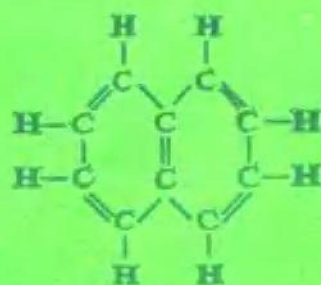


化学基本计算

宋广治 著



四川人民出版社

化学基本计算

宋广治

四川人民出版社

一九八三年·成都

责任编辑：韩承训、罗传普

化学基本计算

宋广治

四川人民出版社出版 (成都盐道街三号)

四川省新华书店发行 渡口市新华印刷厂印刷

开本 787×1092 毫米 1/32 印张 6.75 插页 字数 142 千

1983 年 11 月第一版 1983 年 11 月第一次印刷

印数：1—66,000 册

书号：7118·717

定价：0.60 元

内 容 提 要

本书主要阐述中学化学各类基本计算问题，也适当编选了少量大学低年级普通化学有关内容。各章从基本概念和基础理论入手，结合例题进行讲解，并配有大量习题，以利于提高分析、解题能力，复习和巩固基础知识。题目由浅入深，疑难题附提示及说明，所有习题均附答案。

本书可作为高中毕业生复习辅导用书，也适于中学生、大学低年级学生及具有同等文化程度的自学者学习参考，并可供中学教师教学选用。

前 言

化学计算在学习化学理论或解决实际问题中具有十分重要的作用。不少人，特别是初学者及中学生，在遇到一些较复杂的或与生产实践较接近的问题时往往感到棘手。本书从基本理论入手，结合例题加以讲解，并辅以大量各种类型的习题，这不仅有助于初学者掌握化学基本计算，提高分析、解题能力，而且对高中毕业生及大学低年级学生学习和复习巩固化学基础知识也有很大帮助，所编习题还可供中学教师教学时选用。

本书共十三章，精选例题 150 题，习题 640 题，其中大部分紧扣中学化学统编教材，少量计算属于大学低年级普通化学课程。题目类型比较全面，而特别侧重于基本概念和基础理论方面的训练，并在深度和广度上有所加强。对于简单计算，所举例题均简化了运算过程中的单位，(所有例题均略去作答)，而对于难度较大的或中学化学中未见过的计算，书中均加以说明，部分习题给出提示，一些公式还列出推导过程，以便于读者学习运用。

本书初稿写成后，承蒙西北大学无机化学教研室主任刘翊纶同志、南京大学化学系络合物研究所黄德培同志审阅并提出宝贵意见，尤其在修改过程中，成都四中特级教师解子宜同志曾给予具体指导，谨此致谢。由于水平所限，书中缺点错误在所难免，敬请读者批评指正。

编 者

目 录

第一章 有效数字.....	1
第二章 摩尔.....	2
一、摩尔的概念.....	2
二、物质的量（摩尔数）.....	3
第三章 压力、温度和气体体积之间的关系.....	8
一、在 恒温下气体体积和压力的关系	
波义耳定律.....	8
二、标准压力.....	9
三、在压力不变时气体的体积和温度的关系	
盖·吕萨克定律.....	11
四、开尔文温标（热力学温度）.....	12
五、理想气体状态方程式.....	14
六、气体的密度.....	18
七、分压定律.....	22
第四章 当量	27
一、元素的当量.....	27
二、当量数	29
三、离子的当量.....	29
四、当量定律.....	30
五、化合物的当量和当量数.....	34

第五章 溶液	41
一、溶解度	41
二、溶液的浓度	52
三、稀溶液的依数性	68
第六章 当量浓度的应用	76
一、标准溶液的标定	76
二、溶液的稀释	77
三、酸碱的中和滴定	79
四、氧化—还原滴定	81
五、沉淀滴定	82
第七章 实验式及分子式的推求	89
一、实验式的确定	89
二、物质分子量的测定	90
三、分子式的确定	91
第八章 根据分子式进行计算	101
一、计算物质的百分组成	101
二、求一定量化合物中含某元素的质量	104
三、求含一定量某元素的化合物的质量	105
第九章 根据化学反应方程式进行计算	108
一、由纯净反应物质量求生成物质量	108
二、由生成物质量求反应物（纯净的）质量	109
三、由生成物或反应物质量求另一生成物 或反应物的质量	109
四、由两种反应物的量求生成物的量	110
五、不纯反应物或生成物的计算	111
六、由反应物溶液的浓度和体积计算反	

