

无机化学

王赐亮 主编

中国农业出版社

主 编 王赐亮
副主编 刘玉峰 王 宾
编 者 (以姓氏笔画为序)
王 宾 王宝峰 王赐亮
刘玉峰 刘雅丽 袁瑞农

无 机 化 学

王赐亮 主编

* * *

责任编辑 李岩松

中国农业出版社出版 (北京市朝阳区农展馆北路 2 号 100026)

新华书店北京发行所发行 北京市密云县印刷厂印刷

787mm×1092mm32 开本 7.25 印张 1 插页 159 千字

1997 年 8 月第 1 版 1997 年 8 月北京第 1 次印刷

印数 1—3 000 册 定价 12.20 元

ISBN 7-109-04916-7/O · 101

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

编 写 说 明

本书是根据国家教委颁布的中等专业学校教学大纲和山东省农业厅制订的山东省农业中等专业学校教学计划，结合山东省农业生产实际编写的。适于作农业中等专业学校各专业通用《无机化学》教学用书，也可供其他中等专业学校、职业中学作为教学参考书。

本书紧扣教学大纲，力求简明扼要、通俗易懂。在每节内容之后，均配有练习题。对重要实验还作了实验说明。

由于编者水平有限，错误在所难免，敬请读者指正，以便再版时改正。

编 者

1997年5月

目 录

编写说明

绪论	1
第一章 物质结构	3
第一节 物质和物质的变化	3
第二节 物质的组成	4
第三节 核外电子的运动状态和排布	8
第四节 元素的性质与其原子结构的关系	14
第五节 分子结构	19
第二章 溶液	29
第一节 四种液体	29
第二节 溶解与结晶	31
第三节 溶液的浓度	38
第四节 气体摩尔体积	46
第三章 电解质溶液	51
第一节 电解质的电离	51
第二节 酸、碱、盐和氧化物	57
第三节 化学反应的基本类型	69
第四节 离子反应	73
第五节 溶液的 pH 值	76
第六节 盐类的水解	80
第七节 化学肥料	83
第四章 元素周期律和元素周期表	91
第一节 元素周期律	91
第二节 元素周期表	94

第五章 化学反应速度和化学平衡	100
第一节 反应热	100
第二节 化学反应速度	103
第三节 化学平衡	108
第六章 电化学	115
第一节 原电池	115
第二节 电解池	120
第三节 蓄电池	128
第七章 非金属及其化合物	131
第一节 氯及其化合物	131
第二节 硫及其化合物	140
第三节 氮及其化合物	151
第四节 磷及其化合物	159
第五节 碳及其化合物	163
第六节 硅及其化合物	176
第八章 金属及其化合物	182
第一节 金属的通性	182
第二节 钠和钾	187
第三节 镁和钙	193
第四节 铝及其化合物	197
第五节 铜及其化合物	201
第六节 铁及其化合物	203
第七节 合金	209
第八节 钢铁的冶炼	211
第九节 络合物	219
附表 I 国际原子量表	224
附表 II 酸、碱、盐的溶解性表	225
附表 III 常见的酸、碱质量百分比浓度与密度对照表 ..	226
元素周期表	插页

绪 论

化学是一门研究物质和物质变化规律的自然科学。因为物质的化学变化跟它们的组成和结构有关，所以化学研究的对象是物质的组成、结构、性质、变化以及合成等。

我们研究物质变化的规律，是为了掌握这些化学知识，运用化学知识为我国现代化建设服务，为改革开放服务。例如钢铁工业、石油工业、纺织工业、造纸工业、塑料工业、国防工业及其他化工工业等都广泛地运用了化学知识。此外，化学与我们的日常生活也有密切关系。人们的衣食住行都离不开化学。

在科学技术飞速发展的今天，人们探索宇宙空间的奥秘，研究生命的过程，化学显示了巨大的威力。

化学在农业生产上的应用也极为广泛。水的处理和利用、土壤的检测和改良、化肥的使用和鉴别、农药的使用和生产都离不开化学。因此，学好这门基础课具有特殊的意义，特别是农业中等专业学校的学生显得更为重要。

