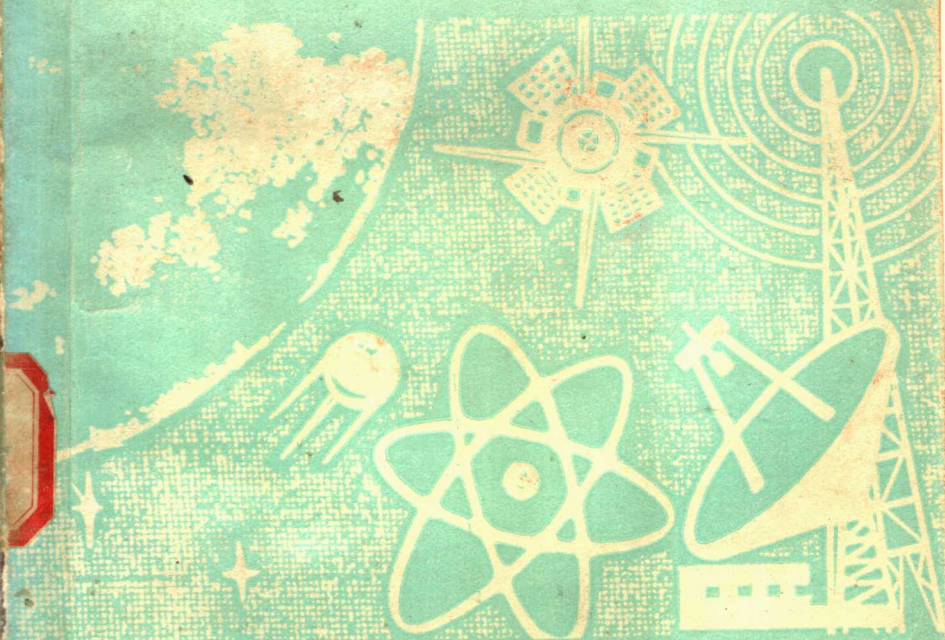


中学化学计标

陶 允 和 编 著



中学化学计算

陶允和 编著

安徽人民出版社

中学化学计算

陶允和 编著

*

安徽人民出版社出版

安徽省新华书店发行

安徽安庆地区印刷厂印刷

*

开本787×1092 1/32 印张12 7/8 字数180,000

1979年5月第1版 1979年5月第1次印刷

印数1—200,000

统一书号: 13102·31 定价: 1.00元

前 言

“进行化学计算能使学生对量的方面理解物质及其变化的规律，并获得化学计算的基本技能。”本书依据《中学化学教学大纲》，为适应加强化学基础知识和基本技能的教学需要，集中讲解了化学计算问题。全书选编了各种类型的计算题920多道，其中分析解题的有267道(占29%)，还有600多道作为练习题供中学生课外演算参考。

由于编者水平差，时间又仓促，书中缺点、错误一定不少。恳切希望读者批评指正！

编 者 1978年9月

目 录

第一章 有关分子式的计算

一、分子式与化合价	3
二、由分子式计算分子量	10
三、摩尔原子、摩尔分子	11
(一)摩尔原子数与原子量以及原子个数的换算	13
(二)摩尔分子数与分子量以及分子个数的换算	15
(三)摩尔分子、摩尔原子与克的换算	20
四、当量及克当量	26
五、计算化合物里各元素的组成	41
六、计算一定量化合物中所含元素的量以及已知元素的 量求化合物的量	52
七、计算气态物质的密度和体积	66
(一)气体的质量(克或摩尔)与体积的换算	68
(二)气体的密度(绝对密度和相对密度)	69
(三)混合气体各成分的质量和体积	72
(四)非标准状况下气体体积与压强、温度的换算	75

第二章 有关化学方程式的计算

一、化学反应前后质量之间的计算	83
二、有关质量及气体体积的计算	89

三、多步反应	100
四、伴有杂质的计算	105
五、有关生产利用率的计算	116
六、关于过量问题的计算	126
七、关于热化学方程式的计算	137
八、其他类型的计算	147

