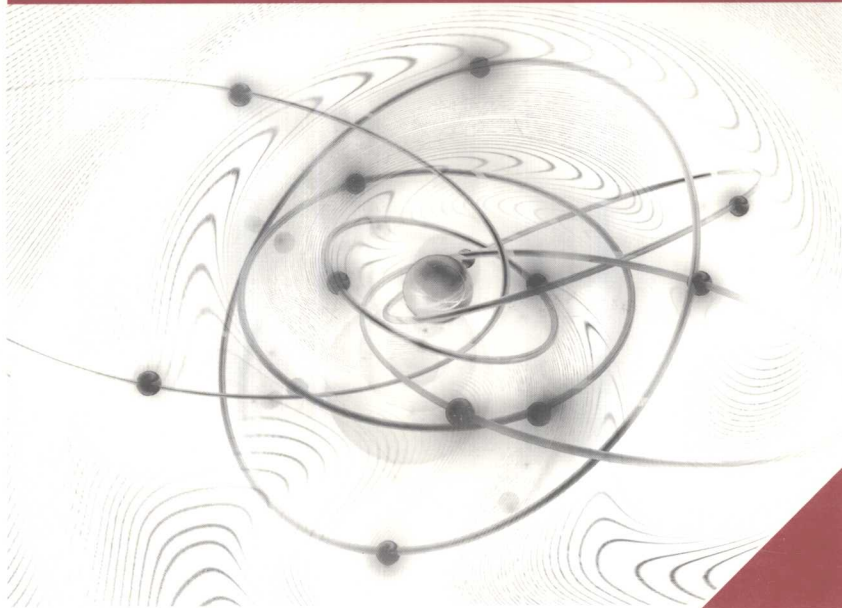


无机化学

全国医药职业技术教育研究会 组织编写

许虹 主编

李文希 主审



Chemical Industry Press

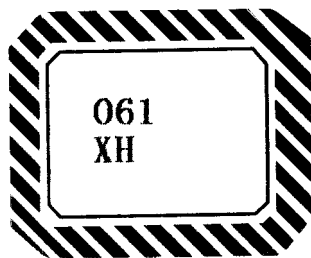


化学工业出版社
现代生物技术与医药科技出版中心

无机化学

全国医药职业技术教育研究会 组织编写

许 虹 主编 李文希 主审



化学工业出版社

现代生物技术与医药科技出版中心

· 北 京 ·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

无机化学 / 许虹主编. — 北京: 化学工业出版社, 2004. 7
ISBN 7-5025-5826-8

I. 无… II. 许… III. 无机化学 IV. O61

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 074116 号

无 机 化 学

全国医药职业技术教育研究会 组织编写

许 虹 主编 李文希 主审

责任编辑: 余晓捷 孙小芳 杨燕玲

文字编辑: 徐雪华

责任校对: 李 林 靳 荣

封面设计: 关 飞

*

化 学 工 业 出 版 社 出版发行
现代生物技术与医药科技出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

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

*

新华书店北京发行所经销

北京永鑫印刷有限责任公司印刷

三河市宇新装订厂装订

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 14 $\frac{3}{4}$ 字数 355 千字

2004 年 8 月第 1 版 2005 年 2 月北京第 2 次印刷

ISBN 7-5025-5826-8/G · 1574

定 价: 25.00 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

全国医药职业技术教育研究会委员名单

会 长 苏怀德 国家食品药品监督管理局

副会长 (按姓氏笔画排序)

王书林 成都中医药大学峨眉学院

严 振 广东化工制药职业技术学院

周晓明 山西生物应用职业技术学院

缪立德 湖北省医药学校

委 员 (按姓氏笔画排序)

马孔琛 沈阳药科大学高等职业技术学院

王吉东 江苏省徐州医药高等职业学校

王自勇 浙江医药高等专科学校

左淑芬 河南中医学院药学高职部

付梦生 湖南省药学职业中等专业学校

白 钢 苏州市医药职工中等专业学校

刘效昌 广州市医药中等专业学校

闫丽霞 天津生物工程职业技术学院

阳 欢 江西中医学院大专部

李元富 山东中医药高级技工学校

张希斌 黑龙江省医药职工中等专业学校

陆国民 复旦大学药学院第二分院

林锦兴 山东省医药学校

罗以密 上海医药职工大学

钱家骏 北京市中医药学校

黄跃进 江苏省连云港中医药高等职业技术学校

黄庶亮 福建食品药品职业技术学院

黄新启 江西中医学院高等职业技术学院

彭 敏 重庆市医药技工学校

鼓 毅 长沙市医药中专学校

谭骁或 湖南生物机电职业技术学院药学部

秘书长 (按姓氏笔画排序)

