

给水处理

许 保 玖

中国建筑工业出版社

给 水 处 理

许 保 玖

中国建筑工程出版社

本书主要介绍生活饮用水和工业用水处理的基本理论。书中论述了给水处理的基本概念、理论基础、原理和方法,并介绍了各种处理药剂的性能、特征、用量及其效果。本书对各种处理构筑物及处理工艺有关的设计、计算和实例也作了介绍,如混凝设备、沉淀池、澄清池、浓缩池、滤池、消毒、软化除盐设备、工业锅炉给水、水质稳定及循环冷却水处理以及冷却设备等。

本书可供给水排水专业技术人员、大专院校师生和研究生参考。

给 水 处 理

许 保 玖

*

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: 28 1/4 字数: 638千字

1979年5月第一版 1979年5月第一次印刷

印数: 1—33,230 册 定价: 2.25元

统一书号: 15040·3524

前 言

本书系以我校一九七二年给水处理教材为基础,结合设计、生产单位的要求改编的一本应用技术参考书。由于给水技术的发展和读者范围的扩大,改编时增加了约二分之一的内容,许多章节基本上是重新编写的。

编写本书的主导思想可以简要地归纳为以下四点。其一,侧重阐明给水处理的理论。书中尽量用辩证的观点来组织各部分的材料,阐述给水处理的基本原理和主要内容。因此,很多地方不囿于一般流行的提法,如有关给水处理方法的分类、处理设备的发展、混凝试验的原理,以及澄清池类型的总结等内容皆是。其二,兼顾工程实践。书中关于设计及生产的数据、计算例题及图表等内容也给以足够的份量。这部分内容也有由现成材料改编的,也有新编的,但是都是按国内通用的单位编写,以便于应用。其三,结合国内需要,对有关内容展开阐述。例如关于斜板沉淀的应用,曾经开过全国经验交流会,而浓缩池的概念则有待于大力宣传,书中皆作为展开的内容来编写。有关工业锅炉水处理的 basic 知识及水质稳定与循环冷却水的处理问题也是国内急需解决的,因此各设一章,作为重点的展开内容。其四,减轻读者涉猎文献的负担,编入较多的补充内容。书中凡是涉及流体力学、微生物以及化学化工的基本知识,特别是难于找到的资料,都以正文或附录方式尽量编入书内。突出的例子是第十章的附录,其内容出自数册专著,一般难于寻获,因此不避篇幅臃肿之嫌,也予编入。

我校王继明、王占生、刘桂森及周莲溪同志曾参加本书的前身,即一九七二年《给水处理》教材的编写工作,许多生产单位及兄弟院校亦曾对该教材提过审阅意见,并提供过资料。在这次编写过程中,得到了我校给水排水教研组党支部的支持,并请王占生、周莲溪、蒋展鹏同志参与了原稿的审阅,还有许多同志曾以各种方式给予帮助,在此谨致以衷心的感谢!

由于作者的水平以及写作条件的限制,书中难免有缺点错误,欢迎读者批评指正。

清华大学建筑工程系 许保玖

一九七八年四月

目 录

第一篇 水中悬浮杂质的去除	
第一章 给水处理概述	1
1-1 原水中的杂质	1
1-2 生活饮用水的水质标准	4
1-3 工业生产用水的水质标准	6
1-4 给水处理方法的分类	7
第二章 水的混凝	8
第一节 胶体化学的一些基本概念	8
2-1 悬浮杂质的去除问题	8
2-2 电泳现象	9
2-3 粘土胶团	10
2-4 胶团运动时的情况	12
2-5 蛋白质胶团	13
2-6 胶体的稳定性	14
2-7 胶体的凝聚	15
第二节 水处理的混凝过程	16
2-8 混凝过程的特点	16
2-9 混凝剂所起的作用	17
2-10 助凝剂	21
2-11 有机高分子物质的混凝作用	21
2-12 混凝的具体过程	23
2-13 混凝试验	24
第三节 混凝设备	27
2-14 药剂的制备及投配	27
2-15 药剂与水的混合	30
2-16 反应设备	31
2-17 搅拌产生的速度梯度	32
第三章 水的沉淀	36
第一节 悬浮物在静水中的沉淀	36
3-1 颗粒的自由沉淀速度	36
3-2 悬浮颗粒在静水中的拥挤沉淀	40
第二节 沉淀池	44
3-3 沉淀设备概述	44
3-4 沉淀过程的分析	49
3-5 沉淀池的进出口	51
第三节 斜板斜管沉淀池	53
3-6 斜板斜管沉淀池的发展	53
3-7 异向流、同向流和横向流	56
3-8 斜板斜管沉淀池的尺寸计算	59
3-9 斜板斜管沉淀池的应用	63
3-10 计算实例	63
第四节 澄清池	68
3-11 澄清池的一般工作原理	68
3-12 加速澄清池	70
3-13 水力循环澄清池	71
3-14 脉冲澄清池	73
3-15 悬浮澄清池	75
3-16 沉淀设备小结	76
3-17 计算实例	78
第五节 浓缩池	83
3-18 浓缩池的特点	83
3-19 浓缩池的设计	84
第六节 沉淀设备的排泥	89
3-20 排泥浓度及排泥水率	89
3-21 沉淀设备的排泥方法	90
第四章 水的过滤	93
第一节 过滤的基本概念	93
4-1 饮用水过滤的发展	93
4-2 快滤池的发展	94
第二节 普通快滤池	96
4-3 普通快滤池的构造和工艺过程	96
4-4 过滤过程中水头损失的变化	98
第三节 快滤池的设计和计算	100
4-5 滤速、滤池总面积及滤池个数	100
4-6 管廊	102
第四节 滤池的配水系统	103
4-7 配水系统的作用及类型	103
4-8 管式大阻力配水系统	105
4-9 管式大阻力配水系统的水力计算	106
第五节 滤料及承托层	108
4-10 滤料的选择	108
4-11 滤料颗粒大小和级配的表示方法	109

