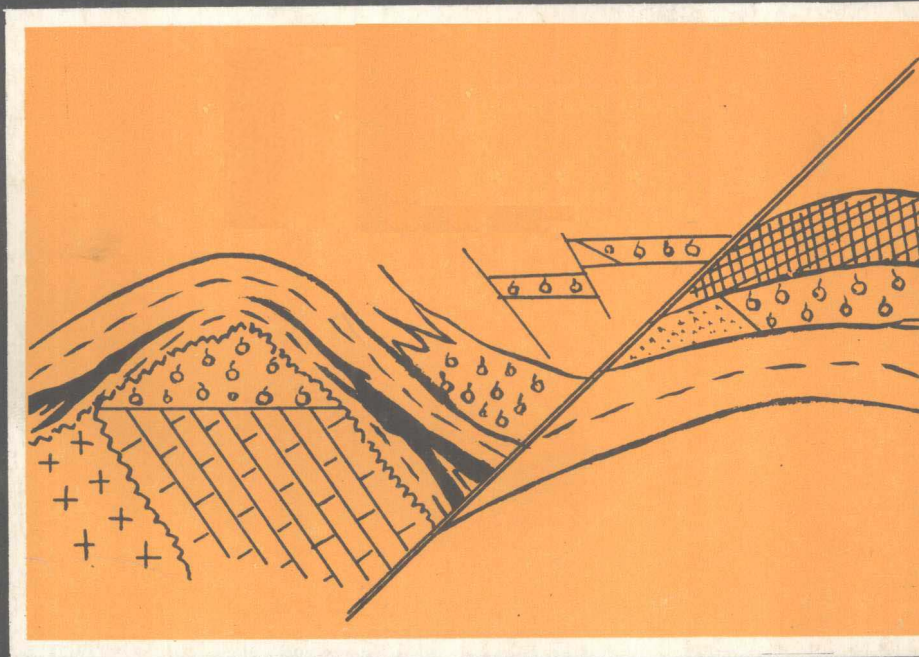


高等学校教材



陈荣书 主编

普通地质学



中国地质大学出版社

高等学校教材

天然气地质学

陈荣书 主编

中国地质大学出版社

内 容 简 介

天然气在世界能源结构中的地位日益重要。天然气地质学作为一门独立学科,显示了它十分重要的理论和实际意义。本书在第一版基础上作了重要的修改和补充。系统地阐述了天然气地质学的基本理论和基本知识,反映了我国这一学科研究的新水平。书中对天然气的基本性质,储集层的物理性质及分类,天然气的圈闭条件和气藏类型,天然气稳定同位素,气源岩的识别及评价,天然气的运移聚集,气藏的形成和破坏以及含气盆地特征和天然气的分布规律等均作了系统阐述。书中对我国成气地质条件及资源概况也作了合理分析和评价。

本书可作为地质类大专院校的教材,也可供科研人员和生产技术人员使用。

高等学校教材

天然气地质学

陈荣书 主编

责任编辑 张桂珍 蒋良朴

责任校对 杨霖

*

中国地质大学出版社出版

(武汉市喻家山)

中国地质大学出版社印刷厂印刷 湖北新华书店经销

*

开本 787×1092 1/16 印张 17.875 字数 450 千字

1989年12月第2版 1989年12月第2次印刷

印数 2001—4000 册

ISBN 7-5625-0318-4/P·91

定价: 3.65 元

序 言

世界上一些主要石油生产国，其石油与天然气产量的比例大致相等。如苏联年产原油 $6 \times 10^8 \text{t}$ ，年产天然气大于 $66 \times 10^{10} \text{m}^3$ ①。美国年产原油 $4.6 \times 10^8 \text{t}$ ，年产天然气 $56 \times 10^{10} \text{m}^3$ 。在我国能源构成中，天然气产量显然是一条短腿。1987 年我国产原油 $1.34 \times 10^8 \text{t}$ ，同年天然气产量只 $13.7 \times 10^9 \text{m}^3$ ，仅为 $1/10$ 。我国天然气年产量能否从目前的低水平上大幅度起飞，已成为全国人民在能源开发利用方面所关注的问题。

