

试 用 教 材

天然气地质学

(石油及天然气地质专业)

陈荣书 袁炳存编

武汉地质学院石油教研室

一九八三年十二月

目 录

前言:	(1)
绪论:	(2)
第一章: 气(油)藏中流体的基本性质	(4)
第一节: 天然气	(4)
一、天然气的概念和产出类型	(4)
二、天然气的化学组成	(6)
三、天然气的物理性质	(7)
第二节: 石 油	(11)
一、石油的概念及化学组成	(11)
二、石油的物理性质	(12)
三、海、陆相原油的基本区别	(13)
第三节: 油(气)田水	(15)
一、油(气)田水的概念及产状	(15)
二、油田水的矿化度和化学组成	(15)
三、油田水的类型	(17)
第四节: 天然气及石油的碳、氢稳定同位素	(17)
一、稳定同位素的概念, 碳稳定同位素分馏机理	(18)
二、碳、氢稳定同位素在自然界的分布、比值符号和标准	(19)
三、石油中碳、氢稳定同位素	(20)
四、天然气中碳、氢稳定同位素	(21)
第二章: 储集层和盖层	(23)
第一节: 储集层的物理性质	(23)
一、储集层的孔隙性	(23)
二、储集层的渗透性	(24)
三、储集层的孔隙结构	(25)
第二节: 储集层类型	(27)
一、碎屑岩储集层	(27)
二、碳酸盐岩储集层	(34)
三、其它岩类储集层	(41)
第三节: 盖层	(41)
第三章: 圈闭和气(油)藏	(43)
第一节: 圈闭和气(油)藏的概念、分类和度量	(43)

一、圈闭的概念和分类	(43)
二、圈闭和气(油)藏分类方案	(44)
三、圈闭和气(油)藏的度量	(44)
第二节 构造气藏	(45)
一、背斜气藏	(46)
二、断层气藏	(50)
三、裂缝性背斜气藏	(52)
四、刺穿气藏	(53)
第三节 地层气藏	(54)
一、岩性气藏	(55)
二、不整合气藏	(60)
三、礁型气藏	(62)
第四节 流体(水动力)气藏	(64)
一、圈闭形成机理的流体力学基础和流体圈闭	(65)
二、流体(水动力)气藏的基本类型	(66)
第五节 复合气藏,圈闭和气(油)藏小结	(69)
一、复合气藏的基本概念及主要类型	(69)
二、圈闭和气(油)藏小结	(71)
第四章 天然气成因	(72)
第一节 天然气成因概述	(72)
一、天然气的来源	(72)
二、有机质演化成烃的阶段和模式	(72)
第二节 生物成因气	(76)
一、甲烷气形成的生物化学和沉积条件	(76)
二、微生物合成甲烷的机理及影响甲烷产率的因素	(78)
三、生物成因气的化学组成	(79)
四、生物成因气的分布和潜量	(81)
第三节 与成油作用有关的天然气	(82)
一、热降解、热裂解成因气与生物成因气的基本区别	(82)
二、热裂解气形成机理	(82)
三、不同母质和不同演化阶段成因气的区别	(83)
第四节 煤成气	(85)
一、概述	(85)
二、成煤的原始有机质和主要演化阶段	(85)
三、煤成气(油)阶段及产率	(86)
第五节 非烃气的成因	(89)
一、氮气的成因	(89)
二、二氧化碳气的成因	(90)
三、硫化氢气的成因	(91)
四、氢气的成因	(92)

第五章 烃源岩识别, 评价及油(气)源对比	(94)
第一节 烃源岩识别和评价	(94)
一、烃源岩的基本概念	(94)
二、识别和评价烃源岩的方法和指标	(94)
三、应用有机相概念评价烃源岩	(100)
四、应用洛帕廷法计算烃源岩的成熟度	(103)
第二节 油(气)源对比	(105)
一、油(气)源对比概述	(105)
二、油、源对比	(106)
三、气、源对比	(110)
第六章 天然气藏的形成	(113)
第一节 天然气初次运移	(113)
一、泥质岩压实过程中流体三维运移	(113)
二、欠压实页岩、高压异常及其对流体运移的影响	(114)
三、粘土岩脱水对天然气初次运移的作用	(115)
四、微裂缝对天然气初次运移的重要性	(115)
第二节 天然气二次运移	(116)
一、二次运移的基本概念	(116)
二、二次运移的阻力——毛细管力	(117)
三、二次运移的动力	(117)
四、二次运移的方向	(121)
五、二次运移的时间、一般模式和距离	(122)
第三节 油气聚集	(123)
一、单一圈闭的油气聚集	(124)
二、系列圈闭的油气聚集(差异聚集)	(124)
第四节 天然气藏形成的基本条件	(126)
一、充足的气源	(126)
二、有利的生、储、盖组合	(127)
三、大容积的有效圈闭	(128)
第五节 气藏形成时间	(128)
一、利用确定天然气的生成期作为气藏形成的最早时间	(128)
二、利用圈闭形成的时间作为确定气藏形成的最早时间	(129)
三、根据圈闭容量确定天然气藏形成时间	(130)
四、根据成岩作用的岩石—矿物学研究确定气藏形成时间	(130)
第六节 气藏的破坏	(131)
一、引起气藏破坏和再分布的地质作用	(131)
二、氧化和微生物降解作用	(132)
三、扩散作用	(132)
第七章 含气盆地的特征及典型气区分析	(134)
第一节 含气(油)盆地的概念及基本特征	(134)

