

钢铁工业水处理

实用技术与应用

GANGTIE GONGYE SHUICHULI
SHIYONGJISHU YU YINGYONG

© 杨作清 李素芹 熊国宏 编著



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

钢铁工业水处理 实用技术与应用

杨作清 李素芹 熊国宏 编著



北 京
冶 金 工 业 出 版 社
2015

内 容 提 要

本书详细介绍了钢铁工业各工序循环冷却水和污水处理的原理、工艺与设施,钢铁综合废水处理与回用技术,锅炉水处理技术,水处理仪表及自动化,水质分析与监测等内容。同时,针对钢铁企业的实际特点,对水处理过程的安全技术和节能环保进行了系统的介绍。

本书可供从事钢铁工业水处理技术应用的工程技术人员阅读,也可供大专院校有关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

钢铁工业水处理实用技术与应用/杨作清,李素芹,熊国宏
编著. —北京:冶金工业出版社, 2015. 6

ISBN 978-7-5024-6879-8

I. ①钢… II. ①杨… ②李… ③熊… III. ①钢铁
工业—工业废水—废水处理 IV. ①X757

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 100232 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷 39 号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmp. com. cn 电子信箱 yjchs@cnmp. com. cn

责任编辑 常国平 美术编辑 吕欣童 版式设计 孙跃红

责任校对 石 静 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-6879-8

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;北京百善印刷厂印刷

2015 年 6 月第 1 版, 2015 年 6 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 29.25 印张; 704 千字; 451 页

108.00 元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 tougao@cnmp. com. cn

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

冶金书店 地址 北京市东四西大街 46 号(100010) 电话 (010)65289081(兼传真)

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgycbs. tmall. com

(本书如有印装质量问题,本社营销中心负责退换)

前 言

随着科学技术的进步和社会发展，人与环境的关系越来越密切，水的污染和水资源的紧缺已严重危害了人类生活。人们已经深切地认识到，水不是“取之不尽，用之不竭”的，水是宝贵的、有限的资源。因此，保护有限的水资源就是保护人类自身。

钢铁是人类生活、生产中不可或缺的重要物资之一。我国粗钢产量居世界第一位，钢铁行业作为高耗水行业，不但使用大量的新水资源，而且在钢铁生产各个工序排出大量的废水。随着钢铁行业节能减排的要求，吨钢耗新水大幅度下降，污水排放大量减少。水处理技术的进步，使钢铁企业综合污水零排放技术越来越成熟。近年来，钢铁企业水处理工艺及设备在不断地更新，因此需要一本完整的、系统地介绍钢铁工业水处理技术的著作，以便指导钢铁企业水处理的研究和实践。作者期望本书对从事钢铁工业水处理技术应用的工程技术人员在提高水处理管理水平上有所帮助。

本书不仅详细介绍了钢铁各工序循环冷却水和污水处理的原理、工艺与设施，钢铁综合废水处理与回用技术，锅炉水处理技术等。而且还对水处理仪表及自动化、水质分析与监测等内容进行了详细的介绍。同时，针对钢铁企业的实际特点，对水处理过程的安全技术和节能环保进行了介绍。

本书在编写过程中，得到了广大钢铁和水处理技术人员的帮助和支持，他们提供了一些有价值的技术资料，并对书籍编写内容提出了许多宝贵意见，在此一并表示衷心的感谢！

由于编者水平所限，书中不妥之处，恳请广大读者批评指正。

编 者
2015 年 1 月

目 录

1 绪论	1
1.1 水的需求及水污染的防治	1
1.1.1 水的需求	1
1.1.2 水的污染及防治	1
1.2 水化学知识	3
1.2.1 水及其性质	3
1.2.2 天然水	6
1.2.3 工业补给水	10
1.2.4 化学反应	11
1.2.5 水处理中常用的法定计单位	16
1.3 钢铁企业节水的必要性及措施	19
1.3.1 钢铁企业节水的必要性	19
1.3.2 钢铁企业节水的措施	19
1.4 水处理的必要性及方法分类	24
1.4.1 水处理的必要性	24
1.4.2 水处理方法分类	24
2 钢铁工业常用的基本水处理方法	27
2.1 物理处理	27
2.1.1 沉淀	27
2.1.2 过滤	28
2.1.3 气浮	33
2.2 化学处理	35
2.2.1 水质稳定	35
2.2.2 混凝	40
2.2.3 中和	45
2.2.4 化学沉淀	45
2.2.5 氧化还原	47
2.3 物理化学处理	48
2.3.1 离子交换	48
2.3.2 膜分离	53
2.3.3 电吸附除盐	62

