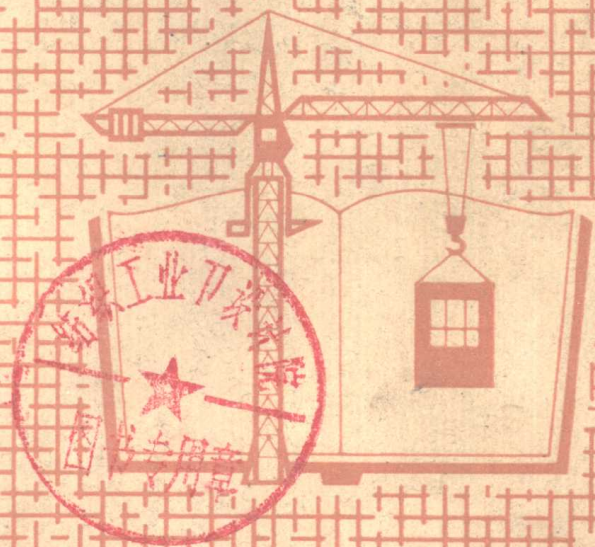


# 给水排水化学

《给水排水化学》编写组



高等学校试用教材

中国建筑工业出版社



958/108

036778

高等学校试用教材

# 给水排水化学

《给水排水化学》编写组

中国建筑工业出版社

《给水排水化学》是给水排水专业的基础理论及基础技术课，它是在普通化学的基础上阐述水处理所必需的无机、有机、分析、物化等化学基本原理及水质分析方法。

本书分上下两篇及实验部分，其内容包括：水的性质及其结构、水质化学处理基本概念、相平衡、电化学、胶体化学、容量分析、比色分析、有机化学及高分子化合物等。

高等学校试用教材

给水排水化学

《给水排水化学》编写组

\*

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

中国建筑工业出版社印刷厂印刷

\*

开本：787×1092毫米1/16 印张：25 3/4 字数：627千字

1979年6月第一版 1979年6月第一次印刷

印数：1—15,660册 定价：2.65元

统一书号：15040·3670

## 前 言

《给水排水化学》是给水排水专业的基础理论及基础技术课。它是在普通化学的基础上，阐述水处理所必需的无机、有机、分析、物化等化学基本原理及水质分析方法。

本课程的目的，是使学生掌握本专业所必需的化学基本理论、基本知识和基本技能，了解其在水处理中的应用，培养用辩证唯物主义的观点分析问题和解决问题的能力，为今后学习专业课打下一定的化学基础，以适应四个现代化的需要。

本书是根据1978年1月在哈尔滨召开的高等院校给水排水工程专业教材会议纪要精神，由天津大学主编，重庆建工学院负责有机部分。为了应急需，只在各自原有教材的基础上进行修改。为了使本书尽可能地符合专业需要，在编写时除根据1978年4月在天津通过的《给水排水化学》编写大纲的要求，还参考了兄弟院校的有关教材，与原教材相比有较大的变更。

本书分为上、下两篇及实验部分，其内容包括：水的性质及其结构、水质化学处理基本概念、相平衡、电化学、胶体化学、容量分析、比色分析、有机化学及高分子化合物等。注有★号者供选学，适合于约140学时（包括实验）。

由于《给水排水化学》是一门新课，它涉及有机化学、无机化学、物理化学、水质分析、水的性质和结构、水质化学处理基本概念等内容，本书在这些内容之间的有机联系、与普通化学的关系、某些章节联系实际等都还做得很不够，内容取舍也不一定合适，希读者提出宝贵意见。