要学好化学，首先必须准确地理解和牢固地掌握化学的基本概念、基础知识、基本技能。注意物质的性质、结构、用途和制取之间的相互关系。还要注意联系工农业生产实际和生活实际，运用辩证唯物主义的观点和方法去观察、思考、分析和解决问题。另外，化学是一门以实验为基础的科学，因此，必须重视化学实验。在化学实验中，要做到细心观察，认

真操作，准确记录，并根据实验得出的结论，寻找规律。在掌握基础知识和基本技能的过程中，逐步提高观察能力、思维能力、自学能力和独立操作能力，使我们对物质世界的认识更加全面、完整和深刻。

第一章 物质结构

第一节 物质和物质的变化

自然界是由物质构成的。在我们周围存在着形形色色的具有一定形状，在空间中占有一定位置的东西，叫做物体；那些在空间中占有一定位置，但不具有一定形状的东西，叫做物质。例如铁钉、木桌、铝锅等都是物体；而铁、木材、铝等都是物质。物质是构成物体的材料。

自然界里的一切物质都是在不停地运动和变化的。物质变化是多种多样的。常见的有 2 种：物理变化和化学变化。

物质发生变化时，只是形态和形状发生了变化，而没有生成其他物质，这样的变化，叫做物理变化。例如水分蒸发、矿石粉碎、汽油的挥发、钢锭轧成钢条等。

物质发生变化时，不仅形态发生了改变，而且物质本身发生了变化，生成了其他物质，这样的变化，叫做化学变化，也叫做化学反应。例如水通电后生成氢气和氧气，用铁矿石炼铁，铁生锈，汽油燃烧，二氧化碳通入澄清的石灰水中，石灰水变混浊等都属于化学变化。

物理变化和化学变化经常同时发生。在化学变化的过程中一定会有物理变化发生，但是在物理变化的过程中不一定发生化学变化。

物质不需发生化学变化就表现出来的性质叫做物理性

质。例如颜色、形状、气味、味道、熔点、沸点、溶解度、挥发性、硬度、密度等。

物质在发生化学变化中表现出来的性质叫做化学性质。例如发光、产热、变色、有气体生成、有沉淀产生等。

练 习 题

1. 物理变化和化学变化的根本区别是什么？
2. 指出下列变化中哪些属于物理变化？哪些属于化学变化？并说明理由。

- | | |
|---------------|-------------|
| (1) 水结冰； | (2) 火药爆炸； |
| (3) 木条燃烧； | (4) 铁熔化成铁水； |
| (5) 食物腐烂； | (6) 酒精挥发； |
| (7) 用石灰石燃制石灰； | (8) 小麦磨成面粉； |
| (9) 蜡烛燃烧； | (10) 铸造。 |

3. 指出下列水的性质中，哪些属于物理性质？哪些属于化学性质？

水在通常状况下，是一种无色、无味、无臭的透明液体。在 0°C 时开始结冰， 100°C 时沸腾。加热到 1000°C 以上或通电时，水可分解成氢气和氧气。

第二节 物质的组成

一、分子

物质是由许多肉眼看不见的微粒组成的。构成物质的微粒有多种。分子是构成物质的一种微粒。例如水是由水分子构成的，蔗糖是由蔗糖分子构成的。

分子是保持物质化学性质的最小微粒。分子的体积和质量都很小，1 个水分子的质量为 $3 \times 10^{-26} \text{kg}$ ，它的直径为 $2.8 \times 10^{-14} \text{m}$ 。分子虽然这么小，但它仍保持着原物质的化学性质。

分子总是不停地运动。例如湿衣服能晒干，是水分子不断地运动，飞散到空气中的缘故；远处能闻到刺激性氨味，是氨分子不断运动，在空气中扩散的结果。

分子间具有一定的间隔。例如一般物质热胀冷缩，就是构成物质的分子间隔受热增大、受冷缩小的结果。

同种物质的分子具有相同的性质，不同物质的分子具有不同的性质。

掌握了以上知识，可以加深对物质发生变化的认识。当物质发生物理变化时，构成物质的分子本身没有发生变化，所以仍是原来的物质；当物质发生化学变化时，构成物质的分子发生了变化，变成了别的物质的分子。

