

高 职 高 专 教 材

无 机 化 学

第二版

古国榜 李 朴 编



化 学 工 业 出 版 社
教 材 出 版 中 心

· 北 京 ·

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

无机化学/古国榜, 李朴编. —2 版. —北京: 化学工业出版社, 2005. 7

高职高专教材

ISBN 7-5025-6928-6

I. 无… II. ①古…②李… III. 无机化学-高等学校: 技术学院-教材 IV. 061

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 082196 号

高职高专教材
无 机 化 学
第二版

古国榜 李 朴 编
责任编辑: 陈有华
文字编辑: 贾 婷
责任校对: 郑 捷
封面设计: 郑小红

*

化学工业出版社 出版发行
教 材 出 版 中 心
(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询: (010)64982530
(010)64918013

购书传真: (010)64982630

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销
北京永鑫印刷有限责任公司印刷
三河市东柳装订厂装订

开本 850mm×1168mm 1/32 印张 11 $\frac{3}{4}$ 彩插 1 字数 332 千字
2006 年 1 月第 2 版 2006 年 1 月北京第 9 次印刷

ISBN 7-5025-6928-6

定 价: 20.00 元

版权所有 违者必究
该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

《无机化学》(第一版)自1997年出版以来,承蒙各有关院校教师的大力支持,作为化学化工类主要参考教材使用,值此第二版出版之际,编者表示衷心的感谢。根据使用者反馈的信息和编者几十年的编写体会,在编写第二版时,仍保留了初版的系统和基本格局,结合大化工类高职高专的教学特点,对内容及其深广度做了适当的调整,对化学中新的知识增长点和信息的采集采用为无机化学所用的原则进行了扩充。第二版与初版比较,改动较大的内容如下。

① 书中标有“*”的部分是供选用内容。这部分内容主要是为扩大学生的视野、增加新的知识信息,以培养学生的创新精神。

② 加强了化学中常用物理量和单位的内容,删去了与中学重复的物质的聚集状态的内容。

③ 增加的新内容:与元素性质有关的钛和铂系元素的内容;与新能源有关的化学能源;与环境保护有关的超临界 CO_2 、超临界水、纳米 TiO_2 、绿色化学。

本书的编写得到了华南理工大学化学科学学院无机化学教研室同仁的支持。湖南化工职业技术学院林俊杰等对第二版的编写提出了宝贵意见。在此谨向他们致以诚挚的谢意。

此外,本书在编写过程中也参考了部分院校的教材和公开出版的刊物中的有关内容,在此对有关的作者表示衷心的感谢。

限于编者的水平,难免有错误和不妥之处,敬请同行和读者批评指正。

编 者

2005年5月

此为试读,需要完整PDF请访问: www.eitongbook.com

第一版前言

本书是根据《高等学校工程专科无机化学课程教学基本要求》编写的。编写时我们努力做到如下几点。

1. 以 1991 年修订的全日制中学高中化学教学大纲为起点，内容上避免与中学化学重复。

2. 认真贯彻使用《中华人民共和国法定计量单位》规定的符号和单位。

3. 注意理论与实际相结合，努力反映本课程的工程专科特点。

4. 在确保教学基本要求基础上，内容做到少而精，加大新知识新技术的信息量，反映近代无机化学在材料、能源、环保、生命、化工和冶金等方面的应用。

5. 考虑到 20 世纪 90 年代出版的一些国内外无机化学教材已采用 1988 年 IUPAC 建议的新的元素周期表，编者认为这是元素周期表的新发展。因此，本书也采用了这种新式元素周期表的体系，但为兼顾国内现行使用的元素周期表，在新的分族号上，用括号注明原族号。例如第 11 族，用第 11 (IB) 族表示。括号内的罗马数字即为现行周期表的族号。

6. 介绍了几位在近代化学有卓越贡献的科学家、诺贝尔化学奖获得者。他们的共同之点是年轻时就勤奋好学，努力求索，30 岁左右就发表成名之作。

全书包括化学原理和元素化学两大部分，共十七章。元素化学是无机化学的主要内容，本书按周期表的分区，依 s 区、p 区、d 区和 f 区的顺序编排内容。内容的取舍反映了工程高职高专的特色，以点带面。有关新的知识信息及应用大多渗透到其中。