2.4 生化处理	63
2.4.1 好氧生物处理	63
2.4.2 厌氧生物处理	70
3 水处理药剂的配制及投加	76
3.1 概述	76
3.1.1 钢铁企业水处理药剂的发展历史	76
3.1.2 水处理药剂的作用	76
3.2 水处理药剂的种类	77
3.2.1 阻垢缓蚀剂	77
3.2.2 混凝剂	82
3.2.3 杀菌灭藻剂	84
3.2.4 酸、碱、盐药剂	86
3.3 水处理药剂的配制	87
3.3.1 溶液的浓度	87
3.3.2 药剂的配制	88
3.3.3 药剂的投加	89
3.3.4 有机高分子絮凝剂的配制	92
3.4 加药装置	93
3.4.1 以马达驱动计量泵为核心的加药装置简介	93
3.4.2 以电磁计量泵为核心的加药装置简介	95
3.4.3 计量泵简介	97
3.4.4 药剂配制和投加流程	100
3.5 石灰乳液投加装置简介	101
3.5.1 投加原理	101
3.5.2 装置结构	101
3.6 聚丙烯酰胺投加装置简介	103
3.6.1 投加原理	103
3.6.2 装置结构	103
3.7 加药间和药库的布置	104
3.8 安全喷淋装置	105
3.8.1 安全喷淋装置安装的要求	105
3.8.2 安全喷淋洗眼器的结构	106
4 循环冷却水处理与运行管理	107
4.1 冷却水系统	107
4.1.1 概述	107
4.1.2 冷却水系统的分类	107
4.2 冷却水系统中的换热器	108

4.2.1 换热器的传热	108
4.2.2 热交换器介绍	115
4.3 循环冷却水系统	120
4.3.1 密闭循环冷却水系统	120
4.3.2 敞开式循环冷却水系统	123
4.3.3 循环冷却水系统常用的设备与构筑物	125
4.4 敞开式循环冷却水系统存在的问题及处理方案	137
4.4.1 敞开式循环冷却水的特点	137
4.4.2 敞开式循环冷却水系统存在的问题	138
4.4.3 敞开式循环冷却水系统处理方案	143
4.5 密闭式循环冷却水系统存在的问题及处理方案	145
4.5.1 软化水的特点及腐蚀原因	145
4.5.2 软化水腐蚀的解决方案	146
4.6 污泥处置	146
4.6.1 污泥脱水的原理	146
4.6.2 直接冷却循环水系统污泥脱水常用的工艺	148
4.7 循环冷却水系统的清洗与预膜	150
4.7.1 循环冷却水系统清洗与预膜的必要性	150
4.7.2 循环冷却水系统清洗的清洗范围	151
4.7.3 循环冷却水系统的清洗方法	152
4.8 循环冷却水系统运行管理的必要性	155
4.8.1 循环冷却水运行的故障	155
4.8.2 循环冷却水处理的重要性	156
4.9 钢铁企业循环冷却水水质标准	157
4.9.1 补充水水质标准	157
4.9.2 循环冷却水水质标准	158
4.9.3 循环冷却水运行监测效果	159
4.10 循环冷却水浓缩倍数的控制	159
4.10.1 循环冷却水系统的水平衡	159
4.10.2 循环冷却水浓缩倍数的控制和调节	162
4.11 水处理药剂量的控制	163
4.12 水质管理	164
4.12.1 水质监测项目	164
4.12.2 水质监测项目的意义	165
4.13 循环冷却水处理效果评价	166
4.13.1 制定循环冷却水处理目标	166
4.13.2 循环冷却水处理效果评价	166
4.14 某钢铁公司轧钢循环冷却水化学处理开车方案实例	169
4.14.1 水质判断	169

