

李训仁 文树德 编著

Qiti Chongzhuang ji Qiping Jianyan Shiyong
Anquan Jishu

气体充装及气瓶检验使用 安全技术



湖南大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

气体充装及气瓶检验使用安全技术/李训仁等编著.

长沙: 湖南大学出版社, 2001. 6

ISBN 7-81053-375-4

I. 气... II. 李... III. ①压力容器-充气-安全技术②压力容器-检验 IV. TH49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 036750 号

气体充装及气瓶检验使用安全技术

Qiti Chongzhuang ji Qiping Jianyan Shiyong Anquan Jishu

李训仁 文树德 编著

责任编辑 马 力

出版发行 湖南大学出版社

社址 长沙市岳麓山 邮码 410082

电话 0731-8821691 0731-8821315

经 销 湖南省新华书店

印 装 湖南航天长宇印刷有限责任公司

开本 787×1092 16开 印张 25.5 字数 695千

版次 2001年6月第1版 2001年6月第1次印刷

印数 1-4 000册

书号 ISBN 7-81053-375-4/TH·8

定价 38.00元

(湖南大学版图书凡有印装差错, 请向承印厂调换)

前 言

随着科学技术的进步、国民经济的不断发展和人民生活水平的提高，瓶装气体的种类和气瓶的使用量日益增多，盛装气体的气瓶遍布工矿、企事业单位及家庭，尤其是数千万液化石油气瓶已进入城乡千家万户。

各种不同的气体具有不同的物理化学特性，因此瓶装气体在充装、储运、使用中有不同的技术要求。气瓶每使用一段时间都应进行全面的检验，鉴定其优劣程度及安全状况，以确保气瓶在运行使用中的安全。以往气瓶事故常有发生，给人民生命财产造成了极大的损失。事故发生的原因是多方面的，但大多数事故是因为充装、检验、使用及管理人员未掌握气体或气瓶方面的安全技术知识，未严格执行《气瓶安全监察规程》及相关的气瓶标准所引发的。

为吸取各类气瓶典型事故教训，正确理解与贯彻实施《气瓶安全监察规程》与相关标准。我们在1987年编著的《气体充装及气瓶检验使用安全技术》一书的基础上，经过修订和补充，编成了本书。我们希望本书对从事气体充装、使用及气瓶检验、管理的人员掌握气体或气瓶方面的安全技术知识有所帮助。

本书包括基础知识、瓶装气体、钢质气瓶、气体充装、气瓶定期检验与评定、瓶装气体安全使用、法规与技术标准、气瓶事故及事故调查分析处理等内容。可概括为如下六方面主要内容：

(1) 国际和国内气体工业与气瓶制造产业的兴起和发展概况，我国气体工业及造瓶产业的现状与发展方向；

(2) 常用气体主要理化性质、用途、制取方法、危害与防护；国内80种单一气体的分类；混合气、特种气的发展趋势；

(3) 气体充装站及气瓶检验站应具备的“硬件”与“软件”条件，质量保证体系要求，《质量保证手册》编制原则、格式及内容要求；

(4) 永久气体、液化气体、液化石油气、溶解乙炔的充装程序、充装操作要点、安全注意事项；钢质无缝气瓶、钢质焊接气瓶、液化石油气瓶、溶解乙炔气瓶、铝合金无缝气瓶、机动车用液化石油气瓶、汽车用压缩天然气瓶等7种气瓶的定期检验与评定；

(5) 各种气体的供气方法、安全使用技术、使用中可能发生的问题与处理；

(6) 损失与破坏严重的各类气瓶的典型事故案例，近年来发生的恶性气瓶事故，事故频繁的氢与氧混合爆炸及其爆炸机理、引爆条件、事故成因、预防对策等。

本书附有气瓶方面的最新版本的常用法规及部分技术标准，以便于操作人员和管理人员查阅。

全书贯穿“安全技术”这一主题，既重视理论的探讨，同时注重实际运用，深入浅出，图文并茂，是各类气体生产充装人员、各种气瓶检验（含充装前检查）人员、各种瓶装气体

使用(含民用液化石油气使用)人员及瓶装气体的营销、储运等管理与操作人员自学和安全培训的实用性教材,同时,可供安全监察、造气充装及瓶检、储运单位的工程技术人员和管理人员借鉴与参考。

