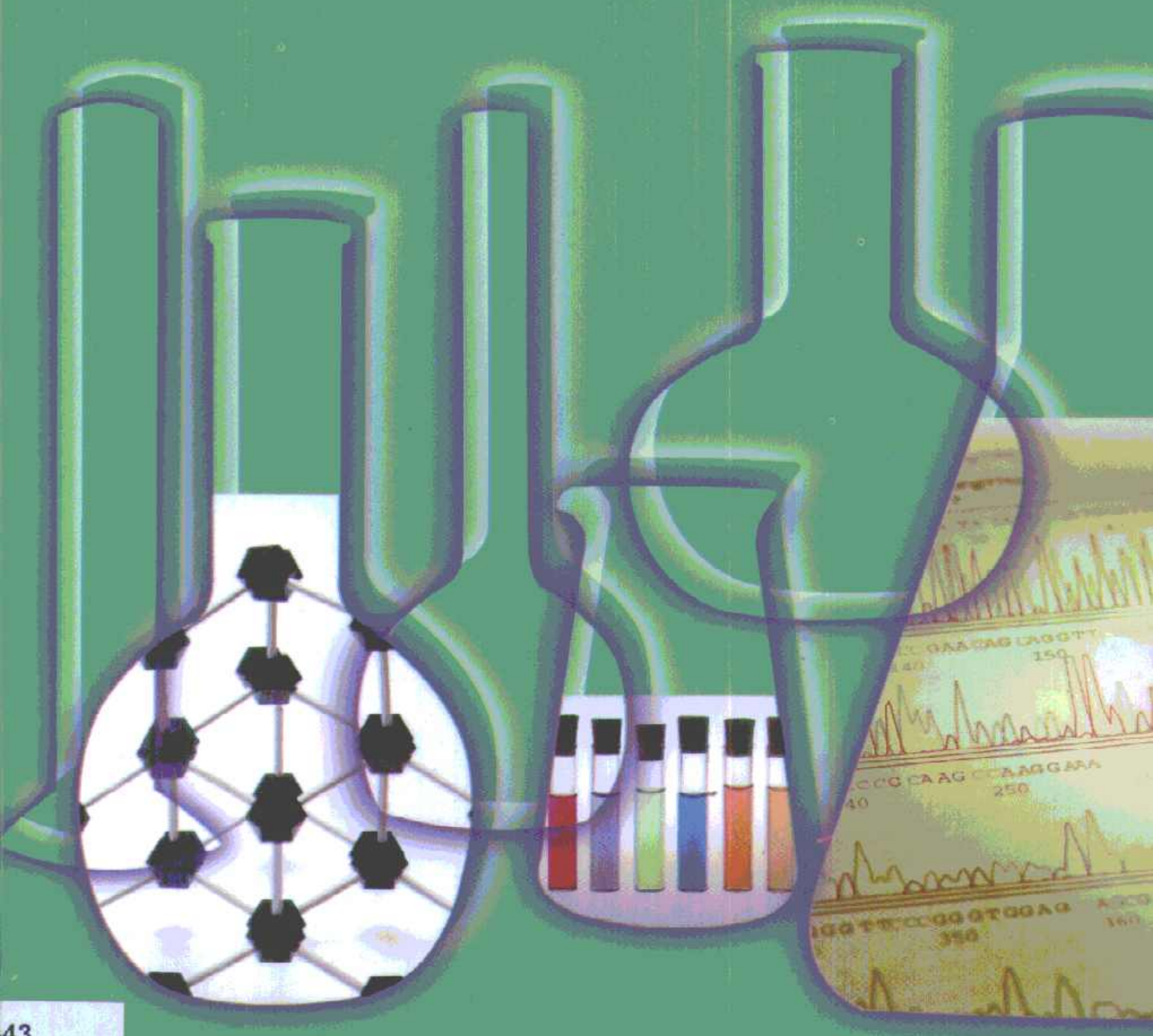


高等职业技术教育机电类规划教材

基础应用化学

陕西工业职业技术学院
四川省工程技术学校

李建成 主编
曹大森



教育部推荐教材 教育部审定 2019

基础应用化学

教育部推荐教材 教育部审定 2019



069-43 611
L32

高等职业技术教育机电类规划教材

基础应用化学

陕西工业职业技术学院 李建成
四川省工程技术学校 曹大森 主编



机械工业出版社

本教材分为化学基本概念和原理、材料和能源、环境与健康、实验四部分。全书的选题从专业需要和社会关注的热点出发,努力反映化学学科的新成果和发展趋势;编排顺序上体现了各部分知识的内在联系,并加强了启发性。具有注重实际应用、便于组织教学的特点。按照降低成本、减少污染、操作安全的原则选编了实验内容。实验的类型分为验证和创新。前者验证课堂教学内容,后者旨在培养学生综合运用知识、解决实际问题的能力。

本教材适用于工科(非化工类)高等职业技术教育的初中后5年制和高中后3年制使用,也可供中等专业学校选用。

图书在版编目(CIP)数据

基础应用化学/李建成,曹大森主编.—北京:机械工业出版社,2000.5

高等职业技术教育机电类规划教材

ISBN 7-111-07627-3

I. 基… II. ①李…②曹… III. 应用化学—技术学校:高等学校—教材
IV. 069

中国版本图书馆CIP数据核字(2000)第12512号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:常燕宾 版式设计:霍永明 责任校对:孙志筠

封面设计:李雨桥 责任印制:路琳

赤峰森堡印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行

2000年4月第1版·第1次印刷

787mm×1092mm¹/16·14印张·1插页·343千字

0001—5000册

定价:18.50元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话:(010) 68993821、68326677—2527