第三章 有关溶解度和溶液浓度的计算

一、溶解度	162
(一)求溶解度	165
(二)求结晶	168
二、溶液的浓度	179
(一)质量百分比浓度	179
1.溶质、溶剂和质量百分比浓度的换算	179
2.有关气体的质量百分比浓度	182
3.有关比重和密度的计算	182
4.浓溶液的稀释	186
5.不同浓度的溶液的混和	188
6.溶解度和质量百分比浓度的换算	192
7.质量百分比浓度与化学方程式的计算	194
8.极稀溶液的质量百分比浓度——即 $p.p.m.$	197
(二)摩尔浓度	204
1.溶质、溶液和摩尔浓度的相互换算	204
2.摩尔浓度与质量百分比浓度的换算	210
3.摩尔溶液的稀释与混和	214
4.摩尔浓度与化学方程式的计算	220

(三)当量浓度	236
1. 溶质、溶液和当量浓度的相互换算	238
2. 当量浓度与质量百分比浓度及摩尔浓度的换算	244
3. 当量浓度的稀释与混和	247
4. 中和反应	251
5. 根据化学方程式的计算	256

第四章 确定化学式

一、确定物质的实验式	274
二、确定物质的分子式	284
三、确定物质的示性式和结构式	303

第五章 有关化学基本理论的计算

一、原子结构和元素周期表	323
二、化学反应速度与化学平衡	334
三、电离度	348
四、电离常数	358
五、有关 pH 值的计算	366
总复习题	373

第一章 有关分子式的计算

化学上用元素符号来表示元素的质和量，例如：氢元素的符号是“H”，它的涵义：

1. 表示元素的质，即氢元素的一个原子(这是指书写形式)。

2. 表示元素的量，1个氢原子质量为1.008。也表示1摩尔原子氢，它包含 6.02×10^{23} 个原子颗粒，重1.008克。

注：一个氢原子的绝对质量是 1.661×10^{-27} 千克，一个氢原子(包括氢的天然同位素)的相对质量是 ^{12}C 原子质量的 $1/12$ 的比值。现有原子量只是一个比值，它是没有单位的。

根据国务院一九七七年五月二十七日国发[1977]60号“关于颁发《中华人民共和国计量管理条例(试行)》的通知”中明确规定“摩尔”为基本单位并要求遵照执行的精神，本书同全国中学化学通用课本一致，采用摩尔作为物质的量的单位。

摩尔(mol)是一物系的物质的量，该物系中所包含的结构粒子数与0.012千克碳-12的原子数目相等。

在使用摩尔时，结构粒子可以是原子、分子、离子、电子及其它粒子，或者是这些粒子的特定组合体，均应指明。

现有中学化学课本的“克原子”应理解为摩尔原子，“克分子”即摩尔分子。

原子可以构成物质，如Cu、Hg、C、Na、Ca等。同一种原子相互结合，构成了物质的单质分子。例如： O_2 、 Cl_2 、 O_3 、 H_2 、 F_2 、 N_2 等，都是单质分子，单质分子的种类是有限

的。绝大多数的分子是由不同种类的元素原子组成化合物分子，目前已知元素106种，已知由这些元素组成五百多万种化合物分子，而且每年还有十余万种新物质陆续被人们所发现。

分子式就是用元素符号来表示物质分子里的原子种类和数目的化学式。化学式可以分实验式、分子式、示性式和结构式四种，无机化学通常用分子式表示物质（其他几种化学式参看本书第四章）。分子式的涵义也是包括物质的质和量两个方面。例如硫酸的分子式是 H_2SO_4 ，它的涵义是：

