

给水处理 理论与设计

许保玖 著
安鼎年

中国建筑工业出版社

给水处理 理论与设计

许保玖 著
安鼎年

中国建筑工业出版社

(京)新登字 035号

本书堪称目前内容最完整、篇幅最多的给水处理著作，内容分16章：
水化学；水质；给水处理概论；混凝；沉淀与气浮；过滤；曝气与活性炭
吸附；消毒；软化；除盐与咸水淡化；腐蚀与结垢；去除无机沾污物；锅
炉水处理；水的冷却原理；冷却塔；循环冷却水处理。本书的特点是：从
学科发展和逻辑基础的高度，进行给水处理方法整体与单元处理方法的论
述；对处理理论和设计计算都进行了系统性的和细节性的讨论；注重基本
原理和概念表达的严格性和可读性；引用的重点文献均有足够份量的阐述
和讨论，勿须再查阅原文；提供大量的、实用性强的数据和资料以及参考
文献；提供了规范性的设计计算例题。本书可供从事环境工程和给排水工
程工作的研究人员、工程师、大专院校的教师、本科生和研究生参考，也
可以作为给水处理学科的教科书。

给 水 处 理 理 论 与 设 计

许保玖 著
安鼎年

中国建筑工业出版社出版、发行（北京西郊百万庄）

新华书店经销

中国建筑工业出版社印刷厂印刷（北京阜外南礼士路）

开本：787×1092毫米 1/16 印张：46¹/₄ 字数：1122 千字

1992年11月第一版 1992年11月第一次印刷

印数：1—5,200册 定价：27.50元

ISBN7-112-01507-3/X·26

(6542)

Water Treatment

A Comprehensive Treatise

Paochiu Hsu
Tsinghua University

Dingnian An
Tianjin University

China Architecture & Building Press

Water Treatment — A Comprehensive Treatise provides probably the most extensive and updated work on drinking and industrial waters that would be of great theoretical and practical value to executives, engineers, chemists, operating personnel and students. It encompasses all aspects of water treatment and contains 16 chapters of excellent presentation with originality on water chemistry, water quality, water treatment overview, coagulation-flocculation, sedimentation and flotation, filtration, aeration and carbon adsorption, disinfection, water softening, demineralization and saline water conversion, corrosion and scaling, inorganics removal, boiler water treatment, water cooling, cooling towers, and cooling water treatment. This book is self-contained and contains a wealth of material that would eliminate the readers from the tedious search through a mass of scattered literature. It also provides many worked-out examples of typical design calculations.

序

(代绪论)

1979年《给水处理》的出版,颇受广大读者的赞赏,这促使作者决定沿着原书的创作风格,按自己的学术观点,编写一本更详尽的、反映当代给水处理学科理论水平并具有较高实用价值的著作,本书就是在这样的背景下完成的。为了减轻作者的负担,并提高本书的学术水平,书中的软化、除盐和冷却塔等4章是请天津大学安鼎年教授参加编写的,他不仅为这4章提供了内容极其丰富的初稿,也促成了本书的较快完成。就篇幅论,本书比《给水处理》约增加75%;就内容论,本书在理论水平和体系组织上已大大提高,完全采用原书题材的部分已不足25%。

本书力图体现下列各点:(1)从学科发展和理论逻辑基础的高度来论述给水处理方法的整体和单元处理方法;(2)揭示给水处理过程的“真相”,做到“刨根问底”;(3)注重基本理论和概念表述的严格性和可读性;(4)引用重点文献均做到充分的阐述和讨论,读者可不必再寻找原文;(5)提供大量的、实用性强的数据、资料和参考文献;(6)提供了规范性的设计计算例题。

全书共分16章,大致可分成4个部分:第1章到第3章属于总论,是全书的纲领性内容;第4章到第8章论述给水常规处理的现代内容;第9章到第13章属于工业用水处理和饮用水处理中特殊部分的内容;第14章到第16章则属于水的冷却处理所涉及的内容。以下就各章的特点及作者的意图进行重点简介,以便于读者阅读和评审,并引起适当的重视。

第1章水化学基础为本书涉及的化学理论进行了系统性的论述,其内容也有助于理解现代给水处理文献中所涉及的化学理论。有关 CO_2 、碱度和 pH_s 的计算图虽都选自文献,但都经改编,例如 pH_s 的计算,原图温度系华氏单位,浓度单位以 CaCO_3 表示。

在第2章水质中,除全面并系统地介绍了给水处理中使用的水质参数外,对饮用水水质与健康的关系,以及现代有关水质和水质标准中所存在的关键问题,都进行了讨论。浊度是给水处理所涉及的最基本的水质参数,但在应用过程中,概念似有不够严格的现象,故加以重点阐述。

第3章给水处理综论。本章着重提出有关水处理学科发展的观点和给水处理流程设计的最基本原则。最基本原则包括:(1)流程要充分体现防止病原体以及其它有害健康物质进入饮用水的多级屏障概念;(2)流程设计要考虑到一旦水源遭受恶性有毒物质污染时的应急流程或措施,这一问题对大型地表水源的水厂尤其重要;1986年11月1日瑞士巴塞尔桑化学公司仓库爆炸,引起30t剧毒物流入莱茵河事件的例子,应该充分引起流程设计者的注意。