前 言

本书是根据高等职业教育的需要而编写的。编写的原则是：

1. 从人才培养目标和教学实际出发选择内容。

培养高级应用型技术人才是高职教育的目标，因此在选编教学内容时体现了淡化理论、加强应用性的原则；当前，高职学制有初中后五年和高中后三年。针对这种实际情况，对教材内容作了如下处理：

高中毕业生虽已具备了一定的化学基础知识，但从深广度和应用性方面与“高职”要求还有较大差距。所以三年制的教学内容以高中化学为起点，理论知识的高度低于大学本科的“普化”，将应用知识作为重点。打破学科体系，从专业需要和社会关注的热点出发，把教学内容归纳为一些“专题”（打*号）。基本学时 60 左右。

五年制的教学内容与初中化学相衔接，并以此为起点，最终达到高中后三年制水平。教学内容分为四大板块：化学基本概念和原理；材料和能源；环境与健康；实验。每个板块中除必要的理论外，内容重点放在应用知识的介绍和操作能力的训练上。基本学时 102 左右。

2. 考虑到近年来各地各校教学时数趋于多样化以及学生基础参差不齐的实际状况，为加强教材的适应性，教学内容的安排具有一定的弹性；习题在注意结合生产、生活、提高趣味性的同时，分为必做和选做两个层次。不同学校可根据专业需要和教学时数多少酌情取舍。

按照降低成本、减少污染、操作安全、效果明显的原则选编实验内容。实验类型分为验证型和创新型。前者主要结合课堂教学内容，后者不局限课堂教学内容，旨在培养学生综合运用知识解决实际问题的能力。

3. 力求反映化学科学的新成果和发展趋势。

4. 注重对学生素质和能力的培养，努力启发学生的积极思维，避免单一灌输。

本书的编者有：四川省工程技术学校曹大森、中原机械工业学校许雅周、湖北东风汽车工业学校张力立、南京无线电工业学校沈锦倩、无锡无线电工业学校何丹若、湖南机电学校张耀湘、河北机电学校寇德慧和李东流、常州化工学校李弘、嘉兴职业教育中心顾坤良、重庆机器制造学校罗小秋、陕西工业职业技术学院郑风云和李建成。

为本书提供稿件的有：南京机电学校张国泰、广西机械工业学校樊柳琼。

参加本书审稿的有：沈阳机电工业学校王一民、南京无线电学校杨晓辉和吴颖。

本书在编写过程中，参考了唐有祺等著《化学与社会》、清华大学丁廷桢著《化学原理和应用基础》、北京大学华彤文等译著《化学的今天和明天》。

杭州机械职工大学任连元倡导编写本书并给予宝贵的指导。在编写过程中，我们还得到全国许多同行的热情帮助，在此一并致谢！

限于编者的水平和经验，书中不足和错误之处在所难免，恳切希望同仁和广大读者提出批评指正。

编 者

1999 年 9 月

绪 论

我们谨以此书的出版迎接新世纪的到来。

我们生活在物质的世界，每个人都会不断地思考：为什么宇宙间的物质性质千变万化？怎样才能控制并最有效地利用这些物质？化学正是在原子和分子层次上研究物质的性质及其变化的科学。20 世纪，人类的文明得到长足的进步，化学科学对此作出了重大的贡献，它已渗透到现代科学技术和人类生活的各个方面，起着日益重要的作用。

材料科学、能源科学、环境科学和生命科学是关系人类生存和发展的现代科学的四大支柱，它们与化学密不可分且互相促进。以材料为例，它是社会文明进步的物质基础和显著标志。因为有了耐腐蚀的含氟聚合材料，才解决了原子能工业制取浓缩铀的问题；有了耐高温和耐烧蚀的增强复合材料，才有可能制造人造卫星、洲际导弹和航天飞机。人们常说，现在是“信息时代”。信息工程中采集、储存、处理、传输和执行都需要相应的功能材料。正是化学工业提供的半导体和光导纤维才使下列奇迹得以实现：《纽约时报》一天的信息量等于 17 世纪一个人一生所得到信息的总和；在一片指甲大小的硅芯片上可以存放《人民日报》2 年的信息量；一束光纤可传输全世界每一天所有电话的通信量；计算机的更新速度令人眼花缭乱，1994 年电脑执行指令的速度为每分钟 1000 万次，而到 1997 年就达到 10 亿次。要使计算机的体积更小、储存量更大，就必须研制新的磁性材料。

化学通过了解物质的结构，从而设计新物质的合成。当前，世界上每年增加 100 万种以上的新物质，这是人类改造和利用自然的成果。化学在注意合理利用传统能源的同时，正致力于开发新型、清洁的能源，以便克服“能源危机”，满足社会发展的需要，并且改善因消耗能源对环境造成的污染。化学还探索人类生产过程给环境带来的负面影响，以便找到既能使社会持续发展又保持良好生态环境的道路。生物化学和分子生物学通过揭示生命与疾病的奥秘，从而设计、生产新的药物和进行转基因工程，为不断提高人的健康水平，最终战胜癌症、爱滋病、老年痴呆症和心血管等顽疾带来了希望。不难看出，化学涉及到科技、农业、国防和工业生产的机械、电子、冶金、建筑、石油、医药、食品、纺织、造纸、皮革、橡胶等各个领域。

在人类多姿多彩的生活中，化学也是无处不在的。从早到晚，衣食住行，我们离不开化学制品和化学所昭示的科学原则。不具备基本的化学知识，我们的生活就会陷入盲目性，就可能接受伪科学的愚弄和误导。

凡此种种，关于化学的地位，我们可以引用美国哥伦比亚大学教授 R·布里斯罗 (Ronald Breslow) 的话来说明：“化学是一门中心的、实用的和创造性的自然科学” (The Central, Useful and Creative Science)。下列事实有助于我们对这句话的理解：

