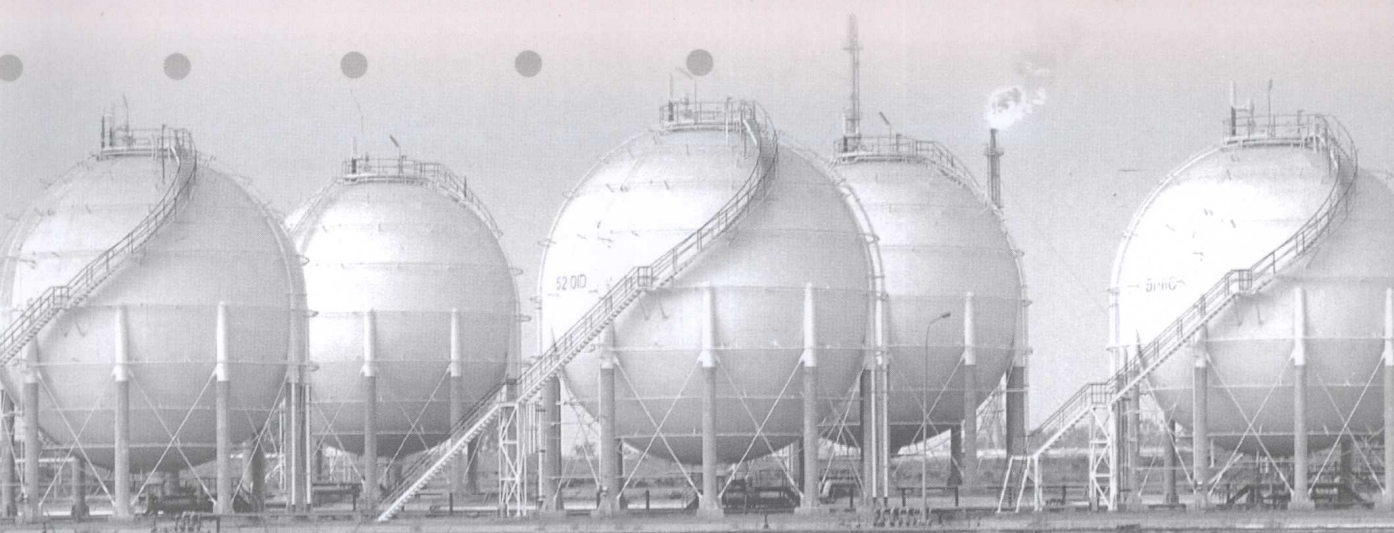


城市燃气 实用手册

HENGSHI RANQI 白世武◎主编
SHIYONG SHOUC



石油工业出版社

城市燃气实用手册

白世武 主编

石油工业出版社

内 容 提 要

本书内容分为4篇,涵盖了城市燃气供应的各个环节。“基础篇”介绍了天然气的性质、城市燃气设备、燃气输配系统等专业基础知识;“施工篇”对燃气管道防腐、管道施工技术及施工验收做了重点介绍;“运行篇”对城市燃气的投产、置换、管网运行、燃气计量及燃气器具的使用进行了全方面的介绍;“安全篇”阐述了现代风险管理理念及风险评价方法,并介绍了燃气的防火、防爆、防毒安全知识。

本书可为燃气行业广大管理人员、技术人员、操作人员提供全面且实用的专业参考,也可作为行业职工培训教材使用。

图书在版编目(CIP)数据

城市燃气实用手册/白世武主编.

