

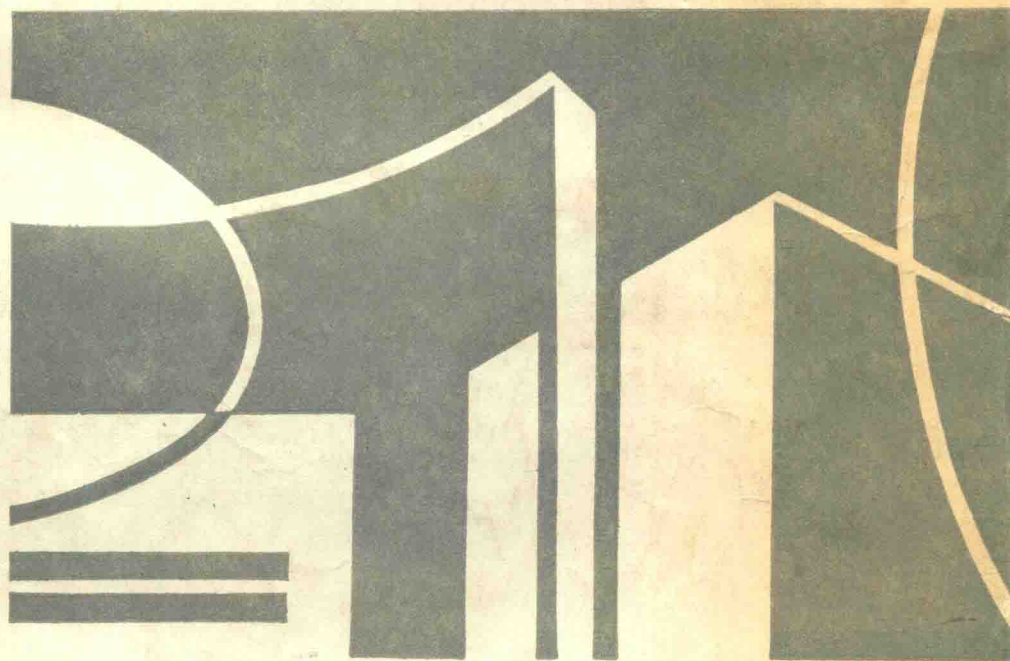
中等专业学校试用教材

水化学 与 水微生物学

(新一版)

谭志琼 主编

谭志琼 伍玉燕 李穗芳 编



中国建筑工业出版社

中等专业学校试用教材

水化学与水微生物学

(新 一 版)

谭志琼 主编

谭志琼 伍玉燕 李穗芳 编

江苏工业学院图书馆
藏书章

中国建筑工业出版社

(京)新登字 035 号

本书共十一章，其中水化学部分七章，主要介绍水和胶体溶液、水质分析概论与滴定分析法、电解质溶液和酸碱滴定法、多相离子平衡和沉淀滴定法、配合物和配位滴定法、氧化还原反应和氧化还原滴定法、比色分析法；水微生物学部分四章，主要介绍水中主要的微生物类群——细菌、其他水微生物及其生态、微生物在污水生物处理中的作用、饮用水的卫生细菌学。此外，配合基础理论教学和专业的实际需要，选编了15个水化学实验和6个水微生物学实验。

本书在第一版基础上作了较大幅度的修改，全书采用新的计量单位进行撰写，注意结合中专学生的知识实际、专业实际和生产实际。教材结构合理、概念准确、表述清楚、语言通俗易懂，便于读者自学。

本书除作为给水排水专业教材外，亦可供环境保护、水质分析等专业的学生和有关工程技术人员、管理干部、技术工人等参考和自学。

中等专业学校试用教材
水化学与水微生物学

(新一版)

谭志琼 主编

谭志琼 伍玉燕 李穗芳 编

*

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)

新华书店总店科技发行所发行

北京顺义燕华印刷厂印刷

*

开本：787×1092毫米 1/16 印张：16³/₄ 字数：406千字

1993年6月新一版 1993年6月第一次印刷

印数：1—5,600册 定价：4.05元

ISBN7—112—00970—7/G·130

(6053)

前 言

本书是根据普通中等专业学校给水排水专业毕业生业务规格和课程教学大纲要求编写的。

本书适用于招收初中毕业三、四年制或高中毕业二年制中等专业学校给水排水专业使用，也可供从事环境保护、环境监测、水处理和水质分析的工作人员参考。

本书编写分工：

谭志琼编写水化学部分及实验 1~15，并负责全书的主编工作；

伍玉燕编写水微生物学第九、十、十一章；

李穗芳编写水微生物学第八章、实验基础知识及实验 16~21。

本书由上海市公用事业职工学校高级讲师沈旭春主审。

华东师范大学化学系副主任金利通教授、同济大学环境工程学院陈青萍副教授，在评审时对本书提出了极为宝贵的意见。此外，在编写过程中，广州市市政建设中等专业学校各级领导给了我们极大的支持和关心。我们表示衷心感谢！

