

给水与用水处理技术

陆 柱 蔡兰坤 丛 梅 编著



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

给水与用水处理技术/陆柱, 蔡兰坤, 丛梅编著.
北京: 化学工业出版社, 2004. 7

ISBN 7-5025-5840-3

I. 给… II. ①陆…②蔡…③丛… III. 水处理
IV. TU991. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 074117 号

给水与用水处理技术

陆 柱 蔡兰坤 丛 梅 编著

责任编辑: 路金辉

文字编辑: 麻雪丽

责任校对: 郑 捷

封面设计: 郑小红

*

化学工业出版社 出版发行
环境科学与工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

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

*

新华书店北京发行所经销

北京永鑫印刷有限责任公司印刷

三河市海波装订厂装订

开本 850mm×1168mm 1/32 印张 15½ 字数 416 千字

2004 年 8 月第 1 版 2004 年 8 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-5840-3/X·500

定 价: 32.00 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

前 言

水是自然界最重要的资源之一，也是生命之源。水资源紧缺和水环境污染已成为 21 世纪全球关注的问题，我国也不例外，因而给水与用水问题引起了全社会的重视，而了解和掌握给水与用水技术，科学合理地给水与用水，将对保护水资源，改善水环境，维护人们身体健康和实现经济和社会的可持续发展以及贯彻“三个代表”的重要思想和全面建设小康社会起到积极作用。

目前，在水处理技术方面，有关污水处理的参考书刊较多，而给水与用水方面的参考书相对较少。本书以介绍给水与用水技术，如混凝技术、过滤技术、吸附技术、缓蚀技术、阻垢技术、杀菌技术等以及与给水相关的物理处理技术和生物处理技术为主要内容，力求反映近年来国内外给水与用水的新技术和新进展，如膜分离技术、磁化技术、生物修复技术等，并结合编者多年来给水与用水教学和科研的实践，希望能形成一些特色。

本书第 1 章、第 9 章、第 10 章由陆柱教授编写。第 2 章、第 5 章、第 6 章、第 7 章由蔡兰坤教授编写。第 3 章、第 4 章、第 8 章由丛梅讲师编写。全书由陆柱教授统稿。由于水平有限和时间仓促，错误和不妥之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

“工欲善其事，必先利其器，器欲尽其利，必先刃其技”。给水与用水技术涉及众多的科学与专业领域，不可能以一本书回答所有的给水与用水问题，但我们真诚地希望通过这本书的出版发行，将在普及和传播给水与用水知识和技能方面起到推动作用，进而为在节约用水、改善水质、维护健康和保护水资源、改善水环境方面做出一份贡献。

编 者

2004 年 8 月 上海

华东理工大学资源与环境学院

目 录

1 给水与用水处理技术概况	1
1.1 天然原水中的杂质	1
1.2 水质标准	3
1.2.1 生活饮用水标准	3
1.2.2 地表水环境质量标准	5
1.2.3 工业锅炉用水水质标准	7
1.3 给水处理技术概述	8
1.3.1 混凝技术	8
1.3.2 过滤技术	9
1.3.3 吸附技术	9
1.3.4 膜分离技术	10
1.3.5 消毒技术	11
参考文献	12
2 混凝处理	13
2.1 胶体稳定性及胶体颗粒的凝聚现象	13
2.2 水的混凝作用理论	17
2.3 无机絮凝剂	27
2.3.1 金属盐类的水解过程与络合平衡	29
2.3.2 铝系无机絮凝剂	31
2.3.3 铁系无机絮凝剂	37
2.3.4 复合无机高分子絮凝剂	42
2.3.5 无机高分子絮凝剂的界面行为的表面化学特征	52
2.4 有机高分子絮凝剂	53
2.4.1 合成有机高分子絮凝剂	55
2.4.2 天然高分子絮凝剂	66
2.4.3 微生物絮凝剂	71
2.5 助凝剂	79

