



主审 吴国庆

高中化学竞赛 培训教材

主 编 胡列扬

副主编 李 蓉 李友银

高一分册

浙江大学出版社

高中化学竞赛培训教材

(高一分册)

主 编	胡列扬			
副主编	李 蓉 李友银			
编 委	杭州外国语学校	胡列扬	陈贵新	吕革平
	杭州第二中学	李 蓉		
	合肥一中	李友银		
	马鞍山二中	徐礼荣		
	安徽省枞阳中学	董宝平		
	吴江中学	胡复贵		

浙 江 大 学 出 版 社

图书在版编目(CIP)数据

高中化学竞赛培训教材. 高一分册 / 胡列扬主编.
杭州: 浙江大学出版社, 2004. 9
ISBN 7-308-03874-2

I. 高... II. 胡... III. 化学课 - 高中 - 教学参考资料 IV. G633.83

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 090933 号

出版发行 浙江大学出版社
(杭州浙大路 38 号 邮政编码 310027)
(E-mail: zupress@mail. hz. zj. cn)
(网址: <http://www.zjupress.com>)

责任编辑 阮海潮

排版 浙江大学出版社电脑排版中心

印刷 富阳市育才印刷有限公司

开本 787mm × 960mm 1/16

印张 17

字数 403 千

版印次 2004 年 9 月第 1 版 2006 年 2 月第 3 次印刷

印数 10001 — 14000

书号 ISBN 7-308-03874-2/G·740

定价 20.00 元

序

国际化学奥林匹克竞赛举办了近 40 届,为全世界中学生提供了一个增长知识、探索研究、展现创造能力、促进交流的机会,受到愈来愈多国家的高度重视。我国从 1988 年参加这项竞赛以来,每届都取得了优异的成绩,令人欣慰;更为重要的是激励了广大中学生学习和探索化学的兴趣,扩大了他们的化学视野,加深了对化学学科的认识,使一大批学有余力的中学生脱颖而出,有的已把化学作为毕生从事的专业,同时也锻炼和造就了一批批优秀的中青年教师。

中国化学会举办的“全国高中学生化学竞赛”已有 20 届,其宗旨在于普及化学知识,鼓励青少年接触化学发展前沿,了解化学对科学技术、社会进步和人民健康的作用,探索早期发现和培养优秀人才的方法与途径,促进化学教育教学新思想与新方法的交流,推动化学教育教学改革,提升我国化学教学水平,选拔参加一年一度的国际化学竞赛选手。

为帮助广大中学生学好化学,适应化学竞赛,给竞赛辅导教师提供竞赛培训的参考资料,胡列扬等编著了这套《高中化学竞赛培训教材》。该套教材内容丰富,栏目多样,新颖活泼,特色鲜明,不落俗套。从高中学生实际出发,遵循学习规律,注重学法指导,重视科学思维的训练与科学素质的提高,积极营造创新求异氛围,积极引导读者质疑。陈述具体,点拨到位,多维呈现原理的形成过程,背景知识详尽具体,改变了其他版本中知识原理高度浓缩的局面,有助于读者消化吸收,有利于读者把握知识脉络,有利于科学探索与争鸣,适合不同水平的高中学生学习。思考探索栏,营造出磨砺思维氛围;科苑导读栏,既有名家垂范,又有大量科学前沿信息;科学思想深邃,人文气息浓厚。

该书既是一本竞赛辅导用书,也是一本科普读物,文理交融,图文并茂。



书中描绘了许多著名科学家的求索足迹和爱国情怀,敞开了探索空间,让读者去寻奇探幽,领悟化学的奥秘,提高科学鉴赏力,我相信读者会喜爱它的。

年轻人优于年长者,就在于充满好奇心,希望广大青年学子,带着你的好奇心,跟着兴趣走,学科学,爱科学,用科学,永攀高峰,为中华科技腾飞,争朝夕,作贡献!

白长波

2012.12.26



同步发展
编辑

前言

十分感谢著名科学家,中国科学院副院长,中国化学会理事长白春礼院士,在百忙中挤出时间为本书作序,十分感谢中国化学竞赛总教练吴国庆教授,在百忙中挤出时间为本书的修改,提出了许多宝贵意见,十分感谢浙江大学出版社对本书出版的大力支持。

本书紧扣全国化学竞赛大纲,以作者多年讲学和竞赛专题讲座材料为素材,真诚奉献给有志于化学竞赛的广大学子和竞赛辅导教师。与现有竞赛辅导用书相比,具有以下鲜明特色:

体系新颖,指导得法。从竞赛学子实际出发,遵循学习规律,重在引导。将竞赛内容由浅入深编排,起点低,落点高,点拨到位,简明扼要。将学科前沿、生活实际、社会热点结合到竞赛内容当中,以扩大读者知识面,激发读者的兴趣与激情;知识脉络清晰,知识形成过程简明,栏目多样,新颖活泼,图文并茂,史料翔实,名家垂范,信息量大,科学思想深邃,人文气息浓厚。

