

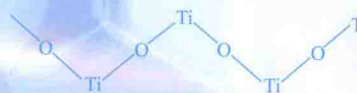
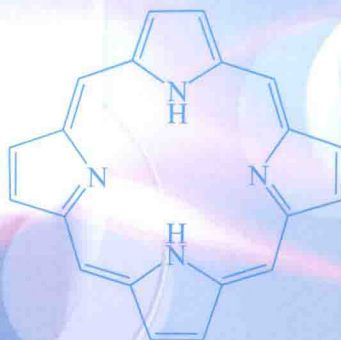
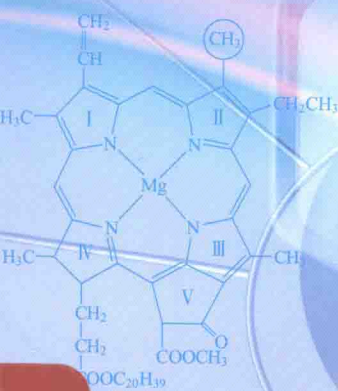


高等学校教材

基础化学

JICHU HUAXUE

周向葛 周歌 高道江 主编



化学工业出版社

高等学校教材

基础化学

周向葛 周 歌 高道江 主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书从宏观物质的物理化学性质变化的基本原理,即物质的状态开始讲述,紧接着是化学反应热力学、化学反应速率、化学平衡、电离平衡、沉淀溶解平衡、氧化还原与电化学,再到微观物质的结构理论,即通过原子结构、分子结构、配位化合物揭示物质化学变化的本质。该教材在系统讲述常见元素及化合物结构和性质的基础上,在合适的章节结合相关知识点,简单地介绍在此基础上发展出的新用途,使化学基础和学科前沿有机结合,体现了化学基本原理的意义,以增强学生的学习兴趣。

本书可供医药类、生物类、材料类等化学相关专业本科生使用,也可供其他人员参考。

基础化学

主编 王萱高 周 周 葛向周

图书在版编目(CIP)数据

基础化学/周向葛,周歌,高道江主编. —北京:化学工业出版社,2015.8

高等学校教材

ISBN 978-7-122-24257-0

I. ①基… II. ①周…②周…③高… III. ①化学-高等学校-教材 IV. ①O6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 126123 号

责任编辑:宋林青

文字编辑:咎景岩

责任校对:宋 玮

装帧设计:王晓宇

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:三河市万龙印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张16 $\frac{3}{4}$ 彩插1 字数413千字 2015年10月北京第1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:32.00 元

版权所有 违者必究

前 言

基础化学是化学相关学科的一门专业基础课,也是许多高校新生进入大学后的第一门化学专业基础课。学生从中学进入大学学习,学习方式会有较大的变化。因此,基础化学教材必须做到可读性强,由浅入深,循序渐进。

基于上述课程特点,结合编者在化学教学中的经验积累,在化学工业出版社的支持下,编写了这本适合化学类专业本科生使用的基础化学教材。

该书包括 14 章。从宏观物质的物理化学性质变化的基本原理,即物质的状态开始,紧接着是化学反应热力学、化学反应速率、化学平衡、电离平衡、沉淀溶解平衡、氧化还原与电化学,再到微观物质的结构理论,即通过原子结构、分子结构、配位化合物揭示物质化学变化的本质。该教材在系统讲述常见元素及化合物结构和性质的基础上,在合适的章节结合相关知识点,简单地介绍在此基础上发展出的新用途,使基础和学科前沿有机结合,体现了基础知识的意义,可以增强学生的学习兴趣。

本书由周向葛、周歌共同策划,主要由四川大学化学学院和四川师范大学化学与材料科学学院的老师完成编写。其中第 1、9、11 章由周向葛完成;第 2、3、8 章由四川师范大学宁光辉和高道江完成;第 4、12 章由周歌完成;第 5、10 章由王欣完成;第 6、7 章由曾红梅完成;第 13、14 章由杜娟完成。全书由周向葛和周歌修改并统稿。化学工业出版社的编辑为本书编写提出了宝贵意见。

由于本书编写匆忙,且编者水平有限,疏漏之处在所难免,恳请读者和同行专家提出宝贵意见,以便改正!

