



当代石油和石化工业技术普及读本

天然气开采

中国石油和石化工程研究会 组织编写

贺伟 执笔



中国石化出版社

当代石油和石化工业技术普及读本

天然气开采

中国石油和石化工程研究会 组织编写

贺 伟 执笔

中国石化出版社

图书在版编目(CIP)数据

天然气开采/中国石油和石化工程研究会 组织编写.
—北京:中国石化出版社,2005
(当代石油和石化工业技术普及读本)
ISBN 7-80164-916-8

I.天… II.中… III.天然气开采-普及读物
IV. TE375-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 122224 号

中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编:100011 电话:(010)84271850

读者服务部电话:(010)84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail:press@sinopec.com.cn

北京精美实华图文制作中心排版

北京大地印刷厂印刷

全国各地新华书店经销

*

850×1168 毫米 32 开本 3.625 印张 65 千字

2006 年 3 月第 1 版 2006 年 3 月第 1 次印刷

定价:10.00 元

前 言

《当代石油和石化工业技术普及读本》(以下简称《普及读本》)第一版于1999年组织编写,2000年完成全部出版工作。第一版《普及读本》共出版了11个分册,其中上游4个分册,包括勘探、钻井和完井、开采、油气集输与储运系统;下游7个分册,包括石油炼制——燃料油品、石油炼制——润滑油和石蜡、乙烯、合成树脂、合成橡胶、合成纤维、合成氨和尿素。

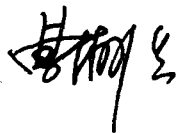
从一开始组织编写《普及读本》,我们就把这套书的读者对象定位在管理人员和非本专业技术人员,立足于帮助他们在较短的时间内对石油石化工业技术的概貌有一个整体了解。这套丛书列入了新闻出版总署“十五”国家科普著作重点出版规划;出版后在社会上,尤其是在石油石化行业和各级管理部门产生了良好影响;为了满足读者的需求,部分分册还多次重印。《普及读本》的出版发行,对于普及石油石化科技知识、提高技术人员和管理人员素质起到了积极作用,并荣获2000年度中国石化集团公司科技进步三等奖。

近年来,石油石化工业又有了快速发展,先进技术不断涌现;海洋石油勘探开发、天然气开发与利用在行业发展和国民经济中的地位越来越重要;随着时间推

移，原有分册中的一些数据已经过时，需要更新；各方面读者也反映，要求继续补充编写一些新的分册等。在征求各方面专家意见的基础上，我们决定对原先出版的11个分册进行修订，并补充编写9个新的分册，包括海洋石油勘探、海洋石油开发、天然气开采、天然气利用、石油沥青、炼油催化剂、炼油助剂、加油站、绿色石油化工。这9个分册分别邀请中海油、中石油、中石化以及中国石油和石化工程研究会相关领域的专家进行编写。原有分册的修订工作主要是补遗、更新、完善，不做大的结构性变动。

《普及读本》第二版修订、增补工作得到了中国石油化工股份有限公司的大力支持；参与丛书修订、编写工作的离退休专家、教授，勤勤恳恳、兢兢业业，其奉献和敬业精神令人感动。在此，谨向他们表示诚挚的敬意和衷心的感谢！

中国工程院院士



二〇〇五年八月八日

《当代石油和石化工业技术普及读本》

编 委 会

主任：曹湘洪

编委：(按姓氏笔画为序)

王子康	王少春	王丙申	王协琴
王国良	王毓俊	尤德华	亢峻星
刘积文	刘镜远	孙梦兰	孙殿成
孙毓霜	陈宝万	陈宜焜	张广林
张玉贞	李润清	李维英	吴金林
吴明胜	法琪瑛	庞名立	赵 怡
官 敬	贺 伟	郭其孝	贾映萱
徐隼东	秦瑞岐	翁维琬	龚旭辉
黄伯琴	梁朝林	董恩环	程曾越
廖谟圣			

引 言

《天然气开采》是受中国石油和石化工程研究会的委托，并在天然气专业委员会的组织下编写完成的，目的是更广泛地向石油企业的各级经营管理人员和社会公众普及天然气开发与开采的技术基础知识，也可供油气田工程技术人员参考。