4.14.2	开车前的准备	170
4.14.3	日常化学处理	170
5	钢铁工业各工序循环冷却水处理	175
5.1	烧结工序循环冷却水处理	175
5.1.1	烧结工艺概述	175
5.1.2	烧结水处理系统	176
5.2	焦化工序循环冷却水处理	178
5.2.1	焦化工艺概述	178
5.2.2	焦化循环冷却水处理系统	179
5.2.3	干熄焦及热电站循环冷却水处理系统	181
5.3	炼铁工序循环冷却水处理	182
5.3.1	间接冷却循环水处理系统	183
5.3.2	软水(纯水)密闭循环系统	185
5.3.3	高炉煤气洗涤水系统	187
5.4	炼钢工序循环冷却水处理	191
5.4.1	炼钢	191
5.4.2	连铸	198
5.5	热轧厂循环冷却水处理	205
5.5.1	轧钢工艺概述	205
5.5.2	间接冷却循环水系统	206
5.5.3	直接冷却循环水系统	207
5.5.4	轧钢层流水	208
5.6	冷轧厂循环冷却水处理	209
5.6.1	冷轧厂工艺概述	209
5.6.2	冷轧循环冷却水	209
5.7	制氧厂循环冷却水处理	211
5.7.1	制氧工艺概述	211
5.7.2	制氧循环水处理工艺及主要用水设备	211
5.7.3	制氧循环冷却水存在的问题及原因分析	213
5.7.4	避免制氧循环冷却水故障发生的措施	214
5.8	发电厂循环冷却水处理	215
5.8.1	发电工艺概述	215
5.8.2	发电循环冷却水处理系统	215
5.8.3	发电循环水故障	218
5.8.4	发电循环冷却水处理系统典型的工艺组成	218
5.8.5	水质在线监测仪表	219

6 钢铁企业污水处理与回用	220
6.1 钢铁企业工业污水的来源及分类	220
6.1.1 循环冷却水系统排污水	220
6.1.2 除盐水、软化水制取设施产生的废水	220
6.1.3 小型直流水和生活污水	221
6.1.4 钢铁厂各工序在生产运行过程中产生的废水	221
6.2 焦化废水的处理	221
6.2.1 焦化废水的来源	221
6.2.2 生化废水处理的原理	224
6.2.3 A-A-O 法在焦化废水处理中的应用	228
6.2.4 生物流化床在焦化生化废水处理中的应用实例	230
6.3 冷轧厂废水的处理	234
6.3.1 冷轧厂废水的来源	234
6.3.2 酸性废水的处理	235
6.3.3 稀碱含油废水的处理	237
6.3.4 含油及乳化液废水处理系统	239
6.3.5 含铬废水的处理	245
6.3.6 冷轧废水处理运行管理	247
6.4 钢铁企业综合污水处理与回用技术	249
6.4.1 钢铁企业综合污水处理与回用的必要性	249
6.4.2 钢铁企业综合污水处理厂对水质的要求	250
6.4.3 钢铁综合污水处理常用的单元技术	256
6.4.4 常用的水处理药剂及作用	259
6.4.5 综合污水处理的工艺介绍	260
6.5 再生水的回用	273
6.5.1 钢铁企业水资源的水质分类	273
6.5.2 钢铁企业再生水的回用和水平衡	277
6.5.3 某钢铁联合企业综合污水零排放方案实例	278
6.6 废水处理过程中安全技术	281
6.6.1 概述	281
6.6.2 废水处理安全防范的主要内容和措施	281
7 锅炉水处理	288
7.1 概述	288
7.1.1 钢铁企业蒸汽的产生与利用	288
7.1.2 锅炉的基本组成	288
7.1.3 锅炉的工作过程	291
7.1.4 锅炉水处理的必要性	292