4-12 滤层的规格	112	6-3 水的纯度	167
4-13 承托层	116	6-4 水中阳离子和阴离子间的联系	169
4-14 滤层中悬浮物的去除过程及水头损失	116	第七章 水的软化	172
4-15 过滤的水头损失	120	第一节 软化的实质	172
第六节 快滤池的冲洗	123	7-1 软化和除盐的区别	172
4-16 冲洗的任务和方法	123	7-2 工业用水软化	172
4-17 集水渠及冲洗排水槽	125	7-3 软化的基本方法	174
4-18 滤池冲洗水的供给	126	第二节 石灰纯碱软化法	175
4-19 冲洗强度有关的因素	128	7-4 石灰软化的加药量	175
第七节 其它快滤设备	129	7-5 石灰软化设备	180
4-20 虹吸滤池	129	7-6 用药剂去除非碳酸盐硬度	182
4-21 重力式无阀滤池	133	第三节 阳离子交换树脂的结构和交换能力	182
4-22 压力滤池	134	7-7 离子交换树脂的结构特点	182
4-23 计算实例	135	7-8 离子交换树脂的交换能力	188
第八节 过滤技术的新发展及硅藻土过滤器	140	7-9 磺化煤	189
4-24 过滤技术的新发展	140	第四节 阳离子交换树脂的交换特性	189
4-25 硅藻土过滤器	142	7-10 阳离子交换树脂的软化过程	189
第九节 附录	143	7-11 离子交换软化的化学反应	191
4-26 公式(4-25)的推导	143	7-12 钠型树脂的再生	194
4-27 公式(4-30)及(4-31)的推导	145	第五节 离子交换软化设备	196
4-28 最优临界矩形断面的宽度	148	7-13 离子交换器的工作过程	196
4-29 公式(4-37)的推导	148	7-14 离子交换树脂的工作交换容量	200
第五章 水的消毒和臭、味的去除	151	7-15 影响树脂工作交换容量的有关因素	202
第一节 氯消毒	151	7-16 利用弱酸性树脂软化及不足酸量再生	205
5-1 氯的消毒作用	151	7-17 离子交换器的使用中应该注意的问题	206
5-2 水的需氯量试验及氯化法	154	第六节 离子交换软化系统的设计	208
5-3 氯氮消毒	157	7-18 离子交换器	208
5-4 简易氯消毒	157	7-19 食盐溶液设备	208
第二节 氯和氨的使用	158	7-20 酸再生设备	209
5-5 氯气的特性	158	7-21 除二氧化碳器	211
5-6 氯瓶的使用过程	159	7-22 软化系统的选择和设计	213
5-7 加氯器	160	第七节 离子交换器的新工艺	218
5-8 氨的性质	162	7-23 逆流再生	218
第三节 臭和味以及其它有关微生物的处理	162	7-24 移动床	220
5-9 臭和味的处理	162	7-25 流动床	222
5-10 防止和破坏微生物的干扰	164	7-26 移动床和流动床的使用经验	223
第二篇 变革水中的溶解杂质		第八章 水的除盐	225
第六章 概述	165	第一节 离子交换树脂	225
6-1 水中的溶解杂质及其处理问题	165	8-1 离子交换树脂的结构	225
6-2 溶解离子含量的表示	166	8-2 离子交换树脂的性能	226
		8-3 阴离子交换树脂	228
		8-4 树脂的交换选择性	231

