

天然气地质学

包茨 主编



34360

石油地质学基础理论丛书

天然气地质学

包 茨 主 编



5245/05



200368887

科学出版社

1988

内 容 简 介

本书是我国第一部有关天然气地质学的专著。全书共分六章,约 60 万字,附图 361 幅,主要论述天然气的成因、储集层、运移和聚集,天然气藏的形成特点,以及含气盆地的类型,并列举了国内外十五个典型气田实例。本书集中论述了天然气地质学与石油地质学的不同点,突出了与天然气有关的诸地质因素以及天然气特有的储集类型。

本书供从事石油及天然气勘探开发的地质人员、科研人员,以及大、中专院校有关专业的教师参考,也可以作为研究生及高年级大中专学生的正式教材。

石油地质学基础理论丛书 天 然 气 地 质 学

包 茨 主 编

责任编辑 周明鉴

科 学 出 版 社 出 版

北京朝阳门内大街 137 号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1988 年 8 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

1988 年 8 月第一次印刷 印张:25

平 1—1,600

插页:8 平 6

印数: 精 1—690

字数:578,000

ISBN 7-03-000332-2/P·52(平)

ISBN 7-03-000559-7/P·97(精)

定 价: 平 装 10.50 元

套售精装 12.00 元

序

我国是勘探、开采、利用天然气最早的国家。十九世纪中叶,四川自贡市(是过去自流井和贡井两大产盐区的总称)已开采了较大量的天然气,当地人利用这种气体煮盐卤来获取固体的“盐巴”,并把带天然气的盐井叫“火井”。在一个时期里,不少富人投入大量资金,竞钻火井,获利甚厚。

在国外,天然气的获取和利用是伴随着钻探油田和建立石油工业而来的,开始时天然气不过是一种副产品。由于石油工业的迅速发展,从本世纪中期以来,天然气的生产也逐步增加,而且在许多地区探明了只产天然气的天然气田,因而逐渐形成了独立的工业体系。60年代以来,天然气的储量和产量猛增,特别是苏联西西伯利亚低地天然气田的发现和开采,引起了人们对天然气的极大重视。当今世界能源结构中天然气约占19.5%,仅次于石油和煤炭,居第三位。但有人预测在本世纪末和下世纪初,石油产量将明显下降,而天然气产量则将迅速上升,形成“天然气时代”。

中华人民共和国建国以来,由于党和政府的高度重视,科技人员和工人的智慧、奋斗和决心,在短短的七八年中就普查、勘探、开发和建设了目前世界闻名的大庆油田。紧接着又建设了胜利油田、大港油田,以及其它一些大油田。1978年以来,我国原油产量已达到和超过一亿吨。相反,天然气的产量却一直很低。1984年我国生产石油11,453万吨,生产天然气124亿米³,油与气之比约为9:1(按一吨油相当于一千米³气计算),而世界上其它一些主要产油气国家,这一比例则约为1:1。两者相差甚多。那末,是不是我国境内天然气的可能储量太少,是“先天不足”呢?绝对不是!我们认为主要原因是对天然气勘探重视不够,对天然气地质学的理论和实践掌握不足,或者说知之不多。例如,在四十年代初,我们就在四川隆昌圣灯山,根据地质理论,采用当时的新技术钻探天然气田,并取得了成功。从此,特别是建国后大家都把力量集中在四川盆地,寻找和勘探天然气田,确实也打开了局面。在这一过程中,本书的著者付出了大量的劳动。但是,在四川盆地以外,在我国广大的国土上是不是可以寻找并找到更大更多的天然气田呢?应当说,在五十、六十年代,我们对这一课题是没有抓的,至少是抓得不紧的。近年来,不少地球科学工作者已注意到这一点,并且通过理论研究和勘探实践发现了煤成气藏,开拓了天然气勘探新领域。同时,通过对天然气资源的初步预测,展示了我国天然气勘探远景。广大科技人员不仅感到必需改变现状,并且也感到已具备了发展天然气工业的条件,大家还都感到在理论领域内必需增加武装。《天然气地质学》一书的编写和出版就是针对这一急需的,也是非常及时的,它对提高理论和指导实践都将起到重要作用。

本书分六章。第一章绪论,指出天然气地质学急需从石油地质学中分离出来的必要性,扼要地提出了天然气田与油田形成条件的异同。第二章天然气的成因,强调天然气的多源性,指出天然气有两种形成途径(沉积物中有机质降解和地球深部无机合成)和三种成因类型(生物气、热解气和深源气),分类简明扼要。第三章天然气储集层,以储集层的

储集空间——孔、洞、缝为核心，以沉积相为基础，论述不同成因储集层的形成和演化过程，强调沉积相的控制作用，并指出有利的空隙类型，有利的储集岩类，有利的沉积相区和有利的次生作用种类和方向。第四章天然气的运移和聚集，从油气流动性质不同入手，以具体的数据论述天然气比石油具有更大的活动性，讨论天然气与石油运移动力和方式以及聚集形式的差异。第五章含气盆地，论述含气盆地的特点，以盆地的成因和气田形成的机制为基础，划分出四种含气盆地类型和一些明显的亚类。第六章气田实例，描述和讨论若干中国气田和几个国外气田的特点，通过实例解剖，加深读者对气田地质的理解。

