

高等学校试用教材

天然气地质学

陈荣书 袁炳存 编

武汉地质学院出版社

高等学校试用教材

天然气地质学

陈荣书 袁炳存 编

武汉地质学院出版社

I 5041.8101

内 容 提 要

本书是我国第一本系统论述天然气地质基础理论的著作。它概述了天然气地质学成为相对独立新学科的形成过程和主要依据,对我国和世界天然气工业的发展历史、现状、趋势及其在未来能源结构中的地位作了简述,并对天然气藏、天然气成因、天然气运移和聚集、天然气藏形成和破坏、天然气和气田分布特征作了系统的论述。

本书可作为天然气地质专业的研究生及高年级学生的教科书,也可作为从事本专业研究技术人员的参考书。

高等学校试用教材

天 然 气 地 质 学

陈荣书 袁炳存 编

*

武汉地质学院出版社出版

湖北省气象局印刷厂印刷 湖北省新华书店发行

*

开本 787×1092 1/16 印张 14.75 字数 355千字

1986年10月第一版 1986年10月第一次印刷

印数: 1—2000册

统一书号: 13414·012 定价: 2.60元

前 言

当前,我国油气勘探已进入了一个以新地区、新层位、新类型、新深度为主要内容的第二轮油气普查阶段。在这个新阶段中,加强天然气地质研究,加速天然气勘探和开发,尽快改变天然气工业明显落后于石油工业、油气比严重失调,已成为一项十分紧迫而又艰巨的任务。

尽快培养一大批高水平的天然气地质勘探人员,则是完成上述任务的一项战略措施。为此,编者于1983年上半年开设了天然气地质学这门新课程,同年底院内铅印出版了《天然气地质学》试用教材。在教学实践和广泛听取读者和专家意见的基础上,作者比较系统地搜集了八十年代以来国内外天然气地质研究方面的重要文献,对该书作了较多的修改和补充,希望它能成为一本有自己特色的天然气地质学。

本书储集层和盖层一章由袁炳存负责编写,其余各章由陈荣书编写。修改和补充工作由陈荣书负责。

全书包括绪论,气藏中的流体,储集层和盖层,圈闭和气藏,天然气成因,气源岩识别、评价和气源对比,天然气运移和聚集,天然气藏形成和破坏,含气盆地特征及典型气区分析,天然气及大气田分布基本特征等十部分。全书约36万字,210幅图。书末附有截至1985年重要的中、英、俄参考文献90余篇,供进一步研究参考。

各章修改和补充的主要内容如下。

绪论大部是新增加或重写。概述了天然气地质学已成为相对独立的新学科的形成过程和主要依据,并对我国和世界天然气工业发展历史、现状、趋势,以及天然气在未来能源结构中的地位作了简要的论述。

第一章对天然气作了较多补充。增加了非常规气藏气,对天然气的化学和物理性质的论述作了较多的补充和修改,新增了稀有气体的同位素;还增加了天然气和石油基本性质的对比分析。

第三章补充了多因素圈闭概念,复合气藏实例,更加强调多因素圈闭和复合圈闭在未来天然气(石油)勘探中的意义。

第四章增加无机成因气一节,比较系统地介绍了近期极为活跃的深源无机成因气形成的基本原理及主要依据,并初步探讨它对未来天然气勘探战略的可能影响。有机成因气各节补充了近年来国内外研究新成果。

第五章删去油源对比一节,增加烃气成因分类及天然气次生变化两大部分,并对排烃系数和潜量的确定作了探讨。使气源岩识别、评价、天然气成因类型确定和气源对比成为较完整的系统。

第六章天然气运移和聚集无论在内容和体系上都进行了重新编写。突出不同成气阶段天然气运移的可能相态、动力和方向;并从地下流体力场和势的观点出发,对天然气(石油)运移、聚集原理作了新的论述,与圈闭和气藏形成构成前后联系的统一整体,作为对油气运移

聚集原理进行更好理论概括的一种新尝试。

第八章增加了美国二叠纪盆地和西内部盆地气区地质一节。其它各节补充了部分资料。

第九章为新写，包括天然气和大气田的分布特征及天然气与石油、煤在分布上的联系。

尽管作者对该书的修改作了极大的努力，由于水平有限加上时间仓促，有些建议来不及充分吸取，或修改得不好，恳请各方面专家和广大读者不断给予批评指正，以便再版时加以修正。

本书编写过程中得到教研室、北京研究生部石油地质研究室，石油部勘探开发研究院、油田研究单位，地矿部石油地质研究所、各石油地质局、中心实验室等单位许多同志的帮助；卢松年、戴金星、惠荣耀、张厚福、黄醒汉、童崇光、罗志立等同志，在百忙中对试用教材进行认真评审，提出许多宝贵的修改意见；张桂珍同志担任本书责任编辑，为书稿的出版付出了极大的辛劳；院绘图室吴继红、方敏、林露西负责图件清绘。在此作者一并表示衷心感谢。

