

[美] C.U.伊克库

天然气

开采工程

石油工业出版社

TE 37

071396

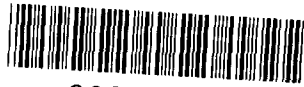
010

# 天然气开采工程

〔美〕C.U.伊克库

冈秦麟 谢增瑜 袁庆峰 李海平 译

秦同洛 冈秦麟 校



200350397

石油工业出版社

## 内 容 提 要

本书较全面并系统地阐述了气田开采和集输技术的基本理论和各类问题的计算方法,并给出了例题。

本书对油、气藏作了科学的分类,阐述了天然气和凝析气基本特性、有关热力学的基本概念,并对气体分离、净化、计量、集输、压缩机压缩和气井动态的基本原理、各种问题计算方法、所用仪器设备的结构、适用条件和影响因素等均作了详尽的论述。在上述理论论述基础上,对有关天然气开采和集输过程中的一些问题列举了例题,并进行了计算求解,每章还给出了习题。

本书理论性强、取材新,内容全面系统。这是一本很好的大专院校天然气开采工程教科书,也适合于气田开发、天然气集输和处理等现场技术人员参考。

\* \* \*

本书前言、第三、六章冈秦麟译;第一、二、四章冈秦麟、李海平合译;第五、七章谢增瑜译;第八章袁庆峰译;符号说明、附图、附表李海平译。冈秦麟对全书进行了系统校译,秦同洛对第一至第七章进行了复校。

## C.U. IKOKU NATURAL GAS PRODUCTION ENGINEERING

John Wiley & Sons, Inc. 1984

\*

### 天 然 气 开 采 工 程

〔美〕C.U. 伊克库

冈秦麟 谢增瑜 袁庆峰 李海平 译

秦同洛 冈秦麟 校

\*

石油工业出版社出版

(北京安定门外安华里二区一号楼)

北京顺义燕华营印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

\*

787×1092 毫米 16 开本 24 $\frac{1}{2}$  印张 613 千字 印 1—1.800

1990 年 3 月北京第 1 版 1990 年 3 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-0333-3/TE·325

定价: 6.10 元

## 前 言

本书全面并严格地介绍了天然气开采和输送技术。气田开发规划的设计总是建立在气藏和气井特性、油管 and 出油管动态以及压缩机和处理设备特性基础上。本书强调了天然气开采是一个系统工程，每一部分的变化都将影响其它部分的运行。

大多数教育工作者都听到过这样一个格言：深入学习一门学科的最好方法是去讲授它。在这点上，天然气开采工程已在吐尔萨大学、宾夕法尼亚州立大学、以及在美国和国外的成人教育课程中，采用天然气开采工程作为课程教材，已有多年成功的历史。编写本书可作为学生和原油与天然气开采工业从事现场工作的工程师、地质师以及管理人员的教科书或参考书。

本书第一到第三章作为学科概论介绍。第一章介绍了天然气工业的发展，并且试图使读者认识到天然气作为能源，将起着越来越大的作用。第二章复习了天然气和凝析体系的性质，这时解释气井动态、气体开采和输送问题是重要的。第三章讨论了本书应用的一些热力学概念。

第四到第八章集中讨论了天然气分离、处理、压缩、测量和气体在管道及环形空间中的流动，并清楚地概述了管线中多相流动的处理和设计步骤，以及地面设备的选择；还介绍了用井口数据确定生产酸气的浅井和深井并底流压和静压方法，并论述了气井井筒中的积液问题。

本书大部分资料来源于美国矿业学院的石油工程学会、冶金和石油工程师、美国天然气协会、美国石油学院开采系、天然气供应和处理协会、奥斯汀的德克萨斯大学石油开发系、俄亥拉荷马大学的气体管理联合会等单位已出版的刊物。向这些机构以及许多赞助本书的学校和被引用文献的作者表示敬意。

感谢我的学生们，他们的热心促使我愉快地讲授这门学科。感谢我的同事们，他们在美国和其它国家的各石油和天然气工程系采用了这本教材，并感谢他们提出了建设性批评意见而充实了教课书。我还要特别感谢Peggy Conrad打印了本书手稿。

我要向John Wilay编辑部全体人员，包括Merrill Floyd和Deborah Herbert表示感谢，感谢他们耐心而殷勤的工作。还要对Cindy Stein和Wiley生产部全体人员给予的很好帮助表示感谢。

