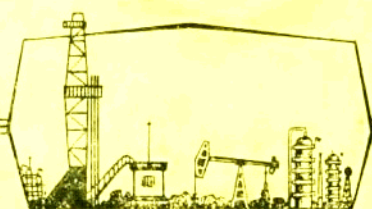


高等学校教学用书

测井地质基础

下 册

熊 琦 华 编



石油工业出版社

前 言

本书为《测井地质基础》(上)的后续编。主要介绍油气储集层地质,石油、天然气及油田水的性质,石油及天然气的成因,油气藏的形成及类型,油气储量计算等石油地质学基本知识。还简单介绍了油气田勘探与开发的基本知识。

此教材系石油部所属石油高等院校的统编教材。教材大纲是在我国主要油田测井站调查研究的基础上,由编者与华东石油学院测井教研室有关教师共同讨论制定,并经大庆石油学院、西南石油学院、江汉石油学院、华东石油学院石油地质及测井教研室审查、修改定稿。

教材力求密切结合矿场地球物理测井专业之所需,突出重点、并兼顾石油地质科学的基础知识及系统性。为矿场地球物理测井专业的专业基础课程之一,直接为测井地层评价及综合解释服务。若为测井方法及仪器专门化所用,则可酌情精减内容。

本书由黄醒汉副教授主审,王曰才教授、信荃麟副教授及张一伟副教授审阅。教材编写过程中得到各测井站、华东石油学院石油地质教研室及测井教研室的大力协助。得到石油部石油勘探开发研究院韩用光总地质师、大庆油田唐曾熊总地质师及武汉地质学院副教授马正等同志的热情支持。他们认真、负责地提出不少宝贵建议及修改意见,编者在此一并表示感谢。

由于编者水平有限,时间短促,不当之处请读者批评指正。

编 者

1984年10月

目 录

前言

第一章 石油、天然气及油田水	(1)
第一节 石油.....	(1)
一 石油的化学组成及分类.....	(1)
二 石油的物理性质.....	(7)
第二节 天然气.....	(11)
一 天然气的化学组成.....	(11)
二 天然气的物理性质.....	(12)
三 天然气的分类.....	(14)
第三节 油田水.....	(14)
一 油田水的化学组成.....	(15)
二 油田水的矿化度.....	(16)
三 油田水的成分分类.....	(18)
四 油田水的物理性质.....	(20)
第二章 油气的生成	(21)
第一节 形成油气的原始物质.....	(21)
一 生物体的组成及演化.....	(22)
二 低等生物是形成油气的主要原始物质.....	(23)
第二节 油气生成过程.....	(24)
一 “晚期成油论”基本原理.....	(24)
二 干酪根的概念和类型.....	(25)
三 有机质向油气转化的过程.....	(26)
第三节 生油层及其形成的地质条件.....	(27)
一 岩性条件.....	(27)
二 岩相古地理条件.....	(28)
三 大地构造条件.....	(28)
第四节 生油地球化学指标.....	(29)
一 有机质丰度指标.....	(29)
二 干酪根类型指标.....	(30)
三 有机质成熟度指标.....	(30)
四 有机质转化指标.....	(32)
第三章 储集岩	(34)
第一节 储集岩的概念及分类.....	(34)
一 储集岩的概念.....	(34)
二 储集岩的分类.....	(34)
第二节 陆源碎屑岩储集岩.....	(35)
一 孔隙分类.....	(35)

二	碎屑岩的储油物性	(33)
三	砂岩储集岩的次生孔隙及物性特征	(39)
四	碎屑岩储集层的分类与评价	(42)
五	碎屑岩储集性的研究方法简介	(54)
第三节	碳酸盐岩储集岩的储油物性	(61)
一	碳酸盐岩储集岩的特点	(65)
二	碳酸盐岩储集空间类型	(67)
三	影响碳酸盐岩储集空间发育的因素及储集空间的分布规律	(76)
四	碳酸盐岩的储油物性及研究方法	(86)
五	碳酸盐岩储集岩的分类与评价	(96)
第四章	油气藏的形成	(97)
第一节	油气运移概说	(98)
一	油气运移的特性	(98)
二	油气运移的方式	(99)
三	油气运移的动力	(99)
第二节	初次运移和生、储、盖组合	(101)
一	初次运移的主要动力	(101)
二	生、储、盖组合	(104)
第三节	圈闭及二次运移	(107)
一	圈闭	(107)
二	二次运移	(109)
第四节	油气藏及其形成	(111)
一	油气藏	(111)
二	油气藏的形成	(112)
第五章	油气藏类型	(115)
第一节	构造油气藏	(115)
一	背斜油气藏	(115)
二	断层遮挡油气藏	(119)
三	与刺穿构造有关的油气藏	(120)
四	裂缝性油气藏	(121)
第二节	地层油气藏	(121)
一	地层不整合油气藏	(122)
二	地层超覆油气藏	(122)
三	潜伏剥蚀突起油气藏	(123)
第三节	岩性油气藏	(124)
一	与透镜状砂体有关的岩性油气藏	(124)
二	与尖灭状砂体有关的岩性油气藏	(125)
三	与碳酸盐岩有关的岩性油气藏	(126)
第四节	特殊类型油气藏	(129)
一	水动力圈闭油气藏	(129)
二	向斜油气藏	(130)
三	水溶性气藏和水化合气藏	(130)
第六章	储集层中的油、气、水	(131)

