



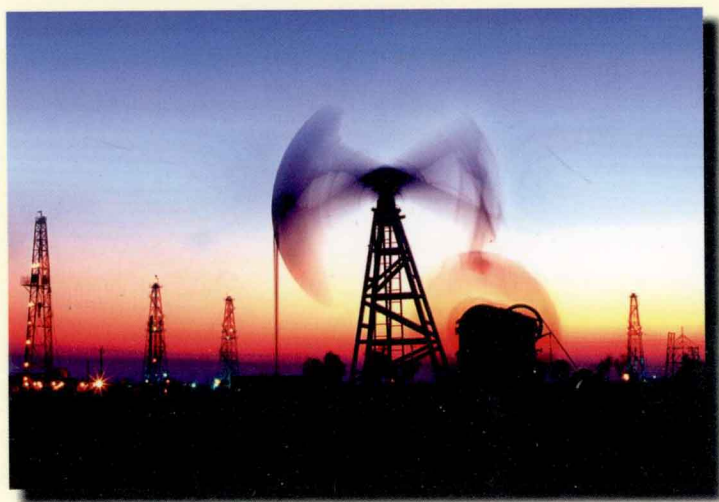
当代石油和石化工业技术普及读本

# 天然气开采

(第二版)

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

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

当代石油和石化工业技术普及读本

## 天然气开采

(第二版)

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. —2 版. —北京: 中国石化出版社, 2012. 4 (当代石油和石化工业技术普及读本)  
ISBN 978-7-5114-1456-4

I. ①天… II. ①中… III. ①采气—普及读物 IV. ①TE37-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 030744 号

未经本社书面授权, 本书任何部分不得被复制、抄袭, 或者以任何形式或任何方式传播。版权所有, 侵权必究。

### 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](mailto:press@sinopec.com)

北京宏伟双华印刷有限公司印刷

全国各地新华书店经销

\*

850 × 1168 毫米 32 开本 4.5 印张 79 千字

2012 年 4 月第 2 版 2012 年 4 月第 1 次印刷

定价: 12.00 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》)第一版共包括了11个分册,2000年出版发行;2005年起根据石油石化工业的新发展和广大读者的要求,在修订了原有分册的基础上,补充编写了海洋石油开发、天然气开采等8个新的分册,于2007年出版发行了《普及读本》第二版;2009年我们又组织编写了煤制油、乙醇燃料与生物柴油等7个分册。至此,《普及读本》第三版共出版了26个分册,涵盖了陆上石油、海洋石油、开采与储运、天然气开发与利用、石油炼制与化工、石油化工绿色化及信息化、炼化企业污染与防治等石油石化工业相关领域的内容。

《普及读本》以企业经营管理技术人员和非炼化专业技术人员为读者对象,强调科普性、可阅读性、实用性、知识及技术的先进性,立足于帮助他们在较短的时间内对石油石化工业各个技术领域的概貌有一个基本了解,使其能通过利用阅读掌握的知识更好地参与或负责石油石化业的管理工作。这套丛书作为新闻出版总署“十五”国家科普著作重点出版项目,从开始组织编写到最后出版,我们在题材的选取、大纲的审定、作者的选择、稿件的审查以及技术内容的把关等方面,都坚持了高标准、严要求,力求做到通俗易懂、深入浅出、由点

及面、注重实用，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，受到了广泛好评。为了满足读者的需求，其中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，石油石化工业的发展日新月异，先进技术不断涌现；随着时间的推移，原有部分分册中的一些数据已经过时，需要更新。为了进一步完善《普及读本》系列读物，使其内容与我国石油石化工业技术的发展相适应，我们决定邀请国内炼油化工领域的专家对第一版及第二版的19个分册进行修订，组织该书第四版的出版发行，从而使该系列读物与时俱进，更加系统全面。

《普及读本》第四版的组织编写和修订工作得到了中国石油、中国石化、中国海油、中国神华以及中化集团的大力支持。参与丛书编写、修订工作的专家、教授精益求精、甘于奉献，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