——当前，全球化工产品的国际贸易每年达 300 亿美元；在美国，化学品出口占总出口额的 10% 以上。

——发达国家有 50% 的化学家在非化学工业公司任职。例如，在汽车制造公司的研究机构里，化学家是科学家中的最大群体。他们的重要工作是开发更优良的催化转化装置和使

油料燃烧得更彻底的方法，以减少机动车对环境的污染；研制更多的现代材料来代替汽车上的金属；改进化学电源，使电动汽车能够成为实用的产品推向市场。

——美国的西点军校把《化学》作为必修课程。

我们的教育目标应是培养具有全面素质(它对一个人的发展起着长远作用)的人才。所谓素质，是指人的生理、心理、知识和技能等要素的总和。它应包括良好的文化知识基础、适应当前就业的技能以及进一步接受教育和培训的能力；还应具有良好的思维分析判断能力、良好的理解表达能力、强烈的社会责任感和敬业精神等。这种素质的培养不是加强一、二门课程或个别教学环节所能奏效的，而是要通过扎实的文化科学教育、实践技能训练以及思想品德熏陶等多方面多环节才能完成的。作为自然科学的重要组成部分，化学对培养学生素质起着不可缺少的作用。例如，通过化学原理(其中充满量变和质变、内因和外因、化合和分解、氧化和还原等对立统一关系的例证)的学习，有助于科学世界观的树立和归纳、推理等逻辑思维能力的培养；通过对常用材料、能源、资源的认识，有助于为专业学习和就业以及日常生活奠定必要的科学知识，树立环境保护和可持续发展的意识；通过对科学家及其贡献的了解，有助于培养求实创新的科学态度，坚韧不拔以及良好的合作精神；通过化学实验，提高观察、分析能力和实际操作技能。总之，化学是培养合格人才不可缺少的基础课程，缺少了它就会造成人才素质的缺陷，就会限制学生将来的发展。

本门课程的学习内容可归纳为基本理论和基本知识两个方面。

物质的组成，结构与物质的性质之间的关系，物质的性质变化的规律，影响化学反应快慢和程度的主要因素等，这些涉及原理的问题是理论部分要解决的。在基本知识部分，结合生产和生活的需要介绍了一些物质的性质和应用，对于本课程来讲，这一部分是最主要的。理论只是为了指导我们对应用知识的学习，起到事半功倍的作用。

学习方法上，我们提倡敏于观察，勤于思考，探索规律，把书本知识与生产和生活中的化学问题联系起来，学以致用；还要尽可能走出课堂，安排一定的参观，加深对化学在生产中应用的理解。对于实验，要正确操作、仔细观察、认真分析实验现象所反映的本质。对于本书的内容，我们不主张在课堂上面面俱到地讲授，而建议教师精讲基本原理和解决问题的思路，起到引导启发的作用，大部分内容让学生通过自学去理解掌握，以便使学生在增长知识的同时提高阅读能力和分析解决问题的能力。

化学，作为一门产生于人类文明进步过程中的科学，在我国有如黄河、长江一样源远流长，并有过令人自豪的成就，只是由于长期的封建统治，才使我国的化学科学和化学工业落后于发达国家。经过半个多世纪的奋斗，这种状况已有所改观。我国的化肥、农药、酸、碱等基本化工产品的产量有了飞速的增长；有机合成工业从无到有不断发展，塑料、纤维、橡胶等品种和产量不断增加；用于火箭、导弹、人造卫星及核工业的各种特殊材料及超导材料的研究也获得举世瞩目的成就；牛胰岛素等具有生物活性蛋白质的合成及转基因工程的成功，标志着我国在揭开生命奥秘的伟大历程中进入了世界领先行列。但总的来看，由于底子薄、基础差，我们与发达国家比较还有很大差距。一个创造了长城、运河的民族，决不能自甘落后。我们一定能抓住良好的历史机遇，再现辉煌。让我们继承和发扬中华民族勤劳、聪敏的优秀品质，增强自信心，为国家的振兴而发愤学习。

第一篇 基本概念和原理

物质的性质取决于分子的组成和结构；化学反应的快慢和进行程度主要取决于物质的性质，还受浓度、压强、温度、催化剂等外部因素的影响。了解这些原理将有助于我们掌握物质的性质和充分利用资源，提高生产率，减少环境污染。

第一章 基本概念和基本计算

- 物质的结构单元有哪些
- 少数微粒的质量、体积难以称量，大量微粒的集合体能不能称量
- 衡量结构单元多少的物理量和基本单位是什么
- 溶液中溶质含量常用的表示方法有哪些
- 在化学计算中怎样应用本章所介绍的几个物理量及其单位
- 氧化还原反应的本质是什么

第一节 物质的结构单元

组成物质的微观粒子叫结构单元，它可以是原子、分子、离子、电子及其它微粒或是这些微粒的特定组合。

一、原子

原子是化学变化中的最小微粒。它在化学反应中，种类和数目都没有变化，改变的只是原子核外电子(特别是外层电子)的运动状态和分布。

1. 原子的构成 原子是由带正电的原子核和带负电的电子所构成的；原子核又可分为质子和中子。这三种微粒的主要性质见表 1-1。

表 1-1 质子、中子、电子的主要物理性质

原子的组成		电量/ $(1.6 \times 10^{-19} \text{C})$	质 量	
			绝对质量/kg	相对质量(以碳-12 原子质量的 1/12 为标准)
原子核	质子(p)	+ 1	1.6726×10^{-27}	1.0072
	中子(n)	0	1.6748×10^{-27}	1.0086
电子(e ⁻)		- 1	9.1095×10^{-31}	1/1837