一、含油气盆地的概念.....	(134)
二、含气盆地的基本特征.....	(135)
第二节 北海南部——中欧北西部含气区的气田地质.....	(136)
一、区域地质及含气(油)概况.....	(136)
二、典型气田简介.....	(137)
三、控制天然气分布的地质条件.....	(144)
第三节 西西伯利亚盆地北部含气区的气田地质.....	(147)
一、区域地质及含气(油)层概述.....	(147)
二、典型气田、气油田简介.....	(150)
三、赛诺曼组气藏的形成条件.....	(153)
第四节 川南含气区气田地质.....	(155)
一、区域地质及产气层概述.....	(155)
二、典型气田简介.....	(156)
三、川南含气区海相碳酸盐岩中气藏形成条件.....	(159)

前言

本教材是应我国当前找气工作之急需,在为煤炭部煤成气短训班开设的“天然气地质学”讲稿的基础上,补充、修改而成的。

本书由陈荣书和袁炳存(第二章)两人编写。编写大纲在教研室内讨论,并征求过有关同志的意见。初稿完成后,袁炳存、王淑珍两同志细致阅读全稿,提出不少改进的建议。审稿由卢松年付教授和万静萍同志负责。

该教材编写过程中,得到煤炭部勘探司领导,我院陈钟惠付院长、袁宝华、褚松和及教材科其他同志的大力支持和帮助;得到短训班同志的多方鼓励;绘图室的王润斋、方敏、唐核之及石油专业的范士芝等同志挤时间协助清绘图件、搜何生协助集部分资料,使本书能在较短的时间内得以完成。

在此作者对完成本书过程中给予支持和帮助的有关单位、领导及同志,一并表示深切的感谢!

本书从编写到印刷的时间很急促,对有关天然气地质的专著和文献的搜集很不充分,分析研究也不精细,无论在内容上和文字上都比较粗糙,甚至有错误和不妥之处,编者恳请前辈学者、有关专家及同志们给予批评指正。

该教材是以没有接受过系统石油地质学训练的地质人员为主要对象,比较系统但扼要地讲授天然气地质学的基本问题。全书共分七章,包括三大部分:一,气藏的基本要素及各类气藏的基本特征(1—3章);二,气藏形成原理及其在勘探中的应用(4—6章);三,典型气区气藏形成的地质条件的分析(7章)。同时尽可能介绍油气地质的新进展(如碳、氢稳定同位素在油气勘探中的应用,有机相的概念及其在评价烃源岩和盆地中的应用等……),使它对已有系统石油地质训练的同志,在找油气特别是找气工作中,仍有相当参考价值。

编者谨以此书献给油气勘探第一线的同志们,希望能对加速油气勘探,特别是天然气勘探尽一份微薄的力量。

编者 1983年10月于武汉地质学院

绪 论

近二十年来,天然气勘探和生产获得巨大的持续增长,甚至比石油以更快的速度发展(表0—1)。

表0—1: 1960—1980石油和天然气产、储量增长对比表

年 份	气 产 量 (亿米 ³)	油 产 量 (亿吨)	气 储 量 (万亿米 ³)	油 储 量 (亿吨)
1960	4684.0	10.70	7.46	358.4
1969	9558.0	20.55	42.41	717.5
1979	16186.0	32.51	72.87	878.93
1980	14926.2	29.846	77.55	860.0
增长(79/60)	3.4556倍	3.0383倍	10.395倍(80/60)	2.2倍

随着探明储量的增长,天然气的重要性明显提高。1979年世界天然气(折合石油为640.9亿吨)已占油气总储量(1519.83亿吨)的42%(1969年为34.2%)。预计在不久的将来,天然气的储量有可能接近石油的储量。

由于天然气生产以较快的速度持续增长。天然气在能源结构中占有相当大的比例,在油气总量中占有的比例不断地提高。1980年天然气在世界总能源量中所占比例为19%,油气比为2.5比1,预计到2000年天然气在油气总量中的比例,将有更大增长(表0—2)。

表0—2 1965—2000能源结构变化和预测

(据World oil, 1981, V. 192, N05)

能 源	1965	1980	1990	2000
油	42	47	38	31
气	15	19	20	19
煤	37	26	27	28
水及其它	6	6	7	8
核能		2	6	10
综合能及重油			2	4
油气比	2.8 : 1	2.5 : 1	1.9 : 1	1.6 : 1

*油气比一项,编者根据该表数据换算的。

有些国家(荷兰、加拿大、美国等)天然气生产,不仅发展速度快,而且产量(折合成

原油当量)已超过原油,成为第一能源;苏联、英国的油气比,亦达到较高的水平(表0—3))

表0—3 1979世界上若干国家油、气产量及油、气比情况简表

国 家	天然气产量 (亿米 ³)	气折合油产量 (亿吨)	原油产量 (亿吨)	油/气
苏 联	4065.9	3.576	5.85	1.64/1
美 国	5659.8	4.98	4.79	0.96/1
荷 兰	769.1	0.6764	0.012*	0.018/1
加 拿 大	1031.9	0.9076	0.7350*	0.81/1
英 国	556.3	0.4893	0.8000*	1.63/1

天然气勘探和工业所以发展如此迅速,原因是多方面的。

烃类天然气热值高、燃烧充分、热效率高、运输方便(在输气管道建成后),在工业和民用燃料、动力、改善油田经营提高采收率、合成化工产品、人造蛋白质及各种医药方面得到广泛的应用,对天然气的社会需求急剧增长。

高速发展的工业和科学技术为天然气勘探,特别是海上和极地冻土带的勘探,提供了有效的手段和技术;天然气价格的提高,也对天然气工业的发展起着重大的促进。

但是,更为重要的是找气思路的开阔,对天然气勘探起着巨大的推动作用。在六十年代以前,人们习惯地把天然气仅仅与石油联系在一起,天然气通常是找油的副产品。1959年在荷兰北部格罗宁根发现巨大的天然气田,经研究,认为该气田的天然气是煤成气。这一发现开阔了人们的思路,天然气不仅与石油伴生,煤及煤系地层亦可形成巨大的气藏。自六十年代以来,相继在北海南部海域中发现一系列与煤成气有关的大气田。此外,在苏联的德涅泊—顿涅茨盆地、维柳伊盆地、萨哈林岛、拉曼—伯绍拉等含煤盆地内发现巨大的天然气。六十年代到七十年代初西西伯利亚北部巨大天然气聚集区的发现,使天然气在油气资源中占有的地位起了质的变化。经研究该区的天然气是白垩世阿普特—赛诺曼阶煤系地层在成岩到早期变质作用阶段形成的生物成因气和煤成气。进一步打破了生物成因气只能形成小型气藏的传统观念,促进了天然气的勘探工作。

