

QIPING
CHONG ZHUANG
YU AN
QUAN

郝澄 汪洋 编著

气瓶 充装与安全

第二版



化学工业出版社



化学工业出版社

·北京·

本书内容包括气瓶充装站建站条件及气瓶充装的安全知识、气瓶充装的操作要领,按照压缩气体、液化气体及溶解乙炔等气体充装介质种类的不同,分别介绍了其物化性质、气瓶的使用条件等内容。书中加入了最新版本的有关气瓶充装和气瓶充装站的国家标准、法规,通过学习可以规范、提高气瓶充装操作技能。同时,还列举了大量的气瓶事故,并对事故原因进行了分析。本书还为气瓶充装人员上岗考核、培训提供了模拟试题,供考评人员及气瓶充装人员参考使用。

本书可作为气瓶充装人员、气瓶充装站管理人员及相关人员的培训、参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

气瓶充装与安全/郝澄,汪洋编著. —2版. —北京:化学工业出版社, 2013. 1

ISBN 978-7-122-15631-0

I. ①气… II. ①郝… ②汪… III. ①气瓶—安全技术 IV. ①TH490.8

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第246273号

责任编辑:辛田

文字编辑:冯国庆

责任校对:周梦华

装帧设计:尹琳琳

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印装:大厂聚鑫印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张17 字数420千字 2013年1月北京第2版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:48.00元

版权所有 违者必究

序

随着国民经济的快速增长和社会发展，工业气体（氧、氮、氩、氦、天然气、石油液化气及多种气体混合气）被大量使用，与此同时也要求气体的充装工作要进一步规范化管理，包括气体和气瓶的分类、充装、使用及气瓶的管理规范进行了修订等。因其生产过程危险性大，一旦发生事故会给人们的生命财产造成不可挽救的损失，因此，此项作业一定要保证安全可靠。

本书作者根据工作中的实践体会和培训中的总结及大量信息收集编写了此书，自 2007 年出版以来，读者认为此书通俗易懂、深入浅出、具有普及性，适用于气瓶充装人员学习气体的基础知识、气瓶知识、气瓶充装专业的安全法规知识等，本书也可用作不同种类气瓶充装人员及考评人员选择的上岗考核试题内容。

中国工业气体工业协会秘书长



第二版前言



《气瓶充装及安全》自 2007 出版以来对气瓶充装人员学习气体的基础知识、气瓶知识、气瓶充装专业的安全知识、法规知识等方面都有很大的帮助，在不同种类气瓶充装人员的上岗考核、考评人员选择出题及气瓶充装人员复习应试等方面都起了很大的作用。鉴于本专业相当于纲领性文件的《气瓶安全技术监察规程》(TSG R000X—2011 版)的出版，其他与气瓶充装有关国家标准都随之进行修订，如《瓶装压缩气体分类》GB 16163、《气瓶颜色标志》GB 7144、《液化气体气瓶充装规定》GB 14194 及《溶解乙炔气瓶充装规定》GB 13591 的修订；《永久气体气瓶充装规定》GB 14194 修订为《压缩气体气瓶充装规定》；《永久气体气瓶充装站安全技术条件》GB 17264、《液化气体气瓶充装站安全技术条件》GB 17265、《溶解乙炔气瓶充装规定》GB 17266 及《液化石油气气瓶充装站安全技术条件》GB 17267 四标准合并为《气瓶充装站安全技术条件》GB 27550 等，又因为原《容规》修订为《固定式压力容器安全技术监察规程》和《移动式压力容器安全技术监察规程》等多个标准，所以有必要对原书做局部的修订后进行再版，以满足质监局颁布的《气瓶充装许可规则》、《气瓶使用登记管理规则》等要求，满足气瓶充装人员的需要。本书同时删去了一些过期的标准和分析仪器等内容。

应一些读者的要求，本书再版中增加了车用天然气气瓶、石油液化气气瓶和混合气充装的内容。

由于编者水平有限，书中不足之处在所难免，希望广大读者批评指正。

编者

第一版前言



气瓶充装是气瓶安全管理八个环节中的一个重要环节。国家质量监督检验检疫总局特种设备安全监察局对气瓶充装环节人员培训及气瓶充装站的建站条件给予了足够的重视，并在2006年颁发了《气瓶充装人员考核大纲》及《气瓶充装许可规则》。本书是根据上述文件内容编写的。内容包括气瓶充装站建站资格和职责及气瓶充装人员上岗考核应具备的气体基础知识、气瓶知识、气瓶充装专业的安全知识、法规知识等，并按照永久气体、液化气体及溶解乙炔等气瓶充装介质种类的不同分别介绍了其物化性质、气瓶的使用条件等内容。本书还根据不同种类气瓶充装人员的考核，编出了不同内容的A、B、C三套理论试题和实操题，全部试题都附有参考答案，便于考评人员选择出题及气瓶充装人员复习应试。