第二节 离子交换法制高纯水	233	10-4 pH值因水温改变的变化	311
8-5 离子交换除盐的基本流程	233	10-5 反应(10-1)平衡时的pH值	313
8-6 阴离子交换器、混合床和双层床	234	第二节 腐蚀过程	316
8-7 高纯水的处理流程	236	10-6 电化学腐蚀	316
8-8 强碱性阴树脂的有机沾污	239	10-7 微生物腐蚀	318
8-9 计算实例	242	第三节 直流用水系统的稳定处理	320
第三节 离子交换树脂的其它应用	250	10-8 直流用水系统的稳定指标	320
8-10 其它离子型树脂的应用	250	10-9 直流用水系统的稳定处理	321
8-11 离子交换中和器	252	第四节 循环冷却水运行的控制和运行情况分析	323
第四节 电渗析除盐	252	10-10 循环冷却水的处理问题	323
8-12 离子交换膜的特性	252	10-11 浓缩倍数	326
8-13 电渗析除盐原理	254	10-12 处理药剂的消失过程	328
8-14 电渗析器	256	10-13 控制结垢的指标	329
8-15 极化和结垢	258	10-14 极限碳酸盐硬度	332
8-16 电流效率	261	10-15 循环冷却水运行情况的分析	332
8-17 最佳电流密度	263	第五节 控制碳酸钙结垢的处理方法	334
8-18 电渗析器的应用	265	10-16 加酸处理	334
第五节 咸水淡化	266	10-17 磷酸盐处理	337
8-19 咸水淡化	266	10-18 加CO ₂ 处理	338
8-20 水的热力学性质	269	第六节 循环冷却水的现代处理方法	340
8-21 咸水淡化的蒸馏法	270	10-19 循环冷却水的现代处理观点	340
8-22 其它咸水淡化方法	271	10-20 缓蚀剂	342
第九章 锅炉给水处理	274	10-21 缓垢剂	346
第一节 锅炉的工作过程及水处理问题	274	10-22 微生物的控制	350
9-1 锅炉的工作过程	274	10-23 化学清垢和清垢剂	354
9-2 锅炉给水的处理问题	276	第七节 附录	355
第二节 锅炉给水及炉水的水质指标与流量计算	280	10-24 含盐量对平衡常数的影响	355
9-3 锅炉给水及炉水的水质指标	280	10-25 磷酸盐、麟酸盐、二麟酸盐及磷酸酯	359
9-4 锅炉的给水、补充水及排污水的流量计算	282	10-26 木质素、单宁、褐藻酸盐、纤维素及淀粉	364
第三节 锅炉给水的炉内处理	285	10-27 公式(10-56)的推导	367
9-5 炉外处理与炉内处理	285	10-28 换热器的污垢系数	368
9-6 炉内软化反应	287	第十一章 特殊处理	371
9-7 炉内补充处理	290	第一节 除铁和除锰	371
9-8 全部炉内处理	295	11-1 铁和锰的危害	371
9-9 水的磁化处理	300	11-2 除铁的基本方法	371
9-10 锅炉的清垢	302	11-3 氧化法除铁	372
第十章 水质稳定及循环冷却水处理	305	11-4 除锰的特点	376
第一节 CaCO ₃ 溶解的化学基础知识	305	第二节 其它处理	377
10-1 CaCO ₃ 溶解的平衡关系	305	11-5 除氟与加氟	377
10-2 反应(10-1)平衡时CO ₂ 含量的计算	308		
10-3 HCO ₃ ⁻ 、CO ₃ ²⁻ 和OH ⁻ 三种碱度成分的计算	309		

11-6 其它处理问题	379	13-7 配风设备	412
11-7 放射性的处理	380	13-8 收水器	413
第三篇 水的冷却		13-9 集水池	414
第十二章 水的冷却原理及湿空气的热力学性质	383	第十四章 冷却塔计算原理	415
第一节 水的冷却原理	383	第一节 冷却塔热力学基本方程式	415
12-1 水的循环冷却系统	383	14-1 水冷却的热力学过程	415
12-2 水的冷却原理	384	14-2 基本方程式的形式	415
第二节 湿空气的热力学性质	386	14-3 $\int_{T_2}^{T_1} \frac{dT}{i^* - i}$ 的解法	417
12-3 湿空气的热力学参数	386	14-4 冷却塔的特性	421
12-4 湿空气的焓湿图	389	第二节 空气动力、水量损失及回流	423
12-5 湿球温度 τ	390	14-5 空气动力计算	423
12-6 传热量与蒸发量	394	14-6 水量损失计算	425
第三节 附录	396	14-7 湿空气回流对冷却效果的影响	426
12-7 $\beta_{\text{压}}(P_{\text{A}}'' - P_{\text{A}}) = \beta_{\text{湿}}(x^* - x)$ 的推导	396	第三节 机械通风冷却塔的设计计算	427
12-8 湿球温度 τ 与绝热饱和温度 t_B 数值相等的推导	397	14-8 冷却塔的设计计算步骤	427
第十三章 冷却设备	399	14-9 计算实例	428
第一节 冷却设备的类型	399	第四节 自然通风冷却塔计算原理	431
13-1 冷却池	399	第四篇 给水处理厂(站)	
13-2 冷却塔	400	第十五章 给水处理流程及处理厂的总体设计	433
第二节 冷却塔的工艺构造	403	15-1 给水处理流程的设计	433
13-3 通风筒	403	15-2 处理厂的设计	435
13-4 进水和配水系统	403	第十六章 设计图纸实例	438
13-5 淋水装置	406		
13-6 通风设备	411		

第一篇 水中悬浮杂质的去除

第一章 给水处理概述

1-1 原水中的杂质

从地面水源和地下水源所取得的水，都含有很多杂质。地面水源中粗大的杂质较多，但在取水过程中已被去除，完成了给水处理的第一步工作，所以给水处理一般是指去除那些较细小的杂质。

原水中的细小杂质，按给水处理的观点，可以分成两大类，一类是在水中形成真溶液的低分子及离子的物质，主要包括：（1）溶解在水里的盐类，基本上以阳离子和阴离子的形式存在；（2）溶解的气体，一般为氧及二氧化碳，在特殊的情况下也有硫化氢等其它气体。这种物质的粒度都很小，一般只有几个埃（埃用 $\text{\AA}$ 表示， $1\text{\AA}=10^{-7}$ 毫米， $1m\mu=10\text{\AA}$ ， $m\mu$ 代表毫微米， $1m\mu=10^{-3}\mu$ ， $1\mu=10^{-3}$ 毫米， μ 代表微米）。