C. U. 伊克库

# 目 录

<b>第一章 绪论</b> .....	( 1 )
1.1 天然气的发展 .....	( 1 )
1.2 天然气聚集类型 .....	( 11 )
1.2.1 常规天然气 .....	( 11 )
1.2.2 致密砂岩气 .....	( 11 )
1.2.3 致密页岩气 .....	( 13 )
1.2.4 煤层中聚集的甲烷气 .....	( 13 )
1.2.5 地压气藏气 .....	( 14 )
参考文献 .....	( 14 )
<b>第二章 天然气、凝析气的性质</b> .....	( 15 )
2.1 引言 .....	( 15 )
2.2 天然气的组分 .....	( 15 )
2.3 相态 .....	( 16 )
2.4 理想气体 .....	( 18 )
2.4.1 波义耳定律 .....	( 19 )
2.4.2 查理定律 .....	( 19 )
2.4.3 波义耳-查理定律 .....	( 20 )
2.4.4 亚佛加德罗定律 .....	( 21 )
2.4.5 理想气体定律 .....	( 21 )
2.5 混合气体性质 .....	( 22 )
2.5.1 组成 .....	( 22 )
2.5.2 拟分子量 .....	( 26 )
2.6 真实气体特性 .....	( 26 )
2.6.1 真实气体状态方程 .....	( 27 )
2.6.2 对应状态定理 .....	( 28 )
2.6.3 z系数的测定 .....	( 29 )
2.6.4 超压缩性 .....	( 35 )
2.6.5 其它状态方程式 .....	( 36 )
2.7 天然气的压缩性 .....	( 40 )
2.8 天然气的粘度 .....	( 43 )
2.9 天然气地层体积系数和膨胀系数 .....	( 46 )
2.10 天然气的水蒸汽含量 .....	( 47 )
2.11 两相系统 .....	( 49 )
2.11.1 API比重 .....	( 49 )
2.11.2 总井流物的气体比重 .....	( 49 )

2.11.3 两相 $z$ -系数 .....	(49)
2.12 某些气体的换算公式 .....	(51)
参考文献 .....	(52)
练习题 .....	(54)
<b>第三章 热力学概念</b> .....	<b>(58)</b>
3.1 系统 .....	(58)
3.2 能量和能量平衡 .....	(59)
3.3 焓的变化, $\Delta H$ .....	(60)
3.4 比热 .....	(60)
3.4.1 压力对比热和焓的影响 .....	(62)
3.5 熵, $S$ .....	(64)
3.5.1 摩尔比熵 ( $S$ ) 的计算 .....	(67)
3.6 焓-熵图 .....	(73)
参考文献 .....	(77)
练习题 .....	(77)
<b>第四章 分离与处理</b> .....	<b>(79)</b>
4.1 引言 .....	(79)
4.2 气液分离 .....	(79)
4.2.1 分离器的内部结构 .....	(80)
4.2.2 分离器类型 .....	(80)
4.2.3 影响分离的因素 .....	(82)
4.2.4 分离器的设计 .....	(83)
4.2.5 多级分离 .....	(89)
4.2.6 低温分离 .....	(92)
4.3 天然气脱水 .....	(96)
4.3.1 天然气的含水量 (无有害杂质) .....	(97)
4.3.2 天然气生产中水化物的控制 .....	(99)
4.3.3 脱水系统 .....	(105)
4.3.4 甘醇脱水器设计 .....	(110)
4.3.5 脱除酸气 .....	(120)
参考文献 .....	(121)
练习题 .....	(122)
<b>第五章 天然气的压缩</b> .....	<b>(124)</b>
5.1 前言 .....	(124)
5.2 压缩机的类型 .....	(124)
5.2.1 引射式压缩机 .....	(124)
5.2.2 迴转式压缩机 .....	(124)
5.2.3 往复式压缩机 .....	(125)
5.3 往复式压缩机 .....	(127)
5.3.1 压缩机的工作过程 .....	(127)

5.3.2	容积效率	(128)
5.3.3	理论等熵功率	(129)
5.3.4	实际功率	(136)
5.3.5	Quickic图	(137)
5.4	离心式压缩机	(143)
5.4.1	压缩计算	(144)
5.5	迴转式风机	(147)
5.5.1	设计	(147)
	参考文献	(148)
	练习题	(148)
<b>第六章</b>	<b>天然气流量测定</b>	(151)
6.1	前言	(151)
6.2	流量测定方法	(152)
6.2.1	容积式计量	(153)
6.2.2	容积式流量计	(153)
6.2.3	压差法	(155)
6.2.4	涡轮流量计	(155)
6.2.5	弯管流量计	(155)
6.3	孔板流量计	(155)
6.3.1	基本孔板流量计方程式	(157)
6.3.2	通用的孔板流量计方程式	(159)
6.3.3	气体体流量的计算	(163)
6.3.4	记录纸	(167)
6.3.5	孔板流量计的选择	(169)
6.3.6	流量测量的不确定性	(170)
6.3.7	质量-流量计	(172)
6.4	天然气流量的测量	(172)
	参考文献	(173)
	练习题	(174)
<b>第七章</b>	<b>集气和输气</b>	(177)
7.1	前言	(177)
7.2	雷诺数和摩擦系数	(177)
7.2.1	雷诺数 $N_{Re}$	(180)
7.2.2	相对粗糙度 $e/D$	(181)
7.2.3	摩擦系数 $f(N_{Re}, e/D)$ 的公式	(182)
7.2.4	总压降	(184)
7.3	管线流动计算	(184)
7.3.1	管线公式	(184)
7.3.2	Weymouth公式——水平流动	(185)
7.3.3	假设条件的影响	(188)