二、原子

水是由水分子构成的。当通电后水能分解成更小的氢和氧的微粒，这两种微粒用化学的方法不能再分为更小的微粒，称作原子。

原子是物质发生化学反应的最小微粒。物质的分子在化学反应中，分解成原子，原子重新组成物质的分子，这就是化学反应的实质。

原子同分子一样，具有运动性、间隔性、统一性和最小性。

原子的体积和质量是很小的。例如 1 个氧原子的质量只有 $2.657 \times 10^{-26} \text{kg}$ ，它的直径只有 $1.32 \times 10^{-14} \text{m}$ 。

三、原子的组成

随着生产技术和科学研究条件的改善，人们逐步认识了原子不是最小微粒，它具有复杂的结构，是可以分割的。

现代科学证明，原子是由居于原子中央、体积很小而质

量很大带有正电荷的原子核和质量很小带有负电荷的电子组成的。由于原子核带有的正电荷数（核电荷数）和核外电子带的负电荷数相等，因此，原子不显电性。不同原子的原子核所带的正电荷数彼此不同，核外电子数也不相同（1个电子带1个单位的负电荷）。例如氢元素的原子核带1个单位的正电荷，核外有1个电子。钠元素的原子核带11个单位的正电荷，核外有11个电子。

电子在原子核外以 $2.4 \times 10^6 \text{ km/s}$ 的速度绕核高速运转。

原子核虽然很小，也有着复杂的结构。它是由质子和中子构成的。一个质子带有一个正电荷，中子不带电。因此，原子核所带的正电荷数是由核内质子总数决定的。又因为原子是中性的，所以原子的核电荷数等于核外电子总数。

核电荷数 = 核内质子数 = 核外电子数

质子的质量为 $0.16726 \times 10^{-26} \text{ kg}$ ，中子的质量为 $0.16748 \times 10^{-26} \text{ kg}$ ，电子的质量只相当于质子质量的 $1/1836$ 。为了方便起见，应用原子量的标准，则质子和中子的相对质量分别为 1.007 和 1.008，取近似值均为 1。显然如果忽略电子的质量，将原子核内所有的质子和中子的相对质量取整数相加，所得的数值，叫做质量数。

质量数 = 核内质子数 + 核内中子数

四、原子量

原子虽然很小，也有实际质量，例如 1 个氢原子的质量为 $0.167 \times 10^{-26} \text{ kg}$ ；1 个碳原子的质量为 $1.993 \times 10^{-26} \text{ kg}$ ；1 个氧原子的质量为 $2.657 \times 10^{-26} \text{ kg}$ ；1 个铁原子的质量为 $9.288 \times 10^{-26} \text{ kg}$ 。这样，由于原子的质量非常小，在应用上很不方便。因此，一般不用原子的实际质量，而采用该原子的相对质量。

国际上选取自然界丰度最大，稳定性最强，原子核内含有 6 个质子、6 个中子和 1 个碳原子质量的 $1/12$ ，定为一个原子量单位。

用原子量单位来表示一个原子的实际质量，叫做原子量，即用 1 种元素原子的实际质量与一个原子质量单位的实际质量的比值。采用这个标准，测得氢的原子量约等于 1，氧的原子量为 16。由此可见，原子量只是一个比值，它是没有单位的。用原子量来计算、书写和记忆都是很方便的。常见元素的原子量见书后附表 I。