另一类杂质比溶解性杂质尺寸大些，总称为悬浮杂质，这类杂质的大小可取0.1毫米为上限，1毫微米为下限，因为去除大于0.1毫米的颗粒一般不存在问题，所以没有必要进行研究。给水处理中研究的对象主要是胶体颗粒。胶体颗粒的划分可参看第二章2-1。

图1-1表示了各种杂质的大小及它们的基本特性。从图上看悬浮杂质包括下列一些成分：（1）泥砂，它占悬浮杂质的绝大部分数量；（2）虫类；（3）原生动物；（4）藻类；（5）细菌；（6）病毒；（7）高分子有机物，如蛋白质、腐殖酸等。原生动物、藻类、细菌及病毒总称为微生物。

给水处理的方法基本上是按杂质的大小来划分的。图1-1中列出一些和处理有关的杂质的大小，以便得到一些具体概念。在虫类中列出了血吸虫尾蚴，它是侵入人体的血吸虫发育阶段。在原生动物中，列出了内变形虫孢囊，这是传播阿米巴痢疾的病原体。在细菌一类中，列出了大肠菌及伤寒、霍乱、痢疾等三种病原菌。在病毒一类中列出了传染性肝炎、小儿麻痹两种。大肠菌系用作水受到大便污染的一类指示细菌，其它病原菌及病毒则能通过饮用水传染疾病；伤寒、霍乱及痢疾等病菌更能引起流行性传染病的蔓延。泥砂和藻类等悬浮物质使水产生浑浊，浮游生物和有机物往往使水产生色度、臭和味。湖水中大量藻类的繁殖对水处理不利。

当水源受到工业废水及农药等污染时，水里的杂质就更复杂，对于生活用水的危害也更严重。

一般说来，地面水中悬浮物的含量多一些，地下水中溶解的盐类含量高一些，苦咸水及海水的含盐量则更高，表1-1~表1-4是一些具体资料。

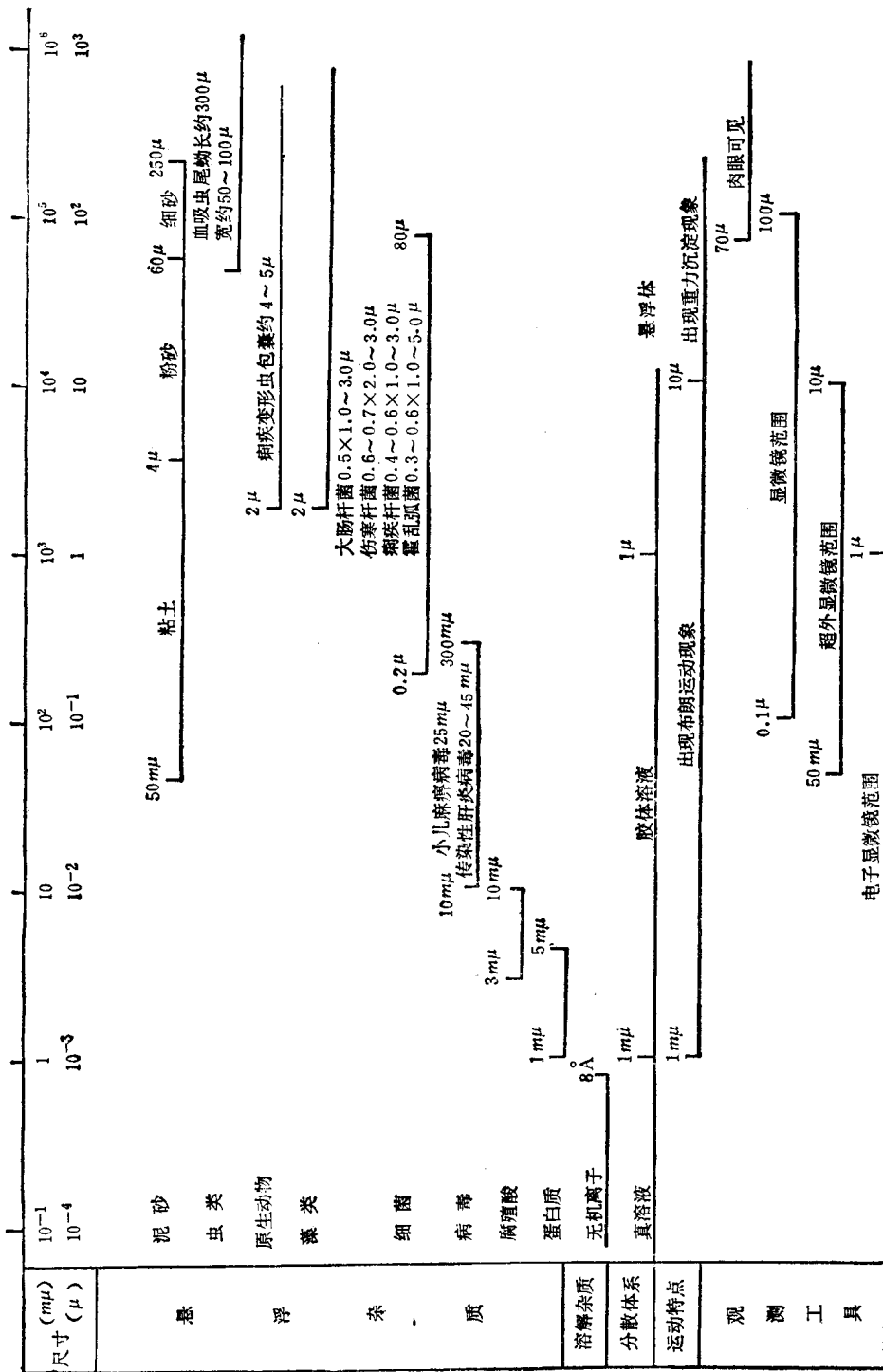


图 1-1 水中的杂质

长江南京段月平均浑浊度(毫克/升)