7.3.4	Weymouth公式——非水平流动	(190)
7.3.5	Panhandle A公式——水平流动	(192)
7.3.6	修正的Panhandle公式 (Panhandle B) ——水平流动	(192)
7.3.7	Clinedinst公式——水平流动	(192)
7.3.8	管线效率	(193)
7.3.9	输送系数	(193)
7.3.10	管线输送公式小结	(194)
7.4	气体在串联、并联、环状管线中的流动	(194)
7.4.1	串联管线	(195)
7.4.2	并联管线	(197)
7.4.3	环状管线	(199)
7.4.4	引伸出的其它管线公式	(201)
7.5	气-液在管道中的流动	(203)
7.5.1	Dukler Case II 相关法	(204)
7.5.2	Flanigan相关法	(207)
7.5.3	Beggs和Brill相关法	(211)
7.5.4	多相流动相关法的应用	(215)
7.6	管线的经济问题	(216)
	参考资料	(217)
	练习题	(218)
<b>第八章</b>	<b>气井动态</b>	<b>(221)</b>
8.1	井底静压和流压	(222)
8.1.1	基本能量方程式	(222)
8.1.2	采出液量的校正	(225)
8.2	静止井底压力	(226)
8.2.1	平均温度和偏差系数法	(227)
8.2.2	Sukkar和Cornell法	(228)
8.2.3	Cullender和Smith法	(236)
8.3	井底流动压力	(239)
8.3.1	平均温度和偏差系数法	(239)
8.3.2	Sukkar和Cornell法	(242)
8.3.3	Cullender和Smith方法	(244)
8.4	计算井底压力的精确度	(248)
8.5	环形空间流动	(249)
8.6	生产井中的气-液流动	(250)
8.6.1	流态	(250)
8.6.2	比重校正	(251)
8.6.3	Hagedorn和Brown法	(252)
8.6.4	Orkiszewski法	(254)
8.7	制作压力分布曲线	(257)



8.8 通过节流的气体流动.....	(259)
8.9 气井动态曲线.....	(262)
8.9.1 流入动态关系曲线.....	(262)
8.9.2 流出动态曲线.....	(264)
8.9.3 油管动态曲线.....	(264)
8.10 气井中的积液 .....	(265)
8.10.1 使液体连续流动的能量 .....	(265)
8.10.2 排出积液的方法 .....	(267)
参考文献 .....	(269)
练习题 .....	(271)
<b>附录</b> .....	(272)
A.1 物理性质 .....	(278)
A.2 来源于Sivalls 的分离器尺寸表 .....	(284)
A.3 SIVALLS的甘醇脱水器设计表.....	(290)
A.4 天然气孔板流量计表 .....	(298)
A.4.1 应用于法兰测压式安装的孔板流量常数表 .....	(298)
A.4.2 应用于管线测压方式安装的孔板流量常数表 .....	(316)
A.4.3 应用于法兰测压式和管线测压式两者装置的孔板流量常数表 .....	(327)
A.5 根据MESSER、RAGHAVAN和RAMEY提供的Sukkar Cornell 积分计算井底压力 .....	(349)
<b>单位换算表</b> .....	(376)
<b>符号说明</b> .....	(378)

# 第一章 绪 论

## 1.1 天然气的发展

天然气,这个曾经使人感到棘手、并且曾是不需要的石油副产品——更准确地说是原油生产的伴生产物,现在已提供了将近人类世界一次能源需求的五分之一(表1.1)。随着表1.2中所列国家天然气可采资源的生长,以及能将大量天然气燃料从矿场外输到很远的家庭、商业和工业用户,通过长距离,大直径输气管道的建议,这种惊人的发展仅用了几年的时间。