本书的编写得到化学工业出版社和华南理工大学化工学院有关领导的支持和帮助；华南理工大学无机化学教研室同仁提供了不少素材；中山大学蔡少华教授仔细审阅了全书，并提出了许多宝贵的

修改意见，为本书的质量提高作出了贡献；化工出版社梁虹为责任编辑，为本书的润色、加工作出了努力，在此谨向他们表示深切的谢意。

此外，本书编写过程中，曾参考了兄弟院校的教材，在此也深表谢意。

本书的绪言，第 1、2、7、8、9、11、12、17 章由古国榜编写，第 3、4、5、6、10、13、14、15 和 16 章由谷云骊编写。全书由古国榜统稿。

限于编者水平，难免有误和不妥之处，敬请同行和读者批评指正。

编 者
1997 年 9 月

本书常用的符号意义和单位

符 号	意 义	单 位
p	压力	Pa
V	体积	m^3, L
n_{B}	物质 B 的物质的量	mol
R	摩尔气体常数	本书取 $8.314 \text{Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$ $8.314 \times 10^3 \text{Pa} \cdot \text{L} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$
T	热力学温度	K
M	摩尔质量	$\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$
p_{B}	物质 B 气体在混合气中的分压	Pa
$p_{\text{总}}$	系统的总压力	Pa
		无量纲
φ_{B}	物质 B 的体积分数	无量纲
w_{B}	物质 B 的质量分数	无量纲
V_{B}	混合气体中气体 B 的分体积	L
$V_{\text{总}}$	混合气体总体积	L
m_{B}	物质 B 的质量	g, kg
x_{B}	物质 B 的摩尔分数	无量纲
r_{B}	溶质 B 与溶剂的摩尔比	无量纲
b_{B}	物质 B 的质量摩尔浓度	$\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$
c_{B}	物质 B 的物质的量浓度	$\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$
$m^{\ominus}$	溶质标准质量摩尔浓度	$1 \text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$
$c^{\ominus}$	溶质标准浓度	$1 \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$
A_{r}	元素的相对原子质量	无量纲
M_{r}	物质的相对分子质量	无量纲
$p^{\ominus}$	气体标准压力	
ξ	反应进度	mol
Q	反应热	$\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$
Q_{V}	恒容反应热	$\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$
Q_{p}	恒压反应热	$\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

续表

符 号	意 义	单 位
$\Delta_r H_m^\ominus$	标准摩尔反应焓变	$\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$
$\Delta_f H_m^\ominus$	标准摩尔物质生成焓	$\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$
$\dot{\xi}$	反应速率	$\text{mol} \cdot \text{t}^{-1}$
v	恒容反应速率	$\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{t}^{-1}$
t	时间	s, min, h
ν_B	物质 B 的化学计量系数	
E_a	活化能	$\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$
k	反应速率常数	视反应速率表达式而定
A	指前因子或频率因子	
K	实验平衡常数或经验平衡常数	视其表达式而定
K_c	浓度平衡常数	视其表达式而定
K_p	压力平衡常数	视其表达式而定
$K^\ominus$	(热力学)平衡常数或标准平衡常数	无量纲
$[B]$	物质 B 的相对浓度 $[B] = c_B / c^\ominus$	无量纲
$[p_B]$	气体 B 的相对分压 $[p_B] = p_B / p^\ominus$	无量纲
Q_c	反应浓度商	视其表达式而定
Q_p	反应压力商	视其表达式而定
$K_w^\ominus$	水的离子积	无量纲
pH	$\text{pH} = -\lg[H^+]$	无量纲
pOH	$\text{pOH} = -\lg[\text{OH}^-]$	无量纲
$K_a^\ominus$	酸的解离(平衡)常数	无量纲
$K_b^\ominus$	碱的解离(平衡)常数	无量纲
α	解离度	无量纲
$K_h^\ominus$	水解(平衡)常数	无量纲
h	水解度	无量纲
$K_{sp}^\ominus$	溶度积(常数)	无量纲
Q_i	离子积	无量纲
E	能量	J, eV
ν	频率	s^{-1}
h	普朗克常数 $6.626 \times 10^{-34} \text{J} \cdot \text{s}$	
r	原子(离子)半径	pm
a_0	波尔半径	pm
λ	波长	
P	动量	
φ	波函数	
n	主量子数	
l	角量子数	

