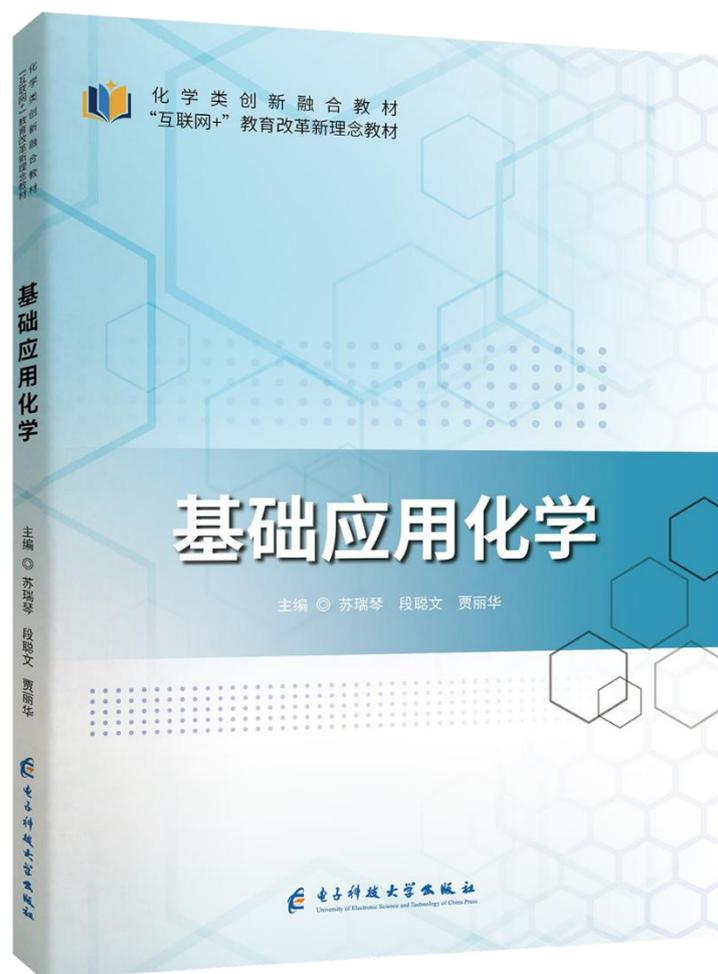


基础应用化学



类目：化学类
书名：基础应用化学
主编：苏瑞琴 段聪文 贾丽华
出版社：电子科大出版社
开本：大 16 开
书号：978-7-5770-1020-5
使用层次：通用
出版时间：2024/7/1
定价：49.8
印刷方式：双色
是否有资源：是

化学类创新系列教材



化学类创新系列教材

基础应用化学

基础应用化学

主编 © 苏瑞琴 段聪文 贾丽华

基础应用化学

主编 © 苏瑞琴 段聪文 贾丽华

策划编辑：万晓桐
责任编辑：杨梦婷
封面设计：旗语书装



电子科技大学出版社

电子科技大学出版社
University of Electronic Science and Technology of China Press



化学类创新系列教材

基础应用化学

主 编 ◎ 苏瑞琴 段聪文 贾丽华
副主编 ◎ 谢永芳 李秀红 张晓旭
金建涛 李 峰 苏加坤
戴水平 江石河 沈 丹
王立芳



电子科技大学出版社
University of Electronic Science and Technology of China Press

· 成都 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

基础应用化学 / 苏瑞琴, 段聪文, 贾丽华主编.
成都: 成都电子科大出版社, 2024. 8. --ISBN 978-7-5770-1020-5

I. 069

中国国家版本馆 CIP 数据核字 2024WH7900 号

基础应用化学

JICHU YINGYONG HUAXUE

苏瑞琴 段聪文 贾丽华 主编

策划编辑 万晓桐
责任编辑 杨梦婷
责任校对 刘亚莉
责任印制 梁 硕

出版发行 电子科技大学出版社
成都市一环路东一段 159 号电子信息产业大厦九楼 邮编 610051

主 页 www.uestp.com.cn

服务电话 028-83203399

邮购电话 028-83201495

印 刷 涿州汇美亿浓印刷有限公司

成品尺寸 210mm×285mm

印 张 13

字 数 380 千字

版 次 2024 年 8 月第 1 版

印 次 2024 年 8 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5770-1020-5

定 价 49.80 元

版权所有 侵权必究

PREFACE

前言

化学是一门应用广泛的自然科学，它涉及我们日常生活的方方面面。随着社会的发展和科技的进步，化学在工业、农业、医药、环境等领域的应用也越来越广泛。《基础应用化学》是一本介绍化学基础知识及其实际应用的书籍，旨在帮助读者深入理解化学原理，掌握化学实验技能，从而更好地应用化学知识。

习近平在党的二十大报告中强调：“必须坚持科技是第一生产力、人才是第一资源、创新是第一动力，深入实施科教兴国战略、人才强国战略、创新驱动发展战略，开辟发展新领域新赛道，不断塑造发展新动能新优势。”为深入贯彻党的二十大精神，达到职业技能教育目的，编者特编写了本书。首先，本书将无机化学、分析化学和有机化学的基本内容进行优化和精选；其次，加强基础，突出重点，弱化了复杂公式、烦琐计算的推导以及深奥的化学理论分析和阐述，将教学内容与专业知识相结合，更注重实用性；最后，吸收了新技术、新工艺、新规范，并融入了课程思政元素。

本书共九个项目，分别介绍了化学的基本概念和基本计算、化学反应及其规律、分析化学概述、滴定分析法、酸碱滴定法、有机化合物、非金属、金属、化学与环境。各项目均配有学习目标、练一练、实验训练及小贴士、思考练习、思政之窗等互动内容。

本书具有以下特点：

1. 注重实践：本书不仅介绍了化学基础知识，还涵盖了许多实际应用实验，旨在帮助读者更好地理解化学知识及在实际生活和工作中灵活应用。

2. 内容系统：本书从化学基础知识入手，逐步深入，系统地介绍了化学原理、实验技能以及应用领域等方面的知识。

3. 实用性强：本书不仅适合高职高专化学相关专业的学生阅读，也适合从事化学相关工作的技术人员参考。

我们希望，本书能对读者的学习和工作产生积极的影响。希望读者在阅读的过程中能够掌握本书所提供的实用知识和技能，并在实际生活中学以致用。

在本书编写过程中，我们参考了大量国内外的书籍和资料，从中获得了许多启示和灵感。在此，我们向相关作者表示衷心的感谢。

尽管我们尽力而为，但因编者水平有限，书中难免存在不足之处，我们诚挚地邀请广大读者给予批评指正。我们将认真听取读者的意见和建议，以便在未来的版本中进行改进和完善。

编者

2024年6月

CONTENTS

目 录

项目一 基本概念和基本计算	1
任务一 原子结构	2
任务二 元素周期律	6
任务三 化学键	11
实验一 化学实验基本操作	13
实验二 溶解、结晶、抽滤与固体的干燥	18
项目二 化学反应及其规律	25
任务一 化学反应速率	26
任务二 化学平衡	28
任务三 酸碱平衡	32
任务四 缓冲溶液	35
任务五 沉淀溶解平衡	39
任务六 配位平衡	41
任务七 氧化还原平衡	44
实验一 缓冲溶液的配制和酸度计的使用	46
实验二 化学反应速率、反应级数和活化能测定	50
项目三 分析化学概述	54
任务一 定量分析的方法及分类	55
任务二 定量分析中的误差	56
任务三 有效数字及其运算规则	60
实验一 容量瓶的使用技术	62
实验二 离子的分离与鉴定	65
项目四 滴定分析法	72
任务一 滴定分析概述	73
任务二 基准物质和标准溶液	75
任务三 滴定分析法的有关计算	77
任务四 滴定分析常用仪器	79
实验一 滴定管的使用技术	81
实验二 实验酸碱滴定练习	87
项目五 酸碱滴定法	90
任务一 酸碱质子理论	91

任务二	弱电解质的电离平衡	91
任务三	指示剂的选择	94
任务四	酸碱滴定法	99
实验一	HCl 标准溶液的配制与标定	101
实验二	果蔬样品总酸度测定	103
项目六	有机化合物	107
任务一	有机化合物概述	108
任务二	饱和烃——烷烃	112
任务三	不饱和烃——烯烃和炔烃	114
任务四	芳香烃	120
任务五	烃的衍生物	123
任务六	合成高分子材料	134
实验一	有机化学玻璃仪器使用的基本技能	139
实验二	有机化学实验的基本技能	142
实验三	乙酰苯胺的制备实验	145
项目七	非金属	147
任务一	非金属概述	148
任务二	常用的酸	154
任务三	常用的盐	156
任务四	硅酸盐及其工业产品	157
实验一	水样中化学耗氧量 (COD) 的测定 (重铬酸钾法)	159
实验二	自来水总硬度的测定	160
项目八	金属	164
任务一	金属概述	165
任务二	铝	167
任务三	铁	169
任务四	稀土元素	171
任务五	金属的腐蚀及防护	172
实验一	高炉渣中 TiO ₂ 含量测定	175
实验二	铁矿石中全铁含量的测定	177
项目九	化学与环境	181
任务一	大气的污染及控制	182
任务二	水体的污染及控制	189
实验一	表面张力的测定——大气泡法	191
实验二	燃烧热测定	195
参考文献	201

项目一

基本概念和基本计算

学习目标

知识目标

- △理解原子的基本构成，包括质子、中子和电子并掌握电子在原子中的排布规律。
- △充分理解同位素的概念，包括其形成和应用。
- △掌握元素周期律的基本原理和元素周期表的构成和布局方式。
- △理解元素的性质如何与其在周期表中的位置有关。
- △掌握离子键和共价键的形成机制，并理解它们在化学反应中的重要角色。

能力目标

- △能够运用理论知识描述原子的组成并分析和识别不同元素。
- △能根据电子排布规律识别元素性质。同时，根据同位素的概念能解答有关化学问题。
- △能够使用周期表进行元素的分类和识别，并能解释元素的物理和化学性质如何表现周期性。
- △能应用知识解释离子键和共价键在化学反应和物质性质中的影响。

素质目标

- △培养学生综合分析信息的能力，通过深入理解元素周期律培养学生的逻辑分析能力。
- △提高学生的实验技能，自我学习、研究和探究的能力。
- △强化学生的逻辑思维和解决问题的能力，具备评价科学现象和现实问题的能力，提升科学思维。

思政之窗

在深入学习原子结构的过程中，使学生了解科学探究的方法和步骤。通过踊跃参与科学实验与深度讨论，持续探索未知的科学领域，并深刻认识到科学研究对于社会进步所发挥的深远作用。同时，通过实践操作的锻炼，学生将进一步加深对原子结构及其重要性的理解，从而培养其批判性思维、科学逻辑思维，为未来从事科研事业奠定坚实的基础。



任务一 原子结构



在地球上，有高山、大海，有树木、花草、鸟兽，有人类平时所需的生活用品，如图 1-1 所示，你知道这些物质是由什么组成的吗？



图 1-1 形态各异的物质

一、原子的组成

原子是由居于原子中心的带正电荷的原子核和在核外做高速运动的带负电荷的电子构成的。原子很小，原子核更小。原子核的半径约为原子半径的十万分之一，它的体积只占原子体积的几千亿分之一，如果把原子看成是直径为 10 m 的球体，则原子核只有大头针尖大小。所以，原子内部绝大部分是“空”的，电子就是在这个空间里做高速运动。

原子核虽小，也是由更小的粒子所组成，即由质子和中子所构成。每个质子带一个单位正电荷，中子呈电中性，核电荷数(符号为 Z)由质子数决定。由于每个电子带一个单位的负电荷，所以，原子核带的电荷量跟核外电子所带的电荷量相等而电性相反，因此，原子作为一个整体不显电性。

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

练一练

根据所学的知识，填写表 1-1。

表 1-1 原子的组成

构成原子的粒子		电性和电荷量	质量/kg	相对质量 ^①	相对质量近似值
原子核	质子		$1.672\ 6 \times 10^{-27}$		
	中子		$1.674\ 8 \times 10^{-27}$		
核外电子			$9.109\ 5 \times 10^{-31}$		

注：①相对质量是以 12C 原子的质量的 1/12 为标准相比较而得的数值(12C 原子的质量是 $1.992\ 7 \times 10^{-26}$ kg)。



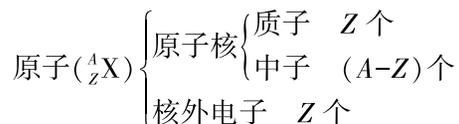
通过对表 1-1 的观察,你认为原子的质量主要集中在原子核上还是核外电子上?

