

水处理技术

Water Treatment Technology

陆 柱 陈中兴 蔡兰坤 黄光团 编著

(第二版)



华东理工大学出版社

EAST CHINA UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

水处理技术

Water Treatment Technology

陆 柱 陈中兴 蔡兰坤 黄光团 编著

(第二版)



华东理工大学出版社

EAST CHINA UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

图书在版编目(CIP)数据

·水处理技术/陆柱等编著. —2版. —上海:华东理工大学出版社,
2006.8

ISBN 7-5628-1899-1

I. 水... II. 陆... III. 水处理—技术 IV. TU991.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 048974 号

水处理技术(第二版)

.....

编 著 / 陆 柱 陈中兴 蔡兰坤 黄光团

责任编辑 / 徐惠娟

封面设计 / 王晓迪

责任校对 / 张 波

出版发行 / 华东理工大学出版社

地 址:上海市梅陇路 130 号,200237

电 话:(021)64250306(营销部)

传 真:(021)64252707

网 址:www.hdlgpress.com.cn

印 刷 / 上海崇明裕安印刷厂

开 本 / 850×1168 1/32

印 张 / 17

字 数 / 439 千字

版 次 / 2000 年 12 月第 1 版

2006 年 8 月第 2 版

印 次 / 2006 年 8 月第 1 次

印 数 / 3501—7550 册

书 号 / ISBN 7-5628-1899-1/TQ·103

定 价 / 30.00 元

(本书如有印装质量问题,请到出版社储运部调换)

内 容 提 要

本书根据水处理技术近几年的发展和广大水处理工作者的需要,分别介绍了冷却水处理技术、锅炉水处理技术和饮用水处理技术以及水处理中应用的各类水处理药剂,并对水的预处理技术、清洗技术和水质分析和试验等技术作了阐述。

正确掌握及合理应用水处理技术,对节水节能,延长设备使用寿命,改善水质和保护环境,建设资源节约型与环境友好型社会,实现可持续发展战略具有重要意义。本书在编写中尽可能反映国内外水处理新技术和新进展,并结合编者多年来从事水处理技术教学与科研实践的心得体会。

本书可供大专院校有关专业师生作为教材或参考书,也可提供与水处理有关的化工、石油、冶金、电力、轻纺、市政、环保等行业的工厂企业、专业公司、研究和设计单位的广大技术人员、科研人员、设计人员和管理人员阅读参考。

前 言

(第二版)

水是生命之源,也是地球上最重要的资源之一。水资源紧缺和水环境污染已成为 21 世纪全球性的突出问题,我国也不例外。因而,必须对水的问题引起高度重视。正确掌握和合理应用水处理技术,将在保护水资源,改善水环境,实现可持续发展以及建设资源节约型和环境友好型社会方面起到积极的推动作用。

本书以工业水处理技术如冷却水处理技术、锅炉水处理技术为主要内容,着重介绍饮用水处理技术、水的预处理技术、水质分析和试验技术、水处理相关的清洗技术以及水处理中应用的各种药剂。本书力求反映国内外水处理的新技术和新进展,并结合编者多年来从事水处理教学、科研的心得体会,以形成一些特色。

本书第 1,2,3,6,8 章由陆柱教授编写,第 4 章由陈中兴副教授编写,第 7 章由蔡兰坤教授编写,第 5,9 章由黄光团副教授编写。全书由陆柱教授统稿。由于我们水平有限,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。”水处理技术涉及众多的学科和专业领域,不可能以一本书回答所有水处理的技术问题,但我们希望本书的出版发行,将在普及和传播水处理知识和技术方面起到积极作用,进而为节约用水、改善水质、保护水资源、改善水环境等方面作出一份贡献。