刘 佳 成都中医药大学峨眉学院

谢淑俊 北京市高新职业技术学院

全国医药高职高专教材建设委员会委员名单

主任委员 苏怀德 国家食品药品监督管理局

副主任委员 (按姓氏笔画排序)

王书林 成都中医药大学峨眉学院

严 振 广东化工制药职业技术学院

周晓明 山西生物应用职业技术学院

委 员 (按姓氏笔画排序)

马孔琛 沈阳药科大学高等职业技术学院

王质明 江苏省徐州医药高等职业学校

石 磊 江西中医学院大专部

闫丽霞 天津生物工程职业技术学院

杨群华 广东化工制药职业技术学院

李光锋 湖南生物机电职业技术学院药学部

李榆梅 山西生物应用职业技术学院

张秀琴 河南中医学院药学高职部

竺芝芬 浙江医药高等专科学校

周淑琴 复旦大学药学院第二分院

罗以密 上海医药职工大学

黄新启 江西中医学院高等职业技术学院

缪立德 湖北工学院生物工程学院药学分院

缪存信 福建食品药品职业技术学院

潘 雪 北京市高新职业技术学院

秘 书 长 (按姓氏笔画排序)

刘 佳 成都中医药大学峨眉学院

谢淑俊 北京市高新职业技术学院

前 言

从 20 世纪 30 年代起,我国即开始了现代医药高等专科教育。1952 年全国高等院校调整后,为满足当时经济建设的需要,医药专科层次的教育得到进一步加强和发展。同时对这一层次教育的定位、作用和特点等问题的探讨也一直在进行当中。

鉴于几十年来医药专科层次的教育一直未形成自身的规范化教材,长期存在着借用本科教材的被动局面,原国家医药管理局科技教育司应各医药院校的要求,履行其指导全国药学教育为全国药学教育服务的职责,于 1993 年出面组织成立了全国药学高等专科教育教材建设委员会。经过几年的努力,截至 1999 年已组织编写出版系列教材 33 种,基本上满足了各校对医药专科教材的需求。同时还组织出版了全国医药中等职业技术教育系列教材 60 余种。至此基本上解决了全国医药专科、中职教育教材缺乏的问题。

为进一步推动全国教育管理体制改革和教学改革,使人才培养更加适应社会主义建设之需,自 20 世纪 90 年代以来,中央提倡大力发展职业技术教育,尤其是专科层次的职业技术教育即高等职业技术教育。据此,全国大多数医药本专科院校、一部分非医药院校甚至综合性大学均积极举办医药高职教育。全国原 17 所医药中等职业学校中,已有 13 所院校分别升格或改制为高等职业技术学院或二级学院。面对大量的有关高职教育的理论和实际问题,各校强烈要求进一步联合起来开展有组织的协作和研讨。于是在原有协作组织基础上,2000 年成立了全国医药高职高专教材建设委员会,专门研究解决最为急需的教材问题。2002 年更进一步扩大成全国医药职业技术教育研究会,将医药高职、高专、中专、技校等不同层次、不同类型、不同地区的医药院校组织起来以便更灵活、更全面地开展交流研讨活动。开展教材建设更是其中的重要活动内容之一。

几年来,在全国医药职业技术教育研究会的组织协调下,各医药职业技术学院齐心协力,认真学习党中央的方针政策,已取得丰硕的成果。各校一致认为,高等职业技术教育应定位于培养拥护党的基本路线,适应生产、管理、服务第一线需要的德、智、体、美各方面全面发展的技术应用型人才。专业设置上必须紧密结合地方经济和社会发展需要,根据市场对各类人才的需求和学校的办学条件,有针对性