北京:石油工业出版社,2008.10

ISBN 978-7-5021-6760-8

I. 城…

II. 白…

III. 城市-燃料气-供应-手册

IV. TU996-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第135085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)64523546 发行部:(010)64523620

经 销:全国新华书店

排 版:北京乘设伟业科技有限公司

印 刷:中国石油报社印刷厂

2008年10月第1版 2008年10月第1次印刷

787×1092毫米 开本:1/16 印张:22.5

字数:576千字

定价:58.00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

《城市燃气实用手册》

编 委 会

主 任：姜银涛

副主任：薛振奎

委 员：曲国华 刘国群 崔宝云 白世武 冯 斌
付愉庆 田玉宝 尚龙庆 林志宏 赵晨阳
杨天冰 邵云巧

主 编：白世武

编 写：邵云巧 赵忠刚 王福宾 田玉宝 牛 辉
毕研军 杨天冰 李大全 李金秋 何金昆

审 核：胡通年

前 言

城市燃气设施是现代化文明城市建设的重要标志之一。燃气的供应,不仅能改善城市居民的生活环境,提高生活质量,而且也是合理利用和节约能源的一项重要举措。

随着改革开放的不断深入和人民生活水平的日益提高,我国城市燃气事业有了突飞猛进的发展。燃气行业对人才的需求也日趋紧迫,加快燃气队伍专业化建设是各燃气企业面临的一个重要问题。本手册的出版旨在为燃气行业广大技术人员提供全面且又实用的专业支持。

本手册由基础篇、施工篇、运行篇、安全篇四部分组成,涵盖了燃气供应的各个环节,具有系统性、完整性、时效性和实用性。基础篇主要对天然气的基本性质进行了阐述,并介绍了城市燃气设备、输送工艺系统以及城市用天然气的调峰,可以满足城市燃气相关人员对天然气基础专业知识的需求;施工篇分别对管道防腐施工、地上管道施工、地下管道施工、穿越工程施工以及站场施工进行了重点介绍,同时对管道试压以及竣工验收要求也做了详细介绍;运行篇对城市燃气的投产、置换、运行管理、计量与测量技术以及天然气器具的安全使用进行了全方面的介绍,为一线运行人员提供完整的技术支持;安全篇首先介绍了风险管理概念和风险评价方法,以期在城市燃气安全管理中能够推行现代的风险管理理念,还介绍了城市燃气事故的应急处理以及天然气的防火、防爆、防毒等安全知识,以满足城市燃气安全管理方面的需求。

本手册由白世武担任主编,负责全书的统稿和定稿。基础篇的编写主要由邵云巧、王福宾、李金秋完成;施工篇由邵云巧、牛辉、毕研军完成;运行篇、安全篇由邵云巧、赵忠刚、田玉宝完成。杨天冰、李大全、何金昆对手册的编写给予了大力支持。胡通年担任手册的主审工作,提出了许多精辟的见解和有益的修改意见,希望本书能在促进燃气事业发展、提高燃气队伍素质方面起到积极的作用。

在本手册的编著过程中,参考了大量的国内外相关著作、资料,在此向有关的编著者和资料提供者表示真诚的谢意。

由于编者水平有限,书中难免有错误、不妥之处,恳请读者和同行们不吝指正,以待完善。

编 者

2008年7月

目 录

第一部分 基础篇

第一章 天然气的性质	(3)
第一节 天然气的组分	(3)
第二节 天然气主要组分的物理化学性质	(4)
第三节 天然气的物理性质	(4)
第四节 天然气的热力学性质	(14)
第五节 城市用天然气的质量要求	(21)
第二章 天然气的燃烧特性	(23)
第一节 天然气燃烧的基本原理	(23)
第二节 天然气的燃烧特性	(23)
第三章 城市燃气设备简介	(28)
第一节 压缩机	(28)
第二节 调压器	(32)
第三节 阀门	(39)
第四节 过滤器	(39)
第五节 流量计	(41)
第四章 天然气城市输配系统	(44)
第一节 城市输配系统的组成	(44)
第二节 门站	(45)
第三节 储配站	(49)
第四节 城市燃气管网	(51)
第五节 天然气调压站	(61)
第六节 CNG(压缩天然气)加气站	(63)
第五章 城市用气量的确定	(66)
第一节 供气对象及供气依据	(66)
第二节 城市燃气年用量的计算	(67)
第三节 城市燃气用气工况	(70)