如果电子的质量忽略不计,原子的相对质量的整数部分就等于质子相对质量(取整数)和中子相对质量(取整数)之和,这个数叫作质量数,用符号 A 表示。中子数用符号 N 表示,则

$$A = Z + N$$

因此,只要知道上述三个数值中的任意两个,就可以推算出另一个值来。例如,知道氯原子的核电荷数为 17,质量数为 35,则其中子数 = $35 - 17 = 18$ 。

归纳起来,如以 A_ZX 代表一个质量数为 A 、质子数为 Z 的原子,那么原子组成可表示如下:



二、核外电子的排布规律

我们知道,电子是带负电荷的质量很小的粒子,在原子核外的空间做高速运动。在含有多个电子的原子中,电子的能量并不相同,在离核近的区域运动的电子能量较低,在离核远的区域运动的电子能量较高,我们把这些“区域”叫作电子层(通常用 n 表示)。这就是说,在原子核外,有能量互不相同的多个电子层,其能量由内到外依次增高。按由内到外的顺序, $n=1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$ 的各个电子层,又分别用符号 K、L、M、N、O、P、Q 来表示。离核最近的叫作第一电子层($n=1$),也叫 K 电子层;第二电子层($n=2$)也称 L 电子层;以此类推。核外电子运动状态的不同,决定了核外电子的分层排布。

电子在排布时,一般总是先排布在能量最低的电子层里。对于核电荷数 $1 \sim 18$ 的原子来说,核外电子的排布是先排 K 层, K 层排满后,再排 L 层, L 层排满后,再排 M 层。表 1-2 是核电荷数为 $1 \sim 18$ 的元素原子核外电子的排布情况,表 1-3 是稀有气体元素原子核外电子的排布情况。

表 1-2 核电荷数为 $1 \sim 18$ 的元素原子核外电子的排布

核电荷数	元素名称	元素符号	各电子层的电子数			
			K	L	M	N
1	氢	H	1			
2	氦	He	2			
3	锂	Li	2	1		
4	铍	Be	2	2		
5	硼	B	2	3		
6	碳	C	2	4		
7	氮	N	2	5		
8	氧	O	2	6		
9	氟	F	2	7		



续表

核电荷数	元素名称	元素符号	各电子层的电子数			
			K	L	M	N
10	氖	Ne	2	8		
11	钠	Na	2	8	1	
12	镁	Mg	2	8	2	
13	铝	Al	2	8	3	
14	硅	Si	2	8	4	
15	磷	P	2	8	5	
16	硫	S	2	8	6	
17	氯	Cl	2	8	7	
18	氩	Ar	2	8	8	

表 1-3 稀有气体元素原子核外电子的排布

核电荷数	元素名称	元素符号	各电子层的电子数					
			K	L	M	N	O	P
2	氦	He	2					
10	氖	Ne	2	8				
18	氩	Ar	2	8	8			
36	氪	Kr	2	8	18	8		
54	氙	Xe	2	8	18	18	8	
86	氡	Rn	2	8	18	32	18	8

一般来说,最外层 8 个电子是相对稳定的结构。原子核外电子的排布可以用原子结构示意图来表示,图 1-2 是从氢到氩元素的原子结构示意图。

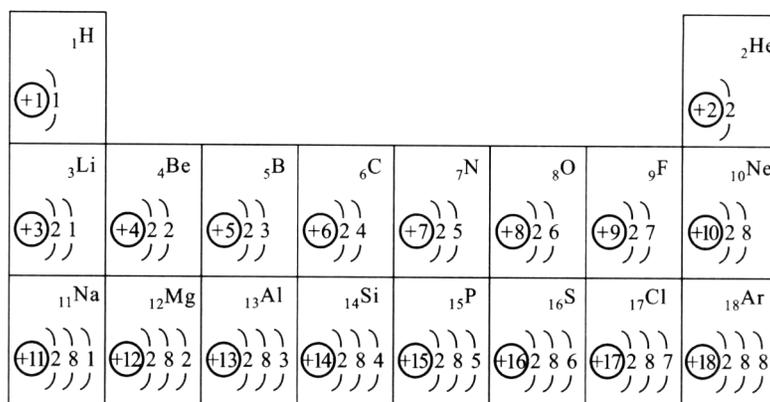


图 1-2 从氢到氩元素的原子结构示意图



三、同位素



元素是具有相同核电荷数(即质子数)的同一类原子的总称。也就是说,同种元素原子核中的质子数是相同的。那么,它们的中子数是否相同呢?请填表 1-4 并得出结论。

表 1-4 氢的 3 种同位素

符号	名称	俗称	质子数	中子数	核电荷数	质量数
${}^1_1\text{H}$ 或 H	氕(piē)	氢				
${}^2_1\text{H}$ 或 D	氘(dāo)	重氢				
${}^3_1\text{H}$ 或 T	氚(chuān)	超重氢				

科学研究证明,同种元素原子核中的质子数相同,但它们的中子数不一定相同。我们将质子数相同,而中子数不同的同种元素的几种原子,叫作该元素的同位素。表 1-4 中列举的是氢的三种同位素, ${}^2_1\text{H}$ 、 ${}^3_1\text{H}$ 是制造氢弹的材料。

大多数的元素都有同位素。铀元素有 ${}^{234}_{92}\text{U}$ 、 ${}^{235}_{92}\text{U}$ 、 ${}^{238}_{92}\text{U}$ 多种同位素, ${}^{235}_{92}\text{U}$ 是制造原子弹的材料和核反应堆的燃料。碳元素有 ${}^{12}_6\text{C}$ 、 ${}^{13}_6\text{C}$ 、 ${}^{14}_6\text{C}$ 等几种同位素,而 ${}^{12}_6\text{C}$ 就是我们当作相对原子质量标准的碳原子。

在天然存在的某种元素中,不论是游离态还是化合态,各种同位素所占的原子百分比一般是不变的。我们平常所用的某种元素的相对原子质量,是按各种天然同位素原子所占的一定百分比计算出来的平均值。例如,氯元素有 ${}^{35}_{17}\text{Cl}$ 和 ${}^{37}_{17}\text{Cl}$ 两种同位素,根据下列数据可以计算出氯元素的相对原子质量,见表 1-5 所列。

表 1-5 氯元素的相对原子质量

符号	同位素的相对原子质量	在自然界各同位素原子的含量
${}^{35}_{17}\text{Cl}$	34.969	75.77%
${}^{37}_{17}\text{Cl}$	36.966	24.23%

$$\text{氯元素的相对原子质量} = 34.969 \times 75.77\% + 36.966 \times 24.23\% = 35.453$$

如果已知同位素的质量数,也可以计算出该元素的近似相对原子质量。同位素中不同原子的质量虽然不同,但它们的化学性质几乎相同。

知识之窗

放射性同位素的用途

有些同位素能够发出肉眼看不见的射线来,这些射线可以使密封的照相底片感光,这样的同位素叫作放射性同位素。

放射性同位素的化学性质和一般的元素一样。如果用一种元素的放射性同位素来代替某一化合物中的该元素,并不会改变这个化合物的化学性质,但这个化合物就有放射性了。利用专门仪器对放射性的观察,便可以知道这种元素的变化情况,用于这方面的放射性同位素又叫作同位素示踪原子。



续表

元素符号	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar
核外电子排布	$\left. \begin{array}{c} \left. \left. \right) \right) \right) \\ 2\ 8\ 1 \end{array} \right\}$	$\left. \begin{array}{c} \left. \left. \left. \right) \right) \right) \\ 2\ 8\ 2 \end{array} \right\}$	$\left. \begin{array}{c} \left. \left. \left. \right) \right) \right) \\ 2\ 8\ 3 \end{array} \right\}$	$\left. \begin{array}{c} \left. \left. \left. \left. \right) \right) \right) \right) \\ 2\ 8\ 4 \end{array} \right\}$	$\left. \begin{array}{c} \left. \left. \left. \left. \right) \right) \right) \right) \\ 2\ 8\ 5 \end{array} \right\}$	$\left. \begin{array}{c} \left. \left. \left. \left. \right) \right) \right) \right) \\ 2\ 8\ 6 \end{array} \right\}$	$\left. \begin{array}{c} \left. \left. \left. \left. \right) \right) \right) \right) \\ 2\ 8\ 7 \end{array} \right\}$	$\left. \begin{array}{c} \left. \left. \left. \left. \right) \right) \right) \right) \\ 2\ 8\ 8 \end{array} \right\}$
$\frac{\text{原子半径}}{\text{nm}}^{\text{①}}$	0.186	0.160	0.143	0.117	0.110	0.102	0.099	0.191
主要化合价	+1	+2	+3	+4 -4	+5 -3	+6 -2	+7 -1	0

注：①1 nm = 10⁻⁹ m。

通过表 1-6，我们可以归纳出一条重要规律，就是元素的性质随着原子序数的递增而呈周期性的变化。这个规律叫作元素周期律，如图 1-3 所示。

该规律由俄国化学家门捷列夫(图 1-4)于 1869 年在前人工作的基础上总结出来的。由于元素周期律的发现，人们认识到自然界化学元素之间不是彼此孤立、没有联系的，而是一个有规律的变化着的完整体系。

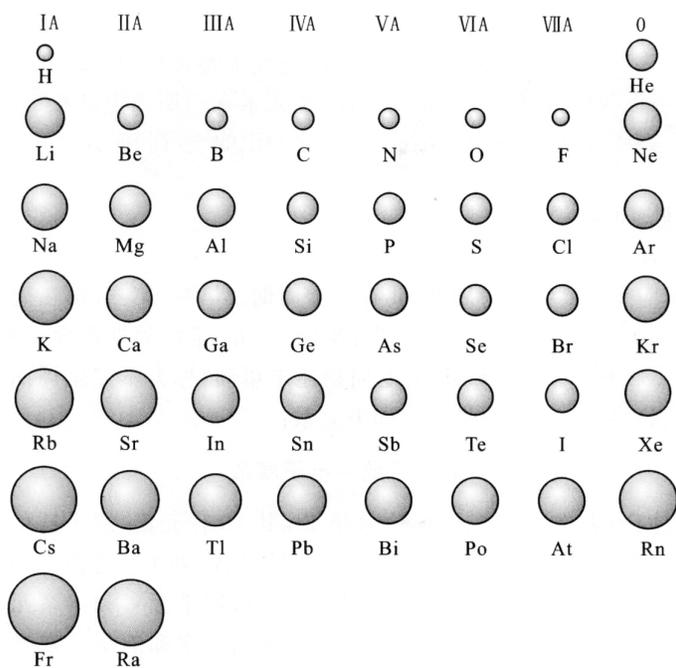


图 1-3 元素原子半径的周期性变化

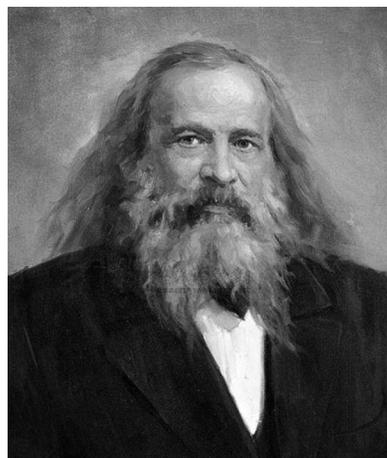


图 1-4 门捷列夫(1834—1907)

知识之窗

元素周期表的发现

从 19 世纪开始，人类已经积累了大量的化学事实。在纷乱复杂的物质、变化、现象面前，很多化学家都在探索化学的理论和规律，1803 年，道尔顿创立原子论，解释了参加化学反应的物质之间存在的数量关系。此后元素性质与原子质量间的关系成了化学家关注的热点。1829 年，德贝赖纳提出“三素组”的概念，他把性质相似的三种元素编在一个组，如 Li、Na、K。1864 年，纽兰兹提出“八音律”，他将元素按原子质量顺序排列，最开始的七种性质各不相同，但第八种与第一种元素的性质相似，如 F、Na、Mg、Al、Si、P、S、Cl、K、Ca 等。



俄国化学家门捷列夫, 1855 年以优异的成绩大学毕业, 后来在彼得堡大学任教。他把当时已知的元素制成像扑克牌一样的卡片, 整天沉醉于寻找元素性质与原子质量间关系的研究中, 当时连他的导师也不支持他的观点。门捷列夫没有放弃, 也没有灰心, 敢于冲破传统思想束缚, 继续全身心地进行研究。最后, 他终于编制出第一张元素周期表, 并于 1871 年以“化学元素的周期性依赖关系”为题, 发表了论文。

元素的性质随原子质量(更准确地说是原子序数)的增加呈周期性的变化的规律诞生了。令人敬佩的是, 门捷列夫尊重客观事实, 在他的周期表中大胆地留下了几个空格, 并预言了它们的性质。之后的 10 年里, 人们在周期律的指导下, 很快发现了 10 种元素, 其中包括了门捷列夫预言的三种元素(即 Ga、Sc、Ge)。这些元素的性质使他的预言完全得到证实。

元素周期律的发现揭示了元素之间的内在联系, 指导人们去发现新元素、寻找新材料。

二、元素周期表

根据元素周期律, 把现在已发现的 100 多种元素, 电子层数目相同的按原子序数递增的顺序由左到右排成同一横行, 把不同横行中最外层(有时还需要考虑次外层)的电子数目相同的按电子层数递增的顺序由上而下排成纵行, 这样就得到一个元素周期表(见附录)。元素周期表是元素周期律的具体表现形式。