二〇一一年八月八日

# 目 录

<b>第一章 天然气资源概述</b> .....	( 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 .....	( 4 )
第三节 世界天然气开采现状和发展趋势 .....	( 7 )
<b>第二章 气田开发地质基础</b> .....	( 10 )
第一节 天然气的性质 .....	( 10 )
第二节 天然气的生成和成藏条件 .....	( 12 )
第三节 气田和气藏类型 .....	( 19 )
第四节 储集层的储渗性质 .....	( 22 )
第五节 气藏储量计算和评价 .....	( 29 )
<b>第三章 气藏工程方法和科学开发气藏</b> .....	( 40 )
第一节 气井生产的基本过程 .....	( 40 )
第二节 气田和气藏的开发过程 .....	( 46 )
第三节 气藏的开发方式 .....	( 52 )
第四节 井网部署 .....	( 55 )
第五节 开采规模和采气速度 .....	( 58 )
第六节 气井的生产制度和合理配产 .....	( 61 )
第七节 开发方案设计 .....	( 67 )
第八节 精细气藏描述技术和提高采收率 .....	( 70 )
第九节 不同类型复杂气田的开发技术对策 .....	( 73 )

第十节 提高气田开发方案设计水平和实施效果	( 76 )
第四章 采气工艺方法	( 80 )
第一节 采气工程的内容和特点	( 80 )
第二节 气井完井方法和工艺	( 82 )
第三节 气井井筒内的流动	( 86 )
第四节 气井生产系统分析	( 88 )
第五节 排水采气工艺	( 92 )
第六节 储层改造和气井增产措施	( 100 )
第五章 天然气集输	( 109 )
第一节 天然气集输的内容和特点	( 109 )
第二节 井场工艺和集气流程	( 111 )
第三节 矿场集输管网	( 116 )
第四节 天然气加工和净化	( 118 )
第六章 非常规天然气开发初步	( 126 )
第一节 资源的品级和“金字塔”分布规律	( 126 )
第二节 非常规天然气资源的概念	( 128 )
第三节 非常规天然气的开发现状和进展	( 130 )
参考文献	( 136 )

# 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、经济发展和社会进步不可缺少的物质资源，是关系国家经济命脉和国防安全的重要战略物资。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。

能源分为一次能源和二次能源两大类。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；二次能源指一次能源通过加工、转化后得到的能源。一次能源又可被分为再生能源和非再生能源两个大类，其中再生能源是指能够重复产生的天然能源，如太阳能、水能、风能等。而非再生能源指不能重复产生的天然能源，任何使用和消耗都只会使其越来越少，如煤、石油、天然气等。

### 一、天然气在能源消费中所占比例越来越高

从最近几十年世界范围内一次能源的生产和消费构成统计来看，煤炭、石油和天然气是一次能源的三大支柱，总体上固体燃料所占比例在大幅度下降，天然气所



占比例在明显上升，并且这种趋势还将持续。预计到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。

根据BP公司的统计，2009年全世界一次能源总消费量达到了11164.3百万吨油当量，其中，石油、煤炭和天然气所占比例分别达到了34.77%、29.36%和23.76%，与1990年相比，天然气在一次能源消费中的比例又进一步提高了0.9%（表1-1）。

表1-1 2009年世界和中国一次能源消耗构成统计(单位:百万吨油当量)

	石油		天然气		煤		核能		水电		总消费量
	消费量	比例%	消费量	比例%	消费量	比例%	消费量	比例%	消费量	比例%	
世界	3882.1	34.77	2653.1	23.76	3278.3	29.36	610.5	5.47	740.3	6.63	11164.3
中国	404.6	18.58	79.8	3.66	1537.4	70.62	15.9	0.73	139.3	6.4	2177

## 二、中国天然气消耗所占比例相对较低，未来发展空间大

中国一次能源的总消费量已经接近世界总量的20%，2009年全世界天然气消耗占一次能源总消耗量的比例达到了23.76%，但中国天然气消费量占一次能源总消耗量的比例只有3.66%，显示出我国目前对天然气消费依赖不高的现状以及今后改善能源结构、大力推广天然气应用的重要性。