综上所述,我们可以说,二十多年来天然气工业的巨大发展,是社会需求,科学技术进步和思路开阔诸方面因素的结果。

我国曾是世界上最早开采天然气(公元前二百二十余年在四川自流井气田)的国家,由于利用现代油气勘探技术较晚,解放后三十多年来虽然速度发展很快,天然气产量增加了2000多倍,已探明一批气田和油田气藏,但与石油勘探和生产相比,仍然大大落后,目前油、气产量的比值约为7.3:1(1979)。

出现这种情况的原因是很多的。一般在油气开发的早期,石油的利用比天然气方便。因为,在建成输气管道以前,石油的储运比天然气方便,许多油田因无法储存而把天然气白白燃掉。因此,天然气的利用率低。这不仅对我国,而且对主要产油国发展过程中都带有普遍性。如美国1923年原油产量达到1亿吨时,油气产量比为3.5:1。苏联1958年原油超过1亿吨时,油/气比为3.6:1。

其次,是由于我们对天然气形成的地质条件研究不够,思路不够开阔,勘探路子不够宽,严重妨碍了对天然气的勘探。现在各单位,各部门都重视对天然气的研究和勘探。可以预计,在不久的将来,我国探明的天然气储量和产量将会成十倍地增长,甚至更多。

第一章 气(油)藏中流体的基本性质

所谓天然气藏(简称气藏)是指一定规模的天然气在地下储集层的特定部位(圈闭)聚集起来,成为有工业开采价值的矿藏。一般气藏是指纯天然气聚集。但在有些气藏中亦可以存在少量石油,呈油环分布在气、水之间,当石油经济价值不大时,也可当成气藏看待;如果石油数量较多具有一定经济价值时,则称为气油藏,或油气藏。

在天然气地质学中,以天然气藏为主要研究对象,因此本章着重介绍天然气的基本性质,对石油和油(气)田水仅作简要的介绍。

第一节 天然气

一、天然气的概念和产出类型

所谓天然气,从广义上理解,是指天然存在于自然界的一切气体。对于自然界存在的各种天然气,Б.А.索柯洛夫(Сороков, 1972)根据其存在的环境,分为八类。各类天然气的产出环境及组成的基本特征,如表1—1所示。

实际上,目前研究较充分的,是沉积圈中的天然气,特别是以烃类为主的天然气藏中的天然气。因此,在石油及天然气地质学中着重研究的是沉积圈中以烃类为主的天然气,即狭义的天然气。这些天然气在成分上以烃类为主,含有一定量的非烃气体。非烃气体大多与烃气伴生,仅占次要地位;但在一定条件下,也可以形成以非烃气为主的气藏;因此,无论从天然气的工业利用,或从研究天然气成因角度考虑,这些非烃类气体都不能不加以研究。

沉积圈中的天然气,依其存在的相态可分为:游离态、溶解态(溶于油和水)、吸附气和固态气水合物。依其分布特点可分为聚集型和分散型。

游离气是一切气藏中天然气存在的基本形式。只有大规模的游离气聚集,才能有效地开发和利用。聚集型天然气可以是气顶气,气藏气和凝析气。

气顶气是指与油共存于油气藏中,呈游离态产出的天然气。这种天然气无论从成因或分布上都与石油有着密切的关系。它的基本特点是重烃含量较高,一般占天然气重量的百分之几到几十,仅次于甲烷。

凝析气是一种特殊的油藏气,是在较高的温度、压力下由液态烃逆蒸发而形成的。采出后,由于地表的压力、温度较低,按逆凝结规律成为轻质的油。

气藏气是指单独聚集的天然气。它可以存在于油田内,可以存在于气田内。

分散型天然气包括油内溶解气,水内溶解气,煤层气和固态含水合物中的天然气。分散型天然气规模不大时没有开采价值,当达到一定规模后,即可综合利用。这种低品位而大规模的天然气藏,称为非常规气藏。技术科学发达而能源较紧张的国家已广泛开展研究,并已取得明显的经济效益。因此,开展非常规气藏形成条件的研究,加强这类气藏的勘探和综合

利用，应引起我们足够的注意。

表 1—1

天然气的分类(按索柯洛夫)