本书曾蒙有关专业老师及兄弟院校老师提出不少宝贵意见，在此一并致谢。

本书上篇由天津大学张墉、王正烈、杨承义编写，下篇由重庆建筑工程学院蔡素德、陶炳玉编写。

全书由哈尔滨建筑工程学院张沧禄、王兆英、王延琴同志主审。

《给水排水化学》编写组

1978年9月

# 目 录

## 前 言

## 上 篇

第一章 水、水的性质及其结构 .....	1	二、相律 .....	32
第一节 水的分布、循环和水中的杂质 .....	1	第四节 渗透压与唐南平衡 .....	33
一、水的分布 .....	1	一、渗透压与反渗透 .....	33
二、水的循环 .....	1	二、唐南平衡 .....	34
三、水中的杂质 .....	1	第五节 拉乌尔定律和稀溶液的依数性 .....	35
四、给水工程对水质的要求 .....	4	第六节 亨利定律 .....	37
第二节 水的性质及其结构 .....	5	第七节 二元理想溶液的气、液平衡 .....	39
一、水的特性 .....	5	一、理想溶液的压力-组成图 .....	39
二、水的分子结构 .....	5	二、理想溶液的温度-组成图 .....	42
三、范德华引力与氢键 .....	6	三、杠杆规则 .....	43
第二章 水质化学处理基本概念 .....	8	四、二元理想溶液的蒸馏与精馏 .....	44
第一节 酸碱中和反应 .....	8	第八节 二元完全互溶实际溶液的气、液平衡 .....	46
一、酸碱质子理论 .....	8	一、具有一般正偏差的物系 .....	46
★二、酸碱电子理论 .....	11	二、具有一般负偏差的物系 .....	46
三、碳酸平衡 .....	13	三、具有最大正偏差的物系 .....	47
四、中和处理原理 .....	15	四、具有最大负偏差的物系 .....	49
第二节 沉淀反应 .....	16	第九节 二元部分互溶液体的相互溶解度图 .....	49
一、溶度积 .....	16	第十节 水-盐二元物系相图 .....	51
二、同离子效应 .....	17	第十一节 溶质在两不互溶液体中的分配 .....	52
三、溶解和沉淀 .....	18	第四章 电化学 .....	56
四、化学沉淀法 .....	18	第一节 电解质溶液的导电机理，法拉弟电解定律 .....	56
第三节 络合物 .....	19	第二节 溶液的电导 .....	58
一、络合物的构成 .....	19	一、电导、比电导 .....	58
二、络合物在溶液中的电离平衡 .....	20	二、当量电导 .....	59
三、络合物的应用 .....	20	三、离子独立运动定律 .....	60
第四节 氧化还原反应 .....	21	第三节 原电池电动势的产生 .....	62
一、氧化还原反应的实质 .....	21	第四节 电极电位 .....	65
二、氧化还原电位 .....	22	第五节 几种电极 .....	69
三、水处理中常用的氧化剂与还原剂 .....	22	一、氢电极 .....	69
第三章 相平衡 .....	26	二、甘汞电极 .....	69
第一节 纯液体的饱和蒸气压 .....	26	三、玻璃电极 (pH 电极) .....	70
第二节 液体的气化和气体的液化、临界状态 .....	29	四、离子选择性电极 .....	70
第三节 水的相图、相律 .....	30	第六节 原电池电动势的测定及其应用 .....	71
一、水的相图 .....	31		

一、测定原理	71	二、有效数字的计算规则	111
二、标准电池	72	第四节 水样的物理性质及其测定	112
三、pH计	73	一、水样的物理性质	112
四、其它应用	73	二、浑浊度的测定	112
第七节 电解	74	三、水中固体的测定	112
一、分解电压	75	四、色度的测定	113
二、超电压	76	五、电导率的测定	114
三、电解产物的析出顺序	77	第七章 容量分析	115
第五章 胶体化学	80	第一节 容量分析概要	115
第一节 表面张力和润湿	81	一、容量分析的分类	115
一、表面自由能与表面张力	81	二、标准溶液	115
二、接触角和润湿	84	三、标准溶液浓度表示法	116
第二节 吸附作用	85	四、容量分析计算示例	119
第三节 胶体溶液的性质	89	第二节 中和法	120
一、光学性质	89	一、中和反应	120
二、运动性质	90	二、盐类的水解	122
三、电学性质	91	三、酸碱指示剂	126
第四节 憎液溶胶胶团的结构	93	四、滴定曲线和指示剂的选择	128
第五节 憎液溶胶的聚沉	95	五、碱度及其测定	134
一、电解质的作用	95	六、酸度的测定	137
二、溶胶的相互聚沉作用	96	第三节 络合滴定法	138
三、高分子絮凝剂的作用	96	一、氨羧络合剂与内络合物	139
第六节 乳状液	96	二、络合滴定的影响因素	140
第七节 泡沫与浮选	98	三、缓冲溶液	141
第八节 粗分散物系的沉降曲线及分布曲线	99	四、络合滴定指示剂	144
一、沉降速度与颗粒半径	99	五、硬度及其测定	146
二、沉降曲线	100	六、硬度和碱度的关系	147
三、分布曲线	101	第四节 容量沉淀法	149
第六章 水质分析概论	104	一、分级沉淀	150
第一节 水质分析概述	104	二、容量沉淀滴定原理及氯离子测定	151
一、水质分析的任务	104	第五节 氧化还原法	152
二、水质指标和水质标准	104	一、氧化还原反应的特点及反应的方向	152
三、水质分析的方法	105	二、氧化还原滴定	154
四、水样的采集	106	三、氧化还原指示剂	156
五、水质分析结果的表示方法	107	四、氧化还原法分类	157
第二节 定量分析的误差	108	第八章 比色分析	164
一、准确度	108	第一节 比色分析法	164
二、精密度	109	一、比色分析概述	164
三、误差的种类及消除方法	109	二、比色分析原理	164
第三节 有效数字及计算规则	110	三、比色分析方法	167
一、有效数字	110	第二节 分光光度法	172
		一、分光光度法的特点	172

