

鋼鐵化驗員速成學習講義

分析化学理論基础及計算

黃 炳 榮

科学技术出版社

普通化学课程思政案例库

分析化学理论课程思政设计

曹 燕 编

科学出版社

鋼鐵化驗員速成學習講義

分析化学理論基础及計算

黃 炳 榮

科 学 技 术 出 版 社

1959 年 • 北 京

总号: 1255

钢铁化验员速成学习讲义

分析化学理论基础及计算

编 者: 黄 炯 荣
出版者: 科 学 技 术 出 版 社

(北京市西直门外郭家嘴)

北京市书刊出版业营业许可证出字第091号

发 行 者: 新 华 书 店
印 刷 者: 北 京 五 三 五 工 厂

开 本: $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ 印张: $1\frac{1}{2}$
1959年3月第 1 版 字数: 34,500
1959年3月第 1 次印刷 印数: 13,053

统一书号: 15051·223

定 价: (9) 1 角 9 分

目 次

一	化学符号	2
二	重要的酸、鹼、盐	8
三	物質的构造	10
四	化学上常用的質量單位	13
五	溶液及其濃度表示法	17
六	电离理論	25
七	化学平衡的一般概念	31
八	氧化-还原理論	37
九	标准溶液濃度的标定	43
附 录		
I	物質的換算因數	48
II	物質的酸鹼当量	49
III	物質的氧化-还原当量	49
IV	对数表应用簡介	50
V	对数表	52

序

这本小册子是在今年培训钢铁分析的化验员时所编的部分讲义修改成的。鉴于形势的需要，当时曾一再考虑如何舍繁就简，使内容力求精煉，以期达到快速培训化验员的目的。为了使具有初中(甚至小学)文化程度的同志们能够看懂，在内容上也作了一些安排。

希望讀者通过这本小册子的学习能很快掌握起分析化学的一般理論和計算技术，借以順利的运用钢铁分析的操作規程。也为进一步自学、提高打下基础。

这本小册子大約可以在 15—30 天左右的时间內 講授(或自学)完，可采取边工作边学习的方式。操作技术則可以結合工作有計劃的进行指导。

应该提到的是：在写作这本小册子时，曾得到好些同志的热情支持，杭州大学化学系分析化学教研室的戚文彬老师曾給了我很多宝贵的指导。

謹希望讀者对这本小册子提出意見和批評。

黄炳荣

58.11

一 化学符号

自然界千万种物质，都是由各种不同的分子组成的。分子是具有原物质化学性质的能够单独存在的最小粒子。例如：水是由水分子组成的，水分子既具有水的性质，又能单独存在，也是水的最小粒子。分子又由原子组成，例如：水分子是由二个氢原子一个氧原子组成的。分子和原子都在不断地运动。

1. 元素符号

化学性质相同的同种类原子称为元素，自然界所发现的元素总共只不过 102 种。为了方便起见，元素用一定符号表示。元素符号代表：

(1) 元素名称；

(2) 该元素的一个原子；

(3) 该元素的原子量。原子量是用氧原子作单位来表示的原子的真实重量。下面是常用的元素符号和它们的原子量：

Ag	銀	107.880	Cd	鎘	112.41
Al	鋁	26.98	Cl	氯	35.457
As	砷	74.91	Cr	鉻	52.01
Au	金	197.0	Cu	銅	63.54
B	硼	10.82	F	氟	19.00
Ba	鋇	137.36	Fe	鐵	55.85
Bi	鉍	209.00	H	氫	1.0080
Br	溴	79.916	Hg	汞	200.61
C	碳	12.011	I	碘	126.91
Ca	鈣	40.08	K	鉀	39.100

Mg	鎂	24.32	Pb	鉛	207.21
Mn	錳	54.94	Pt	鉑	195.09
Mo	鉬	95.95	S	硫	32.066
N	氮	14.008	Sb	銻	121.76
Na	鈉	22.991	Si	硅	28.09
Ni	鎳	58.71	Sn	錫	118.70
O	氧	16.000	Zn	鋅	65.38
P	磷	30.975			

