

天然气开发利用技术

郝春山 史云清 左代蓉编著



石油工业出版社

天然气开发利用技术

郝春山 史云清 左代蓉编著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书根据国内外相关资料较系统地论述了天然气藏的形成、聚集、开发和管理,以及气藏开发实例研究、非常规天然气、天然气处理、天然气输送管网系统、天然气地下储库、液化天然气运输及天然气综合利用等问题。本书基本涉及到天然气上下游各主要技术领域的现状和发展趋势,使人们对世界天然气工业的发展有一个全面的了解和认识。

本书适用于从事天然气开发利用的管理干部及技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

天然气开发利用技术/郝春山,史云清,左代蓉编著.
北京:石油工业出版社,2000.6

ISBN 7-5021-2962-6

I.天…

II.①郝…②史…③左…

III.①天然气-资源开发-概况-世界

②天然气-资源利用-概况-世界

IV. P618.13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 16918 号

石油工业出版社出版

(100011 北京安定门外安华里二区一号楼)

河南省濮阳市新世纪彩印有限公司排版印刷

新华书店北京发行所发行

*

850×1168 毫米 32 开本 9 印张 250 千字印 1—1000

2000 年 6 月北京第 1 版 2000 年 6 月河南第 1 次印刷

ISBN 7-5021-2962-6/TE·2299

定价:30.00 元

编 委 会

编 著	郝春山	史云清	左代蓉
副 主 编	冯少太		
编写人员	赵 先 进	韩玉坤	成景民
	申屠春海	张中伟	梁伟民
	阎 光 灿	苏月琪	李寿峰

前 言

随着经济的不断发展,人类物质生活水平不断提高,人类对赖以生存的环境越来越关注。我国是一个以燃煤为主的发展中国家,燃煤占能源消耗的 75%,燃煤对大气污染十分严重。

天然气具有燃烧彻底、污染少、价格低等优点,并且还可以作为石油化工的基础原料,应用前景十分广阔。所以,世界上许多国家都把天然气作为重要的替代能源。显然,我国要实施可持续发展战略,必须大力发展天然气工业。

我国的天然气资源十分丰富,根据 1993 年全国第二轮油气资源评价结果,天然气资源量(不包括伴生气)达 $38.04 \times 10^{12} \text{ m}^3$,最终可采资源量为 $10.5 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 。但截至 1997 年底,探明 $1.69 \times 10^{12} \text{ m}^3$,探明率仅为 4.4%,远远低于世界天然气资源的探明程度(42.6%),资源潜力十分巨大。因此,加速发展我国天然气工业是有资源保障的。

据有关专家预测,2000~2020 年我国天然气需求量平均年增长率超过 7%,基本上保持与国民经济同步增长。在国民经济发展的带动下,民用及商用燃料、发电、化肥及化工原料和工业燃料使用天然气量的大幅度增长,到 2020 年将达到 $2000 \times 10^8 \text{ m}^3$ 左右。这表明,我国天然气需求的市场潜力巨大。

为了加快天然气勘探开发进程,提高经济效益,必须坚持科学技术为第一生产力,坚持以勘探为主导,开发利用,上下游综合开发的方针,要针对我国的天然气藏的地质特点,首先攻克地面地下条件复杂的地表勘探技术,解决深层、高压地层、水平井的钻井测试技术,完善和发展低孔、低渗气藏的开发技术,发展各类气藏的开发技术以及天然气综合利用技术。

为此,我们根据国内外有关资料较系统地总结了天然气的勘探开发、处理、集输及利用的新技术、新进展。期望对天然气工业发展贡献微薄之力。

目 录

第一章 天然气工业概况	(1)
第一节 世界天然气工业	(2)
第二节 中国天然气工业	(11)
第二章 天然气的形成	(16)
第一节 概述	(16)
第二节 天然气各组分的来源	(24)
第三节 天然气藏的形成	(36)
第三章 天然气的性质	(45)
第一节 引言	(45)
第二节 各种天然气类型的特征	(45)
第三节 取样分析	(51)
第四节 天然气的化学组成	(53)
第五节 体积性质	(56)
第六节 粘度和热传导率	(61)
第七节 热值	(65)
第四章 天然气开采	(70)
第一节 勘探方法和地震技术	(70)
第二节 钻井技术	(75)
第三节 储层岩石特征	(81)
第四节 储层流体的特征	(84)
第五节 非均质孔隙介质(储层)模型	(88)
第六节 资源量评估	(90)
第七节 物质平衡	(91)
第八节 天然气藏的开发历程	(93)
第九节 影响气藏采收率的因素	(95)