我国是最早开发和利用天然气的国家，早在公元前三到一世纪，四川邛崃就出现了用人工开凿的天然气井，称为火井。一千多年来，四川自流井的天然气开发利用已达到相当高的水平，用天然气作燃料所生产的井盐供应川、湘、黔、滇等广大地区各族人民生活所需。

从 70 年代末到现在，天然气地质学已从石油地质学中独立出来而成为一门新的分支学科。本书吸取了石油地质学、地球化学、海洋地质学、同位素物理学和气藏工程学等有关专业学科的原理和方法，用以认识研究天然气藏的基本性质、储气层和盖层、天然气成因、气源岩及气源对比、天然气运移、聚集和气藏形成的圈闭条件等等；最后对我国天然气盆地、已知气区和勘探前景作了介绍。

本书大体可以反映目前我国天然气地质学的工作方法和研究水平，可供大学院校学生作教材，同时也可供生产单位的地质技术干部作为工作中的参考读本。

石油勘探开发科学研究院

总地质师，教授

李德生

1988 年 12 月 4 日

①按燃烧值，1t油 $\approx$ 1000m³天然气。

再版前言

当前，天然气在世界能源结构中的地位日益重要。世界的天然气勘探和天然气工业快速发展。近年来，我国亦已采取许多重大措施，加快天然气勘探和地质研究。《天然气勘探》(1986)和《煤成气地质研究》(1987)两个论文集的出版和大量有关天然气地质勘探论文的发表，标志着我国在这一领域的进步。从而使作者有可能根据近年来的研究进展，对《天然气地质学》(1986年版)进行必要的修改和补充，使之更加完善，更具特色，更好地为培养人材、推进天然气勘探和地质研究服务。

所谓有自己的特色，作者认为是指新近独立的天然气地质学应广泛吸收包括石油地质学在内的邻近学科的内容；形成自己独立的系统；其次，它应在一定程度上反映我国近期天然气勘探和研究成果，更好地为我国找气服务。这也是作者修改、再版《天然气地质学》的指导思想。

与第一版相比，新增了第四章(天然气的稳定同位素)和第十章(我国天然气资源勘探前景及主要气区地质)；对绪论、第一、第二章作了重点修改；对其它各章的部分内容也作了修改和补充。

绪论中对天然气地质—地球化学研究进展和有代表性的若干论著作了扼要而又较为系统的介绍，使读者对该学科产生的必然性有较清楚的了解。

本书第一章，与原版相比删去了石油和油田水两节；原稳定同位素一节删去石油部分，补充扩大了天然气部分，成为本书的第四章。原版第一章的其余四节作了较为系统的补充，全面论述了天然气的基本性质，并对天然气、凝析气(油)和油藏中油气基本性质作了对比分析，使之成为本书的基础之一。

第二章为储集层和盖层。根据近年来国内外研究成果，修改了储集层的孔隙分类(包括碎屑岩和碳酸盐岩储层)，砂岩的成岩作用和次生孔隙。盖层封烃机理；对油气储、盖层的不同要求也作了初步分析。

本书其余各章的修改涉及下列内容：重写了“煤型气”一节、“确定天然气成因类型的主要参数”一段；新增了“加拿大深盆气”一段；对“水动力圈闭”和“复合圈闭及气藏”、“油型气”、“无机成因烃气”、“排烃系数”、“洛帕廷法”的评述，对“压实”、“气藏形成条件”、“含气盆地的基本特征和类型”以及天然气分布特征等方面都作了新的补充；将原第八章、第九章合并成新的第九章。这些补充和修改，都是为了更好地体现天然气地质研究和勘探方面获得的新成果，并着重说明了气藏和油藏的基本特征及形成条件方面的差别，有些甚至是明显的差别。

第十章概要论述了我国有利于成气的地质条件以及天然气勘探及资源现状。分区介绍了柴达木盆地、鄂尔多斯盆地、四川盆地、东部和海域各产气区的气区地质概况。

第一版的储集层和盖层一章由袁炳存编写，因工作调离，新岗位教研繁忙无法参加修改工作，对此深表遗憾。再版修改和补充工作，除煤型气一节由缪素青负责外，其余均由陈荣书负责。