按存在环境分类的 气 体 类 型	化学基本成分	组成重要杂质	起 源
I 大气	N_2, O_2	Ar, CO_2 , Ne, He, Kr, Xe, H_2 , O_3	是化学、生物、放射性成因气体混合物
II 地表气			
a. 土壤及底土气体	CO_2, N_2, O_2	Ar, CH_4 , H_2 , N_2O 及来自空气的稀有气体	CO_2 , CH_4 , N_2O , H_2 主要是生化作用产物，再与大气混合
b. 沼泽及泥炭中气体	CH_4, CO_2, N_2	Ar, H_2 , CO, NH_3 , N_2O , H_2S 及来自空气的稀有气体	CH_4 , CO_2 , H_2 , NH_3 , N_2O , H_2S 主要是生化作用产物，其它来自大气
c. 海底沉积中的气体	CO_2, CH_4, N_2	N_2 , NH_3 , H_2S , Ar	除稀有气体外，都是生化作用产物
III 沉积岩中的气体			
a. 油田气	CH_4, C_2^+, N_2, CO_2	H_2S , NH_3 , Ar, H_2	除稀有气体外，主要是化学成因的气体，混入部分生化成因气体(如部份 H_2S 等)，在高温深处，正常细菌活动停止，生化成因气体就不存在。
b. 气田气	CH_4, N_2, CO_2	C_2^+ , H_2S , He, Ar, H_2 , CO_2 , N_2 , H_2 , C_2^+ , He, Ar	
c. 煤田气	CH_4	Ar	
d. 分散气体	CO_2, CH_4	N_2 , C_2^+ , H_2 , H_2S	
e. 溶于地层水中的气体	CO_2, CH_4	H_2S , C_2^+	
IV 海洋中气体	CO_2, N_2	NH_3 , H_2S , O_2 , Ar	NH_3 , H_2S , O_2 及部分 CO_2 有生化成因的，部分 CO_2 及 N_2 为化学成因，海洋表层有从大气进入的 CO_2 , N_2 及 O_2
V 变质岩中气体	CO_2, N_2, H_2	CH_4 , H_2S , He, Ar	除稀有气体外，都是化学成因的。
VI 岩浆岩中气体	CO_2, H_2	N_2 , H_2S , He, Ar在很深处有 SO_2 , HCl, HF	除稀有气体外，都是化学成因的。
VII 火山气体			火山气从地幔表层，到达沉积岩，由于与下层的气体混合而经受不同程度的改变
a. 高温气(从溶岩湖喷出)	CO_2, H_2, SO_2 , HCl, HF	N_2 , CO, NH_3 , He, Ar	
b. 喷出气体(100~200°C)	CO_2, H_2, H_2S , SO_2	N_2 , CO, NH_3 , He, Ar	
c. 温泉气	CO_2	N_2 , CO, NH_3 , He, Ar	
VIII 宇宙气	H_2, H, He	CO, CH基, CH_2 基, OH基及其它元素离子化了的原子	由于核反应，放射性反应及化学反应而成。

油内溶解气：任一油藏内总是溶有数量不等的天然气，每桶油内溶解气的数量少则几立方英尺，多可达几千立方英尺。含气量低时，采油时分离出的天然气只能放掉或烧掉，含气量高时应想法收集起来作动力或回注于油藏。

水内溶解气：包括低压水溶气和高压地热型水溶气。分散型水溶气的储量比常规气藏气大得多，但品位较低，一般含气量仅 $0.1-2$ 米³(气)/米³(水)，最高可达 $3-5$ 米³(气)/米³(水)，可以综合利用。如日本开采浅层碘水时，回收水溶气，年(1975)产量达 5.265 亿米³，占当年总产气量(30亿米³)的1/6。地热型水溶气是利用地热的付产品，美、日、澳、新等国已广泛利用。

水内溶解气和油内溶解气在一定条件下可以转变为游离气并聚集成气藏；反之，气藏气和气顶气亦可因条件改变，成为水内溶解气和油内溶解气。

煤层气是指煤层中所含的吸附气。煤层气的含量因变质作用程度和煤层顶板的透气性不同，有很大差异，一般含气量变化在0.1—20米³(气)/吨(煤)之间。1975年世界煤层气的回收量达22.37亿米³，相当世界总产气量的0.16%，但有些国家利用水平较高，如日本的煤层气回收量达2.69亿米³，约占本国当年产气量的9%。

气—水合物是固态的结晶化合物。在这种化合物中水的冰晶体格架扩展为包括气分子的晶体。有两种基本的单位：较小的单位晶胞含有46个水分子和8个甲烷（包括CH₄、H₂S、CO₂）等气体分子；较大的单位晶胞中含有136个水分子和8个丙烷、异丁烷气体分子。更大的丁烷和戊烷，则不能进入冰的晶体格架，形成气—水合物。

气体分子的大小及其形成的气—水合物的气/水的比率，如图1—1所示。

在标准温度、压力条件下，每米³气—水合物中含有近60米³到173米³甲烷。这就不难理解，在同样的储气空间，气—水合物为什么可以比游离态能储集更多的气体。

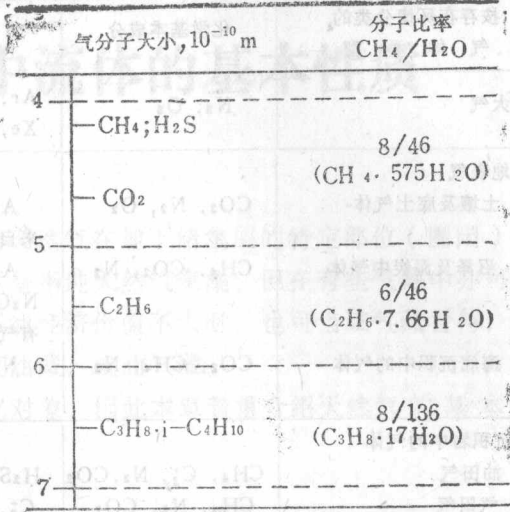


图1—1 气—水合物中容纳的气体分子及气/水比率关系图（据亨特，1979）

气—水合物是在冰点附近的特殊温度和压力条件下形成的（图1—2）。由于压力的对数与温度呈正线性关系，在大多数沉积盆地中压力增加的幅度远不能在更高温度条件下保持气—水合物的存在。一般达21—27℃时，气—水合物将被分解。因此，气—水合物主要分布在冻土、极地和深海沉积物分布区。苏联学者估计仅西伯利亚的气—水合物中天然气的储量即可达15×10¹²米³，但到目前为止，没有找到有效地利用这种资源的办法。