表 1-1

月 份	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十	十一	十二
1955	106	55	89	140	102	196	377	492	375	378	224	157
1956	99	51	81	163	244	378	584	667	578	250	168	85

西北河流含砂量

表 1-2

河 流	黄河(兰州)	渭 河	湟 河	泾 河	无定河	延 河
年平均流量(米 ³ /秒)	1058	77.5	63.2	54	49	6.38
年平均含砂量(公斤/米 ³)	3.7	62	7.6	187	166	234
最高含砂量(公斤/米 ³)	360	666	521	524	602	1304

天然水含盐量(毫克/升)

表 1-3

项 目	河 水 (黄 浦 江)	深 井 水 (北京某钢厂)	苦 咸 水 (宁夏同心县地下水)
Ca ²⁺	27.7	68.3	217.5
Mg ²⁺	9.0	24.3	170.9
Na ⁺ +K ⁺	28.7	33.8	—
HCO ₃ ⁻	70.0	251.3	260.6
SO ₄ ²⁻	27.0	62.6	2174.8
Cl ⁻	44.0	35.5	934.4
含盐量	216.0	475.9	4944.0

海 水 成 分

表 1-4

项 目	毫克/公斤海水 百万分数	毫克当量/公斤海水
Na ⁺	10561	459
Mg ²⁺	1272	106
Ca ²⁺	400	20
K ⁺	380	10
Cl ⁻	18980	536
SO ₄ ²⁻	2643	55
HCO ₃ ⁻	142	2.4
Br ⁻	65	0.8
其 它	34	—
总 计	34483	594

浑浊度的单位为度, 1度也叫1毫克/升, 毫克/升是一个重量浓度的单位, 表示1升水中所含杂质的毫克数, 但目前浑浊度一般是利用悬浮杂质的散射光性能测定的, 和杂质的重量没有严格的关系, 所以近来也避免用毫克/升代替度。在浑浊度不高的情况下, 也可把度当作毫克/升来估算悬浮物的重量。

水中杂质的种类和数量反映了水质的好坏, 判断水质的好坏是以用水的水质标准为依据的, 生活饮用水及工业生产用水的水质标准将在下两节内介绍。

1-2 生活饮用水的水质标准

生活用水和工业用水的用途大致可以归纳为下列七类：（1）生活饮用水；（2）洗涤用水；（3）产生蒸汽及传热介质的用水；（4）产品的原料；（5）冷却用水；（6）输送固体的用水及（7）消防及处理事故用水。每种用水对于水质有不同的要求，即使同一类用水，水质要求也存在较大的差别，本章主要讨论生活饮用水的水质要求，1-3则概述工业生产用水的水质要求，第六章中将介绍某些工业对高纯水的水质要求，第九章中将介绍锅炉用水的水质要求。在研究水质标准时，应全面了解水质对于使用过程的影响，针对具体问题进行具体分析。

生活饮用水水质标准是根据长期累积的饮用水经验制定的，它综合反映了水质与健康的关系、饮用习惯以及因地制宜等因素。我国的生活饮用水的水质标准在1976年公布的《生活饮用水卫生标准》中做了规定，共列出了23个项目，见表1-5（放射性物质另有规定，不包括在内）。

生活饮用水水质标准

表 1-5

编号	项 目	标 准	编号	项 目	标 准
	感官性状指标：			毒理学指标：	
1	色	色度不超过15度，并不得呈现其它异色	13	氟化物	不超过1.0毫克/升，适宜浓度0.5~1.0毫克/升
2	浑浊度	不超过5度	14	氰化物	不超过0.05毫克/升
3	臭和味	不得有异臭、异味	15	砷	不超过0.04毫克/升
4	肉眼可见物	不得含有	16	硒	不超过0.01毫克/升
	化学指标：		17	汞	不超过0.001毫克/升
5	pH值	6.5~8.5	18	镉	不超过0.01毫克/升
6	总硬度(以CaO计)	不超过250毫克/升	19	铬(六价)	不超过0.05毫克/升
7	铁	不超过0.3毫克/升	20	铅	不超过0.1毫克/升
8	锰	不超过0.1毫克/升		细菌学指标：	
9	铜	不超过1.0毫克/升	21	细菌总数	1毫升水中不超过100个
10	锌	不超过1.0毫克/升	22	大肠菌群	1升水中不超过3个
11	挥发酚类	不超过0.002毫克/升	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
12	阴离子合成洗涤剂	不超过0.3毫克/升			

注：分散式给水的水质，其毒理学指标应符合本条规定，其他指标如暂时达不到水质标准时，有关部门应发动群众，积极开展爱国卫生运动，改善环境卫生，采取行之有效的饮水净化措施，不断提高给水水质。