2.6	絮凝剂的卫生安全性	81
2.7	混凝处理设备与装置	84
2.7.1	絮凝剂的调制与加药方法自动化	84
2.7.2	混合设备	88
2.7.3	絮凝反应设备	90
2.7.4	沉淀池	94
2.7.5	澄清池	99
2.8	强化混凝处理技术	106
	参考文献	113
3	过滤处理	115
3.1	过滤概述	115
3.2	快速过滤原理	116
3.2.1	悬浮颗粒的快速过滤机理	116
3.2.2	反冲洗清洗滤层机理	118
3.3	快滤池的工艺流程	118
3.3.1	快滤池的工作过程	118
3.3.2	截污量沿滤层深度的变化	120
3.3.3	过滤过程中出水浊度的变化	121
3.3.4	过滤过程中水头损失	122
3.4	过滤过程的技术分析	125
3.4.1	滤料层	126
3.4.2	水流方向	133
3.4.3	反冲洗方式的选择	134
3.4.4	过滤技术进展	136
3.5	过滤设备	139
3.5.1	常见滤池设备	139
3.5.2	精密过滤设备	145
	参考文献	146
4	吸附处理	147
4.1	吸附过程概述	147
4.1.1	吸附与解吸	147
4.1.2	工业吸附剂	148
4.2	吸附原理	149

4.2.1	吸附平衡与吸附等温线	149
4.2.2	吸附的传质过程和透过曲线	150
4.2.3	多组分体系的吸附	153
4.3	活性炭吸附	153
4.3.1	活性炭的吸附特性	154
4.3.2	活性炭的选用	157
4.3.3	活性炭的吸附方式	158
4.3.4	活性炭吸附水处理技术及进展	160
4.4	离子交换	163
4.4.1	离子交换树脂的结构与分类	164
4.4.2	离子交换树脂的性能与选用	165
4.4.3	离子交换水处理工艺	169
4.4.4	离子交换设备	178
4.4.5	离子交换水处理技术进展	180
	参考文献	181
5	消毒与杀菌	182
5.1	水中微生物	183
5.1.1	水生病原微生物	184
5.1.2	冷却水中有害微生物的种类及特征	200
5.2	消毒方法	209
5.2.1	氯和氯胺消毒	209
5.2.2	二氧化氯消毒	214
5.2.3	臭氧消毒	217
5.2.4	紫外线消毒	226
5.2.5	国内外消毒技术研究进展	227
5.3	冷却水中微生物障碍的控制	232
5.3.1	微生物引起的冷却水系统运行的主要障碍	232
5.3.2	冷却水系统中微生物的控制指标	237
5.3.3	冷却水中微生物障碍的控制方法	238
5.3.4	杀菌剂	245
5.3.5	冷却水中杀菌剂的选择与使用	258
5.4	反渗透水处理系统中的微生物污染及其控制	262
5.4.1	反渗透膜面上微生物污染的特点	262

5.4.2	微生物黏泥在反渗透膜上的形成过程及原因	262
5.4.3	反渗透给水中微生物的控制	263
	参考文献	265
6	水系统中的金属腐蚀与防护	267
6.1	水系统中金属腐蚀的原理	268
6.1.1	水系统中金属腐蚀倾向的热力学分析	268
6.1.2	水系统中金属的电化学腐蚀动力学	277
6.2	水系统中的金属腐蚀形态及其分类	292
6.2.1	均匀(全面)腐蚀	293
6.2.2	局部腐蚀	293
6.3	微生物腐蚀	302
6.3.1	微生物的腐蚀作用及腐蚀特征	302
6.3.2	常见的与腐蚀有关的细菌	303
6.3.3	微生物腐蚀的作用机理	304
6.3.4	微生物腐蚀的控制	312
6.4	水中金属腐蚀的影响因素	313
6.4.1	材料因素	314
6.4.2	环境因素	316
6.5	控制水系统中金属腐蚀的防护方法	322
6.5.1	合理的选材和正确的设备构型设计	323
6.5.2	电化学保护	324
6.5.3	有机涂层与衬里	325
6.5.4	金属的表面处理	327
6.5.5	水质处理	327
6.5.6	缓蚀剂	330
7	水系统中污垢的形成及其控制	338
7.1	污垢的分类和特性	338
7.2	污垢的形成过程和影响因素	341
7.3	污垢热阻	345
7.4	饱和指数	349
7.5	污垢形成的控制方法	360
7.5.1	水垢的控制方法	360
7.5.2	阻垢剂	361