二、分光光度计	173
三、挥发酚的测定	174
第三节 仪器分析简介	176

一、气相色谱分析法	176
二、原子吸收光谱分析法	178
三、极谱分析法	179

## 上 篇 附 录

上篇附录一 原子量表	182	上篇附录六 络离子的不稳定常数( $K_{\text{不}}$ )	185
上篇附录二 常用试剂的分子量	183	上篇附录七 标准电极电位(25°C)	185
上篇附录三 绝对含量单位及相对含量单位	184	上篇附录八 水质分析结果的校正	186
上篇附录四 常用酸碱溶液的浓度	184	上篇附录九 地面水中有害物质最高容许浓度	188
上篇附录五 电离常数	184		

## 下 篇

第一章 绪论	189	一、苯的结构	215
第一节 有机化合物和有机化学	189	二、苯的同系物的命名和同分异构	215
第二节 学习有机化学的意义	189	三、苯及其同系物的性质	216
第三节 有机化合物的特点	190	四、苯环的取代规律	219
一、性质方面的特点	190	五、多环芳香烃	223
二、结构方面的特点	190	★六、致癌物	225
第四节 有机化合物结构理论简介	191	第三章 烃的卤素衍生物	232
一、结构与结构式	191	第一节 卤烃的同分异构和命名	233
二、有机化合物结构理论要点	192	第二节 卤烃的性质	234
第五节 有机化合物的分类	193	一、取代反应	234
一、开链化合物	193	二、去卤化氢反应(消除反应)	236
二、碳环化合物	194	三、与金属反应	236
三、杂环化合物	194	第三节 个别卤烃	236
第二章 烃	196	一、三氯甲烷 $\text{CHCl}_3$ (又叫氯仿)	236
第一节 开链烃的一般概念	196	二、四氯甲烷 $\text{CCl}_4$ (又叫四氯化碳)	237
一、开链烃的定义、分类及通式	196	三、二氟二氯甲烷 $\text{CF}_2\text{Cl}_2$ (又叫氟里昂)	237
二、同系列和同系物	197	四、三氯苯	237
第二节 饱和烃	197	五、六氯化苯	238
一、甲烷	197	六、对,对'-二氯二苯基三氯甲基甲烷	238
二、甲烷及其同系物的结构	198	第四章 烃的含氧衍生物	241
★三、共价键的属性	200	第一节 醇和酚	241
四、烷烃的同分异构	201	一、醇	241
五、烷烃的命名	203	二、酚	248
六、烷烃的性质	204	第二节 醛和酮	255
★七、石油	205	一、醛和酮的异构现象和命名	256
第三节 不饱和烃	206	二、醛和酮的性质	257
一、烯烃	206	三、个别化合物	262
二、炔烃	210	第三节 羧酸和酯	266
三、二烯烃	212	一、羧酸	266
第四节 芳香烃	215	二、酯	273

第五章 有机含硫化合物.....279	第二节 碳水化合物.....311
第一节 硫醇和硫醚.....279	一、单糖.....311
一、硫醇.....279	二、二糖.....317
二、硫醚.....280	三、多糖.....317
第二节 磺酸.....281	第八章 元素有机化合物.....321
一、芳香族磺酸的制备.....282	第一节 有机磷化合物.....321
二、磺酸的性质.....283	一、磷类化合物的制法和性质.....322
三、个别化合物.....284	二、有机磷农药.....323
第六章 有机含氮化合物.....287	第二节 有机砷化合物.....326
第一节 芳香族硝基化合物.....287	第三节 有机汞化合物.....328
一、芳香族硝基化合物的制法.....288	第九章 有机高分子化合物.....331
二、芳香族硝基化合物的性质.....288	第一节 一般概念.....331
三、个别化合物.....290	一、根据来源分类.....331
第二节 胺.....290	二、根据分子的结构分类.....331
一、胺类的一般概念.....290	三、根据对热的作用分类.....331
二、胺类的性质.....292	四、根据制备的基本反应分类.....331
三、个别化合物.....294	五、根据应用分类.....331
第三节 腈.....297	第二节 高分子化合物的合成及性质.....332
一、一般概念.....297	一、高分子化合物的合成.....332
二、腈类化合物的性质.....297	二、高分子化合物的一般性质.....333
三、丙烯腈.....297	第三节 个别高分子化合物.....334
第四节 重氮和偶氮化合物.....298	一、聚氯乙烯.....334
一、重氮和偶氮化合物.....298	二、工程塑料.....335
二、重氮化反应.....298	三、有机玻璃.....336
三、偶合反应.....299	四、聚四氟乙烯.....337
第五节 物质的颜色和物质结构的关系.....300	第四节 离子交换剂.....338
第七章 蛋白质及碳水化合物.....304	一、一般概念.....338
第一节 蛋白质.....304	二、离子交换树脂.....340
一、氨基酸.....304	三、离子交换膜.....345
二、蛋白质.....307	