作 者

1985年11月

目 录

绪论.....	(1)
第一章 天然气藏中流体的基本性质.....	(7)
第一节 天然气的概念和产出类型.....	(7)
第二节 天然气的化学组成.....	(10)
第三节 天然气的物理性质.....	(13)
第四节 石油的基本性质.....	(19)
第五节 油(气)田水.....	(23)
第六节 天然气(及石油)的稳定同位素.....	(26)
第七节 天然气与石油性质的基本差别.....	(31)
第二章 储集层和盖层.....	(33)
第一节 储集层的物理性质.....	(33)
第二节 储集层类型.....	(38)
第三节 盖层.....	(52)
第三章 圈闭和气藏.....	(55)
第一节 圈闭和气藏的概念、分类和度量.....	(55)
第二节 构造气藏.....	(60)
第三节 地层气藏.....	(69)
第四节 水动力气藏.....	(80)
第五节 复合气藏、圈闭和气藏小结.....	(84)
第四章 天然气成因.....	(88)
第一节 天然气成因概要——有机成气的基本原理.....	(88)
第二节 生物成因气.....	(95)
第三节 与成油作用有关的热解气——油型气.....	(100)
第四节 与煤系有机质煤化作用有关的天然气——煤系气.....	(106)
第五节 无机成因气.....	(112)
第六节 非烃气的成因.....	(115)
第五章 气源岩识别、评价及气源对比.....	(121)
第一节 气源岩识别和评价.....	(121)

第二节	有机相的概念及其在评价烃源岩中的应用	(128)
第三节	应用洛帕廷法计算烃源岩的成熟度	(131)
第四节	烃气的成因分类和气源对比	(134)
第五节	天然气的次生变化	(145)
第六章	天然气运移和聚集	(149)
第一节	概述	(149)
第二节	天然气运移的相态	(149)
第三节	天然气运移的动力和方向	(153)
第四节	天然气运移的通道、距离和一般模式	(168)
第五节	溶解气分离和天然气聚集	(169)
第七章	天然气藏的形成和破坏	(172)
第一节	天然气藏形成的基本条件	(172)
第二节	气藏形成的时间	(177)
第三节	气藏的破坏	(180)
第八章	含气盆地的特征及典型气区分析	(183)
第一节	含气盆地概念及基本特征	(183)
第二节	北海南部—中欧西北部气区地质	(185)
第三节	西西伯利亚盆地北部气区地质	(196)
第四节	川东南气区地质	(205)
第五节	美国二叠纪盆地和西内部盆地的天然气区地质	(212)
第九章	天然气及大气田分布的基本特征	(220)
参考文献		(227)

绪 论

一、天然气地质学概述

天然气地质学是研究地壳中天然气藏及其形成原理和分布规律的地质科学。它是近二十年来天然气工业发展和天然气地质研究的结果。

天然气，特别是烃气，它在成因和分布上与石油有较密切的关系，在相当长的时期内，一直将它们看成孪生姐妹，仅将天然气当作成油过程的伴生物；同样，天然气藏的发现亦是找油的副产品。随着天然气勘探和地质研究的深入，人们对天然气有了进一步的 认识。1959年在荷兰北部格罗宁根发现巨大的煤系气源岩形成的大气田，六十年代以来，又相继在北海南部海域及邻近陆地发现十几个大气田，到1982年为止，探明总储量达 $4.5 \times 10^{12} \text{m}^3$ 以上，仅次于苏联西西伯利亚北部产气区，成为世界第二大产气区。此外，在苏联及全世界各地普遍找到众多的与含煤盆地内煤系地层有关的气藏和大气藏。

六十年代到七十年代初，苏联西西伯利亚北部在赛诺曼阶（上白垩统底部）发现巨大的也是目前世界上最大的天然气聚集区。它的发现，改变了人们对生物成因气是小型浅层气藏的同义词的看法，认识到一定的条件下，生物成因气同样能聚集成大型和特大型气藏。

无机成因气在目前虽然还是一种假说，但已有一些很有说服力的证据，证明它不仅可以形成天然气，而且在有些地区已成为工业气藏。因此，从战略上应重视无机成因气的研究。在不久的将来它有可能成为潜在气源。这对深层勘探来说尤其如此。

综上所述，近二十年来，天然气勘探发展迅速，在油气资源中的比例已逐渐接近石油，而且有可能在不久的将来超过石油。加上天然气有多种成因类型，分布广大，潜量大，有着光明的前景，有人预示，下个世纪可能是天然气的时代。