第五章 水驱气藏开采管理策略	(99)
第一节 评价方法	(99)
第二节 气井产量的管理	(100)
第三节 钻新井及重新完井	(111)
第四节 提高气产量	(118)
第五节 安装压缩设备和下连续油管	(125)
第六节 结论	(131)
第六章 天然气藏开发实例研究	(133)
第一节 文 23 气田	(133)
第二节 崖 13-1 气田	(154)
第三节 棉花谷气田区	(163)
第七章 非常规天然气	(174)
第一节 低渗透气藏	(175)
第二节 裂缝页岩气	(186)
第三节 煤成甲烷气	(187)
第四节 水溶性气藏	(192)
第五节 水合物气藏	(194)
第八章 水合物	(198)
第一节 引言	(198)
第二节 水-烃类系统	(198)
第三节 水合物的结构	(201)
第四节 水合物形成的热动力条件	(203)
第五节 水合物的预防	(206)
第六节 钻探时水合物的形成	(209)
第九章 天然气处理	(210)
第一节 天然气脱水	(210)
第二节 酸性气体脱除	(213)
第三节 天然气综合处理工艺	(226)
第四节 脱除氮气和氨气	(227)

第五节	汞的脱除·····	(227)
第十章	天然气输送管网系统·····	(229)
第一节	输气管网的功能和作用·····	(229)
第二节	世界输气管网发展概况·····	(230)
第三节	前苏联的统一供气系统·····	(231)
第四节	欧洲输气管网·····	(240)
第五节	北美输气管网·····	(243)
第六节	北非-欧洲输气系统·····	(246)
第七节	世界输气管网发展展望·····	(247)
第十一章	天然气地下储库·····	(252)
第一节	天然气地下储气库发展现状·····	(252)
第二节	储气库类型·····	(255)
第三节	盐体洞穴建造工艺·····	(257)
第十二章	液化天然气运输·····	(261)
第一节	天然气液化·····	(263)
第二节	液化天然气运输船·····	(265)
第十三章	天然气利用·····	(270)
第一节	工业燃料·····	(270)
第二节	天然气化工利用·····	(271)
第三节	天然气凝液利用技术·····	(281)
第四节	天然气合成油工艺·····	(285)
第五节	天然气汽车·····	(289)
参考文献	·····	(291)

第一章 天然气工业概况

据国际能源会议预测,21 世纪世界能源将进入天然气时代,21 世纪初期天然气将逐渐替代石油,前者占能源百分比将超过 50%(图 1-1)。随着人们环保意识的加强,天然气这种绿色能源又是重要的化工原料日益受到重视。各国政府和能源工业界都把天然气工业放在重要的位置上,研究本国发展天然气工业的潜力和途径,制定天然气工业的中长期发展战略,增加对天然气工业的投资比例。

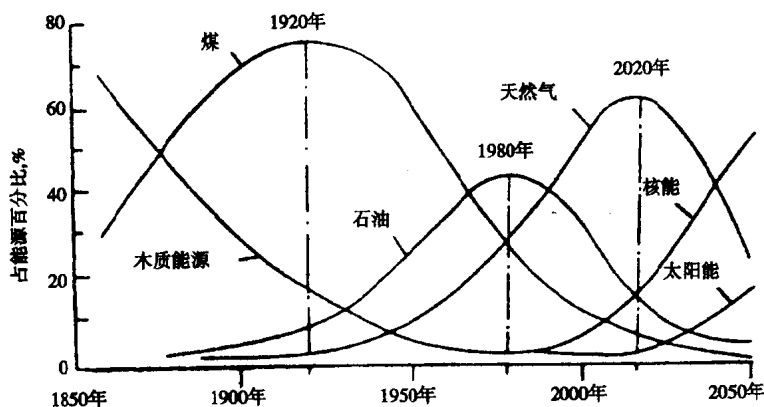


图 1-1 世界一次能源替代趋势图

我国是世界上开发利用天然气最早的国家之一,但就形成具有一定规模综合配套能力的现代天然气工业而言,也只有 30 余年的历史。美国发现使用天然气是在 1821 年的纽约弗利多尼亚(Fredonia),至今已 180 年,在国内早已形成天然气开发、处理、集输、利用系统工程,处于世界领先地位。就世界范围来讲,特别