二、天然气的化学组成

沉积圈中的天然气藏，其主要成分是烃类气体，其中又以甲烷为主；非烃气体常见的有N₂、CO₂、H₂S及痕量到微量的惰性气体（包括氦、氖、氩、氪、氙、氮）。

雅科琴尼（В.П.Якуцени，1976）根据世界上不同时代、不同构造单位的2000个气

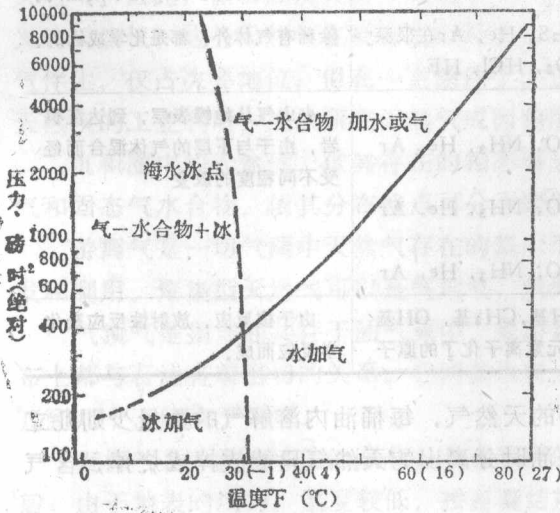


图1—2 海水与甲烷形成气—水合物的相图（据卡兹等，1959）

藏，15000个分析数据，绘制成按气藏数统计的气藏成分图（图1—3）。

从图可知，绝大多数气藏的成分是以烃类为主的气体组成的。烃类气体含量高于80%的

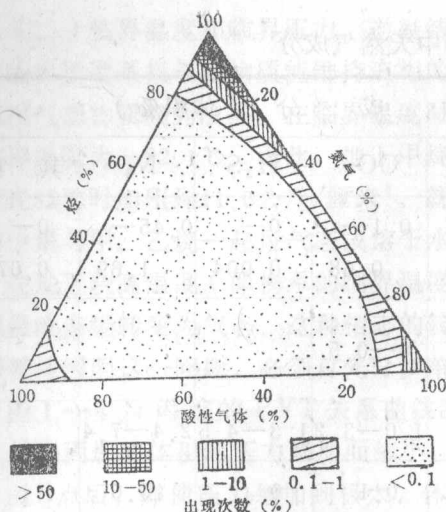


图 1—3 世界气藏成分图
(据雅科琴尼, 1976)

气藏, 约占气藏总数的85%以上。如按储量计算, 90%的天然气存在于烃含量大于90%的气藏中。氮气为主的只占百分之几, 而氮气含量高于90%的气藏不到气藏总数的1%。 CO_2 或 H_2S 为主要成分的气藏为数甚少, 远低于1%。

世界上若干地区和油气田中天然气成分, 如表1—2所示。

从表1—2可知, 世界上主要油气区和含气区的天然气, 都是以烃类为主, 其中绝大多数烃类含量占80%以上, 最高达99%, 只有少数气田中烃类含量低于80%。

在有些烃类为主的天然气藏中, 非烃气体的含量亦不少。如苏联什卡普夫气藏, N_2 含量达47%; 格罗宁根、哈令根、霍戈登气田和

罗马什金油气田的天然气中, N_2 含量都达10%以上。奥伦堡凝析气田和拉克气田的天然气中, H_2S 含量分别为1.3—4.5%和15.5%; CO_2 含量分别为1.0—3.2%和8—9%。

少数气藏是以非烃气体为主的。如美国科罗拉多州的韦尔登气田的 CO_2 含量高达92%; 我国广东三水盆地沙头圩背斜下第三系中发现高纯度的 CO_2 气藏, CO_2 含量达99.53%; 加拿大阿尔伯达潘塞河的泥盆系气藏中, H_2S 含量达88%; 我国河北赵兰庄油气田中的孔一段气藏, H_2S 含量高达92%; 美国德克萨斯州西布罗克气田的二叠系气藏中, N_2 含量达84—86%。

非烃气体混杂于烃类气体中, 成为有害成分; 当富集到一定程度时, 就可单独开发或综合利用, 成为有用的矿产资源。

在有些天然气藏中含有痕量到微量的惰性(稀有)气体。它们在沉积圈中不能单独形成气藏。大多溶于油、水或和烃气共存。只有含有相当大的浓度, 而且数量较巨大时, 才能作为特种气藏加以开采。在泉水中微量的稀有气体即具医疗上的价值。虽然, 仅有少数气田的稀有气体具工业价值, 但稀有气体研究, 还具有年代学上的意义, 可利用它研究储集层中的气是附近地层中生成的, 还是深处运移而来的, 这对研究油气生成、运移和油源对比都有一定意义。因此, 受到重视。

三、天然气的物理性质

在常温、常压下, 以气态存在的烃类有: 甲烷、乙烷、丙烷、丁烷、异丁烷。气态烃和戊烷的主要物理参数列表(表1—3)如下。

(一) 比重:

天然气的相对比重——在标准状态下, 单位体积的天然气和空气重量(1)之比, 一般为0.65—0.75, 个别可高达1.5。天然气的相对比重随重烃含量增加而变大。此外, 亦随氮气、硫化氢气、二氧化碳气含量的增加而变大。

一立方米天然气的重量一般为0.75公斤, 比一公升汽油还要轻。一般天然气液化后, 体积缩小1000倍, 故在天然气和原油的产、储量换算中, 常采用1000立方米气相当1立方米原油。其利用价值也大致相当。