本书再版过程中得到戴金星、安作相、黄第藩、卢书铨、戚厚发等高级工程师，张厚福

教授，王燮培教授，卢松年教授，费琪、陶一川副教授和教学小组的同事们以及 85—87 年级天然气地质方向研究生和听该课的研究生的热心帮助和鼓励；书中引用了石油部、地矿部及其它单位有关研究成果；本书承石油勘探开发科学研究院总地质师李德生教授和中国地质大学（北京）陈发景教授主审，他们在百忙中挤时间认真审查，提出许多宝贵意见，对提高本书的质量起了重要作用；李德生教授为本书作了序，这对作者是一极大的鼓励和鞭策；校绘图室林露西、方敏、彭妮妮、张红波、陈思群等清绘图件。在此一并表示衷心感谢。

由于作者水平有限，错误和欠妥之处敬请批评指正。

1988 年 12 月于武汉

陈荣书

天然气地质学勘误表

页	行	误	正
19	倒17		$Pr = \frac{P}{P_c}$
32	表下4行		1.4—2.0
32	倒10		0.786g/cm ³
32	倒8		0.786g/cm ³
40	倒5		绝大多数天然气
54	14		$8.2 \times 10^{-8} \text{cm}^2/\text{s}$
89	表4—1		拟箭石
105	表5—4下注①		0.6—3.0%
113	图5—13上	$\text{C}_6\text{H}_6 + 3\text{H}_2 \xrightarrow{\quad} \text{C}_6\text{H}_8 + \text{H}_2 \xrightarrow{\quad} \text{—C—C—C—C—C—C—C—C—}$	(去掉, 多余的)
163	图6—25		$\delta^{13}\text{C} \sim -63\%$
209	图9—7A		马拉顿隆起
211	7		尤蒙特
211	表9—6		尤蒙特
230	倒9行		储量分布
	倒7		原始生物量
233	12		部分Ⅱ型干酪根
266	9		菲律宾的巴拉望
266	9—10		马来西亚、文莱
270	11—12		(见图10—31)

目 录

绪 论	(1)
第一章 天然气的产状及基本性质	(8)
第一节 天然气的概念和产状	(8)
第二节 天然气的化学组成	(11)
第三节 天然气的物理性质	(16)
第四节 天然气与石油的差别	(31)
第二章 储集层和盖层	(35)
第一节 储集层的物理性质	(35)
第二节 储集层类型	(40)
第三节 盖层	(53)
第三章 圈闭和气藏	(57)
第一节 圈闭和气藏的概念、分类和度量	(57)
第二节 构造气藏	(62)
第三节 地层气藏	(71)
第四节 水动力气藏	(79)
第五节 复合气藏	(84)
第四章 天然气稳定同位素	(88)
第一节 有关稳定同位素的基本知识	(88)
第二节 碳稳定同位素的分馏作用及其在自然界含碳物质中的分布	(90)
第三节 碳稳定同位素在有机质及天然气中的分布	(93)
第四节 天然气中氢稳定同位素	(97)
第五节 天然气中惰性气体的稳定同位素	(97)
第五章 天然气成因	(99)
第一节 天然气成因概要——有机成气的基本原理	(99)
第二节 生物成因气	(106)
第三节 油型气——成油有机质和石油在热解过程中形成的天然气	(112)
第四节 煤型气——与腐植煤及腐植型有机质变质作用有关的天然气	(117)
第五节 无机成因气	(124)
第六节 非烃气成因	(128)
第六章 气源岩识别、评价及气源对比	(136)
第一节 气源岩识别和评价	(136)
第二节 有机相的概念及其在评价烃源岩中的应用	(143)
第三节 应用洛帕廷法计算烃源岩的成熟度	(147)
第四节 烃气的成因分类和气源对比	(150)