本书约 60 万字，附图 361 张，图版 12 个。内容简明扼要，章节安排合理，是我国论述天然气地质学的第一本专著。我们特向著者表示衷心的祝贺，并向广大读者作简要的介绍。

黄汲清

1986 年 3 月 8 日于北京

前 言

石油与天然气素有孪生姊妹之称,所以有关天然气地质问题,历来都包含在石油地质学中。近二、三十年来,发表了很多专论天然气地质的论文和研究成果,世界天然气产量和储量的增长速度也大大地超过了石油。理论和实践都证明,天然气地质学和石油地质学之间有很多不同点,应该建立具有独立体系和丰硕内容的天然气地质学,以与石油地质学相区别。当前,石油地质学专著在国内外已见多种,但论述天然气地质学的专著国内没有,世界范围内也少见,这是一个缺陷。

我国利用天然气的历史悠久,特别是近三十多年来,积累了大量的天然气勘探开发的实践资料,近年来世界上许多国家也进行了大量天然气勘探、开发和研究工作,并取得了丰硕的成果。因此,编写《天然气地质学》的条件已经成熟。全书共分六章,系统介绍了天然气的成因、储集层性质、运移聚集特征和含气盆地的分类。着重论述了与石油地质学的不同点,突出了与天然气有关的诸地质因素,并附有国内外十五个重要气田的实例。

本书由包茨主编。执笔人如下:第一章,包茨;第二章,韩耀文;第三章,陈定宝;第四章,李绍良;第五章,司徒愈旺;第六章,以李绍良为主。陈瑞芬清绘全部图件。初稿完成于1984年底,1985年4月由田在艺高级工程师为主任,罗蛰潭教授和吴崇筠高级工程师为副主任,罗志立、张厚福、陈荣书、朱国华、陈焕疆、李懋钧、李明诚和戴金星等同志为委员,组成了《天然气地质学》评审委员会,对全书进行了评审。根据评审意见,作者们进行了必要的修改和补充。

书中大量资料数据主要来自四川石油管理局下属各生产、科研单位;各兄弟单位及兄弟油田也给了大力的支持。在本书编写过程中,得到了曾鼎乾、张义纲、袁道先、李明诚、罗志立、袁亦楠、王平、吴华元、侯方浩等同志的热忱帮助,四川石油管理局地质勘探开发研究院各研究室的有关同志也给予多方帮助,在此一并深表感谢。年逾八旬的世界著名的地质学家黄汲清博士热忱地为本书作序,谨致以深切的谢意。

限于作者的水平,书中谬误之处在所难免,敬希读者批评指正。天然气地质学是一门年轻的学科,需要广大从事天然气地质勘探、开发和教学、科研的同志们大力扶持,使它发展完善。

作 者

1986年4月

目 录

序

前言

第一章 绪论	1
第一节 天然气勘探开发简史.....	2
第二节 天然气地质学的现状和发展.....	3
第三节 天然气的地理和地层分布.....	5
第四节 非烃气体.....	7
第五节 天然气藏形成条件的特点.....	9
第六节 世界天然气工业的现状与发展趋势.....	10
第二章 天然气的成因	13
第一节 生物气.....	14
一、生物气的资源意义和研究现状.....	14
二、与生物气研究有关的某些微生物学基本概念.....	15
三、生物气的形成机理.....	16
四、影响生物气生成的因素.....	18
五、生物气的特征.....	22
六、生物气的勘探远景.....	24
第二节 热解气.....	24
一、热解成气作用概述.....	24
二、热解气的形成机理.....	26
三、热解气的特征.....	36
四、热解气的生气量.....	37
五、热解气的勘探远景.....	39
第三节 煤成气.....	41
一、煤成气的概念和煤成气资源.....	41
二、成煤作用与煤成气.....	43
三、煤成气形成的地球化学.....	44
四、煤成气模拟实验.....	46
五、煤的有机显微组分及其成气特征.....	49
六、煤成气的特征.....	51
七、煤成气量计算.....	54
第四节 深源气.....	56
一、深源气的意义和研究现状.....	56
二、甲烷无机合成的实验基础.....	57
三、关于深源成气作用的假说.....	59
四、深源气存在的证据.....	61
五、深源气的特征.....	62

