

石油化验技术

连庆华 主编

郑州石油商品应用研究所

前 言

石油是国民经济的重要战略物质，早在秦汉时代我国劳动人民已经在陕西、甘肃境内发现石油，一千八百年前，我们祖先已经用石油做饭、照明。宋朝著名的科学家沈括，曾对石油进行研究，并第一次用石油炭黑制成墨，今天，石油在工业、农业、国防和科学技术上的应用越来越广泛，并对油品质量的要求也越来越高。因此，石油商品化验工作是石油工业中不可缺少的重要一环。

为了进一步搞好油品化验人员的专业训练，提高业务水平，做好油料化验工作，以适应我国社会主义四个现代化对石油供应工作的要求，我们根据以往培训石油化验员的讲义编写了《石油化验技术》一书。

本书由郑州石油商品应用研究所所长连庆华工程师主编。参加编写的有连庆华、孙详华、田京生、李永昌、刘颖、吴宏昌同志。并经连庆华同志审订后定稿，张开先同志校对。

由于编者水平有限，编写时间又比较仓促，错误之处在所难免，请同行们批评指正。

编 者

1992年2月27日于郑州

目 录

第一章 化学基础知识	(1)
第一节 化学的基本概念.....	(1)
第二节 溶液.....	(17)
第三节 有机化合物.....	(25)
第四节 化学分析概述.....	(45)
第二章 油品化验基本知识	(52)
第一节 化验室的基本要求和操作守则.....	(52)
第二节 化验室常用仪器和设备.....	(54)
第三节 试剂的使用与保管.....	(88)
第四节 指示剂与标准溶液的配制.....	(93)
第五节 化验原始记录和化验单的填写.....	(103)
第六节 安全与救护.....	(106)
第三章 初级化验工化验技术	(114)
第一节 馏程.....	(114)
第二节 酸(度)值.....	(117)
第三节 水溶性酸碱.....	(118)
第四节 水分.....	(119)
第五节 闪点.....	(120)
第六节 运动粘度.....	(121)
第七节 煤油烟点.....	(124)

第八节	石油产品颜色	(124)
第九节	凝点	(126)
第十节	倾点	(128)
第十一节	机械杂质	(129)
第十二节	锥入度	(130)
第十三节	滴点	(131)
第十四节	游离碱和游离有机酸	(132)
第十五节	破乳化时间	(133)
第十六节	冷滤点	(135)
第四章	石油商品质量管理	(138)
第一节	出入库石油商品的质量管理	(138)
第二节	储存石油商品的质量管理	(144)
第三节	石油商品质量的调整和润滑油调合	(148)
第四节	石油商品的简易鉴(识)别方法	(156)
第五章	石油商品知识简介	(165)
第一节	燃料类	(165)
第二节	溶剂和化工原料类	(179)
第三节	润滑剂及有关产品类	(181)
附录一	常用石油添加剂	(237)
附录二	常用试剂的性质	(239)
附录三	常用酸溶液的重量百分浓度与比重的关系	(250)
附录四	常用碱溶液的重量百分浓度与比重的关系	(255)

第一章 化学基础知识

第一节 化学的基本概念

一、分子与原子

分子 构成物质的一种微粒，它是保持物质化学性质的最小微粒。分子间有一定的距离。

原子 构成分子的一种微粒，它是物质进行化学反应的基本微粒。有时，原子也是直接构成物质的一种微粒。例如，金属铁和一些非金属碳、硅等。原子间也有一定的间隙。

一切原子和分子都处于不断运行的状态。

一切原子都是由原子核和核外电子两部分组成的。原子核带正电荷，位于原子的中心，只占极小的体积，它的半径只有原子半径的十万分之一；电子带负电荷，在原子核周围作高速运动。在原子中，由于原子所带的正负电荷数相等，故使整个原子为电中性。

原子核是由两种更小的微粒——质子和中子组成的。中子不带电，一个质子带一个单位正电荷，因此，核电荷数由质子数决定。核电荷数又叫原子序数。它们之间有下列关系式：

$$\text{质子数} = \text{核电荷数} = \text{核外电子数} = \text{原子序数}$$

电子绕核高速运转，由于能量较高的电子常出现在离核较远的空间，所量较低电子常出现在离核较近的空间，因而形成离核远近不同的电子层。以原子核为中心，向外称为

第一层、第二层……第七层（一般用K、L、M、N、O、P、Q等符号来表示层次）。每一层里容纳的电子数有一定限度。它的规定如下：（1）第 n 层里的电子数最多可容纳 $2n^2$ 个，如第一层（K层）最多可容纳 $2(1)^2 = 2$ （个），第四层（N层）最多可容纳 $2(4)^2 = 32$ （个）；（2）最外层里只能容纳8个电子；（3）次外层里最多容纳18个电子。当电子层已达容纳最多电子数的层叫做饱和层，反之则为不饱和层。