应物或生成物的量	112
七、有关反应物或生成物中气体体积的计算	113
八、关于多步反应的计算	114
九、关于利用率和产率的计算	115
十、关于混和物的计算	116
第十章 反应热效应	127
第十一章 化学反应速度与化学平衡	136
一、化学反应速度	136
二、影响化学反应速度的因素	137
三、化学平衡	139
四、平衡常数	139
五、化学平衡的移动	144
六、影响化学平衡的因素	144
第十二章 弱电解质的电离平衡	155
一、弱电解质的电离平衡	155
二、盐类水溶液的酸碱性	160
三、缓冲溶液	165
四、溶液的 pH 值	170
第十三章 沉淀反应	176
习题答案	186
附录	205
一、国际原子量表 (1979)	205
二、国际制 (SI) 基本单位	207
三、水的蒸气压	208

第一章 有效数字

有效数字是表达测得数量的数字。它直接关系到推导所得答数的正确性，在化学计算上是很重要的。

在化学中，除了组成单质或化合物分子式中的原子个数，以及某单质或化合物中的分子个数(1分子、2分子……)这类数字确定无疑外，通过实验测定出来的大量数据都是近似值。对于这些测量的数值，其数字的取值位数必须与所用测量仪器、测量方法等的精确程度相符。例如用感量1/10克的台秤称量物体时，以克为单位，小数点后只能读出一位；若用感量为1/10,000克的分析天平来称，则有效数字可保留到小数后第四位。以上各数值的最后一位数是估计出来的，它们的误差分别为 ± 0.1 克和 ± 0.0001 克。

在计算过程中，有效数字的取舍也很重要。计算结果所保留的有效数字，必须与测试所用仪器的准确度一致。

当几个数加减时，各数及其和或差的有效数字，都只要保留到各数中小数点后位数最少的一位。

当几个数乘除时，其积或商的有效数字，只要保留到与各数中位数最少者的相同个数。

总之，在化学计算中一定要注意“有效数字”及其计算规则。只有这样，才能取得准确、严密、合理和简捷的效果。

第二章 摩 尔

随着科学技术的发展，分子、离子、原子、电子等微观粒子的不断发现，人们逐步采用了摩尔（英文名称是 mole，它的国际符号是 mol）这个宏观的量来量度这些微观粒子。

一、摩尔的概念

1971 年第十四届国际计量大会通过，把摩尔作为国际单位制的基本物理量。

国际上对摩尔的定义是：“摩尔是一系统的物质的量，该系统中所包含的基本单元数与 0.012 千克 ^{12}C 的原子数目相等。在使用摩尔时，基本单元应予指明，可以是原子、分子、离子、电子及其它粒子，或是这些粒子的特定组合体。”

由于摩尔这个量的出现，把原来的克原子、克分子以及气体克分子体积等量都统一起来了。

从摩尔的定义可以看出：摩尔与质量、体积、个数等许多量不同，它既能表示一种物质的质量，又能表示该物质所包含的基本单元数，所以摩尔具有双重函义。

原子或分子的摩尔质量，在数值上等于其原子量或分子量，单位为克/摩尔。目前国际上用千克作质量的基本单位，摩尔质量表示为千克/摩尔，这时只需将原子量或分子量的数值缩小 1000 倍即得。

由于1个 ^{12}C 原子的绝对质量是一定的(1.992×10^{-26} 千克),所以1摩尔碳原子0.012千克 ^{12}C 中所含的原子数目是一定的。

$$\frac{0.0120 \text{ 千克/摩尔}}{1.992 \times 10^{-26} \text{ 千克/个}} = 6.02 \times 10^{23} \text{ 个/摩尔}$$

6.02×10^{23} 个/摩尔(更精确的是 6.022045×10^{23} 个/摩尔),称为阿佛加德罗常数,符号为 N_A 。通过测定,1摩尔任何物质所含的基本单元数都是 6.02×10^{23} 个。例如,1摩尔氧原子含有 6.02×10^{23} 个氧原子;1摩尔氧分子含有 6.02×10^{23} 个氧分子;1摩尔硫酸钾含有

$$\begin{cases} 6.02 \times 10^{23} \text{ 个 } \text{SO}_4^{2-} \text{ 离子} \\ 2 \times 6.02 \times 10^{23} \text{ 个 } \text{K}^+ \text{ 离子} \end{cases}$$

