



工业用

水

●主 编 叶婴齐
●副主编 梁光宇
葛宝英
丁桓如
(第二版)



处 理 技 术

●上海科学普及出版社

GONG YE YONG SHUI
CHULI JISHU



上海科技专著出版资金

工业用水处理技术

(第二版)

主 编 叶婴齐

副主编 梁光宇 葛宝英 丁桓如

江苏工业学院图书馆
藏书章

上海科学普及出版社

图书在版编目(CIP)数据

工业用水处理技术/叶婴齐主编. —上海: 上海科学普及出版社, 2004. 9

ISBN 7-5427-2386-3

I. 工... II. 叶... III. 工业用水-水处理
IV. TQ085

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 028075 号

责任编辑 李选玲 董 放

工业用水处理技术(第二版)

叶婴齐 主编

上海科学普及出版社出版发行

(上海中山北路 832 号 邮政编码 200070)

<http://www.pspsh.com>

各地新华书店经销

商务印书馆上海印刷股份有限公司印刷

开本 787×1092 1/16 印张 22 插页 3 字数 518 000

2004 年 9 月第 2 版 2004 年 9 月第 1 次印刷

印数 1-5 500

ISBN 7-5427-2386-3/TQ·11 定价: 35.00 元

本书如有缺页、错装或坏损等严重质量问题
请向出版社联系调换

出版说明

科学技术是第一生产力。21 世纪,科学技术和生产力必将发生新的革命性突破。

为贯彻落实“科教兴国”和“科教兴市”战略,上海市科学技术委员会和上海市新闻出版局于 2000 年设立“上海科技专著出版资金”,资助优秀科技著作在上海出版。

本书出版受“上海科技专著出版资金”资助。

上海科技专著出版资金管理委员会

序

水是生命之源,水是人类生存和发展的必要条件。随着人口的增长,社会的发展,人类生存环境日益恶化,水资源问题日益突出。为了实现可持续发展,世界各国颁布了大量政策法规,以控制日益恶化的水环境,合理利用有限的水资源。20世纪90年代我国已颁布了《水污染法》和资源保护法律中的《水法》,但水的浪费和水质的污染问题还是十分严重,当务之急是要各方面都重视起来。这在客观上也要求水处理行业能够快速、健康、有序的发展。

人们的生活离不开水,工业生产同样离不开水。我们应该看到,当前中国经济的持续发展正面临严重的水荒威胁。在中国诸多因经济增长而产生的环境问题中,水资源问题大概要算危害程度最深、影响范围最广的一个。环境和资源节约法规的日趋严格以及水价的不断提升是水处理产业市场需求出现增长的主要因素,因为企业需要更多的水处理设备用于用水处理和污水处理以满足更为严厉的水质量标准。我国在水处理的科研、生产和应用方面也取得了不少成果、造就了一批专业人才。本书作者大都是水处理领域的资深人士,长期从事净水领域某一方面的设计、教学、技术开发等科研工作并深入生产一线,具有较高的科技理论知识和丰富的实践经验。该书是他们多年积累的资料、数据和经验的结晶,反映了我国工业用水处理的现状。该书第一版曾作为《全国工业用水处理技术》培训班教材使用多年,并备受好评。相信与水处理有关的人士在阅读了本书后,对做好本职工作定能起到事半功倍的效果。

上海市环境保护工业行业协会理事长

赵国通

2004年7月

第二版前言

《工业用水处理技术》第一版自 1995 年 10 月出版发行以来,深受读者们欢迎。上海多次举办的全国性工业用水处理技术培训班均采用此书作为主要教材,并获得好评。现在此基础上对本书进行修订再版。

本书在修订时根据近年来水处理技术发展情况和第一版出书后各方面反映的意见,进行了适当的补充和修改。增加了纳滤和连续电除盐两项较新技术,并将工业用水处理方面广泛应用的循环冷却水技术也纳入本书。

本书第二版全部采用国家规定的法定计量单位。为了利用现有的公式、图表、曲线和数据等,均采用一价离子作为基本单元,对于二价离子以 $1/2$ 作为基本单元,对于三价离子则以其 $1/3$ 作为基本单元。