地调整和设置专业。在课程体系和教学内容方面则要突出职业技术特点，注意实践技能的培养，加强针对性和实用性，基础知识和基本理论以必需够用为度，以讲清概念，强化应用为教学重点。各校先后学习了“中华人民共和国职业分类大典”及医药行业工人技术等级标准等有关职业分类，岗位群及岗位要求的具体规定，并且组织师生深入实际，广泛调研市场的需求和有关职业岗位群对各类从业人员素质、技能、知识等方面的基本要求，针对特定的职业岗位群，设立专业，确定人才培养规格和素质、技能、知识结构，建立技术考核标准、课程标准和课程体系，最后具体编制为专业教学计划以开展教学活动。教材是教学活动中必须使用的基本材料，也是各校办学的必需材料。因此研究会及时开展了医药高职教材建设的研讨和有组织的编写活动。由于专业教学计划、技术考核标准和课程标准又是从现实职业岗位群的实际需要中归纳出来的，因而研究会组织的教材编写活动就形成了几大特点。

1. 教材内容的范围和深度与相应职业岗位群的要求紧密挂钩，以收录现行适用、成熟规范的现代技术和管理知识为主。因此其实践性、应用性较强，突破了传统教材以理论知识为主的局限，突出了职业技能特点。

2. 教材编写人员尽量以产、学、研结合的方式选聘，使其各展所长、互相学习，从而有效地克服了内容脱离实际工作的弊端。

3. 实行主审制，每种教材均邀请精通该专业业务的专家担任主审，以确保业务内容正确无误。

4. 按模块化组织教材体系，各教材之间相互衔接较好，且具有一定的可裁减性和可拼接性。一个专业的全套教材既可以圆满地完成专业教学任务，又可以根据不同的培养目标和地区特点，或市场需求变化供相近专业选用，甚至适应不同层次教学之需。因而，本套教材虽然主要是针对医药高职教育而组织编写的，但同类专业的中等职业教育也可以灵活的选用。因为中等职业教育主要培养技术操作型人才，而操作型人才必须具备的素质、技能和知识不但已经包含在对技术应用型人才的要求之中，而且还是其基础。其超过“操作型”要求的部分或体现高职之“高”的部分正可供学有余力，有志深造的中职学生学习之用。同时本套教材也适合于同一岗位群的在职员工培训之用。

现已编写出版的各种医药高职教材虽然由于种种主、客观因素的限制留有诸多遗憾，上述特点在各种教材中体现的程度也参差不齐，但与传统学科型教材相比毕竟前进了一步。紧扣社会职业需求，以实用技术为主，产、学、研结合，这是医药教材编写上的划时代的转变。因此本系列教材的编写和应用也将成为全国医药高职教育发展历史的一座里程碑。今后的任务是在使用中加以检验，听取各方面的意见及时修订并继续开发新教材以促进其与时俱进、臻于完善。

愿使用本系列教材的每位教师、学生、读者收获丰硕！愿全国医药事业不断发展！

全国医药职业技术教育研究会

2004 年 5 月

编写说明

为了培养适应现代医药行业发展需要的人才，结合高等职业教育的需求，根据 2004 年 1 月全国医药职业技术教育研究会“教材规划工作会议”的精神，参考有关教学大纲，我们组织编写了本教材。

本教材充分体现了现代医药高等职业教育的特点，本着“必需、够用”、循序渐进的原则，立足于培养实用型人才，同时考虑后续课程所需知识，在深度和广度上作了较准确的把握，着力突出与医药行业相关的、有代表性的内容，科学性、启发性、实用性并重，逐步培养学生分析和解决问题的能力以及实验动手能力。全书语言流畅、通俗易懂。各校可根据实际情况对内容进行适当的选择。

参加本教材编写工作的有江苏省徐州医药高等专科学校许虹（第三、四、五、十一章）、袁龙（第九章及全部实验内容）、相燕（第一、二、六、七、十章）和湖南生物机电职业技术学院药学部的肖腊梅（第八、十二、十三、十四、十五章）。徐州师范大学的李文希副教授担任主审并对教材内容进行了认真的审阅，编者深表感谢。