气体的体积变化与温度和压力有关,但在标准状况(0°C , 760毫米汞柱)下,1摩尔任何气体的体积都约是 0.0224 米^3 。

由于各种气体在一定温度和压力下,分子间的平均距离是相等的,所以在同温同压下,相同体积的任何气体都含有相同数目的分子。这个结论叫做阿佛加德罗 (Avogadro) 定律。

二、物质的量(摩尔数)

摩尔是物质的量的一种单位,摩尔数是指一定量物质含有多少摩尔,是指物质的量。二者是不同的概念。

摩尔数相当于旧单位中的克原子数或克分子数等。

由于同一种物质的摩尔质量是一定的,一摩尔任何物质

所含的基本单元数都是 6.02×10^{23} 个，以及在标准状况下一摩尔任何气体的体积都约是 0.0224米^3 。所以摩尔数可以通过以下方法求得。

$$\begin{aligned}\text{物质的量(摩尔)} &= \frac{\text{物质的质量(千克)}}{\text{摩尔质量(千克/摩尔)}} \\ &= \frac{\text{粒子的数目(个)}}{6.02 \times 10^{23} \text{个/摩尔}} \\ &= \frac{\text{气体在标准状况下的体积(米}^3\text{)}}{0.0224 \text{米}^3\text{/摩尔}}\end{aligned}$$

例1 计算在 320.5克 KH_2PO_4 中含有多少摩尔 KH_2PO_4 。

解：∵ 1摩尔 $\text{KH}_2\text{PO}_4 = 0.1361$ 千克

∴ KH_2PO_4 的摩尔数为

$$0.3205 \text{千克} / (0.1361 \text{千克/摩尔}) \approx 2.355 \text{摩尔}$$

例2 计算在 0.45 摩尔 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 中：(a) 含有多少克 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ；(b) 含有多少摩尔 Cr 和 O；(c) 含有多少克 Cr 和 O。

解：(a) ∵ 1 摩尔 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 = 0.2942$ 千克

∴ 0.45 摩尔 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 的质量是

$$0.2942 \text{千克/摩尔} \times 0.45 \text{摩尔} = 0.1324 \text{千克}$$

(b) ∵ 1 摩尔 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 中含有 2 摩尔 Cr 和 7 摩尔 O

∴ 0.45 摩尔 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 中含有

$$0.45 \text{摩尔 } \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \times 2 \text{摩尔Cr/摩尔 } \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 = 0.90 \text{摩尔Cr。}$$

$$0.45 \text{摩尔 } \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \times 7 \text{摩尔O/摩尔 } \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 = 3.15 \text{摩尔O。}$$

(c) ∵ 1 摩尔 Cr = 0.052 千克 = 52 克，1 摩尔 O = 0.016

千克=16克

$\therefore \text{Cr}$ 的克数 = $52 \text{克/摩尔} \times 0.90 \text{摩尔} = 46.8 \text{克}$

O 的克数 = $16 \text{克/摩尔} \times 3.15 \text{摩尔} = 50.4 \text{克}$

例3 计算 24.5 克氯气: (a) 在标准状况下体积是多少米³; (b) 所含的分子数。

解: (a) $\because 1 \text{摩尔Cl}_2 = 0.0709 \text{千克}$

$\therefore 24.5 \text{克Cl}_2$ 的摩尔数 = $0.0245 \text{千克} / (0.0709 \text{千克/摩尔}) = 0.346 \text{摩尔}$

Cl_2 的体积 = $0.0224 \text{米}^3 / \text{摩尔} \times 0.346 \text{摩尔} = 7.75 \times 10^{-3} \text{米}^3$

(b) Cl_2 的分子数 = $6.02 \times 10^{23} \text{个/摩尔} \times 0.346 \text{摩尔}$
 $= 2.08 \times 10^{23} \text{个}。$

习 题

2-1 求下列各元素的摩尔数:

(a) 72.4 克 O ; (b) 54.2 克 S ; (c) 652.4 克 Xe ; (d) 89.6 克 K ;
(e) 432.5 克 W 。

2-2 计算: (a) 1.25 摩尔 Cr 中 Cr 的质量; (b) 2.23 摩尔 Cl 中 Cl 的质量。

2-3 比较 243.5 克 Pb 和 8.23 克 He 中哪一个的原子数目多?