本书第二版由叶婴齐主编,梁光宇、葛宝英、丁桓如为副主编。参加各章修改或撰稿的有梁光宇、黄仲杰、葛宝英、叶婴齐、周来发、丁桓如、梁海澄、刘忠洲、沈镕、熊泉福、项成林(以章节先后为序)。沈家铨、刘忠洲主审。

在本书的修订过程中,得到了上海复兴科技工程公司的大力协助,并承官美乐、朱森茂、蔡冠萍、宋显洪等指导和帮助,还承蒙上海市环境保护工业行业协会理事长赵国通拨冗为本书作序,在此一并表示衷心地感谢。

由于编者水平所限,书中错误和不足之处,尚祈读者批评指正。

编 者

2004 年 3 月

第一版前言

工业用水处理技术,日益受到各行各业的重视,水处理的新材料、新技术、新设备、新工艺也层出不穷。随着我国建设事业的发展,工业用水处理的重要性已愈来愈受到各方面的重视,建造了很多净水站,有些还引进了国外的先进技术和设备,工业用水处理技术有了进一步提高。

为了增进各方面对水处理技术的认识,我们在多年从事这项工作的基础上,编写了本书,供工业用水应用、制造部门和各行业从事水处理、环保工作的管理人员、操作人员学习,也可供科研人员和大专院校有关专业的师生参考。

本书内容翔实,深入浅出地介绍了工业用水处理技术的基本原理、工艺性能、设备构造和运行管理。书末还安排了较实用的附录,以便读者查找有关资料。

本书由叶婴齐主编,梁光宇、邱中峙、葛宝英为副主编。参加各章撰稿的有梁光宇、邱中峙、张寿恺、葛宝英、叶婴齐、郭九如、张怀明、周来发、冯军、陈昌骏、沈镕、熊泉福。沈家铨、张怀明主审。

在本书的编写过程中得到了上海市科学技术协会、上海市净水技术学会、上海市水中心技术服务部和上海复兴科技工程公司等单位的大力协助,并承钱雪元、王振堃、朱森茂、胡正等指导和帮助。在编印出版过程中又获得复兴公司的赞助。谨表示衷心地感谢。

由于编者水平所限,书中错误和不足之处,尚祈读者批评指正。

编 者

1994年10月

目 录

第一章 概论	1
第一节 自然界的水和水资源	1
一、自然界的水及其分类	1
二、水资源和水污染	2
三、开源节流和防止污染	2
第二节 水的结构与特性	3
一、水分子的结构	3
二、水的特性	4
第三节 水溶液和电离	5
一、水溶液和它的浓度	5
二、电解质溶液的电离	6
第四节 天然水中的杂质和水质分析	7
一、天然水中的杂质	7
二、各种天然水的特性	9
三、水质分析	9
第五节 工业用水处理方法概述	16
一、预处理	17
二、水中溶解物的处理	18
三、后处理(终端处理)	19
第二章 预处理	21
第一节 预处理系统的选择	21
第二节 混凝	23
一、混凝的基本概念	23
二、混凝剂与助凝剂	24
三、混凝剂的投加	26
四、混合	29
五、絮凝	30
第三节 沉淀和澄清	32
一、沉淀	32
二、澄清	34
第四节 过滤	37
一、过滤的基本概念	37

二、各种滤池和压力过滤器	38
第五节 综合净水设备	47
一、钢筋混凝土结构的综合净水设备	47
二、综合净水构筑物(一)	48
三、综合净水构筑物(二)	48
四、综合净水构筑物(三)	48
第六节 精密过滤	50
一、滤布过滤器	50
二、烧结滤管过滤器	51
三、蜂房过滤器(又称线绕过滤器)	52
四、叠片式过滤器(又称卡盘式过滤器)	52
五、熔喷式纤维滤芯过滤器	53
第七节 消毒和氧化	53
一、消毒	53
二、氧化	59
第八节 吸附	62
一、活性炭吸附	62
二、树脂吸附	68
第九节 除铁和除锰	68
一、曝气氧化法	69
二、药剂氧化法	70
三、天然锰砂过滤法	70
第三章 离子交换	72
第一节 离子交换剂及其分类	72
第二节 离子交换树脂	73
一、离子交换树脂的结构和类型	73
二、离子交换树脂的命名和型号	74
三、离子交换树脂的性能	75
四、水处理常用离子交换树脂的交换特性	78
五、离子交换树脂的验收、保存、使用和鉴别	79
第三节 离子交换过程	81
一、离子交换平衡	81
二、离子交换速度	83
三、动态离子交换过程	84
第四节 离子交换在水处理中的应用	86
一、钠离子软化	86
二、软化与除碱	87
三、复床除盐	89

