

梁平 主编

天然气操作技术 与安全管理



化学工业出版社
安全科学与工程出版中心

天然气操作技术 与安全管理

梁平 主编



化学工业出版社
安全科学与工程出版中心

· 北 京 ·

本书从基本原理出发,分别介绍了天然气的组成及物理化学性质;天然气的集输、处理、长输及城市配气基本理论与技术;天然气系统的相关设备的性能及构造;天然气的储存;压缩天然气(CNG)加气站的基本理论;天然气的安全生产技术等应知应会基本知识。

本书内容系统完整、引用标准先进,实用性强。可作为天然气集输、长输、城市配气及加气站工作人员及管理者的培训教材,也可供从事天然气储运的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

天然气操作技术与安全管理/梁平主编. —北京:化学工业出版社, 2006.5
ISBN 7-5025-8867-1

I. 天… II. 梁… III. ①天然气运输②天然气-安全生产 IV. ①TE83②TE64

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 058681 号

天然气操作技术与安全管理

梁平 主编

责任编辑:陈有华

文字编辑:徐雪华

责任校对:洪雅姝

封面设计:于兵

*

化学工业出版社 出版发行
安全科学与工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里3号 邮政编码 100029)

购书咨询:(010)64982530

(010)64918013

购书传真:(010)64982630

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京市振南印刷有限责任公司印刷

三河市宇新装订厂装订

开本 850mm×1168mm 1/32 印张 9 1/4 字数 259 千字

2006 年 7 月第 1 版 2006 年 7 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-8867-1

定价:18.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责退换

前 言

天然气是清洁、高效、方便的能源，它的使用在世界经济发展和提高环境质量中起着重要作用。世界天然气资源丰富，可采储量迅速增加，近年其年产量增长速度高于石油与煤，在能源消费结构中的比例达 23.5%。全球蕴藏有相当丰富的天然气资源，目前世界天然气为仅次于石油和煤炭的世界第三大能源，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。

我国天然气资源也较丰富，但长期以来天然气工业基础较薄弱，天然气在我国能源消费结构组成中的比例只占 2% 左右。近年我国天然气储量增长较快，形成了陆上四川、陕甘宁、柴达木、塔里木四大气区，已建成几条长距离输气管道。“西气东输”工程将把天然气输送到全国 9 个省市，为我国天然气工业的发展创造了有利条件。我国海上气田的勘探和开发也有较大进展，此外还拟从国外进口液化天然气和天然气。21 世纪初我国天然气产量和消费量将得到迅速提高，其在能源结构组成中的比例将达 6%~8%。

本书通过对天然气从井口到用户整个工艺过程及相关设备的介绍，力求让更多的人了解天然气、认识天然气和正确地使用天然气。

本书主要介绍天然气的组成、分类及物理化学性质；天然气的集输、长输、城市配气、加气站及天然气液化的基本理论及其涉及的相关设备的性能、构造及使用；集气站、输气站、加气站的工艺流程与管理；事故处理与消防等应知应会基本知识。本书较为全面、系统地介绍天然气储运的基本知识，力求通俗、易懂。

该书可作为天然气集输、长输、城市配气及加气站工作人员及管理人員的培训教材，也可供从事天然气储运的工程技术人员

参考。

本书第一章、第二章第一、二、三、四节和第六章由梁平编写；第二章第五节由邱奎编写；第三章、第七章由严宏东编写；第四章、第五章由游贻编写；第八章由李龙编写。范兆廷、单华、蒋余巍、唐柯、高洁玉参与了部分编写。全书由梁平主编，袁宗明审阅。

由于编者水平有限，书中难免存在一些不妥之处，恳望读者批评指正。

编 者

2006 年 4 月

目 录

概述	1
一、天然气在国民经济中的重要性	1
二、天然气储运系统概述	2
第一章 天然气的基本特性	4
第一节 天然气的组成与分类	4
一、天然气的组成	4
二、天然气的分类	4
三、组分浓度表示法	8
第二节 天然气及其加工产品的质量要求	9
一、商品天然气的质量要求	9
二、天然气加工主要产品及其质量要求	12
三、天然气体积的计量条件	16
第三节 天然气的物理化学性质	17
一、天然气的状态参数	17
二、天然气常见组分的主要物理化学性质	19
三、天然气的视相对分子质量	19
四、天然气的密度和相对密度	19
五、天然气的临界性质及对比性质	22
六、天然气的压缩因子	22
七、天然气的发热量和沃泊指数	24
八、天然气的黏度	24
九、天然气的爆炸极限	27
第二章 天然气的矿场集输工艺	29
第一节 水合物的形成与防止	29
一、天然气的水汽含量	29
二、水合物的形成	32
三、水合物的防止	34

