

上海市教育委员会高校重点教材建设项目

工业用水处理工程

(第2版)

Industrial Water
Treatment Engineering
(Second Edition)

丁桓如 吴春华 龚云峰 编著

清华大学出版社

清华大学出版社数字出版网站

WQBook  
www.wqbook.com

ISBN 978-7-302-36618-8



9 787302 366188 >

定价：69.00元

工业用水处理工程

(第2版)

Industrial Water Treatment Engineering (Second Edition)

丁桓如 吴春华 龚云峰 编著

清华大学出版社

内 容 简 介

本书全面介绍了工业用水处理的理论和技术,侧重于纯水制备方向。内容包括水的混凝澄清及沉淀处理、过滤处理、吸附处理、离子交换处理,蒸汽凝结水处理,膜技术与海水淡化,工业冷却水装置及运行等。重点阐述各处理方法的原理、设备及工艺,并吸纳了工业用水处理方面的最新技术和观点,还介绍了工业用水的水务管理方面的知识。

本书可作为高等学校工业水处理相关专业的教材,也可作为给水排水工程专业、环境工程专业的教学参考书,也可供相关科技人员阅读参考。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

工业用水处理工程/丁桓如,吴春华,龚云峰编著.--2版.--北京:清华大学出版社,2014
ISBN 978-7-302-36618-8

I. ①工… II. ①丁… ②吴… ③龚… III. ①工业用水—水处理 IV. ①TQ085

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 113570 号

责任编辑:柳萍 洪英

封面设计:傅瑞学

责任校对:王淑云

责任印制:沈露

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:北京季蜂印刷有限公司

装 订 者:三河市新茂装订有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:36 字 数:876千字

版 次:2005年12月第1版 2014年9月第2版 印 次:2014年9月第1次印刷

印 数:1~3000

定 价:69.00元

产品编号:054509-01

本书第1版属上海市教育委员会高校重点教材建设项目,自2005年12月出版以来,至今已8年有余,承蒙各方关爱,几次重印。这8年来,我国国民经济和工业生产获得飞快发展,工业水处理应用范围也获得很大扩展,对相应的水处理技术要求也提高了,比如纯水技术以前大都用于电子、锅炉及制药行业,现在已迅速扩展到食品饮料、造纸等轻工行业。这一方面对这些行业的产品质量有所提高,另一方面纯水制备技术也得到普及、推广。本书作为一本介绍纯水和超纯水制备技术的书籍,也需要对原版进行一次全面的修订,增添一些新的内容。在清华大学出版社的大力支持下,修订工作终于顺利完成。

本次修订除了对第1版中明显的错误、遗漏和过时的资料进行更改和补充外,还根据当前技术需要增添和删减了一些内容。比如,增加水中有机物方面的内容(第1章)、湍流凝聚接触絮凝沉淀及流动电流混凝剂投药控制内容(第2章)、过滤设备水力学均匀性(第3章)、生物活性炭(第4章)、离子交换树脂溶出物(第5、6章)、空气冷却发电机组和压水堆核电站的凝结水处理(第7章)、海水淡化(第8章)等,删减的是冷却塔设备的设计计算内容(第9章)。

参加本书编写工作的有:丁桓如(绪论、第1章、第4章、第7章、第8章第8.1、8.2、8.5节),吴春华(第6章、第8章第8.3节、第9章),龚云峰(第2章、第3章第3.1~3.4节、第5章、第8章第8.4节),张萍(第3章第3.5节),全书由丁桓如统稿。

本书在编写过程中,参考了近年出版的大量书籍和论文资料,在此对其作者表示感谢,如有疏漏,敬请谅解。

本书与第1版相比,虽然内容更贴近当前技术需要,但由于编者水平所限,肯定还存在许多不妥之处,敬请广大读者不吝赐教,以便再版时更正。

另外,本书中关于摩尔(mol)计量单位的使用,仍与第1版相同,请读者注意本书第1版的前言,此处不再复述。

编者

2014年4月

本书属上海市教育委员会高校重点教材建设项目。书中较全面地介绍了工业用水处理方面的知识,适用于普通高校有关工业用水处理方面的专业课教学。

随着工业技术的发展,各行各业对用水水质的要求越来越高,导致水处理技术在近些年有较快的发展,出现了新的理论、新的工艺和设备。为此,编者参考了近年出版的有关书籍和大量文献资料,编写成本书。

本书编写分工如下:绪论、第1章、第4章、第7章由丁桓如编写;第6章、第9章由吴春华编写;第2章、第3章、第5章由龚云峰编写;第8章由闻人勤编写;全书由丁桓如统稿。