其次，天然气与石油在物理化学性质上具有明显的差异性。这使得天然气运移和聚集条件明显地有别于石油。分布上两者亦有相当大的差别。

第三，对天然气勘探的指导思想、资源评价、勘探和测试方法，与石油相比，亦有程度不同的区别。

基于上述原因，近二十年来，天然气地质学逐渐从石油地质学中独立出来，形成一门新的学科——天然气地质学。

二、近期国外天然气工业发展概况

近二十多年来，天然气的勘探和生产获得巨大发展。据《油气杂志》（1984年12月31日）统计，到1985年1月1日为止，探明天然气可采储量为 $96.3337 \times 10^{12} \text{m}^3$ ，其中超过 $1 \times 10^{12} \text{m}^3$ 以上的国家有13个（表1）。与1960年相比（探明天然气可采储量为 $7.46 \times 10^{12} \text{m}^3$ ，增加12.9倍。天然气在油气总储量的比例，由16.6%增加到45%以上。

更为重要的是,天然气潜量大。据哈尔鲍蒂 (M. T. Halbouty, 1983) 的估计,天然气最终储量可达 $271 \times 10^{12} \text{m}^3$, 目前已探明的可采储量仅占三分之一左右, 累积产量 (未计入石油工业初期无法利用而白白放空烧掉的天然气) 约为 $37.18 \times 10^{12} \text{m}^3$, 仅占 13.5% (表2)。相比之下, 一般认为石油潜在的储量与已探明储量大致相当。因此, 天然气前景比石油更加光明。

表 1 世界天然气已探明储量 (到1985年1月1日)
(据 Oil & Gas Journal, V.82, No53, 1984.12.31)

国 家	探 明 储 量 (10^{12}m^3)	占 世 界 探 明 总 储 量 %	国 家	探 明 储 量 (10^{12}m^3)	占 世 界 探 明 总 储 量 %
苏 联	41.0590	42.622	科 威 特	0.9203	0.955
伊 朗	13.5524	14.068	中 国	0.8750	0.908
美 国	5.6067	5.820	伊 拉 克	0.8155	0.847
沙 特 阿 拉 伯	3.4906	3.623	英 国	0.7872	0.817
阿 尔 及 利 亚	3.0893	3.207	阿 根 廷	0.6974	0.724
加 拿 大	2.6136	2.713	利 比 亚	0.6003	0.623
挪 威	2.5202	2.616	阿 布-达 哈 比	0.5876	0.610
墨 西 哥	2.1804	2.263	澳 大 利 亚	0.5055	0.525
荷 兰	1.9392	2.013	巴 基 斯 坦	0.4463	0.463
委 内 瑞 拉	1.5678	1.627	以上22国总计	87.4109	90.738
马 来 西 亚	1.4158	1.470	其 它 国 家	8.9228	9.262
印 度 尼 西 亚	1.1327	1.176	世 界 总 计	96.3337	100.000
尼 白 利 亚	1.0081	1.046			

•原统计为英制, 按 $1 \text{m}^3 = 35.315 \text{ft}^3$ 换算小数点后第5位4舍5入, 百分比小数点后第4位4舍5入。以下同, 不另注

表 2 世界各地天然气储量估计* (统计到1983年1月1日)
(据 Halbouty, 1983)

地 区	累 积 产 量 (10^9m^3)	探 明 储 量 (10^9m^3)	潜 在 储 量 (10^9m^3)	最 终 储 量 (10^9m^3)	占 世 界 最 终 储 量 %
非 洲	679.6	6,796.0	5,097.0	12,572.6	4.6
亚 洲 及 太 平 洋 区		5,125.3	9,344.6	15,149.5	5.6
加 拿 大	2,095.4	2,605.1	9,910.9	14,611.4	5.4
拉 丁 美 洲	2,293.7	5,861.6	7,079.2	15,234.5	5.6
中 东	1,953.9	25,655.0	27,495.6	55,104.5	20.3
美 国	19,566.9	5,833.3	16,990.1	42,390.3	15.6
共 产 主 义 国 家 (主要苏联)	6,824.4	33,640.4	61,730.7	102,195.5	37.7
其 它	5,086.9	4,843.3	6,231.9	14,161.7	5.2
世 界 总 计	37,180	90,360	143,880	271,420	100

•原统计大都用英制, 现折算成 SI 制单位

天然气产量增长的速度因受管道建设和价格偏低等因素的限制,不及储量增长迅速,但仍比原油增长速度(1983年与1960年相比,原油产量增加2.5倍)快,1983年全世界天然气产量达 $15,418.6 \times 10^8 \text{ m}^3$,比1960年天然气产量($4,684 \times 10^8 \text{ m}^3$)增长3.3倍。1983年世界上前20名产气国的产量及所占比例,如表3所示。

随着天然气生产迅速发展,它在能源结构中所占比例亦有明显的增长(表4)。

表3 1983年世界上前20名产气国情况

(据“Oil & Gas Journal” 1984.7.1)