原子核所带电量(称核电荷数)决定于原子核内的质子数。元素按原子的核电荷数由小到大排列的序次称为原子序数。据此,对于同一元素的原子来说:

$$\text{原子序数} = \text{核电荷数}(Z) = \text{核内质子数} = \text{核外电子数}$$

由于电子的质量十分微小,原子的质量主要集中在原子核上。将原子核内质子和中子的相对质量取整数相加,就可以得到原子的相对质量(又称质量数)。即

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

要表示某种原子,一般是将元素的原子序数写在元素符号的左下角。将质量数写在左上角。这种表示方法称为原子标记法。例如 ${}_{13}^{27}\text{Al}$

2. 同位素 核电荷数(即质子数)相同的一类原子总称元素。科学研究发现,许多元素具有质量数不同的几种原子。这是因为在它们的原子核中,虽然质子数相同,但中子数却不同。具有不同中子数的同一元素的几种原子互称同位素。例如:氢有三种同位素,它们的原子都含有1个质子和1个电子,但有的氢原子不含中子,叫氕(音 pie),即普通氢原子;有的含1个中子,叫氘(音 dao),俗称重氢;有的含2个中子,叫氚(音 chuan),俗称超重氢。氕和氚是制造氢弹的材料。氢的三种同位素氕、氘、氚用原子标记法可分别表示为 ${}^1_1\text{H}$ 、 ${}^2_1\text{H}$ 、 ${}^3_1\text{H}$ 。

同位素的名称来源于它们在元素周期表中同占一个位置(原子序数相同)。一种元素有几种不同质量数的原子,它们就有几种同位素。

到1997年末,人类已发现112种元素,而同位素多达2500种以上,某些元素有多种同位素。例如,碳有3种同位素 ${}^{12}_6\text{C}$ 、 ${}^{13}_6\text{C}$ 、 ${}^{14}_6\text{C}$;锡有10种之多。迄今没有发现同位素的天然元素仅十余种。

同一种元素的各种同位素,原子质量不同,物理性质有差异,但由于具有相同的核电荷数及核外电子,所以化学性质基本相同。天然存在的元素,不论是游离态还是化合态,各种同位素的物质的量分数 $\ominus$ 一般是不变的。所以我们平常使用的元素相对原子质量,是按各种天然同位素的丰度求出的平均值。

二、离子

我们知道,金属钠与非金属氯反应生成氯化钠时,Na原子最外层的1个电子转移到Cl原子的最外层,使两个原子都形成带电荷的微粒,我们称之为离子(如图1-1所示)。带正电的叫阳离子,带负电的叫阴离子,它们彼此间存在着静电作用。由阴、阳离子相互作用而构成的化合物叫做离子化合物,如KCl、 MgCl_2 。带电荷的原子团也叫离子,如硫酸根离子(SO_4^{2-})、铵根离子(NH_4^+)。由它们构成的化合物如 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 也是离子化合物。离子化合物在溶于水或受热熔融时,又可离解为自由移动的阴、阳离

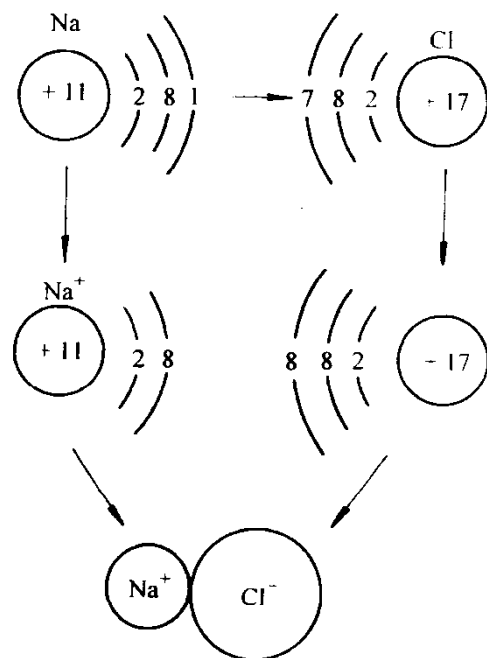


图 1-1 氯化钠形成示意图

$\ominus$ 某物质的物质的量分数是指该物质的物质的量与混合物的物质的量之比。物质的量的概念见本章第二节。

子, 此时它具有良好的导电性能。

三、分子

分子是保持物质化学性质的最小微粒。它的形成可用氢气分子的形成为例来说明。氢原子核外只有 1 个电子, 当两个氢原子在一定条件下接近时, 均有获得电子达到稳定结构的倾向。由于两个氢原子争夺电子的能力相同, 都不能把对方的电子夺取过来。结果, 各贡献 1 个电子组成共用电子对。共用电子对同时吸引两个原子核, 使两个氢原子形成氢分子(如图 1-2)。

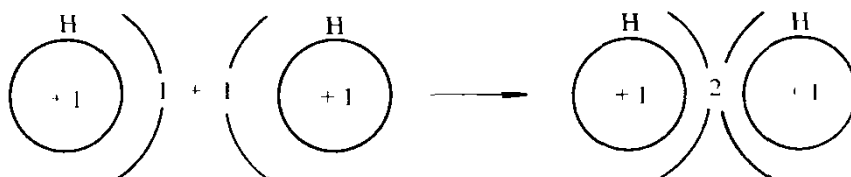


图 1-2 氢原子以共用电子对结合形成氢分子

练习思考 1-1 试举出你学过的微观粒子, 并用化学式表示之。

第二节 结构单元的计量

结构单元是构成物质的微粒, 单个这样的微粒是肉眼看不见的, 所以难以计量其质量和体积。但是在实验室或生产实践中取用物质, 必须是可以称量的。这种可以称量的物质是大量微粒的集合体。物质相互反应时, 既存在微观粒子之间的一定比例, 也存在宏观量之间的一定比例, 所以, 需要将物质的微观结构单元和宏观量联系起来。

一、物质的量及其单位

为了表示结构单元的群体并达到可以称量的目的, 1971 年第 14 届国际计量会议决定增设一个基本物理量——物质的量(符号 n), 并规定其基本单位为摩尔(符号 mol)。

