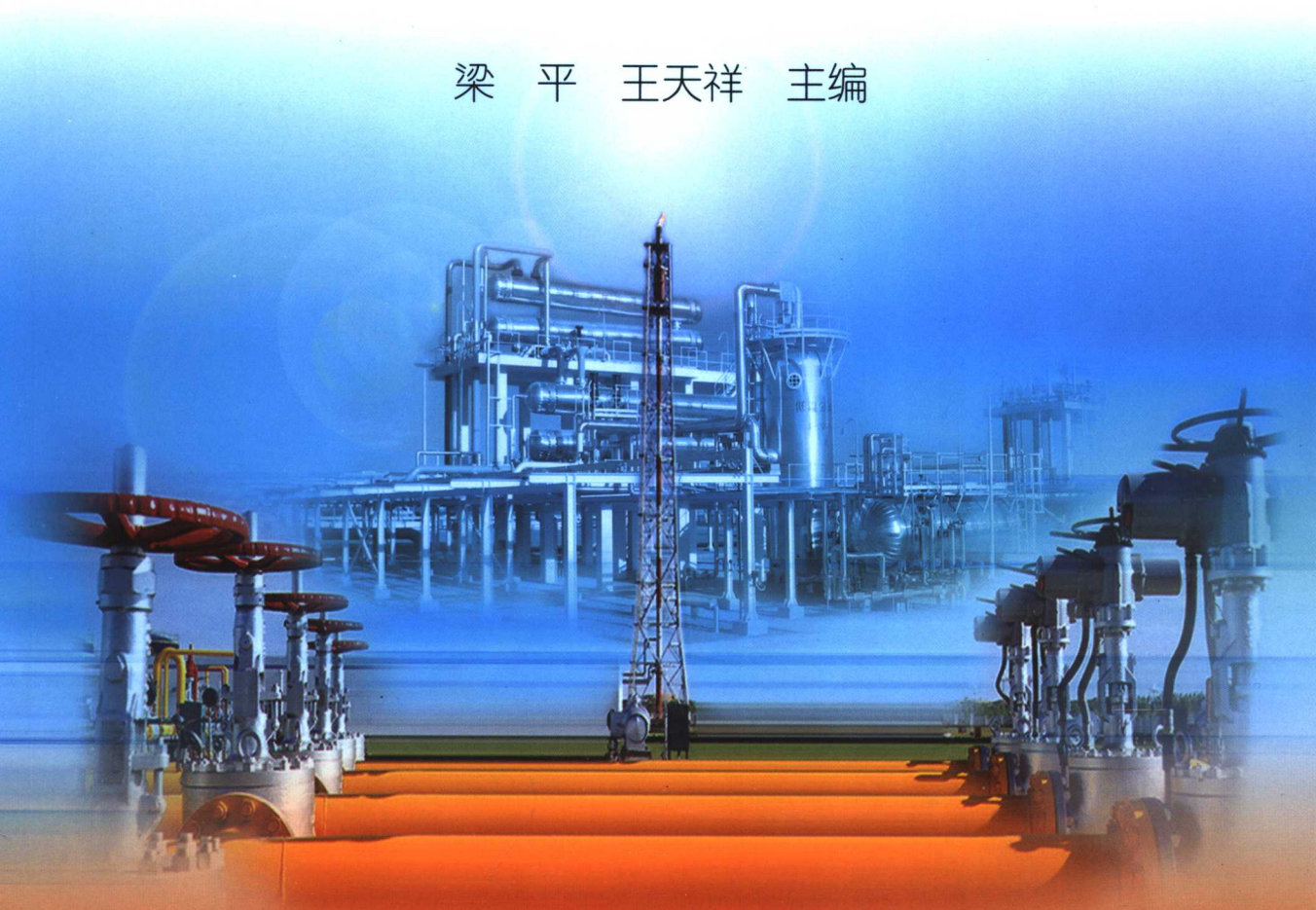




普通高等教育“十一五”国家级规划教材

天然气集输技术

梁 平 王天祥 主编



石油工业出版社
Petroleum Industry Press

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

天然气集输技术

梁 平 王天祥 主编

石油工业出版社

内 容 提 要

本书主要面向工程应用,内容涵盖了天然气集输、处理与加工方面的知识,系统地介绍了天然气处理要求及相关基本知识、天然气物化性质、水合物的形成与防止、天然气集输系统、天然气集输设备,以及天然气脱水、脱凝液和脱硫。

本书可作为高等院校油气储运及相关专业教材,也可作为远程教育、成人教育及企业培训的教学用书,并可供从事天然气集输及处理的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

天然气集输技术/梁平,王天祥主编.