1821年在美国纽约弗利多尼亚(Fredonia)发现天然气时,天然气很快就被作为燃料供给气田附近地区使用。在十九世纪20年代到30年代,从气田铺设了几条长距离管线,直径为22到24英寸,压力400到600磅/英寸<sup>2</sup>,把天然气外输到了遥远的工业区。在早期的天然气工业中,天然气伴随原油产出时,就必须找到市场,或者放空烧掉;由于缺乏有效的保存方法,油井气常常大量被放空。结果,那时天然气是短寿命的,在油田上天然气仅能以每1000英尺<sup>3</sup>1~2美分的很低价格出售。

直到第二次世界大战后才出现了现代天然气工业,从那时起天然气的各种终端消费(民用、商业、工业、发电厂)迅速增加;这种增加是由几个因素影响的结果,包括新市场的开发,顶替煤炭提供地方和工业所需的燃料,用天然气作石油化工原料和肥料,以及六十年代中期出现的对低硫燃料的强烈要求。这就引起了天然气工业惊人的发展。

如果不从国外进口大量天然气,西欧、日本、美国迅速增长的能量需求就得不到满足。现在由冷冻循环液化的天然气可以装入密闭运输船进行运输,高效迅速地穿越世界各大洋。由于天然气被冷冻液化,体积大大缩小,使得用密闭运输船运送液化气跨越大洋有了经济吸引力。这种方式1934年在匈牙利第一次进行了小规模的试验,后来1951年在美国开始把路易斯安那州的一些气田气,以液态形式沿密西西比河运到芝加哥。

除美国以外首先大规模使用类似的工艺技术的是阿尔及利亚,从1964年开始,他们就将哈西勒梅勒(Hassi R'Mel)的气田气进行冷冻循环液化,并用特殊设计的密闭油轮罐运输液化天然气(LNG)出口到英国和法国。这种方法使天然气体积缩小到约为原始体积的六分之一,而且非甲烷组份也大量被除去。

在接收终点站,液化天然气再经过汽化装置汽化成气态,并按要求输入到进口国正常天然气配气管网。它也可以储存到密闭罐或地下储库中为今后使用。液化气除作为天然气的可储存、可运输形式外,还有许多特殊的用途——尤其作为无污染燃料,可用于航空和地面车辆。

目前常规天然气资源的开采不能充分满足人们对天然气的各种需要;然而,对天然气的短缺程度还没有一致的认识。除了过去的实际产量而外,所有资源的基本参数(表1.3)都有某种不确定性。对天然气供应指标的标准规定并不是总被使用,评价步骤也有差异,而且在进行资源评价时必须运用专业人员的判断力。对最终可以搞到多少尚未发现的天然气资源的评价,也有很大的不同。麦柯韦系统(Mckelvey)的命名法和定义对此提供了极好的指

表1.1 世界能源消费和燃料构成, (1×10<sup>10</sup>英制热单位)

国家或地区	1960					1973					1978				
	燃料构成					燃料构成					燃料构成				
	煤	油	气	其它	总能源消费	煤	油	气	其它	总能源消费	煤	油	气	其它	总能源消费
美国①	23	45	28	4	44.2	18	47	30	5	78.8	18	49	25	8	78.8
加拿大	14	49	10	27	3.9	8	46	20	26	9.0	6	42	22	30	9.0
日本	48	36	1	15	3.9	14	79	2	5	14.9	13	73	5	9	14.9
西德	55	35	2	8	26.9	19	63	17	8	54.7	19	56	14	11	54.7
芬兰/挪威/瑞典	13	49	0	38	1.8	5	58	0	37	4.1	5	50	2	43	4.1
英国/爱尔兰	70	29	0	1	8.0	35	51	11	3	10.1	34	44	17	5	10.1
比、荷、卢/丹麦③	53	47	0	0	2.7	11	67	22	0	6.4	10	57	30	3	6.4
西德	73	25	0	2	6.2	30	58	10	2	12.0	26	54	16	4	12.0
法国	51	35	3	11	3.7	15	70	7	8	8.2	15	61	11	13	8.2
奥地利/瑞士	24	34	6	36	0.9	8	58	7	27	2.1	5	53	11	31	2.1
西班牙/葡萄牙	41	41	0	18	1.0	14	70	2	14	3.6	15	67	2	16	3.6
意大利	14	54	11	21	2.2	5	78	10	7	6.2	6	69	17	8	6.2
希腊/土耳其	41	55	0	4	0.4	21	76	0	3	1.9	30	64	0	6	1.9
澳大利亚/新西兰	54	43	0	3	1.4	35	55	6	9	3.5	40	42	10	8	3.5
经互会国家总计②	35	42	16	7	80.4	18	56	19	7	160.9	18	53	19	10	160.9
非经互会国家总计②	31	57	6	6	10.5	21	60	11	8	30.7	20	66	10	4	30.7
石油输出国组织	3	75	21	1	1.7	1	66	30	3	6.2	0	71	24	5	6.2
其它	37	53	4	6	8.8	25	59	7	9	24.5	24	65	7	4	24.5
资本主义国家②总计	35	43	15	7	90.9	18	56	18	8	191.6	18	55	18	9	191.6