第一节 储集层中油、气、水的分布.....	(131)
一 油、气、水按重力分异——垂向分布.....	(131)
二 油、气、水的平面分布.....	(132)
三 油、气、水在孔隙系统中的分布.....	(135)
第二节 油、气、水饱和度.....	(135)
一 束缚水及束缚水饱和度.....	(135)
二 含油、气、水饱和度及其间的关系.....	(137)
三 饱和度的变化规律及影响因素.....	(138)
四 渗透率与含油饱和度的关系.....	(142)
五 含油、气、水饱和度的确定方法.....	(146)
六 可动油量及可动水率.....	(148)
第七章 油层研究.....	(150)
第一节 油层剖面的研究方法.....	(150)
一 钻井及完井方法简介.....	(150)
二 录井方法.....	(152)
三 完井总结.....	(164)
第二节 陆源碎屑储集层的研究.....	(169)
一 砂岩体的概念、分类及特征.....	(169)
二 我国陆相碎屑岩储集层特征.....	(175)
三 砂岩体研究方法简介.....	(178)
第三节 碳酸盐岩储集层研究.....	(187)
一 碳酸盐岩储集层分布的有利相带.....	(187)
二 碳酸盐岩储集层分类.....	(191)
第四节 油层非均质性及其研究.....	(195)
一 油层非均质性的概念及成因.....	(195)
二 油层非均质性的研究内容.....	(196)
三 油层非均质性研究方法简介.....	(202)
第五节 油层对比.....	(206)
一 油层对比的概念.....	(206)
二 油层对比的基础工作.....	(207)
三 碎屑岩油层对比简介.....	(211)
四 碳酸盐岩油层对比简介.....	(214)
第六节 油层压力及温度.....	(216)
一 原始油层压力及压力异常.....	(216)
二 油层的水动力系统.....	(222)
三 油层温度.....	(222)
第八章 石油及天然气的储量计算.....	(224)
第一节 储量及其分类的概念.....	(224)
一 资源及储量的概念.....	(224)
二 储量分类.....	(224)
三 储量计算方法概述.....	(229)
第二节 容积法计算石油储量.....	(231)
一 基本原理及方法.....	(231)

二 精度要求.....	(236)
三 影响容积法计算储量精度的因素.....	(236)
第三节 压力降落法计算天然气储量.....	(239)
一 压降法基本原理.....	(239)
二 压降法各参数的确定.....	(241)
三 压降法的应用条件.....	(242)
第九章 油气田勘探与开发简介.....	(243)
第一节 油气田勘探工作简介.....	(243)
一 油气田勘探工作的任务及阶段.....	(243)
二 油气田勘探方法.....	(244)
第二节 油气田开发工作简介.....	(248)
一 驱油动力及驱动方式.....	(248)
二 注水开发油田(二次采油)方式简介.....	(250)
三 提高采收率及三次采油的概念.....	(253)
参考文献.....	(254)

第一章 石油、天然气及油田水

石油及天然气都是天然的可燃有机矿产。目前世界上所发现的油、气藏几乎都有水与油、气共存。在油、气藏的勘探与开发中,正确地判断地下油、气、水层是测井工作的主要任务之一。

第一节 石 油

石油是一种成分非常复杂的天然有机化合物的混合物,其中主要成分是液态烃。多呈黑褐色、棕色及浅黄色,具有一定的粘度、比重小于1的油脂状液体。在地下油气藏中,通常液态石油中溶有大量天然气,并溶有固态烃及高分子的重杂原子化合物及少量杂质。

一、石油的化学组成及分类

(一) 石油的化学组成

石油的化学组成由于生成石油的原始物质、条件不同以及后期演化等多种因素的影响,变化很大。当地下的石油到达地面后,由于温度、压力等条件的变化导致其中一些烃类蒸发、析出或分解,因而在目前的分离鉴定技术水平下,要准确地分析地下石油中所有的化合物组分是相当困难的。至今所掌握并作了分析的只有几百种。以下从石油的元素组成及化合物组成分述之。

1. 石油的元素组成

石油主要由碳、氢及少量硫、氮、氧元素组成。不同地区、不同时代的石油,化学组成及物理性质可有千差万别,但其元素组成却只局限在一定范围内变化。

从国内外已知石油的元素组成看,碳、氢两种元素占绝对优势,一般碳含量为84~87%,氢含量为11~14%,合计占石油元素组成的97~99%。硫、氮、氧元素的总含量一般只占1~4%,在个别情况下含硫量较高,可达3~7%。

除上述五种主要元素外,石油中还含微量的其他元素。它们种类繁多,目前已知的有33种。即:铁(Fe)、钙(Ca)、镁(Mg)、硅(Si)、铝(Al)、钒(V)、镍(Ni)、铜(Cu)、锑(Sb)、锰(Mn)、锶(Sr)、钡(Ba)、硼(B)、钴(Co)、锌(Zn)、钼(Mo)、铅(Pb)、锡(Sn)、钠(Na)、钾(K)、磷(P)、锂(Li)、氯(Cl)、铋(Bi)、铍(Be)、锗(Ge)、银(Ag)、砷(As)、镓(Ga)、金(Au)、钛(Ti)、铬(Cr)、镉(Cd)。这些微量元素仅占石油重量的万分之几,构成石油的灰分,即石油燃烧后的残渣。所以也称它们为灰分元素。石油的灰分元素系列,与自然界有机物质所含的元素十分相似。