2. 分子式及其計算

用元素符号表示的物質組成的式子称为分子式，例如：水的分子式是 H_2O ，硫酸的分子式是 H_2SO_4 。

分子式具有下列意义：(1)代表該物質的名称；(2)代表該物質的一个分子；(3)代表該物質的分子量；(4)代表該物質的定性和定量的組成，即該物質是由哪几种元素組成的和这些元素之間的重量之比是多少(或元素的重量百分率)。例如， H_2O 就代表：(1)这种物質的名称是水；(2)一个水分子；(3)它的分子量 $M_{H_2O} = 1.008 \times 2 + 16 = 18.016$ ；(4)水分子中含有二个氢原子一个氧原子，所以水中氢、氧二种元素重量之比是

$$2H : O = 2 \times 1.008 : 16 = 1.008 : 8.$$

水中含氢百分率是

$$\frac{2H}{H_2O} \times 100\% = 11.1\%,$$

含氧的百分率是

$$\frac{O}{H_2O} \times 100\% = 88.9\%.$$

由此可見，知道了分子式的涵义，就可以根据分子式进行

下列計算：

(1) 从分子式計算分子量。例如：

氧化銅的分子量 $M_{\text{CuO}} = 63.5 + 16 = 79.5$ 。

(2) 从分子式求物質的百分組成。例如氧化銅的百分組

成：

$$\text{含銅百分率} = \frac{\text{Cu}}{\text{CuO}} \times 100\% = \frac{63.5}{79.5} \times 100\% = 79.89\%;$$

$$\text{含氧百分率} = \frac{\text{O}}{\text{CuO}} \times 100\% = \frac{16}{79.5} \times 100\% = 20.11\%.$$

(3) 已知物質數量求某元素含量。例如在分析實驗中，某種含銅礦石 0.2000 克經過處理，最後得到灼燒產物 CuO 0.0759 克，求這種礦石的含銅量。

〔解〕 0.0759 克 CuO 中含銅的克數：

$$0.0759 \text{ 克} \times \frac{\text{Cu}}{\text{CuO}} = 0.0759 \text{ 克} \times 0.7989 = 0.0060 \text{ 克}.$$

所以該礦石含銅百分率為：

$$\frac{0.0060 \text{ 克}}{0.2000 \text{ 克}} \times 100 = 3\%.$$

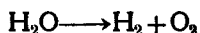
類似這種問題，在礦石分析的書籍中，往往化成簡單的公式：

$$\text{Cu}\% = \frac{G_1 \times 0.7989}{G} \times 100\%.$$

上式中 G_1 代表灼燒後 CuO 的克數， G 為礦石試樣的克數。0.7989 即 $\frac{\text{Cu}}{\text{CuO}}$ ，稱為 CuO 對 Cu 的換算因數。定量分析中有許多換算因數是从分子式求得的。

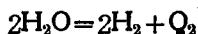
3. 化学方程式及其計算

用分子式来表示的化学反应的式子称为化学方程式，例如，水电解生成氢气和氧气，可用下式表示：



反应物 生成物

物質是不会消灭的，反应前后原子数目应该保持不变（物質不灭定律），所以写方程式时，两边原子数应使它相等（平衡）：



上式表示：二个水分子分解后，能生成二个氢分子和一个氧分子。由此可見，化学方程式可以表示：（1）哪些是反应物，哪些是生成物；（2）反应物与生成物相互間的数量关系。

根据化学方程式就可以进行反应物之間重量的計算。

例 1 318 克氧化鉄(Fe_2O_3)和盐酸(HCl)作用可以生成多少克三氯化鉄(FeCl_3)。

〔解法 1〕 設能生成 x 克的 FeCl_3 ，



318 克 x 克

$$55.8 \times 2 + 16 \times 3 = 159 \text{ 克} \qquad 2 \times (55.8 + 35.5 \times 3) = 213 \text{ 克}$$