1. 周期

元素周期表的横行称为周期, 共有 7 个周期。第一、第二、第三周期所含元素较少, 分别为 2、8、8 种, 称为短周期; 第四、第五、第六周期所含元素较多, 分别为 18、18、32 种, 称为长周期; 第七周期还未填满, 称为不完全周期。元素周期表中周期的序数与电子层结构有如下关系:

$$\text{周期序数} = \text{电子层数}$$

第六周期中从 57 号镧 La 到 71 号镱 Lu 共 15 种元素, 原子结构和性质极为相似, 总称为镧系元素。第七周期中的 89 号锕 Ac 到 103 号铷 Lr 共 15 种元素, 总称为锕系元素。为使周期表的结构紧凑, 将镧系元素和锕系元素在周期表中各占一格, 按照原子序数递增的顺序, 将镧系元素和锕系元素排成两个横行放在周期表的下方。

2. 族

周期表中有 18 个纵行, 一般每一纵行为一族(只有第 8、第 9、第 10 三纵行为一族), 共分为 16 个族。

主族: 由短周期元素和长周期元素共同构成的族叫主族, 周期表中共 7 个主族, 分别用 I A、II A、III A、IV A、V A、VI A、VII A 表示。主族的序数与周期表中电子层的结构有如下关系:

$$\text{主族序数} = \text{最外层电子数}$$

副族: 完全是由长周期元素构成的族叫副族, 周期表中共 7 个副族, 分别用 I B、II B、III B、IV B、V B、VI B、VII B 表示。

零族: 由稀有气体元素构成的族叫零族, 周期表中只有 1 个零族。因为它们的化学性质很不活泼, 把它们的化合价看作零, 故称零族, 用“0”表示。

第 VIII 族: 由第 8、第 9、第 10 三个纵行的元素构成的族叫第 VIII 族, 周期表中也只有 1 个, 用 VIII 表示。

现也有的周期表中零族以 VIII A 表示, VIII 族以 VIII B 表示。



三、元素的性质和原子结构的关系

1. 原子结构与元素的金属性和非金属性的关系

金属性是指元素原子失去电子形成阳离子的性质。通常用这些元素的单质跟水或酸反应置换出氢的难易程度,以及形成最高价氧化物对应的水化物的碱性强弱,来判断元素的金属性的强弱。

非金属性是指元素原子获得电子形成阴离子的性质。通常用其单质跟氢气生成气态氢化物的难易程度,或形成最高价氧化物对应的水化物的酸性强弱,来判断元素的非金属性的强弱。

练一练

从下面两个实验,你可以得出钠、镁、铝的金属性的强弱顺序吗?同一周期的元素随着原子序数的增加,它们得失电子能力、金属性或非金属性的变化有规律吗?

【实验1】向盛有少量水的烧杯中滴入几滴酚酞溶液,再放入一块绿豆大小的金属钠,观察发生的现象。取少许镁粉置于另一盛有少量水的试管中,往水中滴几滴酚酞溶液,观察现象;然后加热试管至溶液沸腾,再观察现象(表1-7)。

表1-7 钠和镁的金属性记录表

金属	置于滴有酚酞溶液的水中	加热试管	化学方程式
金属钠		—	
镁粉			$\text{Mg} + 2\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\Delta} \text{Mg}(\text{OH})_2 \downarrow + \text{H}_2 \uparrow$

【实验2】取一小片铝片和一小段镁条,用砂纸擦去氧化膜,然后分别放入2支试管中,再各加入2 mL 1 mol/L 盐酸,观察发生的现象(表1-8)。

表1-8 铝和镁的金属性记录表

金属	盐酸	化学方程式
铝片		
镁条		

同周期的元素,从左到右随着核电荷数的递增,原子半径逐渐减小(稀有气体元素除外),原子核对外层电子的引力逐渐增大,失电子能力逐渐减弱,得电子能力逐渐增强。所以,元素的金属性逐渐减弱,如 $\text{Na} > \text{Mg} > \text{Al}$; 非金属性逐渐增强,如 $\text{P} < \text{S} < \text{Cl}$ 。金属元素的最高价氧化物对应的水化物的碱性逐渐减弱,如 $\text{NaOH} > \text{Mg}(\text{OH})_2 > \text{Al}(\text{OH})_3$; 非金属元素的最高价氧化物对应的水化物的酸性逐渐增强,如 $\text{H}_3\text{PO}_4 < \text{H}_2\text{SO}_4 < \text{HClO}_4$ (高氯酸)。

同一主族的元素,从上到下随着电子层数逐渐增多,原子半径逐渐增大,得电子能力逐渐减弱,失电子能力逐渐增强。所以,元素的非金属性逐渐减弱,金属性逐渐增强。例如,第 I A 族元素,金属性 $\text{Li} < \text{Na} < \text{K}$,氧化物对应的水化物的碱性 $\text{LiOH} < \text{NaOH} < \text{KOH}$; 第 V A 族元素,非金属性 $\text{N} > \text{P}$,最高价氧化物对应的水化物的酸性 $\text{HNO}_3 > \text{H}_3\text{PO}_4$ 。

主族元素的金属性和非金属性递变规律,见表1-9所列。副族元素化学性质的变化规律比较复杂,这里不讨论。

从表1-9中可以看出,如果在元素周期表中沿着硼、硅、砷、碲、砹跟铝、锗、铋、钋之间画一条

折线，折线左下面的是金属元素，折线右上面的是非金属元素。

表 1-9 主族元素金属性和非金属性的递变

周期	族						
	I A	II A	III A	IV A	V A	VI A	VII A
1	非金属性逐渐增强 →						
2	↓ 金属性逐渐增强						↑ 非金属性逐渐增强
3							
4							
5							
6							
7							
		← 金属性逐渐增强					



在元素周期表中，哪一种元素的金属性最强？哪一种元素的非金属性最强？它们分别位于元素周期表中的什么位置？

2. 原子结构与化合价的关系

元素的化合价和原子的电子层结构，特别是与最外层的电子数目有密切关系。通常，我们将元素原子的最外层电子叫作价电子。有些元素(副族)的价电子除最外层电子外，还包括次外层，甚至包括倒数第三层的部分电子。元素的价电子全部失去后所表现出的化合价称为最高正价。各主族元素的价电子数和化合价的关系，见表 1-10 所列。

表 1-10 各主族元素的价电子数和化合价的关系

主族	I A	II A	III A	IV A	V A	VI A	VII A
价电子数	1	2	3	4	5	6	7
最高正价	+1	+2	+3	+4	+5	+6	+7
负化合价				-4	-3	-2	-1

从表 1-8 可以看出，对于主族元素，存在如下关系：

元素的最高正化合价 = 主族的序数

非金属元素的负化合价 = 最高正化合价 - 8

副族元素和第 VIII 族元素的化合价比较复杂，在这里不作介绍。

从上述分析我们可以知道，元素的性质是由原子结构决定的。元素在元素周期表中的位置反映了元素的原子结构和它所具有的一定的性质。所以，元素性质、原子结构和该元素在元素周期表中的位置三者之间有着密切的关系。我们可以根据元素在周期表中的位置，推断它的原子结构和具有的性质；反过来，也可根据元素的原子结构，推断它在元素周期表中的位置。

例如，已知某元素的原子序数为 17，推断该元素在元素周期表中的位置。该元素原子结构示意图为 $(+17) 2 8 7$ ，因为周期的序数 = 电子层数，主族的序数 = 最外层电子数，所以，该元素属于第三周期、第七主族即 VIIA 族的元素。



知识之窗

生命元素在周期表中的分布

在元素周期表中,生命元素有 22 种,它们大多分布在第一至第四周期,少数分布在第五周期。生物体中含量最多的元素是 C、H、O 和 N。在参与生物体组成的元素中,氢是最轻的元素,碘是最重的元素。

在生命元素中,除 H 外,C、H、O、N、P 和 S 等在元素周期表中的位置都靠得较近,几乎成了一条“生命线”,它们是生物细胞中有机成分的主要组成元素。表 1-11 列出了组成生物体的元素或离子符号。

表 1-11 组成生物体的元素或离子符号

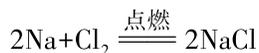
名称	元素或离子符号
组成生物体的元素	C、H、O、N、P、S
单原子离子	Na ⁺ 、K ⁺ 、Ca ²⁺ 、Mg ²⁺ 、Cl ⁻
微量元素	Mn、Fe、Co、Cu、Zn
其他元素	B、Al、V、Mo、I、Si(这 6 种元素不是所有生物体都有的)

任务三 化学键

原子和原子能够相互结合,说明它们之间一定存在着某种相互作用。我们将分子中相邻原子之间强烈的相互作用称为化学键。化学键的主要类型有离子键、共价键和金属键等。

一、离子键

我们知道,金属钠可以在氯气中燃烧,发生剧烈反应,生成氯化钠。



这是因为钠原子最外层有 1 个电子,容易失去,形成带 1 个单位正电荷的 Na⁺: Na-e⁻→Na⁺;而氯原子最外层有 7 个电子,容易获得 1 个电子,形成带 1 个单位负电荷的 Cl⁻: Cl+e⁻→Cl⁻。钠原子和氯原子失得电子后,都形成了稳定的结构。钠离子与氯离子之间除了静电相互吸引的作用外,还有电子与电子、原子核与原子核之间的相互排斥作用,当吸引与排斥作用达到平衡时,阴、阳离子之间就形成了稳定的化学键(图 1-5)。

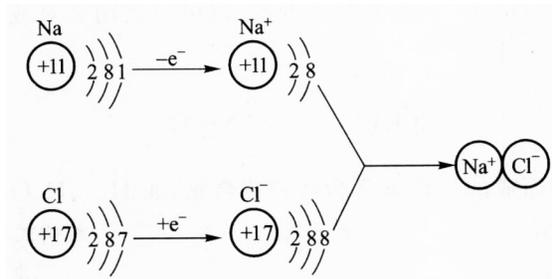
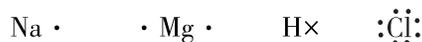


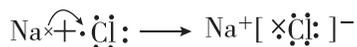
图 1-5 氯化钠的形成示意图



在化学反应中,一般都是原子的最外层电子参与反应。为描述方便,我们可以在元素符号的周围用“·”或“×”来表示原子的最外层电子,这样的式子叫作电子式。例如,Na、Mg、H、Cl等原子的电子式如下:



我们可以用电子式表示物质的形成过程。例如,用电子式表示氯化钠的形成过程:



像氯化钠那样,阴、阳离子通过静电作用所形成的化学键,叫作离子键。由离子键结合成的化合物称为离子化合物。

活泼的金属(如钾、钠、钙等)与活泼的非金属(如氯、溴、氧等)化合时,能形成离子键。绝大多数盐类、碱类和部分金属氧化物都是离子化合物,如KCl、ZnSO₄、NaOH、CaO等。

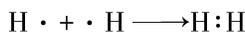
二、共价键

活泼的金属与活泼的非金属化合时能形成离子键。那么,非金属之间相互化合时的情况又如何呢?让我们看一看氢原子形成氢分子时的情况:



当1个氢原子和另1个氢原子相互作用时,由于它们得失电子的能力相同,都不能失去或得到电子,只有采用各提供1个电子,组成1个电子对,使2个原子的电子层都达到稳定结构,这种电子对称为共用电子对。

用电子式表示氢分子的形成过程如下:



在化学上,通常用一根短线表示1对共用电子对,因此氢分子又可表示为H—H,这种表示的方式称为结构式。

像氢分子那样,原子间通过共用电子对所形成的化学键,叫作共价键。原子之间可以共用1对电子,形成1个共价键;也可以共用2对或3对电子,形成2个或3个共价键。例如:



由共价键结合而成的化合物称为共价化合物,如HCl、H₂O、NH₃等:

化学式	电子式	结构式
HCl	$\text{H}:\ddot{\text{Cl}}:$	H—Cl
H ₂ O	$\text{H}:\ddot{\text{O}}:\text{H}$	$\begin{array}{c} \text{O} \\ / \quad \backslash \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}$
NH ₃	$\text{H}:\ddot{\text{N}}:\text{H}$ H	$\begin{array}{c} \text{N} \\ / \quad \quad \backslash \\ \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \end{array}$

在单质分子(如H₂、Cl₂、O₂、N₂等)中,由于同种原子吸引电子的能力相同,共用电子对不偏向任何一方,这种共价键称为非极性共价键,简称“非极性键”。例如,H—H键、Cl—Cl键就是非极性键。

在共价化合物分子(如HCl、H₂O、CO₂、NH₃等)中,由于不同种原子吸引电子的能力不同,共用电子对偏向于吸引电子能力较强的一方。因此,吸引电子能力强的原子就带部分负电荷,吸引电子能力弱的原子就带部分正电荷,这样的共价键称为极性共价键,简称“极性键”。例如,在HCl分子中,Cl原子吸引电子的能力比H原子强,共用电子对偏向Cl原子一端,使Cl原子一端带部分负电荷,H原子一端带部分正电荷,因此H—Cl键是极性键。