由于水平有限，时间仓促，书中错误及不妥之处在所难免，欢迎读者提出批评和指正。

目 录

第一章 水和胶体溶液	1
第一节 水的循环及水中杂质	1
第二节 水的净化	3
第三节 水的分子结构 and 水的特性	6
第四节 水的物理性质及其测定	8
第五节 胶体溶液的性质	11
第六节 憎液溶胶胶团的结构	16
第二章 水质分析概论和滴定分析法	23
第一节 水质分析简述	23
第二节 标准溶液的配制及其浓度	27
第三节 滴定分析的计算	32
第四节 定量分析的误差	37
第五节 有效数字及其计算规则	42
第三章 电解质溶液和酸碱滴定法	46
第一节 弱电解质溶液	46
第二节 同离子效应和缓冲溶液	52
第三节 盐类的水解和酸碱反应	58
第四节 酸碱滴定法	61
第四章 多相离子平衡和沉淀滴定法	73
第一节 多相离子平衡	73
第二节 沉淀与溶解	76
第三节 沉淀滴定法	80
第五章 配位化合物和配位滴定法	84
第一节 配位化合物	84
第二节 螯合物	90
第三节 配位滴定法	93
第六章 氧化还原反应和氧化还原滴定法	97
第一节 氧化还原反应	97
第二节 氧化还原反应和电极电位	103
第三节 氧化还原滴定法	110
第七章 比色分析法	120
第一节 比色分析法的基本原理	120
第二节 比色分析方法	124
第三节 比色分析法在水质分析中的应用	130
第八章 水中主要的微生物类群——细菌	135

第一节	细菌的形态与结构	135
第二节	细菌的生理特性	139
第三节	细菌的生长繁殖与遗传变异	144
第九章	其他水微生物及其生态	152
第一节	其他水微生物	152
第二节	水微生物的生态	158
第十章	微生物在物质循环和污水生物处理中的作用	163
第一节	微生物在自然界物质循环中的作用	163
第二节	微生物在污水生物处理中的作用	165
第十一章	饮用水的卫生细菌学	171
第一节	水中的病原微生物和水的消毒方法	171
第二节	饮用水的卫生细菌学指标	174
第三节	水的卫生细菌学检验	177
实验	180
实验基础知识	180
实验一	胶体溶液的制备与破坏	187
实验二	分析天平与称量练习	189
实验三	总不可滤残渣(悬浮物)的测定	192
实验四	标准溶液的配制与标定	194
实验五	水中总碱度和总酸度的测定	197
实验六	水中可溶性氯化物的测定	200
实验七	水中总硬度的测定	203
实验八	高锰酸盐指数的测定	205
实验九	化学需氧量的测定①	208
实验十	溶解氧及五日生化需氧量的测定	210
实验十一	水的 pH 值测定	214
实验十二	亚硝酸盐氮的测定	216
实验十三	水中六价铬的测定	218
实验十四	水中余氯的测定	219
实验十五	水中浊度的测定	221
实验十六	显微镜的使用与细菌形态结构观察	223
实验十七	细菌的染色	225
实验十八	培养基的制备与灭菌	227
实验十九	生物膜或活性污泥中微生物的观察	230
实验二十	水质卫生细菌学检验(一)——水中细菌总数的测定	232
实验二十一	水质卫生细菌学检验(二)——总大肠菌群的测定	234
附录	239
附录 1	中华人民共和国国家标准(摘编)	239
附录 2	电离常数	242
附录 3	溶度积常数	243
附录 4	配合物的稳定常数	243
附录 5	标准电极电位(298.15K)	244

附录 6	基准物质及其干燥温度	246
附录 7	我国试剂等级的划分表	247
附录 8	几种市售酸和氨水的近似密度和浓度	247
附录 9	配制物质的量浓度时一些试剂的常用基本单元	248
附录 10	国际原子量表	248
附录 11	废水生物处理中常见的微生物	249
附录 12	教学用染色液	255
附录 13	水质卫生细菌学检验常用的培养基	256
附录 14	几种教学示范片的染色法	258
附录 15	大肠菌群检数表	259

第一章 水和胶体溶液

水是分布最广的自然资源，是人类日常生活中、各种工业生产中以及农作物生长过程中不可缺少的物质。因此，保护水资源，使水源有足够的水量和合格的水质，这对人类的健康、正常生产和保证产品质量都是非常重要的。

本章将要介绍水的循环、水中杂质及其指标、水的净化、水的结构和水的特性、水的物理性质及其测定、胶体溶液的性质以及胶团结构等方面的基本知识。

第一节 水的循环及水中杂质

一、水的自然循环和社会循环

水分别以气、液、固三种状态存在于自然界。水遍布于海洋、河川、湖泊、地层等等。

地球上的水经常进行两种循环，一种是自然循环，另一种是社会循环。水在太阳辐射和地球引力的作用下，不停地流动和转化，由蒸发、降水、地面径流（即水在地面上汇集成江河湖海）、地下渗流（即水渗入地下形成地下水层和水流）等过程构成了自然循环，如图1-1所示。人类社会为了满足工农业生产和日常生活的需要，从天然水体中取水加以处理，使用后变成了工业废水和生活污水，再经过处理，并不断地排入天然水体中，从而构成了社会循环，如图1-2所示。