续表

符 号	意 义	单 位
m	磁量子数	
m_s	自旋量子数	
Z	有效核电荷	
I	电离能	$\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$
E_A	电子亲和能	$\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$
l	键长	pm
E_B	键能	$\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$
θ	键角	
μ	偶极矩	$10^{-30} \text{C} \cdot \text{m}$
q	电荷	
$\Delta_s H_m^\ominus$	标准摩尔物质升华焓	$\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$
U	晶格能	$\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$
E	电池电动势	V
$E^\ominus$	标准电极电势	V
$E_A^\ominus$	酸性介质标准电极电势	V
$E_B^\ominus$	碱性介质标准电极电势	V

绪 论

世界是物质的，物质是运动的。时间和空间是物质存在的形式。哪里有时间、空间，哪里便有物质。从以光年为单位计算大小的庞大星系到地球上的宏观物体，再到肉眼看不到的分子、原子、离子、电子等，都以其不同的运动形式存在着。人类本身也是物质运动、演化的产物。在生存与发展的过程中，人类不断地认识自然界，建立和发展了自然科学。各门科学在不同的物质层次、不同的范围内研究物质和物质的运动。化学的研究对象就是化学物质和化学运动，也就是针对一百多种元素以及由它们组成的几百万种化合物，从宏观上描述这些化学物质的性质，总结化学反应的规律；从微观上探讨与之相对应的物质结构和反应机理。化学主要是集中在原子、分子这一物质层次，围绕原子结合成分子、原子与原子的分分合合的过程进行研究，并由此拓展其研究范围。由于组成宏观物体并决定宏观物体的表现性能的基本单位是分子，因此，化学是其他许多学科的基础。例如，生物学中研究遗传与变异，首先要了解基因的分子结构及其变化规律；材料科学中，材料的力学性能决定于组成材料的分子结构和分子间的结构。20 世纪 70 年代以来，在人类所面临的能源、粮食、环境、人口与资源的五大问题中，诸如天然能源的有效利用、新能源的开发、环境保护、肥料、农药、人口的控制与资源的合理开采与利用，都离不开化学这门学科。材料、能源、信息是现代文明社会的三大支柱，而材料又是能源和信息工业技术的物质基础。例如，信息工程中的信息采集、处理和执行等都需要各种功能材料，而功能材料的获得又需依靠化学提供原材料。可以肯定，现代工程技术所面临的课题，需要的化学知识将会越来越广泛。

化学在其发展过程中逐步形成了许多分支学科，如无机化学、有机化学、分析化学、物理化学、结构化学等，这些都属于纯粹的化学。随着化学在不同领域中的应用，又产生了许多应用化学，如制革化学、酿造化学、陶瓷化学、材料化学等。碳氢化合物及其衍生物称

为有机（化合）物。除有机物以外的所有物质（也包括所有元素）统称为无机物。无机化学的内容，主要是研究无机物的组成、结构、性质、制备、应用以及其变化的基本原理。由于现代科学技术的进步和工农业生产的发展，目前无机化学又被细分成许多分支，例如，普通元素化学、稀有元素化学、稀土元素化学、配位化学、金属间化合物化学、无机高分子化学、无机合成化学、同位素化学等。同时与其他学科的相互渗透，产生了不少新的边缘学科，例如，无机生物化学、无机材料化学、无机物理化学、金属有机化学、金属酶化学等。本课程的任务，就是介绍无机化学的基本知识、基本理论和基本技能，为进一步学习无机化学和其他化学分支学科打下基础。

1 化学反应中质量和热量计量关系

本章首先简述化学中常用来计量的物理量，以巩固高中化学中的有关概念，在此基础上引入化学计量系数、反应进度，以阐明化学反应中的质量关系，在中学化学和大学化学之间起到承上启下的作用。本章重点要求是会应用物质的量概念进行有关的计算、热化学反应方程式的写法和从物质的标准摩尔生成焓计算标准摩尔反应焓变。