编者

2015 年 2 月于成都

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 化学是一门中心的、实用的和创造性的科学	1
1.2 基础化学概述	2
第 2 章 物质的状态	3
2.1 理想气体	3
2.1.1 理想气体状态方程	3
2.1.2 道尔顿分压定律	4
2.2 实际气体	5
2.3 气体的液化	5
2.4 液体	6
2.4.1 液体的基本性质	6
2.4.2 液体的力学性质	6
2.5 水的相图	7
2.6 物相变化中的介稳现象	8
2.7 固体	9
习题	10
第 3 章 溶液和胶体	12
3.1 分散体系简介	12
3.2 非电解质稀溶液的依数性	13
3.2.1 溶剂的蒸气压下降	14
3.2.2 沸点升高	15
3.2.3 凝固点下降	16
3.2.4 渗透压	17
3.3 电解质	21
3.3.1 强电解质	21
3.3.2 弱电解质	21
3.4 胶体分散体系	22
3.4.1 胶体的组成	22
3.4.2 胶体的主要性质	22
3.4.3 胶体的应用	22
习题	23
第 4 章 化学热力学基础	24
4.1 热力学第一定律	24

4.1.1 基本概念及术语	24
4.1.2 热力学第一定律	28
4.1.3 化学反应热效应	30
4.1.4 反应热的求算	32
4.2 热力学第二定律	35
4.2.1 自发过程的共同特征	35
4.2.2 热力学第二定律	36
4.2.3 熵函数	36
4.3 Gibbs 自由能与化学反应的方向	38
4.3.1 Gibbs 自由能	38
4.3.2 化学反应摩尔 Gibbs 自由能的计算	39
4.4 化学反应的平衡态	42
4.4.1 化学反应的限度与平衡常数	42
4.4.2 实验平衡常数	43
4.4.3 影响平衡的因素	45
习题	47
第 5 章 化学动力学基础	50
5.1 化学反应动力学基本概念和化学反应速率方程	50
5.1.1 化学反应动力学的一些基本概念	50
5.1.2 化学反应的速率方程	52
5.2 一些简单级数反应的动力学特征	53
5.2.1 零级反应	53
5.2.2 一级反应	54
5.2.3 二级反应	55
5.3 速率方程式的建立	57
5.3.1 微分法	57
5.3.2 积分法	58
5.3.3 半衰期法	58
5.4 温度对反应速率的影响	59
5.4.1 温度影响反应速率的几种类型	59
5.4.2 温度与速率常数的经验关系式	59
5.4.3 温度升高对速率常数影响的微观解释	61
5.5 基元反应的速率理论	62
5.5.1 简单碰撞理论	62
5.5.2 过渡态理论	62
5.6 催化作用	63
5.6.1 催化作用类型和作用特点	64
5.6.2 酶催化作用简介	65
习题	67
第 6 章 电解质溶液	70

6.1 强电解质溶液理论	70
6.1.1 离子氛和离子强度	70
6.1.2 活度和活度系数	71
6.2 水的解离平衡和溶液的 pH	71
6.2.1 水的离子积常数	71
6.2.2 溶液的 pH	71
6.3 弱酸、弱碱的电离平衡	72
6.3.1 一元弱酸、弱碱的电离平衡	72
6.3.2 同离子效应和盐效应	74
6.3.3 多元弱酸的电离平衡	75
6.4 溶液 pH 值的计算	77
6.4.1 质子平衡	77
6.4.2 pH 值的计算	78
6.5 缓冲溶液	82
6.5.1 缓冲溶液的组成	83
6.5.2 缓冲溶液 pH 值的计算	83
6.5.3 标准缓冲溶液	85
6.5.4 缓冲容量	85
6.5.5 缓冲溶液的应用及配制原则	86
6.6 酸碱理论的发展	87
6.6.1 酸碱电离理论	87
6.6.2 酸碱质子理论	87
6.6.3 酸碱电子理论	90
6.7 酸碱平衡在医学中的应用	91
思考题	91
习题	92
第 7 章 难溶性强电解质的沉淀-溶解平衡	94
7.1 溶度积和溶解度	94
7.1.1 溶度积常数	94
7.1.2 溶度积与溶解度的关系	94
7.2 沉淀溶解平衡的移动	95
7.2.1 溶度积原理	95
7.2.2 沉淀的生成	96
7.2.3 沉淀的溶解	97
7.2.4 同离子效应和盐效应	97
7.2.5 分步沉淀和沉淀转化	98
7.3 沉淀溶解平衡在医学中的应用	102
思考题	102
习题	103
第 8 章 氧化还原反应	105