实验一 化学实验基本操作

一、实验目的

1. 掌握基本的化学实验技能。
2. 学习化学实验的基本规则。
3. 培养实验观察与数据记录能力。

二、实验步骤

(一) 玻璃仪器的洗涤

要使实验达到预期的目的,实验仪器必须洗涤干净。对于可溶性物质、尘土和一般不溶性物质可用毛刷刷洗,若有油污可用去污粉、肥皂或合成洗涤剂沾水洗刷。洗刷时毛刷在被洗仪器中转动或上下移动(图 1-6),但不要用力过猛,以免损坏仪器。刷洗后,用自来水冲去仪器内外的污物,将仪器倒置,当看到水完全流尽而没有水珠附着在器壁上时,再用蒸馏水多次冲洗,就是干净仪器了。

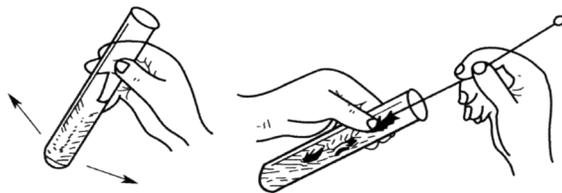


图 1-6 试管的洗涤

小贴士

洗涤玻璃仪器时应注意:

- (1) 盛有反应物的仪器一定要把反应物倾出,并将反应物放入指定容器内,再进行洗涤;
- (2) 灼热的玻璃仪器应放凉后再洗涤,以防炸裂;
- (3) 对于有特殊黏附物的仪器,要根据器壁上黏附物的性质,用化学试剂处理后,再按一般情况进行洗涤;
- (4) 已洗净的仪器,不要用布或纸去擦,应倒置于仪器架上晾干,急用时可烤干或烘干。

(二) 药品的取用

实验室里所用药品,很多是易燃、易爆、有腐蚀性或有毒的,使用时一定要严格遵照有关规定和操作规程,注意安全。不能用手接触药品,不要把鼻孔凑到容器口去闻药品的气味,不得尝任何药品的味道。应严格按照实验规定的用量取用药品。如果没有说明用量,一般应按最小量取用。液体取 1~2 mL,固体只需盖满试管底部。实验剩余的药品不能放回原瓶,也不要随意丢弃,应放入指定的容器内。

1. 固体药品的取用

向试管或烧瓶内装入固体粉末或小颗粒时,应用药匙或折叠的“V”形纸槽,如图 1-7 所示。

向试管或瓶内装块状固体药品或金属颗粒时,要将试管倾斜,用镊子夹取块状物放置管口内,使其沿管壁缓缓滑落到容器底部。



图 1-7 往试管里装固体粉末

2. 液体药品的取用

(1) 取用细口瓶里的液体。先拿下瓶盖，倒放在实验台上，使标签对着手心，拿起试剂瓶，向容器中缓缓倾倒(图 1-8)，倾倒完毕后再把试剂瓶口在容器口上贴靠一下，以防止瓶口残留液滴流到外壁，最后盖好瓶盖，放回原处。

(2) 取用一定体积液体药品。用量筒量取。量筒应放平稳，读取量筒内溶液体积的数据时，眼睛应和液体凹面的最低处保持水平，如图 1-9 所示。



图 1-8 液体的倾倒

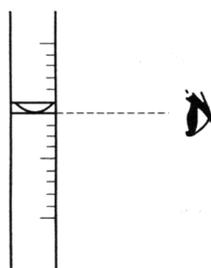


图 1-9 读取量筒内液体体积

在一些定性实验中，如不需要准确量取试剂体积时，不必每次都用量筒，要学会估计液体的量，应知道 1 mL 液体大约占试管的容量。

(3) 取少量液体药品。要用胶头滴管吸取。操作时不要把滴管口伸入容器内，或与器壁接触，以免沾污滴管，如图 1-10 所示。

(4) 取用较多量的液体。药品可直接倾倒。如用烧杯等大口容器，倾倒试剂时要用玻璃棒引流，如图 1-11 所示。

如往小口容器中倾倒试剂，可借助洁净的漏斗。

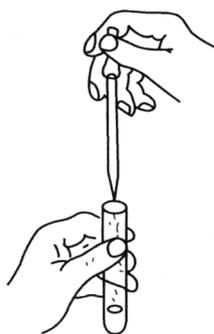


图 1-10 滴管的使用



图 1-11 液体试剂倒入烧杯

(三) 药品的称量

为了较准确地取用一定量的固体药品，实验室常用电子天平进行称量。这类天平通常能够称准至 0.0001 g 或更高精度。电子天平构造如图 1-12 所示。

称量前，先确保天平处于水平状态，并清洁天平表面及称量容器。打开天平电源，等待预热时间结束后进行归零或校准操作，确保显示为零。



称量时，将干净干燥的称量纸或容器放置在天平上，并记录下容器的质量(即皮重)。然后小心地向容器中加入药品，直到达到所需的重量。关闭天平的防风门，等待读数稳定后记录总重量。从总重量中减去容器的皮重，得到药品的实际质量。

称量完毕后，应关闭天平电源，并清理天平表面。

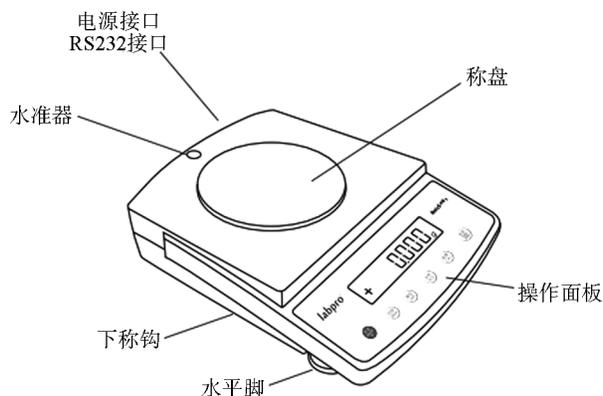


图 1-12 电子天平构造

小贴士

在整个称量过程中，注意避免环境干扰，如避免气流影响，并使用药匙或其他工具转移药品，避免直接用手接触药品。

(四) 物质的加热

在化学实验中，酒精灯是最常用的加热工具。加热前，必须将器皿外壁上的水擦干；加热时，应把受热物质放在酒精灯的外焰部分；加热后，器皿不能立即与潮湿的物体接触。

1. 给液体加热

给液体加热可用试管、烧杯、烧瓶等。加热烧杯、烧瓶中的液体，应垫上石棉网，加热试管中的液体，可直接在火焰上加热。试管内液体体积不能超过试管容积的 $1/3$ 。试管口向上，与桌面成 45° ，先使试管均匀受热，然后加热试管的中下部，并不断上下移动试管。试管口不可对着任何人，如图 1-13 所示。

2. 给固体加热

给固体加热可用干燥的试管，蒸发皿等。加热试管中的固体，应将固体物质斜铺在试管底部，试管口略向下倾斜。先均匀加热，待试管均匀受热后，再把灯焰固定在试管中固体物质下面加热，如图 1-14 所示。

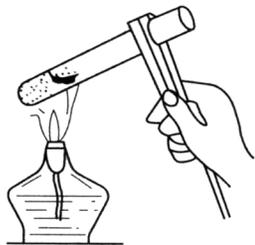


图 1-13 加热试管中的液体

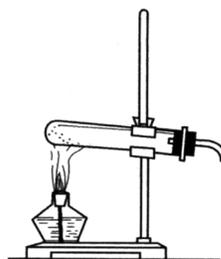


图 1-14 加热试管中的固体



(五) 连接玻璃仪器

1. 把玻璃管插入带孔橡皮塞

把要插入塞子的玻璃管一端用水润湿，左手拿橡皮塞，右手拿玻璃管，稍稍用力转动，使玻璃管插入，如图 1-15 所示。

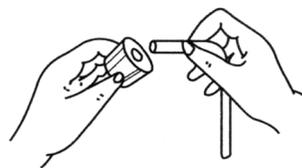


图 1-15 把玻璃管插入橡皮塞的孔里

小贴士

进行操作需要做好充分的防护措施，如佩戴好手套、护目镜等防护装备，右手拿玻璃管时不要离插入端太远，不要用力过猛，否则玻璃管易折断，刺破手掌，要有效避免潜在伤害风险。

2. 连接玻璃管和胶皮管

左手拿胶皮管，右手拿玻璃管，把玻璃管口用水润湿，稍稍用力即可把玻璃管插入胶皮管，如图 1-16 所示。

3. 在容器口塞橡皮塞

左手拿容器，右手拿橡皮塞慢慢转动，塞进容器口，如图 1-17 所示。注意，不可把容器放在实验台上使劲塞进塞子。

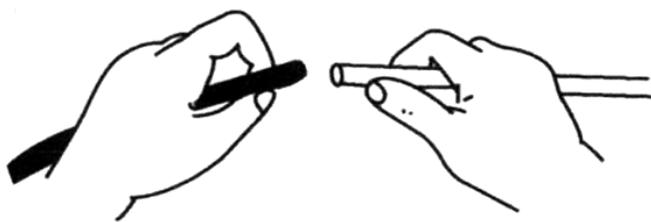


图 1-16 在玻璃管上套上胶皮管

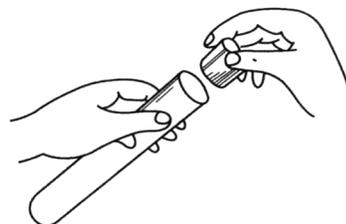


图 1-17 用橡皮塞塞住试管

(六) 检查装置的气密性

如图 1-18 所示，把导管一端浸在水里，两手紧握容器的外壁。片刻后，导管口有气泡冒出，说明装置不漏气。否则需找出原因，进行调整，直至装置不漏气才能进行实验。



图 1-18 检查装置的气密性

(七) 振荡与搅拌

1. 振荡

振荡试管时，液体不应超过试管容积的 $1/3$ ，用拇指、食指和中指夹持试管的中上部，试管略倾斜。利用手腕的振动，使试管振荡。

2. 搅拌

用玻璃棒在烧杯内搅拌时，烧杯应平放在实验台上，将玻璃棒在烧杯中间或沿烧杯内壁作顺时针方向不停地转动，并间歇作反方向转动。不能用玻璃棒敲击烧杯内壁，也不能用玻璃棒戳击烧杯内的固体物质。

(八) 气体的收集方法

实验室收集气体的方法主要有：排水法、向上排空气法和向下排空气法。

对于不溶于水的气体，可用排水法，如 O_2 、 H_2 、 CH_4 等气体的收集。收集气体前集气瓶中应盛满水，当导管口开始有气泡放出时不应立即收集，应等气泡连续并比较均匀地放出后，再开始收集。



对于比空气密度大的气体可用瓶口向上排空气法，如 Cl_2 、 CO_2 、 H_2S 、 HCl 等气体的收集。

对于比空气密度小的气体可用瓶口向下排空气法，如 NH_3 、 H_2 、 CH_4 等气体的收集。

与空气密度非常接近的气体不宜用排空气法收集。凡是排空气法收集时都应把导管伸入集气瓶的底部，有毒气体的收集应在通风橱中进行，剩余的尾气要用适当的吸收剂加以吸收。

在实验中如果需要试闻某种气体的气味，要用手在容器口轻轻扇动，使极少量的气体飘进鼻孔，如图 1-19 所示。



图 1-19 试闻气体

(九) 指示剂的使用

1. 指示剂的使用

先取少量待测溶液，然后向待测溶液中滴加几滴指示剂，振荡，使之混合均匀，根据溶液显现的颜色，确定溶液的酸碱性或其他定性特征。

2. 试纸的使用

指示剂还可制成各种试纸，如 pH 试纸、石蕊试纸等。

(1) pH 试纸。使用 pH 试纸时，先把试纸剪成小块，然后放于干燥洁净的点滴板的凹穴中或表面皿中，用玻璃棒蘸取少量待测液，点在 pH 试纸上(也可用滴管吸取少量待测液，滴一滴于 pH 试纸上)，观察试纸颜色的变化，显色 0.5 min 内，跟标准比色卡对比，确定溶液的 pH。注意蘸过一种溶液的玻璃棒，要用蒸馏水冲洗干净后再蘸取另一种溶液。

(2) 石蕊试纸。检验气体性质时常用石蕊试纸。石蕊试纸分为蓝色石蕊试纸和红色石蕊试纸。使用时先用蒸馏水把试纸润湿，粘在玻璃棒的一端，并使之接近产生气体的容器或导管口，如果蓝色石蕊试纸变红，说明产生的气体溶于水呈酸性。如果红色石蕊试纸变蓝，说明产生的气体溶于水呈碱性。

无论是使用指示剂还是试纸，都只能将待测溶液取出少许进行测试，绝不可把指示剂滴在试剂瓶中、把试纸伸入溶液中或容器口内。

知识之窗

化学实验室基本规则

化学实验室是开展化学实训教学的场所，存在一定的安全隐患，为确保实验安全，进入化学实验室的人员，必须认真学习和严格遵守化学实验室规则。

(1) 实验前应认真预习与实验有关的知识内容，明确实验目的、要求、基本原理、操作步骤和有关的操作技术，认真做好实验预习，做到心中有数。

(2) 初次进入实验室，应熟悉实验室概况及周围环境，了解实验室具体的潜在危险，了解水、电开关和总开关位置，充分熟悉安全用具，如灭火器、急救箱的存放位置和使用方法。