第六章 城市用天然气调峰	(72)
第一节 储气量的确定	(72)
第二节 天然气的储气方式	(73)
第三节 调峰方式的选择	(82)

第二部分 施 工 篇

第一章 城市燃气常用管材及连接	(87)
第一节 城市燃气常用管材	(87)
第二节 管道的连接	(94)
第二章 城市燃气管道工程的施工与安装	(104)
第一节 燃气管道的防腐	(104)
第二节 埋地管道施工	(123)
第三节 地上燃气管道施工	(129)
第四节 穿跨越工程施工	(138)
第五节 调压站的安装	(142)
第三章 城市燃气管道的吹扫与试压	(143)
第一节 管道的吹扫	(143)
第二节 强度试验	(144)
第三节 严密性试验	(145)
第四节 聚乙烯管道吹扫和试验	(146)
第四章 城市燃气管道工程竣工验收	(148)
第一节 燃气管道工程竣工验收资料	(148)
第二节 燃气管道竣工验收的依据和应具备的条件	(148)
第三节 燃气管道工程验收	(151)

第三部分 运 行 篇

第一章 城市燃气的投产	(163)
第一节 投产前的总体准备及投产条件	(163)
第二节 投产	(164)
第二章 天然气的安全置换	(170)
第一节 天然气置换方法及参数确定	(170)
第二节 天然气管网的置换	(173)

第三节 燃气输配系统置换方案	(181)
第三章 城市燃气管网的运行管理	(193)
第一节 燃气管网运行的安全要求及影响因素	(193)
第二节 燃气管道运行管理	(194)
第三节 燃气管网安全运行对策	(209)
第四章 天然气的计量与测量技术	(211)
第一节 概述	(211)
第二节 天然气流量测量方法	(213)
第三节 计量仪表及选择	(216)
第四节 计量误差与标定	(224)
第五节 计量技术进展及发展趋势	(238)
第五章 天然气器具的安全使用	(241)
第一节 家用天然气灶具的使用	(241)
第二节 天然气热水器	(247)
第三节 燃气报警器	(255)
第四节 燃气具的安装	(256)

第四部分 安 全 篇

第一章 城市燃气安全评价	(263)
第一节 安全的相关概念	(263)
第二节 燃气管道风险评估的现状	(264)
第三节 燃气管道安全评价过程	(268)
第二章 城市燃气管道的风险评价方法	(277)
第一节 风险评价方法分类	(277)
第二节 几种常用风险评价方法简介	(279)
第三节 输气管道风险评价方法	(283)
第四节 城市燃气风险评估方法	(290)
第三章 燃气管道的安全管理	(295)
第一节 燃气安全工作总论	(295)
第二节 投产置换安全管理	(299)
第三节 燃气事故风险预案	(302)
附 珠海市城市管道燃气事故应急救援预案	(309)

第四章 燃气事故应急处理 (316)

 第一节 燃气管道设备安全状况分析 (316)

 第二节 城市燃气事故 (319)

 第三节 城市燃气事故的抢修 (323)

 第四节 城市燃气事故的抢修技术 (326)

第五章 天然气的防火、防爆、防毒 (341)

 第一节 天然气的防火 (341)

 第二节 天然气防爆 (345)

 第三节 天然气防毒 (348)

参考文献 (350)

第一部分

基 础 篇

第一章 天然气的性质

第一节 天然气的组分

天然气是由多种可燃和不可燃的气体组成的混合气体,每种产出的天然气都有自己的组分,同一气藏的两口井可能有不同的组分,而且随着气藏的逐步衰竭,从气藏产出的气流组分也在发生变化。

国外某些重要气田的天然气组成见表1-1-1。我国某些油气田天然气的组成见表1-1-2。

表1-1-1 国外某些重要气田的天然气组成 % (体积分数)