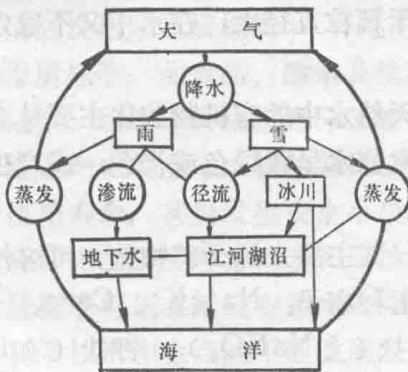


图 1-1 水的自然循环

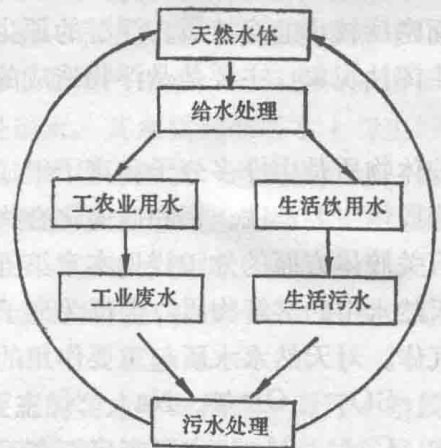


图 1-2 水的社会循环

地球上水的总量约为 $1.4 \times 10^{18} \text{m}^3$ ，作为社会循环中所利用的水，只占地球总水量的几百万分之一，然而却表现出人类社会的需要与自然水体的量与质方面的极大矛盾。据统计，目前全世界有100多个国家缺水，其中严重缺水的有40多个国家。由于工业污染使世界上十几亿人难以找到干净的饮用水。每年大约有五亿人因使用不清洁的水而致病，其中1000多万人丧生。

据介绍, 目前在我国许多地区, 由于水质污染严重, 而不断增长的用水量与有限的水资源之间的矛盾日趋尖锐。在华北、西北处于干旱、半干旱气候的地区, 水资源不足与水质污染问题已较为突出; 在南方, 水资源虽然较为丰富, 但也遇到不同程度的污染问题。1980年有关部门曾对全国878条主要河流、32个湖泊、107个水库进行了调查与评价, 在调查与评价的92806km的河流中, 已有20000km的河水受到了较严重的污染, 其中5322km已成为鱼虾绝迹的臭水。

在天然水体中量大而面广的污染物是有机物, 危害最严重的是重金属。水体污染不仅加速了水资源的紧张, 而且形成各种社会公害, 例如, 因水污染而引起人畜中毒、死亡、渔业减产、工业减产及产品质量下降、破坏供水水源等重大事故时有发生; 肝炎、肠胃病以及癌症病人逐年增加; 因汞、镉、氟等造成的地方病也逐年增加。目前全国因水源缺乏和水污染, 约有4000万人和3000万头耕畜的饮水遇到困难。

为此, 联合国首次发出警告: “石油危机之后, 下一个社会危机便是水”! 这并不是危言耸听, 如果人们不采取切实可行的措施, 保护自然环境, 保护水资源, 节约用水, 人类就难以继续立足地球。

二、水中杂质

由于水具有很大的流动性和强的溶解能力, 因此, 在自然循环和社会循环的每个环节中, 几乎都有杂质混入。其中包括自然界各种地球化学和生物过程的产物, 也包括人类生活和生产的各种废弃物。

(一) 天然水中的杂质

天然水中杂质的种类很多, 按杂质的性质可分为无机物、有机物和微生物三类; 按杂质颗粒大小也可分为三类, 颗粒直径大于100nm的是悬浮物, 颗粒直径小于1nm的是离子和分子物, 即溶解物质, 而介于1~100nm之间的是胶体。

悬浮物一般悬浮于水流中, 当水静止时, 密度较大的泥砂、粘土类无机物等会沉于水中, 而密度较小的腐植质、浮游的原生物、难溶于水的有机物等则会上浮于水面。天然水体发生浑浊现象, 主要是悬浮物造成的。悬浮物由于颗粒直径大, 在水中又不稳定, 容易除去。

胶体物质是由许多分子和离子组成的集合体。天然水中的有机物胶体主要是腐植质, 无机物胶体主要是铁、铝和硅的化合物。这些胶体常使水呈黄绿色或褐色, 或产生浑浊现象。有关胶体方面的知识详见本章第五、六节内容。

天然水中的溶解物质, 大都为离子和分子状态, 其主要来源于矿物盐、可溶性的有机物和气体。对天然水水质起重要作用的通常有下列七种离子: Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 HCO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 Cl^- 等。 Na^+ 、 K^+ 主要来自矿物钠盐(如 NaNO_3)、钾盐(如 KNO_3)的溶解。 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 主要来自石灰石(CaCO_3)、石膏($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)、白云石(CaCO_3 、 MgCO_3)的溶解。天然水中 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 的含量居于阳离子中的第一、二位, 因此, Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 含量的多少能决定水的硬度的大小(水的硬度方面的内容详见第五章)。天然水若为清水, 则以 HCO_3^- 含量高为其特征。 HCO_3^- 主要来源于水中溶解的 CO_2 和碳酸盐反应后的生成物。 HCO_3^- 是天然水总碱度的其中一个组成部分(水的碱度方面的内容详见第三章)。天然水中都含有 Cl^- 和 SO_4^{2-} , 海水中含有大量的 Cl^- , 一般地下水的 SO_4^{2-} 含量比江、河、湖水的含量高。

天然水中常见的溶解气体有 O_2 、 CO_2 ，此外亦溶解一些 H_2S 、 SO_2 、 NH_3 等，因此，使水体具有腐蚀性和臭味。

(二) 生活污水和工业废水中的杂质

生活污水中含有各种生活废物，如食物残渣、粪尿、垃圾、病菌等各种有机物和微生物。这些物质使生活污水外观浑浊、有色，且带有腐臭气味。

工业废水中含有各类工业生产废料、残渣及部分原料。常见的污染物有 Hg 、 Pb 、 Pb^{2+} 、 Zn^{2+} 、 Cd^{2+} 、 Hg_2^{2+} 、 Hg^{2+} 、 Cr^{6+} 、 F^- 、 CN^- 等，此外还有酚、有机氯、有机磷农药，苯基烷烃类有机物等。这些物质也使工业废水呈现出浑浊、有色、臭、味、酸碱性等。

