

上海市中学教师进修教材

无机化学

第一册



上海教育出版社

061
108

分类号	061/29
种次号	1464
总登记号	30581
页数	327
定价	0.83

上海市中学教师进修教材

无机化学

第一册

上海市中学教师进修教材编写组编



23152910



上海教育出版社

内 容 简 介

本书包括预备知识、原子结构和元素周期系、化学键和分子结构、物质的聚集状态、溶液五章内容。编写的特点是：联系中学化学教学实际；深入浅出，叙述详尽，便于自学；反映新的化学观点和成就。

本书除作为中学教师进修院校化学专业的教材以外，也可供自学和教学参考之用。

上海市中学教师进修教材

无 机 化 学

第 一 册

上海市中学教师进修教材编写组编

上海教育出版社出版

(上海永福路 123 号)

上海新华书店发行 上海新华印刷厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张 10.5 插页 2 字数 229,000

1981 年 1 月第 1 版 1981 年 1 月第 1 次印刷

印数 1—9,400 本

统一书号：7150·2334 定价：0.93 元

前 言

为了迅速提高中学化学教师的业务水平,以适应我国四个现代化的需要,在上海市教育局的领导下,由上海教育学院和闸北区教师进修学院组成中学化学教师进修教材编写组,根据教育部关于加强中小学在职教师培训工作的意见,并参照师范学院化学系专业要求,编写一套进修教材,其中有无机化学、有机化学、分析化学、物理化学,以及有关的实验。

我们的编写原则是:(1) 联系中学化学教学实际;(2) 文字浅显,叙述详尽,便于自学;(3) 反映新的化学观点和成就。这套教材除作为中学教师进修院校的教材以外,也可供自学和教学参考之用。

《无机化学》是我们编写的第一部教材,按计划分为四册。第一、二册为理论部分,第三、四册为元素部分。

无机化学是化学专业的一门重要基础课程,对于中学化学的联系最为密切,所以也是中学化学教师进修的重点。本书内容深度基本上相当于师范学院化学专业用的无机化学教材。

近年来化学的发展日新月异,新编化学教材须适应化学的发展趋势,这方面在本书中也应有所反映,主要是引入一些比较新的理论,并适当地下放了一些物理化学概念,在叙述上力求深入浅出便于阅读。目前正在推行国际单位制,如大气压、毫米汞柱改为帕,卡改为焦耳,特别引入新的物理量“物质的量”,对我们来说,可能很不习惯。本书已改用国际单位制,

为了照顾习惯,与旧单位同时并用,作为过渡。关于单位制请参阅附录一。此外,为了便于读者自学和扩大知识面,本书中增加一些阅读教材以及与中学教学有关的参考资料,这部分内容以小体字排印。全书内容略超过无机化学教学课时的要求,教师上课时可从实际出发,有选择地进行讲授。

本书蒙复旦大学顾翼东担任主审。华东师范大学朱榆良,华东化工学院汪葆浚、张济新,上海师范学院杨德壬,上海教育学院张国模,上海市教育局季文德,上海市时代中学郭时平参加审稿。初稿经本市各区、县教师进修院校和广大化学教师讨论,并提出宝贵意见。对此我们一并表示衷心的感谢。

参加本书编写的有:朱启惠、钱止英、赵纮章、云逢仁、叶飞熊、姚大新和杨国英。插图由郑孝逵绘制。由于编者水平有限,时间仓促,本书一定有不少的缺点和错误,希望予以批评指正。

上海市中学教师进修教材编写组

一九七九年六月

目 录

前 言

第1章 预备知识	1
1.1 物质和化学	1
1.2 原子质量和原子量	5
1.3 物质的量的单位——摩尔	7
1.4 化合价和氧化数	12
1.5 放射性	17
1.6 原子核的一般知识	19
1.7 同位素	22
1.8 能量	28
1.9 辐射能	32
1.10 光谱	36
第2章 原子结构和元素周期系	38
2.1 阴极射线和电子的发现	38
2.2 卢瑟福原子模型	42
2.3 玻尔理论	45
2.3.1 光的波粒二象性(47)	2.3.2 氢光谱(54)
2.3.3 玻尔的氢原子模型(55)	
2.4 核外电子的运动状态	63
2.4.1 德布罗意波——物质粒子的波粒二象性(63)	2.4.2 波函数 Ψ (66)
2.4.3 四个量子数(70)	2.4.4 s、p、d电子的状态(74)
2.5 原子的电子层结构	77
2.5.1 多电子原子的电子能级——屏蔽效应和穿透效应(77)	
2.5.2 核外电子排布的规则(82)	2.5.3 各元素原子的电子排布(84)