8	膜分离技术	376
8.1	膜分离与水处理	376
8.2	膜分离过程	377
8.2.1	膜分离的分类	377
8.2.2	膜分离的特点	379
8.2.3	膜分离过程的实施和经济性	380
8.3	膜分离技术	382
8.3.1	膜和膜的制备	382
8.3.2	膜组件的主要形式	386
8.3.3	膜分离装置的操作工艺	391
8.4	水处理中常用的膜分离过程	396
8.4.1	反渗透	396
8.4.2	电渗析	398
8.4.3	微滤	404
8.4.4	超滤	406
8.4.5	纳滤	408
8.5	膜分离在水处理中的应用	409
8.5.1	海水和苦咸水淡化	409
8.5.2	饮用水	411
8.5.3	工业纯水及高纯水	413
8.5.4	废水处理和废水回用	414
	参考文献	415
9	水的物理处理技术	416
9.1	水的磁化技术	416
9.1.1	磁场水处理的发展历史与现状	416
9.1.2	磁处理设备的类型及特点	418
9.1.3	磁场水处理的阻垢作用	420
9.1.4	磁场水处理阻垢机理探讨	422
9.2	水的静电处理	427
9.2.1	高压静电处理技术	427
9.2.2	低压电场处理技术	429
9.3	水的光处理技术	430
9.3.1	光源概况	430

9.3.2	紫外消毒	432
9.4	水的超声波处理技术	433
	参考文献	434
10	水的生物处理技术	436
10.1	好氧生物处理	436
10.2	厌氧生物处理	437
10.3	生物接触氧化技术	439
10.3.1	工艺原理	439
10.3.2	影响处理效果的因素	440
10.4	生物修复技术	444
10.4.1	投加菌种的强化生物修复技术	447
10.4.2	添加营养物、激活剂强化水体修复	450
10.4.3	添加电子受体或共代谢基质强化水体修复	451
10.4.4	人工曝气强化水体生物修复	452
10.4.5	植物或动物修复技术	453
10.4.6	生物膜修复技术	454
10.4.7	生物坝原位修复技术	456
10.4.8	生物激活剂原位修复技术	470
	参考文献	477

给水与用水处理技术概况

天然原水中的杂质

由于水是溶解能力很强的溶剂，水又与外界环境如空气、地壳、土壤等广泛接触，故而水中必然含有多种杂质，而水的处理或净化其实质就是通过各种处理技术去除水中有关杂质，以获得达到一定水质标准的水以供饮用或工业应用，因此在研究各种水处理技术前，必须重视和了解水中的各类杂质。

天然原水中的杂质首先可以来自地壳和土壤，地壳的元素组成如表 1-1 所示。

表 1-1 地壳的元素组成

组别	含量 (%)	组别	含量 (%)
氧	46.6	硅	26.3
硅	26.3	铝	7.75
铝	7.75	铁	4.75
钙	3.45	其他	11.85
镁	2.33		
钠	1.75		
钾	1.45		
氢	0.14		

地壳以上组成可能溶解进水体，并形成水中的部分杂质。此外，已受到污染的大气中如 SO_2 、 NO_2 、 CO_2 等气体也可能溶入水体，形成水中的杂质。

因此，水中的杂质可分为三类：①溶解物；②胶体颗粒；③悬浮物。它们的颗粒大小和外观如表 1-2 所示。

表 1-2 水中颗粒大小与外观

项目	溶解物	胶体颗粒	悬浮物
颗粒大小	$10^{-9} \sim 10^{-6}$ m	$10^{-6} \sim 10^{-3}$ m	$10^{-3} \sim 10^0$ m
外观	透明	光照下浑浊	浑浊甚至肉眼可见