题例新颖,不落俗套。书中很多练习题是作者原创,首次面世;设置了许多富有挑战性的思考探索题,适合不同层次的读者,供学有余力的读者探索,对思维的求异、发散、创新以及灵活运用原理实际问题很有裨益。

主干突出,拓展鲜明。主干陈述知识是竞赛基础知识,拓展内容是竞赛较高要求——是中学化学基础知识的自然延伸,一般参赛读者不会感到有很大难度。

背景清晰,陈述详尽。注重基础知识的介绍与创新能力的激发相结合,重视知识形成过程的铺展,重要理论知识都设有宽厚的知识背景,让读者能从历史的角度或大背景下看问题;注重理论联系实际和理论对实践的指导作用;适合于读者自学和教师辅导学生之用。

元素化合物知识以实验探究作铺垫,重要知识点落在实处。竞赛与一般的文化课学习既相似又有不同,建议读者在学习本书过程中,注意运用以下观点和方法,以便更好地驾驭知识。

一、灵活运用唯物辩证法

1. 变化的观点。引起化学变化的条件较多,应该注意反应物、反应类型与反应条件的关系。许多反应,反应物确定之后,还会随相互作用的物质的量、温度、酸碱度、浓度和溶剂种类的不同而不同。

2. 量变质变观。量变引起质变体现在化学的方方面面。如 CO 与 CO_2 , O_2 与 O_3 , Na_2O 与 Na_2O_2 , 浓硫酸与稀硫酸。在浓硫酸与金属锌反应时,开始反应的氧化剂是硫酸中的硫,随着硫酸的不断消耗,浓度下降,氧化剂会逐渐让位于氢离子。

3. 一般与特殊的相对性。一般与特殊,正常与反常,都是有条件的,相对的。若从大视野、新角度分析,反常又是正常的,特殊又溶入一般之中了。如水在同族氢化物中熔沸点最高,如果从相对分子质量出发看是“反常”的,若从分子间作用力大小这一本质出发,水的熔沸点高于同族其他氢化物又在情理之中,因为水分子间存在大量氢键,增强了水分子间的作用力。



二、科学原理的简明性

科学是简明的,和谐的,需要人们由此及彼、由表及里地去联想,去探索,去粗取精,去伪存真。需要人们用联系的观点,在差异中发现共同点,透过现象看到事物的本质。如复分解反应、亲电取代、亲核取代、亲电加成、亲核加成等反应,都遵循着一个基本法则——电性规则。电性规则就是异性重组。

三、充分发挥想像力

想像比什么都重要。爱因斯坦有句名言,想像包括了世间的一切。为了便于科学交流与文化传播,前人创建了许多约定俗成的简明符号。不要忘了我们是在二维平面内表达三维结构,符号简洁也就有失真的一面,如有机化学中的键线式,许多结构信息压缩了,需要我们运用想像力,去解压拓展,让它们的三维结构在你的脑海里清晰呈现。再如晶体结构、笼形化合物、包合物、旋光异构体中的对映体、取代反应中的构型转化,没有丰富的想像力,是很难准确把握微粒中各原子或原子团的空间位置。

四、观其大略 抓住实质

每学一章内容,应该先观其大略,了解轮廓,然后再细读深思,揣度知识间的内在联系,在深层次上加工知识信息,把知识结构化,简约化,做到厚积薄发,由博返约。

五、用好结构观与能量观

结构决定性质,性质源于结构。像物质反应的难易,氧化性、还原性强弱,热稳定性高低,物质的颜色深浅,离子水解度大小,元素在自然界中的矿藏等信息都蕴藏在结构中。反应热、核外电子排布、重排反应,均受能量观支配。能量观与结构观,互为因果,互相印证,殊途同归,并行不悖,只是考虑问题的出发点不同而已,两者相互渗透,密不可分。

六、用活量质观

所谓量质观,就是指既要重视物质的量,又要注重物质的性质,将两者有机地结合起来分析处理问题。事实上,任何物质都是质与量的辩证统一,无质之量和无量之质都是不存在的,这是我们解决问题的哲学基础。只考虑量不考虑质或是只考虑质不考虑量都是不可取的。

七、学贵思疑 揭示真谛

读书需有疑,小疑则小进,大疑则大进,无疑则难进。青年学子思想活跃,朝气蓬勃,应大胆质疑,敢向权威说不。既要溶入书中,又要游离于书外,把握特点,看出不足。本书肯定有许多不足和错误,敬请甄别,切莫盲从。

八、静心体验化学内在之美

每门学科都有它的内在美和形式美。化学美的魅力在于实验美、结构美、动态辩证美和统一美。热爱美、追求美、占有美、创造美是人类的天性。古人说,读书之乐乐如何?绿满窗前草不除。美在于你用心去体验,去领悟原理的简洁性和普适性。美需要你去提炼,去创造,需要你由此及彼,由表及里,从更深层次上抽象、概括,把握知识间的内在联系。科学是美丽的,愿读者能享受科学之美,让科学美永驻你的心房。