作者编著本书时,得到湖南省质量技术监督局段方英、周本棣、方武元、谭晶、罗纳晚、舒明煌、范海涛、彭巍等同志的支持与帮助,在此表示衷心的感谢。

由于本书内容较多,涉及面较广,加之作者水平有限,错误和不当之处在所难免,希望广大读者批评指正。

编 著 者

2001年5月

目 次

第一章 基础知识	
第一节 基本概念	(1)
一、分子与原子	(1)
二、压强	(1)
三、温度	(3)
四、质量	(4)
五、体积	(4)
六、比容与密度	(5)
七、物质的量	(5)
第二节 物质的状态	(8)
一、物质状态的变化	(8)
二、相平衡	(8)
三、临界状态	(9)
四、气体的基本定律	(10)
第三节 常用术语与定义	(14)
一、金属材料性能术语	(14)
二、气体充装术语	(16)
三、气瓶检验术语	(20)
第二章 瓶装气体	
第一节 气体工业的兴起与发展	(26)
一、国际上气体工业的产生与发展简介	(26)
二、我国气体工业发展概况	(29)
第二节 瓶装气体的分类	(30)
一、分类标准	(30)
二、单一气体	(31)
三、混合气与特种气	(32)
第三节 瓶装气体的危险特性	(33)
一、瓶装气体的特殊性	(33)
二、燃烧性与爆炸性	(34)
三、毒性与腐蚀性	(39)
第四节 常用气体的主要理化性质、用途、制取方法及危害与防护	(41)
一、永久气体	(41)
二、液化气体	(51)
三、溶解气体	(62)
第三章 钢质气瓶	
第一节 气瓶制造业的兴起与发展	(67)
一、国际上气瓶制造业发展简介	(67)

二、我国气瓶制造业发展概况	(69)
第二节 气瓶的分类	(73)
一、从结构上分类	(73)
二、从材质上分类	(74)
三、从用途上分类	(76)
四、从制造方法上分类	(76)
五、从承受压力上分类	(76)
六、从使用要求上分类	(77)
七、从形状上分类	(77)
第三节 气瓶的结构型式	(77)
一、无缝气瓶典型结构型式	(77)
二、焊接气瓶典型结构型式	(77)
第四节 气瓶的主要技术参数	(80)
一、公称工作压力	(80)
二、公称容积与直径	(81)
第五节 气瓶附件	(83)
一、瓶帽	(83)
二、瓶阀	(84)
三、安全装置	(88)
四、防震圈	(91)
第六节 颜色标志与钢印标志	(93)
一、气瓶的颜色标志	(93)
二、气瓶的钢印标志	(96)
三、气瓶的检验色标	(97)
第四章 气体充装	
第一节 气体充装站应具备的基本条件	(99)
一、技术力量	(99)
二、厂房、工艺装备与安全防护设施	(99)
三、质量保证体系与规章制度	(101)
第二节 充装前对气瓶的检查与处理	(101)
一、充装前检查与处理的重要意义	(101)
二、充装前对气瓶检查的内容与项目	(101)
三、充装前对气瓶检查或处理的工艺流程与检查方法	(107)
第三节 永久气体的充装	(109)
一、基准温度与最高工作温度	(109)
二、温升压力	(110)
三、充装量、充装压力和充装温度	(110)
四、充装操作要点及注意事项	(112)
五、永久性气体液态充装与贮运	(114)
第四节 液化气体的充装	(119)
一、充装系数	(119)
二、低压液化气体气瓶充装量的计算	(121)
三、高压液化气体气瓶充装量的计算	(122)

四、充装操作要点及注意事项	(122)
五、液化气体过量充装的危险性	(125)
第五节 液化石油气的充装	(127)
一、充装量	(127)
二、残液处理	(128)
三、对充装的安全要求	(129)
四、充装操作方法、流程及操作要点	(130)
第六节 溶解乙炔气的充装	(132)
一、乙炔充装的特殊性	(132)
二、工艺流程及其充气装置	(133)
三、乙炔充装操作要点	(133)
四、乙炔充装中的注意事项	(139)
第五章 气瓶的定期检验与评定	
第一节 气瓶定期检验站必须具备的基本条件	(142)
一、人员条件	(142)
二、基本设施与检测装备器具	(142)
三、质量保证体系及管理制度与规章	(143)
四、气瓶定期检验站主要职责	(144)
第二节 定期检验的意义、检验周期与检验项目	(144)
一、检验的目的和意义	(144)
二、各类气瓶定期检验周期与检验项目	(145)
第三节 钢质无缝气瓶定期检验与评定	(146)
一、国内外典型无缝气瓶的识别与辨认	(146)
二、检验前的准备	(151)
三、无缝气瓶定期检验工艺流程和检验记录	(154)
四、瓶口螺纹检查	(157)
五、内外表面检查	(158)
六、音响检查	(160)
七、重量与容积测定	(161)
八、水压试验与容积残余变形率测定	(162)
九、壁厚测定与强度校核	(172)
十、瓶阀检验与装配	(176)
十一、内部干燥与气密性试验	(177)
十二、综合评定与检验结论	(180)
十三、检验后的工作	(181)
第四节 钢质焊接气瓶定期检验与评定	(182)
一、检验前的准备工作	(182)
二、检验工艺流程和检验记录	(182)
三、内外表面检查	(182)
四、焊缝检查	(185)
五、壁厚测定	(185)
六、容积测定	(186)
七、耐压试验	(187)