国 家	气 产 量 (10^8 m^3)	占世界总产量 %	国 家	气 产 量 (10^8 m^3)	占世界总产量 %
苏 联	5,292.84	34.33	伊 朗	140.06	0.91
美 国	4,642.68	30.11	印度尼西亚	134.90	0.88
荷 兰	750.09	4.87	意 大 利	126.03	0.82
加 拿 大	675.95	4.38	澳 大 利 亚	118.53	0.77
墨 西 哥	414.26	2.69	沙 特 阿 拉 伯	106.82	0.69
英 国	390.68	2.53	中 国	103.88	0.67
罗 马 尼 亚	336.00	2.18	巴 基 斯 坦	95.59	0.62
挪 威	241.19	1.56	文 莱	88.56	0.57
阿尔及利亚	197.96	1.26	以上20个国家	14,336.00	92.98
联邦德国	196.46	1.10	其 它 国 家	1,082.62	7.02
委 内 瑞 拉	156.58	1.02	全 世 界 合 计	15,418.62	100.00
阿 根 廷	153.89	1.00			

表4 1965—2000年能源结构变化和预测

(据“World oil”, 1981, V. 192, №5)

能 源	1965年	1980年	1990年	2000年
油	42	47	38	31
气	15	19	20	19
煤	37	26	27	28
水电及其它	6	6	7	8
核 能		2	6	10
合成燃料及重油			2	4
合 计	100	100	100	100
油/气*	2.8/1	2.5/1	1.9/1	1.6/1

*油/气一项是作者根据该表数据计算的

自八十年代以来,原油价格趋向下跌。以美国为例,1981年每桶原油的平均井口价格为31.77美元,输入原油每桶的平均价格为34.28美元,到1983年分别下降到26.1美元和28.9美元。但天然气价格持续上涨。仍以美国为例,1981年每千立方米天然气的井口价格为70美元,1983年上涨到89.7美元。油气比价朝合理化方向发展。因此,自1980年以来,各国普遍重视对天然气勘探和输气管道的建设。苏联在1981—1985年期间,天然气总投资的70%用于管道铺设,仅西西伯利亚到西欧的输气管道建设的投资就达150亿美元,计划在管道铺好后,将使该区气产量从 $33.5 \times 10^9 \text{ m}^3$ 提高到209.5

$\times 10^8 \text{ m}^3$ 。印度尼西亚、沙特阿拉伯、尼日利亚、马来西亚等 12 个发展中国家，计划在八十年代投资 700 亿美元，发展天然气生产，预计天然气的日产量将从 $4.02 \times 10^8 \text{ m}^3$ (1981 年) 提高到 $9.17 \times 10^8 \text{ m}^3$ (1990 年)。可以预计，在未来的岁月中天然气所起作用将有明显增长，大有取代石油成为下一个时期内主要能源的趋向 (图 1)。

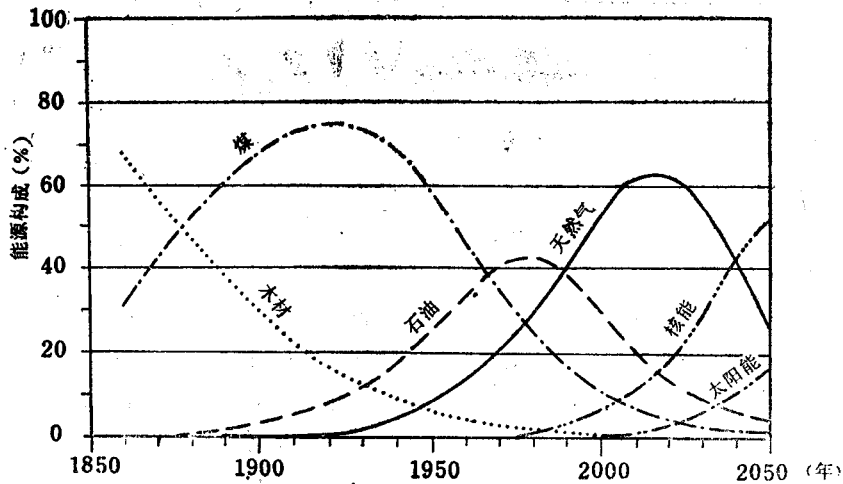


图1 世界主要能源替代图示
(据 Marchetti, C., 1979)

三、国外天然气地质研究和勘探趋向

首先，在大力发展天然气勘探的同时，十分重视天然气地质理论的研究，广泛开展各种成因类型天然气形成机理的研究。在深海钻探计划实施过程中，非常注意对现代海洋沉积和热液喷出口天然气进行综合的地质和地球化学研究；对不同类型有机质进行大量的成气模拟热解实验。为识别和确定不同成因类型天然气提供可靠的依据。