本书可作为气瓶充装人员、气瓶充装站管理人员及相关人员的培训、参考用书。

由于编者水平有限，书中不妥之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

编者

2007年5月

目录

CONTENTS

第一章 基础知识	1
第一节 分子的组成和分子运动	1
一、分子及原子结构	1
二、物质相平衡图	2
三、气体常用参数及换算	3
四、气体热力性质图	6
第二节 气体状态方程式	10
一、理想气体状态方程式	10
二、真实气体状态方程式	12
第二章 瓶装压缩气体的分类	13
第一节 瓶装气体按临界温度和物理状态分类	13
一、瓶装压缩气体	13
二、瓶装高压液化气体	13
三、瓶装低压液化气体	13
四、低温液化气体	14
五、溶解气体	14
六、吸附气体	15
第二节 气体按可燃性、毒性及腐蚀性分类	15
一、气体分类用的 FTSC 数字编码	15
二、压缩气体的物化性质	16
三、低压液化气体的物化性能	31
四、高压液化气体的物化性能	47
五、乙炔物化性能	57
第三章 气瓶概述	61
第一节 气瓶的分类	61
一、TSG R000X—2011 版《瓶规》按公称压力和公称容积气瓶的分类	61
二、按充装介质分类	63
三、按气瓶材质和使用分类	64
四、气瓶附件	70
第二节 气瓶的安全管理	74

一、《气瓶安全监察规程》	74
二、气瓶的钢印标志	75
三、气瓶外表面的颜色	78
四、气瓶搬运的注意事项	83
五、气瓶的储运和保管	84
六、用计算机管理气瓶	87
第四章 气瓶的气体充装	88
第一节 压缩（原永久）气体的充装	89
一、压缩气体的充装工艺流程	89
二、充装前后气瓶操作流程及安全充装	90
三、充装前后气瓶操作流程及安全充装	91
四、天然气汽车气瓶的充装	94
五、压缩气体的计量	99
六、混合气体的充装	103
七、工业气体的输送方法	120
八、压缩气体的充装安全、事故案例及事故分析	126
第二节 液化气体的充装	139
一、液化气体充装工艺流程图	139
二、液化气体的充装	142
三、石油液化气气瓶的充装	144
四、液化气体充装系数	147
五、液化气体的充装安全、事故案例及事故分析	153
第三节 溶解乙炔的充装	161
一、溶解乙炔的生产及充装工艺流程	161
二、充装前后的气瓶操作流程及安全充装	162
三、溶解乙炔充装安全、事故案例及事故分析	168
第五章 气瓶充装站建站条件、站址及厂房、设施安全距离要求	173
第一节 气瓶充装站基本批准文件	174
一、营业执照	174
二、规划（国土）部门的批准文件	174
三、充装站设计单位的资质证明	174
四、施工单位的资质	174
第二节 组织机构和技术力量	174
一、组织机构	174
二、法人代表或充装单位负责人（充装站站长）	175
第三节 质量管理体系及规章制度	175
一、管理手册内容	175
二、气瓶充装安全管理制度、操作规程和记录表卡的内容	175
三、组织机构和组织机构图（略）	176

四、质量管理体系、质量管理控制体系图、充装工艺流程图及各项制度规程	176
第四节 充装站建站资格和职责	177
一、气体充装站建站资格及具备的基本条件	177
二、气体充装站的职责	177
三、充装站人员条件	178
第五节 充装站（不含乙炔站）站址、厂房及设备安装技术条件	178
一、站址设置及建筑物	178
二、充装站的设备条件	188
第六节 溶解乙炔气瓶充装站站址、厂房及设备安装技术条件	197
一、溶解乙炔气瓶充装站站址设置及建筑物	197
二、溶解乙炔充装站的设备条件	200
各气瓶充装工种（压缩气体、液化气体、溶解乙炔）岗位试题及参考答案 ...	205
参考文献	263

第一章

基础知识

第一节 分子的组成和分子运动

一、分子及原子结构

任何物质均由分子组成。按照分子运动学说,分子间有一定距离,并且不停地在做无规则的热运动。分子的这种热运动总是倾向于使分子相互分离。同时物质分子之间又存在着相互作用的吸引力和排斥力,前者使分子彼此趋向结合,后者则使分子彼此趋向分离。这两个矛盾着的因素作用的结果,使物质分子有气、液、固三种聚集状态,传统称为物质三态。

物质在气态时,起支配作用的是分子间的斥力,由于气体分子间的距离很大,气体分子间的吸引力不足以克服分子做不规则运动的分离倾向,所以它可无限制地膨胀,充满任意形状和大小的容器,也因此而具有密度小、可压缩性大等特点,因此气体没有一定的形状和体积。固体分子间的吸引作用力较大,使分子有固定的平衡位置,分子只能以平衡位置为中心作振动,所以固体有一定的形状和体积,并且因为它的分子排列紧密,因而密度大,压缩性小。液体则介于气体与固体之间,分子之间的作用力能够使分子维持一定的平均距离,但又不足以使分子有固定的平衡位置,所以液体只有一定的体积,而无一定的形状。