表 1—2

世界上若干地区和油气田中天然气成分

油气田名称	时代	气 体 成 分 (体 积 %)					
		CH ₄	重 烃	CO ₂	H ₂ S	N ₂	其 它
苏 联	西西伯利亚气田	97.8— 99.01	痕量— 0.855	0.1— 0.68	0— 0.004	0.45— 1.69	0— 0.07
	阿塞拜疆凝析气藏	91.3— 97.93	1.58— 8.66	0—0.5			
	奥伦堡凝析气田	P ₁ —C ₃	81.5	5—10	1.0—3.21, 3—4.5	2.4—7.4	
	罗马什金油田	D	40.0	49.9	0.1	0	10.0
	什卡普夫油田	D	45.5	6.1	0.8	0	47.6
美 国	霍戈登气田	P	74.3	11.4	0	0	14.0
	胡汉斗油气田	Ar+P	91.3	6.38	0.1	0	1.0
中 国	圣灯山气田	P ₁	94.57	0.99	0.24	0	2.43 H ₂ 0.02
	大庆油田	K ₁	83.82	13.0	0.11	0	2.58
	老君庙油田	N	65.0	35.0	0.1		
北 海 盆 地	荷兰格罗宁根气田	P ₁	81.3	3.5	0.3	0	14.0
	荷兰哈令根气田	K ₂	77.1	2.87	0.02	0	19.7
	英国希威特气田	本塔尔砂岩 (T)	83.19	8.39	0.08	0.02	8.4
		希威特砂岩 (T)	92.13	5.49	0.02	0	2.36
	法国拉克气田	J ₃ —K ₁	68.66	5.57	9.92	15.52	0.33

表 1—3

气态烃和戊烷的物理性质简表

(转引自李汶国:“石油地球化学基础”, 1980)

烃类化合物	沸点 ℃	临界温度 ℃	临界压力 kg/cm ²	气体液化的压力 kg/cm ²		相对比重 (与空气/升, 0℃, 比)	重量(克) /升, 0℃, 1大气压
				21℃	32℃		
甲烷CH ₄	-161.5	-82	51.77	—	—	0.554	0.7168
乙烷C ₂ H ₆	-88.6	+32.3	49.80	37.66	48.00	1.038	1.3564
丙烷C ₃ H ₈	-42.0	+96.8	43.40	9.14	11.60	1.523	2.0196
丁烷C ₄ H ₁₀	-0.5	+152.0	36.70	2.58	3.74	2.007	2.6726
异丁烷C ₄ H ₁₀	-12.0	+134.9	37.80	3.60	4.80	2.007	2.6726
戊烷C ₅ H ₁₂	+36.1	+198.0	34.20	0.56	0.83	2.491	3.3264

(二) 临界温度和临界压力, 逆凝结和逆蒸发:

临界温度系指气相物质能维持液相的最高温度。高于临界温度时, 不论压力有多大, 都不能使气态物质凝为液态。在临界温度时, 气态物质液化所需的最低压力称临界压力。甲烷的临界温度为 -82.1°C , 因此, 地下甲烷除溶于石油和水外, 呈气态存在, 乙烷大致相似; 丙烷在 32°C 时加压到 11.6 公斤/厘米 2 , 就可液化, 因此丙烷和丁烷在地下大多以液态存在, 仅有少量与甲、乙烷一起呈气态或溶于水中。

在地下较高温(即物系的临界温度和最高凝结温度之间)的特定条件下, 随压力增加可以使液态烃转变为气态。这种相态的转化(逆蒸发), 是凝析气藏形成的基本原因。为了较清楚地阐明这一问题, 必须首先分析单一烃类化合物的物系压力、体积和温度的关系曲线。图1—4为丙烷的PVT关系曲线图。当物系在 71.1°C 时, 由P—V关系曲线可以看出: 气态丙烷的体积随压力增加而缩小; 到达A点后压力不变而体积继续缩小, 直到B点为止; 过B点后, 即使压力增加到极大, 体积变化甚微。随着物系温度的上升, 等压缩小体积的A $_1$ —B $_1$ 线段逐渐缩短, 直到成为一点, 即K点。A点为开始液化点; A $_1$ B $_1$ 为气液两相并存, 保持平衡状态; B点为完全液化点。在两相平衡时, 等压缩小体积的压力为饱和蒸汽压, 其大小取决于温度。K点为临界点, 该点的温度和压力称为临界温度和临界压力。丙烷的临界温度为 96.8°C , 临界压力为 43.4 公斤/平方厘米。当温度超过临界温度, 即使最大的压力, 也不能使气体液化, 因此也就不存在等压的两相平衡状态。

对于多组分烃类物系的相平衡状态, 则如图1—5所示。

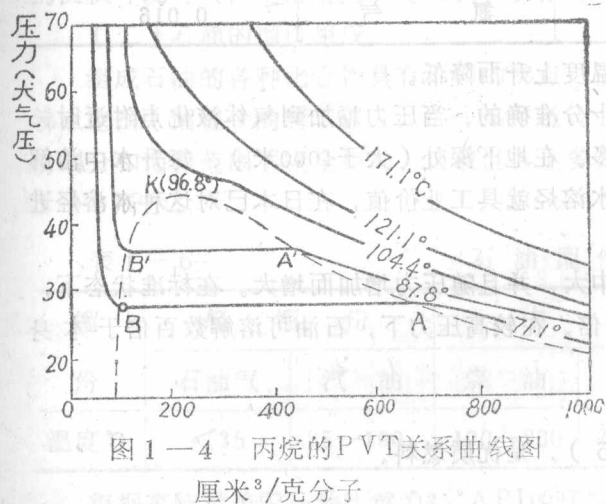


图1—4 丙烷的PVT关系曲线图

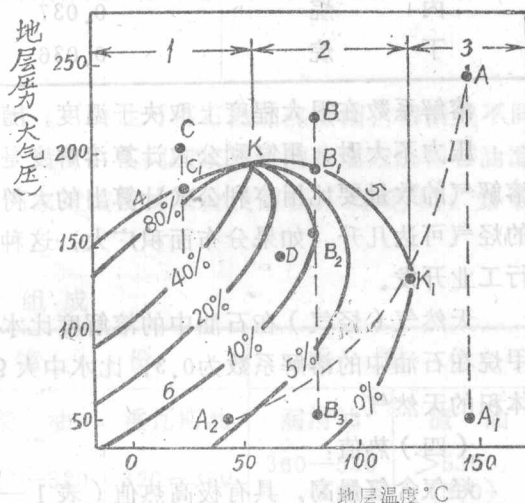


图1—5 多组分烃类物系相图

图中K点为临界点, 临界温度为 52.8°C ; K $_1$ 为临界凝结点(最高临界温度), 代表该物系两相并存的最高温度; 曲线4为泡点曲线, 其上的1区为纯液相区, 即压力超过泡点压力时, 仅含有溶解气, 而不存在游离气的纯油藏分布区; 曲线5为露点曲线, 该曲线上方和右方为纯气相区, 其中3区为纯气藏分布区, 而2区为凝析气藏分布区; 泡点曲线4和露点曲线5包围区为气、液两相平衡区, 既有气相又有液相, 即有游离气顶的油气藏分布区。

