



实用 环境工程手册

水处理材料与药剂

兰文艺 邵 刚 主编



化学工业出版社

环境科学与工程出版中心

实用环境工程手册

水处理材料与药剂

兰文艺 邵 刚 主编

化学工业出版社

环境科学与工程出版中心

·北 京·

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

水处理材料与药剂/兰文艺, 邵刚主编. —北京: 化学工业出版社, 2001.12

(实用环境工程手册)

ISBN 7-5025-3383-4

I. 水… II. ①兰…②邵… III. 水处理料剂 IV. TU991.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 045973 号

实用环境工程手册

水处理材料与药剂

兰文艺 邵 刚 主编

责任编辑: 管德存 陈 丽

责任校对: 蒋 宇

封面设计: 蒋艳君

*

化 学 工 业 出 版 社
环境科学与工程出版中心

出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64918013

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京市昌平振南印刷厂印刷

三河市前程装订厂装订

开本 787 × 1092 毫米 1/16 印张 43 1/2 字数 1098 千字

2002 年 1 月第 1 版 2002 年 1 月北京第 1 次印刷

印 数: 1—5000

ISBN 7-5025-3383-4/X·109

定 价: 90.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

内 容 提 要

本书为实用环境工程手册的一个分册。全面介绍了吸附材料与滤料、膜与膜组件、离子交换树脂、混凝剂与絮凝剂、阻垢剂与分散剂、缓蚀剂、杀菌灭藻剂、清洗剂、其他水处理剂9类主要水处理材料与药剂。对每种材料与药剂则介绍了其英文名称、商品名称、别名、分子式（或结构式）、性状与包装、质量标准、检测方法、功能与用途、使用方法、产品特点、生产厂家等内容。书后还介绍了部分企业产品及联系方法。

本书可供水处理工程设计人员、工程技术人员、水处理材料与药剂生产及营销人员参阅。

前 言

水是人类生存和发展不可缺少的自然资源，但随着人类生活和生产活动的发展，在向自然资源不断索取的同时，也严重破坏了人类赖以生存的自然环境。在发电、炼油、冶金、化学及造纸、纺织、印染、制革等工业工厂机器轰鸣、产品源源不断产出的同时，也将大量有毒有害的化学物质排入大气，排入江、河、湖、海。环境污染已严重威胁着人类健康！

我国水资源比较缺乏，水污染也比较严重，但是国家和政府对于污染治理、保护环境的投入也很大：曾对一些污染严重的企业实施关、停、并、转，对有一定生产规模又有污染的企业实行限期治理，在全国实施环境保护法，对全民进行环境保护教育。国家公民环保意识大大提高，城市越来越美，工厂文明生产。人民生活水平逐渐提高，对物质需求的质量也不断提高：有人喜欢纯净水，有人要喝矿泉水，没人需要受到污染的水！工业用水也有水质标准，生产、生活排放废水应符合环保要求。所以在水处理领域潜在着水处理材料、水处理药剂巨大的开发、生产和应用市场！

在水处理过程中，不管是供水还是排水，水质不同，用水目的不同，所采用的处理方法、使用的材料、药剂也不尽相同。如何将各种各样的水处理产品能合理、经济地运用于水处理工程？为满足广大读者需求，受化工出版社环境科学与工程出版中心委托，我们组织了冶金工业部建筑研究总院环境保护研究所、国家工业环境保护工程研究中心多年从事水处理工作的部分工程技术人员，编写了这本《手册》，希望能有裨益。

参加编写的人员有：第1章 蒋坚毅；第2、3、4章 邵刚；第5、8、9章，第三篇兰文艺；第6、7章 李红；第10章 伍国贤。

本书由兰文艺、邵刚主编，由出版社审定。由于编者水平有限，缺乏经验，书中错误和不妥之处，谨请读者给予批评指正。

在编写过程中，得到了本单位段兴国副所长的支持和杨生茂、刘楠薇、包宗春等同事的热情帮助，图书馆程工提供了大量的参考书籍、资料，在此一并表示感谢！

兰文艺

2001.2.25

目 录

第1章 绪论	1	1.3 给水处理概论	6
1.1 水的基本知识	1	1.4 废水处理概论	11
1.2 水的化学特征	3	参考文献	17

第一篇 水处理材料

第2章 吸附材料及滤料	18	2.6.4 轻质氧化镁的应用	44
2.1 概述	18	2.6.5 氧化镁的生产与市场	45
2.2 吸附材料及特性	18	2.7 吸附树脂	45
2.2.1 吸附剂	18	2.8 过滤材料	46
2.2.2 吸附质对吸附剂的亲合性	18	2.8.1 过滤功能	46
2.2.3 吸附的类型	19	2.8.2 滤料及其特性	46
2.2.4 影响吸附的因素	20	2.8.3 对滤料的要求	47
2.3 活性炭	20	2.8.4 滤料生产及市场	48
2.3.1 活性炭及其分类	20	参考文献	54
2.3.2 活性炭的特性	21	第3章 膜及膜组件	55
2.3.3 活性炭质量标准及检测方法	22	3.1 概述	55
2.3.4 活性炭的功能与用途	24	3.1.1 膜分离技术发展概况	55
2.3.5 活性炭的再生	25	3.1.2 膜分离概念及其分类	56
2.3.6 活性炭在水处理中的应用	26	3.1.3 膜分离技术的特点及发展动向	57
2.3.7 活性炭生产及市场	29	3.1.4 膜法水处理技术发展前景	59
2.4 沸石	33	3.2 渗析膜及膜组件	61
2.4.1 沸石构造及分类	33	3.2.1 基本过程	61
2.4.2 沸石的性质	34	3.2.2 渗析膜	61
2.4.3 合成沸石及其特性	35	3.2.3 渗析膜组件	64
2.4.4 沸石的质量标准	35	3.2.4 渗析法的应用	65
2.4.5 沸石的功能与用途	38	3.3 电渗析膜及组件	66
2.4.6 沸石的再生	39	3.3.1 电渗析技术的发展及特点	66
2.4.7 沸石的应用	39	3.3.2 电渗析基本原理及过程	68
2.5 活性氧化铝	40	3.3.3 离子交换膜	71
2.5.1 活性氧化铝的性状	40	3.3.4 离子交换膜的生产及市场	74
2.5.2 活性氧化铝的用途	40	3.3.5 电渗析器(膜组件)	85
2.5.3 产品质量标准	40	附录: 极限电流测定方法	91
2.5.4 活性氧化铝的应用	42	3.3.6 新型电渗析器—EDR 和 EDI	97
2.5.5 活性氧化铝的生产及市场	42	3.3.7 电渗析的应用及发展前景	109
2.6 轻质氧化镁	43	3.4 微孔滤膜及组件	110
2.6.1 轻质氧化镁的性状	43	3.4.1 微孔过滤原理	110
2.6.2 质量标准及检测方法	43	3.4.2 微孔滤膜	112
2.6.3 氧化镁的特性及用途	43	3.4.3 微孔滤膜生产及市场	114