杭州外国语学校 胡列扬执笔



目 录

第一章 物质的量单位——摩尔	(1)
第一节 物质的量	(1)
第二节 气体摩尔体积	(5)
第三节 物质的量浓度	(10)
章节测试题	(17)
第二章 化学反应及其能量变化	(21)
第一节 氧化还原反应	(21)
第二节 离子反应及其应用	(32)
第三节 化学反应中的能量变化	(40)
章节测试题	(48)
第三章 碱金属	(52)
第一节 钠	(52)
第二节 钠的化合物	(56)
第三节 碱金属元素	(65)
章节测试题	(77)
第四章 卤族元素	(80)
第一节 氯气	(80)
第二节 卤族元素	(86)
章节测试题	(100)
第五章 物质结构 元素周期律	(105)
第一节 原子结构	(105)
第二节 元素周期律与元素周期表	(113)
第三节 化学键与分子结构	(121)
第四节 极性分子与非极性分子	(135)
章节测试题	(146)



第六章 硫和硫的化合物 环境保护	(151)
第一节 氧族元素	(151)
第二节 硫及其化合物	(157)
第三节 硫酸	(164)
章节测试题	(181)
第七章 硅和硅酸盐工业	(186)
第一节 碳族元素	(186)
第二节 硅酸盐工业简介	(197)
第三节 无机非金属材料	(198)
章节测试题	(206)
第八章 氮族元素	(212)
第一节 氮和磷	(212)
第二节 氨 铵盐	(221)
第三节 硝酸与硝酸盐	(229)
章节测试题	(238)
参考答案	(242)



第一章

物质的量单位——摩尔

化学反应,是由肉眼看不见的原子、分子或离子之间按一定数量关系进行的。实验室或化工厂所取用的物质是可以称量的,这说明原子、分子或离子与可称量的物质之间存在着某种联系,这种联系的纽带就是物质的量。自觉运用量的观点,分析问题,解决问题。



第一节 物质的量

一、物质的量(n)

物质的量是国际单位制中七个基本物理量之一,它以阿伏加德罗常数为计数单位,表示物质的基本单元数目多少的物理量。物质的量的符号为 n 。

1. 阿伏加德罗常数

阿伏加德罗常数是界定物质的量的基准,它是含有特定数目粒子的集体,在数值上与 $0.012\text{ kg }^{12}\text{C}$ 所含的碳原子的数目相等,目前科学手段测定值约为 6.02×10^{23} 。阿伏加德罗常数符号为 N_A 。 N_A 恒等于 $0.012\text{ kg }^{12}\text{C}$ 所含的碳原子的数目。

2. 摩尔

摩尔是国际上选定用来作为计量原子、分子或离子等微观粒子的“物质的量”的单位。摩尔简称为摩,符号为 mol 。摩尔只适用于微观,不适用于宏观。 1 mol 任何物质都含有阿伏加德罗常数个粒子。物质的量、阿伏加德罗常数与粒子数(N)之间的数学关系式为:

$$n = \frac{N}{N_A}$$

此式说明,物质的量是粒子数与阿伏加德罗常数之比。几点说明:

(1)“物质的量”是个固定名词,不能拆开。我们不能说硫酸的量,应该说硫酸的物质的量。

(2)“物质的量”计量的是粒子集体,而不是单个粒子。

(3)粒子可以是分子、离子、原子、原子团或电子等微观粒子。在使用摩尔表示物质的量时,必须指明粒子的种类。基本格式是 $x\text{ mol} + \text{粒子符号或粒子名称}$,如 0.5 mol H_2 , 1.8 mol 氧气, 3.4 mol Na^+ 。

二、摩尔质量(M)

1 mol 不同物质中所含的分子、原子或离子的数目虽然相同,但由于不同粒子的质量不同,所以 1 mol 不同物质的质量也不同。但我们可以利用 1 mol 任何粒子集体中都含有相同数目的粒子这个关系,去推知 1 mol 任何粒子的质量。

1. 摩尔质量

单位物质的量的物质所具有的质量叫摩尔质量。也就是说,物质的摩尔质量是该物质的质量与该物质的物质的量之比。摩尔质量的符号为 M ; 摩尔质量的单位为 g/mol 、 kg/mol , 其数学

定义式为: $M = \frac{m}{n}$ 。

摩尔质量是单位物质的量的物质所具有的质量。摩尔质量与 1 mol 物质的质量含义不同。如水的摩尔质量为 $18 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$, 1 mol 水的质量为 18 g, 两者数值上相等, 单位不同。