编 者

2006 年 4 月于

华东理工大学资源与环境工程学院

目 录

第 1 章 水处理技术概论	1
1.1 水资源及其重要性	1
1.2 工业用水与冷却用水	3
1.3 直流用水与循环用水	6
1.4 水处理技术的现状与发展方向	8
第 2 章 水中的杂质与水质标准	11
2.1 天然水中的杂质	11
2.2 水质标准	14
2.2.1 生活饮用水标准	14
2.2.2 工业锅炉用水水质标准	16
2.2.3 污水综合排放标准	16
★ 第 1,2 章主要参考文献	17
第 3 章 水的预处理技术	19
3.1 混凝技术	19
3.1.1 混凝剂及其类型	19
3.1.2 无机混凝剂的性能	20
3.1.3 有机高分子混凝剂的性能	22
3.1.4 影响混凝效果的主要因素	23
3.1.5 混凝机理的探讨	24
3.1.6 混凝剂及混凝技术展望	26
3.2 澄清技术	27
3.3 过滤技术	30
3.3.1 概述	30
3.3.2 过滤技术的分析	30
3.3.3 过滤介质	31

3.3.4	过滤速度及其影响因素	33
3.3.5	过滤器的可能组合和选择	35
3.4	软化技术	36
3.4.1	水的软化技术概述	36
3.4.2	冷石灰法	37
3.4.3	石灰-苏打法	38
3.4.4	热石灰法	38
3.4.5	软化器	39
★	本章主要参考文献	41
第4章	冷却水处理技术	42
4.1	冷却水系统	42
4.1.1	水作为热载体的性质	42
4.1.2	直流冷却水系统	43
4.1.3	密闭循环冷却水系统	44
4.1.4	直接接触循环冷却水系统	46
4.1.5	敞开式间壁循环冷却水系统	46
4.1.6	水冷却用塔式构筑物	47
4.1.7	冷却水的传热和传质过程	49
4.1.8	冷却水系统的物料平衡分析	53
4.2	冷却水对金属的腐蚀与控制技术	62
4.2.1	冷却水对金属产生腐蚀的原因	62
4.2.2	金属在冷却水中的腐蚀速度和指标	72
4.2.3	金属在冷却水中常见的腐蚀类型	75
4.2.4	冷却水中常用的腐蚀控制技术	106
4.3	冷却水中的污垢及其控制技术	123
4.3.1	冷却水中的污垢表现形式	123
4.3.2	冷却水中污垢的形成	134
4.3.3	污垢的控制技术	152
4.4	冷却水中的微生物及其控制技术	161

4.4.1	微生物在冷却水中的繁衍	161
4.4.2	冷却水中微生物运行障碍	171
4.4.3	冷却水中微生物控制技术	172
4.5	循环冷却水管理技术	175
4.5.1	系统流程设计管理技术	175
4.5.2	开车准备管理技术	177
4.5.3	配方设计管理	185
4.5.4	加药管理	193
4.5.5	水质管理	194
4.5.6	检修保养管理	194
4.5.7	不预膜技术	195
4.5.8	不停车清洗管理	195
4.5.9	在线检测管理	197
★	本章主要参考文献	198
第5章	锅炉水处理技术	202
5.1	概述	202
5.1.1	锅炉的类型	202
5.1.2	锅炉的基本构造	203
5.1.3	锅炉的水循环	204
5.1.4	锅炉水处理的必要性	205
5.1.5	锅炉水水质标准	206
5.2	锅炉水的腐蚀及其控制	207
5.2.1	锅炉水的腐蚀	208
5.2.2	锅炉水的腐蚀控制	215
5.3	锅炉水的结垢及其控制	227
5.3.1	水垢的形成与危害	227
5.3.2	锅内加药处理	232
5.3.3	离子交换水处理	243
5.4	锅炉水的汽水共腾及其控制	278

5.4.1	汽水共腾	278
5.4.2	汽水共腾的危害	279
5.4.3	汽水共腾控制方法	280
★	本章主要参考文献	282
第6章	水处理中的清洗技术	283
6.1	概述	283
6.1.1	清洗的目的与效果	283
6.1.2	清洗对象	284
6.1.3	清洗方法	285
6.2	清洗药剂	286
6.3	影响清洗效果的各种因素	292
6.4	实施清洗的方法	293
6.5	清洗终点的判断与清洗安全要求	294
6.6	清洗废液的处理	295
6.7	清洗技术的应用	297
6.8	清洗的计划与操作	299
★	本章主要参考文献	300
第7章	水处理剂	301
7.1	概述	301
7.1.1	水处理剂分类	301
7.1.2	水处理剂的环保要求	302
7.1.3	水处理剂的安全性要求	302
7.1.4	水处理剂的其他性能要求	304
7.2	缓蚀剂	304
7.2.1	缓蚀剂的定义、分类与评价方法	305
7.2.2	无机缓蚀剂的结构、性能及影响因素	306
7.2.3	有机缓蚀剂	322
7.3	缓蚀阻垢剂与阻垢分散剂	329
7.3.1	含磷有机缓蚀阻垢剂	330