单位摩尔物质所包含的结构单元数与 $0.012\text{kg } ^{12}\text{C}$ 的原子数目相等。

实验测知, 1 个 ^{12}C 原子的质量是 $1.9927 \times 10^{-26}\text{kg}$, 则 $0.012\text{kg } ^{12}\text{C}$ 的原子数目与阿伏加德罗常数 ($N_A \approx 6.02 \times 10^{23}$) 相等。这就是说, 1mol 任何物质包含的结构单元数约为 6.02×10^{23} 。

特别需要注意, 使用“摩尔”这个单位时, 必须同时用化学式表明具体的结构单元, 如 1mol H, 2mol O_2 , 0.5mol OH^- 。

某物质的结构单元数(N)与其物质的量有如下关系:

$$N = n \times N_A \quad (1-1)$$

练习思考 1-2 填空回答下列问题:

_____ 个碳原子是 1mol C, 其质量为 ____。 6.02×10^{23} 个氢分子是 _____ mol H_2 , 含 _____ 个氢原子。 0.5mol NaOH 含有 _____ 个钠离子。 1.806×10^{24} 个氢氧根离子是 _____ mol OH^- 。

二、摩尔质量

质量除以物质的量称为该物质的摩尔质量(符号 M)即

$$M = \frac{m}{n} \quad (1-2)$$

摩尔质量的常用单位是 $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

从摩尔的定义可知, 1 摩尔碳的质量是 12g, 根据元素相对原子质量的概念, 可以推算出任何原子的摩尔质量。例如氧原子的摩尔质量可以推算如下:

1 个 C 的质量:1 个 O 的质量 = 12:16

1mol C 的质量:1mol O 的质量 = $12N_A:16N_A$

经运算得出, 1mol O 的质量是 16g, 即氧原子的摩尔质量为 $16\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$ 。

同样可以推算出, $M(\text{S}) = 32\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$; $M(\text{Fe}) = 56\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$ 。也就是说, 1mol 任何原子的质量, 以“克”为单位时, 其数值等于该原子的相对原子质量。

同理导出, 1mol 任何分子的质量, 以“克”为单位时, 数值上等于该分子的相对分子质量。

电子的质量与原子质量相比十分微小, 可以忽略不计。所以每摩尔离子的质量, 以“克”为单位时, 其数值等于该离子化学式中所有原子的相对原子质量之和。

综上所述, 任何物质的摩尔质量, 以“克/摩”($\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$)为单位时, 其数值与该物质的化学式量相同。

练习思考 1-3 物质的微观粒子数与宏观的质量靠哪个物理量联系起来? 通过计算回答:

- (1) 180g 水的物质的量是多少?
- (2) 0.5mol NaOH 的质量是多少?
- (3) 多少克铁与 3g 碳的原子数相同?

三、气体摩尔体积

体积除以物质的量称为该物质的摩尔体积(V_m)即

$$V_m = \frac{V}{n} \quad (1-3)$$

摩尔体积的常用单位是 $\text{dm}^3\cdot\text{mol}^{-1}$ 或 $\text{L}\cdot\text{mol}^{-1}$ 。

对于固态或液态物质来说, 分子间间隙小, 可以认为是紧挨着的, 如图 1-3 所示。它们的体积主要取决于分子的大小和数目。所以不同物质的摩尔体积是各不相同的。而气体的摩尔体积有其特殊性。物质的量一定的气体, 其体积随温度和压强的改变而有显著的变化。因此要比较不同种类气体的摩尔体积, 需在相同的温度和压强下进行。表 1-2 列举了几种气体在 273.15K 和 $1.013 \times 10^5 \text{Pa}$ 时的密度(ρ_0)及摩尔质量 M , 根据 M/ρ_0 即可算出它们在该条件下的摩尔体积($V_{m,0}$)。

实验也证明, 在 273.15K 和 $1.013 \times 10^5 \text{Pa}$ 时, 气体的摩尔体积约为 $22.4\text{L}\cdot\text{mol}^{-1}$ 。

为什么每 mol 不同气体在同温同压下所占体积基本相等呢? 这是由于气体分子间平均距

表 1-2 几种气态物质的摩尔体积(273.15K 和 $1.013 \times 10^5 \text{Pa}$ 时)

物 质	摩尔质量(M) $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$	密度(ρ_0) $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	摩尔体积($V_{m,0}$) $\text{L}\cdot\text{mol}^{-1}$
O_2	32.00	1.43	22.38
H_2	2.02	0.09	22.44
N_2	28.01	1.25	22.41
Ne	20.18	0.90	22.42
NO	30.01	1.34	22.40
CO	28.01	1.25	22.41

离(约 $4 \times 10^{-9} \text{m}$)与分子直径(约 $4 \times 10^{-10} \text{m}$)相差很大,因此气体的体积主要取决于气体的分子数和气体分子间的平均距离,而与分子本身的大小几乎无关。每摩尔任何物质所含结构单元数相同,在相同温度和压强下,不同气体分子间的平均距离几乎相等,因此不同气体在同温同压下的摩尔体积基本相同。

练习思考 1-4 物质的微观粒子数与宏观体积靠哪个物理量联系起来?通过计算回答:

(1) 在 273.15K 和 $1.013 \times 10^5 \text{Pa}$ 时, 22g 二氧化碳占有多大体积?

(2) 在 273.15K 和 $1.013 \times 10^5 \text{Pa}$ 时,某气体 500cm^3 的质量为 0.714g ,求该气体分子的相对分子质量(M_r)?