八、附件检查	(187)
九、气瓶内部干燥及气密性试验	(187)
十、综合评定与检验结论	(189)
十一、检验后的工作	(189)
第五节 液化石油气瓶定期检验与评定	(189)
一、检验前的准备	(189)
二、工艺流程与检验记录	(191)
三、外观初检	(192)
四、瓶阀的检查与试验	(194)
五、瓶阀座检查	(195)
六、实际容积测定	(195)
七、耐压试验(或残余变形率测定)	(195)
八、外表面除锈	(196)
九、外观复检与焊缝检查	(196)
十、壁厚检验	(197)
十一、安装瓶阀和检验标记环	(197)
十二、气密性试验	(197)
十三、检验后的工作	(198)
第六节 溶解乙炔气瓶定期检验与评定	(199)
一、典型溶解乙炔气瓶的辨认与识别	(199)
二、工艺流程与检验记录	(199)
三、检验前的准备	(201)
四、外观检验	(203)
五、焊缝检验	(205)
六、卸瓶阀及阀座、塞座检验	(205)
七、填料检验	(206)
八、壁厚测定	(207)
九、附件检查	(208)
十、瓶口填充物及瓶阀的装配	(208)
十一、气压试验	(209)
十二、综合评定	(210)
十三、检验后的工作	(210)
第七节 其他气瓶定期检验与评定	(210)
一、铝合金无缝气瓶定期检验与评定	(210)
二、机动车用液化石油气钢瓶定期检验与评定	(213)
三、汽车用压缩天然气钢瓶定期检验与评定	(214)
第六章 瓶装气体的安全使用	
第一节 安全使用的重要意义	(216)
第二节 永久气体的安全使用	(217)
一、对从事气体与气瓶操作及管理人员进行专业培训	(217)
二、永久气体的供气方式	(217)
三、汇流排管道供气装置	(217)
四、单瓶供气使用的安全注意事项	(219)

第三节 液化气体的安全使用	(220)
一、液氯使用安全技术	(220)
二、其他液化气体安全使用要求	(222)
第四节 液化石油气的安全使用	(223)
一、液化石油气供气方式	(223)
二、常用的燃气器具	(223)
三、液化石油气使用安全常识	(227)
四、液化石油气使用中常见故障原因及处理方法	(229)
第五节 溶解乙炔气的安全使用	(230)
一、溶解乙炔使用安全规定	(230)
二、溶解乙炔使用中可能发生的事故	(230)
三、溶解乙炔气体汇流排	(231)
四、乙炔减压器与回火阻止器的结构、工作原理及故障处理	(232)
第七章 安全法规与技术标准	
第一节 国家有关部门对气瓶的安全监察管理法规	(235)
一、新中国成立以后对气瓶安全监察的第一个立法	(235)
二、《气瓶安全监察规程》沿革	(236)
三、溶解乙炔气体及其气瓶的安全监察规程与文件	(240)
第二节 全国气瓶标准化组织和气瓶系列技术标准	(241)
一、全国气瓶标准化技术委员会	(241)
二、气瓶系列技术标准的制定与修订	(241)
第三节 气体充装站和气瓶检验站规范管理	(243)
一、充装站存在的主要问题	(244)
二、气瓶定期检验站存在的主要问题	(244)
三、“两站”的正常运行与管理	(245)
第四节 气瓶改装的危险性	(246)
一、用户自行改装造成的混乱	(246)
二、气瓶改装的利与弊	(247)
三、气瓶必须专用，不得改装	(247)
第五节 瓶装气体的运输与储存	(248)
一、瓶装气体运输中存在的主要问题	(248)
二、短途搬运的安全注意事项	(249)
三、长途运输瓶装气体的安全要求	(249)
四、运输途中异常情况的应急处理措施	(250)
五、气体储存	(251)
第八章 气瓶事故及事故调查分析处理	
第一节 气瓶事故原因与对策	(255)
一、常见的气瓶事故原因及预防措施	(255)
二、一组气瓶事故统计数据	(256)
三、氢氧混合爆炸及其预防	(257)
第二节 典型气瓶事故案例	(261)
一、无缝气瓶事故	(261)
二、焊接气瓶事故	(267)