是 70 年代以来,随着天然气勘探、开发、处理、储运和利用技术的进步,以及世界各国对环境问题的日益关注,天然气探明储量和产量都以高速度增长。例如,70 年代后,世界石油产量上升缓慢,近 30 年产量一直在 $30 \times 10^{12} \text{ t}$ 左右,而天然气产量却高速增长,1970 ~ 1998 年,从 $1.0 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 上升到 $2.34 \times 10^{12} \text{ m}^3$,年产量翻了一番还多,天然气剩余储量从 $41.6 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 上升到 $145.60 \times 10^{12} \text{ m}^3$,增加了 3 倍多。

第一节 世界天然气工业

一、资源分布

世界上丰富的天然气资源为天然气工业发展奠定了坚实的物质基础。据专家预测,世界常规天然气资源量达 $400 \times 10^{12} \sim 600 \times 10^{12} \text{ m}^3$,此外,还有大量的非常规天然气资源。目前天然气资源探明程度很低,天然气完全可以满足人类对能源的需求。

据美国《油气杂志》1998 年年终号报道,全世界估算剩余探明天然气储量 $145.6 \times 10^{12} \text{ m}^3$,其中亚太地区为 $10.2 \times 10^{12} \text{ m}^3$,西欧为 $4.5 \times 10^{12} \text{ m}^3$,东欧和独联体为 $56.7 \times 10^{12} \text{ m}^3$,中东为 $49.5 \times 10^{12} \text{ m}^3$,非洲为 $10.2 \times 10^{12} \text{ m}^3$,西半球总计 $14.5 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 。居前 10 位的国家依次是:俄罗斯、伊朗、卡塔尔、沙特阿拉伯、阿布扎比、美国、委内瑞拉、阿尔及利亚、尼日利亚、伊拉克。1998 年我国天然气剩余探明储量为 $1.3669 \times 10^{12} \text{ m}^3$,位居第 20 位(见表 1-1)。

俄罗斯联邦是世界上拥有最多的常规和非常规天然气资源的国家。根据俄罗斯天然气股份公司 1991 年的评估,俄罗斯天然气的地质资源量为 $250 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 。根据美国《油气杂志》的报道,俄罗斯剩余探明天然气储量占世界总量的 40%,可见其在天然气工业中的地位。在 21 世纪俄罗斯继续在北高加索、伏尔加河流域、季曼—伯朝拉、西西伯利亚的常规天然气资源的开发,将在巴伦支海大陆架、大赫特盆地和梅索亚哈巨型长垣区域、亚马尔北部、鄂毕湾北部和喀拉海大陆架进行勘探开发。

表 1-1 1998 年底世界天然气剩余探明储量

超过 $1 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 的国家和地区

位次	国家或地区	储量, 10^{12} m^3	占总量, %
1	俄罗斯	66.25	45.50
2	伊朗	22.99	15.79
3	卡塔尔	8.49	5.86
4	沙特阿拉伯	5.77	3.96
5	阿布扎比	5.55	3.81
6	美国	4.73	3.25
7	委内瑞拉	4.03	2.77
8	阿尔及利亚	3.69	2.53
9	尼日利亚	3.51	2.41
10	伊拉克	3.11	2.14
11	土库曼斯坦	2.86	1.96
12	马来西亚	2.31	1.59
13	印度尼西亚	2.05	1.40
14	罗马尼亚	1.95	1.34
15	乌兹别克斯坦	1.87	1.28
16	哈萨克斯坦	1.84	1.26
17	加拿大	1.81	1.24
18	荷兰	1.79	1.23
19	科威特	1.48	1.02
20	中国	1.37	0.94
21	利比亚	1.31	0.89
22	澳大利亚	1.26	0.87
23	挪威	1.17	0.80
24	乌克兰	1.12	0.76
世界总计		145.60	100

二、天然气开发

据美国《油气杂志》1999 年第 10 期报道,1998 年世界天然气总产量为 $23388 \times 10^8 \text{ m}^3$,其中西半球总计为 $8801.39 \times 10^8 \text{ m}^3$,西