国家	产地	甲烷	乙烷	丙烷	丁烷	戊烷	二氧化碳	氮气	硫化氢
美国	Louisiana	92.18	3.33	1.48	0.79	0.25	0.9	1.02	—
加拿大	Alberta	64.4	1.2	0.7	0.8	0.3	4.8	0.7	26.3
委内瑞拉	San Joaquin	76.7	9.79	6.69	3.26	0.94	1.9	—	—
荷兰	Goningen	81.4	2.9	0.37	0.14	0.04	0.8	14.26	—
英国	Leman	95	2.76	0.49	0.20	0.06	0.04	1.3	—
法国	Lacq	69.4	2.9	0.9	0.6	0.3	10	15.5	—
俄罗斯	Capatobakoe	94.7	1.8	0.2	0.1	—	0.2	—	—

表1-1-2 我国某些重要气田的天然气组成 % (体积分数)

油气田	甲烷	乙烷	丙烷	丁烷	戊烷	二氧化碳	氮气	硫化氢
庙高寺	96.42	0.73	0.14	0.04	—	—	0.05	0.69
傅家寺	95.77	1.10	0.37	0.16	—	0.08	—	—
杨家场	97.17	1.02	0.20	—	—	0.47	0.04	0.01
阳高寺	97.81	1.05	0.17	—	—	0.44	0.05	—
兴隆场	96.74	1.07	0.32	0.16	0.076	0.045	0.042	—
威远	96.80	0.11	—	—	—	4.437	0.316	0.879
卧龙河1	94.12	0.88	0.21	0.05	0.00	3.970	—	—
卧龙河2	95.97	0.55	0.10	0.03	0.04	0.35	0.03	1.52
中坝1	91.15	5.8	1.59	0.71	0.20	0.54	—	—

续表

油气田	甲烷	乙烷	丙烷	丁烷	戊烷	二氧化碳	氮气	硫化氢
中坝 2	82.98	1.69	0.68	0.72	0.76	4.51	—	6.75
相国寺	97.62	0.92	0.07	0.00	—	0.16	0.076	0.01
大庆	79.75	5.6	7.6	5.64	—	—	—	—
中原文南	82.44	7.98	3.24	2.15	1.35	0.42	—	—
大港板桥	68.55	11.22	6.42	3.66	1.77	1.00	—	—
塔里木	84.67	3.01	1.31	0.87	0.90	0.22	—	—

第二节 天然气主要组分的物理化学性质

天然气的主要组分是甲烷、乙烷、丙烷、丁烷等烃类气体含量不多。此外,天然气还含有氮、二氧化碳、硫化氢及微量的氢、氦、氩等非烃类气体。

天然气中主要组分的物理化学性质见表 1-1-3。

第三节 天然气的物理性质

天然气是由互不发生化学反应的多种单一组分混合而成,其组分和组成无定值,其基本物理性质可以由单一组分气体的性质按混合法则求得。

一、天然气的相对分子质量

工程上将标准状态下,1kmol 天然气的质量定义为天然气的平均相对分子质量,简称相对分子质量。其计算公式为:

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

式中 M ——天然气的平均相对分子质量,kg/kmol;
 y_i ——天然气中组分 i 的摩尔组成,%;
 M_i ——天然气中组分 i 的相对分子质量,kg/kmol。

二、天然气的视密度和相对密度

1. 天然气的视密度

单位体积天然气的质量称为天然气的视密度:

$$r = \frac{m}{V} = \sum y_i r_i \quad (1-1-2)$$

式中 r ——天然气的视密度,kg/m³;
 m ——天然气的质量,kg;

