

液化石油气 储运与管理

张应立 主 编
周玉华 副主编

中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

内 容 提 要

本书全面系统地阐述了液化石油气的理化特性、液化石油气储配站、液化石油气储配站生产设备与生产工艺、液化石油气储存设备与储存方式、液化石油气运输设备与运输方式、液化石油气储运设施安全附件及仪表、液化石油气用户供应与用户安全要求、液化石油气储运设备的检修及维护保养等技术知识,同时对液化石油气安全管理,典型事故分析与设备故障的应急处理,消防安全,火灾扑救和事故处理等知识,亦作了扼要介绍。

本书内容全面,文字流畅,深入浅出,图文并茂,通俗易懂,资料新颖、翔实,立足实用,可作为广大液化石油气员工和液化石油气驾驶员、押运员的培训教程,亦可供安全监察、消防监督管理部门与相关专业大、中专院校师生及科研院所的同志参考。

图书在版编目(CIP)数据

液化石油气储运与管理/张应立主编.
—北京:中国石化出版社,2007
ISBN 978-7-80229-187-4

I.液… II.张… III.①液化石油气—石油与
天然气储运 ②液化石油气—管理 IV.TU996

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 134249 号

中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编:100011 电话:(010)84271850

读者服务部电话:(010)84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail: press@sinopec.com.cn

北京精美实华图文制作中心排版

北京大地印刷厂印刷

全国各地新华书店经销

*

787×1092 毫米 16 开本 18 印张 448 千字
2007 年 1 月第 1 版 2007 年 1 月第 1 次印刷

定价:36.00 元

前 言

自改革开放以来，随着石油开采和石油化学工业的发展，液化石油气的资源日益丰富，国营、集体和私营液化石油气公司、储配站遍布城乡，发展迅速。液化石油气作为一种新型燃料，已经进入各行各业和千家万户，促进了国民经济的发展，给人民生活带来了很大方便，并取得了巨大的经济效益和社会效益。但由于液化石油气事业在我国起步较晚，从事液化石油气储运单位的员工及用户对液化石油气的性质了解不够，缺乏专业技术人才和管理经验，设备简陋，消防安全意识淡薄，因此，在储运和使用中，曾多次发生重大液化石油气着火、爆炸事故，给国家和人民生命财产造成了重大损失。鉴此，对提高储运和使用单位广大液化石油气员工的技术素质，强化管理和全面提高业务技术水平是当务之急，这对避免和减少各种事故、保障国家和人民生命财产安全极为重要。

根据国家有关液化石油气规范的要求和液化石油气公司、储配站的实际需要，我们在有关部门的指导下，广泛收集资料，编撰了《液化石油气储运与管理》一书。该书的特点是：理论联系实际，突出实用性、科学性、先进性。较全面系统地阐述了液化石油气的理化特性、液化石油气储配站、液化石油气储配站生产设备与生产工艺、液化石油气储存设备与储存方式、液化石油气运输设备与运输方式、液化石油气储运设施安全附件及仪表、液化石油气用户供应与用户安全要求、液化石油气储运设备的检修及维护保养等技术知识，同时对液化石油气安全管理，典型事故分析与设备故障的应急处理，消防安全，火灾扑救和事故处理等知识，亦作了扼要的介绍。书中许多是国内外液化石油气先进设备、工艺和操作方法；所引用的标准均为最新标准，计量单位全部采用国际标准；文字简练，重点突出，深入浅出，图文并茂，通俗易懂，方便实用。因此，可作为液化石油气广大员工和液化石油气驾驶员、押运员的培训教程，亦可供安全监察、消防监督管理部门和相关专业的大、中专院校师生及科研院所的同志参考。

本书由张应立主编，副主编为周玉华，参加编写的还有周玉良、耿敏、

张莉、陈洁、张崢、李智奇、毕韬、刘军、唐猛、梁润琴、周琳、周月、吴兴莉、程力、邓尔登、程世明、吴光惠、王成基、芦喜芬、张福、顾克等同志。全书由高级工程师张梅审定。在编写过程中，曾得到贵州路桥有限公司、液化石油气公司、储配站的领导和专家的大力帮助与支持，值此本书出版之际，特向关心和支持本书编撰的各位领导、专家和参考文献的编著者表示衷心的感谢。