北京:石油工业出版社,2008.5

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-5021-6525-3

I. 天…

II. ①梁…②王

III. 天然气-油气集输-高等学校-教材

IV. TE86

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 034567 号

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址: www.petropub.com.cn

编辑部: (010) 64523612 发行部: (010) 64523620

经 销: 全国新华书店

印 刷: 石油工业出版社印刷厂

2008 年 5 月第 1 版 2008 年 5 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本: 1/16 印张: 9.75

字数: 248 千字

定价: 15.00 元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

前 言

随着世界经济的迅猛发展,能源需求不断增长。从全球范围看,天然气资源丰富,可采储量迅速增加,近年其年产量增长速度高于石油与煤。预计在 21 世纪,天然气在世界能源消费结构中的比例将跃居首位。21 世纪是“天然气世纪”。

近年来,我国天然气工业取得了很大的发展,已逐步进入了工农业生产和日常生活的方方面面,成为国民经济生活中的重要内容。经过几代人的努力,我国目前已经初步形成了四川、塔里木、鄂尔多斯、柴达木和海洋在内的五大气区基本格局;已建成几条长距离输气管道,西气东输工程把天然气输送到东部 9 个省市;近些年我国海上气田的勘探和开发也有了较大进展;另外还从国外进口液化天然气,都将为我国天然气工业的发展创造有利条件。

天然气必须经过勘探、开发、处理与加工乃至管输等之后方能予以综合利用,而天然气集输技术则是其中承前启后的一个十分重要的环节。天然气集输及处理工程建设的技术水平、工程质量、生产中安全和环境保护措施的有效性,以及建设投资额度、生产运行费用,直接影响到气田开发目标的实现,甚至影响到具体气田开发的可行性。

鉴于目前天然气集输与加工场站的统一趋势,本书涵盖了天然气集输、处理与加工方面的内容,系统介绍了天然气处理要求及相关基本知识,天然气物化性质,水合物的形成与防止,天然气集输系统,天然气集输设备,天然气脱水、脱凝液和脱硫等。

本书与天然气集输领域内的理论著作不同,也与设计手册有别。本书主要面向工程应用,基本不涵盖工艺设计与工艺计算,力求深入浅出地将天然气集输、处理与加工知识按工程应用系统地展开,详细地介绍处理工艺及其运行参数、设备结构及处理过程、故障分析等,并且辅以实例说明。

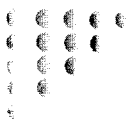
本书编写分工如下:第一章由张明益、刘武编写,第二章、第三章由梁平编写,第四章、第六章由游贇、张明亮编写,第五章由严宏东、单华编写,第七章由张利亚编写,雷政负责全书的现场运用部分内容的编写。全书由梁平、王天祥任主编,雷政、张明益、刘武任副主编。胡龙滴、陈宏伟、魏世泽参与了部分编写,在此深表感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在一些缺点乃至错误,恳望读者批评指正。

编 者
2008 年 1 月

目 录

第一章 概论	1
第一节 天然气在国民经济中的重要性	1
第二节 天然气的化学组成与分类	2
第三节 商品气的质量要求	6
第二章 天然气的基本特性	11
第一节 天然气的基本物理性质	11
第二节 水合物的形成与防止	15
第三章 天然气矿场集输系统	26
第一节 天然气储运系统	26
第二节 集输管网	27
第三节 气田集输工艺	28
第四章 天然气集输设备	35
第一节 分离设备	35
第二节 换热设备	43
第三节 塔设备	53
第五章 天然气脱水	65
第一节 概述	65
第二节 吸收法脱水	66
第三节 吸附法脱水	75
第四节 天然气脱水系统常见故障分析及采取的措施	85
第六章 天然气凝液回收	87
第一节 天然气凝液回收的目的	87
第二节 天然气凝液回收工艺	89
第三节 天然气凝液回收相关问题分析	107
第七章 天然气脱硫、硫黄回收及尾气处理	111
第一节 天然气脱硫	111
第二节 硫黄的回收	136
第三节 硫黄回收装置的尾气处理简介	147
参考文献	151



第一节 天然气在国民经济中的重要性

天然气是清洁、高效、方便的能源，它的使用在发展世界经济和提高环境质量中起着重要作用。全球蕴藏有相当丰富的天然气资源，目前世界天然气是仅次于石油和煤炭的世界第三大能源。近年其年产量增长速度高于石油与煤，在能源消费结构中的比例达 23.5%。据预测，21 世纪天然气在能源消费结构组成中的比例将超过石油，成为世界第一能源。

据世界石油大会有关报告统计，天然气的最大用户是城镇居民、公共建筑和商业部门，约占总用量的 41.5%；其次是工业部门，约占 37%，主要用作生产化工产品和工业燃料的基本原料；再次是发电厂，约占 19% 以上；运输部门所占比例不足 1%。预计今后 50 年内，天然气的应用将会显著扩大，天然气转化生产合成氨、甲醇和烯烃、芳烃等技术将会取得新的进展；天然气用作汽车燃料也将使天然气汽车得到进一步的推广。