第4章混凝。混凝是常规处理的基础,因此本章的内容也占了很大的篇幅。对胶体和界面化学以及混凝剂的化学均有足够份量的阐述。书中还着重按作者观点,讨论了絮体的形态、杯罐试验以及重新解释的速度梯度问题,并提出英语sweep coagulation所涉及

的概念问题。

第5章为沉淀和气浮。本章中有关澄清池构造的原理抽象图是对概括处理构筑物的不同构造所进行的一个尝试。吸附气泡分离法的全面介绍扩大了目前局限于气浮池的概念，Young氏方程的较细致推导为理解这一大类分离方法奠定了基础。

第6章过滤是本书中篇幅最多的一章，其内容足以单独成册。本章重点内容可分5个方面：（1）用大量的数据、图表来表述在过滤过程中，所出现现象的“微观真相”；（2）从大量文献中总结了双层、三层滤料与直接过滤的实用条件；（3）对唯象的过滤理论进行了较全面的概括和阐述；（4）绘制了无烟煤滤层反冲洗水力学的计算图和滤池生产率、洗水率计算图（前者仅供读者试用）；（5）提供了极为详尽的滤池设计计算例题，并在计算中充分演示了变降速过滤的水力学计算，这也是本书中规范性最强的例题。另外，这里要附带提出书中未提的两个问题，一是本书不把直接过滤称为微絮凝过滤；二是对于直接过滤的适用性，在1989年日本名古屋召开的亚太地区供水会上，出现了不同的看法，认为通过生产性的观察，直接过滤所能适应的水质范围相当有限。

第7章论述曝气与活性炭吸附。本章对亨利定律、吸附等温线及两者的应用等问题都进行了相当深刻的论述。书中把吸附试验所得的非逻辑斯特型泄漏曲线进行数学处理，再用以设计吸附柱的方法，也是作者的一个尝试。本章还讨论了生物炭一词的科学性。

第8章消毒。本章对氯和其它消毒剂的消毒作用以及消毒副产物进行了综合性的论述，解答了目前关心的氯消毒的水质安全性问题。另外，本章还讨论了一些常被忽视而实际很重要的问题，例如新发现的一些病原体，目前的消毒实践是难以灭活的。绘制的液氯容器内气-液两者体积的消长关系图对操作人员可能有参考价值。

第9章水质软化，重点是离子交换法。本章对离子交换过程动力学的理论阐述足够详细。对离子交换树脂的结构和工作交换容量的概念均助以形象性的图来表达，以助读者理解。

第10章除盐及咸水淡化。离子交换法除盐、阴树脂的有机沾污、电渗析和反渗透的原理和应用均有足够份量的论述。

第11章腐蚀和结垢。本章按Pourbaix图的现代观点来论述腐蚀过程。书中融汇了半个世纪文献中的各种腐蚀指数，为读者的深化理解和运用创造了条件。

第12章是有关铁、锰、氟、砷、 NO_3^- 、硒和钡的去除方法，其中有关混凝絮体吸附的理论及氟与健康关系的讨论具有新意。

第13章论述锅炉水处理，其中有关锅水水质水量的平衡关系，一般书中尚无足够的定量论述，而这可能是某些读者所需要的。

第14章对水的冷却原理进行了较简洁的论述，其中的空气焓湿图把焓值综合画在温度、含湿量和饱和度的图上，便于应用（用有色冶金设计总院《中小型冷却塔设计与计算》中的图综合成的）。用这样的图，可以把空气在冷却塔中各项热力参数的变化过程，清楚地表示出来，本书第15章有关内容即用这样的图联起来论述。

第15章重点内容是冷却塔设计。首先对逆流冷却塔冷却过程的严格理论解进行较完整的阐述。对逆流塔、横流塔和风筒冷却塔的设计计算都有详细的讨论和计算例题。

第16章论述循环冷却水的处理。本章对循环冷却水处理所涉及的各项内容，进行了较完整而又是细节性的论述，反映了80年代中期以后的观点和经验。书中还汇集了药剂的一些

化学性能资料，省去了读者的搜寻之劳。有关采用电、磁等非化学方法处理冷却水或锅水的问题，本章特加一小节讨论，试图提出或解答一些疑点。在术语方面，本书不把缓蚀剂和阻垢剂都称为水质稳定剂，或者把循环冷却水的处理称为水质稳定处理。水质稳定用于专指水-碳酸盐系统的问题。

最后还要提一下本书所采用的术语是在考虑了国际性通用和涵义的科学性两者的基础上，适当照顾使用习惯。上面各章的介绍中，已涉及到一些术语问题。本书正文中还要出现某些术语问题。但要说明的是，为了符合上述两条原则，有时很难将外文译成完善的汉语术语，如sweep coagulation本书译为“沉淀型絮凝”，尚不尽如人意，只是暂用性质。另外，本书中不用污水一词，凡是用过的水，无论是生活中用过的，或者是工业中用过的，都叫废水。