$$\text{列成比例式 } \frac{318}{159} = \frac{x}{213},$$

$$\therefore x = \frac{318 \times 213}{159} = 426 \text{ (克)}.$$

即能生成 FeCl_3 426 克。

但是更簡單的是：类似这类計算，可以仅仅根据有关分子式計算出来，而不要再写化学方程式。

(解法2) 能生成的 $\text{FeCl}_3 = 318 \text{ 克} \times \frac{2\text{FeCl}_3}{\text{Fe}_2\text{O}_3}$

$$= 318 \text{ 克} \times \frac{213}{159} = 426 \text{ 克}.$$

上式中的 $\frac{2\text{FeCl}_3}{\text{Fe}_2\text{O}_3}$ 也是一种换算因数。应该注意的是：从 Fe_2O_3 变成 FeCl_3 ，其中 Fe 的原子数应该是保持不变的（为什么？）；所以在 $\frac{2\text{FeCl}_3}{\text{Fe}_2\text{O}_3}$ 式中，分子、分母中的 Fe 原子数同为二个。

例2 在测定铁矿石中氧化铝 Al_2O_3 含量的时候，可以将试料中的铝，沉淀为磷酸铝 AlPO_4 （磷酸盐法），经过干燥、灼烧、称量后，就可以计算 Al_2O_3 的含量。

设铁矿试样的克数为 G，灼烧后 AlPO_4 的克数为 G_1 ，求铁矿石中 Al_2O_3 的含量百分率。

(解) AlPO_4 换算成 Al_2O_3 的换算因数是：

$$\frac{\frac{1}{2}\text{Al}_2\text{O}_3}{\text{AlPO}_4} = 0.4185.$$

生成 M 克 AlPO_4 的 Al_2O_3 的克数为 $M \times 0.4185$ 。

所以上述铁矿含 AlPO_4 的百分率是：

$$\text{Al}_2\text{O}_3\% = \frac{G_1 \times 0.4185}{G} \times 100\%.$$

例3 求焦磷酸镁 $\text{Mg}_2\text{P}_2\text{O}_7$ 换算成氧化镁 MgO 的换算因数。

(解) $\text{Mg}_2\text{P}_2\text{O}_7$ 换算成 MgO 的换算因数为

$$\frac{2\text{MgO}}{\text{Mg}_2\text{P}_2\text{O}_7} = 0.3621.$$

从以上所述可知在应用换算因数时，須注意如下两点：

(1) 在换算因数中，欲求其重量的組成物写在分子上，已知重量的物質写在分母上，不可顛倒。

(2) 所涉及的成份的原子数目，在分子和分母內·应该相等。

題 (供参考)

1. 求 SiO_2 换算成 Si 的换算因数。
2. 求 Fe 换算成 FeO 和 Fe_2O_3 的换算因数。

二 重要的酸、鹼、盐

1. 酸

酸的水溶液具有酸味，能使石蕊試液和甲基橙試液变为紅色，而酚酞試液遇酸后仍然无色。

在酸的分子組成中，一定含有氢原子。根据組成的不同又可以把酸分为下列二类：

(1) 含氧酸 以其中所含的最主要的元素(除开氢、氧以外的元素)命名，称为“某酸”。例如： H_3BO_3 硼酸， H_2SO_4 硫酸， H_2MnO_4 锰酸等。

(2) 无氧酸 以氢某酸称之。例如： HF 氢氟酸， H_2S 氢硫酸。

在鋼鉄分析中常用的重要酸有：

(1) 硫酸 H_2SO_4 純硫酸比重为 1.85，含 H_2SO_4 为 100%。市售的 C.P(即化学純)純硫酸为硫酸的水溶液，濃度 96%，比重 1.84。常用的是它的稀溶液。