第五节 天然气的次生变化.....	(161)
第七章 天然气运移和聚集.....	(165)
第一节 概述.....	(165)
第二节 天然气运移的相态.....	(165)
第三节 天然气运移的动力和方向.....	(168)
第四节 天然气运移的通道、距离和一般模式.....	(184)
第五节 溶解气分离和天然气聚集.....	(184)
第八章 天然气藏的形成和破坏.....	(188)
第一节 天然气藏形成的基本条件.....	(188)
第二节 天然气藏形成的时间.....	(194)
第三节 天然气藏的破坏.....	(196)
第九章 含气盆地特征及天然气分布规律.....	(199)
第一节 含气盆地概念及基本特征.....	(199)
第二节 国外典型气区分析.....	(201)
第三节 天然气及大气田分布的基本特征.....	(229)
第十章 我国天然气资源勘探前景及主要气区分析.....	(236)
第一节 我国成气地质条件及天然气资源概况.....	(236)
第二节 柴达木盆地气区地质.....	(239)
第三节 鄂尔多斯盆地气区地质.....	(241)
第四节 四川盆地气区地质.....	(245)
第五节 东部油气区天然气勘探概况.....	(258)
第六节 我国东海、南海及邻近地区天然气勘探概况.....	(266)
主要参考文献.....	(273)

绪 论

一、天然气地质学及其产生的历史背景

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科学。它是从石油地质学中逐渐独立出来形成一个新的矿产地质学科。

天然气的发现和利用比石油有更为悠久的历史。但是，作为天然气地质学则是最近 20 年来天然气进行广泛深入的勘探、研究的结晶。

天然气的发现、利用及地质研究工作，开始较早。小亚细亚南部沿岸的希麦拉山的“长明火”至少燃烧了两三千年。我国在公元前三到一世纪已在邛崃出现用顿钻所钻的天然气井，当时称为“火井”。四川自流井地区的浅层天然气在 13 世纪已大规模开采（煮盐）。至十九世纪其钻、采均达到相当高的水平：在自流井构造上于 1815 年所钻的桂粘井深达 797.8m，钻达三叠系顶部；1835 年所钻的兴海井达 1001.4m；1840 年前后又钻成 1200m 的磨子井，钻穿 T_2^{1-3} 主气层，发生大火，喷焰高达几十丈，史称火井王。据考证，当时仅自流井气田日产 $10000m^3$ 的气井约有 10 口。

在长期生产实践过程中，找气方法和地质研究工作都有不少创造。如看“龙脉”（相当背斜轴）确定井位；用“扇泥”（相当现代“捞岩屑”）录井，根据“黄姜”（现在东岳庙灰岩中的结核灰质泥岩）、“绿豆岩”（雷口坡组，现仍称“绿豆岩”）等特殊岩性确定并建立地下标志层。在开发自流井气田过程中，早在二百多年前已建立了技术档案，当时称“井口簿”，有的“井口簿”上明确地记载着“立缝见火”、“横缝见水”等。这些都说明我们的祖先曾对天然气地质研究和找气方法作出了一定的贡献。

1885 年 I. C. White 有名的“背斜学说”，就是在总结美国宾夕法尼亚州天然气田分布规律的基础上得出的。他的论文就是以“天然气地质”（Geology of Natural Gas）为题发表的。

但是，自近代石油工业开始发展以来，在相当长的历史时期内，由于油、气在成因和分布上的密切联系，一直将它看成孪生姐妹，仅将天然气作为成油过程的伴生物。加上天然气开发上的一些困难，一直未能独立开展勘探和开发。因此，天然气藏的发现，仅仅是找油的副产品。

自 50 年代开始，非伴生气田，特别是大气田不断发现。其中较早的有苏联的谢别林卡（1950 年）、北斯塔夫罗波尔（1950 年）和加里兹（1956 年）。但是，特别重要的应首推荷兰的格罗宁根特大气田（煤型气）的发现（1959 年）。60 年代以来，相继在北海南部海域及邻近陆地发现十几个大型和巨型气田。到 1982 年为止，该区探明总储量达 $4.5 \times 10^{12}m^3$ 以上，是仅次于苏联西西伯利亚北部气区和波斯湾产气区。在苏联、澳大利亚及世界其它地区，也陆续发现众多的与煤系地层密切相关的煤型气田。因而，使这一类型非伴生气的勘探非常引人注目。

60 年代到 70 年代初，苏联西西伯利亚北部赛诺曼阶（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（微）生物成因气（Biogenic gases）是小型浅层气藏的认识，确认在一定的条件下，生物成因气同样可以形成巨型和特大型气藏。