天然气开发涉及的专业学科多，主要包含了石油地质、油气藏工程、采气工程等专业，综合性极强。本书主要介绍了当气田和气藏被勘探发现以后，石油工作者是如何通过科学的方法和现代技术手段将天然气从地下储层中开采出来并输向用户的，其中主要包括哪些生产环节，需要做哪些工作等。重点讲述了气田开发的主要过程，如何建立气井的合理生产制度，如何编制开发方案，气井井场工艺和流程等内容，对气井排水采气工艺、储层改造和气井增产措施、高含硫气田的开发特点等也做了初步介绍。同时，还讨论了气田开发的特殊性，强调气田开发应立足储量、面向市场，根据气藏地质开发特点和用户需求，通过开发方案的编制和实施来科学开发气田，必须坚持以市场为导向、以经济效益为中心的原则。

本书编写过程中，得到了很多天然气开发专家的指导和帮助，王鸣华、王协琴、钟孚勋、杨川东等专家提出了大量宝贵意见，并审阅了全部文稿，在此表示衷心的感谢。

目 录

引言

第一章	天然气资源概述	(1)
第一节	天然气是重要的优质能源	(1)
第二节	我国天然气资源的分布和特点	(5)
第二章	气田开发地质基础	(9)
第一节	天然气的性质	(9)
第二节	天然气藏的形成	(11)
第三节	气藏类型	(15)
第四节	储集层的储渗性质	(18)
第五节	气藏储量计算和评价	(25)
第三章	气藏工程方法和科学开发气藏	(30)
第一节	气井生产的基本过程	(30)
第二节	气井的生产制度和合理配产	(35)
第三节	气田和气藏的开发过程	(38)
第四节	气藏的开发方式	(43)
第五节	井网部署	(47)
第六节	开采规模和采气速度	(50)
第七节	开发方案设计	(52)
第四章	采气工艺方法	(56)
第一节	采气工程的任务和特点	(56)

第二节	井场工艺和流程	(58)
第三节	气井生产系统分析	(62)
第四节	排水采气工艺	(65)
第五节	储层改造和气井增产措施	(73)
第五章	高含硫气田开发初步	(84)
第一节	什么是高含硫气藏	(84)
第二节	高含硫气藏的钻井	(90)
第三节	高含硫气藏开发的特点	(92)
第四节	安全和环境保护	(98)
参考文献	(104)

第一章 天然气资源概述

第一节 天然气是重要的优质能源

能源是人类生存和社会进步不可缺少的物质资源，是关系到国家经济命脉和国防安全的重要战略物质。在一定程度上，一个国家的能源构成、开发利用水平以及人均消费量标志着一个国家的经济发展水平、文明程度和国民生活水平，因此世界各国都十分重视能源的开发和利用。

天然气作为燃料和化工原料的优越性早已被人们所认识，在以气代煤、以气代油、改变能源消费结构、减轻环境污染、减轻对石油的依赖程度、缓解石油危机等方面，正发挥着越来越重要的作用。

一、天然气在一次能源中占的比例

一次能源是自然界中以原有形式存在的、未经任何加工转换的能量资源，所以又称天然能源。一次能源又可细分为再生能源和非再生能源。再生能源是指能够重复产生的天然能源，如太阳能、水能、风能、海洋能、生物质能、潮汐能等。非再生能源指不能重复产生的天然能源，如煤、石油、天然气、油页岩和核燃料铀、钍等。

表 1-1 是在过去五十年中，世界范围内一次能源

的生产和消费构成统计，从中可见，煤炭、石油和天然气是当今世界一次能源的三大支柱。同时，一次能源的结构也在不断发生变化，总体趋势是固体燃料所占比例大幅度下降，天然气所占比例明显上升，天然气生产量占总量的比例已经从 1950 年的 9.7% 上升到了 1990 年的 22.9%。

表 1-1 一次能源的消费和构成^[1]

年份	一次能源生产/万吨油当量					一次能源消费/万吨油当量				
	合计	占总量的比例/%				合计	占总量的比例/%			
		固体燃料	液体燃料	天然气	核电水能		固体燃料	液体燃料	天然气	核电水能
1950	174850	57.6	31.0	9.7	1.7	164507	60.9	27.2	10.2	1.7
1960	288866	46.0	37.8	14.2	2.0	269890	49.5	33.3	15.1	2.1
1970	484548	30.5	48.7	18.6	2.2	442885	33.5	44.0	20.1	2.4
1980	636669	28.3	48.6	19.8	3.3	586238	30.8	44.2	21.5	3.5
1990	792600	28.6	39.8	22.9	8.8	782370	28.5	40.1	22.5	8.9