分子是保持物质化学性质的最小微粒,分子是由原子组成的,原子是由原子核和核外电子组成的,原子核是由质子和中子组成的。原子组成中,质量最大的是中子,质量最小的是电子。在原子组成中,中性不带电的是中子,带正电性的是质子,带负电性的是电子。从原子结构分析,惰性气体原子是最外层电子形成 8 个电子的稳定结构,金属原子的特点是最外层电子是 1~2 个电子结构,非金属原子的特点是最外层电子是 5~7 个电子结构。元素是同一类原子的总称。

构成物质的微粒是分子、原子等,单个这样的微粒是用肉眼看不到的,也难称量,但是实际上必须要称量,所以要建立一个物质的量,称为摩尔,在使用摩尔时,基本单元是分子、原子、离子、电子及其他粒子的组合。它与质量单位在概念上是有根本区别的,当然不能称为质量,但与该基本单元数的质量又有一定的内在联系,它不是质量单位,而是数量单位。1mol 的分子或原子,它的总质量相当于该物质以克为单位时的分子量或原子量,任何物质 1mol 的气体的内分子数目都是相等的,1mol 气体体积在标准状态下都是 22.4L。例如

氮的原子量为 14，分子量为 28；氧的原子量为 16，碳的原子量为 12， CO_2 的分子量为 44，1mol 氮气与 1mol CO_2 都是 22.4L，也就是 28g 的氮气与 44g 的 CO_2 都是 22.4L。

任何物质在不同的外部条件（压力、温度）下，都可以以气体、液体或固体状态存在。而当外部条件变化时，物质分子间的作用力大小和分子运动的剧烈程度也会变化。当外部条件变化到一定程度时，量变引起质变。分子就会重新排列，在热力学中叫做相变。所谓相是指系统内具有相同物理性质和化学性质组成而与数量无关的任何均匀部分，也就是说，每种聚集状态内部性质相同的部分叫相，相与相之间有界面分开。例如水是单相，但冰、水、汽的系统是三相。随着相变，物质的物理性能也发生变化。例如液态水在一个大气压下（101325Pa），当加热到 100℃ 时，就汽化为水蒸气，两者的物理性质就不同了。

当物质以液体状态存在时，分子间引力起主导作用，所以分子聚集在一起。但在液体分子中，动能较高的分子会克服液体表面分子的引力而逸出液面成为气体分子。这种分子转移的过程称为气化过程。气化的逆过程是气体分子相互吸引而凝结成液体的过程，称为液化过程。气化和液化是气液相变的两种相反的过程。

以气瓶充装的气体为例，充装物可以是气态，也可以是气液两态共存，这些充装物在充装、运输和使用过程中会发生一定的变化，外界条件变化，充装物分子运动的剧烈程度也会变化，外界条件变化到一定程度，充装物分子会由量变到质变，分子会重新排列，状态也随之发生转变。但在密封容器如气瓶中，外界条件变化，在温度升高时，液态的充装物逸出液面的气体分子无法逸出容器，只能聚留在液面上空，所以会返回到液体中去。其返回的分子数随液面上空的蒸气密度的增大而增多，随着蒸气密度的不断增大，液体的蒸发速度逐渐减慢。当逸出液面的分子数与返回液体的分子数相等时，就达到了动态平衡。从宏观上看，液体就不再蒸发，气液两相就处于相对稳定的共存状态，这种状态称为饱和状态。在饱和状态下的液体叫饱和液体，其密度叫饱和液体密度，饱和液体面上的蒸气叫饱和蒸气，其密度叫饱和蒸气密度，其压力叫饱和蒸气压（简称蒸气压）。物质处于一定温度下的饱和状态参数（密度、压力）都具有各自的恒定值，其变化主要与温度有关。温度越高，液体分子逸入气相的数目就越多，而且由于液体的膨胀又使蒸气空间缩小，因而蒸气密度就越大，液体密度则相应减小。蒸气密度的增大可以直接反映为蒸气压力的增高。在气瓶充装中，什么样的物质在多大的压力、多大的温度下是气体，要充入气瓶，在 79《气瓶安全监察规程》中写到，低压液化气体在 60℃ 时的饱和蒸气压大于 $1\text{kg}/\text{cm}^2$ （0.098MPa）要充入气瓶，89、2000 版写到，公称工作压力为 1.0~30MPa（表压），（TSG R000X—2011 版）《瓶规》适用于正常环境温度（-40~60℃）下使用的、公称工作压力为 0.2~35MPa（表压），扩大了范围，只有在国际标准 ISO 11622 中给气体下了定义，即在压力为 $1.013 \times 10^5 \text{Pa}$ 温度为 20℃ 时完全是气态，且在 50℃ 时蒸气压超过 $3 \times 10^5 \text{Pa}$ 的任何物质是气体，要充入气瓶。如充装气液两态共存的气体，在我国都是根据气瓶在最高使用温度 60℃ 时该物质的饱和蒸气压来选择气瓶。如环氧乙烷在 60℃ 时的饱和蒸气压为 0.44MPa，加上安全系数后则选择 1MPa 的气瓶。