3.4.4 微孔滤膜组件	122	4.1 概述	215
3.4.5 微孔滤膜的应用现状及前景	124	4.2 离子交换原理	215
3.5 超滤膜及组件	125	4.2.1 离子交换基本概念	215
3.5.1 超滤的基本理论	125	4.2.2 离子交换平衡	216
3.5.2 超滤膜的特性及制备方法	129	4.2.3 离子交换动力学及过程	218
3.5.3 超滤膜的生产及市场	133	4.3 离子交换剂的分类与性能	219
3.5.4 超滤膜组件	139	4.3.1 离子交换剂的结构与分类	219
3.5.5 超滤的应用现状及前景	143	4.3.2 离子交换树脂的性能	221
3.6 纳滤膜及组件	146	4.4 离子交换操作	223
3.6.1 纳滤的基本原理	146	4.4.1 静态离子交换法	223
3.6.2 纳滤膜	147	4.4.2 动态离子交换法	223
3.6.3 商品纳滤膜及组件的特性	148	4.4.3 离子交换树脂的再生	226
3.6.4 纳滤的应用及发展前景	150	4.5 离子交换法在给水处理中的应用	227
3.7 反渗透膜及组件	151	4.5.1 水的软化	227
3.7.1 渗透和反渗透	151	4.5.2 水的脱盐——纯水制备	229
3.7.2 反渗透膜的制备及性能	156	4.5.3 水的深度处理——高纯水制备	230
3.7.3 反渗透膜生产及市场	164	4.6 离子交换法在废水处理中的应用	231
3.7.4 反渗透膜组件	170	4.6.1 含铬废水处理	231
3.7.5 反渗透膜的污染及其防治	180	4.6.2 含镍废水处理	232
3.7.6 反渗透的应用	187	4.6.3 镀铜、镉、锌及稀贵金属废水 处理	232
3.8 渗透气化膜及组件	190	4.6.4 含汞废水处理	233
3.8.1 渗透气化的基本原理及传递模型	190	4.6.5 放射性废水处理	233
3.8.2 渗透气化的特点及其影响因素	191	4.7 离子交换树脂的生产及市场	234
3.8.3 渗透气化膜的分类、性能及制备	192	4.7.1 离子交换树脂的中国国家标准 (GB 1631—79)	234
3.8.4 渗透气化膜组件	195	4.7.2 阳离子交换树脂	235
3.8.5 渗透气化膜的应用	195	4.7.3 阴离子交换树脂	240
3.9 液膜及组件	197	4.7.4 螯合树脂	246
3.9.1 液膜及其分类	197	4.7.5 氧化还原树脂	247
3.9.2 液膜分离机理	199	4.7.6 脱氧树脂	248
3.9.3 液膜的制备及分离操作程序	202	4.7.7 吸附树脂	248
3.9.4 含浸支撑型液膜的膜组件	211	4.8 其他类型离子交换剂	254
3.9.5 液膜法的应用	213	4.8.1 离子交换纤维	254
参考文献	214	4.8.2 无机离子交换剂	256
第4章 离子交换树脂	215	参考文献	257

第二篇 水处理药剂

第5章 混凝剂与絮凝剂	258	5.2.4 聚合氯化铝	263
5.1 概述	258	5.2.5 硫酸亚铁	265
5.2 无机混凝剂	260	5.2.6 三氯化铁	266
5.2.1 硫酸铝	260	5.2.7 聚合硫酸铁	268
5.2.2 硫酸铝钾	261	5.2.8 结晶氯化铝	269
5.2.3 聚合硫酸铝	262	5.2.9 聚合氯化铝铁	270