7.3.2 阻垢分散剂	344
7.3.3 作为缓蚀阻垢剂的天然有机化合物	358
7.4 杀菌灭藻剂(杀生剂)	363
7.4.1 杀生剂的分类	364
7.4.2 氧化型杀生剂	365
7.4.3 非氧化型杀生剂	375
7.4.4 其他特殊性质的杀生剂	383
★ 本章主要参考文献	388
第8章 饮用水处理技术	389
8.1 概述	389
8.1.1 饮用水处理技术回顾	389
8.1.2 水对人体的生理功能	390
8.1.3 饮水与健康	391
8.1.4 水污染与健康	392
8.2 活性炭净水技术	394
8.2.1 活性炭的性能	394
8.2.2 活性炭的分类	396
8.2.3 活性炭的应用	396
8.3 膜分离技术	398
8.3.1 膜分离技术应用于水处理的进展	398
8.3.2 膜分离技术及其分类	400
8.3.3 膜材料与膜组件	401
8.3.4 膜分离技术的选用	402
8.3.5 反渗透膜分离技术	403
8.3.6 电渗析膜分离技术	405
8.3.7 超滤膜分离技术	407
8.4 消毒技术	408
8.4.1 紫外线消毒	409
8.4.2 臭氧消毒	409

8.5	饮用水的矿化技术	411
8.5.1	概况	411
8.5.2	麦饭石组成及作用	411
8.5.3	麦饭石的溶出性能	412
8.5.4	麦饭石的吸附性能	413
8.6	饮用水的磁化技术	414
8.6.1	概况	414
8.6.2	磁化水的装置及类型	415
8.6.3	磁化水的作用原理	415
★	本章主要参考文献	416
第9章	水处理中的分析测试技术	417
9.1	水质分析	417
9.1.1	水质分析中常用标准溶液的配制与标定	417
9.1.2	水的一般物理性质检验	422
9.1.3	水中阳离子的分析	433
9.1.4	水中阴离子的分析	446
9.1.5	水中溶解气体的分析	458
9.1.6	水中水处理药剂的分析	465
9.2	污垢和腐蚀产物分析	476
9.2.1	试样采集和制备	476
9.2.2	水分的测定	477
9.2.3	灼烧失重的测定	478
9.2.4	硫酸盐的测定	479
9.2.5	硫化亚铁的测定	481
9.2.6	二氧化碳的测定	483
9.2.7	酸不溶物、磷、铁、铝、锌、钙、镁、铜含量的测定	485
9.3	水处理中的腐蚀、结垢和微生物的测试与现场监测	497

9.3.1 腐蚀测试	497
9.3.2 结垢测试	506
9.3.3 微生物测试	510
9.3.4 综合测试与现场监测	516
★ 本章主要参考文献	529

第1章 水处理技术概论

1.1 水资源及其重要性

水是地球上最重要的资源,水也是生命之源。世界及我国面临水资源既丰富又短缺的矛盾,这是因为地球上的海水占 97.47%,而淡水仅占 2.53%。在这些淡水中,地下水和冰川又占 99.66%,其余剩下的仅 0.34%,约 104 万亿 m^3 可供人们生活。然而,随着经济的发展和人民生活水平的提高,水的消耗也与日俱增:在公元前人均每天耗水约 12 L,中世纪提高至 20~40 L,18 世纪工业革命后上升至 60 L 左右,而到了 20 世纪 80 年代后,发达国家城市的人均日耗水量已达 500 L 左右。由此可见,水资源的总量有限,可供直接饮用的淡水资源更少,但另一方面水的消耗却增长很快,这样就使得水资源紧缺成为一个全球性问题。