六、我国对深源气的研究	62
七、深源气的远景	63
第五节 天然气成因类型的综合识别与气源追索	64
一、不同成因天然气的碳、氢同位素组成特征	64
二、根据碳、氢同位素与其它参数的相关性识别天然气的成因类型	70
三、气源追索	73
第三章 天然气储集层	79
第一节 储集岩(层)的空隙类型及其评价	79
一、储集岩(层)的空隙类型	79
二、储集岩(层)的物性参数及其应用	82
第二节 碳酸盐岩储集层的孔(洞)	90
一、碳酸盐岩储集层孔(洞)类型	90
二、有利碳酸盐岩储集层孔(洞)发育的岩类及其成因	92
三、碳酸盐岩储集层孔(洞)的形成条件和演化	98
第三节 陆源碎屑砂(砾)岩储集层的孔(洞)	147
一、陆源碎屑砂(砾)岩储集层孔(洞)类型	147
二、有利陆源碎屑砂(砾)岩储集层孔(洞)发育的岩类及其特征	150
三、陆源碎屑砂(砾)岩储集层孔(洞)的形成条件和演化	154
第四节 储集层的裂缝	187
一、裂缝的类型	187
二、裂缝发育的规律	190
三、裂缝在油气领域中的作用及裂缝-孔隙型储集层的特点	196
第四章 天然气的运移和聚集	212
第一节 天然气的物理性质特征	212
第二节 天然气的初次运移	219
一、初次运移的动力	219
二、初次运移的方式	220
第三节 天然气的二次运移	232
一、天然气二次运移的主要动力	232
二、天然气二次运移的主要方式	238
第四节 天然气运移条件	241
一、天然气运移时间	241
二、天然气运移的主要方向	250
三、天然气运移的距离	256
四、排气效率与影响因素	260
第五节 天然气聚集	270
一、天然气聚集的条件	270
二、天然气聚集的基本原理	288
三、天然气聚集的特殊形式	293
第五章 含气盆地	305
第一节 含气盆地概念	305
第二节 含油气盆地划分及其原则	305
第三节 含气盆地分类和特点	309

一、分类原则.....	309
二、分类.....	311
第四节 各类含气盆地实例.....	313
一、生物气为主的盆地.....	313
二、热降解气为主的盆地.....	316
三、热裂解气为主的盆地.....	319
四、煤成气为主的盆地.....	326
第六章 气田实例	333
第一节 中国柴达木盆地涩北气田.....	333
第二节 苏联西西伯利亚盆地乌连戈伊气田.....	336
第三节 中国渤海湾盆地板桥凝析油气田.....	341
第四节 中国塔里木盆地柯克亚气田.....	344
第五节 美国二叠盆地奥宗纳气田.....	348
第六节 中国四川盆地卧龙河气田.....	353
第七节 中国四川盆地阳高寺气田.....	357
第八节 中国四川盆地威远气田.....	361
第九节 中国莺歌海盆地崖 13-1 气田.....	363
第十节 中国华北盆地文留气田.....	365
第十一节 中国四川盆地遂南气田.....	368
第十二节 中国四川盆地中坝气田.....	372
第十三节 联邦德国西北德意志盆地雷登气田.....	377
第十四节 日本新潟盆地中条气田.....	380
第十五节 美国圣胡安盆地圣胡安气田.....	382
后记.....	389
附录.....	390
图版.....	391

第一章 绪 论

天然气地质学是研究天然气在地球岩石圈中形成、运移、富集和散失等过程与地质作用的关系的科学。传统的观念是把它放在石油地质学中来讨论的。长期以来,天然气只是作为石油的副产品看待,因而很少有独立的天然气勘探计划,也就用不着有它自己的地质理论。然而实践证明,世界上确实有些地区,虽然没有发现大量石油,却找到了丰富的天然气。世界上已探明的天然气储量中,约有百分之九十都不与石油伴生,而是以纯气藏或凝析气藏的形式出现,形成含气带或含气区。这就说明天然气地质和石油地质虽然有

表 1-1 天然气分类表 (Соколов, 1965)

按存在环境分类的气体类型		化 学 组 成		成 因
		基本成分	含有成分	
I. 大气		N_2, O_2	Ar, CO_2 , Ne, He, Kr, Xe, H_2 , O_3	是生物、化学、放射成因气体的混合物
II. 地表气	土壤及沉积表层气体	CO_2, N_2, O_2	Ar, CH_4, H_2, N_2O 及稀有气体(来自空气)	CO_2, CH_4, N_2O 及 H_2 主要是生物化学作用产物,再与大气混合
	沼泽及泥炭中气体	CH_4, CO_2, N_2	Ar, $H_2, CO, NH_3, N_2O, H_2S$ 及稀有气体(来自空气)	$CH_4, CO_2, H_2, NH_3, N_2O, H_2S$ 主要是生物化学作用产物,其它来自大气
	海底沉积物中的气体	CO_2, CH_4, N_2	N_2, NH_3, H_2S, Ar	除稀有气体外,都是生物化学作用产物
III. 沉积岩气体	油田气 ¹⁾	CH_4, C_2+, N_2, CO_2	H_2S, He, Ar, H_2	除稀有气体外,主要是化学成因的气体,混入部分生物化学成因气体(如部分 H_2S)
	气田气	CH_4, N_2, CO_2	C_2+, H_2S, He, Ar, H_2	在高温深处,正常细菌活动停止,生物化学成因气体就不存在了
	煤田气	CH_4	$CO_2, N_2, H_2, C_2+, He, Ar$	
	分散气体	CO_2, CH_4	N_2, C_2+, H_2, H_2S	
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 有生物化学成因的;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	高温气(从熔岩湖喷出)	CO_2, H_2, SO_2, HCl, HF	N_2, CO, NH_3, He, Ar	火山气从地幔表层,到达沉积岩;由于与上层的气体混合而经受不同程度的改变
	喷出气体(100—200℃)	CO_2, H_2, H_2S, SO_2	N_2, CO_2, NH_3, He, Ar	
	温泉气	CO_2	N_2, CO, NH_3, He, Ar	
VIII. 宇宙气		H_2, H, He	CO, CH 基, CH_3 基, OH 基, 及其它元素离子化了的原子	由于核反应,放射化学反应及化学反应而成