在灰分元素中,钒和镍的含量最高。钒、镍含量及其比值(V/Ni)与原始生油物质及石油运移等因素有关。因此,不同地区的石油其钒镍含量及比值可相差很悬殊。如中国中生代石油的V/Ni为0.07;美国中生代石油的V/Ni在0.7~2.50间,科威特中生代石

油的V/Ni为3.80。

近些年来，利用石油灰分中的钒、镍含量及其比值确定生油岩相，进行油源对比，已获得了可喜的成果。

在石油及天然气中还有些同位素元素。即在元素周期表中占有同一位置具有相同质子数，但具有不同中子数的元素。且依稳定性不同分为稳定同位素及放射性同位素两类。与油气有关的主要组成元素C、H、S、O、N均有同位素，其性质、相对丰度及与油气的关系见表1—1。

表1—1 与石油天然气主要组成有关的同位素元素

元素名称	元素符号	性质		相对丰度 (原子百分率)	与油气的关系
		稳定	放射性		
氢	H ¹	✓		99.9844	石油中H ² 含量较普通水高约60%，天然气中可达79.39% 与油气聚集伴生的水中H ² 含量增高
	H ²	✓		0.0156	
	H ³		✓	——	世界各地原油中C ¹³ 相对丰度均高于无机含碳物质，而与生物体相似。且C ¹² 和C ¹³ 在不同时代石油中的分布具有一定的变化规律，可用于成因研究
碳	C ¹²	✓		98.892	
	C ¹³	✓		1.108	
	C ¹⁴		✓	——	据美国、加拿大、苏联的究研表现：同时代地层中石油或天然气的S ³⁴ 相对丰度具有稳定值；而不同时代的石油该值变化较大。为油源对比提供了新途径
硫	S ³²			95.1	
	S ³³			0.74	
	S ³⁴			4.29	
	S ³⁶			0.016	
氧	O ¹⁶	✓		99.759	究研很少，目前仅利用碳酸盐中的氧同位素比值来测定沉积盆地的古水温
	O ¹⁷	✓		0.0374	
	O ¹⁸	✓		0.2039	
氮	N ¹⁴	✓		99.635	在同一油气聚集中，氮同位素含量变化较多，目前在石油地质领域中究研尚很少
	N ¹⁵	✓		0.365	

对于油气中同位素的研究还仅仅是开始，但都是有意义的。

2. 石油的化合物组成

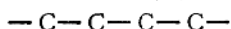
石油中的众多元素，不是都呈游离状态，其主要元素均结合成不同的化合物存在于石油中。其中以碳氢化合物即烃类化合物为主，此外还有含氧、氮、硫等元素的非烃化合物。

1) 石油中的烃类化合物至今已鉴定出的石油中的烃类化合物有425种以上，分属烷烃、环烷烃及芳香烃三类。

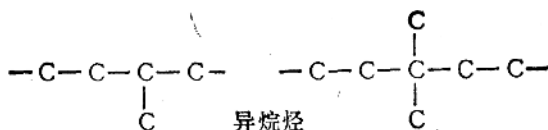
烷烃：烷烃是一种饱和的碳氢化合物分子通式一般为C_nH_{2n+2}。常温下，甲烷(CH₄)至丁烷(C₄H₁₀)为气态；戊烷(C₅H₁₂)至16烷(C₁₆H₃₄)为液态；含16个以上碳原子的烷烃为固态。烷烃中以戊烷至16烷居多。烷烃又称为石蜡属烃。

烷烃分子的结构特点是碳原子以单键相连，呈链式。按其是否有支链存在，可进一步分为正构烷烃与异构烷烃两类。无支链的，为正构烷烃，简称正烷烃；有支链的，为异构

烷烃，也可叫异烷烃。如下列结构式所示：



正烷烃

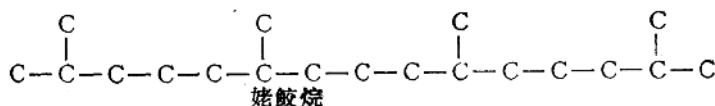


异烷烃

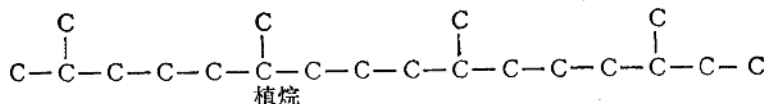
大多数石油中，正烷烃多于异烷烃。

据多数石油的分析资料表明：在石油中正烷烃同系物为一连续序列；且低分子正烷烃多于高分子正烷烃；此外，在较高分子的正烷烃中奇数和偶数碳原子烃的相对含量接近相等，与一般生物体或现代沉积中奇数碳原子正烷烃显著多于偶数碳原子正烷烃的特点不同。当前这些特征已被用于鉴别生油岩及研究原油的成熟程度。

在石油烷烃馏分中，除正构烷烃外，还有大量异构烷烃。现已从石油中分离出多种异构烷烃，其中异戊二烯化合物（每四个碳原子有一个甲基）含量可达0.5%。这类化合物中的姥鲛烷（2、6、10、14—四甲基十五烷）及植烷（2、6、10、14—四甲基十六烷）研究和应用得最多，其结构式如下：