本书由陆柱教授、赵由才教授、陈松梅教授级高级工程师审阅,提出了不少宝贵意见,编者向他们表示谢意。

编者还向本书编写过程中被参考和引用的有关书籍和文献资料的作者(在本书参考文献中列出)表示谢意,如有疏漏敬请谅解。

另外,还需对本书中使用的物质的量的单位作一说明。我国国家标准规定使用摩尔(mol)作为物质的量的单位,并废除了“当量”等量的单位,这给水处理中某些指标的表达和计算带来了困难。针对这一问题,1992年实施的中华人民共和国电力行业标准《电厂化学水专业实施法定计量单位的有关规定》(DL 434—1991)规定了相应的解决方法,随后,该方法在水处理专业的书籍、论文和工业生产中得到广泛应用,本书也采用这一方法。

该方法认为:按照第14届国际计量大会的决议,摩尔(mol)的定义包括两条:①摩尔(mol)是一系统的物质的量的单位,1mol所含的基本单元数与0.012kg碳-12原子数目相等;②在使用摩尔(mol)时,基本单元应予指明,可以是原子、分子、离子、电子及其他粒子或这些粒子的特定组合。

据此定义,在使用摩尔(mol)时,应标明其基本单元,比如 $C(H_2SO_4) =$

1mol/L 或 $C\left(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4\right)=1\text{mol/L}$,前者指明 H_2SO_4 的摩尔质量为 98.07g/mol,后者指明 $\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4$ 的摩尔质量为 49.04g/mol, C 后面的 (H_2SO_4) 或 $\left(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4\right)$ 便是计量硫酸物质的量浓度的基本单元。

本书中使用的摩尔(mol),除特殊注明外,均是将具有一个电荷(或反应中发生一个电荷变化)的粒子(如 Na^+ 、 $\frac{1}{2}\text{Ca}^{2+}$ 、 $\frac{1}{3}\text{Fe}^{3+}$ 、 $\frac{1}{2}\text{SO}_4^{2-}$ 等)作为计量的基本单元,如硬度、含盐量等的单位 mmol/L 意义如下:

$$\text{硬度} \times \times \text{mmol/L} \left[C\left(\frac{1}{2}\text{Ca}^{2+}, \frac{1}{2}\text{Mg}^{2+}\right) \right]$$

$$\text{含盐量} \times \times \text{mmol/L} \left[C\left(\text{Na}^+, \frac{1}{2}\text{Ca}^{2+}, \frac{1}{2}\text{Mg}^{2+}, \frac{1}{2}\text{SO}_4^{2-} \text{等}\right) \right]$$

$$\text{交换容量} \times \times \text{mol/m}^3 \left[C\left(\text{Na}^+, \frac{1}{2}\text{Ca}^{2+}, \frac{1}{3}\text{Fe}^{3+} \text{等}\right) \right]$$

为了简便,本书中对于摩尔(mol)不逐条注明其基本单元,仅在个别容易混淆的地方,在摩尔(mol)单位后面再加注其基本单元。所以,书中凡未注明其基本单元的,均是指具有一个电荷的粒子为其基本单元。

由于编者水平有限,书中难免有不妥之处,敬请读者不吝赐教,以便再版时订正。

编者

2005年5月

0	绪论	1
0.1	水资源和节约用水	1
0.2	工业用水	2
0.3	工业用水处理的重要性	6
1	水源及水质	8
1.1	工业用水水源及水务管理	8
1.1.1	工业用水的水源	8
1.1.2	工业企业水平衡	10
1.1.3	工业企业节水	13
1.2	天然水中杂质	18
1.2.1	悬浮物	18
1.2.2	胶体	19
1.2.3	水中溶解气体	19
1.2.4	水中溶解的无机离子	21
1.2.5	天然水中溶解的有机物质	23
1.3	水质指标	23
1.3.1	色度、臭和味	25
1.3.2	悬浮物、透明度、浊度	26
1.3.3	全固体、溶解固体、灼烧减少固体、含盐量	28
1.3.4	电导率	28
1.3.5	碱度	30
1.3.6	硬度、碳酸盐硬度、非碳酸盐硬度	32
1.3.7	酸度	33
1.3.8	表示水中有机物(及有机污染物)含量的指标	33
1.4	天然水中几种无机化合物	36
1.4.1	碳酸化合物	36
1.4.2	硅酸化合物	39
1.4.3	铁铜化合物	40