资料来源: 根据美国能源部向国会提交的报告, 卷3, 1980

引自API

- ① 包括波多黎各、维尔京群岛和购买的战略石油储量
- ② 数字不能计入总量中
- ③ 比荷卢国家是比利时、荷兰和卢森堡

世界能源消费和燃料构成，根据中等价格预测\* (1×10<sup>15</sup>英制热单位)

国家或地区	1985				1990				1995			
	燃料构成 (%)				燃料构成 (%)				燃料构成 (%)			
	煤	油	气	其它	煤	油	气	其它	煤	油	气	其它
美国①	26	40	23	11	32	36	19	13	37	32	17	14
加拿大	7	36	20	37	4	34	21	41	3	33	21	43
日本	13	62	14	11	14	54	20	12	16	51	19	14
西欧②	21	47	16	16	21	45	16	18	20	43	17	20
芬兰/挪威/瑞典	5	45	1	49	5	41	2	52	4	40	2	54
英国/爱尔兰	35	40	19	6	33	39	19	9	33	38	19	10
比、荷、卢/丹麦	17	47	31	5	19	47	29	5	22	44	29	5
西德	31	42	19	8	33	38	19	10	34	36	19	11
法国	15	51	11	23	14	49	11	26	11	46	13	30
奥地利/瑞士	7	42	15	36	7	40	17	36	7	37	19	37
西班牙/葡萄牙	16	55	4	25	11	52	6	31	10	49	8	33
意大利	11	59	20	10	12	57	20	11	13	55	21	11
希腊/土耳其	27	58	1	14	19	56	1	24	18	54	0	28
澳大利亚/新西兰	35	40	16	9	33	38	19	10	32	38	20	10
经互会国家总计②	22	44	20	14	24	42	18	16	27	38	18	17
非经互会国家总计②	21	55	13	11	21	54	13	12	23	54	13	10
石油输出国组织	1	67	31	1	1	66	32	1	1	68	30	1
其它	27	52	8	13	27	51	7	15	29	50	8	13
资本主义国家总计	22	47	18	13	23	45	17	15	26	42	16	16
社会主义国家总计	213.2	245.6	23	45	17	15	277.3					

资料来源：根据美国能源部向国会提交的1980年年度报告，卷3，引自API

\* 预测范围是根据进口石油曲线进行的，并以1979年的不定价格来表示。低值范围假设世界油价32美元/桶，中值范围41美元/桶，高值范围49美元/桶

①包括波多黎各、维尔京群岛和购买的战略石油储量

②数字不能计入总量

③比荷卢国家是比利时、荷兰和卢森堡

表1.2 世界天然气产量——二十个位于前列的国家  
(10<sup>9</sup>英尺<sup>3</sup>)

国家	1974(r)		1975(r)		国家	1975(r)		占资本主义国家产量 %	占全世界产量 %
	总产量 10 <sup>9</sup> 英尺 <sup>3</sup> /日	占资本主义国家产量 %	总产量 10 <sup>9</sup> 英尺 <sup>3</sup> /日	占资本主义国家产量 %		总产量 10 <sup>9</sup> 英尺 <sup>3</sup> /日	占资本主义国家产量 %		
1. 美国	21 600.5	61.6	20 108.7	59.3	1. 美国	20 108.7	59.3	47.6	
2. 苏联	9 201.3	26.2	10 205.9	30.0	2. 苏联	10 205.9	30.0	21.6	
3. 加拿大	3 045.5	8.7	3 208.4	9.5	3. 加拿大	3 208.4	9.5	6.8	
4. 荷兰	2 956.7	8.4	3 075.7	9.1	4. 荷兰	3 075.7	9.1	6.5	
5. 英国	1 230.0	3.5	1 400.0	4.1	5. 英国	1 400.0	4.1	3.0	
6. 中国	1 200.0	3.4	1 208.2	3.6	6. 中国	1 208.2	3.6	2.6	
7. 罗马尼亚	1 011.5	2.9	953.5	2.8	7. 罗马尼亚	953.5	2.8	2.0	
8. 伊朗	787.4	2.2	771.1	2.3	8. 伊朗	771.1	2.3	1.6	
9. 西德	713.2	2.0	639.4	1.9	9. 西德	639.4	1.9	1.4	
10. 墨西哥	560.9	1.6	583.9	1.7	10. 墨西哥	583.9	1.7	1.2	
11. 意大利	540.4	1.5	514.3	1.5	11. 意大利	514.3	1.5	1.1	
12. 委内瑞拉	476.0	1.4	450.3	1.3	12. 委内瑞拉	450.3	1.3	1.0	
13. 利比亚	345.2	1.0	382.6	1.1	13. 利比亚	382.6	1.1	0.8	
14. 东德	273.1	0.8	280.0	0.8	14. 东德	280.0	0.8	0.6	
15. 法国	269.4	0.8	271.6	0.8	15. 法国	271.6	0.8	0.6	
16. 阿根廷	255.7	0.7	259.8	0.8	16. 阿根廷	259.8	0.8	0.6	
17. 沙特阿拉伯	219.0	0.6	210.6	0.6	17. 沙特阿拉伯	210.6	0.6	0.4	
18. 波兰	202.7	0.6	210.0	0.6	18. 波兰	210.0	0.6	0.4	
19. 阿尔及利亚	198.5	0.6	200.0	0.6	19. 阿尔及利亚	200.0	0.6	0.4	
20. 科威特	186.9	0.5	186.5	0.6	20. 科威特	186.5	0.6	0.4	
资本主义国家总计	35 054.2	100.0	33 931.1	100.0	资本主义国家总计	33 931.1	100.0	71.9	
全世界总计	47 171.5	—	47 207.3	—	全世界总计	47 207.3	—	100.0	

