

中学教师《专业合格证书》

文化专业知识考试

无机化学

复习资料

江苏教育学院
南京教育学院等校编

前 言

为了帮助中学教师进行《专业合格证书》文化专业知识考试的复习，我们受省教委的委托，按照国家教委师范教育司86年颁发的《化学教学大纲》编写了《无机化学》复习资料。各章内容包括教学要求、内容提要、例题和习题（附答案）等部分。该资料既是无机化学合格考试的复习资料，也可作为化学专科无机化学的学习辅导材料及以专科为起点的化学本科招生考试的复习资料。

参加本书编写的同志有：南通教育学院李梓敬（第一、二十一章）、江苏教育学院王子鹏（第二、三、四章）、南京教育学院丁柏涛（第五、六章）、朱高峰（第七、八章）、徐州教育学院夏满金（第九、十章）、镇江教育学院王瑞（第十一章）、缪应祺（第十二、十三章）、淮阴教育学院纪龙传（第十四、十五、十六章）、江苏教育学院周定义（第十七、二十章）、盐城教育学院杨呈祥（第十八章）、吉达俊（第十九章）。最后由丁柏涛、王子鹏负责统稿。

在编写过程中，我们参阅了有关无机化学教材及习题集，谨向原作者致以谢意。本书中提到的课本是指北师大等编《无机化学》（第1版）。

由于编写时间仓促和限于编者的水平，书中难免有欠妥和错误之处，我们殷切希望读者给予批评指正。

编者

一九八七年三月

目 录

第一章	化学基本概念和定律	1
第二章	原子结构和元素周期律	14
第三章	化学键和分子结构	35
第四章	晶体结构	51
第五章	化学热力学初步	60
第六章	化学反应速度与化学平衡	76
第七章	水、溶液、胶体	97
第八章	电解质溶液和电离平衡	112
第九章	氧化—还原反应和电化学	135
第十章	稀有气体	154
第十一章	卤素与氢	165
第十二章	氧族元素	180
第十三章	氮族元素	191
第十四章	碳族元素	205
第十五章	硼和铝	217
第十六章	碱金属和碱土金属	228
第十七章	配位化合物	243
第十八章	铜族及锌族元素	260
第十九章	过渡元素	271
第二十章	镧系和锕系元素	290
第二十一章	化学元素的周期性	297
习题答案		316

第一章 化学基本概念和定律

教学要求

1. 掌握质量守恒定律、定比定律、当量定律、气体反应体积比定律、阿佛加德罗定律。了解这些基本定律的形成和发展过程，并能用原子—分子学说解释有关定律。

2. 掌握理想气体定律、混合气体分压定律、气体扩散定律，并能用以解释气体有关现象和进行有关计算。

3. 掌握分子、原子、原子量、分子量、原子质量、平均原子质量、摩尔和摩尔质量、元素、核素、同位素等概念及相似概念间的区别。

4. 了解本章内阐述的化学基本定律和理论随着化学科学实践的不断发展而建立和发展的情况，从而学习科学的思维方法。

内容提要

化学基本概念和定律是学习以后各章的准备知识，它们与中学化学的教学有着密切的联系。

化学反应中的三个基本质量定律，是从量的方面研究化合物和化学反应的基础。质量守恒定律、定比定律（即定组成定律）在中学教材中已有叙述，不须再加引伸。当量定律是一重点，它实际上是一个涉及范围更广泛的定比定律。气体性质及气体定律是本章学习的重点和难点，是今后在讨论化学平衡时必将涉及的基础知识，要掌握各个定律的物理意义和计算公式的应用条件。

对一些重要的基本概念，要掌握它们的确切含义及有关

概念之间的区别与联系。了解这些概念的发展情况，有助于对这些概念的深入理解和形成科学的思维。摩尔是国际单位制中的新增单位，应熟练掌握其有关的应用和计算。

一、化学基本定律和原子—分子论

1. 质量守恒定律 参加化学反应的全部物质的质量，等于反应后全部产物的质量。

2. 定比定律 一种纯净的化合物，无论它的来源如何，无论用何种方法测定，它的组份元素的质量都有一定的比。或：每一个化合物都有自己的确定组成，因此该定律又称为定组成定律。