2. 摩尔质量与粒子的相对原子质量 A_r 或相对分子质量 M_r 的关系

1 mol 任何原子的质量以克为单位时, 在数值上等于它的相对原子质量, 如 $M(\text{K}) = 39 \text{ g/mol}$, $M(\text{Cl}) = 35.5 \text{ g/mol}$; 1 mol 任何分子的质量以克为单位时, 在数值上等于它的相对分子质量, 如硫酸的摩尔质量 $M(\text{H}_2\text{SO}_4) = 98 \text{ g/mol}$; 1 mol 任何单核离子的质量以克为单位时, 在数值上等于它的相对原子质量, 如 $M(\text{Na}^+) = 23 \text{ g/mol}$, $M(\text{Cl}^-) = 35.5 \text{ g/mol}$; 1 mol 任何原子团的质量以克为单位时, 在数值上等于构成该原子团的原子的相对原子质量之和, 如 $M(\text{OH}^-) = 17 \text{ g/mol}$ 。

例 1 196 g 硫酸中所含的 H 原子、S 原子和 O 原子的物质的量各是多少?

解析 首先由硫酸的质量, 求出硫酸的物质的量, 再求出各原子的物质的量。

$$n(\text{H}_2\text{SO}_4) = m/M = 196 \text{ g} / 98 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} = 2 \text{ mol}.$$

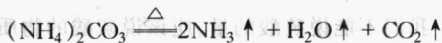
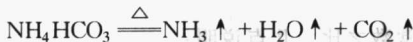
$$n(\text{H}) = 2 \text{ mol} \times 2 = 4 \text{ mol}; n(\text{S}) = 2 \text{ mol} \times 1 = 2 \text{ mol}; n(\text{O}) = 2 \text{ mol} \times 4 = 8 \text{ mol}.$$

例 2 NH_4HCO_3 和 $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ 的混合物在加热条件下完全分解, 产生 NH_3 、 H_2O 、 CO_2 气体。若分解产物中的 NH_3 、 H_2O 、 CO_2 的物质的质量之比为 102:90:220, 则反应混合物中 NH_4HCO_3 和 $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ 的物质的量之比是_____。

解析 根据本题所提供的数据知, 解题的关键是要把物质的质量比换算成物质的量比, 围绕物质的量这个中心进行计算。

$$n(\text{NH}_3):n(\text{H}_2\text{O}):n(\text{CO}_2) = \frac{102 \text{ g}}{17 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} : \frac{90 \text{ g}}{18 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} : \frac{220 \text{ g}}{44 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 6:5:5$$

设 NH_4HCO_3 和 $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ 的物质的量分别为 x 、 y mol。



根据题意知:

$$n(\text{NH}_3):n(\text{H}_2\text{O}):n(\text{CO}_2) = (x \text{ mol} + 2y \text{ mol}):(x \text{ mol} + y \text{ mol}):(x \text{ mol} + y \text{ mol})$$

解得 $x:y = 4:1$, 所以 NH_4HCO_3 和 $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ 的物质的量之比为 4:1。



或由 $n(\text{NH}_3):n(\text{H}_2\text{O}):n(\text{CO}_2) = 6:5:5$ 推知(即鸡兔同笼思想):

$n(\text{NH}_4\text{HCO}_3):n[(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3] = 4:1$

例3 在托盘天平的两个托盘上各放一个盛有等体积稀硫酸的烧杯(每个烧杯中的溶液都含有 $n \text{ mol}$ 的 H_2SO_4), 调节天平使其平衡, 然后在一个烧杯中加入 $a \text{ g}$ 铁粉, 在另一个烧杯中加入 $b \text{ g}$ 镁粉, 充分反应后, 天平仍然平衡。试用代数式表示在下列各种情况下 a 与 b 的关系(关系式中可含 n):

(1) 若 $\frac{a}{56} > n, \frac{b}{24} > n$ 时; (2) 若 $\frac{a}{56} < n, \frac{b}{24} < n$ 时;

(3) 若 $\frac{a}{56} < n, \frac{b}{24} > n$ 时。

解析 铁和镁的摩尔质量分别为 $56 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ 、 $24 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。它们与硫酸反应的化学方程式为:



相同物质的量的铁、镁与相同物质的量的硫酸反应, 产生氢气的物质的量也相同。

加入铁、镁之前, 天平处于平衡状态, 当加入 $a \text{ g}$ 铁和 $b \text{ g}$ 镁反应完全后, 天平仍处于平衡状态, 可知两边净增质量相等, 用数学式表示为: $a - m(\text{H}_2) = b - m'(\text{H}_2)$, 关键是求出 $m(\text{H}_2)$ 、 $m'(\text{H}_2)$ 。

在(1)的情况下: $\frac{a}{56} > n, \frac{b}{24} > n$, 说明 Fe、Mg 是过量的, 硫酸完全反应, 此时产生的 H_2 的物质的量是由硫酸总物质的量决定的, 即生成 $n \text{ mol H}_2$, 就有 $a - 2n = b - 2n, a = b$ 。