姥鲛烷



植烷

异戊二烯型化合物常用来作油源对比。因同一来源的石油，其异戊二烯型化合物的类型（组合关系）及含量极为相似。

环烷烃：环烷烃也是一种饱和的碳氢化合物，分子通式一般为 C_nH_{2n} ，它是由许多单键相连呈环状的多次甲基（ $-CH_2-$ ）所构成。其结构式如图1—1所列：

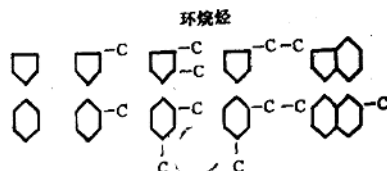


图1—1 原油中最主要的环烷烃类型

芳香烃：芳香烃为一种不饱和烃，分子通式一般为 C_nH_{2n-6} 。因具有特有的芳香味而得名。其主要特点为分子中至少有一个苯环，故又称苯属烃。石油的低沸点馏分中芳香烃含量较少，一般不超过20%，主要为苯、甲苯、二甲苯。随沸点升高，芳香烃含量增高，且芳烃环数及侧链数增多，碳链加长。

2) 石油中的非烃化合物 非烃化合物是不仅含有碳和氢两种元素，还含有氧、氮或硫元素的化合物。石油中氧、氮、硫三种元素含量虽然不多，但含这些元素的化合物却不少，有时可达石油重量的30%。其中以含硫化合物居多，含量可从万分之几到百分之几；而其它两种化合物只有千分之几。

含氧化合物：目前在石油中已鉴定出50多种含氧化合物。它们主要分属于环烷酸、酚和脂肪酸。这些酸统称为石油酸（按定义，酚不属酸类，因它具有酸性故归入石油酸）。

石油酸中，以环烷酸最多，约占石油酸的96%。它们大多存在于250~300°C馏分中。其含量因地而异，一般含量均小于1%，如克拉玛依原油含0.48%。石油中的微量元素大多数都以环烷酸盐的形式存在。

石油中的酚大多是苯的衍生物。酚和环烷酸盐都可溶于水。在与石油接触的地下水中常含有这两种物质。因此，可利用这一特征作为找油的一种标志。

含硫化合物：目前在石油中已鉴定出的含硫化合物将近100种。少数情况，硫可以纯净小晶体形式出现；但在大多数情况，则是以化合物如硫化氢(H_2S)、硫醇(RSH)以及杂环的形式存在。

石油中的硫常与水结合生成硫酸和亚硫酸，腐蚀管线和机器设备，故石油的含硫量是评价其质量的一项重要标准。

通常将含硫量大于2%的石油称为高硫石油；含硫量小于0.5%的石油称为低硫石油；而含硫量介于0.5~2%之间的称为含硫石油。我国的油田多属低硫石油，如玉门油田原油含硫量为0.12%，克拉玛依原油含硫量为0.05%；东部个别油田原油含硫量较高如胜利油田含硫量0.4~0.14%，孤岛油田含硫量达1.13~3.38%。

含氮化合物：目前在石油中已鉴定出30多种含氮化合物。主要是含氮的杂环化合物，其中富有成因意义的是卟啉类(亦称卟啉族化合物)。卟啉化合物是含卟啉环结构的化合物的总称。卟啉环是由四个吡咯环通过四个—CH—基团交替连结而成的环。石油中的卟啉化合物主要是钒卟啉和镍卟啉，即卟啉中络合一个钒离子或镍离子的化合物。

卟啉化合物在石油中的含量与沉积环境、所经历的温度以及运移等作用有关。因而，在同一地区内，石油中卟啉的含量变化范围可以很大。如我国东部地区的一些原油(第三纪)中镍卟啉含量为854~5860ppm(每公升石油中含镍卟啉的毫克数)。委内瑞拉马腊—拉康塞普辛地区的白垩纪原油，钒卟啉从小于0.3到450ppm。

由于生物色素中都含有与石油中卟啉化合物相似的卟啉环。所以石油中卟啉化合物的存在就成为石油有机成因的重要证据之一。

石油中除以上简单的烃类及非烃类化合物外，还有一部分由多种元素(C、O、N、S等)组成的结构极为复杂的高分子化合物。目前对它们的结构特征还不太清楚。将其统称为沥青质。

3. 石油的族分与组分组成

石油的组成十分复杂，目前在石油组成研究中，一般多将石油分成四种族分，即饱和烃(包括烷烃及环烷烃)、芳香烃、非烃和沥青质。

在相当长的时间内为了了解石油的性质及其变化是采用组分分析方法对石油组成进行研究的，这种方法的原则是利用有机溶剂及某些介质(如硅胶)对石油中不同的化合物具有选择性溶解及吸附的特性，将石油的组成分成性质相近的“组”，这些“组”被称为石油的组分。一般石油的组分包括以下四部分：

1) 油质 是一种浅色的几乎全部为碳氢化合物组成的粘性液体。为石油的主要组成部分。它们是石油中极性最弱的部分，主要是饱和烃和一部分低分子芳香烃。

在油质中所分离出熔点在37~76°C的高分子烷烃($C_{17}H_{36}$ — $C_{35}H_{72}$)，称为石蜡。石蜡为结晶体，呈浅黄或黄褐色，以溶解或悬浮状态存在于石油中。当石油被采到地面，则一部分石蜡就会从原油中析出，在油管及排油管线中形成所谓的“蜡堵”。我国石