由于编者经验不足、水平有限，加之时间仓促，本书可能会出现错误或不恰当之处，敬请各校师生及读者给予批评指正。

编 者

2004 年 4 月

目 录

第一章 物质的量	1
第一节 物质的量的单位——摩尔	1
第二节 物质的摩尔体积	3
第三节 用物质的量进行有关化学方程式的计算	5
习题	7
第二章 溶液	8
第一节 溶液的概念	8
第二节 溶液的浓度	10
第三节 稀溶液的依数性	13
习题	19
第三章 化学反应速率和化学平衡	21
第一节 化学反应速率	21
第二节 影响反应速率的因素	24
第三节 化学平衡	26
第四节 化学平衡移动	31
习题	33
第四章 电解质溶液	36
第一节 电解质的分类和离子方程式	36
第二节 酸碱理论	38
第三节 水的电离平衡和溶液的酸碱性	41
第四节 弱酸、弱碱的电离平衡	44
第五节 盐类的水解	47
第六节 缓冲溶液	50
习题	56
第五章 沉淀-溶解平衡	58
第一节 难溶电解质的溶度积	58
第二节 沉淀的生成和溶解	61
习题	64
第六章 原子结构和元素周期律	65
第一节 原子核与同位素	65
第二节 核外电子运动状态	67
第三节 多电子原子的核外电子排布	69

第四节	元素周期律与元素周期表	72
习题	.....	77
第七章	化学键与分子结构	79
第一节	离子键和离子化合物	79
第二节	共价键和共价化合物	82
第三节	分子间的作用力和氢键	89
习题	.....	91
第八章	氧化还原反应	93
第一节	氧化还原的基本概念	93
第二节	电极电势	95
第三节	电极电势的应用	99
习题	.....	102
第九章	配位化合物	104
第一节	配合物的基本概念及命名	104
第二节	配合物的性质	107
第三节	螯合物	109
第四节	配合物在医药上的应用	111
习题	.....	112
第十章	卤素	114
第一节	通性	114
第二节	氯及其化合物	115
第三节	氟、溴、碘及其化合物	119
第四节	拟卤素	122
习题	.....	123
第十一章	碱金属和碱土金属	125
第一节	金属的通性	125
第二节	碱金属和碱土金属的单质	127
第三节	碱金属和碱土金属的化合物	130
第四节	水的净化和硬水的软化	134
习题	.....	136
第十二章	氧族元素	138
第一节	通性	138
第二节	氧与臭氧	139
第三节	过氧化氢	139
第四节	硫及其化合物	140
习题	.....	144
第十三章	氮族元素	146
第一节	通性	146
第二节	氨和铵盐	146

第三节	氮的含氧酸及其盐	148
第四节	磷、磷酸及其盐	149
第五节	砷及其重要化合物	150
第六节	氮族元素在医药上的应用	152
习题	.....	153
第十四章	碳族元素和硼族元素	154
第一节	通性	154
第二节	碳的重要化合物	155
第三节	硅、硼的重要化合物	156
第四节	铝、铅的重要化合物	157
习题	.....	159
第十五章	过渡元素	160
第一节	过渡元素的通性	160
第二节	铜、银、锌、汞及其重要化合物	161
第三节	铬、锰、铁及其化合物	164
习题	.....	168
实验部分	.....	169
第一部分	无机化学实验基本知识	169
第二部分	实验内容	174
实验一	无机化学实验基本操作	174
实验二	溶液的配制	183
实验三	粗硫酸铜的提纯	185
实验四	酸碱滴定	186
实验五	化学反应速率与化学平衡	187
实验六	电解质溶液	188
实验七	醋酸电离度和电离常数的测定	191
实验八	药用氯化钠的制备与质量检定	193
实验九	葡萄糖酸锌的制备	195
实验十	缓冲溶液与沉淀平衡	195
实验十一	醋酸银溶度积的测定	197
实验十二	元素性质递变规律、元素周期表	198
实验十三	配位化合物	200
实验十四	氧化还原反应	201
实验十五	卤素	203
实验十六	碱金属和碱土金属	204
实验十七	氧和硫	206
实验十八	氮族元素	208
实验十九	碳族元素和硼族元素	210
实验二十	铜、银、锌、汞	212

实验二十一 铁、铬、锰	214
实验二十二 实验考试	216
附录	217
一、国际单位制的基本单位	217
二、国际单位制的词头	217
三、无机酸、碱在水中的电离常数 (298.15K)	217
四、难溶电解质的溶度积常数 (298.15K)	218
五、标准电极电势 (298.15K)	219
六、常见盐类和氢氧化物在水中的溶解性	220
参考文献	221