2-4 计算 4.32×10^{23} 个氟原子的质量是 6.72×10^{22} 个镁原子质量的多少倍。

2-5 计算下列各物质所含分子的摩尔数:

(a) 252.4 克硫酸钡; (b) 78.8 克氮气; (c) 134.4 克氧化铜;
(d) 312.6 克五氧化二磷; (e) 100.2 千克醋酸铅。

2-6 计算下列各物质的质量:

(a) 4.2 摩尔氟化氢; (b) 2.4 摩尔磷酸二氢钾; (c) 0.48 摩尔四氯化

硅；(d)1.12摩尔叠氮酸(HN_3)；(e)8.42摩尔铬酸铅。

2-7 计算4.23摩尔含水氢氧化锶 $[\text{Sr}(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}]$ 的分子数及其中氢氧化锶的质量。

2-8 计算42.64克氯酸钾可制取氧气的摩尔分子数。

2-9 计算33.1克硝酸铅中所含Pb、N、O的摩尔原子数。

2-10 多少摩尔的砷酸钠($\text{Na}_3\text{AsO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$)中含有424.5克O?

2-11 多少千克的七水亚硫酸钠中含有2.12摩尔S?

2-12 多少克的含水结晶硝酸镁 $[\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}]$ 中所含的H原子数是 4.14×10^{25} 个?

2-13 (a)制取1.45吨硫酸需要多少摩尔硫原子? (b)这些硫原子的质量是多少?

2-14 计算 (a)480公斤氧气中所含氧分子的摩尔数; (b)在标准状况下该气体的体积。

2-15 计算在标准状况下, 1升硫化氢气体的质量和其中所含分子的个数。

2-16 工业上用硫铁矿(FeS_2)焙烧制取二氧化硫。计算650公斤含杂质20%的硫铁矿焙烧(假设杂质不与空气作用), 在标准状况下理论上需要多少立方米的空气(空气里约含有1/5体积的氧气)及其中所含氧气的摩尔数。

2-17 一种含杂质的焦炭25公斤, 在空气中完全燃烧, 用去标准状况下的空气140米³, 计算这种焦炭的百分含量(假设杂质不与空气作用)。

2-18 计算 7.85×10^{24} 个甲烷分子在标准状况下的体积。

2-19 8.42×10^{26} 个氯酸钾分子与二氧化锰混和加热, (a)在标准状况下可收集多少立方米的氧气? (b)这些氧气所含氧分子的摩尔数是多少? (c)这些氧气的质量又是多少?

2-20 一定量的硫酸钠溶液中含有15.2克 Na_2SO_4 , 如果95%的 Na_2SO_4 电离成离子。求溶液中(a)未电离的 Na_2SO_4 的摩尔数; (b) Na^+ 离子的摩尔数; (c) SO_4^{2-} 离子的摩尔数。

- 2-21 求含 Mg^{2+} 离子21.5克的氯化镁溶液中 Cl^- 离子的摩尔数。
- 2-22 多少摩尔 FeCl_3 溶于水后可以得到45.2克 Cl^- 离子。假如 FeCl_3 在溶液中有45%电离了。
- 2-23 45克 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 在酸性溶液中要获得多少摩尔电子才能全部变成 Cr^{3+} 离子。
- 2-24 54.2克 FeSO_4 在溶液中要失去多少摩尔电子才能使 Fe^{2+} 离子全部转变为 Fe^{3+} 离子。
- 2-25 煅烧石灰石在 150°C 、0.8大气压下得到450米³ CO_2 气体。求参加反应的纯 CaCO_3 的摩尔数(假设杂质不产生 CO_2)。
- 2-26 23克钠原子核外有多少摩尔电子?它和多少克氯气核外所含的电子数相同?它们化合以后能得到多少摩尔氯化钠分子?
- 2-27 1摩尔二水氟硅酸($\text{H}_2\text{SiF}_6 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), 1摩尔半水硝酸汞 $[\text{Hg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}]$ 及1摩尔碱式碳酸铜 $[\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3]$ 中各含多少摩尔原子?
- 2-28 在标准状况下, 1摩尔水、1摩尔空气及1摩尔氯化银(密度为5.56克/厘米³)的体积各是多少?取相同质量的以上三种物质时, 它们的摩尔数的比是多少?
- 2-29 114克过二硫酸铵 $[(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8]$ 所含的原子数与多少克氨所含的分子数相同?
- 2-30 100毫升 $\text{pH}=5$ (见后面章节)的某稀酸溶液中, H^+ 和 OH^- 离子的个数各是多少?它们的质量又是多少?
- 2-31 在标准状况下, 1体积的氧气和4体积的二氧化碳混和后, 计算混和气体的平均分子量。
- 2-32 实验室常用浓盐酸与二氧化锰反应制取氯气, 或者由高锰酸钾与浓盐酸反应制取氯气, 计算在相同条件下用两种方法制取相同体积的氯气所用盐酸的质量比及摩尔数比。