在(2)的情况下: $\frac{a}{56} < n, \frac{b}{24} < n$, 硫酸是过量的, 产生的 H_2 的物质的量分别为 $\frac{a}{56} \text{ mol}, \frac{b}{24} \text{ mol}$ 。根据天平平衡知: $a - \frac{a}{56} \times 2 = b - \frac{b}{24} \times 2, a = \frac{77}{81} b$ 。

在(3)的情况下: $\frac{a}{56} < n, \frac{b}{24} > n$, 硫酸相对于铁是过量的, 相对镁是不足的。综合(1)、(2)的情况可列下式: $a - \frac{a}{56} \times 2 = b - 2n, a = \frac{28}{27} b - \frac{56}{27} n$ 。



【能力训练】

- 若 2 g AO_3^{2-} 中核外电子数比质子数多 3.01×10^{22} 个, 则元素 A 的相对原子质量为 ()
A. 12 B. 32 C. 60 D. 80
- A 气体的摩尔质量是 B 气体的 2 倍, 则等质量的 B 气体与 A 气体的分子数目之比为 ()
A. 1:1 B. 1:2 C. 2:1 D. 3:1
- 三种正盐的混合溶液中含有 0.2 mol Na^+ 、 0.25 mol Mg^{2+} 、 0.4 mol Cl^- , 则 SO_4^{2-} 的物质的量为 ()



- A. 0.1 mol B. 0.3 mol C. 0.5 mol D. 0.15 mol

4. 有 30 g A 物质和 21 g B 物质恰好完全反应,生成 14.4 g C 物质和 3.6 g D 物质及 0.6 mol Z 物质,则 Z 的摩尔质量为 ()

- A. 100 g/mol B. 55 g/mol C. 110 g/mol D. 58.5 g/mol

5. 将 NaCl 和 NaBr 混合物 m g 溶于水中配制成 500 mL 溶液 A,再向 A 中通入足量 Cl_2 ,充分反应后蒸发溶液至干得晶体 $(m-2)$ g,则 A 溶液中 Na^+ 、 Cl^- 、 Br^- 的物质的量之比肯定不正确的是 ()

- A. 3:2:1 B. 3:1:2 C. 4:3:1 D. 3:1:4

6. 在甲、乙两烧杯中分别加入含等物质的量的硫酸溶液,再向甲烧杯中加入 m g 镁,向乙烧杯中加入 m g 锌。完全反应后,有一烧杯中仍有金属未溶解,则每一烧杯中反应前 H_2SO_4 的物质的量 x 满足条件 ()

- A. $\frac{m}{24} < x < \frac{m}{65}$ B. $x \geq \frac{m}{24}$ C. $x \leq \frac{m}{65}$ D. $\frac{m}{24} > x \geq \frac{m}{65}$

7. Mg、Al、Fe 三种金属的混合物与足量的稀硫酸反应,生成 2.8 L H_2 (SPT),则三种金属的物质的量之和不可能为 ()

- A. 0.120 mol B. 0.15 mol C. 0.080 mol D. 0.100 mol

8. 某元素一个原子的质量为 a g,又知一个 ^{12}C 原子的相对原子质量为 b , N_A 代表阿伏加德罗常数,则下列各式中能代表该原子的相对原子质量数值的是 ()

- A. $\frac{a}{N_A}$ B. $\frac{12a}{b}$ C. $\frac{12b}{a}$ D. aN_A

9. X、Y 两元素的相对原子质量之比为 3:4,由 X、Y 组成的化合物中,X、Y 两元素的质量比为 3:8,则此化合物的化学式为 ()

- A. XY_2 B. X_2Y C. XY D. X_2Y_2

10. 某固体仅由一种元素组成,其密度为 5 g/cm^3 。用 X 射线研究该固体的结果表明:在棱长为 $1 \times 10^{-7} \text{ cm}$ 的立方体中含有 20 个原子,则此元素的相对原子质量最接近 ()

- A. 32 B. 65 C. 120 D. 150

11. 磷在氯气中燃烧,若用去的氯气的物质的量是磷的 2 倍,则产物中 PCl_3 和 PCl_5 的物质的量之比为 ()

- A. 1:1 B. 1:2 C. 2:1 D. 3:5

12. 将 a g 氯化钾溶于 1.8 L 水中,恰好使 K^+ 离子数与水分子数之比为 1:100,则 a 值为 ()

- A. 0.745 B. 0.39 C. 39 D. 74.5

13. 将 a g 的 CuO 通 H_2 后加热,全部还原后得 b g 铜,若已知氧的相对原子质量为 c ,则用代数式表示的铜的相对原子质量为 ()

- A. $\frac{bc}{a-b}$ B. ab C. $\frac{a-b}{ba}$ D. $\frac{c(a-b)}{b}$

14. 已知 A 物质的式量为 a ,B 物质的式量为 b ,A 物质可以与 b g B 物质恰好完全反应,生成 c g 式量为 c 的 C 物质和 d g 式量为 $\frac{d}{2}$ 的 D 物质。试写出该化学反应方程式。



15. 将 0.5 mol A 元素的阳离子还原为中性原子需要得到 1 mol 电子。0.4 g A 的单质与足量盐酸反应,生成上述 A 离子时可放出 0.02 g 氢气,通过计算确定 A 是什么元素?