油含蜡量大多较高。

油质溶于石油醚而不被硅胶所吸附。原油中油质含量高，则原油质量好，比重轻，粘度小。

2) 胶质 一般为粘性的固体或半固体物质，颜色为淡黄、红褐、黑色等。其化学成分除烃类化合物外，还含有较多的氧、氮、硫的复杂含碳化合物。它的平均分子量较油质大。由于蒸发及氧化作用的结果，原油中的胶质将逐渐增加。一般轻质石油中胶质含量不超过4~5%；而重质石油中胶质含量一般在10%以上，多者可达20%以上。随胶质含量的增加石油的颜色加深，呈褐色或黑色。

胶质易溶于石油醚、润滑油、苯、三氯甲烷、乙醚等有机溶剂内，并可被硅胶吸附。

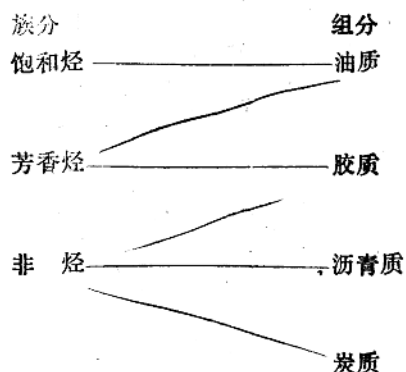
3) 沥青质 为暗褐色或黑色脆性固体物质。它的组成不同于胶质，高分子化合物含量增加，具较大分子量。在电子显微镜下，沥青质的宏观结构呈胶状颗粒，为由稠环芳香烃和烷基侧链组成的复杂结构。若将这种胶状颗粒视为一个分子，则其分子量约为37000~1000000。

沥青质溶于氯仿、苯、二硫化碳等有机溶剂，但不溶于石油醚及酒精。

胶质与沥青质被称为石油中的重组分，其含量高，则石油质量变差。

4) 炭质 为石油中的非烃化合物物质，它们不溶于有机溶剂，也称残炭。石油中一般含量很少或不含。

石油的族分与组分有以下大致对应关系：



石油中族分与组分不同将影响一系列物理性质的变化及石油质量的好坏。

(二) 石油的分类

石油是原油（未加工的石油）及其加工产品之总称。其分类由于目的不同，所采用的参数不同。地质学家多着重于原油的组成成分。

1. 石油按原油的化学成分分类

在石油工业评价中，常以石油中各类烃的含量多少为依据区分类型，亦按组成石油的成分进行分类，因成分决定了石油的一系列物理、化学性质。

按石油的化学成分一般可将其分为三类：烷族（或属）、环烷族（或属）及芳香族（或属）。但世界上很多石油都不单纯属于其中的某一类，而是其中某两类间的过渡类型。例如，苏联格罗兹尼石油科学研究所将石油分为五类，即烷族类、烷族—环烷族类、环烷族类，烷族—环烷族—芳香族类、环烷族—芳香族类。而法国学者蒂索和威尔特（1978年）提出

的分类方案是六类，以饱和烃的浓度作为分类的第一参数：即把饱和烃大于50%的原油，归属于石蜡型原油或环烷型原油；饱和烃小于50%的原油，则属于芳香型原油，也就是说后者含有大于50%的芳香烃加胶质和沥青质。在这两大类之间再以烷烃及环烷烃含量40%为界分出中间型的石蜡—环烷型原油，而以环烷烃含量25%为界分出芳香—沥青型原油及芳香—环烷型原油；以石蜡烃含量10%作为芳香—中间型和重质、降解原油之间的界限。如表1—2所示。

表1—2 原油 的 分 类

在 $>210^{\circ}\text{C}$ 的原油中的浓度 S= 饱和烃 AA= 芳香烃+胶质+沥青质 P= 石蜡烃 N= 环烷烃			原油类型	原油中硫的含量 (近似值)
S $>50\%$ AA $<50\%$	P $>$ N且 P $>40\%$		石蜡型	$<1\%$
	P $\leq 40\%$ 且 N $\leq 40\%$		石蜡—环烷型	
	N $>$ P且 N $>40\%$		环烷型	
S $\leq 50\%$ AA $\geq 50\%$	P $>10\%$		芳香—中间型	$>2\%$
	P $\geq 10\%$	N $\leq 25\%$	芳香沥青型	
		N $\geq 25\%$	芳香环烷型	一般 $<1\%$

(据蒂索及威尔特, 1978年, 略去样品数)

对于石油的化学成分进行分馏及测定，目前还多限于低沸点的烃类、高沸点馏分中的化合物尚很难分馏。然而，在石油中高沸点馏分占优势。因此，据上述之化合物成分进行分类，在实际工作中是较困难的。

2. 石油按残渣性质分类

在实际工作中，多依原油蒸馏后所残余之残渣性质将原油分为以下三种类型：石蜡基原油，沥青基原油及混合基原油。

1) 石蜡基原油 (paraffin base crude oil)

原油蒸馏后之残渣以固态石蜡为主，不含或略含极少量之沥青。原油中以烷烃（即石蜡属烃）为主，组分中油质含量高。质地轻淡，固体残渣很少，颜色一般均较浅。

由于石蜡基原油的比重一般小于0.9，故又称之为轻质油。又由于油质含量高，粘度较低，也常称之为稀油。

2) 沥青基原油 (asphalt base crude oil)