1. 质的方面：

(1) H_2SO_4 是硫酸（是什么物质）的一个分子；

(2) 硫酸分子里含有 H、S、O 三种元素。

2. 量的方面：

(1) 各种元素的原子数目及质量比

$$2\text{H} : \text{S} : 4\text{O} = 2 : 32 : 4 \times 16 = 1 : 16 : 32$$

(2) 分子量： $\text{H}_2\text{SO}_4 = 2 + 32 + 64 = 98$ ；

(3) 分子粒子数：1 摩尔分子含 6.02×10^{23} 个分子。

既然化学上的分子式包含着质和量的两个方面，那么，我们就可以根据分子式来进行化学计算。

要注意的是：人们确定分子式是从科学实践中测得的，决不能凭空臆造，因而根据分子式进行各种化学计算，必须采用正确分子式。

一、分子式与化合价

化合价的本质 原子与原子结合成分子时，必须遵循一定规则，我们把元素间相互化合时，其中原子个数的关系叫做化合价。化合价的本质，实际上就是：

1. 金属键：金属键是由金属的自由电子和金属原子及离子组成的晶格之间的相互作用构成的。在气态分子中金属呈单原子没有金属键，金属实际上是一种包含几乎无限多原子的共价键。为了方便起见，通常把气态金属一个原子当作书写的分子式，一个金属原子没有化合价。

2. 非极性键：相同的非金属原子（惰性气体是单原子分子）之间，彼此以非极性键相互结合，因为电子对不发生偏移，它们的化合价为0。例如双原子分子 H_2 、 O_2 、 Cl_2 、 F_2 、 Br_2 、 I_2 、 N_2 及多原子分子 O_3 、 P_4 、 S_2 、 S_4 、 S_6 、 S_8 及 CO_2 等。

平时我们把单质的化合价简单地说是零，这是不够严密的。依照共价键理论，单质分子的共用电子对完全对称于两个原子核，没有偏向、偏离的现象，即没有电子得失或相对转移，可认为氧化值为0（不是化合价为0），至于它们的共价键却等于共用电子对的数目。因此，象 H_2 、 Cl_2 、 F_2 共价是1，共1对电子，即价键数是一价； N_2 共三对电子（ $:N::N:$ ），氮的价键数是三价；至于 O_2 （ $O:::O$ 一个单键，两个三电子键）是二价。它们的氧化值都是零。

过氧化物、超氧化物的氧化值和化合价也是有区别的。至于一般离子化合物和共价化合物，元素的化合价和氧化值是一致的。

3. 离子键：活动的金属跟活动的非金属之间，彼此以离子键结合，这种元素的原子在形成化合物时失去或结合多少

个电子的能力，数值上就等于离子所带的电荷数。其中金属原子呈正价，非金属原子呈负价。例如 $\text{Na}^{+1}\text{Cl}^{-1}$ 等。

在通常情况下，离子化合物是固体，象 NaCl 固体里，每个 Cl^{-} 的周围都有 6 个 Na^{+} ，每个 Na^{+} 周围有 6 个 Cl^{-} ，在晶体内部任何地方都不存在 NaCl 分子，但为了简便起见，仍把 NaCl 当作氯化钠的分子式。

4. 极性键：两种不同的非金属元素形成的化合物，以及金属跟不活动非金属形成的化合物，通常由极性键形成，其中共价键的电子对数就是化合价价数。电子对偏向哪种原子，哪种原子就为负价；电子对偏离哪种原子，哪种原子就为正价。例如： $\text{H}^{+1}\text{Cl}^{-1}$ 、 $\text{Fe}^{+2}\text{S}^{-2}$ 、 $\text{S}^{+6}\text{O}_3^{-2}$ 等。

三种以上的元素组成的分子，其中除极性键以外，象强碱和含氧酸的钾盐、钠盐里还含有离子键。

化合价的判别 实际上判别化合物分子式里元素的化合价，通常采用下列简单办法：首先掌握化合物里各元素正负化合价的代数和为 0，其次记住一些常用元素的正负价数，就可以写出分子式了。

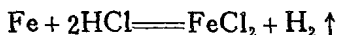
1. 属于正价的有： H^{+1} 、 NH_4^{+1} ，

金属离子—— K^{+1} 、 Na^{+1} 、 Ba^{+2} 、 Ca^{+2} 、 Mg^{+2} 、 Al^{+3} 、 Zn^{+2} 、 Fe^{+2} 、 Fe^{+3} 、 Cu^{+2} 、 Cu^{+1} 、 Hg^{+1} 、 Ag^{+1} 。