第二节 气田集输流程	35
一、气田集输管网类型	35
二、气田集输站场流程的类别和适用条件	36
第三节 天然气脱水	44
一、溶剂吸收法脱水	45
二、固体吸附法脱水	56
第四节 天然气凝液回收	72
一、天然气凝液回收的方法	72
二、天然气凝液回收工艺	76
第五节 天然气脱酸性气体	84
一、脱硫方法的分类	85
二、醇胺法	88
三、物理吸收法	92
四、砵胺法	93
五、氧化还原吸收法	94
六、膜分离法	95
七、固体吸附法	97
第三章 天然气的管道输送	99
第一节 输气管道的水力计算	100
一、管道通过能力的实用计算公式及其选择	100
二、输气管的压力分布与平均压力	102
三、主要工艺参数的特点	104
第二节 输气管沿线温度分布规律和平均温度	105
一、输气管温度分布规律	106
二、输气管的平均温度	107
第三节 输气站	108
一、输气站布置	108
二、输气站工艺流程	108
第四节 清管技术	113
一、清管工艺	113
二、清管设备	116
第四章 城市配气	125
第一节 城市天然气的用量	125

一、供气对象及供气原则	125
二、城市天然气的年用气量	127
第二节 天然气需用工况	132
一、月用气工况	132
二、日用气工况	133
三、小时用气工况	134
第三节 城市配气系统的小时计算流量	134
一、城市天然气分配管道的计算流量	135
二、室内和庭院天然气管道的计算流量	136
第四节 城市配气系统的供需平衡	138
一、供需平衡的方法	138
二、储气容积的计算	140
第五节 城市天然气管网的分类及其选择	143
一、天然气管网的分类	143
二、城市配气管网及其选择	145
第六节 建筑天然气供应系统	151
一、建筑天然气供应系统的组成	151
二、高层建筑天然气供应系统	152
三、超高层建筑天然气供应系统的特殊处理	154
第五章 天然气系统相关设备	156
第一节 分离设备	156
一、重力分离器	156
二、旋风分离器	161
三、循环分离器	161
四、组合离心式分离器	162
五、过滤分离器	162
第二节 加热换热设备	165
一、管壳式换热器	166
二、套管换热器	171
三、水套加热炉	173
四、板式换热器	174
五、电热带	176
第三节 阀门	177

一、天然气储运对阀门的要求	177
二、通用阀门的选用	180
三、天然气储运系统中的非标阀门	189
四、管道及站场的切断阀门及驱动装置	192
五、气体调压设备	194
第四节 压缩机及驱动设备	200
一、压缩机	200
二、原动机	207
三、压缩机组的选择	210
第六章 天然气的储存	213
第一节 储气罐储气	213
一、低压湿式罐	214
二、低压干式罐	218
三、高压储气罐	223
四、高压储配站	226
第二节 天然气的液化及液态储存	227
一、天然气的液化	227
二、低温储罐的结构	230
三、液化天然气储存站的安全	232
第三节 天然气的地下储存	232
一、利用枯竭油气田储气	232
二、含水多孔地层中的地下储库	233
三、利用盐矿层建造储气库	234
四、其他储存方法	235
第七章 压缩天然气 (CNG) 加气站简介	237
一、CNG 加气站等级划分	237
二、CNG 加气站概述	238
三、CNG 加气站储气装置	241
四、CNG 加气站实例	242
第八章 天然气安全生产技术	245
第一节 天然气火灾爆炸的危险性	245
一、天然气的易燃性和易爆性	245
二、天然气火灾发生的原因	248

三、防火防爆措施	249
四、天然气火灾的灭火方法	252
第二节 天然气矿场集输安全技术	256
一、矿场集输工艺的安全技术要求	257
二、集输系统的安全管理	258
三、集输系统的安全措施	259
四、集输系统的安全保护	261
第三节 天然气长输管道安全技术	264
一、管道的安全设计要求	264
二、管道的安全管理	276
第四节 压力容器安全技术	284
一、压力容器的使用、维护与检修	284
二、压力容器的安全管理	288
三、压力容器的过载与常见缺陷	289
四、压力容器的破裂与预防	289
第五节 消防工程设施	292
一、消防水源	292
二、消防管网	293
三、消防泵房	295
四、消防站	296
五、灭火器	296
参考文献	298