(3) 进入实验室必须穿白大褂，并根据实际需要做好防护准备。长发应束起，不得披头散发；不可佩戴首饰，不得穿拖鞋、凉鞋或高跟鞋。

(4) 不可将食品或餐具带进实验室，严禁在实验室内饮食。不得用实验用具、器皿盛放食品，不得将私人物品存放在冰箱内或实验室内。



(5) 实验课不得无故迟到或早退, 实验过程中不得擅离实验操作岗位。如发生差错事故或异常现象, 不要惊慌, 应按照安全规则及时处理, 并及时报告指导教师, 查明原因。注意安全, 严防火灾、烧伤或中毒等事故发生。

(6) 遵从教师的指导, 严格按照操作步骤进行实验, 学生若有新的见解或建议, 需要改变实验步骤和试剂用量, 须先征得指导教师同意后方可实施。

(7) 保持实验室内肃静, 不可在实验室里喧哗、嬉闹, 不在实验室做与实验无关的事情。

(8) 爱护仪器、设备, 节约用水, 按量取用药品, 剩余药品要回收, 不可随意丢弃, 也不得带出实验室。取用试剂后, 应随手将试剂瓶的盖子盖好并拧紧。

(9) 未经允许不得使用 and 挪动实验设备, 不得擅自取用与本次实验无关的试剂。

(10) 实验完毕后, 把废液、废渣分别倒入指定的容器内, 清洗仪器并按要求放到指定位置, 清理桌面和室内卫生, 关闭水、电、门、窗, 经老师检查认可后方可离开实验室。

(11) 科学诚信, 不得伪造和修改实验数据, 不得抄袭他人的实验报告。

实验二 溶解、结晶、抽滤与固体的干燥

一、实验目的

1. 理解和实践溶解和结晶过程。
2. 理解和执行抽滤过程和实践固体干燥。

二、实验步骤

(一) 固体的溶解

选定某一溶剂溶解固体样品时, 若固体颗粒较小, 可直接溶解; 若固体颗粒较大, 应考虑对大颗粒固体进行粉碎、加热和搅拌等操作, 以加速溶解。

1. 固体的粉碎

若固体颗粒较大时, 在进行溶解前通常用研钵将固体粉碎。在研磨前, 应先将研钵洗净擦干, 加入不超过研钵总体积 $1/3$ 的固体, 缓慢沿一个方向进行研磨, 切忌在研钵中敲击固体样品。研磨过程中, 可将已经研细的部分取出、过筛, 较大的颗粒继续研磨。

2. 溶剂的加入

为避免烧杯内溶液由于溅出而损失, 加入溶剂时应通过玻璃棒使溶剂慢慢地流入。如溶解时会产生气体, 应先加入少量水使固体样品润湿为糊状, 用表面皿将烧杯盖好, 用滴管将溶剂自烧杯嘴加入, 以避免产生的气体将试样带出。

3. 加热

物质的溶解度受温度的影响, 而加热的目的主要在于加速溶解, 因此应根据被加热物质的稳定性的差异选用合适的加热方法。加热时要防止溶液的剧烈沸腾和迸溅, 因此容器上方应该用表面皿盖住。溶解完停止加热以后, 要用溶剂冲洗表面皿和容器内壁。另外, 加热并不是对一切物质的溶解度都有利, 应该具体情况具体分析。



4. 搅拌

搅拌是加速溶解的一种有效方法,搅拌时手持玻璃棒并转动手腕,使玻璃棒在流体中均匀地转圈,注意转速不要太快,不要使玻璃棒碰到容器壁发出响声。

(二) 结晶

重结晶是提纯固体物质的重要方法之一。把待提纯的物质溶解在适当的溶剂中,经除去杂质离子、滤去不溶物后,进行蒸发浓缩,浓缩到一定程度的溶液,经冷却就会析出溶质的晶体。析出晶体颗粒的大小与条件有关,如果溶液浓度较高,溶质的溶解度较小,冷却得较快,并不时搅拌溶液,摩擦器壁,则析出的晶体较小;如果溶液浓度不高,投入一小粒晶种后静置溶液,缓慢冷却(可放在温水浴上冷却),这样就能得到较大原晶体。

晶体颗粒的大小要适当。颗粒较大且均匀的晶体夹带母液较少,易于洗涤;晶体太小且大小不均匀时,能形成稠厚的糊状物,夹带母液较多,不易洗涤;只得到几粒大晶体时,母液中剩余的溶质较多,损失较大。所以,结晶颗粒的大小应适宜,且较为均匀,这样有利于物质的提纯。如果剩余母液太多,还可再次进行浓缩、结晶,但这次所得晶体的纯度不如第一次高。

当一次结晶所得物质的纯度不合要求时,可以重新加入尽可能少的溶剂溶解晶体,经蒸发后进行结晶,这样可以提高晶体的纯度,当然,产率会降低一些。

进行重结晶操作时,溶剂的选择非常重要。只有被提纯的物质在所选的溶剂中具有高的溶解度和温度系数,才能使损失减少到最低水平。同时,所选的溶剂对于杂质而言,是不溶解的,可通过热过滤除去;或者是很易溶解的,溶液冷却时,杂质保留在母液里。

重结晶操作的一般步骤有如下四步。

①溶液的制备。根据待重结晶物质的溶解度,加入一定量所选定的溶剂(若溶解度大、温度系数大时,可加入少量某温度下可使固体完全溶解的溶剂;若溶解度和温度系数均小,应多加溶剂),加热使其完全溶解。这个过程可能较长,不要随意添加溶剂,若需要脱色,可加入一定量的活性炭。

②热溶液过滤。若无不溶物,则此步可以省去,需要热过滤时,应防止在漏斗中结晶。

③冷却。为得到较好的晶体,一般情况下应缓慢冷却。

④抽滤。将固体和液体分离,选择合适的洗涤剂洗去杂质和溶剂,随后再次抽滤去除洗涤剂,固体经过洗涤后,可采用不同的方法干燥,例如在烘箱中加热、使用干燥剂吸湿或者自然风干等。

(三) 过滤

分离溶液与沉淀最常用的方法是过滤法。当溶液和沉淀的混合物通过过滤器(如滤纸)时,沉淀留存过滤器上,溶液则通过过滤器,过滤后所得的溶液俗称“滤液”。

溶液的温度、黏度,过滤时的压力,过滤器的孔隙大小和沉淀物的性质,都会影响过滤的速度。热溶液与冷溶液容易过滤。溶液的黏度越大,过滤越慢。减压可以加快过滤速率,但是小颗粒的沉淀也会通过过滤器。孔隙较小,则沉淀的颗粒易被滞留在过滤器上,并在上面形成一层密实的滤渣,堵塞过滤器的孔隙,使过滤难以继续进行。另外,胶状沉淀能够穿过一般的过滤器(如滤纸),应先设法把沉淀的胶态破坏(如用加热保温的方法)。总之,选用不同的过滤方法时,应该考虑以上这些因素。常用的过滤方法有下列三种。

1. 常压过滤

常压过滤最为简便和常用。它使用玻璃漏斗和滤纸进行过滤,玻璃漏斗锥体的角度应为 60° ,但有的略大于 60° ,所以使用时应注意。

滤纸分定性滤纸和定量滤纸两种。按照孔隙的大小,滤纸又可分为“快速”“中速”和“慢速”三种。使用时,应根据实际的需要,选用不同规格的滤纸(注意,在使用滤纸前,应把手洗净、擦干)。



过滤时,先按图 1-20 所示,把圆形滤纸或四方滤纸折叠成四层(四方滤纸还要剪成扇形),然后将滤纸展开成锥形,用食指把滤纸按在玻璃漏斗的内壁上,再用水润湿滤纸,并使它紧贴在玻璃漏斗的内壁上,滤纸的边缘应略低于漏斗的边缘。有的玻璃漏斗的锥角略大于 60° ,则在折叠滤纸时要做相应的校正。如果将滤纸贴在漏斗壁后,两者之间还有气泡,应该用手指轻压滤纸,把气泡赶走,然后向漏斗中加水至几乎达到滤纸边。这时漏斗应全部被水充满,而且在滤纸上的水已全部流尽后,漏斗颈中的水柱仍能保留。这样操作后,若不能形成水柱,可以用手指堵住漏斗下口,掀起滤纸,使滤纸与漏斗颈及锥体的大部分全被水充满,并且把气泡完全排出,然后把纸边按紧,再放开下面堵住出口的手,此时水柱即可形成。在整个过滤过程中,漏斗颈必须一直被液体充满,这样过滤才能迅速。

过滤时应注意以下五点。

①漏斗应放在漏斗架上,并且调整漏斗架的高度(图 1-21),使漏斗的出口靠在接收容器的内壁上,以便溶液能够顺容器壁流下,不至于四溅。

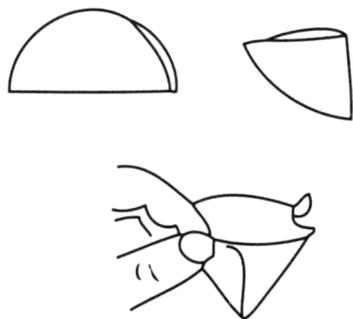


图 1-20 滤纸的折叠方法

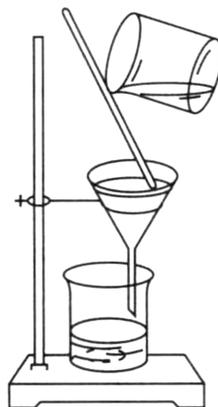


图 1-21 常压过滤操作

②先转移溶液,后转移沉淀,这样不至于由于沉淀堵塞滤纸的孔隙而减慢过滤的速率。

③转移溶液和沉淀时,均应使用搅拌棒。

④转移溶液时,应把溶液滴在三层滤纸处,以防液滴把单层滤纸冲破。

⑤加入漏斗中的溶液不超过圆锥滤纸的总容积的 $2/3$,盛得过多会使溶液不通过滤纸而由滤纸和漏斗内壁间的缝隙流入接收容器中,这样滤纸就失去了过滤作用。

如果需要洗涤沉淀,则要等溶液转移完毕后,往盛沉淀的容器中加入少量洗涤剂并充分搅拌;然后待溶液静止,沉淀下沉后,再把上层溶液倾入漏斗内,如此重复操作两三遍,再把沉淀转移到滤纸上。也可以把全部沉淀转移到滤纸上,然后把少量的洗涤剂分成几份,分几次加入漏斗中洗涤沉淀。

洗涤沉淀时,也要贯彻少量多次原则(不要把所有的洗涤剂连续地加到漏斗中去洗涤沉淀),以提高效率。

最后检查过滤液中的杂质,才可以判断沉淀是否已经洗净。

2. 减压过滤

减压过滤也称“吸滤”或“抽滤”,其装置如图 1-22 所示。水泵带走空气,让吸滤瓶中压力低于大气压,使布氏漏斗的液面上与瓶内形成压力差,从而提高过滤速度。在水泵和吸滤瓶之间往往安装安全瓶,以防水阀关闭或水流量突然变小时自来水倒吸入吸滤瓶,污染滤液。

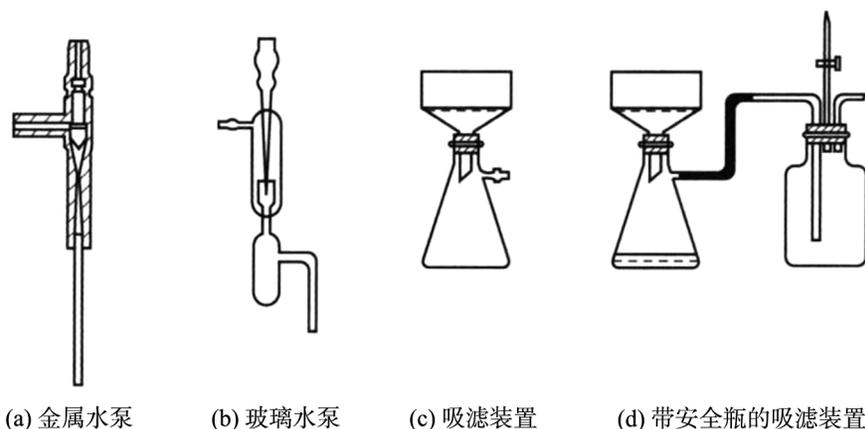


图 1-22 抽滤装置示意图

布氏漏斗通过橡皮塞与吸滤瓶相连接，橡皮塞与瓶口间必须紧密不漏气。吸滤瓶的侧管用橡皮管与安全瓶相连，安全瓶与水泵的侧管相连。停止抽滤或需用溶剂洗涤晶体时，先将吸滤瓶侧管上的橡皮管拔开，或将安全瓶的活塞打开与大气相通，再关闭水泵，以免水倒流进吸滤瓶内。布氏漏斗的下端斜口应正对吸滤瓶的侧管。滤纸要比布氏漏斗内径略小，但必须全部覆盖漏斗的小孔；滤纸也不能太大，否则边缘会贴到漏斗壁上，使部分溶液不经过过滤而沿壁直接漏入吸滤瓶中。抽滤前应使用同一溶剂将滤纸润湿后，使其紧贴于漏斗的底部，然后再向漏斗内转移溶液。