2.6 元素的分类	91
2.6.1 长式周期表(92) 2.6.2 各族元素的电子构型(93)	
2.7 元素性质的周期性	97
2.7.1 原子半径(98) 2.7.2 金属性和非金属性(101)	
2.7.3 化合价(111)	
本章小结	114
思考题	117
习题	118
 第3章 化学键和分子结构	 121
3.1 化学键的一般知识	121
3.1.1 化学键理论的发展概况(121) 3.1.2 化学键的概念(123)	
3.2 离子键和离子化合物	125
3.2.1 离子键的形成(125) 3.2.2 离子的特征(126)	
3.2.3 离子化合物(130)	
3.3 共价键理论(一)——电子配对法(价键理论)	132
3.3.1 共价键的本质(132) 3.3.2 共价键的饱和性和方向性(136)	
3.3.3 共价键的类型—— σ 键和 π 键(138)	
3.3.4 杂化轨道理论(140) 3.3.5 键的极性和分子的极性(148)	
3.3.6 配位键(154)	
3.4 共价键理论(二)——分子轨道法	156
3.5 金属键	165
3.6 离子的极化	165
3.7 分子间作用力	169
3.8 氢键	171
3.8.1 氢键的本质(172) 3.8.2 氢键的键长和键能(174)	
3.8.3 氢键的饱和性和方向性(175) 3.8.4 氢键对物质性质的影响(176)	
本章小结	176
思考题	179
习题	179
 第4章 物质的聚集状态	 182
固体	182

4.1	晶体的特征	183
4.2	晶系和晶格	184
4.3	紧密堆积原理	187
4.4	离子晶体	189
4.4.1	离子晶体的结构与配位数(189)	
4.4.2	晶格能(193)	
4.5	分子晶体和原子晶体	196
4.5.1	分子晶体(196)	
4.5.2	原子晶体(197)	
4.6	金属晶体	198
4.7	混合键型晶体	201
4.8	固体的能带理论	203
4.9	有关晶体的几个问题	206
	气体	208
4.10	理想气体状态方程	209
4.11	气体分子运动论	216
	液体	218
4.12	气-液互变	219
4.13	液-固互变	226
4.14	相变过程中的热效应	228
	本章小结	233
	思考题	236
	习题	237
第5章	溶液	239
5.1	分散系统	239
5.2	溶解过程	242
5.2.1	溶解平衡(242)	
5.2.2	水合作用(243)	
5.2.3	溶解热(244)	
5.3	溶解度	245
5.3.1	固体的溶解度(245)	
5.3.2	温度对固体溶解度的影响(249)	
5.3.3	气体在液体中的溶解度(251)	
5.3.4	液体对液体的溶解(255)	
5.4	溶液的浓度	256

5.4.1 溶液浓度的表示法(257)	5.4.2 关于溶液浓度的计算(260)	
5.5 结晶		270
5.5.1 过饱和溶液(270)	5.5.2 结晶原理及其在生产上的应用(272)	
5.5.3 风化和潮解(274)		
5.6 蒸馏		275
5.6.1 蒸馏原理(276)	5.6.2 蒸气蒸馏(280)	
5.7 萃取和纸上层析		281
5.7.1 分配定律(281)	5.7.2 萃取(282)	5.7.3 纸上层析(283)
5.8 稀溶液的通性		286
5.8.1 蒸气压下降——拉乌尔定律(286)	5.8.2 沸点升高(289)	
5.8.3 凝固点下降(291)	5.8.4 渗透压(295)	
5.9 胶体		298
5.9.1 溶胶的形成(298)	5.9.2 溶胶的性质(299)	5.9.3 溶胶粒子的结构(303)
5.9.4 溶胶的凝聚(306)		
本章小结		311
思考题		312
习题		314
习题答案		316
附录一 单位制		318
附录二 国际原子量表		321
附录三 常用酸和碱的百分比浓度和比重($\frac{15^{\circ}}{4^{\circ}}\text{C}$)对照表		325
附录四 波美度数和比重($\frac{15^{\circ}}{4^{\circ}}\text{C}$)对照表		326
附录五 希腊字母表		327
附录六 化学元素周期表		

第1章 预备知识

本章内容包括关于物质和能量两方面的一些基本概念。研究物质必然涉及能量的问题，只有认识有关过程能量的变化，才能深刻理解物质的结构及其行为。应用物理方法和能量观点来处理化学问题主要是属于物理化学的内容，但在现代化学的领域中，物理化学越来越深入地渗透到其他分支之中，特别是现代无机化学更需要应用物理化学的观点来加以研究。所以“预备知识”中有必要介绍一些有关的物理知识。