化学反应中经常要发生质量和热量的变化，如何计算这种变化呢？这就关系到计量的物理量和单位的问题。

1.1 计量单位和术语

1.1.1 元素的相对原子质量和相对分子质量

1984年2月27日国务院发布《国务院关于在我国统一实行法定计量单位的命令》以来，书刊均采用法定计量单位名称。

元素的相对原子质量 自然界中各种元素都存在一定比例的同位素^①。例如，氢在自然界中 ${}^1_1\text{H}$ 和 ${}^2_1\text{H}$ 的比例为6700:1。因此，元素的相对原子质量(A_r)定义为元素的平均原子质量与核素 ${}^{12}_6\text{C}$ 原子质量的1/12之比。例如，氯原子的相对原子质量 $A_r(\text{Cl})=35.453$ 。

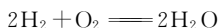
物质的相对分子质量(M_r) 定义为物质的分子或特定单元的平均质量与核素 ${}^{12}_6\text{C}$ 原子质量的1/12之比。例如，氯分子的相对分子质量 $M_r(\text{Cl}_2)=A_r(\text{Cl})\times 2=35.453\times 2=70.906$ ； $M_r(\text{ClO})=A_r(\text{Cl})+$

^① 质子数相同而中子数不同的原子，在周期表中占同一位置，称为同位素。同位素的表示方法为，元素符号的左上角表示质量数，左下角表示质子数，即核电荷数。质量数减去质子数即为中子数。

$$A_r(\text{O})=35.453+15.999=51.452。$$

1.1.2 物质的量及其单位

在物理学中，常用质量来描述物质质量的多少。在化学中，由于参加化学反应的各物种的分子（或特定粒子）之间存在一定的简单比例关系。例如：



上述反应式中，2 个 H_2 分子与 1 个 O_2 分子结合成 2 个 H_2O 分子，它们之间在分子数量上存在 2 : 1 : 2 的关系。因此化学中引用数量来表示物质的量的概念。化学中的物质的量的单位采用摩尔 (mol)。

摩尔是一系统的物质的量所包含的基本单元数与 0.012kg (即 12g) ^{12}C 的原子数目相等。在使用摩尔时，基本单元数应予指明，可以是原子、分子、离子、电子及其他粒子，或是这些粒子的特定组合。经实验准确测定，12g ^{12}C 所含的 ^{12}C 原子数目就是阿伏加德罗 (Arogadro) 常数 N_A ，因此，如果某物质系统中所含的基本单元的数目为 N_A 时，即称为某物质 1 摩尔。又根据相对原子质量或相对分子质量的概念，可以引申出摩尔质量 M 的概念。例如：

1mol ^{12}C 表示有 N_A 个 ^{12}C 原子，其质量为 12g，则摩尔质量 $M(^{12}\text{C})=12\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

1mol H_2 表示有 N_A 个 H_2 分子， H_2 的相对分子质量为 2.016，其质量为 2.016g，则摩尔质量 $M(\text{H}_2)=2.016\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

1mol $\frac{1}{2}\text{H}_2$ 表示有 N_A 个 $\frac{1}{2}\text{H}_2$ 基本单元， $\frac{1}{2}\text{H}_2$ 的相对分子质量为 1.008，则摩尔质量 $M\left(\frac{1}{2}\text{H}_2\right)=1.008\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

由此可知，某物质的摩尔质量在数值上等于其基本单元的相对分子质量。

某物质 B 的物质的量 n_B 可定义为 B 的质量 m_B 除以摩尔质量 M_B ，即

$$n_B = \frac{m_B}{M_B} \quad (1-1)$$

【例 1-1】 H_2SO_4 的相对分子质量为 98.0。10.0g 硫酸，以 H_2SO_4 表示时的物质的量为：

8 无机化学

$$n(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{10.0\text{g}}{98.0\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 0.102\text{mol}$$

如果特定的基本单元为 $\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4$ ，则其物质的量

$$n = \left(\frac{1}{2} \text{H}_2\text{SO}_4 \right) = \frac{10.0\text{g}}{49.0\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 0.204\text{mol}$$