由于作者水平有限，经验不足，书中错误缺点在所难免，诚望使用本书的读者和专家批评指正。



录

第一章 液化石油气的理化特性	(1)
第一节 液化石油气的主要成分.....	(1)
第二节 液化石油气的物理性质.....	(1)
第三节 液化石油气的燃烧与爆炸特性.....	(11)
第四节 液化石油气的危险性.....	(16)
第五节 液化石油气的理化特性对安全使用的影响.....	(17)
第六节 液化石油气的质量要求.....	(19)
第二章 液化石油气储配站	(21)
第一节 储配站的任务和分类.....	(21)
第二节 储配站工艺流程及主要安全参数.....	(21)
第三节 储配站主要设备的安装.....	(22)
第四节 液化石油气的储存方式.....	(24)
第五节 储配站的防爆、防雷、防静电.....	(27)
第三章 液化石油气储配站生产设备与生产工艺	(35)
第一节 储配站生产设备分类.....	(35)
第二节 储配站灌装设备.....	(35)
第三节 储配站灌装升压设备.....	(44)
第四节 液化石油气的装卸工艺.....	(75)
第五节 液化石油气灌瓶供液工艺.....	(79)
第六节 液化石油气残液回收与使用工艺.....	(86)
第七节 液化石油气倒罐工艺.....	(87)
第八节 液化石油气灌装供液运行方案及注意事项.....	(88)
第四章 液化石油气储存设备	(90)
第一节 储存设备的危险性及其重要性.....	(90)
第二节 储存设备的种类及其选用.....	(91)
第三节 球形储罐.....	(92)
第四节 卧式储罐.....	(96)
第五节 钢瓶.....	(98)
第六节 储存设备的安全使用.....	(101)

第五章 液化石油气运输	(103)
第一节 液化石油气运输方式.....	(103)
第二节 液化石油气铁路运输.....	(103)
第三节 液化石油气公路运输.....	(109)
第四节 液化石油气水路运输.....	(115)
第五节 液化石油气管道运输.....	(117)
第六章 液化石油气运输设备	(122)
第一节 液化石油气铁路罐车.....	(122)
第二节 液化石油气汽车槽车.....	(125)
第三节 铁路罐车与汽车槽车的装卸设施.....	(128)
第四节 液化石油气管道运输设施.....	(133)
第七章 液化石油气储运设施安全附件及仪表	(135)
第一节 安全附件的功用和分类.....	(135)
第二节 安全阀件.....	(135)
第三节 检测仪表.....	(148)
第四节 其他附件.....	(155)
第八章 液化石油气用户供应与用户安全要求	(159)
第一节 钢瓶供应系统及安全要求.....	(159)
第二节 钢瓶供应站.....	(161)
第三节 瓶装液化石油气的安全使用.....	(162)
第四节 液化石油气管输供应系统.....	(165)
第九章 液化石油气储运设备的检修及维护保养	(168)
第一节 液化石油气储运容器检验前的准备工作.....	(168)
第二节 液化石油气储运容器的无损检验.....	(169)
第三节 液化石油气储运容器的修理.....	(177)
第四节 储罐的定期检验.....	(178)
第五节 铁路罐车的检修.....	(180)
第六节 汽车槽车的检修.....	(181)
第七节 钢瓶的定期检验.....	(183)
第八节 管道的定期检验.....	(184)
第九节 储运设备安全装置的检验.....	(185)
第十节 储运设备的维护保养.....	(188)
第十章 液化石油气安全管理	(192)
第一节 建立健全安全保障体系.....	(192)
第二节 液化石油气安全管理制度.....	(192)
第三节 液化石油气员工岗位责任制.....	(203)

第四节	液化石油气安全技术操作规程·····	(204)
第五节	储配站的安全管理·····	(211)
第六节	槽罐车安全管理·····	(214)
第七节	槽罐车运输安全管理·····	(218)
第十一章	液化石油气储运典型事故与设备故障的应急处理·····	(221)
第一节	储运设备典型事故·····	(221)
第二节	槽(罐)车突发事件的应急处理措施·····	(222)
第三节	槽(罐)车罐体常见缺陷及处理方法·····	(224)
第四节	槽(罐)车阀门通用件常见故障的预防及排除方法·····	(229)
第五节	安全附件常见故障的判断与排除方法·····	(233)
第六节	槽(罐)车运用中安全附件突发故障的判断与应急处理方法·····	(237)
第十二章	液化石油气消防安全与火灾扑救·····	(241)
第一节	消防基础知识要点·····	(241)
第二节	液化石油气的火灾特征·····	(244)
第三节	灭火剂与灭火器材·····	(245)
第四节	液化石油气储配站的防火安全要求·····	(256)
第五节	液化石油气储罐区的防火安全要求·····	(260)
第六节	液化石油气供应站的防火安全要求·····	(262)
第七节	液化石油气浓度检漏报警、通信及其他·····	(265)
第八节	报火警·····	(267)
第九节	液化石油气火灾的扑救及处理·····	(268)
	参考文献·····	(274)
附录	·····	(274)
附录一	液化石油气组分及一些可燃气体性质简表·····	(275)
附录二	液化石油气储罐、罐车、钢瓶主要技术参数对比·····	(276)
附录三	介质为常用液化气体的罐车、储罐、气瓶、设计压力、充装系数等对比·····	(277)

第一章 液化石油气的理化特性

第一节 液化石油气的主要成分

液化石油气是由碳和氢两种元素构成的碳氢化合物的混合物，化学上把由碳和氢形成的有机化合物通称为烃。目前烃类化合物的种类已达数百万种以上，按其结构不同，可分为烷烃、环烷烃、芳香烃以及不饱和烃等。