三、溶解乙炔气瓶事故及乙炔生产充装火灾爆炸事故	(272)
四、液化石油气钢瓶事故	(277)
第三节 瓶装气体爆炸威力	(282)
一、永久气体爆炸能量	(282)
二、液化气体爆炸能量	(283)
三、可燃性气体器外二次爆炸能量	(284)
四、气瓶爆炸破坏力估算	(284)
第四节 气瓶事故的调查分析与处理	(287)
一、事故调查分析方法	(287)
二、典型事故调查分析举例	(289)
三、事故报告	(291)
参考文献	(295)
附录一 安全监察法规	(297)
I 气瓶安全监察规程	(297)
II 溶解乙炔气瓶安全监察规程	(314)
附录二 充装站检验站安全技术标准	(324)
I 气瓶定期检验站技术条件 (GB 12135-1999)	(324)
II 永久气体气瓶充装站安全技术条件 (GB 17264-1998)	(327)
III 液化气体气瓶充装站安全技术条件 (GB 17265-1998)	(330)
IV 溶解乙炔气瓶充装站安全技术条件 (GB 17266-1998)	(333)
V 液化石油气瓶充装站安全技术条件 (GB 17267-1998)	(336)
附录三 充装标准	(341)
I 液化气体气瓶充装规定 (GB 14193-1993)	(341)
II 永久气体气瓶充装规定 (GB 14194-1993)	(348)
III 溶解乙炔充装规定 (GB 13591-1992)	(354)
附录四 主要检验与评定标准	(360)
I 钢质无缝气瓶定期检验与评定 (GB 13004-1999)	(360)
II 钢质焊接气瓶定期检验与评定 (GB 13075-1999)	(365)
III 溶解乙炔气瓶定期检验与评定 (GB 13076-1991)	(370)
IV 液化石油气钢瓶定期检验与评定 (GB 8334-1999)	(379)
V 气瓶水压试验方法 (GB/T 9251-1997)	(384)
VI 气瓶气密性试验方法 (GB 12137-1989)	(395)

第一章 基础知识

第一节 基本概念

一、分子与原子

构成物质且保持这种物质性质的最小微粒叫分子。观察和试验研究表明，一切物质，包括固体、液体和气体都由分子组成。分子由更小的微粒——原子组成。在一定条件下分子能够分解成原子，但分解后的原子将不保持原物质的性质。有些物质，如惰性气体氦、氖、氩等，它们的分子是由单个原子组成的，叫单原子分子；有些物质，如氢、氧、一氧化碳、氯等，它们的分子是由两个原子组成的，叫做双原子分子；由两个以上原子组成的分子叫做多原子分子，如二氧化碳、二氧化硫、乙炔、丙烷等都是多原子分子。

在化学中，把性质相同的同一种类原子叫做元素。元素就是同种原子的总称。

化学中采用一定的字母符号来表示各种元素，称作元素符号，用元素符号来表示物质分子组成的式子，叫做分子式。例如：氩的分子式是 Ar，氮的分子式是 N_2 ，二氧化碳的分子式是 CO_2 ，丙烷的分子式是 C_3H_8 等等。

尽管原子很小，但原子真实地存在着。如果我们以一个碳原子质量的 $1/12$ 作为标准比较而得的相对质量叫做相对原子质量的话，那么，相对分子质量就是组成这种分子的所有原子的相对原子质量的总和。正因为它们都是相对的，所以相对原子质量和相对分子质量都是没有单位的。如氧的相对分子质量是 32，氩的相对分子质量是 39.9。

我们知道，气体分子间是不连续的，彼此间存在着间隙。如在温度 0°C 、压力 101.325 kPa 状态下，气体分子的总体积只占气体体积的万分之四，即体积为 10 L 的气体，其气体分子总体积只有 4 cm^3 ，其余 $9\ 996\text{ cm}^3$ 都是空隙。例如永久气体，当我们对其压缩时，减少的只是气体分子间的空隙和平均距离。

101.325 kPa 压力下的 6 m^3 的氧气，压缩到 14.7 MPa 充装到公称容积 40 L 的标准氧气钢瓶内时，其氧气体积已压缩到原体积的 $1/150$ ，这只能说明此时氧分子间的间隙减少了。

二、压强

1. 气体压强的概念

气体对气瓶或其他容器内壁的压力，是由于运动着的气体分子撞击器壁而产生的。虽然每个气体分子对器壁的撞击是不连续的，而且作用力也很小，但是由于气体分子的数量非常大，它们不停地撞击器壁就产生了持续的、数值相当大的压力。

决定气体压强大小的因素有两个：第一，压强跟气体压缩程度有关，也就是说跟单位体积内的分子数或气体的密度有关；第二，气体压强跟它的温度有关，因温度的升高标志着气体分子运动速度的增加，速度大了，分子撞击器壁的次数也随着增加，所产生的作用力也随之增大。

“单位面积上所承受的均匀分布并垂直于这个面积上的作用力称为压强。”用公式表示：

$$p = \frac{F}{A} \quad (1-1)$$

式中 p ——压强, Pa;

F ——均匀垂直作用力, N;

A ——受压面积, m^2 。

“均匀垂直作用在物体表面上的力, 通常称作压力。”

在物理学中, “压力”与“压强”是两种不同的物理量。它们的量纲不同, 所用的单位也不一样。可是长期以来, 在工程技术上及日常生活中, 却常把压强称作压力。故此, 本书以后提到的压力, 实际上是指压强。