8.1 氧化数与氧化还原方程式的配平	105
8.1.1 氧化数	105
8.1.2 氧化还原方程式的配平	106
8.2 原电池和电极电势	106
8.2.1 原电池	106
8.2.2 电极电势	107
8.2.3 电池电动势和化学反应吉布斯自由能的关系	109
8.3 浓度对电极电势的影响——能斯特方程式	110
8.4 电极电势的应用	111
8.4.1 判断氧化剂、还原剂氧化还原能力的相对强弱	111
8.4.2 判断氧化还原反应进行的方向	112
8.4.3 判断氧化还原反应进行的程度	112
8.5 元素电势图及应用	113
8.5.1 元素的电势图	113
8.5.2 元素电势图的应用	114
习题	116
第9章 原子结构及元素性质的周期性	119
9.1 核外电子的运动状态和特性	119
9.1.1 氢原子光谱	119
9.1.2 玻尔原子结构模型	121
9.1.3 微观粒子的波粒二象性	122
9.1.4 测不准原理	122
9.2 原子结构的量子力学解释	123
9.2.1 薛定谔方程——微粒的波动方程	123
9.2.2 波函数、原子轨道和量子数	123
9.2.3 概率密度和电子云	126
9.2.4 波函数和电子云的空间图像	127
9.3 原子核外电子排布	131
9.3.1 多电子原子的原子轨道能级	131
9.3.2 原子核外电子的排布	132
9.4 元素周期表和元素性质的周期性	133
9.4.1 元素周期表	133
9.4.2 原子半径	136
9.4.3 电离势	138
9.4.4 电子亲和能	139
9.4.5 元素电负性	140
习题	141
第10章 分子的结构与性质	143
10.1 化学键的特点和键参数	143
10.2 现代价键理论	144

10.3 分子轨道理论简介	146
10.4 杂化轨道理论和分子的空间构型	149
10.5 分子间作用力	151
习题	153
第 11 章 配位化合物	154
11.1 配位化合物的基本概念	154
11.1.1 配位化合物的定义	154
11.1.2 配位化合物的组成	154
11.1.3 配位化合物的命名	156
11.1.4 配位化合物的类型	157
11.1.5 配合物的立体构型和几何异构	158
11.2 配位化合物的价键理论	159
11.2.1 价键理论的基本要点	159
11.2.2 外轨型和内轨型配合物	160
11.3 配位化合物的晶体场理论	162
11.3.1 晶体场理论的基本要点	162
11.3.2 中心离子 d 轨道的能级分裂	163
11.3.3 晶体场分裂能	165
11.4 配位平衡的移动	172
11.4.1 配位平衡与酸碱电离平衡	172
11.4.2 配位平衡与沉淀-溶解平衡	173
11.4.3 配位平衡与氧化还原平衡	175
11.5 配位化合物的应用	176
习题	177
第 12 章 生物无机化学简论	179
12.1 生命必需元素	179
12.2 金属中心的结构与功能	181
12.2.1 金属蛋白中的金属功能	182
12.2.2 金属酶的功能	185
12.3 生命元素的生理功能	186
12.3.1 生物细胞结构物质的组成成分	187
12.3.2 影响酶的活性	187
12.3.3 对生命活动的调节作用	187
12.4 医药中的金属	185
思考题	188
第 13 章 滴定分析	189
13.1 滴定分析方法简介	189
13.1.1 滴定分析术语与特点	189
13.1.2 滴定分析法对化学反应的基本要求	189
13.1.3 滴定分析方法的分类	190