液化石油气的主要成分有：丙烷(C_3H_8)，丙烯(C_3H_6)，正丁烷(C_4H_{10})，异丁烷(C_4H_{10})，1-丁烯(C_4H_8)，顺2-丁烯(C_4H_8)，反2-丁烯(C_4H_8)，异丁烯(C_4H_8)等八种。由于液化石油气的来源不同，各种烷烃和烯烃的成分含量也不同。用气相色谱分析法可将液化石油气中各种组分作出定量分析。除上述主要成分外，液化石油气中还含有少量的碳五成分戊烷(钢瓶中瓶底残液主成分)、硫化物和水等杂质。这些杂质对液化石油气的应用有不小的影响。由于硫化物的存在，使液化石油气带有一种类似滴滴涕的刺鼻的臭味，它对人体有一定的毒害作用，但人们可以凭借这种气味用以判断气瓶是否漏气。

第二节 液化石油气的物理性质

液化石油气的化学成分主要是丙烷、丁烷、丙烯、丁烯等，由于生产工艺和操作条件不同，提取的组分也各有不同，一般情况下，从油田伴生气中得到的组分烷烃较多，从石油炼厂气中得到的组分除烷烃外还有烯烃和二烯烃，有的含有少量戊烷、戊烯，这些组分沸点较高($27\sim 36^{\circ}\text{C}$)，在常温常压下不易气化，常被称为残液。

一、沸点、熔点、临界参数

1. 沸点

液化石油气的沸点，是指在 0.1013MPa (1个绝对大气压)下液体沸腾时的温度。液化石油气的沸点与外界压力有关，外界压力增大，沸点升高；压力减少，沸点降低。例如：丙烷在 0.0103MPa 下沸点为 -42.05°C ，当外压增大到 0.784MPa 时，沸点上升到 20°C 。因此，液化石油气的工作压力一般为 0.686MPa ，就是为了把沸点提高到常温之下。液化石油气中各组分的沸点，可参阅表1-1。

表1-1 液化石油气中各组分在 0.1013MPa 时的沸点、熔点及临界参数

名 称	沸点/ $^{\circ}\text{C}$	熔点/ $^{\circ}\text{C}$	临界温度/ $^{\circ}\text{C}$	临界压力/ MPa	临界密度/ (kg/m^3)
甲 烷	-161.495	-182.48	-82.57	4.60	162
乙 烷	-83.60	-183.27	32.27	4.80	203
丙 烷	-42.045	-187.69	96.67	4.25	217
正丁烷	-9.50	-138.362	152.03	3.80	228
异丁烷	-11.72	-159.605	134.99	3.65	228
正戊烷	36.064	-129.730	196.5	3.67	237
异戊烷	27.853	-159.905	187.28	3.38	235
乙 烯	-103.68	-169.41	9.21	5.03	217
丙 烯	-47.72	-185.25	91.6	4.61	232
1-丁烯	-6.25	-185.35	146.4	4.02	234
顺2-丁烯	3.718	-138.922	162.43	4.20	240

由表 1-1 可以看出, 对于液化石油气: 含碳原子数越多的分子, 沸点越高, 沸点高的碳氢化合物比较难气化; 碳分子数相同时烷烃沸点较烯烃高; 高沸点的碳氢化合物比低沸点的碳氢化合物液化时所需压力低一些; 温度、压力越高, 沸点也越高。

2. 熔点

在一定压力和一定温度下, 物质可由液体凝固成固体, 也可由固体熔融成液体, 同一物体凝固与熔融的温度是相同的, 这个温度称这种物质的熔点。液化石油气中各组分的熔点, 可参阅表 1-1。

3. 临界参数

临界参数有: 临界温度(T_c)、临界压力(P_c), 临界体积(V_c)和临界密度(D_c)。

临界温度, 是指气体超过这一温度, 加上再大的压力也不能使之液化的温度, 这个温度称为“临界温度”。在临界温度时, 使液体气化所需的最小压力称为临界压力(P_c)。在临界压力、临界温度时, 一克分子物质所占有的体积, 称为临界体积(V_c)。此时物质的密度称为临界密度(D_c)。

不同的物质, 其临界温度、临界压力、临界密度不同, 见表 1-1。

二、密度、相对密度及比体积

液化石油气的生产、储存和使用, 经常有液态和气态的相互变化。所以, 密度和相对密度包括气态和液态两个方面。

1. 液化石油气气态的密度和相对密度

(1) 密度

液化石油气气态的密度, 是指单位体积内液化石油气气体的质量。气体密度随温度和压力的不同而变化很大。因此在表示气体密度时, 必须规定温度和压力条件。一般以压力为 0.1013MPa(1 个大气压), 温度为 0℃时作为标准状态的值, 但也有压力为 0.1013MPa, 温度为 15℃时作为基本状态的值, 气体密度的单位, 通常用 kg/m^3 表示。

气体密度可用下式表示:

$$\rho = \frac{M}{V_0} \quad (1-1)$$

式中 ρ ——气体密度, kg/m^3 ;

M ——相对分子质量;