二、原子量与分子量

物质的质量，一定就是组成它的无数分子和原子的质量。显然，分子和原子再小，还有它的一定质量。

原子的质量为质子、中子和电子的质量总和，而质子和中子的质量几乎相等，约等于一个氢原子的质量，即相对质量约等于1。由于电子的质量很小，仅为氢原子质量的

$\frac{1}{1837}$ ，所以原子的质量主要集中在原子核上。若忽略电子的质量，将原子核中的所有的质子和中子的相对质量取整数加起来，就可以得到这种原子的近似原子量，并为一个整数。因此，原子的质量数，可作如下表达式：

$$\text{质量数} = \text{中子数} + \text{质子数}$$

质量数和核电荷数是表示原子核的两个基本量。通常表示原子核的方法，就是在元素符号的左上角标出它的质量数，在下角标出它的核电荷数。例如 ${}^{35}_{17}\text{Cl}$ 表示氯原子的质量数为35，原子核是由17个质子和18个中子所组成的。有时左

下方的数字也可省略不写，例如 $^{12}_6\text{C}$ 就用 ^{12}C 表示。

元素 具有相同核电荷数（即质子数）的同一类原子。

同位素 质子数相同而中子数不同的同一种元素的几种原子。如碳元素 $^{12}_6\text{C}$ 、 $^{13}_6\text{C}$ 、 $^{14}_6\text{C}$ 等几种同位素。

（一）原子量

原子都有一定的质量，若以“克”为单位分别表示碳、氧、铁、氢的原子质量如下：

$$\begin{aligned}\text{碳原子的质量} &= 0.0000000000000000000000001993 \text{克} \\ &= 1.993 \times 10^{-23} \text{克}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{氧原子的质量} &= 0.0000000000000000000000002657 \text{克} \\ &= 2.657 \times 10^{-23} \text{克}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{铁原子的质量} &= 0.0000000000000000000000009288 \text{克} \\ &= 9.288 \times 10^{-23} \text{克}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{氢原子的质量} &= 0.0000000000000000000000001673 \text{克} \\ &= 1.673 \times 10^{-24} \text{克}\end{aligned}$$

由此可见，以“克”做单位表示原子的质量，在计算、使用方面，都很为不便。为此，国际上选用碳的同位素 ^{12}C 的质量为12，作为原子量的基准，所有元素的原子量就是以此为基准测定计算出来的。如氧、铁、氢的原子量经测定计算如下：

$$\begin{aligned}\text{氧的原子量: } 1.993 \times 10^{-23} : 2.657 \times 10^{-23} &= 12 : x \\ x &= 15.9994\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{铁的原子量: } 1.993 \times 10^{-23} : 9.288 \times 10^{-23} &= 12 : y \\ y &= 55.847\end{aligned}$$

$$\text{氢的原子量: } 1.993 \times 10^{-23} : 1.673 \times 10^{-24} = 12 : z$$

$$Z = 1.0079$$

为方便起见，通常使用原子量时，取用比较适当的数值，如氢的原子量为1或1.008，氧的原子量为16。所有元素的原子量、原子序数、各电子层电子数目的分布等，均可从附录1的元素周期表查得。

(二) 分子量 一个分子所有的原子质量(用原子量表示)总和。例如，水的分子量 $= 1 \times 2 + 16 = 18$ 。

(三) 定组成定律 组成纯净化合物的各元素之间的质量比是恒定的。例如，水的分子由氢和氧两种元素组成，它们的质量比是：

$$\begin{aligned} \frac{\text{水分子里氢元素质量}}{\text{水分子里氧元素质量}} &= \frac{\text{氢原子量} \times 2}{\text{氧原子量}} \\ &= \frac{1 \times 2}{16 \times 1} \\ &= \frac{1}{8} \end{aligned}$$