1.4.4	含氮化合物	42
1.5	天然水中有机化合物	43
1.5.1	来源	43
1.5.2	天然水中有机物种类和分类	44
1.5.3	腐殖质类化合物	50
1.6	天然水水质分类和我国天然水水质概况	52
1.6.1	天然水水质分类	52
1.6.2	我国天然水水质概况	54
	习题	59
2	水的混凝澄清及沉淀处理	61
2.1	胶体颗粒的基本性质	61
2.1.1	胶体的结构	61
2.1.2	表面电荷的来源	63
2.1.3	胶体颗粒的稳定性	64
2.1.4	胶体颗粒的脱稳方法	65
2.2	水的混凝处理	67
2.2.1	混凝处理原理	67
2.2.2	影响混凝效果的因素	69
2.2.3	絮凝动力学	74
2.3	常用混凝剂和絮凝剂	76
2.3.1	混凝剂	76
2.3.2	助凝剂和絮凝剂	79
2.4	水中悬浮颗粒的沉降	82
2.4.1	离散沉降	82
2.4.2	絮凝沉降	84
2.4.3	层状沉降(拥挤沉降)	84
2.4.4	压缩沉降	85
2.5	沉淀池	86
2.5.1	平流式沉淀池	86
2.5.2	斜板、斜管沉淀池	96
2.5.3	湍流凝聚接触絮凝沉淀	101
2.6	澄清池	105
2.6.1	澄清池概述	105
2.6.2	泥渣悬浮型澄清池	107
2.6.3	泥渣循环型澄清池	111
2.6.4	混凝剂投药系统	121
2.6.5	澄清池的运行管理	126
2.7	水的石灰处理	128

2.7.1	石灰处理原理	129
2.7.2	石灰用量计算	129
2.7.3	石灰处理设备	131
2.8	其他沉降分离工艺	132
2.8.1	强化混凝	133
2.8.2	低温低浊水混凝	134
2.8.3	气浮工艺	135
	习题	142
3	水的过滤处理	143
3.1	粒状介质过滤	143
3.1.1	过滤过程	143
3.1.2	过滤机理	144
3.1.3	影响过滤的因素	147
3.1.4	过滤过程中的水头损失	153
3.1.5	滤层的清洗	156
3.1.6	配水系统	157
3.2	粒状介质过滤设备	160
3.2.1	压力式过滤器	161
3.2.2	重力式滤池	163
3.3	其他过滤工艺	168
3.3.1	纤维过滤	168
3.3.2	盘式过滤器	170
3.3.3	精密过滤	171
3.3.4	直接过滤	173
3.4	地下水除铁除锰	175
3.4.1	地下水除铁	175
3.4.2	地下水除锰	176
3.5	过滤设备的水力学均匀性问题	177
3.5.1	现有水处理设备水力学均匀性问题回顾	178
3.5.2	计算流体力学介绍	179
3.5.3	应用 CFD 软件计算混床支母管进水装置实例	180
	习题	183
4	水的吸附处理	184
4.1	吸附	184
4.1.1	吸附原理和吸附类型	184
4.1.2	吸附容量和吸附等温线	185
4.1.3	吸附速度	188

4.1.4	吸附的影响因素	189
4.2	活性炭简介	192
4.2.1	活性炭制取	192
4.2.2	活性炭结构	193
4.2.3	活性炭型号命名	196
4.2.4	活性炭理化性能指标	197
4.3	水的颗粒活性炭过滤吸附处理	198
4.3.1	吸附水中有机物的活性炭选用	198
4.3.2	吸附水中有机物的粒状活性炭床设计	200
4.3.3	吸附有机物的颗粒活性炭床出水水质及运行	204
4.3.4	水的生物活性炭处理	205
4.3.5	脱除水中余氯的粒状活性炭过滤处理	208
4.4	活性炭纤维和粉状活性炭	211
4.4.1	活性炭纤维	211
4.4.2	吸附水中有机物的粉状活性炭处理	214
4.5	活性炭再生	217
4.5.1	干式加热再生	218
4.5.2	蒸汽吹洗再生	219
4.5.3	微波再生	219
4.5.4	化学药剂再生	220
4.5.5	强制放电再生	220
4.5.6	电化学再生	221
4.5.7	生物再生	222
4.6	水处理中使用的其他吸附剂	223
4.6.1	苯乙烯系大孔吸附树脂	224
4.6.2	丙烯酸大孔吸附树脂	225
4.6.3	废弃的阴离子交换树脂	227
	习题	229
5	离子交换概论	230
5.1	离子交换树脂	231
5.1.1	离子交换树脂的结构	231
5.1.2	离子交换树脂的分类	231
5.1.3	离子交换树脂的命名	233
5.1.4	离子交换树脂的合成	235
5.1.5	离子交换原理	238
5.2	离子交换树脂性能	239
5.2.1	物理性能	240
5.2.2	化学性能	244