四、混合床除盐	93
第五节 离子交换树脂的再生	94
一、复床系统离子交换树脂的再生	94
二、混合床离子交换树脂的再生	98
第六节 其他离子交换除盐系统	99
一、浮动床	99
二、双层床	100
三、双室双层床、双室双层浮动床和多床系统	100
四、三层混床	101
五、精处理氢交换器	101
第七节 离子交换树脂的变质、污染及其防止	102
一、树脂的变质	102
二、树脂的污染	102
三、离子交换树脂的判废	103
第八节 固定床离子交换器的结构	104
一、顺流再生固定床	104
二、逆流再生固定床	107
三、体内再生混合床	108
第四章 电渗析	109
第一节 电渗析的概况	109
一、电渗析发展概况	109
二、电渗析基本原理	110
三、电渗析运行中的一些问题	113
四、电渗析的主要特点	115
第二节 电渗析器和装置	117
一、隔板	117
二、离子交换膜	120
三、电极和电极框	123
四、导水板	124
五、夹紧装置	124
六、电渗析器的组装和安装方式	124
七、浓、淡水配集水管的装接方式	125
八、电渗析器组装方法与要求	126
九、电渗析装置的辅助设备	127
十、电渗析器规格型号编制方法	128
第三节 电渗析器的进水水质指标和工艺系统	129
一、电渗析器的进水水质指标	129
二、电渗析器的工艺系统	130

第四节 电渗析器的运行和管理	135
一、电渗析器的调整试验	135
二、电渗析运行参数的确定	140
三、电渗析设备的运行和维护	142
四、电渗析运行中的故障及原因分析	144
五、一些常用的计算公式	145
第五章 反渗透和纳滤	147
第一节 反渗透的基本概况	147
一、发展概况	147
二、反渗透原理	148
三、反渗透的特点	151
第二节 反渗透膜	151
一、反渗透膜的品种	151
二、反渗透膜的性能	155
第三节 反渗透装置	157
一、膜组件(或称膜元件)和反渗透装置	158
二、反渗透装置及其性能参数	161
三、反渗透装置的组合形式	163
第四节 反渗透装置的给水预处理和后处理	167
一、反渗透装置的给水预处理	167
二、反渗透装置的后处理	173
第五节 反渗透装置的运行和管理	174
一、反渗透装置的运行工况条件	174
二、反渗透装置运行中的几点注意事项	177
三、反渗透装置的运行	180
四、反渗透装置的维护管理	182
第六节 反渗透在水处理中的应用	185
一、海水、苦咸水的淡化	185
二、反渗透—离子交换联合除盐	187
三、饮用纯净水的制取	189
第七节 纳滤	189
一、纳滤概况	189
二、纳滤原理	190
三、纳滤膜	191
四、纳滤膜性能	192
五、纳滤装置	193
六、纳滤技术的应用	193

第六章 连续电除盐	196
第一节 概况	196
一、发展概况	196
二、连续电除盐的作用原理	197
第二节 连续电除盐的装置和工艺系统	199
一、连续电除盐的装置	199
二、连续电除盐的工艺系统	199
第三节 连续电除盐的进水水质和运行管理	201
一、连续电除盐的进水水质	201
二、连续电除盐的运行管理	201
第四节 连续电除盐的应用	204
第七章 超滤	206
第一节 概述	206
第二节 超滤的基本原理	207
第三节 超滤膜的分类、形态结构及其性能表征	208
一、超滤膜的分类	208
二、超滤膜的形态结构	209
三、超滤膜的性能表征	210
第四节 超滤膜的浓差极化与污染的防止	213
一、浓差极化与膜污染	213
二、浓差极化与污染的防止	214
第五节 超滤膜的清洗	218
第六节 各种超滤组件的性能比较	220
第七节 超滤技术在工业水处理中的应用	221
一、优质生活饮用水制备中的应用	221
二、电子工业超纯水制备中的应用	223
三、发电厂锅炉补给水处理中的应用	224
四、医疗用水制备中的应用	224
五、食品工业用水处理中的应用	225
六、污水处理与回用	226
第八章 微孔过滤	228
第一节 概述	228
第二节 微孔滤膜的截留机理与使用特性	229
一、微孔滤膜的截留机理	229
二、微孔滤膜的使用特性	230
第三节 微孔滤膜的分类与孔径测定	231
一、微孔滤膜的分类	231