7.1.5 锅炉用水水质要求	293
7.2 锅炉水、汽质量标准	293
7.2.1 锅炉用水名称	293
7.2.2 锅炉给水质量标准	294
7.2.3 锅炉补给水质量标准	294
7.2.4 锅炉水质量标准	295
7.2.5 减温水质量标准	295
7.2.6 蒸汽质量标准	296
7.3 钢铁企业的废热锅炉	296
7.3.1 干熄焦废热锅炉	296
7.3.2 转炉汽化冷却废热锅炉	299
7.3.3 加热炉余热锅炉	299
7.3.4 烧结机余热锅炉	302
7.4 软化水的制备	303
7.4.1 软化水制备的原理	303
7.4.2 软化水制备工艺	304
7.4.3 FN 系列自控连续式钠离子交换器的应用	304
7.5 除盐水的制备	306
7.5.1 离子交换除盐原理及工艺	306
7.5.2 离子交换工艺的运行管理	308
7.6 复床-混床式除盐工艺的应用	310
7.6.1 阳床和阴床	311
7.6.2 混合离子交换器	313
7.7 水质化验的主要项目及含义	314
7.8 锅炉给水调整工艺	315
7.8.1 概述	315
7.8.2 锅炉水质调整处理工艺使用的主要化学品	317
7.8.3 锅炉给水水质调整处理工艺的运行管理	318
8 钢铁企业水处理中常用的水处理设备与构筑物	320
8.1 混凝设备与构筑物	320
8.1.1 混凝过程中的控制指标	320
8.1.2 混合设备与构筑物	321
8.1.3 絮凝设备与构筑物	323
8.2 沉淀池	324
8.2.1 沉淀池类型	324
8.2.2 沉淀池的有关名词解释	324
8.2.3 平流式沉淀池	325
8.2.4 斜管沉淀池	327

8.2.5 辐射沉淀池	328
8.2.6 沉淀池的运行管理	329
8.3 自清洗网式过滤器	330
8.3.1 自清洗网式过滤器的工作原理	330
8.3.2 自清洗网式过滤器的工作过程	330
8.3.3 网式自清洗过滤器的主要部件	331
8.3.4 网式自清洗过滤器的维护	332
8.4 厢式板框压滤机	332
8.4.1 厢式板框压滤机的工作原理	332
8.4.2 厢式板框压滤机主机结构组成	332
8.4.3 厢式板框压滤机的运行管理	334
8.5 重型带式压滤机	334
8.5.1 重型带式压滤机的工作原理	334
8.5.2 重型带式压滤机的结构	334
8.5.3 重型带式压滤机的运行管理	336
8.6 稀土磁盘分离机和磁力压榨机	337
8.6.1 稀土磁盘分离机	337
8.6.2 磁力压榨机	338
8.7 重力旋流沉淀池	338
8.7.1 重力旋流沉淀池的工作原理	338
8.7.2 重力旋流沉淀池的运行维护	339
8.8 机械过滤器	339
8.8.1 机械过滤器的工作原理	339
8.8.2 机械过滤器的结构	339
8.8.3 机械过滤器的工作过程	340
8.8.4 机械过滤器滤料的污染及清洗	340
8.9 螺旋式粗颗粒分离装置	341
8.9.1 螺旋式粗颗粒分离装置的工作原理	341
8.9.2 螺旋式粗颗粒分离装置的主要结构	341
8.10 桥式刮油刮渣机	342
8.10.1 概述	342
8.10.2 结构及工作原理	342
8.10.3 维修与保养	343
8.11 托帕式浮油回收机	343
8.11.1 托帕式浮油回收机的工作原理	343
8.11.2 托帕式浮油回收机的组成	343
8.12 集油管	343
8.13 潜水污水泵	344
8.14 渣浆泵	345