二、物质相平衡图

如图 1-1 所示是物质相平衡图，纵坐标是压力，横坐标是温度，图中 ASK 以左的物质为固态，ASC 以右的物质为气态，两线之间为液态，AS 线上的任何一点是气态与固态共存，SK 线上任何一点是固态与液态共存，SC 线上的任何一点是气态与液态共存，S 点是

气态、液态、固态三相共存，所以称为三相点。对应的压力 p_s 称为三相点压力，对应的温度 T_s 称为三相点温度，对于固态变气态称为升华温度，对于气态变固态称为凝华温度，C 点是物质的临界点，对应的压力 p_c 称为临界点压力，对应的温度 T_c 称为临界点温度，在临界点，气液不分，界面消失。

N 是标准状态点，对应的压力 p_0 为 1 标准大气压 (101325Pa)，对应的温度 T_0 为 273K， T_m 和 T_b 是物质处于 1 个标准大气压下的熔点和沸点，以水为例，固态是冰，液态是水，气态是水蒸气，AS、SK、SC 分别代表冰与汽、冰与水、水与汽共存的曲线。

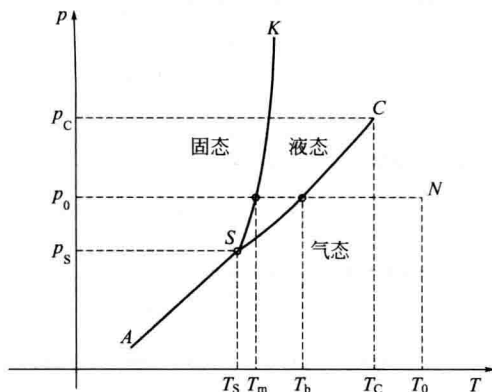


图 1-1 物质相平衡图

三、气体常用参数及换算

- (1) 长度的单位及换算 法定单位：米，m。

$$1\text{m}=0.001\text{km}(\text{千米})=100\text{cm}(\text{厘米})=1000\text{mm}(\text{毫米})=3.28\text{ft}(\text{英尺})$$

$$1\text{in}(\text{英寸})=25.4\text{mm}(\text{毫米})$$

- (2) 面积的单位及换算 法定单位：平方米， m^2 。

$$1\text{m}^2=10^4\text{cm}^2(\text{平方厘米})$$

$$1\text{公顷}=10^4\text{m}^2, 1\text{市亩}=666.67\text{m}^2, 1\text{市顷}=100\text{市亩}, 1\text{公顷}=15\text{市亩}$$

- (3) 体积的单位及换算：法定单位：立方米， m^3 。

$$1\text{m}^3=1000\text{dm}^3(\text{升})$$

$$1\text{英加仑}(\text{UK gal})=4.546\text{dm}^3(\text{升}), 1\text{立方英尺}(\text{ft}^3)=28.3\text{dm}^3(\text{升}),$$

$$1\text{美加仑}(\text{US gal})=3.785\text{dm}^3(\text{升}), 1\text{石油桶}=42\text{US gal}=159\text{dm}^3(\text{升})$$

- (4) 力、重力的单位及换算 法定单位：牛 (顿)，N。

$$1\text{kgf}(\text{千克力})=9.8\text{N}$$

- (5) 质量的单位及换算 法定单位：千克，kg。

$$1\text{t}=1000\text{kg}, 1\text{长吨}=1016\text{kg}, 1\text{市斤}=0.5\text{kg}$$

- (6) 压强 单位面积上所承受均匀地垂直于该面积上的总作用力，即 $p = \text{总作用力} / \text{面积}$ 。

① 表压 反映了容器内外的压差值，称为表压。在正压时， $p_{\text{表压}} = p_{\text{绝对}} - p_{\text{大气}}$ ；在负压时，容器用负压或联成表指示为表压， $p_{\text{表压}}(\text{负压或联成表}) = p_{\text{大气}} - p_{\text{绝对}}$ ，如图 1-2 所示。

② 绝压 在正压时，容器内如压力为 5kgf/cm^2 ($1\text{kg/cm}^2 = 0.098\text{MPa}$)，则容器内的实际压力约为 6kgf/cm^2 (因为地球周围存在的空气有一定的压力，近似等于 1kgf/cm^2)，此时 $p_{\text{绝对}} = p_{\text{表压}} + p_{\text{大气}}$ ，在工程热力学计算中，都是采用绝对压力值。绝对压力的表示方法一般是在压力单位后面加注“绝对”两字。如 kgf/cm^2 (绝对)、 MPa (绝对) [kgf/cm^2 与工程大气压 (用 at 表示) 在数值上相等，绝对压力用 ata 表示，大气压用 atm 表示]。在负压时，用真空计的毫米汞柱指示的为真空度，是绝对压力。