欧总计为 $2665.70 \times 10^8 \text{ m}^3$, 东欧和独联体总计为 $7301.25 \times 10^8 \text{ m}^3$, 非洲总计为 $851.02 \times 10^8 \text{ m}^3$, 中东总计为 $1404.83 \times 10^8 \text{ m}^3$, 亚太地区总计为 $2323.78 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。根据 1998 年的产气量, 位居前 3 位的国家是独联体、美国和加拿大, 中国位居 18 位 (见表 1-2)。

表 1-2 1998 年产气量超过 $200 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的国家和地区

位次	国家或地区	产量, 10^8 m^3	占总量, %
1	独联体	6999.07	29.93
2	美国	5636.23	24.10
3	加拿大	1881.68	8.05
4	英国	958.73	4.10
5	荷兰	738.28	3.16
6	印度尼西亚	679.01	2.90
7	阿尔及利亚	584.56	2.50
8	墨西哥	496.85	2.12
9	挪威	434.46	1.86
10	沙特阿拉伯	355.00	1.52
11	伊朗	338.52	1.45
12	澳大利亚	302.63	1.29
13	阿根廷	295.80	1.26
14	委内瑞拉	273.00	1.17
15	阿拉伯联合酋长国	244.34	1.04
16	马来西亚	239.72	1.02
17	印度	232.12	0.99
18	中国	216.96	0.93
19	罗马尼亚	212.87	0.87
20	巴基斯坦	203.88	0.87
21	德国	202.18	0.86
	世界总计	23388.00	100

Al-Jaarri 和 Startlman 认为全世界天然气产量在 2010 年左右达到高峰, 产量为 $102 \times 10^{12} \text{ ft}^3/\text{d}$, 而 Campbell 在美国《油气杂

志》上发表的文章认为,世界范围内的天然气产量可能在 2020 年达到高峰,产量为 $120 \times 10^8 \text{ ft}^3/\text{d}$ 。

应该说天然气资源基数还没确定,也难以完全确定。加强地质理论和勘探技术方法的研究将有助于找到新的含气盆地和远景区。新的开采技术将大大提高现有油气田与远景区的采收率,更有效地钻井与完井将改变以前不经济的资源开采状况,使其成为可采储量。研究和开发方面的投入将使以前忽略的气资源,如非常规气成为可采资源。技术进步可使天然气资源基数扩大,并能够不断挖掘新的天然气储量。

新的天然气资源增长最快的是“非常规气”,也就是致密砂岩气、页岩气和煤层甲烷气。美国非常规气的产量已经从 1970 年的 $1.0 \times 10^{12} \text{ ft}^3/\text{a}$,增长到 1990 年的 $2.0 \times 10^{12} \text{ ft}^3/\text{a}$,1970~1990 年,非常规气产量增长较快,主要是因为进一步开发了致密砂岩气藏和 Appalachian 盆地的泥盆纪页岩远景带。近期非常规气产量明显上升,主要原因是在 San Juan 盆地开发了煤层气,在 Michigan 盆地钻探发现了 Antrim 页岩气。

尤其是煤层气得到了重视,迅速成为非常规天然气的重要组成部分。煤层气的工业开发始于 80 年代。在 Warrior 盆地的 Oak Grove 油田和 San Juan 盆地的 Cedar Hill 油田,当时仅有一些小型项目。到 1996 年底,美国的煤层气产量已达到 $1.0 \times 10^{12} \text{ ft}^3/\text{a}$,在 San Juan 盆地的 Fairway 地区采用的洞穴技术和在 Appalachian 及 Uinta 盆地中部对新探明的煤层气远景区进行的开发,促进了钻井和产量的快速增长。今后,提高煤层气产量有两个途径:依靠技术进步及控制一些可变因素,如气价和需求等。

三、天然气贸易

1990 年以来国际天然气贸易呈持续增长的趋势。1996 年国际天然气贸易量达 $4.270 \times 10^{12} \text{ m}^3$,比 1990 年增长了 38%,其中管道天然气贸易量达 $2.265 \times 10^{12} \text{ m}^3$,液化天然气贸易量达 $1.007 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 。

俄罗斯、加拿大、荷兰、阿尔及利亚、印度尼西亚、挪威是当代

主要天然气出口国(表 1-3)。这 6 大天然气出口国的天然气出口量占世界天然气贸易量的 85%。俄罗斯是世界上最大的天然气出口国,尽管 90 年代以来其天然气产量略有下降,但天然气出口量一直稳居第一位,占世界天然气贸易量的 30%,俄罗斯的天然气出口以向西欧国家出口为主,占俄总出口量约 60%。俄罗斯天然气主要通过管道出口到德国、法国、意大利、比利时、奥地利等国家。