在石油、天然气和煤炭这三种化石能源中，天然气属于清洁能源，其二氧化碳排放量最低，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。

中国对节能减排、降低二氧化碳排放十分重视，明确提出 2020 年非石化能源消费量占总消费量中的比例要达到 15%。

### 三、天然气资源丰富，能够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。根据开发的难易程度以及开采方式的不同，人们通常把天然气资源分为常规资源和非常规资源两大类。目前得到广泛开发的主要是常规的天然气资源，非常规天然气资源的开发正在迅猛发展中。

根据天然气资源量的评价结果，世界常规天然气总资源量达  $(400 \sim 600) \times 10^{12}$  立方米，非常规天然气的资源量约  $(1790 \sim 5030) \times 10^{12}$  立方米左右，而探明地质储量只有  $139.7 \times 10^{12}$  立方米(截至 1995 年)。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，至少在寻找到合适的替代资源前，天然气资源是能够满足人类对能源的长远需求的。

### 四、世界天然气探明储量的分布

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，促使了天然气工业的迅猛发展，天然气探明储量得到了显著上升。据参考文献 1、2 的统计结果，俄罗斯的天然气探明储量为世界第一(达  $48.1 \times$

10<sup>12</sup>立方米), 中东地区的天然气探明储量达 32.4 × 10<sup>12</sup>立方米, 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%。可见, 前苏联和中东地区是世界上天然气储量最丰富的地区(图 1-1)。

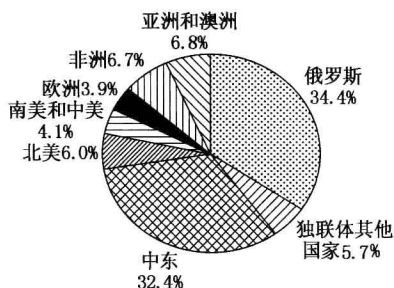


图 1-1 世界主要国家和地区的天然气探明储量所占比例

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

1994 年我国第二次资源评价结果, 天然气总资源量为 40.1 × 10<sup>12</sup> 立方米, 其中陆上为 29.5 × 10<sup>12</sup> 立方米。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<sup>12</sup> 立方米。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 3.24%（表 1-2），显示出了我国在天然气资源上的巨大潜力。

表 1-2 中国主要盆地的天然气资源和勘探成果

盆地名称	盆地面积/平方千米	天然气资源量/ $10^8$ 立方米	已探明地质储量/ $10^8$ 立方米	已探明可采储量/ $10^8$ 立方米	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
准葛尔	130000	20925	728.41	544.59	3.48
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	3.24

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位列了我国的前三位（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。

## 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  $300 \times 10^8$  立方米的中、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、

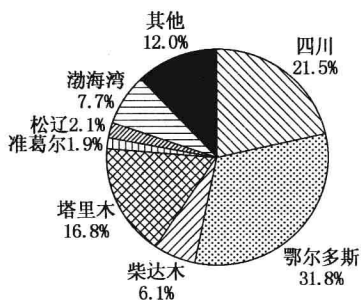


图 1-2 我国天然气探明储量的分布

特大型气田，如长庆靖边气田、塔里木盆地的牙哈、克拉 2、迪娜等气田、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  $1 \times 10^3$  平方微米，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% 属于有水气田，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。

### 第三节 世界天然气开采现状和发展趋势

#### 一、世界天然气生产现状

2009 年，全世界的天然气产量约为  $2.98 \times 10^{12}$  立方米。其中，美国天然气产量最高，达到了  $5934 \times 10^8$  立方米，占世界年产量的 20.1%；俄罗斯的天然气产量也高达  $5275 \times 10^8$  立方米，占世界年产量的 17.6%，遥遥领先于世界其他国家和地区。显然，美国和俄罗斯是世界上最大的天然气生产大国(表 1-3)。