摇摇水中的各类杂质对饮用水的安全和工业用水的运行会产生不同的影响，现举例如下。

(员) 悬浮物及胶体颗粒摇摇水中的细菌会致病或引起设备和管道的腐蚀。水中的藻类会引起水带有臭味并导致水的色度和浑浊度的升高。水中的泥沙或黏土则将引起水的浊度提高而产生腐蚀或结垢(沉淀物)等。

(圆) 溶解物摇摇溶解于水中的杂质的一大类是各种盐类，例如钙、镁盐类将促使水的硬度和碱度增高而生成水垢；水中的氯化物增高，会促使设备和管道的腐蚀，尤其是容易发生点腐蚀；水中的铁盐和锰盐过高，则将使水带有异味和色度增加并促进腐蚀等。水中溶解物的另一个大类是溶解于水中的各种气体。例如水中的溶解氧浓度增高，将促进金属如碳钢设备和管道的腐蚀；水中悦韵含量增高，会使水的酸性增加而促进腐蚀；而水中匀杂含量高则将使水带有臭味，并增加水的酸性而促进设备的腐蚀。

由于各类水和各地水中杂质的种类及其含量有较大的差异，是它们构成了不同类型的水如地表水、地下水和海水等，也构成了各个地区的不同水质，如表 员源所示。

表 员源 摇摇不同类型和地区水中杂质的含量 转早 蕴

杂质种类	地摇摇表摇摇水		地下水		海摇摇水
	上海市黄浦江	黑龙江省松花江	北京	宁夏	
悦	圆	员	远	圆	源
配	怨	猿	圆	员	员
羧	圆	远	猿	—	员
匀	苑	远	圆	圆	员
藻	圆	缘	远	圆	圆
悦	源	员	猿	怨	员
总盐含量	圆	怨	源	源	猿

由表 员源可见，由于水中杂质含量的不同，可使中国南方与北

方的水质差异较大，一般说北方地下水中 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 及重碳酸盐的含量高于南方的地表水，因此北方地下水大多为硬度较高的结垢型水，而南方地表水中则 Cl^- 和 SO_4^{2-} 含量高于北方地区，因此结垢矛盾相对缓和而腐蚀的矛盾相对突出。

水中杂质的影响以及它们可能引起的障碍，可见表 1-1。

表 1-1 水中杂质影响及可能引起的障碍

产生障碍	粤	月	悦	阅	耘	云	郢	匀
均匀腐蚀	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
局部腐蚀	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
应力腐蚀					✓	✓		
无机沉积物	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
微生物黏泥	✓		✓	✓			✓	
气水共腾					✓	✓		

摇摇注：粤—直流冷却水；月—密闭循环水；悦—敞开循环水；阅—空调水；耘—低压锅炉水；云—高压锅炉水；郢—工艺用水；匀—饮用水。

由表 1-1 可见，对于腐蚀障碍例如均匀腐蚀与局部腐蚀，几乎对各类水均可能产生。对于沉积物水垢的生成，也在各类水系统均可能产生，微生物黏泥则主要在冷却水系统产生，而应力腐蚀和气水共腾等障碍则主要在锅炉水等个别系统产生。

1.2 水质标准

水质标准是对各种水的水质指标做出的规定，水质标准也是各种水处理技术的依据和参考，不同用途的水有不同的水质标准和要求。此外，水质标准与其他标准一样可分为国际标准、国家标准、行业标准、地方标准和企业标准等不同的等级和类别，现重点介绍饮用水、工业水等有关给水的标准。

1.2.1 生活饮用水标准

生活饮用水标准（GB 5749-2006）见表 1-2。

摇摇如表 1.1 所示的中国饮用水卫生的国家标准，系在 1985 年制定发表公布，共有 106 项水质标准，可分成感官性状指标、化学指标、毒理学指标、细菌学指标和放射性指标五大部分，随着对饮用水水质要求的日益严格，世界卫生组织（WHO）、美国环保署（EPA）和欧共体（EC）等分别将饮用水水质指标增加多项，中国也在修订和完善新的饮用水水质指标，如 1995 年制定和公布的《生活饮用水水质卫生规范》，已要求于 1996 年 1 月 1 日起施行。它在原国家标准（GB5749-85）基础上的变动和改进主要有以下几点。