2. 压力的法定计量单位

根据 GB 3102 及国务院 1984 年 2 月 27 日颁布的《关于在我国统一实行法定计量单位的命令》, 规定压力的计量单位名称为: 帕〔斯卡〕, 单位符号为“Pa”, 它的定义是: $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$ 。

在工程上, 帕〔斯卡〕Pa, 显得太小而很少使用, 常用千帕 (kPa)、兆帕 (MPa)。

$$1000 \text{ Pa} = 10^3 \text{ Pa} = 1 \text{ kPa};$$

$$1000000 \text{ Pa} = 10^6 \text{ Pa} = 1 \text{ MPa}。 [1 \text{ MPa} = 1 \text{ N/mm}^2]$$

3. 常见的几种压力单位及其换算

由于压力 (压强) 单位中力和受压面积的取用不同, 历史上出现了各种不同的压力单位。目前, 在我国气体与气瓶行业中, 常见的压力单位主要有:

(1) 标准大气压: 标准大气压又称物理大气压。单位符号: “atm”。它是地心引力对大气层作用的结果。物理学上把纬度 45° 的海平面上常年的平均空气压力定为 1 atm 。它与 Pa 的关系是: $1 \text{ atm} = 101325 \text{ Pa} = 101.325 \text{ kPa} = 0.101325 \text{ MPa}$ 。

(2) 工程大气压: 工程大气压又称公制大气压。单位符号: “at”。其定义是均匀作用于 1 cm^2 面积上的力为 1 kg 时的压强值。工程大气压有绝对压力 (简称“绝压”) 和表压力 (简称“表压”) 之分。习惯上绝压以符号 “ $\text{kgf/cm}^2 \cdot A$ ” 表示; 略号为 “ata”; 表压以符号 “ $\text{kgf/cm}^2 \cdot G$ ” 表示, 略号为 “ $\text{at}_{(表)}$ ”。①

绝压以压力等于零为测量起点, 而表压从当地当时的大气压力为测量起点, 实际上是相对压力, 更简单粗略地说, 表压就是用压力表测出的压力。若把当地当时的大气压力近似地取作 1 kgf/cm^2 时, 绝压 ata 与表压 $\text{at}_{(表)}$ 的关系是:

$$\text{ata} = \text{at}_{(表)} + 1;$$

$$\text{at}_{(表)} = \text{ata} - 1。$$

工程大气压 at 与 Pa 的关系是:

$$1 \text{ at} = 9.80665 \times 10^4 \text{ Pa} = 0.0980665 \text{ MPa}。$$

(3) 巴: “巴”的压力单位在东欧普遍采用, 其单位符号为 “bar”, 巴在国际单位制 ISO 中允许使用, 但在我国法定计量单位中不予使用。

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} = 100 \text{ kPa} = 0.1 \text{ MPa}。$$

(4) 英制大气压: 英制大气压是工程大气压的一种, 单位符号: “ Lbf/in^2 ”, 惯用符号 “psi” 或 “ $\#/\square$ ”, 其定义是: 均匀作用于 “1 平方英寸面积上的力为 1 磅时的压强”, 英制

① 工程大气压单位符号为 “at”, 为了区别起见, 工程大气压表压以 “ $\text{at}_{(表)}$ ” 表示。

大气压在英、美及英联邦国家普遍采用。它也有绝压 ($psia$) 和表压 ($psig$) 之分, LBF/in^2 与 Pa 的关系是:

1. $LBF/in^2 = 6.894 \cdot 76 Pa = 0.00689476 MPa$ 。

(5) 其他压力计量单位: 上述压力计量单位外, 在造气及气瓶行业与日常生活中, 压力计量单位还有:

毫米水柱: 单位符号: mmH_2O 。

1 $mmH_2O = 9.80665 Pa$ 。

毫米汞柱: 单位符号: $mmHg$ 。

1 $mmHg = 133.322 Pa = 0.133322 kPa$ 。

毫巴: 单位符号: $mbar$ 。

1 $mbar = 100 Pa$ 。

有关压力单位换算, 请见表 1-1。

表 1-1 强度(应力)及压力(压强)单位换算表

牛/毫米 ² (N/mm^2) 兆帕 (MPa)	千克力/毫米 ² (kgf/mm^2)	千克力/厘米 ² (kgf/cm^2)	千磅力/英寸 ² ($1000LBF/in^2$)	英吨力/英寸 ² ($tonf/in^2$)	帕(Pa) 牛/米 ² (N/m^2)	千克力/厘米 ² (kgf/cm^2)	磅力/英寸 ² (lbf/in^2)	毫米水柱 (mmH_2O)	毫巴 ($mbar$)
1	0.101972	10.1972	0.145038	0.064749	1	0.00001	0.000145	0.101972	0.01
9.80665	1	100	1.42233	0.634971	98066.5	1	14.2233	10000	980.665
0.098067	0.01	1	0.014223	0.006350	6894.76	0.070307	1	703.70	68.9476
6.89476	0.703070	70.3070	1	0.446429	9.80665	0.000102	0.001422	1	0.098067
15.4443	1.57488	157.488	2.24	1	100	0.001020	0.014504	10.1972	1