13.1.4	滴定分析过程及标准溶液的配制	190
13.2	滴定分析结果的误差及数据处理	191
13.2.1	误差产生的原因和分类	191
13.2.2	分析结果的数据处理	191
13.2.3	提高分析结果准确度的方法	193
13.3	酸碱滴定法	194
13.3.1	酸碱指示剂	194
13.3.2	酸碱滴定曲线和指示剂的选择	196
13.3.3	酸碱标准溶液的配制与标定	201
13.3.4	酸碱滴定法的应用	202
13.4	氧化还原滴定法	203
13.4.1	高锰酸钾法	203
13.4.2	重铬酸钾法	205
13.4.3	碘量法	205
13.5	配位滴定法	206
13.5.1	基本原理	206
13.5.2	金属离子指示剂	208
13.5.3	配位滴定法的应用实例	208
13.6	沉淀滴定法	209
13.6.1	莫尔法	209
13.6.2	佛尔哈德法	210
13.6.3	法扬司法	210
	思考题	211
	习题	212
第14章	仪器分析方法简介	215
14.1	吸光光度法	215
14.1.1	物质的颜色与吸收光的关系	215
14.1.2	光吸收曲线	216
14.1.3	光吸收基本定律	216
14.1.4	分光光度计	217
14.1.5	定量分析方法	218
14.1.6	吸光光度法在生命科学中的应用	219
14.2	电位分析法	219
14.2.1	指示电极和参比电极	220
14.2.2	电位测定法测溶液的 pH	220
14.2.3	离子选择性电极	220
14.2.4	电位滴定法	221
14.3	气相色谱法	222
14.3.1	气相色谱分析流程及色谱仪的组成	223
14.3.2	气相色谱分析的基本理论	224

14.3.3 气相色谱的分析方法	225
14.3.4 气相色谱分析的特点及应用范围	226
习题	227
附录	229
附表1 SI基本单位	229
附表2 包括SI辅助单位在内的具有专门名称的SI导出单位	229
附表3 SI词头	230
附表4 可与国际单位制单位并用的我国法定计量单位	230
附表5 一些物理和化学的基本常数	231
附表6 一些物质的基本热力学数据	232
附表7 一些有机化合物的标准摩尔燃烧热	242
附表8 水的离子积常数	243
附表9 弱酸、弱碱在水中的解离常数(298K)	243
附表10 一些难溶化合物的溶度积(25℃)	245
附表11 一些标准电极电势(298.15K)	247
附表12 配合物的稳定常数(18~25℃)	253
参考文献	257

第 1 章 绪 论

1.1 化学是一门中心的、实用的和创造性的科学

化学是研究物质组成、结构、性质和变化的科学，化学的研究内容包括化学物质的分类、合成、反应、分离、表征、设计、性质、结构和应用。而物质包括自然界存在的一切，比如：地质中的矿物、天空中的气体、海洋中的水和盐；动植物体内的化学物质；人类创造的新物质以及电场、磁场等。

化学家的工作则是研究自然界，并试图了解它；同时，创造自然界不存在的新物质，完成化学变化的新途径。

出于对自然界物质的好奇心，人们很早就从自然界中分离出了纯化学物质。如：从花卉和某些昆虫体内提取染料，用于作画和染布。但直至 19 世纪初，化学家才搞清了这些染料的详细化学结构。人类很早就通过化学反应创造出了需要的物质，比如在铁矿石中加入木炭在加热过程中可得到铁，由此创造了铁器时代。除了少数诸如 Pt、Au、Ag 等金属可以以天然单质形式存在外，大多数的金属均以类似方法得到。古埃及人在公元前 1400 年就将一些矿物混合加热制造出了玻璃。

化学与许多其他科学领域息息相关，如：农业、电子学、药学、生物学、环境科学、计算机科学、工程学、地质学、物理学、冶金学等。在很多领域，化学都起到了重要作用，比如：化学家设计和制造新药，保障人类的健康；生产用于制造住所、衣服和交通工具的材料；发明提高和保证粮食供应的新方法，保障人类的衣食住行。