天然气作为能源利用有以下优越性：

(1) 利用天然气使环境效益优越。能源变迁是从多碳经过低碳走向无碳。在无碳能源尚未大规模工业化之前，与煤和石油相比，天然气作燃料可以明显减少环境污染。天然气的燃烧排放量远低于石油和煤的燃烧排放量，可解决当前城市污染严重的状况，明显改善人类生存环境，对于提高全社会生活质量具有非常重大的现实意义。

(2) 天然气是优质能源。由于天然气组分不含一氧化碳，这就减少了泄漏对人畜生命的危害性。而煤制气含有 20%~30% 的一氧化碳，如因管道泄漏，会引起人畜中毒甚至死亡。

(3) 天然气是高效能源。天然气在联合循环发电利用中，热能利用率可达 55%，高于原油和煤的热能利用率。

(4) 天然气是安全能源。天然气着火温度高，爆炸界限窄，密度较空气小，安全性能好。

(5) 天然气资源丰富。据最新预测，世界常规和非常规天然气资源总量达 $(1790 \sim 5030) \times 10^{12} \text{ m}^3$ 。全球丰富的天然气资源完全可以满足人类对能源较长时期的需求。

(6) 勘探开发成本低。与其他能源相比，天然气勘探开发成本相对较低，见效较快。

(7) 使用方便。天然气供居民作燃料具有方便、节省时间和劳力的优越性。

近年来,随着我国东部能源短缺地区(如珠江三角洲和长江三角洲地区)工业化程度的提高,用作燃油和化工原料的石油消费量为 $(2000\sim 3000)\times 10^4\text{t/a}$,并呈不断增长的趋势。从国家石油安全战略的角度考虑,必须减少对石油资源的依赖,用天然气等清洁能源替代这部分石油资源,这样就可解决石油资源消费快速膨胀的问题。据统计,2005年我国在一级能源消费结构中,天然气仅占2.7%,是世界平均水平的10%左右。21世纪世界能源

将进入天然气时代,我国也即将进入天然气快速发展的历史时期。有专家预测,到2020年,天然气在我国一次能源消费中的比例,将达到8%。

据预测,在今后几十年中天然气在发达国家能源需求中的重要作用还会有所增加。天然气作为一种优质清洁能源,在许多领域将会代替日趋减少的石油。有资料预测,进入21世纪后天然气将逐步取代石油,并在世界能源消费结构中占据主导地位,见图1-1。

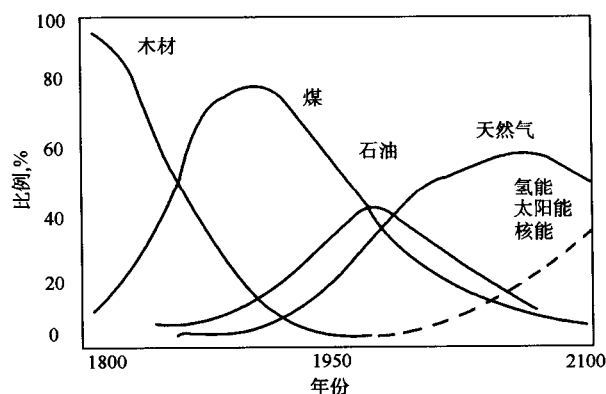


图 1-1 世界能源消费结构趋势

第二节 天然气的化学组成与分类

一、组成表示方法

天然气组成有三种表示方法:质量组成、体积组成和摩尔组成。每种组成均可用百分数或小数表示。

(1) 质量组成。符号 w_i 表示组分 i 的质量组成,也叫质量分数:

$$w_i = \frac{m_i}{\sum m_i} \quad (1-1)$$

式中 m_i ——组分 i 的质量;

$\sum m_i$ ——总质量。

(2) 体积组成。符号 φ_i 表示组分 i 的体积组成,也叫体积分数:

$$\varphi_i = \frac{V_i}{\sum V_i} \quad (1-2)$$

式中 V_i ——组分 i 的体积;

$\sum V_i$ ——总体积。

(3) 摩尔组成。符号 y_i 表示组分 i 的摩尔组成,也叫摩尔分数:

$$y_i = \frac{n_i}{\sum n_i} \quad (1-3)$$

式中 n_i ——组分 i 的摩尔数；
 $\sum n_i$ ——总摩尔数。

在标准状态（101325Pa，0℃）时，任何 1kmol 的气体体积都是 22.4m³，因此混合气体中任何组分的体积组成在数值上等于其摩尔组成，即：

$$\varphi_i = y_i \tag{1-4}$$

由天然气的质量组成 w_i 换算为体积组成 φ_i 或摩尔组成 y_i ：

$$y_i = \frac{w_i/M_i}{\sum (w_i/M_i)} \tag{1-5}$$

式中 M_i 为组分 i 的相对分子质量（旧称分子量）。

由天然气的摩尔组成 y_i （或体积组成 φ_i ）换算为质量组成 w_i ：

$$w_i = \frac{y_i M_i}{\sum (y_i M_i)} \tag{1-6}$$

由天然气的体积组成 φ_i 换算为质量组成 w_i ：

$$w_i = \frac{\varphi_i M_i}{\sum \varphi_i M_i} \tag{1-7}$$

二、天然气的组成

天然气是以烷烃（C_nH_{2n+2}）为主的各种烃类气体所组成的气体混合物。按其化学组成，绝大多数是甲烷（CH₄）、乙烷（C₂H₆）、丙烷（C₃H₈）、丁烷（C₄H₁₀）和少量戊烷（C₅H₁₂）。天然气中也含有其他一些气体，如硫化氢（H₂S）、二氧化碳（CO₂）、氮（N₂）及水汽（H₂O），有时还含有微量的稀有气体，如氦（He）和氩（Ar）等。我国某些油气田天然气的组成见表 1-1 和表 1-2。

表 1-1 我国主要气田和凝析气田的天然气组成① （单位：%）

气田名称	甲烷	乙烷	丙烷	异丁烷	正丁烷	异戊烷	正戊烷	己烷	二氧化碳	氮气	硫化氢
陕甘宁中部气田 (奥陶系马五段)	95.6	0.6	0.08	0.02	0.01	0.01	0.03		3.02	0.04	0.0264
海南崖 13-1 气田	83.87	3.83	1.47	0.4	0.38	0.17	0.10	1.11	7.65	1.02	70.7 (mg/m ³)
新疆塔里木 克拉-2 气田	97.93	0.71	0.04	0.02					0.74	0.56	
青海台南气田	99.2		0.02							0.79	
东海平湖 凝析气田	77.76	9.74	3.85	1.14	1.19	0.27	0.44	0.34	1.39	1.27	
华北苏桥 凝析气田	78.58	8.26	3.13	1.43		0.55		0.39	1.41	0.8	
蜀南气矿 庙高寺	96.42	0.73	0.14	0.04						1.93	0.69

① 本书中未加特别注明的组成、含量等都指体积分数。

续表

气田名称	甲烷	乙烷	丙烷	异丁烷	正丁烷	异戊烷	正戊烷	己烷	二氧化碳	氮气	硫化氢
川中油气矿 磨溪	96.48	0.19							0.546	1.02	1.767
川西北气矿中坝 1	91	5.8	1.59	0.13	0.35	0.1	0.28		0.47	0.19	
重庆气矿卧龙河 1	93.72	0.88	0.21	0.05					0.54	0.49	4.0
川东北气矿 宣汉-开江	75.29	0.11	0.06						10.41	0.18	10.49

表 1-2 我国主要大油田的伴生气组成

(单位:%)

油田名称	甲烷	乙烷	丙烷	异丁烷	正丁烷	异戊烷	正戊烷	己烷	二氧化碳	氮气	硫化氢
大庆油田萨南	76.66	5.93	6.59	1.02	3.45	1.54		1.21	0.26	2.28	
辽河油田兴隆台	82.7	7.21	4.16	0.74	1.46	0.44	0.37	1.04	0.42	1.47	
中原油田	75.3	10.17	6.18	1.45	2.6	0.98	0.75	0.65	0.34	0.43	0.0003
华北油田任北	59.37	6.48	10.02	9.21		3.81		1.34	4.58	1.79	
胜利油田	87.75	3.78	3.74	0.81	2.31	0.82	0.65	0.06	0.53	0.02	
吐哈油田丘陵	67.61	13.51	10.69	3.06	2.55	0.68	0.56	0.16	0.40	0.65	
大港油田	80.94	10.2	4.84	0.87	1.06	0.34			0.41	0.34	

天然气常见组分的主要物理化学性质如表 1-3 所示。

三、天然气的分类

依据不同的原则，有 3 种天然气的分类方式。

1. 按矿藏特点分类

1) 气藏气

产自天然气藏中的天然气称为气藏气。一般气藏气含有 90% 以上的甲烷，还含有少量乙烷、丙烷、丁烷等烃类气体和二氧化碳、硫化氢、氮气等非烃类气体。这种不与石油共生的纯气藏，又称为非伴生气。