图 1-3 固、液、气体分子间距离比较示意图

第三节 溶液中的溶质含量

一、溶质含量的表示方法

由两种或多种组分组成的均一、稳定的混合物叫溶液。溶液都是由溶质和溶剂组成的。溶液可以是液态,也可以是固态和气态的,例如合金和空气。

根据工作和生产的需要,溶质含量的表示方法有多种,我们仅介绍以下几种常用的表示方法。

1. 质量分数[⊖] 物质 B 的质量分数就是物质 B 的质量与混合物的质量之比,常用百分数表示。

$$w_B = \frac{m_B}{m_{\text{混}}} \times 100\% \quad (1-4)$$

练习思考 1-5 市售硫酸 $w(\text{H}_2\text{SO}_4) = 96\%$, 100g 这样的硫酸中含 H_2SO_4 和 H_2O 各多少克?

2. 质量浓度 物质 B 的质量除以混合物的体积即为物质 B 的质量浓度,其单位常用 $\text{kg} \cdot \text{L}^{-1}$

$$\rho_B = \frac{m_B}{V_{\text{混}}} \quad (1-5)$$

练习思考 1-6 工业上电解食盐水制 NaOH 、 H_2 、 Cl_2 时,所用食盐水 $\rho_B = 315 \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 为最佳,求每升该溶液中含 NaCl 的物质的量。

3. 物质的量浓度 B 的物质的量除以混合物的体积即为物质 B 的物质的量浓度,简称浓度。

$$c_B = \frac{n_B}{V_{\text{混}}} \quad (1-6)$$

其单位常用 $\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ 或 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。B 的物质的量浓度也可用 $[\text{B}]$ 表示。

⊖ 本教材中以百分数表示的含量,如不加特别说明,均指质量分数,后文一般不再注出。

练习思考 1-7 在 200mL 稀盐酸中含有 0.73g HCl, 计算 HCl 的物质的量浓度。

二、质量分数与物质的量浓度

在配制或稀释溶液时, 经常涉及 w_B 与 c_B 间的换算问题。换算所依据的原理是: 一定体积的同种溶液, 无论用哪种方法表示溶质含量, 它所含的溶质的量(物质的量或质量)是相等的。

例 1-1 某种硫酸的质量分数 $w(\text{H}_2\text{SO}_4) = 98\%$, 密度 $\rho = 1.84\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 。计算这种硫酸的物质的量浓度。

解: 设该溶液体积为 1L。要计算出 1L 溶液中溶质的质量有两种方法。

$$m = V\rho w = 1000\text{cm}^3 \times 1.84\text{g}\cdot\text{cm}^{-3} \times 98\%$$

根据式(1-2)和式(1-6)

$$m = nM = cVM = c \times 1\text{L} \times 98\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$$

以上两种方法求得的溶质的质量是相等的, 所以

$$c = \frac{1000\text{mL} \times 1.84\text{g}\cdot\text{mL}^{-1} \times 0.98}{1\text{L} \times 98\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}} = 18.4\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$$

答: 这种硫酸的浓度为 $18.4\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

依据上例, 可以得出质量分数和物质的量浓度的换算公式

$$c = \frac{1000\rho w}{M} \quad (1-7)$$

式中 ρ ——溶液的密度($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$, 即 $\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$);

w ——溶质的质量分数;

M ——溶质的摩尔质量($\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$)。

运算结果的单位是 $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

三、溶液的配制和稀释

例 1-2 配制 500mL、 $0.2\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的 NaCl 溶液。

解: 要配制一定体积、一定溶质含量的溶液, 其过程大体可分为计算、称量、溶解, 如果需要容量瓶, 还要移液和定容。具体操作可通过实验一练习。

计算所需溶质的质量, 可根据下列公式

$$m = cVM = 0.2\text{mol}\cdot\text{L}^{-1} \times 0.5\text{L} \times 58.5\text{g}\cdot\text{mol}^{-1} = 5.85\text{g}$$

溶液在稀释(或浓缩)过程中, 所含溶质的物质的量或质量是不变的。设浓溶液的浓度和体积分别是 c_1 、 V_1 ; 稀溶液的浓度和体积分别为 c_2 、 V_2 。

因为 $n_1 = n_2$, 而 $n = cV$, 所以

$$c_1 V_1 = c_2 V_2 \quad (1-8)$$

上式为溶液的物质的量浓度稀释公式。

例 1-3 配制 $1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ H_2SO_4 溶液 500mL, 需用 $w(\text{H}_2\text{SO}_4) = 96\%$, $\rho = 1.83\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 的浓硫酸多少毫升?

解: 由题意知: $c_2 = 1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$, $V_2 = 500\text{mL}$

$$c_1 = \frac{1000\rho w}{M} = \frac{1000 \times 1.83 \times 96\%}{98} \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$$

所以

$$V_1 = \frac{c_2 V_2}{c_1} = \frac{1 \times 500 \times 98}{1000 \times 1.83 \times 96\%} \text{mL} = 27.9\text{mL}$$

答：需这种浓硫酸 27.9mL。

练习思考 1-8 在上例运算中，体积 V_2 的单位为什么可直接用毫升？

第四节 根据化学反应方程式进行计算

物质的量和摩尔是化学上常用的物理量及单位。由它们导出了摩尔质量、气体摩尔体积、物质的量浓度及相应的单位。在根据化学方程式进行计算时，运用摩尔及其导出单位十分方便。因为对于一个配平的化学方程式来说，它不仅表示了反应物和生成物的种类，而且反映了各物质之间的关系。例如

	2H_2	+	O_2	=	$2\text{H}_2\text{O}$
微粒数(N)之比	2	:	1	:	2
物质的量(n)之比	2mol	:	1mol	:	2mol
物质的质量(m)之比	4g	:	32g	:	36g
气体体积(V_0)之比	44.8L	:	22.4L	:	