资料来源：美国矿业局世界天然气，1977. 5. 27(U.S. Bureau of Mines World Natural Gas, May 27, 1977).

引自API

(r) 修正后的数字

① 包括所有集输和利用的气，即包括作燃料或作化学工业的原材料，也包括用作油田或气田生产的燃料而没有销售出去的天然气

续表

1976(r)

1977(p)

国家	1976(r)		1977(p)		国家	1977(p)		占资本主义国家产量 %	占全世界产量 %
	供市场产量①, ② 总产 10 <sup>3</sup> 英尺 <sup>3</sup> /日	占资本主义国家产量 %	供市场产量①, ② 总产 10 <sup>3</sup> 英尺 <sup>3</sup> /日	占资本主义国家产量 %					
1. 美国	19 952.4	55.4	20 331.5	57.5	1. 美国	20 331.5	57.5	37.7	37.7
2. 苏联	11 331.3	—	12 395.2	—	2. 苏联	12 395.2	—	23.0	23.0
3. 荷兰	3 542.7	9.9	3 301.4	9.3	3. 荷兰	3 301.4	9.3	6.1	6.1
4. 加拿大	3 157.2	8.8	2 932.5	8.3	4. 加拿大	2 932.5	8.3	5.4	5.4
5. 伊朗	1 699.6	4.7	1 787.0	—	5. 伊朗	1 787.0	—	3.3	3.3
6. 中国	1 433.7	—	1 756.1	—	6. 中国	1 756.1	—	3.3	3.3
7. 英国	1 202.3	3.4	1 499.9	4.2	7. 英国	1 499.9	4.2	2.8	2.8
8. 罗马尼亚	854.6	—	1 005.5	—	8. 罗马尼亚	1 005.5	—	1.9	1.9
9. 墨西哥	790.8	2.2	907.7	2.6	9. 墨西哥	907.7	2.6	1.7	1.7
10. 尼日利亚	632.6	1.8	745.3	2.1	10. 尼日利亚	745.3	2.1	1.4	1.4
11. 意大利	562.1	1.6	717.4	2.0	11. 意大利	717.4	2.0	1.3	1.3
12. 西德	544.0	1.5	488.6	1.4	12. 西德	488.6	1.4	0.9	0.9
13. 比利时	439.2	1.2	448.6	1.3	13. 比利时	448.6	1.3	0.8	0.8
14. 委内瑞拉	396.0	1.1	392.8	1.1	14. 委内瑞拉	392.8	1.1	0.7	0.7
15. 阿根廷	280.2	0.8	351.9	1.0	15. 阿根廷	351.9	1.0	0.7	0.7
16. 阿尔及利亚	256.9	0.7	284.5	0.8	16. 阿尔及利亚	284.5	0.8	0.5	0.5
17. 法国	250.7	0.7	256.8	0.7	17. 法国	256.8	0.7	0.5	0.5
18. 印度尼西亚	248.6	0.7	250.0	0.7	18. 印度尼西亚	250.0	0.7	0.5	0.5
19. 澳大利亚	209.3	0.6	236.7	0.7	19. 澳大利亚	236.7	0.7	0.4	0.4
20. 智利	175.8	0.5	208.8	0.6	20. 智利	208.8	0.6	0.4	0.4
资本主义国家总计	36 006.5	100.0	35 393.2	100.0	资本主义国家总计	35 393.2	100.0	65.7	65.7
全世界总计	50 367.1	—	53 883.7	—	全世界总计	53 883.7	—	100.0	100.0

资料来源: 美国资料; 美国能源情报局; 其它国家资料, 油气杂志

引自API.