加拿大、挪威是近年出口量增幅最大的国家,从 1992 年至 1996 年天然气出口量分别增加了 $222 \times 10^8 \text{ m}^3$ 和 $122 \times 10^8 \text{ m}^3$,增幅分别达到 38% 和 47%。

亚洲是世界主要的液化天然气贸易市场(表 1-4)。印度尼西亚是最大的液化天然气出口国,1990~1996 年其天然气产量增长了 48%,液化天然气出口量增长了 27%,马来西亚是 90 年代以来迅速崛起的液化天然气出口国,出口量已位居亚洲第二位。

阿尔及利亚是世界第二大液化天然气出口国。90 年代以来,其天然气出口量几乎没有增长,而管道气的出口量却从 1992 年的 $156 \times 10^8 \text{ m}^3$ 增至 1996 年的 $211.4 \times 10^8 \text{ m}^3$,约增加了 36%。

美国、德国、日本、意大利、法国、前捷克和比利时是最主要的天然气进口国。美国天然气产量自 70 年代到高峰以来一直徘徊不前,为满足国内需求,不得不增加进口量。1996 年美国天然气进口量已占世界天然气总进口量的 19%。

日本是最大的液化天然气进口国,其液化天然气进口贸易是 70 年代开始的,20 年间一直呈上升趋势。目前,日本液化天然气进口量一直占世界液化天然气贸易总量的 60%。

韩国是液化天然气进口增长最快的国家。1986 年韩国首次从印度尼西亚进口 $1.5 \times 10^8 \text{ m}^3$ 液化天然气。但 1996 年已增至 $129.5 \times 10^8 \text{ m}^3$,成为世界第二大液化天然气进口国,其进口量已占世界液化天然气总贸易量的 12.9%。

四、天然气输气管网

天然气输送管网是天然气产地到用户的主要方式实践中认识

表 1-3 世界主要管道天然气贸易国

单位: 10^8 m^3

主要出口国	1992			1993			1994			1995			1996		
	位次	出口量	占% ^①	位次	出口量	占% ^①	位次	出口量	占% ^①	位次	出口量	占% ^①	位次	出口量	占% ^①
俄罗斯	1	991	29	1	1009	29	1	1059	29	1	1173	30	1	1235	29
加拿大	2	579	17	2	630	18	2	714	20	2	791	20	2	801	19
荷兰	3	492	13	3	439	13	3	408	11	3	385	10	3	458	11
阿尔及利亚	4	351	10	4	353	10	5	316	9	4	371	9	4	407	9
印度尼西亚	5	316	9	5	318	9	4	351	10	5	331	8	6	353	8
挪威	6	258	8	6	248	7	6	268	7	6	276	7	5	380	9
合计		2924	90		2997	86		3116	86		3327	84		3634	85
主要进口国	1992			1993			1994			1995			1996		
	位次	进口量	占% ^②	位次	进口量	占% ^②	位次	进口量	占% ^②	位次	进口量	占% ^②	位次	进口量	占% ^②
德国	1	603	18	1	656	19	2	678	20	2	678	17	2	780	18
美国	2	591	18	2	654	19	1	730	19	1	800	20	1	817	19
日本	3	527	16	3	530	15	3	568	16	3	590	15	3	619	15
意大利	4	345	10	4	330	10	5	296	8	4	350	9	4	369	9
法国	5	338	10	5	304	9	4	317	9	5	335	8	5	361	8
前捷克	6	122	4	6	133	4	6	138	4	6	149	4	6	166	4
比利时	7	118	3	7	129	4	7	116	3	7	127	3	7	149	3
合计		2644	82		2763	79		2843	78		3029	77		3026	76