8.14.1 渣浆泵的结构	345
8.14.2 渣浆泵的维护保养	346
8.15 气动隔膜泵	347
8.15.1 气动隔膜泵结构	347
8.15.2 气动隔膜泵的工作原理	347
8.15.3 气动隔膜泵的运行维护	348
8.15.4 气动隔膜泵常见故障及处理方法	348
8.16 单螺杆泵	349
8.16.1 单螺杆泵的工作原理	349
8.16.2 单螺杆泵的结构	349
8.16.3 单螺杆泵使用中注意事项	349
8.16.4 单螺杆泵常见故障及处理方法	350
9 钢铁工业水处理仪表及自动化	352
9.1 概述	352
9.1.1 仪表的组成与分类	352
9.1.2 评定仪表品质的指标	353
9.1.3 仪表选配的要求	356
9.2 水处理中常用测量及控制仪表	356
9.2.1 监测仪表	356
9.2.2 水质在线分析仪表	369
9.2.3 测量仪表的维护与日常管理	375
9.3 自动调节系统简介	376
9.3.1 自动调节系统的组成	376
9.3.2 几种自动调节作用	377
9.3.3 单元组合仪表	380
9.3.4 变频器在自动调节系统中的应用	381
9.4 PLC 自动控制系统	383
9.4.1 PLC 的定义	383
9.4.2 PLC 的结构及硬件组成	383
9.4.3 PLC 的软件组成	385
9.4.4 PLC 的工作原理	388
9.5 循环冷却水水质稳定自动化系统介绍	389
9.5.1 概述	389
9.5.2 循环冷却水水质自动化控制系统概述	390
9.5.3 循环冷却水水质自动化控制系统功能	391
9.6 某钢铁厂连铸工程水处理自动化系统介绍	392
9.6.1 系统工艺流程	392
9.6.2 系统概述	392

9.6.3 系统功能	394
10 水处理的化学分析与监测	397
10.1 水质分析的意义	397
10.2 水质分析方法和原理	397
10.2.1 滴定分析法	397
10.2.2 称量分析法	398
10.2.3 比色分析法	399
10.2.4 仪器分析法	403
10.3 水质分析时的注意事项	403
10.3.1 取样时的注意事项	403
10.3.2 取样和容器	403
10.3.3 试样的保存	405
10.3.4 溶液的配制方法	406
10.3.5 结果的表示方法	407
10.4 不同水处理工艺的水质分析	408
10.4.1 循环冷却水系统的水质分析	408
10.4.2 污水及再生水的水质分析	419
10.4.3 微生物试验	426
10.4.4 冷却水系统沉积物（污垢和腐蚀产物）分析方法	430
附 录	438
附录1 常用元素相对原子质量、化合价	438
附录2 常见的物质分子式和相对分子质量	438
附录3 常用酸、碱溶液的密度和浓度	439
附录4 难溶盐类的浓度积常数	439
附录5 钢铁工业污染物排放标准（GB 13456—2012）（摘编）	439
附录6 炼焦化学工业污染物排放标准（GB 16171—2012）（摘编）	445
参考文献	450

1 绪 论

1.1 水的需求及水污染的防治

1.1.1 水的需求

随着人类生存环境的不断恶化和自然资源的日益减少,人类社会的可持续发展面临着严峻的挑战,这迫使人类必须重视自然环境的保护和自然资源的合理开发与利用,这是一个生死攸关的大问题。而在这个大问题中,水又是最重要的,因为水是生命的源泉,人的生存和活动离不开水,水是应用最普遍、分布最广泛、对人类最重要的自然资源。随着世界人口的不断增加和经济活动的日益扩大,人们已经越来越感到,水不是“取之不尽,用之不竭”的,水是有限的而又不能用其他物质替代的宝贵资源。而这有限的宝贵的资源——水,正遭到严重污染,这使得本来就十分匮乏的水资源更加匮乏。

我国现有的淡水资源约 $2.8 \times 10^{12} \text{ m}^3$,然而由于人口众多,以 13 亿人计,我国人均占有淡水资源 2153 m^3 ,而全世界人均淡水资源拥有量为 7342 m^3 ,我国人均淡水资源占有量不足世界人均占有量的 $1/3$ 。同时,我国有限的水资源受时间和地域的影响分布极不平衡,特别是我国西北、华北及南方部分地区水资源匮乏,人们的生活和生产活动受到了严重的影响。例如,华北平原由于地下水的过度开采,地下水位持续下降,使得华北地区漏斗区不断扩大,加剧了地层下陷。2010 年发生于我国西南五省市云南、贵州、广西、四川及重庆的百年一遇的特大旱灾,一亿多亩耕地受灾,两千多万人口饮水困难,使工农业生产和人民群众遭受了重大损失。随着我国工农业的迅猛发展,对水的需求不断增加,加剧了水资源紧张的局面。以钢铁工业为例,我国粗钢产量从 2003 年的 2.22 亿吨增加到 2014 年的 8.23 亿吨,按吨钢耗新水 3.5 m^3 计算,钢铁企业全年需要新水总量为 $28.8 \times 10^8 \text{ m}^3$,大约相当于 1 个太湖的水量。图 1-1 所示为 2003 ~ 2014 年我国粗钢产量递增图。