生活饮用水指标制定的根据可分为四类，现结合表1-5的项目说明如下。

1. 饮用水的外观指标

饮用水的外观要清亮、无色、无臭、无味。按这种要求来制定的水质指标一般不牵涉到危害健康的问题。表1-5中的1-4项以及化学指标中的铁、锰及阴离子合成洗涤剂三个项目，即属于这一类。

2. 防止水致传染病的指标

表 1-5 中的细菌学指标即属于这一类。三项细菌学指标中,最重要的是有关大肠菌群数及余氯量的规定。大肠菌群数牵涉到较多的细菌学知识,下面将另做较详细的说明。至于在37°C培养的细菌总数,是模拟饮用水(不煮沸的条件下)中的细菌在人体内部繁殖的情况,只起一种参考作用,细菌总数的突出变化也反映了意外的污染情况。

由水传播的最重要的细菌性传染病为痢疾、霍乱及伤寒。这些病原菌在病人的肠道内大量繁殖,并随着大便大量排出。饮用经病人大便污染的水,便有被染病的危险。从理论上说,应该根据对水中病原菌的检查结果来鉴定饮用水的水质及其安全性。但这是不现实的,原因有二,第一,病原菌的存活时间很短,而且在没有传染病流行的情况下,病原菌在水中的数目极少,以致不可能从适宜的水样中分离出来;第二,分离病原菌需要特殊的培养基,一般化验室也不易做到。因此水的细菌检验采用大肠菌作为水受大便污染的指示菌类,借大肠菌间接反映病原菌的存在情况。

正常人的大便中含有大量的大肠菌,可能占大便重量的三分之一到五分之一。即使在受大便污染较轻的水中,1升水的大肠菌数目也达到1000~10000个。就其在水中的存活时间来说,大肠菌比病原菌长,就它们的相对数量说,大肠菌的数量大致可以认为是病原菌的 10^5 倍。

当水中检出了大肠菌群,说明水质受到了大便的污染,也说明水中可能有病原菌的存在。1升水中所含的大肠菌数越多,其中出现病原菌的可能性越大,运用数学概率的理论,还可以把1升水中含有病原菌的可能数目推算出来。因此大肠菌群当作一种水受大便污染的指示菌类的原因就很清楚了。水质标准规定1升水中大肠菌群数不超过3个,按概率论的观点,可以解释为痢疾、伤寒及霍乱这些病原菌出现的可能性接近于零,因此饮用是安全的。这个规定的可靠性也得到了长期的水处理消毒实践的证明。

采用大肠菌还存在两个问题:第一,按目前检验大肠菌群的方法,实际上包括了一部分只在土壤中生活的,并不是属于肠道内寄生的菌种;第二,在属于肠道寄生菌种中,还包括了在人体以外的温血动物肠道中寄生的菌种,而伤寒、霍乱及痢疾这些病原菌只能在人类的肠道中寄生。这就说明当水中检查出大肠菌群时,也不一定是受到人的大便污染的结果,因此也就不存在水中含有伤寒、霍乱和痢疾这些病原菌的问题了。可以看出,当这种情况出现时,用大肠菌群做污染指示细菌是偏于安全的。

3. 有毒物质的规定

关于有毒物质的最大允许浓度是按两种不同情况考虑制定的。一种是按每人每日饮用水量为2升所吸收的毒物量规定的允许浓度(并适当选用吸收系数和安全系数),无机化学成分大致属于这一类(参看表1-6)。另外一些具有特殊臭味的毒物,其含量在比中毒浓度小许多倍时,即有臭味出现。这类毒物的允许浓度实际是按感官的要求规定的。我国水质标准规定挥发酚类含量不超过0.002毫克/升即属于这种考虑。

4. 一般规定的项目

有较多的杂质成分,其浓度在水源中变化幅度比较大,但一般不牵涉到健康问题,这类项目的制定依据大致是:(1)从饮用时可能引起不好的感觉来划线;(2)从水源的一般浓度来划线。表1-5中化学指标大都属于这一类。

表1-6列出了一些有关制定生活饮用水水质标准的参考数据,这是根据一些国家的生活饮用水水质标准和有关文献整理的。

生活饮用水水质指标的参考数据

表 1-6

项 目	参 考 数 据
外观指标的最大允许值	
色	50度
浑浊度	25度
铁(以Fe计)	1.0毫克/升
锰(以Mn计)	0.5毫克/升
阴离子合成洗涤剂	1.0毫克/升
有毒物质的数据	
氟化物	允许范围0.6~1.7毫克/升
氰化物	人口服HCN的安全剂量为0.05毫克/公斤体重
砷	也有饮用水达0.2毫克/升的个别报道
硒	在人体内的作用较复杂, 尚待进一步研究
汞	蓄积性毒物, 动物性试验安全剂量为0.005毫克/公斤体重
镉	也有饮用水达0.047毫克/升的个别报道
六价铬	毒性尚待进一步研究, 也有饮用水达1~1.5毫克/升的个别报道
铅	体内每天允许吸入的最高总量约为0.005毫克/公斤体重
一般项目的最大允许值	
pH	9.2
总硬度	10毫克当量/升
总固体	1500毫克/升
钙(以Ca计)	200毫克/升
镁(以Mg计)	150毫克/升
铜(以Cu计)	1.5毫克/升
锌(以Zn计)	15毫克/升
氯化物(以Cl计)	600毫克/升
硫酸盐(以SO ₄ 计)	600毫克/升
硝酸盐(以NO ₃ 计)	45毫克/升