江河湖泊等地表水体是工农业用水和生活饮用水的主要水源。而使用后的工业废水和生活污水则是地表水体遭受污染的主要来源。为了控制水污染，保护海洋、江河、湖泊、运河、渠道和水库等地面水体及地下水水质良好状态，保护人民健康，保护生态平衡，促进国民经济和城乡建设的发展，国家环境保护局制定了地表水环境质量标准、污水综合排放标准（详见附录1），对污水废水的排放实行严格的控制和管理。

三、水质指标和水质标准

所谓水质是指水和其中杂质共同表现出来的综合特征。水质指标是衡量水中杂质的标度。它能具体表明水中杂质的种类和数量，常包括感官性状和一般化学指标、毒理学指标、细菌学指标、放射性指标四项。根据水质指标，可以判断水质的优劣及是否满足使用的要求。水质指标往往是根据杂质的特性、污染的性质及测定的方法等因素，进行综合考虑而拟定的。有些水质指标是直接由某一种物质的含量来表示的，如铅、六价铬等。有些水质指标是根据某一种类杂质的共同特性用间接的方法来表示其含量的，如水中有机物的种类繁多，不可能也无必要对它们逐个进行测定，而是以耗氧量、化学需氧量和生化需氧量等水质指标来表示有机物的污染状态（有关这方面的知识详见第六章）。还有些水质指标，则是用配制的标准溶液作为标准来表示其含量，如浑浊度、色度等（详见本章第四节）。

所谓水质标准是对水质指标作出的定量规范。例如，中华人民共和国卫生部于1985年发布了《生活饮用水水质标准》（详见附录1）。各种工业生产用水，则根据实际需要，制定相应的水质标准。如食品、酿造及饮料工业的原料用水，其水质标准基本上与生活饮用水相同。造纸、纺织印染用水对浑浊度和色度要求较高（因浑浊度、色度高的水，会使纸或织物纤维上产生斑点）；锅炉要用软水（因硬水会在锅炉壁上产生水垢，浪费能源，缩短锅炉的使用寿命，甚至发生安全事故）；工业冷却用水要求水温低、悬浮物含量少的中性水（因悬浮物含量多容易堵塞和腐蚀管道）；电子工业要用高纯水……。各种工业生产用水的水质标准可从文献或专著中查到。

随着科学技术和生产的不断发展，各种用水对水质的要求不断提高，对污水杂质含量的要求日益严格。因此，水质标准不是一成不变的，在实践中应不断加以总结和修订。例如，1985年发布的《生活饮用水水质标准》就比1976年发布的《生活饮用水水质标准》增加了12项标准，而且有些标准的要求也提高了。

第二节 水的净化

水是宝贵的自然资源，水和人类的关系非常密切，可以说，没有水就没有生命。水是

人体组成的基础物质，又是新陈代谢的主要介质，其含量占体重的三分之二。一般生活用水（包括饮用及卫生方面），每人每天约需40~50L。在现代化城市中，生活用水量还要高很多倍，如纽约和大阪每人每天耗水约600L。工农业生产对水的需用量就更大，根据我国工业用水量定额（试行），电炉炼钢中每生产1t钢需水18~25m³；每生产一辆汽车需水46m³；每生产1t粘胶长丝需水656m³……。我国华北地区种一亩小麦需水40~50m³；种一亩蔬菜需水25~35m³……。随着世界人口的不断增长和工农业生产的迅速发展，人类对水的需求量将日益增多。

然而，天然水能够直接供给生产或生活的需要是很少的，一般都必须经过处理，去掉杂质，使之符合生活饮用水或各种工业用水的水质标准才可使用。采用一定的处理方法去除杂质的过程，叫做水的净化。

水的净化一般有两种方法，一种是去除天然水中不溶解性杂质和去除微生物，另一种是减少天然水中溶解性物质含量，现叙述如下。

一、去除天然水中不溶解性杂质和去除微生物

要去除天然水中不溶解性杂质和去除微生物，通常都采用沉砂、凝聚、沉淀（澄清）、过滤和消毒等方法。沉淀可作为水质净化的独立过程，也可与凝聚过程合用，以去除水中分散杂质。天然水受腐植质、粘土、硅酸和其他物质所污染，这些物质的粒子带负电荷。凝聚方法所采用的凝聚剂，如硫酸铝、三氯化铁等，在水中可以水解生成带正电荷的胶粒，这些胶粒能吸附水中带负电荷的杂质，使颗粒增大，从而加速其沉淀。

水经凝聚、沉淀（澄清）后，再经过滤，去除了悬浮的杂质并降低了细菌污染程度。为了杀灭残留下来的病原（致病）微生物，过滤水还必须进行消毒。消毒法可分为物理消毒法和化学消毒法两类。物理消毒法包括加热（把水煮沸是最古老的消毒法，用于净化少量的水）、紫外线（因紫外线对微生物细胞酶和原生质的破坏而导致细菌死亡。波长250到280nm的射线对细菌具有最强的作用）、超声波（不被人们的听觉器官所接受的，频率超过20000Hz的弹性振动称为超声。超声波能使原生质蛋白质分解，引起微生物生命功能的破坏）等方法；化学消毒法包括臭氧氧化、用Ag⁺离子消毒、用碘消毒、用氯和含氯物质（漂白粉、氯胺、二氧化氯、次氯酸盐等）消毒等方法。在水净化实践中常采用氯和含氯物质进行消毒，该法成本低、操作简便、效果良好。但加氯后在水中会产生对人体有害的卤化物，因此，目前世界上一些发达国家采用臭氧进行消毒。有关水净化方面的知识在有关专业课中将会详述。