5.3 天然及人工改性高分子絮凝剂	271	7.2.1.3 铬酸钠	378
5.3.1 羧甲基淀粉	271	7.2.2 聚磷酸盐	381
5.3.2 羧甲基纤维素钠	272	7.2.2.1 六偏磷酸钠	381
5.3.3 甲壳质·甲壳胺	273	7.2.2.2 三聚磷酸钠	388
5.3.4 鞣酸	275	7.2.3 亚硝酸钠	396
5.4 合成高分子絮凝剂	276	7.2.4 钼酸钠	400
5.4.1 聚丙烯酰胺	276	7.2.5 硅酸钠	402
5.4.2 聚氧化乙烯	279	7.2.6 锌盐	409
5.4.3 聚丙烯酸	280	7.2.6.1 硫酸锌	409
5.4.4 聚二甲基二烯丙基氯化铵	280	7.2.6.2 氯化锌	420
参考文献	281	7.2.7 钨酸钠	425
第6章 阻垢剂与分散剂	282	7.2.8 四硼酸钠	426
6.1 概述	282	7.3 有机缓蚀剂	430
6.2 天然高分子	283	7.3.1 氨基三亚甲基膦酸	430
6.2.1 本质素磺酸钠	283	7.3.2 羟基亚乙基二膦酸	430
6.2.2 单宁	286	7.3.3 亚乙基二胺四亚甲基膦酸	431
6.2.3 葡萄糖酸钠	289	7.3.4 2-羟基膦基乙酸	431
6.2.4 腐殖酸钠	292	7.3.5 巯基苯并噻唑	434
6.3 有机膦酸(盐)	300	7.3.6 苯并三氮唑	438
6.3.1 1-羟基乙烷-1,1-二膦酸	301	7.3.7 甲基苯并三氮唑	440
6.3.2 氨基三亚甲基膦酸	308	7.3.8 有机胺	441
6.3.3 乙二胺四亚甲基膦酸	318	7.4 常用阻垢缓蚀复合剂	441
6.3.4 2-膦酸基-1,2,4-三羧酸丁烷	326	7.4.1 缓蚀阻垢剂Ⅱ	442
6.3.5 二亚乙基三胺五亚甲基膦酸	332	7.4.2 缓蚀阻垢剂Ⅲ	445
6.3.6 多元醇磷酸酯	336	参考文献	449
6.4 聚羧酸(盐)类	341	第8章 杀菌灭藻剂	451
6.4.1 聚丙烯酸(盐)	342	8.1 概述	451
6.4.1.1 聚丙烯酸钠	342	8.2 杀菌灭藻剂	453
6.4.1.2 聚丙烯酸	345	8.2.1 氯	453
6.4.2 聚马来酸	351	8.2.2 次氯酸钠	455
6.4.3 马来酸-丙烯酸共聚物	355	8.2.3 二氧化氯	457
6.4.4 丙烯酸-丙烯酸酯类共聚物	359	8.2.4 亚氯酸钠	459
6.4.4.1 丙烯酸-丙烯酸甲酯共聚物	359	8.2.5 臭氧	460
6.4.4.2 丙烯酸-丙烯酸羟丙酯共聚物	363	8.2.6 次氯酸钙	461
6.4.5 丙烯酸-2-丙烯酰胺基-2'-甲基丙基 磺酸共聚物	364	8.2.7 过氧化氢	464
参考文献	368	8.2.8 三氯异氰尿酸	465
第7章 缓蚀剂	369	8.2.9 二氯异氰尿酸钠	466
7.1 概述	369	8.2.10 双氯酚	467
7.2 无机缓蚀剂	371	8.2.11 氯酚	468
7.2.1 铬酸盐	371	8.2.12 十二烷基二甲基苄基氯化铵	469
7.2.1.1 重铬酸钠	371	8.2.13 十二烷基二甲基苄基溴化铵	471
7.2.1.2 重铬酸钾	374	8.2.14 十四烷基二甲基苄基氯化铵	473
		8.2.15 双季胺盐	473
		8.2.16 二硫氰基甲烷	474

8.2.17 异噻唑啉酮	475	9.6.11 苯并三氮唑	524
8.2.18 丙烯醛	477	参考文献	525
8.2.19 戊二醛	478	第10章 其他水处理剂	527
8.2.20 十六烷基二甲基(2-亚硫酸)乙 基铵	479	10.1 概述	527
参考文献	480	10.2 消泡剂	530
第9章 清洗剂	481	10.2.1 JN-5 高效消泡剂	530
9.1 概述	481	10.2.2 高效复合有机硅消泡剂	530
9.1.1 化学清洗的意义	481	10.2.3 28号消泡剂	531
9.1.2 化学清洗的一般程序	482	10.2.4 302 乳化硅油消泡剂	531
9.1.3 化学清洗剂与清洗助剂的选择	483	10.2.5 304 乳化硅油消泡剂	532
9.1.4 化学清洗过程中的安全质量保证	484	10.2.6 有机硅消泡剂 WSE	532
9.2 酸性清洗剂	484	10.2.7 三异丙醇胺聚氧丙烯聚氧乙 烯醚	533
9.2.1 盐酸	484	10.2.8 聚氧丙烯氧乙烯甘油醚	533
9.2.2 硫酸	486	10.2.9 聚氧丙烯甘油醚	534
9.2.3 硝酸	488	10.2.10 聚氧乙烯聚氧丙烯单丁基醚	534
9.2.4 氢氟酸	490	10.2.11 高效消泡剂 GY-863	534
9.2.5 氨基磺酸	491	10.2.12 泡敌 MPE	535
9.2.6 柠檬酸	493	10.2.13 AF 固体消泡剂	535
9.2.7 甲酸	494	10.2.14 造纸消泡剂	535
9.2.8 乙酸	496	10.2.15 HXP-6, HXP-13, HXP-16 消 泡剂	536
9.2.9 乙二酸	497	10.2.16 NT-309 高效消泡剂	536
9.3 碱性清洗剂	499	10.2.17 JC-863 高效消泡剂	536
9.3.1 氢氧化钠	499	10.2.18 TL-0601 消泡剂	536
9.3.2 碳酸钠	502	10.2.19 SPA-202 消泡剂	536
9.3.3 硅酸钠	504	10.2.20 消泡剂 DSA-5	537
9.3.4 磷酸三钠	506	10.2.21 SP-851 消泡剂	537
9.4 络合清洗剂	507	10.2.22 消泡剂 MPO	537
9.4.1 乙二胺四乙酸	507	10.2.23 FBX-01 抑泡剂	538
9.4.2 六聚偏磷酸钠	509	10.2.24 消泡剂 L ₆₂	538
9.4.3 三聚磷酸钠	509	10.2.25 OTD 消泡剂	538
9.5 杀生剂清洗剂	509	10.3 破乳剂	539
9.6 酸洗缓蚀剂	509	10.3.1 破乳剂 AE 8051	539
9.6.1 兰-826	509	10.3.2 新型原油破乳剂 EG-2530B	539
9.6.2 脂肪族胺	510	10.3.3 破乳剂 AS ₁	539
9.6.3 苯胺	514	10.3.4 AS ₁₀ 破乳剂	540
9.6.4 丙炔醇	515	10.3.5 破乳剂 A 3201	540
9.6.5 六次甲基四胺	516	10.3.6 破乳剂 AC 4201-1	540
9.6.6 甲醛	518	10.3.7 破乳剂 AE 121	540
9.6.7 吡啶及其衍生物	520	10.3.8 破乳剂 AE 0604	540
9.6.8 噻啉及其衍生物	521	10.3.9 破乳剂 AE 1910	541
9.6.9 硫脲	522	10.3.10 破乳剂 AE 7821	541
9.6.10 巯基苯并噻唑	523	10.3.11 破乳剂 AE 4010	541