由此可知，同样质量的一种物质，以不同的基本单元表示物质的量时其数值是不同的，所以物质的量必须注明其基本单元的符号，才有真实含义。

当具体指明了物质 B 的基本单元后，为书写方便常在量的名称后用括号 (B) 注明。

1.1.3 物质的量浓度

某物质 B 的物质的量浓度 c_B 化学上也可简称为物质 B 的浓度，它被定义为物质 B 的物质的量 n_B 除以混合物的体积 V ，即

$$c_B = \frac{n_B}{V} \quad (1-2)$$

其单位为 mol/m^3 或 mol/L 。

【例 1-2】 98.0g H_2SO_4 溶解在水中成 1L 溶液时，其浓度为多少？

解

$$n(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{98.0\text{g}}{98.0\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 1.00\text{mol}$$

$$\text{则 } c(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{n(\text{H}_2\text{SO}_4)}{1.0\text{L}} = \frac{1.00\text{mol}}{1.00\text{L}} = 1.00\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

1.1.4 质量摩尔浓度

物质 B 的质量摩尔浓度 b_B ，被定义为溶液中溶质 B 的物质的量 n_B 除以溶剂的质量 m 。即

$$b_B = \frac{n_B}{m} \quad (1-3)$$

其单位为 mol/kg 。

【例 1-3】 1mol H_2SO_4 溶解在 0.5kg 水中，则 H_2SO_4 的质量摩尔浓度为：

$$b(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{n(\text{H}_2\text{SO}_4)}{m(\text{H}_2\text{O})} = \frac{1\text{mol}}{0.5\text{kg}} = 2\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$$

1.1.5 摩尔分数和摩尔比

物质 B 的摩尔分数 x_B 是指物质 B 的物质的量与混合物的物质的量之比。例如, 某一系统含有 1mol N_2 和 3mol H_2 , 则有

$$N_2 \text{ 的摩尔分数} \quad x(N_2) = \frac{1\text{mol}}{(1+3)\text{mol}} = 0.25$$

$$H_2 \text{ 的摩尔分数} \quad x(H_2) = \frac{3\text{mol}}{(1+3)\text{mol}} = 0.75$$

溶质 B 的摩尔比 r_B 是指溶质 B 的物质的量与溶剂的物质的量之比。例如, 1mol $\left(\frac{1}{2}H_2SO_4\right)$ 溶于 500mol H_2O 中则有

$$\left(\frac{1}{2}H_2SO_4\right) \text{ 的摩尔比} \quad r\left(\frac{1}{2}H_2SO_4\right) = \frac{1\text{mol}}{500\text{mol}} = \frac{1}{500}$$

1.1.6 质量分数

物质 B 的质量分数 w_B 是指物质 B 的质量与混合物的质量之比。例如, 5g NaCl 溶于 95g H_2O 中而成的混合物, 则有

$$NaCl \text{ 的质量分数} \quad w(NaCl) = \frac{5\text{g}}{(5+95)\text{g}} = 0.05$$

1.1.7 体积分数

物质 B 的体积分数 φ_B 是指纯物质 B 与混合物在相同温度和压力下的体积比。工业上常用各组分气体的体积分数表示混合气体的组成。例如, 某一煤气贮罐中各组分气体的体积分数为 $\varphi(CO) = 0.600$, $\varphi(H_2) = 0.100$, 其余气体的体积分数为 0.300。

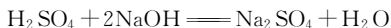
根据 $pV=nRT$ 理想气体状态方程式, 在同温同压下, 气体的物质的量与其体积成正比, 可以导出混合物气体中组分气体 B 的体积分数等于其摩尔分数, 即

$$\varphi_B = x_B \quad \text{或} \quad \frac{V_B}{V_{\text{总}}} = \frac{n_B}{n_{\text{总}}} \quad (1-4)$$

1.2 化学反应中物质的量关系

1.2.1 应用化学方程式的计算

化学反应中物质的量关系, 可以根据已配平的化学方程式进行计算。例如, 硫酸与氢氧化钠中和生成硫酸钠和水的反应, 可用下列化学方程式表示:



由此可知, 1 分子 H_2SO_4 与 2 分子 NaOH 反应生成 1 分子 Na_2SO_4 和 1 分子 H_2O 。亦即各物质的量关系为: 1mol H_2SO_4 与 2mol NaOH 反应生成 1mol Na_2SO_4 和 1mol H_2O 。

【例 1-4】 现欲制备 100kg Na_2SO_4 , 问理论上需要多少 H_2SO_4 和 NaOH ?