表 1-1-3 天然气主要组分在标准状态下的物理化学性质

名称	分子式	相对分子质量	摩尔体积 V_m (m^3/mol)	气体常数 R [J/ ($kg \cdot K$)]	密度 ρ (kg/m^3)	临界温度 T_c (K)	临界压力 P_c (MPa)	高热值 H_h (MJ/ m^3)	高热值 H_h (MJ/ kg)	低热值 H_l (MJ/ m^3)	低热值 H_l (MJ/ kg)	爆炸极限 (%) (体积分数)		动力黏度 $\mu \times 10^6$ ($Pa \cdot s$)	运动黏度 $\nu \times 10^6$ (m^2/s)	沸点 ($^{\circ}C$)	定压比热容 c_p [kJ/ ($m^3 \cdot K$)]	绝热指数 K	导热系数 λ [W/ ($m \cdot K$)]	偏心因子
												下限	上限							
甲烷	CH_4	16.043	22.362	518.75	0.7174	190.58	4.544	39.842	55.367	35.906	50.050	5.0	15.0	10.60	14.50	-161.49	1.545	1.309	0.03024	0.0104
乙烷	C_2H_6	30.070	22.187	276.64	1.3553	305.42	4.816	70.351	51.908	64.397	47.515	2.9	13.0	8.77	6.41	-88.60	2.244	1.198	0.01861	0.0986
丙烷	C_3H_8	44.097	21.936	188.65	2.0102	369.82	4.194	101.266	50.376	93.240	46.383	2.1	9.5	7.65	3.81	-42.05	2.960	1.161	0.01512	0.1524
正丁烷	$n-C_4H_{10}$	58.124	21.504	143.13	2.7030	425.18	3.747	133.886	49.532	123.649	45.745	1.5	8.5	6.97	2.53	-0.50	3.710	1.144	0.01349	0.2010
异丁烷	$i-C_4H_{10}$	58.124	21.598	143.13	2.6912	408.14	3.600	133.048	49.438	122.853	45.650	1.8	8.5	—	—	-11.72	—	1.144	—	0.1848
正戊烷	C_5H_{12}	72.151	20.891	115.27	3.4537	46.965	3.325	169.377	49.042	156.733	45.381	1.4	8.3	6.48	1.85	36.06	—	1.121	—	0.2539
氢气	H_2	2.016	22.427	412.67	0.0898	33.25	1.280	12.745	141.926	10.786	120.111	4.0	75.9	8.52	93.0	-252.75	1.298	1.407	0.2163	0.000
氧气	O_2	31.999	22.392	259.97	1.4289	154.33	4.971	—	—	—	—	—	—	19.86	13.60	-182.98	1.315	1.400	0.0250	0.0213
氮气	N_2	28.013	22.403	296.95	1.2507	125.97	3.349	—	—	—	—	—	—	17.00	13.30	-195.78	1.302	1.402	0.02489	0.040
氦气	He	3.016	22.42	281.17	0.1345	3.35	0.118	—	—	—	—	—	—	—	—	-269.95	—	1.64	—	—
二氧化碳	CO_2	44.010	22.260	189.04	1.9768	304.25	7.290	—	—	—	—	—	—	14.30	7.09	-78.20	1.620	1.304	0.01372	0.225
硫化氢	H_2S	34.076	22.180	244.17	1.5392	373.55	8.890	25.364	16.488	23.383	15.192	4.3	45.5	11.90	7.63	-60.20	1.557	1.320	0.01314	0.100
空气	—	28.066	22.400	287.24	1.2931	132.40	3.725	—	—	—	—	—	—	17.50	13.40	-192.50	1.306	1.401	0.02489	—
水蒸气	H_2O	18.015	21.629	461.76	0.833	647.00	21.830	—	—	—	—	—	—	8.60	10.12	—	1.491	1.335	0.01617	0.348

V ——天然气的体积, m^3 ;

y_i ——天然气中组分 i 的摩尔组成;

r_i ——标准状况下天然气中组分 i 的密度, kg/m^3 。

显然,天然气的密度不仅取决于天然气的组成,还取决于所处的压力和温度状态。在标准状态下天然气的密度可由式(1-1-3)确定:

$$\rho = \frac{pM_g}{R_0T} \quad (1-1-3)$$

式中 ρ ——标准状态下天然气的密度, kg/m^3 ;

p ——气体绝对压力, MPa;

M_g ——天然气的摩尔质量, kg/kmol ;

T ——天然气绝对温度, K;