这里讲述的内容基本上都是中学化学和物理学中学习过的，仅作适当加深加广。其中有些概念是由于它本身的发展而必须更新的，如摩尔；有些概念这里做了进一步的阐明，如化合价和氧化数；有些概念则作为常识性介绍。

1.1 物质和化学

在自然界除了不断运动着的物质以外，就什么也没有，所以说世界是物质的。

所谓物质，就是作用于我们感官而引起感觉的东西，它包括独立存在于人们的意识以外的一切客观存在。宇宙之内，大至天体，小至基本粒子，都是物质。

物质的种类很多，现在已经知道的就有六百万种以上。我们常见的一杯水、一堆盐、一瓶酒精、一块铁等都是由物质组成的宏观物体，分子、原子、电子、中子、质子等则是微观粒子。

宏观物体，一般是指线度大于 $10^{-8} \sim 10^{-6}$ 米的物体，凡是肉眼所能见到的都是宏观物体，它们是大量分子或原子的聚集体。微观是相对于

宏观而言的，一般指线度小于 $10^{-9} \sim 10^{-8}$ 米的粒子，包括分子、原子和各种基本粒子。微观粒子的运动和变化称为微观现象，微观粒子和微观现象统称为微观世界。微观粒子的运动规律和宏观物体的运动规律有着本质的差异。

科学实验证明，绝大多数的物质是由分子构成的。分子是保持物质化学性质的一种最小的微粒。分子由原子组成。原子是在化学反应中不能再分的微粒。

分子和原子都非常小。例如水分子的半径大约只有 140 皮米($1.4 \text{ \AA}$)，一滴水中大约有 10^{21} 个水分子。原子比分子更小，例如氢原子的半径大约只有 32 皮米($0.32 \text{ \AA}$)。我们用光学显微镜是看不到它们的。现在，电子显微镜和某些更先进的科学仪器能够把物体放大几十万倍，甚至百万倍以上。目前不但能够直接看到某些分子，还可看到某些原子。这就有力地证明了分子和原子的真实性。

随着科学的迅速发展，化学上研究原子和分子的现代方法已经广泛应用。例如用质谱仪测定电子或离子的荷质比，推算它们的质量；用光谱分析法测定物质的分子组成及分子结构的键长和键角；用 X 光衍射法确定晶体中原子的排列情况，等等。由于应用了高能物理的实验技术，目前为止已经发现有二百多种比原子更小的“基本粒子”。

必须指出，人们习惯常说“物质由分子构成”，这句话是不恰当的。科学实验已经证明并不是所有的物质都由分子构成，例如金属单质是由原子、离子和在其间运动着的自由电子构成的；稀有气体和金刚石、石墨等是由原子直接构成的；盐类大多数是由离子构成的。所以分子只是构成物质的一种微粒，但不是唯一的微粒。

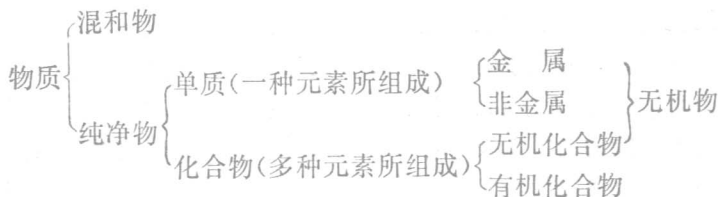
物质有纯净物和混和物之分。纯净物是指仅含有一种单

质或化合物的物质。化合物具有一定的组成，这个结论就是**定组成定律**。但在化学发展的过程中，后来发现了这个定律的一些例外情况。例如若干金属元素互相化合所形成的金属互化物，其成分虽然可以用化学式表示，如 CuZn (β -黄铜)、 Cu_5Zn_8 (γ -黄铜)、 CuZn_3 (ε -黄铜) 等，但其定意与普通化合物不同，上述金属互化物不象普通化合物那样具有固定的组成，它们的组成可以在一定范围内改变。又如由氢原子钻入某些金属晶体的空隙内而形成的金属型氢化物(间充化合物)，氢的吸收量随温度和压力不同而不同，它们也不是具有固定组成的化合物。

由不同物质混杂在一起所形成的是混和物，例如空气就是氮气、氧气、稀有气体、二氧化碳和水蒸气的混和物。含有杂质的物质，叫做不纯物。显然不纯物也是混和物。

实际上绝对纯净的物质是没有的。物质中含杂质很少，不妨碍使用时就称作纯净物。用途不同，对物质纯度的要求也不同。生产和科研上根据不同要求，将所用的试剂按纯度由低到高分工业纯、化学纯、分析纯、光谱纯和超纯等多种规格。但纯与不纯是相对的，不纯有时还是必要的。在实际应用中，对物质纯度的要求有时并非越纯越好，例如在要求具有特殊性能的合金、半导体等材料中，有时却要渗入一定量的其他物质才符合要求。