一个水分子里氢氧两元素的质量比是1:8，由无数水分子聚集成的水(物质)里，氢氧两元素的质量比一定也是1:8。实验表明，组成化合物的各元素之间的质量比是恒定的。

(四) 摩尔 结构微粒(如分子、原子等)计数单位。1摩尔的结构微粒数跟0.012千克(12克)碳(^{12}C)含有的原子数相等。12克碳(^{12}C)含有原子的数目是一个常数(6.022×10^{23})，这个常数叫做阿佛加德罗常数。因此，任何元素1摩尔的原子数是 6.022×10^{23} ，任何化合物1摩尔的分子数也是 6.022×10^{23} 。

(五) 原子摩尔质量 元素的 6.022×10^{23} 个原子用克

做单位时的质量，在数值上等于该元素的原子量，例如，钠的原子量是23，1摩尔钠原子含有 6.022×10^{23} 个钠原子，重23克。也就是说，钠（原子）的摩尔质量是23克/摩尔。

（六）分子摩尔质量 任何化合物的 6.022×10^{23} 个分子用克做单位时的质量，在数值上等于该化合物的分子量，例如，氢氧化钠的分子量是40，1摩尔氢氧化钠分子含有 6.022×10^{23} 个氢氧化钠分子，重40克。也就是说，氢氧化钠（分子）的摩尔质量是40克/摩尔。

（七）摩尔体积 在标准状态下（0℃和1大气压）1摩尔任何气体的分子所占体积约为22.4升。

（八）阿佛加德罗定律 在同温度、同压力的条件下，同体积的任何气体都有相同数目的分子。

三、分子式

（一）单质与化合物

单质 分子由同种元素的原子构成的物质。

化合物 分子由两种或两种以上元素的原子构成的物质。

单质和元素亦是两个不同的概念。氧气是氧分子组成的，是单质；水的组成里有氧原子，没有氧分子，可以说水的分子里含有氧元素。

（二）元素符号 各种元素都用一种特定的符号来表示，这种符号，叫做元素符号。

必须熟记下列元素符号，现编成如下韵语。

H、O、N、Cl、C、S、P、

（氢）（氧）（氮）（氯）（碳）（硫）（磷）

K、Ca、Na、Mg、Al、Mn、Zn、
 (钾)(钙)(钠)(镁)(铝)(锰)(锌)
 Fe、Sn、Pb、Cu、Hg、Ag、Au。
 (铁)(锡)(铅)(铜)(汞)(银)(金)

元素符号表示如下意义：表示元素种类，表示元素的一个原子，表示元素的原子量。例如，“H”这个符号的意义是：表示氢元素，表示氢元素的一个原子，表示氢元素的原子量为1。又如 2H ，表示两个氢原子，表示两个原子的原子量之和为 $2 \times 1 = 2$ 。

(三) 原子团与离子

原子团 在化合物的分子里，往往有两个或两个以上的原子紧密地结合在一起，参加化学反应的时候，它们一般并不分开，就象一个原子一样的原子组合。硫酸分子里的 SO_4^{--} 就是一个原子团，这个原子团称为硫酸根；氢氧化钠分子里的 OH^- 也是原子团，称为氢氧根。

离子 原子(或原子团)获得或失去电子而形成的带电微粒，显正电性的离子叫阳离子，如 K^+ 、 Ca^{++} 、 NH_4^+ 、 Cu^{++} 等；显负电性的离子叫阴离子，如 Cl^- 、 OH^- 、 SO_4^{--} 等。

(四) 分子式 用元素符号表示单质或化合物分子的式子。例如氢气的分子式为 H_2 ，水的分子式为 H_2O 。

分子式的意义：表示一种物质，如 H_2O 表示水；表示组成物质的元素，如 H_2O 表示由氢、氧两种元素组成；表示该种物质的一个分子，如 H_2O 表示一个水分子；表示该种物质分子中各元素的原子个数，如 H_2O 表示一个水分子中含有两个氢原子和一个氧原子；表示该种物质的分子量，如 H_2O 的分子量 $= 1 \times 2 + 16 = 18$ ；表示组成物质的质量

比，如水中氢：氧 = $1 \times 2 : 16 = 1 : 8$ 。

分子式的写法：

单质分子式的写法：常温、常压为气态的非金属单质，如氢气、氧气、氮气、氯气，每个分子里由两个原子构成，分子式为 H_2 、 O_2 、 N_2 、 Cl_2 ；惰性气体的分子由单原子构成，分子式为 He（氦）、Ne（氖）、Ar（氩）、Kr（氪）、Xe（氙）；金属单质和一些非金属单质的结构比较复杂，习惯上用元素符号来表示它们的分子式，如铁、磷、硅单质的分子式，分别为 Fe、P、Si。