第一章 物质的量

第一节 物质的量的单位——摩尔

物质是由分子、原子或离子等微粒组成的，这些微粒肉眼看不见，质量非常小。例如一种原子核里有 6 个质子和 6 个中子的碳原子 (^{12}C)，其质量为 $1.993 \times 10^{-26} \text{ kg}$ ，又如一种原子核里有 8 个质子和 8 个中子的氧原子 (^{16}O)，其质量为 $2.657 \times 10^{-26} \text{ kg}$ ，都很难进行称量。物质之间的化学反应是由分子、原子或离子之间按一定的数目关系进行的，也就是可称量的物质之间按一定的质量关系进行的。在实际应用中，无论是在工业生产上还是在实验室里，所接触的物料都是可以称量的，小到几克，大到几千克甚至几吨，它们必然都是数目非常巨大的微粒的集合体。为了把微粒的个数与可以称量的物料联系起来，国际单位制 (SI) 就选取物质的量 n 作为一个基本量，其单位为摩尔 (mol)。

一、摩尔

摩尔来自拉丁文 moles，原意是堆，即物质可以按“堆”计量。SI 规定：①摩尔是一个系统的物质的量，该系统所包含的基本单元数与 $0.0120 \text{ kg } ^{12}\text{C}$ 的原子数目相等。②在使用摩尔时，基本单元应预先指明，可以是分子、原子、离子、电子及其他微粒，或这些微粒的特定组合。

$0.0120 \text{ kg } ^{12}\text{C}$ 里含有多少个碳原子？可以根据 1 个 ^{12}C 原子的质量 ($1.993 \times 10^{-26} \text{ kg}$) 计算出来：

$$\frac{0.0120}{1.993 \times 10^{-26}} = 6.02 \times 10^{23} \text{ 个}$$

这个数值称为阿伏加德罗常数，用 N_A 表示， $N_A = 6.02 \times 10^{23}$ ，即 6.02×10^{23} 个微粒就是一堆。

所以可以说：

1mol 碳原子含有 N_A 个碳原子；

1mol 氧原子含有 N_A 个氧原子；

1mol 水分子含有 N_A 个水分子；

1mol 氯离子含有 N_A 个氯离子；

显然，物质的微粒数 $N(\text{个}) = \text{物质的量 } n(\text{mol}) \times N_A(\text{个/mol})$

在使用摩尔时，应注意以下几个方面的问题。

(1) 应注明微粒的名称，如 1mol 的氧分子或 1mol 氧原子，对于化合物，微粒的名称往往可以省略，例如 1mol 水，1mol 氯化钠。

(2) 摩尔原子、摩尔分子和摩尔离子都不是单位，例如 1mol 氢原子不能说成 1mol 原子氢；1mol 水分子不能说成 1mol 分子水。

(3) 应注意微粒的特定组合。例如, 在反应 $2\text{H}_2 + \text{O}_2 = 2\text{H}_2\text{O}$ 中, 可以说 2mol 氢分子跟 1mol 氧分子化合生成 2mol 水, 也可以说 1mol (2H_2) 与 1mol O_2 化合生成 1mol ($2\text{H}_2\text{O}$), 甚至可以说 1mol ($2\text{H}_2 + \text{O}_2$) 生成 1mol ($2\text{H}_2\text{O}$), 即 1mol 反应。

二、摩尔质量

1mol 物质的质量称为该物质的摩尔质量, 符号为 M , 常用 g/mol 作单位。

1mol 不同物质中所含的分子、原子或离子的数目虽然相同, 但由于不同微粒的质量不同, 因此, 1mol 不同物质的质量也不同。

1mol ^{12}C 原子的质量是 0.0120kg , 即 12.0g ; 也可以说成 6.02×10^{23} 个 ^{12}C 的质量是 0.0120kg 。利用 1mol 任何微粒集体中都含有相同数目的微粒这个关系, 可以推知任何原子、分子、离子 1mol 的质量。例如: 1mol ^{16}O 原子含有 $N_A = 6.02 \times 10^{23}$ 个 ^{16}O 原子, 每个 ^{16}O 原子的质量为 $2.657 \times 10^{-26}\text{kg}$ 所以 1mol ^{16}O 原子的质量为:

$$m = 2.657 \times 10^{-26}\text{kg} \times 6.02 \times 10^{23} = 0.0160\text{kg} = 16.0\text{g}$$