沥青基原油蒸馏后之残渣，以固体沥青为主。其主要烃类化合物为环烷烃及芳香烃，组分中胶质及沥青质含量高。质地较浓且固态游离沥青较多，颜色较深。

由于比重一般大于0.9，故又称之为重质油。由于胶质及沥青质含量高，粘度较大，也常称之为稠油。

3) 混合基原油 (mixed base crude oil)

这类原油为石蜡基与沥青基原油的混合物。

在测井解释中,常用到稠油与稀油的概念。因为它们在测井曲线上的反映是有区别的,稠油层的电性解释界限相应比稀油层的电性解释界限要高。

此外,在油气田勘探中常用到“沥青”这一词汇。原油经物理分异,风化及氧化后的变质产物,叫固体沥青。固体沥青为黑色,无一定晶形也无一定化学组成。比重一般大于1,硬度小,性脆,具油脂光泽及贝壳状到锯齿状断口,具有黑色或深色条痕。其中有一些可溶于二氧化碳,加热后才能将所含原油分析出来。由于原油原有的组分组成不同,其变质产物亦可分为不同类别。由石蜡基原油变质形成的固体沥青可称为地蜡(ozokerite);沥青基原油变质形成的固体沥青,称为沥青(asphalt)或沥青岩(asphaltite),后者变质程度深,为前者之硬化产物。沥青岩依其中固定碳之含量及比重之差别可细分为:硬沥青(gilsonite)、辉沥青(glance pitch)及脆沥青(gramhamite)三种。不同国家、不同地区用于固体沥青的名称是较混乱的。限于专业,不作详细介绍。

要说明的是,某些固体沥青往往与地下油藏有关,可作为找油标志。如我国西北地区的柴达木盆地、老君庙油田、克拉玛依油田均在地表发现有固体沥青;南美洲的特立尼达湖及亚洲的死海都是蕴藏量很大的著名沥青湖。分布于世界各地的沥青砂(tar sands)油田也是值得注意的矿产,如加拿大的阿萨巴斯卡(Athabaska)沥青砂油田储量约达800亿吨。

二、石油的物理性质

石油的物理性质包括:颜色、比重、粘度、凝固点与液化点、蒸发与沸点、热值、溶解性、荧光性、旋光性、导电性等。石油的物理性质取决于它们的化学组成,了解石油的物理性质不但与勘探、开发油气藏有关,而且许多物理性质是人们直观鉴别石油的标志。

由于石油没有固定的化学成分,因而往往不具备固定的物理常数。从生油母质、热演化程度,运移过程、保存条件及后期变化等都将影响原油的物理性质,因而从世界各地的油田看,几乎找不出物理性质完全相同的原油。

(一) 颜色

石油的颜色变化很大,从无色(白色)、淡黄、黄褐、深褐、黑绿至黑色均有。如我国四川及华北有的油井产无色石油,克拉玛依的石油呈褐至黑色,而玉门、大庆、胜利及任丘油田的石油则为黑色。颜色反映石油的组分组成,油质含量高的轻质油颜色浅;而胶质及沥青质含量高的重油颜色深。

(二) 比重

石油比重在我国是指1大气压下20℃石油的单位体积与4℃纯水单位体积的重量比。以 $d_{4,20}$ 表示之。

欧美各国常用API度和波美度来表示。它们与1大气压下60°F时石油的比重之间有下列关系:

$$\text{API度} = \frac{141.5}{60^\circ\text{F时比重}} - 131.5$$

$$\text{波美度} = \frac{140}{60^\circ\text{F时比重}} - 130.0$$

石油的比重变化较大。以 d_{4}^{20} 比重看，在20℃时，一般介于0.75~1.00之间。如大庆油田原油平均比重为0.8445，胜利油田原油平均为0.9088，玉门油田原油平均比重为0.8961。通常把比重大于0.89~0.90的石油，称为重质石油。比重大于1.00和小于0.75的石油，在自然界也有发现。如我国胜利油田的某些地区，伊朗、加利福尼亚和墨西哥等处，发现过比重大于1.00的石油；在苏联的苏拉罕油田，其石油比重仅0.71。

原油的比重取决于化学组成及与所处温度、压力及油中所含溶解气量有关。一般含胶质-沥青质多者比重大，含油质多者比重小；溶解气量大或油气比（1吨原油中所含溶解气的立方米数）大者比重小；在常压下，原油的体积随温度升高而增大。温度每升高1°F，单位体积所增加的体积称膨胀系数。它是随比重变小而增大的变量；压力的增加将使原油体积被压缩，每增加一个大气压单位体积原油被压缩而变化的体积数称压缩系数，当油藏中有气顶时，则随压力增加原油中的溶解气量亦相应增加，使原油体积不断增加。

由于上述各种因素的综合影响，原油比重一般随深度的增大而变小。

比重的大小往往反映石油的工业价值。比重小、表示轻馏份多，工业价值高。

（三）粘度

流体的粘性或粘滞性，是由于分子运动的影响产生的。当流体各部分之间具有相对运动时，就会产生摩擦切应力来阻止这种相对运动，这一特性被称为流体的粘滞性。一般用粘度（或粘性系数） μ 来表示。粘度越大，则流体越不易流动，因而粘度是流体动能的度量。