概 述

一、天然气在国民经济中的重要性

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。

天然气与其他燃料相比，具有使用方便、经济、热值高、污染少等优点，是一种在技术上已经得到证实的优质清洁燃料。天然气代替其他燃料，可以减少一氧化碳（CO）、二氧化碳（CO₂）、氮氧化物（NO_x）及烃类等的排放，有利于环境保护。因此，它不仅被广泛作为钢铁、非金属矿产、玻璃、食品、陶瓷、造纸等工业的能源，同时也是发电厂的主要燃料。特别是采用天然气联合循环发电技术后，投资费用仅为煤炭和核发电厂 2/3 左右，对空气和水的污染也少，因而使得以天然气为燃料的发电厂更加具有竞争力。

天然气的一些特性使它有可能成为一种很有吸引力的汽油替代燃料。它的价格和汽车废气排放指标都低于汽油。

天然气的主要组分是甲烷，此外还含有乙烷、丙烷、丁烷及戊烷以上烃类，是重要的基本有机化工原料。以天然气为原料，可以生产出合成氨、甲醇、低碳含氧化合物、合成液体燃料等种类繁多的化工产品。至今，全世界已有 10% 的天然气用于制取化工产品，年产量已达到 1.6 亿吨。

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燃料，在许多领域将

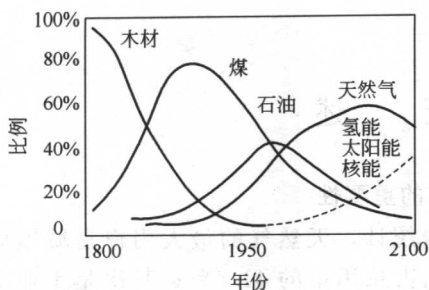


图 0-1 世界能源消费结构趋势

会代替日趋减少的石油。美国内政部的资料预测，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。世界能源消费结构趋势如图 0-1 所示。

二、天然气储运系统概述

1. 天然气储运系统

天然气储运系统是由气田集输管网、气体净化与加工装置、输气干线、输气支线以及各种用途的站场所组成。它是一个统一的水动力系统。天然气储运系统示意图参见图 0-2。

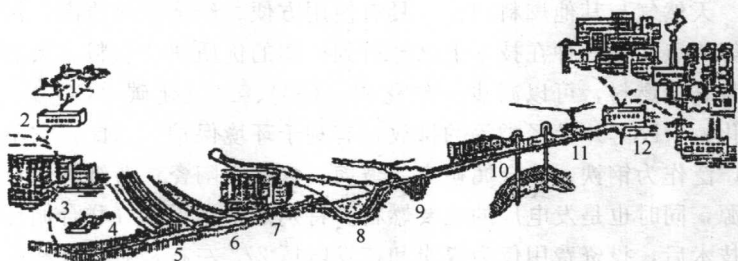


图 0-2 天然气储运系统示意图

- 1—井场；2—集气站；3—天然气净化厂和压气站；4—到配气站的出口；
5 和 6—铁路和公路穿越；7—中间压气站；8—河流穿越；9—沟谷跨越；
10—地下储气库；11—阴极保护站；12—终点配气站

2. 站场种类和作用

① 井场：设于气井附近，从气井出来的天然气，经节流调压后，在分离器中脱除游离水、凝析油及机械杂质，经过计量后送入集气管线。

② 集气站：将两口以上的气井来气从井口输送到集气站，在集气站内对各气井来天然气进行节流、分离、计量后集中输入集气

管线。

③ 压气站：压气站可分矿场压气站、输气干线起点压气站和输气干线中间压气站。当气田开采后期（或低压气田）地层压力不能满足生产和输送要求时，需设矿场压气站，将低压天然气增压至工艺要求的压力，然后输送到天然气处理厂或输气干线。天然气在输气干线中流动时，压力不断下降，需在输气干线沿途设置压气站，将气体增压到所需的压力。压气站设置在输气干线的起点则称为起点压气站，压气站设置在输气干线的中间某一位置则称为中间压气站，中间压气站的多少视具体工艺参数情况而定。

④ 天然气处理厂：当天然气中硫化氢（ H_2S ）、二氧化碳、凝析油等含量和含水量超过管输标准时，则需设置天然气处理厂进行脱硫化氢（二氧化碳）、脱凝析油、脱水，使气体质量达到管输的标准。