## 实 验 部 分 目 录

前言.....351	实验五 盐酸标准溶液的配制和标定.....364
一、化学实验的一般知识.....351	实验六 浑浊度测定.....366
二、化学实验常用的玻璃仪器.....352	实验七 色度测定.....367
三、玻璃器皿的洗涤.....356	实验八 pH值测定.....368
四、实验内容.....357	实验九 碱度测定.....371
实验一 分配系数及平衡常数的测定.....357	实验十 硬度测定.....372
实验二 电导率的测定.....359	实验十一 氯化物测定.....373
实验三 胶体的性质.....360	实验十二 耗氧量测定.....375
实验四 分析天平称量练习.....362	实验十三 化学需氧量测定.....376



实验十四 溶解氧测定 .....	377	实验二十四 乙酸乙酯的制备 .....	397
实验十五 生化需氧量的测定 .....	379	本书主要参考书目 .....	400
实验十六 氨氮的测定 .....	380	下篇附录 .....	401
实验十七 亚硝酸盐氮的测定 .....	382	附录(一) 常见有机化合物的类别 和官能团 .....	401
实验十八 硝酸盐氮的测定 .....	383	附录(二) 杂环化合物系统名称 .....	402
实验十九 挥发酚的测定 .....	385	附录(三) 开链烃及其衍生物的简 单关系 .....	403
实验二十 六价铬的测定 .....	387	附录(四) 芳香烃及其衍生物的简 单关系 .....	404
实验二十一 铁的测定 .....	387		
实验二十二 脂肪烃的制备及其性质 .....	388		
实验二十三 官能团的定性实验 .....	392		

# 上 篇

## 第一章 水、水的性质及其结构

### 第一节 水的分布、循环和水中的杂质

#### 一、水的分布

水是地球上分布最广的物质之一，也是人类环境的一个重要组成部分。它以气、液、固三种聚集状态而存在，遍布于海洋、地面的江河湖泊、地下浅层和深层的水、高山和南北极的冰雪、大气中的水蒸气、动植物体内以及矿物结晶水等等，几乎无所不在。地球上水的总量约为 $2 \times 10^{18}$ 吨。

#### 二、水的循环

水的循环包括自然循环和社会循环。

##### (一) 自然循环

自然界中的水在太阳辐射和地心引力等的影响下不停地流动和转化，有蒸发、降水、地面径流、地下渗流等过程，周而复始，构成水的自然循环，如图 1-1 所示。水在自然循环中形成海洋、河流、湖泊、地下水层等天然水体。同时，在自然循环中，几乎在每个环节都有杂质混入，使水质发生变化；因而各种不同形态的水，水质也就不同。所谓水质就是水和其中杂质所共同表现出来的综合特性。

##### (二) 社会循环

人类社会为了满足生活和生产上的需要，从天然水体取用大量的水，按其用途不同可分为生活用水和工业用水，在使用过程中随时都有杂质混入，使水受到不同程度的污染变成相应的生活污水和工业废水。用过的废水又不断地排入天然水体，构成社会循环。

社会循环中所取用的水量仅占地球总水量的几百万分之一。然而，却表现出人与自然界在水量和水质方面存在着很大的矛盾。给水排水工程的任务，就是解决水在社会循环中所产生的水量和水质方面的矛盾。

#### 三、水中的杂质

##### (一) 天然水中的杂质

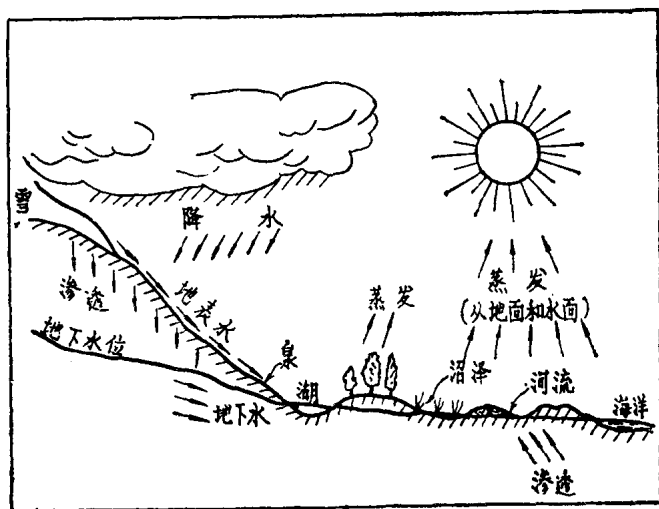


图 1-1 水的自然循环

天然水中的杂质，按其颗粒大小的不同可分成三类：颗粒最大的称为悬浮物；其次是胶体；最小的是离子和分子，即溶解物质。

### 1. 悬浮物

悬浮物的颗粒较大，在水中不稳定，容易除去。水发生浑浊现象，主要是由此类物质所造成的。

悬浮物，悬浮于水流中，当水静止时，比重较小的物质会上浮于水面，比重较大的则下沉。能下沉的悬浮物主要是砂子和粘土类无机化合物；能上浮的物质，主要是腐植质等一些有机化合物。