本书的编写，提出于1983年，从具体进行编写工作算起，至今已历时近7年。虽然对很多章节都数易其稿，然而不满意之处仍多。作者谨希望在广大读者的支持下，本书能够继续发行新版，在修订的新版中，上述问题都能得到解决。

许保玖

北京，清华园

1991年12月

目 录

第一章 水 化 学 基 础

第一节 水溶液的基本性质	1
1-1 水和水溶液	1
1-2 水合、配合与离子对	5
1-3 化学物种的活度	8
1-4 溶度积	11
1-5 浓度单位	14
1-6 天然水中的溶解固体	15
1-7 天然水中的溶解气体	17
1-8 水的电导率和电阻率	18
1-9 水中阴、阳离子间的关系	20
第二节 水-碳酸盐系统	22
1-10 溶液平衡浓度的计算	22
1-11 水-碳酸盐系统	24
1-12 HCO_3^- 、 CO_3^{2-} 和 OH^- 三种碱度的计算	28
1-13 平衡 CO_2 含量的计算	30
1-14 pH值因水温改变的变化	32
1-15 水-碳酸盐系统平衡时的pH值	34
第三节 化学反应动力学	37
1-16 反应速率与反应级数	37
1-17 基元反应	39
1-18 Michaelis-Menten方程与细菌增殖动力学	40

第二章 水 质

第一节 水质参数	44
2-1 天然水中所含成分	44
2-2 水质参数	47
2-3 浊度	48
2-4 悬浮物浓度与悬浮微粒浓度	50
2-5 有机物的水质替代参数	53
第二节 饮用水水质与健康	54
2-6 嗅和味	54
2-7 水质与水传疾病	55

2-8 水中病原微生物	57
2-9 大肠杆菌类	60
2-10 病毒与原生动物	61
2-11 饮用水中的元素与健康	62
2-12 中国的地方病与水质	63
第三节 饮用水水质标准	64
2-13 饮用水水质标准	64
2-14 饮用水水质标准的制定	68
2-15 饮用水水质所面临的问题	70
2-16 饮用水水质标准的未来	72

第三章 给水处理综论

第一节 给水处理方法	78
3-1 水在生活、工业生产中的用途与水处理	78
3-2 给水处理	79
3-3 单元处理方法	82
第二节 饮用水处理	82
3-4 饮用水处理的内容	82
3-5 处理效率与多级屏障概念	84
3-6 饮用水的处理流程	87
3-7 水处理流程的设计	90
3-8 水处理试验	92
第三节 反应器	94
3-9 水处理工程的发展	94
3-10 反应器的类型	96
3-11 物料衡算方程	97
3-12 阶式连续搅拌反应器	98
3-13 反应器的停留时间函数	99
3-14 脉冲信号与阶梯信号	102
3-15 分散数的概念	103
3-16 各种反应器的效率	104

第四章 凝 聚 和 絮 凝

第一节 胶体及界面化学的基本概念	107
------------------	-----

4-1 综论.....	107	5-9 斜管和斜板长度.....	194
4-2 胶体表面电荷的来源.....	108	第四节 澄清池	203
4-3 双电层的构造和界面电位.....	111	5-10 澄清池的一般工作原理	203
4-4 胶体间的相互作用位能.....	115	5-11 机械搅拌澄清池	206
4-5 絮凝现象.....	119	5-12 水力循环澄清池	207
4-6 絮凝动力学.....	120	5-13 脉冲澄清池	214
第二节 混凝过程的工程实践	121	5-14 悬浮澄清池	216
4-7 综论.....	121	第五节 浓缩池	217
4-8 混凝过程中的有机物.....	124	5-15 浓缩池的特点	217
4-9 药剂的配制和投加.....	126	5-16 浓缩池的设计	218
4-10 混合设备	129	第六节 沉淀设备的排泥	222
4-11 絮凝池	131	5-17 排泥浓度及排泥耗水率	222
第三节 混凝剂的化学	134	5-18 排泥方法	223
4-12 铝盐和铁盐混凝剂	135	第七节 气浮池	225
4-13 硫酸铝的水解物种和 聚合氯化铝成分	136	5-19 综论	225
4-14 氯化铁的水解物种及聚合铁成分	139	5-20 气浮池的设计	228
4-15 活化水玻璃	141		
4-16 聚电解质	141	第六章 过 滤	
4-17 碳酸镁混凝法	143	第一节 过滤综论	233
4-18 混凝剂的卫生安全性	144	6-1 过滤和慢滤池.....	233
第四节 混凝过程	147	6-2 快滤池的工艺过程.....	235
4-19 絮体的粒度和结构	147	6-3 快滤池滤层的发展和利用.....	240
4-20 混合与搅拌	151	6-4 过滤过程中出水浊度和过滤水头损失 的变化	243
4-21 铝盐和铁盐的混凝作用	155	6-5 快滤池的水力控制系统.....	248
第五节 混凝杯罐试验	159	第二节 配水系统和承托层	253
4-22 杯罐试验与多位搅拌器	159	6-6 配水系统.....	253
4-23 杯罐试验的基本操作	161	6-7 管式大阻力配水系统.....	256
4-24 杯罐试验的应用	163	6-8 承托层.....	260
4-25 杯罐试验的改进问题	166	第三节 滤层和过滤过程	261
		6-9 滤层综论.....	261
第五章 沉 淀 与 气 浮		6-10 滤层的粒度特性	264
第一节 颗粒物在静水中的沉降	171	6-11 滤池的运行行为	268
5-1 颗粒的自由沉降速度.....	171	6-12 影响过滤过程的因素	273
5-2 自由沉降试验.....	176	6-13 双层和三层滤料	277
5-3 分层沉淀.....	178	6-14 直接过滤	280
第二节 平流沉淀池	180	6-15 过滤的其它处理效果	284
5-4 综论.....	180	第四节 过滤过程理论	286
5-5 平流沉淀池的设计.....	183	6-16 过滤的水头损失	286
5-6 进口与出口的布置.....	187	6-17 过滤过程理论综论	290
第三节 其它沉淀设备和斜管沉淀组件	189	6-18 悬浮颗粒的去除机理	293
5-7 沉淀设备.....	189	6-19 过滤方程式	294
5-8 斜管和斜板沉淀池.....	191	第五节 快滤池的冲洗	299