二、减少天然水中溶解性物质的含量

为满足各种工业用水对水质的不同要求，可采用离子交换法、反渗透法和电渗析法去除水中一些溶解性杂质。下面将介绍离子交换法净水的基本原理。

离子交换法是利用离子交换剂将水中有害于生产的阳离子或阴离子，交换成为对水质无害的H⁺离子和OH⁻离子。与离子有交换性能的物质称为离子交换剂。在水净化中采用的离子交换剂有天然产的和人工生产的。天然产的如天然海绿石，海绿石是无定形结构的铁铝硅酸盐，制备好的海绿石是细小的、光滑的、绿色的颗粒，粒径为0.2~0.6mm。海绿石可用在中性和碱性介质中，因为在酸性介质中颗粒会部分被溶解。由于天然离子交换剂交换能力差，所以在实际生产中常采用人造的离子交换剂。

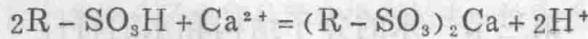
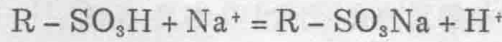
人造离子交换剂又称为离子交换树脂，它是具有网状结构的复杂的有机高分子聚合

物。网状结构的骨架部分一般很稳定，不溶于酸、碱和一般溶剂，耐热，机械强度高。网状结构的骨架上有很多可被交换的活性基团，根据活性基团的不同，可分为阳离子交换树脂和阴离子交换树脂两大类。

能交换阳离子的离子交换剂，称为阳离子交换树脂。常用的磺酸型阳离子交换树脂的通式为：

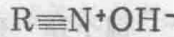


阳离子交换树脂呈酸性，在交换中释放出氢离子 H^+ ，而与水中的阳离子进行交换。例如：

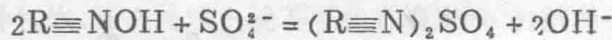


通式： $mR - SO_3H + M^{n+} = (R - SO_3)_nM + mH^+$

能交换阴离子的离子交换剂，称为阴离子交换树脂。常用的季铵型阴离子交换树脂的通式为：



阴离子交换树脂呈碱性，在交换中释放出氢氧根离子 OH^- ，而与水中的阴离子进行交换。例如：



通式： $mR \equiv NOH + A^{n-} = (R \equiv N)_nA + mOH^-$

水通过阴、阳离子交换树脂处理后， H^+ 与 OH^- 离子结合成 H_2O ，从而达到了除去或减少水中溶解性物质的含量。此过程也称为除盐。用离子交换树脂处理后的水称为去离子水，或称为离子交换水、脱盐水。

离子交换树脂按其用途不同，可制成液态的、球状的、块状的、纸状的、纤维状的及薄膜状的等等。实验室常用的是粒度20~40目、含水率50%、黄褐色、球状的磺酸型阳离子交换树脂（强酸性的）和季铵型阴离子交换树脂（强碱性的）。

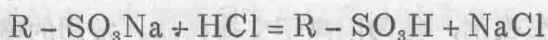
实验室要制取纯度较高的分析用水，可用普通蒸馏水再进行离子交换处理。实验室用交换柱常以玻璃、有机玻璃或聚乙烯管等材料制成，进水管和阀门最好也用聚乙烯制成，树脂层高度一般不超过60cm。

市售的离子交换树脂常混有一些有机杂质（磺酸、胺类等）和无机杂质（铁、铅、铜、铝、钙、镁等），因此新树脂要经过处理后才能利用。首先将潮湿的新树脂在空气中晾干（不要用烘箱烘干，因为烘干会使树脂交换基团部分遭到破坏）。用95%乙醇浸泡4h，并不断搅拌，用水漂洗至无乙醇气味后，再漂洗1~2次，然后进行以下处理。

强酸性阳离子交换树脂：用5~10% HCl浸泡1d，并不时搅拌，用倾泻法以蒸馏水洗涤树脂至洗液不呈色，然后将树脂和水一起装入柱中（勿使树脂层中含有气泡！），再用5~10%的HCl溶液淋洗，使流出液中检不出 Fe^{3+} 离子。再以蒸馏水或去离子水洗涤，直至流出液的pH值为6.6~7.0，即可使用。

强碱性阴离子交换树脂：用水浸泡1d，将树脂带水一起装入柱中（勿使树脂层中含有气泡！），用5% HCl溶液淋洗，直至流出液检不出 Fe^{3+} 离子。然后用水洗涤到中性，再用4~6% NaOH溶液淋洗，直至流出液中检不出 Cl^- 离子，最后用蒸馏水或去离子水洗至pH值约为7，即可使用。

离子交换树脂使用一段时间后会失效，即失去交换能力。此时可按上法用5~10% HCl溶液处理阳离子交换树脂；用4~6% NaOH溶液处理阴离子交换树脂，此过程称为再生。阳离子交换树脂再生反应如：