上述两个方面的进展，加上石油伴生气的增加，使得近 20 多年来天然气勘探和生产获得巨大发展。据《油气杂志》(Oil & Gas Journal) 统计，到 1985 年 1 月 1 日为止，全球探明天然气的可采储量为 $96.3337 \times 10^{12} \text{m}^3$ ，其中超过 $1 \times 10^{12} \text{m}^3$ 的国家有 13 个 (表 1)，比 1960 年 ($7.46 \times 10^{12} \text{m}^3$) 增加 12.9 倍。天然气在油气总储量中的份额由 16.6% 增加到 45% 以上。纯气田的总储量远远超过油气田中伴生气的总和。

表 1 世界天然气已探明储量
(到 1985 年 1 月 1 日) (据 Oil & Gas Journal, 1984, 12)

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
尼日利亚	1.0081	1.046			

注：原表为英制

更为重要的是，天然气潜在储量大。据 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 1/3 左右，累积产量 (未计入石油工业初期无法利用而燃烧掉的天然气) 约为 $37.18 \times 10^{12} \text{m}^3$ ，仅占最终可采储量的 13.5% (表 2)。相比之下，石油的潜能大致仅相当已探明的储量。因此，天然气前景更为光明。

表 2 世界各地区天然气储量估计
(统计到 1983 年 1 月 1 日) (据 Halbouty, 1983, 第十一届世界石油会议报告论文集, 第六分册)

地 区	累积产量 (10^9m^3)	探明可采储量 (10^9m^3)	推算的可采储量 (10^9m^3)	最终可采储量 (10^9m^3)	占世界最终可采储 量%
非 洲	679.6	6,796.0	5,097.0	12,572.6	46
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

注：原表为英制

天然气产量的增长速度因受管道建设和价格低等因素限制，不及储量增长迅速。但全世界 1986 年天然气的总产量达 $19410.9 \times 10^8 \text{m}^3$ ，比 1960 年的产量 ($4684 \times 10^8 \text{m}^3$) 增长了 4.14 倍，而同期原油只增长 2.64 倍。1986 年世界上前 20 名产气国的产量及所占世界产气总量的比例如表 3 所示。

表3 1986年世界20个国家的实际产气量
(据“Oil & Gas Journal”, 1987, 3, 9)

国 名	产气量 (10^8m^3)	%	国 名	产气量 (10^8m^3)	%
1. 苏联	7381.1	38.03	12. 中国	196.9	1.01
2. 美国	5086.6	26.20	13. 委内瑞拉	187.5	5.94
3. 加拿大	965.7	4.98	14. 联邦德国	166.2	
4. 荷兰	799.6	4.12	15. 意大利	160.7	
5. 英国	498.0	2.57	16. 澳大利亚	159.7	
6. 墨西哥	381.7	1.97	17. 伊朗	149.1	
7. 阿尔及利亚	377.4	1.94	18. 巴基斯坦	119.0	7.07
8. 罗马尼亚	368.9	1.90	19. 阿拉伯联合酋长国	110.4	
9. 印度尼西亚	352.3	1.81	20. 沙特阿拉伯	100.2	
10. 挪威	276.2	1.42	21. 其它各国	1372.0	7.07
11. 阿根廷	201.7	1.04	全世界合计	19410.9	100.00

注：原表为英制

由于天然气资源丰富，加上近几年来石油价格明显下跌，天然气价格相对提高，对天然气开采较为有利，各国对天然气管道建设十分重视。苏联在1981—1985年，天然气工业总投资的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，天然气年产量从现在的 $33.5 \times 10^9\text{m}^3$ ，提高到 $209.5 \times 10^9\text{m}^3$ 。印度尼西亚、沙特阿拉伯、尼日利亚、马来西亚等12个主要产油气国，计划在80年代投资700亿美元用于天然气生产和管道建设。预计天然气日产量将从1981年的 $4.02 \times 10^8\text{m}^3$ ，提高到1990年的 $9.17 \times 10^8\text{m}^3$ 。

随着天然气生产迅速发展，它在能源结构中所占的比例亦有明显的增长（表4）。C. Marchetti, (1979) 预计，在不久的将来，天然气将取代石油成为下一个时期的主要能源（图1）。