(r) 修正后的数字

(p) 初次出版的数字

① 包括所有集输和利用的气, 即包括作燃料或作化学工业的原材料, 也包括用作油田或气田生产的燃料而没有销售出去的天燃气

② 美国只报市场产量; 其它国家中有些可能为总产量。

国家	1978		1979		国家	1979		占全世界 产量 %	占资本主义国 家产量 %	占全世界 产量 %
	供市场产量 ①, ② 10 <sup>6</sup> 英尺 <sup>3</sup> /日	占资本主义国 家产量 %	供市场产量 ①, ② 10 <sup>6</sup> 英尺 <sup>3</sup> /日	占资本主义国 家产量 %						
1. 美 国	19 974.0	54.72	20 471.3	56.09	1. 美 国	20 471.3	56.09	35.5	53.8	35.5
2. 苏 联	13 131.6	35.98	14 367.1	39.36	2. 苏 联	14 367.1	39.36	24.9	—	24.9
3. 加 拿 大	3 133.1	8.58	3 646.5	9.99	3. 加 拿 大	3 646.5	9.99	6.3	9.6	6.3
4. 中 国					4. 中 国					
5. 伊 朗	2 325.2	6.37	2 832.7	7.76	5. 荷 兰	2 832.7	7.76	4.9	—	4.9
	1 746.9	4.79	2 717.8	7.45		2 717.8	7.45	4.7	7.1	4.7
6. 荷 兰	1 624.5	4.45	1 965.7	5.39	6. 英 国	1 965.7	5.39	3.4	5.2	3.4
7. 英 国	1 262.4	3.46	1 210.5	3.32	7. 罗 马 尼 亚	1 210.5	3.32	2.1	—	2.1
8. 罗 马 尼 亚	1 211.6	3.32	974.9	2.67	8. 墨 西 哥	974.9	2.67	1.7	2.6	1.7
9. 墨 西 哥	887.5	2.43	913.3	2.50	9. 伊 朗	913.3	2.50	1.6	2.4	1.6
10. 西 德	643.2	1.76	826.3	2.26	10. 西 德	826.3	2.26	1.4	2.2	1.4
11. 日 本	586.6	1.61	816.3	2.24	11. 印 度 尼 西 亚	816.3	2.24	1.4	2.1	1.4
12. 印 度 尼 西 亚	565.8	1.55	533.6	1.46	12. 意 大 利	533.6	1.46	0.9	1.4	0.9
13. 意 大 利	540.8	1.48	414.9	1.14	13. 挪 威	414.9	1.14	0.7	1.1	0.7
14. 挪 威	401.4	1.10	406.0	1.11	14. 委 内 瑞 拉	406.0	1.11	0.7	1.1	0.7
15. 利 比 亚	364.0	1.00	365.6	1.00	15. 利 比 亚	365.6	1.00	0.6	1.0	0.6
16. 挪 威	351.8	0.96	306.4	.84	16. 智 利	306.4	.84	0.5	0.8	0.5
17. 阿 尔 及 利 亚	328.7	0.90	302.7	.83	17. 波 兰-马 来 西 亚	302.7	.83	0.5	0.8	0.5
18. 波 兰-马 来 西 亚	325.7	0.89	301.5	.83	18. 阿 尔 及 利 亚	301.5	.83	0.5	0.8	0.5
19. 智 利	320.7	0.88	254.1	.70	19. 澳 大 利 亚	254.1	.70	0.4	0.7	0.4
20. 阿 根 廷	254.3	0.70	241.7	.66	20. 阿 根 廷	241.7	.66	0.4	0.6	0.4
资本主义国家总计	35 272.8	96.64	38 075.1	103.58	资本主义国家总计	38 075.1	103.58	66.0	100.0	66.0
全世界总计	53 911.1	147.70	57 666.5	157.26	全世界总计	57 666.5	157.26	100.0	—	100.0