据世界权威机构预测，到 2015 年，世界天然气在总能源构成中所占比例将达到 29% ~ 30%，超过煤炭和石油而成为世界第一大能源。

从环保和优质能源的角度来看，21 世纪的主要能源非天然气莫属。

二、天然气资源丰富，可以满足人类对能源的长期需求

资源不能简单地认为是自然界中存在的数量，而是

经过人们地质勘探和研究认识到的地下蕴藏。资源是有经济价值的，其中一部分现在就有开采价值，而另一部分即使目前没有开采价值，但随着技术的发展和开采水平的提高以及价格的变化，可以预期在今后仍然具有开采价值。资源评价是一项重要的专业技术，但由于不同国家和公司在计算方法上存在的差异而变得很复杂，特别是关于价格和开采技术的设定对确认经济可采的石油、天然气数量有直接影响。

根据开采方式的不同，通常把天然气资源分为常规资源和非常规资源两大类。非常规天然气资源指不同于常规天然气资源开采方式的资源，如煤层气、天然气水合物、水溶性天然气和致密、低渗透储层天然气等。当技术经济条件发展到一定程度时，很多非常规天然气资源就相应地进入经济可行的范畴。

根据世界范围内各类天然气资源量的评价结果，常规天然气总资源量达 $400 \times 10^{12} \sim 600 \times 10^{12}$ 米³，非常规天然气资源约 $700 \times 10^{12} \sim 3300 \times 10^{12}$ 米³（包括致密储层中的天然气和煤层气），总计在 $1100 \times 10^{12} \sim 3950 \times 10^{12}$ 米³ 左右（表 1-2），而截至 1995 年探明的地质储量只有 139.7×10^{12} 米³，即使按照常规天然气总资源量计算，经过半个世纪的开采，天然气的探明程度也还只有 $1/3 \sim 1/4$ ，因此，还有大量的天然气资源等待着人们去勘探开发。换句话说，天然气资源完全可以满足人类对能源的长远需求。

表 1-2 天然气资源量评价和统计

资源种类		资源量/ 10^{12} 米 ³	
沉积岩游离气资源量	常规天然气	400 ~ 600	1100 ~ 3950
	致密低渗透沉积层气	600 ~ 3000	
	煤层气	100 ~ 350	
基岩游离气资源量		1100×10^4	
水溶性天然气和天然气水合物资源量	水溶性天然气	3×10^4	$(15 \sim 25) \times 10^4$
	天然气水合物	$(12 \sim 22) \times 10^4$	

三、世界天然气探明储量的分布

从 20 世纪 80 年代以来，世界各国对天然气勘探开发的投入非常巨大，也促使了天然气工业的迅猛发展。

前苏联和中东地区是世界上天然气储量最丰富的地区。据参考文献 1 统计至 1995 年底的结果，俄罗斯的天然气探明储量为世界第一(达 48.1×10^{12} 米³)，中东地区的天然气探明储量达 32.4×10^{12} 米³，排位仅次于俄罗斯。这两个地区的天然气探明储量占了世界天然气总探明储量的 67%，见图 1-1。

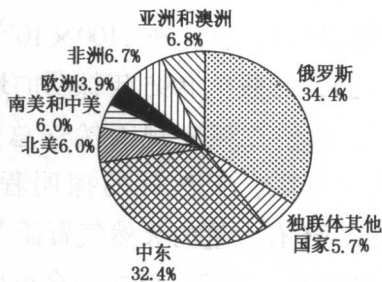


图 1-1 世界主要国家和地区的天然气探明储量所占比例

北美地区的加拿大、非洲的阿尔及利亚、亚洲地区的印度尼西亚和马来西亚等也是天然气资源丰富的国家。

第二节 我国天然气资源的分布和特点

一、我国天然气资源的分布

我国陆地和海洋大陆架的沉积岩面积为 449.1×10^4 千米²，共发育有 280 个中、新生界的沉积盆地和 3 个古生界沉积岩分布区。1994 年我国第二次资源评价结果，天然气总资源量为 40.1×10^{12} 米³，其中陆上为 29.5×10^{12} 米³。2000 年完成的第三次全国天然气资源评价结果，天然气资源量增加到 47×10^{12} 米³。同时，目前对这些资源的勘探程度还不够高，即使在已经开发了半个世纪的四川盆地，探明程度也只有 11.31%，全国范围的探明程度仅仅 8.24% (表 1-3)，显示出了我国在天然气资源上的巨大潜力。

表 1-3 中国主要盆地的天然气资源和勘探成果^[2]

盆地名称	盆地面积/ 千米 ²	天然气 资源量/ 10^8 米 ³	已探明地质 储量/ 10^8 米 ³	已探明可采 储量/ 10^8 米 ³	探明程度/ %
四川	190000	73575	8320.48	5399.86	11.31
鄂尔多斯	250000	107025	12328.81	7675.62	11.52
柴达木	121000	23700	2374.03	2182.77	10.02
塔里木	560000	79799	6525.82	4557.55	8.18
准噶尔	130000	20925	728.41	544.59	3.48