1) C_2+ 指碳原子数大于或等于 2 的烃类气体。

某些共同性,也有密切的联系,但是天然气毕竟有它自身发生、发展、形成矿藏的地质规律。它有自己的应该研究讨论的丰富内容。

广义地讲,天然气是泛指自然界存在的一切气体,包括大气圈、水圈、生物圈和岩石圈中各种自然过程形成的气体。Соколов(1965)提出的天然气分类(表 1-1)就是根据这种广义的天然气进行的。

但是,从能源研究和油气勘探的角度出发,天然气是专指岩石圈中蕴藏的、以气态烃为主的可燃气体。它的主要成分是甲烷,这是天然气的狭义的定义。这种以甲烷为主的可燃天然气,可以形成各种类型的、有开采价值的气藏。当然,除甲烷外,有时以硫化氢、二氧化碳等为主体,也可以形成有经济价值的气藏。

第一节 天然气勘探开发简史

人类发现天然气的历史悠久,《周易》就有“泽中有火”的记载,《周易》是我国西周时期(约公元前十一世纪—前七世纪)的一部占卜用的书,但也记载了一些社会现象和自然现象。“泽中有火”就可能是一种天然气的燃烧现象。差不多与此相近的时间,即公元前一千多年,在苏联的巴库地区,人们偶然引燃了从石缝中串出的气体,燃烧了几百年之久。当时人们限于知识,把它看作是“圣火”。那时人们虽然发现了天然气,却还不能利用。我国是世界上开采利用天然气最早的国家,战国时期(约公元前 3—1 世纪),秦孝文王时的蜀守李冰,在今四川邛郫一带,于钻凿盐井的过程中遇到了天然气。1950 年我国考古工作者在四川的汉代陵墓中发掘出了不少汉代画像砖,在邛郫县花牌坊出土的汉画像砖中有一块的图案清楚地显示出井口、井架、锅灶以及工人劳动的情景。从四川自贡市目前还保留的一些古老的采气煮盐现象对照判断,这块画像砖上的图案显然是输送天然气供燃烧煮盐的。这就证明了我国人民早在两千多年前已经开始利用天然气。根据一些历史古籍的记载,我国西北地区的甘肃、陕西;华北平原的河北,华东地区的台湾,西南地区的云南、贵州等省,都早在一千多年前就发现了天然气,有的还利用它作煮饭的燃料。但利用最广泛的还是四川省,特别是四川的自流井地区。这里的自流井气田,在十三、四世纪时就已经开始了较大规模的开发。随着钻井工艺技术的进步,采气深度也逐步加深,1835 年完成的兴海井,井深已达 1,001.4m。钻达的地层是下三叠统嘉陵江组第五段。著名的磨子井,是在 1840 年左右钻开下三叠统嘉陵江组第三段的,它是一层主力含气层,埋藏深度达 1,200m。钻开后即发生强烈井喷,并着了火,远在 15km 以外都能看到冲天的火光,当时的技术条件是没有办法控制这样的事故的,所以这口井是在燃烧了很长时间以后,压力降低了,才灭火完井利用。自流井以产盐闻名,正因为它不但有丰富的盐卤,又有丰富的天然气,以气熬盐,所以盐业经久不衰。据统计,自流井气田埋藏深度在 1,200m 以内气层的天然气,累计已采出 $3 \times 10^{10} \text{m}^3$ 以上。深层也有丰富的天然气存在,目前自流井已成为我国重要的化学工业基地之一。

由于历史的原因,在我国除四川自流井气田外,天然气的勘探开发一直得不到发展。直至中华人民共和国成立以后,有计划、有规模的天然气勘探开发工作才在四川盆地逐步开展起来。目前,勘探工作已在四川全盆地普遍展开,重点探井的深度已达 7,175m。每年都有一批新的天然气藏发现。已经有一批气田进行科学开发。四川盆地已经成为我国

重要的天然气工业基地。在青海、新疆、陕西、甘肃、宁夏、河北、河南、辽宁、广东等省区，以及我国广大海域，也都先后进行了以天然气为目的的勘探。我国的煤炭资源十分丰富，煤成气已列入国家重点研究课题，因此可以预见，我国的天然气勘探开发工作，必将得到更大规模的发展。