注: 1. 牛/毫米²、帕是法定单位, 其余是非法定单位。

2. 1 帕 = 1 牛/米² (N/m^2); 1 兆帕 (MPa) = 1 牛/毫米²;

3. 1 千克力/毫米² = 9.80665 兆帕 \approx 10 兆帕。

4. 1 巴 (bar) = 0.1 兆帕。巴在国际单位制中允许使用。

5. 1 标准大气压 (atm) = 101325 帕 \approx 0.1 兆帕。

6. 1 工程大气压 (at) = 1 千克力/厘米² = 0.0980665 兆帕 \approx 0.1 兆帕。

7. “磅力/英寸”符号也可以写成“ psi ”; “千磅力/英寸²”符号也可以写成“ ksi ”。

8. 1 毫米汞柱 ($mmHg$) = 133.322 帕。

三、温度

表示物体冷热程度的物理量称为温度。以热力学观点来看, 温度是物体分子平均动能的标志。温度越高, 表示分子的平均动能越大; 温度越低, 表示分子的平均动能越小。

测量温度的仪器叫温度计。常见的有水银温度计、酒精温度计、电阻温度计、热电偶温度计等。测定温度就需要首先制定测量温度高低的温度标准, 即平常所说的“温标”。

1. 华氏温标

华氏温标出现早, 是 1714 年由德国物理学家华伦海特利用物体受热后体积膨胀的性质建立起来的, 即在标准大气压 ($101.325kPa$) 下, 以水银作温度计内的工作介质, 并将冰融点定为 32 度, 水沸点定为 212 度, 两点之间划成 180 格, 每格即为 1 华氏度。以符号“ F ”表示。华氏温标在英美等国普遍采用。

2. 摄氏温标

摄氏温标是我国法定的温度计量单位，是1742年由瑞典天文学家摄尔休斯提出的。摄氏温度计的工作原理、温度计内的工作介质与华氏温度计相同，不同的是摄氏温标把冰融点定为0度，水的沸点定为100度，两点之间等分100格，每格称为1摄氏度。摄氏温标单位名称为“摄氏度”，单位符号：“℃”。

3. 热力学温标

宇宙中温度的下限大约是 -273°C ，这个温度叫绝对零度，在地球上，要使温度降低到接近绝对零度需要极复杂的技术。

1848年，英国物理学家威廉·汤姆逊·开尔文创立了把 -273°C 作为零度的温标，叫做热力学温标（或绝对温标），用热力学温标表示的温度，就是热力学温度（或称绝对温度）。

热力学温度是国际单位制中七个基本量之一。用符号“ T ”表示。它的单位是“开尔文”，中文代号是“开”，国际代号是“K”。现在国际上公认的热力学温度的零度（即绝对零度）是 -273.15°C 。就每一度的大小来说，热力学温度和摄氏温度是相同的。

4. 温度之间的换算关系

若用 t [℃]表示摄氏温度，用 t [°F]表示华氏温度，用 T [K]表示热力学温度，则三者之间的换算关系如下：

$$\begin{aligned}t\ (^{\circ}\text{C}) &= \frac{5}{9} \times [t\ (^{\circ}\text{F}) - 32] \\ &= T\ (\text{K}) - 273.15.\end{aligned}\quad (1-2)$$

$$\begin{aligned}t\ (^{\circ}\text{F}) &= \frac{9}{5} \times t\ (^{\circ}\text{C}) + 32 \\ &= \frac{9}{5} \times [T\ (\text{K}) - 273.15] + 32.\end{aligned}\quad (1-3)$$

$$\begin{aligned}T\ (\text{K}) &= t\ (^{\circ}\text{C}) + 273.15 \\ &= \frac{5}{9} \times [t\ (^{\circ}\text{F}) - 32] + 273.15.\end{aligned}\quad (1-4)$$

四、质量

质量是我国法定计量单位的七个基本单位之一。质量是表示物质多少的物理量。量的符号“ m ”，单位名称“千克（公斤）”，单位符号：“kg”。

“公斤”作为“千克”的同义词，这是因为“公斤”已使用得十分广泛。但使用中宜使用“千克”为好。因为“千克”与它的单位符号书写以及单位的构成是协调一致的，至于“公两”“公钱”应当杜绝使用；“千克”前面不允许带任何词头。例如不允许出现“千千克”（kkg）、“兆千克”（Mkg）等单位名称，也不允许出现“毫千克”（mkg）等。

根据国际计量委员会1967年的建议，如需加词头，必须加到“克”字的前面，且只允许加一个词头，例如2 000千克可写成2兆克（2 Mg）；0.000 002千克可以写成2毫克（2 mg）等等。