### 2. 胶体

胶体微粒是许多分子和离子的集合体。这些微粒，由于其表面积很大，显示出强大的吸附性，因而其表面常常因吸附有多量离子而带电，结果使同类胶体因为带有同性电荷而相互排斥，在水中不能相互粘在一起，而是稳定在微小的胶体颗粒状态下，使这些颗粒不能依靠重力自行下沉。

天然水中的有机胶体主要是腐植质。在湖泊水中腐植质最多，它常常使水呈黄绿色或褐色。天然水中的矿物质胶体，主要是铁、铝和硅的化合物。

### 3. 溶解物质

天然水中的溶解物质，大都为离子和一些溶解气体。

#### (1) 呈离子状态的杂质

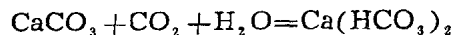
天然水中常遇到的各种离子见表 1-1。其中第 I 类是最常见的，这些离子的来源主要是当水流经地层时，溶解了某些矿物质所致。下面介绍几种主要的离子。

天然水中溶有离子的概况

表 1-1

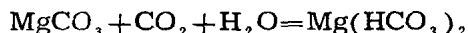
类别	阳离子	阴离子	浓度的数量级	类别	阳离子	阴离子	浓度的数量级
I	Na <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	由几个毫克/升 至几万毫克/升	III	Cu <sup>2+</sup>	HS <sup>-</sup>	小于十分之一毫克/升
	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>			Zn <sup>2+</sup>	BO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	
	Ca <sup>2+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>			Ni <sup>2+</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	
	Mg <sup>2+</sup>	HSiO <sub>3</sub> <sup>-</sup>			Co <sup>2+</sup>	Br <sup>-</sup>	
II	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	F <sup>-</sup>	由十分之几毫克/升 至几个毫克/升		Al <sup>3+</sup>	I <sup>-</sup>	
	Fe <sup>2+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>			HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>		
	Mn <sup>2+</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>		H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>			

1) 钙离子 (Ca<sup>2+</sup>) 在含盐量少的水中，钙离子的量常常在阳离子中占第一位。天然水中的钙离子主要来自地层中的石灰石 (CaCO<sub>3</sub>) 和石膏 (CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O) 的溶解。CaCO<sub>3</sub> 在水中的溶解度虽小，但当水中含有二氧化碳 (CO<sub>2</sub>) 时，CaCO<sub>3</sub> 就较易溶解。这是因为它们相互反应而生成溶解度较大的重碳酸钙 [Ca (HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>] 的缘故，其反应如下：



2) 镁离子 (Mg<sup>2+</sup>) 水中镁离子的来源大都是由于白云石 (MgCO<sub>3</sub>·CaCO<sub>3</sub>) 被含

CO<sub>2</sub>的水溶解而致。白云石在水中的溶解和石灰石相似。白云石中碳酸镁(MgCO<sub>3</sub>)的溶解反应如下:



水的硬度,是指水中Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、Fe<sup>2+</sup>、Mn<sup>2+</sup>、Al<sup>3+</sup>等高价金属离子的含量。但由于天然水中Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>离子的含量远比Fe<sup>2+</sup>、Mn<sup>2+</sup>、Al<sup>3+</sup>等离子多,因此可以说, Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>离子含量的多少,决定了水的硬度大小。

3)重碳酸根(HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) 水中的重碳酸根,主要是由于水中溶解的CO<sub>2</sub>和碳酸盐反应后产生的。HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>常是天然水中最主要的阴离子。

4)氯离子(Cl<sup>-</sup>) 天然水中都含有氯离子,这是因水流经地层时,溶解了其中氯化物的关系。由于常见的氯化物的溶解度都很大,故可随着地下水和河流带入海洋,逐渐积累起来,造成海水中含有大量的氯化物。

5)硫酸根(SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) 天然水中都含有SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>,一般地下水中SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>的含量比河、湖水中的含量大。地层中的石膏(CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O)是水中SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>的重要来源。

## (2)溶解气体

天然水中常见的溶解气体有氧(O<sub>2</sub>)、二氧化碳(CO<sub>2</sub>)、有时还有硫化氢(H<sub>2</sub>S)、二氧化硫(SO<sub>2</sub>)和氨(NH<sub>3</sub>)等。溶解于水中的氧气称为溶解氧。

## (二)生活污水和工业废水中的杂质

生活污水含有各种生活废物如粪便、垃圾、病菌等各种有机物和微生物。各类工业废水含有各种生产废料、残渣及部分原料、半成品、成品、副产品等。工业废水中常见的污染物列于表1-2。