世界上其它生产天然气的国家，天然气的勘探开发历史与我国有类似的地方，即发现、利用天然气的历史悠久，但计划的针对天然气进行勘探和开发的历史并不长。当今世界上生产天然气最多的国家苏联，真正开始有目的地勘探开发天然气也只是本世纪五十年代的事，这是因为人们从来都把天然气作为勘探开发石油的副产品，在中东一些盛产石油的国家，还把大量的石油伴生气白白烧掉，当然更不会专门花钱去勘探开发天然气了。苏联在二十世纪五十年代成立了天然气工业部，从此天然气的勘探开发工作迅猛发展。目前，它拥有的天然气储量和产量都已居世界首位。从这里也可看出，把天然气地质学从石油地质学中分离出来并建立自己的理论和实践体系的重要性。现在世界上不但在一些产油大国（如苏联、美国、英国），而且在一些产油不多甚至不产石油的国家（如联邦德国、法国、意大利、日本、巴基斯坦、泰国、缅甸等），都已开始从事天然气勘探，有的已进行了大规模的开发。这是因为实践使人们了解到，在没有发现石油的地方，也有可能发现天然气。因此可以预料，世界范围内的天然气勘探开发将会更大规模的发展起来，其势头将会超过石油。

第二节 天然气地质学的现状和发展

本世纪六十年代，特别是七十年代以来，世界上有大量的关于天然气地质研究成果、报告和论文发表。它们涉及的面很广，包括天然气的成因类型，天然气的运移、聚集机理，天然气的圈闭类型，天然气藏形成条件等各个方面。这些研究成果的发表，标志着天然气地质已逐步的从石油地质中分离出来，并且逐渐形成了天然气地质学的体系。

1. 天然气多源成因的观点已逐渐的为很多学者所接受。研究证明，多种地球化学作用，诸如厌氧细菌的生物化学作用，有机质的热降解作用，液态烃的热裂解作用，以及岩浆的脱气作用等，都可以形成天然气。这就是说，天然气不仅可以与石油伴生，而且可以独立产生；它不仅可以是有机成因的，还可以是无机成因的。所以天然气的气源是非常丰富的。

2. 气源岩中形成的天然气呈分散状态，它是如何从气源岩进入储气层的？又如何在一的场所聚集起来？一般认为，天然气的运移如同石油一样，也有初次运移和二次运移。天然气从气源岩中进入储气层的过程称为初次运移。天然气的主要成分是 CH_4 ，其分子直径很小，运移能力很强，因此它除了可以溶于水随水同时运移外，还可以呈游离态运移。气源岩中形成的天然气，当生气量小于源岩中所含水的水溶气量时，天然气只能呈水溶状进行初次运移进入储气层，但当生气量大于水溶气量时，就有一部分天然气呈游离状态运移。形成初次运移的动力主要是气源岩上覆地层的压实作用。经初次运移进入储气层的天然气仍然是分散的，还须经过聚集的过程，这就产生了二次运移，天然气二次运移的方式以游离气态为主，这是因为有些天然气在初次运移时即以游离气态进入储气层，而那些饱和气的水自源岩进入储层之后，因为压力降低也会脱出游离气。促成二次运

移的动力主要是浮力和水动力,从高势能区向低势能区运移。天然气通过二次运移,到达某一适合的空间聚集形成气藏。因此,研究判断天然气二次运移的途径和方向,进而研究天然气藏的空间分布规律,是当前天然气地质学中的一个重要方面。

3. 天然气源岩的时空分布很广阔,所以能够生成巨大数量的天然气。但是,由于天然气本身具有的特性,它能聚集而形成气藏的只是一小部分。一般认为,天然气的聚集系数只有千分之几,只在个别情况下才会超过1%。形成气藏以后,天然气的扩散作用仍常常继续存在,因此天然气保存条件的研究十分重要。圈闭是天然气二次运移中的聚集场所,形成圈闭必须具有储集层、盖层和隔档等几个先决条件。圈闭既有捕集天然气的能力,又有使天然气不再逸散的能力。天然气圈闭的类型很多,当前研究和探明得最多,而现实中也是最重要的是背斜构造圈闭。四川盆地已发现的天然气藏,90%以上都属于这一圈闭类型。在这个盆地中,凡是构造完整,储气层之上的盖层严密,经钻探都可获得天然气藏。那些构造虽然完整,但盖层受到剥蚀,或被断层割切破坏的,一般都没有气。这种构造在地质历史的某个阶段可能捕集过天然气,但因保存条件不好,天然气又散失了。

4. 天然气藏中捕集天然气量的多少与很多因素有关,如圈闭的大小、气层压力的高低、储气层性质的优劣和水文地质条件的好坏等。在圈闭大小、气层压力和水文地质条件相类似的情况下,气藏含气量的多少主要取决于储气层的岩石性质、厚度、孔隙度、渗透率等条件。储集层的简单定义是:能够储集流体(油、气、水)的岩层称为储集层。那末,天然气储集层是不是与油、水的储集层不同呢?这是天然气地质学中的一个问题。储集层的确切定义是:凡是能够储集流体(油、气、水),又能从中采出流体(油、气、水)的岩层称为储集层。其中有些岩层只能储集天然气而不能储集其它流体,例如习惯所称的“致密砂岩”。因此研究天然气储集层的有效孔隙度、渗透率的下限,和研究孔喉的性质、结构等在天然气地质学中占有重要位置。