⑤ 调压计量站（配气站）：设于输气干线或输气支线的起点和终点，有时管线中间有用户也需设中间调压计量站，其任务是接收输气管线来气，进站进行除尘，分配气量、调压、计量后将气体直接送给用户，或通过城市配气系统送到用户。

⑥ 集气管网和输气集网：在矿场内部，将各气井的天然气输送到集气站的输气管道叫做集气集网。从矿场将处理好的天然气输送到远处用户的输气管道叫输气干线。在输气干线经过铁路、公路、河流、沟谷时，有穿越和跨越工程。

⑦ 清管站：为清除管内铁锈和水等污物以提高管线输送能力，常在集气干线和输气干线设置清管站，通常清管站与调压计量站设在一起便于管理。

⑧ 阴极保护站：为防止和延缓埋地管线的电化学腐蚀，在输气干线上每隔一定距离设置一个阴极保护站。

第一章 天然气的基本特性

第一节 天然气的组成与分类

一、天然气的组成

天然气是以低分子饱和烃为主的烃类气体与少量非烃类气体组成的混合气体，是一种低相对密度、低黏度的流体，无色，在常压和 293K 时， $\text{CH}_4 \sim \text{C}_4\text{H}_{10}$ 为气态， $\text{C}_5\text{H}_{12} \sim \text{C}_{17}\text{H}_{36}$ 为液态， $\text{C}_{18}\text{H}_{38}$ 为固态。天然气是一种可燃气体，它与 5%~15% 的空气混合易燃，点火温度范围在 866.5~977.6K，具有很高发热量。如在标准状态下，甲烷的热值为 $37260\text{kJ}/\text{m}^3$ ，比普通煤的热值大 1.5 倍。这是表征天然气的重要性质参数，因为天然气定价最常用依据是它的热值含量，而不是它的重量或体积。天然气不仅是优质洁净的燃料，更是优质的化工原料。在其组成中，甲烷 (CH_4) 占有绝大部分，乙烷 (C_2H_6)、丁烷 (C_4H_{10}) 和戊烷 (C_5H_{12}) 含量不多，庚烷以上 (C_7^+) 的烷烃含量极少。另外，还含有少量的非烃类气体，如硫化氢 (H_2S)、二氧化碳 (CO_2)、一氧化碳 (CO)、氮 (N_2)、氢 (H_2)、水蒸气 (H_2O) 以及硫醇 (RSH)，硫醚 (RSR)，二硫化碳 (CS_2)、羰基硫 [或硫化羰或氧硫化碳 (COS)]、噻吩 ($\text{C}_4\text{H}_4\text{S}$) 等有机硫化物，有时也含有微量的稀有气体，如氦 (He)、氩 (Ar) 等。在大多数天然气中还存在着少量的不饱和烃，如乙烯 (C_2H_4)、丙烯 (C_3H_6)、丁烯 (C_4H_8)，偶尔还含有极少量的环状烃化合物——环烷烃和芳烃，如环戊烷、环己烷、苯、甲苯、二甲苯等。我国某些油气田天然气化学组成如表 1-1、表 1-2 所示。

二、天然气的分类

依据不同的原则，有 3 种天然气的分类方式。

表 1-1 我国某些油田气的组成

油田名称	天然气组分(体积分数)/%					
	甲烷	乙烷	丙烷	异丁烷	正丁烷	异戊烷
大庆油田 1	79.75	1.9	7.6	5.62		
胜利油田伴生气	86.6	4.2	3.5	0.7	1.9	0.6
大港油田	76.29	11.0	6.0	4.0		
油港铁砧山	88.14	5.97	1.95	0.43	0.36	0.15
下辽河油田	81.5	8.5	8.5	5.0		

油田名称	天然气组分(体积分数)/%					
	正戊烷	己烷	二氧化碳	硫化氢	氮	其他
大庆油田 1						5.23
胜利油田伴生气	0.5	0.3	0.60		1.10	
大港油田			1.36		0.71	0.64
油港铁砧山	0.09	0.14	2.26			0.51
下辽河油田			1.0	—	1.0	3.0