5.3	离子交换平衡	249
5.3.1	离子交换的平衡常数	249
5.3.2	选择性系数	250
5.3.3	平衡计算	251
5.4	离子交换动力学	255
5.4.1	离子交换速度控制步骤	255
5.4.2	离子交换过程的扩散速度	256
5.4.3	速度控制步骤的判断	257
5.4.4	影响离子交换速度的工艺条件	258
5.5	动态离子交换过程	259
5.5.1	离子交换柱工作时的离子交换过程	259
5.5.2	交换带	262
5.6	离子交换树脂应用常识	263
5.6.1	离子交换树脂的鉴别	263
5.6.2	离子交换树脂的储存	263
5.6.3	新树脂使用前的预处理	264
	习题	264
6	水的离子交换处理	266
6.1	离子交换处理方法概述	266
6.1.1	离子交换反应	266
6.1.2	离子交换装置	267
6.1.3	离子交换装置运行的基本步骤	268
6.1.4	树脂的再生	269
6.2	水的阳离子交换处理	274
6.2.1	钠离子交换法	274
6.2.2	强酸性氢型阳树脂的离子交换	275
6.2.3	弱酸性阳树脂的离子交换	277
6.2.4	H-Na 离子交换软化除碱	278
6.2.5	阳离子交换树脂运行中的问题及处理对策	280
6.3	除 CO ₂ 器	283
6.3.1	除 CO ₂ 器原理	284
6.3.2	大气式除碳器	284
6.3.3	真空式除碳器	285
6.4	水的阴离子交换处理	287
6.4.1	强碱阴树脂工艺特性	287
6.4.2	弱碱阴树脂工艺特性	291
6.4.3	阴离子交换树脂运行中的问题及处理	292
6.5	复床除盐	295

6.5.1	系统及原理	295
6.5.2	运行	296
6.5.3	带弱型树脂交换器的一级复床除盐系统	299
6.6	离子交换装置及运行操作	302
6.6.1	顺流再生离子交换器	302
6.6.2	逆流再生离子交换器	306
6.6.3	浮床式离子交换器	311
6.6.4	双层床和双室双层床	314
6.6.5	满室床	316
6.7	混合床除盐	317
6.7.1	工作原理	317
6.7.2	设备结构	318
6.7.3	混合床中树脂	318
6.7.4	运行操作	318
6.7.5	混合床运行特点	321
6.8	离子交换除盐系统	322
6.8.1	常用的离子交换除盐系统	322
6.8.2	再生系统	324
6.8.3	除盐水输送系统水质变化及微生物控制	326
6.8.4	除盐系统经济性分析	327
	习题	329
7	蒸汽凝结水处理	330
7.1	凝结水过滤除铁和除油	330
7.1.1	凝结水中金属腐蚀产物的来源和形态	330
7.1.2	管式微孔过滤器	333
7.1.3	粉末树脂覆盖过滤器	336
7.1.4	电磁过滤器	340
7.1.5	氢型阳离子交换器和阳层混床	343
7.1.6	空气擦洗高速混床	344
7.1.7	凝结水除油	345
7.2	凝结水除盐(一)——体外再生混床	347
7.2.1	体外再生混床的结构和特点	349
7.2.2	经典的体外再生混床再生系统	351
7.2.3	影响混床出水水质的因素	352
7.2.4	铵型混床	357
7.3	凝结水除盐(二)——提高混床树脂再生度的方法	362
7.3.1	提高混床阴阳树脂分离程度	363
7.3.2	将分离后混杂的树脂变为无害树脂	369