练 习 题

1. 分别指出下列物质中，哪些属于混合物？哪些属于化合物？哪些属于单质？哪些含有氧分子？哪些含有氧原子？

(1) 空气；(2) 液氧；(3) 水；(4) 二氧化碳；(5) 硫酸。

2. 下列各种叙述是否正确？错误的请加以改正。

(1) 物质是由分子构成的，分子是保持物质性质的最小微粒；

(2) 物质在发生物理变化时，分子本身没有变化，分子间隔也不发生变化；

(3) 原子的质量，叫做原子量；

(4) 原子核内的质子数，叫做核电荷数；

(5) 水 (H_2O) 分子是由 2 个氢元素和一个氧元素组成的；

(6) 二氧化碳 (CO_2) 是由碳和氧气两种单质组成的。

3. 填空题：

(1) 原子核是由 () 和 () 组成的；

(2) 钠元素的原子量为 23，核内有中子 12 个，核内有质子 () 个，核外有电子 () 个；

(3) 某元素核内有中子 12 个，核外有电子 12 个，那么核内有质子 () 个，这种元素的质量数为 ()，这种元素的名称是 ()；

(4) 氧的原子量为 16，碳的原子量为 12，6 个氧原子的质量等于

() 个碳原子的质量。

4. 下列符号各表示什么意义：

(1) 2H ； (2) H_2 ； (3) 2H_2 ； (4) H ；

(5) $2\text{H}_2\text{O}$ 。

5. 举出 3 个日常生活中常见的分子具有运动性的例子。

第三节 核外电子的运动状态和排布

原子是由原子核和核外电子组成的，原子核又是由质子和中子组成的。核外电子的运动状态和排列规律是怎样的呢？

一、电子云

电子的体积和质量都很小，在原子核外围绕原子核作高速运转。这就决定了电子运动的特殊性，不像宏观物体运动那样有固定的运动轨迹，在确定的时间内可以测定或计算出它们所在的位置，描述出它们的运动轨迹。电子在原子核外的运动，在不同的区域出现的机会不一样，有的区域出现的机会多一些，有的区域出现的机会少一些。我们只能统计地认识电子在原子核外空间某区域出现的机会。

由于电子在核外运动速度极快，而且在核外空间各处出现，就好像带负电荷的云雾笼罩在原子核的周围，我们形象地称之为“电子云”。

例如氢原子核外只有 1 个电子，在通常状态下它的电子云呈球形对称（图 1-1）。离核近处，黑点

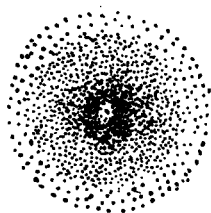


图 1-1 氢原子电子云示意图

的密度大，单位体积内电子出现的机会多；离核越远，黑点的密度越小，单位体积内电子出现的机会就越少。

二、核外电子的运动状态

下面我们用 4 个量子数的基本知识来描述核外电子的运动状态。

1. 主量子数 在含有多个电子的原子中，电子的能量并不相同。能量低的在离核较近的区域内运动；能量高的在离核较远的区域内运动。主量子数可以用 n 来表示。它是用来描述核外电子运动离核的平均距离。电子具有的能量不同，离核的平均距离不同，因此，核外电子是分层排列的。主量子数就是指的电子层数，它是决定电子能量的主要因素。 n 值可以用 K、L、M、N、O、P、Q 等字母表示。也可以用第一层、第二层、第三层……等来表示，其能量依次升高。

2. 次量子数 科学研究发现，在同一电子层中，各个电子的能量也各不相同。这样一个电子层又可划分为 1 个或几个电子亚层。

次量子数用 l 表示。它用来表示亚层，描述电子云的形状（图 1-2）。这些亚层分别用 s、p、d、f 等字母表示。不同亚层的电子云的形状是不相同的。如 s 亚层的电子云称 s 电子云，它是以原子核为中心的球形；p 亚层的电子云称 p 电子云，它是纺锤形；d 亚层的电子云称 d 电子云，它是梅花瓣形，f 亚层的电子云的形状比较复杂。

l 的数值为 $0 \rightarrow (n-1)$ 及其之间的正整数。每一个数值表示一个亚层，即表示一种电子云的形状，并且其具有的能量高低随 s、p、d、f 的顺序依次升高。每个电子层里所含亚层数是不一样的。例如：

K 层， $l=0$ ，表示只有 1 个 1s 亚层；

L 层, $l=0, 1$, 表示有 2 个亚层, 分别为 2s 亚层, 2p 亚层;

M 层, $l=0, 1, 2$, 表示有 3 个亚层, 分别为 3s 亚层, 3p 亚层, 3d 亚层;

N 层, $l=0, 1, 2, 3$, 表示有 4 个亚层, 分别为 4s 亚层, 4p 亚层, 4d 亚层, 4f 亚层。

3. 磁量子数 电子云不仅具有确定的形状, 而且还有一定的伸展方向。

磁量子数用 m_l 表示。它是用来表示在电子本身产生的磁场作用下, 电子云的伸展方向。每个伸展方向代表了 1 条轨道。它不表示电子能量的高低。

各种电子云的伸展方向的数目与电子云的形状有关。不同形状的电子云, 有不同数量的伸展方向。如 s 电子云是球形对称, 在空间各方向伸展的程度都相同或者说无伸展方向, 这样只表示一条轨道; p 电子云在空间上有 3 个相互垂直的不同伸展方向, 这样表示 3 条轨道; d 电子云在空间上有 5 个伸展方向, 这样表示 5 条轨道; f 电子云在空间上有 7 个伸展方向, 这样表示了 7 条轨道。