资料来源：美国资料，美国能源情报所；其它国家资料，油气杂志

引自API

①包括所有气体集输和利用的气，即包括作燃料或作化学工业的原材料，也包括用作油田或气田生产的燃料而没有销售出去的天燃气

②美国只报市场产量；其它国家中有些可能为总产量

续表

国家	供市场产量①, ②		1980(p) 占资本主义国家产量%	占全世界产量%	国家	供市场产量①, ②		1980(p) 占资本主义国家产量%	占全世界产量%
	总产量	10 <sup>9</sup> 英尺 <sup>3</sup> /日				总产量	10 <sup>9</sup> 英尺 <sup>3</sup> /日		
1. 美国	20 090.0	55.04	53.7	34.4	11. 挪威	705.2	1.93	1.9	1.2
2. 苏联	15 355.5	42.07	—	26.3	12. 巴基斯坦	600.0	1.64	1.6	1.0
3. 中国	3 469.0	9.50	—	5.9	13. 意大利	524.6	1.44	1.4	0.9
4. 荷兰	2 799.6	7.67	7.5	4.8	14. 委内瑞拉	518.0	1.42	1.4	0.9
5. 加拿大	2 668.3	7.31	7.1	4.6	15. 阿尔及利亚	517.0	1.42	1.4	0.9
6. 英国	1 500.0	4.11	4.0	2.6	16. 沙特阿拉伯	310.2	0.85	0.8	0.5
7. 墨西哥	1 190.5	3.26	3.2	2.0	17. 阿根廷	296.9	0.81	0.8	0.5
8. 罗马尼亚	1 176.4	3.22	—	2.0	18. 伊朗	292.0	0.80	0.8	0.5
9. 印度尼西亚	1 028.4	2.82	2.8	1.8	19. 科威特	291.3	0.80	0.8	0.5
10. 西德	738.6	2.02	2.0	1.3	20. 布隆迪	282.6	0.77	0.8	0.5
					资本主义国家总计	37 388.9	102.44	100.0	64.0
					全世界总计	58 458.8	160.16	—	100.0

资料来源：美国资料，美国能源情报所；其它国家资料，油气杂志

引自API

(p) 初次发表的数字

① 包括所有集输和利用的气，即包括作燃料或作化学工业的原材料，也包括用作油田或气田生产的燃料而没有销售出去的天燃气

② 美国只报市场产量；其它国家中有些可能为总产量



表1.3 历年1月1日止估计探明的世界天然气储量

(10<sup>12</sup>英尺<sup>3</sup>)

年份	半球										全世界	美国占全世界%	年份
	美国	加拿大	拉丁美洲	西半球	中东	非洲	亚太洋	西欧	整个资本主义国家	共产党国家			
1967	289333	43450	64550	397333	215070	188185	32450	38582	891590	150000	1041590	27.8	1967
1968	292908	45682	67101	405691	220670	167228	40050	133965	987599	215500	1183079	24.8	1968
1969	287350	47666	62900	397916	223775	168345	52724	141176	983936	343000	1326936	21.7	1969
1970	275109	51951	163150	490210	235275	197143	67500	150800	1140028	350000	1490928	18.5	1970
1971	290746	53376	73100	417222	354262	191516	56330	147731	1167061	440000	1607061	18.1	1971
1972	278806	55462	72700	406968	343930	193018	69800	163250	1176966	558000	1734966	16.1	1972
1973	266086	52936	79218	398239	344150	189015	101236	178400	1211040	664400	1875440	14.2	1973
1974	249950	52457	91321	393728	413325	187720	114200	193797	1302770	735400	2038170	12.3	1974
1975	237137	56708	100214	394054	672573	314974	115880	202826	1700404	846000	2546404	9.3	1975
1976	228200	56975	90487	375662	538943	207152	111560	180875	1413897	835000	2248897	10.1	1976
1977	216026	58282	90325	364633	636460	209077	120010	141905	1372085	953000	2325085	9.2	1977
1978	208878	59472	108480	376830	719667	207504	122725	138190	1564909	955000	2519909	8.3	1978
1979	200302	59000	112950	372252	730667	186290	119850	143260	1552312	945000	2497312	8.0	1979
1980	194917	85500	144500	424917	740330	210850	128815	135376	1639158	985000	2574158	7.6	1980
1981	199021	87300	159811	446132	752415	208470	126290	159315	1692622	953900	2646522	7.5	1981
1982	198000	89900	176323	464233	762400	211667	127618	150630	1716646	1,194700	2911356	6.8	1982

资料来源: 1967—1980: 美国—美国天然气学会, 天然气储量委员会

1981: 美国—能源部

1982: 油气杂志, 世界报告期刊卷

其它—油气杂志, “世界报告” 期刊卷

引自API

① 数字包括在阿拉斯加(1968年发现)、Prudhoe Bay的26×10<sup>12</sup>英尺<sup>3</sup>, 在这些地方尚未得到输送设备