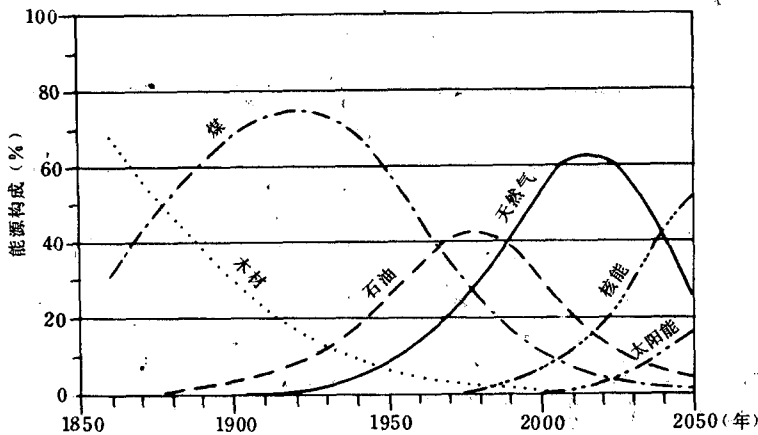


图1 世界主要能源替代图示
(据 C. Marchetti, 1979, 转引自胡见义, 1985)

天然气勘探、开发及其工业利用迅速发展，并形成独立的工业部门。这是天然气地质学成为独立学科的重要前提条件。

促使天然气地质学成为独立学科的另一重要原因，是天然气地质和地球化学研究取得重

大的进展。

表4 1965—2000年能源结构变化和预测
(据“World Oil”, 1981, V.192, No.5)

能 源	1965	1980	1990	2000
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

注：表中油/气一项是作者根据该表数据计算的

有了新的认识。60年代晚期到70年代早期，出现了一系列有关天然气地球化学方面的重要论文和专著，大大提高了对天然气的研究水平。其中有代表性的包括：Э. М. Галимов(1968, 1973)等的《地壳中天然气的碳同位素组成》和《油气地质中的碳同位素》；W. J. Stahl (1974)《天然气中的碳同位素的分馏作用》，T. Hoering (1967) 和 E. T. Degens (1969) 等对不同沉积环境下现代沉积物和生物体的各个有机组成进行系统的碳同位素测定，都是重要的基础研究工作，对天然气地球化学特征，成因及气源对比，起着重要作用；B. A. Соколов (1971) 的《天然气地球化学》一书，则是这一时期系统论述天然气地球化学特征方面较重要的经典著作，直到今天该书仍广泛被引用。同期发表的天然气地质方面的重要著作有：E. N. Tiralsoo 的《天然气》第一版 (1967) 和第二版 (1972)，B. W. Beebe 等 (1968) 汇编的《北美天然气》，M. T. Halbouty 等 (1970) 汇编的《大油田地质学》，I. Kaplan (1974) 汇编的《海洋沉积物中的天然气》等。这些研究为“天然气地质学”的发展奠定了坚实的基础。

70年代末到现在可以认为是天然气地质学独立成长的重要阶段。Высоцкий 经多年努力于1979年出版了《天然气地质学》一书。该书的中译者戴金星 (1984) 认为：该书“使天然气地质学由从属和依附于石油地质学中独立出来而成为一门分支科学奠定了一定基础”。与之并非偶然的巧合，Tiralsoo 的《天然气》经较大修改和补充后，于同年推出第三版。这一时期，天然气地质和地球化学的研究十分活跃。除碳、氢、氧、硫、氮同位素外，惰性气体同位素开始引入天然气研究。美、英、法、西德、加拿大和日本于70年代晚期，先后建立了惰性气体同位素实验室，使天然气研究向更广阔领域发展。对地壳内天然气的成因有了更深入和全面的认识。一大批新老地质、地球化学家，如 J. M. Hunt、M. Schoell、D. D. Rice、M. Lutz、A. T. James、H. Craig、G. J. Mac Donald、T. Gold、Л. К. Гуцало、B. T. Васильев、А. П. Виноградов、S. R. Silverman 等等，都在这方面作出了重要贡献。