解 已知各物质的摩尔质量: $M(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 142\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$, $M(\text{H}_2\text{SO}_4) = 98\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$, $M(\text{NaOH}) = 40\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。依题先把 100kg Na_2SO_4 的质量折算成物质的量为:

$$n(\text{Na}_2\text{SO}_4) = \frac{m(\text{Na}_2\text{SO}_4)}{M(\text{Na}_2\text{SO}_4)} = \frac{100 \times 10^3 \text{g}}{142\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 0.704 \times 10^3 \text{mol}$$

根据反应式, 则理论上需 $n(\text{H}_2\text{SO}_4)$ 为 $0.704 \times 10^3 \text{mol}$, 即需 H_2SO_4 的质量:

$$\begin{aligned} m(\text{H}_2\text{SO}_4) &= n(\text{H}_2\text{SO}_4)M(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0.704 \times 10^3 \text{mol} \times 98\text{g} \cdot \text{mol}^{-1} \\ &= 69 \times 10^3 \text{g} = 69\text{kg} \end{aligned}$$

理论上需 $n(\text{NaOH})$ 为 $2 \times 0.704 \times 10^3 \text{mol} = 1.408 \times 10^3 \text{mol}$, 即需 NaOH 的质量:

$$\begin{aligned} m(\text{NaOH}) &= n(\text{NaOH})M(\text{NaOH}) = 1.408 \times 10^3 \text{mol} \times 40\text{g} \cdot \text{mol}^{-1} \\ &= 56.32 \times 10^3 \text{g} = 56.32\text{kg} \end{aligned}$$

如果从原料出发, 经过多步反应才能得到产品时, 也可以从产品的化学式推算出所需的原料量。

【例 1-5】 某硫酸厂以黄铁矿 (FeS_2) 为原料生产 H_2SO_4 , 现需生产 1 万吨 98% H_2SO_4 , 问需含 40% S 的黄铁矿多少吨?

解 从 H_2SO_4 与 S 的化学式可知, 理论上 $n(\text{H}_2\text{SO}_4) : n(\text{S}) = 1 : 1$, 现生产 1 万吨 98% H_2SO_4 , 即含纯 H_2SO_4 为 0.98 万吨。

$$n(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{m(\text{H}_2\text{SO}_4)}{M(\text{H}_2\text{SO}_4)} = \frac{0.98 \times 10^4 \times 10^6 \text{g}}{98\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 1 \times 10^8 \text{mol}$$

因为

$$n(\text{H}_2\text{SO}_4) = n(\text{S})$$

即需

$$n(\text{S}) = 1 \times 10^8 \text{mol}$$

需 S 的质量 $m(\text{S}) = n(\text{S})M(\text{S}) = 1 \times 10^8 \text{mol} \times 32\text{g} \cdot \text{mol}^{-1} = 3.2 \times 10^9 \text{g} = 3.2 \times 10^3 \text{t}$

已知 FeS_2 含 40% S, 则生产 1 万吨 98% H_2SO_4 所需原料 FeS_2

$$m(\text{FeS}_2) = \frac{3.2 \times 10^3 \text{ t}}{0.40} = 8.0 \times 10^3 \text{ t}$$

由以上计算可知,应用化学反应中物质的量关系,可以简化化学中的有关计算。

1.2.2 化学计量系数

在研究化学反应的过程,常需要了解物质的量的变化情况。例如,在合成氨反应中

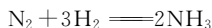


如果 N_2 消耗了 0.1mol , H_2 就消耗 0.3mol , 而 NH_3 则增加 0.2mol 。反应式中,分子式前面的系数称为化学计量系数,对反应物来讲是量的减少,取负值;对生成物来讲则是量的增加,取正值。因而在表示反应过程中量的变化时,用不同的物质来表示时将有不同的值。