2) 凝析气藏气

除含有大量的甲烷外，还含有乙烷、丙烷、丁烷以及戊烷以上的烃类，即汽油、煤油组分。凝析气藏气和气藏气一样，均称为非伴生气。

3) 油田气

油田气含溶解气和气层气，伴随原油共生，又称伴生气。其特点是乙烷和乙烷以上的烃类含量比气田气高。

2. 按天然气的烃类组成分类

按天然气的烃类组成（即按天然气中凝液含量）的多少来分类，可分为干气、湿气，贫气、富气。

表 1-3 天然气常见组分的主要物理化学性质

项 目	甲 烷	乙 烷	丙 烷	异 丁 烷	正 丁 烷	异 戊 烷	正 戊 烷	氮	二氧化碳	氢
分子式	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	i - C ₄ H ₁₀	n - C ₄ H ₁₀	i - C ₅ H ₁₂	n - C ₅ H ₁₂	N ₂	CO ₂	H ₂ S
相对分子质量 <i>M</i>	16.043	30.070	44.097	58.124	58.124	72.151	72.151	28.0134	44.0098	34.076
千摩尔体积 <i>V_m</i> , m ³ /kmol	22.3621	22.1872	21.9362	21.5977	21.5036	20.983	20.891	22.403	22.2601	22.1802
密度 <i>ρ</i> , kg/m ³	0.7174	1.3553	2.0102	2.6912	2.7030	3.4386	3.4537	1.2504	1.9771	1.5363
相对密度 <i>S</i>	0.5548	1.046	1.555	2.081	2.090	2.659	2.671	0.967	1.529	1.188
临界温度 <i>T_c</i> , K	191.05	305.45	368.85	407.15	425.15	460.85	470.35	126.2	304.20	373.54
临界压力 <i>p_c</i> , 10 ⁵ Pa	44.91	47.27	42.56	35.40	35.01	32.26	32.36	32.85	71.49	87.15
临界比容 <i>V_c</i> , m ³ /kmol	0.099	0.143	0.195	0.263	0.258	0.316	0.311	0.090	0.094	0.098
高热值 <i>H₁</i> , MJ/m ³	39.84	67.34	101.26	133.05	133.89	168.32	169.37			25.34
低发热值 <i>H_h</i> , MJ/m ³	35.90	64.40	93.24	122.85	123.65	155.72	156.73			23.36
爆炸下限 <i>L₁</i> , %	5.0	2.9	2.1	1.8	1.5	1.6	1.4			4.3
爆炸上限 <i>L_h</i> , %	15.0	13.0	9.5	8.5	8.5	8.3	8.3			45.5
比定压热容 <i>C_p</i> , kJ/(kg·K)	2.223	1.729	1.863	1.658	1.658	1.654	1.654	1.047	0.845	1.063
比定容热容 <i>C_v</i> , kJ/(kg·K)	1.670	1.444	1.649	1.49	1.49			0.745	0.653	0.804
动力粘度 <i>η</i> , 10 ⁻⁵ Pa·s	1.027	0.843	0.735	0.676	0.669	0.616	0.635	1.667	1.402	1.167
运动粘度 <i>ν</i> , 10 ⁻⁵ m ² /s	1.416	0.611	0.358	0.246	0.243	0.176	0.180	1.33	0.709	0.763
气体常数 <i>R</i> , kJ/(kg·K)	0.5171	0.2759	0.1846	0.1378	0.1372	0.1078	0.1074	0.2967	0.1876	0.2415
偏心因子 <i>ω</i>	0.0104	0.0986	0.1524	0.1848	0.2010	0.2223	0.2559	0.040	0.225	0.100

1) C_5 界定法——干、湿气的划分

据天然气中 C_5 以上烃液含量的多少, 用 C_5 界定法划分干气和湿气。

干气: 指在 1m^3 井口流出物中, C_5 以上烃液含量低于 13.5cm^3 的天然气。

湿气: 指在 1m^3 井口流出物中, C_5 以上烃液含量高于 13.5cm^3 的天然气。

2) C_3 界定法——贫、富气的划分

据天然气中 C_3 以上烃类液体的含量多少, 用 C_3 界定法划分贫气和富气。

贫气: 指在 1m^3 井口流出物中, C_3 以上烃类液体含量低于 94cm^3 的天然气。

富气: 指在 1m^3 井口流出物中, C_3 以上烃类液体含量高于 94cm^3 的天然气。

3. 按酸气含量分类

按酸气 (CO_2 和硫化物) 含量多少, 天然气可分为酸性天然气和净气。酸性天然气指含有显著量的硫化物和 CO_2 等酸性气体。这类气体必须经处理后才能达到管输标准或商品气气质指标。净气是指含硫化物和 CO_2 甚微或根本不含的气体, 它不需净化就可外输和利用。

四、天然气体积的计量条件

我国天然气计量常以体积表示, 单位是立方米, 即以立方米为计量单位。

天然气的重要特性之一, 是它具有压缩性和膨胀性, 故天然气随着压力、温度条件的变化而改变体积。为了便于比较和量度气体的体积大小, 必须指定一种压力和温度作为标准。在国际物理学界是以压力为 101325Pa 、温度为 0°C 作标准, 称为基准状态。但在实际工业生产中, 各个国家又根据本国情况各自订立标准。我国指定压力为 101325Pa 、温度为 20°C 作为天然气计量的标准条件, 称为标准状态。因此, 今后凡提到若干立方米天然气时, 均指在 101325Pa 、 20°C 情况下天然气所占有的体积。如所述天然气不是处于该标准条件时, 应换算为该标准条件下的天然气再进行比较和计算。