热溶液和冷溶液的过滤都可选用减压过滤。若为热过滤，则过滤前应将布氏漏斗放入烘箱(或用电吹风)预热，抽滤前用同一热溶剂润湿滤纸。

分离时析出的晶体与母液，常用布氏漏斗进行减压过滤。为了更好地将晶体与母液分开，最好用清洁的玻璃塞将晶体在布氏漏斗上挤压，并随同抽气尽量除去母液。结晶表面残留的母液，可用少量的溶剂洗涤，这时抽气应暂时停止。把少量溶剂均匀地洒在布氏漏斗内的滤饼上，使全部结晶刚好被溶剂覆盖为宜。用玻璃棒或不锈钢刮刀搅松晶体(勿把滤纸捅破)，使晶体润湿，稍候片刻，再抽气把溶剂抽干。如此重复两次，就可把滤饼洗涤干净。

从漏斗上取出结晶时，为了不使滤纸纤维附于晶体上，常将其与滤纸一起取出，待干燥后用刮刀轻敲滤纸，结晶即全部下来。

过滤少量的晶体，可用玻璃钉漏斗或小型多孔板漏斗，以吸滤管代替吸滤瓶，如图 1-23 所示。对于玻璃钉漏斗，滤纸应较玻璃钉的直径稍大；对于多孔板漏斗，滤纸应以恰好盖住小孔为宜。先用溶剂润湿滤纸，再用玻璃棒或刮刀挤压，使滤纸的边沿紧贴于漏斗上，然后进行过滤。

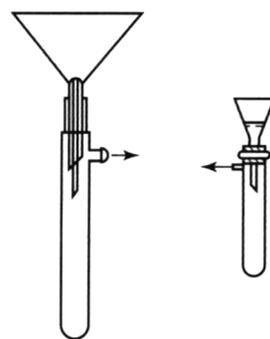


图 1-23 少量物质的减压过滤装置

3. 热过滤

如果不希望溶液中的溶质在过滤时留在滤纸上，就要趁热进行过滤。

热过滤装置如图 1-24 所示，热过滤的方法有以下几种。

①少量热溶液的过滤，可选一颈短而粗的玻璃漏斗，将其放在烘箱中预热后使用。在漏斗中放一折叠滤纸，滤纸向外的棱边应紧贴于漏斗壁上，如图 1-24(a)所示。使用前先用少量热溶剂润湿滤纸，以免干燥的滤纸吸附溶剂，使溶液浓缩而析出晶体；然后迅速倒液，用表面皿盖好漏斗，以减少溶剂挥发。

②如过滤的溶液量较多，则应选择保温漏斗。保温漏斗是一种减少散热的夹套式漏斗，其夹套



是在金属套内安装一个长颈玻璃漏斗而形成的,如图 1-24(b)所示。使用时,将热水(通常是沸水)倒入夹套,加热侧管(如溶剂易燃,过滤前务必将火熄灭)。漏斗中放入折叠滤纸,用少量热溶剂润湿滤纸,立即把热溶液分批倒入漏斗,不要倒得太满,也不要等滤完再倒,未倒的溶液和保温漏斗用小火加热,保持微沸。热过滤时一般不要用玻璃棒引流,以免加速降温;接收滤液的容器内壁不要紧贴漏斗颈,以免滤液迅速冷却析出晶体,而晶体沿器壁向上堆积,致使漏斗口堵塞而无法过滤。

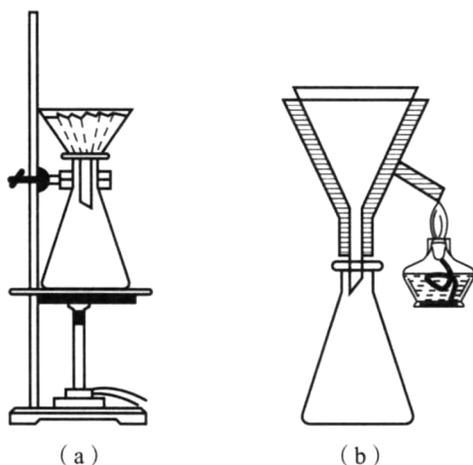


图 1-24 热滤装置

若操作顺利,则只会有少量结晶在滤纸上析出,可用少量热溶剂洗涤,也可弃之,以免得不偿失;若结晶较多,可将滤纸取出,用刮刀刮回原来的瓶中,重新进行热过滤。滤毕,将溶液加盖放置,自然冷却。

进行热过滤操作要求准备充分,动作迅速。

(四) 干燥

干燥的方法分为物理方法和化学方法,物理方法有加热、冷冻、真空干燥、分馏、共沸蒸馏及吸附等;化学方法是用干燥剂脱水。干燥剂是能与水可逆地结合成水合物或与水发生化学反应生成其他化合物的物质。化学实验室常用干燥剂见表 1-11 所列。

1. 气体的干燥

实验室制备的气体常带有酸雾、水气和其他杂质,必须根据气体所含杂质的种类、性质合理选择吸收剂、干燥剂,来进行净化和干燥处理。常用的干燥气体的仪器包括洗气瓶、干燥塔、干燥管、“U”形管等。液体处理剂(浓硫酸等)置于洗气瓶中,固体处理剂(如无水氯化钙等)则置于干燥塔或干燥管中。

2. 有机液体的干燥

化学实验室中常用的干燥剂,见表 1-12 所列。

表 1-12 化学实验室中常用的干燥剂

干燥剂	吸水作用及效果	适用范围	备注
氯化钙	$\text{CaCl}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, $n=1, 2, 4, 6$, 效果中等但较快,吸水后易在其表面覆盖液体,应放置较长时间	烃、烯烃、丙酮、醚和中性气体	①廉价 ②工业品中含有 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 或 CaO , 故不能干燥酚类 ③ $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 在 $30\text{ }^\circ\text{C}$ 以上易失水 ④ $\text{CaCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 在 $45\text{ }^\circ\text{C}$ 以上失水



续表

干燥剂	吸水作用及效果	适用范围	备注
硫酸镁	$\text{MgSO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, $n = 1, 2, 4, 5, 6, 7$, 效果较弱但较快	中性, 应用范围广, 可代替 CaCl_2 , 并可用于干燥酯、醛、酮、腈、酰胺等, 并用于 CaCl_2 不能干燥的化合物	① $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 在 $49\text{ }^\circ\text{C}$ 以上失水 ② $\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 在 $38\text{ }^\circ\text{C}$ 以上失水
硫酸钠	$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, 效果弱且缓慢	中性, 一般用于有机液体的初步干燥	$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ 在 $32.4\text{ }^\circ\text{C}$ 以上失水
硫酸钙	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 效果强而快	中性, 硫酸钙经常与硫酸钠配合, 做最后干燥之用	① $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 在 $38\text{ }^\circ\text{C}$ 以上失水 ② $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 在 $80\text{ }^\circ\text{C}$ 以上失水
氢氧化钠 (钾)	溶于水, 吸水中等但快	强碱性, 用于干燥胺、杂环等碱性化合物(胺、氨、醚、烃)	吸湿性强
碳酸钾	$\text{K}_2\text{CO}_3 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$, 吸水较弱且慢	弱碱性, 用于干燥醇、酮、酯、胺、杂环等碱性化合物, 可代替 KOH 干燥胺类, 可用于酸、酚	有吸湿性
金属钠	$\text{Na} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 1/2\text{H}_2 + \text{NaOH}$, 吸水强且快	限于干燥醚、烃、叔胺中的痕量水分	忌水
氧化钙、 碱石灰类	$\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}(\text{OH})_2$, 吸水强且较快	中性及碱性气体、胺、醇、乙醚	对热很稳定, 不挥发, 干燥后可直接蒸馏
五氧化二磷	$\text{P}_2\text{O}_5 + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}_3\text{PO}_4$, 吸水强、快, 但吸水后表面被黏浆覆盖, 操作不便	适于干燥烃、卤代烃、腈等中的痕量水分; 适于干燥碱性或酸性气体, 如乙炔、二硫化碳、烃、卤代烃	吸湿性很强, 用于干燥气体时需与载体相混
硫酸	—	中性及酸性气体(用于干燥器和洗气瓶中)	不适于高温下的真空干燥
高氯酸镁	强	包括氯在内的气体(用于干燥器中)	适合分析用
硅胶	—	用于干燥器中	吸收残余溶剂
分子筛	物理吸附, 吸水强且快	流动气体(温度可高于 $100\text{ }^\circ\text{C}$)、有机溶剂(用于干燥器中)	—

液体中的水分可用适当的干燥剂干燥。首先, 用吸水量大、价格低廉的干燥剂做初步干燥, 尽可能除去有机液体中的水; 然后, 将液体置于锥形瓶中, 加入适量的、颗粒大小适中的干燥剂, 塞紧瓶口并不断地振摇; 振摇后长时间放置, 最后分离。

当浑浊液体变为澄清, 干燥剂不再黏附在容器壁上, 振摇容器液体可自由漂移时, 表示水分已



基本除去。

有些有机液体也可用分馏或形成共沸混合物的方法除去水分。

3. 固体的干燥

(1) 自然干燥: 对于在空气中稳定不吸潮或含有易燃易挥发溶剂的固体, 可将其放在干燥洁净的表面皿或其他器皿上, 使其在空气中慢慢晾干。

(2) 加热干燥: 对于熔点较高或遇热不分解的固体, 可将其放在表面皿中, 用恒温干燥箱或红外干燥箱烘干。有时把含水固体放在蒸发皿中, 先用水浴或在石棉网上直接加热, 再用烘箱干燥。

(3) 干燥器干燥: 对于易吸潮、分解或升华的固体, 可在干燥器中干燥。干燥器的类型有普通干燥器、真空干燥器和真空恒温干燥器几种。干燥器也可用来干燥并保存化学品。



思考练习

一、选择题

- (1) 化学键是()。
- A. 只存在于分子之间
B. 只存在于离子之间
C. 相邻原子之间强烈的相互作用
D. 相邻分子之间强烈的相互作用
- (2) 原子主要由以下哪三种基本粒子构成? ()
- A. 质子、中子和电子
B. 质子、电子和光子
C. 质子、中子和夸克
D. 质子、中子和胶子
- (3) 在元素周期表中, 元素的周期性性质是基于什么来确定的? ()
- A. 原子序数
B. 原子质量
C. 电子配置
D. 都是
- (4) 根据原子序数, 下列各组原子能以离子键结合的是()。
- A. 10 与 19
B. 6 与 16
C. 11 与 17
D. 14 与 8

二、填空题

- (1) 同一元素的不同同位素之间, _____是相同的。
- (2) 元素周期表中, 同一周期的元素电子层级数是_____。
- (3) 元素周期表中共有_____个横行, 即_____个周期。

项目二 化学反应及其规律

学习目标

知识目标

- △理解化学反应速度的概念，掌握影响反应速度的主要因素。
- △掌握可逆反应和不可逆反应的特性，理解化学平衡的概念和影响平衡的条件。
- △了解酸碱理论，水的解离平衡，并能理解溶液的酸碱性 with pH 的关系。
- △理解缓冲溶液的定义和组成，掌握缓冲作用原理，能进行缓冲溶液 pH 的计算并理解缓冲容量及缓冲范围的概念。
- △掌握沉淀平衡和溶度积常数，理解溶度积规则和影响沉淀溶解度的因素，能进行溶解度和溶度积的相互换算。
- △了解配位化合物的基本概念，理解配位平衡和配位平衡的移动。
- △理解氧化还原反应的概念，能计算和解析电极电势。

能力目标

- △根据条件预测化学反应速度，判断正反应的平衡状态。
- △能根据酸碱理论和水的解离平衡解决实际问题，如计算溶液的 pH。
- △能够设计和配制出满足特定需求的缓冲溶液。
- △能根据溶度积规则预测化学物质在给定条件下是否能形成沉淀。
- △可以根据配位反应的知识制定出实验方案，解决实际问题。
- △能够使用氧化还原反应和电极电势的理论知识解答实际问题。

素质目标

- △通过学习化学反应及其规律，培养理科思维能力、逻辑推理能力和问题解决能力。
- △增强学生对科学精神的理解和赞赏，包括实事求是的态度，及对观察、假设、验证和确认等过程的尊重。
- △通过具体的化学问题和实验，学生将了解科学甚至专业科学的实践，帮助他们对自己的学习和职业生涯规划有更好地认识。
- △培养学生的团队合作精神和独立思考的能力，提高他们的实践操作和实验技能。
- △通过用化学反应的理论解答实际问题，增强学生们的社会责任感和环保意识。



在现代化学学习的过程中，学生不仅需要掌握丰富的化学知识和技能，还需要提升自己的社会责任感和家国情怀。这意味着需要以对社会繁荣和人类福祉负责的心态去运用化学知识，秉持尊重环境和可持续发展的价值观，并理解科学道德和伦理，重视实事求是、公正和公开的科学实践方式。同时，身为学生还应积极承载家国情怀，理解自己的学术成果对推动国家科技进步有什么帮助，并积极为国家和社会的发展作出相应的贡献。另外，在全球化日益加速的今天，学生需要培养开阔的全球视野，去理解和应对国际科技环境中的挑战。