6-20	冲洗出现的问题	299
6-21	冲洗的方法	302
6-22	石英砂滤层的反冲洗水力学	305
6-23	无烟煤滤层的反冲洗水力学	309
6-24	反冲洗作用机理	311
6-25	反冲洗构筑物	312
第六节	快滤池的设计	316
6-26	快滤池的生产率和洗水率	316
6-27	普通快滤池的设计	317
6-28	普通快滤池设计实例	319
第七节	快滤池的其它型式	332
6-29	综论	332
6-30	虹吸滤池	334
6-31	移动冲洗罩滤池	337
6-32	重力式无阀滤池	339
6-33	压力过滤器	340
第八节	表面过滤	342
6-34	综论	342
6-35	预涂层过滤器	343
6-36	超滤	344
第九节	补充资料	345
6-37	多叉管的水力学	345
6-38	公式(6-75)和(6-79)的推导	349
6-39	(6-81)、(6-82)和(6-84)等 公式的推导	350

第七章 曝气及有机物的去除

第一节	曝气	357
7-1	亨利定律	357
7-2	水-气相间的传质	359
7-3	空气吹脱	361
第二节	活性炭吸附	364
7-4	活性炭的吸附性能	364
7-5	吸附等温线	367
7-6	活性炭柱吸附装置的处理性能	373
7-7	活性炭床的设计	376
7-8	均匀表面扩散模型	379

第八章 消毒

第一节	氯化的化学	385
8-1	氯和氯-氨在纯水中的反应	385
8-2	氯与天然水中其它物质的反应	388
第二节	水的消毒	391

8-3	消毒所起的作用与存在的问题	391
8-4	消毒动力学	393
8-5	氯和氯胺消毒原理	395
8-6	氯胺消毒经验	399
8-7	简易氯消毒	399
8-8	臭氧和二氧化氯消毒	400
8-9	消毒副产物	403
第三节	液氯和液氨的使用	404
8-10	氯气的特性	404
8-11	液氯容器的使用过程	406
8-12	液氨的使用	407

第九章 水的软化

第一节	综论	409
9-1	软化和除盐的区别	409
9-2	软化的基本方法	410
第二节	石灰软化法	411
9-3	石灰用量计算	411
9-4	石灰软化设备	416
第三节	离子交换树脂的结构及其特性	417
9-5	离子交换树脂	417
9-6	离子交换树脂的性能	420
9-7	离子交换树脂的类型及其比较	425
第四节	离子交换动力学	430
9-8	离子交换过程	430
9-9	离子交换带	432
第五节	离子交换软化法	436
9-10	离子交换软化的化学反应	436
9-11	离子交换树脂的工作交换容量	441
9-12	影响树脂工作交换容量的有关因素	444
第六节	离子交换软化设备	450
9-13	离子交换器的工作过程	450
9-14	固定床逆流再生离子交换	453
9-15	浮动床离子交换器	456
9-16	移动床离子交换设备	457
9-17	流动床离子交换器	459
9-18	离子交换器运行中的问题	460
第七节	离子交换软化系统及其设计	461
9-19	再生设备	461
9-20	除二氧化碳器的设计	462
9-21	软化系统的设计	466

第十章 水的除盐与咸水淡化

第一节 阴离子交换树脂及其特性	472
10-1 阴离子交换树脂的结构	472
10-2 阴离子交换树脂的特性	473
第二节 离子交换法除盐	476
10-3 强碱阴离子交换树脂的交换特性	476
10-4 弱碱阴离子交换树脂的交换特性	478
10-5 双床式离子交换除盐系统	479
10-6 混合床离子交换器	480
10-7 双层床离子交换器	483
第三节 强碱阴树脂的有机沾污及其处理	486
10-8 阴树脂的有机沾污	486
10-9 树脂有机沾污的防止与处理	489
第四节 特殊的离子交换系统	490
10-10 离子交换中和器	490
10-11 Desal法	490
10-12 Sul-Bisul法	491
10-13 热再生法	492
第五节 电渗析法	492
10-14 离子交换膜的特性	492
10-15 电渗析除盐原理	495
10-16 电渗析器	497
10-17 极化和结垢	500
10-18 电流效率	503
10-19 最佳电流密度	505
10-20 电渗析器的应用	507
第六节 反渗透	509
10-21 渗透和反渗透	509
10-22 反渗透膜和膜透过机理	512
10-23 反渗透装置	514
10-24 反渗过程的迁移方程与反渗透器的运行参数	518
第七节 纯水制备系统	521
10-25 纯水及其制备系统	521
10-26 纯水制备系统的设计	525
第八节 咸水淡化	534
10-27 咸水淡化方法	534
10-28 蒸馏法	535
10-29 冷冻法及其它咸水淡化法	538