1mol ^{16}O 原子的质量为 16.0g , 在数值上正好等于 ^{16}O 的相对原子质量。 ^{12}C 原子与 ^{16}O 原子的相对原子质量之比为 $12:16$, 既然 1mol 碳原子和 1mol 氧原子所含有的原子数目相等, 都是 $N_A = 6.02 \times 10^{23}$ 个, 那么, 1mol ^{12}C 原子与 1mol ^{16}O 原子的质量之比也应该是 $12:16$ 。由此也可以得到 1mol ^{16}O 原子的质量:

$$m = 12 \times \frac{16}{12} = 16\text{g}$$

同样可以推知, 1mol 任何原子的质量, 如果以 g 为单位, 在数值上正好等于该原子的相对原子质量。

同理, 1mol 任何分子的质量, 如果以 g 为单位, 在数值上也正好等于该分子的相对分子质量。例如 1mol H_2O 的质量是 18.0g , 1mol NaCl 的质量是 58.5g 。

对于离子来说, 由于电子的质量很小, 可以忽略不计, 当原子得到或失去电子变成离子时, 其质量几乎不变。因此 1mol Na^+ 的质量为 23g , 1mol Cl^- 的质量为 35.5g 。

结论: 1mol 任何微粒或物质的质量, 如果用 g 作单位, 在数值上正好等于该微粒的相对原子质量或式量。

总之, 物质的量和摩尔像座桥梁, 把单个分子和巨大数量的微粒集体 (即可称量物质) 联系起来了。

三、关于物质的量的计算

物质的量 (n)、物质的质量 (m) 和摩尔质量 (M) 之间存在的关系:

$$n = \frac{m}{M} \text{ 或 } m = n \cdot M \quad (1-1)$$

式中 n ——物质的量, mol ;

m ——物质的质量, g ;

M ——物质的摩尔质量, g/mol 。

$$\text{微粒数目} \quad N(\text{个}) = n \cdot N_A = \frac{m}{M} N_A \quad (1-2)$$

式中 N_A ——阿伏加德罗常数, 6.02×10^{23} 。

(一) 已知物质的质量求其物质的量和微粒数目

【例 1-1】试计算 80g 钙的物质的量是多少摩尔?

解: 钙的摩尔质量 $M = 40\text{g/mol}$

80g 钙的物质的量 $n = \frac{m}{M} = \frac{80}{40} = 2\text{mol}$

答：80g 钙的物质的量是 2mol。

【例 1-2】 试计算 27g 水中含有多少摩尔水？含有多少个水分子？多少个氢原子？多少个氧原子？

解：水的摩尔质量 $M = 18\text{g/mol}$

27g 水的物质的量 $n = \frac{m}{M} = \frac{27}{18} = 1.5\text{mol}$

水分子的数目 $N = n \cdot N_A = 1.5 \times 6.02 \times 10^{23} = 9.03 \times 10^{23}$ 个

因为 1 个水分子中含有 2 个氢原子，1 个氧原子，

所以 氢原子数 $= 2 \times 1.5 \times 6.02 \times 10^{23} = 1.81 \times 10^{24}$ 个

氧原子数 $= 1 \times 1.5 \times 6.02 \times 10^{23} = 9.03 \times 10^{23}$ 个

答：27g 水中含有 1.5mol H_2O ，含有 9.03×10^{23} 个水分子， 1.806×10^{24} 个氢原子， 9.03×10^{23} 个氧原子。

(二) 已知物质的量，求它的质量

【例 1-3】 试计算 2mol 硫酸的质量是多少克？

解：硫酸的摩尔质量 $M = 98\text{g/mol}$

2mol 硫酸的质量 $m = n \cdot M = 2 \times 98 = 196\text{g}$

答：2mol 硫酸的质量是 196g。

第二节 物质的摩尔体积

一、摩尔体积

在一定温度和压强下，1mol 物质的体积，称为该物质的摩尔体积，用符号 V_m 表示，单位为 L/mol 。根据摩尔体积的定义，可知：

$$V_m = \frac{V}{n} \quad (1-3)$$

式中 V ——物质的体积，L；

n ——物质的量，mol。

摩尔体积与密度 ρ 一样，是物质的重要物理性质之一，两者之间的关系为：

$$V_m = \frac{M}{\rho} \quad (1-4)$$

式中 M ——物质的摩尔质量， g/mol ；

ρ ——物质的密度， kg/m^3 或 g/L 。

摩尔体积与密度成反比，与密度 ρ 一样，物质的摩尔体积首先是由其本性决定的，同时也与温度、压强等外界条件有关。

二、液体和固体的摩尔体积

与气体比较起来，液体和固体的密度较大，摩尔体积较小，而且温度和压强对液体和固体的密度及摩尔体积的影响较小，特别是压强对液体和固体的密度及摩尔体积的影响可以忽略不计。