5. 研究天然气地质学的最终目的是为发现更多的天然气藏、开采出巨量的天然气供市场需要,所以天然气的形成条件和天然气藏的空间分布是天然气地质学中的两个重要问题。当前,对天然气的形成问题,由于地球化学的发展并和地质学的密切结合,以及各种模拟试验方法的采用,气源岩类型,成熟度测定,干酪根热模拟产烃率等都已向定量方面发展,能计算出一个地区的生烃总量。但是对天然气藏的空间分布规律却还掌握得很不够,世界范围内,尽管已发现了成千上万个天然气藏,但气藏中所包含的气量与气源岩成气量相比是一个非常微小的数字,与聚集量相比,数量仍然很小。如张仲武等研究了四川盆地后认为¹⁾,天然气构造圈闭中的资源量只占聚集量的1/6。那末,其余的5/6聚集在什么地方?制约天然气藏空间分布的因素众多,目前的认识深浅不一,譬如,天然气运移的动力和方式,发生运移的时间、通道、方向、距离和效率等,都还处于推理探索阶段,而这些问题都是确定天然气藏空间分布的关键问题。又如,不同的圈闭对区域盖层严密性的要求如何?不同性质储集层的有效储集的下限如何确定?以及其它一些问题等,对这些问题的分析、研究,获得比较切合实际的认识,将在提高天然气勘探成效方面起到很大的作用。

近二十年来,虽然发表了大量有关天然气地质的研究成果,但是系统地综合天然气的

1) 张仲武等, 1984, 四川盆地油气资源评价。

生、储、盖、运、聚、保诸方面有机联系的,并明确从石油地质学中独立出来的《天然气地质学》专著却不多见。作为一门有自己体系的学科,应该有这样的专著。1954年,苏联学者И. В. Высоцкий的《天然气地质学》是世界上第一本这样的专著,1979年又出版了该书的增订本。这本新著重点论述了天然气的形成和天然气藏的空间分布两个方面,大致反映了当时天然气地质学的现状。

6. 生产实践促进理论的发展,世界天然气工业正在以比石油工业更高的速度发展着,这就迫使天然气地质学也必须大步前进,天然气的无机成因说已引起人们的注意。天然气运移的机理、聚集过程、圈闭类型、成矿条件等方面都还有不少问题急待研究,还有更多的问题有待发现。总之,这一分支学科有待发展。它的发展方向是与地球化学、地球物理学、构造地质学、沉积学、水文地质学等诸学科紧密结合,采用多种分析实验模拟手段,广泛的使用电子计算机技术,使天然气地质学的理论性更强,实用性更大。

第三节 天然气的地理和地层分布

天然气可见于世界各个沉积地区。据已有的资料统计,现在世界上已进行工业开采天然气的国家和地区超过65个,它们的分布遍及五大洲的陆上和海域。因为天然气可以和石油共生,所以世界上凡是已发现石油的地方都有天然气。但是在一些未发现石油的地方,也找到了丰富的天然气,比如浅层生物气的分布领域就很广阔;这种生物气的已知储量约占世界天然气总储量的20%。过去认为,有煤炭分布的地方,很难再有石油,因而也就不重视气。实践证明,有煤的地方,要找到丰富的石油确实是困难的,但可以有非常丰富的天然气存在。目前世界上已知天然气储量中很多都和含煤地层有关。荷兰、德意志联邦共和国等生产的天然气几乎都是煤成气。地球上煤炭的地理分布比石油要广泛得多,这样,天然气的地理分布也就必然比石油广阔。煤成气已成为很重要的天然气类型之一。就我国的情况看,从东到西,从南到北,从陆地到海域,都已发现了天然气藏。就地理分布讲,它比已发现的油藏宽广。

近年来,天然气的无机成因说又逐渐的被重视起来,因为有一些事实,不能不引起人们的注意。在美国西部逆掩断裂带发现的天然气的储量很大,其中有些是无机成因的。在非洲扎伊尔和卢旺达共和国交界处的基伍湖内,在水深二百七十多米的湖水中含有大量天然气,据计算纯甲烷的储量达 $6 \times 10^{10} \text{ m}^3$ 以上。基伍湖是个火山湖,它周围不存在富含有机质的沉积岩,气体中所含的 ^3He 的浓度比其它地区高三千倍, ^3He 是地球深部气的标志因此认为 CH_4 是深源气(也有学者¹⁾认为是生物气)。我国四川盆地威远气田的天然气产自震旦系,根据测定,震旦系的年龄约为800Ma(百万年),而天然气的年龄却有1,500Ma,这就不能不使人们怀疑气是来自地球更深处地方。天然气的无机成因说一旦为更多的事实所证明,那末天然气不仅可以在广大的沉积岩区找到,也可以在非沉积岩区发现。在地球的各个角落都储藏有丰富的天然气的论断,很有希望会为实践所证明。

从横向上看,天然气的地理分布很广泛;从纵向上看,天然气的地层分布范围也很广。世界已有的勘探成果证明,从古老的前寒武系,到最新的第四系,都已发现了天然气藏。

1) Tietze, 1980.