V_0 ——1mol 气体所占体积。

如把气体方程式 $V_0 = R \frac{T}{P}$ 代入上式, 则理想气体密度

$$\rho = \frac{M}{V_0} = \frac{MP}{RT} \quad (1-2)$$

但采用理想气体关系式时, 在高压或低温情况下, 会产生偏差, 因此为了表示真实气体状态, 一般工程计算中, 都要给理想气体的状态方程式加入一个修正系数 Z 。即:

$$V_0 = \frac{ZRT}{P}$$

则真实气体得:

$$\rho = \frac{M}{V_0} = \frac{MP}{ZRT} \quad (1-3)$$

表 1-2 给出了一些碳氢化合物在其饱和温度下的密度。从表中可以看出, 气态液化石

油气的密度与饱和温度相适应，随饱和压力的升高而增加，即随温度的升高而增加。在压力不变的情况下，气态的密度随温度升高而减少。

表 1-2 部分碳氢化合物在不同温度下的密度

温度/℃	丙 烷		正丁烷		异丁烷		乙烯液态/ (kg/L)	丙烯液态/ (kg/L)	丁烯液态/ (kg/L)
	液态/ (kg/L)	气态/ (kg/m³)	液态/ (kg/L)	气态/ (kg/m³)	液态/ (kg/L)	气态/ (kg/m³)			
-40	0.581	2.16	—	—	—	—	0.461	0.599	0.670
-35	0.575	3.25	—	—	—	—	0.454	0.594	0.664
-30	0.565	3.87	—	—	0.619	1.49	0.443	0.589	0.656
-25	0.559	4.62	—	—	0.610	1.65	0.431	0.582	0.647
-20	0.553	5.48	—	—	0.606	1.96	0.416	0.574	0.641
-15	0.548	6.40	0.615	1.062	0.600	2.50	0.400	0.567	0.634
-10	0.542	7.57	0.611	1.847	0.594	3.04	0.381	0.561	0.629
-5	0.535	9.05	0.605	2.100	0.588	3.59	0.363	0.552	0.624
0	0.523	10.34	0.600	2.820	0.582	4.31	0.335	0.545	0.619
5	0.521	11.90	0.596	3.350	0.576	5.07	—	0.538	0.612
10	0.514	13.60	0.591	3.940	0.570	5.92	—	0.531	0.606
15	0.507	15.51	0.583	4.650	0.565	6.95	—	0.24	0.600
20	0.499	17.74	0.578	5.390	0.560	7.94	—	—	—
25	0.490	20.15	0.573	6.180	0.553	9.21	—	—	—
30	0.483	22.80	0.588	7.190	0.546	11.50	—	—	—
35	0.474	25.30	0.562	8.170	0.540	13.00	—	—	—
40	0.464	28.60	0.556	9.334	0.534	14.70	—	—	—
45	0.451	34.50	0.549	10.571	0.527	16.80	—	—	—
50	0.446	36.80	0.542	12.10	0.520	18.94	—	—	—
55	0.437	40.22	0.536	12.38	0.513	20.56	—	—	—
60	0.434	44.60	0.532	15.40	0.505	24.20	—	—	—

表 1-3 为在 0.1013MPa(1 个大气压下)，丙烷、丁烷在不同温度下气态密度值。

表 1-3 丙烷、丁烷在 0.1013MPa 下的密度						kg/m³
名 称	温 度			名 称	温 度	
	0℃	15℃			0℃	15℃
丙 烷	2.02	1.90		丁 烷	2.59	2.45

(2) 相对密度

气体的相对密度是指标准状态下，同体积的气体与空气质量之比(是没有单位的数值)。换句话说，气体的相对密度就是以空气质量为 1 时的气体的质量，也可以说是气体的相对分子质量与空气相对分子质量之比。即：

$$S = \frac{\gamma_0}{\gamma_k} = \frac{\rho_0}{\rho_k} = \frac{M_0}{M_k}$$

(1-4)

式中 γ_0 ——标准状态下气体的质量，kg；
 γ_k ——标准状态下空气的质量，kg；
 ρ_0 ——标准状态下气体的密度，kg/m³；
 ρ_k ——标准状态下空气的密度，kg/m³；
 M_0 ——液化石油气相对分子质量；
 M_k ——空气相对分子质量。

在工程计算中，空气的相对分子质量按 29 计算。

表 1-4 给出了一些碳氢化合物的相对密度值。液化石油气气态相对密度为空气的 1.5 ~ 2 倍。

表 1-4 一些碳氢化合物气态的相对密度值(0℃, 0.1MPa)

名 称	分子式	相对分子质量	相 对 密 度
甲 烷	CH ₄	16.043	0.5550
乙 烷	C ₂ H ₆	30.070	1.0484
丙 烷	C ₃ H ₈	44.097	1.5537
正丁烷	<i>n</i> - C ₄ H ₁₀	58.124	2.0859
异丁烷	<i>i</i> - C ₄ H ₁₀	58.124	2.0859
正戊烷	<i>n</i> - C ₅ H ₁₂	72.151	2.4909
乙 烯	C ₂ H ₄	28.054	0.9757
丙 烯	C ₃ H ₆	42.081	1.4802
丁 烯	C ₄ H ₈	56.108	2.0055