第十一章 腐蚀与结垢

11-1 电化学腐蚀	543
11-2 铁的腐蚀过程及电位-pH图	546

11-3 微生物腐蚀	550
11-4 影响腐蚀的因素与腐蚀形式	551
11-5 Langelier饱和指数和Ryznar稳定指数	553
11-6 CCPP和Caldwell-Lawrence图	558
11-7 其它水质稳定指数	566
11-8 水质稳定处理	568

第十二章 单项无机沾污物的去除

12-1 综论	572
12-2 除铁与除锰	574
12-3 除氟与除砷	578
12-4 除 NO_3^-	580
12-5 除硒与除钡	582

第十三章 锅炉水处理

第一节 锅炉的工作过程及水处理问题	584
13-1 锅炉的工作过程	584
13-2 锅炉给水的处理问题	586
第二节 锅炉给水及锅水的水质标准与流量计算	590
13-3 锅炉给水及锅水的水质标准	590
13-4 锅炉的给水、补充水及排污水的流量计算	592
第三节 锅炉给水的锅内处理	595
13-5 锅外处理与锅内处理	595
13-6 锅内软化反应	596
13-7 锅内补充处理	599
13-8 全部锅内处理	605
13-9 锅炉的清垢	609

第十四章 水的冷却

第一节 水的冷却原理	612
14-1 水的循环冷却系统	612
14-2 水的冷却原理	613
第二节 湿空气的热力学性质	615
14-3 湿空气的热力学参数	615
14-4 湿空气的焓湿图	619
14-5 湿球温度 τ	622
14-6 容积传热系数与容积传质系数	624
14-7 Lewis关系与湿球温度 τ 和绝热饱和温度 t_s	625

14-8	$k_x = \frac{1.61P_x}{1+\Delta x} k_p$ 的推导	627
------	--	-----

第十五章 冷却构筑物及冷却塔的设计计算

第一节 冷却构筑物	630
15-1 冷却构筑物综论	630
15-2 抽风式逆流冷却塔	634
15-3 进水和配水系统	636
15-4 填料	639
15-5 通风系统	643
第二节 冷却塔的热力学计算	646
15-6 逆流式冷却塔的基本方程	646
15-7 冷却塔的焓差方程	649
15-8 填料与气水比	655
15-9 横流式冷却塔	659
第三节 冷却塔的其他设计计算	663
15-10 空气动力计算	663
15-11 水量损失	667
15-12 回流和水质污染对冷却效果的影响	668
第四节 冷却塔的设计	672
15-13 冷却塔的设计	672

15-14	计算例题	673
-------	------	-----

第十六章 敞开式循环冷却水处理

第一节 循环冷却系统的系统特点	681
16-1 循环冷却系统的浓缩倍数	681
16-2 循环冷却系统的其它水力学参数	684
第二节 循环冷却水的处理	686
16-3 循环冷却水的水质特点	686
16-4 循环冷却水的结垢控制指标	689
16-5 循环冷却水处理综论	691
16-6 腐蚀控制	695
16-7 复方腐蚀控制药剂	700
16-8 沉积物控制	702
16-9 微生物控制	708
16-10 化学清垢和清垢剂	712
16-11 非化学处理型的结垢控制	713
第三节 补充资料	714
16-12 磷酸盐、磷酸盐、二磷酸盐及磷酸酯	714
16-13 木质素、单宁、褐藻酸盐、纤维素及淀粉	719
16-14 换热器的污垢系数	722

第一章 水化学基础

第一节 水溶液的基本性质

1-1 水和水溶液

1. 引言^[1]

水是活的有机体的基本成分。一些海洋无脊椎动物所含水分可达96~97%这一最高数值，而在细菌孢子中，所含水分则低于50%。成人的含水量为65~70%，但分布极不均匀，如神经组织含水84%，筋肉77%，肝73%，皮肤71%，连接组织60%，而脂肪组织中只含30%，血浆、唾液和胆汁等生物流体含水量为90~99.5%。有机体内约含45~50%的胞内水，5%的原生质水，10~20%的胞外水，其余的则为非水物质。水的许多独特性质构成了生命赖以存在的基础。

结冰时冰的密度小于液态水的密度就是一个具有非常意义的独特性质。这一性质使河水或湖水表面结的冰下面，保留了水生生物能够生存的水环境。如果水没有这种独特性质，则河水和湖水将从底部逐渐向水面结冰，并将整个水体结成一块冰，水生生物将无存身之地了。