①指占当年世界管道天然气总出口量的百分比;②占当年世界管道天然气总进口量的百分比。

资料来源:法国天然气研究所(Cedigaz)1992~1996年年度报告。

单位: 10^8 m^3

表 1-4 世界主要液化天然气贸易国

主要出口国	1992			1993			1994			1995			1996		
	位次	出口量	占% ^①	位次	出口量	占% ^①	位次	出口量	占% ^①	位次	出口量	占% ^①	位次	出口量	占% ^①
印度尼西亚	1	316.3	39	1	319.3	38	1	350.9	40	1	331.1	35.9	1	352.8	35
阿尔及利亚	2	195.7	24	2	202.5	24	2	181.2	20.6	2	181.1	19.6	2	195.5	19
马来西亚	3	97.6	12	3	104.7	12.6	3	109.9	12.5	129.4	14	3	174	17	
文 莱	4	71.3	9	4	75.4	9	5	77.2	8.8	5	84.3	9	5	98.8	8
澳大利亚	5	61.9	7.6	5	66.9	8	4	85.3	9.7	4	98.1	10.6	4	84.3	9.8
阿联酋	6	34.2	4.2	6	33.5	4	6	42.5	4.8	6	67.8	7	6	72.4	7
合 计		809.4	95.8		832.4	95.6		877.5	96.4		923.2	96		1007.3	95.8
主要进口国	1992			1993			1994			1995			1996		
	位次	进口量	占% ^②	位次	进口量	占% ^②	位次	进口量	占% ^②	位次	进口量	占% ^②	位次	进口量	占% ^②
日 本	1	527.1	65	1	530.3	64	1	568	65	1	579.2	63	1	619.4	61
法 国	2	92.1	11.2	2	90	10.8	3	76.5	8.7	3	79.7	8.6	3	78.1	7.8
西班牙	3	57.5	7	4	59	7	4	64.3	7	4	69.3	7.5	4	69.8	6.9
比利时	4	45.8	5.7	5	43	5	5	69.8	4.5	5	48.6	5	5	40.1	4
韩 国	5	45	5.6	3	60	7	2	79	9	2	95.3	10	2	129.5	12.9
台湾省	6	22.4	2.8	6	23.2	2.8	6	30	3	6	33.2	3.6	6	35.3	3.5
合 计		809.4	97		832.4	96.6		877.5	97		923.2	97.7		1007.3	96

①占当年世界液化天然气出口量的百分比;②占当年世界液化天然气进口量的百分比。

资料来源:法国天然气研究所(Cedigaz)1992~1996年年度报告。

到输气管道网络化具有供气可靠,有利于开拓天然气市场,提高天然气工业的经济效益和社会效益,可充分利用输气管道的能力,便于对整个输气系统实现计算机控制等一系列优点。20 世纪 70 年代和 80 年代是全球天然气管道建设的高峰期。90 年代,世界输油管道建设速度有所放慢,但输气管道建设活动依然很活跃。目前天然气输气管网的发展呈现出长距离、大口径、高压、高度自动化遥控,向极地和海洋延伸的特点。

从世界已建成的管网系统看,输气管网可分为洲际的、国际的、全国性的和地区性的几种类型。建设输气管网系统,必须具备两种基本条件:有丰富的天然气资源(多气源)和/有足够的天然气用户(多用户)。美国、前苏联等国家有丰富的天然气储量,有大量可靠的天然气用户,它们不仅建成了本国全国性的管网和若干个地区的管网,为了出口天然气,还建成了国际性大型输气系统。阿尔及利亚天然气资源丰富,为了出口天然气,建成的阿尔及利亚—意大利和阿尔及利亚—西班牙两条输气管道工程,既是国际性的大型输气系统,又是洲际的大型输气系统。法国天然气消费量很大,但天然气储量很小,其气源主要来自国外进口。法国建成了全国性的输气管网,用以将进口的天然气/LNG(liquefied Natural Gas)输送到全国各地。

自 60 年代以来,全世界已形成了许多洲际的、国际的、全国性的和地区性的输气管网。前苏联的统一供气系统是当今世界上规模最大的输气管网。到 1990 年来,该统一供气系统连接了 500 多个气田、约 1500 个城市和居民区、46 个地下储气库、 $22 \times 10^4 \text{ km}$ 的输气干线、900 个压缩机站/车间(总安装功率超过 $4600 \times 10^4 \text{ KW}$),总输气能力 $1 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 以上。北美洲是世界上天然气资源最丰富,天然气消费量最大的地区之一。丰富的天然气资源和巨大的消费市场,使北美成为当今世界上天然气管道最发达,管道长度最大的地区。到 90 年代初,北美洲共有天然气管道 $53.5 \times 10^4 \text{ km}$,为全球 140 多万公里输气干线的 38%,其中美国为 $45.8 \times 10^4 \text{ km}$,加拿大 $6.4 \times 10^4 \text{ km}$,墨西哥 $1.3 \times 10^4 \text{ km}$;全球 554 座地