第三节 商品气的质量要求

一、商品天然气的质量要求

表 1-1、表 1-2 列举的是从气井井口采出或从矿场分离器分离出的天然气组成。通常, 这些天然气中含有不同数量的、在大气条件下处于液相的较重烃类, 以及水蒸气、硫化物 (如硫化氢)、二氧化碳、氮和氦等非烃类气体, 一般不适宜大多数用户直接使用, 故有时也称为粗天然气。它们大多需要经处理以脱除不希望有的组分 (如硫化氢、水蒸气) 后方可作为商品天然气。此外, 为了回收与利用天然气中的乙烷、更重烃类以及氮、氦等非烃类气体, 需要对天然气进行加工, 将这些组分从天然气中分离出来。然后, 再将残余气 (主要是甲烷) 作为商品天然气外输, 或送回油气田内部回注, 也可将其液化后 (液化天然气) 外运。

我国国家标准《天然气》(GB 17820—1999) 已从 2000 年开始实施。此标准适用于气田、油田采出经预处理后通过管道输送的商品天然气, 并按产品类别分别作为民用燃料、工业原料或燃料的天然气。标准中对商品天然气的质量要求见表 1-4。

表 1-4 我国天然气质量要求

项 目	一 类	二 类	三 类
高位发热量, MJ/m ³	>31.4		
总硫 (以硫计), mg/m ³	≤100	≤200	≤460
硫化氢, mg/m ³	≤6	≤20	≤460
二氧化碳, %	≤3.0		—
水露点, °C	在天然气交接点的压力和温度条件下, 天然气的水露点应比最低环境温度低 5°C		

- 注: 1. 本标准中气体体积的标准参比条件是 101.325kPa, 20°C;
 2. 在天然气交接点的压力和温度条件下, 天然气中应不存在液态烃;
 3. 天然气中固体颗粒含量应不影响天然气的输送和利用。

表 1-4 中所列的一类、二类气体主要用作民用燃料, 三类气体主要用作工业原料或燃料。

如果只是为了符合管道输送的要求, 则经过处理后的天然气称之为管输天然气, 简称管输气。我国对管输天然气的质量要求是:

- 进入输气管道的气体必须清除其中的机械杂质。
- 水露点应比输气管道中气体可能达到的最低环境温度 (即最低管输气体温度) 低 5°C。
- 烃露点应低于或等于输气管道中气体可能达到的最低环境温度。
- 气体中硫化氢含量不大于 20 mg/m³。
- 如输送不符合上述质量要求的气体, 必须采取相应的保护措施。

二、天然气加工主要产品及其质量要求

天然气加工产品主要有液化天然气、天然气凝液、液化石油气、天然汽油、压缩天然气等。典型的天然气及其加工产品的组成见表 1-5。

表 1-5 典型的天然气及其产品组成

组成 名称	He 等	N ₂	CO ₂	H ₂ S	C ₁	C ₂	C ₃	iC ₄	nC ₄	iC ₅	nC ₅	C ₆	C ₇ ⁺
天然气	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲
惰性气体	▲	▲	▲										
酸性气体			▲	▲									
液化天然气		▲			▲	▲	▲	▲	▲				
天然气凝液						▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲
液化石油气						▲	▲	▲	▲				
天然汽油							▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲
稳定凝析油								▲	▲	▲	▲	▲	▲

1. 液化天然气

液化天然气 (LNG, Liquefied Natural Gas 的缩略) 是由天然气液化制取的、以甲烷为主的液烃混合物。其组成约为: C₁, 80%~95%; C₂, 3%~10%; C₃, 0~5%; C₄, 0~3%; C₅⁺, 微量。一般是在常压下将天然气冷冻到约 -162°C 使其变为液体。由于液化天然气的体积为其气体体积 (101.325kPa, 20°C) 的 1/625, 故有利于输送和储存。随着液化天

然气运输船及储罐制造技术的进步，将天然气液化几乎是目前跨越海洋运输天然气的主要方法。LNG 不仅可作为石油产品的清洁替代燃料，也可用来生产甲醇、氨及其他化工产品。此外，在一些国家和地区 LNG 还用于民用燃气的调峰。LNG 再汽化时的蒸发潜热（-161.5℃时约为 511kJ/kg）还可供制冷、冷藏等行业用。表 1-6 为 LNG 的主要物理性质。

表 1-6 LNG 的主要物理性质

气体相对密度 (空气=1)	沸点 (常压下) ℃	液体密度 (沸点下) g/L	高热值 MJ/m ³ ①	颜色
0.60~0.70	约-162	430~460	41.5~45.3	无色透明