化学在人类由古代穴居人的野蛮生活进化到现在这样一个文明世界的变化过程中，起到了“中心”的作用，使我们不仅可以和自然和谐相处，而且可以使人类自己的愿望得以实现。化学家涉足的工业领域如图 1-1 所示。

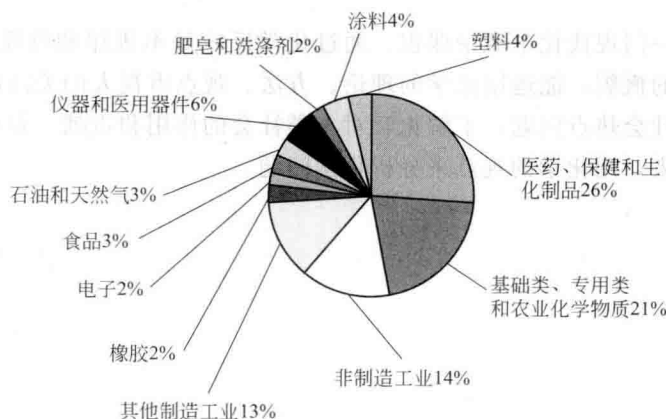


图 1-1 化学家涉足的工业领域

探索自然，找出过去并不知道但却具有实用性的化学物质这一过程，即是为应用而进行的创造。因而“实用性”和“创造性”是密切相关的。化学家曾从事大量的动植物体中化学物质的分离、提纯和结构测定工作（创造），并应用于人们的生产和生活之中（实用）。通常，我们不可能从动植物体中分离得到大量的药物，因为这种做法不但破坏性极强，而且造价昂贵。因此，化学家用其他简单化合物，通过化学合成，制备出新发现的化合物，达到大量临床应用的目的。

化学中最具有创造性的工作是设计和创造新的分子。古代炼丹家一生致力于“加热和振荡”各种混合物，梦想将其他物质变成黄金，达到“点石成金”的目的。他们的梦想虽然破灭了，但却创造了不少有趣的新方法和新物质，把自己造就成了化学家。

1.2 基础化学概述

化学科学是最古老和涉及范围最广的学科之一，积累了大量人类的知识，具有广阔的发展前景。尽管各化学学科之间的界限不是很分明，而且各学科之间彼此交叉，但是由于研究方法、目标和目的不同，有必要将化学进行分类。按传统分类，可将化学分为四大分支：无机化学、有机化学、物理化学和分析化学。

无机化学的内容为化学的基本原理，化学元素的性质和相关的化学反应。迄今，化学元素已经发展为 110 多种。其中的一个重要元素——碳（C），构成了化学的另外一个重要分支——有机化学。有机化学和无机化学的结合，衍生出元素有机化学或称金属有机化学，它主要研究有机化合物与金属之间以 C—M 形成的化合物。此外，部分碳化学，包括碳的氧化物、含氧离子或碳化物等，属于无机化学研究范畴。当然，这里不存在严格的界线，也无人去严格规定这种界线。

详细研究化学的能量变化、反应机理、键能、分子的聚合、发生的表面和界面反应等，可以归属为物理化学。同样，物理化学和其他化学学科也没有严格的区分界线，并且许多令人振奋的研究成果往往出现在和其他化学学科的交叉点上。无机化学与其他学科产生的交叉，同样功不可没。这些交叉学科包括：地球化学、无机生物化学、材料科学和冶金学（Metallurgy）等。分析化学：包括定性分析和定量测定、仪器分析等，是进行化学研究的基础。

基础化学则是一门现代化学概论课程。通过化学反应基本规律和物质结构理论的学习，了解当代化学学科的概貌，能运用化学的理论、方法、观点审视人们关注的环境、能源、材料、生命和健康等社会热点问题，了解化学对人类社会的作用和贡献。着重把化学理论和方法及其应用结合起来，用化学的观点来分析化学问题。

第 2 章 物质的状态

化学是研究物质的组成、结构、性质和变化规律的科学。物质是由分子、原子构成的。通常所见的物质有三态：气态、液态、固态。另外，物质还有等离子态、超临界态、超固态以及中子态。