1-3 工业生产用水的水质标准

各种工业对水质的要求往往不同, 即使是同一种工业, 不同的生产工艺过程, 对水质的要求也有差异。应该根据工艺的具体要求, 对原水进行必要的处理, 以保证工业生产的正常运行。

食品工业用水水质标准与生活饮用水相同。

在纺织工业及造纸工业中, 水直接与产品接触, 水的质量直接影响产品的质量, 因此对水的澄清程度和那些容易产生沉淀的杂质限制较严。否则会产生斑点, 影响产品的漂白度和印染质量。水的硬度过大会产生钙斑。特别要注意, 这种水的含铁量、含锰量要很低, 否则将在纺织品及纸张上产生锈斑, 造成废品。

石油、钢铁、电力、化学工业等部门需要大量冷却水。冷却水主要对水的温度有一定的要求, 且要求不发生悬浮物和溶解盐类的沉淀, 没有藻类、微生物等的滋长, 以防堵塞管道、设备。还要求水质对于设备没有腐蚀作用。

一般锅炉的补充水对于水的硬度和碱度都有较严的限制。高压锅炉用水的水质要求接近于纯水。半导体器件洗涤水的质量直接影响产品的质量。因此半导体洗涤水的水质要求

已经达到高纯水的程度。

工业用水的水质标准主要是由有关工业的工艺人员提出的。给水工作者要理解这些标准的根据和标准是否适当,就必须了解并且熟悉有关工业的工艺过程和水质对产品和设备的影响。因此,工人的用水经验也是很宝贵的。

1-4 给水处理方法的分类

给水处理的任务是变革原水的水质以满足用水水质标准的要求。由于各种用水的水质要求不同,所以处理的流程也不相同。

给水处理流程是由一些处理方法组成的,但除了冷却处理外,处理方法的实质都是按水中杂质的大小来划分的,本书按这个观点把处理方法分为三大类。

1. 去除水中的悬浮杂质

按1-1的分类,粒度在 $1m\mu$ 以上的为悬浮杂质。各种性质的用水都要求去除水中的悬浮杂质,有的用水要求去除得多一些,有的用水则要求去除得少一些。生活饮用水的处理主要是去除水中悬浮物的问题。对于工业用水,则有不同程度的要求,有的比生活饮用水要求低,有的相当于生活饮用水,有的则远远高于生活饮用水。去除水中悬浮杂质的方法包括混凝、沉淀、过滤、消毒等处理方法。

2. 变革水中溶解杂质的含量

这类处理一般是在去除水中的悬浮杂质后进行的。变革的含义包括:(1)减少原有的溶解杂质含量;(2)调整原有杂质数量间的关系;(3)掺入新的杂质成分。一般的工业用水处理大都属于这一类,包括软化、除盐、控制起垢和控制腐蚀等。

3. 降低水的温度

在整个工业用水中,冷却用水约占70%,因此采用循环系统可以节约大量用水,降低水温为循环系统的主要处理措施。

第二章 水的混凝

第一节 胶体化学的一些基本概念

2-1 悬浮杂质的去除问题

取一杯浑浊的河水，就可以观察到许多有关给水处理的现象。首先，会发现一些粗大的泥砂颗粒迅速沉到杯底，水则逐渐澄清，杯底的下沉物将逐渐增多。但在一定时间（例如半小时）以后，水就不容易进一步澄清。有的河水甚至在放置很久以后，也达不到自来水那样的透亮程度，总带一点浑，有时还带有色度和臭味。这种浑浊、颜色和臭味则为悬浮在水中的一些很细微的粘土颗粒、微生物和有机物微粒造成的。

粘土颗粒的比重和那些粗泥砂的比重一样，其难于沉淀的原因可用胶体化学的一些概念来解释。

水和水里那些均匀分布的细小颗粒所构成的体系，物理化学中称为分散体系。分散体系可以按其中颗粒大小分成三类：真溶液、胶体溶液及悬浮液。它们的划分和特性见图1-1。真溶液中的颗粒包括小于 $1\text{ m}\mu$ 的分子和离子，由于这些分子或离子的尺寸很小，不能引起光线的散射，所以看起来水呈透明状；如果分散体系中的颗粒为 $1\text{ m}\mu\sim 1\mu$ ，则称为胶体溶液；颗粒大于 1μ 则称为悬浮液。胶体溶液和悬浮液中颗粒能够引起光的散射，因此使水呈浑浊。胶体溶液在物理化学中也简称胶体，而其中的分散物质则称为胶体颗粒。但在一般的场合，有时也把胶体理解为胶体溶液中的颗粒。胶体溶液并不限于水和固体颗粒所组成的体系，它包括极广的范围，气体、液体和固体的颗粒都可以在其它的气体、液体或固体中分散构成胶体。雾就是水和空气所构成的胶体，玻璃则为固体和固体所构成的胶体。但在水处理中只研究固体和水所构成的水溶液胶体。