7.3.3	完善再生工艺	369
7.4	凝结水处理系统	370
7.4.1	发电厂凝结水处理原则性系统	370
7.4.2	凝结水处理对树脂的要求	370
7.4.3	常用系统	370
7.4.4	低压凝结水处理与中压凝结水处理	371
7.4.5	凝结水处理系统出水水质	373
7.5	空冷火力发电机组和压水堆核电站凝结水处理	373
7.5.1	空冷发电机组凝结水处理	373
7.5.2	压水堆核电站凝结水处理	377
	习题	381
8	膜技术与海水淡化	382
8.1	反渗透	384
8.1.1	渗透和反渗透	385
8.1.2	反渗透膜透过机理	387
8.1.3	反渗透膜的基本迁移方程	389
8.1.4	反渗透膜的制备	390
8.1.5	反渗透膜的基本性能	399
8.1.6	膜元件和膜组件	402
8.1.7	反渗透装置及其基本流程	408
8.1.8	反渗透装置的主要性能参数	412
8.1.9	反渗透给水水质指标和常见的前处理系统	413
8.1.10	反渗透给水前处理的处理单元	417
8.1.11	反渗透产水的后处理	428
8.1.12	反渗透膜污染及控制	429
8.2	纳滤	436
8.2.1	概述	436
8.2.2	纳滤原理	436
8.2.3	纳滤膜及其应用领域	438
8.3	超滤和微滤	441
8.3.1	超滤的基本原理	441
8.3.2	超滤膜及膜元件	444
8.3.3	超滤膜污染与控制	446
8.3.4	超滤装置运行与维护	448
8.3.5	微滤	450
8.3.6	UF 和 MF 的操作及应用	454
8.4	电渗析和电除盐	456
8.4.1	电渗析原理	456

8.4.2	电渗析装置	458
8.4.3	电渗析运行中的一些问题	463
8.4.4	电渗析的应用	466
8.4.5	电除盐原理	470
8.4.6	电除盐装置	473
8.4.7	电除盐装置的运行	477
8.4.8	电除盐装置的维护	481
8.4.9	电除盐的应用	482
8.5	海水淡化	482
8.5.1	海水水质特点	483
8.5.2	反渗透法海水淡化	486
8.5.3	多级闪蒸海水淡化	491
8.5.4	低温多效蒸发海水淡化	493
8.5.5	其他海水淡化方法	496
	习题	497
9	工业冷却水装置及运行	498
9.1	冷却水系统和设备	498
9.1.1	冷却水系统	498
9.1.2	冷却构筑物	500
9.2	水的冷却原理	503
9.2.1	湿空气性质	503
9.2.2	水冷却原理	506
9.3	冷却塔的组成及特性	508
9.3.1	塔体	508
9.3.2	通风筒	508
9.3.3	配水系统	508
9.3.4	淋水填料	509
9.3.5	通风设备	510
9.3.6	收水器	511
9.3.7	集水池	511
9.4	冷却塔设计简介	511
9.4.1	冷却塔设计任务、范围与技术指标	511
9.4.2	冷却塔工艺设计所需基础资料	512
9.4.3	冷却塔填料的选择	514
9.5	敞开式循环冷却系统的换热设备及运行	514
9.5.1	换热设备	514
9.5.2	敞开式循环冷却系统的运行操作参数	517
9.6	敞开式循环冷却水系统的平衡	519

9.6.1	水量平衡	519
9.6.2	盐平衡	520
9.7	污垢及污垢热阻	523
9.7.1	污垢的沉积和分类	523
9.7.2	污垢的形成过程及影响因素	525
9.7.3	污垢热阻	526
9.8	循环冷却水系统水质稳定性判别	529
9.8.1	极限碳酸盐硬度法	529
9.8.2	碳酸钙饱和指数 I_B 法	531
9.8.3	碳酸钙稳定指数 I_W 法	532
9.8.4	临界 pH(pH_C)法	533
9.8.5	结垢指数 I_J 法(Puckorius 法)	534
9.8.6	推动力指数 I_T 法	534
9.8.7	侵蚀指数 I_q 法	534
9.8.8	磷酸钙饱和指数 $I_{B,P}$ 法	534
9.8.9	根据运行数据判断是否结垢	536
9.9	循环冷却水系统的防垢处理	536
9.9.1	石灰-加酸处理	536
9.9.2	加酸法	536
9.9.3	离子交换法	538
9.9.4	阻垢剂法	538
9.10	循环冷却水系统中的污泥控制、微生物控制和腐蚀控制	544
9.10.1	循环冷却水系统中的污泥	544
9.10.2	循环水中污泥控制	544
9.10.3	循环冷却水系统中的微生物及危害	546
9.10.4	微生物控制	547
9.10.5	循环冷却水系统中金属的腐蚀	551
9.10.6	循环冷却水中金属腐蚀的控制	552
9.11	循环冷却水系统运行及管理	553
9.11.1	碳钢热交换器的循环冷却水系统运行管理	553
9.11.2	其他金属材料热交换器的循环冷却水系统运行管理	555
	习题	557
	参考文献	559