水是一种万能的溶剂。水的这种性质使它促进了生物水解作用，水解作用将蛋白质和碳水化合物加以分解，使脂肪加溶于水介质中。在生物缩聚作用中，合成了水。因此，生物合成的能量是部分地取自水的生成作用。有机体内的介面水可能具有一些尚未探明的性质，这些性质可能是大多数动植物组织能抵抗冻结和脱水的根源。水的另一个重要功能是对活有机体起热调节的作用。水的大热容量与有机体含大量水分这两个因素结合起来，使活的有机体保持在等热条件下生活，而水的高热传导能力防止了严重的局部温度波动。水的高蒸发潜热使生物体能散失大量的热。成人平均每天通过呼吸排出300~400g水，皮肤蒸发掉600~800g水，这相应地散发了约20%的每天产生的热量。

活的有机体每天需一定的最低水量才能存活。成人每天通过饮料和固体食物共获取约2.5L水，其中包括固体食物所含的0.9L水。成人通过体内的食物燃烧每天约产生350g水，同时散热5.46kJ。人体内的水又起分配营养物和排出废物的作用。和水有联系的大多数疾病，是由于血液流量、胞内和胞间水介质成分的不正规、部分脱水或高度脱水引起的。人和其它动物从自然界中所吸取的水，加上本身制造的水，通过出汗和呼吸以蒸气的形式以及废液的形式排出，并在整个自然界的水文循环中构成了一个子循环。

水在上述的生命过程中，起了溶剂、分散剂和润滑介质的作用，并从多方面参加了反应。这就说明，生命和水是分不开的。

2. 水溶液的结构^[2]

虽然在日常生活和工程中所说的水并不是化合物 H_2O 而是以 H_2O 为溶剂所产生的水溶液，但是对 H_2O 和液态 H_2O 的一些基本性质的知识会有助于水溶液的理解。

水的独特性质根源于水分子的独特结构。单个水分子的结构模型如图1-1所示。O—H键长为0.96Å，HOH角约为104.5°。在O—H从O算起的约0.6键长处是构成O—H共价键的两个电子。在HOH的等分角线延长线不远处，垂直于HOH平面上下各有一对O的孤对电子。

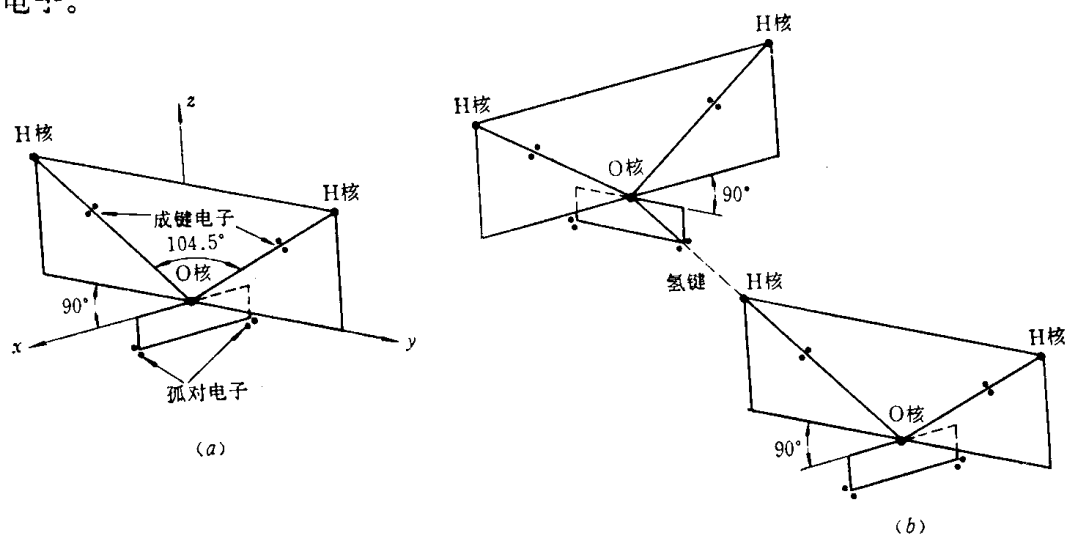


图 1-1 水分子结构示意图
(a)单个分子；(b)两个水分子间形成氢键

水分子的独特性质表现为：（1）在O的一端是带负电的，而H的一端带正电，因此是一个极性较强的分子；（2）O的孤对电子和另一水分子的H间可形成氢键，这使水除单分子的形式存在外，若干水分子可形成由氢键联起来的多晶型聚集体(polymorphic aggregate)。水分子间由于氢键粘结的结果，引起了水的粘度、表面张力、熔点和沸点的温度和热容量等数值都高的原因。因此水应该表示为 $(H_2O)_n$ ，但 n 值尚无法知道。比较常用的假设是，水是单分子 H_2O 和 $(H_2O)_n$ 的混合物。 $(H_2O)_n$ 称为水的簇或聚合物。由于水簇是微弱氢键的临时组合体，所以水簇必然在水分子的热运动，以及在外力影响下，不断改变其组成和大小，所以称为“闪烁簇(flickering cluster)”。一般认为在大气压条件下和20℃时， n 的平均数约为40，当压力或温度升高时， n 值将减小。这对水的密度与温度间的关系极大，而粘度与压力间的关系极小等特性，提供了解释。但是，关于是否有水的集集体，以及它们的准确性质等，仍然是有争论的问题。图1-2^[2]表示出液态水的这种模型。