3. 当量定律 物质（包括元素和化合物）按照当量的比而互相进行化学反应。

“当量”就是物质间起反应时彼此相当的量。某元素的当量就是该元素能同1.008份氢反应或取代1.008份氢或同8份氧相化合时的质量数。化合物的当量是：凡能同1.008份氢起反应，或含有1.008份可取代的氢，或同1.008份氢相当的化合物的质量。

1803年，英国化学家道尔顿提出原子学说，能够很好地解释上述基本定律和它们的内在联系，标志了近代化学的开始。因此，恩格斯说：“化学中的新时代是从原子论开始的。”但由于道尔顿没有把“原子”和“分子”区分，所以是不完善的，在测定诸如 H_2 、 O_2 、 Cl_2 等双原子分子组成的单质的原子量时，遇到困难。1811年，阿佛加德罗根据气体反应体积简比定律，提出气体由“分子”组成的概念。但当时遭到道尔顿和贝尔齐利斯的顽强反对，直到1860年在卡尔斯鲁厄召开的国际化学会议上，由于康尼查罗的提出，关于分子的概念和对一些基本问题的见解才被确认。随着原

子和分子概念的发展，道尔顿的原子学说和阿佛加德罗的分子学说，已经发展成为现代原子—分子论。

4. 气体反应体积简比定律 在温度和压力不变的情况下，参加反应各气体的体积以及反应后生成气体的体积之间，互成简单整数比。

5. 阿佛加德罗定律 在同温同压下，相同体积的气体含有相同数目的分子。

6. 理想气体定律和理想气体状态方程式 气体的温度、压力、体积、物质的量之间存在着一定关系，这个关系被归纳为理想气体状态方程式：

$$PV = nRT$$

式中 R 称为摩尔气体常数，它的数值因所用压力和体积的单位不同而改变：

$$R = 0.08206 \text{ atm} \cdot \text{L} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$$

$$= 62363 \text{ mmHg} \cdot \text{ml} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$$

$$= 8.314 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1} \text{ 或 } \text{J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$$

单位换算：

$$1 \text{ atm} = 101325 \text{ Pa} = 760 \text{ mmHg}$$

$$1 \text{ Cal} = 4.18 \text{ J}$$

$$1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ L} (\text{dm}^3) = 10^6 \text{ ml} (\text{cm}^3)$$

理想气体方程式的一个重要用途，是测定气体的分子量，公式可以写成：

$$PV = \frac{m}{M} RT$$

由上式经过变换，又可导出气体的密度 d ：

$$d = \frac{m}{V} = \frac{PM}{RT} \quad \text{或} \quad M = \frac{dRT}{P}$$

7. 混合气体分压定律 混合气体的总压力等于各组份气体的分压力之和，而一组份的分压则等于其单独占有与混合气体相同体积时所产生的压力；分压力的大小与组份的体积分数成正比。

$$P_{\text{总}} = P_1 + P_2 + P_3 + \cdots + P_i$$

分压定律也可表示成：

$$P_i = \frac{n_i}{n_{\text{总}}} P_{\text{总}} \quad n_i/n_{\text{总}} \text{ 称为组份气体摩尔分数}$$

$$P_i = \frac{V_i}{V_{\text{总}}} P_{\text{总}} \quad V_i/V_{\text{总}} \text{ 称为组份气体体积分数}$$