10.3.12 破乳剂 AE 8031	542	10.4.6 氢醌	550
10.3.13 破乳剂 AE 9901	542	10.4.7 碳酸胂	551
10.3.14 破乳剂 AF 系列	542	10.4.8 异抗坏血酸	552
10.3.15 破乳剂 AP 134	542	10.5 脱色剂	552
10.3.16 破乳剂 AP 136	543	10.5.1 高效脱色絮凝剂	552
10.3.17 破乳剂 AP 221	543	10.5.2 HAF-101 印染废水处理剂	553
10.3.18 破乳剂 API 7041	543	10.5.3 粉末活性炭	553
10.3.19 破乳剂 AR 系列	544	10.5.4 CH-16 活性炭	553
10.3.20 破乳剂 AR ₂	544	10.5.5 活性炭	554
10.3.21 破乳剂 AS 2821	544	10.5.6 硫酸铝	554
10.3.22 破乳剂 BP-121、BP-169	544	10.5.7 亚硫酸氢铵 (溶液)	555
10.3.23 破乳剂 BP-2000 系列	545	10.6 脱水剂	555
10.3.24 破乳剂 DE-1	545	10.6.1 阳离子高分子絮凝剂 CPF	555
10.3.25 破乳剂 DPA 2031	545	10.6.2 高效阳离子高分子絮凝剂 DMC 共 聚物	555
10.4 除氧剂	546	10.6.3 阳离子型高分子絮凝剂 CPAM	556
10.4.1 亚硫酸钠	546	10.6.4 非离子型高分子絮凝剂	556
10.4.2 亚硫酸氢钠	547	参考文献	556
10.4.3 亚硫酸氢铵 (溶液)	547		
10.4.4 无水胂	548		
10.4.5 水合胂	550		

第三篇 厂家及产品介绍

第 11 章 水处理材料与药剂主要生产厂家及 产品	558	11.11 南京化工学院武进市水质稳定 剂厂	653
11.1 原化工部天津化工研究设计院国家工业 水处理工程技术研究中心	558	11.12 上海苏鹏实业有限公司	655
11.2 南京纳科精细化工技术发展公司	562	11.13 洛阳晓清水处理有限公司	656
11.3 武进市同德化工厂	583	11.14 巩义市三星水处理设备 (填料) 有 限公司	657
11.4 上海久安水质稳定剂厂	612	11.15 巩义市全兴滤材工业有限公司	660
11.5 岳阳石油化工总厂精细化学品厂	623	11.16 河南省新乡县万事达化工有限公司	664
11.6 凯米沃特 (宜兴) 净化剂有限公司	636	11.17 中外合资常州千力水处理有限公司	664
11.7 (中德合资) 北京天使专用化学技术 有限责任公司	642	11.18 四川省工业水处理工程技术研究中心 成都齐达科技开发公司	679
11.8 武汉钢化水处理有限责任公司武钢 实业化工水处理厂	646	11.19 北京化大黎明膜材料厂	684
11.9 淄博市丰乐化工有限公司	646	11.20 上海上化水处理材料有限公司	684
11.10 上海石化森清水处理有限公司	653		

第1章 绪 论

1.1 水的基本知识

水是一种在常温下无色、无味，以液态存在的物质，化学分子式为 H_2O ，分子量为 18。

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。在自然界，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，几乎无所不在。水是人类不可缺少的资源，人们对它的熟悉程度也随着科学技术的进步而逐渐提高。水虽然具有一般液体的共性，但它又有许多特性，正是这些特性，才决定了其本身的开发利用价值。常见特性如下。

(1) 温度-体积效应

水在 $0 \sim 4^\circ\text{C}$ 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 时水密度为 0.9999，而 0°C 时冰的密度为 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交换，保持深水水温，使水生生物得以在冬季生存。

(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，有利于固液相的转变，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，水的比热容最大；每升高或降低 1°C 时所吸收或放出的热量比其他物质都多。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) 常温附近即可实现三相变化

常压下，在 $0 \sim 100^\circ\text{C}$ 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

在所有液体中，水的表面张力仅次于汞，由此而会产生明显的毛细、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) 导电特性