(1) 将水质检验项目由原来的 106 项，增加至 163 项。其中常规检验项目 106 项和非常规检验项目 57 项，共计 163 项。

(2) 在常规检验项目及限值的感官性状和一般化学指标中增加了铝 0.05 mg/L 和耗氧量（以 O₂ 计）小于 3 mg/L，特殊情况下不超过 5 mg/L，在细菌指标中增加了粪大肠菌群，每 100 mL 水中不得检出等。

(3) 在非常规检验项目及限值的感官性状和一般化学指标中增加了硫化物 0.05 mg/L，钠 100 mg/L 两项，毒理学指标由原来的 106 项增加至 163 项，其中有机物农药就有 16 项如溴氰菊酯 0.001 mg/L，乐果 0.01 mg/L，六氯苯 0.001 mg/L，林丹 0.001 mg/L，马拉硫磷 0.01 mg/L，对硫磷 0.001 mg/L，甲基对硫磷 0.001 mg/L，五氯酚 0.001 mg/L 等。此外在加氯或溴副产物方面增加了溴仿 0.05 mg/L，二溴一氯甲烷 0.05 mg/L，一溴二氯甲烷 0.05 mg/L，二氯乙酸 0.01 mg/L，三氯乙酸 0.05 mg/L 等。

(4) 在非常规检验项目及限值的其他毒理学指标方面值得关注的还增加了微囊藻毒素 0.001 mg/L，重金属方面增加了钼 0.05 mg/L，镍 0.01 mg/L 等，在有机物方面增加了氯乙烯 0.01 mg/L，苯乙烯 0.01 mg/L，苯 0.01 mg/L 等。

1.2 地表水环境质量标准

地表水环境质量标准见表 1.2

表 瑶地水环境质量标准基本项目标准值 早 蕴

序号	条件	I 类	II 类	III 类	IV 类	V 类
	基本要求	基本要求所有水体不应有非自然原因导致的下述物质 ① 能形成令感官不愉快的沉积物质 ② 令人感官不快的悬浮物, 诸如碎片、浮渣、油类等 ③ 产生令人厌恶的色、臭、味或浑浊度的物质 ④ 对人类、动植物有毒、有害或带来不良影响生理反应的物质 ⑤ 易孳生令人不快的水生物质				
员	水温 轳	人为造成的环境水温变化应限制在 周平均最大温升不大于 员周平均最大温降不大于 圆				
圆	粪值	缘缘- 缘缘			远- 怨	
猿	摇硫酸盐(以 猿计) ≤	缘以下	缘	缘	缘	缘
源	摇氯化物(以 悦计) ≤	缘以下	缘	缘	缘	缘
缘	摇铁 ≤	缘猿以下	缘猿	缘缘	缘缘	缘园
远	摇锰 ≤	缘员以下	缘员	缘员	缘缘	缘园
苑	摇铜 ≤	缘员以下	缘园 (渔 缘缘)	缘园 (渔 缘缘)	缘园	缘园
愿	摇锌 ≤	缘缘缘	缘园 渔 缘员	缘园 渔 缘员	缘园	缘园
怨	摇硝酸盐(以 晕计) ≤	缘以下	缘	缘	缘	缘
员园	摇亚硝酸盐(以 晕计) ≤	缘缘	缘员	缘缘缘	缘园	缘园
员员	摇非离子氨 ≤	缘缘	缘缘	缘缘	缘圆	缘圆
员圆	摇凯氏氮 ≤	缘缘	缘缘 (渔 缘缘)	员 渔 缘缘	圆	猿
员猿	摇总磷(以 孕计) ≤	缘缘	缘员	缘员	缘圆	缘圆
员源	摇高锰酸盐指 数 ≤	圆	源	远	员	员缘
员缘	摇溶解氧 ≥	饱和率 怨缘	远	缘	猿	圆
员远	摇化学需氧量 (悦悦) ≤	缘以下	员缘	缘	猿	源
员苑	摇生化需氧量 (悦悦) ≤	猿以下	猿	源	远	缘