物质的分类大致如下：



在生产和科研中,由于研究的对象有的是很复杂的,有些理论的应用范围很广,所以人们引入了一个在含义上比物质和物体等更有概括性的概念——**系统**。所谓系统就是作为研究对象的一定物体从它的周围划分出来的有限部分,也叫**体系**或**物系**,简称**系**。凡是一定界面所限定的任何部分,如一定量的纯物质或混和物,或是正在某反应器中进行反应的物质,甚至一只量热器、一台热机,等等,都可以称为系统。

系统中某均匀部分,以有形的界面与其他部分隔开,这部分叫做**相**。例如一只烧瓶,其中部分盛有水,浮在水上有冰,我们说烧瓶内所有物质(空气、冰和水)构成一个系统,其中有三个相:气相(空气)、固相(冰)和液相(水)。只有一个相的系统叫做**单相系统**,具有二个或二个以上相的是**多相系统**。多相系统和混和物是两个不同的概念,如空气是混和物,但属于单相系统,而浮有冰块的水是纯净物质,但属于多相系统。

化学是一门研究物质及其变化的科学。它研究的范围是非常广泛的,包括物质的组成、结构、性质和用途,物质的性质和结构的关系,物质发生化学变化的条件、规律以及随之引起的各种现象,物质的制备(尤其是合成)和保护,等等。范围如此之广,为了便于研究和学习,现代化学分成了无机化学、有机化学、分析化学、合成化学、物理化学、胶体化学、工业化学、生物化学和量子化学等分支学科。当然,它们很多是互相联系和互相渗透的。无机化学是化学的基础之一,它主要研究无机物的结构、性质、用途和制备方法。由于现代物理方法广泛应用于无机化学的研究,使无机化学的研究由宏观深入到微观,从而把元素和它们的化合物的性质与结构联系起来。同时原子能的利用以及半导体、宇航、激光、显象、催化等新的特种技术要求提供特种无机材料,有力地推动了无机化学的蓬

勃发展。近年来,周期系中几乎每族元素每年都有新资料的发表。由于不断有新化合物的合成及其方法的更新,研究手段的进步和新的生产、实验的实际需要,新的反应、新的结构和新的理论仍会层出不穷。可见,无机化学的研究是无止境的。另一方面,科学的飞速发展,使无机化学和有机化学已经有交错的现象。无机化学的内容扩展到由各种元素与有机物结合而成的化合物;有机化学的内容也向非碳元素的化合物扩展。同时无机化学的研究也渗入了一些其他有关学科,形成了生物无机化学和金属有机化学等新的边缘学科。这给无机化学开辟了更加灿烂的前景,也给我们学习、研究化学的同志增添了更加光荣的任务。现在,我们向往已久的科学的春天已经回到了祖国的大地,无机化学也必将为实现四个现代化发挥越来越大的作用。

1.2 原子质量和原子量

原子质量单位 我们知道,原子的真实质量极小,不宜采用千克或克等质量单位来表示,因此化学上所采用的是原子的相对质量。目前国际上通用的原子质量单位叫做**统一原子质量单位**,用符号 u 表示,也有用 a.m.u. 或 m_u 来表示的。

统一原子质量单位是以 ^{12}C 的 1 个原子的质量为 $12u$ 作为基准,来量度其它元素 1 个原子的相对质量。这样,1 个 u 的值就等于 1 个 ^{12}C 原子的质量的 $1/12$ 。已知 1 个 ^{12}C 原子的绝对质量等于 19.92684×10^{-27} 千克,所以

$$1u = 19.92684 \times 10^{-27} \text{ 千克} \times 1/12$$

$$= 1.66057 \times 10^{-27} \text{ 千克}$$

采用统一原子质量单位,则普通氢(^1H)的原子质量为

1.0078u。氢是最轻的元素， ${}^1_1\text{H}$ 是最轻的原子，它的质量大于 1u，那么其它原子的质量都必在 1u 以上，这对于计算和运用都较方便。

原子的质量数 在采用原子质量单位时，我们可以取最接近原子质量的整数来近似地表示原子的质量，这整数就叫做原子的**质量数**，通常用 A 来表示。例如， ${}^1_1\text{H}$ 的原子质量为 1.0078u，它的质量数就等于 1； ${}^{16}_8\text{O}$ 的原子质量为 15.9949u，它的质量数就等于 16。