纯净的水几乎不导电，但在一般水中由于溶解了电解质，所以是导电的。这就是水的导电双重性。

天然水中普遍存在各种各样的杂质，认识这些共存于水中的杂质，对于水处理是十分重要的。

天然水中的杂质，一般按其颗粒大小的不同来划分为三类：悬浮物、胶体、溶解物质。

①悬浮物 悬浮物的颗粒较大，在水中不稳定，容易去除。水体发生浑浊现象，主要是由此类物质所造成的。

悬浮物悬浮于水体中，当水静止时，相对密度大的物质会下沉，而相对密度较小的物质则会上浮于水面。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，主要是腐殖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，由于其表面积较大，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常有同性电荷而相互排斥，在水中不能相互结合在一起，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殖质。在湖泊水中腐殖质较多，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。这里主要就淡水天然水源作一简单介绍。

a. 江河水 河流是降水经地面径流汇集而成的，流域面积十分广阔，又是敞开流动的水体，其水质受地区、气候及生物活动和人类活动的影响而有较大的变化。

河流水中主要溶解物质为由离子成分构成的含盐量，一般在 $100 \sim 200\text{mg/L}$ ，不超过 500mg/L ，个别河流也可达到 3000mg/L 以上。一般河水中阳离子主要为 Ca^{2+} 、 Na^{+} 、 Mg^{2+} ；阴离子为 HCO_3^{-} 、 SO_4^{2-} 、 Cl^{-} 。表 1-1 为我国主要河流的水质组成。

表 1-1 我国主要河流的水质组成

成 分	含 量 /(mg/L)						
	珠 江	长 江	黄 河	黑 龙 江	闽 江	塔里木河	松花江
Ca^{2+}	18	28.9	39.1	11.6	2.6	107.6	12.0
Mg^{2+}	1.1	9.6	17.9	2.5	0.6	841.5	3.8
$\text{Na}^{+} + \text{K}^{+}$	16.1	8.6	46.3	6.7	6.7	10265	6.8
HCO_3^{-}	32.9	128.9	162.0	54.9	20.2	117.2	64.4
SO_4^{2-}	34.8	13.4	82.6	6.0	4.9	6052	5.9
Cl^{-}	7.3	4.2	30.0	2.0	0.5	14368	1.0
含盐量	110.2	193.6	377.9	83.7	35.5	31751.3	93.9

b. 湖泊和水库水 湖泊是由河流及地下水补给而成的，它的水质与补给水水质、气候、地质及生物等条件有密切关系，同时流入和排出的水量、日照和蒸发强度等也在很大程度上影响湖水的水质。如果流入和排出的河流水量都较大，而湖水蒸发量较小，则湖水含盐量较低，形成淡水湖，其含盐量一般在 300mg/L 以下。

水库实际上是一种人造湖，其水质也与流入的河水水质和地质特点有关，但最终会形成与湖泊相似的稳定状态。

其水质溶解类物质与河流水相似，表 1-2 为一些淡水湖泊及水库的水质组成。

c. 地下水 地下水是由降水经过土壤地层的渗流而形成的。地下水按其深度可以分为表层水、层间水和深层水。通常作为水源使用的地下水均属层间水，即中层地下水。这种水受外界影响小，水质组成稳定，水温变化很小，水质透明清澈，有机物和细菌的含量较少，但含盐量较高，硬度较大。随着地下水深度的增加，其主要离子组成从低矿化度的淡水型转

化为高矿化度的咸水类型，即从 Ca^{2+} 、 HCO_3^- 离子浓度多于 Na^+ 、 SO_4^{2-} 浓度转化为 Na^+ 、 SO_4^{2-} 浓度大于 Ca^{2+} 、 HCO_3^- 浓度。其溶解类离子组成见表 1-3。

表 1-2 一些淡水湖泊及水库水质组成

成 分	含量/(mg/L)			成 分	含量/(mg/L)		
	南湖 (武汉)	洪湖 (湖北)	立新城水库 (长春)		南湖 (武汉)	洪湖 (湖北)	立新城水库 (长春)
Ca^{2+}	18.9	22.4	20.5	SO_4^{2-}	15.8	10.3	5.0
Mg^{2+}	1.83	3.17	5.61	Cl^-	13.7	4.55	7.1
Na^+	17.9	11.4	3.17	含盐量	138.7	127.12	121.3
HCO_3^-	70.7	75.3	79.9				

表 1-3 某些地下水水质组成

成 分	含量/(mg/L)				成 分	含量/(mg/L)			
	石家庄 井水	哈尔滨 井水	天津井水	湖南某 井水		石家庄 井水	哈尔滨 井水	天津井水	湖南某 井水
Ca^{2+}	82.9	78.2	8.0	2.83	Mn^{2+}	—	—	—	—
Mg^{2+}	19.8	12.8	3.7	1.56	含盐量	403.8	461.0	1040.7	38.0
$\text{Na}^+ + \text{K}^+$	16.2	23.5	317	5.29	H_2S	—	76.4	—	—
HCO_3^-	219.6	317.2	464	9.76	游离 CO_2	—	11.5	—	79.4
SO_4^{2-}	37.3	8.0	48	8.95	pH 值	7.6	6.9	8.3	
Cl^-	28.0	21.34	200	2.55	特点		含 H_2S	含氟矿化水	软水，腐 蚀性强
Fe^{2+}	—	0.02	—	1.4 ~ 2.1					

天然水中的溶解气体主要有氧 (O_2)、二氧化碳 (CO_2)，有时还有硫化氢 (H_2S)、二氧化硫 (SO_2) 和氨 (NH_3) 等。溶解于水中的氧称为溶解氧，地表清洁水中一般富含氧。而地下水中则含有较多的 H_2S 、 SO_2 等有毒气体。