濃硫酸有强烈的吸水性和腐蝕性。稀釋硫酸时，只可慢慢地把硫酸傾入水中；边傾注边攪拌。否則大量热的产生会引起

爆濺，以至造成腐蝕衣服、傷蝕眼睛和皮膚的嚴重事故。

(2) 鹽酸 HCl 氯化氫氣體的水溶液叫做鹽酸，分析用的純鹽酸比重為 1.19，含 HCl 37%，在空氣中能生成濃霧(HCl 氣體溶解於空氣中的水蒸汽中而形成的)。

(3) 硝酸 HNO_3 純硝酸為無色液體。分析用的 C.P 純硝酸，比重為 1.42，是 70% HNO_3 的水溶液。

三體積的鹽酸(比重 1.19)加入一體積的硝酸(比重 1.42)的混和液稱為王水；而三體積的硝酸加入一體積的鹽酸的混合液稱為逆王水。還有其他混酸(如磷、硫、硝三酸混合液等)都是腐蝕性很強的液體，常用來溶解金屬和礦石試樣。

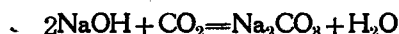
2. 鹼

金屬的氫氧化物叫做鹼，能溶於水的鹼叫做碱。

碱的水溶液具有滑膩感及澀味，能腐蝕毛織物。水溶液能使石蕊變藍，酚酞變紅色，甲基橙試液變黃色。

分析中常用的碱有：

(1) 氫氧化鈉 NaOH 白色固體，C.P 的常製成粒狀或棒狀。在空氣中能受潮，也能吸收二氧化碳而生成碳酸鈉：



所以貯藏時應隔絕空氣。

(2) 氫氧化鉀 KOH 白色固體，性質和 NaOH 很相似，價格則比較貴。

(3) 氫氧化銨 NH_4OH 是氨的水溶液(氨水)，氨 NH_3 溶解於水，其中部分 NH_3 就和水反應生成 NH_4OH ：



在氣溫升高時， NH_4OH 又會分解而生成氨，所以應貯藏於陰涼處。

3. 盐

盐是由金属原子和酸根组成。含氧酸的盐可称为“某酸某”，例如： MnSO_4 硫酸锰， KMnO_4 高锰酸钾， AgNO_3 硝酸银。无氧酸称为“某化某”，例如： NaCl 氯化钠， FeS 硫化铁， KI 碘化钾。分析中所用到的盐是很多的，这里不再一一举例。

思考题（供参考）

1. 某化验员在试剂瓶中，直接配制硫酸溶液和氢氧化钠溶液，你看有什么危险？
2. 夏天，某化验员在倒取氨水时，预先将试剂瓶在冷水中冷却，脸部远离瓶口，再旋开瓶塞，你看这样做有什么好处？
3. 为什么化验室中用的 NaOH 溶液要隔绝空气贮藏？

三 物质的构造

1. 原子结构理论

原子是由原子核和核外电子组成的。原子核由质子和中子组成。核外电子质量很小，带一个单位负电荷。质子的质量为一个氧单位，带一个单位正电荷；中子和质子质量相等，但不带电。电子分层排布在核外，且永远在绕核而运转。因为质子所带的正电荷数，等于核外电子所带的负电荷数，所以原子保持电中性（不显电性）。

2. 分子的形成

元素在相互化合时，原子最外层的电子就发生了变化。例如钠原子和氯原子起化学反应时，钠原子失去了一个电子而带一个单位正电荷；氯原子得到了一个电子而带一个单位负电荷。带有不同电荷的二种原子就吸引在一起而成为氯化钠分子。

带有电荷的原子或原子团叫做离子。离子用元素符号表示，

右上角的正負号数表示这种离子所带的正电荷数或負电荷数。
例如： Na^+ 、 Cl^- 、 Fe^{+3} 、 I^- 、 SO_4^{-2} 、 NH_4^+ （铵基）等都是离子符号。

3. 化合价

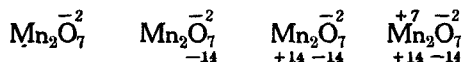
某元素的原子在形成分子的时候，失去的或是获得的电子数目称为該元素的化合价。当形成分子的时候原子失去电子则为正价，原子接受电子则为負价。所以在化合物里原子的化合价等于离子的正电荷数目或者負电荷数目，例如：鈉是正一价，氯是負二价。