石油的粘度，可用绝对粘度或相对粘度来表示。

在CGS制中，绝对粘度的单位是“泊”，即当用1达因的切力作用于流体，使相距1厘米，面积为1厘米²的两液层发生相对流动，如果流动的速度为1厘米/秒，则该流体的粘度为1“泊”。实际应用中常采用“厘泊”为单位，1“泊”=100“厘泊”（达因·秒/厘米²）。

由于绝对粘度测定较繁，常以相对粘度代之。相对粘度即流体绝对粘度与同温度下水的绝对粘度之比。其数值可用恩氏粘度计直接测得。

石油在20℃以下按比重不同，其粘度变化范围很大，可自几厘泊至几千厘泊。一般我国的石油粘度为几十到几百厘泊，见表1—3。粘度的大小决定了石油流动能力的强弱，与产油率直接相关。

影响石油粘度的因素是多方面的。一般来讲，与石油的化学成分、比重、温度、压力、溶解气量等有关。

烃类的粘度由烷烃→芳香烃→环烷烃逐渐增大，因而石油中若烷烃含量多的则其粘度小，反之芳香烃及环烷烃含量多的则粘度大。我国大庆油田的原油含油质较多，50℃时的粘度为9.3~21.8厘泊；而孤岛油田则因含胶质及沥青质较多，50℃时的粘度高达103~6451厘泊。

石油的粘度大小除决定于它的组成外，还受比重、温度、压力的影响。一般规律是：粘度随比重加大而增大；随温度增高而降低；随压力增加而增大。这是因为，比重大说明重成分分子多，分子间聚力大；温度增高会使分子间的聚力减弱；而压力加大又使分子间的聚力增强；聚力的大小反映在流动时的内摩擦阻力上。此外，石油中溶解气体越多，则粘度越小。

(四) 凝固点与液化点

由于温度的下降, 液体石油开始凝固为固体时的温度称凝固点。石油凝固点的高低与石油中重质组分的含量有关, 特别是与石蜡含量有关, 石蜡含量多, 凝固点则高。各地区石油的凝固点变化范围较大, 常在 50°C 到 30°C 之间。我国各油田原油凝固点见表1—3。

凝固的石油, 当温度上升达液化点时开始液化。在凝固与液化之间可以出现中间状态。富含沥青质的石油, 在温度降低时变粘但无明显的凝固现象; 而富含石蜡的石油, 则随温度下降石蜡析出并使石油逐渐凝固。

凝固点高的原油易结蜡, 给采油及运输造成困难, 因而低凝固点石油为优质石油。

(五) 蒸发与沸点

蒸发为常温、常压条件下, 液体石油表面产生的汽化过程, 首先是轻组分逸出, 同时也会携带出部分重组分。其结果导致石油比重和粘度增大。

石油的沸点变化范围很大, 其初沸点取决于化学组成。轻组分越多, 比重愈小则初沸点愈低。一般比重在0.9以下的石油, 初沸点低于 100°C , 反之则高于 100°C 。

(六) 热值

可燃有机矿产(煤、油页岩、石油等)燃烧时均能产生大量的热量。每公斤可燃矿产燃烧时所产生的热量为热值。石油的热值每公斤可达 $10000\sim 11000$ 千卡, 较烟煤的热值高 $40\sim 60\%$ 因而属优质燃料。

(七) 荧光性

石油在紫外线照射下, 发出特殊“光亮”的特征, 称石油的荧光性。这种发光性来自石油中的芳烃和非烃类, 饱和烃不发光。

石油的荧光性灵敏性很高, 只要溶剂中含有十万分之一的石油和沥青物质, 即可发光。发光颜色随石油或沥青物质的性质而变, 轻质油的荧光为浅兰色, 含胶质较多的油为绿色或黄色, 含沥青质较多的油为褐色。发光强度在一定范围内, 与石油类物质的浓度成正比; 但越过一定浓度数值, 则产生干扰, 发光强度反而降低。发光颜色及强度均不受溶剂性质的影响。

常利用石油的荧光性鉴定岩石露头、岩心、岩屑及泥浆中的微量石油。荧光测井也是建立在此基础上的。

(八) 旋光性

石油具有一种特殊的光学性质, 即当偏光(电磁波)在其中进行时, 能使偏光面向左或向右旋转, 称之为旋光性。

旋光性的产生, 是因为在组成石油的某些化合物中, 有些碳原子具不对称结构所致。旋光性是生物成因的天然有机化合物的特征, 称具旋光性物质为光学活性(optically active)物质。对着光线的进行方向能使偏光面向右旋的, 称右旋性(dextrorotary); 向左旋转者称为左旋性(laevorotary)。石油主要为右旋的, 左旋者少。人工合成的有机物或天然无机物(石英及冰洲石除外)属光学惰性(optically inactive或optically inert)物质, 不具旋光性, 因而旋光性常作为石油有机成因的证据之一。

(九) 导电性

石油是一种非导体, 具有高的电阻率, 一般在 $10^9\sim 10^{16}$ 欧姆-米范围内。因而, 在碎屑岩剖面中, 油层是以高阻为特征的, 油层电阻率一般为水层的 $1.5\sim 4$ 倍; 在碳酸盐岩