化合物分子式的写法：一般规律是先读后写，后读先写，写好下角数字，表示该元素在化合物中的原子数目。如五氧化二磷为 P_2O_5 。

（五）元素化合价 一定数目的一种元素的原子或离子和一定数目的其它元素的原子或离子相结合的性质。即为元素化合价。

元素化合价的一般规律：氢元素的化合价一般是 +1，氧元素的化合价一般是 -2，金属元素一般为正价；非金属元素与氢或金属化合时，一般显负价，与氧化合时显正价；化合物中正负化合价代数和等于零；单质分子中元素的化合价一律看作零价。

根价 化合物中带电荷的原子团叫根。根表现出的化合价，称为根价，其正负和数值等于它所带的电荷种类和数目。根的化合价是根中所含各种元素化合价总数的代数和，如 NO_3^- 中 N 的化合价为 $-1 - (-2) \times 3 = 5$ ， NH_4^+ 中 N 的化合价为 $+1 - (+1) \times 4 = -3$ 。

—— 化合价的实质，就是元素原子（或原子团）在形成化合

物时得失电子的数目或共用的电子对数。元素在化合物中所表现出来的化合价，大多决定于原子最外层的电子数目。当原子最外层电子数 ≤ 4 ，则较容易丢失全部外层电子而显正价；当原子最外层电子数 ≥ 5 ，则较容易获得电子使外层达到饱和层而显负价。一般地说，金属元素最外层电子数是 ≤ 4 ，故在化合物中它是丢失电子而显正价，非金属元素最外层电子数是 ≥ 5 ，故在化合物中它是获得电子而显负价，如CaO，钙原子丢失电子显正价，氧原子获得电子而显负价。化合价的数值，由原子得失的电子数确定。如CaO中的钙原子，丢失两个电子显正二价，写成钙离子为 Ca^{++} ，CaO中的氧原子，获得钙原子的两个电子显负价，写成氧离子为

常见元素的化合价

表1-1-1

元素	符号	化 合 价	元素	符号	化 合 价
氢	H	+1	钠	Na	+1
氧	O	-2	银	Ag	+1
钾	K	+1	铜	Cu	+1 +2
镁	Mg	+2	氮	N	-3, +2, +4, +5
钙	Ca	+2	磷	P	+3 +5
锌	Zn	+2	硫	S	-2, +4, +6
汞	Hg	+1 +2	铬	Cr	+3, +6
铝	Al	+3	氟	F	-1
碳	C	+2, +4, -4	氯	Cl	-1, +1, +5, +7
硅	Si	+4	锰	Mn	+2, +4, +7
锡	Sn	+2, +4	铁	Fe	+2, +3
铅	Pb	+2, +4	镍	Ni	+2

0-1。常见元素化合价见表1-1-1。

某些元素在不同化合物中的化合价有差异，这种元素称为变价元素。例如， NO_3^- 中N的化合价和 NH_4^+ 中N的化合价，分别为+5和-3价，N就是变价元素。

四、物质的性质和变化

(一) 物质的性质

1. 物理性质 物质没有发生质的变化(一种物质变成另一种物质)，就能直接被感知或测知的特征。如状态、颜色、气味、味道、比重、硬度、沸点、熔点、溶解度等等。

2. 化学性质 物质只有在它转变成另一物质时，才能表现出来的特征。如氢气和氧气都是无色、无味、无臭的气体，在未测知它们的密度时，只有在氢气表现出它有可燃性和氧气表现出它能跟其它物质剧烈反应时才能加以辨别。在它们各自表现出这些性质以后，已不再是氢气和氧气，而是转变成另外的物质了。

(二) 物质的变化

1. 物理变化 仅在外形或状态上发生变化而没有生成其它物质的变化。例如，水的三态变化，在变化时没有新物质生成，还是水分子的集合体。

2. 化学变化 发生变化后生成其它物质的变化。例如，在空气里点燃镁带，在发出热和光的同时，留下了白色粉末——氧化镁。这氧化镁就是一种性质跟镁完全不同的新物质，说明镁发生了化学变化。