16. 氯酸钾和二氧化锰混合物共 33.2 g,加热后质量变为 28.4 g,冷却加水搅拌,溶解过滤,向滤液中加入硝酸银溶液,滤纸上的沉淀物与足量浓盐酸反应可生成 0.1 mol Cl_2 ,试计算:

(1)生成氯化银沉淀的物质的量;

(2)氯酸钾的分解率。

17. 将 1.95 g Na_2SO_4 和 Na_2CO_3 的混合物溶于水得溶液 A,在 A 中加入足量未知浓度的 BaCl_2 溶液 10.0 mL,然后过滤得沉淀 B 和滤液 C。在 C 中加入足量 AgNO_3 溶液,又生成 5.74 g 沉淀,向 B 中加入足量稀硫酸,沉淀不消失反而增加 0.18 g,计算:

(1)氯化钡溶液的物质的量;

(2)原混合物中硫酸钠的质量分数。

18. 由碳酸钠、碳酸氢钠、氧化钙和氢氧化钠组成的混合物 27.2 g,将其溶于足量的水中,充分反应后溶液中的 Ca^{2+} 、 CO_3^{2-} 、 HCO_3^- 均转化为沉淀。将反应后容器内的水分蒸干,最后得到白色固体 29.0 g,求原混合物中碳酸钠的质量。



第二节 气体摩尔体积



一、影响物质体积的因素

物质体积的大小由三个因素决定:微粒数目、微粒大小和微粒之间的距离。固体和液体,微粒间的距离小,影响体积的主要因素是微粒数和微粒的大小;气体微粒间的距离较大——比自身直径约大 10 倍,微粒自身大小微不足道。如果微粒数固定,那么影响气体体积的因素只有一个——分子之间的距离。气体分子间的距离受温度、压强影响大,气体体积 V 可以表示为 $V = f(T, p)$ 的函数式,因此在讨论气体的体积时,要指明外界的温度和压强。

二、气体摩尔体积 (V_m)

1. 气体摩尔体积

在标准状况下(0°C , 1 个大气压),1 mol 任何气体所占的体积约为 22.4 L,这个体积叫气体摩尔体积。

几点说明:①必须是气体;②物质的量为 1 mol;③外界条件:标准状况;④物质的量、温度、压强都确定了,气体的体积也确定了:约 22.4 L;⑤具有普遍性,任何气体都适用;⑥ V_m 的单位为 L/mol 或 m^3/mol 。(为什么只有对气体讨论摩尔体积才有意义?)

2. 阿伏加德罗定律

阿伏加德罗在研究气体方面作出了巨大贡献,他研究发现,同温同压下,同体积的任何气体都含有相同数目的分子。人们把这一定律叫阿伏加德罗定律。

(1)几点说明:①阿伏加德罗定律只适用于气体;②温度、压强、体积和分子数四个量中只要三个量相同,另外一个量必然相同;气体摩尔体积是阿伏加德罗定律的必然结果。

(2)阿伏加德罗定律的应用:大家知道,气体体积与温度成正比 $V \propto T$,与物质的量成正比 $V \propto n$,与气体的压强成反比 $V \propto \frac{1}{p}$,对此进行科学归纳,得出如下公式: $V = \frac{nRT}{p}$ (n 为物质的量, R 为普适常数, T 为绝对温度, p 为压强)。根据该公式可作如下推论,即阿伏加德罗定律的推论:

- ①同温同压,体积之比等于物质的量之比(或微粒数之比): $V_1/V_2 = n_1/n_2 = N_1/N_2$;
- ②同温同体积,压强之比等于物质的量之比(或微粒数之比): $p_1/p_2 = n_1/n_2 = N_1/N_2$;
- ③同温同压,气体的密度之比等于气体的摩尔质量之比: $\rho_1/\rho_2 = M_1/M_2$;
- ④同温同压同体积,气体的质量比等于气体的摩尔质量之比: $m_1/m_2 = M_1/M_2$;
- ⑤同温同压同质量的气体体积比与气体的摩尔质量成反比: $V_1/V_2 = M_2/M_1$ 。

科学史话

19世纪人们运用道尔顿原子论解释了许多化学定律和现象,但用来解释盖·吕萨克发现的气体化合体积定律时却遇到了麻烦。1808年盖·吕萨克发现,气体彼此反应常以简单体积比相结合,并提出假说:同温同压下,相同体积的不同气体含有相同数目的原子。盖·吕萨克以为自己的发现是对道尔顿理论的支持,道尔顿却认为盖·吕萨克在给自己出难题。道尔顿认为,单质由单个原子组成,化合物由复杂原子组成。当1体积氢气和1体积氯气化合时,只能生成1体积氯化氢,而盖·吕萨克的实验却生成两体积氯化氢,这岂不是半个氯原子和半个氢原子组成一个氯化氢复杂原子?原子论的核心是原子不可分割性,怎么能出现半个原子呢?阿伏加德罗发现了矛盾的焦点,认为只要将道尔顿原子论稍加修改,就可以使两者统一起来。阿伏加德罗引入了三个新概念:

1. 无论是化合物还是单质,在不断被分割的过程中都有一个分子阶段。
2. 单质分子可以由多个原子组成。
3. 在同温同压下,同体积的气体,无论是单质还是化合物,都含有同样数目的分子。

阿伏加德罗发表分子假说后,立即遭到道尔顿和贝采尼乌斯等权威的强烈反对。主要原因是:首先,阿伏加德罗还缺乏对这一假说更充分的实验根据;其次,道尔顿把原子分成简单原子和复杂原子(实际就是分子),但是道尔顿只承认不同的简单原子可以结合成复杂原子而不承认同种简单原子可以结合成复杂原子,他认为同类原子必然相互排斥;其三,贝采尼乌斯电化二元论在当时极为盛行。电化二元论认为,各种原子都有两极,一极带正电,另一极带负电。同原子荷同电性,彼此互相排斥,因而单质气体是不可能形成多原子分子的。当时还没有共价键概念,单质多原子分子概念很难被人们接受。因此,阿伏加德罗分子假说,没有及时被科学界承认,冷落了半个世纪才被世人所接受。

3. 气体的 ρ 和相对密度的计算

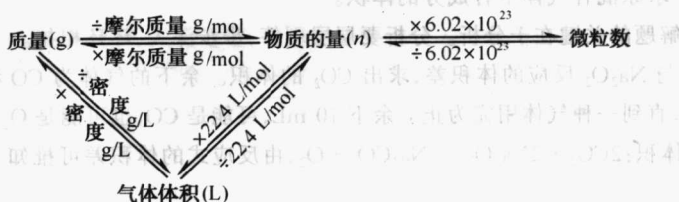
$$\text{标准状况下: } \rho = \frac{m}{V} = \frac{M \cdot \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}}{22.4 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}}$$

$$\text{气体的相对密度: } D = \frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{M_1}{M_2}$$

4. 有关气体方面的计算

(1)气体摩尔体积的计算关系图:





(2) 由相对密度求气体相对分子质量: $D = \rho_A / \rho_B = M_A / M_B$ 。

(3) 由气体摩尔体积求气体物质的相对分子质量: $M = \rho_{\text{标准状况}} \times 22.4 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

(4) 求混合气体的平均相对分子质量($\overline{M}_r$): 设混合气体中 A、B 各为 $a \text{ mol}$ 、 $b \text{ mol}$, 则 $\overline{M}_r = \frac{aM_A + bM_B}{a + b}$ 。

(5) 多组分混合气体(各气体相互不反应): 设混合气体各组分的相对分子质量分别为 M_1 、 M_2 、 $M_3 \cdots M_n$, 各组分物质的量分别为 n_1 、 n_2 、 $n_3 \cdots n_n$, 各组分的体积分数为 φ_1 、 φ_2 、 $\varphi_3 \cdots \varphi_n$, 则有:

$$\frac{M_1 V_1 + M_2 V_2 + \cdots + M_n V_n}{V} = M_1 \varphi_1 + M_2 \varphi_2 + \cdots + M_n \varphi_n$$

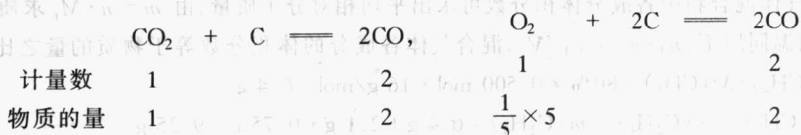
例 4 某物质 A 在一定条件下加热分解, 产物都是气体, 分解方程式为 $2A = B + 2C + 2D$ 。测得生成的混合气体对氢气的相对密度为 d , 则 A 的相对分子质量为 ()

- A. $7d$ B. $5d$ C. $2.5d$ D. $2d$

解析 根据题给方程式知, 2 份 A 与 1 份 B、2 份 C 和 2 份 D 的质量相等。完全分解后生成气体的平均相对分子质量 $\overline{M} = \frac{M(B) + 2M(C) + 2M(D)}{5}$, $\overline{M} = dM(\text{H}_2) = 2d \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$, 所以 $M(A) = 5d$ 。故选 B。

例 5 空气和二氧化碳按体积比 5:1 混合, 将混合气体与足量的红热焦炭充分反应。设空气中氮气和氧气的体积比为 4:1, 不计其他成分, 且体积都是在同温、同压下测定的, 则反应后的气体中一氧化碳的体积分数是多少?