这样，我们对化学方程式所表示的意义有了进一步的理解。正确运用物质的量等概念，将使计算十分简便。

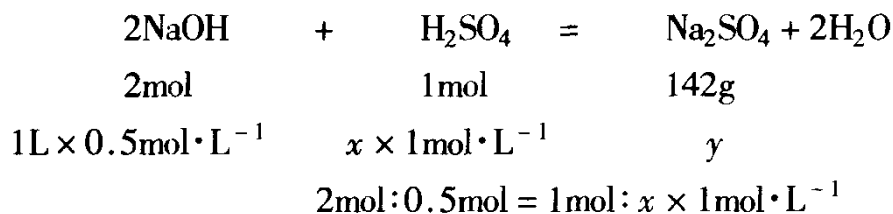
根据方程式进行计算时，一般应按下列步骤进行：

- (1) 正确写出反应式并配平。
- (2) 根据题意和求解需要，在有关化学式下面写出物质有关的量(必须是纯量)。注意同一物质的单位要一致。
- (3) 列出比例式计算。

下面举例说明怎样运用物质的量等概念于计算中，其中涉及选量计算、产品产率、原料利用率等问题。

例 1-4 中和 1L $0.5\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的 NaOH 溶液，需用 $1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的 H_2SO_4 多少升？生成 Na_2SO_4 多少克？

解：设需要硫酸的体积为 x ，生成 Na_2SO_4 的质量为 y



所以

$$x = \frac{0.5\text{mol} \times 1\text{mol}}{2\text{mol} \times 1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}} = 0.25\text{L}$$

又

$$2\text{mol}:0.5\text{mol} = 142\text{g}:y$$

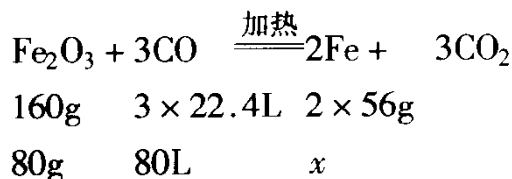
$$y = \frac{0.5\text{mol} \times 142\text{g}}{2\text{mol}} = 35.5\text{g}$$

答：需 H_2SO_4 0.45L；生成 Na_2SO_4 35.5g。

在实际生产中，为使某一反应物转化比较完全，常把其它反应物的量加至过量。这时显然不能依据过量的物质进行计算。要判断哪种反应物过量，可比较它们的“实有量/理论量”的值。比值大的反应物过量，选比值小的反应物的量进行计算(选量计算)。“理论量”是根据化学方程式来确定的。

例 1-5 将 80L (273.15K 和 $1.013 \times 10^5 \text{Pa}$) CO 通入 80g 赤热的 Fe_2O_3 中, 可还原出多少克铁?

解: 设还原出铁的质量为 x



因为 $\frac{80\text{g}}{160\text{g}} < \frac{80\text{L}}{3 \times 22.4\text{L}}$

所以 CO 过量。应根据 Fe_2O_3 的量进行计算。

$$160\text{g} : 80\text{g} = 112\text{g} : x$$

$$x = \frac{80\text{g} \times 112\text{g}}{160\text{g}} = 56\text{g}$$

答: 可还原出 56g 铁。

根据反应方程式计算出的产量(生成物的量)是理论值, 而实际产量几乎总是低于理论产量。其原因是多方面的: 反应可能进行得不完全; 有些反应物和生成物可能有部分损失等。这些因素都降低了产品产率。同理, 实际反应所消耗的反应物的量(原料量), 总是大于根据反应方程式计算出的理论耗用原料量。

$$\text{产品产率} = \frac{\text{实际产量}}{\text{理论产量}} \times 100\%$$

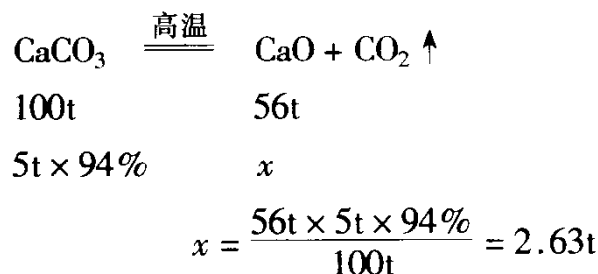
$$\text{原料利用率} = \frac{\text{理论耗用原料量}}{\text{实际耗用原料量}} \times 100\%$$

例 1-6 工业上用煅烧石灰石来生产生石灰。问:

(1) 煅烧 $w(\text{CaCO}_3) = 94\%$ 的石灰石 5t。若实际生产石灰 2.53t, 其产品产率是多少?

(2) 若每生产 1t 生石灰用去此种石灰石 1.98t。其原料利用率是多少?

解: (1) 设理论上可产出的石灰质量为 x



$$\text{产品产率} = \frac{2.53\text{t}}{2.63\text{t}} \times 100\% = 96\%$$

(2) 根据上面计算可知, 生产 2.63t 生石灰理论耗用原料为 5t, 而实际耗用原料为 $1.98\text{t} \times 2.63 = 5.21\text{t}$ 。则

$$\text{原料利用率} = \frac{5\text{t}}{5.21\text{t}} \times 100\% = 96\%$$

答: 产品产率和原料利用率均为 96%。

练习思考 1-9 根据化学方程式计算下列问题:

(1) 中和 4g NaOH 用去盐酸 25mL。此盐酸的物质的量浓度是多少?

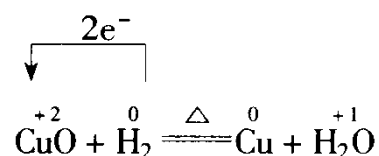
(2) 用足量稀硫酸与 0.1mol Zn 完全反应, 在 273.15K 和 $1.013 \times 10^5 \text{Pa}$ 时, 可产生氢气多少升? 这些氢气用来还原足量的 CuO, 可得多少克铜?

(3) 配制 500mL $0.1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的盐酸要取 $w(\text{HCl}) = 37.2\%$ 、 $\rho = 1.18\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 的浓盐酸多少毫升? 需用多少克质量分数为 98% 的纯碱才能与上面配制的盐酸 25mL 恰好完全反应?