2.1 理想气体

气体是物质的一种状态。气体与液体一样是流体，它可以流动，可变形。与液体不同的是，气体可以被压缩。假如没有限制（容器或力场）的话，气体可以扩散，其体积不受限制。气态物质的原子或分子相互之间可以自由运动。气态物质的原子或分子的动能比较高。

理想气体（ideal gas）为假想的气体。其假设为：①气体分子本身不占有体积；②气体分子持续以直线运动，并且与容器器壁间发生弹性碰撞，因而对器壁施加压力；③气体分子间无作用力，既不吸引也不排斥；④气体分子的平均能量与开尔文温度成正比。其特性为：①理想气体适用理想气体状态方程；②理想气体绝不液化。真实气体在愈低压、愈高温的状态，气体行为愈理想，性质愈接近理想气体。最接近理想气体的气体为氦气。

2.1.1 理想气体状态方程

理想气体状态方程（the state equation of ideal gas）是描述理想气体处于平衡态时的状态方程。它建立在波义耳定律（Boyle's Law）、查理定律（Charles's Law）、盖-吕萨克定律（Gay-Lussac's Law）和阿伏伽德罗定律（Avogadro's Law）等经验定律上。

处于平衡态的气体，其状态与压力 p 、体积 V 和温度 T 有关，表达这几个量之间的关系的方程称为气体的状态方程。不同的气体有不同的状态方程。这些方程通常很复杂。但在压力很小、温度不太低的情况下，各种气体的行为都趋于理想气体。理想气体的状态方程具有非常简单的形式，一般写作：

$$pV = nRT \quad \text{或} \quad pV = NKT$$

式中， p 为理想气体的压力； V 为理想气体的体积； n 为理想气体的物质的量； K 为玻尔兹曼常数， $K = 1.38066 \times 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$ ； N 为单位体积的气体粒子数； T 为理想气体的温度； R 为理想气体常数。表 2-1 列出来 R 所取的单位及相应的数值。

表 2-1 R 取值及单位

单位	$\text{L} \cdot \text{atm} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	$\text{J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	$\text{m}^3 \cdot \text{Pa} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	$\text{cal} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	$\text{L} \cdot \text{torr} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
数值	0.082	8.314	8.314	1.987	62.36

在 $T = 273.15 \text{ K}$ 、 $p = 1.0 \text{ atm}$ 的标准状况下（STP, standard temperature and pressure），任何 1 mol 气体的体积为：

$$V = \frac{nRT}{p} = \frac{1.0 \times 0.082 \times 273.15}{1.0} = 22.4(\text{L})$$

2.1.2 道尔顿分压定律

道尔顿分压定律 (Dalton's Law of Partial Pressures, 也称道尔顿定律) 描述的是理想气体的特性。这一经验定律是在 1801 年由约翰·道尔顿 (John Dalton) 所观察得到的。其描述如下:

在组分之间不发生化学反应的前提下, 理想气体混合物的总压力等于各组分的分压力之和。数学描述为:

$$p_{\text{总}} = p_1 + p_2 + \cdots + p_n$$

式中, p_1 、 p_2 、 $\cdots$ 、 p_n 为每一组分的分压。

结合波义耳定律和阿伏伽德罗定律, 可以推知理想气体各组分的分压之比等于其物质的量分数之比, 即

$$\frac{p_1}{x_1} = \frac{p_2}{x_2} = \cdots = \frac{p_n}{x_n}$$

式中, x_1 、 x_2 、 $\cdots$ 、 x_n 为每一个组分的物质的量。

需要注意的是, 实际气体并不严格遵从道尔顿分压定律, 在高压情况下尤其如此。当压力很高时, 分子所占的体积和分子之间的空隙具有可比性; 同时, 更短的分子间距离使得分子间作用力增强, 从而会改变各组分的分压力。这两点在道尔顿定律中并没有体现。

例 1-1 在 40°C 时, 三氯甲烷的饱和蒸气压为 49.32kPa , 在此温度和 98.64kPa 压力下, 有 4.00L 干燥空气缓慢通过三氯甲烷, 让每个气流都为三氯甲烷蒸气所饱和, 试求: (1) 空气和三氯甲烷混合气体的体积是多少? (2) 被空气带走的三氯甲烷的质量是多少?