阴离子交换树脂再生反应如：



再生后的离子交换树脂可重复使用。

第三节 水的分子结构和水的特性

一、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。

由图1-3中可看到，水分子中两个O—H键不在一条直线上，这样对整个水分子来说，它的正电荷重心偏于两个氢原子一方，而负电荷重心则偏于氧原子一方。此外，O—H键的极性很大，因而水分子具有很强的极性。

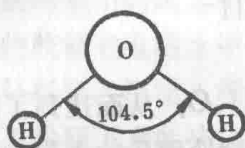


图 1-3 水分子结构图

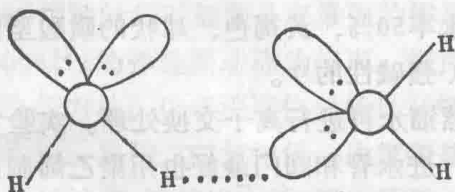


图 1-4 水分子间的氢键示意图

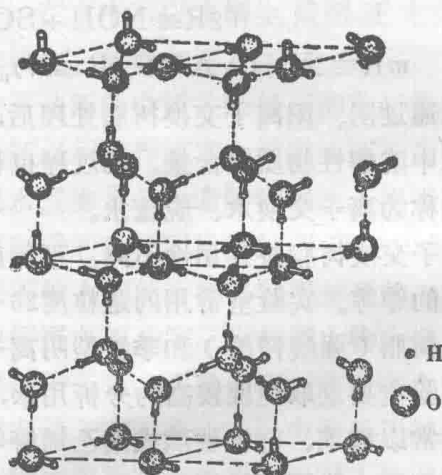
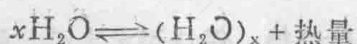


图 1-5 冰中氢键结构

在水分子中氢与氧以共价键结合，由于氧吸引电子的能力远远大于氢，共用电子对强烈地偏向氧一方，即氢原子的电子云被吸引到氧原子一方，因而使氢原子几乎成为“赤裸”的质子。氢原子半径很小，又无内层电子，它不被其他原子的电子云所排斥，反而能与另一水分子中氧原子的孤对电子对相互吸引，因而水分子间便形成了氢键，如图1-4所示。

氢键多产生于半径较小，非金属性很强的原子（F、O、N等）与氢所形成的化合物之间，如HF、H₂O、NH₃等分子间有氢键。此外，氢键还广泛地存在于无机含氧酸、羧酸、醇、胺水合物、氨合物等。在生命过程中，具有意义的基本物质（蛋白质、脂肪、糖）都含有氢键，氢键能存在于晶态、液态甚至气态之中。氢键的本质可看成是静电引力。氢键的强度比化学键小得多，与较强的分子间力差不多。

简单的水分子和复杂的水分子间存在如下平衡关系：



这种由简单的分子结合成比较复杂的分子，而物质的化学性质不发生改变的现象，称为分子的缔合。在冰的结构中，水分子借氢键联系起来，形成了巨大的缔合分子。如图1-5所示。

由图1-5可见，冰的分子间结构不紧密，存在较大的孔隙，所以冰的密度较小，能浮于水面。

水分子的缔合随温度而变化，在沸腾时，由于氢键被破坏，大多数为单个水分子 H_2O ，只有极少数的二水分子 $(\text{H}_2\text{O})_2$ 。当冰融化时，有些氢键破坏了，水分子较紧密的排列起来。在缔合分子中，氢键愈少则分子愈容易紧密排列起来。液态水几乎都是缔合的二水分子 $(\text{H}_2\text{O})_2$ 和三水分子 $(\text{H}_2\text{O})_3$ ，所以其体积较小，密度较大。总之，水的很多性质决定于水分子的极性和氢键。下面将简单地讨论这方面的问题。

二、水的特性

水在常温下以液态存在，有一般液体的共性，但与其他物质比较，又有其特性，而且水的许多用途都与其特性有关。

(一) 水的沸点高

这是由于O—H键能高，要破坏O—H键需要较大的能量。如果水没有沸点高这一特性，常温下它将是一种气体，那么地球上就不可能有液态水，也就没有海洋、江河、湖泊、植物和动物。冷却、贮热、输热以及实验室用水浴加热某些物质就是此特性的应用事例。

(二) 所有液体中，水的蒸发热最大

这是因为在加热时，除了要消耗一定能量克服较强的水分子间力外，还要消耗一定能量来破坏氢键。此特性对调节气温起着很大作用，大量的太阳能以热的形式贮存在被蒸发的海水中，然后转移到较冷的陆地上空，凝结成降水时又释放出来，使太阳照到地球上的热能得以在全球分散。水的蒸发热高，还有利于人类，只需蒸发少量水分即可维持体温，否则人要喝许多水才可满足蒸发的需要。

(三) 水是热容最高的物质之一

就是用给定的热量加热一定量的水时，其温度升高不多，也就是说，加热（或冷却）水都比加热（或冷却）其他物质慢得多。其原因是加热水时，除了要消耗一部分能量克服水分子间引力外，还要消耗额外的能量来破坏氢键。水的这一特性使得气温不会大幅度变动，从而保护了生命机体免受气温突变的伤害。