“重量”是质量的同义词。正如《国际标准 ISO32/Ⅲ-1978 (E)》所指出的：“‘重量’一词常用来指质量。”在日常工作与生活中，人们习惯把质量叫作重量。例如：公称容积40 L的无缝气瓶，重量约55 kg左右；公称容积40 L的溶解乙炔瓶，充装乙炔重量5~7 kg。但在推行法定计量单位时，一般推荐使用“质量”。不宜使用重量。以避免“重量”与“重力”混淆。

五、体积

体积量的符号“ V ”，单位名称“立方米”或“升”，单位符号“ m^3 ”或L。

“立方米”单位符号 m^3 是 SI 导出单位，单位符号 L 是我国法定计量单位。一般说来“升”本应用小写字母“l”，但“l”常常与数字“1”混淆。为便于区别，便改用大写字母“L”，这样，“升”暂并用两个符号。

“升”可作为 dm^3 的专用名称，其换算关系是 $1 L = 1 dm^3 = 10^{-3} m^3$ 。

过去，有人把“升”称作“立升”“公升”，是错误的。应予废止。

在气瓶标准和技术文件中，常见到各类气瓶的公称容积。如无缝瓶的公称容积从 0.4 L 直至 3 000 L，以 40 L 较普遍；焊接气瓶中从 10 L 直到 1 000 L 不等；溶解乙炔瓶以公称容积 40 L 为常见；液化石油气瓶公称容积从 118 L、35.5 L、23.5 L、12 L 直到小至 4.7 L、1.2 L 的。在这里我们可以把气瓶“容积”理解为“容纳气体的体积”。因我国颁布的法定计量单位中没有“容积”这一项。

六、比容与密度

1. 比容

比容是确定物质状态的基本参数之一。其定义：单位质量占有的体积。通常用“ ν ”表示。常用单位 m^3/kg (L/g)。计算式：

$$\nu = \frac{V}{m} \quad (1-5)$$

式中 ν ——比容，单位为 m^3/kg (L/g)；

V ——体积，单位为 m^3 或 L；

m ——质量，单位为 kg 或 g。

2. 密度

密度是指单位体积的物质具有的质量，通常用符号“ ρ ”来表示，常用的单位有 kg/m^3 或 g/L 。它是比容的倒数，计算式：

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1-6)$$

式中 ρ ——物质的密度， kg/m^3 或 g/L ；

m ——物质的质量，kg 或 g；

V ——物质的体积， m^3 或 L。

七、物质的量

构成物质的微粒是分子、原子等，单个这样的微粒是肉眼看不到的，也难于称量。但实验室使用的物质，不论是单质，还是化合物，都是可以称量的，而生产上取用的物质其用量更大，常以吨计。物质之间的反应既是按一定的个数，即肉眼看不到的分子或原子来进行，而实践上又是以可以称量的物质进行反应，因此，很需要把微粒与可称量的物质联系起来。

怎样联系呢？就是要建立物质的量这样一个单位，其单位名称叫摩 [尔]，单位符号为 mol。

物质的量在法定计量单位中不仅是物理量，而且也是七个基本单位之一。

12 g 碳含有的碳原子数就叫作阿伏伽德罗常数。经实验已测得其值为 6.02×10^{23} 。如果某物质所含的微粒数量等于阿伏伽德罗常数，那么，该物质的物质的量就是 1 摩尔。

例如：1 mol 的氢原子含有 6.02×10^{23} 个氢原子。

1 mol 的氧分子含有 6.02×10^{23} 个氧分子。

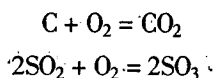
“物质的量”是一个物理量的整体名词，因此，这四个字不可拆开使用。而且，物质的量不是质量，因此，表示物质的量的单位，也不应与质量的单位存在相互代替的关系。

例如：氢气的物质的量 $n_{\text{H}_2} = 2 \text{ mol} = 4 \text{ g}$ 。

这样的换算关系是不能成立的。

在实际使用中，往往不需要知道真实的微粒数，而只需要知道与它相对应的摩[尔]数值就可以了。这是说，用摩尔作单位表示化学反应的数量关系，既便于理解，又便于计算。因为任何化学反应，都是以反应物中的原子作为基本微粒参与反应的，而且反应前后的分子的变化呈简单的整数比。