第三章 压力、温度和气体 体积之间的关系

在化学中，经常碰到气体。由于气体分子的实际体积在通常情况下和气体的总体积相比是可以忽略不计的，而且在相同温度下不管分子的质量大小如何，不同气体分子的平均动能又是相同的，所以气体与液体和固体在性质上有许多差异。

一、在恒温下气体体积和压力的关系 波义耳定律

1660 年英国科学家波义耳(Robert Boyle)从大量的观察

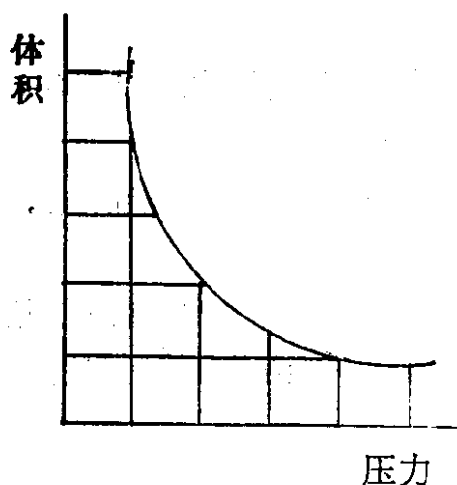
中概括出波义耳定律：在恒定温度下，一定质量的气体的体积与它所承受的压力成反比。

如果用 V 和 P 来表示恒温下，一定量气体的体积和它的压力。用数学公式表示，就是

$$V \propto 1/P \quad \text{即} \quad PV = k$$

式中 k 为比例常数。若 V_1 和

图1：波义耳定律的图线说明——在恒温下，气体的体积和压力成反比



$$P_1V_1=P_2V_2$$

因此，波义耳定律也可以这样表述：在恒温下，一定质量气体的压力和它的体积的乘积是一个不变量。

二、标准压力

同一气压计在不同的地方它的读数是不一样的，就是在同一个地方，每天的大气压也有起伏。1644年托里折利(Torricelli)用一端封闭的玻璃管创制了汞大气压计。

在纬度 45° 的海平面上，大气的平均压力可以支撑 760 毫米高的汞柱。于是在纬度 45° 处的平均海平面压力就是 760 毫米汞柱高，科学上把它叫做标准大气压 (atm)，即 1 大气压。

国际单位系统 (SI) 建议使用的压力单位是帕斯卡 (Pa) 它是力的牛顿单位为基础而定出的。

$$\begin{aligned}\text{帕斯卡} &= \text{牛顿}/\text{米}^2 = \text{千克} \cdot \text{米} \cdot \text{秒}^{-2} / \text{米}^2 \\ &= \text{千克} \cdot \text{秒}^{-2} / \text{米} = \text{千克} \cdot \text{秒}^{-2} \cdot \text{米}^{-1}\end{aligned}$$

$$1 \text{ 大气压} = 760 \text{ 毫米汞柱} = 101,325 \text{ 帕斯卡}。$$

例 1 测得某地的气压为 730 毫米汞柱，把这个气压用帕斯卡表示出来。

$$\text{解：} \because 1 \text{ 大气压} = 101,325 \text{ 帕斯卡}$$

$$\therefore 730 \text{ 毫米} = \{730 \text{ 毫米} / (760 \text{ 毫米} / \text{大气压})\} \times 101,325 \text{ 帕斯卡} / \text{大气压} \approx 9.73 \times 10^4 \text{ 帕斯卡}。$$

例 2 在 20°C 和 750 毫米汞柱压力下，某气体样品的体积为 200 毫升，问在相同温度下，当压力加大到 1.5 大气压时，气体的体积为若干？