工业废水中常见污染物

表 1-2

污 染 物	污 染 源	污 染 物	污 染 源
游 离 氯	造纸厂、织物漂白、化工厂等	油	石油炼厂、石油化工、纺织厂等
氨	煤气和炼焦厂、化工厂等	汞	化工厂、仪表厂、电解厂等
氟 化 物	化工厂、玻璃厂	铬	电镀工业等
氰 化 物	丙烯腈合成、有机玻璃、电镀工业等	镉	矿山、冶金等
硫 化 物	硫化染料、皮革、纸浆、石油炼制等	铅	矿山、电池制造厂等
亚 硫 酸 盐	纸浆工业等	镍	矿山、电镀厂等
苯 酚	炼焦、染料、石油炼厂、化工厂等	锌	矿山、粘胶纤维厂等
醛	化工厂、制药厂等	铜	电镀、化工厂、铜氨法人造纤维厂等
硝基化合物	化工厂、炸药生产工业等	砷	砷矿处理、制革厂等
酸	化工厂、矿山、金属酸洗、电池制造等	糖 类	食品加工、甜菜加工厂等
碱	制碱厂、化纤厂等	淀 粉	食品加工、织物加工、淀粉制造等

污染物有的是有毒的,例如汞、铅、镉、铬等重金属离子以及有机农药等,此外还可能含有放射性物质。

某些有毒物质在水体中虽然浓度并不大,但有些生物可进行选择性浓缩蓄积,通过食物链可危害人体健康。所谓食物链即低级的生物作为较高级生物的食物,这样构成一系列的链锁叫做食物链。

废水中的有用物质和有毒物质,如果不加处理而排放,不仅是一个浪费,更重要的是

会造成社会公害。

#### 四、给水工程对水质的要求

水源中含有各种各样的杂质、致病的细菌和有毒物质，因而不能直接供人民生活饮用。而工业企业，由于生产不同对水质的要求也不一样。作为给水工程，就是不断的供给人民生活和企业生产所需要的水质、水压和水量。现着重讨论人民生活用水的水质问题。在供给人民生活用水时，必须符合国家规定的饮用水水质标准，以确保人民健康。

生活饮用水的水质标准，是根据下列原则确定的。

1. 水中不得含有病原细菌及寄生虫卵。
  2. 水中有害或有毒物质的浓度不得超过对人体产生不良影响的限度，即水中化学成分不得对机体产生不良影响。
  3. 水中的物理状态良好，不得对人的感觉器官产生任何不良影响。
- 生活饮用水的水质标准，见表1-3。

生活饮用水水质标准

表 1-3

编 号	项 目	标 准
	感官性状指标:	
1	色	色度不超过15度，并不得呈现其它异色
2	浑 浊 度	不超过 5 度
3	臭 和 味	不得有异臭异味
4	肉眼可见物	不得含有
	化学指标:	
5	pH值	6.5~8.5
6	总硬度(以CaO计)	不超过250毫克/升
7	铁	不超过0.3毫克/升
8	锰	不超过0.1毫克/升
9	铜	不超过1.0毫克/升
10	锌	不超过1.0毫克/升
11	挥发酚类	不超过0.002毫克/升
12	阴离子合成洗涤剂	不超过0.3毫克/升
	毒理学指标:	
13	氟化物	不超过1.0毫克/升，适宜浓度0.5~1.0毫克/升
14	氰化物	不超过0.05毫克/升
15	砷	不超过0.04毫克/升
16	硒	不超过0.01毫克/升
17	汞	不超过0.001毫克/升
18	镉	不超过0.01毫克/升
19	铬(六价)	不超过0.05毫克/升
20	铅	不超过0.1毫克/升
	细菌学指标:	
21	细菌总数	1毫升水中不超过100个
22	大肠菌群	1升水中不超过 3 个
23	游离性余氯	在接触30分钟后应不低于0.3毫克/升，集中式给水除出厂水应符合上述要求外，管网末梢水不低于0.05毫克/升



## 第二节 水的性质及其结构

### 一、水的特性

水在常温下以液态存在，有一般液体的共性，但与其它物质比较，又有许多特性。

#### 1. 温度-体积效应

水在0~4°C范围内不是热胀冷缩，而是温度升高、体积缩小、密度增大；在4°C(3.98°C)时，密度最大，为1.0000；0°C的水密度为0.9999，而0°C的冰密度为0.9168。结冰时水的体积变大，浮于水面形成冰层，隔绝深层水与外界的热量交换，保持深水水温，使水生生物在冬季得以生存。

#### 2. 压强对熔点的影响

冰熔化时体积缩小，压强增加时熔点就要降低。因为，压强的增加会促使物质体积的缩小，这样，有利于固相转变为液相，因此温度不必升高到原来的熔点冰就能熔化。例如，冰在1大气压下的熔点是0°C，而当外界压强每增加1个大气压，它的熔点就要下降0.0075°C。

#### 3. 热容量大

所有的液体和固体中，水的比热最大；每升高或降低1°C时所吸收或放出的热量比其它物质都多。冰的熔化热和水的汽化热也很高。因此，水可作为热交换介质，使用于冷却、贮热、输热等方面，天然水体可调节气温。