注意点：(1) 通常用排水取气法或在水面上方收集的某一气体，总是包含水蒸气的，是混合气体，要用分压定律来处理。(2) 组份气体的分体积是指该组份气体与混合气体的温度及压力相同时所具有的体积。可推导出：

$$V_{\text{总}} = V_1 + V_2 + V_3 + \cdots + V_i$$

这个结论称为分体积定律。知道总压后，计算分压的关键在于如何求得摩尔分数 $n_i/n_{\text{总}}$ 。由于直接求取各组份的摩尔分数有困难，常用气体分析法测得气体体积分数。三者有如下关系：

$$\frac{P_i}{P_{\text{总}}} = \frac{V_i}{V_{\text{总}}} = \frac{n_i}{n_{\text{总}}}$$

由此可得

$$P_i V_{\text{总}} = P_{\text{总}} V_i$$

即组份气体的分压和混合气体的总体积的乘积等于组份气体的分体积和混合气体的总压力的乘积。弄清这些关系，计算就比较方便。

8. 气体扩散定律 在同温同压下, 气体的扩散速度 (渗流速度) 与它们的密度 (或分子量) 的平方根成反比:

$$\frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{d_2}{d_1}} = \sqrt{\frac{M_2}{M_1}}$$

该定律常用于分离不同气体和求算气态物质的分子量。

二、基本概念

1. 分子、原子和基本粒子

概念	分 子	原 子	基本粒子
含义	保持物质化学性质的最小微粒。	物质进行化学反应的基本微粒。	在物质结构层次上比原子更小的微粒。
关系	由原子组成	由基本粒子构成	可能是由层次上更小的物质 (夸克) 组成的。

2. 元素、核素、同位素

概念	元 素	核 素	同 位 数
定义	原子核里质子数 (即核电荷数) 相同的一类原子的总称。	具有一定数目的质子和一定数目的中子的一种原子。	质子数相同而中子数不同的同一元素的不同原子。
注意	元素与单质、原子是不同的, 不能混淆。	核素包括各种不同元素的各种原子。	多核素元素中的不同核素互称同位素。

3. 原子量和分子量

概念	原子质量	平均原子质量	原子量
含义	某核素的一个原子的质量。	某元素一个原子的平均质量，它是由一种元素含有的多种天然同位素的原子质量和丰度来计算的。	某元素 1 摩尔质量对核素 ^{12}C 1 摩尔质量 1/12 的比值。
主要区别	只讨论某元素一种核素原子的质量。	讨论某元素天然存在的所有核素原子的平均质量。	讨论某元素一个原子的平均质量对 ^{12}C 原子质量的 1/12 之比。
单位	以“原子质量单位(u)”为单位。核素 ^{12}C 一个原子质量的 1/12 为 1 原子质量单位。	以“原子质量单位”为单位。	没有单位。同一元素的原子量与平均原子质量在数值上相同。
与核素丰度关系	与核素丰度无关	与核素丰度有关	与核素丰度有关

原子量的符号为 $A_r(E)$ 。A 代表原子；r 代表相对；E 代表元素。

分子量等于组成该分子的各原子的原子量之总和（严格说，应为一切物质的每个式单位的平均质量与一个 ^{12}C 核素

原子量 $1/12$ 的比值)。分子量的符号为 M_r 。计算分子量时，必须写出正确分子式，要注意对于不是由分子聚集而成的物质，没有单个分子存在，没有分子式，只有实验式（化学式），因而只能求出“式量”。分子量只能用于分子型物质。

4. 化学式 见第8页表所示

5. 化合价与氧化数

概念	化 合 价	氧 化 数
含义	元素之间相互化合时，其原子个数比都有确定的数值，元素的这种性质叫元素的化合价。	是某元素一个原子的荷电数，这种荷电数由假设把每个键中的电子指定给电负性更大的原子而求得。
注意	化合价可以为负数、正数和零	氧化数可以为负数、正数、零和分数

6. 摩尔，国际单位制

国际单位制（简称 SI）是1960年国际计量大会通过的以七个基本单位为基础的单位制。其中“物质的量（ n ）”是表示组成物质的基本单元数目多少的物理量。物质的量的单位是摩尔（摩），符号为 mol。