第五节 氧化还原反应

一、氧化反应和还原反应

初中化学已从得氧和失氧的角度介绍了氧化还原反应的概念。现在我们仍以氢气和氧化铜反应为例, 从元素化合价的变化及电子得失的角度, 对氧化还原反应作进一步分析:



在这个反应中, Cu^{2+} 得到 2 个电子, 化合价由 +2 价降低为 0 价被还原; 与此同时, H 失去一个电子, 元素的化合价由 0 价升高为 +1 价被氧化。由此可见, 在氧化还原反应中, 一些元素的化合价发生了变化, 化合价的升高是由于失去电子, 升高的价数与失去的电子数相同; 化合价降低是由于得到电子, 降低的价数与得到的电子数相同。

但也有一些反应, 如氯和氢的化合, 参加反应的物质之间没有明显的电子得失, 但有电子的偏移, HCl 中氢元素的化合价为 +1 价、氯元素的化合价为 -1 价。这样的反应也属于氧化还原反应。综上所述, 可得出以下几点:

(1) 凡是有电子转移(电子得失或共用电子对的偏移)的反应, 叫做氧化还原反应。这是氧化还原反应的本质。

练习思考 1-10 在化合、分解、置换、复分解四类反应中, 哪些属于氧化还原反应?

(2) 元素(原子或离子)失去电子(化合价升高)的过程叫做氧化; 元素(原子或离子)得到电子(化合价降低)的过程叫做还原。

元素的原子得失电子数 = 反应前元素的化合价 - 反应后元素的化合价 (1-9)
价差代数值为正, 表示得电子; 为负, 表示失电子。

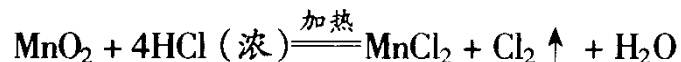
(3) 氧化和还原是同时发生的。也就是说, 得失电子的过程是同时进行的, 而且得电子总数和失电子总数必定相等。

二、氧化剂和还原剂

在氧化还原反应中, 失去电子的物质叫做还原剂(自身被氧化); 获得电子的物质叫做氧化剂(自身被还原)。

如前例, H_2 是还原剂; CuO 是氧化剂。

练习思考 1-11 在实验室中, 常用 MnO_2 和浓盐酸共热制取氯气

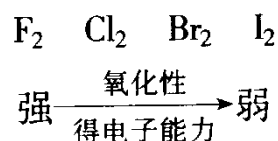


试指出这个反应中的氧化剂和还原剂。

三、氧化性和还原性

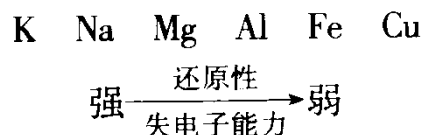
化学上, 常用氧化性或还原性来描述物质的氧化能力或还原能力。物质获得电子的能力越强, 其氧化性越强, 它就是越强的氧化剂。

例如, 卤素单质的氧化性变化趋势是



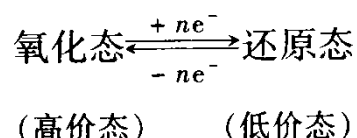
常用的氧化剂都是氧化性较显著的物质，有活泼非金属(如卤素、氧气等)以及含有较高价态元素的化合物，如三氧化铁、硝酸、高锰酸钾、重铬酸钾、浓硫酸等。

物质失去电子能力越强，其还原性越强，它就是越强的还原剂。例如一些金属的还原性强弱顺序是



常用的还原剂都是还原性较显著的物质，有活泼金属(如钾、钠、镁、铝)和碳、一氧化碳、氢气等。它们都含有较低价态的元素。

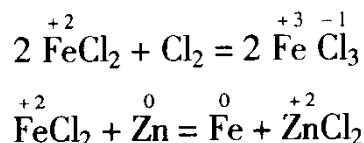
在氧化还原反应中，氧化剂及其还原产物、还原剂及其氧化产物，分别是同一元素两类不同价态的物质。它们之间有如下关系



如果高价态物质的氧化性越强，则其低价态物质的还原性就越弱。同样，如果低价态物质的还原性越强，其高价态物质的氧化性就越弱。

练习思考 1-12 试结合具体反应，分析 F^- 、 Cl^- 、 Br^- 、 I^- 的还原性和 Cu^{2+} 、 Fe^{2+} 、 Al^{3+} 、 Mg^{2+} 、 Na^+ 的氧化性的相对强弱变化趋势。

需要注意的是，氧化性和还原性是相对的。一些中间价态的物质与较强氧化剂反应时表现出还原性；与较强还原剂反应时则表现出氧化性。如



四*、氧化还原反应方程式的配平

氧化还原反应方程式往往比较复杂，不易用观察法配平，而用电子转移法配平比较简便。

配平氧化还原方程式的依据是质量守恒定律——反应前后各元素原子总数相等。且氧化剂得电子的总数和还原剂失电子的总数也相等。

确定元素化合价的原则是：单质为 0 价；化合物中，氧通常为 -2 价，氢通常为 +1 价，金属元素显正价；化合物中各元素化合价的代数和为 0。

配平氧化还原反应方程式可按如下步骤进行：

(1) 写出反应物和生成物的化学式，列出发生氧化和还原反应的元素反应前后的化合价。求出每摩尔氧化剂和还原剂得到或失去电子的物质的量，书写在该物质的下方。

(2) 标出由还原剂向氧化剂转移电子的符号，符号上方注明该反应的电子转移总数(即每摩尔氧化剂得电子数和每摩尔还原剂失电子数的最小公倍数)，从而得出氧化剂及其还原产物和还原剂及其氧化产物的化学计量数(系数)。

(3) 用观察法配平其它物质的化学计量数(指化合价没有变化的元素)。一般顺序是先配