任务一 化学反应速率

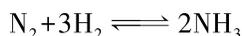
一、化学反应速率

在一定条件下，表明化学反应进行快慢程度的物理量，叫作化学反应速率。不同化学反应进行的速率差别很大，有些化学反应可在瞬间完成，如炸药的爆炸；而有些化学反应则需要经过数小时甚至数亿年，如石油和煤的形成。

化学反应速率(v)通常用单位时间内反应物浓度的减小或生成物浓度的增加来表示。浓度常以 mol/L 为单位，时间常以 s(秒)、min(分)或 h(小时)为单位，因此，化学反应速率的单位相应为 mol/(L·s)、mol/(L·min)或 mol/(L·h)等。化学反应速率可用下式表示：

$$\text{化学反应速率}(v) = \frac{\text{浓度的变化}(\Delta c)}{\text{变化所需的时间}(\Delta t)}$$

例如，一定条件下，在合成氨的反应中



起始浓度/(mol·L ⁻¹)	1	3	0
2 s 后浓度/(mol·L ⁻¹)	0.8	2.4	0.4

则以 N₂ 的浓度变化来表示的化学反应速率为

$$v(\text{N}_2) = \frac{1 \text{ mol/L} - 0.8 \text{ mol/L}}{2 \text{ s}} = 0.1 \text{ mol}/(\text{L} \cdot \text{s})$$

二、影响化学反应速率的条件

化学反应的速率首先取决于反应物的性质，但是外界条件对其也有一定的影响。影响化学反应速率的外界条件主要有浓度、压强、温度和催化剂等。

1. 浓度对化学反应速率的影响

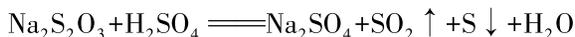
大量实验都证明，当其他条件相同时，增大反应物的浓度，反应速率加快；减小反应物的浓度，反应速率减慢。



练一练

向2支试管中,各加入0.1 mol/L 硫代硫酸钠($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$)溶液5 mL、10 mL,然后分别加入蒸馏水10 mL、5 mL,振荡。另取2支试管,分别加入0.1 mol/L H_2SO_4 溶液10 mL,然后将这2支试管中的溶液同时分别倒入上面2支盛有 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 溶液的试管中,观察有无浑浊出现,并记录浑浊出现的时间。

可以看到, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 溶液浓度大的试管中先出现浑浊现象。 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 溶液与稀 H_2SO_4 作用时发生如下反应:



根据溶液出现浑浊时间的长短,可判断反应速率的快慢。

2. 压强对化学反应速率的影响

对于有气体参加的化学反应,压强对反应速率的影响相当于浓度对反应速率的影响。

在密闭容器中,一定温度下,压强越大,一定质量的气体体积就越小,单位体积内的气体分子数就越多,气体的浓度就会越大;反之,压强越小,一定质量的气体体积就越大,单位体积内的气体分子数就越少,即气体的浓度就会越小。

所以,增大压强,就是增大气体的浓度,反应速率增大;减小压强,就是减小气体的浓度,反应速率减慢。

3. 温度对化学反应速率的影响

温度对化学反应速率的影响特别显著。例如,在常温下,氢气和氧气化合生成水的反应非常缓慢,以至几年都观察不出有反应发生,如果将温度升高至600℃时,它们就立即反应并发生猛烈爆炸。

大量实验结果表明,在其他条件相同时,升高温度,反应速率加快;降低温度,反应速率减慢。

4. 催化剂对化学反应速率的影响

在化学反应里,凡能改变其他物质的化学反应速率而本身的组成、质量和化学性质在反应前后保持不变的物质,称为催化剂。通常说的催化剂大多是指可以加快化学反应速率的物质。如实验室用氯酸钾分解制取氧气时,在常温或加热时,分解的速率都很慢,但当加热并有催化剂二氧化锰存在时,氯酸钾的分解速率显著加快,立即产生大量的氧气。

催化剂在现代化工生产中起着十分重要的作用。石油加工、硝酸、硫酸和合成氨等的生产都离不开催化剂的作用。许多生物化学反应,也是在催化剂的作用下进行的。例如,生物体内复杂的代谢作用就是依靠各种酶——生物体内的生物催化剂完成的。

影响化学反应速率的因素很多,除了浓度、压强(有气态物质参加的反应)、温度和催化剂外,反应物的颗粒大小、粒子扩散速率快慢、光、超声波、电磁波以及反应溶剂等也是影响化学反应速率的一些重要因素。

知识之窗

催化剂

催化剂在化工生产中发挥着非常重要的作用。化工生产中80%以上的反应都需要采用催化剂。例如,甲苯为重要的化工原料,由石油中的甲基环己烷脱氢而制得,但因该反应极慢,以致甲苯长时间不能用于工业生产,直到发现能显著加速该反应的Cu、Ni催化剂后,它才有了工业价值。



催化剂在自然生命中也起到了很重要的作用。例如，人体的消化过程、细胞的合成过程都是以酶为催化剂；绿色植物的光合作用、根瘤菌的生物固氮作用也需要酶作为催化剂，如图 2-1 所示。



图 2-1 绿色植物的光合作用

任务二 化学平衡

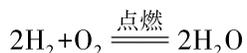
在化工生产和化学研究中，人们不仅要考虑通过各种方法提高化学反应速率，使反应物尽快转化为生成物，以增加单位时间内的产量；而且还要考虑如何使反应物尽可能多地转化为生成物，以提高原料的利用率，这就是化学平衡的问题。

一、可逆反应与不可逆反应



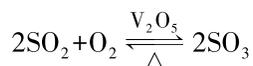
当温度一定时，将过量的某晶体物质放入某溶剂中形成饱和溶液。长时间的观察表明，溶液中剩余晶体物质的外形竟然在不断地变化，小晶体会长大，有的晶体上的缺角也不见了，但是剩余晶体的质量却没有改变。你知道其中的道理吗？

初中化学中已经学过，金属锌与盐酸作用生成氯化锌与氢气的反应，以及氢和氧燃烧生成水的反应。



这两个反应都很容易进行，在一定的条件下几乎能完全进行到底，反应物都能完全转变为生成物，而在同样的反应条件下，往相反方向的反应几乎不能进行。

像这种几乎只能向一个方向进行“到底”的反应叫作不可逆反应。但是，还有一些化学反应与上述反应不一样，反应不能进行到底，也就是说，反应物不能全部转变为生成物。例如，在下列反应中：



该反应在一定条件下，当 SO_2 与 O_2 以体积比 2 : 1 混合在密闭的容器中进行反应，反应“终止”后， SO_2 的转化率达不到 100%。这是因为在生成 SO_3 的同时，部分 SO_3 在相同的条件下又分解为 SO_2 和 O_2 ，致使 SO_2 和 O_2 的反应不能进行到底。这种在同一条件下，能够同时向两个相反方向进行



的反应叫作可逆反应。通常把向右进行的反应称为正反应，把向左进行的反应称为逆反应。可逆反应通常在反应方程式中用符号“ \rightleftharpoons ”表示。

二、化学平衡

1. 化学平衡状态

在可逆反应中，反应物不能完全转化为生成物，那么在反应过程中，反应物和生成物的浓度及反应速率是如何变化的呢？下面以工业上合成氨的反应为例来进行讨论。

工业上合成氨的反应是



反应开始时， N_2 和 H_2 的浓度最大，因而它们化合生成 NH_3 的正反应速率最大；而 NH_3 的浓度为零，它分解生成 N_2 和 H_2 的逆反应速率也为零。随着反应的进行，反应物 N_2 和 H_2 的浓度逐渐减小，正反应速率就逐渐减小；生成物 NH_3 浓度逐渐增大，逆反应的速率也逐渐增大。经过一段时间，将会出现正反应的速率和逆反应的速率相等的情况，如图 2-2 所示。这时，单位时间内正反应消耗的 N_2 和 H_2 的分子数恰好等于逆反应生成的 N_2 和 H_2 的分子数。反应体系中， N_2 、 H_2 和 NH_3 的浓度不再发生变化。于是，反应物和生成物就处于化学平衡状态。

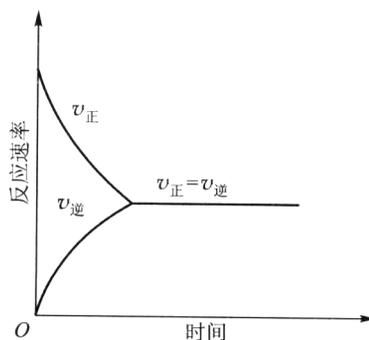


图 2-2 可逆反应中正、逆反应速率变化示意图

所谓化学平衡状态，就是指在一定条件下的可逆反应里，正反应和逆反应的速率相等，反应混合物中各组成成分的质量分数保持不变的状态。

需要强调的是，化学平衡是一种动态平衡。当反应达到平衡时，正反应和逆反应仍在继续进行，只是正、逆反应速率相等，反应物、生成物的浓度不再随时间发生变化。

2. 化学平衡常数

一定温度下，在密闭容器中发生的可逆反应，无论从正反应开始，还是从逆反应开始；无论反应起始时反应物浓度的大小，最后都能达到化学平衡状态。这时，各物质浓度相对稳定，生成物浓度的幂乘积与反应物浓度的幂乘积之比是一个常数，该常数称为化学平衡常数。

对于任何一个可逆反应 $m\text{A} + n\text{B} \rightleftharpoons p\text{C} + q\text{D}$ ，当反应达到平衡时，其化学平衡常数可表示为

$$K = \frac{[\text{C}]^p [\text{D}]^q}{[\text{A}]^m [\text{B}]^n}$$

式中， $[\text{A}]$ 、 $[\text{B}]$ 、 $[\text{C}]$ 、 $[\text{D}]$ 为反应物和生成物平衡时的物质的量浓度； p 、 q 、 m 、 n 为方程式中各相应化学式前面的系数。

化学平衡常数 K 值的大小，表明反应按正向进行程度的大小。 K 值越大，表明达到平衡时，生成物浓度越大，反应物转化为生成物的程度越大，即正反应进行得越彻底； K 值越小，平衡时反应物转化为生成物的程度越小，即正反应进行的程度越小。

对于一个特定的可逆反应，不同温度下，化学平衡常数有不同的数值。但当温度一定时， K 值就一定，它不受浓度变化的影响。

3. 化学平衡的移动

化学平衡只是可逆反应在一定条件下的一种暂时的、相对的稳定状态。如果影响平衡的条件发



生变化,使得正、逆反应速率不再相等,反应的平衡状态就会遭到破坏,各物质的浓度就会发生变化,直到在新的条件下,反应又达到新的平衡。像这样因平衡被破坏而建立新的平衡的过程,叫作化学平衡的移动。

三、影响化学平衡的条件

下面着重讨论浓度、压强和温度的改变对化学平衡的影响。

1. 浓度对化学平衡的影响

浓度对化学平衡的影响可概括为:在其他条件不变的情况下,增大反应物的浓度或减小生成物的浓度,都可以使平衡向正反应方向移动;增大生成物的浓度或减小反应物的浓度,都可以使平衡向逆反应方向移动。

在工业生产上,往往采用增大容易取得的或成本较低的反应物浓度的方法,使成本较高的原料得到充分利用。例如,在硫酸工业上,常用过量的空气使 SO_2 充分氧化,以生成更多的 SO_3 。

练一练

向盛有 5 mL 0.01 mol/L FeCl_3 溶液的编号为 1、2、3、4 的 4 支试管中,各加入 5 mL 0.01 mol/L 硫氰化钾(KSCN)溶液,溶液立即变成血红色。然后向编号为 2、3、4 的 3 支试管中分别逐滴加入 5~10 滴 1 mol/L FeCl_3 溶液、1 mol/L KSCN 溶液、0.5 mol/L KOH 溶液,观察溶液的颜色变化,并与试管 1 中溶液颜色相比较(表 2-1)。

表 2-1 反应物浓度对化学平衡的影响记录表

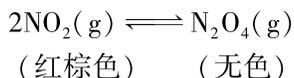
实验内容	试管 2 (滴加 FeCl_3 溶液)	试管 3 (滴加 KSCN 溶液)	试管 4 (滴加 KOH 溶液)
实验现象			
化学方程式	$\text{Fe}^{3+} + 3\text{SCN}^- \rightleftharpoons \text{Fe}(\text{SCN})_3$ (血红色)		

实验表明,在平衡混合物里,增大或减小任何一种反应物的浓度都会使化学平衡发生移动。

2. 压强对化学平衡的影响

对于有气体参加的可逆反应,当处于化学平衡状态时,改变压强也会使化学平衡发生移动。例如,用注射器吸入一定体积的 NO_2 与 N_2O_4 混合气体,然后用橡皮塞将细管端加以封闭。反复推拉注射器活塞,我们将会看到混合气体的颜色发生变化。

NO_2 和 N_2O_4 在一定条件下,处于化学平衡状态。



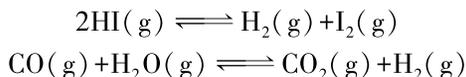
当活塞向外拉时,混合气体的颜色先变浅后逐渐变深。这是因为注射器内体积增大,气体的压强减小,浓度也减小,导致颜色变浅;之后又逐渐变深是因为化学平衡向着生成 NO_2 的逆反应方向移动,生成了更多的 NO_2 。当活塞往里推时,混合气体的颜色先变深后逐渐变浅。这是因为注射器内体积减小,气体的压强增大,浓度也增大,导致颜色变深;之后又逐渐变浅是因为化学平衡向着生成 N_2O_4 的正方向移动,生成了更多的 N_2O_4 。