1.2 水的化学特征

为了更好地了解水，认识水，从而能更加有效地对水进行处理、利用，对其化学特征的了解是十分重要的。还是以天然水为例，进行一些介绍。

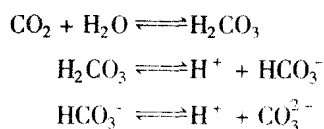
(1) 天然水的碳酸化合物

天然水中普遍存在着各种形态的碳酸化合物，它们是决定水质 pH 值的重要因素，并且对外加酸、碱有一定的缓冲能力，同时对水质和水处理有着重要影响。

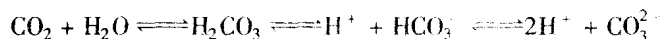
①碳酸化合物的存在形态 天然水中碳酸化合物的来源有以下几个方面：首先是空气中二氧化碳的溶解，岩石、土壤中碳酸盐和重碳酸盐矿物的溶解；其次是水中动植物的新陈代谢作用以及水中有机物的生物氧化等产生的二氧化碳；有时在水处理过程中也会加入或形成各种碳酸化合物。上述各种来源的碳酸化合物综合构成水中碳酸化合物的总量。

水中碳酸化合物通常以下列几种不同形态存在：溶于水中的游离碳酸，即呈分子状态的碳酸，其中包括溶解的气体 CO_2 和未离解的 H_2CO_3 分子；重碳酸盐碳酸，即重碳酸根离子 (HCO_3^-)，也称半化合性碳酸；碳酸盐碳酸，即碳酸根离子 (CO_3^{2-})，也称化合性碳酸。

上述四种碳酸化合物存在着以下几种平衡关系：



综合上述各式可得：



在上述两种分子状态的平衡关系中，实际上是 CO_2 占主要形态。而 H_2CO_3 的形态只占分子状态碳酸总量的 1% 以下。因此把水中溶解的气体 CO_2 的含量作为游离碳酸的总量，不会引起很大的误差，在分析中可以用 $[\text{CO}_2]$ 或 $[\text{H}_2\text{CO}_3]$ 代替游离碳酸总量，即

$$[\text{CO}_2] \cong [\text{CO}_2] + [\text{H}_2\text{CO}_3]$$

$$[\text{H}_2\text{CO}_3] \cong [\text{CO}_2] + [\text{H}_2\text{CO}_3]$$

② 碳酸平衡和 pH 值的关系 碳酸 (H_2CO_3) 为二元弱酸，可以分级电离。在不同温度下有不同的电离常数，如在 25℃ 时平衡常数值为：

$$\frac{[\text{H}^+][\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}_2\text{CO}_3]} = K_1 = 4.45 \times 10^{-7}$$

$$\frac{[\text{H}^+][\text{CO}_3^{2-}]}{[\text{HCO}_3^-]} = K_2 = 4.69 \times 10^{-11}$$

不同温度下碳酸的平衡常数值如表 1-4 所示。

表 1-4 不同温度下碳酸的平衡常数

温度 $t/^\circ\text{C}$	$K_1 \times 10^7$	$\text{p}K_1$	$K_2 \times 10^{11}$	$\text{p}K_2$	温度 $t/^\circ\text{C}$	$K_1 \times 10^7$	$\text{p}K_1$	$K_2 \times 10^{11}$	$\text{p}K_2$
0	2.65	6.577	2.36	10.625	30	4.71	6.327	5.13	10.290
5	3.04	6.517	2.77	10.557	40	5.06	6.298	6.03	10.220
10	3.43	6.464	3.24	10.490	50	5.16	6.287	6.73	10.172
15	3.80	6.419	3.71	10.430	60	5.02	6.299	7.20	10.143
20	4.15	6.381	4.20	10.377	70	4.69	6.329	7.52	10.124
25	4.45	6.352	4.69	10.329	80	4.21	6.37	7.55	10.122

如果水中碳酸化合物的总量以 C 表示，则有

$$C = [\text{H}_2\text{CO}_3] + [\text{HCO}_3^-] + [\text{CO}_3^{2-}]$$

假若 C 值固定不变时，在平衡状态下，各种碳酸化合物的存在形式应有一定的比例关系，这种比例关系主要取决于水中 H^+ 浓度，也即取决于水的 pH 值。当 pH 值降低时，平衡左移，游离碳酸增多；当 pH 值升高时，平衡右移，重碳酸盐碳酸和碳酸盐碳酸增多。表 1-5 为在不同 pH 值时三类碳酸含量的相对比例值。

表 1-5 三类不同碳酸的比值/% (25℃)

pH 值	H_2CO_3 α_0	HCO_3^- α_1	CO_3^{2-} α_2	pH 值	H_2CO_3 α_0	HCO_3^- α_1	CO_3^{2-} α_2
2.0	100			8.0	2.46	97.08	0.46
2.5	99.99	0.01		8.5	0.72	97.83	1.45
3.0	99.96	0.04		9.0	0.17	95.36	4.47
3.5	99.86	0.14		9.5	0.04	87.03	12.93
4.0	99.56	0.44		10.0	0.01	68.02	31.97
4.5	98.62	1.38		10.5		40.22	59.78
5.0	95.75	4.25		11.0		17.54	82.46
5.5	87.70	12.30		11.5		6.30	93.70
6.0	70.70	30.30		12.0		2.08	97.92
6.5	41.62	58.37	0.01	12.5		0.67	99.33
7.0	18.64	81.32	0.04	13.0		0.21	99.79
7.5	6.74	93.12	0.14				

将上表中数据以图形表示, 则为下图所示曲线。

由图 1-1 可见, 当水中 pH 值 < 4.3 时, 几乎只有 CO_2 一种形态; 当 pH 值 < 8.3 时, 水中 CO_3^{2-} 几乎不存在了, 主要存在 CO_2 和 HCO_3^- 两种形态; 当 pH 值 > 8.3 时, CO_2 几乎没有了, 而 CO_3^{2-} 和 HCO_3^- 同时共存; 当 pH 值 > 10 时, HCO_3^- 迅速降低含量; 当 pH 值 > 12 时, 水中几乎只有 CO_3^{2-} 一种形态存在。故可认为