#### 4. 常温附近可有三相变化

常压下，在0~100°C范围内水可出现固、液、气三相变化，这样范围的温度一般不难达到，故可利用水的相变热转换能量。

#### 5. 表面张力大

液体中除汞外，水的表面张力最大，由此产生毛细、润湿、吸附等一系列界面物理化学现象。

#### 6. 溶解及反应能力极强

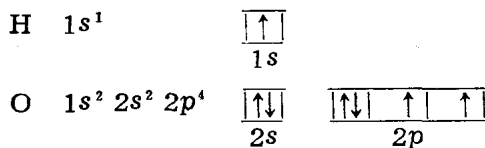
水是最重要的溶剂，许多溶质不但在水中有很大溶解度，而且有最大的电离度。在水溶液中进行多种化学反应。水本身也参与多种反应，并可起催化作用。盐类的水解以及许多氧化物与水反应生成酸或碱；此外，水化物广泛存在于晶体及溶液中。

7. 纯水几乎不导电，但在一般水中由于溶解了电解质，所以是导电的。

物质的性质是它的内部结构的反映，下面讨论水的结构。

### 二、水的分子结构

水分子是由两个氢原子和一个氧原子组成的。



氢原子与氧原子成键时，氧原子的一个s轨道和三个p轨道首先进行杂化，形成四个sp<sup>3</sup>杂化轨道，四个杂化轨道指向四面体的四个顶角。两对独对电子，占据两个杂化轨道，

剩下两个杂化轨道各含有一个未成对电子。这两个未成对电子分别与两个氢原子的1s电子成键，形成水分子。这样 $\angle\text{HOH}$ 应为 $109^\circ 28'$ 。但实验结果为 $104^\circ 40'$ 。偏差的原因是由于独对电子所占据的杂化轨道电子云比较密集，对于成键电子对所占据的杂化轨道起了排斥作用，以致两个O—H键间的夹角为 $104^\circ 40'$ 。如图1-2所示。

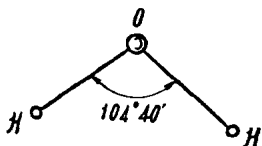


图 1-2 水分子的结构

### 三、范德华引力与氢键

氢和氧的电负性相差1.4之多（H的电负性是2.1，O的电负性是3.5），故O—H键的极性相当强而且两个O—H键不在一条直线上，这样对整个水分子来说，它的正电荷重心偏在于两个氢原子的一方，而负电荷重心偏在于氧原子的一方。从而构成极性分子。水的偶极矩相当大，说明水分子具有很强的极性。

当水分子相互接近时，由于它们偶极的同极相斥，异极相吸，两个分子就发生相对转动，并按异极相邻的状态取向，这时异极间的引力大于相距较远的同极间的斥力，所以分子间的作用力是吸引力。这种同极相斥，异极相吸的静电力（即取向力）是水分子间范德华引力的主要来源。此外，水分子间还生成较强的氢键。

在水分子中氢与氧以共价键结合，由于氧的电负性较大，共用电子对被强烈地吸引到氧的一方，而使氢带正电性；同时，氢原子半径很小又无内层电子，它不被其它原子的电子云所排斥，反而能与另一水分子中氧原子上的独对电子相互吸引，结果水分子间便形成氢键而缔合在一起。液态水中有 $(\text{H}_2\text{O})_2$ ， $(\text{H}_2\text{O})_3$ 等缔合分子，就是靠氢键的作用。

H与原来水分子中的氧共价结合，相距较近（ $0.99\text{\AA}$ ），而与另一水分子中的氧则以氢键结合，相距较远（ $1.77\text{\AA}$ ）见图1-3。