（1）摩尔：是一系统的物质的量，该系统中所包含的基本单元（分子、离子、原子、电子等）数与 0.012 千克碳-12的原子数目相等。

注意点：①使用摩尔时，必须指明基本单元。如“1摩

概念	分子式	最简式	结构式	电子式
含义	用元素符号来表示物质的分子组成的式子	用一定化学符号或其组合来表示物质的元素组成和各种元素原子或离子成最简个数比的式子	用元素符号表示物质分子中原子种类、原子的数目以及原子的结合顺序的式子。	用小黑点代表价电子，用以表示物质结构的式子
注意	有些物质不是由分子组成，而是由原子或离子构成的，如食盐、金刚石、铁等。 NaCl 、 C 、 Fe 应该叫化学式。	最简式习惯上就叫化学式。	例如 $\text{H}-\text{O}-\text{H}$ $\begin{array}{c} \text{O} \quad \text{O}-\text{H} \\ \diagdown \quad \diagup \\ \text{S} \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{O} \quad \text{O}-\text{H} \end{array}$ $\text{Na}^+ \text{O}-\text{H}^-$ (结构式一般不代 表其空间构型)	又叫路易斯式。有一定局限，如 O_2 不能写成 $:\ddot{\text{O}}: \ddot{\text{O}}:$ ，其他如 NO_2 、 NO 、 SO_2 都不能用八偶体路易斯式表示。

尔氢”的说法是没有意义的，必须指出“1摩尔 H_2 ”或“1摩尔 H ”。②摩尔不是“克分子”的同义语，后者只能用于指定温度下存在的独立分子的系统。③根据测定0.012千克 ^{12}C 含有 6.023×10^{23} 个原子，这个数值叫阿佛加德罗常数 (N_A)。

(2) 摩尔质量：1摩尔物质的质量称为摩尔质量，用符号 M_G 表示，单位常用 $g \cdot mol^{-1}$ 表示。物质的量 (n) 的计算：

$$n = \frac{m}{M_G} \quad (\text{注意这里的“}n\text{”应读作“物质的量”})$$

n ”，不能读成“物质的摩尔数”）
物质的量 n 和摩尔质量 M_G 是两个不同的概念，它们的单位也不相同。

例题

〔例1〕〔当量的计算〕已知某金属的氧化物含氧28.6%，而该金属的氟化物含氟48.7%，试求氟的原子量。

解：二元化合物中元素的质量比即其当量比。设氧、金属和氟的当量分别为 E_O 、 E_M 和 E_F ，

$$\text{则} \quad E_M = \frac{71.4}{28.6} \times E_O = \frac{71.4}{28.6} \times 8.00 = 20.0$$

$$E_F = \frac{48.7}{51.3} \times 20.0 = 19.0$$

又氟化物中氟为-1价，故氟的原子量 = 当量 = 19.0

〔例2〕〔气态方程和分压定律〕在 $23^\circ C$ 和 0.955 atm 下，用排水集气法收集到125毫升的氮气，试计算：

(1) 干燥后的氮气体积，

(2) 干燥前混和气体中的含水量 (以质量百分比计),
(已知水在 23°C 时的饱和蒸气压为 21.1 mmHg)。

解: (1) 集气瓶中氮气的分压为:

$$P_{\text{N}_2} = P_{\text{总}} - P_{\text{H}_2\text{O}} = 0.955 - \frac{21.2}{760} = 0.927 (\text{atm})$$

设干燥后的氮气体积为 V_{N_2} , 即氮气体积。

$$\therefore \frac{V_{\text{N}_2}}{V_{\text{总}}} = \frac{P_{\text{N}_2}}{P_{\text{总}}}$$

$$\therefore V_{\text{N}_2} = V_{\text{总}} \times \frac{P_{\text{N}_2}}{P_{\text{总}}} = \frac{0.927 \times 125}{0.955} = 121.3 (\text{ml})$$