1.1.2 水的污染及防治

我国除了资源性缺水外,水质性缺水也给人们生活和工农业生产带来了一定的影响。水质性缺水与本已存在的资源性缺水彼此叠加,使我国缺水状况犹如雪上加霜。水质性缺水主要是由于水污染造成的,城市污水和工业废水的大量不达标排放使得江河湖泊受到了严重污染,导致水质恶化。我国水污染问题已经处在一个相当严重的局面,地表水污染严重,湖泊(水库)富营养化问题突出,地下水也在逐步遭受污染。在我国长江、黄河、珠江、松花江、淮河、海河和辽河七大水系中,黄河、辽河为中度污染,海河为重度污染。目前,全国 532 条主要河流有 82% 受到不同程度的污染,这些主要是由工业废水造成的;流经全国 42 个大城市的 44 条河流,有 93% 受到污染。表 1-1 列出了 1994 ~ 2009 年我国发生的主要水污染事件。

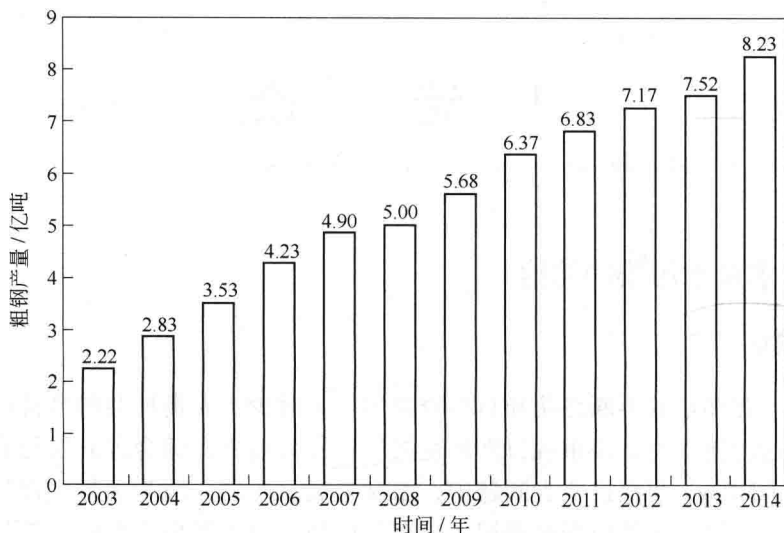


图 1-1 我国 2003 ~ 2014 年粗钢产量

表 1-1 1994 ~ 2009 年我国发生的主要水污染事件

时 间	水 污 染 事 件
1994 年 7 月	淮河上游来水水质恶化, 沿河各自来水厂被迫停止供水达 54 天之久, 百万淮河民众饮水告急
2004 年 12 月	四川青衣江遭受造纸废水污染, 水面出现了大量的白色泡沫, 并散发出一阵阵冲鼻的碱味, 水质严重告急, 使乐山市中区面临 25 万人断水的局面
2005 年 1 月	因綦河上游重庆华强化肥有限公司废水污染, 重庆綦江古南街道桥河片区近 3 万居民断水两天, 綦江齿轮厂也因此暂停生产
2005 年 12 月	由于韶关冶炼厂设备检修期间超标排放含镉废水, 导致广东各市的重要饮用水源北江韶关段镉超标严重, 严重威胁下游饮用水源安全
2006 年 2、3 月	2006 年 2 月和 3 月份, 素有“华北明珠”美誉的华北地区最大淡水湖泊白洋淀, 相继发生大面积死鱼事件。调查结果显示, 水体污染较重, 水中溶解氧过低, 造成鱼类窒息是此次死鱼事件的主要原因
2007 年 5 月	因太湖蓝藻的提前暴发, 2007 年 5 月 29 日开始, 江苏省无锡市城区的大批市民家中自来水水质突然发生变化, 并伴有难闻的气味, 无法正常饮用
2009 年 7 月	赤峰水污染导致至少 4300 多名居民生病