(四) 水固态时的密度比液态时小

当水温降至 4°C （准确为 3.98°C ）时，密度最大，为 $1\text{g}/\text{cm}^3$ 。 0°C 时水的密度为 $0.9999\text{g}/\text{cm}^3$ ，而 0°C 时冰的密度为 $0.9168\text{g}/\text{cm}^3$ 。这是因为水分子间含有氢键的缘故。在接近及达到 4°C 时，在缔合水分子中二水分子 $(\text{H}_2\text{O})_2$ 占绝对优势，因二水分子 $(\text{H}_2\text{O})_2$ 排列紧密，故密度最大。当水结冰时，三分子的缔合水分子 $(\text{H}_2\text{O})_3$ 占绝对优势，因 $(\text{H}_2\text{O})_3$ 结构较疏松，中间有较大孔隙，如图1-6所示。此特性对人类有重要意义，因为水结冰后体积增大，密度减小，所以冰浮于水面形成冰

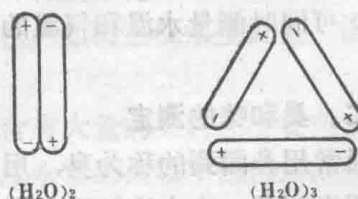


图 1-6 二分子体、三分子体水结构示意图

层,隔绝了深层水与外界热量进行交换,保持深水水温。如果水从河、湖底部首先结冰的话,大多数水中生物就不可能生存,且地球上则永远处在冰河时期。

(五) 水是最好的溶剂

因为水是强极性键分子,其结构和分子间力与大多数无机物相似,根据“相似相溶”的原则,大多数无机物能溶解于水中。此外,一些有机物也能溶解于水中,如酒精 C_2H_5OH 和水分子一样都含有羟基($-OH$)官能团,且分子间都有氢键,分子间的作用力也相当,因此,酒精能以任意比例与水互溶。

由于水能溶解很多物质,因此各种营养物质能随水在动物、植物体内输送,并且可利用水冲洗各种脏物。但是也正因为水有这个特性,因而容易引起水污染。

很多物质不仅能溶于水,而且还可以在水溶液中进行多种化学反应,并可起催化作用。如盐类的水解以及许多氧化物与水反应生成酸或碱等。水的这个性质,广泛用于工农业生产,如化工、医药、卫生、食品加工以及农作物灌溉等方面。

第四节 水的物理性质及其测定

水的物理性质通常是指它的温度、臭、味、色度、浑浊度和残渣等。下面分别加以阐述。

一、温度的测定

水温与水的物理化学性质有着密切的关系。水中溶解性气体,如 O_2 、 CO_2 等的溶解度;水中盐类的溶解度;水中生物及微生物的活动;水体的pH值;水体的自净等都受水温变化的影响。此外,在水处理过程中,水温低投加的药量比水温高时要多。所以温度是常规的水质物理指标之一,需要经常测定。

天然水的温度因水源而不同,地表水的温度随季节气候变化而发生变化,变化范围为 $1\sim 30^{\circ}C$ 。地下水的温度比较稳定,一般为 $8\sim 12^{\circ}C$ 。饮用水的温度在 $10^{\circ}C$ 左右比较合适,低于 $5^{\circ}C$ 时对胃粘膜有害。大量温热的工业废水直接排入天然水体中,将造成“热污染”。

水温为现场观测项目之一。根据水层深浅,可分为表层水温观测和深层水温观测两种测量方法。表层水温观测所用仪器有:(1)分度值为 $0.2^{\circ}C$,温度范围为 $0\sim 100^{\circ}C$ 的普通水银温度计;(2)可将温度计提出水面读数的专用水银温度计;(3)热敏电阻温度计等。测定时所取水样应与采样地点和水深相同,一般是将水银温度计插入一定深度的水中,5min后迅速提出水面并读取温度值。如果必须将水样取出测定时,水样体积不得少于1L,并立即测定和记录结果。深层水温观测所用仪器有:(1)热敏电阻温度计;(2)可同时测量水温和气温的颠倒温度计。深层水温测定方法与表层水温测定方法类同。

二、臭和味的测定

通常用鼻闻到的称为臭,用口尝到的称为味,有时臭和味不易截然分开。水中臭和味的主要来源是:水中溶解了如 H_2S 、 NH_3 等气体;水中溶解了矿物盐;水中有机物的分解;水生物或微生物的繁殖和衰亡;生活污水或工业废水的污染等等。另外,饮用水中的余氯过多也可造成臭味。

对水中臭和味的测定，目前还没有完全客观的或使用仪器的标准方法，一般是依靠嗅觉测定的。臭的强度大小可用下列两种方法表示：一种是根据直接的感觉，将臭的强度分为六级，如表1-1所示。另一种是用“嗅限值”表示，所谓“嗅限值”是把有臭味的待测水样用无臭味的水加以稀释，直到刚好能嗅出气味的最低限度为止，这一状态下的水样稀释倍数称为嗅限值。

例如，有待测水样50mL，当稀释到250mL时，刚好达到最低限度，则

$$\text{嗅限值} = \frac{(\text{水样} + \text{稀释水}) \text{体积}}{\text{水样体积}} = \frac{50 + 200}{50} = 5 \text{ (级)}$$

用嗅限值法一般可以得到较准确的结果。嗅限值的测定一般是在20°C和煮沸后稍冷，振荡瓶内水样，从瓶口闻水的气味，必要时用无臭水对照。

味的测定及强度表示方法与臭相似，但水味的测定只能用于没有被污染和肯定无毒的水，而且常常是在煮沸后进行。

待测定的水样应采集在具塞玻璃瓶中（不要用塑料容器），且最好在6h内完成臭的检验。若需要保存水样，则至少采集500mL，并将充满瓶口的水样冷藏，冷藏时不得有外来气味进入水中。