由于气态液化石油气密度比空气大，因此，一旦液化石油气从容器或管道中泄漏出来，不像密度值小的可燃气体那样容易挥发和扩散，而是像水一样往底处流动和滞存，很容易达到爆炸浓度，如遇着明火就会发生爆炸或燃烧。

2. 液化石油气液态的密度和相对密度

(1) 液态的密度

液化石油气液态的密度是指单位体积内液体的质量。由表 1-2 可以看出，液化石油气液态的密度，随着温度的升高而减少。

(2) 液态的相对密度

液化石油气液态的相对密度，是指液体在同一条件下与同体积水的密度(或质量)之比。不注明条件的时候，指 15℃的液态液化气和 4℃水的密度(或质量)比(相对密度没有单位)。即：

$$d = \frac{\rho}{\rho_{\text{水}}} = \frac{\gamma}{\gamma_{\text{水}}} \tag{1-5}$$

式中 ρ ——规定温度下液体的密度；
 $\rho_{\text{水}}$ ——规定温度下水的密度；
 γ ——规定温度下液体的质量；
 $\gamma_{\text{水}}$ ——规定温度下水的质量。

液态液化石油气的相对密度，随着温度的上升而变小，如表 1-5 所示。由表可知，液态丙烷常温(20℃左右)的相对密度值为 0.500，液态丁烷为 0.56 ~ 0.58，所以液化石油气液

态相对密度大体可以认为在 0.51 左右。

表 1-5 液化石油气液态各组分相对密度

温度/℃	丙 烯	丙 烷	正丁烯	异丁烷	1-丁烯
-20	0.573	0.544	0.621	0.603	0.641
-10	0.559	0.541	0.611	0.592	0.630
0	0.545	0.528	0.601	0.581	0.619
10	0.530	0.514	0.590	0.569	0.607
20	0.513	0.500	0.578	0.557	0.595

表 1-5 中所列出的数值皆为纯化合物的相对密度，实际使用的液化石油气都是混合物。混合物气态的相对密度，为各组分在混合气体的压力和温度下的相对密度值与各组分在混合物中所占的百分数的乘积之和，如式 1-6 所示。

$$d_{\text{气}} = \sum_{i=1}^n d_i V_i = d_1 V_1 + d_2 V_2 + \dots \quad (1-6)$$

式中 $d_{\text{气}}$ ——液化石油气混合物气态的相对密度；
 d_i ——液化石油气 i 组分的气态相对密度；
 V_i ——液化石油气混合物 i 组分的体积百分数。

液化石油气混合物液态相对密度可按式(1-7)计算。

$$\frac{1}{d_{\text{液}}} = \sum_{i=1}^n \frac{g_i}{d_i} = \frac{g_1}{d_1} + \frac{g_2}{d_2} + \dots \quad (1-7)$$

式中 $d_{\text{液}}$ ——液化石油气液态混合物相对密度；
 g_i ——液化石油气混合物 i 组分的质量百分比；
 d_i ——液化石油气混合物 i 组分的相对密度。

3. 液化石油气的比体积

气体的比体积是指单位质量气体所占有的体积。它随着压力和温度的不同而发生变化，因此表示气体比体积时，必须规定压力和温度条件，比体积与密度互为倒数，其单位常用 m^3/kg 表示。

$$r = \frac{V}{G} \quad (1-8)$$

式中 r ——气体比体积， m^3/kg ；
 V ——物质所占有的体积， m^3 ；
 G ——物质的质量， kg 。

液化石油气的比体积见表 1-6。

表 1-6 液化石油气的气体比体积

气 体	丙 烷	正丁烷	异丁烷	丙 烯	1-丁烯	顺 2-丁烯	反 2-丁烯	异丁烯
比体积/ $(\text{m}^3/\text{kg})(5.6^\circ\text{C}, 1 \text{ 大气压})$	0.538	0.408	0.408	0.505	0.421	0.339	0.329	0.353

三、蒸气压

液化石油气混合物的饱和蒸气压，是指在一定温度下，混合物的气液相平衡时的蒸气压。压力。也即蒸气分子的蒸发速度同凝聚速度相等的压力。

表 1-7 为液化石油气各组分在不同温度下的饱和蒸气压。由表可知，温度不同，饱和蒸气压不同。温度越高，各组分的饱和蒸气压越高；在同一温度下，组分不同，饱和蒸气压不同，且碳链短的化合物的饱和蒸气压大于碳链长的。由于液化石油气是一种混合物，而不是一种纯物质，所以容器中所表现的压力与混合比例有关。根据道尔顿定律和拉乌尔定律，液化石油气混合物在其不同温度下的饱和蒸气压可按式(1-9)进行计算。