R_0 ——摩尔气体常数, $\text{J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$ 。

对任意温度和压力下,天然气的密度还可以写成:

$$\rho = \frac{\sum y_i M_i}{\sum y_i V_i} \quad (1-1-4)$$

2. 天然气的相对密度

在标准状况下,天然气的密度与干空气密度之比称为相对密度:

$$S = r/r_{\text{air}} \quad (1-1-5)$$

式中 S ——天然气的相对密度;

r ——天然气的视密度, kg/m^3 ;

r_{air} ——标准状态下空气的密度, kg/m^3 。

天然气的相对密度也可用式(1-1-6)计算:

$$S = M/28.964 \quad (1-1-6)$$

式中 M ——天然气的相对分子质量;

28.964——干空气的相对分子质量。

几种燃气的视密度和相对密度列于表 1-1-4。

表 1-1-4 几种燃气的视密度和相对密度

燃气种类	视密度 (kg/m^3)	相对密度
天然气	0.75 ~ 0.8	0.58 ~ 0.62
焦炉气	0.4 ~ 0.5	0.3 ~ 0.4
液化石油气	1.9 ~ 2.5	1.5 ~ 2.0

三、天然气主要组分的蒸气压

蒸气压是指在一定温度下,物质呈气液两相平衡状态下的蒸气压力,亦称为饱和蒸气压。蒸气压是温度的函数,随着温度的升高而增大。

燃气中主要组分的蒸气压可由图 1-1-1、图 1-1-2 及表 1-1-5 查得。

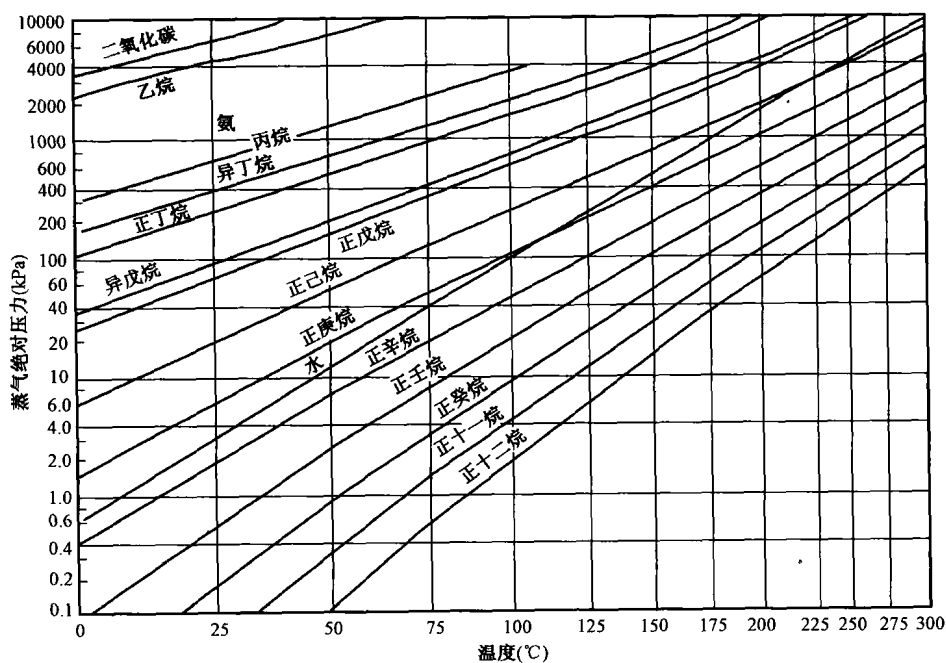


图 1-1-1 轻组分烃类在高温下的蒸气压

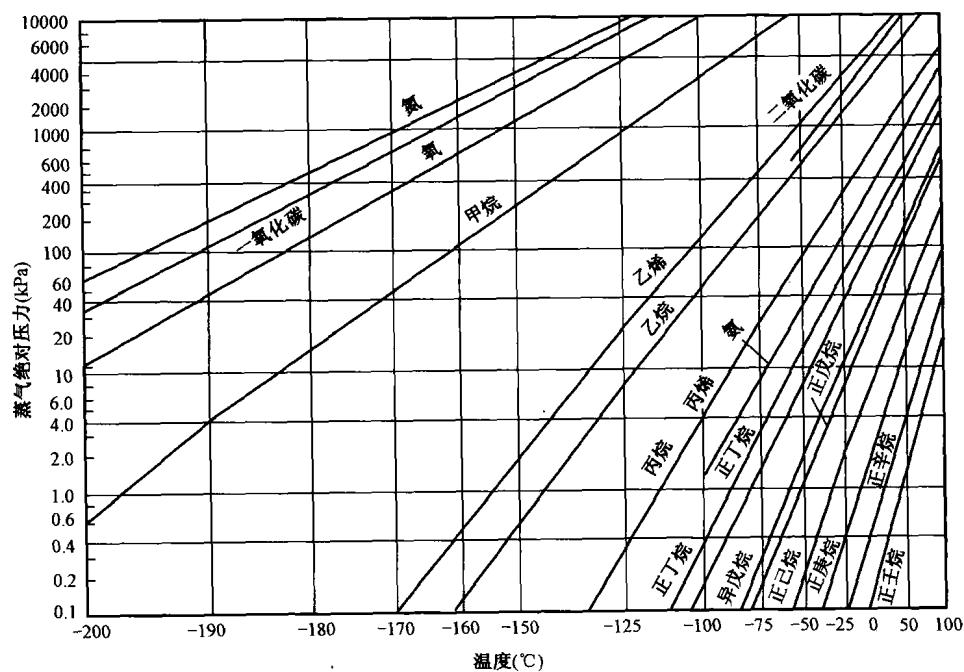


图 1-1-2 轻组分烃类在低温下的蒸气压

表 1-1-5 轻组分烃类的蒸气压与温度的关系

温度 (℃)	蒸汽压(kPa)				温度 (℃)	蒸汽压(kPa)			
	丙烷	异丁烷	正丁烷	正戊烷		丙烷	异丁烷	正丁烷	正戊烷