臭和味是生活饮用水的重要指标之一，用来判断水是否适合饮用。臭和味对工业用水一般没有多大意义，仅仅说明水是否已经受到污染。对工业废水，根据臭的测定结果，可以推测水中污染物的种类和污染程度。

我国饮用水水质标准规定，原水及煮沸水都不应有异臭和异味，臭和味的强度不超过2级，或嗅（味）限值不超过2~3级。

臭的强度等级

表 1-1

等 级	强 度	说 明
0	无	无任何气味
1	微 弱	一般饮用者难以察觉，嗅觉敏感者可以察觉
2	弱	一般饮用者刚能察觉
3	明 显	已能明显察觉，不加处理，不能饮用
4	强	有很明显的臭味
5	很 强	有强烈的恶臭

以上六个等级是粗略划分，因为各人的嗅觉感受程度不同，所得结果会有一定出入。

三、色度的测定

纯水为无色透明。清洁水在水层浅时为无色，水层深时为蓝绿色。天然水中存在腐植质、泥土、浮游生物、铁和锰等金属离子，均可使水体着色。如粘土使水呈黄色，铁的氧化物使水呈黄褐色，各种水藻使水呈绿色、褐色等等。

纺织、印染、造纸、食品、有机合成的工业废水，常含有大量的染料、生物色素和有色悬浮微粒等，这是常常使水体着色的主要污染源。有色废水常给人以不愉快感，排入水体后又使天然水着色，减弱水体的透光性，影响水生生物的生长。

水的颜色有真色与表色之分。除去悬浮杂质后，由水中溶解性物质引起的颜色称为真色；没有除去悬浮杂质的水所呈现的颜色称为表色。对于清洁的水或浑浊度很低的水，水

的真色和表色相近。

色度是一项重要的水质指标。对于饮用水来说，色度既反映了外观色态，也反映了内在质量，具有颜色的水不能饮用。对于工业用水来说，若使用具有颜色的水，将会降低如纺织、造纸等产品的质量，因此也不适用。对于天然水来说，若水的颜色很深，则在一定程度上反映出水体受污染的状况。

在水质分析中，色度应测其真色。测定真色时，如水样浑浊，应先将水样放置数小时，然后取上部清液，或用孔径为 $0.45\mu\text{m}$ 滤膜过滤。如水中的悬浮物不易沉降，则用离心机将其分离，但不能用滤纸过滤，因滤纸能吸附水的颜色。

较清洁的、带有黄色色调的天然水和饮用水的色度，通常采用铂钴标准比色法。该法规定每1L水中含有相当于1mg铂时所产生的颜色作为一度色度。测定时，用氯铂酸钾 K_2PtCl_6 与氯化钴 CoCl_2 混合液配制成不同浓度的标准比色系列，在相同条件下，将水样与铂钴标准比色系列比较，水样的颜色与多少度的标准色相当，那么该标准色的度数即为所测定水样色度的度数。

铂钴标准溶液的色度稳定，若保存得好，可以长期使用。但因所用的氯铂酸钾价格较贵，大量使用时不经济，所以常用重铬酸钾代替氯铂酸钾，因此称为铬钴标准比色法。该法的准确度与铂钴标准比色法相同，只是色度标准溶液不能长期保存。

生活污水、工业废水或污染严重的水样，因呈现各种很深的颜色，所以不能用标准比色法定量说明水样色度的大小，只能定性地记录颜色，如深黄色、褐色等等。

生活饮用水一般规定色度不超过15度。某些工业用水对色度要求也较严格，如染色工业用水的色度需在5度以下，纺织工业用水的色度不应超过 $10\sim 12$ 度，造纸工业用水的色度不应超过 $15\sim 30$ 度。多数清洁的天然水的色度为 $15\sim 25$ 度，湖泊沼泽水的色度在60度以上。

四、浑浊度的测定

水之所以浑浊，是由于水中含有泥沙、粘土、有机物、无机物、浮游生物和微生物等杂质所造成的。而这些杂质可能是河流含沙量或各种污水、废水的污染所引起的。

浑浊度是指水浑浊的程度。当光线透过水样时，水中的杂质颗粒对光线产生了散射。散射的强弱不仅与水中杂质的含量有关，而且还和杂质的成分、颗粒的大小、形状以及表面散射性能有关。因此，水中含有不同的物质或者它们的存在状态不同，浑浊度差别很大。

水中泥沙微粒本身不一定直接有害人体健康，但这些微粒常常隐藏着病原微生物。因此，过于浑浊的水是不能饮用的。我国规定饮用水的浑浊度不得超过3度。对于工业用水来说，也不能使用太浑浊的水，例如，锅炉用水、纺织用水、冷却用水等都要求浑浊度尽量低。在选择给水水源以及在给水处理过程中，都必须测定水的浑浊度，因此，浑浊度是给水水质和水净化中的一项重要指标。

浑浊度的单位用“度”表示。1度相当于1mg白陶土(SiO_2)在1L水中所产生的浑浊程度，即 $1\text{mgSiO}_2/\text{L} = 1$ 度。对所用 SiO_2 的粒径有一定的规定，以通过200号筛孔的粒径作为统一标准。

浑浊度的测定可采用目视比色法或分光光度法。所取水样盛于具塞玻璃瓶内，采样后应尽快测定，如需保存，可在 4°C 冷暗处保存24h。测试前要激烈振摇水样并恢复到室