$$p = \sum_{i=1}^n p_i x_i = p_1 x_1 + p_2 x_2 + \cdots \tag{1-9}$$

式中 p_i ——在一定温度下，各组分对应的饱和蒸气压；
 x_i ——各组分的摩尔百分数。

表 1-7 液化石油气的饱和蒸气压 × 0.098MPa

温度/℃	丙 烷	丙 烯	异丁烷	正丁烷	1- 丁烯	2- 丁烯	异丁烯
-40	1.14	1.5	—	—	0.23	0.16	0.23
-30	1.71	2.1	0.547	—	0.33	0.26	0.31
-20	2.48	3.1	0.741	—	0.56	0.43	0.58
-15	2.95	3.8	0.92	0.578	0.74	0.55	0.74
-10	3.49	4.5	1.12	0.812	0.95	0.70	0.95
-5	4.14	5.2	1.36	0.976	1.13	0.85	1.13
0	4.82	6.1	1.629	1.170	1.39	1.05	1.38
5	5.56	7.0	1.962	1.410	1.65	1.27	1.64
10	6.46	7.9	2.29	1.675	1.90	1.48	1.90
15	7.41	8.8	2.582	2.006	2.15	1.72	2.09
20	8.48	9.7	3.115	2.348	2.62	1.95	2.54
30	10.93	13.2	4.181	3.202	3.68	2.85	3.52
40	13.96	16.8	5.510	4.16	4.97	3.76	4.71
50	17.35	—	7.08	5.45	—	—	—

图 1-1 为丙烷、丁烷在不同温度下，混合物饱和蒸气压与温度的关系。由表 1-7 及图 1-1 均可看出，在常温下，容器中液化石油气的压力总比外界压力大得多。所以，液化石油气一定要在密闭的、具有足够强度的容器中储存。储存容器稍有裂缝，液化石油气就会逸漏。容器在强度上的薄弱部位，常常是破裂事故的隐患。

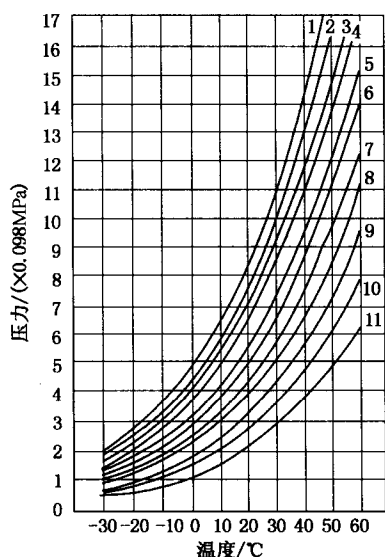
四、比热容和气化相变焓

1. 比热容

比热容是指单位物质的温度升高 1℃ 时所需的热量。单位通常用 J/kg·℃ (kcal/kg·℃) (或 J/NM³·℃) 表示。

比热容有定压比热容和定容比热容两种。所谓定压比热容，是指物质在压力不变的条件下进行吸热(或放热)时的比热容。常以 C_p 表示。所谓定容比热容，是指物质在容积不变的条件下进行吸热(或放热)时的比热容，常以 C_v 表示。

定压比热容是在抵抗压力的情况下做功的，对气体来说，在定压过程中导入的热量不仅仅是用来增大气体的内能，因而比定容比热容大。越容易膨胀的物质，差别就愈大。对于液体来说，两者相差极小，实际应用中可以忽略不计；但对气体必须考虑。液化石油气气体比热容如表 1-8 所示。



1—100% C₃H₈; 2—90% C₃H₈ + 10% C₄H₁₀;
 3—80% C₃H₈ + 20% C₄H₁₀; 4—70% C₃H₈ +
 30% C₄H₁₀; 5—60% C₃H₈ + 40% C₄H₁₀; 6—
 50% C₃H₈ + 50% C₄H₁₀; 7—40% C₃H₈ + 60%
 C₄H₁₀; 8—30% C₃H₈ + 70% C₄H₁₀; 9—20%
 C₃H₈ + 80% C₄H₁₀; 10—10% C₃H₈ + 90%
 C₄H₁₀; 11—100% C₄H₁₀

图 1-1 丙烷、丁烷混合物饱和蒸气压与温度的关系

表 1-8 25℃时液化石油气气体的比热容

× 4.18 kJ/kg·℃

物 质	丙 烷	正丁烷	异丁烷
C _p	0.404	0.407	0.404
C _v	0.359	0.372	0.372

液化石油气液体比热容与温度关系极大，一般随温度上升而增加，它与温度关系见图 1-2。

2. 气化相变焓

从液态变成气态的过程叫气化。液态变成气态时，需要吸收热量，气态变液态时又将放出热量，这些热量仅仅用来改变物质的状态，而不改变物质的温度，所以称它为相变焓(潜热)。

液体气化时，需要吸入热量来增大分子的动能，所需要的热量称为气化相变焓或蒸发相变焓；相反，气体液化时，便会放出热量，此热量则称为凝结热或液化热。物质在同等条件下的气化相变焓或蒸发相变焓是不相等的。

气化相变焓随气化或蒸发时温度和压力不同而变化，温度升高，气化相变焓减小，在临界温度时变化为零。

气化相变焓可用下式近似计算：

$$\gamma_1 = \gamma_2 \left(\frac{T_c - t_1}{T_c - t_2} \right)^{0.38} \quad (1-10)$$