我国在 20 世纪 50 年代开始注意水污染的防治, 逐步建立了水污染防治的法规及一系列水质标准、水污染排放标准和地方性水污染防治法规, 使我国的水污染法初步形成了体系。水污染防治法通过建立有效的监督管理制度、加强对各类污染物排放的控制等措施, 实现保护地表水和地下水免受污染的目的。

1959 年制定了《生活饮用水卫生规程》。70 年代后进一步加强了水污染防治立法, 《关于保护和改善环境的若干规定 (试行草案)》《中华人民共和国环境保护法 (试行)》和《中华人民共和国环境保护法》等法律法规都对保护水环境作了规定。1984 年 5 月全

人大常委会通过《中华人民共和国水污染防治法》，又于2008年2月28日第十届全国人民代表大会常务委员会第三十二次会议进行修订；此后，国务院及其有关部门和地方政权又制定了《水污染防治法实施细则》、《饮用水水源保护区污染防治管理规定》。

为了更好地贯彻执行《环境保护法》和《水污染防治法》，我国先后制定了《海洋水质标准》《地面水环境质量标准》《地下水质量标准》《污水综合排放标准》《钢铁工业水污染物排放标准》等，又对有关标准进行修订，使水资源的合理利用和污水的达标排放有了依据。我国在环境污染管理上提出了坚持预防为主、防治结合、综合治理的原则，在新建、改建、扩建项目上进行环境影响评价，坚持“三同时”，使水污染防治设施与主体工程同时设计、同时施工、同时使用。

“十一五”期间我国加大了城镇污水处理与再生的投入，城镇污水处理设施无论在建设数量和污水处理能力上，还是在污水处理的设施运行效率上都有显著提高。“十一五”期间全国累计新增污水处理厂2000多座，新增污水处理能力超过6500万吨/日，再生水生产能力达到1000多万吨/日。“十一五”期间，我国在进行城镇污水治理的同时，也加强了对工业废水的治理力度，淘汰了一批小造纸、小化工、小制革、小印染、小酿造等不符合产业政策的重污染企业。在钢铁、电力、化工、煤炭等行业推广了废水循环利用，实现废水少排放或零排放。钢铁企业在污水处理上采取重度污染废水分别处理和轻度污染废水集中回收处理的原则，建成了一批废水处理站和污水处理厂，如焦化生化废水站、冷轧废水处理站等。生化废水和冷轧废水等重度污染废水经过处理后达到排放标准，或经过深度处理后回用；综合污水处理厂的建立，使轻度污染废水集中回收处理后得以再生，实现了综合污水的资源化。再生水在钢铁生产中可以用于循环冷却水的补充水、锅炉除盐水的原水等，替代了新水资源。例如，太钢集团采用膜法水处理技术，建成了3000t/h净化水的生产线，对冶炼废水及少部分生活污水进行集中回收、絮凝沉淀、砂滤、保安过滤、膜法处理等工序深度处理，生产出的水用于各个生产工序，使整个污水的循环利用率达到75%以上，实现污水零排放，大大缓解了太钢水资源紧张的局面。

1.2 水化学知识

1.2.1 水及其性质

1.2.1.1 水的性质

水(H_2O)是由氢、氧两种元素组成的无机物，在常温、常压下为无色、无味、无臭的透明液体。水是最常见的物质之一，是包括人类在内所有生命生存的重要资源，也是生物体最重要的组成部分。水是我们日常生活中接触到的普通液体，但水作为一种化学物质，在常温下呈液态存在，具有一般液体的共性，与其他液体相比有其各种特性。

(1) 水的密度。在一个大气压下(10^5Pa)，温度为 4°C 时，水的密度为最大($1\text{g}/\text{cm}^3$)，当温度低于或高于 4°C 时，其密度均小于 $1\text{g}/\text{cm}^3$ 。

(2) 水的冰点、沸点。水在1个大气压时(10^5Pa)，温度在 0°C 以下为固体， 0°C 为水的冰点。水在 $0\sim 100^\circ\text{C}$ 之间为液体(通常情况下水呈液态)， 100°C 以上为气体(气态水)， 100°C 为水的沸点。