水在常温下的密度约为 1000g/L，其摩尔体积 $V_m = \frac{M}{\rho} = \frac{18}{1000} = 0.018\text{L/mol}$ ；铁的密度为 7860g/L，其摩尔体积 $V_m = \frac{M}{\rho} = \frac{55.85}{7860} = 0.0071\text{L/mol}$ 。通过计算得知，固态和液态物质的摩尔体积是很不相同的，且都很小，如表 1-1 所示。

表 1-1 常温下几种固态和液态物质的摩尔体积

名 称	水	硫酸	蔗糖	铁	氯化钠
摩尔质量/(g/mol)	18	98	342.3	55.85	58.44
摩尔体积/(L/mol)	0.018	0.054	0.215	0.0071	0.027

三、气体的摩尔体积

与液体、固体比较起来，气体的密度较小，摩尔体积较大，而且温度和压强对气体的密度和摩尔体积的影响也较大。为了便于比较，人们规定温度 $T=273\text{K}$ ，压强 $p=101325\text{Pa}$ 为标准状况，记作 STP。

在 STP 下，氢气、氧气和一氧化碳的密度分别为 0.0899g/L、1.429g/L 和 1.25g/L，由此可计算出它们在 STP 下的摩尔体积：

$$\text{氢气 (H}_2\text{): } V_m(\text{STP}) = \frac{M}{\rho} = \frac{2.02}{0.0899} = 22.4 \text{ L/mol}$$

$$\text{氧气 (O}_2\text{): } V_m(\text{STP}) = \frac{M}{\rho} = \frac{32.0}{1.429} = 22.4 \text{ L/mol}$$

$$\text{一氧化碳 (CO): } V_m(\text{STP}) = \frac{M}{\rho} = \frac{28.0}{1.25} = 22.4 \text{ L/mol}$$

从以上计算可以看出，三种气体在 STP 下的摩尔体积都约是 22.4 L/mol。通过多次实验测定，在 STP 下，任何气体的摩尔体积都约是 22.4 L/mol。

为什么在 STP 下液体和固体的摩尔体积各不相同，而气体的摩尔体积却都大约相同呢？这是因为构成液体和固体的微粒是紧密排列或紧密堆积的，微粒间的距离很小，摩尔体积主要是由这些微粒（分子、原子或离子）本身的大小来决定。构成不同物质的分子、原子或离子的大小不同，所以各种液体或固体物质的摩尔体积也不相同。而对气体来说，分子之间的距离较大，在一般情况下，气体分子间的距离（约为 $4 \times 10^{-9}\text{m}$ ）是分子直径（约为 $4 \times 10^{-10}\text{m}$ ）的 10 倍左右，气体所占有的体积大约是气体分子本身体积的 1000 倍左右。所以气体的体积主要是由分子之间的距离决定的，而与分子本身的大小无关。气体分子之间的距离受温度和压强影响，温度升高，分子间平均距离增大，反之则减小；压强增大，分子间平均距离减小，反之则增大。在 STP 下各种气体分子间的平均距离是相等的，因而其摩尔体积也必然相等。

由于气体的体积大小取决于其分子间的平均距离，当温度和压强确定之后，分子间的平均距离也随之被确定下来，这时候影响气体体积的因素就只有气体的分子数目。不难想像，在同温、同压下，气体的体积与其分子数成正比，气体分子数相等，体积必然相同，反之亦然。

同温、同压下，相同体积的任何气体都含有相同数目的分子，这个结论称为阿伏加德罗定律。

四、关于气体摩尔体积的计算

（一）已知气体的质量，计算在标准状况下（STP）气体的体积

【例 1-4】 在标准状况下，88g CO₂ 气体的体积是多少升？