-45	88	—	—	—	5	543	182	123	30
-40	109	—	—	—	10	629	215	146	37
-35	134	—	—	—	15	725	252	174	46
-30	164	—	—	—	20	833	294	205	58
-25	197	—	—	—	25	951	341	240	67
-20	236	—	—	—	30	1080	394	280	81
-15	285	88	56	—	35	1226	452	324	96
-10	338	107	68	—	40	1382	513	374	114
-5	399	128	84	—	45	1552	590	429	134
0	466	153	102	24	—	—	—	—	—

四、天然气的临界参数

1. 气体临界参数

当温度不超过某一数值时,对气体进行加压可以使气体液化,但当高于该温度时,无论压力增加到多大,都不能使气体液化。这一温度称为该气体的临界温度。当温度等于临界温度时,使气体压缩成液体所需的压力称为临界压力。此时的状态称为临界状态。气体在临界状态下的温度、压力、比体积、密度分别称为临界温度、临界压力、临界比体积和临界密度。

2. 天然气的视临界参数

已知天然气的体积组成,天然气的视临界参数按下式计算:

$$T'_c = \sum y_i T_{ci} \tag{1-1-7}$$

$$p'_c = \sum y_i p_{ci} \tag{1-1-8}$$

式中 T'_c ——天然气的视临界温度,K;
 p'_c ——天然气的视临界压力,Pa;
 T_{ci} ——天然气中组分*i*的临界温度,K;
 p_{ci} ——天然气中组分*i*的临界压力,Pa;
 y_i ——天然气中组分*i*的摩尔分数。

气体的临界温度越高,越易液化。天然气的主要成分甲烷的临界温度很低,故较难液化;而液化石油气(LPG)的主要成分是丙烷、丁烷,其临界温度较高,故较易液化。

如果已知天然气的相对密度*S*,可选用下式计算:

对于凝析气: $S \geq 0.7 \quad T'_c = 132.2 + 116.7S \tag{1-1-9}$