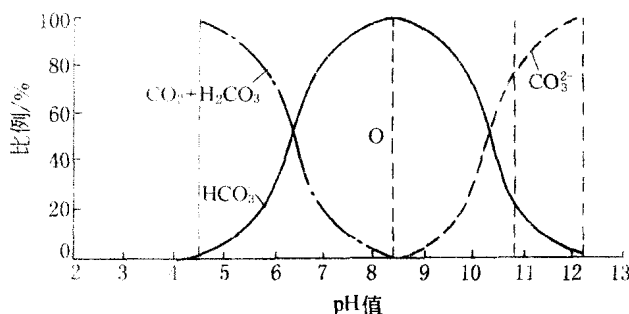


图 1-1

HCO_3^- 的实际存在范围是 pH 值在 4.5 ~ 12 之间, 而当 pH 值在中等范围 (6 ~ 10.5) 内时, HCO_3^- 在三种类型的碳酸的总量中占 30% 以上。三种碳酸在平衡时的浓度比例与水的 pH 值有完全相对应的关系, 是密切相关的。

(2) 水的酸度

水的酸度是指水中能与强碱发生中和作用的所有物质的总量。水的酸度通常由三类物质组成:

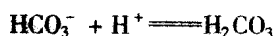
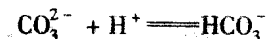
- ①强酸: 如 HCl 、 HNO_3 、 H_2SO_4 等。
- ②弱酸: 如 H_2CO_3 、 H_2S 、 H_4SiO_4 以及各种有机酸。
- ③强酸弱碱盐: 如 FeCl_3 、 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 等。

这些物质在水中都会电离产生 H^+ 或经水解产生 H^+ , 而 H^+ 均能与 OH^- 发生中和反应。这些 H^+ 的总数叫做总酸度, 用 mmol/L 表示。

必须加以区别的是总酸度和 pH 值。pH 值是水中氢离子浓度的负对数; 而总酸度则表示中和过程中可以与强碱进行反应的全部 H^+ 数量, 其中包括已游离的 H^+ 和将会电离出的 H^+ 两部分。中和前已电离的 H^+ 数量称为离子酸度, 其 $-\lg[\text{H}^+]$ 就是水的 pH 值。中和前未电离的 H^+ 数量称为后备酸度, 如部分未电离的弱酸和部分尚未水解的强酸弱碱盐中的 H^+ 均构成水的酸度。

(3) 水的碱度

水的碱度与酸度相反, 是指水中能与强酸即 H^+ 发生中和作用的物质总量。其组成通常也是三类物质: 一是强碱, 如 NaOH 、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 等; 二是弱碱, 如 NH_3 、有机胺类; 三是强碱弱酸盐, 如各种碳酸盐、重碳酸盐、硅酸盐、硫化物等。这些物质在水中会全部或部分电离生成 OH^- , 或经过水解生成 OH^- , 这些 OH^- 与强酸进行中和反应。此外, 有些碱性物质也可直接与 H^+ 起中和反应, 如



大多数天然水中, 碱度由氢氧化物、碳酸盐和重碳酸盐组成, 通常称之为总碱度, 以 M 表示, 故

$$M = [\text{OH}^-] + [\text{HCO}_3^-] + 2[\text{CO}_3^{2-}]$$

天然水中溶有微量强碱或碳酸盐水解时, 均会使水的 pH 值升高到 10 以上, 因此氢氧化物碱度的实际存在范围是在 pH 值 > 10 时。天然水的 pH 值一般均低于 10, 故水中总碱度实

际上由碳酸盐和重碳酸盐所组成。当水的 pH 值小于 10 而大于 8.3 时, 则 $M = [\text{HCO}_3^-] + 2[\text{CO}_3^{2-}]$; 当水的 pH 值小于 8.3 而大于 4.5 时, 则 $M = [\text{HCO}_3^-]$; 当水的 pH 值小于 4.5 时, 则 M 趋于零。

只有当天然水受到强碱物污染或人为地用石灰进行软化处理时, 其 pH 值才高于 10, 这时水的总碱度常由氢氧化物和碳酸盐组成, 即 $M = [\text{OH}^-] + 2[\text{CO}_3^{2-}]$, 如造纸厂、制革厂排出的废水及锅炉用水等。

如果天然水中有大量藻类繁殖, 在繁殖过程中会吸收水中 CO_2 , 使水的 pH 值迅速升高, 这时水中总碱度主要由 CO_3^{2-} 组成。

水的碱度常影响到水质特性, 因此水的总碱度是最常用的一个水质指标。

(4) 水的硬度

水的硬度通常是指 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 硬度, 以 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 的含量来计算, 并作为水质的一个重要指标。天然水中都含有一定的硬度, 地下水、咸水和海水的硬度较大。

一般将水中所含有的钙离子及镁离子的总量称为水的总硬度。硬度按组成的阳离子划分可分为钙硬度和镁硬度; 按组成的阴离子划分可分为碳酸盐硬度和非碳酸盐硬度。碳酸盐硬度就是钙镁的重碳酸盐和碳酸盐, 这种盐在水煮沸后很容易生成碳酸盐沉淀析出, 所以也把它称作暂时硬度。而非碳酸盐硬度是钙和镁的硫酸盐以及氯化物, 这种盐类不能用水煮析出沉淀, 故也称这种硬度为永久硬度。

水的硬度与 pH 值也有一定的关系, 同时硬度与总碱度也有相关联。总硬度与总碱度的差值称为负硬度, 总硬度小于总碱度的水称为负硬水。

硬度的单位为 mmol/L (以 $1/2\text{Ca}$ 为基本单元)。总硬度并非单一的离子或盐类, 为使用方便, 常将其换算成一种统一的盐类, 可以按照当量换算方法以 CaO 或 CaCO_3 的质量浓度表示总硬度。另外, 有的国家也常用“度”来表示硬度, 这类单位由于不是国际通用, 故慢慢地淘汰了。