二、微孔滤膜的孔径测定	233
第四节 微孔滤膜的应用	234
一、水中微生物的测定	235
二、水中反渗透进水污染指数的测定	235
三、水处理工艺系统中的应用	236
四、水溶液的膜蒸馏	239
第五节 微孔滤膜过滤器	239
一、针头过滤器	240
二、实验用过滤器	241
三、板式过滤器	241
四、管式过滤器	243
五、折叠式过滤器	243
六、中孔纤维微过滤器	244
第六节 微孔过滤的使用技术	244
一、微孔滤膜孔径、材质的选择	244
二、过滤器的选择	245
三、预过滤	245
四、过滤膜、过滤器使用前的处理和检测	246
五、微孔过滤的净化规则	247
第九章 循环冷却水处理	248
第一节 概况	248
一、循环冷却水系统	248
二、敞开式循环冷却水系统的冷却设备	249
三、敞开式循环冷却水系统的运行参数	251
第二节 循环冷却水系统沉积物的控制	253
一、循环冷却水系统的沉积物	253
二、循环水结垢趋势的判断	255
三、循环水沉积物的控制	259
第三节 循环冷却水系统腐蚀的防止	263
一、循环冷却水系统的腐蚀	263
二、循环冷却水系统的防腐方法	265
第四节 循环冷却水系统微生物的抑制	266
一、循环冷却水系统的微生物	266
二、微生物的危害	268
三、循环冷却水系统微生物的抑制	271
第五节 循环冷却水系统的运行与监测	273
一、循环冷却水系统的水清洗	273
二、循环水系统的化学清洗	275

三、循环水系统的预膜处理	278
四、循环水的正常处理控制	280
五、循环水的冷态运行	282
第六节 循环冷却水的水处理药剂	283
一、阻垢剂	283
二、缓蚀剂	287
三、杀生剂	290
 第十章 工程实例	295
一、上海外高桥第二发电厂纯水处理	295
二、上海第一生化药业公司 10 t/h 反渗透—混床纯水处理	297
三、兴勤(常州)电子有限公司 3 t/h 反渗透—混床纯水处理	299
四、上海龙阳精密复合铜管有限公司 2 套 10 t/h 二级 RO 纯水处理	300
五、上海长征制药厂锅炉给水及生产用水水站	302
 附录	305
一、国际单位制单位和某些国家的常用单位的换算	305
二、物质在水中溶解性能判别	307
三、含盐量与电阻率的关系图	308
四、常用元素原子量表	309
五、各种微粒分离谱图	310
六、常用溶液的密度表	311
七、生活饮用水卫生标准(摘录)	314
八、建设部“城市供水行业 2000 年技术进步规划”中的“水质目标”(摘录)	316
九、几种饮用净水水质标准	319
十、水处理常用离子交换树脂的技术指标	321
十一、水处理用的各种膜的设备或膜材质的性能规格	322
 参考资料	330

第一章 概 论

对生命和人类的活动来说,水具有极重要的意义。水大量存在于自然界,由于它是一种良溶剂,所以自然界的水都是不纯净的。用于生活饮用或工业生产的水,一般都要经过一定的处理。为了掌握工业用水的各种处理技术,本章对自然界的水及水资源、水的基本知识和工业用水的处理要求及处理方法等作概要的叙述。

第一节 自然界的水和水资源

一、自然界的水及其分类

水是地球上分布最广的物质之一。如海洋所占面积约为地球表面积的十分之七,河流和湖泊的水贯穿陆地的整个表面。而地下水则埋藏于地表以下松散的土层和固结的岩层中。大气中的水蒸气是影响当地气候的最重要因素之一,也是决定降雨量和蒸发量以及阻止热辐射的最重要因素之一。海洋中的巨大水体受到日照后对气候调节和地球上热平衡起很大作用。通过自然界的循环,海水、地表水和动植物散发出的水被蒸发,凝聚成为云、雨或雪又散布到大地,进而渗透到地下。这种循环不断地在重复(见图 1-1)。