历史上俄罗斯一直是天然气的最大生产国，在储量、产量上都远远超过其他国家，但 2009 年美国的天然气产量超过俄罗斯而成为世界第一的天然气生产大国，这与近年来美国大力开采非常规天然气有关。有关预测认为，未来的美国和整个北美(包括加拿大)的非常规天然气产量将超过常规气。

表 1-3 2009 年世界天然气主产国储量和产量统计<sup>[2]</sup>

国家	储量/ $10^{12}$ 立方米		产量/ $10^8$ 立方米	
	2009 年	占世界份额	2009 年	占世界份额
美国	6.93	3.7%	5934	20.1%
俄罗斯	44.38	23.7%	5275	17.6%
加拿大	1.75	0.9%	1614	5.4%
伊朗	29.61	15.6%	1312	4.4%
挪威	2.05	1.1%	1035	3.5%
卡塔尔	25.37	13.5%	893	3.0%

## 二、中国天然气生产现状

中国虽然是世界上开发利用天然气最早的国家，但解放后才建立起天然气工业，直到 21 世纪天然气开采进入到高速发展期。2000 年时，全国的天然气年产量不到  $300 \times 10^8$  立方米，至 2009 年已经上升到接近  $900 \times 10^8$  立方米(图 1-3)。

近十年来，中国的天然气储量、产量都得到快速提升，每年新增地质储量  $4000 \times 10^8$  立方米左右，2009 年新增地质储量超过  $9000 \times 10^8$  立方米，这为我们提升天

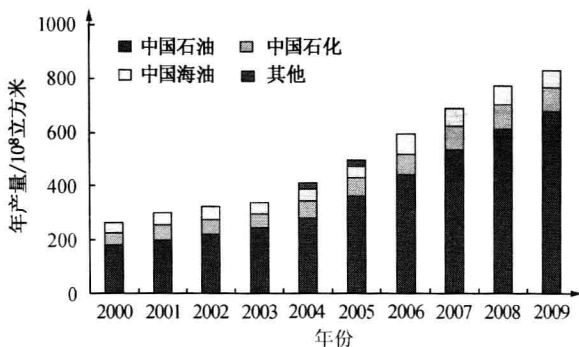


图 1-3 中国天然气的产量构成图<sup>[2]</sup>

然气产量打下了坚实的资源基础。预计中国的天然气储量、产量高速增长期还会持续一段时间，2030 年天然气年产量可以达到  $2500 \times 10^8$  立方米。地质研究认为中国陆地的塔里木盆地、鄂尔多斯盆地、四川盆地和南海天然气资源潜力大，仍可能发现较大气田。

中国天然气的开采除常规气以外，致密砂岩气、煤层气和页岩气是比较现实的非常规气来源。中国关于致密砂岩气的开采起步相对较早，积累的经验比较丰富，技术也已经接近完善，在世界范围内有一定影响力。



## 第二章 气田开发地质基础

### 第一节 天然气的性质

#### 一、天然气的组成

天然气系指自然生成的、蕴藏在地层岩石孔隙中的、以碳氢化合物为主的混合气体。天然气的主要成分是甲烷，同时含有一定比例的其他烃类气体，如乙烷、丙烷、正丁烷、异丁烷、戊烷等，其常见组分的性质如下。

甲烷( $\text{CH}_4$ )：具有很高的热稳定性和热值含量。纯甲烷无色，稍有蒜味，比空气轻，在标准压力和  $15^\circ\text{C}$  下，1 立方米甲烷的重量为 0.677 千克。

乙烷( $\text{C}_2\text{H}_6$ )：无色气体，比空气稍重，在标准压力和  $15^\circ\text{C}$  下，1 立方米乙烷的重量为 1.270 千克。在  $20^\circ\text{C}$  时，加压至 3.8 兆帕可被液化成相对密度为 0.446 的液体。

丙烷( $\text{C}_3\text{H}_8$ )：无色气体，比空气重，在标准压力和  $15^\circ\text{C}$  下，1 立方米丙烷的重量为 1.966 千克。在  $20^\circ\text{C}$  时，仅加压至 0.85 兆帕就可被液化。

油气田开发所采出的天然气都以甲烷为主，甲烷在