表 1-2 四川某些气田天然气的组成

气田名称	产气地层	天然气组分(体积分数)/%						
		甲烷	重 烃					硫化氢
			乙烷	丙烷	丁烷	戊烷	总计	
庙高寺	嘉二	96.42	0.73	0.14	0.04		0.91	无
傅家庙	嘉二	95.77	1.10	0.37	0.16		1.63	无
宋家场	阳三	97.17	1.02	0.2			1.22	0.01
阳高寺	阳三	97.81	1.05	0.17			1.22	无
兴隆场	喜三	96.74	1.07	0.32	0.16	0.076	1.626	0.145
自流井	阳三~阳二	97.12	0.56	0.07			0.63	1.135
威远	震旦系	86.80	0.11				0.11	4.437
卧龙河 1	嘉四	94.12	0.88	0.21	0.05		1.14	3.97
卧龙河 2	嘉二	95.97	0.55	0.10	0.03	0.04	0.72	0.35
中坝 1	须二	91.15	5.8	1.59	0.71	0.20	8.3	0.54
中坝 2	雷三	82.98	1.69	0.68	0.72	0.76	3.85	4.51
八角场	大三	90.99	3.49	1.89	1.07	1.21	7.66	0.25
相国寺	石炭系	97.62	0.92	0.07			0.99	0.16

续表

气田名称	产气地层	天然气组分(体积分数)/%						视临界 温度 /K	视临界 压力 / $\times 10^5$ Pa
		不饱 和烃	一氧 化碳	氢	氮	氩	氫		
庙高寺	嘉二				1.93	0.05		191.8	46.43
傅家庙	嘉二			0.07	2.24			191.3	46.05
宋家场	阳三			无	1.09	0.04		192.0	46.39
阳高寺	阳三			无	0.48	0.05		192.3	46.44
兴隆场	喜三			0.008	1.54	0.042		192.1	46.18
自流井	阳三~阳二			0.002	1.06	0.032		192.0	46.57
威远	震旦系				8.1	0.316	0.027	190.8	46.65
卧龙河 1	嘉四	0.03	0.04	0.11	0.49			198.5	47.93
卧龙河 2	嘉二			0.006	1.39	0.03	0.014	193.9	46.94
中坝 1	须二			0.05	0.10			203.2	46.56
中坝 2	雷三			0.05	0.67			213.7	50.11
八角场	大三							204.9	45.94
相国寺	石炭系			0.013	1.13	0.076	0.006	191.2	46.28

1. 按矿藏特点分类

按矿藏特点的不同可将天然气分为气井气、凝析井气和油田气。前两者合称非伴生气，后者又称为油田伴生气。

① 气井气：即纯气田天然气，气藏中的天然气以气相存在，通过气井开采出来，其中甲烷含量高。

② 凝析井气：即凝析气田天然气，在气藏中以气体状态存在，是具有高含量可回收烃液的气田气，其凝析液主要为凝析油，其次可能还有部分被凝析的水。这类气田的井口流出物除含有甲烷、乙烷外，还含有一定量的丙、丁烷及 C_5 以上的烃类。

③ 油田气：即油田伴生气，它伴随原油共生，是在油藏中与原油呈相平衡接触的气体，包括游离气（气层气）和溶解在原油中的溶解气，从组成上亦认为属于湿气。在油井开采情况中，借助气层气来保持井压，而溶解气则伴随原油采出。当油田气随原油一起被开采到地面后，由于油气分离条件（温度和压力）和分离方式（一级或多级）的不同，以及受气液平衡规律的限制，气相中除含

有甲烷、乙烷、丙烷、丁烷外，还含有戊烷、己烷，甚至 C_9 、 C_{10} 组分。液相中除含有重烃外，仍含有一定量的丁烷、丙烷，甚至甲烷。与此同时，为了降低原油的饱和蒸气压，防止原油在储运过程中的蒸发损耗，油田上往往采用各种原油稳定工艺回收原油中的 $C_1 \sim C_5$ 组分，回收回来的气体，称为原油稳定气，简称原稳气。

2. 按天然气的烃类组成分类

(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。

① 干气：指在 1 基方（101.325kPa，20℃）井口流出物中， C_5 以上烃液含量低于 13.5cm^3 的天然气。

② 湿气：指在 1 基方井口流出物中， 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。

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

② 富气：指在 1 基方井口流出物中， C_3 以上烃类液体含量高于 94cm^3 的天然气。

值得一提的是，国外文献定义两种气体为贫气：a. 在天然气加工装置回收天然气液体之后的剩余残气；b. 几乎不含或无可回收天然气液体的未加工气体。而富气指适合作天然气加工厂原料并能从中提取产品的气体，这与上述的定义无原则上区别。相反，干气和湿气包括两方面的内容：一则是针对天然气是否含有水分来划分为干、湿气；二则是与贫、富气的划分相类似。

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洁气。

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