1980 年底,世界探明天然气剩余储量约为 $8.1 \times 10^{13} \text{m}^3$, 其中储量大于 $3 \times 10^{12} \text{m}^3$ 的主要气田的储量合计有 $7.5 \times 10^{13} \text{m}^3$, 约占 93.7%。它们的地层分布如表 1-2。

从表中可以看出,中生界中的储量最多,占 60%, 古生界中占了 30.4%。中生界中的白垩系和古生界中的二叠系是两个富含气的地层。这个统计资料有一定的实际意义,它可以使我们在新区或勘探程度比较低的地区进行天然气勘探时,对这些地层加以重视。但是这不应该成为我们指导天然气勘探的框框。因为天然气藏的形成,受制于很多地质因素,包括生成天然气的物质基础——有机质的丰度;使有机质转化成气的地球化学环境,天然气的储集和运移条件,以及成矿的富集规律和保存作用等。同一地质时代的沉积物在世界各地的沉积和演化条件不可能完全一致,地质条件的地区性是十分强的。各个地区的沉积条件、构造条件和地球化学条件都各有特点。比如我国四川盆地,是世界上发现和利用天然气最早的地区,到现在为止,已知的天然气储量分布,古生界大于中生界,它和世界统计资料不同。

表 1-2 1980 年世界主要气田原始储量地层分布 (Васильев 等, 1983)

地 层	天 然 气 原 始 储 量	
	储 量 (10^{12}m^3)	%
新生界	68,933	9.2
上第三系	24,475	3.3
下第三系	44,458	5.9
中生界	449,577	59.9
白垩系	364,723	48.6
侏罗系	44,418	5.9
三叠系	40,416	5.4
古生界	227,808	30.4
二叠系	158,660	21.2
石炭系	23,497	3.1
石炭-二叠系	24,17	3.2
泥盆系	4,937	0.7
志留系	/	/
奥陶系	10,490	1.4
寒武系	6,053	0.8
前寒武系	3,702	0.5
合 计	750,000	100.00

已有的统计资料也可看出,深度大于 5,000m 的地方,天然气储量不多,它只占世界主要气田探明原始储量 $7.5 \times 10^{13} \text{m}^3$ 中的 0.8%,这个情况,与其说反映该深度天然气聚集潜在的可能性不大,不如说反映了对深层的勘探工作进行得还太少。因此,可以这样认为,地壳上凡有沉积岩分布的地方,不论沉积岩地质时代新老,不论埋藏深浅,只要地质条件有利,都可以找到天然气藏。可能的无机成因天然气还未包括在内。

在我国,从最新的第四系到非常古老的前寒武系,都已发现了天然气藏。最浅的工业气井,井深只有 8m 左右,如上海市附近的气井;最深的工业气井在四川盆地,深度 7,175m。

第四节 非 烃 气 体

表 1-1 列出了广义的天然气分类,尽管本书重点研究的是烃类可燃气体的有关问题,但是有些气体如 He 、 CO_2 、 H_2S 等等,有的自己可以形成具有开采价值的矿藏,有的虽与其它气体伴生,不能形成独立的矿藏,但因它的工业经济价值高,只要有一定的丰度也就可以进行工业开采,对待这些重要的非烃气体,应该给予足够的重视。同时,对非烃气体的研究,对了解气藏的形成,运移等条件也有重要意义,并有助于含油气远景评价。

1. CO_2

CO_2 是一种无色无味无臭的气体,在自然界分布很广泛。世界上已发现了不少 CO_2 纯气藏,我国广东的三水盆地,江苏泰兴的黄桥,美国的科罗拉多州都发现含 CO_2 高达 98% 以上的纯气藏,有的则以 CO_2 为主,伴生有 CH_4 、 N_2 ,更多的则是在 CH_4 气藏中有 CO_2 共存。

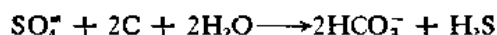
CO_2 的来源有好多种,有成因于生物化学作用,有成因于化学作用,有来源于火山气体,但当其以纯 CO_2 气藏出现时,往往与碳酸盐岩的热解或火山喷发有关。唐忠驭(1984)对广东三水盆地纯 CO_2 气藏中 CO_2 的成因进行了研究,认为 CO_2 是由碳酸盐岩热解生成的。三水盆地沙头圩气藏中的 CO_2 含量高达 99.55%,它产自下第三系埭心组石灰岩溶洞。坑田气藏中的 CO_2 含量高达 99.45%,产自流纹岩裂隙带。从产状看,都与碳酸盐岩和喷发岩有关,三水盆地的上古生界和中生界中碳酸盐岩都很发育,新生界中也有石灰岩,而中生代、新生代时,火山活动频繁,巨厚的碳酸盐岩在火山活动提供的巨大热量下,热解成大量的 CO_2 ,在适当的地质条件下富集形成 CO_2 纯气藏。国外一些 CO_2 气藏的分布地带,也大都与地史上或近代的火山活动带有关。如美国落基山东麓一带和新墨西哥州,意大利的西西里岛等。我国济阳凹陷平方王油气田第三系沙河街组第四段气藏中含 CO_2 65—73%,含气层有石灰岩,在平方王背斜下面有一个埋深不大的火成岩侵入体,石灰岩受这个侵入体的高温烘烤分解形成 CO_2 。