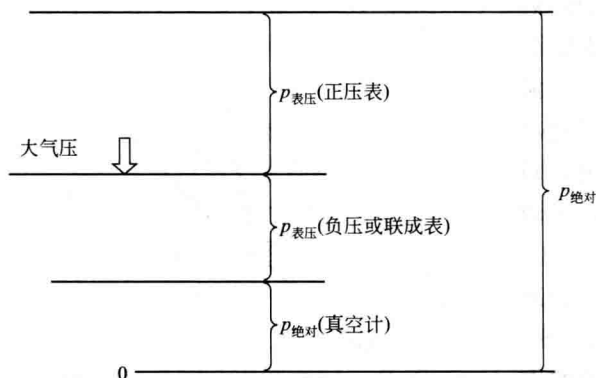


图 1-2 表压和绝压

③ 真空度 真空度的单位，采用单位体积内的分子数即可，如 10^{-12} mmHg ($1\text{mmHg} = 133.32\text{Pa}$ ，下同) 的高真空环境中有 3 万多气体分子，但是，实际量度很不方便，使用真空计测量真空度，是指测量处于真空状态下气体稀薄的程度，故采用宏观习惯上的“压强”这个物理量来表征真空度的高低，应当强调的是，“压强”和真空度的物理意义是不同的，真空度越高，压强越低；真空度越低，压强越高。比如低温储罐夹层的真空度为 65Pa 时，认为

真空度较低，应抽至较高的真空度（真空度为 2.6Pa 或 $2 \times 10^{-2}\text{mmHg}$ ）才合适，才能起保温作用。真空度的法定单位为 Pa ，另一个常用单位是 mmHg （非法定单位）， 1mmHg 又叫 1Torr （托）。

在我国推荐 $-760 \sim 10\text{mmHg}$ 为粗真空， $10 \sim 10^{-3}\text{mmHg}$ 为低真空， $10^{-3} \sim 10^{-8}\text{mmHg}$ 为高真空， 10^{-8}mmHg 以上为超高真空。其他常用真空度的单位还有十几种，在资料中常出现的，如《气瓶充装站安全技术条件》中 5.9 “充装毒性气体和乙炔的充装站”规定，必须设有回收或处理瓶内余气的设备和装置，不得向大气排放，液化石油气体充装站应设有残液倒空和回收装置，还应新瓶抽真空设施，抽真空设施应保证新瓶真空度能抽至 -83kPa 以上；《压缩气体手册》第 190 页有，钢瓶被抽到最低真空 -635mmHg ；国产的水环式真空泵说明书中的极限真空度为 -0.097MPa 等都表达的是真空度，但是单位都不一致，经换算才能比较表达真空度的高低。

上述“ -83kPa ”表示的是表压，是从图 1-3 中 1 大气压向下数到 -83kPa （到 0 大气压时为 -101.3kPa ），所以《气瓶充装站安全技术条件》5.9 中的新瓶真空度是在粗真空范围。

水环式真空泵说明书中的极限真空度为“ -0.097MPa ”，即“ -97kPa ”，也在粗真空范围。从图 1-3 中“1 大气压”向下数是表压，是用负压联成表计量。从 -760mmHg （ -0.1013MPa ）向上数为绝压。表压 -0.097MPa 可换算成 -727.8mmHg 或绝压 32.2mmHg 或 4.29kPa ，表压 -83kPa 可换算成表压 -622.3mmHg 或绝压 137.32mmHg 或 18.3kPa 。低温储罐夹层真空度为 2.6Pa 或 $2 \times 10^{-2}\text{mmHg}$ 均以绝压计，用真空计测量被列为低真空范围。

④ 压强单位的换算

a. 压强的法定单位：帕（斯卡） Pa ， N/m^2 ， $1\text{MPa} = 10^6\text{Pa}$ 。

b. 1kgf/cm^2 （工程大气压） $= 0.098\text{MPa} = 98066.5\text{Pa}$ 。

c. 1bar （巴） $= 10^5\text{Pa}$ 。

d. $14.2\text{lbf/in}^2 = 1\text{kg/cm}^2$ 。

e. $760\text{mmHg} = 1$ 标准大气压 $= 1.013 \times 10^5\text{Pa}$ 。

f. 1Torr （托） $= 1\text{mmHg} = 133\text{Pa}$ ， $10^{-2}\text{mmHg} = 1.33\text{Pa}$ 。