自然界的水实际是一种含有各种微小杂质的水溶液。它除了含有被溶解的地层或岩石中的各种矿物质外,还含有被溶解的各种气体、有机物质和混杂其中的微小沙粒、悬浮物和胶体物质。根据水在自然界的分布和含盐量的多少,有两种分类方法。

(一) 按自然界水的存在分类

1. 地表水——海水、江河水、湖泊水、水库水等。
2. 地下水——泉水、井水、矿坑水、深层地下水等。
3. 大气中的水——水蒸气、云、雾等。

(二) 按水中含有矿物质(盐类)的多少分类

1. 海水——含盐量在 30 000~35 000 mg/L 之间。
2. 苦咸水——含盐量在 1 000~3 000 mg/L 之间。
3. 淡水——含盐量在 1 000 mg/L 以下。

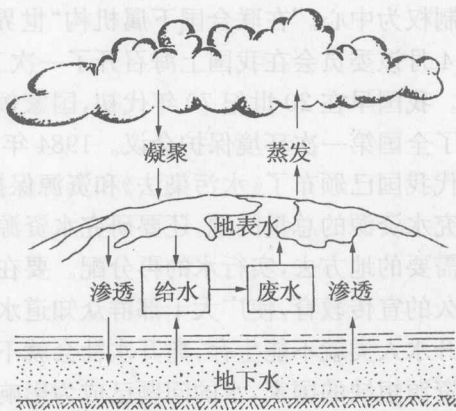


图 1-1 自然界水的循环

二、水资源和水污染

自然界水的总量约为 $1.386 \times 10^{18} \text{ m}^3$ 。但其中绝大部分是海水,含盐量很高。而对人类有利用价值的淡水资源仅占总水量的约 3%,其中冰川、高山积雪还无法利用。目前可供人们利用的淡水资源只有地球总水量的约 0.3%。随着世界人口的增长、工农业的发展和市政用水量的增长,水资源紧缺已成为本世纪全球资源环境的首要问题,直接威胁人类的生存和发展。全世界水资源的分布是不平衡的,全世界有 80 多个国家和地区缺水,有十多亿人口生活在淡水资源贫乏的环境中。

我国水资源总量占世界第六位,虽然比较多,然而人均水资源占有量仅为世界水平的四分之一,居世界 149 个国家的第 110 位,是世界上 13 个贫水国之一。我国水资源分布极不平衡,时空分布不均匀,南方多,北方少,东部多,西部少,春夏多,秋冬少。地面水少的地区,只能过量开采地下水,导致地下水位下降,20 世纪 70 年代以来,以黄河为首,许多河流都出现了断流情况,河流干涸、地下水位下降,引起沿海地带普遍存在海水倒灌问题。近年来由于工农业生产的发展,人民生活水平的提高,用水量不断增加;而另一方面,大量的工业废水和生活废水未经处理或处理不当就直接排放入江、河、湖、海,导致水质下降,使本已匮乏的水资源更显短缺。

三、开源节流和防止污染

早在 20 世纪 70 年代初,联合国第一次人类环境会议就发出“水将导致严重的社会危机”的呼吁,以后国际机构和专家们不断发出警告,例如,到 20 世纪 90 年代提出:“我们正进入一个新的水源紧缺的时代,随着湖泊面积缩小,江河断流以及地下水位日渐下降,世纪之交可能出现用水危机。如不采取措施,今后世界冲突的爆发可能会以争夺宝贵的水资源的控制权为中心。”在联合国下属机构“世界水委员会”成立了“21 世纪水世界委员会”。1999 年 4 月该委员会在我国上海召开了一次工作会议,探讨中国 21 世纪水的展望与构想的可能性。我国早在 20 世纪 70 年代初,国家领导即开始重视环保问题,1973 年国务院在北京召开了全国第一次环境保护会议。1984 年 12 月国务院决定设立国家环保局。到 20 世纪 90 年代我国已颁布了《水污染法》和资源保护法律中的《水法》。而且国家领导还指出:“不仅要研究水资源的总量问题,还要研究水资源的平衡问题。如何最大限度地把水留住,把水引到最需要的地方去,实行水的再分配。要在全民中牢固树立科学的水意识。通过广泛、深入、持久的宣传教育,使广大干部群众知道水是不可替代的有限资源,离开水万物就不能生长,离开水人类就不能生存,离开水社会就不能前进;了解我国水的基本情况,牢记我国是一个水资源短缺的国家,水的问题已成为影响我国可持续发展的重要因素,增加水的忧患意识:懂得节水是我国的一项基本政策,保护水资源、水环境是每个公民的责任,破除水取之不尽、用之不竭、取之无偿的传统观念,形成节约用水、合理用水的社会风气。”