某些元素的化合价是不变的，如鈉（Na）在所有化合物中都是一价，鋅（Zn）是二价，鋁（Al）是三价等。但許多元素的化合价随着反应进行的条件不同（电子得失条件改变）而改变，如銅（Cu）有一价和二价，錫（Sn）有二价和四价，硫（S）有二价、四价和六价。

記住下列原則；就很容易从化合物的分子式中决定某元素的化合价：（1）氢是正一价，与氢能化合的元素的化合价是負价；氧是負二价，与氧能化合的元素的化合价为正价。（2）在化合物中，元素的正价与負价在数值上是相等的（即代数和等于零）。

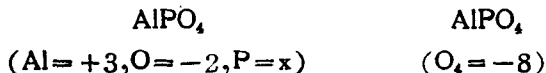
例 1 已知高錳酸酐（ Mn_2O_7 ）的分子式，求此化合物中錳的化合价。

〔解〕



例 2 求磷酸鋁 AlPO_4 中磷的化合价。

〔解〕 設磷的化合价为 x ，



列方程式:

$$+3+x-8=0,$$

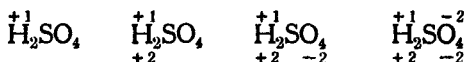
$$x=8-3=+5.$$

所以磷的化合价为+5。

例3 写出硫酸(H_2SO_4)中硫酸根离子的价数。

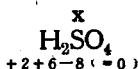
(解) 先确定硫酸根(SO_4)的化合价。

方法1 把硫酸根作为一个原子看待:



即硫酸根是负二价。

方法2 从硫和氧的化合价的代数和来求:



$$x=+6-8=-2$$

即硫酸根是负二价的。

因此硫酸根的离子符号是 SO_4^{2-} 。

例4 求重铬酸根离子(Cr_2O_7)中铬(Cr)的化合价。

(解) 设铬的化合价为x:



O为负二价, 所以

$$2x-2 \times 7=-2$$

$$x=\frac{14-2}{2}=+6$$

所以铬的化合价为+6。

最后应该知道单质中原子没有电子得失, 所以单质中元素的化合价为零。

習 題 (供參考)

1. 試求下列几組物質中鉻、錳、碘、汞、碳、硫和砷的化合价:

$K_2Cr_2O_7$ 和 $CrCl_3$;

$KMnO_4$ 、 MnO_2 和 $MnCl_2$;

I_2 和 KI ;

$HgCl_2$ (氯化汞) 和 Hg_2Cl_2 (氯化亞汞);

HNO_3 、 NO_2 和 NO ;

CaC_2O_4 和 CO_2 ;

$Na_2S_2O_3$ (硫代硫酸鈉) 和 $Na_2S_4O_6$ (四硫磺酸鈉);

Na_3AsO_3 (亞砷酸鈉) 和 Na_3AsO_4 (砷酸鈉)。

2. 已知鐵有两种化合价: +2 和 +3, 請写出它們的硫酸盐的分子式。

3. 請写出下列离子的符号: 重鉻酸根离子、高錳酸根离子、碘离子、汞离子、硝酸根离子、草酸根离子、硫代硫酸根离子、亞砷酸根离子。

四 化学上常用的質量單位

1. 克原子、克分子、克离子

克原子是用来表示元素質量的一种單位, 当克数等于元素的原子量数时, 就称此一定量的元素为一克原子的元素。例如氧的原子量为16, 16克的氧元素就称为一克原子的氧元素。克分子是用来表示物質質量的一种單位, 当克数等于物質的分子量数时, 就称此一定量物質为一克分子的物質。例如: $NaOH$ 的分子量为40, 40克的 $NaOH$ 就称为一克分子的 $NaOH$ 。克离子是用来表示离子質量的一种單位, 当克数等于离子量 (与原