* 1.2.3 反应进度

国际纯粹与应用化学联合会 (IUPAC) 推荐使用比利时化学家唐德 (T. de Donder) 提出的“反应进度”这一概念。

对于反应:



可做如下变换:

$$0 = 2\text{NH}_3 + (-\text{N}_2) + (-3\text{H}_2)$$

一般的化学反应均可进行这一变换,得到反应通式:

$$0 = \sum_B \nu_B B \quad (1-6)$$

式中, B 表示参与反应的反应物和生成物; ν_B 为其计量系数,对反应物取负值,生成物取正值; $\sum$ 表示各项相加。

反应进度的符号是 ξ (读音:克赛),其定义为:对于某一反应 $0 = \sum_B \nu_B B$,当物质的量从开始的 $n_B(0)$ 变为 $n_B(\xi)$ 时:

$$\xi = \frac{n_B(\xi) - n_B(0)}{\nu_B} = \frac{\Delta n_B}{\nu_B} \quad (1-7)$$

由于 ν_B 是一个纯数,所以 ξ 的量纲是 mol 。

由于反应进度 ξ 是将反应中某物质的变化量除以其计量系数,这样就消除了因计量系数不同而引起的差异。因此,用不同物质的

变化计算出的反应进度都是一样的。例如，反应式 (1-5) 中，消耗了 0.1mol N_2 和 0.3mol H_2 ，生成了 0.2mol NH_3 ，其反应进度用 N_2 、 H_2 、 NH_3 表示都是一样的值：

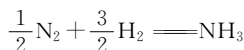
$$\xi = \frac{\Delta n(\text{N}_2)}{\nu(\text{N}_2)} = \frac{-0.1\text{mol}}{-1} = 0.1\text{mol}$$

$$\xi = \frac{\Delta n(\text{H}_2)}{\nu(\text{H}_2)} = \frac{-0.3\text{mol}}{-3} = 0.1\text{mol}$$

$$\xi = \frac{\Delta n(\text{NH}_3)}{\nu(\text{NH}_3)} = \frac{0.2\text{mol}}{2} = 0.1\text{mol}$$

因此，反应中只要测量出某一物质的量变化，就可以计算出该反应的进度。

值得注意的是， ξ 的数值与反应方程式的写法有关，在上例中，如果合成氨的方程式写成：



即

$$0 = \text{NH}_3 + \left(-\frac{1}{2}\right)\text{N}_2 + \left(-\frac{3}{2}\right)\text{H}_2$$

则

$$\nu(\text{N}_2) = -\frac{1}{2}, \nu(\text{H}_2) = -\frac{3}{2}, \nu(\text{NH}_3) = 1$$

反应进度为：

$$\xi = \frac{-0.1\text{mol}}{-\frac{1}{2}} = \frac{-0.3\text{mol}}{-\frac{3}{2}} = \frac{0.2\text{mol}}{1} = 0.2\text{mol}$$

所以反应进度的数值必须对应于某一具体的反应式才有意义。

利用反应进度可以进行化学方程式有关的计算。

【例 1-6】 50mL 、 $c(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0.20\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 恰能与 40mL NaOH 溶液完全中和，试求 NaOH 溶液的浓度？

解 依题意，已知 $c(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0.20\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ， $V(\text{H}_2\text{SO}_4) = 50\text{mL} = 0.050\text{L}$ ， $V(\text{NaOH}) = 40\text{mL} = 0.040\text{L}$ ，求 $c(\text{NaOH}) = ?$

设反应方程式为：



则有

$$\frac{\Delta n(\text{H}_2\text{SO}_4)}{\nu(\text{H}_2\text{SO}_4)} = \frac{\Delta n(\text{NaOH})}{\nu(\text{NaOH})}$$

上式中

$$\Delta n(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0 - c(\text{H}_2\text{SO}_4)V(\text{H}_2\text{SO}_4) = -c(\text{H}_2\text{SO}_4)V(\text{H}_2\text{SO}_4)$$

此为试读，需要完整版PDF请访问：www.eritongbook.com