解 方法一

4.00L 干燥空气缓慢通过三氯甲烷后的压力为 $p_{\text{空气}}$, 由分压定律可知

$$p_{\text{空气}} + p_{\text{CHCl}_3} = 98.64\text{kPa}$$

因 $p_{\text{CHCl}_3} = 49.32\text{kPa}$, 故

$$p_{\text{空气}} = 98.64 - 49.32 = 49.32\text{kPa}$$

因 T 、 n 恒定, 通过三氯甲烷前, $pV_{\text{空气}} = 98.64 \times 4$, 通过三氯甲烷后空气占的体积为

$$V_{\text{总}} = \frac{98.64 \times 4}{49.32} = 8\text{L}$$

在 40°C 时, 因 $p_{\text{CHCl}_3} = 49.32\text{kPa}$, 所以 $V = 8\text{L}$ 的三氯甲烷的质量为

$$m = \frac{p_{\text{CHCl}_3} V_{\text{总}} M_{\text{CHCl}_3}}{RT} = \frac{49.32 \times 10^3 \times 8 \times 10^{-3} \times 119.36}{8.314 \times 313} = 18.10\text{g}$$

方法二

假设 4.00L 干燥空气缓慢通过三氯甲烷仍为 4.00L , 且压力仍为 98.64kPa , 由分体积定律可知, 4.00L 是空气-三氯甲烷混合气体中空气的分体积。设当三氯甲烷的压力为 98.64kPa 时的体积为 V_i , 则

$$p_{\text{总}} V_i = p_{\text{CHCl}_3} V_{\text{总}}$$

故

$$V_{\text{总}} = 2 \times 4 = 8\text{L}$$

同理得出三氯甲烷的质量为 18.10g 。

2.2 实际气体

在研究气体时, 气体分子本身具有一定体积, 气体分子间的作用力不能忽略时, 应用理想气体的理论会引起一定的偏差, 与理想气体相对, 称其为实际气体 (real gas) 或真实气体。真实气体遵守范德华实际气体方程式

$$RT = \left(p + \frac{a}{V_m^2} \right) (V_m - b)$$

式中, a 是与分子引力有关的常数; b 是与分子自身体积有关的常数, 统称为范德华常数; V_m 为气体的摩尔体积; p 是气体的压力; T 为热力学温度。

2.3 气体的液化

气体的液化 (liquefaction of gas) 指物质由气态转变为液态的过程, 会对外界放热。例如: 被 100°C 的水蒸气烫伤比被 100°C 的开水烫伤往往要严重得多——水蒸气液化时要放出大量的热; 冬天向手上哈气是通过口腔中的水蒸气液化放热让手变暖; 用水壶烧水时壶口上的白气是水蒸气液化成的小水滴。

实现液化有两种手段, 一是降低温度, 二是压缩体积。由于气体液化后体积会变成原来的几千分之一, 便于贮藏和运输, 所以现实中通常对一些气体 (如氨气、天然气) 进行液化处理。氨气和天然气的临界点 (指由一种状态变成另一种状态前应具备的最基本条件。例如临界温度便是气体能液化的最高温度) 较高, 所以在常温下加压就可以变成液体。而另外一些气体如氢气、氮气的临界点很低, 在加压的同时必须进行深度冷却。降低温度的方法很多, 温度降到足够低时都可以液化。生活中的例子如家用液化石油气就是在常温下利用压缩气体体积的方法使它液化, 并储存在钢罐里的; 液体打火机中的丁烷气也是同理; 在冰箱的冷凝器内, 从压缩机送来的氟利昂的蒸气变成了液态, 这是用压缩体积的方法使气体液化并放出热量; 液化氧气是根据气体的沸点不同, 把空气收集起来, 达到各种沸点后分离出来。但压缩体积时, 如果温度高于其临界温度, 则无法通过压缩使其液化。