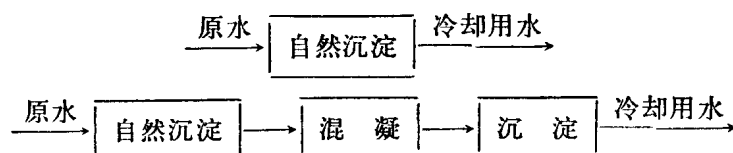
图1-1中把 $1\text{ m}\mu\sim 1\mu$ 大小的颗粒划为胶体颗粒，这也要加以说明：第一，一般以 0.1μ 为胶体颗粒的上限，但 1μ 颗粒的粘土也表现出胶体的特性，所以把上限定为 1μ 。第二，图1-1是按颗粒的形状接近于球形来划分的，对于细长形的粒子，可以 $10^3\sim 10^9$ 个原子构成的颗粒为胶体颗粒。第三，图1-1中的真溶液只包括小于 $1\text{ m}\mu$ 的小分子所组成的溶液，由高分子组成的溶液则属于胶体溶液。

图1-1指出，胶体颗粒具有布朗运动的特性。布朗运动是用超显微镜所观察到的一种现象。如果用超显微镜来观察胶体溶液，可以在一个黑暗的背景上看到一些亮点不断地作不规则的运动，这些亮点即胶体颗粒运动时所散射的光，这种胶体颗粒的不规则运动叫做布朗运动，它是胶体颗粒被水分子碰撞所产生的现象。由于胶体颗粒不断地进行布朗运动，因此不会象大的泥砂颗粒那样，借重力的作用沉淀下来，这就是河水中的粘土颗粒保持不沉而使水带浑的原因。

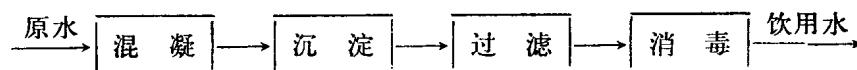
从上面的讨论可以知道，那些粗颗粒的泥砂等悬浮物靠重力沉淀就可以去除，这种处理方法叫做自然沉淀。但较细的颗粒，特别是胶体颗粒却不能靠自然沉淀除掉。

去除水中胶体和其他微小悬浮物质的方法，在一般的自来水处理过程中主要有两种途径。一种是在水中加入一些药剂（主要的药剂称混凝剂），让细小颗粒互相吸附结成较大的颗粒，从水中沉淀出来，这叫做混凝沉淀法，其中加药结成大粒的过程叫做混凝，也称凝聚。这种方法一般可以把水的浑浊度降低到25度以下。另一种方法是在水中加入混凝剂后，使这些细小的颗粒直接吸附在一些相对巨大的颗粒（如砂子）表面而去除掉，这就是过滤的方法，过滤往往设在混凝沉淀的后面。过滤可以把水的浑浊度降低到生活饮用水的标准，即在5度以下。这两种吸附现象都属于凝聚现象，后者称为接触凝聚。水中的病菌通过上述两种方法可以去除一部分，但还要经消毒后才能达到饮用水的要求。因此悬浮物质的去除不外是混凝、沉淀、过滤和消毒。

根据原水的水质和用水的不同要求，对原水的处理往往有不同的方案。例如当工业冷却用水的水质只要求悬浮物含量低于50毫克/升时，在河水含砂量不高的情况下，只需要经过自然沉淀（它可以除去悬浮物质的40~80%）就可能达到要求。但在河水含砂量很高的情况下，就可能要采用自然沉淀和混凝沉淀两步处理，才能满足水质的要求，它们的处理方案可以表示为下面的流程方框图：



但如果作为生活饮用，即使在河水浑浊度不高的情况下，也需要进行过滤和消毒的处理，流程方框图如下：



本篇按上面处理流程的顺序分章讨论这些处理方法。为了更好地理解混凝过程，需要介绍一些胶体化学的有关概念。

2-2 电泳现象

胶体的基本性质包括下列几条：（1）什么叫做胶体的带电符号？（2）如何区别憎水胶体和亲水胶体？（3）胶团的构造是怎样的？（4）胶体为什么具有稳定性？

胶体颗粒的特殊性质是由于它的比表面很大所产生的。一个每边长1厘米的立方体颗粒，体积为1厘米³，表面积为6厘米²，它的比表面为6厘米²/厘米³，或6厘米⁻¹。如果把它切成每边长1μ的立方体，表面积增长为6米²，每1μ³的比表面也变成6米²/厘米³，或60000厘米⁻¹，为原来的6万倍，如果进一步把它们分成每边长0.1μ的立方体，则得0.1μ立方体的比表面为原来6厘米⁻¹的60万倍。可以看出，如果一粒1厘米³的物质分成比1μ³小的颗粒，它的接触面积就比原来的颗粒增大6万倍以上，这样巨大的接触面积使胶体颗粒产生了特殊的吸附能力和溶解现象，胶体的带电现象也是这样产生的。

胶体颗粒的带电符号可以用电泳槽定出来。图2-1是一种适用于水处理研究的电泳槽。胶体溶液经漏斗注入槽内，电泳槽则直接放在显微镜的载物台上观察。在电泳槽接通直流电后，就可以看到胶体颗粒呈一种朝向电极的运动，当胶体颗粒为粘土、细菌或者蛋白质一类颗粒时，运动方向是朝正极的，说明这些颗粒带负电，这一类向正极运动的胶体