由此可见,在其他条件不变的情况下,增大压强,化学平衡向气体体积缩小的方向移动;减小压



强, 化学平衡向气体体积增大的方向移动。

在有些可逆反应里, 反应前后气体分子总数没有变化。例如:

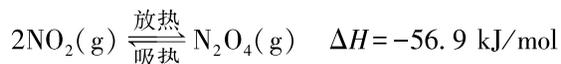


对于这些反应, 增大或减小压强, 化学平衡不发生移动。

固态和液态物质的体积受压强的影响很小, 可以忽略不计。因此, 当平衡混合物都是固体或液体时, 改变压强, 化学平衡基本不发生移动。

3. 温度对化学平衡的影响

化学反应总是伴随着能量的变化。对于可逆反应来说, 如果正反应是放热反应, 则其逆反应必然为吸热反应。例如:



练一练

如图 2-3 所示, 将充有 NO_2 与 N_2O_4 平衡混合气体平衡仪的两球分别置于盛有热水(左)和冰水(右)的烧杯中, 观察平衡仪两球内气体颜色的变化。

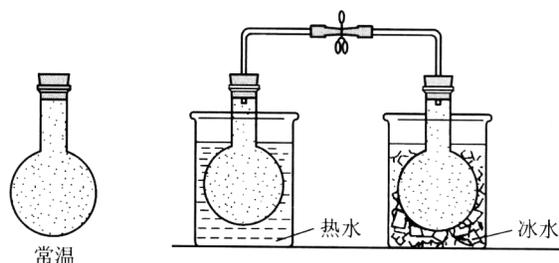


图 2-3 温度对化学平衡的影响

表 2-2 温度对化学平衡的影响记录表

水温	热水杯(左)	冰水杯(右)
实验现象		
结论		

由此可见, 在其他条件不变的情况下, 升高温度, 化学平衡向吸热反应方向移动; 降低温度, 化学平衡向放热反应方向移动。

综上所述, 浓度、压强、温度等外界因素的变化对化学平衡的影响可概括成一个原理: 如果改变影响平衡的一个条件(如浓度、压强或温度等), 平衡就向能够减弱这种改变的方向移动。这个原理称为吕·查德里原理。

知识之窗

吕·查德里(Henry Louis Le Chatelier)是一位精力旺盛、科学成就举世闻名的法国物理化学家。他知识渊博, 著述颇丰, 探究欲极强, 涉足的研究领域十分广泛, 包括陶器、玻璃、水泥、磨蚀剂、炸药等, 热电偶温度计以及用于金属焊接和切割的氧-乙炔焰都是他的发明。



吕·查德里长期致力于如何从化学反应中得到最高产率的研究,对找到科学研究与工业生产实际之间的联系始终抱有极其浓厚的兴趣。正是这样,才有了著名的化学平衡移动原理——吕·查德里原理。应用吕·查德里原理,可以使许多工业生产过程中的转化率达到或接近理论值,避免出现工业设计方案的低效甚至无效,在指导化工生产方面具有重大意义。

任务三 酸碱平衡

酸和碱是两类最常见的化学物质,工农业生产、日常生活及动植物的生长环境变化等都与酸碱反应有关。例如,常用的改良酸性土壤的碱是氢氧化钙(熟石灰)、氧化钙(生石灰);奶牛精饲料喂量过多会导致瘤胃酸中毒;人体经过剧烈运动后,肌肉中会产生乳酸;保证生命体中体液的酸度平衡是各种生化反应正常进行的前提和保证。

一、酸碱理论

(一) 酸碱电离理论

人类对酸碱的认识经历了漫长的时间。1884年,瑞典化学家阿伦尼乌斯(S. A. Arrhenius)提出了酸碱电离理论,首次定义了酸和碱。阿伦尼乌斯指出,电解质在水溶液中电离生成阴、阳离子。酸是在水溶液中电离时只生成氢离子(H^+)(一种阳离子)的物质,碱是在水溶液中电离时只生成氢氧根离子(OH^-)(一种阴离子)的物质。酸碱中和反应的实质就是 H^+ 和 OH^- 反应生成水,酸碱的相对强弱可以根据它们在水溶液中解离出 H^+ 或 OH^- 程度的大小来衡量。

酸碱电离理论对化学科学的发展起到了积极作用,直到现在仍普遍地应用着。但这一理论存在局限性,对水溶液中的一些现象无法解释,如对 Na_2CO_3 、 Na_3PO_4 水溶液呈碱性, $Al_2(SO_4)_3$ 、 $FeCl_3$ 呈酸性等现象无法解释,碱仅限于氢氧化物。另外,该理论把酸和碱仅限于水溶液,对非水溶液中的酸碱反应无法解释,如反应 $NH_3(g)+HCl(g)\rightleftharpoons NH_4Cl(s)$ 不被认为是酸碱反应。为了克服电离理论的局限性,布朗斯特和劳莱提出了酸碱质子理论。

(二) 酸碱质子理论

1. 酸碱的定义

酸碱质子理论认为:凡是能给出质子的物质是酸,凡是能接受质子的物质是碱。该理论是按照质子转移的观点来定义酸和碱的。它们之间的关系可以表示为:酸 \rightleftharpoons 质子+碱,这里的酸和碱可以是分子,也可以是阴、阳离子。

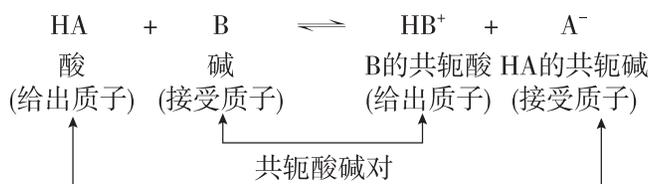
例如:



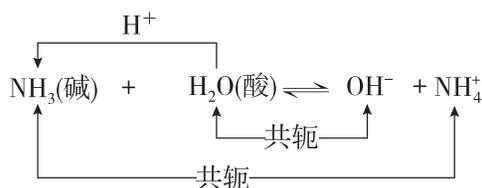
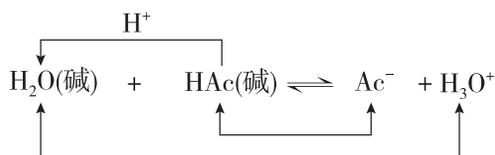
酸(HA)给出质子后生成相应的碱(A^-),反过来,碱(A^-)接受质子便可生成相应的酸(HA),酸HA和碱 A^- 总是成对出现,这样一对相互依存的酸碱的关系称为共轭关系,这对酸碱称为共轭酸碱对。酸(HA)给出质子后生成的碱(A^-)称为这种酸(HA)的共轭碱(A^-),碱(A^-)接受质子后生成的酸(HA)称为这种碱(A^-)的共轭酸(HA)。很显然,酸越强,它的共轭碱就越弱;反之,酸越弱,它的共轭碱就越强。

2. 酸碱反应

根据酸碱质子理论,酸碱反应的实质就是酸失去质子,碱得到质子的过程,这个过程可以用以下通式表示:



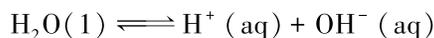
例如:



从上述两个反应中发现,水可以给出质子被定义为酸,也可以接受质子被定义为碱,因此水实际上是一种两性物质。可见,与电离理论相比,酸碱质子理论扩大了酸碱及酸碱反应的范围。

二、水的解离平衡

用精密的电导仪测量,发现纯水有极微弱的导电能力,因为在纯水中存在水的解离平衡:



水解离平衡常数表达式为

$$K_w^\ominus = [\text{H}^+][\text{OH}^-]$$

K_w^\ominus 称为水的离子积常数,下标 w 表示水, K_w^\ominus 不受溶质浓度的影响,但由于水的解离反应是比较强烈的吸热反应,所以 K_w^\ominus 随温度的升高而增大,如 298 K (25 °C) 时, $K_w^\ominus = 1.0 \times 10^{-14}$, 373 K (100 °C) 时, $K_w^\ominus = 1.0 \times 10^{-12}$ 。

小贴士

一定温度下,无论是在中性、酸性还是碱性的稀水溶液中, H^+ 和 OH^- 浓度的乘积均等于该温度下的 K_w^\ominus 。

三、溶液的酸碱性 with pH

溶液的酸碱性取决于溶液中 $[\text{H}^+]$ 与 $[\text{OH}^-]$ 的相对大小,常用 pH 或 pOH 来表示。溶液 pH 的获得方法很多,既可以通过计算获得,也可以通过实验获得。如果只需知道溶液的大致 pH,可以使用酸碱指示剂或 pH 试纸测得,使用酸度计则可以准确测出溶液的 pH。

计算溶液 pH 的表达式为

$$\text{pH} = -\lg[\text{H}^+]$$

一般来说, pH 适用于表示 $[\text{H}^+]$ 或 $[\text{OH}^-]$ 在 1 mol/L 以下的溶液酸碱性。若 $[\text{H}^+] > 1 \text{ mol/L}$, 则 $\text{pH} < 0$; 若 $[\text{OH}^-] > 1 \text{ mol/L}$, 则 $\text{pH} > 14$, 这种情况下,一般就直接写出 $[\text{H}^+]$ 或 $[\text{OH}^-]$, 而不用 pH 表示。

(一) 强酸强碱溶液 pH 的计算

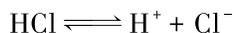
在稀的水溶液中,强酸强碱完全离解,水溶液中 $[\text{H}^+]$ 或 $[\text{OH}^-]$ 直接按分析浓度进行计算即可,



水电离的 H^+ 和 OH^- 可忽略不计。

例：计算 0.01 mol/L HCl 溶液的 pH。

解：HCl 在水溶液中为强酸，可完全电离出 H^+ ，根据电离方程式



可得 $[\text{H}^+] = [\text{HCl}] = 0.01 \text{ mol/L}$

$$\text{pH} = -\lg[\text{H}^+] = -\lg 0.01 = 2$$

例：计算 0.01 mol/L NaOH 溶液的 pH。

解：NaOH 在水溶液中为强碱，可完全电离出 OH^- ，根据电离方程式



可得 $[\text{OH}^-] = [\text{NaOH}] = 0.01 \text{ mol/L}$

$$\text{pH} = -\lg[\text{H}^+] = -\lg \frac{K_w^\ominus}{[\text{OH}^-]} = -\lg \frac{1.0 \times 10^{-14}}{0.01} = 12$$

(二) 弱酸(或弱碱)溶液 pH 的计算

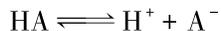
根据阿伦尼乌斯电离理论，弱酸弱碱在水溶液中大部分以分子形式存在，少部分会发生解离生成离子。只能给出一质子的，称为一元弱酸；能给出多个质子的，称为多元弱酸。只能接受一个质子的，称为一元弱碱；能接受多个质子的，称为多元弱碱。弱酸弱碱在水溶液中的解离平衡完全服从化学平衡移动的一般规律。

1. 解离度

弱电解质在溶剂中达到解离平衡后，已解离的弱电解质分子百分数，称为解离度，用字母“ α ”表示。实际应用时可用对应浓度百分数来表示：

$$\text{解离度}(\alpha) = \frac{\text{解离部分弱电解质浓度}}{\text{未解离前弱电解质浓度}} \times 100\%$$

对于一元弱酸 HA，在水中存在解离平衡：

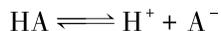


$$\text{解离度}(\alpha) = \frac{[\text{H}^+]}{[\text{HA}]} \times 100\%$$

解离度是表征弱电解质解离程度大小的特征常数，在温度、浓度相同条件下， α 越小，电解质越弱。

2. 一元弱酸(或弱碱)溶液 pH 的计算

对于一元弱酸 HA，若其解离常数 $K_a^\ominus \gg$ 水的离子积常数 K_w^\ominus ，且其浓度 c (mol/L) 不小，则水本身电离的 H^+ 非常少可以忽略不计，达解离平衡时：



当 $c/K_a^\ominus \geq 500$ ，则 HA 的解离度 $\alpha < 5\%$ ， $[\text{H}^+]^+$ 的计算误差 $\leq 2.2\%$ ，可以满足一般运算要求，此时 $[\text{H}^+] \ll c$ ，即 $[\text{HA}] \approx c$ ，则可得最简式

$$K_a^\ominus = \frac{[\text{H}^+][\text{A}^-]}{[\text{HA}]} = \frac{[\text{H}^+]^2}{c}$$

$$[\text{H}^+] = \sqrt{c \times K_a^\ominus}$$

$$\alpha = \frac{[\text{H}^+]}{[\text{HA}]} \times 100\% = \frac{\sqrt{c \times K_a^\ominus}}{c}$$

同理，对于浓度为 c (mol/L) 的一元弱碱，当 $c/K_a^\ominus \geq 500$ ， $[\text{OH}^-] \ll c$ 时，一元弱碱 BOH 溶液的