式中 γ_1 和 γ_2 ——分别为温度 t_1 (℃) 和 t_2 (℃) 时的气化相变焓，kJ/kg(kcal/kg)；
 T_c ——临界温度，℃。

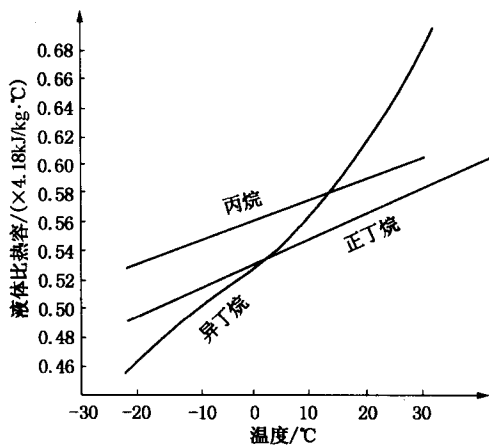


图 1-2 液化石油气的比热容

混合液体的气化相变焓，可按下列计算：

$$\gamma = \sum \gamma_i y_i$$

式中 γ 和 γ_i ——分别为混合液体和各组分的气化相变焓，kJ/kg(kcal/kg)；

y_i ——混合液体中各组分的质量百分比。

液化石油气在不同温度下的气化相变焓见表 1-9 和图 1-3 所示。

表 1-9 不同温度下液化石油气的气化相变焓变化 kJ/kg

温 度 物 质	0℃	15℃	20℃	30℃	40℃	50℃	60℃
丙烷(液态)	377.1	355.3	345.3	329.0	311.4	284.6	162.6
正丁烷(液态)	384.2	370.4	366.6	358.3	345.7	333.2	312.4

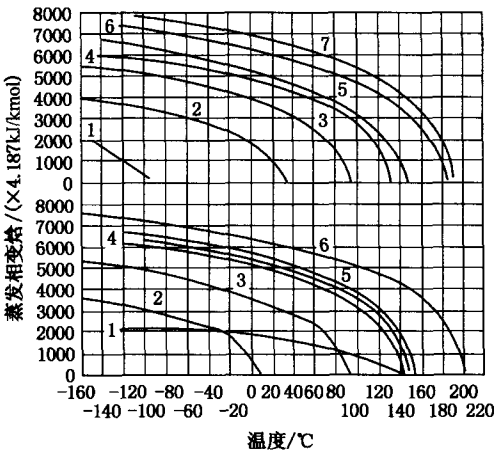


图 1-3

- (上) 1—甲烷；2—乙烷；3—丙烷；4—异丁烷；
5—正丁烷；6—异戊烷；7—正戊烷
(下) 1—异丁烯；2—乙烯；3—丙烯；
4—丁烯；5—顺丁烯；6—戊烯

(2) 液体黏度

液体黏度随其组分和温度而定，其特性与气体相反。当温度上升时黏度降低，压力的大小影响很小，随液体的相对分子质量增加而增加。混合液体的黏度，可按下列式近似计算：

$$\frac{1}{\mu} = \sum \frac{X_i}{\mu_i} \tag{1-12}$$

式中 μ ——混合液体的动力黏度；
 μ_i ——混合液体中各组分动力黏度；
 X_i ——混合液体中各组分体积分数。

同样条件下，液体液化石油气的黏度比同体积的水黏度小。

2. 溶解度

溶解度是指在一定温度下，溶剂能够溶解物质的程度。这里所谈的溶解度是指水在液化石油气中的溶解度。

由此可见：液化石油气在自然温度下上升时，气化相变焓量就减少。

五、黏度和溶解度

1. 黏度

液化石油气和其他可燃物质一样，也具有动力黏度和运动黏度。

(1) 气体黏度

气态液化石油气的黏度比干空气、水蒸气小。气体的相对分子质量越大，黏度越小。气体分子温度越高，压力越高，黏度越大。

混合气体的黏度，可按下列式近似计算：

$$\frac{1}{\mu} = \sum \frac{y_i}{\mu_i} \tag{1-11}$$

式中 μ ——混合气体的动力黏度；
 μ_i ——混合气体中各组分动力黏度；
 y_i ——混合气体中各组分质量百分比。

试验证明,在液态的液化石油气中能溶解少量的水,其溶解的水量随温度的升高而增大,由表 1-10 可知液态丙烷中水的溶解量与温度的关系。

表 1-10 丙烷中水的溶解量与温度关系

液态丙烷的温度/℃	0	5	10	15	20	25	30	40
水的溶解量/%	0.06	0.09	0.11	0.155	0.21	0.27	0.41	0.52

如果液化石油气中的水分超过一定的含量,在一定的温度和压力条件下,水能与液相和气相中的 C_2 、 C_3 和 C_4 生成结晶水合物($C_nH_m \cdot xH_2O$)(对于丙烷和异丁烷 $x=17$),水合物在聚集状态下是白色的晶体或带铁锈色,一般在低温、中压时结晶生成;在高压和温度稍高时,也有可能生成。水合物的结晶,会缩小管道的流通截面,甚至堵塞管道、阀门、仪表和设备。

液化石油气脱水的常用方法是采用沉淀法,槽(罐)车内装满液化石油气后,静止 6 小时以上,使水分沉淀,到 4 小时后可作一次排水处理。这样便可减小液化石油气中的含水量。