(2) 混和气体中氮气与水蒸气的分压为

$$P_{\text{N}_2} = 0.927 \text{ atm} \quad P_{\text{H}_2\text{O}} = 0.028 \text{ atm}$$

$$\therefore m_{\text{N}_2} = \frac{P_{\text{N}_2} V_{\text{总}} M_{\text{N}_2}}{RT}; m_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{P_{\text{H}_2\text{O}} V_{\text{总}} M_{\text{H}_2\text{O}}}{RT}$$

$$\begin{aligned} \therefore \text{H}_2\text{O}\% &= \frac{m_{\text{H}_2\text{O}}}{m_{\text{N}_2} + m_{\text{H}_2\text{O}}} \times 100\% \\ &= \frac{P_{\text{H}_2\text{O}} \cdot M_{\text{H}_2\text{O}}}{P_{\text{N}_2} M_{\text{N}_2} + P_{\text{H}_2\text{O}} M_{\text{H}_2\text{O}}} \times 100\% \\ &= \frac{0.028 \times 18}{0.927 \times 28 + 0.028 \times 18} \times 100\% \\ &= 1.90\% \end{aligned}$$

〔例3〕〔摩尔及摩尔体积的计算〕于 25°C 时, 在一个 1.00 升的烧瓶中, 2.69 克 PCl_5 完全气化后压力为 760 mmHg 。 PCl_5 按下式离解: $\text{PCl}_5(\text{g}) \rightleftharpoons \text{PCl}_3(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g})$
求 PCl_5 、 PCl_3 、 Cl_2 在此时的分压。

解：根据离解方程式，平衡体系总摩尔数与 PCl_5 起始摩尔数之差即为 PCl_5 分解的摩尔数。先求平衡体系总摩尔数：

$$n = \frac{PV}{RT} = \frac{1 \times 1}{0.082 \times 523} = 0.0233 \text{ (摩)}$$

$$\text{PCl}_5 \text{ 起始的摩尔数 } n' = \frac{m}{M_{\text{g}}(\text{PCl}_5)} = \frac{2.69}{208} = 0.0129 \text{ (摩)}$$

$$\text{PCl}_5 \text{ 分解的摩尔数 } n - n' = 0.0233 - 0.0129 = 0.0104 \text{ (摩)}$$

$$\text{平衡时, } n_{\text{PCl}_5} = 0.0129 - 0.0104 = 0.0025 \text{ (摩)}$$

$$n_{\text{PCl}_3} = n_{\text{Cl}_2} = 0.0104 \text{ (摩)}$$

$$\therefore \text{PCl}_5 \text{ 摩尔分数 } x_{\text{PCl}_5} = \frac{0.0025}{0.0233} = 0.107$$

$$x_{\text{PCl}_3} = x_{\text{Cl}_2} = \frac{0.0104}{0.0233} = 0.446$$

$$\text{故 } P_{\text{PCl}_5} = P_{\text{总}} \cdot x_{\text{PCl}_5} = 1 \times 0.107 = 0.107 \text{ (atm)}$$

$$P_{\text{PCl}_3} = P_{\text{Cl}_2} = P_{\text{总}} \cdot x_{\text{PCl}_3} = 1 \times 0.446 = 0.446 \text{ (atm)}$$

习题

1. 是非题

(1) 加热盛有气体的刚性密闭容器时，气体压力一定增加。 ()

(2) 在一定温度时，气体分子运动的平均速度取决于气体分子的分子量。分子量越大，速度越小，它们之间呈反比例关系。 ()

(3) 根据质量守恒定律，化学反应中反应物的摩尔数一

定等于生成物的摩尔数。 ()

2. 选择题

(1) n 克金属溶于盐酸时, 生成氢气 m 摩尔, 该金属的化合价为 2。该金属的当量和原子量分别是 ()

- (A) $\frac{n}{m}$ (B) $\frac{2n}{m}$ (C) $\frac{n}{2m}$ (D) $\frac{2m}{n}$

(2) 有两种气体 A 和 B。A 的分子量比 B 的分子量重一倍。如每升中所含 A 和 B 的分子数相同, 当 B 的压力为 3.0 atm 时, 在相同情况下, A 的压力为 ()