原子的平均质量和原子量 原子的平均质量是指元素所含各种同位素（指稳定同位素）的原子的平均质量，它可由各种同位素的原子质量按照它们的相对丰度*计算平均值而求得。例如天然氯有 ${}^{35}_{17}\text{Cl}$ 和 ${}^{37}_{17}\text{Cl}$ 两种同位素，它们的原子质量分别为 34.96885u 和 36.96590u，相对丰度分别为 75.77% 和 24.23%，所以

$$\begin{aligned}\text{氯原子的平均质量} &= 34.96885\text{u} \times 75.77\% + 36.96590\text{u} \\ &\quad \times 24.23\% = 35.453\text{u}\end{aligned}$$

化学上通常采用的元素的原子量实际上是元素的平均原子量，因为某元素的原子量就是该元素原子的平均质量和 ${}^{12}_6\text{C}$ 原子的质量的 1/12 的比值。例如

$$\begin{aligned}\text{氯原子的原子量} &= \frac{\text{氯原子的平均质量}}{{}^{12}_6\text{C 原子的质量的 } 1/12} \\ &= \frac{35.453\text{u}}{1\text{u}} = 35.453\end{aligned}$$

原子量因为是一个比值，所以是没有单位的。

在一般化学计算中，常用的原子量是原子量的近似值，如

* 丰度的定义，见本章 1.7。

氯原子的原子量等于35.453,它的原子量近似值就等于35.5。

原子量的测定 原子量的测定过去是采用化学方法*进行的,自1919年阿斯顿(F. W. Aston)创制了质谱仪,以后很多物理学家又研制了各种类型的精密度更高的质谱仪以来,现代测定原子量的方法主要采用质谱法。利用质谱仪可以测得元素的各种同位素的相对质量及其相对丰度,由这些数据可以求得该元素原子的平均质量,从而得出原子量。

例题 元素银有两种同位素,由质谱仪测得它们的质量分别为106.902u和108.900u,相对丰度为51.35%和48.65%,试求由此实验测得的银原子的原子量。

$$\begin{aligned}\text{解: 银原子的平均质量} &= 106.902\text{u} \times 51.35\% \\ &\quad + 108.900\text{u} \times 48.65\% \\ &= 107.874\text{u}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{银原子的原子量} &= \frac{\text{银原子的平均质量}}{^{12}_6\text{C 原子的质量的} 1/12} \\ &= \frac{107.874\text{u}}{1\text{u}} = 107.874\end{aligned}$$

答: 银原子的原子量为107.874。

此题第二步计算可以从略,因为元素的原子量在数值上等于它的平均原子量,在计算出银原子的平均质量后,直接就可以知道它的原子量的数值。

1.3 物质的量的单位——摩尔

摩尔是化学上用来计量物质的量的一个单位,它是国际

* 测定原子量的化学方法可参阅全日制十年制初中化学《教学参考书》1973,人民教育出版社出版,第69至71页。

单位制中七个基本单位之一。

摩尔的定义 根据第14届国际计量大会确定的摩尔的定义为：“**摩尔是一系统的物质的量，该系统中所包含的基本单元数与0.012千克碳—12的原子数目相等。**在使用摩尔时，基本单元应予指明，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。**”

根据实验测定，0.012千克碳—12中含有 6.022×10^{23} 个碳原子，这个数值称为阿伏伽德罗常数，一般用符号 N_A 来表示。

由摩尔的定义可知，物质的量是表明组成物质的基本单元的数目多少的一个物理量。物质的量的符号为 n ，它的单位为摩尔，也可用千摩尔或毫摩尔。摩尔的中文符号为摩，国际符号为mol。

- 1 摩尔硫原子表明含有 N_A 个硫原子；
- 1 摩尔氧分子表明含有 N_A 个氧分子；
- 1 摩尔氢氧根离子表明含有 N_A 个氢氧根离子；
- 1 摩尔电子表明含有 N_A 个电子。

那么，是否可以说摩尔是一个数目单位呢？

必须注意，我们用摩尔来表示任何一个物质的量的量值，只是表明该系统的物质中所含基本单元的数目是阿伏伽德罗常数的若干倍，因为由实验测得的阿伏伽德罗常数只是一个近似值，在用摩尔表示物质的量时，并不能指出基本单元的真实数目；而且在一般使用中，也不需要指出物系中所含基本单元的真实数目。因此不能说摩尔是一个数目单位，它是一个新的物理量——物质的量的单位。

基本单元又叫**结构粒子**。除前面所举的原子、分子、离子、电子等组成物质的自然存在的个体粒子外，将这些粒子进