其次，正确处理找气工作中的几种关系。包括：优先勘探大气田和重视中、小型气田勘探的关系；背斜气藏和非背斜气藏勘探的关系；中、浅层气藏和深层气藏勘探的关系；常规气藏和非常规气藏勘探的关系。使天然气资源以较快的速度被查明。

巨型 (giant) 气田 (指可采储量等于或大于 1,000 亿立方米的气田) 数量不多，但却集中天然气储量的大部分，各国都非常注意优先勘探巨型气田。对于巨型气田的数目，不同学者的统计数略有出入，大致在 115—152 个之间，在已发现的约为 11,000 个气田之中，仅占 1.0—1.4%，但却占有已探明总储量 (现有储量加上累积产量) 的 57.6% (H. R. Grunau, 1983)，其中 15 个可采储量 $\geq 1 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 的特大或超级 (super giant) 气田的可采储量约为 $40 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ，占总储量的 37% 左右。而且大气田发现数目和每个气田的平均储量到七十年代末未见下降 (表 5)。在优先勘探大气田的同时，注意中小型气田勘探同样是十分重要的。随着勘探程度提高，在老气区发现大气田的机会将相应地减少，而中小型气藏的发现将在相当长时间内会保持增长趋势。这种趋向在勘探程度较高的美国表现十分明显 (表 6)。中小型气 (油) 田的发现虽然不可能提供充足新能源，但对维持现有生产能力，延缓能源紧张状况，仍可起相当大的作用。

表5 非伴生巨型气田发现的年代和储量

(据 E. N. Tirsatsoo, 1979所列86个大气田资料编)

年 份	1911— 1920	1921— 1930	1931— 1940	1941— 1950	1951— 1960	1961— 1970	1971— 1978
发 现 数	1	4	7	1	11	46	26
储量 (10^{12}m^3)	0.1982	2.6221	2.6618	0.2067	5.8615	28.4052	19.2808
每个气田平均储量(10^{12}m^3)	0.1982	0.6555	0.38026	0.2067	0.5329	0.5752	0.7416

在处理背斜圈闭和非背斜圈闭、中浅层和深层、常规和非常规气藏关系时,前述原则同样是适用的。即在新区开展勘探时,一般应优先勘探中浅层的背斜气藏,同时注意研究非背斜气藏、深层气藏的形成条件及可能存在的非常规气藏。随着勘探进展和研究的深入,可逐步确定不同勘探区具体的重点勘探对象,对于某些具有特殊地质条件的地区,可能不一定以背斜为主,它们可以分别为断层和滚动背斜,潜山或其它地层型圈闭、复合圈闭等:对深部气藏勘探一般是在累积较多资料,进行较充分的研究后,在远景较大的地段有计划逐步开展。而非常规气藏,应进行综合研究,对它单独或综合利用有一定经济价值的前提下,才进行详细勘探。

第三,六十年代以来天然气发展的另一趋向是在勘探实践过程中逐步形成并建立一支专门从事天然气地质勘探、工程建设和科学研究的队伍,组织机构,制定有利于天然气发展的技术政策和措施。

四、我国天然气工业发展概况

我国是世界上勘探、开发天然气最早的国家。早在公元前221—220年已在四川邛崃出现用顿钻钻的天然气井。自流井气田的天然气远在东汉时期已经发现,到十三世纪浅层天然气已大规模开采。1835年所钻的兴海井深达1,001.4m,钻穿T_{1c}第五层灰岩主气层,日产气5,000—8,000m³;1840年又钻成井深1,200m的磨子井,钻穿T_{1c}的第三层主气层,日产气4×10⁵m³,当时称之为“火井王”。据估算该气田自十三世纪到十九世纪中期累积产气量已达40×10⁸m³。并在实践过程中总结出一些找气经验。但是旧中国长期处于封建、半封建社会,得不到应有的扶持,致使一度蓬勃发展的天然气工业日益衰落,一直到新中国诞生时,除台湾外,只有四川自流井、圣灯山和石油沟等几个气田。1949年的产量仅1.6×10⁷m³。

新中国成立后,党和国家极为重视油气工业发展。从1953年筹组油气普查队伍到1978年

表6 美国1960—1979年前后两个十年间新发现的不同规模的油气田数对比表

(据 World oil, V.190, No.3, 1980)

年 份	A	B	C	D	E
1960—1969	40	44	122	860	4020
1970—1979	23	19	79	918	6521

• 不同规模的分级标准:

- A 油 > 6,000,000 t
气 > 8.5×10⁹m³
- B 油 6×10⁶—4×10⁶ t
气 8.5×10⁹—4.25×10⁹m³
- C 油 4—1.6×10⁶ t
气 4.25—1.7×10⁹m³
- D 油 0.16—1.6×10⁶ t
气 0.17—1.7×10⁹m³
- E 油 < 0.16×10⁶ t
气 < 0.17×10⁹m³