①指 101.325kPa、15.6℃状态下的气体体积。

2. 天然气凝液

天然气凝液（NGL，Natural Gas Liquids 的缩略）也称为天然气液或天然气液体，我国习惯称为轻烃，是指从天然气中回收到的液烃混合物，包括乙烷、丙烷、丁烷及戊烷以上烃类等。有时广义地说，从气井井场及天然气加工厂得到的凝析油均属于天然气凝液。天然气凝液可直接作为产品，也可进一步分离出乙烷、丙烷、丁烷或丙、丁烷混合物（LPG）和天然汽油等。天然气凝液及其得到的乙烷、丙烷、丁烷等烃类是制取乙烯的主要原料。此外，丙烷、丁烷或丙、丁烷混合物不仅是热值很高（约 83.7~125.6MJ/m³）、输送及存储方便、硫含量低的民用燃料，还是汽车的清洁替代燃料。

3. 液化石油气

液化石油气（LPG，Liquefied Petroleum Gas 的缩略）也称为液化气，是指主要由 C₃ 和 C₄ 烃类组成并在常温和压力下处于液态的石油产品。液化石油气按其来源分为炼厂液化石油气和油气田液化石油气两种。炼厂液化石油气是由炼油厂的二次加工过程所得，主要由丙烷、丙烯、丁烷和丁烯等组成。油气田液化石油气则是由天然气加工过程所得到的，通常又可分为商品丙烷、商品丁烷和商品丙、丁烷混合物等。商品丙烷主要由丙烷和少量丁烷及微量乙烷组成，适用于要求高挥发性产品的场合。商品丁烷主要由丁烷和少量丙烷及微量戊烷组成，适用于要求低挥发性产品的场合。商品丙、丁烷主要由丙烷、丁烷和少量乙烷、戊烷组成，适用于要求中挥发性产品的场合。油气田液化石油气不含烯烃。我国油气田液化石油气质量要求见表 1-7。

表 1-7 我国油气田液化石油气质量要求（GB 9052.1—1998）

项 目	质 量 指 标			试验方法
	商品丙烷	商品丁烷	商品丙、丁烷混合物	
37.8℃时的蒸气压（表压），kPa 不大于	1430	485	1430	GB/T 6602①
组分，%				
丁烷及以上组分 不大于	2.5	—	—	SH/T 0230
戊烷及以上组分 不大于	—	2.0	3.0	
残留物				
100mL 蒸发残留物，mL 不大于	0.05	0.05	0.05	SY/T 7509
油渍观察	通过	通过	通过	

续表

项 目	质量 指 标			试验方法
	商品丙烷	商品丁烷	商品丙、丁烷混合物	
密度 (20℃或 15℃), kg/m ³	实测	实测	实测	SH/T 0221 ^②
铜片腐蚀, 级 不大于	1	1	1	SH/T 0232
总硫含量, mg/kg 不大于	185	140	140	SY/T 7508
游离水	—	无	无	目测

①蒸气压也允许用 GB/T 12576 方法计算, 但在仲裁时必须用 GB/T 6602 方法测定;

②密度也允许用 GB/T 12576 方法计算, 但在仲裁时必须用 SH/T 0221 方法测定。

4. 天然汽油

天然汽油也称为气体汽油或凝析汽油, 是指天然气凝液经过稳定后得到的、以戊烷及更重烃类为主的液态石油产品。我国习惯上称其为稳定轻烃, 国外也将其称为稳定凝析油。我国将天然汽油按其蒸气压分为两种牌号, 其代号为 1 号和 2 号。1 号产品可作为石油化工原料; 2 号产品除作为石油化工原料外, 也可用作车用汽油调和原料。它们的质量要求见表 1-8。

表 1-8 我国稳定轻烃质量要求 (GB 9053—1998)

项 目	质量 指 标		实 验 方 法
	1 号	2 号	
饱和蒸气压, kPa	74~200	夏<74, 冬 ^① <88	GB/T 8017—1987
馏程			GB/T 6536—1997
10%蒸发温度,℃ 不低于	—	35	
90%蒸发温度,℃ 不高于	135	150	
终馏点,℃ 不高于	190	190	
60℃蒸发率, %	实测	—	
硫含量 (质量分数), % 不大于	0.05	0.10	SH/T 0253—1992
机械杂质及水分	无	无	目测 ^②
铜片腐蚀, 级 不大于	1	1	GB/T 5096—1985 (1991)
颜色, 赛波特色号 不小于	+25	—	GB/T 3555—1992

①冬季指在 9 月 1 日至次年 2 月 29 日间;

②将油样注入 100mL 的玻璃量筒中观察, 应当透明, 没有悬浮、沉淀的机械杂质和游离水。

至于其他如商品乙烷等, 我国目前尚无上述由国家或行业在相应标准中提出的质量要求。

5. 压缩天然气

压缩天然气 (CNG, Compressed Natural Gas 的缩略) 是经过压缩的高压商品天然气, 其主要成分是甲烷。由于它不仅抗爆性能 (甲烷的研究法辛烷值约为 108) 和燃烧性能好, 燃烧产物中的温室气体及其他有害物质含量很少, 而且生产成本较低, 因而是一种很有发展前途的汽车优质替代燃料。目前, 大多灌装在 20~30MPa 的气瓶中供汽车使用, 称为汽车用压缩天然气。