3. 水的离子积

水分子的一个特性是两性电解质，这是指水分子有酸（即能提供质子 H^+ 的物质）和碱（即能接受质子的物质）的双重性质。因此水有自体电离作用，即熟知的下列水分子的反应：



在水溶液中，带正电荷的质子 H^+ 和极性水分子的带负电荷的一端牢固地结在一起，成为水合质子，或称水合氢离子(hydronium ion)，一般表示为 H_3O^+ 。为了表示这种特点，（1-1）式应写成



实际上，已经证明至少还有3个 H_2O 和这个质子较松地附着在一起，因此水合质子应表

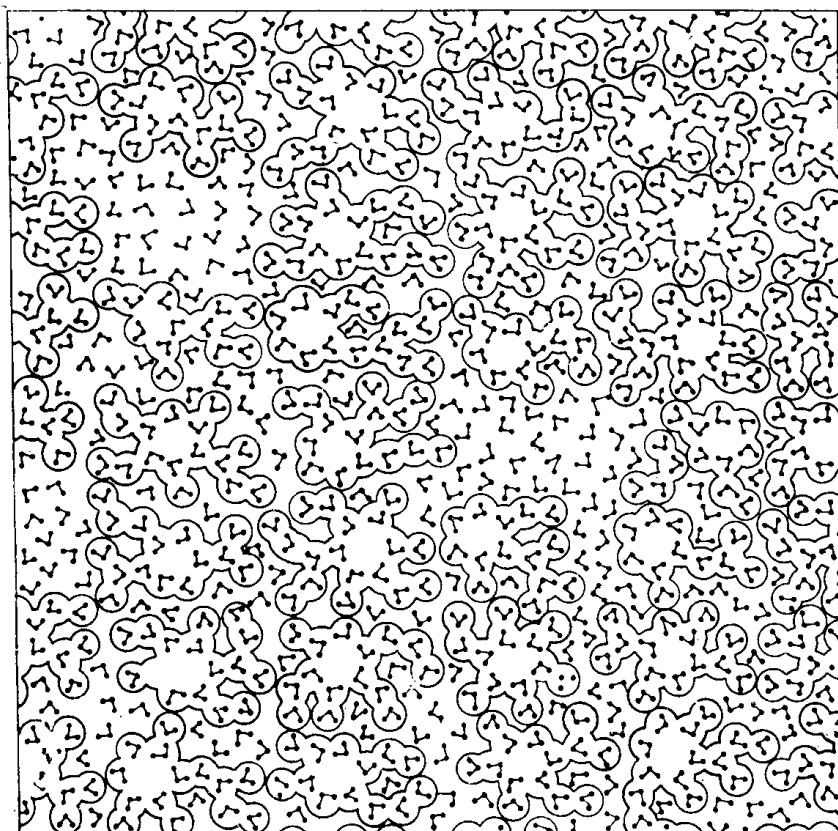


图 1-2 液态水的模型
在圈内的是聚集体，圈外是单分子

示为 H_3O^+ 或 $\text{H}^+ \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 。同样， OH^- 离子也是水合的，但附着的水分子为 3 个，所以应表示为 H_7O^- 或 $\text{OH}^- \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 。但为了简写，一般用 H^+ 和 OH^- 分别表示水合的 H_3O^+ 或 H_7O^- 和 H_7O^- 。当强调酸碱反应，也就是强调质子交换反应时，常用 H_3O^+ 这一质子表示形式^[3]。

(1-2) 式的平衡常数可写成

$$K = \frac{(\text{H}_3\text{O}^+)(\text{OH}^-)}{(\text{H}_2\text{O})^2} \quad (1-3)$$

圆括号 () 表示物种 (species, 借用生物学术语, 泛指所研究的反应中的各种具体成分, 包括分子, 离子等, 这就避免了一一指明, 便于讨论) 的活度 (指物种的有效浓度或有效强度, 见 1-3), 以别于用方括号 [] 所表示的物种摩尔浓度。由于规定 $(\text{H}_2\text{O}) = 1$, 故得

$$K = (\text{H}_3\text{O}^+)(\text{OH}^-) = K_w \quad (1-4)$$

K_w 称为水的离子积。对 (1-4) 式两边取对数得下列关系:

$$\text{pH} + \text{pOH} = \text{p}K_w \quad (1-5)$$

式中

$$\text{pH} = -\lg[\text{H}^+] \quad (1-6)$$

$$\text{pOH} = -\lg[\text{OH}^-] \quad (1-7)$$

$$\text{p}K_w = -\lg K_w \quad (1-8)$$

一般用 H^+ 的摩尔浓度来定义 pH 值, 即: $\text{pH} = -\lg[\text{H}^+]$, 但 (1-6) 式中用的是

H⁺的活度来定义pH值，在理论上更为严格。在极低浓度时，物种的摩尔浓度接近于它的活度，故(H⁺)=[H⁺]。1-3中将对活度与浓度的关系进行讨论。这里附带指出，用pH来表示H⁺的浓度的好处是，可以把任何小的浓度10^{-x}(X'为任何正数)都用大于1的数表示出来，对表达和运算都较方便。例如，水在中性时，它的H⁺浓度只有10⁻⁷mol/L，10⁻⁷是一个极小的数值，把水的H⁺浓度为10⁻⁷mol/L改说成“水的pH值为7”，在表达上就方便得多。反过来，当已知水的pH为7时，即可知水的H⁺浓度为10⁻⁷mol/L，也就是水的H⁺浓度为10^{-pH}。这个从pH值直接得出H⁺浓度的换算关系，应该熟悉。在水溶液的平衡计算中，还采用类似pH的表示方法来表示许多极小的数值。pOH和pK_w就是这样的例子。溶度积以及数值极小的平衡常数也采用同样的表示方法，见1-4和1-11。同样，对以pX的形式来表示的X量，即pX=-lgX时，应能直接得出X=10^{-pX}。利用这样的逆关系，往往使计算方便。

表1-1中列出了不同温度下的K_w、pK_w等值^[4]。从表中可知，在25℃时，pK_w=14，因而当[H⁺]=[OH⁻]时，得pH= $\frac{1}{2} \times 14 = 7$ ，即水为中性的溶液。当[H⁺]>[OH⁻]得pH<7，则溶液为酸性的。反过来，当[OH⁻]>[H⁺]得pH>7，则溶液为碱性的。注意表1-1的数据都是在水中除H⁺及OH⁻外，没有其它溶解离子的条件下得出的。当水中存在其它离子时，pH的值须按离子强度加以修正，见1-3。

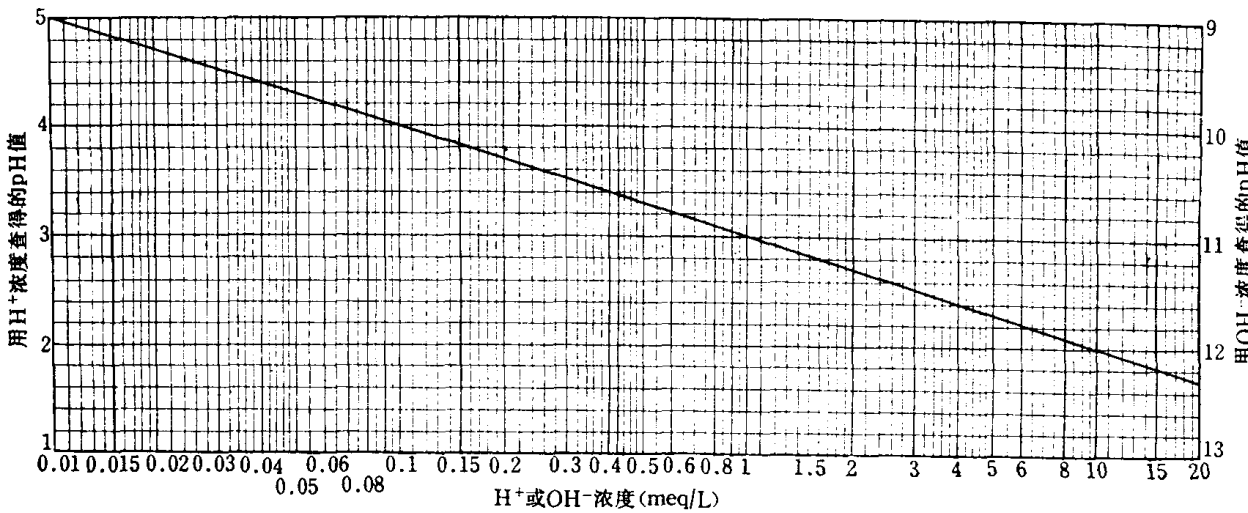


图 1-3 H⁺与OH⁻浓度对pH值的关系

水的离子积

表 1-1

温度(℃)	K _w	pK _w	纯水的pH值	温度(℃)	K _w	pK _w	纯水的pH值
0	0.1133 × 10 ⁻¹⁴	14.9458	7.47	40	2.917 × 10 ⁻¹⁴	13.5351	6.77
5	0.1846 × 10 ⁻¹⁴	14.7338	7.37	45	4.018 × 10 ⁻¹⁴	13.3960	6.70
10	0.2920 × 10 ⁻¹⁴	14.5346	7.27	50	5.474 × 10 ⁻¹⁴	13.2617	6.63
15	0.4505 × 10 ⁻¹⁴	14.3467	7.17	55	7.294 × 10 ⁻¹⁴	13.1370	6.57
20	0.6809 × 10 ⁻¹⁴	14.1669	7.08	60	9.62 × 10 ⁻¹⁴	13.0171	6.51
25	1.008 × 10 ⁻¹⁴	13.9965	7.00	70	16.2 × 10 ⁻¹⁴	12.791	6.40
30	1.468 × 10 ⁻¹⁴	13.8333	6.92	80	25.8 × 10 ⁻¹⁴	12.589	6.29
35	2.089 × 10 ⁻¹⁴	13.6801	6.84				