1.3 给水处理概论

(1) 水质标准

水质标准是指通过必要的处理以后达到用户要求的各项水质指标。随着生产技术的进步、水处理技术的提高和用户对水质要求的严格, 水质标准也是在不断地修改和提高。目前一般可划分为两类水质标准: 生活饮用水标准和工业水标准。

①生活饮用水标准 世界卫生组织于 1971 年修订了《饮用水国际标准》以供各国借鉴和参考, 各国均在该基础上各自制订了饮用水标准。这些标准虽不尽一致, 但一些主要指标基本接近或略有差异。我国在 1976 年也首次自己颁发了《生活饮用水卫生标准》, 以后在 20 世纪 90 年代又再次颁发了新的标准。

作为生活饮用水, 必须满足以下水质要求: 对人体健康无害; 感官性状良好; 对生活使用无不良影响。为此, 生活饮用水标准中以感官性状指标、化学指标、毒理学指标和细菌学指标对生活饮用水水质加以控制。

a. 感官性状指标有时又称物理性状, 是指水中某些物质对人的视觉、味觉和嗅觉的刺激。清洁的水应无色 (深时呈浅蓝色)、无异臭和异味。但当水中含有浮游生物、腐殖质或受到废水污染时, 往往使水产生各种颜色 (如腐殖质可使水呈黄绿色甚至褐色) 和异臭 (如沼泽气味、鱼腥气味、芳香气味等)、异味 (如酸、苦、咸、涩等)。它们虽然不属于危害人

体健康的直接指标，但色、臭、味的存在给使用者以厌恶感。同时，色、臭、味严重的，也可能是水中含有致病物质的标志。

浊度超过 10mg/L ，便令人感到不快。而且，病菌、病毒以及其他有害物质，往往存在于浑浊物中。因此降低水的浊度，不仅为满足感官性状要求，对限制水中病菌、病毒及其他有害物质的含量，也具有积极意义。因此，有些国家正力图把饮用水浊度指标降至 0.1mg/L 以下。我国也正在推进水厂的技术进步，努力进一步降低浊度。

b. 化学指标是指水中存在的某些化学物质，一般情况下虽然对人体健康并不直接构成危害，但往往对生活使用产生种种不良影响，其中也包括感官性状方面的不良影响。这类物质的含量限制，统归之于化学指标。例如，硬度过高的水，洗涤衣服时浪费肥皂，开水壶容易结垢；铁离子浓度过高会使水产生红褐色以致出现沉淀物，用水器皿和洗涤的衣服会染色，并具有金属味，水体中还容易繁殖铁细菌；铜离子含量超过一定标准后，可使用水器皿及洗涤的衣服染上绿色，并具有涩味；锌含量超过 5mg/L 时，便有明显涩味；阴离子洗涤剂超过了 0.5mg/L 时，即有异味，并产生泡沫；pH 值过低将对输水管道等产生腐蚀作用，过高则会使水中析出溶解盐类并降低氯消毒作用。此外，有的物质虽具有毒性，但当它们的含量尚未达到致毒浓度时已对人们感官产生强烈刺激的，通常是不按毒理学要求而按感官性状要求来制订它们的指标的。如水中酚含量达到 $9\sim 15\text{mg/L}$ 时，显出明显毒性，鱼类将不能生存；但饮用水中挥发酚含量超过 0.01mg/L 时，已产生异臭，含量超过 0.002mg/L 时，加氯消毒时所形成的氯酚便开始出现异臭。由此可知，化学指标与感官性状指标在某些方面实际上是有一定联系的。

c. 毒理学指标是指有些化学物质在饮用水中达到一定浓度时，就会对人体健康造成危害，这些即属于有毒化学物质。在不受污染的水体中，有毒物质含量极少（个别除外，如高氟水源），一般说对人体健康并无影响。威胁人体健康的主要是由工业废水所带入的有毒物质。有些有毒物质能引起急性中毒。大多数有毒物质在人体内积蓄，引起慢性中毒。当然，有毒物质也可通过食物或呼吸进入人体。

各种有毒物质的毒性表现各不相同。如氰化物为剧毒物质，高浓度时会引起急性中毒，慢性中毒者，会引起神经衰弱、头痛及血压低等症状；人体内氟化物过量能引起牙斑釉和骨硬化，含量过少又会引起龋齿；人体内含砷量高时会引起毛细血管、新陈代谢和神经系统的病变；硒过量对人体的肝、肾、骨髓和中枢神经系统有破坏作用；汞危害人的神经系统的病变及心脏、肾脏和肠胃道；镉过量会使肾脏等发生病变，新陈代谢失常，并会引起“骨痛病”；六价铬能引起肠胃道疾患及贫血病，并将在骨、脾和肝脏内积蓄；铅在人体内积蓄可引起血液和神经系统的病变。

另外，石油废水中的多环芳烃、农药污水中的六六六和 DDT，化学性质稳定，易在人体内积累引起中毒。硝酸盐、亚硝酸盐等也有致癌作用。尽管这些尚不能在水质标准中列入，但也要引起重视。

d. 细菌学指标主要针对的是对人体健康构成威胁的病原菌，如伤寒、霍乱、痢疾等肠道传染病菌。要想直接测定水中病原菌并企图以其作为水质控制指标，当前还有困难。而测定水中细菌总数和大肠菌群比较方便，其中细菌总数可反映水体受到生活污水或有机物污染的程度及水处理效率的高低。大肠菌基本上来源于人类粪便的污染。它们本身虽非致病菌，但数量大，生存条件与肠道病原菌比较接近。因此当生活饮用水中大肠菌已不存在或数量极小时，其他病原菌也已基本消灭。