在冰的结构中，水分子都借氢键联系起来，形成巨大的缔合分子（图1-4）。

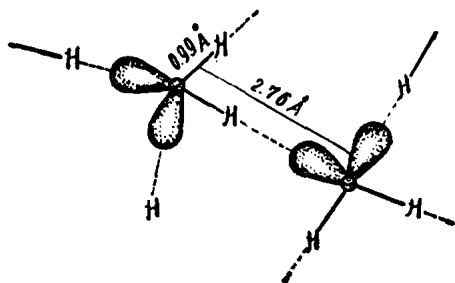


图 1-3 水的氢键

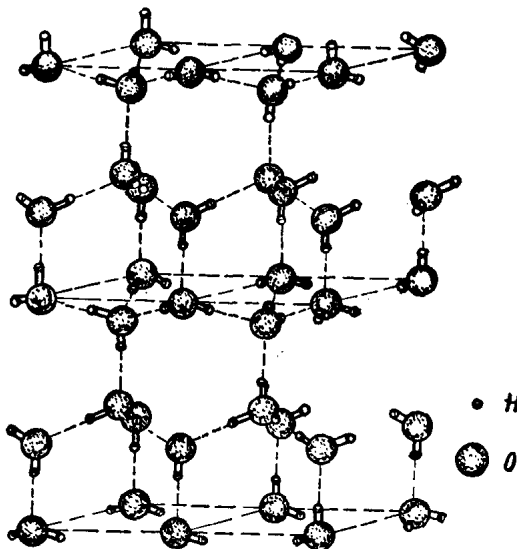


图 1-4 冰中氢键结构

其中每个水分子位于四面体（注意不是正四面体）的中心，它与周围的四个水分子分别以氢键相联结。两个氢键来自中心水分子的氢原子和两个邻近水分子的氧的独对电子的作用，另外两个来自中心水分子氧的两对独对电子和两个邻近水分子的氢的作用。这样的结构并不紧密，分子间存在着较大的孔道，空间利用率很低，所以冰的密度很小，能浮于水面。在缔合分子中，氢键愈少则分子愈容易紧密排列起来。当冰熔化时，有些氢键破裂

了，使整体化为四面体集团和零星的较小的水分子集团，这些集团能够移动，彼此向空处靠拢，水分子就可以较紧密地排列起来，因此所生成的液态水的体积较小，密度较大。当冰熔化后，水的温度上升时有两个相互矛盾的因素影响着水的密度：一方面因缔合水分子随温度上升而逐步离解，使水的密度增大；另一方面由于温度升高，增强水分子的热运动，使体积膨胀，密度降低。在 $0^{\circ}$ 到 $4^{\circ}\text{C}$ 之间，前一因素占优势，结果密度增加，到 $4^{\circ}\text{C}$ 时密度为最大；但从 $4^{\circ}\text{C}$ 继续加热，分子的热运动使体积膨胀的正常效应开始占优势，矛盾发生了转化，因而密度就逐渐减小。

水在加热时，热量不但消耗于增高水的温度，也消耗于水分子中间氢键的破裂，即缔合水分子的离解，因此水的比热、熔点和沸点比不缔合的其它相似结构的化合物来说要高得多。总之，水的很多性质是决定于它的氢键以及水分子的极性。

### 思考题

1. 试用轨道杂化理论说明水分子的构型。
2. 水分子间都有哪些作用力？这些作用力的存在，对水的物理性质有哪些影响？
3. 什么是氢键？试以水为例说明产生氢键的必要条件。

## 第二章 水质化学处理基本概念

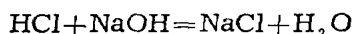
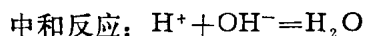
水质处理的方法可归纳为物理法、化学法、生物法等。化学法主要是利用化学反应来处理或回收废水中的溶解物质或胶体物质。常用的化学反应，有酸碱中和反应、沉淀反应、络合反应和氧化还原反应等。

本章扼要复习普通化学有关内容，并介绍一些基本概念。

### 第一节 酸碱中和反应

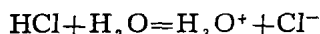
#### 一、酸碱质子理论

根据电离理论，酸在水溶液中能电离生成  $H^+$  离子，碱在水溶液中能电离生成  $OH^-$  离子， $H^+$  离子是酸的特征， $OH^-$  离子是碱的特征。酸碱之间的反应叫做中和反应，它的实质是  $H^+$  离子和  $OH^-$  离子结合而生成  $H_2O$  的过程。例如，盐酸与氢氧化钠的反应：



酸碱中和反应的主要产物是水，另一产物是盐，如上述反应中的  $NaCl$ 。但在溶液中的  $NaCl$  仍以  $Na^+$  离子和  $Cl^-$  离子的形式存在，这两种离子在反应前后没有发生任何变化。

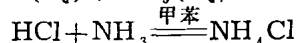
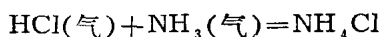
值得注意的是， $H^+$  离子实际上是一个很小的质子，它不能孤立地存在于水中，总要与极性水分子结合成为水化离子，一般用  $H_3O^+$  表示。这样盐酸的电离可写成：



强酸与强碱中和反应的离子方程式可写成：



电离理论把酸碱只限于水溶液中，并只限于分子，又把碱限制为氢氧化物。但是有些化合物如  $Na_2CO_3$ 、 $Na_3PO_4$  等分子中并不含  $OH^-$  离子，其水溶液却显碱性，甚至酸式盐  $NaHCO_3$  的水溶液也显碱性。虽然可用水解的道理解释溶液的碱性，但这些化合物算不算碱呢？此外， $HCl$  与  $NH_3$  在气态或非水溶剂甲苯中，可以说并不产生  $H^+$  离子和  $OH^-$  离子，也不能用电离和水解的道理来说明它们的酸碱性，它们是不是酸和碱呢？它们相互反应却能生成盐 ( $NH_4Cl$ )。



这样反应是不是酸碱中和反应呢？从电离理论给酸和碱所下的定义，就显得过于狭隘，因此提出了酸碱质子理论，从而扩大了酸碱的含义。

按照酸碱的质子理论，任何能放出质子（即  $H^+$  离子）的物质都是酸，任何能夺取或