在油层埋藏较浅, 地层温度低于临界温度时, 物系相态的变化符合正常的凝结和蒸发概念。例如, 25°C 时随压力增加, 物系中凝结的液体逐渐增多, 当压力达到 180 大气压(图1—5 C $_1$ 点)时, 完全被液化。

当埋藏深度增大，地层温度界于临界温度和临界凝结温度之间，如82.5℃时，低压下物系以气态为主，气液两相平衡，随压力上升液相逐渐增多，符合正常凝结的概念。但当压力达到155大气压（图1—5 B₂）后，随压力增大，液相反而减少，气相反而增加，到达B₁点则完全气化。这与正常蒸发概念完全相反，称之为逆蒸发。反之，从B₁到B₂点的凝结，同理称为逆凝结。凝析气藏的形成，就是逆蒸发的相态转变的结果。

（三）溶解度：

天然气能不同程度溶于水和油。溶解的数量取决于天然气和溶剂的成分、气体的压力。他们之间的关系，符合亨利公式： $Q = \alpha \cdot P$ 。式中Q为溶解度（单位体积溶剂中溶解的气体的体积数）； α 为溶解系数，或称亨利系数；P为气体压力。

当温度为20℃，压力为1大气压时，常见的天然气在水中的溶解系数，如表1—4所示。

表1—4 常见的天然气在纯水中的溶解系数（20℃，1大气压）

（据B.A.索柯洛夫，1965）

天 然 气 成 分		溶 解 系 数	天 然 气 成 分		溶 解 系 数
甲	烷	0.033	异 丁 烷		0.025
乙	烷	0.047	二 氧 化 碳		0.87
丙	烷	0.037	硫 化 氢		2.58
丁	烷	0.036	氮 气		0.016

溶解系数在很大程度上取决于温度，随温度上升而降低。

压力不大时，用亨利公式计算溶解度是十分准确的。当压力增加到气体液化点附近时，溶解气的数量要比用亨利公式计算出的大得多。在地下深处（大于1000米），每升水中溶解的烃气可达几升，如果分布面积广大，这种水溶烃就具工业价值，在日本已对这种水溶烃进行工业开发。

天然气（烃气）在石油中的溶解度比水中大，并且随压力增加而增大。在标准状态下，甲烷在石油中的溶解系数为0.3，比水中大9倍。在较高压力下，石油可溶解数百倍于本身体积的天然气。

（四）热值：

烃气含氢量高，具有极高热值（表1—5），是优质燃料。

表1—5 天然气中烃类的热值（据美国天然气工程手册，1959）

烃 类	热 值 （发热量）			
	千卡/米 ³ (净值)	千卡/公斤(净值)	千卡/米 ³ (全值)	千卡/公斤(全值)
甲 烷	8135.23	11362.8	9037.16	12622.6
乙 烷	14564.83	10794.0	15922.19	11800.0
丙 烷	21012.29	10529.2	22834.01	11442.0
丁 烷	27691.93	10365.3	30085.17	11261.1

第二节 石油的基本性质

一、石油的概念及化学组成

(一) 石油的概念及元素组成

石油是以液态形式存在于地下岩石孔隙中的可燃有机矿产。多呈黑褐色、棕色和浅黄色，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，液态石油通常溶有大量天然气，并溶有固态烃及高分子的重杂原子化合物及少量杂质。

石油的化学组成极为复杂，但就其元素组成而言，却只局限在一定的变化范围内。石油的元素组成中，碳、氢两元素占绝对优势。一般碳含量占83.0—87.0%，平均为84.5%；氢含量为11.0—14.0%，平均为13.0%；两元素合计占97.5%。C/H重量比值介于5.7—8.5之间，大多在6.0—7.5范围内，C/H原子比约为1:1.8，在各种可燃有机矿产中，石油的氢含量较高。碳、氢两元素构成的烃类组成石油的主要部分。

石油中还有氧、硫、氮诸元素，它们的含量不大，一般为1—3%，个别可达5—6%或更大些，但它们与碳、氢元素一起构成多种非烃化合物，在石油中却占有相当大的比率。

此外，在石油的灰分中还发现三十多种微量元素。其中以钒(V)和镍(Ni)为主，占微量元素的50—70%，占石油的 10^{-4} —0.13%。由于钒、镍在煤、油页岩、生物的灰分中亦有分布，且很稳定，被认为与沉积过程中生物的富集作用有联系。V/Ni比值的大小与一定的沉积环境有关，是常用的确定沉积环境指标之一。

(二) 石油的馏份组成

组成石油的各种化合物具有不同的沸点，根据这一特性可将石油加热蒸馏，切割成不同沸点范围(馏程)的若干部分，每一部分就是一个馏份。不同国家采用的蒸馏方法和石油馏份划分和馏程范围不完全相同，目前世界上多数国家对馏份的划分及馏程温度范围，如表1—6所示。

表1—6

石油馏份组成

馏份	轻 馏 份		中 馏 份			重 馏 份	
	石油气	汽油	煤油	柴油	重瓦斯油	润滑油	渣油
温度℃	<35	35—190	190—260	260—320	320—360	360—530 (500)	>530 (500)