2. H_2S

H_2S 是一种具有腐蛋臭味的有毒气体,常与烃类气体伴生,成为开采烃类气体中经济价值较高的副产品。当含量特高时,可以成为独立开采的 H_2S 气藏。我国河北省晋县赵兰庄 H_2S 气藏中 H_2S 含量高达 92%,伴生气体有 CO_2 、 CH_4 ,但量都很少, CH_4 只占 0.3%。类似这种纯 H_2S 气藏,目前还不多见。法国的拉克气田以富含 H_2S 著名,其含量也只有 15%,由于 H_2S 的腐蚀金属的能力很强,拉克气田发现后,不得不推迟开发达三年之久。我国卧龙河气田和中坝气田的天然气中 H_2S 含量也很高,但都低于拉克气田的数值。

一般认为, H_2S 来源于生物化学成因和化学成因,即含硫有机物的演化和硫酸盐的还原。它可能有以下几种形成途径:

(1) 脱硫细菌的还原作用 由于脱硫细菌的还原作用,硫酸盐还原生成 H_2S ,反应式为:



这种作用常发生在表生带或水交替活跃的开启型构造中,由于 H_2S 易溶于水,化学性质活泼,所以这种条件下生成的 H_2S 难以富集,全部转变成游离硫或沉积物的有机硫化物。

(2) 有机硫化物的高温热分解 储集岩中大量的 H_2S 是由于分散有机质中的有机硫化物在高温下发生热分解。 $\text{C}-\text{S}$, $\text{S}-\text{S}$ 键断裂的结果。



法国阿奎坦盆地碳酸盐岩生油层有机质分解资料表明,有机硫结构裂解产生 H_2S 的起始时间比甲烷晚。

(3) 地层水中的硫酸盐与储层中烃类接触时的热催化作用 这种热催化作用的结果,生成硫化氢。

3. N_2

N_2 是空气中的主要气体。天然气中, N_2 含量变化很大,从微量到以 N_2 为主要成份,我国鄂西、江汉等地区有含 N_2 量高的天然气,有时高达 80—90%,成为 N_2 矿藏。我国苏北地区,也已发现 N_2 矿藏。据报道,美国堪萨斯州东北部的福雷斯特盆地还发现了氢、氮气田,气样分析,其中含 N_2 60%,含 H_2 40%。

N_2 的成因包括生物成因和非生物成因:

(1) 有机质的分解转化 含蛋白质有机质分解形成 NH_3 , 并溶于水中,在成岩阶段被粘土吸附。随着温度升高,溶于水中的 NH_3 和被吸附的 NH_3 与氧或重金属氧化物发生化学反应,转变成 N_2 。因此高含 N_2 的天然气常与红层有关,中欧含 N_2 90% 以上的天然气主要分布在被厚盐层超覆的石炭系、二叠系和三叠系的红层中。

(2) 煤的热演变生成 N_2 在煤的成熟、变质脱气过程中,可产出大量甲烷和氨气,氨被氧化生成 N_2 ,如美国北海地区在盐层覆盖下发现高含 N_2 的天然气。这种天然气被认为是由下伏石炭纪含煤地层及有机氮化合物的热演变成。

(3) 有机氮化合物高温分解 一部分 N_2 可能是沉积岩变质时,由相对稳定的杂环有机氮化合物高温分解产生的。

此外,由于深部岩浆活动,变质作用,构造活动以及断裂作用等脱出气体中有 N_2 产出。世界上一些富 N_2 天然气,由于长期高温作用,常与变质岩分布带、构造断裂带有关。

有人认为沉积岩中的 N_2 可能是沉积时捕集在沉积物中的空气 N_2 , 或者是通过地下水而带入的空气 N_2 。空气成因的 N_2 占天然气中 N_2 的比例可用 N_2/Ar 的比值判断。大部分分析资料表明地下气体中 N_2/Ar 的比值远高于大气圈,说明大气成因的 N_2 是不多的。

4. 其它非烃气体

除以上主要非烃气体外,天然气中尚有 He 、 Ar 等惰性气体。它们的含量甚微,不能够单独形成气藏。化学性质不活泼,在地质历史过程中基本不发生变化。

地球上大部分惰性气体是由放射性元素(如铀,钍等)连续不断分裂蜕变产生的。如

• • •