作为“天然气地质学”成为独立学科的另一重要标志是：苏、美两个最大产气国在80年代初分别召开了“天然气”的专门学术会议。1982年在西西伯利亚秋明由全苏天然气研究所召开的天然气学术会议，涉及天然气地质、地球化学各个领域。同年在美国西弗吉尼亚州摩根城由能源部能源研究中心主持召开的深源气座谈会，会议发表的文献汇编，对推动深源气特别是无机深源气的研究和开辟新的天然气勘探领域等方面都起了重要的推动作用。同期，有大量天然气地质著作发表。

早在1954年，И. В. Высоцкий 就试图将“天然气地质学”作为一门单独学科划分出来，并出版了《天然气地质学原理》一书。这本著作对“天然气地质学”的诞生起了一定的催生作用。但从当时的天然气工业和地质研究的水平来看，“天然气地质学”远未达到能与“石油地质学”分离的程度。

50年代以来，随着同位素分析技术的发展，碳、氢同位素分析逐步引入天然气研究中来，对天然气的地球化学性质有

1983年在伦敦召开的第十一届国际石油会议上,天然气第一次作为一个独立的学术专题加以讨论和交流;1984年在莫斯科召开的第二十七届国际地质会议上,天然气亦占有相当重要地位。

所有这一切都表明,“天然气地质学”已作为独立的分支学科,出现在国际学术大舞台上。

二、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探讨。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。这些为识别和确定不同成因类型天然气提供了可靠的依据。

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。这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 $10^{11}m^3$ 的气田)数目不多,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11000个气田之中,仅占1.0—1.4%,但却占有最终可采储量的57.6%(H. R. Grunau, 1983),其中15个已探明可采储量大于或等于 $1 \times 10^{12}m^3$ 的特大(或超级)(super-giant)气田总计约为 $40 \times 10^{12}m^3$,占已探明总可采储量的37%左右。而且大气田发现数目和每个气田的平均储量到70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

表5 非伴生巨型气田发现的年代和储量
(据 E. N. Tirtsoo, 1979 所列 96 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	26.4052	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

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, 1980V.190, No.3)

年 份 \ 规模	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 $>6,000,000t$; $q_v > 8.5 \times 10^9 m^3$
B 油 $6 \times 10^6 - 4 \times 10^6 t$; $q_v 8.5 \times 10^9 - 4.25 \times 10^9 m^3$;
C 油 $4 - 1.6 \times 10^6 t$; $q_v 4.25 - 1.7 \times 10^9 m^3$;
D 油 $0.16 - 1.6 \times 10^6 t$; $q_v 0.17 - 1.7 \times 10^9 m^3$;
E 油 $<0.16 \times 10^6 t$; $q_v < 0.17 \times 10^9 m^3$.

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

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。

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,

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地逐步开展。而非常规气藏，应进行综合研究，在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。

第三，60年代以来天然气工业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和组织机构，制定有利于天然气开发的技术政策和措施。

三、我国近期天然气工业和（地质）研究概况

我国是世界上勘探、开发天然气最早的国家，一度无论在钻井技术和产量方面均居领先地位，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，使之得不到应有的扶持，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，全国仅有四川的自流井、圣灯山和石油沟气田，台湾的锦水、竹东、冻子脚、牛山、六重溪、竹头崎等气田和凝析气田。天然气储量无完整的统计资料，1949年产量仅为 $1.6 \times 10^7 \text{m}^3$ 。

新中国成立后，党和国家极为重视油气工业。从1953年筹组油气普查队伍到1978年原油产量突破 $1 \times 10^8 \text{t}$ 。石油工业发生了巨大变化。天然气工业伴随石油的发展，亦有较大的发展。到1979年已找到的天然气田近50个（台湾省未包括在内），年产量达到 $145 \times 10^8 \text{m}^3$ 。在这一工作中，四川的司徒愈旺、包茨、王金祺等地质学家作出了重要贡献。但是，业已发现的气田都是中、小型气田，探明的可采储量较小，天然气产量也明显地落后于石油。天然气在我国能源构成中仅占极小的一部分。这一情况，与先进产油气国相比，尚有很大差距。

出现这一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年原油产量达到 $1 \times 10^8 \text{t}$ 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，是对天然气形成的地质条件研究不够，思路不够开阔，加上油、气兼探过程中实际上忽视了天然气勘探，使之至今尚未找到一个像样的大气田。这是天然气产量上不去的一个极为重要的原因。

