油共存，位于油气藏的顶部，乙烷以上的重烃含量较高，成因上属石油气。气藏气是单一天然气聚集的气体，可以是石油气、煤系天然气，或其他成因类型的天然气。凝析气是一种特殊的气藏气，是在较高的温度、压力下由液态烃蒸发而形成，一旦温度、压力降低则逆凝结而形成轻质油。

煤层气是吸附在煤层中的煤系天然气。

2. 石油的赋存状态

石油主要呈液态存在于岩石孔隙中。根据是否发生运移分两种形式：一种是自生自储型，生油的地层即是储油的地层；另一种是下生上储或上生下储型，指生油层不是储油层，而是石油经运移储集在有效孔隙度大的岩石或构造中。

3. 煤的赋存状态

煤是以天然的固体形式存在于煤系地层中。如不经特殊的构造运动的破坏，煤层是没有明显运移的。

四、烃类物质的运移

相对于母岩地层而言，煤以固相“原地”存在。石油呈液态可能“原地”存在，也可能经运移而“异地”存在。天然气中煤层气可能以“原地”存在为主，其他天然气则主要以“异地”存在。因此，烃类中，石油与天然气存在着运移的情况。

石油的运移分初次运移和二次运移，以及再次运移。

初次运移指石油从细粒的生油岩中向外排出的过程。初次运移的发生，可能是在压实作用、热力作用、粘土脱水作用等控制下，生油岩（主要是泥岩）受到较大的应力作用，发生强烈的变形，导致体积减小，这时必然驱动塑性物质（包括气体、液体及硬度小的粘土矿物等）的流动。在初次运移中，石油可能呈油相、乳油液、胶体溶液、气体溶液等相态运移，但多数学者认为初次运移以油相为主。初次运移是与石油生成有密切关系的过程，运移距离较短，一般限于生油岩系中。

二次运移是初次运移的接续，是石油脱离成油母岩向储集岩内部传导的过程，主要的传导层是颗粒较粗的砂岩层、张性或张扭性的非紧闭的断层、不整合面等。二次运移的驱动力主要是浮力、水动力，运移多呈游离相进行。运移的距离不等，最远达到数十千米，甚至上百千米。多数情况下，二次运移的结果使石油聚集成油藏。