解析 同温同压下, 气体的体积之比等于气体的物质的量之比。设 CO_2 的体积为单位体积 V ,



反应产生的 CO 的体积是 CO_2 、 O_2 氧化 C 生成的 CO 体积和,

$$V(\text{CO}) = 4V, V(\text{N}_2) = 5 \times \frac{4}{5} V = 4V$$

$$\varphi(\text{CO}) = \frac{4V}{4V + 4V} \times 100\% = 50\%。$$

例 6 30 mL 由 CO_2 、CO、 O_2 组成的混合气体, 通过足量的过氧化钠后, 体积变为 28 mL, 把剩下的气体引燃后, 通过足量的 NaOH 溶液, 最后剩余 10 mL (所有气体的体积都是在同温同压



下测定的)。求原混合气体中各成分的体积。

解析 解题的关键在于分析。分析要层层剥笋,步步深入,环环相扣。

由 CO_2 与 Na_2O_2 反应的体积差,求出 CO_2 的体积。余下的气体为 CO 和 O_2 ,两者在点燃的情况下反应,直到一种气体用完为止。余下 10 mL,可能是 CO ,也可能是 O_2 。

CO_2 的体积: $2\text{CO}_2 + 2\text{Na}_2\text{O}_2 = 2\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{O}_2$, 由反应式的体积差可推知 $V(\text{CO}_2) = 2 \times (30 - 28) = 4 \text{ mL}$ 。

$2\text{CO} + \text{O}_2 \xrightarrow{\text{点燃}} 2\text{CO}_2 \xrightarrow{\text{NaOH}} 10 \text{ mL}$, 说明反应的气体体积为 $(28 - 10) \text{ mL}$, 反应的 $V(\text{O}_2) = 18 \times \frac{1}{3} = 6 (\text{mL})$, 反应的 $V(\text{CO}) = 18 \times \frac{2}{3} = 12 (\text{mL})$ 。

所以原 CO 的体积可能为 12 mL 或 $(12 + 10) \text{ mL}$; 原气体中 O_2 的体积可能为 $6 - 2 = 4 (\text{mL})$ 或 $6 + 10 - 2 = 14 (\text{mL})$ 。故原气体中, CO_2 4 mL, CO 22 mL, O_2 4 mL; 或 CO_2 4 mL, CO 12 mL, O_2 14 mL。

例 7 两种金属组成的混合物 5.4 g, 这两种金属在化合物中表现出 +2 价和 +3 价, 混合物用盐酸处理时, 放出 10.08 L H_2 。又知第一种元素的相对原子质量为第二种元素相对原子质量的 $\frac{1}{3}$, 在混合物中两者物质的量比为 3:1。试通过计算确定这两种金属的名称。

解析 $\frac{10.08 \text{ L}}{22.4 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}} = 0.45 \text{ mol}$ 。用极值法求之。若 H_2 是全由二价金属置换产生的, 则其摩尔质量为 $\frac{5.4 \text{ g}}{0.45 \text{ mol}} = 12 \text{ g/mol}$, H_2 不可能全是二价金属置换出来的, 所以其二价金属的相对原子质量必小于 12, 查相对原子质量表知其为铍。由两种金属的相对原子质量之间的关系知三价金属的相对原子质量为铍的 3 倍, $9 \times 3 = 27$, 知其为铝。

评注 计算题中的数据有时是供选用的, 不一定要全部用上, 主要看你从哪里切入。

例 8 已知某混合气体各成分的体积分数是 80.0% CH_4 , 15.0% C_2H_4 和 5.0% C_2H_6 。试计算:

(1) 0.500 mol 该混合气体的质量。

(2) 该混合气体在标准状况下的密度。

分析 已知气体混合物中各成分体积分数可求出平均相对分子质量, 由 $m = n \cdot \overline{M_r}$ 求质量。

(1) 根据在同温同压下, $n_1/n_2 = V_1/V_2$, 混合气体各成分的体积分数等于物质的量之比, 故有 $m(\text{CH}_4) = n(\text{CH}_4) \cdot M(\text{CH}_4) = 80\% \times 0.500 \text{ mol} \times 16 \text{ g/mol} = 6.4 \text{ g}$ 。

$m(\text{混}) = m(\text{CH}_4) + m(\text{C}_2\text{H}_4) + m(\text{C}_2\text{H}_6) = 6.4 \text{ g} + 2.1 \text{ g} + 0.75 \text{ g} = 9.25 \text{ g}$

(2) 按 0.500 mol 混合气体计算

因为 $V(\text{混}) = nV_m = 0.500 \text{ mol} \times 22.4 \text{ L/mol} = 11.2 \text{ L}$,

所以 $\rho(\text{混}) = m(\text{混})/V(\text{混}) = 9.25 \text{ g}/11.2 \text{ L} = 0.826 \text{ g/L}$ 。



【能力训练】

1. 由锌、铁、铝、镁四种金属中的两种组成的 10 g 混合物与足量的盐酸反应, 产生的氢气在标