g. 1 物理大气压（标准大气压）为北纬 45° 、温度为 27°C 时海面上的压力。

(7) 温度 法定单位：摄氏度， $^\circ\text{C}$ 。

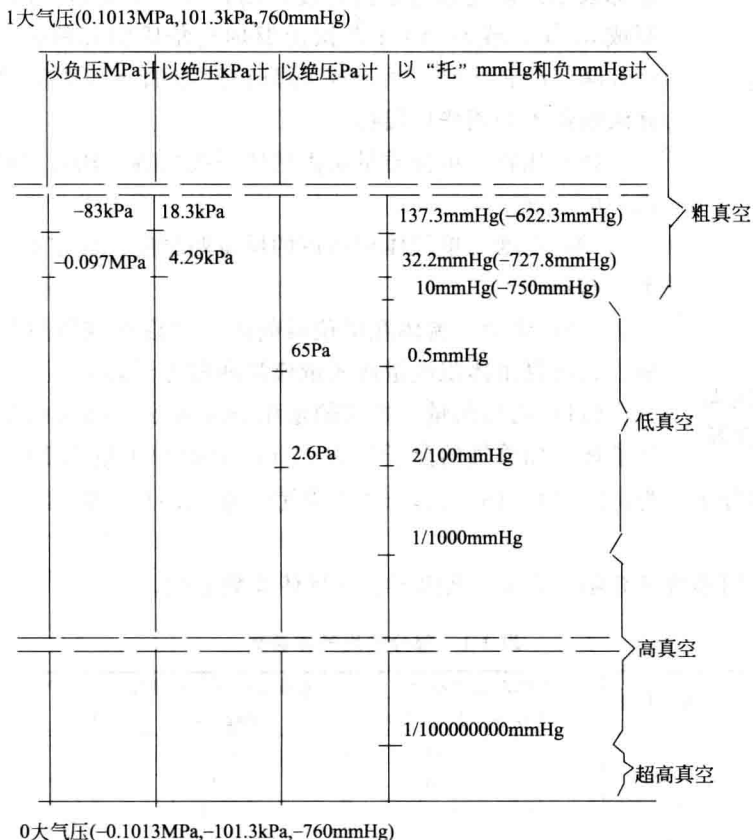


图 1-3 大气压与表压的关系 (未按比例)

① 温度 表示物体冷热的程度。温度计有气体的、液体的、电阻的和热电偶的等。

② 温标 标定温度的标准叫温标。常用的温标有三种：摄氏温标、热力学温标和华氏温标。

a. 摄氏温标 摄氏温标是国际温标，目前比较通用。摄氏温标取标准大气压下冰融化时的温度为 0°C ，水沸腾时的温度为 100°C ，将上述两点之间等分成 100 个刻度，每一个刻度就是 1°C 。这种温标称为摄氏温标。用摄氏温标量度的 $^{\circ}\text{C}$ 用符号 $t^{\circ}\text{C}$ 表示，例如摄氏 50 度可以写成 50°C ，或 $t=50^{\circ}\text{C}$ 。若温度比 0°C 低，则在温度数字的前面加一个负号，读作零下多少摄氏度。例如 -20°C 读作零下 20°C ，表示比零度低 20°C 。

b. 热力学温标 热力学温标是取零下 273 摄氏度，即 -273°C 为零度，而每度间隔与摄氏温标相同。用热力学温标量度的温度称为热力学温度，用符号 TK 表示。例如热力学温度 80 度可写成 80K ，或 $T=80\text{K}$ 。可见，热力学温标与摄氏温标只是起点不同。摄氏温标以纯水的冰点为起点（即为 0°C ），而热力学温标的起点（即 0K ）要比 0°C 低 273°C 。所以同一个温度若用热力学温度表示时，它的数值要比摄氏温度的数值大 273，写成公式，即为 $T=(t+273)\text{K}$ 。实际上 -273°C （或 -273.15°C ）是物质分子停止运动时的温度，所以从本质上来讲，热力学温标是以分子停止运动时的温度为起点的。这是因为在热力学中有很多理论分析或计算中要用到它，会经常遇到。图 1-4 表示摄氏温标与热力学温标的关系。

c. 华氏温标 华氏温标则定摄氏零度为华氏 32 度，摄氏 100 度为华氏 212 度，用华氏

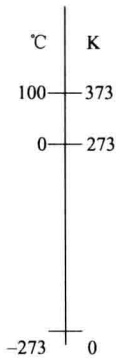


图 1-4 摄氏温标与热力学温标的关系

温标表示的温度称为华氏温度，用符号 $t^{\circ}\text{F}$ 表示。例如华氏 50 度可写成 50°F ，或 $t=50^{\circ}\text{F}$ ，摄氏温标与华氏温标的换算公式为： $t/^{\circ}\text{C}=0.56(t/^{\circ}\text{F}-32)$ 。华氏温标只在欧美的一些国家适用，我国及国际组织都不采用华氏温标。

(8) 比容 单位质量所占的体积叫比容。法定单位：立方米每千克， m^3/kg

(9) 密度 单位体积所占的质量叫密度。法定单位：千克每立方米， kg/m^3

(10) 流量 流体在单位时间内流过设备或管道某处横截面的数量。它可以用体积流量或质量流量两种方法表示。

(11) 物质的量 物质的量用 mol 表示，物质的量等于其物质的分子量，如笑气的分子式为 N_2O ，氮的原子量为 14，氧的原子量为 16，所以笑气的分子量为： $2\times 14+16=44$ ， 1mol 的气体为 22.4L，即 44g 的笑气标准状态下体积为 22.4L。