- (A) 3.0 atm (B) 1.5 atm (C) 6.0 atm (D) 无法决定

(3) 在容积为 1000 毫升的真空容器里, 有某液态有机化合物 0.25 克, 在 39°C 下使完全蒸发, 压强为 152 毫米汞柱。这个化合物是下列的 ()

- (A) CH_3OH (B) $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ (C) $(\text{CH}_3)_2\text{CO}$
(D) $(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{O}$

(4) 原子量的确切含义是 ()

(A) 以统一原子质量单位作为基准, 来度量的某一元素 1 个原子的质量;

(B) 元素所含各种同位素 (指稳定同位素) 的原子的平均质量;

(C) 该元素 1 摩尔质量对核素 ^{12}C 1 摩尔质量 $\frac{1}{12}$ 的比值;

(D) 该元素的一个原子的质量。

3. 说明下列各对概念的区别:

(1) 原子和分子

(2) 原子和元素

(3) 核素和元素

(4) 核素和同位素

(5) 原子量和原子质量

4. 天然存在的溴含有 50.54% 的 ^{79}Br (原子质量为 78.9183u) 和 49.46% 的 ^{81}Br (原子质量为 80.9163u)。计算溴的原子量。

5. 27°C 、 30.0atm 时, 一气筒含有 480 克的氧气, 若此筒被加热到 100°C , 然后启开活门 (温度保持 100°C), 一直到气体压力降低到 1.00atm 时, 问共放出多少重的氧气?

6. 氧气在 1atm 、 27°C 时, 体积为 2 升, 氮气在 2atm 、 27°C 时体积为 1 升。现将这两种气体在 1 升的容器中混合, 如温度仍为 27°C , 问混合气体的总压力是否等于 3atm , 为什么?

7. 合成氨原料气中氢气和氮气的体积比是 3:1, 除这两种气体外, 原料气中还含有其他杂质气体 4% (体积百分数), 原料气总压力 150atm , 求氮、氢的分压。

8. 将一定量的氯酸钾加热后, 其质量失去 0.480 克, 生成的氧气在水面上用排水集气法收集起来。在温度为 21°C 、压力为 $747\text{mm}\cdot\text{Hg}$ 时, 测得其体积为 377 毫升。试计算氧气的分子量。 21°C 时水的饱和蒸气压为 $18.6\text{mm}\cdot\text{Hg}$ 。

附[从分子量求原子量——卡尼查罗法]这种方法基于这样的推论: 一种元素的原子既然是这元素的化合物分子内最小单位, 则在它的所有化合物的分子量内, 该元素的最小量就是分子量。方法是先测定一系列该元素化合物的分子量, 再测在化合物中该元素所占重量(%), 找出其中该元素最小的含量, 即为其原子量。

第二章 原子结构和元素周期律

教学要求

1. 了解原子及原子核、电子、质子、中子的基本性质。
2. 掌握电子云、原子轨道、能级、电子层、s、p、d原子轨道的形状和空间伸展方向、电子自旋、四个量子数的物理意义。
3. 掌握保里不相容原理、能量最低原理、洪特规则、屏蔽效应、近似能级图，能写出前四周期元素的原子核外电子排布式、外层电子排布式。
4. 掌握原子半径、氧化数、元素的金属性和非金属性的周期性变化规律。
5. 了解元素周期律的发展简史。

内容提要

一、原子组成

见课本上册P.235 1—2 原子的组成

二、氢原子光谱和玻尔理论

氢原子光谱，如氢原子的可见光区谱线 H_α 、 H_β 、 H_γ 、 H_δ 等，为不连续的线状光谱，它们的频率可以用下面的公式表示：

$$\nu = R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

式中 R 为里德堡常数，等于 $3.289 \times 10^{15} \text{秒}^{-1}$ ， n 为大于 2 的正整数 3、4、5……等。