例如：碳燃烧和制备三氧化硫的反应式分别为：



如果用摩尔为单位，就可以把这些化学反应的数量关系简单地表达出来。

可将碳燃烧表达为：1摩尔碳原子与1摩尔氧分子完全化合成1摩尔二氧化碳分子；

再将制备三氧化硫表达为：2摩尔的二氧化硫分子与1摩尔的氧分子完全反应成为2摩尔的三氧化硫分子。

显然，用这种语言表达化学反应数量关系，概念清楚，方法简单，并可简化运算步骤。

那么，“物质的量”的单位“摩尔”与物质的“质量”的单位“千克”之间怎样换算？

可用下列两种公式：

1. 已知相对原子质量，求物质的量的计算公式：

$$n = \frac{m}{A_r} \times 1000. \quad (1-7)$$

式中： n ——由原子所组成的物质的物质的量，mol；

m ——该物质所具有的质量，kg；

A_r ——该物质的相对原子质量。

例1 280 g 的氮(N)，求这些氮原子的“物质的量”为多少摩尔？

解：查得氮的相对原子质量为14，280 g化为千克等于0.28 kg，代入上式得：

$$n = \frac{0.28}{14} \times 1000 = 20 \text{ (mol)}.$$

即280 g氮原子所组成的物质“物质的量”为20 mol。

2. 已知相对分子质量，求物质的量的计算公式

$$n = \frac{m}{M_r} \times 1000. \quad (1-8)$$

式中 M_r ——为该物质的相对分子质量。

其他符号同上式

例2 有110 g笑气，求这些笑气的“物质的量”是多少摩尔？

解：因笑气分子式为 N_2O ，即笑气的分子由一个氧原子和两个氮原子所组成，将氧、氮的相对原子质量查出后即可求出笑气的相对分子质量。

氧的相对原子质量为16 $1 \times 16 = 16$ ；

氮的相对原子质量为14 $2 \times 14 = 28$ ；

笑气的相对分子质量为44，即 $16 + 28 = 44$ 。

将笑气的相对分子质量44，代入式(1-8)：

$$n = \frac{0.11}{44} \times 1000 = 2.5 \text{ (mol)}.$$

即 110 g 笑气的“物质的量”为 2.5 mol。

综上所述, 1 摩尔的分子或原子, 它的总质量相当于该物质以克为单位时的相对分子质量或相对原子质量。

摩尔质量 (M) 是物质所具有的质量与该物质所具有的物质的量的比值, 即:

$$M = \frac{m}{n} \quad (1-9)$$

式中 M ——摩尔质量, kg/mol。

其余符号同前。

例 3 求 $n_{\text{CO}_2} = 0.5 \text{ mol}$ 时, $m_{\text{CO}_2} = ?$

解: $M_{\text{CO}_2} = 44$,

因而 $M_{\text{CO}_2} = 44 \text{ g/mol}$,

$$m_{\text{CO}_2} = 44 \text{ g/mol} \times 0.5 \text{ mol} = 22 \text{ g}。$$

例 4 当 $m_{\text{C}_3\text{H}_8} = 66 \text{ g}$ 时, $n_{\text{C}_3\text{H}_8} = ?$ $n_{2(\frac{1}{2}\text{C}_3\text{H}_8)} = ?$

解: $M_{\text{C}_3\text{H}_8} = 44$,

按 (1-9) 式, $n = \frac{m}{M}$,

$$n_1 = \frac{66 \text{ g}}{44 \text{ g/mol}} = 1.5 \text{ mol},$$

而 $M_{(\frac{1}{2}\text{C}_3\text{H}_8)} = 22 \text{ g/mol}$,

$$\text{故 } n_{2(\frac{1}{2}\text{C}_3\text{H}_8)} = \frac{66 \text{ g}}{22 \text{ g/mol}} = 3 \text{ mol}。$$

例 5 在通常情况下 3.6 mL 水中含有多少 H_2O 分子。

解: 水的密度 $\rho = 1 \text{ g/mL}$,

按 (1-6) 式 $m = V \cdot \rho = 3.6 \text{ mL} \times 1 \text{ g/mL} = 3.6 \text{ g}$,

分子数 N 的物质的量

$$n_{(\text{H}_2\text{O})} = \frac{3.6 \text{ g}}{18 \text{ g/mol}} = 0.2 \text{ mol}。$$

$$\text{分子数 } N = 0.2 \text{ mol} \times 6.02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1} = 1.204 \times 10^{23}。$$

分子数 N 既可以以“个”作为单位, 也可以不给单位。

摩尔体积是表示某种物质 (通常指气体) 每摩尔所占有的体积。换一句话说, 气体的体积除以该气体的物质的量, 就是该物质的摩尔体积。单位符号为 m^3/mol 。

在标准状态下 (101.325 kPa, 0°C), 1 摩尔任何气体所占体积都约为 22.4 L (dm^3)。这个体积叫气体的摩尔体积。

例 6 $m_{\text{NH}_3} = 5.1 \text{ g}$, 在标准状态下 $V_{\text{NH}_3} = ?$

解: $M_{\text{NH}_3} = 17$,

因而 $M_{\text{NH}_3} = 17 \text{ g/mol}$ 。

按 (1-9) 式 $n = \frac{m}{M}$,

$$n_{\text{NH}_3} = \frac{5.1 \text{ g}}{17 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 0.3 \text{ mol},$$

所以 $V_{\text{NH}_3} = 22.4 \text{ L/mol} \times 0.3 \text{ mol} = 6.7 \text{ L}。$