根据以上常用参数的介绍，表 1-1 列出了部分气体参数举例。

表 1-1 部分常用气体参数

介质名称	气液容积比	液体密度/(kg/L) (括号中为温度/ $^{\circ}\text{C}$)	标准状态下气体密度 (kg/m^3)	产量/(t/d)与/(m^3/h) 的换算数
氧	800	1.14(-183)	1.43	29.13
氮	640	0.8(-196)	1.25	33.3
氩	770	1.37(-186)	1.78	23.4
氟	215	1.2(-246)	5.85	7.1
氦	702	0.125(-269)	0.178	234
氢	786	0.07(-252)	0.089	468
甲烷	519	0.4(-161)	0.715	54
氪	584	2.16(-146)	3.7	
二氧化碳	585	1.155(-50)	1.976	21
一氧化碳	677	0.846(-191)	1.25	
一氧化二氮(笑气)	620	1.226(-89)	1.978	21
氙	523	3.06(-107)	5.85	13.6
六氟化硫	336	2.188(-50.8)	6.52	
丙烷	291	0.58(-44.2)	2	
环氧乙烷	495	0.887(10.45)	1.795	
氯	458	1.5(-34)	3.27	
氨	885	0.683(-34)	0.771	
乙炔	523	0.613(-80)	1.17	
乙烯	454	0.568(-103.6)	1.26	

四、气体热力性质图

1. 液体汽化过程

气体由液态到气态的过程采用公式计算是很困难的，这不仅因为蒸气是实际气体，状态方程要比理想气体复杂得多，而且蒸气在状态变化过程中，往往还要涉及相变。因此，通常在计算中一般都采用查图标的方法，即将气体的各个状态参数间的关系根据试验数据绘在状态坐标上，通过图解进行计算，大都可一目了然，容易掌握和应用，不用计算便可在图上读

出结果，而且还可以直观地分析过程及实质。

图 1-5 给出物质从液体、湿蒸气到过热蒸气的气化过程，此过程为一个假定的能自由移动上盖的恒压封闭容器，里面的液体为液氧，液氧的沸点（101.325kPa）为 90K，当温度控制在 80K 时，其过冷度为 10K，即为状态(a)，是过冷液。当温度加热到 90K 时，即为状态(b)，是饱和液，尚未开始气化。此时，给液体继续加热，液体分子部分变成蒸气分子，使液体分子变成蒸气分子所需的热量（用来增加分子的位能）叫汽化潜热。在图中即为状态(c)，称为湿蒸气，蒸气增多使体积膨胀，但温度维持不变，这种温度称为饱和温度，其状态为气液混合物，此时，液体分子变成蒸气分子的分子数目与蒸气分子变成液体分子的分子数目相同，也称为饱和，其温度也称为饱和温度。经继续加热，液体全部变成蒸气但温度仍维持为饱和温度，此时的蒸气叫干饱和蒸气或饱和蒸气，这就是图 1-5 中的状态(d)。干饱和蒸气经继续加热，其温度超过了饱和温度，就是图 1-5 中的状态(e)，过热蒸气。液化过程完全是气化过程的逆过程，气体开始是过热蒸气，随着温度的降低，过热度减小，最后降到饱和温度时形成饱和蒸气，液化过程开始，在液化阶段中，温度将维持饱和温度不变，但一定要继续放出热量才能继续液化，由饱和蒸气全部变成饱和液体所放出的热叫冷凝潜热，在数值上等于汽化潜热，如果饱和液体继续冷却，则形成过冷液体。