这些情况，自1978年以来已有不同程度的变化。罗志立等（1978年）、戴金星等（1979年）都曾根据国外天然气地质研究进展，提出开展煤成气的研究。这一倡议得到国家职能部门大力支持。在1982—1983年间，国家计委、经委、能委组织石油部、地矿部、煤炭部、科学院和高等学校各方面的专家座谈，研究“加快天然气勘探开发”问题。并拨专款加强地质研究，专门进行天然气勘探，同时组织“天然气资源勘探远景”学术交流。近几年来研究表明，我国有多种成因类型的天然气，资源丰富，并在南海发现了崖13-1号大气田，此外，在四川、华北、中原、鄂尔多斯、东海、柴达木、渤海湾、准噶尔、松辽南部都有新的进展，前景喜人。一些有利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的过程中。所有这些都大大促进了我国的天然气工业和天然气地质科学的发展。

四、天然气地质学的主要内容

作为新近从“石油地质学”中独立出来的新学科——“天然气地质学”，不可避免地包含与石油地质学重叠或相似的内容。因此，撰写本书时特别强调突出“气”字，与“气”有关的要突

出，与气无关的不写或尽量少写。基于上述设想，本书包含下列几个主要部分：(1)天然气藏的基本要素，包括天然气的产状及基本性质，储气层和盖层、圈闭和气藏；(2)天然气成因、气源岩及气源对比；(3)天然气运移、聚集及气藏形成条件；(4)含气盆地特征及天然气分布规律。最后，对我国天然气资源勘探前景及已知气区作了简要介绍。

在论述时特别重视气藏和油藏形成条件的对比，两者之间在很多方面有着明显的差别，正是这种差别，导致石油与天然气在富集及油气藏的分布等方面各有自己的特点及规律性。

第一章 天然气的产状及基本性质

第一节 天然气的概念和产状

一 天然气概念

广义的天然气是指存在于自然界的一切气体。根据其存在环境, В. А. Соколов (1971) 将天然气分为八类, 如表 1-1。

表 1-1 天然气的分类
(据 В. А. Соколов, 1971 补充)

气体类型 (按存在环境分类)	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			
a 土壤及底土气	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	CH_4, CO_2, N_2	$Ar, H_2, CO_2, NH_3, N_2O, H_2S$ 及来自空气的稀有气体	$CH_4, CO_2, H_2, NH_3, N_2O, H_2S$ 主要生化作用产物, 其它来自大气
c 海底沉积中的气	CO_2, CH_4, N_2	NH_3, H_2S, Ar	除稀有气体外, 都是生化作用产物
d 气水合物	$CH_4(C_2H_6, C_3H_8) \cdot nH_2O$	H_2S, CO_2	深源无机成因和生化成因 CH_4 和 H_2O 在一定温度、压力下构成的冰气结晶笼状化合物
III. 沉积岩中的气			
a 油田气	CH_4, C_2^+, N_2, CO_2	H_2S, NH_3, Ar, H_2	沉积岩中的天然气除稀有气体外, 主要是有机质热降解化学成因的气体; 部分生化成因气体 (如部分 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	
c 煤田气	CH_4	CO_2, N_2, C_2^+, He, Ar	
d 分散吸附气	CO_2, CH_4	N_2, C_2^+, H_2S	
e 地层水中的溶解气 (水溶气)	CO_2, CH_4	H_2S, C_2^+	
IV. 海洋中溶解气	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	CO_2, N_2, H_2	CH_4, H_2S, He, Ar	除稀有气体外, 均为化学成因
VI. 岩浆岩中气	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, 均为化学成因 (无机成因) 气
VII. 地幔排出气			
a 熔岩喷出气	CO_2, H_2, SO_2, HCl, HF	N_2, CO, NH_3, He, Ar	a 为地幔热排气的主要型式
b 大洋中脊喷出气	$CO_2, H_2, H_2S, SO_4, CH_4$	N_2, CO, NH_3, He, Ar	b c 为地幔冷排气的主要型式
c 深断裂气	CH_4, H_2	He, Ar, N_2	d 为地幔气和沉积岩中化学成因气混合成因
d 温泉气	CO_2, CH_4	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