我国也不例外。我国水资源总量约 27 000 亿 m^3 ,仅次于美国、苏联等,占世界第六位,但我国因人口众多,人均水资源占有量不到 2 700 m^3 ,仅占世界人均水资源量的 1/4,世界上排序在 100 位后。而且,随着经济的发展,环境污染日趋严重,可供饮用的清洁水源日益减少,尤其是我国北方地区缺水矛盾更为突出。据对 236 个城市的调查表明,每年缺水约 500 亿 m^3 ,2000 年后将上升至 850 亿 m^3 ,每年因供水不足造成的经济损失超过 200 亿元,因此对水资源紧缺的问题必须引起高度重视。

众所周知,水资源的来源来自若干方面,如当地的降雨量除了

少量蒸发和渗入土地外,将归入江河;其次是来自上游水域,通过河网等到达当地;此外就是当地的水源包括江河湖海以及地下水等。我国城市降雨量如表 1-1 所示。

表 1-1 我国部分城市降水量(mm)

城 市	全年降水量	城 市	全年降水量
北 京	813.2	上 海	917.0
天 津	708.4	重 庆	982.5
石家庄	475.1	南 昌	1 754.9
太 原	430.0	郑 州	718.9
沈 阳	893.1	武 汉	1 045.5
长 春	689.4	长 沙	1 657.5
哈尔滨	826.4	广 州	1 787.1
南 京	647.9	成 都	945.6
济 南	872.2	贵 阳	1 093.3
昆 明	1 260.1	杭 州	1 399.0
西 安	531.3	兰 州	318.2
乌鲁木齐	311.4		

目前水资源面临的问题,既有水量问题,也有水质问题。在水量方面水耗过高,节约用水潜力很大。如以日本为例,生产 1 万元人民币产值的工业产品平均耗水约 9 m^3 ,而我国约为 92 m^3 ;日本水的重复使用率在 90%,而我国约为 40%~75%。此外水价偏低和定价不尽合理,也是造成水资源浪费的原因之一。在水质方面,环境污染影响和威胁着水资源的质量。以上海为例,在 20 世纪初第一个城市水厂就建在苏州河上,但进入八九十年代后,每年河水黑臭的天数有时可超过 200 d,迫使近年来苏州河综合整治进入实质性启动。有的行业和地区,有时以牺牲环境效益来保护经济效益,使水质恶化的矛盾日益突出。

针对上述矛盾,为了解决水资源紧缺和水质恶化的问题,应采

取下列措施:

(1) 加强水源建设,保证水源供应。包括兴建大型骨干水利工程如三峡工程、南水北调工程等,开辟新的水源,如海水的直接利用、水源的迁移、从上游调水等。

(2) 加快建设节水型社会。包括节水农业,推广滴灌、渗灌、微喷灌技术,逐步改变和代替传统的大量耗水的满灌。大力推行节水工业,实行循环用水、密闭用水、一水多用、污水回用,千方百计提高水的重复使用率。

(3) 加强水污染的控制。包括污染工厂的关停并转和搬迁,强化工业污水和生活污水的治理,加强污水排放系统的建设,加强水污染的监测和控制等。

(4) 强化水资源的管理。改变目前水资源管理涉及部门多、管理过于分散的状况,完善水资源的立法并严格执法;加强对水资源的相关宣传教育,提高全社会节约、保护和利用水资源的意识和观念等。

1.2 工业用水与冷却用水

水的类别很多,从取水的水源可分成地表水与地下水。地表水取自地面,它又可分成江水、河水、湖水、海水等。地下水则取自地下,如深井水、地下矿泉水等。从水的用途上则可分为工业用水、农业用水、生活用水(含饮用水)等。不同的水有不同的水质要求和水质标准,本书以后的章节将作详细的介绍。

在工业用水中又可分为冷却用水、锅炉用水、工艺用水、清洗用水等。由于工业用水在整个用水量中占的比重较大,而冷却用水在工业用水中又占有最大的比重,通常为工业用水的 60%~90%,如果不加处理,将对设备和管道产生腐蚀、结垢和微生物黏泥等障碍,为此人们对工业用水、冷却用水的处理倍加重视。