液化氧气瓶在临床使用较多, 应该注意以下事项。

① 严格遵守操作规程, 注意用氧安全, 做好“四防”, 即防震、防火、防热、防油。
a. 在搬运氧气筒时, 避免倾倒, 勿撞击, 以防爆炸, 因氧气筒内的氧气是以 14.71MPa 灌入的, 压力很高; b. 氧气筒应放在阴凉处, 在筒的周围严禁烟火和放置易燃品, 距火炉至少 5m , 距暖气 1m ; c. 氧气表及螺旋口上勿涂油, 也不可用带油的手装卸, 以免引起燃烧。

② 使用氧时, 应先调节氧流量, 再插管使用; 停用氧时, 应先拔管, 再关氧气开关; 中途改变氧流量时, 应先将氧气管与吸氧管分开, 调节好氧流量后再接上, 以免因开错开关使大量气体突然冲入呼吸道而损伤肺组织。

③ 用氧过程中, 应密切观察病人缺氧症状有无改善, 定时测量脉搏、血压, 观察其精神状态、皮肤颜色及温度、呼吸方式等; 还可测定动脉血气分析判断疗效, 以便选择适当的用氧浓度。

④ 氧气筒内氧气不可用尽，压力表指针降至 0.5MPa 时，即不可再用，以防灰尘进入、再次充气时发生爆炸。

⑤ 持续鼻导管给氧的病人，鼻导管应每日更换 2 次以上，双侧鼻孔交替插管，以减少刺激鼻黏膜，及时清除鼻腔分泌物，以防堵塞鼻导管。鼻塞给氧应每日更换鼻塞，面罩给氧应 4~8h 更换一次面罩。

⑥ 对已用空和未用的氧气筒，应分别挂“空”或“满”的标志，以方便及时调换氧气筒，以免急用时因搬错氧气筒而影响抢救速度。

2.4 液体

2.4.1 液体的基本性质

液体 (liquid) 是物质三个常见的基本状态 (气体、液体、固体) 之一。液体是流体，和固体不同，液体中的分子自由度较高，可以流动。在固体中使分子固定不动的力，在液体中只是暂时性的。

液体和气体一样，有流体的特质。液体没有一定的形状，会顺着容器的外形而改变，若是在密封容器中，容器每个表面都会受到相同的压力。液体和气体也有不同之处：气体一定可以和另一气体均匀混合，液体则不然，两种液体 (例如水和油) 可能无法均匀混合。液体也不会填满容器中所有的空间，会产生液体本身的表面，除非受到高压压缩，液体受压缩后的体积变化不大。

液体的粒子间结合得非常牢固，但不是刚性结合，粒子之间有一定的自由度可以移动。温度上升时，分子的振动增加，使得分子之间的距离也会增加。当液体的温度到达沸点时，分子之间的内聚力 (the cohesion value, 又叫黏聚力) 消失，因此液体会转变为气体 (除非出现过热情形)。当温度下降时，分子之间的距离减小。当温度降低到凝固点 (freezing point) 时，分子会排列成一种特殊的形式，称为结晶，而分子之间的内聚力越来越强，液体会转变为固体 (除非出现过冷现象)。

常温常压下，只有 2 种元素单质呈液态：汞和溴。另有 4 种元素单质熔点略高于室温：铋 (其推测的熔点高于室温)、铯、镓和铷。室温下为液态的合金包括钠钾合金，易熔化的 Galinstan (镓铟锡) 合金，及一些汞合金。常温下呈液体的纯物质包括水、乙醇及许多有机溶剂。液态水在化学及生物学上相当重要，一般认为是生命存在所必需的物质。无机液体包括水、无机非水溶剂及无机酸。日常用到的液体中包括许多水溶液，例如家用的漂白水，矿物油及石油等不同物质的混合物，蛋黄酱或油醋汁等乳浊液，血之类的悬浊液，油漆及牛奶等胶体。

许多气体可以用冷却的方式液化，产生像液氧、液氮、液氢、液氦及液氙等液体，但不是所有气体都可以在一般大气压力下液化，如二氧化碳只能在高于 5.1atm 的条件下液化。

一些物质无法归类到四种状态中的一种，它们同时具有类液体和类固体的性质，如液晶和生物膜。

2.4.2 液体的力学性质

(1) 体积

通常用体积度量液体。体积单位包括国际单位制中的立方米 (m^3) 及其衍生单位，较