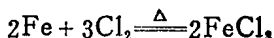
2. 属于负价的有： O^{-2} 、 Cl^{-1} 、 S^{-2} 、 OH^{-1} 、 SO_4^{-2} 、 NO_3^{-1} 、 PO_4^{-3} 、 CO_3^{-2} 。

含氧化合物里氧一般是 -2 价(除 OF_2)。

3. 属于变价：由于元素的原子结构不同，在参加化学反应时条件不同，有的原子往往在失去最外层电子时，还可以失去次外层电子。例如铁跟盐酸反应生氯化亚铁，铁是 +2 价。



铁跟氯气反应生三氯化铁，其中铁是+3价。



红热的铁跟水蒸汽作用生四氧化三铁，其中铁有+2价，还有+3价。



(i) 不论怎样，金属的变价总还是正价，即使金属组成的酸根是负价，但是酸根里面的金属还是正价。如 KMnO_4 的酸根 (MnO_4^{-1}) 为负，但其中 Mn 本身还是+7价。

(ii) 非金属的化合价，除掉氟、氧尚未发现变价外，其他非金属元素都有好几种变价。例如：

氢跟活动金属化合，氢为-1价， $\text{Na}^{+1}\text{H}^{-1}$ 、 $\text{Ca}^{+2}\text{H}_2^{-1}$ 、 $\text{Li}^{+1}\text{H}^{-1}$ 。

氢跟非金属元素化合，氢为+1价， HCl 、 H_2S 、 NH_3 、 CH_4 、 H_2SO_4 、 NaOH 等。

氯的可变化合价有：-1、+1、+3、+5、+7，分别为 NaCl 、 HClO 、 HClO_2 、 KClO_3 、 HClO_4 。

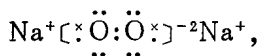
硫的可变化合价有：-2、+4、+6，分别为 Na_2S 、 SO_2 、 Na_2SO_4 等。

氮的可变化合价有-3、+1、+2、+3、+4、+5，分别为 NH_3 、 N_2O 、 NO 、 N_2O_3 、 NO_2 、 N_2O_5 。

(iii) 非金属跟另一非金属组成的化合物，要看哪种非金属性强，它的化合价就是负价；非金属性较弱的哪一种元素才是正价。如 $\text{S}^{+2}\text{F}_2^{-1}$ 、 $\text{S}_2^{+1}\text{Cl}_2^{-1}$ 、 $\text{N}^{+3}\text{F}_3^{-1}$ 。

4. 特殊分子式的化合价：有些元素的化合价不能从分子

式书写“形式上”来判别，而要从它们的结构式来判别的。例如：在 Na_2O_2 分子中，存在过氧链 $-\text{O}-\text{O}-$ ，其晶体结构有 O_2^{2-} （二价氧分子离子），氧元素的氧化值为 -1 （每个氧原子得到一个电子，还共用一对电子），电子式是：



因此，氧的化合价为 2 （ 1 电价和 1 共价）。平时我们习惯地称 $\text{Na}_2^{+1}\text{O}_2^{-1}$ ，其实这是指氧化值而言。又如在 H_2O_2 分子中，氧元素的氧化值也是 -1 （氢与氧之间的共用电子对偏向氧），其化合价则为 2 （ $\text{H}-\text{O}-\text{O}-\text{H}$ ），同样，对 $\text{H}_2^{+1}\text{O}_2^{-1}$ 习惯上也不加区分，误把氧化值当作化合价。至于 Fe_3O_4 有人认为它由 $\text{Fe}^{+2}\text{O} \cdot \text{Fe}_2^{+3}\text{O}_3$ 构成，也有人认为它是一种铁酸盐 $\text{Fe}^{+2}\text{Fe}^{+3}(\text{Fe}^{+3}\text{O}_4)$ ，其中铁有 $+2$ 价还有 $+3$ 价。（在 Fe_3O_4 分子里， Fe 的氧化值是 $\frac{8}{3}$ ）

根据分子式，指出元素的化合价 甲、乙两元素组成化合物时，他们彼此间的关系（化合价与原子个数）一定是：甲元素的价数 $\times$ 个数 + 乙元素的价数 $\times$ 个数之和为 0 。