当液化石油气中存在溶解水时,蒸发过程将会有大量水分转入气相,这时,如果气相温度降至露点,就会产生凝结水,在供气过程中需将凝结水排除,否则加剧酸性气体对管道的腐蚀,在 0°C 以下时,还会造成冰冻现象。气态丙烷与液态丙烷含水量的比值如表 1-11 所示。

表 1-11 不同温度的气态丙烷和液态丙烷含水量之比

温度/℃	5	10	15	20	25	35	45
气态丙烷与液态丙烷含水量之比	8.2	7.1	6.3	5.7	5.2	4.3	4.1

由表 1-11 可知,温度越低,含水量之比越大,在同温度下气态水量比液态含水量高。因此,要防止液化石油气水合物大量生成,采取沉淀法排水是非常重要的,也是最经济的。

六、膨胀与压缩

液态液化石油气的体积会因温度的升降而发生膨胀和收缩。当在一定压力情况下,将液态液化石油气的温度自 $t^\circ\text{C}$ 升至 $t^\circ\text{C} + \Delta t^\circ\text{C}$ 时,其体积也自 V 膨胀为 $V + \Delta V_1$,即:

$$V + \Delta V_1 = V(1 + \beta \cdot \Delta t)$$

解此式可得:

$$\beta = \frac{1}{V} \cdot \frac{\Delta V_1}{\Delta t} \quad (1-13)$$

式中 β ——膨胀系数,即温度上升 1°C 时,体积变化前后的比值。

另一方面,当液体所受压力升高时,其体积会被压缩而减小。因此,相对于体积膨胀系数,还有一个压缩系数 C 。

在温度一定的条件下,当压力自 p 升至 $p + \Delta p$ 时,液体的体积自 V 降至 $V - \Delta V_2$,即可列出下式:

$$V - \Delta V_2 = V(1 - C \cdot \Delta p)$$

即:

$$C = \frac{1}{V} \cdot \frac{\Delta V_2}{\Delta p} \quad (1-14)$$

在密闭容器中,膨胀和压缩是同时发生的。若液体充满容器全部空间,且设 $\Delta V_1 =$

ΔV_2 ，则将上述两式联立解出：

$$\frac{\beta}{C} = \frac{\Delta p}{\Delta t} \text{ 或 } \Delta p = \frac{\beta}{C} \cdot \Delta t \quad (1-15)$$

即因温度升高而引起的压力上升为该液体的体积膨胀系数与压缩系数之比。

不同温度下某些液体的体积膨胀系数的平均值见表 1-12。

表 1-12 液化石油气液态各组分及水的体积膨胀系数

液体名称	15℃时的体积 膨胀系数	膨胀系数平均值		15℃下相对于水的 膨胀系数比值
		-20 ~ +10℃	+10 ~ +40℃	
水	0.00019	—	—	1.0
丙 烷	0.00306	0.00290	0.00372	16.1
丁 烷	0.00212	0.00290	0.00220	11.1
丙 烯	0.00294	0.00280	0.00368	15.5
丁 烯	0.00203	0.00194	0.00210	10.6

由表 1-12 可知，液化石油气的体积膨胀系数比水大得多，约相当于水的 10~16 倍，且随温度升高而增大。由于各组分的体积膨胀系数不同，受热膨胀后，各组分所占容器容积的体积分数也就发生变化。通常丙烷、丁烷的变化最为显著。其数值如表 1-13 所示。

表 1-13 液态丙烷、丁烷受热膨胀的体积分数变化

名 称	-15℃	0℃	15℃	30℃	45℃	60℃
丙 烷	92.7	96.2	100	104.9	111.1	119.3
正丁烷	95.0	97.5	100	103.0	106.4	110.0
异丁烷	94.5	97.6	100	103.3	107.2	111.4

由表 1-13 可知，温度每升高 10℃，液体体积膨胀 2%~4%。因此，向容器内装灌液化石油气时，一定要严格按照规定的充装重量进行操作和灌装，才能保证安全。一定要考虑到当时温度的高低而引起液体的变化程度，绝对不允许超量灌装。

七、气液平衡与气液比

1. 气液平衡

气液平衡状态是指在液体表面上既无气化又无液化的状态。液化石油气的气态和液态的平衡关系可用下式表示：

$$K_i = Y_i / X_i \quad (1-16)$$

式中 K_i ——指一定温度和压力下 i 组分的气液平衡常数；

Y_i ——是气相中 i 组分的摩尔分数；

X_i ——是液相中 i 组分的摩尔分数。

气液平衡常数 K 表示在一定的温度和压力下，气液两相达到平衡状态时，气相中某组分的摩尔分数 Y_i 的与其在液相中的摩尔分数 X_i 比值是一个常数；也可以说在一定的温度下，液化石油气的气液平衡系统中某一组分的饱和蒸气压 P_i 与混合液体总蒸气压 P 的比值是一个常数。即：

$$K_i = \frac{Y_i}{X_i} = \frac{P_i}{P} \quad (1-17)$$

式 1-17 表示在理想状态下，气体与液体的平衡关系。