表1-3 我国一些主要油田的原油性质及组成

油田	层位	油层深度 (米)	地面比重 (d_4^{20})	凝固点 ($^{\circ}\text{C}$)	粘度 (厘泊)		含蜡量 (重%)	含硫量 (重%)	沥青量 (重%)	胶质量① (重%)	残炭量① (重%)
					地 下	地 面 (50°C)					
大庆	萨满油组	750~1125	0.875~0.886	22.4~24	8.6~9.6	19~21.8	22.6~24.1	0.025~0.08	0.4~16	13.3~15.7	2.7~3.6
	葡萄花油组	850	0.842	24	4.7	9.3	17~20	0.059~0.13			
大港	东营、馆陶 明化镇	1100~2159	0.9101~ 0.9223	-16.8~27.7	6.5~23.5	47.7~93.4	8.3~9.97	0.1697	12.60		3.56
胜利	东营、沙河 馆陶	1330~2470	0.86~0.96	-9~34	2~135	25~3600	2.5~24	0.4~1.4	4.00	29.30	6.90
	孤岛	1150~1400	0.93~0.99	-32~-10	18.4~119.1	103~6451	4.9~7.2	1.13~3.38	5.80	34.60	7.80
辽河 (曙光)	沙河街	880~2400	0.8605~ 0.9100	21~23	1.0~3.0	1.5~34	8~16			15.60	3.60
	扶余	300~500	0.87	18~21	21~24	22.9	18~23	0.17	0.24	17.00	4.00
江汉	潜一潜三 潜四段	737~3455	0.8485~ 0.9932	24~32	1.5~99.4	11.9~5719	2.8~11.4	0.29~8.8	1.11	22.00	2.80
	任丘		0.8837	36		57.10	22.80	0.31	2.5	23.20	6.70
长庆	延安组	1330~1600	0.84~0.85	-4~21	1.79~7.6	4.54~6.83	7.28~19.28	0.09~0.13			
	克拉玛依	600~2400	0.86	-22~5	5~20	50	微~7	0.05			
玉门	L 层	790	0.858	15.5	3.3	45.0	8.3	0.12			
	冷湖	200~800	0.79~0.81	-9	0.86~0.87	2.36 (20°C)	8.38	0.011			

①为1975年以前石油化工研究院平均值资料(据石油工业部1977)。

剖面中则不一定，若围岩为高电阻的致密灰岩，油层视电阻率往往低于致密围岩的视电阻率。

(十) 石油的溶解性

1. 石油在水中的溶解性

石油主要由各种烃类化合物组成。由于烃类难溶于水，因此，石油在水中的溶解度很低。利用这一性质，在野外及井口可初步鉴定岩样含油程度。

2. 石油在有机溶剂中的溶解性

石油易溶于各种有机溶剂。石油的组成成分不同，其溶解能力亦不同。最常用的有机溶剂为：三氯甲烷、四氯化碳、苯、石油醚、醇（酒精）等。

利用石油溶于有机溶剂的性质，可在野外或井口初步鉴定岩石中有无微量石油存在。方法为：将岩石粉碎（或小块岩心、岩屑），放入装有有机溶剂的容器内浸泡，如含石油则溶剂颜色发生变化，随含油量的由少到多，颜色从浅黄到黄褐逐步加深。利用此性质还可测定含油岩石的含油饱和度及进行原油成分分析等。

我国目前以陆相含油盆地油藏为主，绝大多数原油属石蜡基原油，粘度较高。因此高含蜡、高凝固点是我国现有原生油藏原油性质的基本特点。

第二节 天 然 气

自然界中凡天然生成的气体，如地壳中由生物化学作用、变质作用、放射性和大气成因的气体，都可叫天然气。

在石油地质工作中，通常将生物成因为主的油田气或气田气称天然气，或可燃气。

一、天然气的化学组成

天然气是由气态的低分子烃和一些非烃气体混合组成的。

天然气的元素组成，据统计资料为： $C-42\sim 78\%$ ； $H-14\sim 24\%$ ； $O+S+N-0.3\sim 44\%$ 。

天然气的化合物组成主要是各种低分子烃类，其中甲烷含量占绝对优势，一般在80~89%以上。其次为乙烷、丙烷、丁烷等，它们是天然气中的可燃成分，称为重烃。重烃在天然气中的含量变化范围较大，从小于百分之一到百分之几十。如川南气田的天然气中，重烃含量一般小于1~4%；川中气田气或油田气中，重烃含量较高，一般在10%左右，个别可达50%。在 C_2-C_6 的烷烃中，一般碳数越大，在天然气中的含量越少。

天然气中的非烃化合物含量一般较少，包括二氧化碳、氮、氧、氢、硫化氢及一氧化碳等气体，以及极少量的氦、氩等惰性气体。在个别情况下，也曾发现二氧化碳、硫化氢或氮含量很高，甚至以它们为主要成分的气藏。我国华北济阳凹陷及冀中凹陷中的油、气田气就有这种例子，如赵兰庄构造孔店组和沙河街组四段所产天然气含 H_2S 高达92%。国外也发现有，如美国科罗拉多州麦克卡伦凝析气田， CO_2 含量达90%以上，个别并达97.3~98.3%；加拿大萨斯喀彻温西部上寒武统所产天然气中， N_2 含量达96%。氮、氩等惰性气体在天然气中的含量一般仅百分之几。但个别情况下也可含量较高，如美国本得隆起二叠系砂岩中产出的天然气，氮的含量高达8.6%；我国四川震旦纪石灰岩中的天然气，