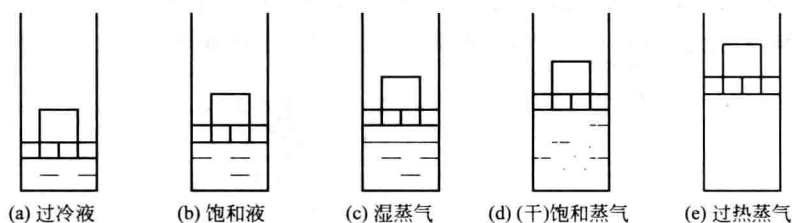


图 1-5 液氧的汽化过程

2. 温熵图

整个汽化过程或液化过程可以在图 1-6 状态坐标图上表示，如果以温度 T 为纵坐标，以熵 S 为横坐标，在图上一个点可以表示一个状态，如图所示，图中 a 点表示过冷液氧，它所对应的温度为 80K。加热过程是熵值增大的过程，同时温度也在升高，该阶段应是一条向右上方倾斜的曲线。当液体温度达到饱和温度（90K）后，气化阶段开始，图中 b 点表示饱和液体点，在气化阶段温度保持不变，但需要吸收热量，即熵应增加，图中 $S_d - S_b$ 表示汽化潜热，所以在 $T-S$ 图上为一条水平线，直至液体全部气化成饱和蒸气的状态，即 d 点，线段 bd 表示了气化过程，在该线上的 c 点表示湿蒸气（气液混合物）。越靠近 d 点表示蒸气的含量越多。当液体全部变成饱和蒸气后，如果对气体继续加热（熵增加），温度又开始升高，所以过热阶段在 $T-S$ 图上表示为一条向右上方倾斜的曲线即 de 。由此可见定压（恒压）气化过程在 $T-S$ 图上表示是由三条折线构成，这条线是一条等压线（图中表示的是 $p=1$ 绝对大气压）。在不同的压力下画出等压线有不同的 d 点，连接起来构成了蒸气饱和线；同样，在不同的压力下有不同的 b 点，连接起来构成了液体饱和线，蒸气饱和线和液体饱和线的交点称为临界点，此图的纵坐标为温度，横坐标为熵，所以称为温熵图，如图 1-7 所示。

温熵图的特点是：①每一物质都有自己的温熵图；②温熵图可以表示出物质的气态区、液态区和气液混合区（有的还可表示出固态区）；③通过临界点的温度叫临界温度，通过临界点的压力叫临界压力。临界温度以下，液体饱和线以左的物质为液体，在液体饱和线和蒸

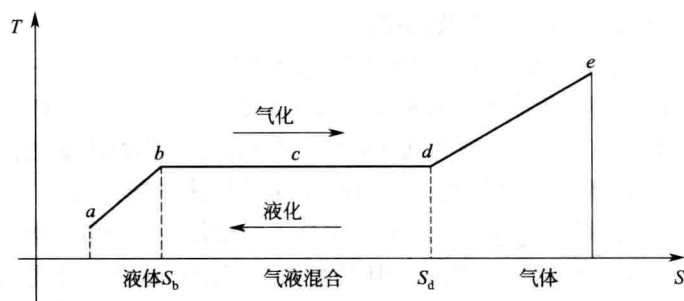


图 1-6 液氧汽化状态坐标图

气饱和和线包围下的物质为气液混合态，在蒸气饱和线以右及临界温度以上的部分为气态；④任何物质在临界温度以上，不管压力有多大，也不会变成液体，只有在临界温度以下，气体才有可能变成液体；⑤在常温时气体从高压向低压通过节流阀节流时气体会降温（有些气体如氦、氖气除外），其降温幅度参照图中的等熵线；⑥液态气体从高压向低压通过节流阀节流时，如节流在气液混合区内（如经过 c 点的等熵线），其液体部分气化，气液比例为线段 bc /线段 cd ；⑦物质从过冷液体点 a 加热到饱和液体点 b ，之后又加热到气液混合物点 c ，再往上是饱和蒸气点 d ，直至过热蒸气点 e ，从温熵图上看，是熵在增加，也可以说 $\Delta S > 0$ 是吸热，即液体气化为气体；反之 $\Delta S < 0$ 是放热，即气体被液化； $\Delta S = 0$ 时为绝热过程。

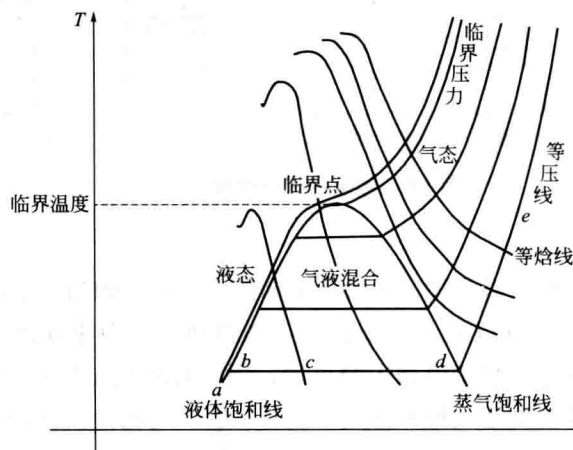


图 1-7 温熵图

按照上面的试验真实地用液氮进行测试可得出图 1-8 氮的温熵图，用此图可以在实际操作中，根据其状态温度和压力判断氮是在气态、液态还是在气液混合态。

如图 1-9 所示是二氧化碳的温熵图，可以在实际操作中，根据其温度和压力判断二氧化碳是在气态、液态、气液混合态还是固态区域。

在二氧化碳的纯化装置中，当二氧化碳在常温、高压、等熵节流时，由于操作不当，气态二氧化碳节流到固态区，有固体出现，会逐渐地堵塞管路，所以可从此图中找到原因。同时此图也为二氧化碳配气提供参考，根据二氧化碳在气瓶中的分压和瓶中气体的温度，可以判断二氧化碳的状态，如果二氧化碳已有液体产生，会影响配气的准确性。又如《焊接绝热气瓶充装规定》第 5.5 条：充液前应用二氧化碳气体加压至 0.8MPa 以上，并在充装过程中持续保持气瓶内压力不低于 0.8MPa。气态二氧化碳增压至 0.8MPa 以上，以防止液态二氧