根据亨特对美国一种比重为35°API的环烷型原油的测定，各馏份的体积百分比如下：汽油—27%，煤油—13%，柴油—12%，重瓦斯油—10%，润滑油—20%，渣油—18%（以脱石油气后各馏份总计为100%）。

(三) 原油的组份和化合物组成

组成原油的复杂化合物可以根据对有机溶剂和吸附剂具有选择性溶解和吸附的性能，将原油分离为若干组份。各组份的分离流程和定义，如表1—7所示。

原油的化合物组成包括：正烷烃、异构烷烃、环烷烃、芳烃—环烷芳烃，含N、S、O化合物和有机金属化合物。一般以烃类占优势，非烃类含量小于10—20%；少数重质原油可达30%，最高可达50%。

典型的环境型原油的馏份与化合物组成之间的关系，如图1—6所示。

表 1—7

原油组份的分离流程图

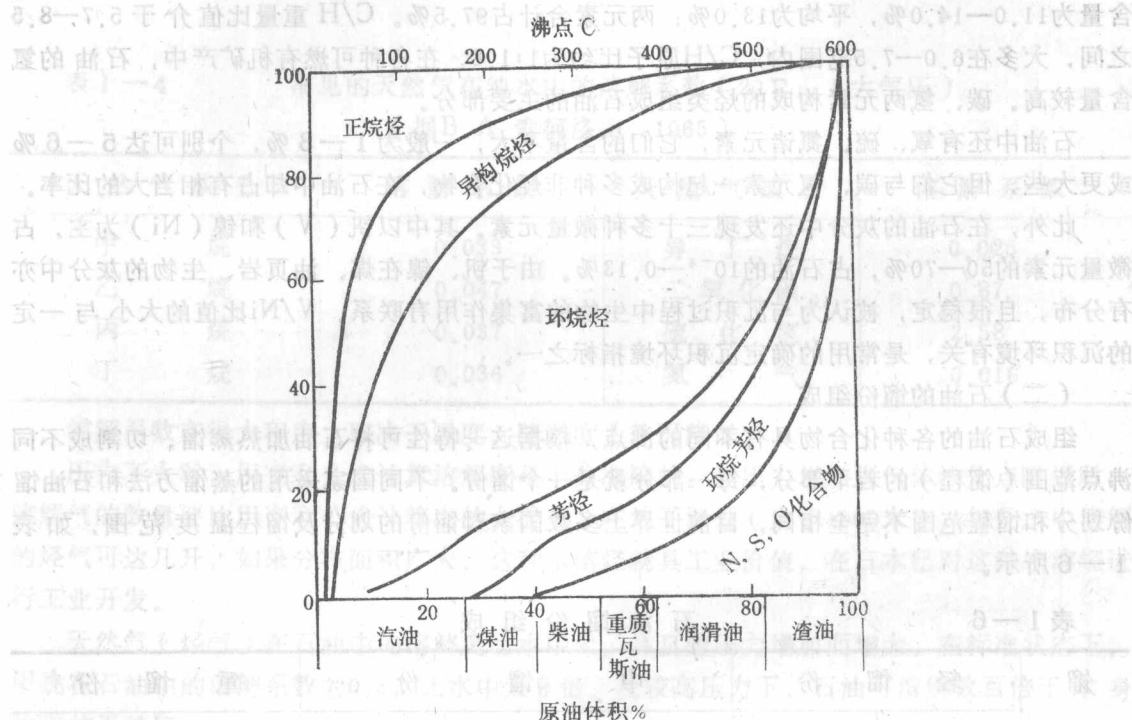
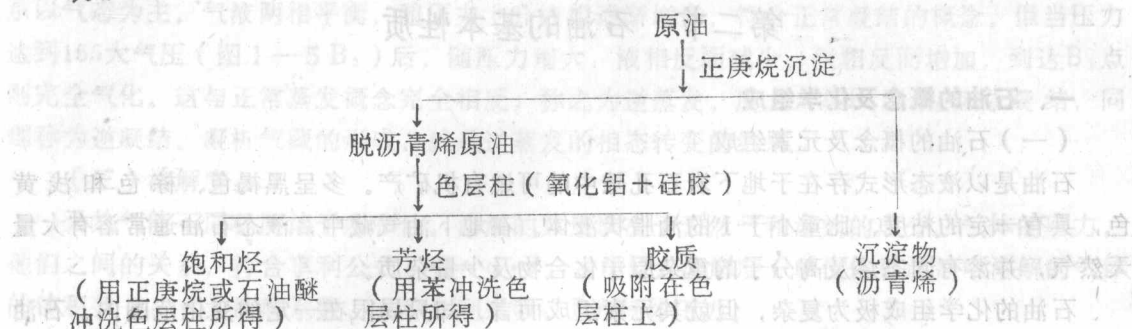


图 1—6 典型环烷型原油的馏份与化合物组成关系图

(据亨特, 1979)

从图 1—6 可知：在低沸点的轻馏份中，以烷烃和低碳数的环烷烃为主，其次是低碳数的芳烃；中馏份中则以中等碳数的环烷烃和芳烃为主；杂化合物相对的富集于重馏份特别是渣油中。

蒂索和威尔特 (1978) 根据化合物组成将原油分为六种类型：(1) 石蜡 (烷烃) 型；(2) 环烷型；(3) 石蜡—环烷型；(4) 芳香中间型；(5) 芳香环烷型和 (6) 芳香沥青型。

二、石油的物理性质

石油的物理性质包括颜色、气味、比重、粘度、膨胀和压缩性、凝固和液化、蒸发和沸腾、溶解性、萤光性、旋光性、折光率、导电性、热值等许多方面。由于石油没有固定的成分，因此，也就没有确定的常数。但有一个大致的变化范围，现择要简述如下。

(一) 比重：