或者是：

$$\overbrace{|\text{价数}| \times \text{个数}}^{\text{甲元素}} = \overbrace{|\text{价数}| \times \text{个数}}^{\text{乙元素}} \quad (\text{绝对值相等})$$

例一 计算五氧化二磷的化合价。

解 写出五氧化二磷的分子式 P_2O_5 ，

磷的化合价 $\times$ 磷原子数 + 氧的化合价 $\times$ 氧原子数 $= 0$ ，

即磷的化合价 $\times 2 + (-2) \times 5 = 0$ ，

磷的化合价 $= \frac{+10}{2} = +5$ 价。

例二 求下列分子式里氯元素的化合价

(1) Cl_2 (2) FeCl_3 (3) $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ (4) HClO_4

解 (1) Cl_2 单质的化合价为 0;

(2) FeCl_3 FeCl_3^{-1} ;

(3) $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ Ca^{+2} $(\text{ClO})_2 = -2$

即 $\text{ClO} = -1$ $\text{Cl} + (-2) = -1$ $\text{Cl} = +1$

(4) HClO_4 $\therefore \text{H} = +1$ $\text{ClO}_4 = -1$

$\text{Cl} + (-2) \times 4 = -1$ $\therefore \text{Cl} = 8 - 1 = +7$

例三 指出明矾 $[\text{Al}_2\text{K}_2(\text{SO}_4)_4 \cdot 24\text{H}_2\text{O}]$ 分子式里铝和硫的化合价。

分析 将明矾分子式先用 2 约分为 $\text{AlK}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ 然后再除去水分 $\text{AlK}(\text{SO}_4)_2$, Al 的化合价为 +3, K 的化合价为 +1, 2SO_4^{-2} 与 $(+3) + (+1)$ 的代数和为 0。

解 SO_4 为 -2 价 $\text{S} + (-2) \times 4 = -2$

$\text{S} - 8 = -2$ $\therefore \text{S}$ 为 +6 价

Al 为 +3 价

注：化合价是指每个原子(或原子团)而言，例如 FeCl_3 的元素化合价应写成 $\text{Fe}^{+3}\text{Cl}_3^{-1}$ (一个 Fe 原子是 +3 价，一个 Cl 原子是 -1 价)。不准写作 $\text{Fe}^{+3}\text{Cl}_3^{-3}$ (这样写错误地认为 Cl 原子是 -3 价了)，也不准写作 $\text{Fe}^{3+}\text{Cl}_3^{-}$ ，因为“3+”是表示三个阳离子，只有“+3”是表示正 3 价。同理在 Cl 原子上方只写一个“-”号，是表示一个阴离子，只有写作“-1”才表示负一价。

根据化合价书写分子式 已知元素的化合价书写分子式时，只要先求出：两种元素正负化合价绝对值的最小公倍数，再除以各元素的化合价数，即得该元素的原子个数。

例四 求正七价锰的氧化物的分子式

解一 先写出 Mn O 两元素符号
 化合价 7 2 (最小公倍数 14)

$$\text{原子数目 } \frac{14}{7}=2 \quad \frac{14}{2}=7$$

分子式 Mn_2O_7

解二 $\text{Mn}^{+7}\text{O}^{-2}$ | +7 | , | -2 | 最小公倍数为 14
 $14 \div (+7) = 2$ 个 Mn $14 \div |-2| = 7$ 个 O

$\therefore$ 分子式为 Mn_2O_7

例五 已知下列各种金属的化合价, 写出它们氧化物的分子式。

Ag^{+1} Ba^{+2} Al^{+3} Ti^{+4} Nb^{+5} Mo^{+6} Os^{+8}

解 $\because$ 金属氧化物里的氧都是 -2 价,

仿照上题, 分别求出各金属化合价跟 2 的最小公倍数, 用最小公倍数除以各自的化合价数, 即得原子数。分子式分别是:

Ag_2O BaO Al_2O_3 TiO_2
 Nb_2O_5 MoO_3 OsO_4

练 习 一

1. 求下列硫化物里另一元素的化合价:

Na_2S CdS Sb_2S_3 SnS_2

As_2S_5 MoS_3 Re_2S_7

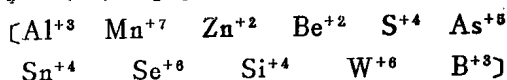
(Na^{+1} , Cd^{+2} , Sb^{+3} , Sn^{+4} , As^{+5} , Mo^{+6} , Re^{+7})

2. 求下列化合物中成酸元素的化合价:

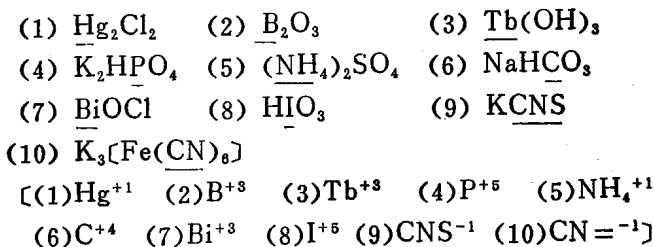
(1) H_3AlO_3 (2) HMnO_4 (3) H_2ZnO_2

(4) H_2BeO_2 (5) H_2SO_3 (6) H_3AsO_4

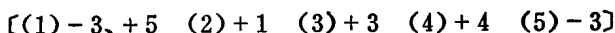
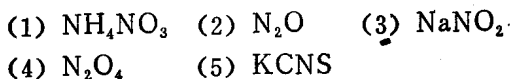
(7) H_4SnO_4 (8) H_2SeO_4 (9) H_2SiO_3



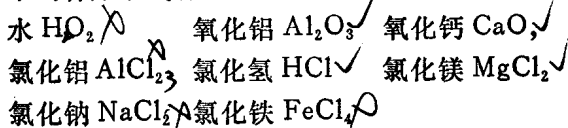
3. 根据下列各分子式，在画有横线的元素(或原子团)的右上方画出正负化合价：



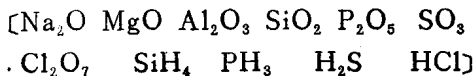
4. 指出下列含氮化合物里氮元素的化合价：



5. 下列各分子式有没有错误？如有错误，加以改正。



6. 写出第三周期从 I A $\rightarrow$ VII A 最高氧化物的分子式，以及从第 IV A 开始气态氢化物的分子式



二、由分子式计算分子量

自从1961年国际纯粹应用化学协会通过原子量用 ^{12}C 的 $1/12$ 作比较标准，国际统一质量单位规定：

1 原子质量单位 $=1.661 \times 10^{-27}$ 千克，

或 1.661×10^{-24} 克，以往化学课本常用“碳单位”三个字，现已取消，原子量为不名数。这种用 ^{12}C 的 $1/12$ 作比较标准比1961年以前用 ^{16}O 的 $1/16$ 作原子量的比较标准要低百万分之四十三，碳原子量变化幅度仅及 ± 0.00005 ，因而一般化学书的原子量可以不必更动。至于化学课本仍把碳原子量定为12，这是因为实际上一原子量最多只有五位数字，误差极小，毋庸如此精确。

从实用观点出发，一般中学化学计算，取原子量只要三个数字就够了。常用元素的原子量只有Cl 35.457，取35.5计算，还有Cu 63.546，取63.5计算外，其它原子量的小数部分，几乎都可以采用4舍5入用整数计算。事实上采取原子量三位有效数计算，即使有误差，也是极小的。

根据分子式计算分子量非常简单，只要把分子式里各原子量之和加起来就可以了。只是分子式里相同原子质量用倍数相乘，不同原子的质量用它们彼此之和。

例一 求下列物质的分子量：(1) 氧化铝 Al_2O_3 (2) 明矾 $[\text{Al}_2\text{K}_2(\text{SO}_4)_4 \cdot 24\text{H}_2\text{O}]$

解 (1) 写出氧化铝的分子式 Al_2O_3 ，查化学课本后面的国际原子量表，查到Al原子量26.98154取27，O原子量15.999，取16，分别代入分子式：