原油产量突破 $1 \times 10^8 \text{t}$, 石油工业发生了巨变。天然气工业也有较大的发展, 到1982年为止, 据不完全统计, 已找到61个气田, 探明气藏气储量达 $844 \times 10^8 \text{m}^3$ 。1979年天然气产量达 $145 \times 10^8 \text{m}^3$ 。在这一工作中, 四川的司徒愈旺、包茨、王金祺等一大批地质和地球化学家作出了卓越的贡献。但是, 与石油相比, 天然气工业明显地落后了。1979年我国的油气产量比为8.2:1 (按热当量计算), 1982年降为10.6:1。

出现这种情况的原因是多方面的。一般在油气开发早期, 天然气利用效率较低。这不仅是我国, 其它产油气国在发展过程中都如此。如美国1923年原油产量达 $1 \times 10^8 \text{t}$ 时, 油气产量比为3.5:1, 苏联1958年原油产量超过 $1 \times 10^8 \text{t}$ 时, 油气产量比为3.6:1。

其次, 是我们对天然气形成的地质条件研究不够, 思路不够开阔, 勘探天然气没有单独进行, 虽然强调油气兼探, 但实际上只注意找油而忽视了天然气的勘探。

这种情况自1978年以来, 已有明显改变。1978年罗志立等、1979年戴金星等都曾根据国外天然气地质研究进展, 提出开掘煤成气的研究。这一倡议得到国家及职能部门大力支持。在1982—1983年间, 国家计委、能委、石油部、地矿部曾多次召开专家座谈会, 研究“加快天然气勘探开发”问题。拨出专款, 协调石油、地矿、煤炭部、科学院和高等院校有关单位, 加强天然气地质勘探的研究, 多次举行学术会议, 对我国天然气资源潜量进行评价, 证明我国有多种成因类型的天然气, 潜量大, 增强了找气特别是找大气田的决心和信心。同时, 大力采取各种措施加强天然气勘探, 选择具有良好成气条件的探区, 对天然气进行重点勘探, 在短短的几年时间内已初见成效。在渤海湾周围、华北、松辽南部、四川、鄂尔多斯、南海和东海的勘探情况良好, 前景喜人, 一些有利于天然气勘探开发工作的方针、政策和技术措施正在制定并逐步完善。

我们可以预期, 在不久的将来, 我国将会出现一个勘探、开发天然气的高潮。

第一章 天然气藏中流体的基本性质

天然气藏(简称气藏),一般指常规气藏,是指地下储集层圈闭中聚集的具有一定工业价值的游离气聚集。只有天然气聚集的称为纯气藏。但相当一部分是以天然气为主,并有少量石油或凝析油共存的气藏,石油呈环状分布于气水之间。当石油数量不多,没有工业价值时,亦可以看作纯气藏。若石油数量较多则称为气油藏。当石油数量超过天然气时,则称为气顶油气藏。

气油藏中气、油、水按密度垂直分异,气在上,油居中,水在下。

本章着重介绍天然气的基本性质,对于石油和油田水的基本性质只作概略介绍。

第一节 天然气的概念和产出类型

一、天然气的概念

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,В.А.索柯洛夫(Сороков, 1971)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,在天然气地质学中着重研究的是狭义的天然气,是指任何天然成因在地下储集层中产出成分上以烃类为主,含有一定量非烃的气体。非烃气体大多与烃气伴生,占次要地位;但在某些条件下,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,对非烃类气体不能不加以研究。但在有关天然气文献和资料中,提到天然气储量、潜在储量时,都是指以烃类为主的天然气,未包括非烃为主的天然气。

二、天然气的产出类型

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)、吸附态和固态气水合物;依其分布特点可分为聚集型和分散型;依其与石油产出的关系可分为伴生气和非伴生气。

(一)聚集型天然气

游离气是一切气藏中天然气存在的基本型式。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: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,是在较高温度、压力下由液态烃逆蒸发而形成的。采出后,由于地表压力、温度较低,按照逆凝结规律成为轻质的油。目前,还发现一种低成熟度的凝析气藏。

气藏气 指单独聚集的天然气。它可以存在于油田内,亦可以存在于气田内。

凡是在油田范围内,与油藏分布有密切关系的气顶气、气藏气以及油内溶解气,统称伴生气,或油田气。而那些与油藏在分布上没有明显联系的单独聚集成气田气(或仅有少量油的气油田气)称作非伴生气。这是就产出条件所作的划分,而不是成因划分。

表1-1 天然气的分类

(据Соболев, В.А., 1971略加补充)