我国发布的《车用压缩天然气》(GB 18047—2000) 已从 2000 年开始实施, 标准中对汽车用压缩天然气的质量要求见表 1-9。

表 1-9 我国汽车用压缩天然气和技术指标 (GB 18047—2000)

项 目	技 术 指 标
高位发热量, MJ/m ³	>31.4
总硫含量 (以硫计), mg/m ³	≤200
硫化氢含量, mg/m ³	≤15
二氧化碳含量, %	≤3.0
氧气含量, %	≤0.5
水露点, °C	在汽车驾驶的特定地理区域内, 在最高操作压力下, 水露点不应高于-13°C; 当最低气温低于-8°C, 水露点应比最低气温低 5°C
注: 本标准中气体体积的标准参比条件是 101.325 kPa, 20°C	

第二章 天然气的基本特性

DIERZHANG



第一节 天然气的基本物理性质

一、天然气的视相对分子质量

天然气是多种气体组成的混合气体，本身没有分子式，不能像纯气体一样，可以从分子式算出一个恒定的相对分子质量。但是，工程上为了计算方便，把 0℃、101325Pa 时体积为 22.4dm³ 天然气所具有的质量认为是天然气的相对分子质量。换言之，天然气的相对分子质量，在数值上等于在基准状态下 1 摩尔天然气的质量。

天然气的相对分子质量是一种人们假想的相对分子质量，因此，也称为“视相对分子质量”。同时，由于天然气的相对分子质量随组成的不同而变化，没有一个恒定的数值，因此，又称为“平均相对分子质量”，通常简称为天然气的相对分子质量，实际上指的就是“视相对分子质量”或“平均相对分子质量”。其计算方法为：

$$M = \sum y_i M_i \quad (2-1)$$

式中 M ——天然气的相对分子质量；

y_i ——组分 i 的摩尔分数；

M_i ——组分 i 的相对分子质量。

二、天然气的密度和相对密度

1. 天然气的密度

天然气的密度定义为单位体积天然气的质量，用符号 ρ 表示：

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2-2)$$

式中 m ——天然气的质量，kg；

V ——天然气的体积，m³。

显然，天然气密度不仅取决于天然气的组成，还取决于其所处的压力和温度状态。天然气在某压力、温度下的密度为：

$$\rho = \frac{pM}{8.314ZT} \quad (2-3)$$

式中 ρ ——气体在任意压力、温度下的密度， kg/m^3 ；

p ——天然气的压力（绝）， kPa ；

M ——天然气的相对分子质量；

Z ——天然气压缩因子；

T ——天然气绝对温度， K 。

2. 相对密度

天然气相对密度是在相同压力和温度下天然气的密度与空气密度之比，即 $\rho_{\text{天}}/\rho_{\text{空}}$ ，这是一个无量纲的量。

天然气的相对密度用符号 S 表示，则有：

$$S = \frac{\rho_{\text{天}}}{\rho_{\text{空}}} = \frac{M_{\text{天}}}{M_{\text{空}}} \quad (2-4)$$

式中， $\rho_{\text{天}}$ 、 $M_{\text{天}}$ 分别为天然气的密度和相对分子质量； $\rho_{\text{空}}$ 、 $M_{\text{空}}$ 分别为空气的密度和相对分子质量。 $\rho_{\text{空}} = 1.293 \text{ kg}/\text{m}^3$ （在 0°C 、 101325 Pa 下）； $\rho_{\text{空}} = 1.205 \text{ kg}/\text{m}^3$ （在 20°C 、 101325 Pa 下）。

由式（2-4）可求得天然气的相对密度。该式也常用在已知天然气的相对密度时，求天然气的相对分子质量或密度等。

气藏气的相对密度一般在 $0.58 \sim 0.62$ 之间，凝析气藏及油田气的相对密度在 $0.7 \sim 0.85$ 之间，个别含重烃多的油田气也有大于 1 的。

三、天然气的拟临界参数及拟对比参数

1. 拟临界参数

天然气的临界参数也随组成而变化，没有一恒定的数值，一般要通过实验的方法才能较准确地测定。工程上广泛采用拟临界压力和拟临界温度的概念来代表天然气临界参数，并分别用符号 p_{pc} 和 T_{pc} 表示。应该强调，拟临界参数并不等于其真实的临界参数。拟临界参数可用下面几种方法计算。

（1）已知天然气的体积组成，由下式计算：

$$p_{\text{pc}} = \sum y_i p_{\text{ci}} \quad (2-5)$$

$$T_{\text{pc}} = \sum y_i T_{\text{ci}} \quad (2-6)$$

式中 p_{pc} ——天然气的拟临界压力， MPa ；

T_{pc} ——天然气的拟临界温度， K ；

y_i ——天然气中组分 i 的体积组成；

p_{ci} ， T_{ci} ——天然气中组分 i 的临界压力（ MPa ）、临界温度（ K ），可由表 1-3 查得。