化学反应是化学变化的另一名称。在化学反应发生的过程里，往往同时发生一些现象，象颜色的改变，气体的吸收

或放出，气味的放出或消失，析出沉淀，放热或吸热，发光，燃烧等等。

五、化学方程式

质量守恒定律 参加化学反应的各物质的质量总和，等于反应后生成的各物质的质量总和。在化学反应中，是物质中的原子或离子进行重新组合生成新物质的过程，而原子或离子的种类和数目没有变化。

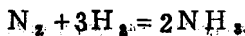
化学方程式 用反应物和生成物的分子式来表示化学反应的式子叫化学方程式，也称化学反应式。它是化学反应简明的、统一的语言，表达了化学反应中质的变化和量的关系。

化学方程式的一般写法：

①根据化学反应的客观事实，在左右两边分别写上反应物和生成物的分子式，如果反应物或生成物不是一种，就用“+”号连接起来，中间划一短线。如合成氨的反应可先写成：



②根据反应前后各元素的原子总数不变的原则，配平化学反应式：



③注明反应条件（如温度、压力、催化剂等）



同时，生成物中有难溶物时，要用“↓”表示，有气体生成时，用“↑”表示，还常用“△”表示加热。

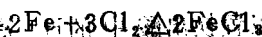
化学方程式在化学研究中的意义：

- ①知道什么物质参加了反应，结果生成了什么物质；
- ②算出反应物与生成物的质量比；
- ③在生产中，可由原料的量计算出产品的量，也可从产品的量计算出原料的量。

六、化学反应基本类型

(一) 化合反应

由两种或两种以上的物质生成一种物质的反应，称为化合反应。例如：

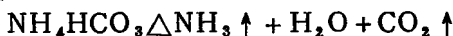
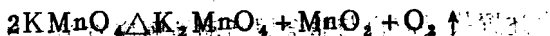


高温



(二) 分解反应

由一种物质生成两种或两种以上新物质的反应，称为分解反应。例如：



(三) 置换反应

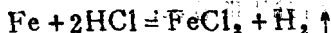
一种单质与一种化合物作用而生成另一种单质和另一种化合物的反应，称为置换反应。

例如：



上述置换反应能否发生，与元素的活动性有关。

1. 金属原子对氢离子的置换反应。例如：



2. 金属原子对其它金属离子的置换反应

例如:



上述置换反应能否进行, 都跟金属活动顺序有关:

原子失去电子的能力(还原能力)逐渐减弱



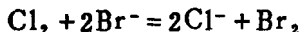
离子结合电子的能力(氧化能力)逐渐增强

其规律是:

a. 氢以前的金属原子可以置换出酸中的 H^+ 离子 (浓 H_2SO_4 、 HNO_3 例外)。

b. 活动金属可以置换盐溶液中较不活动金属的离子。

而非金属间的置换反应。例如:



上述置换反应也与非金属活动性顺序有关, 其置换顺序是:

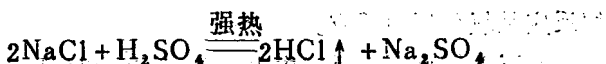


非金属活动性减弱, 氧化性减弱

也就是说, 活动性较强的非金属原子, 可以置换出化合物中非金属活动性较弱的离子。

(四) 复分解反应 两种化合物互相交换它们的成分而生成两种新的化合物的反应, 其中所交换的成分可能是化合物分子里一个或几个原子, 也可能是几个原子结合的原子

团。例如，在常温或微热时，氯化钠跟浓硫酸反应生成氯化氢和硫酸氢钠；在强热时，就生成氯化氢和硫酸钠。它们的化学反应为：



复分解反应要进行到底，生成物里至少有一种物质能从溶液里分离出来。

七、氧化还原反应

(一) 基本概念

1. 氧化 物质中的原子或离子失去电子使元素的化合价升高，此过程叫氧化。

2. 还原 物质中的原子或离子得电子使元素的化合价降低，此过程叫还原。

3. 氧化剂 失氧的物质叫氧化剂。含有得电子的原子或离子的物质叫氧化剂。这种性质叫氧化性。

4. 还原剂 得氧的物质叫还原剂。含有失电子的原子或离子的物质叫还原剂。这种性质叫还原性。

5. 氧化还原反应 凡有得氧、失氧的反应叫氧化还原反应。凡有得失电子的反应叫氧化还原反应。氧化与还原必然相伴而生，因得失电子同时进行，其总数也必然相等。

必须区别清楚：氧化、还原指变化而言，指的是反应物的变化；氧化剂、还原剂指物质而言，指的是反应物而不是生成物。氧化性、还原性指能力而言。

(二) 判断