目前使用的冷却水系统,通常可分为 3 种类型,即直流冷却水系统、密闭循环冷却水系统和敞开循环冷却水系统。它们的示意图如图 1-1 所示。

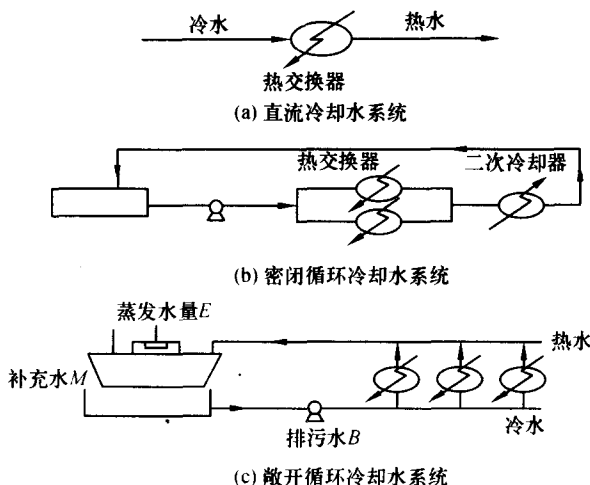


图 1-1 不同类型的冷却水系统示意图

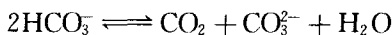
工业循环冷却水的特点归纳如下:

(1) 溶解氧含量高。为使水得到冷却,在冷却塔中需与空气充分接触,致使水中基本上饱和空气和溶解氧。一般敞开循环水中含溶解氧可达 6 mg/L 。从这意义上而言,系统中的冷却塔起了一个吸收塔的作用。然而,当水中溶解氧含量增高后将促进与之接触的金属设备、管道和零部件的腐蚀。

(2) 将含有空气中的有关污染物与杂质。在冷却塔中,某种程度上是水洗涤进入空气中的污染物和杂质,即相当于一个洗涤塔,这时周围大气中如含有 SO_2 、 H_2S 、 NO_2 、 NH_3 等组分将进入冷却水,尤其当周围空气受到污染或处于化工区时,这方面的问题更会突出。

(3) 循环冷却水将脱除 CO_2 。在天然水中,碳酸盐与重碳酸

盐存在如下平衡关系:



因此,水中含有一定的 CO_2 ,而空气中的 CO_2 含量较低,故冷却水在冷却塔中与空气充分接触,水中的 CO_2 会被空气气提而逸入空气,而且这一过程与温度有关。如表 1-2 所示。

表 1-2 水温与水中 CO_2 含量的关系

水温(°C)	10	20	30	40	50
水中剩余 CO_2 (mg/L)	14.5	7.7	3.5	1.5	0

由此可见,随着温度升高,水中剩余 CO_2 降低,即水中 CO_2 脱除率高,从这一意义上而言,冷却塔又起了脱碳塔的作用。

(4) 冷却水存在溶解固体的浓缩。随着水分的蒸发,水中溶解固体会残留在水中,而且有一定程度的浓缩。理想的情况,对一个冷却水系统而言,应是随补充水带进系统的溶解固体等于排出系统的溶解固体,即从物料衡算的角度以数学公式表示为:

$$Mc_m = (B + L)c_c$$

式中 M ——补充水量, m^3/h ;

c_m ——补充水中溶解固体浓度, mg/L ;

B ——排污水量, m^3/h ;

L ——渗漏水及风吹损失水量, m^3/h ;

c_c ——循环水中溶解固体浓度, mg/L 。

如以 E 代表蒸发水量则:

$$K = \frac{c_c}{c_m} = \frac{M}{B + L} = \frac{E + B + L}{B + L}$$

上式中,循环水中溶解固体与补充水中溶解固体两者浓度之比称为浓缩倍率 K ,这是循环冷却水运行中控制的重要指标之一。

(5) 悬浮物的积聚。冷却水系统的补充水中本身会含有一定