(3) 水的比热容。把单位质量的水升高 1°C 所吸收的热量，称为水的比热容。水的比

热容为 $4.2 \times 10^3 \text{ J}/(\text{g} \cdot ^\circ\text{C})$ 。

(4) 水的汽化热。在一定温度下单位质量的水完全变成同温度的气态水（水蒸气）所需的热量，称为水的汽化热。水从液态转变为气态的过程称为汽化，水表面的汽化现象称为蒸发，蒸发在任何温度下都能进行。标准大气压下，水在沸点时的汽化热为 40.8 kJ/mol 。

(5) 冰（固态水）的溶解热。单位质量的冰在熔点时（ 0°C ）完全溶解为同温度的水所需的热量，称为冰的溶解热。标准大气压下，冰在熔点时的溶解热为 6.01 kJ/mol 。

(6) 水的压强。水对容器底部和侧壁都有压强（单位面积上受的力称为压强）。水内部向各个方向都有压强；在同一深度，水向各个方向的压强相等；深度增加，水压强增大；水的密度增大，压强也增大。

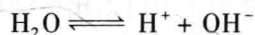
(7) 水的浮力。水对物体向上和向下的压力差就是水对物体的浮力。浮力总是竖直向上的。

(8) 范德华引力。对一个水分子来讲，它的正电荷中心偏在两个氢原子的一方，而负电荷中心偏在氧原子一方，从而构成极性分子。当水分子相互接近时，异极间的引力大于距离较远的同极间的斥力，这种分子间的相互吸引的静电力称为范德华引力。

(9) 水的表面张力。水的表面存在着一种力，使水的表面有收缩的趋势，这种水表面的力称为表面张力。

1.2.1.2 水的电离与溶液 pH 值

水是一种极弱的电解质，它能微弱地电离变成氢离子（ H^+ ）和氢氧根离子（ OH^- ）。



H^+ 和 OH^- 的摩尔浓度（用 $[\text{H}^+]$ 、 $[\text{OH}^-]$ 表示）的积是一定的，在 25°C 时为 1×10^{-14} ： $[\text{H}^+][\text{OH}^-] = 1 \times 10^{-14} (\text{mol/L})^2 (25^\circ\text{C})$ 这个值称为水的离子积，用 K_w 表示。

pH 用氢离子（ $[\text{H}^+]$ ）倒数的对数表示如下：

$$\text{pH} = -\lg[\text{H}^+]$$

另外，用氢氧化物离子浓度表示时，可用 pOH。

水的离子积在一定温度下为定值。因为 25°C 时为 1×10^{-14} ，所以，当 $[\text{H}^+] = 10^{-7}$ ， $[\text{OH}^+] = 10^{-7}$ ，则 $\text{pH} = 7$ ，这就是中性； $[\text{H}^+] = 10^{-8}$ 、 $[\text{OH}^+] = 10^{-6}$ 时， $[\text{H}^+]$ 浓度降低， $[\text{OH}^+]$ 浓度增加，计算结果 $\text{pH} = 8$ ，这时就是碱性。

这样 $\text{pH} < 7$ 为酸性， $\text{pH} = 7$ 为中性， $\text{pH} > 7$ 为碱性。图 1-2 即标示这种关系。

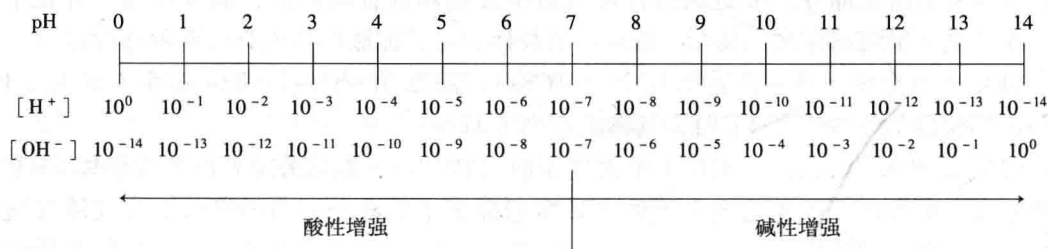


图 1-2 酸性、碱性、 $[\text{H}^+]$ 、 $[\text{OH}^+]$ 、pH 值的关系