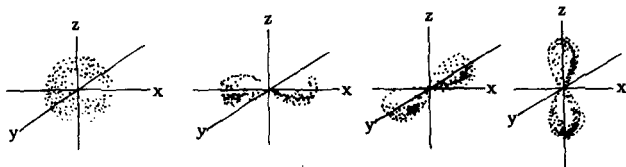


图 1-2 电子云空间图像

m_l 表示的数值为 $+1 \cdots \cdots 0 \cdots \cdots -1$ 之间的正负整数。例如:

$l=0$, 即 s 电子云, $m_l=0$, 表示无伸展方向, 有 1 条轨

道；

$l=1$ ，即 p 电子云， $ml=+1, 0, -1$ ，表示有 3 个伸展方向，有 3 条轨道；

$l=2$ ，即 d 电子云， $ml=+2, +1, 0, -1, -2$ ，表示有 5 个伸展方向，有 5 条轨道；

$l=3$ ，即 f 电子云， $ml=+3, +2, +1, 0, -1, -2, -3$ ，表示有 7 个伸展方向，有 7 条轨道。

通常把在一定电子层的亚层上，具有一定伸展方向的电子云所占据的空间，叫做轨道。

在同一亚层上的不同轨道，所具有的能量都相同，故称之为等价轨道。

4. 自旋量子数 电子不仅在核外空间不停地高速运动，而且还做自旋运动。每条轨道上的 2 个电子必须自旋方向相反（相当于顺时针和逆时针 2 个方向）。

自旋量子数用 m_s 表示。它用来描述电子自旋运动状态。它不表示电子能量的高低，只表示电子的自旋方向。

$m_s = \pm 1/2$ ，用 $+1/2$ 表示顺时针方向运动，用 $-1/2$ 表示逆时针方向运动。

通过以上分析可知，电子在核外的运动状态必须由它所处的运动状态的 4 个量子数来决定。

三、核外电子的排列规律

(1) 在同一个原子中，没有运动状态的 4 个方面完全相同的电子存在，这条规律叫做保利不相容原理。根据这条原理可以推算出各电子层最多可以容纳电子数为 $2n^2$ 个；最外层最多不得超过 8 个电子，次外层最多不得超过 18 个电子。外数第三层最多不得超过 32 个电子。

(2) 原子中的电子总是尽量占据能量最低的轨道，并且

只有这条轨道占满后,电子才能依次进入能量较高的轨道。这条规律,叫做能量最低原理。电子按其能量高低填入量子轨道的顺序见图 1-3。

(3) 在同一亚层中的各个不同轨道里,电子尽量单独占据一条轨道,并且自旋方向相同,这条规律叫做等价轨道规则,也叫洪特规则。

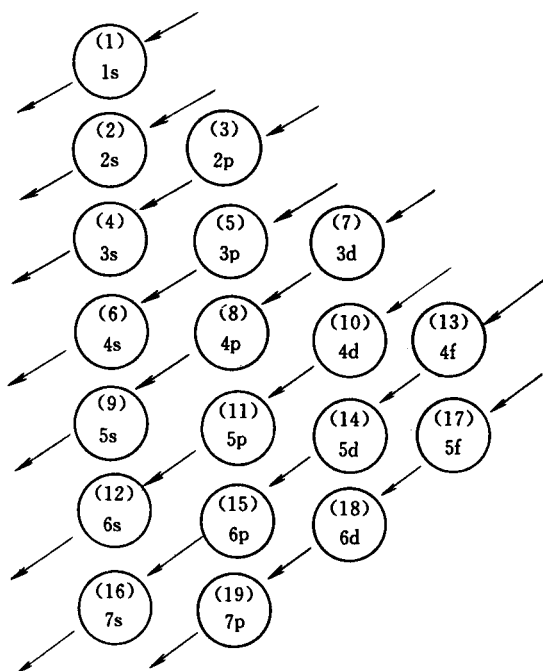


图 1-3 电子填入轨道图

例如 ${}^6_6\text{C}$: $1s^2 2s^2 2p^2$ 叫做电子排布式。