虽然我国制定了《水法》和《水污染法》,国家宪法中也规定水是国家资源,要有偿使用,但水的浪费和水质的污染问题还是非常严重的。当务之急是要各方面都重视起来。

农业是我国的用水大户,占总用水量的 70% 以上,长期以来我国农业采用粗放型灌溉方式,水的利用率很低,因此应向发达国家学习,广泛采用喷灌、滴灌等技术,科学地发展节水农业。在工业和城市用水方面,水浪费现象也很严重,除北京、天津、大连、青岛等城市水

重复利用率可达 70% 以外,大批城市水资源的重复利用率仅有 30%~50%,有的城市更低,而发达国家已达到 75% 以上。全国多数城市自来水跑、冒、滴、漏的损失率估计为 15%~20%。在工业用水方面各行业的单位产品用水量与发达国家相比也要高许多,水资源重复利用率很低。因此节约用水有相当的空间。在工业用水领域,节约用水应从加强企业的水务管理着手,减少跑、冒、滴、漏,努力提高水的重复使用率,实行分级用水。另一个重要环节是开发节水新技术、新工艺,研制新设备和新材料,将用水量降下来。本书所介绍的膜技术在开发新水源、治理水污染方面都能发挥很好的作用。

近年来,我国在开源节流和防止水污染方面做了大量工作,例如:“长江三峡水利工程”和“南水北调水利工程”的建立;在制定的法规中规定了各行业不论抽取地表水还是地下水都要收费,向公共水体排水也要收费,若超标还要受罚。但当前水体污染问题仍非常严峻,一方面须加强宣传、严格执法,而另一方面应减少工业用水的废水排放,加强废水处理,开发和推广使用环保型的水处理药剂,达到保护水资源的目的。

第二节 水的结构与特性

一、水分子的结构

水分子是由两个氢(H)原子和一个氧(O)原子组合成的。它的分子式是 H_2O 。在单分子的水中氢和氧以共价键相结合,由于氧的负电性较大,H—O 键间的角度约为 105° 。氧原子距氢原子轴线的距离为 62 pm($1\text{ pm}=10^{-12}\text{ m}$),如图 1-2 所示。采用三角形图表示水分子,由于水分子中 H—O 键间的角度,因此水分子的正、负电荷中心就不相重合,而且和其他物质的大多数分子比较,水分子的正电荷与负电荷中心间的距离最大。所以,水具有最明显的极性性质,它和磁体一样,在分子周围形成电力场。这样的分子称为极性分子,如图 1-3 所示。

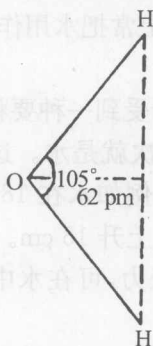


图 1-2 水分子结构

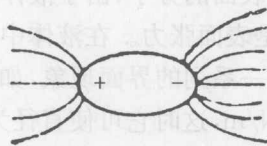


图 1-3 水的极性分子

当水分子相互接近时,本身的电力场即相互作用。在这种情况下,一个分子的正极吸引另一分子的负极。因而得到两个甚至三个水分子的聚集体,成为水分子的两聚水(H_2O)₂和三聚水(H_2O)₃。这种分子间的内聚力键(又称氢键)使两三个分子聚集,从而产生缔合水分子。增高水温,缔合分子的氢键会断裂,因此水温越高,单水分子的数量越多(见表 1-1)。