按存在环境分类的气体类型	化学基本成分	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 表层沉积物中气体 a. 土壤及底土气体 b. 沼泽及泥炭中气体 c. 海底沉积中的气体 d. 气水合物	CO ₂ , N ₂ , O ₂ , CH ₄ , CO ₂ , N ₂ CO ₂ , CH ₄ , N ₂	Ar, CH ₄ , H ₂ , N ₂ O, 及来自空气的稀有气体 Ar, H ₂ , CO, NH ₃ , N ₂ O H ₂ S及来自空气的稀有气体 N ₂ , NH ₃ , H ₂ S, Ar	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, H ₂ 主要是生化作用产物, 再与大气混合 CH ₄ , CO ₂ , H ₂ , NH ₃ , N ₂ O, H ₂ S主要生化作用产物, 其它来自大气 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 b. 气 田 气 c. 煤 田 气 d. 分散气体 e. 溶于地层水中的气体	CH ₄ , C ₂ ⁺ , N ₂ , CO ₂ CH ₄ , N ₂ , CO ₂ CH ₄ CO ₂ , CH ₄ CO ₂ , CH ₄	H ₂ S, NH ₃ , Ar, H ₂ C ₂ ⁺ , H ₂ S, He, Ar, H ₂ CO ₂ , N ₂ , C ₂ ⁺ , He, Ar N ₂ , C ₂ ⁺ , H ₂ S H ₂ S, C 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(如部分H ₂ S等), 在高温、深处, 正常细菌活动停止, 生化成因气体就不存在
IV 海洋中气体	CO ₂ , N ₂	NH ₃ , H ₂ S, O ₂ , Ar	NH ₃ , H ₂ S, 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 ₂ S, He, Ar	除稀有气体外, 均为化学成因
VI 岩浆岩中气体	CO ₂ , H ₂	N ₂ , H ₂ S, He, Ar在很深处有SO ₂ , HCl, HF	除稀有气体外, 均为化学成因
VII 地幔排气 a. 熔岩喷出气 b. 大洋中脊喷出气 c. 深断裂气 d. 温泉气	CO ₂ , H ₂ , SO ₂ , HCl, HF CO ₂ , H ₂ , H ₂ S, SO ₂ , CH ₄ CH ₄ , H ₂ CO ₂ , CH ₄	N ₂ , CO, NH ₃ , He, Ar N ₂ , CO, NH ₃ , He, Ar He, Ar, N ₂ N ₂ , CO, NH ₃ , He, Ar	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 地幔冷排气 地幔气和沉积岩化学反应混合气
VIII 宇宙气	H ₂ , H, He	CO, CH ₃ , CH ₂ 基, OH基及其它元素离子 化了了的原子	由于核反应、放射性反应及化学反应而成

(二) 分散型天然气

分散型天然气包括油内溶解气, 水内溶解气, 煤层气和固态气水合物中的天然气。

油内溶解气 任一油藏内总是溶有数量不等的天然气, 每吨油内溶解气的数量少则几到几十立方米, 多可达数百到上千立方米。含气量低时, 采油时分离出的天然气只能放掉或烧掉, 含气量高时应设法收集起来回注于油藏, 或作动力及化工原料。

水内溶解气 包括低压水溶气和高压地热型水溶气。沉积圈内地下水中烃气资源总量可达 $n \times 10^{16} - 1.5 \times 10^{17} \text{ m}^3$ (佐尔金, 1983), 比常规气藏中天然气的总储量 (约为 $2.4 \times 10^{14} \text{ m}^3$) 大数十到上百倍, 但品位较低。低压水溶气的含气量一般在 $1-5 \text{ m}^3/\text{t}$, 个别可达 $5 \text{ m}^3/\text{t}$ 以上。这种水溶气一般不单独采取, 但可以综合利用。如日本开采浅层碘水时, 回收水溶气年 (1975年) 产量达 $5.265 \times 10^8 \text{ m}^3$, 占当年日本总产气量 ($3 \times 10^9 \text{ m}^3$) 的 $1/6$ 。高压地热水中含气量较高, 特别是在异常高压带以下的地下水中, 含气量特别高。以苏联刻赤半岛为例, 3,000m深的地下水中含气量平均为 $5 \text{ m}^3/\text{t}$; 3,000—4,000m深为 $7 \text{ m}^3/\text{t}$; 4,000—5,000m深为 $19 \text{ m}^3/\text{t}$, 个别并在 $25-45 \text{ m}^3/\text{t}$ 以上, 其中方塔诺夫5号和10号井为 $150-200 \text{ m}^3/\text{t}$ 。美国墨西哥湾沿岸的高压异常带以下的高压水溶气亦很丰富, 估计储量可达 $8.5 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 。高压水溶气在降低压力的条件下, 出现强烈排气作用。如前喀尔巴阡拗陷布雷尼2号井的二个高压水溶气层, 每昼夜分别排出10,000和490,000 m^3 。因此, 开发异常高压带的水溶气, 特别是水溶气和热水的综合利用, 是很有价值的。