序号	条件	I类	II类	III类	IV类	V类
Ⅰ	摇氟化物(以云计)≤	Ⅰ类以下	Ⅰ类	Ⅰ类	Ⅰ类	Ⅰ类
Ⅱ	摇硒≤	Ⅰ类以下	Ⅰ类	Ⅰ类	Ⅰ类	Ⅰ类
Ⅲ	摇总砷≤	Ⅰ类	Ⅰ类	Ⅰ类	Ⅰ类	Ⅰ类
Ⅳ	摇总汞≤	Ⅰ类	Ⅰ类	Ⅰ类	Ⅰ类	Ⅰ类
Ⅴ	摇镉≤	Ⅰ类	Ⅰ类	Ⅰ类	Ⅰ类	Ⅰ类
Ⅵ	摇铬(六价)≤	Ⅰ类	Ⅰ类	Ⅰ类	Ⅰ类	Ⅰ类
Ⅶ	摇铅≤	Ⅰ类	Ⅰ类	Ⅰ类	Ⅰ类	Ⅰ类
Ⅷ	摇总氰化物≤	Ⅰ类	Ⅰ类 (一渔)	Ⅰ类 Ⅰ类	Ⅰ类	Ⅰ类
Ⅷ	摇挥发酚≤	Ⅰ类	Ⅰ类	Ⅰ类	Ⅰ类	Ⅰ类
Ⅸ	摇石油类≤	Ⅰ类	Ⅰ类	Ⅰ类	Ⅰ类	Ⅰ类

以上地表水环境质量标准,按地表水五类使用功能,规定了水质项目及标准值,标准值水域功能的分类,按地表水使用目的和保护目标划分为以下缘类。

I类摇主要适用于源头水,国家自然保护区。

II类摇主要适用于集中式生活饮用水水源地一级保护区、珍贵鱼类保护区、鱼虾产卵场等。

III类摇主要适用于集中式生活饮用水水源地二级保护区,一般鱼类保护区及游泳区。

IV类摇主要适用于一般工业用水及人体非直接接触的娱乐用水区。

V类摇主要适用于农业用水区及一般景观要求水域。

由于近年来对水资源和水源水保护的日益重视,包括一些原水预处理的要求提高,地表水环境质量标准显得更为重要,成为经常需要参考和作为依据的水质标准之一。

Ⅷ类摇工业锅炉用水水质标准

工业用水涉及多项水质标准,锅炉用水仅为工业用水的一个方

面，锅炉用水又分为高压锅炉与低压锅炉，现以低压锅炉水质标准为例，如表 5-1 所示。

表 5-1 低压锅炉水水质标准

项 目	给 水		炉 水	
	炉内加药	炉外化学处理	炉内加药	炉外化学处理
悬浮物	≤ 5	≤ 5	—	—
总硬度	≤ 5	≤ 5	—	—
总碱度	—	—	10~15	15~20
氯离子(以 Cl ⁻ 计)	≥ 5	≥ 5	10~15	15~20
含油量	—	≤ 5	—	—
溶解氧	—	≤ 5	—	—
溶解固形物	—	—	10~15	15~20
相对碱度(游离碱溶解固形物)	—	—	—	10~15

表 5-1 系低压锅炉水水质国家标准 (GB 1576-2008)，一般适用于蒸发量不大于 10t/h，以蒸汽压力不大于 0.1MPa 的小型工业锅炉的炉内加压处理和炉外化学处理。

5.2 给水处理技术概述

给水处理技术的目的是通过各种必要的处理技术改善原水水质，使它符合生活饮用或工业使用的要求，因此水处理技术需要根据原水水质和出水水质的要求加以确定，为了达到处理的要求，有时往往可将几种处理技术结合或复合使用。下面将介绍和讨论几种典型的给水处理技术。

5.2.1 混凝技术

混凝技术的对象是水中的悬浮物和胶体物质，其关键技术是选择和投加适当的混凝药剂。经混凝过程使水中的悬浮物和胶体形成大颗粒絮凝体，然后通过澄清后的沉淀进行分离。历史上很早以前就有以明矾净水的记载，直至今日，我国的水厂仍采用铝盐或铁盐