续表

盆地名称	盆地面积/ 千米 ²	天然气 资源量/ 10^8 米 ³	已探明地质 储量/ 10^8 米 ³	已探明可采 储量/ 10^8 米 ³	探明程度/ %
土哈	53500	3650	381.21	252.83	10.44
松辽	255400	8757	830.8	444.52	9.49
渤海湾	144500	21181	2987.42	1642.84	14.10
全国合计		470000	38735.15	24671.73	8.24

从分布上看，无论是天然气资源量或已经探明的地质储量，鄂尔多斯盆地、塔里木盆地和四川盆地分别列了我国的前三位(图 1-2)，是我国天然气资源开发的主战场，也是西气东输工程的资源基础。

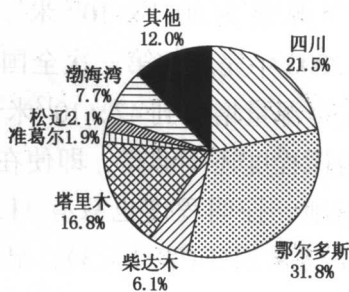


图 1-2 我国天然气探明储量的分布

二、我国气田(气藏)的特点

我国天然气田的勘探开发主要有以下几大特点：

1. 以中、小型气田居多，分布严重不均衡

我国目前已经探明的气田以储量小于 300×10^8 米³ 的中、小型气田为主，且相当分散。“七五”以来，在“油气并重”的勘探方针下，相继发现了一批大型、特大

型气田，如长庆靖边气田、塔里木盆地的克拉 2、牙哈、迪那等气田、青海柴达木盆地涩北气田以及四川罗家寨高含硫气田等。但这些大气田都分布在西部地区，与我国东部地区对能源的需求量相比，仍然存在分布上的不均衡性。国家投巨资建设完成了“西气东输”工程，在一定程度上缓解了西部资源与东部需求的矛盾。

2. 以中低渗透储层为主

目前开采的气田中，大多数具有中、低渗透的地质背景，部分气田储层甚至具特低渗透特征，比较典型的如四川盆地内的气田和长庆靖边气田等，岩石渗透率普遍不到 1×10^{-3} (微米)²，非均质性明显，地层内必须发育裂缝、或实施工艺改造才能使气井具有工业产能。

3. 气田埋藏深，开采工艺要求高

气田埋藏深度对开采工艺有直接影响。埋藏越深，对开采工艺技术的要求越高。我国已探明气田的埋藏深度大多在 3000 ~ 5000 米；约 58% 的天然气储量埋深超过了 3500 米。而美国有近 70% 的天然气储量埋深在 3000 米以内，前苏联有 60% 的天然气储量埋深不超过 2000 米。

4. 有水气藏比例大，开采难度高

有水气田在我国已开发的气田中占有相当比重。据 1999 年的统计，四川盆地内投入开发的 73 个气田中，85% 的属有水气田，出水气井占 44%。气藏存在边(底)水，水侵将导致储层有效渗透率降低、气井井筒内

能量损失增大、气井生产工艺的复杂化以及气藏采收率降低等影响，直接危害气田开发的技术效果和经济效益。

以上关于天然气田的特点是由我国的地质特点和储层条件所决定的，这给我国天然气开发、开采带来了很大困难，同时也促使我们逐渐积累了一系列针对复杂气田(气藏)的开发与开采技术。

三、天然气开采的发展趋势

近期国内外天然气开采的发展方向，主要集中在复杂气田针对提高采收率的技术攻关上，重点如水驱气藏、低渗透气藏的开发等。

低渗透气藏的勘探开发是世界天然气工业发展的必然趋势。一方面，天然气作为一种清洁、方便和用途广泛的能源和原料，世界工业和经济的发展对天然气的需求呈不断上升的态势。另一方面，所有自然资源的存在都呈金字塔状的分布规律，即自然条件越好的资源则量越少。常规气藏在得到较大程度的开采后，人们必然将目标转向低渗致密气藏，以尽可能的弥补后备资源的欠缺。尽管目前针对低渗致密气藏的开发技术尚不成熟，但已经发现在一定的地质条件下低渗致密气藏仍然具有经济开采价值。可以相信，随着高新技术的不断发展，一定会使相应的开采技术得到不断完善，使低渗透气藏和致密气藏的工业化开采成为现实。

此外，对于非常规天然气，包括煤层气、致密气藏、深层气、浅层气等也进行了大量的超前性研究。