在水溶气中还有如基伍湖中产出的特殊类型, 那里天然气以极高的浓度存在于水体及水底沉积物中, 没有任何非渗透岩层复盖, 天然气被湖水所封, 形成水封型气藏。

煤层气 煤层气指煤层中所含的吸附气和游离瓦斯。它的含量因变质作用强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 $0.1-20 \text{ m}^3/\text{t}$ 之间。1975年世界煤层气的回收量达 $2.237 \times 10^9 \text{ m}^3$, 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 $2.69 \times 10^8 \text{ m}^3$, 约占日本国当年产气量的 9% 。煤层气的利用, 不仅本身具有经济价值, 还有利于煤矿安全生产。

气水合物 认识和研究甲烷水合物已有170多年的历史了 (Davy, 1810)。自本世纪七十年代以来, 在苏联西西伯利亚发现拥有巨大储量的气水合物气田——美索亚卡气田 (天然气总储量约为 $4 \times 10^{11} \text{ m}^3$), 其中以气水合物产出的占 54% (Katz, 1971)。海洋地震勘探和深海钻探亦证实大洋中广泛分布气水合物 (Stoll et al, 1971), 这才把气水合物作为潜在的天然气资源加以研究。

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 CH_4 、 H_2S 、 CO_2) 等气体分子; 较大的单位晶胞中

气分子大小, 10^{-10} m	分子比率 $\text{CH}_4/\text{H}_2\text{O}$
4	$\text{CH}_4, \text{H}_2\text{S}$ $8/46$ $(\text{CH}_4 \cdot 5.75\text{H}_2\text{O})$
5	CO_2 $6/46$ $(\text{C}_2\text{H}_6 \cdot 7.66\text{H}_2\text{O})$
6	C_2H_6 $8/136$ $(\text{C}_3\text{H}_8 \cdot 17\text{H}_2\text{O})$
7	

图1-1 气水合物中容纳的气体分子及气/水比率关系图

(据 Hunt, 1979)

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，每立方米气水合物中含有近60—173m³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。

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。

世界永冻带主要分布在极地附近。据B. Hitchon (1974) 的资料，约为34.5×10⁶km²。北半球极地永冻带一般厚250—600m，最厚可达1,000m。据苏联学者估计，仅西西伯利亚气水合物中的天然气储量即可达15×10¹²m³。南极洲的冰盖极厚（2,000—5,000m），其

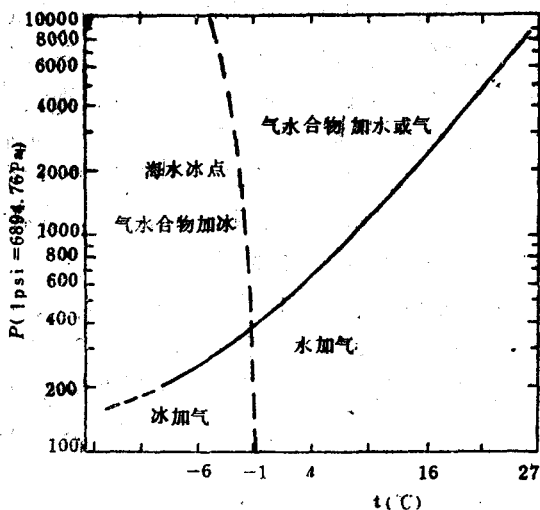


图1-2 海水与甲烷形成气水合物的相图
(据卡兹等, 1959)

下可形成1,000—2,000m的气水合物，可能有惊人的天然气潜量，但至今尚未经钻探证实。大洋海底因上覆水体的高压作用，有利于气水合物形成。表层水温接近0℃，水深3,000m的深海区，甲烷水合物稳定带的厚度可达1,000m左右；表层水温为4℃，水深为1,000m的浅水区，甲烷水合物稳定带仍有400m左右。对该类天然气潜量还缺乏精确估计，大致在1×10¹⁸—5×10²⁰g碳之间，潜量很大，但目前尚未找到有效利用的方法。

上述分散型天然气都是低品位的。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气藏，称为非常规气藏。低孔隙渗透性砂岩、页岩微裂缝中的气藏及浅层沼气，实际上介于分散型和聚集型之间的过渡类型，但因含气率低，或规模较小，一般亦称之为非常规气藏。在重点研究常规气藏的同时，应对非常规气藏的形成条件及综合利用给予足够的注意。

第二节 天然气的化学组成

一、天然气的化学组成

沉积圈中的天然气藏气，其主要成分是烃类气体，其中以甲烷为主。非烃气体常见的有N₂、CO₂、CO、H₂S、H₂及痕量到微量的惰性气体（包括氦、氖、氩、氪、氙、氮）。

雅科琴尼（Б.П.Якуцни, 1976）根据世界上不同时代、不同构造单位的2,000个气